

Atomumwandlung und Elementenforschung.

In der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft am 12. Januar 1924 vorgetragen

von Prof. OTTO HAHN, Berlin.

(Eingeg. 3.3.1924.)

Atom und Element oder besser chemisches Atom und chemisches Element sind zwei Begriffe, die seit der Begründung der Chemie als exakter Naturwissenschaft in außerordentlich naher Beziehung zueinander stehen. Unsere Welt ist zusammengesetzt aus einer größeren Anzahl chemischer Grundstoffe, den Elementen, die für sich allein oder in Verbindung untereinander die unendliche Mannigfaltigkeit der uns umgebenden Natur ausmachen. Jedes Element besteht aus kleinsten unteilbaren und unveränderlichen Teilchen, den Atomen, die für jedes einzelne Element völlig gleich und von den Atomen jedes anderen Elementes verschieden sind. Die Atome sind also die Träger der spezifischen Eigenschaften der Elemente, und es muß danach ebensoviel verschiedene Arten von Atomen geben wie es Elemente gibt. Die wichtigste Konstante jedes Elementes ist sein Atomgewicht, durch das es von allen anderen Elementen unterschieden werden kann.

Dies ist in wenigen Sätzen der Grundinhalt der Atom- und Elementenlehre, auf dem aufbauend das gewaltige Gebäude der Chemie des 19. Jahrhunderts errichtet wurde. Aber je mehr die Erkenntnisse fortschritten, je mehr vor allem die Methoden der physikalischen Forschung auch für chemische Probleme herangezogen wurden, desto mehr wurden Erscheinungen bekannt, die sich mit der Annahme der Atome als den letzten Bausteinen der materiellen Welt nicht mehr in Einklang bringen ließen, und heute wissen wir, daß das Atom in der Tat noch ein kompliziertes, zum Teil höchst kompliziertes Gebilde ist, und daß auch der Begriff des chemischen Elementes, so wie er bisher üblich war, nicht aufrechterhalten werden kann.

Das Atom setzt sich zusammen aus dem positiv geladenen Atomkern und den die sog. Elektronenhülle bildenden negativen Elektronen. Atomkern und Elektronenhülle haben zusammen den nach außen hin wirksamen Radius von einem zehnmilliontel Millimeter $= 10^{-8}$ cm. In Wirklichkeit aber ist dieser Raum nur zu einem verschwindend kleinen Betrage von dem Kern und den Elektronen ausgefüllt; der weitaus größte Teil ist leer. Der Atomkern ist auf äußerst kleinem Raum konzentriert, dessen ganzer Durchmesser auch bei großen Atomen weniger als $\frac{1}{10000}$ des Atomdurchmessers beträgt. Die Größe

der positiven Kernladung wächst stetig, wenn man von dem Atom des leichtesten chemischen Elementes, dem Wasserstoff, fortschreitet zu schweren und immer schwereren, bis wir schließlich in dem Uran, dem Element mit dem höchsten Atomgewicht, auch das Element mit der höchsten Kernladung erreicht haben.

Um diesen positiven Kern herum bewegen sich nun die Elektronen, und zwar ist deren Zahl ebenso groß wie die Zahl der in dem Atomkern wirksamen positiven Ladungen. Nach außen hin ist das chemische Atom also elektrisch neutral.

Die Größe der positiven Kernladung, die Kernladungszahl, und damit auch die Anzahl der den Atomkern umgebenden negativen Elektronen ist nun gerade gleich der Platznummer oder Ordnungszahl, die das betreffende Element erhält, wenn man die Elemente in steigender Reihenfolge mit wachsendem Atomgewicht durchnummeriert. So hat der an erster Stelle stehende Wasserstoff, das leichteste Element, die Ordnungszahl 1. Es folgen Helium mit der Ordnungszahl 2, Lithium mit 3 usw., schließlich das schwerste, das Uran, mit der Ordnungszahl 92. Im neutralen Wasserstoffatom bewegt sich also ein Elektron um die einfache positive Kernladung, im Helium bewegen sich zwei um die doppelte, im Uran schließlich 92 Elektronen um den mit 92 positiven Kernladungen versehenen Kern.

Die Masse des negativen Elektrons beträgt nur $\frac{1}{2000}$ von der des Wasserstoffatoms. Die Elektronen der Elektronenhülle tragen demnach zu der Masse des Atoms fast gar nichts bei. Diese ist vielmehr zum weitaus größten Teil in dem positiven Kern konzentriert. Ähnlich wie die Planeten sich um die Sonne bewegen, bewegen sich die Elektronen um den Kern, und nur durch die Zentrifugalkraft ihrer kreisförmigen oder elliptischen Bewegungen werden sie vor dem Sturz in die Sonne, in unserem Falle den Atomkern, bewahrt.

Durch die Ordnungszahl werden die chemischen Eigenschaften völlig festgelegt, und statt die chemischen Elemente mit Phantasienamen zu belegen, wie z. B. mit Stickstoff, Nickel oder Tantal, könnte man sie ebenso gut als Elemente 7, 28 oder 73 bezeichnen, und jeder Irrtum wäre ausgeschlossen (Fig. 1).

Auf der beigelegten Tafel des periodischen Systems der Elemente sind die Elemente mit ihrem Symbol, ihrem Atomgewicht und ihrer Ordnungszahl aufgezeichnet. Da die Ordnungszahl gleich der Zahl der den Atomkern umgebenden Elektronen ist, so wird der Bau im Atom um so verwickelter, je höher die Ordnungszahl des Elementes ist.

Periodisches System der Elemente. (Fig. 1.)

