Sitzungsberichte

der

mathematisch-physikalischen Klasse

der

K. B. Akademie der Wissenschaften

zu München.

Band XXXIII. Jahrgang 1903.

München.
Verlag der K. Akademie.
1904.

In Kommission des G. Franz'schen Verlags (J. Roth).

Neuere Anschauungen der Elektrizitätslehre
mit besonderer Beziehung auf Probleme der Luftelektrizität.

Von **Eduard Riecke.**

Inhaltsangabe: Einleitung. 1. Die elektrische Leitung der Flammen. 2. Ionisierung der Luft durch Röntgenstrahlen; die absoluten Beweglichkeiten der Luftionen. 3. Die Ladung elektrolytischer Ionen. 4. Die Diffusion der Ionen. 5. Die Ladung der Gasionen. 6. Das elektrische Elementarquantum. 7. Bestimmung des elektrischen Elementarquantums durch J. J. Thomson. 8. Die Masse der Gasionen und ihre molekulare Geschwindigkeit. 9. Ionisierung durch Kathodenstrahlen. 10. Ionisierung durch ultraviolette Strahlen. 11. Ionisierung durch Becquerelstrahlen; Becquerelstrahlen und Kathodenstrahlen. 12. Induzierte Radioaktivität. 13. Die Wiedervereinigung der Ionen und ihre maximale Dichte. 14. Ionen in der freien Atmosphäre. 15. Elektrizitätszerstreuung in der Atmosphäre. 16. Ueber die Theorie der Elektrizitätszerstreuung. 17. Das elektrische Feld der Erde. 18. Ionenadsorption an der Oberfläche der Erde. Schlussbemerkung.

Im Laufe des neunzehnten Jahrhunderts haben die Anschauungen, die man sich von der Natur der elektrischen Erscheinungen gebildet hat, eine sehr merkwürdige Entwickelung durchgemacht. Der Anfang des Jahrhunderts stand unter dem Einflusse der Arbeiten von Coulomb, Ampère und Gauss, in welchen die Vorstellungen von der Existenz elektrischer und magnetischer Fluida ihre exakte Begründung fanden. Einen gewissen Abschluss und eine einheitliche Zusammenfassung fand die ganze Gedankenreihe in der Mitte des Jahrhunderts durch Wilhelm Weber. Das ganze Gebiet der elektrischen und magnetischen Erscheinungen schien auf der Existenz der elektrischen Fluida zu beruhen; diese dachte sich Weber atomistisch konstituiert und mit Masse begabt, wie die ponderabeln Teilchen. Zwischen den elektrischen Atomen wirkten Fernkräfte, die ausser von der Entfernung selber noch von ihrer zeitlichen

Änderung abhängig gemacht wurden. Zur selben Zeit, als Weber mit dem Ausbau der atomistischen Fernwirkungstheorie beschäftigt war, ging von Faraday eine Anregung ganz anderer Art aus. Der eigentliche Erreger der elektromagnetischen Erscheinungen ist darnach der Äther. Jene Erscheinungen sind verbunden mit Druck und Spannung im Inneren des Äthers; die Folge davon sind die scheinbaren Fernwirkungen, die wir im elektromagnetischen Felde beobachten. An Stelle von atomistischer Konstitution und von Fernwirkung traten Kontinuum und durch Druck und Spannung vermittelte Wirkung. Einen glänzenden Erfolg errang die Faradaysche Anschauung mit der Begründung der elektromagnetischen Lichttheorie durch Maxwell und mit ihrer Bestätigung durch Hertz; aber es blieben doch Gebiete, die sich den Zauberformeln der Maxwell-Hertzschen Theorie nicht erschliessen wollten, Erscheinungen, die nur durch die Wechselbeziehung zwischen ihren ponderabeln Trägern und zwischen dem Träger der elektrischen Wirkungen zu erklären waren. Wir erinnern an die Erscheinungen der Dispersion und Absorption des Lichtes, an die elektrische Leitung der Flüssigkeiten und der Gase. Von hier aus vollzog sich gegen das Ende des vorigen Jahrhunderts eine Wandlung der Anschauungen, durch welche zwischen den Anschauungen von Weber und von Maxwell eine Brücke geschlagen wurde. Aus dem Äther scheiden sich Elementarquanta der positiven und der negativen Elektrizität aus, deren Ladungen entsprechend der atomistischen Auffassung alle dieselbe Grösse haben. Negative Elementarquanta kennen wir im freien Zustande und bezeichnen sie dann als Elektronen; ausserdem kennen wir Verbindungen negativer Elementarquanta mit ponderabeln Molekülen; wir bezeichnen sie als negative Ionen. Zwischen der negativen und der positiven Elektrizität besteht der wesentliche Unterschied, dass positive Elementarquanta in freiem Zustande bisher nicht gefunden sind; wir kennen nur positive Ionen, untrennbare Verbindungen des darin angenommenen positiven Elementarquantums mit ponderabeln Molekülen. Auf der Existenz positiver und negativer Ionen beruhen

die Erscheinungen der elektrischen Leitung in Flüssigkeiten und Gasen, im wesentlichen also auch die Erscheinungen der Luftelektrizität. In der Tat hat die Theorie der Ionen der luftelektrischen Forschung neue Anschauungen, neue Ziele und Methoden zugeführt; daher ist es vielleicht nicht überflüssig, wenn den spezielleren Berichten über verschiedene Gebiete der luftelektrischen Forschung, welche für die Jahresversammlung der kartellierten Akademien erstattet werden sollen, eine allgemeine Orientierung über jene Theorie vorangeschickt wird.

1. Die elektrische Leitung der Flammen.

Die Tatsache, dass Flammen Leiter der Elektrizität sind, ist eine altbekannte. Genauer wurden die Verhältnisse dieser Leitfähigkeit von Giese untersucht; er zeigte, dass die Flammen nicht nach der Art metallischer Konduktoren leiten, dass ihr Leitvermögen vielmehr auf ähnlichen Verhältnissen beruht wie das der elektrolytischen Leiter. Die Flammengase enthalten, wenn auch in geringer Menge, positive und negative elektrische Teilchen; man kann annehmen, dass sie sich ähnlich wie die elektrolytischen Ionen durch Dissoziation neutraler Gasmoleküle bilden. Man hat diese Teilchen gleichfalls Ionen genannt; sie sind aber im allgemeinen nicht identisch mit den Ionen der elektrolytischen Leiter. Giese hat die Richtigkeit seiner Anschauung durch eine Reihe von Experimenten bewiesen. Eine genaue quantitative Prüfung konnte aber erst ausgeführt werden, nachdem auf grund der Gieseschen Vorstellung eine exakte Theorie der Flammenleitung ausgearbeitet war. Als das Ziel der Messungen erscheint dann eine Grösse, die wir als die Beweglichkeit der Ionen bezeichnen und die bei all unseren Betrachtungen eine fundamentale Rolle spielt. Um von ihrer Bedeutung eine anschauliche Vorstellung zu gewinnen, halten wir uns an den folgenden Versuch. Die Flamme brennt in breiter Fläche aus einem schnittförmigen Metallbrenner. Der Brenner sei isoliert und positiv geladen. Die in der Flamme enthaltenen negativen Ionen werden dann von dem Metalle des Brenners angezogen und die Flamme enthält einen Überschuss

positiver Ionen. Durch ihre wechselseitige Abstossung werden die positiven Ionen aus der Flamme in den umgebenden Raum hineingetrieben. Stellt man parallel mit der Flamme eine zu der Erde abgeleitete Metallplatte auf, so entsteht in dem Zwischenraum ein Strom positiver Elektrizität, der von der Flamme zu der Platte und von dieser zur Erde geht. Dabei ist die Bewegung der Ionen in dem zwischen Flamme und Platte befindlichen elektrischen Felde keine beschleunigte. Denn die Ionen bewegen sich mit einer gewissen Reibung zwischen den Molekülen der Luft und sie erlangen daher eine konstante Endgeschwindigkeit, bei der die beschleunigende elektrische Kraft durch die ihr entgegengesetzte Reibung gerade aufgehoben wird. Die Endgeschwindigkeit ist daher der auf die Ionen wirkenden elektrischen Kraft direkt proportional. Als Mass der elektrischen Kraft benützen wir die elektromagnetisch gemessene elektromotorische Kraft e, welche auf die Längeneinheit des von der Flamme bis zu der Platte sich erstreckenden elektrischen Feldes ausgeübt wird. Die konstante Endgeschwindigkeit der positiven Ionen, $\mathfrak{g}$, ist dann gleich der elektromotorischen Kraft e multipliziert mit einem konstanten Faktor U; $\mathfrak{g} = U e$. Den Faktor U bezeichnen wir als die absolute Beweglichkeit der positiven Ionen. Sie kann berechnet werden, wenn der von der Metallplatte zur Erde fliessende Strom, das Potential der Flamme und die Distanz zwischen Flamme und Platte gemessen sind. Aus derartigen Messungen ergab sich $U = 2{,}2 \cdot 10^{-8}$ cm sec^{-1}. Die praktische Einheit von 1 Volt ist gleich 10^8 unserer elektromagnetischen Einheiten der elektromotorischen Kraft. Wenn also das Potential der Flamme so hoch gemacht wird, dass auf ein cm des von der Flamme zu der Metallplatte reichenden elektrischen Feldes eine Spannungsabnahme von 1 Volt kommt, so erlangen die positiven Ionen in diesem Felde eine Geschwindigkeit von 2,2 cm sec^{-1}. Nach derselben Methode ergab sich für die absolute Beweglichkeit negativer Flammenionen der Wert $V = 2{,}6 \cdot 10^{-8}$ cm sec^{-1}.[1])

---

[1]) Child, Beiblätter zu den Ann. d. Phys. 1901. S. 554.

