

# *Terrestrial Magnetism* *and* *Atmospheric Electricity*

---

VOLUME IX

JUNE, 1904

NUMBER 2

---

## ÜBER DIE RADIOACTIVITÄT DER ERDSUBSTANZ ALS EINE DER URSACHEN DES IONENGEHALTES DER ATMOSPÄRE.

VON J. ELSTER UND H. GEITEL.

Durch den Nachweis eines normalen Gehalts von electrischen Ionen in der atmosphärischen Luft,<sup>1</sup> mit anderen Worten, eines gewissen Leitvermögens, ist die weitere Frage nach der Quelle dieser Ionisierung nahegelegt. Die Untersuchung begegnet einer, wie es scheint, sehr ernsten Schwierigkeit, die darin liegt, dass es unmöglich ist, Luft oder irgend ein Gas ohne Vermittelung fremder, starrer oder flüssiger Körper abzugrenzen, deren Einfluss auf den Ionengehalt des Gases, wie im folgenden noch deutlicher hervortreten wird, von vornherein nicht zu erkennen ist.

So kommt es, dass selbst in dem einfachsten Falle, nämlich für begrenzte Luftmassen, unter bekannten physicalischen Bedingungen noch nicht mit Sicherheit entschieden werden kann, ob die Ursache der Ionenbildung in der Luft selbst oder wesentlich in einem Einflusse der begrenzenden Wände zu suchen ist. Hiernach könnte es fast hoffnungslos erscheinen, den Ionengehalt der freien Atmosphäre, in der so viele Prozesse chemischer und physicalischer Art durcheinanderlaufen, auf bestimmte Quellen zurückführen zu wollen. Und doch wird dies Vorhaben ausführbar, sobald man auf Vollständigkeit verzichtet und nur solche Ursachen der Ionisierung berücksichtigt, die in deutlich messbarer Intensität tätig sind.

<sup>1</sup> Diese Zeitschrift, IV, p. 213, 1899.

[PLATE IV.]



C. J. B. RIDDELL.

Im Folgenden soll *eine* solche, nämlich die Radioaktivität des Erdbodens, eingehender behandelt werden.

Durch die Untersuchungen von Herrn *H. Becquerel*, des Ehepaares *Curie* u. a. weiss man bekanntlich, dass es gewisse chemische Elemente giebt, von deren sämtlichen Verbindungen in mehr oder minder grosser Stärke Strahlen ähnlicher Art ausgehen, wie sie in Vacuumröhren durch electriche Entladungen hervorgerufen werden können. Es sind dies die  $\alpha$  Strahlen, die positive Ladungen mit sich führen und den Goldsteinschen Kanalstrahlen entsprechen, die  $\beta$  Strahlen, aus abgeschleuderten negativen Electronen bestehend, das Analagon der Kathodenstrahlen, und die  $\gamma$  Strahlen, die, wie die von *Röntgen* entdeckten, electricch neutral sind und vermutlich im Äther fortgepflanzte Störungen darstellen, die bei der Hemmung bewegter Electronen während des Aufprallens auf widerstehende Mittel entstehen.

Hiermit ist indessen das Wesen der "*radioactiven*" Elemente keineswegs erschöpft. Während nämlich die Strahlung einer Vacuumröhre, soweit unsere Erfahrung reicht, zugleich mit den durch sie erregten sogenannten secundären Strahlen, nach dem Erlöschen der in ihr tätigen Entladung fast momentan verschwindet, kann die der radioactiven Körper unter gewissen Bedingungen eine Nachwirkung zeigen in der Art, dass Körper, die dem Bereiche jener Stoffe ausgesetzt gewesen sind, dadurch die Fähigkeit erlangt haben, selbständig eine Zeit hindurch mit abnehmender Stärke Strahlen auszusenden, die im wesentlichen denen der erregenden radioactiven Körper gleichen. Worin das Wesen dieser Übertragung des Strahlungsvermögens, der sogenannten "*inducierten*" Activität, beruht, lässt sich noch nicht mit Sicherheit sagen. Durch zusammenhängende Scheidewände wird sie völlig abgeschnitten, durch Poren und feinste Capillaren dringt sie mit Leichtigkeit hindurch. Eine anschauliche, das wesentliche vorzüglich treffende Vorstellung erhält man, indem man mit Herrn *E. Rutherford* annimmt, dass von den activen Körpern in unwägbaren geringen Mengen ein Gas ausgeht, das selbst radioactiv ist, aber diese Eigenschaft im Laufe der Zeit nach einem bestimmten Exponentialgesetze verliert. Man nennt dieses Gas nach Rutherford die "*Emanation*" des radioactiven Stoffes. Durch Contact mit ihr werden beliebige Körper selbst radioactiv, indem die Emanation an ihrer Oberfläche haftet. Hierbei ändert sie ihre Natur; die Strahlung der activen Oberflächenschichten nimmt nämlich nach einem neuen von dem oben erwähnten durchaus verschiedenen Ex-

