

Die Molekularstruktur der radioaktiven Atome.¹

Von

GIUSEPPE ODDO.

Gelegentlich der Zusammenstellung aller radioaktiven Elemente in Form einer Tabelle, welche ich mir zum eignen Gebrauch auf Grund der von SODDY², DEBIERNE³ und jüngst von RUTHERFORD⁴ veröffentlichten Angaben anfertigte, zogen einige Zahlenwerte, die ich dabei feststellte, meine Aufmerksamkeit auf sich. Es handelt sich um die Zahl der Heliumatome, die während der drei großen Zerfallsvorgänge, von den Stammelementen bis zum Erlöschen der Radioaktivität fortschreitend, nach dem gegenwärtigen Stande der Forschung, abgespalten werden.

Sowohl bei der ersten als bei der zweiten Reihe werden, von den beiden sicheren Ursprungsgliedern, d. h. vom Ionium bzw. Aktinium aus gezählt, sechs Heliumatome abgegeben, dagegen acht, wenn man vom Uran ausgeht, von dem sich nach allgemeiner Annahme jene beiden Reihen herleiten, weil ihre Glieder in allen seinen Mineralien zusammen vorkommen; wengleich ein unmittelbarer Beweis für diesen Ursprung sich bisher allerdings nicht hat erbringen lassen.

Wenn man dagegen mit den Emanationen, dem allen drei Reihen gemeinsamen, gasförmigen Zustand beginnt, auf den man als sicheren Bezugspunkt beim Vergleich der einzelnen Glieder zurückgreifen darf, so kommt man innerhalb jeder der drei Reihen zum Erlöschen der Radioaktivität nach dem Verlust von vier Heliumatomen.

Ich vergewärtigte mir nun, daß sechs und acht die Zahl der Wasserstoffatome ist, die im Benzol bzw. im Naphthalin enthalten sind, und wollte sehen, ob man nicht auch für diese Grundelemente eine ähnliche Struktur annehmen könnte, wobei das ein-

¹ Aus dem Italienischen übersetzt von J. JAENICKE, Berlin.

² Die Chemie der Radio-Elemente, Leipzig 1912. — Im Text einfach zitiert als: SODDY.

³ Les idées modernes sur la constitution de la matière. Conférences. Paris 1913. S. 311. — Abkürzung im Text: DEBIERNE.

⁴ Radioaktive Substanzen und ihre Strahlungen. Handbuch der Radiologie. Bd. II. Leipzig 1913. — Abkürzung im Text: RUTHERFORD.

fache oder doppelte Sechseck von dem Teil des Moleküls gebildet würde, der schließlich als nicht radioaktiv zurückbleibt, und wobei die Heliumatome die Stelle der Wasserstoffatome einnehmen.

Ihr Zerfall käme dann dadurch zustande, daß alle Heliumatome, eines nach dem andern, abgegeben würden, und daß daneben die Emission unwägbarer Elektronen einherginge. Dadurch würde im ersten Falle neuen Elementen Platz gegeben, deren Atomgewicht fortschreitend um je vier kleiner wäre, als das des vorhergehenden, während sich im anderen Falle wahre Stellungsisomere ergäben.

Die Naphthalinformel entsprach diesem Zweck sehr gut. Bei ihr fand ich eine vollkommene Übereinstimmung zwischen der Zahl der theoretisch voraussehbaren Isomeren, die von der Anzahl der zurückbleibenden Heliumatome abhängt, und der der wirklich bekannten Glieder; mit ihrer Hilfe konnte ich ferner nicht nur jedem einzelnen von ihnen ein eindeutiges und einfaches Struktursymbol zuweisen, auch die noch verbleibenden Lücken erwiesen sich von sehr geringer Zahl und zeigten genau die gleiche Art der Substitution: alles das ruft uns die Verhältnisse bei den aromatischen Verbindungen ins Gedächtnis.

Ich erlaube mir daher, diese Hypothese¹ zu veröffentlichen, weil sie eine übersichtliche Anordnung des Tatsachenmaterials ermöglicht und eine große Vereinfachung der Ansichten über die ganze neue und interessante Lehre von der Radioaktivität bedeutet. Ich wurde dabei auch von dem Gesichtspunkt geleitet, daß sie einer experimentellen Nachprüfung fähig ist.

1. Geht man vom Naphthalinkern aus, der alle acht Heliumatome enthält, so kann man annehmen, daß diese zuerst nur in dem einen und dann in dem anderen Sechseck abgespalten werden.

Die Zahl der Isomeriefälle wird dabei eben so groß sein, wie bei den entsprechenden organischen Substitutionsprodukten, wenn man an Stelle der zurückbleibenden Wasserstoffatome die nach einer solchen Abspaltung entstehenden Lücken in Betracht zieht.