2. Ionisierung der Luft durch Röntgenstrahlen; die absoluten Beweglichkeiten der Luftionen.

Schon Röntgen selbst hatte die Beobachtung gemacht, dass Luft, durch welche die von ihm entdeckten Strahlen hindurchgingen, geladene Konduktoren, positive so gut wie negative, ihrer Elektrizität zu berauben vermag. Es lag nahe, auch in unserm Falle die Leitfähigkeit der Luft durch die Gegenwart von positiven und von negativen Ionen zu erklären, welche durch Röntgenstrahlen aus den neutralen Molekülen der Luft erzeugt werden. Die ersteren bedingen die Zerstreuung der negativen, die letzteren die der positiven Elektrizität. In der Tat gelingt es auf grund dieser Vorstellung von allen Einzelheiten der Beobachtungen Rechenschaft zu geben. Über diese selbst und über die zum Teil sehr eigentümlichen Erscheinungen, auf welche sie sich beziehen, möge folgendes berichtet werden.

Wir stellen zwei Metallplatten einander parallel gegenüber, so dass die eine mit dem positiven, die andere mit dem negativen Pol einer galvanischen Säule verbunden werden kann. Der Zwischenraum der Platten werde mit Röntgenstrahlen durchleuchtet. Unter ihrer Wirkung entstehen fortwährend Ionen in der zwischen den Platten befindlichen Luft. Sind die Metallplatten nicht geladen, so unterliegen die Ionen lediglich den anziehenden und abstossenden Kräften, die sie wechselseitig auf einander ausüben. Wir nehmen an, dass die Ionen in dem von Luft erfüllten Raume sich so bewegen wie Moleküle eines fremden Gases, das in geringer Menge der Luft beigemischt ist. Die ungeordnete Bewegung der Ionen wird in jedem Augenblicke eine gewisse Zahl von positiven und von negativen Ionen in unmittelbare Nachbarschaft bringen. Die anziehenden Kräfte, mit denen ungleichnamige Ionen auf einander wirken, werden dann zu ihrer Vereinigung zur Bildung neutraler Moleküle führen. Wir haben darnach in dem durchstrahlten Raume mit zwei verschiedenen, einander entgegen wirkenden Prozessen zu tun. Einerseits werden fortwährend Ionen erzeugt, vermutlich

infolge von Dissoziation neutraler Gasmoleküle; andererseits werden durch die elektrische Anziehung entgegengesetzte Ionen immer wieder zu neutralen Molekülen vereinigt. Beide Prozesse müssen sich mit einander ins Gleichgewicht setzen, so dass die Zahl der in einer bestimmten Zeit, etwa in einer Sekunde, erzeugten Ionen gerade so gross ist wie die Zahl der in derselben Zeit verschwindenden.

Anders gestaltet sich die Sache, wenn die Platten, die den Gasraum begrenzen, mit den Polen einer galvanischen Batterie verbunden werden, wenn also die Ionenbildung in einem elektrischen Felde vor sich geht. Nun kommt noch eine elektrische Kraft hinzu, welche alle positiven Ionen nach der Kathode, alle negativen nach der Anode treibt. Die durch Röntgenstrahlen erzeugten Ionen verschwinden also in diesem Falle aus zwei Gründen; einmal durch Wiedervereinigung entgegengesetzter Ionen, sodann durch Fortführung und Ausscheidung infolge der elektromotorischen Kraft im Zwischenraume der Platten. Die Zahl der Ionen, die in einer bestimmten Zeit, etwa in einer Sek., entstehen, ist gleich der Summe der wieder vereinigten und der an den Elektroden abgeschiedenen. Das Verhältnis dieser beiden Teile kann je nach den Umständen des Versuches ein sehr verschiedenes sein. Wir wollen zwei extreme Fälle betrachten.

Wir nehmen zuerst an, die elektromotorische Kraft sei von vornherein verhältnismässig gross und werde im Verlaufe des Versuches noch mehr gesteigert. Die Zahl der durch den Strom ausgeschiedenen Ionen wird dann in entsprechender Weise zunehmen; dagegen wird die Zahl der wieder vereinigten abnehmen, da die Summe der beiden Teile dieselbe bleiben muss. Durch Steigerung der elektromotorischen Kraft können wir es schliesslich dahin bringen, dass alle Ionen, die in einer Sekunde entstehen, in derselben Zeit durch den Strom an den Elektroden ausgeschieden werden. Wenn einmal dieser Punkt erreicht ist, so kann eine weitere Steigerung der elektromotorischen Kraft keine Steigerung des Stromes mehr zur Folge haben; denn auch die stärkere Kraft kann nicht mehr bewirken, als dass alle in einer bestimmten Zeit erzeugten Ionen zur

Unterhaltung des Stromes während dieser Zeit verbraucht werden. Man hat dann den eigentümlichen Fall eines von der elektromotorischen Kraft unabhängigen Stromes, den man als den Sättigungsstrom bezeichnet.

Die Zahl der positiven oder der negativen Ionen, welche in 1 sec in einem ccm entstehen, die Ionisirungsstärke,[1]) möge durch q bezeichnet werden; Ω sei das Volumen des durch die Elektrodenplatten begrenzten Luftraumes. Dann ist $q\,\Omega$ die Zahl der positiven Ionen, die in 1 sec an der Kathode, die Zahl der negativen, die gleichzeitig an der Anode durch den Sättigungsstrom abgeschieden werden. Wir machen die schon in der Einleitung erwähnte, später ausführlicher zu begründende Annahme, dass die elektrostatische Ladung aller Ionen ihrem absoluten Betrag ε nach dieselbe sei; dann sind die Mengen von positiver und von negativer Elektrizität, die in einer Sekunde an der Kathode bezw. an der Anode abgeschieden werden, gleich $\varepsilon\,q\,\Omega$. Gerade so gross ist die Menge von positiver und von negativer Elektrizität, welche in einer Sekunde durch den Querschnitt der die Metallplatten mit den Polen der Säule verbindenden Drähte fliesst, d. h. die Stärke des Sättigungsstromes in elektrostatischem Masse. Bezeichnen wir diese durch $\mathfrak{C}$, so ist: $\mathfrak{C} = \varepsilon\,q\,\Omega$.

Den anderen extremen Fall erhält man, wenn die elektromotorische Kraft klein ist, so dass die Zahl der im Strome fortgeführten Ionen der Zahl der überhaupt vorhandenen gegenüber verschwindet. In diesem Falle sind die Verhältnisse bei dem durchstrahlen Gase ganz analog denen eines elektrolytischen Leiters. Der Strom ist der elektromotorischen Kraft proportional; das Verhältnis beider Grössen stellt das elektrische Leitvermögen dar, ganz wie bei einem Elektrolyten.

Wir müssen uns darauf beschränken, in diesem Falle die Resultate der theoretischen Untersuchung anzuführen. Das Leitvermögen der ionisierten Luft ist darnach, wie man übrigens von vornherein vermuten kann, proportional der Summe $U + V$

[1]) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. S. 43.

der absoluten Beweglichkeiten der positiven und der negativen Ionen, ausserdem proportional der Zahl und der elektrischen Ladung der in der Volumeinheit enthaltenen positiven oder negativen Ionen. Die elektromotorische Kraft der Säule, deren Pole mit den beiden Metallplatten verbunden sind, kann leicht gemessen werden, ebenso die Stärke des durch sie erzeugten Stromes; das Verhältnis beider Grössen gibt das Leitvermögen der ionisierten Luft. Bestimmt man ausserdem direkt die Gesamtladung aller zwischen den Elektrodenplatten vorhandenen Ionen, so lässt sich aus dem Leitvermögen die Summe $U+V$ der Ionenbeweglichkeiten berechnen.

Das Verhältnis der Beweglichkeiten, der Wert von V/U, kann aus einer Beobachtung über den Sättigungsstrom abgeleitet werden. Bei diesem häufen sich die negativen Ionen gegen die Anode, die positiven gegen die Kathode hin an. Es gibt aber in dem Zwischenraum eine Stelle, an welcher die Dichte der beiden Ionenarten gleich ist, an der sich keine räumliche elektrische Ladung findet. Diese Stelle verschiebt sich um so weiter nach der Anode, je grösser die Beweglichkeit der negativen Ionen im Vergleich mit der der positiven wird. Das Verhältnis der Abstände jener neutralen Stelle von den beiden Elektroden ist gleich dem Verhältnis der Beweglichkeiten. Ausser auf dem hierdurch gegebenen Wege hat man das Verhältnis der Beweglichkeiten noch auf andere Weisen bestimmt; doch würde es zu weit führen darauf einzugehen.

Aus den Werten von $U+V$ und V/U kann man dann die Zahlen U und V selber berechnen, die wir als Beweglichkeiten der Ionen bezeichnet haben. So ergab sich in trockener Luft für die absolute Beweglichkeit der positiven Ionen eine Zahl von $1{,}34 \cdot 10^{-8}$ cm in der Sekunde, für die der negativen die etwa $1^1/_2$ mal grössere Zahl von $1{,}93 \cdot 10^{-8}$ cm in der Sekunde. Diese Beweglichkeiten sind von derselben Ordnung wie bei den Flammenionen; sie sind etwa 500 mal grösser als die Beweglichkeit des Wasserstoffions in elektrolytischer Lösung. Der Grund des grossen Unterschiedes liegt nicht in der Natur der Ionen selber, sondern in der Verschieden-

heit der Reibungswiderstände, welche Luft und Wasser ihrer Bewegung entgegensetzen.[1])

In der Tat werden wir in den folgenden Abschnitten zeigen, dass zwischen den Ionen der Elektrolyte und den Ionen der Gase in einem Punkte vollkommene Übereinstimmung herrscht. Die Ladung elektrolytischer Ionen ist dieselbe wie die der Gasionen.