ponentialgesetze ab, und während die Emanation von flüchtiger Beschaffenheit war, sind die durch sie gebildeten activen Überzüge in gewissem Grade beständig, selbst gegen hohe Temperaturen, geschützt. Ihre Bildung wird ganz wesentlich erleichtert durch eine negative Ladung, die man dem zu activierenden Körper mittheilt, während er mit der Emanation in Berührung ist; die hierbei wirk-same Substanz scheint also an positiv geladene Teilchen—vielleicht die Ionen der  $\alpha$  Strahlen—gebunden zu sein.

Man kennt von chemisch sicher definierten Elementen mit radioactiven Eigenschaften bis jetzt zwei: das von Frau Curie entdeckte Radium und das Thorium. Die Strahlung des Radiums ist bekanntlich ausserordentlich kräftig, sie macht Gase durch Ionenbildung zu Leitern der Electricität, ist phosphorescenzerregend und ruft chemische, thermische und physiologische Wirkungen hervor. Die durch die Emanation des Radiums inducierte Radioactivität ist dadurch gekennzeichnet, dass ihre Strahlungsintensität nach Entfernung der erregenden Ursache in nahe einer halben Stunde je auf die Hälfte ihres Anfangsbetrages herabsinkt.

Die vom Thorium ausgehende Strahlung ist im Vergleich zu der des Radiums recht unbedeutend. Am leichtesten ist sie nachweisbar durch die Ionisierung der Luft und die chemische Wirkung auf die photographische Platte, nur mit Mühe sind Phosphorenzerscheinungen zu erhalten. Wesentlich von Radium unterschieden ist das Thorium durch den weit langsamern Abfall der von ihr inducierten Activität; die Abnahme auf die Hälfte der Anfangsintensität erfordert hier etwa 11 Stunden.

Ausser dem Radium zeigen fast alle Substanzen, die mit ihm vergesellschaftet in der Pechblende, dem eigentlichen "Radiumerze" vorkommen, wenn sie aus diesem Mineral dargestellt werden, ebenfalls radioactive Eigenschaften, die ihnen auf chemischem Wege anscheinend nicht genommen werden können. Hierzu gehört vor allem das Uran selbst, an dem Herr *H. Becquerel* dies gesamte Erscheinungsgebiet entdeckte, ferner das radioactive Wismut, Blei, Tellur und andere Körper. Es liegt der Verdacht nahe, dass wenigstens einige dieser Stoffe ihre Wirksamkeit einem Gehalt an Radium, Radiumemanation oder Producten einer Umwandlung der letzteren verdanken.

Nach diesem allgemeineren Überblick wenden wir uns zu den uns besonders interessierenden Eigenschaften der radioactiven Stoffe. Es sind dies die Ionisierung der Luft durch ihre Strahlen und die Entwicklung der Emanation.

Bringt man in einen grösseren geschlossenen Raum, (etwa unter eine Metallglocke), in dem ein Electroskop mit aufgesetztem Zerstreuungs-Körper aufgestellt ist,<sup>1</sup> eine äusserst geringe Menge eines radiumhaltigen Salzes, so beobachtet man sofort eine Steigerung der Leitfähigkeit der Luft, die von der Ionenbildung durch die Radiumstrahlen herrührt. Belässt man die Substanz in dem Raume, so wächst die Leitfähigkeit der Luft allmählig bis zu einem Grenzwerte an, auf dem sie verharret. Die Zunahme beruht darauf, dass die von dem activen Körper ausgehende Emanation den Wänden des Raumes wie dem Electroscope eine inducierte Strahlung mitteilt. Da diese Strahlung selbst aber wieder im Laufe der Zeit abnimmt, so ist der stationäre Zustand offenbar erreicht, wenn die auf den Wänden abgelagerte active Schicht in der Zeiteinheit ebensoviel an Wirksamkeit verliert, als ihr durch die Emanation zugeführt wird.

