Das Radium und die Radioaktivität.

Vortrag gehalten auf der Herbst-Wander-Versammlung des Vereines luxemburger Naturfreunde, am 25. September 1904 von Dr. rer. nat. **Eugen Bisenius.**

Ex nihilo nihil fit. (Aus nichts wird nichts.) Von diesem Ausspruch eines Dichters des Altertums ausgehend entwickelte Robert Mayer in den vierziger Jahren des verflossenen Jahrhunderts das Gesetz der Unzerstörbarkeit der Energie, nachdem etwa ein halbes Jahrhundert vorher von Lavoisier das Gesetz der Unzerstörbarkeit des Stoffes aufgestellt worden war. Jene beiden Grundsätze, welche aussagen, dass die Energie und die Materie des Weltalls konstant sind, dass also keine Spur weder der einen noch der andern aus dem Nichts entstehen, noch ins Nichts versinken kann, sind zu Grundpfeilern der gesamten modernen Naturforschung geworden. Eine hervorragende Entdeckung, welche den letzten Jahren angehört, droht jene Grundpfeiler, die das wissenschaftliche Gebäude tragen, wie Atlas in der Vorzeit das Himmelsgewölbe, ins Wanken zu bringen. Sollen, wie einst Atlas vom Fortschritte der Kenntnisse zermalmt wurde, jene Säulen, welche für die Ewigkeit erbaut schienen, durch die Wucht der neuen Tatsachen geborsten, zertrümmert dahin sinken? Schwerwiegende Fragen, welche der Lösung harren, berechtigte Zweifel, welche gehoben werden wollen, tauchen empor aus dem grundlosen Meere der Erscheinungswelt und bilden das Gefolge der weittragenden Entdeckung, deren Erklärung auch jene befriedigen muss. Kann man sich da wundern, dass sie allerorten eine tiefgehende Bewegung der Geister heraufbeschworen hat?

Machen wir uns zuvorderst bekannt mit jener eigenartigen Erscheinung, welche eine so gewaltige Umwälzung hervorzubringen droht und fragen wir uns alsdann, ob wir sie im Sinne der beiden Grundprinzipien der Wissenschaft zu erklären vermögen.

Wer erinnert sich nicht an die Überraschungen, welche uns vor etwa einem Jahrzehnt, im Jahre 1895, die Röntgenstrahlen brachten? Für das Auge unsichtbare Strahlen — X-Strahlen wurden sie von ihrem Entdecker genannt — hiess es, seien nachgewiesen worden; verschiedene Stoffe würden sie ungehindert durchdringen: kaum glaublich und

wie eine wunderbare Mär klang es, mit Hülfe dieser Strahlen könne man die Lebenstätigkeit unserer inneren Organe dem Auge merkbar machen und bei lebendigem Leibe erhalte man ein Bildnis des eigenen Knochengerüstes, da sie die photographische Platte beeinflussen würden. Eine stattliche Schar Forscher, angelockt durch den dem Baume der Wissenschaft jüngst entsprossenen Trieb, schritt auf der von Röntgen betretenen Bahn weiter, um Klarheit zu schaffen über ein Gebiet, das nicht nur den Forschungsdrang der Gelehrten anspornte, sondern auch, wie kein anderes, den Wissensdurst der Menge erregte, da sie sich getroffen fühlte von den belebenden Strahlen der wunderbaren Erscheinung.

Üppig schoss der junge Trieb empor. Er entfaltete sich zum lebenskräftigen Zweige, welcher bald pulsierende Knospen anlegte. Zur Entfaltung brachte sie, kaum nach Jahresfrist, ein französischer Gelehrter, Becquerel, Sohn und Enkel zweier bedeutender Physiker. Ausgehend von Erwägungen über die Röntgenstrahlen machte er jene folgenschwere Entdeckung, welche gegenwärtig im Vordergrunde des Interesses steht. Zahlreich sind die Pioniere, die sich gewagt haben in das neuerschlossene Forschungsgebiet, das eben noch eine terra incognita, heute, dank besonders dem unverdrossenen Schaffen eines französischen Forscherpaares, Herrn und Frau Curie, manche seiner Stellungen der wissenschaftlichen Bearbeitung preisgegeben hat, ein Gebiet, welches wie vor kurzem die Röntgenstrahlen, und in erhöhtem Masse, die Begeisterung der Laienkreise für die Wissenschaft zu entfachen vermochte.

Verfolgen wir den Gedankengang Becquerels, der ihn zu jener grossartigen Entdeckung geführt hat. Wenn durch eine Vakuumröhre überaus hochgespannte elektrische Entladungen geleitet werden, so entstehen am negativen Pole, an der Kathode, für das Auge unsichtbare Strahlen, welche man als Kathodenstrahlen bezeichnet hat. Sie pflanzen sich geradlinig bis zum Anprallen auf die feste Glaswand fort. Die von ihnen getroffene Stelle erwärmt sich und leuchtet ausserdem hell in grünem Lichte auf; sie wird zur Fluoreszenz gebracht, wie man sich ausdrückt. Ferner nimmt die Glaswand an den betreffenden Punkten die sonderbare Eigenschaft an, eine neue Strahlenart auszusenden: die X- oder Röntgenstrahlen. Das Zustandekommen der Röntgenstrahlen, deren Geburtsstätte auf der von den Kathodenstrahlen getroffenen Glaswand sich befindet, wird, wie eben bemerkt, von einer lebhaften Fluoreszenz begleitet, so dass

