

Radium und radioaktive Stoffe.

Von

A. Werner.

(Vortrag, gehalten in der Gesellschaft am 15. Februar 1904.)

Durch die Entdeckung der Röntgenstrahlen wurde der Nachweis erbracht, dass es für unsere Augen unsichtbare Strahlen gibt, die feste Gegenstände durchdringen und sich dadurch bemerkbar machen, dass sie Phosphoreszenzerscheinungen erzeugen oder zersetzende Wirkungen auf bestimmte chemische Verbindungen ausüben.

In der Folgezeit beschäftigte man sich mit der Frage, ob nicht auch gewissen Stoffen die Eigenschaft zukomme, solche Strahlen auszusenden, und bald glaubte man an einer Reihe photolumineszierender Substanzen, wie Schwefelcalcium, Sidotsche Blende (hexagonales Zinksulfid) und an verschiedenen fluoreszierenden Verbindungen, z. B. den Uransalzen, diese Fähigkeit nachgewiesen zu haben. Im besonderen gelang es Becquerel, beim Kaliumuranylsulfat eine photographische Wirkung durch eine Aluminiumplatte hindurch festzustellen, während eine Nachprüfung der auf Leuchtsteine u. s. w. bezüglichen Angaben nur negative Ergebnisse hatte. Nach ihrem Ursprung bezeichnet man diese neue Strahlenart als Uranstrahlen, nach ihrem Entdecker auch als Becquerelstrahlen. Es ergab sich bald, dass die Strahlungsfähigkeit der Uransalze von ihrer Fluoreszenz unabhängig ist, da auch das grünschwarze Uranoxydoxydul und sogar das graue Uranmetall selbst Strahlung zeigen.

Die allgemeinen Eigenschaften der neuen Strahlengattung sind die folgenden:

- a) Sie üben ähnliche photographische Wirkungen wie gewöhnliches Licht aus,
- b) sie durchdringen Metalle, Glas, Papier, Glimmer u. s. w.,

c) infolge ihrer Absorption durch Luft machen sie diese leitend für Elektrizität,

d) sie zeigen weder Brechung, Reflexion noch Polarisation.

Zu der unter c) erwähnten Eigenschaft sei, da sie mit noch zu besprechenden Erscheinungen in Beziehung steht, noch folgendes bemerkt. Man nimmt heute an, die Elektrizitätsleitung in Gasen werde durch Gasionen vermittelt, also durch elektrisch geladene Atome des betreffenden Gases. Infolge ihrer translatorischen Bewegung übertragen die Gasionen die Elektrizität in ähnlicher Weise, wie gewöhnliche Ionen in einem Leiter zweiter Klasse den Transport der Elektrizität vermitteln. Wir können deshalb die sub c) hervorgehobene Eigenschaft auch dahin charakterisieren, dass die Strahlen die Gase, die sie durchsetzen, ionisieren.

Die am Uran und seinen Salzen festgestellte Strahlung findet sich auch bei seinen Erzen. Bei der vergleichenden Untersuchung wurde jedoch bemerkt, dass einige Uranerze eine viel stärkere Strahlungsenergie besitzen als ihrem Urangehalt entspricht, was dazu führte, solche Erze künstlich darzustellen, so z. B. den Chalcolith (Kupferuranylphosphat). Es zeigte sich aber, dass die Strahlung der künstlich dargestellten, im Gegensatz zu den natürlichen, ihrem Urangehalt entspricht, was der Vermutung Raum gab, in den natürlichen Erzen seien unbekannte, mit stärkerer Strahlung begabte Bestandteile vorhanden. Diese Vermutung erwies sich bald als richtig, denn es konnten aus diesen Erzen auf analytischem Wege neue Stoffe mit viel grösserer Strahlungsenergie abgeschieden werden. Von diesen neuen Stoffen hat im besonderen einer eine grössere Bedeutung erlangt und wegen seiner grossen Aktivität den Namen Radium erhalten. Die in bezug auf Strahlung dem Radium ähnlichen Stoffe hat man „radioaktive“ genannt. Ihre Zahl ist bis jetzt auf acht gestiegen, von denen einige spezielle Namen erhalten haben, andere aber, besonders auch solche zweifelhafter Natur, durch den mit der Vorsilbe „Radio-“ verbundenen Namen des Elementes, dem sie durch analytische Reaktionen am nächsten stehen, bezeichnet werden. Die Namen der acht radioaktiven Stoffe lauten: Radium, Radiolanthan, Uran, Thorium, Actinium, Radioblei, Radiowismuth und Radiotellur.