Dies eigenthümliche Verhalten der Luft bei Gegenwart von Emanation, ihr Leitvermögen bis zu einem Grenzwerte zu steigern, tritt merkwürdiger Weise in gewissem Grade auch ohne Einführung von Radium oder Thorium ein, d. h. wenn anscheinend keine Quelle von Emanation zugegen ist. Diese Wahrnehmung war der Ausgangspunkt, an dem unsere Untersuchungen über die Radioactivität der Luft einsetzten.

Der erste Schluss, der sich uns aufdrängte, war der, dass Luft, die längere Zeit in einem beliebigen Raume abgeschlossen gehalten wäre, stets ein grösseres Leitvermögen zeigen müsste, als solche, die unmittelbar der freien Atmosphäre entstammte. Unterirdische Räume, wie Höhlen oder Keller, die keine offenen Verbindungen nach aussen hatten, schienen zur Prüfung dieser Folgerung vorzüglich geeignet. Der Versuch hat unsere Erwartungen bestätigt,<sup>2</sup> ja in einem solchen Grade übertroffen, dass es uns bald klar wurde, einer neuen Erscheinung gegenüberzustehen.

So erwies sich z. B. die Luft in der Baumannshöhle im Harze als 7–8 mal so reich an Ionen wie die der freien Atmosphäre; es ist dies eine Höhe der Leitfähigkeit, die wir an abgeschlossenen Luftquanten ohne die Gegenwart radioactiver Stoffe niemals beobachteten. Unser nächstes Ziel war nun, diesen abnormen Ionenreichtum der Höhlen und Kellerluft aufzuklären.

Da die Grösse der unterirdischen Hohlräume schwerlich von entscheidendem Einflusse sein konnte, die Luft in den feinsten

<sup>1</sup> Vgl. die oben citierte Abhandlung, pp. 217 u. 223.

<sup>2</sup> *Physikalische Zeitschrift*, II, 1901, p. 560.

Spalten und Capillaren des Erdbodens vielmehr im allgemeinen Sinne ebenfalls "Höhlenluft" ist, so saugten wir solche aus einer etwa 1 Meter tief in der Erde des Gartens bei unserer Wohnung getriebenen Röhre mittelst eines Aspirators heraus, und prüften ihre Leitfähigkeit am Zerstreuungsapparat. Auch bei diesem Versuche ging das Ergebnis weit über das erwartete hinaus: die erhaltenen Zahlen übertrafen die für die normale Luft gültigen um mehr als das 50fache.<sup>1</sup> Schon vor Anstellung dieses letzten Versuches hatte die abnorme Ionisierung der Luft in Kellern und Höhlen in uns den Gedanken befestigt, dass sie durch die Gegenwart einer noch unbekannten allgemein verbreiteten radioactiven Emanation hervorgerufen sein könnte. Traf diese Annahme zu, dann musste diese, wenn auch in geringerem Grade, zugleich in der freien Atmosphäre enthalten sein, mit der jene Räume durch Diffusion in stetigem Gasaustausche stehen. Da es nun nicht schwierig ist, das Vorhandensein von Emanation mittelst der durch sie inducierten Strahlung nachzuweisen, so schlugen wir diesen Weg ein und prüften, ob ein der freien Luft mit negativer Ladung einige Stunden hindurch ausgesetzter Leiter solche inducierte Activität annimmt.<sup>2</sup> Als empfindlichstes Reagens auf diese Eigenschaft benutzt man die Ionisierung der Luft, gemessen an dem Zerstreuungsapparat. Weniger empfindlich, aber als Controlmethoden wertvoll sind die Wirkung auf die photographische Platte und die an phosphorescierenden Substanzen erregten Leuchterscheinungen. Es zeigte sich nun, dass ein Draht von mehreren Metern Länge, nachdem er 1–2 Stunden der freien Luft mit einem Potential von –2,000 Volt ausgesetzt gewesen war, die Luft eines geschlossenen Raumes von etwa 30 Litern aufs deutlichste ionisierte. Durch eine bestimmte, von uns beschriebene<sup>3</sup> Versuchsanordnung, besonders dadurch, dass man das Potential der Ladung und die Dauer der Berührung des Drahtes mit der freien Atmosphäre immer übereinstimmend wählt, lässt sich aus dem Betrage der Ionisierung eines genau begrenzten Luftquantums durch die Längeneinheit des Drahtes ein Maass für den Gehalt der Luft an Emanation ableiten. Nach diesem Verfahren findet man in der Atmosphäre im allgemeinen von Tage zu Tage verschiedene "Activierungszahlen;" im Winter sind sie durchschnittlich höher als im Sommer, im Inneren des Landes (wenigstens für Deutschland) bedeutend grösser als an der

<sup>1</sup> *Physikalische Zeitschrift*, III, 1902, p. 574.