3. Die Ladung elektrolytischer Ionen.

Bei elektrolytischen Ionen lässt sich die Ladung leicht berechnen. Der Strom von 1 Ampère entwickelt in einer Sekunde 0,116 ccm Wasserstoff unter Atmosphärendruck und bei einer Temperatur von 0^0. Denken wir uns die Wasserstoffmoleküle in Wasserstoffionen zerlegt, so ergeben sich 0,232 ccm erfüllt von Wasserstoffionen. Der Strom von 1 Ampère führt aber in einer Sekunde 3 Milliarden elektrostatische Einheiten durch den Querschnitt des Leiters. Ebenso gross muss die Gesamtladung der Wasserstoffionen sein, die von dem Strome von 1 Ampère in einer Sekunde ausgeschieden werden. Daraus folgt für die Ladung eines ccm, das bei Atmosphärendruck und bei einer Temperatur von 0^0 mit Wasserstoffionen gefüllt ist, ein Betrag von 13 Milliarden elektrostatischer Einheiten. Um einen Anhaltspunkt für die Beurteilung dieser enormen Ladung zu geben, bemerke ich, dass man auf einer Siegellackschicht von 1 qcm Inhalt durch starke Reibung eine Ladung von etwa 6 Einheiten erzeugen kann.

Bei den Ionen der Luft oder anderen Gasen kann die Bestimmung der Ladung nur auf einem schwierigen Umwege erreicht werden, der uns zuerst zu der Untersuchung einer neuen Eigenschaft der Ionen, ihrer Diffusion, führt.

---

[1]) Wegen ausführlicher Nachweise der zu diesen und zu den folgenden Abschnitten gehörenden Litteratur sei verwiesen auf: Riecke, Lehrbuch der Physik. II. Aufl. 1902. II. Bd. S. 346. Stark, Elektrizität in Gasen. S. 243 ff.

4. Die Diffusion der Ionen.

Um zu verstehen, um was es sich dabei handelt, betrachten wir den folgenden Versuch. Zwischen zwei einander in kleinem Abstande gegenüberstehenden Platten lassen wir einen Strom ionisierter Luft durchstreichen; die Platten seien beide mit der Erde in leitender Verbindung; in ihrem Zwischenraume finde keine Neubildung von Ionen statt. Aus den Beobachtungen folgt, dass die Zahl der Ionen in dem Luftstrome um so kleiner wird, je weiter er in dem Zwischenraume der Platten vorrückt. Dabei wirken im allgemeinen drei verschiedene Ursachen zusammen. Einmal werden fortdauernd entgegengesetzt elektrische Ionen zu neutralen Molekülen sich verbinden. Zweitens können Ionen durch elektrische Kräfte gegen die Metallplatten getrieben werden; wenn sie mit ihnen zur Berührung kommen, verlieren sie ihre elektrische Ladung und verschwinden als Ionen. Die dritte und hauptsächlichste Ursache besteht in dem, was wir als Diffusion der Ionen bezeichnen. Zunächst werden Ionen, die sich in unmittelbarer Nähe der Platten befinden, einfach infolge ihrer molekularen Bewegung gegen die Platten stossen und verschwinden, ein Vorgang, den man als Adsorption[1]) der Ionen bezeichnet. Es bildet sich so eine Ungleichförmigkeit der Ionendichte in dem Zwischenraum der Platten aus; die Dichte wird an der Oberfläche der Platten sehr klein im Vergleiche mit der Dichte, wie sie in der Mitte zwischen den Platten vorhanden ist. Diese Unterschiede suchen sich auszugleichen; die Ionen wandern von der Mitte nach den Platten, wo sie bei der Berührung mit den Metallflächen verschwinden. Der Vorgang ist ganz ähnlich der Diffusion eines gelösten Stoffes in reinem Wasser. Wir bezeichnen daher auch die durch Konzentrationsunterschiede bedingte Bewegung der Ionen als Diffusion. Ihr Gesetz ist dasselbe wie das der Diffusion in einer Lösung. Es wird dadurch die Menge der Ionen bestimmt, die in einer Sekunde durch eine Fläche von einem qcm hindurchgehen, wenn diese senkrecht zu der Richtung des Diffu-

[1]) J. Stark, Die Elektrizität in Gasen. S. 373.

sionsstromes gestellt wird. Jene Menge ist nun nach dem Diffusionsgesetze gleich der Abnahme der Konzentration auf der Länge von 1 cm multipliziert mit einer konstanten Zahl, die man als den Diffusionskoëffizienten bezeichnet. Will man diesen Koëffizienten durch Beobachtungen an dem zwischen den Platten durchgehenden Luftstrome bestimmen, so muss man dafür sorgen, dass der Ionenverlust durch Wiedervereinigung und durch elektrische Feldwirkung verschwindet. Diess ist in der Tat der Fall, wenn man den Zwischenraum zwischen den Platten sehr eng macht. Man kann nun das elektrische Leitvermögen der durch den Zwischenraum der Platten streichenden Luft bestimmen, ehe sie in den Raum eintritt und nachdem sie ihn verlassen hat. Die Abnahme des Leitvermögens gibt Aufschluss über die Abnahme des Ionengehaltes. Diese aber ist eine Folge der Diffusion und man übersieht daher die Möglichkeit, den Diffusionskoëffizienten der Ionen aus den Beobachtungen zu berechnen. Auf diesem Wege ergibt sich, dass der Diffusionskoëffizient der positiven Ionen in trockener Luft 0,028, der der negativen 0,043 beträgt. Man kann dieses Ergebnis der Beobachtungen in folgender Weise ausdrücken: Wäre das Konzentrationsgefälle, die Abnahme der Ionendichte auf der Strecke von 1 cm gleich 1000, so würden in einer Sekunde 28 positive und 43 negative Ionen durch eine Fläche von 1 qcm in der Richtung des Gefälles hindurchgehen. Diese Beträge sind millionenmal grösser als die bei der Diffusion von Salzlösungen beobachteten, dagegen kleiner als die bei der gewöhnlichen Gasdiffusion vorkommenden.

5. Die Ladung der Gasionen.

Von dieser nicht zu vermeidenden Zwischenbetrachtung kehren wir nun zu der ursprünglichen Aufgabe, der Berechnung der Ionenladung zurück. Die Möglichkeit ihrer Lösung beruht auf einem Zusammenhange, der zwischen den Beweglichkeiten der Ionen und zwischen ihren Diffusionskoëffizienten besteht. Man kann nämlich die Gleichungen für die Bewegung der Ionen in einem elektrischen Felde und für ihre Diffusion

auf eine gemeinsame Form bringen. Bei beiden Vorgängen handelt es sich schliesslich um Geschwindigkeiten, die den Ionen durch auf sie wirkende Kräfte erteilt werden. Diese Kräfte sind das eine Mal elektrischer Natur, das andere Mal entspringen sie der Ungleichförmigkeit der Ionendichte. In beiden Fällen kann man die Gleichungen so schreiben, dass sie die Geschwindigkeit angeben, welche durch die Krafteinheit erzeugt wird. Der hiefür geltende Ausdruck hängt dann das eine Mal von den Beweglichkeiten, das andere Mal von den Diffusionskoëffizienten der Ionen ab. Setzt man die gefundenen Werte einander gleich, so ergibt sich die gesuchte Beziehung zwischen jenen Grössen. Man findet, dass die elektrische Ladung eines ccm, das bei normalen Verhältnissen des Druckes und der Temperatur von Ionen der einen oder der anderen Art erfüllt ist, aus dem Verhältnisse der Beweglichkeiten zu den Diffusionskoëffizienten sehr einfach zu berechnen ist. Man hat dieses Verhältnis nur mit der Lichtgeschwindigkeit und mit dem Atmosphärendrucke zu multiplizieren, um jene Ladung zu erhalten. Man findet dieselbe Zahl von 13 Milliarden elektrostatischer Einheiten wie früher bei den elektrolytischen Ionen. Man kann aus dieser Übereinstimmung den Schluss ziehen, dass auch die Ladung der einzelnen Gasionen dieselbe ist wie die der einzelnen elektrolytischen Ionen; denn die Zahl der in einem ccm enthaltenen Ionen muss unter den von uns gemachten Voraussetzungen in allen Fällen dieselbe sein. Jene Ladung würde also eine allen Ionen gemeinsame Naturkonstante darstellen, die wir als das elektrische Elementarquantum bezeichnen.

6. Das elektrische Elementarquantum.

Es liegt nahe noch einen Schritt weiter zu gehen, und die einem einzelnen Ion zukommende Ladung, das elektrische Elementarquantum, wirklich zu berechnen. Zu diesem Zwecke muss man die Zahl der Ionen kennen, die bei normalen Verhältnissen des Druckes und der Temperatur in einem ccm enthalten sein würden. Wir setzen voraus, dass

sich die Ionen so verhalten wie die Moleküle eines neutralen Gases. Nach dem Gesetze von Avogadro ist aber die Zahl der Moleküle, die bei gegebenen Verhältnissen des Druckes und der Temperatur in einem ccm enthalten sind, bei allen Gasen die gleiche. Nach unserer Voraussetzung gibt dieselbe Zahl auch an, wie viel Ionen unter den gegebenen Umständen in einem ccm enthalten sind. Die fragliche Zahl wurde zuerst von Loschmidt aus Betrachtungen abgeleitet, deren nicht allzu sichere Grundlagen der kinetischen Gastheorie angehören. Ein besserer Weg zur Bestimmung der Loschmidtschen Zahl wurde neuerdings von Planck aufgefunden. Er geht aus von dem Gesetze, durch welches die Strahlung eines schwarzen Körpers in ihrer Abhängigkeit von Temperatur und Wellenlänge dargestellt wird. Einer der konstanten Koëffizienten dieses Gesetzes ist mit der Zahl der Gasmoleküle oder der Ionen in einem ccm proportional. Der Wert des Koëffizienten kann aus den Strahlungsmessungen auf experimentellem Wege bestimmt werden; aus ihm folgt dann die Loschmidtsche Zahl. Wir können darnach annehmen, dass in einem ccm unter normalen Verhältnissen 28 Trillionen Gasmoleküle oder Ionen enthalten sind. Wir haben früher gefunden, dass die elektrische Ladung eines ccm, das mit Ionen der einen oder der anderen Art bei normalen Verhältnissen des Druckes und der Temperatur gefüllt ist, 13 Milliarden elektrischer Einheiten beträgt; für die Ladung eines einzelnen Ions, das elektrische Elementarquantum, ergibt sich hiernach ein Wert von 470 Billionstel elektrostatischer Einheiten.

