

Über das Neutronen-Protonen-Verhältnis der natürlich radioaktiven Elemente und den Zusammenhang der Zerfallsreihen

Autor(en): **Minder, W.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **11 (1938)**

Heft VI

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-110863>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern. Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Über das Neutronen-Protonen-Verhältnis der natürlich radioaktiven Elemente und den Zusammenhang der Zerfallsreihen

von W. Minder, Bern.
(Bernische Radiumstiftung.)

(11. VII. 38.)

1. Einleitung.

Die Erscheinungen des radioaktiven Zerfalls lassen sich in drei Zerfallsreihen unterbringen, die bei Uran, Thorium und Palladium beginnend, über mannigfaltige Zerfalls- und Strahlungsvorgänge schliesslich zu drei stabilen Bleis isotopen führen. Die Isotopie, die ursprünglich an den radioaktiven Elementen entdeckt wurde, erwies sich in der Folge, besonders nach den Arbeiten von ASTON, als eine allgemeine Eigenschaft der Materie.

Durch die Entdeckung des Neutrons als Baustein des Atomkerns kann die Erscheinung der Isotopie in verhältnismässig zwangloser Weise erklärt werden. Die Stabilität eines Atomkerns ist neben anderen Faktoren hauptsächlich eine Folge des Verhältnisses der ihn aufbauenden Zahl der Neutronen $A-Z$ zu der Zahl der Protonen Z . Dieses Verhältnis liegt bei den leichtatomigen Elementen etwa bei 1,0, um bei schwerer werdenden Atomen langsam gegen etwa 1,5 anzusteigen. Genauere Zahlen sollen später noch aufgeführt werden.

Es war nun naheliegend, dieses Verhältnis auch für die Elemente der natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen zu bilden und dafür eine entsprechende Darstellung zu wählen. Diese Darstellung hat derartig interessante Resultate gezeigt, dass es sich rechtfertigt, darüber zu berichten. Vorgehend sei unter Verzicht auf die Emission der γ -Strahlung der Zerfall der drei Reihen kurz rekapituliert.

2. Die Zerfallsreihen.

1. Die Uranreihe.

92	U I (α)	U II (α)	
91	U X ₂ (β)	U Z (β)	
90	U X ₁ (β)	Jo (α)	U Y (β)
89	—		

88	Ra (α, β)		
87	—		
86	Rn (α)		
85	—		
84	Ra A (α)	Ra C' (α)	Po (α)
83	Ra C (α, β)	Ra E (β)	
82	Ra B (β)	Ra D (β)	Ra G (Pb)
81	Ra C'' (β)		

2. Die Thoriumreihe.

90	Th (α)	Rd Th (α, β)
89	M Th ₂ (β)	
88	M Th ₁ (β)	Th X (α, β)
87	—	
86	Th Em (α)	
85	—	
84	Th A (α)	Th C' (α)
83	Th C (α, β)	
82	Th B (β)	Th D (Pb)
81	Th C'' (β)	

3. Die Actiniumreihe.

91	Pa (α)	
90	Rd Ac (α, β)	
89	Ac (α, β)	
88	Ac X (α, β)	
87	—	
86	Ac Em (α)	
85	—	
84	Ac A (α)	Ac C' (α)
83	Ac C (α, β)	
82	Ac B (β)	Ac D (Pb)
81	Ac C'' (β)	

Der radioaktive Zerfall umfasst also die Elemente mit $Z = 92$ bis $Z = 81$. In diesem Intervall liegen ausserdem die inaktiven Elemente Bi (209) und Tl (204, 203), ferner 2 Pb-Isotopen mit den Atomgewichten 204 und 203. Weiter ist es durch Neutronenbestrahlung gelungen, die Isotopen U 239, U 237, Th 231, Pb 205, sowie zwei Eka Re 239 und 237 aus β -Zerfall der U-Isotopen 239 und 237 und ein Tl 205 darzustellen. Weiter ist U 235 als natürliches Isotop des Urans bekannt. Schliesslich wird Bi durch Neutronenbestrahlung in RaE übergeführt.