<sup>2</sup> *Physikalische Zeitschrift*, II, 1901, p. 509, und III, 1901, p. 76.

<sup>3</sup> *Physikalische Zeitschrift*, III, 1902, p. 305.

Seeküste.<sup>1</sup> Abnorm hohe Beträge erlangt die inducierte Activität (wie die Leitfähigkeit) in der Luft von Kellern und Höhlen, oder in solcher, die aus den Erdcapillaren emporgesaugt ist. Durch Anwendung eines von *Rutherford* für die Thoriumemanation angegebenen Verfahrens ist es in diesen Fällen sogar möglich eine Phosphorescenz des Bariumplatincyanürschirms zu erzielen. Man reibt zu diesem Zwecke den Draht, so lange er noch kräftig activ ist, mit einem Lederlappen ab, den man (bei Kupferdrähten) mit etwas Ammoniac befeuchtet hat. Hierdurch wird die active Oberflächenschicht auf das Leder übertragen, und man kann nun ihre Strahlung, wie die eines schwachen Radiumpräparates, durch ein geringes Aufleuchten des mit dem Leder von der Rückseite berührten Phosphorescenzschirms erkennen. Auch photographische Eindrücke durch Aluminiumfolie hindurch lassen sich mittelst der so präparierten Lederlappen herstellen. Es ist natürlich zu beachten, dass die so gewonnene Activität, als inducierte, nicht von Dauer ist, sondern in einem Tage fast völlig verschwindet.

Hiernach muss die Existenz einer radioactiven Emanation in der im Erdboden eingeschlossenen Luft, in der von Kellern und Höhlen und in der freien Atmosphäre selbst als erwiesen gelten.

In der besten Übereinstimmung mit dieser Erfahrung stehen die Ergebnisse von Versuchen anderer Beobachter über die in dem Wasser von Quellen enthaltene Emanation. Wie die Herrn *Sella* und *Pocchettino*,<sup>2</sup> *J. J. Thomson*,<sup>3</sup> und *F. Himstedt*<sup>4</sup> unabhängig von einander gefunden haben, giebt das Wasser der Quellen in mehr oder minderem Maasse radioactive Emanation an die Luft ab, mit der es in innige Berührung gebracht wird. Nach den gasartigen Eigenschaften der Emanation ist dies Verhalten nicht verwunderlich; sie löst sich in Flüssigkeiten gerade wie andere Gase nach Maassgabe ihrer Concentration und eines für die Art der Flüssigkeit specifischen Absorptions-Coefficienten auf, und kann durch Erhitzen des Lösungsmittels oder durch Einleiten von Luft wieder ausgetrieben werden. Je reicher an Emanation die Erdschichten sind, durch die das Quellwasser hindurchgesickert ist, um so gesättigter daran wird es zu Tage treten.

<sup>1</sup> *Physikalische Zeitschrift*, IV, 1902, p. 97, und 1903, p. 522.

<sup>2</sup> *Rendiconti R. Acc. dei Lincei*, II, Ser. 5, 1902, p. 527.

<sup>3</sup> *Phil. Mag.*, IV, Ser. 6, 1902, p. 322.

<sup>4</sup> *Berichte der Naturforscher-Gesellschaft*, Freiburg im Breisgau. XIII, 1903, p. 101, und XIV, 1903, p. 181.

Von grossem Interesse ist dabei die Erfahrung gewesen, dass besonders das aus beträchtlichen Tiefen stammende Wasser, wie das der heissen Quellen, sich durch hohen Emanationsgehalt auszeichnet. Auch Gase, die auf altvulcanischem Boden aus der Erde quellen, wie z. B. Kohlensäure an einigen Orten in Deutschland, führen, wie wir durch den Versuch fanden, beträchtliche Menge Emanation mit sich empor.

Überall, wo man bis jetzt, sei es in der Atmosphäre, der Bodenluft oder dem Quellwasser, nach radioactiver Emanation gesucht hat, ist sie, wenn auch in verschiedener Menge, gefunden worden. Es scheint demnach, dass man ihr eine sehr grosse, wahrscheinlich allgemeine Verbreitung zuschreiben muss.

Nun setzt die Existenz einer Emanation, nach allen bisherigen Erfahrungen, diejenige eines zugehörigen radioactiven Stoffes voraus; die nächste Aufgabe war also, diesen aufzusuchen. Da die Emanation aus der Erde kommt, so wird man auf sie, als den Sitz jenes hypothetischen Stoffes, hingewiesen.