7. Bestimmung des elektrischen Elementarquantums durch J. J. Thomson.

Das gefundene Resultat wurde auf eine sehr merkwürdige Art von J. J. Thomson bestätigt. Er benützte dabei eine Eigenschaft der Ionen, die bei den meteorologischen Prozessen der Atmosphäre eine wichtige Rolle spielt. Wenn Ionen in Luft sich befinden, die in gewissem Grade mit Wasserdampf übersättigt ist, so bilden sie Kerne, um welche der Wasserdampf

in Tröpfchen sich niederschlägt. Gelingt es also die unter diesen Umständen in einem gegebenen Luftraume gebildete Zahl von Wassertröpfchen zu bestimmen, so hat man damit zugleich die Zahl der Ionen. Die Zahl der Tröpfchen ergibt sich aus dem Gesamtgewichte des kondensierten Wasserdampfes einerseits, dem Gewichte des einzelnen Tröpfchens andererseits. Dieses letztere wurde auf eine sehr sinnreiche Weise ermittelt. Die mit Wasserdampf übersättigte Luft war in einem Glaskolben eingeschlossen; sie wurde durch Röntgenstrahlen ionisiert. Die Kondensation des Wasserdampfes erzeugt einen Nebel in dem Gefässe, der sich langsam zu Boden senkt. Die Geschwindigkeit, mit der diess geschieht, hängt von dem Gewichte der einzelnen Tröpfchen ab und es ist möglich aus der beobachteten Geschwindigkeit jenes Gewicht zu berechnen. Dividiert man das Gesamtgewicht des kondensierten Dampfes durch das Gewicht eines Tröpfchens, so erhält man die Zahl der Tröpfchen und damit auch die Zahl der gebildeten Ionen. Bestimmt man noch ihre ganze elektrische Ladung, so ergibt sich auch die des einzelnen Ions. Thomson fand hiefür einen Wert von 720 Billionstel elektrostatischer Einheiten. Bedenkt man die Schwierigkeiten der Messung, so muss man die Übereinstimmung mit dem vorher angegebenen Werte als eine befriedigende bezeichnen.

8. Die mechanische Masse der Gasionen und ihre molekulare Geschwindigkeit.

Durch die bisher geschilderten Untersuchungen sind unsere Anschauungen von der Natur der Gasionen zu einem gewissen Abschlusse gelangt; sie sind aber nicht so bestimmt wie unsere Kenntnisse von der Natur der elektrolytischen Ionen. Bei den letzteren kennen wir die chemische Konstitution; wir wissen, wie die neutralen Moleküle in Ionen sich spalten; wir kennen die Masse der elektrolytischen Ionen. Die chemische Natur der Gasionen ist der direkten Untersuchung bisher ebenso unzugänglich geblieben wie ihre Masse. Dagegen gewährt die kinetische Theorie der Gase die Möglichkeit, auf einem allerdings

unsicheren und umständlichen Wege eine gewisse Vorstellung von der Masse der Gasionen zu gewinnen. Ein erster wohlbegründeter Satz jener Theorie sagt aus, dass die lebendige Kraft der Gasmoleküle der absoluten Temperatur des Gases proportional ist. Haben verschiedene Gase gleiche Temperatur, so verhalten sich darnach die Quadrate der Geschwindigkeiten, mit denen sich die Gasmoleküle in ihren molekularen Bahnen bewegen, umgekehrt wie ihre Massen. Nun haben wir angenommen, dass auch die Ionen in gasförmigem Zustande sich befinden. Kennen wir ihre molekulare Geschwindigkeit, so kann das Verhältnis ihrer Masse zu der Masse der neutralen Gasmoleküle leicht berechnet werden. Es tritt damit ein neues Element in den Kreis unserer Interessen, die von der Beweglichkeit wohl zu trennende molekulare Geschwindigkeit der Ionen. Diese Geschwindigkeit hängt nun in verhältnismässig einfacher Weise mit dem Koëffizienten der Diffusion zusammen. Man wird es von vornherein wahrscheinlich finden, dass die Diffusion um so schneller vor sich geht, je grösser jene Geschwindigkeit ist. Es kommt aber noch ein anderer Umstand in Betracht. Bei ihrer Bewegung zwischen den Molekülen der Luft stossen die Ionen immer aufs neue mit Luftmolekülen zusammen; zwischen zwei Zusammenstössen bewegen sie sich in geraden Linien; jeder Zusammenstoss bewirkt eine Ablenkung aus der früheren Bewegungsrichtung und so besteht die Bahn des Ions ebenso wie die eines Gasmoleküls aus einzelnen geraden Stücken, die sich zickzackförmig an einander reihen. Die mittlere Länge dieser geraden Stücke nennen wir molekulare Weglänge der Ionen. Die Diffusion hängt auch von dieser Weglänge ab und zwar so, dass sie um so rascher fortschreitet, je grösser die Weglänge ist. In der Tat zeigt eine genauere Untersuchung, dass der Koëffizient der Diffusion gleich $^2/_9$ des Produktes aus molekularer Geschwindigkeit und Weglänge ist. Die Aufgabe die Geschwindigkeit zu ermitteln ist damit auf die Bestimmung der Weglänge reduziert.

Wir wissen aus der kinetischen Theorie der Gase, wie

gross die mittlere Weglänge der Luftmoleküle ist. In unserem Falle aber handelt es sich um die Weglänge der Ionen, die der Luft oder einem anderen neutralen Gase in verhältnismässig kleiner Zahl beigemischt sind. Mit Hilfe einer von Maxwell aufgestellten Formel ist es möglich die Weglänge der Ionen mit der der Luftmoleküle zu vergleichen. Der Faktor aber, mit dem die letztere zu multiplizieren ist, um die Weglänge der Ionen zu erhalten, hängt nicht bloss selber wieder von der Molekulargeschwindigkeit der Ionen ab, sondern enthält überdiess noch eine neue unbekannte Grösse, den Molekulardurchmesser der Ionen, genauer gesagt das Verhältnis dieses Durchmessers zu dem Durchmesser der Luftmoleküle. Es bleibt also nichts übrig, als für dieses Verhältnis willkürlich eine Reihe verschiedener Annahmen zu machen und für jede derselben die Rechnung durchzuführen. Aus dem Ergebnisse der Rechnung kann man mit ziemlicher Sicherheit die folgenden qualitativen Schlüsse ziehen: Die Weglänge der Ionen ist kleiner als die Weglänge der Luftmoleküle, ebenso ihre molekulare Geschwindigkeit; die Masse der Ionen aber ist grösser als die Masse der Luftmoleküle.

Aus dem letzteren sehr überraschenden Ergebnisse folgt, dass mit der Spaltung neutraler Luftmoleküle in positive und negative Ionen eine Bildung komplexer Moleküle Hand in Hand gehen muss. Vergleichen wir die Eigenschaften der positiven und der negativen Ionen, so ergeben sich die folgenden Sätze: Die Weglänge der negativen Ionen ist grösser als die der positiven, ebenso ihre molekulare Geschwindigkeit; die Masse der negativen Ionen ist kleiner als die der positiven. Über diese qualitativen Resultate kann man nur hinauskommen, wenn man noch eine weitere hypothetische Annahme hinzufügt. Man kann z. B. annehmen, dass das Verhältnis zwischen Masse und Volumen bei den Ionen dasselbe sei wie bei den Molekülen der Luft; dann findet man, dass die Masse der positiven Ionen dreimal, die der negativen zweimal so gross ist als die der Luftmoleküle. Gleichzeitig ergibt sich für die molekulare Geschwindigkeit der positiven Ionen ein

Wert von 280 Metern in der Sekunde, für die der negativen ein Wert von 340 Metern.[1])

9. Ionisierung durch Kathodenstrahlen.

Wir wenden uns nun zu Untersuchungen, durch welche die Ergebnisse der bisherigen Betrachtung nach einer ganz anderen Seite hin ergänzt werden. Als Quellen der Ionisierung haben wir bisher nur die Flammen und die Röntgenstrahlen kennen gelernt. Es gibt aber noch eine Reihe anderer Vorgänge, durch welche in einem neutralen Gase Ionen erzeugt werden.

Bei der Ionenbildung in Flammen kann die Ursache der Erscheinung in den chemischen Prozessen liegen, die sich in der Flamme abspielen; die Ionisierung kann auch eine einfache Folge der erhöhten Temperatur sein. Für die letztere Auffassung spricht der Umstand, dass die Luft auch durch erhitzte Metalle ionisiert werden kann.

Eine sehr wichtige Beobachtung, welche nach verschiedenen Seiten hin aufklärend gewirkt und eine neue Quelle der Ionisierung aufgedeckt hat, verdanken wir Lenard. Es gelang ihm zunächst die Kathodenstrahlen, die in hochevakuierten Geisslerschen Röhren von der negativen Elektrode ausgesandt werden, in die freie Luft austreten zu lassen. Es beruht diess auf der Fähigkeit jener Strahlen dünne Metallschichten z. B. Aluminiumblatt zu durchdringen. Man verschliesst die Geisslersche Röhre auf der der Kathode gegenüberliegenden Seite mit einer Metallplatte, die in der Mitte eine kleine Oeffnung hat; diese wird mit einem Aluminiumblatt überdeckt. Man lässt nun aus diesem Aluminiumfenster Kathodenstrahlen in die Luft austreten. Stellt man vor das Fenster ein geladenes Elektroskop, so wird dieses entladen gleichgültig, welches das Zeichen der ihm mitgeteilten Elektrizität ist. Die Wirkung beruht darauf, dass die Kathodenstrahlen in der Luft Ionen erzeugen. Die

---

[1]) Riecke, Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, math.-phys. Kl. 1903. Heft II.