Nicht alle diese Stoffe sind zweifellos selbständige Grundstoffe, sondern verschiedene sind möglicherweise nur induziert-radioaktiv.

Unter induzierter Radioaktivität versteht man die Erscheinung, dass radioaktive Elemente ihre merkwürdigen Eigenschaften anderen, für gewöhnlich inaktiven Elementen mitteilen können, ohne sich dabei durch stoffliche Beimischung zu beteiligen. Die induzierte Aktivität haftet an den inaktiven Stoffen verschieden fest; in der Regel klingt sie langsam ab, so dass induziert aktive Stoffe mit der Zeit einen grossen Betrag ihrer Radioaktivität einbüßen. Im Gegensatz dazu vermindert sich die primäre Radioaktivität mit der Zeit nicht. Primär radioaktive Substanzen sind sogar manchmal direkt nach ihrer Darstellung nur wenig aktiv, steigern aber ihre Wirkungsfähigkeit mit der Zeit immer mehr, bis sie einen konstanten Grenzwert erreicht haben. In dem soeben charakterisierten verschiedenen Verhalten liegt die einzige Möglichkeit, induziert-aktive Stoffe von primär-aktiven zu unterscheiden. Das Wesen der induzierten Aktivität wird uns im folgenden noch eingehend beschäftigen. Alle radioaktiven Stoffe werden bis jetzt aus uranhaltigen Mineralien gewonnen, die meisten aus dem Uranpfecherz von Joachimsthal. Eine Ausnahme macht nur das Thor, von dem jedoch K. A. Hofmann und Zerban behaupten, dass es ebenfalls nur aus uranhaltigen Mineralien in aktivem Zustande erhalten werde.

Wesen der Radioaktivität. Als man die Radioaktivität entdeckte, betrachtete man sie als eine einheitliche physikalische Erscheinung; die späteren Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass diese Auffassung unrichtig ist. Das Phänomen der Radioaktivität zerfällt vielmehr in drei Einzelercheinungen, die man als α -Strahlung, β -Strahlung und γ -Strahlung unterscheidet. Ferner beobachtet man bei einer Reihe radioaktiver Stoffe die gleichzeitige Abscheidung eines gasförmigen Stoffes, den man Emanation genannt hat. Endlich scheint ein bestimmter Betrag der radioaktiven Stoffe infolge der Strahlung eine Veränderung zu erfahren; diese veränderten Stoffe bezeichnet man als X-Modifikationen der Elemente, von denen sie sich ableiten.

Betrachten wir zunächst die verschiedenen Arten der Strahlung.

α -Strahlung. Der als α -Strahlung bezeichnete Teil der Radioaktivität kennzeichnet sich durch folgende Eigenschaften. Die α -Strahlen haben, weil sie durch feste Stoffe in hohem Grade

absorbiert werden, nur eine ganz geringe Durchdringungskraft; schon von Papier u. s. w. werden sie aufgehalten. Auch von Luft werden sie stark absorbiert und die Luft wird dabei ionisiert. Infolge dieser Ionisierung wird die Leitfähigkeit der Luft bedeutend erhöht, was z. B. durch die schnellere Entladung eines Elektroskops oder durch die Verlängerung der Funkenstrecke eines Induktionsapparates nachgewiesen werden kann. Durch den Magneten werden die α -Strahlen nur schwach abgelenkt. Die α -Strahlung repräsentiert in sehr vielen Fällen den Hauptbestandteil der Radioaktivität, beim Polonium sogar den Gesamtbetrag, und im besonderen zeichnet sich die Aktivität induzierter aktiver Stoffe durch einen hohen Betrag an α -Strahlen aus.