Periode	Gruppe I a b	Gruppe II a b	Gruppe III a b	Gruppe IV a b	Gruppe V a b	Gruppe VI a b	Gruppe VII a b	Gruppe VIII 0
I	1 H 1,008							2 He 4,00
II	3 Li 6,94	4 Be 9,02	5 B 10,82	6 C 12,00	7 N 14,008	8 O 16,000	9 F 19,00	10 Ne 20,2
III	11 Na 23,00	12 Mg 24,32	13 Al 27,1	14 Si 28,3	15 P 31,04	16 S 32,07	17 Cl 35,46	18 Ar 39,88
IV	19 K 39,10 29 Cu 63,57	20 Ca 40,07 30 Zn 65,37	21 Sc 45,10 31 Ga 69,9	22 Ti 48,1 32 Ge 72,5	23 V 51,1 33 As 74,86	24 Cr 52,0 34 Se 79,2	25 Mn 54,93 35 Br 79,92	26 Fe 55,85 27 Co 58,97 28 Ni 58,68 36 Kr 82,9
V	37 Rb 85,5 47 Ag 107,88	38 Sr 87,6 48 Cd 112,4	39 Y 88,7 49 In 114,8	40 Zr 90,6 50 Sn 118,7	41 Nb 93,5 51 Sb 121,8	42 Mo 96,0 52 Te 127,5	43 — 53 I 126,92	44 Ru 101,7 45 Rh 102,9 46 Pd 106,7 54 X 130,2
VI	55 Cs 132,8 79 Au 197,2	56 Ba 137,4 80 Hg 200,6	57 bis 71 Seltene Erden* 81 Tl 204,4	72 Hf 82 Pb 207,2	73 Ta 181,5 83 Bi 209,0	74 W 184,0 84 Po 210	75 — 85 —	76 Os 190,9 77 Ir 193,1 78 Pt 195,2 86 Em 222
VII	87 —	88 Ra 226,0	89 Ac	90 Th 232,1	91 Pa	92 U 238,2		

* Seltene Erden

VI	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 —	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tu	70 Yb	71 Cp
57—71	139,0	140,2	140,9	144,3		150,4	152,0	157,3	159,2	162,5	163,5	167,7	169,4	173,5	175,0

Für alle Fälle gilt die Regel, daß bei chemischen Reaktionen immer nur die äußeren Elektronen Vermittler der chemischen Prozesse sind. Der Atomkern als solcher bleibt dabei völlig unverändert. Da er die Masse des Atoms in sich konzentriert enthält, so erklärt sich daraus, daß bei chemischen Reaktionen die Masse der reagierenden Teile niemals in nachweisbarer Menge verändert wird.

Es gibt aber auch Prozesse, die gerade in dem Atomkern stattfinden und eine Veränderung seiner Konstitution bedingen. Derartige Kernprozesse gehen einher mit dem Ausschleudern positiv oder negativ geladener Teilchen. Finden sie statt, so ändert sich also die Kernladung; Entfernung von positiven Ladungseinheiten aus dem Kern bedingt eine Verringerung, Entfernung von negativen Teilchen, denn diese sind, wie wir sehen werden, auch in dem Kern enthalten, bedingt eine Erhöhung der positiven Kernladung. Da wir nun oben gesehen haben, daß die Kernladung oder Ordnungszahl die Stellung eines chemischen Elementes im System der Elemente festlegt, so muß eine Änderung der Kernladung einer Änderung des Atoms, einer Umwandlung des Atoms gleichkommen.

Wir nennen derartige Prozesse, die im Kern stattfinden, und die ihn verändern, radioaktive Prozesse. Die elektrisch geladenen Teilchen fliegen als Atombruchstücke mit ungeheurer Geschwindigkeit aus dem

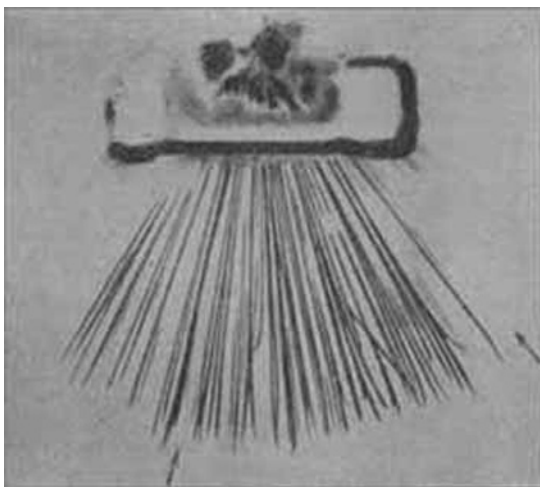


Fig. 2. Bahnspuren von α -Strahlen.

Atomkern heraus und werden als radioaktive Strahlen oder genauer als Strahlen radioaktiver Substanzen zur Untersuchung gebracht. Wir unterscheiden drei derartige Strahlenarten, die α -, β - und die γ -Strahlen. Nur die beiden ersten Gruppen sollen hier kurz besprochen werden, weil nur sie für die Umwandlung des Atomkerns verantwortlich sind.

Die α -Strahlen oder richtiger α -Teilchen sind positive Heliumkerne, sind also Heliumatome, die ihre beiden äußeren Elektronen verloren haben. Sie werden mit außerordentlicher Geschwindigkeit aus den radioaktiven Atomen ausgeschleudert, und zwar ist diese Geschwindigkeit für die betreffende radioaktive Substanz charakteristisch. Beim Durchdringen von Luft oder festen Körpern wird das α -Teilchen wegen seiner großen Masse rasch gebremst und nach wenigen Zentimetern wird die Geschwindigkeit auf Null herabgesetzt. In festen Körpern bleiben die α -Teilchen daher stecken; sie sind dann gewöhnliches Helium und werden als Helium in allen radioaktiven Mineralien gefunden. Auf ihrem kurzen Wege lassen sich die α -Strahlen nach den verschiedensten Methoden leicht nachweisen, und eine derartige Methode will ich hier kurz erwähnen. Sie beruht auf der Sichtbarmachung der Bahnspuren der α -Teilchen in feuchter Luft, und zwar geschieht dies dadurch, daß der übersättigte Wasserdampf auf dem Wege des α -Teilchens zu flüssigem Wasser kondensiert und als Nebelstreifen sichtbar wird.

Das Bild der Fig. 2 zeigt die α -Strahlen des Poloniums, einer von Frau Curie zuerst aufgefundenen radioaktiven Substanz (Fig. 2)¹⁾. Man sieht, daß die Strahlen nach einer ganz bestimmten Strecke plötzlich verschwinden. Ihre Fähigkeit, den Wasserdampf zu kondensieren, hört auf. Würden wir an Stelle des Poloniums eine andere α -strahlende Substanz zu der Aufnahme verwenden, so bekämen wir im wesentlichen die gleichen Erscheinungen, nur die Länge der Streifen wäre verschieden.

¹⁾ Das Bild ist einer Arbeit von Irène Curie entnommen: Journ. d. Phys. et le Radium VI, 170—184, 1923.

Man hat also in dieser Methode einen analytischen Nachweis für radioaktive Substanzen, denn aus der sog. Reichweite der Strahlen kann man einen Rückschluß auf die Substanz ziehen, die die Strahlen emittiert.