In der Tat war die nächste Erfahrung die, dass Erde, vom freien Felde oder aus Wäldern gesammelt, die Eigenschaft hat, in geringem Grade, aber anscheinend ohne Erschöpfung, Emanation auszugeben, gerade wie ein äusserst schwach radioactiver Körper.<sup>1</sup> Wir bewahren schon seit 1½ Jahren solche Proben von Erde in trockenem Zustande auf; ihre Fähigkeit, das Leitvermögen der Luft begrenzter Räume bis zu einem wesentlich über dem normalen liegenden Grenzwerte zu erhöhen, hat während dieser Zeit keine Einbusse erlitten. Die chemische Beschaffenheit der Erde ist dabei nicht ohne Einfluss; am wirksamsten haben sich solche Proben gezeigt, in denen Ton in vorherrschender Menge enthalten ist; reiner Humus, Quarzsand und Kalk ist unwirksam.

Der schon erwähnte Reichtum an Emanation in den Kohlensäureexhalationen erlöschender vulcanischer Tätigkeit brachte uns auf den Gedanken, ein festes Product solcher Vorgänge zu untersuchen. Wir wählten dazu einen Schlamm, der, aus einer heissen Quelle zu Battaglia in Oberitalien ausgeworfen, wegen seiner Verwendung zu Umschlägen und Bädern von dort ausgeführt wird; er ist in Deutschland unter dem Namen "Fango" leicht in grösseren Mengen zu erhalten.

An diesem Material fanden wir eine 3-4 mal so grosse Wirksamkeit als bei der Ackererde; es war also anzunehmen, dass der

<sup>1</sup> *Physikalische Zeitschrift*, IV, 1903, p. 522.



gesuchte active Körper in verhältnissmässig bedeutenderer Menge darin enthalten wäre. Durch chemische Behandlung des Fango, auf deren Einzelheiten wir an dieser Stelle nicht eingehen möchten,<sup>1</sup> gelang es uns in gewissem Grade die indifferenten Bestandteile zu entfernen und geringe Substanzmengen zu gewinnen, an denen die Activität in höherem Maasse haftete. Das Strahlungsvermögen dieser Körper war etwa von derselben Grössenordnung wie das der Uransalze; dabei wies das chemische Verhalten darauf hin, dass das active Princip mit dem Radium identisch sein könnte. Zu einer wirklichen Abscheidung desselben reichten die verarbeiteten Mengen von Rohmaterial nicht aus.<sup>2</sup>

Wir schlugen deshalb einen indirecten Weg ein, indem wir die durch die Emanation des Fango auf Drähten inducierte Activität nach der Schnelligkeit ihres Abklingens mit der durch Radiumemanation erregten verglichen. Das Ergebniss war eine innerhalb der Fehlergrenzen zutreffende Coincidenz der Abnahme曲ven für beide Arten inducierter Activität, auch die von der Ackererde entwickelte oder aus dem Boden genommene, wie die in der freien Atmosphäre enthaltene Emanation, verhielten sich in derselben Weise. Von Herrn Adams<sup>3</sup> ist dasselbe für die aus Quellwasser erhaltene (die ja, wie oben bemerkt, mit der der Bodenluft identisch sein muss) nachgewiesen, so dass—sofern der Schluss von der Natur der Emanation auf den zugehörigen activen Stoff berechtigt ist—man das Radium und nicht das Thorium als den fast überall verbreiteten, wenn auch in äusserster Verdünnung auftretenden primär activen Körper anzusehen hat, von dem die Emanation in der Bodenluft und der Atmosphäre ausgeht. Auch in anderen Beziehungen stimmt diese mit der Radiumemanation überein, so in der Condensationstemperatur (nach Ebert und Himstedt), in der Löslichkeit in flüssigen Kohlenwasserstoffen (nach Herrn von Trautenberg<sup>4</sup>), in der Diffusionsgeschwindigkeit und in dem Gesetze, nach dem ihre eigentümliche (d. h. nicht nur die durch sie inducierte) Activität in der Zeit abnimmt (nach den Herren H. A. Bumstead und L. T. Wheeler<sup>5</sup>).

<sup>1</sup> Vgl. *Physikalische Zeitschrift*, V, 1904, p. 16.

<sup>2</sup> Nach einer ungefähren Schätzung wären 1200 Tonnen Fango zur Gewinnung von 1 gr. Radiumchlorid erforderlich, vorausgesetzt, dass die Scheidung sich vollständig ausführen liesse.

