

II. Die radioaktiven Umwandlungen*).

Von Prof. Dr. Max Toepler.

Kein Kapitel modernster Physik hat wohl so einschneidende Bedeutung für die Fundamente unserer physikalischen und chemischen Naturauffassung, wie die innerhalb der letzten fünf Jahre ausgebaute Lehre von den radioaktiven Umwandlungen. Ein kurzes Referat über diese Erscheinungen, wie es nachfolgend zu geben versucht ist, dürfte daher nicht unerwünscht sein, wenn auch unsere Kenntnisse über viele Einzelheiten dieser Umwandlungen noch keineswegs abgeschlossen und gefestigt sind.

I. Radioaktivität.

Vor etwa 10 Jahren wurde zuerst von Becquerel bemerkt, daß einigen selten vorkommenden Stoffen eine bis dahin unbekannte, ungeahnte, neue Eigenschaft zukommt, eine Eigenschaft, die später als „Radioaktivität“ bezeichnet wurde. Ähnlich wie phosphoreszierende Körper von selbst lange Zeit leuchten, so senden eine Anzahl Stoffe andauernd eigentümliche unsichtbare Strahlen aus — sie sind „radioaktiv“. Solche radioaktive Stoffe sind die altbekannten Elemente Thor (*Th*) und Uran (*Ur*) und ein neues, sehr seltenes Element, das Radium (*Ra*), dessen relativ sehr starke Strahlung (rund millionenmal stärker als bei *Ur* oder *Th*) zu seiner Entdeckung und Benennung Anlaß gab.

Bald schon erwies sich die neuentdeckte Strahlung als eine zusammengesetzte; die genannten Körper senden gleichzeitig Strahlen verschiedener Art aus, Strahlen, wie solche zum Teil auch erst kurz vorher beim genaueren Studium der Entladungsvorgänge in luftverdünnten Räumen, in sogenannten Geißlerrohren aufgefunden und genauer untersucht worden waren, Strahlen, welche den bei diesen Entladungen auftretenden Anodenstrahlen, Kathodenstrahlen und Röntgenstrahlen sehr ähneln. Diese drei Strahlenarten radioaktiver Stoffe werden jetzt als α -Strahlen, β -Strahlen und γ -Strahlen unterschieden.

Die unsichtbare Strahlung radioaktiver Stoffe macht sich in verschiedener Weise bemerkbar. Als empfindlichstes Hilfsmittel zu ihrem Nachweise dient die Eigenschaft solcher Strahlung, die Luft oder Gase überhaupt elektrisch leitend zu machen (zu ionisieren). Durch stärkere Strahlung werden photo-

*) Nach einem Vortrage in der naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis am 18. Mai 1905.

graphische Platten im Dunkeln geschwärzt; noch stärker muß die Strahlung sein, wenn sie durch Erregung von Fluoreszenz verschiedener Stoffe indirekt sichtbar werden soll — eine direkte Wirkung der Strahlung aufs Auge ist zwar auch vorhanden, aber diese ist sehr schwach.

Liegt uns, wie dies bei den genannten Elementen *Ur*, *Th* und *Ra* der Fall ist, ein Strahlungsgemisch vor, so läßt sich eine Trennung auf verschiedenem Wege erreichen; so z. B. dadurch, daß man die Strahlung ein elektrisches Feld durchsetzen läßt, wobei die α -Strahlen nach der negativen Seite abgelenkt werden, also aus positiv geladenen Partikeln bestehen, während die β -Strahlteilchen (negative Elektronen) nach der positiven Seite gezogen werden; die γ -Strahlung bleibt unabgelenkt. Ähnlich wirkt auch ein Magnetfeld. Eine genaue Messung der Stärke der Ablenkung in elektrischen und magnetischen Feldern von gemessener Stärke läßt auf die Masse (Trägheit) der Strahlteilchen und auf ihre Fluggeschwindigkeit schließen. Durch derartige Untersuchungen ist unsere Kenntnis der Natur der α -, β - und γ -Strahlung heute schon — trotz mancher Unklarheit in Einzelheiten — eine recht gesicherte und eingehende.