man anfänglich vermutete, ihren Ursprung würden sie diesem Umstande verdanken. Die irrige Auffassung, die Entstehung der Röntgenstrahlen sei notwendigerweise eine Begleiterscheinung des Fluoreszenzphänomens, veranlasste Becquerel zu untersuchen, ob nicht überhaupt die fluoreszierenden Körper, welches auch die Ursache des Aufleuchtens sei, die Eigenschaft besässen, Röntgenstrahlen zu erzeugen. Von den verschiedenen Körpern, welche unter dem Einflusse des Sonnenlichtes fluoreszieren, treten besonders die Uranverbindungen hervor, Verbindungen eines relativ selten vorkommenden Metalls, dessen gelb gefärbte, prachtvoll fluoreszierende Salze Verwendung in der Industrie gefunden haben. Sie sollten Becquerel als Ausgangspunkt dienen. Auf eine photographische Platte, welche dicht in schwarzes Papier eingewickelt war, um sie gegen die direkte Wirkung des Tageslichtes zu schützen, legte er längere Zeit hindurch ein Uraniumpräparat. Als er nachher die Platte in der Dunkelkammer entwickelte, erschien die Silhouette des Präparates schwarz auf derselben. Sie hatte also Eindrücke erhalten und zwar gerade an den Punkten, welche sich unmittelbar unter der Verbindung befanden. Das Einschieben verschiedener Gegenstände, z. B. dünner Glas-, Aluminium- oder Kupferscheiben, verhinderte die Einwirkung nicht. Da diese Erscheinungen nun auf X-Strahlen hindeuten, schien es, als ob der fluoreszierende Körper durch die fremden Gegenstände hindurch X-Strahlen aussende, welche Eindrücke auf der photographischen Platte hervorriefen. Die Vermutungen Becquerel's schienen ihre Bestätigung gefunden zu haben. Bald jedoch stellte es sich heraus, dass in gänzlicher Dunkelheit die gleiche Substanz in derselben Zeit gleich intensive Eindrücke hervorrief; ja selbst wochen- und monatelang dem Lichte völlig entzogenes Uransalz besass die gleich starke und andauernde Wirksamkeit. Die Beeinflussung der Platte war also unabhängig von der Belichtung und Fluoreszenz der betreffenden Verbindungen. Sogar metallisches Uran, welches nicht im geringsten die Eigenschaft der Fluoreszenz besitzt, wirkt durch die fremden Gegenstände hindurch ein auf die Platte. Uran und dessen Verbindungen besitzen also die merkwürdige Eigenschaft durch fremde Körper hindurch die photographische Platte chemisch zu beeinflussen. Sie müssen also Strahlen aussenden, die zwar für das Auge unsichtbar sind, doch fremde Körper durchdringen und chemische Wirkungen auf der Platte hervorrufen, jedoch Strahlen, welche nicht mit den Röntgenstrahlen identisch

sein können, weil wir im Gegensatze zu jenen deren Energiequelle nihct anzugeben vermögen. Wenn als solche bei der Erzeugung der X-Strahlen die Elektrizität anzusehen ist, so ist uns bei der „selbststrahlenden Materie“ gleichsam der Verbindungsfaden abgeschnitten. Andauernd und ohne gleichzeitige oder vorherige Energiezufuhr senden jene Stoffe eine merkwürdige Strahlenart aus, deren Zustandekommen unababhängig ist von irgend einer bekannten Ursache. Die rätselhaften Strahlen haben nach ihrem Entdecker den Namen „Becquerelstrahlen“ erhalten, und die Eigenschaft gewisser Stoffe, Becquerelstrahlen zu erzeugen, wird als „Selbststrahlung“, als „Radioaktivität“ bezeichnet.

Ist die Radioaktivität nun ein ausschliessliches Vorrecht des Urans und seiner Verbindungen? Diese Frage stellten ich im Jahre 1898 Herr und Frau Curie, indem sie alle erreichbaren einfachen Stoffe oder Elemente und zahlreiche Mineralien einer diesbezüglichen Prüfung unterwarfen, wobei sie eine viel genauere Untersuchungsmethode als Becquerel in Anspruch nahmen. Schon dieser Forscher hatte die Beobachtung gemacht, dass die von den geheimnisvollen Strahlen durchsetzte Luft elektrisch leitend wird, so dass in dem Raume, in welchem er seine Versuche vornahm, jeder mit Elektrizität beladene, isolierte Körper derselben verlustig ging. Dieser Wirkung verdankte das Forscherpaar nun nicht nur ein empfindliches Reagenz auf Becquerelstrahlen, das empfindlichste das es giebt, sondern ausserdem eine bequeme und genaue Messungmethode, eine Vergleichungsmethode, indem sie jedesmal die Stärke des durch Vermittelung der Luft zustande gekommenen elektrischen Stromes bestimmten. Als radioaktiv erwiesen sich, nach den Angabeu der Frau Curie, ausser Uran und dessen Verbindungen, nur Thorverbindungen und Thor, ein Metall, welches einen wichtigen Bestandteil der Auerschen Glühlichtstrümpfe bildet. Alle übrigen Körper versagten. Bei dieser Untersuchung stiessen nun die Curie's auf ein merkwürdiges Ergebnis. Sie konnten zwar feststellen, dass im allgemeinen die Radioaktivität im Verhältnis zu der Menge des in den betreffenden Verbindungen enthaltenen Metalles stehe, aber andererseits trafen sie Mineralien an, welche eine abnorme Strahlungskraft zeigten, eine grössere, als dem Gehalte an Metall entsprach. So erwies sich der Chalkolit zirka 2 mal aktiver, die böhmische Pechblende sogar etwa 4 mal aktiver als metallisches Uran, während kein Mineral dieses an Wirksamkeit hätte übertreffen können. Um die Ursache dieses sonderbaren