Mit Ausnahme der Elemente 87 und 85 sind alle Atomnummern zwischen 81 und 92 durch mehrere Isotopen besetzt. Die Besetzung ist derart, dass die Elemente mit geradzahligem Kernladung Z meist mehr Isotopen aufweisen als die Elemente mit ungeraden Nummern. Diese Tatsache ist auch für die nicht-radioaktiven Elemente allgemein bekannt

3. Diskussion der Darstellung.

Für die Darstellung der Fig. 1 wurde als Ordinate das Neutronen-Protonen-Verhältnis $\frac{A-Z}{Z}$ gewählt und als Abszisse die Kernladungszahl Z . Dadurch werden die verschiedenen Isotopen eines Elementes getrennt.

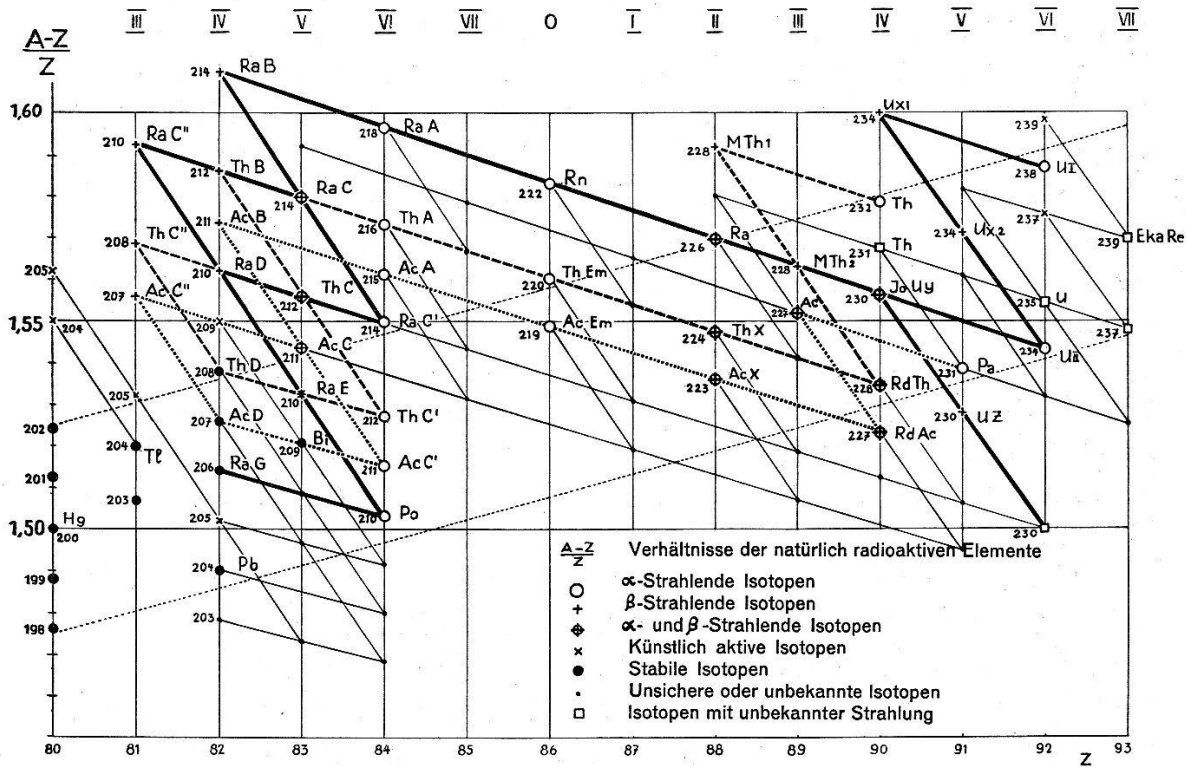


Fig. 1.

Darstellung des Neutronen-Protonen-Verhältnisses der natürlich radioaktiven Elemente in Abhängigkeit von der Ordnungszahl. Verlauf der Zerfallsreihen von Uran (ausgezogen) Thorium (gestrichelt) und Actinium (punktirt). Einzeichnung einiger hypothetischer Zerfallsvorgänge (feine Linien) und Zerfallsreihen. Zahlen links neben den Isotopen = Atomgewichte.

Ist ein Element ein α -Strahler, so wird dadurch seine Stellung um 2 Einheiten nach links und um einen bestimmten Betrag (0,012 Einheiten der gewählten Darstellung) nach oben verschoben. β -Emission verschiebt das Element um eine Einheit der Ladung nach rechts und um zweimal den bestimmten Betrag (0,012) nach unten.