Diese von Wilson zuerst ausgearbeitete elegante Methode zum Nachweis einzelner Strahlen ist einerseits ein Hilfsmittel von einer Empfindlichkeit, die alle bisher bekannten chemischen oder spektroskopischen Methoden weit in den Schatten stellt. Die Methode der Bahnspuren dient außerdem zur genauen Erforschung des Verhaltens dieser Strahlen selbst, und gerade dies hat sich von allergrößter Bedeutung erwiesen. Das Verhalten der α -Strahlen beim Durchdringen dünner Metallfolien war für Rutherford der Ausgangspunkt für die Aufstellung seines Atommodells, auf das sich ja unsere ganze heutige Atomtheorie aufbaut.

Die andere Gruppe von materiellen Strahlen, die von dem radioaktiven Atom emittiert werden, sind die sog. β -Strahlen. Es sind diese nichts anderes als negative Elektronen, die wir nun schon verschiedentlich kennengelernt haben, und deren Masse nur $\frac{1}{2000}$ der des Wasserstoffes ausmacht. Die Geschwindigkeit, mit der die β -Strahlen das radioaktive Atom verlassen, nähert sich in manchen Fällen der Lichtgeschwindigkeit. Von den Elektronen der äußeren Elektronenhülle des Atoms sind sie durch diese ungeheure Geschwindigkeit und ihre damit verbundene große Durchdringbarkeit unterschieden.

Der Beweis, daß die β -Strahlen tatsächlich aus dem positiven Atomkern stammen, ist dadurch erbracht, daß ein Atom, das einen β -Strahl ausgeschleudert hat, ebenfalls eine inneratomistische Umwandlung erleidet, genau wie im Falle der α -Strahlenemission. Es entsteht ein neues Atom. Wir sehen hieraus, daß der positive Atomkern nicht nur aus positiven Ladungseinheiten bestehen kann. Er enthält auch negative Elektronen, und die Ladung, die nach außen als positive Kernladung des Atoms wirksam ist, gibt nur den Überschuß der positiven Ladungen über die negativen Ladungen an.

α -Strahlen und β -Strahlen sind also die nach außen gelangenden Bruchstücke des Atoms. Durch sie wird der Atomzerfall erkannt und quantitativ verfolgt.

Die chemischen Elemente Uran und Thor sind seit etwa 100 Jahren als typische chemische Elemente bekannt. Ihre Chemie bildete genau so einen Bestandteil der anorganischen oder analytischen Chemie, wie die Chemie der anderen Elemente, die Methoden ihrer Untersuchung waren rein chemische. 1896 und 1898 wurden diese Körper als radioaktiv erkannt, d. h. ihre Eigenschaft, α - und β -Strahlen zu emittieren. Für die Elemente Uran und Thor kamen also zu den seit langem bekannten chemischen Unterscheidungsmethoden radioaktive Unterscheidungsmethoden hinzu. Der prinzipielle Unterschied dieser beiden Untersuchungsarten liegt darin: bei den chemischen Methoden werden die gewöhnlichen stabilen, sich nicht zersetzenden Atome zur Untersuchung verwendet, bei den radioaktiven im Gegensatz dazu die instabilen, die im Augenblick der Untersuchung unter Emission von Strahlen zerfallenden Atome, deren Bruchstücke in Form von Strahlen zur Messung gelangen.

Nun ist beim Uran und Thor der Prozentsatz der in der Zeiteinheit zerfallenden Atome im Vergleich zu den vorhandenen ungeheuer gering: wir nennen solche Körper schwach aktiv, ihre Umwandlungsgeschwindigkeit ist sehr klein, ihre Lebensdauer sehr groß. Daher finden sie sich in solchen Mengen, daß es zu ihrer Entdeckung und Untersuchung radiochemischer Untersuchungsmethoden nicht bedurft hat.

Bei dem radioaktiven Zerfall dieser Elemente entstehen nun aber neue Elemente, und diese neuen Elemente sind im allgemeinen viel instabiler, als die Muttersubstanzen. Diese Elemente wandeln sich schneller um, sie sammeln sich nicht in genügend großen Mengen an, um bei gewöhnlichen chemischen Analysen nach chemischen Methoden nachweisbar zu sein. Daher war ihre Existenz vor der Entdeckung der radioaktiven Erscheinungen übersehen worden.

Das typischste und bei weitem wichtigste Beispiel eines solchen Elementes ist das Radium. Wie wir heute wissen, kommt das Radium in allen Uranmineralien vor. Aber sein Gehalt in einer guten Pechblende beträgt nur wenig mehr als $\frac{1}{100\,000}$ Gewichtsprozent. Eine solche Menge hätte man natürlich auf gewöhnlichem Wege nicht finden können.

Das Element Radium konnte erst entdeckt werden, als die Radioaktivität des Urans und Thors bekannt war. Da fand man, daß in der Uranpechblende außer dem Uran andere strahlende Substanzen enthalten sein müssen, und zwar in geringer Menge und von hoher Aktivität. Nachdem dies erkannt war, geschah der Weg der Abscheidung und Anreicherung nach allbekannten analytisch-chemischen Methoden; kontrolliert wurden die analytischen Trennungen aber lediglich durch radioaktive Messungen, indem die Intensität der Strahlung der Wegweiser war, in welcher Richtung man die sich allmählich anreichernde

Substanz zu suchen hatte. Nachdem eine gewisse Anreicherung erzielt war, konnten dann auch die üblichen Kontrollmethoden der anorganischen Chemie Verwendung finden. Man fand neue Linien im Spektrum der stärksten Fraktion, und von da ab konnte man die Anreicherung entweder radioaktiv, oder spektroskopisch, oder chemisch mittels des Atomgewichts verfolgen.

Schließlich hatte man in dem reinen Radium ein neues chemisches Element vor sich, das sich jetzt genau so der chemischen Untersuchung darbot, wie die anderen chemischen Elemente auch.

In 1 g Uran zerfallen in der Sekunde rund 10 000 Atome, in 1 g Radium aber über 30 Milliarden.

Da die Anzahl der umgewandelten Atome auch gleich der Anzahl der bei der Umwandlung emittierten Strahlen ist, so ergibt sich, daß das Radium mehrere millionenmal stärker strahlt als das Uran; deshalb wurde seine Strahlung in der Pechblende nachgewiesen, obgleich die Gewichtsmenge in den wenigen zur Untersuchung vorliegenden Grammern viel zu gering war, um sich bestimmen zu lassen.