Verhaltens aufzudecken, stellte Frau Curie künstlichen Chalkolit dar und merkwürdiger Weise zeigte sich dessen Aktivität normal, wie sie dem Urangehalt zukam. Ein offenbarer Widerspruch in den Resultaten! Dieser Widerspruch musste gelöst werden. Es dämmerte in den Curies die Ahnung, dass hier ein fremder Körper im Verborgenen ruhe, welcher der Auferstehung harre, um seinen Platz einzunehmen in der von uns bekannten Erscheinungswelt, dass Chalkolit, böhmische Pechblende und überhaupt alle Uranmineralien, welche die scheinbar abnorme Aktivität zeigten, einen bisher unbekannten Körper, wenn auch in minimalen Mengen, enthielten, der noch viel aktiver sei als metallisches Uran. Sollte die Ahnung zur Wirklichkeit werden? Den vermuteten Körper ans Tageslicht zu fördern, strengten sie sich an, wobei ihnen als Ausgangsmaterial die Joachimstaler Pechblende diente, ein Uranmineral, welches reichlich in Joachimstal im böhmischen Erzgebirge vorhanden ist. Dem französischen Forscherpaare stellte die österreichische Regierung die erste Tonne Uranrückstände, welche bisher als wertlos beiseite geworfen worden waren, gratis zur Verfügung. Wahrlich, es war eine harte Aufgabe, die Curies sich gestellt hatten. Die Joachimstaler Pechblende nämlich ist ein sehr komplizierter Körper; sie enthält als Ballast fast alle bekannten einfachen Stoffe und nach den bisherigen Ergebnissen konnte das vermutete Element nur in verschwindend minimalen Mengen darin enthalten sein. Doch Hingebung und Ausdauer führten zum Ziele. Auf chemischem Wege wurde die Trennung der verschiedenen Elemente vorgenommen, um jene Bestandteile auszusondern, welche radioaktive Eigenschaften besässen, und zwar zu Anfang der Operation in grossem Massstabe, fabrikmässig, denn unter den gegebenen Bedingungen konnte die Behandlung des Ausgangsmaterials nicht im kleinen, im Laboratorium, erfolgreich vorgenommen werden, sind doch, um eine Tonne Uranabfälle zu verarbeiten, 5 Tonnen Chemikalien und 50 Tonnen Wasser nötig. Nach den Aussagen kompetenter Männer hat die Geschichte der Chemie nicht ein zweites Beispiel der Darstellung eines Körpers unter solchen Umständen aufzuweisen. Etwa 3 Monate lang dauerte diese gleichsam grobe Behandlung; die von einander getrennten Bestandteile wurden, dem Gange der chemischen Analyse entsprechend, der Prüfung unterworfen, bis zuletzt die Radioaktivität auf eine kleine Gewichtsmenge Substanz konzentriert war. Nun erst begann die höchst langwierige Laboratoriumsarbeit; die Radioaktivität häufte sich in immer geringer werdenden Sub-

stanzmengen an, bis es Curies gelang, zwei neue Elemente aufzudecken, welche sich als radioaktiv erwiesen. Ihre Ahnung hatte sich aufs glänzendste verwirklicht.

Das Wismut begleitend fanden sie ein diesem chemisch sehr ähnliches Element; es erhielt den Namen „Polonium", zu Ehren der Frau Curie, deren Geburtsland Polen ist. Als Begleiter des Baryums, und diesem in chemischer Beziehung sehr nahe stehend, trafen sie bald darauf, gemeinsam mit Bémont, ein zweites bisher unbekanntes Element an; sie nannten es „Radium" (d. i. das Strahlende), eben wegen seiner hohen radioaktiven Eigenschaften. Ein drittes, bisher unvermutetes Element, „Aktinium" genannt, welches als Begleiter des Thors auftritt und diesem sehr nahe steht, wurde ein Jahr später, im Jahre 1899, von Debierne aus demselben Ausgangsmaterial gewonnen. Alle drei, Polonium, Radium und Aktinium, besitzen äusserst intensive radioaktive Eigenschaften, ist doch z. B. das Strahlungsvermögen des Radiums für Becquerelstrahlen bis zwei Millionen mal stärker als das des metallischen Urans. Von diesen 3 Elementen ist Radium allein in reinem Zustande hergestellt worden und zwar als Radiumchlorid oder als Radiumbromid. Polonium und Aktinium konnten bis heute nicht in reinem Zustande gewonnen werden, ja sogar die Existenz eines Elementes Polonium ist in Zweifel gezogen worden. Verschiedenen Forschern soll die Auffindung noch anderer, bisher unbekannten radioaktiven Stoffe geglückt sein; die diesbezüglichen Untersuchungen jedoch sind nicht abgeschlossen, und ein endgültiges Urteil konnte sich noch nicht bilden. Andererseits wird behauptet, die Radioaktivität sei überhaupt eine allgemeine Eigenschaft der Materie, nur sei sie meistens so schwach, dass sie bisher durch unsere physikalischen und chemischen Mittel nicht überall konnte nachgewiesen werden, in merkbarem Grade würde sie nur bei einigen Elementen auftreten. Wie dem auch sei, wir werden unsere Betrachtungen über die Radioaktivität an das Radium anschliessen, zeigt es doch die radioaktiven Eigenschaften in ausgesprochenem Masse. Von den neu entdeckten radioaktiven Körpern gelang bis jetzt allein dessen Reindarstellung. Als Element ist es sicher gekennzeichnet worden durch die spektralanalytische Methode und durch die Atomgewichtsbestimmung. Das Radium, das jüngst entdeckte Gestirn am chemischen Horizont, hat seine Auferstehung gefeiert; der tiefe Nebel, der es bis dahin verhüllte, ist zerrissen. Die Dämmerung ist eingebrochen und glorreich, nach allen Richtungen seine wunderbaren Strahlen