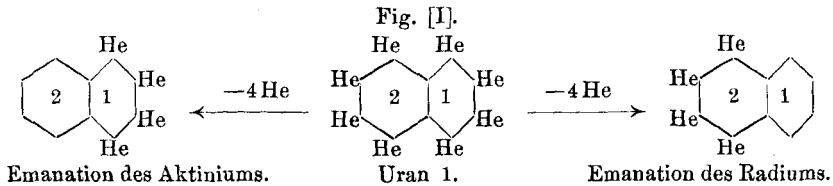
Den Vorgang der Bildung solcher Isomeren kann man zurückführen auf die Neigung des Heliumatoms in β , sich loszulösen oder

¹ Eine Skizze derselben habe ich als Anhang den Auszügen aus meiner Antrittsvorlesung beigelegt, die ich unter dem Titel: „Radioattività ed atomi“ in einigen Exemplaren versandt habe. Die dortigen Abweichungen sind im Sinne vorliegender Abhandlung zu berichtigen.

aber in die α -Stellung überzugehen, wofern diese unbesetzt ist, d. h. gegen die Mittellinie vorzurücken; dort angelangt wird es dann abgespalten. Damit schließe ich nicht aus, daß man sich den Vorgang, den Lehren des Experiments folgend, auch anders vorstellen könnte.

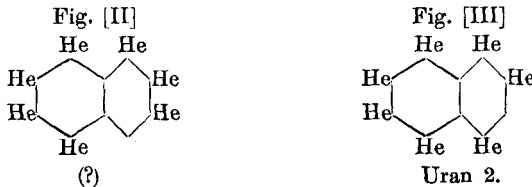
2. Wenn wir eine solche Struktur dem Uran zuschreiben, so genügt die Annahme, daß die beiden Sechsecke, aus denen es besteht, in bezug auf Größe, Form usw. unter sich ungleich sind, um zu erklären, wie sich von ihm zwei Reihen von radioaktiven Elementen ableiten können, die offenbar homolog sein müssen.

Wenn nämlich bei der einen von ihnen, z. B. bei der des Radiums, die Abspaltung im Sechseck 1 (Fig. I) erfolgt, so geht sie bei der anderen, der des Aktiniums, im Sechseck 2 vor sich:



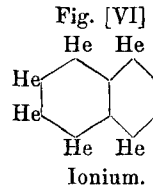
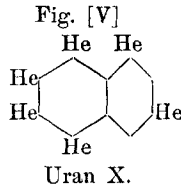
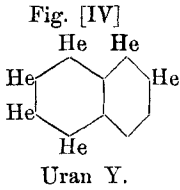
Die Struktursymbole entsprechender Glieder könnten als Spiegelbilder angesehen werden, wenn man nicht die oben besprochene Ungleichheit der Sechsecke im Auge behält, wie in dem hier behandelten Falle der beiden Emanationen.

Untersucht man die erste Reihe, d. h. die des Radiums, die auch die bekanntere ist, so erhält man mit dem Verlust des ersten Heliumatoms bei α' im Uran 1 und im Sechseck 1 den Körper [II], der sich, wie gesagt, in das Isomere [III] verwandelt, das seinerseits wieder zur Abgabe von Helium befähigt ist. Von diesen beiden möglichen Isomeren ist nur das zweite (DEBIERNE und RUTHERFORD) bekannt, dessen Namen ich, wie überall im folgenden, unter der Figur angebe:

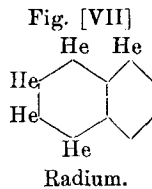


3. Die Abspaltung des Heliumatoms in α' bei [III] und die stufenweise Verschiebung des Atoms in β nach dieser Stellung hin, in der gerade fortgesetzt die Loslösung stattfindet, läßt die Bildung

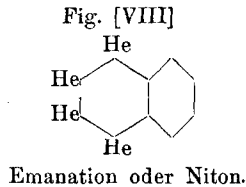
dreier Isomeren erwarten. In der Tat sind drei und nur drei bekannt, nämlich:



4. Wird beim Ionium [VI] ein Heliumatom abgespalten, und zwar stets im Sechseck 1, so kann sich nur ein einziges Element bilden, und eines ist auch bekannt, das interessanteste von allen:



5. Wiederholt sich gleichermaßen bei [VII] die sukzessive Abspaltung eines weiteren Heliumatoms, so ist ebenfalls ein Element zu erwarten, und eins ist bekannt:



Es besteht also immer eine völlige Übereinstimmung zwischen der Zahl der bekannten und der nach meiner Hypothese theoretisch zu erwartenden Glieder; obgleich sie, wie man sieht, in den einzelnen Fällen der Isomerie wechselt.

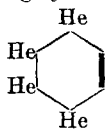
Der gasförmige Zustand des letztgenannten Elements trotz seines hohen Atomgewichts fällt auf diese Weise mit einer sehr interessanten Tatsache hinsichtlich der Struktur zusammen, nämlich mit der völligen Entblößung des Sechsecks 1 von Heliumatomen.