Die α -Strahlen zeigen, da sie positive Elektrizität mit sich führen, grosse Ähnlichkeit mit den sogenannten Kanalstrahlen, von denen man annimmt, dass sie aus sehr kleinen materiellen Teilchen bestehen, die eine positive elektrische Ladung von 96 500 Coulombs besitzen, welche Ladung dem elektrochemischen Wert einer sogenannten Valenz entspricht. Die Ladung ist bei den Kanalstrahlen positiv und die die Ladung fortführenden materiellen Teilchen, die von der Grössenordnung des Wasserstoffatoms sind, nennt man positive Elektronen. Die α -Strahlen können deshalb als in Bewegung befindliche positive Elektronen aufgefasst werden.

β -Strahlung. Die β -Strahlen werden durch den Magneten stark abgelenkt und zwar in entgegengesetztem Sinne als die α -Strahlen. Da sie nur wenig absorbiert werden, so gehen sie durch feste Stoffe hindurch, z. B. durch schwarzes Papier, Holz und selbst durch Metalle. Nach dem Durchgange üben sie ihre zersetzende Wirkung auf chemische Substanzen und ihre anderweitigen Wirkungen in unveränderter Weise aus. Die β -Strahlung führt negative Elektrizität mit sich. Erwähnenswert ist noch ihre Wirkung auf Colloide; negative colloidale Teilchen werden coaguliert, während positive aufgelöst werden.

Die β -Strahlen gleichen in ihren Eigenschaften den Kathodenstrahlen, die nach den neueren Anschauungen aus negativ geladenen Elementarteilchen, sogenannten negativen Elektronen bestehen. Diese kleinsten Teilchen, welche über 100 mal kleiner als die Wasserstoffatome angenommen werden, bewegen sich mit einer, derjenigen des Lichtes (300 000 Km. in der Sekunde) nahe-

kommenden Geschwindigkeit von 200—250 000 Km. in der Sekunde. Die geringere Absorption der β -Strahlen erklärt sich dann aus der Kleinheit der Teilchen und ihrer grossen Bewegungsgeschwindigkeit.

γ -Strahlung. Die γ -Strahlung ähnelt der β -Strahlung; sie unterscheidet sich von dieser durch eine noch grössere Durchdringungskraft und ist auch von den Röntgenstrahlen verschieden. Man nimmt an, dass die γ -Strahlen aus elektrisch neutralen Elementarteilchen bestehen. Eine eingehendere Untersuchung derselben hat jedoch noch nicht stattgefunden.

Emanation. Die im vorhergehenden besprochenen Strahlungen setzen sich geradlinig fort; ganz verschieden davon ist das Verhalten der Emanation. Werden Blei, Kupfer, Glas oder irgend andere Stoffe mit bestimmten radioaktiven Stoffen, z. B. Radium, in denselben Raum eingeschlossen und vor direkter Bestrahlung durch Schirme geschützt, so findet man, dass sie nach einigen Tagen trotzdem radioaktiv geworden sind. Hieraus ist zu schliessen, dass die verwendeten radioaktiven Stoffe eine Substanz abgeben, die sich im umgebenden Raume ausbreitet und sich auf festen Gegenständen zu kondensieren vermag. Mit dieser Auffassung stimmt die Beobachtung überein, dass sich beim Aufbewahren von Radiumsalzen in einem luftleeren Raume das Vakuum immer mehr verschlechtert.

Stoffe, die infolge ihres Verweilens neben radioaktiven selbst radioaktiv geworden sind, werden induziert aktive Stoffe genannt. Je inniger die Stoffe mit den radioaktiven in Berührung kommen, um so stärker ist ihre induzierte Aktivität, wie aus folgenden Beobachtungen zu ersehen ist. Wenn man Blei-, Silber-, Platin- oder Palladiumblechstücke in Lösungen aktiver Stoffe gibt, so bleiben die Metalle blank, erlangen aber bald radioaktive Eigenschaften, welche selbst durch heftiges Abreiben der Oberfläche nur langsam verschwinden, dagegen beim Glühen verloren gehen. Viel stärkere radioaktive Induktion wird aber erzeugt, wenn man die fremden Stoffe aus ihren, aktive Stoffe beigemischt enthaltenden Lösungen abscheidet. So ist z. B. das aus Uran- oder Actiniumnitrat enthaltenden Baryumsalzlösungen durch Schwefelsäure gefällte Baryumsulfat stark radioaktiv; ferner sind die aus Radiobleisalz haltigen