Bei der Betrachtung der Darstellung fällt vor allen Dingen der vollständig analoge Verlauf des Zerfalls aller 3 Reihen zwischen den Kernladungen 90, (Io, Rd Th, Rd Ac) und 82, (Ra D, Th D, und Ac D) auf. Oberhalb und unterhalb dieser Grenzen zeigen sich Unterschiede. Während der Zerfall des U I und derjenige des Th gleichartig vor sich gehen (α -Zerfall mit darauffolgendem zweifachem β -Zerfall), zerfällt Pa in Ac unter α -Emission; dieses hat nur eine β -Zerfallsstufe zum Anschluss an die beiden anderen Reihen.

Die Produkte (Pb-Isotope) Th D und Ac D sind stabil, während Ra D unter zweimaliger β -Abgabe in Ra E und Po zerfällt, und aus diesem erst das stabile Pb-Isotop Ra G durch α -Zerfall entsteht.

Im Verlauf der drei Kurven befinden sich bemerkenswerte Lücken. Zunächst ist der Abstand zwischen der Kurve des Urans und derjenigen des Thors doppelt so gross wie derjenige zwischen Thorium und Actinium. Dabei sind allerdings die Atomgewichte der Actiniumreihe nicht absolut sicher bekannt. Es dürfte wohl kaum ein Zweifel bestehen, dass in diesem Zwischenraum ebenfalls eine radioaktive Zerfallsreihe verläuft oder, wenn deren Glieder heute nicht mehr bestehen, einmal verlaufen hat. Die Stabilität ihrer Glieder muss bei sonst ähnlichem Verlauf wegen der ungeradzahigen Atomgewichte geringer sein als die der Uranreihe und die der Thoriumreihe. Das E-Produkt dieser hypothetischen Reihe müsste bei Besetzung der geradzahigen Atomnummern von dem nicht bekannten Uranisotop 233 an durch α -Zerfall, und ähnlichem Verlauf wie die übrigen Reihen, zu dem stabilen Bi-Isotop 209 führen.

Möglicherweise handelt es sich aber bei dieser hypothetischen Reihe um eine Abzweigung der Actiniumreihe. Deren 2. Glied Ac sendet eine weiche α -Strahlung aus (O. HAHN und M. ROTHENBACH¹), die etwa 0,3% der α -Strahlung der gesamten Reihe ausmacht. Da im Gleichgewicht noch weitere 5 α -Strahler vorhanden sind, so wurde diese geringe α -Strahlung des Ac durch geringe Beimengungen erklärt und die Möglichkeit eines dualen Zerfalls des Ac fallen gelassen. Bei Betrachtung der Darstellung muss aber die zweite Möglichkeit des dualen Zerfalls als wahrscheinlich angesehen werden, zumal die Stabilität von deren Produkten z. T. grösser sein muss als die der wirklich gefundenen Reihe. Unter der Voraussetzung, dass die 0,3% der gefundenen Gesamt- α -Strahlung wirklich dem Ac zukommen, müssen etwa 2% der Ac-Atome in Eka-Caesium zerfallen. Dieses bisher unbekannte

¹) Phys. Z. 14, 1913, 410.

Element hätte eine Kernladung von $Z = 87$ und ein Atomgewicht von $A = 223$. Ein weiterer α -Zerfall müsste das Eka-Caesium in Eka-Jod $Z = 85$, $A = 219$ überführen. In diesem Fall würde die Reihe wohl bei Ac D ihren Abschluss finden, da jeder β -Zerfall in ein bekanntes Glied der Ac-Reihe überführen müsste.

Wie aus der Figur zu ersehen ist, ist dieser α -Zerfall aber bei weitem nicht die einzige Möglichkeit zur Bildung dieser bisher unbekanntes Elemente. Die naheliegendste Bildungsart des Eka-Caesiums wäre ein β -Zerfall der Emanationen Rn, Th Em, Ac Em. Besonders für Rn hat diese Möglichkeit eine gewisse Wahrscheinlichkeit. Für die Bildung des Eka-Jods käme in analoger Weise ein β -Zerfall des Ra A, Th A und Ac A in Betracht. Für diese Möglichkeit liegen die Wahrscheinlichkeiten noch wesentlich höher, da das Ra A mit einem $\frac{A-Z}{Z}$ -Verhältnis von 1,596 das weitaus höchste derartige Verhältnis aller α -Strahler aufweist. Auch für die Emanationen und für die Elemente Ra A, Th A, Ac A kommt somit ein dualer Zerfall in Betracht, der besonders für die Glieder der Uranreihe nicht unwahrscheinlich sein kann.