Die α -Strahlung besteht aus rasch fliegenden, positiv geladenen Massenteilchen, deren Atomgewicht sich zu etwa 1 bis 4 (Wasserstoffatom = 1) aus der Trägheit der Teilchen hat berechnen lassen. Die Geschwindigkeit, mit der diese schweren α -Teilchen von *Ra* oder anderen radioaktiven Stoffen abgeschleudert werden, ist ganz ungeheuer, sie beträgt rund $\frac{1}{10}$ Lichtgeschwindigkeit, das heißt 30000 km in der Sekunde, das heißt in weniger als 15 Sekunden würde von der Erde aus der Mond, in etwa anderthalb Stunden die Sonne erreicht sein. Dies ist eine Geschwindigkeit von Massenbewegung, wie wir sie sonst nirgends beobachten (selbst in den Gaseruptionen, den Protuberanzen der Sonne wird höchstens der fünfzigste Teil der genannten Geschwindigkeit erreicht). Dem entsprechend ist die in jedem einzelnen Teilchen aufgehäuften Bewegungsenergie (Produkt aus Masse und halbem Quadrat der Geschwindigkeit) eine ganz ungeheure; in 1 g α -Strahlteilchen befindet sich eine zehntausendmal größere Energie als in einem Geschoss von 100 kg und 1000 m/sec Anfangsgeschwindigkeit. Glücklicherweise ist die Menge der in jeder Sekunde von *Th*, *Ur* oder *Ra* abgeschleuderten α -Teilchen nur sehr gering, sie beträgt selbst bei dem stark strahlenden *Ra* nur etwa einhundert Milliarden Teilchen in der Sekunde, welche erst in ca. 130 Jahren ein Milligramm ergeben. Dieser feine Geschossregen von α -Teilchen wird, da die α -Teilchen annähernd ebenso groß sind wie die Moleküle anderer Stoffe an allen festen Körpern, von dünnem Seidenpapier, ja schon von einer Luftschicht von wenigen Zentimetern Dicke aufgehalten, die α -Strahlung wird „stark absorbiert“. Hierbei verwandelt sich ihre große Energie in Wärme, die α -Strahlung kann also zu oberflächlicher Verbrennung von Geweben (eventuell krankhafter Natur zu Heilzwecken) dienen. Die große Geschwindigkeit und Energie der α -Strahlung läßt es für hinreichende Phantasie nicht ganz ausgeschlossen erscheinen, daß in ihr, trotz der starken Absorption, vielleicht auch einmal ein Mittel gegeben sein wird, um materielle Grüße von Himmelskörper zu Himmelskörper zu schicken.

Die β -Strahlung besteht aus rasch fliegenden „Elektronen“, das heißt aus Atomen von Negativ-Elektrizität. Die Elektrizität erscheint nämlich nach neueren Untersuchungen jedenfalls atomistisch struiert, der Durchmesser eines als kugelförmig angenommenen Elektrizitätsatoms (Elektrons) beträgt nur etwa den millionten Teil desjenigen der materiellen Atome.