Lösungen der Chloride von Platinelementen durch Formaldehyd abgeschiedenen Platinmetalle stark radioaktiv. Die induzierte Aktivität kann einen sehr hohen Betrag erreichen; unter Umständen ist sie sogar vielmal stärker als die primäre Aktivität der die Induktion bewirkenden Stoffe.

Die induzierte Radioaktivität kann man sich als Folge der Kondensation des sogenannten Emanationsstoffes auf der Oberfläche der betreffenden Körper denken, und zwar zeigt die Erscheinung vielfach Analogien mit der Kondensation von Gasen auf der Oberfläche fester Substanzen u. s. w. Dies gilt auch in der Hinsicht, dass jeder einzelne Stoff die Radioaktivität nur bis zu einem bestimmten Grenzwert anzunehmen vermag und dass dieser Grenzwert von einem Stoff zum andern verschieden ist. Überall, wo die Emanation hingelangt, erzeugt sie induzierte Aktivität. Die Emanation ist positiv elektrisch geladen, denn sie kann auf einem negativ geladenen Felde niedergeschlagen und dadurch konzentriert werden. Durch Salzsäure, Schwefelsäure, Flußsäure, Ammoniak u. s. w. kann sie dann von der aktiven Fläche entfernt werden. Die Menge der von radioaktiven Stoffen abgegebenen Emanation ist von äusseren Bedingungen sehr stark abhängig, denn fast wirkungsloses, festes Thornitrat gibt in Lösung etwa den 200-fachen Betrag an Emanation.

Die Emanation übt eine Reihe chemischer Wirkungen aus, die im grossen und ganzen mit den chemischen Wirkungen radioaktiver Stoffe übereinstimmen, was uns veranlasst, beide gleichzeitig zu besprechen. Glas und gewisse farblose Salze nehmen infolge der Wirkung radioaktiver Stoffe blaue bis violette Färbungen an, die auf einer Zersetzung der betreffenden chemischen Stoffe beruhen müssen. Mehrere der chemischen Wirkungen sind auf die Ozonisierung der Luft durch die Emanation zurückzuführen, so z. B. die Bildung von Kohlendioxyd aus Fetten, die Oxydation von Quecksilber zu Quecksilberoxyd, die Reduktion von Sublimat zu Calomel bei Gegenwart von Oxalsäure u. s. w. Recht eigentümlich ist die Zersetzung des Wassers durch Radiumsalze; 50 mg. Radiumbromid entwickeln pro Tag etwa $0,5 \text{ cm}^3$ Gas, das hauptsächlich aus Wasserstoff und Sauerstoff, den Zersetzungsprodukten des Wassers besteht, aber noch einen weiteren wichtigen Bestandteil beigemischt enthält, der uns noch beschäftigen wird. Damit diese Gasentwicklung eintrete, muss das Präparat aber einige Zeit dar-

gestellt sein, was darauf schliessen lässt, dass auch da hauptsächlich die Emanation wirksam ist.