Aber die sicher enorm groß erscheinende Zahl von 30 Milliarden Atomen, die in der Sekunde in 1 g Radium zerfallen, ist im Vergleich zu den vorhandenen Atomen doch noch sehr gering. 1 g Radium enthält einige tausend Trillionen, genau, $2,58 \cdot 10^{21}$ Atome. Die in der Sekunde sich umwandelnde Quantität ist also noch so klein, daß es einiger tausend Jahre bedarf, bis das ganze Radium sich in andere Elemente verwandelt hat.

Das Radium sendet α -Strahlen aus, doppelt positiv geladene Heliumatome. Es muß daher ein neues Element mit niedrigerer Ordnungszahl, also neuen chemischen Eigenschaften entstehen, und dieses neue Element führt den Namen Emanation. In der Tat bildet sich aus dem Erdalkalimetall Radium dauernd und unbeeinflussbar durch irgendwelche chemischen oder physikalischen Hilfsmittel das Edelgas Emanation. Für diese Substanz gilt noch in ungleich stärkerem Maße das, was wir beim Radium gesehen haben; die Emanation wäre mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln der Physik oder Chemie wohl nie entdeckt worden, denn sie ist noch viel instabiler als das Radium selbst. Die Gewichtsmenge, in der sie vorkommt, ist noch 200 000 mal kleiner als die des schon spärlich vorkommenden Radiums. Aber diese kleine Gewichtsmenge gibt nach den Gesetzen des radioaktiven Gleichgewichts ebensoviel Strahlen ab wie die 200 000 mal größere Radiummenge.

Und daß wir die Emanation überall auf der Erdoberfläche, in der Luft und im Boden und vor allem in den Heilquellen leicht nachweisen können, beruht eben auf der Empfindlichkeit des Strahlen-nachweises, die alle anderen Methoden der Analyse weit übertrifft.

Es wurde nun oben behauptet, daß nicht nur die α -Strahlen mit

ihrem Atomgewicht 4 eine Atomumwandlung bewirken, sondern daß dies die β -Strahlen auch tun, daß also auch diese Strahlen in dem Atomkern enthalten sein müssen. An einem Beispiel sei eine derartige Atomumwandlung durch β -Strahlen vorgeführt. Ich wähle hierzu das sogenannte Mesothorium, das wegen seiner dem Radium ähnlichen Eigenschaften als Ersatz für Radium mancherlei Anwendung findet. Das Mesothorium bildet auf dem Umweg über das sog. Mesothor-2 unter Emission von β -Strahlen das neue radioaktive Element Radiothor. letzteres wird heute in großem Umfange als sog. Radiumleuchtmasse für Radiumleuchtuhren, Leuchtkompass u. a. m. verwendet. Ähnlich wie die α -Strahlen sind auch die β -Strahlen für jedes radioaktive Element durch genau bestimmte charakteristische Geschwindigkeiten oder in diesem Falle Geschwindigkeitsgruppen definiert. 1

Auf dem Bilde (Fig. 3) sieht man einige derartige β -Strahlspektren aufgenommen, und zwar zeigt das Bild das sogenannte magnetische β -Strahlenspektrum des Mesothor-2 und des daraus entstehenden Radiothors. Die Aufnahme 1 ist mit reinem Mesothor-2 aufgenommen. Man sieht eine Anzahl Linien, die für die Substanz Mesothor-2 charakteristisch sind. Das Mesothor-2 erleidet nun sehr schnell eine Atomumwandlung und geht dabei in Radiothor über. Das zweite Bild zeigt die Aufnahme des gleichen Präparates unter identischen Bedingungen 24 Stunden später. Man erkennt auch auf dem Bilde eine Änderung des Spektrums. Einige Linien sind schwächer geworden, andere treten hinzu. Das dritte Bild schließlich zeigt eine weitere Aufnahme acht Tage später. Nach dieser Zeit ist das Mesothor-2 verschwunden, es hat sich völlig in Radiothor verwandelt. Das Resultat ist ein ganz neues Spektrum. Die alten Linien sind nicht mehr da; das neue, dem Radiothor zugehörige Spektrum ist klar erschienen. Wir sehen an diesem Beispiel die Umwandlung eines Elementes in ein anderes sich sozusagen vor unsern Augen abspielen. Es ist uns erlaubt, die Änderungen des Atomkerns zu beobachten und zu studieren, aber beeinflussen können wir sie nicht. Mit keinem Hilfsmittel der Physik oder Chemie würde es je gelingen, das einmal entstandene Radiothor in das Mesothor zurückzuverwandeln, aus dem Spektrum 3 kann niemals mehr das Spektrum 1 werden.

Radioaktive Umwandlungen sind Atomkernumwandlungen. Atomkernumwandlungen bedingen Elementumwandlungen. So sehen wir



Fig. 3. Magnetische Spektren der β -Strahlen.

Uran-Radium-Familie	T	Strahlen	Aktiniumfamilie	T	Strahlen	Thoriumfamilie	T	Strahlen
Uran I	$4,5 \cdot 10^9$ a	α						
↓								
Uran X ₁	22,4 d	β						
↓								
Uran X ₂	66 s	$\beta\gamma$						
↓								
Uran II	ca. $2 \cdot 10^6$ a	α				Thorium	ca. $1,5 \cdot 10^{10}$ a	α
↓						↓		
Uran Y	25,5 h	β				Mesothor-1	6,7 a	?
↓						↓		
Protaktinium	$1,2 \cdot 10^4$ a	α	Protaktinium	$1,2 \cdot 10^4$ a	α	Mesothor-2	6,2 h	$\beta\gamma$
↓			↓			↓		
Ionium	ca. 10^3 a	α	Aktinium	ca. 20 a	?	Radiothor	1,9 a	$\alpha\beta$
↓			↓			↓		
Radium	1700 a	$\alpha\beta$	Radioaktinium	18,9 d	$\alpha\beta\gamma$	Thorium X	3,64 d	α
↓			↓			↓		
Radiumemanation	3,85 d	α	Aktinium X	11,4 d	α	Thoriumemanation	54,5 s	
↓			↓			↓		
Radium A	3,05 m	α	Aktiniumemanation	3,9 s	α	Thorium A	0,14 s	α
↓			↓			↓		
Radium B	26,8 m	$\beta\gamma$	Aktinium A	0,002 s	α	Thorium B	10,6 h	$\beta\gamma$
↓			↓			↓		
Radium C	19,6 m	$\alpha\beta\gamma$	Aktinium B	36,1 m	$\beta\gamma$	Thorium C	61 m	$\alpha\beta$
↓			↓			↓		
Radium C'	11-7 s	α	Aktinium C	2,15 m	$\alpha\beta$	Thorium C'	3,2 m	$\beta\gamma$
↓			↓			↓		
Radium D	ca. 25 a	β	Aktinium C'	4,71 m	$\beta\gamma$	Thorium C'	10^{-11} s	
↓			↓			↓		
Radium E	4,85 d	β	Aktinium D	0,003 s	α	Thorium D		
↓								
Radium F (Polonium)	136 d	α						
↓								
Radium G (Blei)								

T: Halbwertszeit; a: Jahre; d: Tage; h: Stunden; m: Minuten; s: Sekunden.