Kathodenstrahlen selber bestehen aus negativ elektrischen Teilchen, Elektronen, deren Masse überaus klein, etwa 2000 Mal kleiner als die eines Wasserstoffatomes ist. Durch die abstossenden Kräfte, die von der negativen Ladung der Kathode ausgehen, werden sie von der letzteren gelöst und erlangen in dem vor der Kathode sich ausbreitenden elektrischen Felde eine sehr grosse der Lichtgeschwindigkeit sich nähernde Geschwindigkeit. Durch ihren Stoss zerlegen sie die Moleküle der Luft in positiv und negativ elektrische Bestandteile; diese müssen sich dann wieder mit neutralen Molekülen der Luft verbinden, um die Ionen zu bilden, welche, wie wir gesehen haben, ein grösseres Gewicht als die Moleküle der Luft besitzen.

10. Ionisirung durch ultraviolette Strahlen.

Die ionisierende Wirkung der Kathodenstrahlen erklärt in überraschender Weise eine andere von Hallwachs entdeckte Tatsache. Wenn man eine negativ geladene Metallplatte mit ultraviolettem Lichte bestrahlt, so verliert sie ihre Ladung sehr schnell. Bei positiver Ladung tritt keine Änderung in den Verhältnissen der Zerstreuung ein. Lenard hat gezeigt, dass die Erscheinung nicht durch eine unmittelbare Wirkung des ultravioletten Lichtes erzeugt wird. Die primäre Wirkung besteht darin, dass die in der Platte absorbierten Lichtstrahlen Kathodenstrahlen aus dem Metalle entwickeln. Diese führen negative Elektrizität mit sich fort und bedingen dadurch die rasche Zerstreuung der Ladung. Dazu trägt aber noch ein zweiter Umstand bei; die Elektronen, die sich von dem Metalle lösen, stossen auf die Moleküle der Luft und erzeugen positive und negative Ionen. Die positiven werden von der negativ elektrischen Metallplatte angezogen und neutralisieren einen Teil ihrer Ladung. Die negativen Ionen werden abgestossen und entfernen sich von der Platte, bis sie ihre Ladung an irgend welche in der Umgebung befindliche Konduktoren abgeben.

Aus den Beobachtungen von Lenard folgt noch eine andere wichtige Tatsache. Die ionisierende Wirkung von Kathodenstrahlen, die aus einer negativ geladenen Metallplatte

durch Belichtung in einem luftverdünnten Raum entwickelt werden, hört auf, wenn die Spannung der Platte weniger als 11 Volt beträgt. Die Geschwindigkeit, welche die Elektronen unter diesen Umständen erreichen, ist etwa 200 Mal kleiner als die Lichtgeschwindigkeit. Bei noch kleineren Geschwindigkeiten sind also die Elektronen nicht mehr imstande die neutralen Moleküle der Luft in Ionen zu zerlegen.

11. Ionisierung durch Becquerelstrahlen; Becquerelstrahlen und Kathodenstrahlen.

Auf die im vorhergehenden betrachtete Eigenschaft der Kathodenstrahlen reduziert sich noch eine Erzeugungsart der Ionen, die für uns von hervorragendem Interesse ist, die Erzeugung der Ionen durch Becquerelstrahlen. Die Entdeckung dieser Strahlen knüpft sich zuerst an eine von Becquerel beobachtete Tatsache: das metallische Uran besitzt die Fähigkeit geladene Konduktoren, die in seine Nähe gebracht werden, ihrer Elektrizität zu berauben. Es zeigte sich, dass diese Eigenschaft nicht dem Uran selber zukommt, sondern gewissen Metallen, die allerdings in verschwindender Menge in den Uranerzen sich finden. Man hat insbesondere von zwei solchen Metallen Verbindungen in annähernder Reinheit dargestellt, von dem Radium und dem Polonium. Das erste ist in seinen chemischen Reaktionen nahezu identisch mit dem Baryum, der zweite mit dem Wismuth. Ausser in den Erzen des Urans finden sich diese Metalle auch in thorhaltigen Mineralien. Körper, welche wie das Radium und das Polonium die Eigenschaft haben geladene Konduktoren zu entladen, nennen wir radioaktiv. Die weitere Untersuchung hat gezeigt, dass die radioaktiven Substanzen Strahlen aussenden, die im wesentlichen identisch sind mit den Kathodenstrahlen. Wie diese erregen sie Fluoreszenz und besitzen photographische Wirkungen; wie diese erzeugen sie Ionen und darauf beruht ihre entladende Wirkung; sie unterscheiden sich aber von den Kathodenstrahlen durch die sehr viel grössere Geschwindigkeit, mit der sich die Elektronen in ihnen bewegen. Nach den Messungen von

Kaufmann steigt diese von 80 bis auf 95 Prozent der Lichtgeschwindigkeit. Zugleich hat sich aber noch ein anderes höchst überraschendes Resultat ergeben. Bei den Kathodenstrahlen ist die Masse der sie bildenden Elektronen konstant d. h. unabhängig von ihrer Geschwindigkeit; bei den Becquerelstrahlen dagegen wird diese Masse um so grösser, je grösser ihre Geschwindigkeit ist. Diese Veränderlichkeit der Masse widerspricht einem fundamentalen Prinzipe der Physik. Abraham hat den Widerspruch durch eine mit den Beobachtungen gut übereinstimmende Theorie in folgender Weise gehoben. Die Elektronen besitzen nach ihm überhaupt keine Masse in dem gewöhnlichen mechanischen Sinne. Sie erzeugen aber durch ihre Bewegung elektrische und magnetische Veränderungen in dem sie umgebenden Felde; diese wirken auf die bewegten Elektronen zurück mit einer Kraft, die der Beschleunigung proportional und der Bewegungsrichtung entgegengesetzt ist. So kommt es, dass die Elektronen sich bewegen, als ob sie mechanische Masse besässen; aber diese Masse ist abhängig von der Geschwindigkeit und von den elektromagnetischen Eigenschaften des die Elektronen umgebenden Raumes, sie ist nicht mechanischer sondern elektromagnetischer Natur. Körper, welche Becquerelstrahlen aussenden, verlieren hiernach nichts von ihrer ponderabeln Masse. Betrachten wir die negative Elektrizität als einen Bestandteil des Äthers, so stellen sich Kathodenstrahlen und Becquerelstrahlen als reine Vorgänge in diesem dar, als Vorgänge, die man dem Fortschreiten eines Wirbels in einer Flüssigkeit vergleichen kann. Es unterliegt keinem Zweifel, dass man damit der Wellentheorie der Kathodenstrahlen, wie sie von Hertz bevorzugt worden war, wieder näher gerückt ist.

12. Induzierte Radioaktivität.

Wir sind durch die letzten Betrachtungen über das gesteckte Ziel hinaus geführt worden, kehren aber nun zu der Untersuchung der Becquerelstrahlen zurück, um den früheren Bericht in einigen Punkten zu ergänzen. Zunächst ist zu bemerken, dass die Eigenschaft Becquerelstrahlen auszusenden nicht

an einen bestimmten Aggregatzustand gebunden ist. Herr und Frau Curie, denen zuerst die Darstellung von Radiumsalzen in annähernder Reinheit gelungen ist, haben aus Radiumpräparaten aktive Gase entwickelt. Als ein weiteres bemerkenswertes Ergebnis führen wir an, dass Körper, die sich in der Nähe von Radiumpräparaten befinden, selber vorübergehend radioaktiv werden. Man bezeichnet die so erzeugte Aktivität als eine induzierte. Es handelt sich dabei nicht um eine unmittelbare Wirkung der Strahlen; denn der Erfolg tritt auch ein, wenn die zu aktivierenden Körper gegen direkte Strahlung geschützt sind. Man kann daran denken, dass zunächst in der Luft ein radioaktives Gas entstehe und dass dieses die damit zur Berührung gelangenden Körper aktiv mache.

Eine wichtige auf diese Verhältnisse bezügliche Beobachtung wurde von Rutherford gemacht. Er lud einen in der Nähe eines Thoriumpräparates befindlichen Draht mit negativer Elektrizität. Der Draht wurde dann radioaktiv. Rutherford löste die Oberflächenschicht des Drahtes in Salzsäure; wurde die Lösung eingedampft, so war der trockene Rückstand viel stärker radioaktiv als die Thorerde selber.

Elster und Geitel fanden, dass der Rutherfordsche Versuch auch in Luft gelingt. Wenn man einen Draht in Luft ausspannt, ihn negativ lädt und ein par Stunden exponiert, so wird er radioaktiv. Man kann die aktive Oberflächenschichte mit einem Lederlappen abwischen; sie wird dann auf eine verhältnismässig kleine Fläche konzentriert und kann nun auch durch die photographische Wirksamkeit der von ihr ausgesandten Strahlen nachgewiesen werden. Aus dem Versuche folgt, dass die radioaktiven Bestandteile der Luft, welche auf dem negativ elektrischen Drahte sich sammeln, selber positiv elektrisch sind.

Positive Ladung des ausgespannten Drahtes erzeugt nach den Versuchen von Elster und Geitel nur eine sehr schwache Aktivität.