In bezug auf physikalische Wirkungen ist zu erwähnen, dass die Emanation Phosphoreszenz erregt und dass sie die Luft leitend macht. Das Spektrum des Phosphoreszenzlichtes zeigt merkwürdigerweise nur die Stickstofflinien und keine Sauerstofflinien. Über die Erscheinung der Phosphoreszenz selbst ist zu bemerken, dass sie sich aus zwei Teilen zusammensetzt, die auf der verschiedenen Wirkung der α - und β -Strahlung beruhen. Die β -Strahlen erregen die einzelnen Teile der phosphoreszierenden Substanz in gleichmässiger Weise, so dass ein gleichmässiges Leuchten der Substanz zu stande kommt. Die α -Strahlen dagegen bewirken ein diskontinuierliches Aufleuchten der Teile, das von einzelnen Autoren auf eine elektrostatische Entladung dieser Teilchen zurückgeführt wird. Infolge dieses plötzlichen Aufleuchtens der einzelnen Teilchen erscheint eine durch Radiumsalz zur Phosphoreszenz gebrachte Fläche von Sidot-Blende bei starker Vergrösserung wie ein Sternenhimmel, aus dem sich kontinuierlich ein Schwarm von Sternschnuppen ergiesst, ein merkwürdiges Schauspiel, das im Scintilloskop¹⁾ von Crookes sehr hübsch zu beobachten ist.

Sehr merkwürdig sind die physiologischen Wirkungen der radioaktiven Substanzen. Die Haut wird stark angegriffen, wie Becquerel zuerst erfahren hat; ein konzentriertes Radiumpräparat wirkte innerhalb sechs Stunden durch Glas, Papier, Karton, Weste und Hemd hindurch so energisch auf die Haut, dass sich eine Entzündung mit nachfolgender Wunde einstellte, die erst nach sieben Wochen vernarbt war.

Ferner sollen Bakterien durch die radioaktiven Strahlen zerstört werden und man hat in neuerer Zeit verschiedentlich über günstige Resultate bei der Krebsbehandlung berichtet.

Organische Substanzen können wie anorganische durch radioaktive Stoffe leuchtend werden, worauf wahrscheinlich der Lichteffekt zurückzuführen ist, den man wahrnimmt, wenn ein Radiumpräparat dem Auge genähert wird.

¹⁾ Interessenten mache ich darauf aufmerksam, dass solche Scintilloskope (Spinthariskope) durch Hofer & Cie., Lithographie, Zürich, bezogen werden können.

Bevor wir nun zur Besprechung des Wesens der Emanation übergehen, sei hier eine kurze Übersicht der bis jetzt bekannten radioaktiven Elemente eingeschaltet.

Radium. Die Entdeckung des Radiums durch das Ehepaar Curie erfolgte, als diese Forscher die verschiedenen, auf analytischem Wege aus der Uranpechblende isolierten Stoffe auf ihre Radioaktivität untersuchten und dabei auf sehr stark radioaktive Baryumpräparate aufmerksam wurden. Durch fortgesetzte fraktionierte Krystallisation des aktiven Baryumchlorids konnte aus den am wenigsten löslichen Anteilen ein Präparat erhalten werden, welches viel tausendmal stärker radioaktiv war als Uran. Durch noch weiter getriebenes Fraktionieren konnte zum Schluss ein Präparat dargestellt werden, dessen Spektrum die Baryumlinien kaum mehr zeigte und deshalb als reines Radiumsalz angesprochen wurde. Reines Radiumsalz ist ausserordentlich aktiv, denn es besitzt, wenn als Masseinheit die Aktivität des Urans genommen wird, etwa 1 000 000 Einheiten. Das Atomgewicht des Radiums, unter Annahme der Formel $Ra Cl_2$ für das Chlorid bestimmt, liegt zwischen 224—225,3.

Das Radium ist chemisch das Homologe des Baryums und seine Salze stimmen deshalb auch krystallographisch mit den Baryumsalzen überein. Ausser der Strahlung entwickeln Radiumsalze fortwährend Wärme, und zwar nach übereinstimmenden Messungen pro gr. Radium und pro Stunde etwa 105 Cal. Die Strahlungsenergie beträgt infolgedessen nur etwa 5 % der abgegebenen Gesamtenergie und davon ist nur etwa $\frac{1}{14}$ sogenannte β -Strahlung.

Das Spektrum des Radiums zeigt neben verschiedenen anderen Linien eine Hauptlinie im Ultraviolett bei $381,67 \mu\mu$. Aus den Beziehungen der Spektrallinien des Radiums zu denjenigen der anderen Erdalkalienelemente hat W. Marshall Watts das Radiumatomgewicht zu 224,89 berechnet, während Runge und Precht, welche das Atomgewicht als Funktion der Liniendistanz berechneten, zu 257,8 gelangten.