Wie nun ein Glied des menschlichen Körpers abstirbt, wenn seine Lebenskraft erlischt, so, können wir uns vorstellen, geschieht es in gleicher Weise bei diesem materiellen Sechseck, wenn ihm seine Radioaktivität verloren geht. Diese, wiewohl willkürliche Annahme, gestattet uns eine Vereinfachung der Formeln für die folgenden

Glieder, wodurch die Natur der Hypothese im übrigen unangetastet bleibt. Es wird in der Tat zur Darstellung dieses bloßen Kerngerippes bei der Ableitung der folgenden Isomeren genügen, wenn wir die Seite stärker ausziehen, die es mit dem Sechseck 2 gemeinsam hat, an dem sich nunmehr der Zerfallsvorgang weiter abspielt.

Darum setze ich für die Emanation an Stelle der Formel [VIII] die nachfolgende gleichwertige, aber einfachere ein, deren ich mich von nun an bedienen werde:

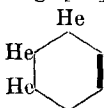
Fig. [VIII']



Emanation oder Niton.

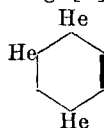
6. Löst sich in [VIII'] ein Heliumatom ab, so können zwei Isomere entstehen, von denen man nur ein einziges kennt:

Fig. [IX]



(?)

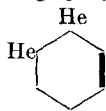
Fig. [X]



Radium A.

7. Durch Abspaltung eines Heliumatoms aus [X] können sich drei Isomere bilden, die in diesem Fall auch alle drei bekannt sind, und zwar nur diese drei:

Fig. [XI]



Radium B.

Fig. [XII]

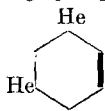
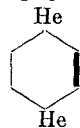
Radium C₁.

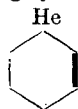
Fig. [XIII]

Radium C₂.

8. Durch nochmalige Abgabe eines Heliumatoms könnte sich von [XIII] nur ein einziges Isomeres ableiten, wenn der Austritt immer in der α -Stellung stattfände, jedoch zwei im entgegengesetzten Falle, wofern nur das ursprüngliche Sechseck während dieses ganzen Vorganges symmetrisch bliebe. Augenscheinlich wird es jedoch durch das Verbleiben eines einzigen Heliumatoms sehr unregelmäßig; deshalb könnten die sämtlichen vier freien Ecken des Kernes voneinander verschiedene Stellungen bilden, die sich dem Heliumatom bei

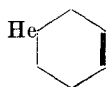
seiner Bewegung auf dem Sechsecksumfange darbieten. Auf diese Weise lassen sich bis zu vier Isomere erwarten. Ebensoviele sind nach DEBIERNE tatsächlich bekannt, nur drei dagegen nach SODDY und RUTHERFORD, nämlich:

Fig. [XIV]



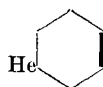
Radium D.

Fig. [XV]



Radium E.

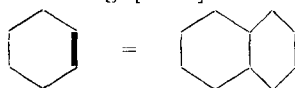
Fig. [XVI]



Radium F = Polonium.

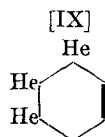
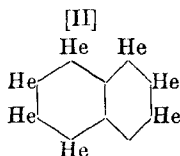
9. Schließlich bringt die Abgabe dieses letzten Heliumatoms für die in dem neuen Körper verbleibende Materie den Verlust der Radioaktivität mit sich:

Fig. [XVII]



Blei (Pb).

Von den sechzehn Elementen, die meine Hypothese innerhalb der Endglieder voraussehen läßt, sind also vierzehn bereits bekannt, und in den beiden einzigen noch nicht entdeckten begegnen wir einer völlig analogen Konstitution:



In jedem von ihnen finden sich drei Heliumatome in unmittelbarer Nachbarschaft (1, 2, 3); diese Wiederkehr der Struktur gestattet die Annahme, daß solche Elemente keine Neigung haben, sich zu bilden; daß vielmehr in den Kernen, die alle vier Heliumatome enthalten, die Abspaltung in β statt in α beginnt. Man könnte zur Erklärung auch annehmen, daß sie sich zwar bilden, aber keine Strahlen aussenden, wie das Mesothorium 1 und das Aktinium, oder daß sie von so kurzer Lebensdauer sind, daß sie sich bisher bei Aufzeichnung der Kurve für die ihnen nachfolgenden Elemente der Beobachtung entzogen haben. Man darf die Entscheidung von der experimentellen Nachprüfung erwarten.

Selten hat eine Hypothese bei ihrer Aufstellung eine so weit-

gehende und vielseitige, fast vollständige Bestätigung in den Ergebnissen des Experiments gefunden.

Sie wird noch weiter gestützt dadurch, daß die gleichen Erscheinungen zweimal genau und in gleicher Aufeinanderfolge in den beiden anderen Reihen radioaktiver Substanzen wiederkehren, wie ich nunmehr leicht systematisch darlegen kann.