<sup>3</sup> *Phil. Mag.*, IV, Ser. 6, 1903, p. 503.

<sup>4</sup> *Physikalische Zeitschrift*, V, 1904, p. 130.

<sup>5</sup> *American Journal of Science*, XVII, 1904, p. 98. Herr S. I. Allan (*Phil. Mag.*, VII, Ser. 6, 1904, p. 140.) findet in Montreal erhebliche Abweichungen im Verhalten der atmosphärischen Emanation von der des Radiums. Es ist nicht undenkbar, dass die Bodenbeschaffenheit von Einfluss ist.

Gewiss ist es eine an sich schon merkwürdige Tatsache, dass ein dem quantitativen Vorkommen nach so seltener Stoff wie das Radium zugleich eine so allgemeine Verbreitung zeigt, wenn auch die ungemeine Empfindlichkeit zu berücksichtigen ist, mit der die Leitfähigkeit der Luft auf die Strahlen dieses Elements reagiert. Das wesentliche Interesse liegt aber darin, dass es eben ein radioactives, mit einem Vorrat spontan abfließender Energie begabtes Element ist, das fast überall in der Erdsubstanz vorzukommen scheint. Hierdurch ist eine neue Quelle von Energie unseres Planeten aufgedeckt, der ohne Zweifel eine geophysicalische Bedeutung zukommt. Wir möchten die letztere hier nur soweit darzustellen versuchen, als sie für das Gebiet der atmosphärischen Electricität in Betracht kommt.

Ein gewisser Anteil der gesamten Atmosphäre ist, je nach dem Grade der Porosität des Erdbodens, überall unterhalb der Erdoberfläche verborgen. Diese "Bodenluft" steht, wie schon oben bemerkt, durch Diffusion mit der freien Atmosphäre in stetem Austausch, und führt ihr dabei unausgesetzt radioactive Emanation zu. Hierzu gesellt sich der Einfluss der Luftdruckschwankungen. Bei steigendem Barometer wird Luft in den Boden hineingepresst, die bei sinkendem Drucke, mit Emanation beladen, wieder in die Atmosphäre zurückströmt. So findet sich in der Tat der Emanationsgehalt der freien Luft, gemessen an der auf Drähten inducierten Activität, nach Barometerstürzen besonders hoch.

Sobald nun die Bodenluft mit der der Atmosphäre sich mischt, wird ein Teil der radioactiven Energie der Emanation zur Ionenbildung verwandt. Hierbei findet eine langsame Unwandlung des activen Principes zu inactiven Erdproducten statt; nach der Untersuchung von *Ramsay* und *Soddy* hätten wir das Helium als ein solches zu betrachten. Wie directe Versuche an frischer Bodenemanation gezeigt haben und wie bereits erwähnt wurde, bewirkt sie nicht momentan das Maximum der Ionisation in der Luft, mit der sie gemischt ist; daher braucht der am Zerstreuelectroscop gefundene Ionengehalt der Atmosphäre keineswegs der Stärke der inducierten Activität (*d. h.* der Menge der in ihr enthaltenen Emanation) proportional zu sein.

So erscheint der Gedanke berechtigt, dass die freien Ionen der Luft wenigstens zum grossen Teile durch die radioactive Emanation des Erdbodens gebildet werden, indem diese durch Diffusion, unterstützt durch einen dem Ein- und Ausatmen vergleichbaren Prozess während der Barometerschwankungen, in die Atmosphäre

einströmt. Hierzu kommt noch die Ionenbildung durch die von dem in der äussersten Schicht der Erdrinde enthaltenen activen Stoffe ausgehende primäre Strahlung, doch wird deren Einfluss gegen den erstgenannten stark zurücktreten. Von grösserer Bedeutung ist dagegen die an der Erdoberfläche unter dem Einfluss des normalen Potentialgefälles *inducierte* Strahlung; sie wird, besonders an exponierten Orten, wie im Hochgebirge, die Ionenzahl in der Volumenheit der Luft beträchtlich über die normale steigern.

Über den Meeresflächen wird der Emanationsgehalt der Luft, und daher auch die Ionisierung, soweit sie dadurch bedingt ist, viel constanter sein wie über den Continenten; es fehlt eben die Communication der freien Luft mit der des Bodens. Dagegen wird dort ein Gleichgewichtszustand bestehen müssen zwischen dem Emanationsgehalt der Atmosphäre und dem des Seewassers, gerade so wie er für andere gasartige Bestandteile der Luft existiert.