Radiolanthan. Dieser dem Lanthan sehr ähnliche Stoff ist von Giesel aus der Pechblende isoliert worden; nach halbjährigem Aufbewahren hatte er nichts von seiner Radioaktivität verloren und

muss deshalb als primär aktiver Stoff angesprochen werden. Eingehende Untersuchungen des Radiolanthans fehlen noch vollständig.

Thor. Das Thor ist ein vierwertiges Element, welches den seltenen Erdmetallen sehr nahe steht, andererseits aber auch vielfache Ähnlichkeiten mit dem Zirkon aufweist. Das Thor findet sich reichlich im Thorit und Orangit; technisch wird es aus den Monazit-sanden (komplexen Erdphosphaten) dargestellt und dient zur Fabrikation der Glühstrümpfe, in deren Zusammensetzung es bis zu 99 % enthalten ist. Nach K. A. Hofmann und Zerban wechselt die Radioaktivität des Thors je nach dem Urangehalt des Ausgangsmaterials, so dass nicht das Thor selbst, sondern ein ihm nahe stehendes Element die Radioaktivität, die übrigens im Verhältnis zu der des Radiums gering ist, bedingen würde¹⁾.

Uran. Dieses Element mit dem Atomgewicht 238,5, zeigt in freiem Zustande in seinen äusseren Eigenschaften einige Ähnlichkeit mit dem Eisen, während seine Salze nur wenige Anklänge an die Verbindungen anderer Elemente zeigen. Seine Radioaktivität ist gering, denn die Gesamtstrahlung in einem Jahre entspricht nur einer Energiemenge von etwa 0,032 Cal. Der grösste Teil der Strahlen, etwa $\frac{5}{6}$, gehören zu den leicht absorbierbaren α -Strahlen, der Rest besteht aus β -Strahlen. Wichtig ist noch, dass sich Uran aus den verschiedensten Mineralien als gleich aktiv erwies und dass die Salze durch Fraktionierung keine Änderung erfuhren. Verglichen mit dem Radium und dem Thor, zeigt das Uran den wichtigen Unterschied, dass es keine Emanation erzeugt und wahrscheinlich auch keine induzierte Radioaktivität bewirkt.

Actinium. Aus der Schwefelammonfraktion der Pechblendebestandteile hat Debierne einen radioaktiven Stoff isoliert, der analytisch dem Thor nahe steht und den er Actinium genannt hat. Für das Atomgewicht des Actiniums ergibt sich, wenn man es als vierwertig annimmt, die Zahl 251,48. Die α -Strahlung des neuen Elementes ist etwa 1500 mal stärker als die von Uran, die β -Strahlung jedoch nur etwa 10 mal.

¹⁾ Nach Mitteilungen in der Tagespresse soll das Thor neuerdings in zwei verschiedene Elemente zerlegt worden sein; bezügliche Mitteilungen in wissenschaftlichen Zeitschriften fehlen noch vollständig.

Radioblei. Auch das Radioblei entstammt der Pechblende. Es wurde von K. A. Hofmann entdeckt und näher charakterisiert. Das Chlorid ist leichter löslich als Bleichlorid und das Hydroxyd ist in Kalilauge löslich. Im Funkenspektrum tritt eine charakteristische violette Linie auf. Das Chlorid, besonders aber das Sulfat fluoreszieren unter der Einwirkung von Kathodenstrahlen. Frisch bereitete Präparate sind kaum stärker aktiv als Uran, können aber durch Ausziehen mit starker Chlornatriumlösung konzentriert werden.

Polonium. Das Polonium entspricht in seinen chemischen Eigenschaften dem Wismuth; es ist aber zweifelhaft ob es ein primär aktiver Stoff ist, wahrscheinlicher erscheint, dass es nur induziert aktives Wismuth ist.