Ein solches Elektron widerstrebt Beschleunigungen, Bahnkrümmungen usw. in ganz ähnlicher Weise, wie dies Materie infolge ihrer Trägheit tut, man kann also auch von einer Art „Masse“ der Elektrizität sprechen, ohne daß letztere jedoch Schwerkraft ausübt, schwer ist, wiegt. Die aus der Trägheit definierte Masse eines jeden einzelnen Elektrons (Elektrizitätsatoms) ist kleiner als $\frac{1}{1000}$ derjenigen eines Wasserstoffatoms. — Die Geschwindigkeit, mit welcher bei β -Strahlung die Elektronen von *Th*, *Ur* und *Ra* abgeschleudert werden, ist noch größer als die der α -Teilchen; sie erreicht nahezu die Lichtgeschwindigkeit, das heißt beträgt bis zu 300000 km in der Sekunde. Trotz dieser größeren Geschwindigkeit steckt in der β -Strahlung doch viel weniger Energie (noch nicht 2%) als in der α -Strahlung, die Elektronen sind ja viel kleiner als die α -Teilchen. Diese Kleinheit der Elektronen im Vergleich zu den Molekülen aller Stoffe erklärt aber andererseits auch, daß die β -Strahlung doch viel tiefer in materielle Hindernisse eindringt, weniger absorbiert wird; Papier, dünnes Aluminium und anderes mehr wird leicht durchstrahlt, ebenso dringt die β -Strahlung tiefer in das Gewebe ein, und kann so unter Umständen dort therapeutisch wirken, wo die α -Strahlung nicht hingelangt.

Über die γ -Strahlung endlich wissen wir noch recht wenig. Vermutlich besteht sie in Ätherstörungen ähnlich den Röntgenstrahlen; als solche sind γ -Strahlen wie das Licht (NB. Licht besteht in regelmässigen, periodischen Ätherstörungen) weder magnetisch noch elektrisch ablenkbar und breiten sich vermutlich mit Lichtgeschwindigkeit aus. Ebenso wie die β -Strahlung umfaßt die vielleicht erst sekundär durch diese hervorgebrachte γ -Strahlung auch nur wenige Prozente der Gesamtstrahlung von *Ur*, *Th* oder *Ra*.

Von den typischen Eigenschaften der radioaktiven Stoffe *Ur*, *Th* und *Ra* sind nun einige durch die α -Strahlung, andere überwiegend durch die β - (oder auch γ -)Strahlung veranlaßt.

So wird die bemerkenswerte Selbsterwärmung des *Ra* weitaus überwiegend durch die Absorption der eigenen α -Strahlung im *Ra* selbst verursacht. Ebenso rührt die Ionisation der Luft in unmittelbarer Nähe der *Ra*-Präparate überwiegend von α -Strahlen her; dagegen weiterhin, wo die stark absorbierten α -Strahlen nicht mehr hindringen, ionisieren die β -Strahlen. Letztere sind es auch, welche besonders stark photographisch wirken, und überhaupt die meisten der bei Demonstrationen gezeigten Erscheinungen, wie z. B. die Fluoreszenzerregung, bedingen. Leider geben sie infolge starker Diffusion und Erregung von Sekundärstrahlungen keine scharfen Schattenbilder, auch ist ihre Absorption noch störend stark. Die sehr durchdringenden γ -Strahlen können wegen geringer Intensität und geringer photographischer Wirksamkeit auch nicht zu Knochenaufnahmen verwandt werden. Zur Herstellung letzterer ist also die Strahlung von *Ra*, *Ur* und *Th* nicht verwendbar.

II. Radioaktive Umwandlungen.

Außer den zuerst bekannten radioaktiven Stoffen Thor (*Th*), Uran (*Ur*) und Radium (*Ra*) gelang es in den letzten Jahren, nach und nach eine immer größere Zahl von radioaktiven Substanzen, von denen einige bei gleicher Gewichtsmenge noch vieltausendmal stärker radioaktiv sind als selbst Radium, aufzufinden und zu isolieren. Eine eingehendere physikalische und

chemische Untersuchung dieser Stoffe und ihrer wechselseitigen Beziehungen zu einander führte dann zu ganz unerwarteten Ergebnissen, deren volle Bedeutung noch gar nicht abzusehen ist, zum Ausbau einer Lehre von den radioaktiven Umwandlungen.