Fig. 4. Die radioaktiven Umwandlungsreihen.

durch die Erscheinungen der Radioaktivität den nun schon jahrhundertalten Satz der Nichtverwandelbarkeit eines Elementes in ein anderes umgestoßen, und in gewisser Beziehung behalten die alten Alchimisten Recht, denen die Elementumwandlung, die Transmutation etwa des Bleies in Silber oder Gold das A und O ihrer chemischen Bemühungen war.

Die bei den radioaktiven Umwandlungen emittierten Strahlen geben uns nun nicht nur das Hilfsmittel für die Untersuchung der Art und Geschwindigkeit der radioaktiven Prozesse. Sie zeigen uns auch sofort, welches neue Element durch die Umwandlung entsteht.

Wird die positive Kernladung durch das Wegfliegen eines zweifach positiven Heliumkernes um 2 positive Ladungseinheiten verringert, so ist die Ordnungszahl des neu entstandenen Elementes 2 Einheiten kleiner, das Element steht im periodischen System 2 Stellen weiter nach links verschoben. Wir haben dies an dem Beispiel des Radiums und der aus ihm durch α -Strahlenemission entstehenden Emanation bereits kennengelernt. Wird die Kernladung durch Ausschleudern eines negativ geladenen β -Strahls um eine Einheit erhöht, so steht das neue Element eine Stelle höher im System. Diese radioaktiven „Verschiebungssätze“ gelten ausnahmslos und konnten als Führer dienen bei der Suche nach noch fehlenden aktiven Elementen (Fig. 4).

Auf der hier beigefügten Tabelle der radioaktiven Substanzen sieht man die drei sogenannten Umwandlungsreihen. Vertreter der ersten Reihe, der Uranreihe, haben wir in dem Radium, der Emanation und dem Polonium bereits kennengelernt. Vertreter der Thorreihe wurden ebenfalls erwähnt. Weniger genau bekannt ist die mittlere Reihe, die sogenannte Aktiniumreihe. Hier wußte man, daß das Aktinium, nach dem die Reihe benannt ist, nicht der Ursprung der Reihe sein konnte, denn es ist im Gegensatz zu dem Uran oder Thorium so unbeständig, daß es nach einigen Menschenaltern verschwunden wäre, wenn es nicht seinerseits durch eine längerlebige Muttersubstanz nachgebildet würde. Diese direkte Muttersubstanz wurde lange gesucht, aber nicht gefunden. Aus den Verschiebungssätzen und den bekannten chemischen Eigenschaften des Aktiniums konnte man nun rückwärts folgernd Schlüsse ziehen auf die chemischen Eigenschaften des gesuchten hypothetischen Elementes, und durch diese Folgerungen geleitet haben Lise Meitner und ich vor einigen Jahren das neue Element in Gestalt des hier verzeichneten Protaktiniums aufgefunden. Dieses Element darf unter den vielen der Tabelle ein etwas größeres Interesse beanspruchen. Es ist außer dem Radium das einzige, das im periodischen System einen eigenen Platz einnimmt und dabei in solcher Menge vorkommt, daß es auch in dem Chemiker zugänglichen Mengen herstellbar sein muß. Während man aus einer Tonne Uran eines beliebigen Uranminerals 330 mg Radium gewinnen kann, ist dieser Betrag für das Protaktinium 72 mg. Diese Menge ist im Vergleich

zum Ausgangsmaterial winzig klein, sie ist aber groß im Vergleich zu den Mengen der anderen aus der gleichen Uranmenge herstellbaren Substanzen, etwa dem Polonium. Leider sind die chemischen Eigenschaften des Protaktiniums sehr wenig erfreulich, und bisher sind trotz vieler Mühe, die darauf verwendet wurde, die Fortschritte für die Reindarstellung dieser dem Tantal ähnlichen Substanz noch recht gering. Theoretisch steht aber einer Reindarstellung des Protaktiniums nichts im Wege, und dieses Element wäre dann außer dem Radium und der Emanation das einzige, dessen Spektrum und Atomgewicht mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln der Chemie bestimmt werden könnte.

Die Unveränderlichkeit und Nichtverwandelbarkeit der chemischen Grundstoffe, dieser oberste Grundsatz der Chemie des letzten Jahrhunderts mußte fallen seit der Erkenntnis der radioaktiven Prozesse als Prozesse der Atomumwandlung. Aber auch das unveränderliche charakteristische Atomgewicht chemischer Elemente als ihrer wichtigsten Konstanten hat seine beherrschende Stellung eingebüßt und mußte einer anderen Konstanten seine Bedeutung abtreten. Wieder sind es die radioaktiven Vorgänge, die hier umwälzend gewirkt haben. Wir haben oben gesehen, daß die Kernladungszahl eines radioaktiven Atoms um 2 Einheiten verringert wird, wenn ein α -Strahl, daß sie um 1 Einheit erhöht wird, wenn ein β -Strahl das aktive Atom verläßt. Das Atomgewicht wird im ersten Falle um 4 Einheiten verringert, im letzteren Falle, wo ein gewichtsloses Elektron fortfliegt, bleibt es erhalten. Nun gibt es eine ganze Anzahl Umwandlungsstufen radioaktiver Stoffe, bei denen zuerst 1 α -Strahl, dann nacheinander 2 β -Strahlen emittiert werden. Ich erwähne das Thorium. Es hat das Atomgewicht 232 und die Ordnungszahl 90. Es sendet α -Strahlen aus und verwandelt sich dabei in das Mesothor von der Ordnungszahl 88 und von dem Atomgewicht 228. Dieses gibt β -Strahlen ab und bildet Mesothor-2 mit der Ordnungszahl 89, und das Mesothor-2 seinerseits gibt wiederum β -Strahlen ab, und so entsteht ein Element von der ursprünglichen Ordnungszahl 90. Es ist das schon erwähnte Radiothor. Da die Ordnungszahl die Stellung und chemischen Eigenschaften eines Elementes eindeutig bestimmt, so haben wir in dem Radiothor wieder ein Element von den chemischen Eigenschaften des Thoriums, aber sein Atomgewicht ist um 4 Einheiten kleiner. Man nennt solche Elemente gleicher Ordnungszahl, aber verschiedenen Atomgewichtes „isotope Elemente“. Keine Methode chemischer Scheidekunst führt zu einer Trennung dieser beiden Stoffe, wenn sie erst miteinander vermischt sind. Die chemischen Eigenschaften werden ja in den äußeren Elektronen betätigt, und diese sind in ihren Bewegungszuständen und ihrer Anzahl nur von der Kernladung, nicht aber der Kernmasse abhängig.