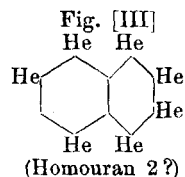
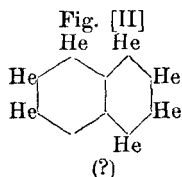
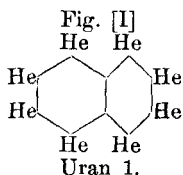
10. Geht man nämlich zur Prüfung der Reihe des Aktiniums über, die bisher von allen dreien die geringste Zahl von Gliedern aufweist, so habe ich schon darauf aufmerksam gemacht, daß auch in dieser tatsächlich acht Heliumatome zwischen den beiden mutmaßlichen Außengliedern abgespalten werden, als welche hier ebenfalls Uran und Blei anzusehen wären. Wir werden daher den Lücken nur in den Fällen begegnen, in denen ausschließlich eine Elektronenemission stattfindet, die, wie ich dargetan habe, einer Stellungsisomerie zuzuschreiben ist.

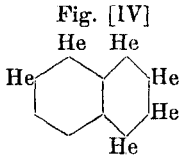
Daß wir in dieser Reihe nur eine geringere Zahl von Gliedern kennen, ist vielleicht der Unzulänglichkeit der Untersuchungen zur Last zu legen, das ich wegen der insgesamt sehr vergänglichen Existenz der Abbauprodukte gerade hier die Schwierigkeiten häufen, oder aber es ist auf sterische Hindernisse zurückzuführen, die in diesem Sechseck ihre Bildung in gleicher Weise erschweren, wie auch in dem entgegengesetzten Falle der Substitution bei den aromatischen Verbindungen.

Indem ich für jetzt alles dem letzten Grunde zuschreibe, wähle ich für die bekannten Elemente unter den Formeltypen der möglichen Isomeren diejenigen aus, bei denen die Heliumatome der Mittellinie am nächsten stehen, wobei ich immer den allgemeinen Kriterien folge, die ich oben entwickelt habe, und die in der vorhergehenden Reihe den Tatsachen so gut entsprachen.

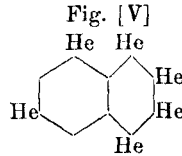
Wenn man später eines der fehlenden Glieder finden sollte, so würde es erforderlichenfalls genügen, eine passende Gruppierung hinter das gegenwärtig bekannte Isomere vorzunehmen, um immer die Entstehungsfolge einzuhalten.

In den folgenden Formeln verzeichne ich alles, was in dieser Reihe bekannt ist, und was sich noch erwarten läßt.

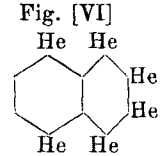




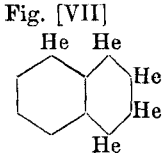
(Homouran Y?).



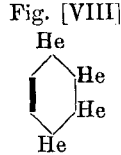
Aktinium (?).



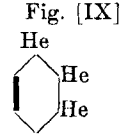
Radioaktinium.



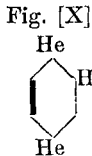
Aktinium X.



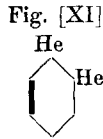
Aktiniumemanation.



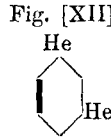
(?)



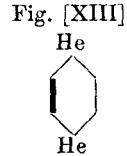
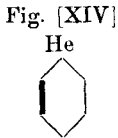
Aktinium A.



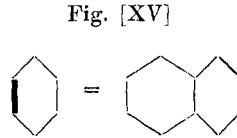
Aktinium B.



Aktinium C.

Aktinium C₂.

Aktinium D.



Blei (?).

Wie ersichtlich lassen sich auch in dieser Reihe alle bekannten Glieder nach meiner Theorie voraussehen.

Die Lücken, die noch auszufüllen bleiben, sind im ganzen vier, nämlich [II], [III], [IV] und [IX]. Aber von diesen haben [II] und [IX] analoge Konstitution: 1, 2, 3, und wir haben gesehen, daß dies auch in der Reihe des Radiums die einzigen bisher nicht gefundenen sind; und [IV] könnte in chemischer Hinsicht mit seinem Isomeren [V] verwechselt werden, wenn es wie dieses keine Strahlen aussendet.

Von Elementen mit einem Heliumatom begegnet uns hier eins, und man könnte dieses als das einzige voraussehbare betrachten, wenn nicht die Deformation des Sechsecks hinzukäme, die bei der ersten Reihe in Betracht gezogen wurde. Aber über diese schwierige Frage sind noch eingehende Untersuchungen anzustellen.