aussendend, schreitet es weiter auf der betretenen Bahn. Wie in der modernen Astronomie, bei der Entdeckung neuer Himmelsgestirne, die photographische Platte eine hervorragende Bedeutung gewonnen hat, so ist sie auch in der Chemie zum Ausgangspunkt der Auffindung eines neuen Elementes geworden. Die Instrumente wissenschaftlicher Forschung sind auf das Radium gerichtet. Welche Ergebnisse sind festzustellen ?

Das Radium ist äusserst selten auf unserer Erde anzutreffen, müsste man doch, um nur 1 g dieses Körpers zu erhalten, 10000 Kg Uranrückstände, also eine ganze Waggonladung, verarbeiten und mit voller Sicherheit kann man behaupten, dass bis jetzt nicht einmal 10 g desselben als Verbindung in reinem Zustande vorhanden sind. Selbstverständlich ist das Radium daher ein teuerer Artikel. Ein Kg dieser kostbaren Substanz würde ein Riesenkapital darstellen und der Besitzer desselben wäre vielfach Millionär, belaufen sich doch die Herstellungskosten 1 g augenblicklich auf etwa 150 000 Franken.

Staunenswerte Eigenschaften besizt dieser merkwürdige Körper. Andauernd und spontan sendet das Radium energiebegabte Strahlen aus, und dieses Strahlungsvermögen bewahrt es mit unverminderter Särke, konnte doch seit den 5—6 Jahren, dass es isoliert ist, von den verschiedenen Forschern, deren Tätigkeit auf diesem Gebiete liegt, keine nennenswerte Veränderung der Intensität irgend eines Präparates festgestellt werden, so dass das Radium das perpetuum mobile, welches aufzufinden bisher nur fruchtloses Beginnen war, zu verwirklichen scheint.

Die Strahlen, welches das Radium aussendet, durchdringen die verschiedensten Stoffe. Keiner erweist sich als ein absolutes Hindernis. Für das Licht giebt es zwar undurchdringliche Körper, für die Becquerelstrahlen jedoch nicht. Durch einige Cm. dicke Metallplatten aus Kupfer, Aluminium u. s. w., sogar durch das für Röntgenstrahlen undurchdringliche Blei, durch Lösungen aller Art, gehen sie ungehindert hindurch.

Die Becquerelstrahlen erregen die Fluoreszenz verschiedener Körper auf die sie treffen. Es leuchten z. B. auf unter ihrem Einflusse: Glas, Wasser, Petroleum. Diese Eigenschaft kann zum Nachweis der Radioaktivität benutzt werden. Besonders intensiv fluoresziert der Baryumplatincyanürschirm. Nähert man einem solchen Schirm ein Radium

salz, so leuchtet er auf; auch die schwächsten Erregungen können wahrgenommen werden, wofern das Auge im Dunkeln ausgeruht ist. Jedoch diese Lichtwirkung beschränkt das Radium nicht auf fremde Körper. Der Spender selbst kann sich dem Einflusse der eigenen Strahlen nicht entziehen und leuchtet, gleichsam ein Johanniswürmchen, doch mit dem Unterschiede, dass dieses seine Lichtquelle speist, das Radium hingegen aus grundlosem Behälter zu schöpfen scheint. Das Radium ist das erste Beispiel eines Körpers, welcher ohne Zufuhr von Energie selbstleuchtend ist. So besitzt Giesel ein Radiumpräparat, das sogar am hellen Tage deutlich Licht aussendet. Im Dunkeln ist es möglich, noch bei einer Entfernung von 20 cm die Uhr abzulesen und ein weisses Blatt Papier ist sogar bis auf 1 m hin sichtbar.