Wir wissen jetzt hauptsächlich durch die Untersuchungen Rutherfords, daß jeder der drei Stoffe *Ur*, *Th* und *Ra* sich unter Strahlung in neue Körper, und zwar zunächst in Zwischenkörper, sogenannte Metabole, und schließlic in zum Teil noch unbekannte Endprodukte von selbst und mit bisher von uns unbeeinflussbaren Umwandlungsgeschwindigkeiten verwandelt. So kennen wir jetzt folgende Umwandlungsreihen:

Thor:

Strahlung		α		α (u. β)		α	nichts		$\alpha\beta\gamma$			
Stoffe		Thor	—	Thor X	—	Thor Emanation	—	Thor A	—	Thor B	—	Endprodukt
Halbwertszeiten	ca. 10 ⁹ Jahre	fest		4 Tage	fest	1 Minute	Gas	11 Stunden	55 Minuten	fester Niederschlag, induzierte Radioaktivität		

Uran:

Strahlung		α		β (u. γ)		
Stoffe		Uran	—	Uran X	—	Endprodukt
Halbwertszeiten	ca. 10 ⁹ Jahre	fest		22 Tage	fest	

Radium:

Strahlung		α		α	α	nichts		$\alpha\beta\gamma$	β		α					
Stoffe		Radium	—	Rad. Emanation	—	Rad. A	—	Rad. B	—	Rad. C	—	Rad. D	—	Rad. E	—	Endpr.
Halbwertszeiten	ca. 1000 Jahre	fest		4 Tage	Gas	3 Min.	21 Min.	28 Min.	40 Jahre	11 Monate	fester Niederschlag, induzierte Radioaktivität					

Die meisten dieser Umwandlungen eines Stoffes in den nächsten jeder Reihe sind mit α -Strahlung verbunden, manche mit β - (und γ -)Strahlung, wie dies zu den oben angegebenen Reihen vermerkt ist. Da jedoch auch Umwandlungen ohne Strahlung unter den angegebenen auftreten, so ist die Strahlung kein wesentliches Merkmal der neuartigen Umwandlungen. Wesentlich und die genannten Umwandlungen von allen gewöhnlichen chemischen Reaktionen unterscheidend ist dagegen folgendes: Die Strahlungsintensitäten (Stärke der Radioaktivität) und die verschiedenen Umwandlungsgeschwindigkeiten der Ausgangskörper und Metabole sind unabhängig von der chemischen Bindung, in der sich Ausgangskörper oder Metabol befindet (!), sie sind unabhängig von der Temperatur (!), unabhängig von dem Zustande, ob fest, flüssig, gelöst oder gasförmig, der zerfallenden Körper. Überhaupt kennen wir noch kein Mittel, diese Umwandlungsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Der Zerfall bei Umwandlung muß also ein einschneidenderer, tiefergehenderer sein als bei gewöhnlichen Reaktionen, und alles spricht dafür, daß hier nicht mehr eine Umlagerung zwischen Atomen, sondern Veränderungen der Atome, ein Zerfall von „Atomen“ eintritt. In den Metabolen ist eine ganz neuartige Klasse von Elementen gefunden, Elemente, welche von selbst allmählich zerfallen. Das Gesetz des Zerfalls ist qualitativ für alle genannten Stoffe — Ausgangskörper und Metabole — das gleiche, es lautet: Die von einem Körper innerhalb bestimmter Zeit zerfallende Menge ist der jeweils vorhandenen Menge proportional. Unter „Lebensdauer“, auch „Halbwertszeit“ oder „Halbierungskonstante“ genannt,