Das Erdalkali-Element der Atomnummer $Z = 88$ umfasst mit sinkendem Atomgewicht die vier bekannten Isotopen M Th₁, Ra, Th X, Ac X. Davon wird M Th₁ als β -Strahler angesehen, während bei den drei übrigen Elementen neben α -Strahlen auch β -Strahlen beobachtet worden sind. Die Analysen der β -Spektren haben für Ra drei Linien zwischen $\beta = 0,521$ und $0,680$, für Th X zwei Linien mit $\beta = 0,63$ und $0,73$ und für Ac X 22 Linien zwischen $\beta = 0,295$ und $0,742$ ergeben. Daneben haben alle diese β -Spektren auch einen kontinuierlichen Untergrund.

Es ist aber nicht gelungen, aus alten Ra-Präparaten ein Ac-Isotop 226 zu isolieren, und deswegen wurde die Annahme eines dualen Zerfalls des Ra fallen gelassen (F. SODDY¹), F. PANETH, K. FAYANS²). Die sichergestellte β -Strahlung wurde als sekundäre Emission von Hüll-Elektronen gedeutet, eine Deutungsweise, die für die linienarmen Spektren von Ra und Th X als sehr naheliegend erscheint, die aber besonders für das recht komplizierte Spektrum von Ac X doch gewisse Schwierigkeiten bietet, um so mehr als ja die Frequenzen der gleichzeitig emittierten Gammastrahlung rückwärts aus den Geschwindigkeiten der β -Strahlung berechnet worden sind, und oftmals in den β -Spektren viele Linien enthalten sind, aber gerade die der K-Serie dieses Elements entsprechenden fehlen (Ra, Ac X, Rd Ac). Dagegen haben O. HAHN

¹) Nature **91**, 1913, 634.

²) Wiener Ber. **123**, 1914, 1627.

und L. MEITNER¹⁾ ein Element Ra X für möglich gehalten und F. v. LERCH²⁾ konnte Veränderungen des zeitlichen Verlaufs (Steigen und Fallen) der β -Emission nachweisen, die auf das Vorhandensein eines Zwischenelementes schliessen liessen. Später erklärte er diese Erscheinung durch Verlagerung des Präparates.

Für die anderen Isotopen Th X und Ac X liegen entsprechende Untersuchungen noch nicht vor.

Ein teilweiser β -Zerfall müsste diese 3 Elemente in Isotopen des Ac, mit den Atomgewichten 226 (Ra), 224 (Th X), 223 (Ac X), überführen. Davon wäre das erste ein Glied der Th-Reihe und müsste am besten mit M Th₂ zusammen in alten Erzen gefunden werden können. Die beiden anderen müssten zwei weiteren bisher unbekanntem Zerfallsreihen angehören, über deren weiteren Zusammenhang noch gesprochen werden soll.

Ein hypothetischer α -Zerfall (entsprechend demjenigen des Ac, nur mit grösserer Wahrscheinlichkeit) müsste diese drei Isotopen in Eka-Caesium und weiter in Eka-Jod verwandeln.

Von Th sind zwei Isotopen bekannt mit den Atomgewichten 232 und 231. Daneben sind als Zerfallsprodukte mit diesen isotop U X₁, Jo, U Y, Rd Th und Rd Ac. U X₁ ist ein β -Strahler. Th und Jo sind α -Strahler, U Y ist β -Strahler und Rd Th und Rd Ac sind α - und β -Strahler. Die Strahlungen des Th 231 sind vorläufig nicht bekannt.

Die β -Strahlung des U Y umfasst eine einzige Linie mit $\beta = 0,59$, diejenige des Rd Th zwei Linien mit $\beta = 0,47$ und $0,51$ und diejenige des Rd Ac 49 Linien zwischen $\beta = 0,217$ und $0,764$.