Nicht nur eine Lichtquelle, auch eine Elektrizitätsquelle ist das Radium. Die Becquerelstrahlen nämlich besitzen elektrische Eigenschaften. Die Entdeckungsgeschichte des Radiums hat uns gezeigt, dass sie die Luft elektrisch leitend machen, welcher Umstand ja eben Curies eine bequeme und genaue Messungsmethode in die Hand gab. Nicht nur die Luft, sondern die verschiedensten Körper, z. B. Benzin, Petroleum, welche man bisher als Nichtleiter der Elektrizität ansah, nehmen, vom Zauberstabe des Radiums berührt, ein gleiches Verhalten an. In der Umgebung eines Radiumsalzes ist es unmöglich, irgend einen elektrischen Apparat im isolierten Zustande zu erhalten, denn die durch die Becquerelstrahlen leitend gemachte Luft entladet die elektrisch geladenen Leiter. Aber der Urheber dieser Störungen wird seinerseits notwendigerweise in Mitleidenschaft gezogen; er verfällt der Autosuggestion; das Radium nimmt eine elektrische Ladung an. Das Radium scheint also über eine Elektrizitätsanlage zu verfügen, wie die Zitterfische, welche in besondern Organen Elektrizität erzeugen. Doch, wenn die elektrischen Fische ihre Arbeitsmaschine unterhalten müssen, so ist das Radium dieser Mühe enthoben. Selbsttätig funktioniert sein Apparat und so haben wir an ihm das erste Beispiel eines Körpers vor uns, der ohne äussere Anregung sich zu elektrisieren vermag.

Eine Wärmequelle stellt ferner das Radium dar. Ohne Unterlass strahlt es beträchtliche Wärmemengen aus wie die heissen Mineralwässer, welche dem Erdinnern entströmen. Doch diese schöpfen ihre Energie am verborgenen Feuerbusen ihrer Gebärerin, während das Radium, ohne fremde Mithilfe, sie eigens schafft. Von der Eigenwärme durch-

drungen droht dieser merkwürdige Körper die bisherigen Anschauungen über den Haufen zu werfen, übersteigt doch die Temperatur der Radiumpräparate diejenige der umgebenden Luft um 2°—5°. Das Radium ist das erste Beispiel eines Körpers, der andauernd und spontan Wärme erzeugt.

Bis jetzt haben wir physikalische Eigenschaften des Radiums und seiner Strahlen kennen gelernt. Auch chemisch ist es wirksam. Die Becquerelstrahlen rufen an verschiedenen Körpern, auf die sie treffen, chemische Veränderungen hervor. Sie beeinflussen die Bromsilbergelatineplatte, die photographische Platte, welche Eigenschaft ja eben zur Entdeckung der Radioaktivität geführt hat, sie bewirken auf ihr Bilder von weniger durchdringlichen Substanzen, welche in einer Pappschachtel oder in einem Holzkästchen eingeschlossen sind; man erhält sogenannte Radiographien. Sauerstoff wird unter ihrem Einflusse in Ozon verwandelt, gelber Phosphor in roten; Papier, in welchem Radiumpräparate längere Zeit aufbewahrt wurden, wird braun gefärbt; es wird ausserdem brüchig und durchlöchert, so dass es ein siebartiges Aussehen erlangt. Porzellan-, Glasgefässe, welche Radiumsalz enthalten, färben sich violett oder braun, je nach ihrer Zusammensetzung. Diese Färbung ist nicht oberflächlich; sie dringt in das Innere der Substanz ein. Die Radiumpräparate selbst, welche ursprünglich weiss sind, sind machtlos der eigenen Beeinflussung preisgegeben; nach und nach werden sie gelb oder violett, manchmal auch rosafarben. Diese verschiedene Färbung wird auf unwägbare Verunreinigungen zurückgeführt.

Auch auf organische Verbindungen wirken die Becquerelstrahlen ein und damit kämen wir zu den physiologischen Wirkungen, welche das Radium der Medizin dienstbar machten. Die Becquerelstrahlen rufen Hautentzündungen hervor und die Forscher, deren Namen mit der Entdeckungsgeschichte der radioaktiven Substanzen verknüpft bleibt, machten anfänglich üble Erfahrungen mit dem Neugeborenen, wenn er schalkhaft seine keineswegs immer harmlosen Possen trieb. Becquerel, die beiden Curies, Giesel wissen davon zu erzählen. In Glasröhren eingeschmolzene Radiumpräparate, welche jene Forscher bei sich trugen, erzeugten durch die Kleidungsstücke hindurch heftige Verbrennungen auf der Haut und, was besonders auffällt, ist, dass diese Wirkungen sich erst tage- und wochenlang nach der Entfernung des Unheilstifters einstellten. Es bildeten sich Brandwunden, die zu Eiterungen führten und nur schwierig heilten, während an

den betreffenden Stellen tiefe Narben verblieben, welche bis heute noch nicht verschwunden sind. Man hat die Wirkung des Radiums auf Tierorganismen erprobt. Junge Mäuse, deren Körper man das in einer Glasröhre enthaltene Radiumsalz näherte, wurden in kuzer Zeit gelähmt, und nach einigen Tagen trat stets der Tod ein. Bei ausgewachsenen Mäusen wurde das gleiche Resultat erreicht, wenn der Kopf vom Haarwuchse befreit worden war. Kleine Tiere, welche in der Entwicklung begriffen waren, wurden verunstaltet, so dass Missbildungen erfolgten. Diese Ergebnisse zeigen uns, dass die Becquerelstrahlen eine zerstörende Wirkung auf die Gewebe ausüben und war es nicht natürlich, dass der Gedanke sich einstellte, den Radiumpräparaten Eingang in die Heilkunde zu verschaffen, um ihre Kraft zu erproben an bösartigen Hautkrankheiten, wie Krebs, Lupus, kennzeichnen sie sich doch durch verhältnismässig junge und krankhafte Gewebsteile, welche desto eher der Vertilgung anheimfallen müssten? Die Erwartungen haben sich erfüllt. Die bisher erlangten Resultate können nur ermutigend wirken auf den Ausbau des neuen Gebietes, der Radiumtherapie, das sich der Medizin erschlossen hat, so dass nur zu bedauern ist, dass bis heute das Radium, wegen seines fabelhaften Preises, der Allgemeinheit nicht zugänglich ist. Vorsichtig muss man allerdings bei der Behandlung mit diesem Heilmittel vorgehen, denn es greift ja ebenfalls die gesunden Gewebe an, es erweist sich als ein zweischneidiges Schwert, und die diesbezüglichen Untersuchungen müssen dahin zielen, nicht zu aktive Präparate für diese Zwecke herzustellen.