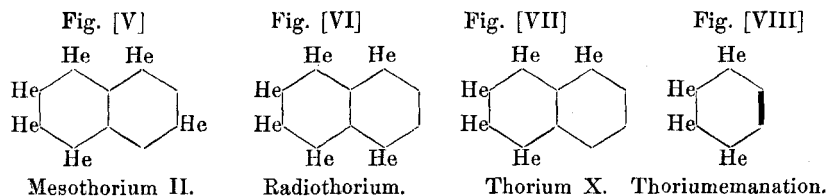
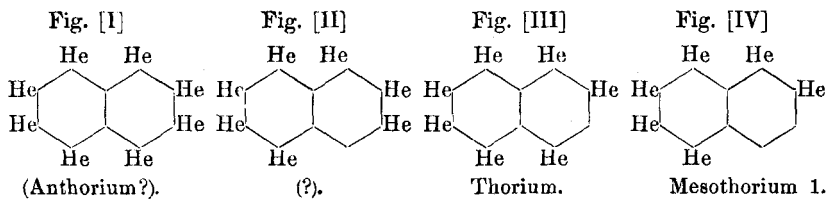
11. Ähnliches ist zu sagen über die Reihe des Thoriums, trotzdem bisher nichts darauf schließen läßt, daß die Elemente dieser Reihe gleichen Ursprungs mit denen der beiden besprochenen sind.

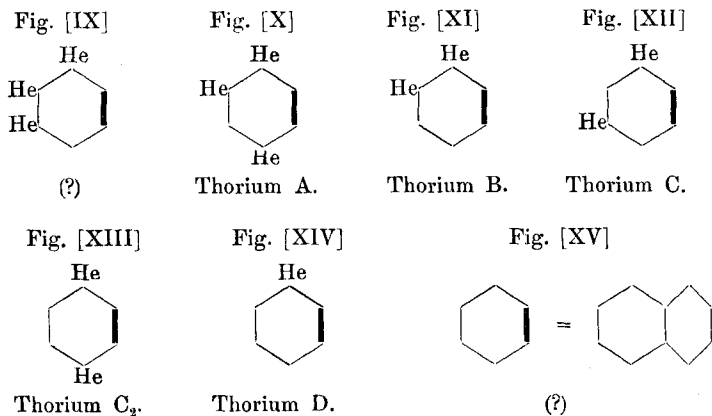
Wie bekannt, leitet sich vom Thorium im Gegensatz zum Uran nur eine einzige Reihe von radioaktiven Elementen ab. Diese Tatsache findet eine einfache Erklärung durch die Beobachtung, daß man hier zur entsprechenden Emanation nach dem Verlust von nur drei Heliumatomen gelangt, und nicht von vier, wie in der anderen Gruppe. Dem Thorium kommt daher eine der beiden Formeln [II] oder [III] zu, und zwar mit mehr Wahrscheinlichkeit die letzte, wie sich aus den früheren Darlegungen ergibt. Man kann es also als das erste Glied einer der beiden unter sich verschiedenen Reihen ansehen, die sich von einem nicht bekannten Grundelement ableiten, das ein Heliumatom mehr enthält, und das ich zwecks bequemer Bezeichnung Anthorium (von ante Thorium) nennen will.

Die von mir in Aussicht genommenen Untersuchungen werden ergeben, ob solch ein neues Element mit dem Atomgewicht 236.4 wirklich existiert.

Möglicherweise ließe sich auch nur dieser neue Körper finden, nicht aber die zweite Reihe radioaktiver Elemente, die wir als die des Homothoriums bezeichnen können, wenn man nämlich annimmt, daß im Anthorium die beiden Sechsecke des Naphthalinkernes völlig gleich sind. Dann würden sich die durch Abspaltung von Heliumatomen zuerst in dem einen, und dann in dem andern Sechseck erhaltenen Isomeren zur Deckung bringen lassen und nur eine Reihe bilden können.

Beschränken wir uns auf das zurzeit über das Thorium Bekannte, so ergibt sich die Reihe der Glieder, die von ihm gefunden worden sind, mit den entsprechenden Formeln wie folgt:





Wie man sieht, ist diese Reihe ziemlich vollständig und immer in vollkommener Übereinstimmung mit der Kasuistik meiner Hypothese. Läßt man das von mir als Stammkörper angesehene Glied [I] außer acht, so sind in der Tat nur noch die Glieder [II] und [IX] unbekannt, die ja in den beiden anderen Reihen ebenfalls nicht aufgefunden worden sind.

12. Auch in den chemischen Merkmalen ist bei den Gliedern, die in den drei Reihen eine übereinstimmende Struktur besitzen, häufig ein analoges Verhalten erkennbar, wenngleich die Vorarbeiten in dieser Hinsicht noch nicht als befriedigend bezeichnet werden können.

Indessen sind ohne Zweifel die drei Emanationen wegen ihrer Indifferenz einander analog. Ebenso sind dies die drei ihnen vorangehenden Glieder, nämlich das Radium, das Aktinium X und das Thorium X, die alle den Charakter von Erdalkalimetallen haben, und die ihnen nachfolgenden, nämlich das Radium A, das Aktinium A und das Thorium A; ferner stimmen die Glieder B und C usw. je unter sich überein, sie sind alle metallischer Natur.