solcher durch Weiterwandlung automatisch von selbst verschwindender Körper versteht man die Zeit, innerhalb welcher von einer gegebenen Ausgangsmenge die Hälfte durch Umwandlung verschwindet. Diese Lebensdauer ist für die einzelnen Stoffe verschieden, jeder derselben besitzt als eine ihn charakterisierende Konstante eine bestimmte Lebensdauer. So beträgt z. B. die Lebensdauer von *Ur* und *Th* je ca. eine Milliarde Jahre, Radium 1000 Jahre, Rad. *D* 40 Jahre, Rad. Emanation 3,7 Tage, Thor-Emanation 1 Minute. Diese Auswahl zeigt, wie verschieden die Existenzdauer dieser vergänglichen (!) Elemente ist. Als „Elemente“ sind alle diese Stoffe trotzdem noch insofern anzusprechen, als sie sich — abgesehen von der angegebenen, bisher an Elementen nicht beobachteten Eigenschaft sich von selbst eventuell unter radioaktiver Strahlung zu zerstören und so durch Atomzerfall allmählich zu verschwinden — im übrigen ganz wie bekannte Elemente verhalten. So ähnelt das Radium sehr dem Barium usw.; wie gewöhnliche Stoffe sind Ausgangskörper und Metabole bei gewöhnlicher Temperatur die einen fest, die anderen gasförmig, — sie lassen sich durch Temperaturänderung kondensieren oder verdampfen, — sie gehorchen als Gase den gewöhnlichen Gasgesetzen, dehnen sich wie solche bei Druck- oder Temperaturänderungen aus, diffundieren ohne besondere Eigentümlichkeiten, — sie lassen sich lösen, elektrolysieren, — sie zeigen charakteristische Spektren usw.

Dafs es sich bei den radioaktiven Umwandlungen um einen Vorgang von ganz anderer Bedeutung für die Materie handelt, als bei den bekannten chemischen Reaktionen, tritt auch noch besonders dadurch hervor, dafs die bei solchen Umwandlungen frei werdenden Energiemengen ganz ungeheure sind, weitaus gröfser, als sie bei allen bisher bekannten chemischen Reaktionen entwickelt werden. So entwickelt ein Gramm *Ra* jahraus jahrein stündlich mehr als 100 kleine Kalorien und insgesamt bis zum völligen Verschwinden etwa das Hunderttausendfache der Wärmemenge, welche 1 Gramm Kohle verbrennend liefert. Ähnlich große Wärmemengen, wie sie *Ra* nur langsam hergibt, werden von einzelnen Metabolen sogar in kürzester Zeit, innerhalb weniger Tage oder Stunden abgegeben.

In den Atomen radioaktiver Elemente ist also eine ganz ungeheure „innere latente Atomenergie“ aufgespeichert, welche allmählich mehr oder minder rasch bei den radioaktiven Umwandlungen frei wird, und dies von selbst, ohne menschliche Beeinflussung nach bestimmtem, oben genanntem, unwandelbarem (wenigstens soweit wir bisher wissen) Gesetze.

Nach einer Reihe von Umwandlungsstufen ist, soviel bisher bekannt, der Umwandlungsprozess beendet — aufser α - und β -Strahlteilchen bleiben schliesslich gewisse Endprodukte der Umwandlung. Während die Träger der β -Strahlung aus freier negativer Elektrizität (Elektronen) bestehen, wird die positive Elektrizität der α -Strahlen von materiellen Partikeln getragen; das Atomgewicht letzterer ist, wie schon bemerkt, angenähert bekannt, es ist nahe gleich dem Atomgewichte des Heliums. Helium findet sich aber überall dort, wo Uran oder Radium vorkommt, und spektralanalytisch ist nachgewiesen, dafs Helium allmählich im Radium entsteht; der Träger der α -Strahlung ist also Helium. Das Element Helium, ein auf der Sonne schon längst spektralanalytisch als vorhanden nachgewiesener, auf der Erde aber erst vor wenig Jahren aufgefundener Stoff, ein inertes Gas, ist also eines der Zerfallprodukte von Uran und Radium. Über die sonstigen Zerfall- und Endprodukte wissen wir noch sehr wenig, vermutlich befinden sich unter ihnen noch andere inerte Gase, vielleicht auch Blei und Wismut.