Höchst interessante Eigenschaften besitzt das Radium. Es erregt die Fluoreszenz fremder Körper und strahlt in eigenem Lichte; Nichtleiter macht es elektrisch leitend und verschafft sich eine eigene Ladung; Wärme giebt es an die Umgebung ab und erwärmt sich selbst; farbenspendend tritt es auf und legt sich selbst ein farbiges Gewand an; gewebetötend erweist es sich, welche Eigenschaft es zu einem Heilmittel stempelt. Alle diese verschiedenen Wirkungen sind andauernd, sie vollziehen sich ohne fremdes Eingreifen, und unter allen Temperaturverhältnissen bleiben sie sich gleich. Stellt das Radium nicht ein unerschöpfliches Füllhorn dar?

Da das Radium aus gleichsam unversiegbarem Borne schöpft, braucht es nicht zu knausern. Es ist äusserst freigebig gegen seine Umgebung. Den benachbarten Körpern teilt es seine eigenen radioaktiven Eigenschaften mit, wofern

es nur nicht allseits luftdicht umschlossen ist; besonders intensiv wird jene Wirkung aber dann, wenn die fremden Stoffe mit Radiumsalzen in Lösung längere Zeit in Berührung sind. Diese Fähigkeit des Radiums, inaktive Körper selbststrahlend zu machen, wurde im Jahre 1899 von dem Ehepaar Curie entdeckt und die Erscheinung selbst hat den Namen „eingeführte“ oder „induzierte Radioaktivität“ erhalten. Es konnte dieser Umstand die berühmten Untersuchungen der Curie's nur erschweren, da mancher inaktive Körper unter fremder Flagge die Ausnahmestellung, welche das Radium geniesst, zu erzwingen versuchte. Die inaktiven Körper verstehen mit dem vom Radium entlehnten Gewande Maskerade zu treiben; allein die Herrlichkeit hat bald ein Ende. Entfernen wir die Seele des Auftrittes, das Radium, so hat die Maske ihren Stützpunkt verloren; sie sinkt nach und nach bis zuletzt der Träger entlarvt dasteht. Die eingeführte Radioaktivität hat keinen Bestand, allmählich geht sie verloren, bis sie zuletzt auf Null herabgesunken ist. Diese Übertragbarkeit der Radioaktivität an jeden beliebigen Stoff vollzieht sich unabhängig von der Selbststrahlung. In einer Röhre, z. B. aus Glas oder Aluminium, eingeschlossenes Radium sendet durch die feste Wand hindurch unausgesetzt Becquerelstrahlen aus; aber Induktion ist nicht im geringsten nachzuweisen. Damit diese stattfinden könne, muss das Radium mit dem zu aktivierenden Körper in Lösung, also in Berührung, sein, oder beide müssen sich in demselben Luftraume befinden und sollte die Verbindung auch nur durch eine Haarröhre hergestellt sein. Das Radium sendet also, unabhängig von der Becquerelstrahlung, ein gewisses Etwas aus, eine Ausstrahlung, eine „Emanation“ wie Rutherford sich ausdrückt, selbststrahlende Partikelchen, wie die Riechstoffe Teilchen an die Luft abgeben. Dieses radioaktive Material hat alle Eigenschaften eines Gases, wie Rutherford (1900) nachgewiesen hat; es diffundiert durch die Luft, wird wie ein Gas durch einen Luftstrom fortgeführt, wird aufgehalten durch feste Körper, haftet ihnen aber auch an, so dass sie, da das Gas radioaktiv ist, selbststrahlend erscheinen. Ja noch mehr, diese sogenannte Emanation konnte durch flüssige Luft wie ein sehr niedrig siedendes Gas kondensiert werden. Dem Radium, wie die eingeführte Radioaktivität uns nahe gelegt hat, verdankt also seinen Ursprung ein bisher unbekanntes Gas, welches wegen seiner chemischen Trägheit den vor kurzem in der atmosphärischen Luft entdeckten Edelgasen anzureihen wäre, sich von ihnen aber durch seine

Radioaktivität unterscheidet. Dieses Gas ist wenig beständig; es zersetzt sich in Bestandteile, die nicht mehr radioaktiv sind: die induzierte Radioaktivität hat ihr Ende erreicht. Unter den Zersetzungsprodukten haben Ramsay und Soddy (1903) das Helium aufgefunden, jenes Gas, welches schon seit Jahrzehnten in der Sonnenatmosphäre durch Spektralanalyse nachgewiesen worden war, als Erdbürger aber erst in den letzten Jahren erkannt wurde.