13. Die Wiedervereinigung der Ionen und ihre maximale Dichte.

Wir haben schon darauf hingewiesen, dass der Bildung der Ionen eine fortwährende Wiedervereinigung ungleichnamiger Ionen zu neutralen Molekülen gegenübersteht. Man kann annehmen, dass die Zahl der Ionen, die sich im Laufe einer bestimmten Zeit, etwa in einer Sekunde, mit einander verbinden, den Zahlen der vorhandenen positiven und negativen Ionen proportional ist. Wir bezeichnen die Dichte der positiven Ionen mit $\overset{+}{n}$, die Dichte der negativen mit $\overset{-}{n}$ und verstehen unter α eine konstante Zahl; die Zahl der neutralen Moleküle, die sich in dem Raume eines ccm in einer Sekunde bilden, die Zahl der positiven oder negativen Ionen, die in diesem Raume in einer Sekunde verschwinden, kann dann ausgedrückt werden durch $\alpha \overset{+}{n} \overset{-}{n}$. Die Konstante α bezeichnen wir als die Konstante der Wiedervereinigung.

Eine Methode zur experimentellen Bestimmung von α ergibt sich aus der folgenden Betrachtung. Ein bestimmtes Volumen Luft werde durch Röntgenstrahlen ionisiert. Von dem Momente an, in dem ihre Wirkung beginnt, nimmt die Zahl der gebildeten Ionen zunächst zu. Aber nach kurzer Zeit stellt sich ein Gleichgewichtszustand her, bei dem in jeder Sekunde ebensoviel Ionen entstehen wie verschwinden. Die Zahl der vorhandenen Ionen hat dann ihren maximalen Betrag erreicht. Wir bezeichnen die Zahl der in einer Sekunde gebildeten positiven oder negativen Ionen, die Ionisierungsstärke, mit q. Vor der Einwirkung der Röntgenstrahlen habe die Luft weder positive noch negative Ionen enthalten; beide Arten von Ionen sind dann notwendig in gleicher Zahl vorhanden, wir haben $\overset{+}{n} = \overset{-}{n} = n$. Die Bedingung für den Gleichgewichtszustand ist:

$$q = \alpha n^2.$$

Die Zahl von Ionen, die in dem ganzen gegebenen Luftraume in einer Sekunde gebildet werden, sei Q, die ganze Zahl von

positiven oder von negativen Ionen, die im Gleichgewichtszustande vorhanden sind, N; das Volumen des von den Röntgenstrahlen durchleuchteten Raumes sei Ω, dann ist:

$$Q = \Omega q, \qquad N = \Omega n, \text{ und } \Omega Q = a N^2.$$

Bestimmt man die Werte von Q, N und Ω, so kann man mit Hilfe dieser Gleichung die Konstante a der Wiedervereinigung berechnen.

Nach dem hierdurch gegebenen Prinzipe hat Mc. Clung[1]) eine Bestimmung der Konstanten a ausgeführt. Das Volumen der ionisierten Luft war $\Omega = 479$ ccm. Er fand ferner:

$$Q = \frac{4{,}22}{\varepsilon}, \qquad N = \frac{0{,}77}{\varepsilon},$$

wo ε das im sechsten Abschnitte angegebene elektrische Elementarquantum bedeutet. Aus diesen Angaben folgt:

$$a = 3380 \cdot \varepsilon$$

oder, wenn wir für ε den früher angegebenen Wert $\varepsilon = 4{,}7 \cdot 10^{-10}$ setzen,

$$a = 1{,}6 \cdot 10^{-6}.$$

Für die Ionisierungsstärke und für die maximale Dichte der Ionen ergeben sich die Werte:

$$q = 19 \cdot 10^6, \qquad n = 3{,}4 \cdot 10^6.$$

Allgemein gilt für das Verhältnis der maximalen Dichte zu der Ionisierungsstärke der Ausdruck:

$$\frac{n}{q} = \frac{1}{\sqrt{a q}}.$$

Je nachdem q grösser oder kleiner ist als $0{,}62 \cdot 10^6$, ist n kleiner oder grösser als q.

Weitere wichtige Beziehungen zwischen den Grössen q, n und a ergeben sich aus der Geschwindigkeit, mit der die Ionen

[1]) Philos. Mag. 1902. Ser. 6. Bd. 3. S. 283.

verschwinden, wenn die Wirkung der Röntgenstrahlen plötzlich unterbrochen wird. Die Zeit T, innerhalb deren die Ionendichte auf die Hälfte ihres ursprünglichen Betrages, d. h. auf $\frac{1}{2}\sqrt{\frac{q}{\alpha}}$ sinkt, ist gegeben durch:

$$T = \frac{1}{\sqrt{\alpha q}}.$$

daraus folgt weiter für das Verhältnis zwischen maximaler Ionendichte und Ionisierungsstärke:

$$\frac{n}{q} = T.$$

Ist T kleiner als eine Sekunde, so ist auch n kleiner als q und umgekehrt.

Bei der Ionisierung von atmosphärischer Luft durch Röntgenstrahlen erhielt Rutherford für T einen Wert von 0,29 sec. Benützt man für α die von Mc. Clung ermittelte Zahl, so wird unter den Verhältnissen des Rutherfordschen Versuches:

$$q = 7{,}5 \cdot 10^6 \quad \text{und} \quad n = 2{,}2 \cdot 10^6,$$

Grössen von derselben Ordnung wie bei den Beobachtungen von Mc. Clung.

14. Ionen in der freien Atmosphäre.

Die bekannte Erscheinung der Elektrizitätszerstreuung, des allmäligen Verschwindens der einem Konduktor erteilten Ladung, pflegte man früher als eine Wirkung der in der Luft suspendierten Staubteilchen und Nebeltröpfchen zu erklären. Nun fanden aber Elster und Geitel, dass die Zerstreuung im Widerspruche zu dieser Vorstellung im allgemeinen um so kleiner ist, je mehr die Luft von Nebel und Staub erfüllt ist. Sie schlossen daraus, dass die Zerstreuung durch Ionen verursacht wird, die in der freien atmosphärischen Luft vorhanden sind. Von einem elektrischen Körper werden die mit ihm ungleichnamigen Ionen angezogen; sie geben ihre

Ladung an den Körper ab und neutralisieren mit der Zeit seine Elektrizität. Diese Vorstellung gibt nun Veranlassung zu zwei verschiedenen Reihen von Untersuchungen. Man wird einmal zeigen müssen, wie die Erscheinungen der atmospärischen Elektrizität aus den Eigenschaften der Ionen sich erklären, wie diese Eigenschaften durch Beobachtungen über atmosphärische Elektrizität bestimmt werden können. Auf der anderen Seite wird man nach den Quellen der Ionisierung zu suchen haben. Denn wenn die Ionen einen beständigen Teil der atmosphärischen Luft bilden, so muss auch eine ununterbrochen wirkende Ursache der Ionisierung vorhanden sein.

Was die erste Aufgabe, die Bestimmung der Eigenschaften der atmosphärischen Ionen, anbelangt, so erscheint als die wichtigste die Ermittelung ihrer Dichte, die Ermittelung der Zahl von positiven und von negativen Ionen, die sich in einem ccm Luft befinden. Diese Aufgabe wird gelöst durch den von Ebert konstruierten Aspirationsapparat. Man könnte annehmen, dass damit die ganze Frage erledigt sei, da ja die übrigen Eigenschaften der Ionen: Beweglichkeit, Diffusionskoëffizient, molekulare Geschwindigkeit und Masse ganz unabhängig von luftelektrischen Beobachtungen bestimmt werden können. Allein man darf die Ergebnisse, welche im Laboratorium mit trockener staubfreier Luft erhalten wurden, nicht ohne weiteres auf die freie atmosphärische Luft übertragen. Vielmehr scheint es wünschenswert die Eigenschaften der atmosphärischen Ionen für sich zu untersuchen. Von den Beobachtungen, die man zu diesem Zwecke benützen kann, wird in den folgenden Abschnitten die Rede sein.

In der Frage nach der Ursache der Ionisierung der atmosphärischen Luft bieten sich zwei verschiedene Möglichkeiten dar. Es kann sich um eine spontane Dissoziation neutraler Moleküle in positive und negative Ionen handeln ähnlich wie bei der Dissoziation der Elektrolyte. Die Ionisierung kann aber auch durch äussere Ursachen bedingt sein. Man wird dabei in erster Linie an radioaktive Substanzen denken. Die letztere Annahme wird insbesondere durch die Untersuchungen

von Elster und Geitel sowie von Ebert über die radioaktiven Eigenschaften der im Boden enthaltenen Luft gestützt. Möglich ist natürlich auch, dass beide Ursachen zusammenwirken. Die spontane Ionisierung würde sich dann auf alle Teile der Atmosphäre erstrecken, eine verstärkte Ionisierung überall da auftreten, wo radioaktive Substanzen auf die atmosphärische Luft wirken.

15. Elektrizitätszerstreuung in der Atmosphäre.

Die Methode, nach der wir die Elektrizitätszerstreuung in der atmosphärischen Luft messen, ist von Elster und Geitel ausgearbeitet worden. Man benützt dabei ein Aluminiumblattelektroskop, in dessen Innerem nur ein äusserst kleiner Elektrizitätsverlust stattfindet. Auf die metallene Säule, die zu ihren beiden Seiten die Aluminiumblätter trägt, setzt man mit Hilfe eines dünnen Stiftes einen Metallzylinder, den Zerstreuungskörper. Man lädt Körper und Elektroskop mit dem positiven oder dem negativen Pole einer Zumbonischen Säule und beobachtet dann die zeitliche Abnahme der Ladung. Dabei lässt man den Zerstreuungskörper entweder frei in der Luft oder man umgibt ihn mit einem zur Erde abgeleiteten Schutzzylinder, dessen obere Öffnung durch einen Deckel geschlossen wird. Im ersten Falle ist der Zerstreuungskörper elektrischen Störungen in der Umgebung oder in der Atmosphäre ausgesetzt, im zweiten Falle ist er davon frei.