Ein anderes Beispiel isotoner Elemente ist das Radium und das Mesothor. Das Radium entsteht aus dem Uran, das Mesothor aus dem

Atom- gewichte	0 (VIII)	I a b	II a b	III a b	IV a b	V a b	VI a b	VII a b	Atom- gewichte
197		Au							197
200			Hg						200
204				Tl					204
206				β AcC'' 4,7 m	RaG (AcD)				206
(206)				β TbC'' 3,2 m	Pb				(206)
207				β RaC'' 1,3 m	ThD				207
208					β RaD 25 a	Bi			208
210					β AcB 36 m	β RaE 5 d	α RaF 136 d		210
(210)					β ThB 10,6 h	α A.C 2 15 m	α AcC' (0,005 s)		(210)
212					β RaB 27 m	α ThC 61 m	α ThC' (10 ⁻¹¹ s)		212
214						α RaC 19,5 m	α RaC' (10 ⁻⁶ s)		214
(214)							α AcA 0,002 s		(214)
216							α ThA 0,14 s		216
218							α RaA 3 m		218
(218)	α AcEm 3,9 s								(218)
220	α ThEm 54 s								220
222	α RaEm 3,85								222
(222)			α AcX 11,5 d						(222)
224			α ThX 37 d						224
226			α Ra 1700 a						226
(226)				β Ac 20 a	α Rdac 19 d				(226)
228			(β) MsTh ₁ 6,7 a	β MsTh ₂ 6,2 h	α RdTh 1,9 a				228
230					α Io 10 ⁸ a				230
(230)					β UY 25 h	α Pa 10 ⁴ a			(230)
232					α Th 1,5 · 10 ¹⁰ a	β UZ 6,7 h			232
234					β UX ₁ 24 d	β UX ₂ 1,15 m	α U ₁₁ (2 · 10 ⁶ a)		234
238							α U ₁ 4,5 · 10 ⁹ a		238

Fig. 5. Die Radioelemente im periodischen System.

α = Jahr, d = Tag, h = Stunde, m = Minute, s = Sekunde. Die Zeitangaben bedeuten die Halbwertszeiten der Elemente, die Buchstaben α und β geben die Art der Umwandlung an, der die Elemente unterliegen. Bei α -Umwandlung findet Verschiebung zur zweitniedrigeren Gruppe und A. G. - Verminderung um 4 Einheiten statt, bei β -Umwandlung Verschiebung zur nächsthöheren Gruppe, A. G. bleibt unverändert. Die eingeklammerten Atomgewichte des Pa, UY und der Glieder der Aktiniumreihe sind hypothetisch, das A. G. von UZ ist noch unsicher.

Thorium. Ihre Atomgewichte sind verschieden, aber ihre Ordnungszahl ist gleich. Sie sind also chemisch untrennbar, und es gibt kein aus einem Mineral hergestelltes Mesothorium, das kein Radium enthielte. Denn Radium ist in Thormineralien enthalten und wird daher bei der Mesothorherstellung zwangsläufig mit ihm abgeschieden.

Seit der Auffindung der Isotopie sind alle die Schwierigkeiten verschwunden, die sich früher der Unterbringung der zahlreichen radioaktiven Substanzen in das periodische System entgegengestellt hatten. Die Plätze vom Tallium ab aufwärts bis zum Uran sind, soweit überhaupt dort Elemente vorkommen, mit einer ganzen Anzahl isotoper Atomarten besetzt, deren Atomgewichte bei gleichen chemischen Eigenschaften bis zu 8 Einheiten voneinander verschieden sein können (Fig. 5).

Die Isotopie ist nun nicht auf die radioaktiven Atomarten allein beschränkt. Den schönsten Beweis für die Existenz isotoper Elemente bietet das uns allen wohl bekannte Blei. Blei ist nämlich das Endprodukt der radioaktiven Umwandlungsreihen, aber die Atomgewichte für diese Bleiarten sind untereinander nicht gleich und weichen auch ab von dem Atomgewicht des gewöhnlichen Bleies. Der allmähliche Abbau des Radiums bis zu seinem stabilen Endprodukt geschieht über 5 α -Strahlenumwandlungen. Da das Atomgewicht des Radiums 226 ist, so muß das Atomgewicht des Endproduktes um $5 \times 4 = 20$ Einheiten niedriger sein. In der Tat hat dieses aus der Uran-Radiumreihe entstehende Blei das Atomgewicht 206. Demgegenüber verläuft der Abbau der Thoriumreihe über 6 α -Strahlenumwandlungen; das Atomgewicht des Thoriums ist 232, das des Endproduktes der Reihe, des sogenannten Thorbleies ist also $232 - 6 \times 4 = 208$. Unser gewöhnliches Blei hat das Atomgewicht 207,2. Alle diese Bleiarten können wir kiloweise herstellen; sie sind chemisch identisch, und dennoch ist ihr Atomgewicht verschieden. Das Atomgewicht ist also nicht mehr die charakteristische Konstante eines chemischen Elementes; an seine Stelle tritt die Ordnungszahl, durch die die Stelle des Elementes im periodischen System und seine chemischen Eigenschaften eindeutig bestimmt sind.