Das Radium, wie dieser kurze Überblick uns gezeigt, strahlt unaufhörlich, ohne fremde Zufuhr, kolossale Energiemengen aus. Es ist eine andauernde und spontane Licht-, Elektrizitäts- und Wärmequelle. Ferner sendet es fortwährend einen gasförmigen Stoff aus, die sog. Emanation, welche sich in Helium verwandelt. Und doch, obgleich dieser seltsame Körper ohne Unterlass Energie und Stoff abgiebt, geht er nicht an eigener Erschöpfung zu Grunde. Keine Energie-, keine Gewichtsverminderung konnte bisher konstatiert werden und wo findet das Radium, dieses Wunder der Neuzeit, Ersatz? Wie ist das Verhalten dieses Körpers in Einklang zu bringen mit den Grundgesetzen der Naturwissenschaft? Wir stehen vor einer in die bisherigen Errungenschaften tief einschneidenden Frage, welche notwendigerweise eine Aenderung verschiedener bisher gültiger Anschauungsweisen herbeiführen muss. Giebt es eine befriedigende Erklärung dieser rätselhaften, bisher ungeahnten Erscheinungen? Ihr starres Antlitz erhebt trotzig die geheimnisvolle Sphinx und durchbohrt mit ihrem steinernen Auge den Grübler, der sich anmasst, das naturwissenschaftliche Rätsel zu ergründen. „Unendlich sind die Rätsel der Natur“. Kalte Worte, welche den blassen Lippen des schrecklichen Ungeheuers uns entgegentönen! Wo ist der Ödipus, der den Zwiespalt zu lösen vermag? Fruchtlos waren die abenteuerlichsten Hypothesen aufgestellt worden, aber die Tage ihrer Herrschaft waren bald gezählt. Diese Eintagsfliegen flatterten sich zu Tode und über ihre Leichen hin erhob sich der Baum der Erkenntnis. Die Erklärung der rätselhaften Erscheinungen ist neulich von Rutherford und Soddy gegeben worden. Sie liegt auf dem Gebiete der Elektronentheorie.

Die Wissenschaft des vergangenen Jahrhunderts stand im Zeichen des atomistischen Molekulartheorie. Ein beliebiger Stoff erfüllt den von ihm eingenommenen Raum nicht in allen Punkten, sondern besteht aus sehr kleinen, von einander getrennten Teilchen; es sind die Moleküle, die kleinsten Teilchen eines Stoffes, die im Zustande der Freiheit be-

stehen können. Das Molekül seinerseits ist nicht einfach: es ist gebildet von einer verschiedenen Anzahl noch kleinerer Teilchen, welche ebenfalls durch Zwischenräume von einander getrennt sind; es sind die Atome. Nach der bisherigen Anschauungsweise sah man die Atome als die letzten kleinsten Teilchen an, die überhaupt existieren könnten; mit ihnen hätte die Teilbarkeit des Stoffes ihre Grenze erreicht. Verschiedene Tatsachen, welche dem Ende des vorigen Jahrhunderts angehören, haben zur Notwendigkeit geführt, diese Auffassung als irrig zu erklären, die Atome wären also nicht die letzten Elemente der Materie. Wie die Moleküle aus Atomen zusammengesetzt seien, so wären die Atome ihrerseits Konglomerate noch kleinerer, ebenfalls von einander gesonderter Bestandteile; man hat sie als Elektronen bezeichnet.

Die Elektronen, diese Urbestandteile der Materie, winzige Partikelchen von verschwindend geringer Masse, sind mit einer Ladung Elektrizität behaftet und zwar mit positiver oder mit negativer, so dass wir 2 Arten von Elektronen zu unterscheiden haben, das positive Elektron und das negative Elektron. Die Atome stellen nun neutrale Kombinationen positiver und negativer Elektronen dar; die an die winzigen Partikelchen gebundenen positiven und negativen Elektrizitätsmengen gleichen sich aus, so dass das Atom sich als elektrisch neutral erweist. Zur Zeit der Genesis der Atome haben die Elektronen, die Urbausteine der Materie, sich zusammengefügt, um unter Aufnahme bedeutender Energiemengen neutrale Gebilde zu ergeben: die verschiedenen Atomarten, deren bis jetzt zirka 80 bekannt sind. Die Stabilität, die innere Festigkeit, der verschiedenen Atomarten ist verschieden gross. Was speziell die schweren Atome betrifft, so sind sie zusammengesetzt aus einer sehr grossen Anzahl von Elektronen und sie vermochten ungeheuere Energiemengen, und zwar in gebundenem Zustande, aufzuspeichern; infolgedessen repräsentieren sie ein unstabiles System. Wie eine gespannte Spiralfeder das Bestreben hat, in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren, wobei sie Energie abgiebt, so wohnt auch den schweren Atomen der Drang inne, in einen stabileren Zustand überzugehen, welcher durch eine geringere Energiemenge gekennzeichnet ist. Die Elektronen müssen also das Bestreben haben, das Band zu sprengen, das sie an einander fesselt, um sich in geringerer Zahl wieder zu stabileren Gebilden zusammen zu finden. Bei diesem Vorgange wird gebundene Energie frei.