Hat der Zerstreuungskörper zu irgend einer Zeit eine Ladung $\mathfrak{e}$ und nimmt die Ladung in einer Minute um den Betrag $\delta\mathfrak{e}$ ab, so nennt man das prozentisch berechnete Verhältnis:

$$100\frac{\delta\mathfrak{e}}{\mathfrak{e}}$$

den Zerstreuungskoëffizienten. Bei einer positiven Ladung bezeichnet man den Zerstreuungskoëffizienten mit $\overset{+}{a}$, bei einer negativen mit $\overset{-}{a}$. Als ein wichtiges Resultat der Beobachtungen möge angeführt werden, dass an der Oberfläche der Erde die

Zerstreuung negativer Ladungen im ganzen stärker ist als die positiver. Man pflegt anzunehmen, dass im Mittel $\frac{-a}{+a}$ etwa gleich 1,1 sei; die Beobachtungen, welche Dr. Cuomo[1]) auf Capri von November 1901 bis Februar 1903 angestellt hat, geben im Mittel $\frac{-a}{+a} = 1{,}010$, also einen viel kleineren Einfluss des Vorzeichens.

16. Über die Theorie der Elektrizitätszerstreuung.

I. Die Theorie der Zerstreuung kann nur in sehr wenigen Fällen in einfacher Weise entwickelt werden. Findet die Zerstreuung in freier ruhend gedachter Atmosphäre statt, so tritt kein stationärer Zustand ein. Zwar kann man die Geschwindigkeiten, welche den Ionen durch eine bestimmte Ladung des Zerstreuungskörpers erteilt werden, für jede Stelle des umgebenden Raumes berechnen; aber zu der durch elektrische Kräfte erzeugten Verschiebung kommt noch die Diffusionsbewegung hinzu; die Ionendichte hängt ausser von diesen Vorgängen noch von Neubildung und Wiedervereinigung ab. Sie verändert sich nicht nur von Ort zu Ort sondern auch von Zeit zu Zeit.

II. Einfacher gestalten sich die Verhältnisse, wenn sich der Zerstreuungskörper im Inneren eines vollkommen geschlossenen Raumes befindet. Bei der Entwickelung der Theorie wird man sich auf die Betrachtung eines Zeitraumes beschränken, innerhalb dessen die Ladung des Zerstreuungskörpers als unverändert betrachtet werden kann. Besitzt die Ladung eine hinreichende Grösse, so erhält man eine stationäre Strömung, im einfachsten Falle einen Sättigungsstrom. In diesem Falle ist die Abnahme, welche die Ladung des Zerstreuungskörpers in einer Minute erleidet, gleich der gesamten Ladung der positiven oder der negativen Ionen, welche in jener

[1]) Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, math.-phys. Kl. 1902. Heft 3 u. 6. 1903. Heft 3.

Zeit in dem Zerstreuungsraume entstehen, also $\delta \mathfrak{e} = 60\, q\, \varepsilon\, \Omega$, wobei wir dieselben Bezeichnungen benützen, wie im zweiten Abschnitte. Für den Zerstreuungskoëffizienten ergibt sich:

$$a = 100 \frac{\delta \mathfrak{e}}{\mathfrak{e}} = \frac{6000\, q\, \varepsilon\, \Omega}{\mathfrak{e}},$$

er ist der Ladung des Zerstreuungskörpers umgekehrt proportional und hat bei positiver und bei negativer Elektrisierung denselben Wert, wenn nur der absolute Betrag der Ladungen derselbe ist.

Versuche über Zerstreuung in einem geschlossenen Raume sind insbesondere von Harms[1]) angestellt worden. Er erhielt aus seinen Betrachtungen für die Ionisierungsstärke den Wert:

$$q = 28.$$

Auf grund einer etwas anderen Berechnung[2]) habe ich aus denselben Beobachtungen den Wert $q = 43$ abgeleitet. Es handelt sich also auf alle Fälle um Beträge, die unvergleichlich kleiner sind als die bei der Wirkung von Röntgenstrahlen beobachteten Ionisierungsstärken. Das Volumen des den Zerstreuungskörper umschliessenden Raumes betrug bei den Versuchen von Harms 17000 ccm, die ursprüngliche Ladung 0,52 elektrostatische Einheiten. Für den entsprechenden Zerstreuungskoëffizienten findet man den verhältnismässig hohen Wert $a = 3{,}9$.

III. Ein zweiter Fall, in dem das Problem der Zerstreuung eine einfache Lösung zulässt, ist gegeben durch einen Zerstreuungskörper, der sich in einer gleichförmig strömenden, unbegrenzten Luftmasse befindet. Hier lassen sich die Verhältnisse schon bei mässigen Windgeschwindigkeiten so einrichten, dass der Einfluss von Neubildung und Wiedervereinigung der Ionen vernachlässigt werden kann. Die Zerstreuung ist dann unabhängig von der Windgeschwindigkeit, aber verschieden je nach dem der Zerstreuungskörper positiv oder negativ geladen ist. Verstehen wir unter c die Geschwindigkeit des

[1]) Physikalische Zeitschrift. 4. Jahrg. S. 11.

[2]) Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, math.-phys. Kl. 1903. Heft 1.

Lichtes, unter ε das elektrische Elementarquantum, unter U und V die absoluten Beweglichkeiten, unter $\overset{+}{n}$ und $\overset{-}{n}$ die Dichten der positiven und der negativen Ionen, so ergeben sich für die Zerstreuungskoëffizienten einer positiven und einer negativen Ladung, die Ausdrücke:[1])

$$\overset{+}{a} = 2400\,\pi \cdot c\,\varepsilon\,V\overset{-}{n},$$
$$\overset{-}{a} = 2400\,\pi \cdot c\,\varepsilon\,U\overset{+}{n}.$$

Daraus folgt weiter: $\dfrac{\overset{-}{a}}{\overset{+}{a}} = \dfrac{U\overset{+}{n}}{V\overset{-}{n}}$.

IV. Wenn man, wie üblich, die Zerstreuungskoëffizienten bestimmt, während der Zerstreuungskörper von dem Schutzzylinder umgeben ist, so hat man mit komplizierten Verhältnissen zu tun, die eine strenge Theorie des Versuches unmöglich machen.

Man könnte zunächst die Vermutung aufstellen, dass der Schutzzylinder annähernd wie ein geschlossenes Gefäss wirke, dass man also mit Bewegungen der Ionen zu rechnen habe, die sich dem Zustande des Sättigungsstromes nähern. Die Vermutung wird widerlegt durch die Tatsache, dass die Beobachtungen im allgemeinen eine wesentliche Verschiedenheit der Zerstreuung bei positiver und bei negativer Ladung ergeben, während bei dem gewöhnlichen Sättigungsstrome die Zerstreuung von dem Vorzeichen der Ladung unabhängig ist.

Man kann weiter fragen, ob nicht die Formel des vorhergehenden Abschnittes mit einigem Rechte auf die mit dem Zerstreuungsapparat von Elster und Geitel erhaltenen Werte angewandt werden dürfen. In der Tat kann man wohl annehmen, dass jene Formeln auch bei unregelmässiger Bewegung der Luft giltig bleiben, so fern dabei nur immer neue Luftmengen an den Zerstreuungskörper herangeführt werden. Inwieweit aber

[1]) Riecke, Nachrichten der K. Gesellschaft der Wissenschaften in Göttingen, math.-phys. Kl. 1903. Heft 1.

diese Bedingung bei den einzelnen Beobachtungen mit dem Zerstreuungsapparat erfüllt wird, inwieweit ausserdem die Diffusion eine wesentliche Rolle spielt, entzieht sich der Beurteilung. Die Anwendung der angeführten Formeln auf diese Beobachtungen ist daher von etwas zweideutiger Natur.

Unter ausdrücklichem Hinweise auf das Hypothetische des Verfahrens möge die Anwendung der Formeln an einem Beispiele erläutert werden. Aus den Beobachtungen von Dr. Cuomo ergibt sich für Capri ein Mittel:

$$\overset{+}{a} = 2{,}912, \qquad \overset{-}{a} = 2{,}942.$$

Setzen wir diese Werte in den Formeln:

$$\overset{+}{a} = 24000\,\pi \cdot c\,\varepsilon\,V\overset{-}{n}, \qquad \overset{-}{a} = 24000\,\pi \cdot c\,\varepsilon\,U\overset{+}{n}$$

ein, so ergibt sich:

$$U\overset{+}{n} = 278 \cdot 10^{-8}, \qquad V\overset{-}{n} = 274 \cdot 10^{-8}.$$

Wären $\overset{+}{n}$ und $\overset{-}{n}$ nach der Methode von Ebert bestimmt, so würden sich aus diesen Gleichungen die absoluten Beweglichkeiten der atmosphärischen Ionen berechnen lassen. Da solche Beobachtungen fehlen so wollen wir probeweise den umgekehrten Weg einschlagen. Wir benützen für U und V die Werte $1{,}29 \cdot 10^{-8}$ und $1{,}51 \cdot 10^{-8}$, die sich aus Laboratoriumsversuchen für feuchte Luft ergeben haben. Dann folgt aus den vorhergehenden Gleichungen:

$$\overset{+}{n} = 216, \qquad \overset{-}{n} = 181.$$

Es ergibt sich also, dass auf Capri die mittlere Dichte der positiven Ionen erheblich grösser ist wie die der negativen.

17. Das elektrische Feld der Erde.

Aus den elektrischen Wirkungen, die wir an der Oberfläche der Erde beobachten, folgt, dass die Oberfläche der Erde der Regel nach eine negative Ladung besitzt. Die Dichte δ dieser Oberflächenladung ist mit der gegen die Erdoberfläche

gerichteten elektrischen Kreise $\mathfrak{E}$ durch die Beziehung $\mathfrak{E} = 4\pi\delta$ verbunden. Um die Kraft $\mathfrak{E}$ zu erhalten wird man die Potentialdifferenz zwischen einem in der Höhe von z cm über dem Erdboden liegenden Punkte und zwischen dem Erdboden selbst mit Hilfe eines Elektrometers bestimmen. Die Differenz sei gleich V Volt. Für die Höhendifferenz von 1 cm beträgt dann die Zunahme des Potentiales, der Potentialgradient, $\frac{V}{z}$ Volt. Die elektrostatische Kraft $\mathfrak{E}$ berechnet sich daraus nach der Formel:

$$\mathfrak{E} = \frac{1}{300} \cdot \frac{V}{z}.$$

Für Wolfenbüttel ergibt sich aus den Beobachtungen von Elster und Geitel im Mittel:

$$\frac{V}{z} = 2{,}21 \text{ Volt},$$

somit $\mathfrak{E} = 0{,}0074$ und $\delta = -0{,}00059$ elektrostatische Einheiten pro qcm.