Radiotellur. W. Marckwald hat aus dem Wismuthchlorid der Joachimsthaler Pechblende durch Fällung mit Zinnchlorür ein metallisches Element erhalten, welches von Polonium verschieden ist. Die Verschiedenheit zeigt sich darin, dass Poloniumnitrat mit Wasser unlösliche basische Niederschläge gibt, was beim Radiotellur nicht der Fall ist. Durch Hydrazinchlorid wird aus der salzsauren Lösung des so gewonnenen Metalles Tellur abgeschieden, während Radiotellur in der Lösung bleibt, aus der es durch $Sn Cl_2$ ausgefällt wird. Das Radiotellur ist ausserordentlich stark α -aktiv.

Wesen der Emanation.

Die merkwürdigen Eigenschaften der radioaktiven Stoffe, welche durch die Emanation übertragen werden können, gestalten die Frage nach dem Wesen der Emanation zu einer ebenso interessanten als wichtigen. Genaue Versuche haben gezeigt, dass sich die Emanation wie ein Gas verhält, welches sich bei niedriger Temperatur kondensieren lässt. Die Emanation aus Thor verliert ihre Flüchtigkeit bei -130° , die aus Radium bei -153° . Die kondensierte Emanation aus Radium konnte mit flüssigem Wasserstoff gewaschen werden, ohne dass der Wasserstoff nach dem Verdunsten merkliche Radioaktivität zeigte. Die Verflüchtigung und die fortschreitende Bewegung der Emanation in Glasröhren kann man im Dunkeln sehr genau mit Hilfe der Phosphoreszenz, die

sie in dem ihr beigemischten Gas erregt, verfolgen. Nach den Untersuchungen von Rutherford und Soddy, die in neuerer Zeit von Ramsay bestätigt und ergänzt wurden, muss die Emanation zu den Edelgasen gerechnet werden, weil sie sich nicht in chemische Verbindungen überführen lässt. So wurden z. B. die Emanationen aus Thor und aus Radium bei Rotglut über Platin- und Palladiumschwarz, über Bleichromat, Zinkstaub und Magnesiumpulver geleitet, ohne eine Änderung zu erleiden. Ramsay und Soddy unterwarfen die mit Sauerstoff gemischte Radiumemanation bei Gegenwart von Alkali der Einwirkung elektrischer Entladungen, ohne aber dadurch eine chemische Vereinigung zu bewirken. Auch beim Überleiten über ein erhitztes Gemisch von Magnesium und Calciumoxyd konnte keine Veränderung nachgewiesen werden.

Dieses inaktive chemische Verhalten stellt die Emanation somit den Edelgasen an die Seite, wie Rutherford, Ramsay und Soddy hervorgehoben haben. Trotzdem nun die Emanation, wie gezeigt wurde, auf kurze Zeit den höchsten Temperaturen widerstehen kann, so erleidet sie doch schon bei gewöhnlicher Temperatur nach einigen Tagen eine tiefgreifende Umwandlung, die sich in einer Veränderung ihres Spektrums kundgibt. Zu den die Emanation charakterisierenden Spektrallinien treten nach etwa vier Tagen noch Heliumlinien hinzu, zunächst die auffallenden gelben, nach und nach auch die anderen, und zum Schluss beobachtet man das ganze Heliumspektrum. Allerdings treten nebenbei auch drei neue Linien auf, die bis jetzt im Heliumspektrum nicht nachgewiesen wurden. Diese wichtige Beobachtung, welche nur auf die Entstehung von Helium aus Radiumemanation zurückgeführt werden kann und somit eine Umwandlung von Radium in Helium bedeutet, wird durch eine zweite ähnliche Beobachtung ergänzt. Wie früher erwähnt wurde, zersetzen Radiumsalze Wasser unter Entwicklung von Gasen. Bei der Analyse dieser Gase wird nach Entfernung von Wasserstoff und Sauerstoff ein Rückstand erhalten, der, wie Ramsay gezeigt hat, aus Helium besteht. Endlich muss noch bemerkt werden, dass die Entstehung von Helium aus Radiumsalzen nachträglich auch durch Curie bestätigt wurde. Es kann somit kein Zweifel bestehen, dass sich aus Radiumsalzen Helium bildet. Ramsay hat daraus geschlossen, dass wir es hier mit einem Zerfall des Elementes Radium in Spaltstücke, deren eines Helium sei, zu tun haben, und