Bedenken wir, dass Uran, Thor, Radium sich durch ein hohes Atomgewicht auszeichnen und sogleich wird sich Klarheit über die Erscheinungen der Radioaktivität verbreiten. Das schwere Radiumatom ist ein unstabiles System. Aus dem neutralen Atomverbande trennen sich negative und positive Bestandteile, wobei gebundene Energie frei wird und in andere Formen verwandelt wird: das Radium ist eine Energiequelle. Zu gleicher Zeit findet eine Neuanordnung der Bestandteile statt; allein sie treten in minder grosser Zahl zusammen, um je ein Atom zu bilden; es entsteht ein stabileres Konglomerat, das über geringere Energiemengen verfügt: es entsteht das Gas, welches wir als Emanation kennen gelernt haben. Aber auch die Emanation ist noch ein unstabiles Gebilde, besitzt sie doch radioaktive Eigenschaften. Es finden also wiederum dieselben Vorgänge, wie in den Radiumatomen, statt und diesmal legen sich die von einander getrennten Bestandteile zu einem stabilen System zusammen: es bildet sich Helium, das keine radioaktiven Eigenschaften besitzt. Dieses Verhalten erinnert an das der Wärme, die zu immer kälteren Körpern übergeht, bis sie in den kältesten verbleibt. Nach dem Vorhergehenden besteht die Radioaktivität in der Zerstrümmerung der Atome in ihre Grundsteine, in Elektronen.

So intensiv wird die Entwicklung freier Energie beim Zerfalle der sich umwandelnden Atome, dass Bestandteile derselben mit ungeheuerer Wucht und Schnelligkeit aus dem Reaktionsgebiet gesprengt werden, ohne dass es wieder zu ihrer Vereinigung kommt, dass sie ähnlich wie die Bruchstücke bei einer Explosion weggeschleudert werden. Diese Trümmerstücke, diese Geschosse sind nachgewiesen worden in den Strahlen, welche das Radium aussendet. Die Becquerelstrahlen nämlich sind nicht einheitlich; es gelang sie in 3 Gruppen zu zerlegen. Die erste Gruppe besteht aus freien, mit riesiger Schnelligkeit bewegten, negativen Elektronen; ihre Geschwindigkeit grenzt an die des Lichtes, welches 300 000 Km in der Sekunde zurücklegt. Diese Gruppe ist den Kathodenstrahlen analog. Die zweite besteht aus positiv elektrisch geladenen kleinen Stoffpartikelchen von bedeutend grösserer Masse als die der negativen Bestandteile. Ihre Geschwindigkeit, dementsprechend geringer, beträgt etwa $^1/_{10}$ der Lichtgeschwindigkeit. Diese Strahlen sind identisch mit den sogenannten Kanalstrahlen, welche neben den Kathodenstrahlen in der Vakuumröhre entstehen. Die dritte Gruppe endlich, welche keinen Stoff und keine Elektrizität mit sich

führt, besteht aus Röntgenstrahlen und verdankt, wie in der Vakuumröhre, ihren Ursprung den negativen Elektronen. Sie ist eine besondere Form der Wellenbewegung des alles durchdringenden Weltäthers

Das Radium ist uns menschlich näher getreten. Ein Zipfel des geheimnisvollen Schleiers ist gehoben, und es war uns vergönnt, einen kühnen Blick zu tun in die schier unerschöpfliche Quelle, aus der es schöpft. Das tiefe Dunkel ist gewichen und bald wird völlige Klarheit herrschen. Man wird sich sagen: Das Radium giebt fortwährend Substanz und Energie ab; da wird sich doch wohl eine Gewichts- und Energieverminderung nachweisen lassen. Die Emanation, welche sich in Helium verwandelt, ist energiebegabte Substanz; die Becquerelstrahlen bestehen aus negativen Partikelchen, positiven Partikeln und Röntgenstrahlen; und dazu strahlt das Radium beständig enorme Wärmemengen aus. Sie erlauben mir, dass ich einige Zahlen bringe, denn Zahlen führen eine beredte Sprache. Man hat berechnet, das 1 qcm. einer radioaktiven Fläche 1 g Substanz in einer Billion Jahren ausstrahlt. Dieser Gewichtsverminderung entspricht, wie nachgewiesen wurde, eine Energieabgabe, die derjenigen gleichkommt, welche 2 800 000 Kg Steinkohle als Wärme bei der Verbrennung entwickeln. Es wird uns klar, dass unter solchen Umständen unsere Messinstrumente versagen, dass, inanbetracht der kurzen Spanne Zeit, seit das Radium entdeckt ist, es für uns einen stillstehenden Zeiger der Weltuhr darstellt. Andererseits aber sind die Fundamentalgesetze der Wissenschaft, das Prinzip der Unzerstörbarkeit der Energie und das Prinzip der Unzerstörbarkeit der Materie, gerettet. Die Grundpfeiler überlebten den Scheiterhaufen, der ihr Grab werden sollte; der zündende Funken des Radiums hat nicht geschlagen; im Gegenteil. geläutert durch dessen Strahlen, stehen sie unentwegt da, und wanken werden sie noch nicht in der fernen Zeit, wenn das Radium der völligen Zertrümmerung anheimgefallen sein wird. Wenn auch vom Tummelplatze der Ideen die Grundideen der Wissenschaft sich unerschüttert in den sichern Port zurückzuziehen vermochten, so krümmen sich doch verschiedene andere Anschauungen in den letzten Zuckungen. Es sind dies die Lehren von der Unteilbarkeit der Atome und der Unwandelbarkeit der Materie. Sie sind vom Strudel des Wirbeltanzes gepackt und wenn das Radium ihnen den Todesstoss versetzt haben wird, dann möge ihr letzter Seufzer sein: „*Panta rhei*“ !

Luxemburg. — Buchdruckerei P. Worré-Mertens.