Es wäre von grossem Interesse, das Seewasser von verschiedenen Orten und Tiefen auf Radioactivität (d. h. Emanation) zu untersuchen. Dass diese viel kleiner, als die von Tiefquellen sein wird, geht schon daraus hervor, dass sonst die oceanische Luft einen Emanationsgehalt zeigen müsste, der vergleichbar mit dem ist, den solches Quellwasser der Luft mitteilt. Tatsächlich ist aber, wenigstens nach den Bestimmungen an der deutschen Nord- und Ostseeküste, dieser Gehalt ausserordentlich gering.

Da die radioactiven Stoffe, wenn auch in ungemeiner Verdünnung, fast allgegenwärtig sind, so wird es praktisch kaum möglich sein, ihren Einfluss zu eliminieren. Alle Materialien, aus denen wir unsere Versuchsräume herstellen, stammen aus der Erde und werden radioactive Eigenschaften haben können; man erkennt, wie schwer es ist, die anfangs aufgeworfene Frage zu entscheiden, ob die normale Ionisierung der Gase bei gewöhnlicher Temperatur *nur* eine Folge fremder Strahlung oder zum Teil auch eine Grundeigenschaft des gasförmigen Zustandes ist.

Es ist wohl die Meinung ausgesprochen, dass die Radioactivität ein allgemeiner Zustand der Materie sei. Wir glauben, dass diese Verallgemeinerung doch weit über die tatsächlichen Grundlagen hinausgeht. Besser an die Erfahrung schliesst sich der Gedanke, dass die stark radioactiven Elemente, speciell das Radium, spurenweise so sehr verbreitet sind, dass es nicht oder nur schwer gelingt, beliebige Stoffe davon vollständig zu befreien.

In unserer ersten ausführlichen Mitteilung über die Existenz

von Ionen in der Atmosphäre hatten wir in Anschluss an Versuche von Herrn *Zeleny*,<sup>1</sup> über negative Electricisierung von Körpern in ionisierter Luft, darauf hingewiesen, dass es vielleicht möglich wäre, das Hauptproblem der atmosphärischen Electricität, die negative Eigenladung der Erde, auf Einwanderung negativer Ionen in den Erdkörper, auf Ionenabsorption,<sup>2</sup> wie man den Vorgang jetzt nennt, zurückzuführen. Wir sprachen damit nur eine naheliegende Vermutung aus, die, wie wir an anderer Stelle hervorhoben,<sup>3</sup> noch durchaus der experimentellen Bestätigung bedurfte. Inzwischen ist die Frage von verschiedenen Seiten in Angriff genommen. So fand Herr *Schmauss*,<sup>4</sup> dass Wassertropfen beim Fall durch ionisierte Luft sich negativ laden, d. h. die Luft mehr negative als positive Ionen entziehen; auch Tropfen anderer Flüssigkeiten verhielten sich in gleicher Weise. Hiernach scheint, wenigstens für die untersuchten Substanzen, in der Tat eine auswählende Aufnahmefähigkeit für negative Ionen zu bestehen. Dagegen konnte Herr *Simpson*<sup>5</sup> an beliebigen isolierten Leitern weder in ruhender noch bewegter Luft von normalem Ionengehalte irgendwelche spontanen Ladungen nachweisen und auch wir möchten hier bemerken, dass wir bei zahlreichen Versuchen dieser Art gleichfalls *keine* freie Electricität erhalten haben. Dagegen treten solche freien Ladungen, wie Herr *Simpson* bemerkt, stets dann ein, wenn Ionen aus einem Gebiet grösserer Concentration in ein solches von kleinerer einwandern.

Nun trifft, wie Herr *Ebert*<sup>6</sup> in einer vor kurzem erschienenen Abhandlung begründet, der letzte Fall gerade by unserer Erde zu. Indem in der oben geschilderten Weise die ionisierte und mit radioactiver Emanation beladene Luft aus den Capillaren des Erdbodens in die Atmosphäre hineindiffundiert oder bei Barometerstürzen sich plötzlich in grösseren Mengen in sie ergiesst, lässt sie einen Überschuss negativer Ionen in dem leitenden Erdkörper zurück und führt der Atmosphäre positive Electricität zu. Versuche an künstlich durch Radium ionisierter Luft oder mit solcher, die dem

<sup>1</sup> *Phil. Mag.*, 46, 1898, p. 134.

<sup>2</sup> In Betreff der Theorie vgl. E. RIECKE: Über Ionenabsorption in der Oberfläche der Erde. *Nachrichten der Göttinger Akademie*, 1903, Heft 2.