13. Zusammenfassend können wir kurz sagen, daß in Bezug auf den Grad und die Art des Abbaues Analogien bestehen einmal zwischen den entsprechenden Gliedern der drei bekannten Reihen, und dann auch zwischen denjenigen Elementen einer und derselben Reihe, die einerseits acht bis vier, andererseits vier bis null Heliumatome enthalten. Die Naphthalinformel, mit ihren beiden je vier freie Stellungen enthaltenden Sechsecken, gestattet uns dafür eine völlig befriedigende Erklärung zu geben.

In der Tat, bei allen diesen sechs halben Reihen der bekannten

radioaktiven Elemente, sowohl bei denen mit acht, als bei denen mit vier Heliumatomen, bilden sich bei der sukzessiven Abspaltung aller Heliumatome, und zwar immer in einem und demselben Sechseck, die nachfolgenden Isomeren, wofern die Zahl der in diesem Sechseck verbleibenden Heliumatome beträgt:

Vbl. He-Atome	drei	zwei	eins	null
Isomere	zwei	drei	eins bis vier	eins
Ihre Stellung	1·2·3 = vizinal 1·2·4 = asymmetrisch	1·2 = ortho 1·3 = meta 1·4 = para		

Davon fehlen in allen sechs Halbreihen die Glieder mit Vizinalstellung, woraus sich ihre Existenzunfähigkeit ergibt; in allen begegnen uns jedoch die Glieder mit zwei, einem und keinem Heliumatom.

14. Eine auf dieser einfachen Voraussetzung gegründete Nomenklatur würde fortan die Kenntnis der ganzen Gruppe der radioaktiven Elemente überaus erleichtern.

Da dagegen die gebräuchliche, die sich herausgebildet hat, wie es die experimentellen Ergebnisse von Fall zu Fall erforderten, zum größten Teil willkürlich ist, so wird es von Vorteil sein, das Gesamtergebnis meiner Untersuchung in ein einheitliches System zu bringen.

Ich tue das in dem folgenden Verzeichnis, in dem ich alle Glieder der drei Reihen, die sich in der Zahl der gebundenen Heliumatome, der Natur ihrer Emission, und daher auch in ihren Strukturformeln entsprechen, zueinander in Beziehung setze. Dabei sehe ich davon ab, daß bei der zweiten Reihe die wirklichen Formelschemata gewissermaßen als Spiegelbilder der dort angegebenen betrachtet werden müßten, wie ich oben dargelegt habe.

Unter dem Namen eines jeden verzeichne ich immer in gleicher Reihenfolge zuerst das Atomgewicht, dann die Natur der ausgesandten Strahlen, drittens die Zeit, während der sich die Hälfte des betreffenden Elements umwandelt. Diese Größe, mit 1.443 multipliziert, ergibt bekanntlich seine mittlere Lebensdauer.

Die Zahlen, die ich für die Atomgewichte angebe, sind nur beim Uran, Radium, Niton und Thorium experimentell gefunden. Alle andern sind nur mutmaßliche Werte und sind, wie allgemein üblich, dadurch erhalten, daß man für jedes abgegebene Heliumatom 4 abzieht, ohne dabei dem Masseverlust in Form von Elektronen Rechnung zu tragen, es sei denn, daß das Experiment später das Gegenteil erweist.

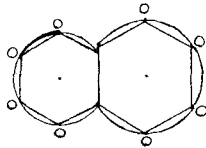
Gruppe	Voraus- sehbare Isomere	Struktur- formeln	Bekannte Elemente und ihre wichtigsten Konstanten			Chemischer Charakter
			1. Reihe	2. Reihe	3. Reihe	
I. Mit 8 He- liumatomen	[I] gesättigt		Uran 1 238.5; α $5 \cdot 10^8$ Jahre		(Anthorium?) 236.4	
	II. Mit 7 Heliumatomen	[II] (vizinal)		(?) 234.5	(?) 234.5	(?) 232.4
[III] (asym- metrisch)			Uran 2 234.5; α 10^6 Jahre?	(Homou- ran 2?) 234.5	Thorium 232.4; α $1.3 \cdot 10^{10}$ Jahre	
III. Mit 6 Heliumatomen	[IV] (ortho)		Uran Y 230.5; β 1.5 Tage	(Homou- ran Y?) 230.5	Mesothor. 1 228.4; inakt. 5.5 Jahre	
	[V] (meta)		Uran X 230.5; $\beta + \gamma$ 24.6 Tage	Aktinium (?) 230.5; inaktiv	Mesothor. 2 228.4; $\beta + \gamma$ 6.2 Stdn.	Das Mesothorium läßt sich v. Akti- nium nicht trenn. Fleck, Ch. Soc. J. (1913), 398.
	[VI] (para)		Ionium 230.5; α $2 \cdot 10^5$ Jahre	Radioaktin. 230.5; $\alpha + \beta$ 19.5 Tage	Radiothorium 228.4; α 2 Jahre	Das Ionium und d. Radiothorium sind in chemisch. Hinsicht analog
IV. Mit 5 He- liumatomen	[VII]		Radium 226.4; $\alpha + \beta$ 2000 Jahre	Aktinium X 226.4; α 10.2 Tage	Thorium X 224.4; α 3.65 Tage	Alle drei sind unter sich u. mit Barium analog
V. Mit 4 He- liumatomen	[VIII]		Radiumema- nation 222.4; α 3.85 Tage	Aktinium- emanation 222.4; α 3.9 Sekunden	Thorium- emanation 220.4; α 54 Sekunden	Alle drei sind inerte Gase