In der Atmosphäre selbst kommt ausser der Wirkung der Oberflächenladung der Erde noch die der atmosphärischen Ionen hinzu. Nun ist die Dichte der positiven Ionen in den der Erdoberfläche benachbarten Schichten der Atmosphäre im allgemeinen grösser als die der negativen. Die Kraft $\mathfrak{E}$, mit der die Einheit der positiven Elektrizität nach der Oberfläche der Erde getrieben wird, nimmt also mit der Erhebung über den Erdboden ab. Die Abnahme der Kraft auf der Längeneinheit, ihr Gradient, hängt nach einem bekannten Satze mit der Dichte der räumlichen Ladung dor Atmosphäre zusammen. Diese aber ist gleich dem elektrischen Elementarquantum ε multipliziert mit dem Ueberschuss der Dichte der positiven Ionen über die der negativen. Man findet so die Beziehung:

$$\frac{d\mathfrak{E}}{dz} = -4\pi\varepsilon\left(\overset{+}{n} - \overset{-}{n}\right),$$

eine Beziehung, die übrigens nur gilt, solange man den in Frage kommenden Teil der Erdoberfläche und die dazu gehören-

den Schichten der Atmosphäre als eben betrachten kann. Setzt man für $\overset{+}{n}$ und $\overset{-}{n}$ die für Capri abgeleiteten Werte, so wird:

$$\frac{d\mathfrak{E}}{dz} = -21 \cdot 10^{-8}.$$

18. Ionenadsorption an der Oberfläche der Erde.

Wenn ein ionisiertes Gas mit der Oberfläche irgend eines Körpers in Berührung steht, so nimmt der Ionengehalt ab. Für diese Tatsache bietet sich die folgende Erklärung. Die Ionen stossen infolge ihrer molekularen Bewegung gegen die Oberfläche des Körpers. Ein Teil der Ionen bleibt dabei entweder selber an der Oberfläche haften oder gibt wenigstens seine elektrische Ladung an sie ab. In beiden Fällen wird die Zahl der Ionen verringert. Man bezeichnet die Erscheinung als Ionenadsorption. Es ist von vornherein wahrscheinlich, dass die Zahl der adsorbierten Ionen ihrer Dichte und ihrer molekularen Geschwindigkeit proportional ist. Wir können daher für die Zahl der positiven und negativen Ionen, die in einer Sekunde von einem qcm der Oberfläche adsorbiert werden, die Ansätze

$$x\, u_p \overset{+}{n} \quad \text{und} \quad y\, u_n \overset{-}{n}$$

machen. Die Zahlen x und y bezeichnen wir als die Koëffizienten der Adsorption.

Der Vorgang der Ionenadsorption vollzieht sich nun jedenfalls auch an der Oberfläche der Erde und es entsteht die wohl zuerst von Elster und Geitel aufgeworfene Frage, ob nicht die Ionenadsorption mit der negativen Ladung der Erdoberfläche in Zusammenhang stehe. Die Beantwortung der Frage setzt voraus, dass es gelingt aus dem wechselnden Verlaufe der elektrischen Erscheinungen einen beharrlichen Teil zu isolieren. Wir werden im Folgenden die Hypothese machen, dass sich aus den luftelektrischen Beobachtungen eine gewisse konstante mittlere Dichte der Erdladung ableiten lasse und dass dieser Oberflächendichte auch konstante Dichten der atmosphärischen

Ionen entsprechen. Wenn dann die Adsorption der negativen Ionen grösser ist als die der positiven so wird sich von selber eine negative Ladung der Erdoberfläche einstellen, die solange zunimmt, bis der Unterschied der Adsorptionen durch die elektrischen Verschiebungen ausgeglichen wird. Sobald durch die Verstärkung, welche die Adsorption der positiven Ionen infolge der elektrischen Anziehung erfährt, durch die entsprechende Schwächung der Adsorption bei den negativen Ionen die Zahl der in einer Sekunde an die Erdoberfläche abgegebenen positiven und negativen Ionen die gleiche geworden ist, wird die Ladung der Erde durch die Adsorption nicht mehr verändert.

Die genauere Verfolgung dieses Gedankens führt zu der folgenden Beziehung zwischen der elektrischen Kraft $\mathfrak{E}$ an der Oberfläche der Erde und zwischen dem Verhältnisse $\frac{\overset{-}{a}}{\underset{+}{a}}$ der Zerstreuungskoëffizienten:

$$\mathfrak{E} = \frac{q}{2}\frac{P\,T}{\varepsilon} \cdot \frac{\dfrac{y}{l_n} - \dfrac{x}{l_p} \cdot \dfrac{\overset{-}{a}}{\underset{+}{a}}}{\dfrac{\overset{-}{a}}{\underset{+}{a}} + 1}.$$

Hier bezeichnet P die Konstante des Gasgesetzes:

$$P = 83 \cdot 16^6.$$

T ist die absolute Temperatur, ε das elektrische Elementarquantum, l_p und l_n die molekularen Weglängen der Ionen. Aus der Gleichung lassen sich zwei Folgerungen ziehen, welche für die experimentelle Prüfung der zu Grunde liegenden Annahme von Bedeutung sind.

1. Es muss:

$$y > x \cdot \frac{l_n}{l_p} \cdot \frac{\overset{-}{a}}{\underset{+}{a}}$$

sein; der Adsorptionskoëffizient der negativen Ionen muss grösser sein als der der positiven.

2. Die elektrische Kraft $\mathfrak{E}$ an der Erdoberfläche muss um so kleiner sein, je mehr die Zerstreuung negativer Ladungen über die positiver überwiegt.

Benützt man für $\frac{\overset{-}{a}}{\underset{+}{a}}$ den aus den Beobachtungen von Capri abgeleiteten Wert 1,01 und setzt man für P, T, ε ihre numerischen Werte, so ergibt sich:

$$y = 1{,}01 \frac{l_n}{l_p} x + 0{,}93 \cdot 10^{-20} \mathfrak{E} \cdot l_n .$$

Da l_n grösser ist als l_p, so erkennt man hieraus unmittelbar, dass $y > x$.

Die Annahme, dass die negative Ladung der Erdoberfläche durch Ionenadsorption bedingt sei, hat übrigens noch eine zweite Annahme im Gefolge. Die vorausgesetzte Konstanz der Ionendichten kann nur dadurch gewahrt bleiben, dass der durch Adsorption bedingte Verlust immer wieder ersetzt wird. Diess kann geschehen durch Neubildung von Ionen, durch Ionendiffusion, durch strömende Bewegungen, welche immer neue Luftmengen von normalem Ionengehalt der Oberfläche der Erde zuführen.

Eine Abhandlung von Gauss über Erdmagnetismus und Magnetometer beginnt mit den Worten: „Zwei grosse Naturkräfte sind auf der Erde allerorten und in jedem Augenblicke gegenwärtig: die Schwere und die erdmagnetische Kraft. Die Wirkungen der Schwerkraft sehen wir auf jedem unserer Schritte uns begegnen. Die Wirkungen der erdmagnetischen Kraft fallen nicht von selbst in die Augen, sondern wollen gesucht sein: Jahrtausende vergingen, ohne dass man nur von der Existenz dieser Kraft wusste. Von der ersten Kraft werden alle Verhältnisse des physischen Lebens durchdrungen, von der anderen wenig oder gar nicht berührt.“ Wir können den von Gauss genannten Kräften eine dritte hinzufügen, die elektrische Kraft der Erde. Auch sie entzieht sich im gewöhnlichen Laufe der

Dinge einer oberflächlichen Beobachtung; aber von Zeit zu Zeit sammelt sie sich zu den Entladungen des Gewitters und sie breitet über weite Kreise der Erde die Strahlen des Nordlichts. Sie hat nicht die Stetigkeit der erdmagnetischen Kraft; vielmehr verschwindet der bleibende Grund der Erscheinungen hinter den unregelmässigen Schwankungen. Damit hängt es zusammen, dass eine allgemeine Theorie der Luftelektrizität, ein Seitenstück zu Gauss' Theorie des Erdmagnetismus, fehlt. Zudem beziehen sich unsere Beobachtungen vorzugsweise nur auf die Oberfläche der Erde; der Zusammenhang der Erscheinungen kann aber nur dann deutlich werden, wenn wir das Verhalten der Luftelektrizität in dem ganzen die Erde umhüllenden Luftmeere kennen und die hierauf gerichteten Forschungen sind erst in den Anfängen begriffen. Noch eine grosse Arbeit wird notwendig sein, ehe wir imstande sind die vielen an die Erscheinungen der Luftelektrizität sich knüpfenden Fragen zu beantworten. Diese Arbeit aber kann nicht von Einzelnen geleistet werden sondern nur von einer die Erde umschauenden Organisation, deren Begründung als eine würdige Aufgabe für die internationale Assoziation der Akademien erscheint.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Sitzungsberichte der mathematisch-physikalischen Klasse der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München

Jahr/Year: 1903

Band/Volume: 1903

Autor(en)/Author(s): Riecke Eduard

Artikel/Article: Neuere Anschauungen der Elektrizitätslehre. Mit besonderer Beziehung auf Probleme der Luftelektrizität 257-291