<sup>3</sup> "Über die Anwendung der Lehre von den Gasionen mit den Erscheinungen der atmosphärischen Electricität." Braunschweig, Vieweg und Sohn, 1901.

<sup>4</sup> *Annalen der Physik*, IX, 1902, p. 224.

<sup>5</sup> *Phil. Mag.*, VI, 1903, p. 589.

<sup>6</sup> *Physikalische Zeitschrift*, V, 1904, p. 135.

Erdboden entnommen ist, liessen in der Tat den erwarteten Effect zu Tage treten.

Auch in quantitativer Hinsicht scheint nach Herrn *Ebert* die hierdurch bezeichnete Quelle ausreichend zu sein, die negative Erdladung gegenüber dem Rückflusse der positiven Ionen aufrecht zu erhalten. Wie weit bei dieser Constanterhaltung des electrischen Zustandes der Erde die von den Niederschlägen herabgeführten negativen Ladungen beteiligt sind, lässt sich noch nicht übersehen.

Jedenfalls verdienen die *Ebertschen* Versuche die grösste Aufmerksamkeit, da sie unmittelbar auf die Lösung der genannten Fundamentalaufgabe für die Ionentheorie der atmosphärischen Electricität hinleiten, auf die Erklärung der constanten negativen Eigenladung des Erdkörpers.

Im Zusammenhange mit der Diffusion der ionenreichen Bodenluft in die Atmosphäre steht vielleicht auch die besondere Stärke der electrischen Störungen des normalen Erdfeldes, die mit dem Falle von Niederschlägen in Gebieten sinkenden Luftdruckes verbunden sind. Das Ansaugen der Bodenluft durch die barometrische Depression bewirkt eine Vergrösserung des Ionengehalts im aufsteigenden Luftstrom; die Condensation des Wasserdampfes an den Ionen, die nach Herrn *C. T. R. Wilson* für die negativen bei niedrigerem Grade der Übersättigung eintritt als für positive, führt dann nach Herrn *J. J. Thomson* die Trennung der beiden Arten durch die Entwicklung freier Electricitätsmengen mit sich. Ist dieser Gedanke richtig, so müsste die Intensität der electrischen Erscheinungen während der Gewitter über dem Lande im allgemeinen grösser als über der See sein, auch an einen Einfluss der chemischen Bodenbeschaffenheit kann mit Recht gedacht werden.<sup>1</sup> Nahe liegt auch die Vermutung, dass die electrischen Begleiterscheinungen vulcanischer Eruptionen mit dem Emanationsgehalt der hervorbrechenden Dämpfe in Verbindung stehen.<sup>2</sup>

Zum Schlusse möchten wir noch einmal auf die anfängliche Bemerkung zurückkommen, dass wir nicht daran denken, durch

<sup>1</sup>Die Herren *C. T. R. Wilson* (*Phil. Soc. Cambr.*, 1902, p. 428) und *S. I. Allan* (*American Phys. Soc.*, Jan., 1903) haben gezeigt, dass die Niederschläge nach ihrer Verdampfung einen vorübergehend radioactiven Rückstand hinterlassen. Vergleichende Messungen der Art auf See und an Land würden von Interesse sein.

<sup>2</sup>Bemerkenswert ist in dieser Hinsicht die von Herrn *Von Traubenberg* gefundene starke Ionisierung der Luft in der Nähe des Vesuvcraters (*Physikalische Zeitschrift*, IV, 1903, p. 400).

den Nachweis radioactiver Stoffe und ihrer Emanation im Erdboden etwa die Quelle des Ionengehalts der Atmosphäre *vollständig* gefunden zu haben. Es sind wohl insbesondere die der Erdoberfläche unmittelbar benachbarten Schichten, die der Ionenbildung durch jene Substanzen ausgesetzt sind. Für die höheren und höchsten Gebiete der Atmosphäre treten vielleicht andere extratellurische Prozesse in den Vordergrund, die wir noch nicht genügend kennen. Zweifellos werden die äussersten Schichten unter dem Einfluss der kurzwelligen Strahlen des Sonnenlichts ionisiert werden, auch  $\beta$  und  $\gamma$  Strahlen, die, wie man vermutet hat, vielleicht von der Sonne ausgehen, könnten in gleichem Sinne wirken.

Aber diese Betrachtungen führen auf ein der Erfahrung noch wenig zugängliches Gebiet, das wir in dieser Darstellung, die sich nur auf experimentelle Ergebnisse stützen soll, nicht betreten möchten.

*Wolfenbüttel, im März 1904.*