Gruppe	Voraus- sehbare Isomere	Struktur- formeln	Bekannte Elemente und ihre wichtigsten Konstanten			Chemischer Charakter
			1. Reihe	2. Reihe	3. Reihe	
VI. Mit 3 Heliumatomen	[IX] (vizinal)		↓ (?) 218.4 ↓	↓ (?) 218.4 ↓	↓ (?) 216.4 ↓	Alle drei haben Metallcharakter die ersten beiden sind analog
	[X] (asym- metrisch)		Radium A 218.4; α 9 Minuten ↓	Aktinium A 218.4; α 0.002 Sek. ↓	Thorium A 216.4; α 0.14 Sek. ↓	
VII. Mit 2 Heliumatomen	[XI] (ortho)		↓ Radium B 214.4; $\beta+\gamma$ 26.8 Minuten ↓	↓ Aktinium B 214.4; β 36 Minuten ↓	↓ Thorium B 212.4; β 10.6 Stdn. ↓	Unter sich analog
	[XII] (meta)		↓ Radium C 214.4; $\alpha+\beta+\gamma$ 19.5 Minuten ↓	↓ Aktinium C 214.4; α 2.1 Minuten ↓	↓ Thorium C 212.4; $\alpha+\beta$ 60 Minuten ↓	Unter sich analog
	[XIII] (para)		↓ Radium C ₂ 214.4; β 1.4 Min. ↓	↓ Aktinium C ₂ (?) ¹ 214.4; α ↓	↓ Thorium C ₂ 212.4; α sehr kurze Lebensdauer ↓	
VIII. Mit 1 Heliumatom	[XIV]		↓ Radium D 210.4; β 16.5 Jahre ↓	↓ Aktinium D 210.4; $\beta+\gamma$ 4.7 Min. ↓	↓ Thorium D 208.4; $\beta+\gamma$ 3.1 Minuten ↓	
	[XV]		↓ Radium E 210.4; $\beta+\gamma$ 5 Tage ↓	↓ (?) 210.4 ↓	↓ (?) 208.4 ↓	
	[XVI]		↓ Radium F = Polonium 210.4; α 136 Tage ↓	↓ (?) 210.4 ↓	↓ (?) 208.4 ↓	
IX. He- liumfrei			↓ Blei ? ↓	↓ (?) ↓	↓ (?) ↓	

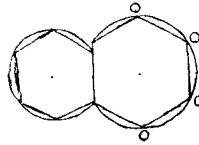
¹ Aus SODDY entnommen; RUTHERFORD führt es nicht an.

Alle diese Angaben habe ich dem zitierten jüngsten Werk von RUTHERFORD, S. 606—610, entnommen und überlasse diesem kompetenten Beurteiler die Verantwortung für die Auswahl unter den strittigen Daten.

15. Alles Gesagte bleibt in seiner Grundlage unberührt, auch wenn man annimmt, daß die beiden Sechsecke des Naphthalins nicht frei, sondern von einem Kreise (einer Kugel für das körperliche Atom) umschrieben sind, und daß auch die Heliumatome Kugelgestalt haben, z. B.:



Uran 1.



Emanation.

Eine derartige Darstellung der radioaktiven Substanzen würde ein greifbareres Bild geben von der Art, wie die Heliumatome bei ihrem Umlauf von einer Stellung in die andere übergehen können, um das Isomere zu bilden. Sie ist jedoch sehr viel weniger praktisch für die Schrift und schwieriger für den Satz. Man muß daher der anderen den Vorzug geben, wenigstens solange nicht entscheidende Tatsachen, insbesondere solche physikalischer Natur, uns zu ihrem Gebrauche zwingen.

Als Anhang füge ich dieser Abhandlung eine Beobachtung an, die ich in bezug auf die Atomgewichte der nicht radioaktiven Elemente gemacht habe.

Bekanntlich hat F. W. CLARKE¹ eine Tafel veröffentlicht über die Prozentgehalte unserer Erdkugel an den Elementen, die sich am reichlichsten vorfinden.

Obgleich man ihr keine absolute Zuverlässigkeit beimessen kann, unterliegt es doch keinem Zweifel, daß man mit ihrer Hilfe unsere Beobachtungen manchmal in anschaulicher Form zur Darstellung bringen kann.