Den inneren Mechanismus des Atomzerfalls bei radioaktiven Umwandlungen kennen wir noch nicht näher; die Abschleuderung von Elektrizität und von schwerer Materie mit fast Lichtgeschwindigkeit zeigt, daß es sich hier um Explosionen von ganz fürchterlicher Art handelt, dies ist aber eigentlich alles, was wir wissen. Wir können jedoch die berechtigte Hoffnung haben, daß eine eingehende Weiteruntersuchung der radioaktiven Umwandlungen hierüber Aufschluß geben und zugleich den Weg weisen wird zur Klarlegung der inneren Struktur der Atome.

III. Einzelheiten und Folgerungen von allgemeinerem Interesse.

Die geschilderten Ergebnisse der bisherigen Untersuchungen radioaktiver Körper sind so auffallend und haben so viele neue Fragen an die Natur veranlaßt, daß möglichst intensive Weiteruntersuchungen zu den dringendsten Aufgaben der Naturforschung gehören. Leider ist hierbei die große Seltenheit der radioaktiven Stoffe ein ganz wesentliches Hindernis. Von Radium, welches zunächst in Frage kommt (*Th* und *Ur* sind zwar häufiger, aber nur sehr schwach radioaktiv), ist bisher überhaupt erst etwa ein Gramm dargestellt; der Preis eines Milligrammes beträgt mehr als 20 Mark (*Ra* ist also etwa zehntausendmal teurer als Gold) und steigt noch beständig. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse bei den Metabolen. In Radium, welches längere Zeit gelegen hat, werden sich die Zerfallprodukte zwar allmählich anhäufen; da diese Körper aber kaum gebildet auch wieder verschwinden, so ist die in 1 Gramm Radium überhaupt aufhäufbare Menge nur begrenzt. Es gilt der Satz: die in Radium oder allgemein in irgend einer vorgelegten radioaktiven Stoffmenge anhäufbaren Mengen der Metabole verhalten sich untereinander und zur Menge des Ausgangskörpers wie die Lebenszeiten. So wird z. B. in 1 Gramm altem *Ra* (Lebensdauer 1000 Jahre) höchstens ein hundertstel Milligramm Radium-Emanation (Lebensdauer ca. 4 Tage) angehäuft (und durch Ausglühen frei zu gewinnen) sein; die gesamte augenblicklich überhaupt zu Experimenten verfügbare Menge Radiumemanation beträgt also ein hundertstel Milligramm. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse bei Thor und Uran. Nur die große Empfindlichkeit und Vollkommenheit unserer physikalischen Bestimmungsmethoden und Meßinstrumente gestattet auch noch an so kleinen und noch viel kleineren Substanzmengen exakte Bestimmungen (besonders der Lebensdauer) auszuführen.

Trotz ihrer quantitativen Seltenheit sind Radium und seine Zerfallprodukte sehr verbreitete Stoffe. An vielen Fundorten, überall wo Uran vorkommt, ist Radium nachgewiesen. Das Gas Radiumemanation findet sich gelöst in zahlreichen Heilquellen, wie Karlsbad u. a. (Ob die Heilwirkung dieser Quellen durch das Vorhandensein der *Ra Em.* beeinflusst ist, bleibe dahingestellt, jedenfalls verschwindet die ja nur sehr kurzlebige Emanation bald von selbst unwiderruflich, so daß nur Wasser unmittelbar aus dem Erdinnern quellend stark emanationshaltig ist.) Auch Grundwasser und damit die Bodenluft ist mehr oder minder emanationshaltig; sinkt der Luftdruck, so steigt die Bodenluft und überall am Erdboden ist dann *Ra Em.* nachweisbar (und auch in Spuren *Th Em.*) — alles aber nur in kleinster Menge.