Durch die Arbeiten von ST. MEYER, E. v. SCHWEIDLER³⁾ und G. M. ANTONOFF⁴⁾ scheint die Existenz des U Y als β -Strahler sichergestellt. Da für Rd Th und Rd Ac bisher keine Folgeprodukte gefunden werden konnten, so wurden deren β -Strahlungen analog denen der Ra-Isotopen nicht als Kernstrahlungen angesehen. Für das Paar U Y und Jo erscheint ein dualer Zerfall sichergestellt. Einerseits entsteht aus Jo das Ra, andererseits aus U Y durch β -Zerfall das U Z. Die Strahlung des U Z sind nicht genau untersucht; eine β -Strahlung scheint durch die Untersuchungen von O. HAHN⁵⁾ gesichert. Dieser β -Zerfall müsste U Z in ein U-Isotop mit dem Atomgewicht $A = 230$ überführen. Dieses wäre wohl als Ausgangselement der Zerfallsreihe möglich, in der das Pa-

¹⁾ Z. Phys. 2, 1920, 60.

²⁾ Wiener Ber. 121, 123, 128, 1912, 1914, 1919.

³⁾ Wiener Ber. 113, 1904.

⁴⁾ Phil. Mag. 22, 1911, 419.

⁵⁾ Phys. Z. 28, 1922, 146.

Isotop, das durch β -Strahlung des Rd Th gebildet wird, steht, und in der sich weiter das Ac-Isotop, durch β -Zerfall des Th X entstanden, befindet.

Ein eventueller α -Zerfall des U Z müsste zum selben Ac-Isotop der Th-Reihe führen, das durch den β -Zerfall des Ra entstehen könnte. Auch auf diesem Wege wäre somit die Bildung der Elemente Eka-Caesium und Eka-Jod möglich. Ein α -Zerfall des Th-Isotops 231 würde eine weitere Zerfallsreihe möglich machen, die durch β -Zerfall in die Ac-Reihe übergehen würde.

Der Zusammenhang zwischen U- und Ac-Reihe ist ebenfalls auf mehrere Arten möglich. Neben U 238 ist ein Isotop bekannt mit einem Atomgewicht von $A = 235$. Seine Zerfallsvorgänge sind nicht bekannt. Unter der Voraussetzung eines α -Zerfalls würde dieses Element in das Th-Isotop 231 übergeführt, dessen β -Zerfall dieses Element in Pa verwandeln müsste. Ein eventueller α -Zerfall dieses Th-Isotops müsste zu einer weiteren Reihe führen, deren Verlauf über dem des Ra läge.

Eine weitere Möglichkeit des Zusammenhangs der Ac-Reihe mit der U-Reihe wäre gegeben durch einen β -Zerfall des U-Isotops 235. Dadurch würde dieses Element in ein Eka-Renium 235 übergeführt, das durch α -Zerfall direkt in Pa übergehen würde. Weiter sind durch Neutronbestrahlung 2 U-Isotopen 239 und 237 dargestellt worden, von denen das erstere durch β -Zerfall in Eka-Re 239, dieses durch eventuellen α -Zerfall in ein Pa 235 übergehen würde. Dieses würde durch β -Zerfall das U-Isotop 235 bilden. Das künstlich dargestellte U-Isotop 237 schliesslich zerfällt ebenfalls in Eka-Re 237, dieses unter eventueller α -Emission in ein Pa-Isotop 233. Daraus würde sich durch β -Strahlung ein U-Isotop 233 bilden, dessen α -Zerfall in die Glieder der Ac-Reihe mit ungeradem Atomgewicht überführen müsste. Die weiteren derartigen Möglichkeiten, die durch die künstlich dargestellten Elemente Eka-Os (94) und Eka-Ir (95) gegeben sind, sollen hier nicht mehr aufgeführt werden.

Auch für die Endglieder der Zerfallsreihen ergeben sich noch einige interessante Einzelheiten. Auf die Möglichkeit der Bildung der unbekanntenen Elemente 85 und 87 durch β -Zerfall der A-Produkte resp. der Emanationen ist bereits verwiesen worden.

Die Reihen verlaufen bis zu den D-Produkten vollständig analog. Th D und Ac D sind stabil, dagegen zerfällt Ra D unter zweimaliger β -Abgabe in Ra E und Po und dieses unter α -Abgabe zurück in das Pb-Isotop Ra G. Neben diesen 3 stabilen Pb-Isotopen Th D 208, Ac D 207 und Ra G 206 ist ein weiteres stabiles Pb-Isotop 204 bekannt. Dieses wäre durch einen weiteren Zerfall

des Th D über zweimalige β -Abgabe (Th E, Th F) und einen α -Zerfall in die Zerfallsreihen einzugliedern. Analoges gälte für das unsichere Pb-Isotop 203 und die Ac-Reihe. Weiter ist durch die künstliche Radioaktivität bekannt ein Pb-Isotop 205, das durch β -Zerfall des künstlich aktivierten Tl 205 entsteht, und dieses wäre ein Folgeprodukt (β -Zerfall) des künstlich aktivierten Hg 205. Schliesslich wurde auch noch ein Pb-Isotop 209 erhalten, dessen Zerfall in Bi überführt, und damit neben der hypothetischen Zerfallsreihe zwischen der U- und der Th-Reihe, dessen Stellung zwischen Ac C' und Ac D bestimmt.