Beim Blei sind wir in der günstigen Lage, einzelne isotope Atomarten getrennt voneinander herstellen und untersuchen zu können, weil sie durch die radioaktiven Umwandlungen des Urans und Thors erst nach der Bildung der festen Erdkruste entstanden sind und noch heute entstehen. Sie hatten keine Gelegenheit, sich mit dem gewöhnlichen Blei zu vermischen und liegen in reinen Uran- oder Thormineralien als reines Uranblei oder reines Thorblei vor. Bei den anderen chemischen Elementen ist der Nachweis der Isotopie viel schwerer. Sie waren vorhanden, als die Erde noch feurig-flüssig war, konnten sich miteinander vermischen, und aus der Mischung lassen sich die einzelnen Bestandteile ja chemisch nicht mehr trennen. Aber auch hier gelang der Nachweis der Isotopie; nur mußten hierzu Methoden verwendet werden, bei denen nicht die chemischen Eigenschaften, sondern die verschiedenen Massen der Einzelbestandteile, also die Atomgewichte zur Auswirkung gelangen. Auf besonders elegante Art ist dies dem englischen Physiker Aston gelungen, der die zu untersuchenden Elemente in Form schnell bewegter, elektrisch geladener Teilchen, sogenannter Kanalstrahlen, durch magnetische und elektrische Felder aus ihrer Bahn ablenkte und die Ablenkung photographisch aufnahm. Die Größe der Ablenkung hängt außer von der Geschwindigkeit der Teilchen nur von ihrer Masse ab, und man erhält auf diese Weise aus einheitlichen Elementen einfache Ablenkungsbilder, aus Isotopengemischen aber, entsprechend der Anzahl der Bestandteile, verschiedene solcher Bilder.

Auf diese Weise wurden in den letzten Jahren eine große Anzahl unserer gewöhnlichen chemischen Elemente als aus Isotopen zusammengesetzt erkannt, und es ergab sich dabei das wichtige Resultat, daß die Atomgewichte der einheitlichen Elemente (mit Ausnahme des Wasserstoffs) augenscheinlich immer ganze Zahlen sind, wie z. B. Helium = 4, Kohlenstoff = 12, Sauerstoff = 16; Elemente, deren Atomgewicht von der Ganzzahligkeit erheblich abweichen, sind dagegen Isotopengemische, wie etwa das Chlor vom Atomgewicht 35,46. Die Atomgewichte der Einzelbestandteile dagegen sind wiederum ganze Zahlen, im Falle des Chlors sind sie 35 und 37.

Vor mehr als 100 Jahren hat der englische Arzt Prout die Hypothese aufgestellt, daß die Atomgewichte der Elemente alle ganzzahlige Vielfache des Wasserstoffes seien, daß also vermutlich der Wasserstoff das Urelement sei, aus dem sich alle übrigen Elemente entwickelt hätten. Die Hypothese mußte aufgegeben werden, als genaue Atomgewichtsbestimmungen für eine ganze Anzahl von Grundstoffen deutliche Abweichungen von der Ganzzahligkeit erkennen ließen. Heute kommt die Proutsche Hypothese zu neuer Bedeutung. Die Abweichungen von der Ganzzahligkeit rühren von dem zufälligen Mischungsverhältnis her, in dem die Isotopen vorkommen,

und die Annahme, daß der Wasserstoff das Element sei, auf dem sich alle anderen aufbauen, hört auf, eine vage Hypothese zu sein.

Prof. Stock hat in seinem Vortrage²⁾ bereits die Versuche von Rutherford über die künstliche Zertrümmerung der Atome erwähnt. Aus einer ganzen Reihe gewöhnlicher chemischer Elemente konnte Rutherford durch die ungeheure Energie schnell bewegter α -Strahlen Wasserstoff aus dem Atomkern losschlagen, das Element also sozusagen künstlich radioaktiv machen. Allerdings tritt die Zertrümmerung nur in den äußerst seltenen Fällen ein, wo der α -Strahl genau auf den Atomkern aufprallt, dessen Dimensionen ja zu dem gesamten, dem Atom zur Verfügung stehenden Raum äußerst gering sind. Fliegt der α -Strahl z. B. durch Aluminium hindurch, so geht jeder einzelne Strahl während seiner Bahn durch die Elektronenhülle von mehr als 100 000 Aluminiumatomen. Aber nur ein α -Strahl unter 1 Million kommt dem Aluminiumkern so nahe, daß aus dem Kern ein Wasserstoffatom herausgeschlagen wird. Der Nachweis dieser künstlich hervorgerufenen Radioaktivität gelingt daher nur nach radioaktiven Methoden, deren Empfindlichkeit den Nachweis einzelner Atome gestattet. Wir erhalten aus diesen Versuchen den sicheren Beweis, daß der Wasserstoff ein Bestandteil vieler Elemente ist. Bei solchen Elementen, deren Atomgewicht durch 4, dem Atomgewicht des Heliums, teilbar ist, ist die künstliche Atomzertrümmerung bisher nicht sicher gelungen. Die Annahme liegt also nahe, daß diese Elemente aus Helium aufgebaut sind und keinen freien Wasserstoff enthalten. Damit ist aber durchaus nicht gesagt, daß nicht auch das Helium letzten Endes nur aus der Vereinigung von 4 Wasserstoffatomen entstanden ist. Nur ist augenscheinlich die Bindung der 4 Wasserstoffatome in dem Heliumatom eine derartig feste, daß auch die Energie der α -Strahlen, die ja selbst Heliumkerne sind, zur Zertrümmerung nicht ausreicht³⁾.

Wir können also in dem Wasserstoff das primäre Element sehen, aus dem sich alle anderen Elemente aufbauen. Außerdem wissen wir aber, daß der Wasserstoff selbst wieder aus dem einfach positiv geladenen Kern und dem sich um den Kern bewegenden Elektron besteht. Die positive Ladungseinheit, der positive Wasserstoffkern, führt nach Rutherford den Namen Proton. Wir können ihn mit demselben Rechte als Atom positiver Elektrizität ansehen, wie das Elektron als Atom negativer. Das gewöhnliche Wasserstoffatom ist also die Verbindung eines Protons mit einem Elektron, und es besteht nach Rutherford keine Notwendigkeit dafür, außer der elektrischen Masse von Proton und Elektron noch irgendwelche andere Art von Masse anzunehmen. Aus der Theorie der Elektrizität ergibt sich, daß die Masse einer gegebenen elektrischen Ladung mit ihrer Konzentration zunehmen muß. Daß wir in dem Proton eine fast 2000 mal größere Masse als in dem Elektron vorfinden, rührt vielleicht daher, daß der Radius des Protons, des Wasserstoffkerns viel kleiner ist als der des Elektrons. Er enthält seine Ladung in der Tat auf viel kleineren Raum konzentriert.

Proton und Elektron, positive und negative Einheitsladungen, sind also die Urbestandteile, auf die wir in Anlehnung an die Proutsche Hypothese unsere chemischen Elemente und damit die gesamte materielle Welt aufbauen können. Die Auffassung von der elektrischen Natur der Materie bietet so einen Markstein in den Ergebnissen der neueren Atomforschung.