Wird irgend ein Körper in Berührung mit dem Gase Radiumemanation gebracht, so wird er selbst temporär radioaktiv; es schlägt sich auf ihm

besonders wenn er negativ geladen ist, „induzierte“ Radioaktivität nieder, sie wird veranlaßt durch die Zerfallprodukte von *Ra Em.*, nämlich *Ra A*, *Ra B* usw., dies sind bei gewöhnlicher Temperatur feste Körper. Elster und Geitel haben gezeigt, daß man allerorts, hier stärker dort schwächer, auf Gegenständen, welche der freien Luft länger exponiert waren, wie auf Drachenschnüren, Kastanienblättern usw., das Vorhandensein induzierter Radioaktivität nachweisen kann. In der Luft befindet sich also allerorts Radiumemanation. Auch im Regen ist dieselbe nachgewiesen.

Immer aber ist die Quantität radioaktiver Stoffe doch eine sehr geringe. Auch ist nicht anzunehmen, daß je sehr viel Radium gefunden wird.

So klein die sicher vorhandene Menge Radium aber auch ist, so erscheint sie doch von bestimmtem Gesichtspunkte aus auffallend, ja zunächst unmöglich groß. Da man das Zerfallgesetz und die Halbwertszeit des Radiums kennt, so läßt sich rechnen, wieviel Radium zu irgend einer Zeit dagewesen sein müßte, damit heute noch ein bestimmter Rest übrig ist. Hätte die Erde ums Jahr 100 000 v. Chr. ganz aus Radium bestanden, so könnte heute nur weniger als ein Gramm noch vorhanden sein. Diese Zeit ist aber jedenfalls noch klein gegenüber den Zeiträumen, mit denen die Geologie zu rechnen gewohnt ist. Radium muß also fortdauernd entstehen. Da *Ra* überall da vorkommt, wo *Ur* sich in ursprünglicher Lagerung findet, und da das Mengenverhältnis *Ur:Ra* an allen Fundorten in den verschiedensten Erdteilen als das gleiche und nahe gleich dem Verhältnisse der Lebensdauer von *Ur* und *Th* gefunden worden ist, so ist sicher Radium ein Zerfallprodukt des Urans.

Es gilt, soweit neueste Untersuchungen gezeigt haben, die Reihe *Ur* — *Ur X* — zwei nicht radioaktive aber vergängliche Körper — *Ra* — usw. In dieser erweiterten Reihe finden sich eine große Zahl von Elementen, u. a. die bekannten *Ur*, *Ra*, *He* (Träger der α -Strahlung) in genetischem Zusammenhange. Wird die Reihe des Thors dauernd gesondert bleiben und ebenso die Stellung einiger noch nicht in diese Reihen untergebrachter radioaktiver Stoffe, wie Aktinium? Es ist eine noch offene Frage, ob nicht die meisten oder alle Elemente, ja schließlich alle Stoffe in beständiger Umwandlung begriffen sind, vielleicht einem einzigen unbekanntem Endprodukte entgegen, und ob nicht vielleicht dem bekannten Satze von dem Wärmetode der Energien, dem die Welt zustrebt, ein analoger Satz von der zunehmenden Entwertung aller Materie an die Seite zu stellen ist. — Bis jetzt wissen wir nur so viel, daß vermutlich auch eine Anzahl häufig vorkommender Elemente, wenn auch nur äußerst schwach (viel schwächer als *Ur* und *Th*), radioaktiv, also in Umwandlung begriffen sind.

Die radioaktiven Umwandlungen sind, wie schon bemerkt, mit Entwicklung sehr großer Energiemengen verbunden. Sollte es sich bestätigen, daß auch häufiger vorkommende Stoffe, wenn auch langsam, ähnliche Mengen Atomenergie freigeben, so würden sich früher ganz ungeahnte Folgerungen ergeben. Schon die große Verbreitung von Radium und seiner Metabole läßt schließen, daß die Gesamtenergieentwicklung dieser doch bereits auf manche Vorgänge nicht ohne Einfluß sein könnte. So würde die Anwesenheit von nur einem fünftausendstel Milligramm in jedem Kubikmeter Erde genügen, um die gesamte Wärmeabgabe der Erde in den Weltraum auf ein Jahrtausend zu decken. Die Möglichkeit, daß sich auf einzelnen Himmelskörpern stark radioaktive Stoffe in beträchtlicher Menge befinden können, läßt alle Berechnungen von allmählicher Abkühlung