4. Allgemeinere Betrachtungen.

Das Neutronen-Protonen-Verhältnis

$$\frac{A - Z}{Z} = \frac{n}{p}$$

steigt für die stabilen Elemente mit zunehmender Kernladungszahl Z langsam von ca. 1,00 bei Elementen der Ladung zwischen 1—20 an, bis etwa zu 1,50 bei Hg (80). Im Mittel beträgt die Änderung des Verhältnisses, also $\frac{\Delta n/p}{\Delta p}$ etwa 0,006. Eine Gerade mit dieser Neigung würde dem tatsächlichen Verlauf recht nahe kommen. Selbstverständlich kann die reale Kurve nur Punkte umfassen, bei denen die Zunahme ein ganzes Vielfaches der Einheitsmasse beträgt. Sie wird also als Zickzacklinie verlaufen. Die Theorie des β -Zerfalls¹⁾ und die Erscheinungen der künstlichen Radioaktivität²⁾ haben gezeigt, dass Elemente, deren Neutronen-Protonen-Verhältnis von dieser Kurve weiter als eine gewisse Grenze abweichen, instabil sind und zerfallen. Liegt das Element weit über der Kurve, entsteht Emission eines Elektrons (β -Zerfall), liegt es unter der Kurve, emittiert es Positronen. Analog aber mit Abweichungen verhalten sich die natürlich radioaktiven Elemente. Die $\frac{A-Z}{Z}$ -Verhältnisse aller natürlich radioaktiven Elemente liegen in einem Bereich zwischen 1,500 und 1,610. Elemente mit grossem Verhältnis sind meistens β -Strahler, solche mit tiefem Verhältnis α -Strahler. Ausnahmen bilden vor allem die α -strahlenden Produkte Ra A, dann noch das Rn und etwa Th A. Tiefliegende β -Strahler sind UZ, ev. Rd Ac und Rd Th. Die α - und

¹⁾ G. GAMOW, Phys. Z. **38**, 1937, 800.

²⁾ K. DIEBNER und E. GRASSMANN, Phys. Z. **37**, 1936, 559; **38**, 1937, 406; **39**, 1938, 469.

β -strahlenden Elemente haben sonst meistens keine extrem liegenden Neutronen-Protonen-Verhältnisse.

Es erscheint bei der Betrachtung dieser Tatsache sehr wahrscheinlich, dass Ra A, eventuell Rn, dual zerfallen, also auch β -Strahlen aussenden, und dass U Z neben seiner β -Strahlung auch α -Strahlen emittiert.

Der Bereich der relativen Stabilität der radioaktiven Elemente würde von Hg 200 über Ra G, Bi, Th C', Th X, Ac, Jo etwa zu U 237 verlaufen. Dabei würde die Breite dieses Bereiches etwa 5 Isotopen umfassen. Die langlebigen radioaktiven Elemente befinden sich alle in diesem Bereich, während die Stellen der kurzlebigen meistens ausserhalb zu liegen kommen.

5. Zusammenfassung.

Als Darstellungsart des natürlichen radioaktiven Zerfalls wurde das Neutronen-Protonen-Verhältnis der radioaktiven Elemente in Abhängigkeit von der Kernladungszahl gewählt. Dabei wurde das Verhältnis $\frac{A-Z}{Z}$ auf 3 Dezimalen genau berechnet.

Die Darstellung zeigt für die Glieder $Z = 90$ (Jo, Rd Th, Rd Ac) bis $Z = 82$ (Ra D, Th D, Ac D) einen vollständig analogen Verlauf der 3 Zerfallsreihen. Der Zwischenraum von 2 Atomgewichtseinheiten zwischen der U-Reihe und der Th-Reihe macht es wahrscheinlich, dass hier eine 4. Zerfallsreihe verläuft oder einmal verlaufen hat. Gestützt wird diese Hypothese durch die beobachtete α -Strahlung des Ac.