diese Hypothese von der Umwandelbarkeit der Elemente ineinander hat schon zahlreiche Anhänger gefunden. Immerhin darf darauf hingewiesen werden, dass die vorliegenden Versuche noch eine andere Deutung zulassen, denn es ist bis jetzt noch nicht erwiesen, dass das Radium wirklich ein Element ist. Das Radium könnte sehr wohl die Vereinigung eines noch unbekanntes Elementes mit Helium sein, also ein Helid, in dem das Helium als nullwertiges Element dieselbe Rolle spielt, wie das Krystallwasser in den Hydraten. Ein solches Helid, das sich bei hoher Temperatur gebildet hätte und eine endotherme Verbindung wäre, könnte bei gewöhnlicher Temperatur in fortwährender Zersetzung begriffen sein und diese Zersetzung wäre als Quelle der Strahlung und der Wärmeentwicklung zu betrachten. Die Hypothese von der Präexistenz des Heliums in den Radiumpräparaten wird durch verschiedene Beobachtungen unterstützt, so z. B. durch den vom Ehepaar Huggins erbrachten Nachweis, dass das Luminiszenzspektrum des Radiums die Heliumlinie aufweist. Ferner ist darauf aufmerksam zu machen, dass in verschiedenen Mineralien, die seltene Erden und wohl auch zum Teil radioaktive Stoffe enthalten, gleichzeitig Helium vorkommt und dieses beim Erhitzen manchmal unter starker Wärmeentwicklung, beim Fergusonit z. B. unter Erglühen, abgeben. Die Annahme solcher endothermer Helide darf deshalb nicht kurzer Hand zurückgewiesen werden, unso mehr, als sie sowohl für das Vorkommen des Heliums in den seltenen Mineralien, als auch für die Bildung von Helium aus Radium eine sehr einfache und plausible Erklärung zu geben vermag.

Bei der Abgabe der Emanation verändern sich die radioaktiven Stoffe. Sowohl beim Uran als auch beim Thor kann man zunächst einen sehr stark aktiven Bestandteil abscheiden, der von Rutherford und Soddy beim Thor als Thor X bezeichnet wurde. Während aber die Aktivität dieses nur in kleiner Menge abscheidbaren Thor X ziemlich schnell abklingt und zum Schluss vollständig verschwindet, nimmt die nach Abtrennung von Thor X zunächst nur sehr geringe Strahlung des Thors mit der Zeit immer mehr zu und erreicht zum Schluss den für Thor massgebenden Grenzwert. Den Prozess der Abscheidung von Thor X kann man beliebig oft wiederholen, so dass es den Anschein hat, das Thor X sei der nach Abgabe der Emanation zurückbleibende Bestandteil des Thors.

Die Erscheinung der Radioaktivität, die wir bei den im vorhergehenden besprochenen Stoffen kennen gelernt haben, ist wahrscheinlich viel verbreiteter, als man bis jetzt anzunehmen Grund hatte. Aus Wasser, aus Leuchtgas und aus Luft von verschiedenster Provenienz (z. B. solcher, die dem Erdboden in einer Tiefe von mehreren Metern entnommen war), ferner aus bestimmten Sorten von Ton hat man Radioaktivität durch Konzentration auf negativ geladenen Flächen nachweisen können. Allerdings ist diese viel unbeständiger als die Radioaktivität der Elemente. Radioaktivität tritt ferner bei der Zersetzung gewisser endothermer Verbindungen, z. B. von Ozon auf. Es ist deshalb nicht ausgeschlossen, dass die Erscheinung der Radioaktivität und infolgedessen auch die radioaktiven Elemente eine viel bedeutendere Rolle in der Natur spielen als viele andere Erscheinungen und Stoffe, die täglich unsere Aufmerksamkeit auf sich lenken, und wir dürfen deshalb erwarten, dass die Erforschung der Radioaktivität und der radioaktiven Elemente dem Fortschritt der Naturwissenschaften noch manchen neuen Impuls geben werde.

Zürich, im Mai 1904.