solcher z. B. der Sonne auf einmal ganz unsicher erscheinen. Mit der Entdeckung des Vorhandenseins der latenten Atomenergie ist ein ganz neuer, ungeheurer Energienvorrat in alle Rechnungen über den Energiehaushalt der Welt eingetreten.

Fragen wir schliesslich nach den praktischen Anwendungen, welche radioaktive Umwandlungen schon finden oder welche noch zu erwarten sind, so ist auf ihre Benutzbarkeit in der Medizin schon hingewiesen. Verführerisch naheliegend wären, wenn man von dem Hindernisse der grossen Seltenheit stark radioaktiver Stoffe absieht, zahlreiche praktisch-technische Anwendungen, gegen die die Wunder der Märchenwelt verblassen müßten. Eine idealere Heizung von Wohnräumen als mit dem langsam automatisch und stetig von seiner Atomwärme spendenden Radium wäre kaum denkbar; einige Kilogramm Radium dauernd in Wandnischen verteilt, würden für viele Menschenalter die Heizung besorgen. Wollen wir rasch heizen, Dampfmaschinen und dergleichen treiben, so haben wir uns nur nach anderen passenden Metaboliten umzusehen. Es ist ein Erfahrungssatz, daß die in einer Stunde abgegebene Energie der verschiedenen unter α -Strahlung zerfallenden Metabolite für gleiche Gewichtsmengen, wenn auch nur angenähert, umgekehrt proportional der Lebensdauer ist. Die verschiedenen Metabolite mit ihrer so verschiedenen Lebensdauer bieten also Heizstoffe von aller-verschiedenster stündlicher Energieabgabe. So liefert 1 Gramm *Ra Em.* in der Stunde etwa 100000 mal mehr Energie als 1 Gramm reines Radium, das heisst ca. $2\frac{1}{2}$ Millionen kleine Kalorien, und es würden etwa 5 kg *Ra Em.* in passender Weise zwischen die Kesselrohre verteilt genügen, um einen grossen Dampfer von Europa nach Amerika zu treiben. Mit noch rascher wirkenden Metaboliten ließen sich die Benzinexplosionen der Kraftfahrzeuge leicht ersetzen usw.

An solche schöne Verwendungen der Energie radioaktiver Umwandlungen könnte leider erst herangetreten werden, wenn es gelänge, die langsame Umwandlung gewöhnlicher, häufigerer Stoffe willkürlich zu beschleunigen und zu regulieren; können wir hoffen, daß dies doch einmal möglich sein wird? Durch Jahrtausende lag die Kohle im Erdinnern und zu Tage als totes Gestein, nur sehr langsam unter Energieabgabe oxydierend. Heute zwingen wir die Kohle durch Daranhalten eines einfachen Streichholzes zur Hergabe von Energie innerhalb kürzester Zeit. Ganz ähnlich nun beobachten wir heute nur an wenig Orten eine schwache, wundersame Energieentwicklung aus früher für unwandelbar gehaltener Materie. Vielleicht ist auch hier der Augenblick nicht mehr fern, wo ein passendes Streichholz gefunden wird, um jetzt scheinbar totes Gestein zu williger Hergabe ungeahnter Wunderschätze an radioaktiver Atomenergie zu veranlassen.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte und Abhandlungen der Naturwissenschaftlichen Gesellschaft Isis in Dresden](#)

Jahr/Year: 1905

Band/Volume: [1905](#)

Autor(en)/Author(s): Toepler Max

Artikel/Article: [II. Die radioaktiven Umwandlungen 1059-1066](#)