Die α -Emission des Ac müsste zur Bildung der bisher unbekannt Elemente Eka-Caesium und Eka-Jod führen. Die Entstehung von Isotopen dieser beiden Elemente wäre ausserdem auch möglich durch β -Emission der Emanationen bzw. der A-Produkte, die, nach ihrer Stellung zu schliessen, z. T. einen hohen Wahrscheinlichkeitsgrad haben. Ferner wäre die Bildung dieser Elemente möglich durch eine β -Emission und eine nachfolgende α -Emission der Ra-Isotopen, wovon die erstere bei M Th₁ als sicher angenommen wird, während die β -Strahlung der übrigen Ra-Isotopen bisher als Hüllenstrahlung angesehen wurde, obschon dieselbe neben einem Linienspektrum auch einen kontinuierlichen Untergrund aufweist und wegen des Linienreichtums und der fehlenden K-Serien nicht ganz zwanglos als Hüllenstrahlung erklärbar ist. Schliesslich wäre die Bildung eines Isotops dieser Elemente durch zweimaligen α -Zerfall von U Z denkbar, ein Vorgang, der nach seiner Stellung ebenfalls einen recht hohen Wahrscheinlichkeitsgrad hat.

Bei diesen genannten, heute noch hypothetischen Zerfallsvorgängen ergibt sich ein Zusammenhang der 3 radioaktiven Zerfallsreihen, wobei alle drei untereinander durch mehrere Glieder gekoppelt sind. Für U—Ac scheint dieser Zusammenhang sowohl wegen des konstanten Verhältnisses ihrer Glieder in alten Präparaten, als auch durch die Existenz des U-Isotops 235 heute bereits gesichert.

Einige der noch hypothetischen Vorgänge (β -Zerfall von Rd Th, Th X, Rd Ac, Ac X, Th Em, Ac Em, Th A, Ac A), besonders aber der als sicher geltende β -Zerfall des UZ würden zu Gliedern führen, die auf zwei weiteren Zerfallsreihen liegen müssten, die um je eine Gewichtseinheit unter der Ac-Reihe verlaufen müssten. Eine weitere hypothetische Reihe würde durch den α -Zerfall des U-Isotops 235 entstehen; ihr Verlauf läge über der U-Ra-Reihe.

Die gesamte Variation des $\frac{A-Z}{Z}$ -Verhältnisses der radioaktiven Elemente umfasst eine Breite zwischen 1,50 und 1,61. Elemente mit hohem Verhältnis sind meistens β -Strahler, solche mit tiefem Verhältnis meist α -Strahler. Die Verhältnisse der α - und β -strahlenden Glieder zeigen mittlere Werte. Diese Elemente liegen in einem relativen Stabilitätsbereich, der durch ein Feld gegeben ist, das sich mit einer Breite von ungefähr 5 Isotopen von 1,5 bei Hg zu 1,575 bei U hinzieht. In diesen Bereich hinein fallen alle stabilen Glieder der Elementengruppe und auch alle diejenigen mit hoher Lebensdauer. Die kurzlebigen Produkte liegen zum grössten Teil ausserhalb dieses Bereiches.

Die grösste Zahl von bekannten Isotopen weist das Element 82 (Pb) auf. Ihm folgen 84 (Po), 90 (Th), 81 (Tl), 92 (U), 83 (Bi), 88 (Ra), 91 (Pa), 86 (Rn), 89 (Ac). Die geradzahligten Elemente haben sowohl eine grössere Mannigfaltigkeit als auch eine höhere Lebensdauer. Vollständig fehlen die Isotopen mit den Atomgewichten 213, 221, 225, 229, 233, 236, die mit Ausnahme des letzteren alle ungerade Atomgewichte aufweisen.

Es darf als recht wahrscheinlich angesehen werden, dass die Lücken 87 und 85 im periodischen System durch bisher unbekannte Umwandlungsvorgänge werden besetzt werden, und dass sich die Zahl der bekannten Isotopen innerhalb der Grenzen der radioaktiven Zerfallsreihen und damit die Zahl der Umwandlungsreihen noch wesentlich vergrössern wird.

Die vorstehende Darstellung hat im wesentlichen hypothetischen Charakter. Es sollen aber demnächst experimentelle Untersuchungen in Angriff genommen werden, um die eine oder andere der ausgesprochenen Hypothesen zu stützen.