Ich habe nun bemerkt, daß die Atomgewichte der darauf verzeichneten Elemente größtenteils entweder ganze Vielfache von vier, dem Atomgewichte des Heliums sind, oder daß sie davon doch nur um einen echten Bruch abweichen, der manchmal sehr klein ist.

¹ H. ERDMANN, Lehrbuch d. anorg. Chemie, 5. Aufl. (1910), S. 57.

Zum Beweise gebe ich hier die erwähnte Tabelle mit den Atomgewichten und den Zahlenbeziehungen wieder, die ich gefunden habe.

Elemente	Anteil an der Zusammensetzung der Erde in %	Atomgewicht	Differenz
Sauerstoff . . .	49.78	16.0 = 4 × 4	0.0
Silicium . . .	26.08	28.3 = 4 × 7 + 0.3	+ 0.3
Aluminium . . .	7.34	27.1 = 4 × 7 - 0.9	- 0.9
Eisen . . .	4.11	55.84 = 4 × 14 - 0.16	- 0.16
Calcium . . .	3.19	40.07 = 4 × 10 + 0.07	+ 0.07
Natrium . . .	2.33	23.0 = 4 × 6 - 1.0	- 1.0
Kalium . . .	2.28	39.10 = 4 × 10 - 0.9	- 0.9
Magnesium . . .	2.24	24.32 = 4 × 6 + 0.32	+ 0.32
(Wasserstoff . . .	0.95)	—	—
Titan . . .	0.37	48.1 = 4 × 12 + 0.1	+ 0.1
Kohlenstoff . . .	0.19	12.0 = 4 × 3	0.0
Chlor } . . .	0.21	{ 35.46 = 4 × 9 - 0.54	- 0.54
Brom }		{ 79.92 = 4 × 20 - 0.08	
Phosphor . . .	0.11	31.04 = 4 × 8 - 0.96	- 0.96
Schwefel . . .	0.11	32.07 = 4 × 8 + 0.07	+ 0.07
Barium . . .	0.09	137.37 = 4 × 34 + 1.37	+ 1.37
Mangan . . .	0.07	54.93 = 4 × 14 - 1.07	- 1.07
Strontium . . .	0.03	87.63 = 4 × 22 - 0.37	- 0.37
Stickstoff . . .	0.03	14.01 = 4 × 4 - 1.99	- 1.99
Fluor . . .	0.02	19.0 = 4 × 5 - 1.0	- 1.0
Chrom . . .	0.01	52.0 = 4 × 13	0.0
alle übrigen . . .	0.46		
	100.00%		

Von den zwanzig aufgeführten Elementen unterscheidet sich bei nur fünf das Atomgewicht von einem Vielfachen von 4 um mehr als 1, nämlich beim Natrium, Barium, Mangan, Stickstoff und Fluor, die in dieser Aufstellung zu den selteneren gehören — sie ergeben tatsächlich zusammen nur 2.54%; bei drei weiteren erreicht die Abweichung den Wert 0.9, oder übersteigt ihn um ein geringes, nämlich beim Aluminium, Kalium und Phosphor, mit einem Gesamtprozentsatz von 9.73%; dann folgt Chlor mit 0.54, Strontium mit 0.37 und Magnesium mit 0.32 Differenz.

Addiert man die Prozentanteile aller dieser Glieder, so erhält man 13.54%. Demnach werden nahezu 86.5% von Elementen gebildet, deren Differenz von einem Multiplum von 4 gleich oder fast gleich Null und nie größer als 0.3 ist. Erwähnenswert ist, daß der Sauerstoff und der Kohlenstoff genaue Vielfache sind und zusammen fast die Hälfte des Ganzen ausmachen.

Ähnliche Beobachtungen, jedoch unter anderen bemerkenswerten Gesichtspunkten, haben J. M. RYDBERG¹ schon 1886 und RICH. LORENZ² 1896 gemacht.

¹ Z. anorg. Chem. 14, 66.

² Z. anorg. Chem. 12, 399 und 14, 108.

Man kann diese Beziehungen für ein zufälliges Zusammentreffen halten, — oder aber sollte man auch die nichtradioaktiven Elemente als beständige Kondensationsprodukte von Heliumatomen betrachten dürfen?

Jede Antwort wäre unbegründet. Wir wollen uns für jetzt auf die Feststellung der Tatsache beschränken, die in ihrer Einfachheit um so bemerkenswerter ist, als man heute vielerlei Zahlenbeziehungen zwischen den Atomgewichten aufstellt, dabei aber von mehr oder weniger verwickelten und experimentell nicht prüfbaren Hypothesen ausgeht.¹

¹ *Journ. Chim. Phys.* 1913, 260—268 und *Chem. Centrbl.* I 1913, 1380.

Pavia, Universitätsinstitut für allgemeine Chemie. Februar 1914.

Bei der Redaktion eingegangen am 16. Februar 1914.