Durch die Entdeckung der radioaktiven Substanzen wurde die Chemie um eine ganze Anzahl neuer chemischer Elemente bereichert. Durch Aufklärung der Beziehungen dieser Elemente untereinander wurde der Begriff der Isotopie in die Elementenlehre eingeführt, und wir haben Elemente und Atomarten unterscheiden gelernt. Durch das Verhalten der α -Strahlen beim Durchgang durch Materie hat Rutherford seine Kerntheorie der Atome aufgestellt, nach der jedes Atom sich aus dem positiven Kern und der negativen Elektronenhülle zusammensetzt. Von dieser Elektronenhülle haben wir bisher fast noch gar nicht gesprochen. Sie hat auch mit der Atomumwandlung direkt nichts zu tun, aber für die Elementenforschung erweist sie sich seit neuester Zeit als nicht weniger wichtig als der Kern. Der Raum reicht leider nicht aus, um hierauf genauer einzugehen. Nur einiges wenige sei in Kürze erwähnt.

Durch Anwendung der Planckschen Quantenhypothese auf die Vorgänge im Atom hat in den letzten Jahren der geniale dänische Physiker Niels Bohr bestimmte Aussagen über die Bahnen der Elektronen, die sich um den Atomkern bewegen, machen können. Auf Grund dieser Aussagen konnte Bohr seit langem bekannte, em-

²⁾ Z. f. ang. Ch. 37, 65 [1923].

³⁾ Daß das Atomgewicht des Heliums (4,0) nicht genau das Vierfache von dem des Wasserstoff (1,008) ist, bildet nach der relativistischen Auffassung der Äquivalenz von Masse und Energie direkt einen Beweis für die überaus feste Bindung der Wasserstoffatome im Helium.

pirische Gesetzmäßigkeiten in den Spektren chemischer Elemente berechnen, und seine Berechnungen stimmen in glänzender Weise mit den experimentellen Befunden überein. Er konnte darüber hinausgehend Voraussagen über weitere Gesetzmäßigkeiten machen, die durch die experimentellen Untersuchungen der jüngsten Zeit fast Schlag auf Schlag bestätigt werden.

Stock hat bereits ein paar Bilder von Atommodellen in seinem Vortrage demonstriert. Auch ich möchte diese noch einmal zeigen und ein weiteres dazu, nämlich ein Modell für das Radium-

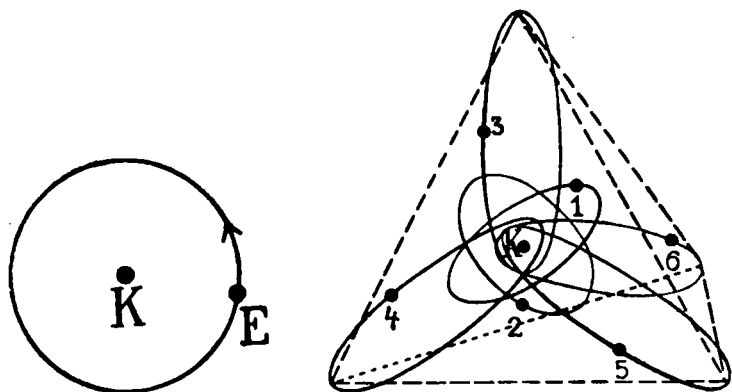


Fig. 6.

atom, also ein Element mit hoher Kernladungszahl (Fig. 6 u. 7). Man sieht das einfachste Atom, den Wasserstoff, mit seinem einen Elektron, das sich um die einfach positive Ladung bewegt. Man sieht daneben das Modell des Kohlenstoffatoms, das schon recht komplizierte Elektronenbahnen aufweist. Schließlich sieht man das Modell des Radiumatoms; hier werden die Verhältnisse so verwickelt, daß sie dem Nichteingeweihten fast unentwirrbar scheinen. Daß es sich dabei aber durchaus nicht etwa um rein theoretische, nur auf dem Papier stehende Berechnungen handelt, beweisen die geradezu erstaunlichen Erfolge, die das Bohrsche Atommodell nicht nur in der Erklärung der optischen Spektren, sondern auf einer ganzen Anzahl anderer Gebiete aufzuweisen hat. Den Chemiker interessiert hier vor allem der Einfluß der Bohrschen Anschauungen zur Erklärung der Gesetzmäßigkeiten und Seltsamkeiten des periodischen Systems, wie

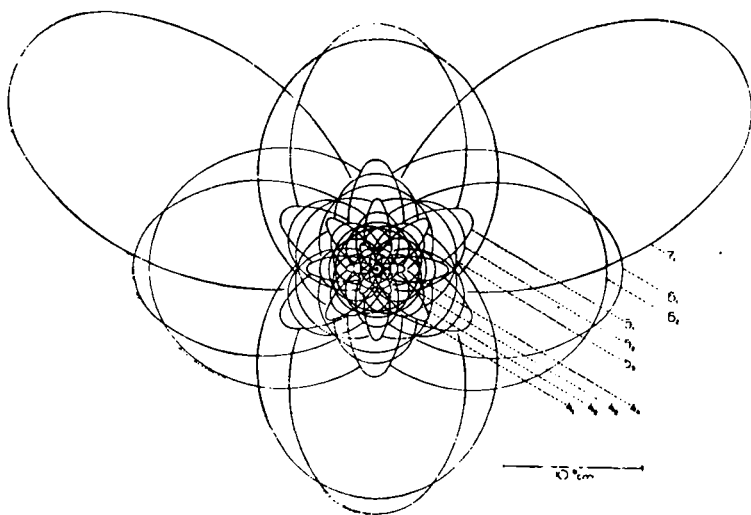


Fig. 7. Radium (88).

die Stellung der seltenen Erden u. a. m. Nur mit wenigen Worten möchte ich hier noch auf einen neuen Erfolg der Bohrschen Berechnungen hinweisen. Bohr konnte die Eigenschaften eines bis dahin unbekannten Elementes Nr. 72 auf Grund seines Modelles voraussagen. Dieses Element war bisher immer unter den „seltenen Erden“ gesucht, aber nicht gefunden worden. Nach Bohr durfte es keine seltene Erde sein, sondern es mußte ein Homologes des Zirkons vorstellen. Auf Grund dieser Bohrschen Voraussagen wurde das unbekannte Element 72 von Coster und v. Hevesy im Bohrschen Institut gesucht, und zwar, weil am naheliegendsten, in Zirkonmineralien. In der Tat wurde es auch sofort gefunden, und der Nachweis erbracht, daß es sich tatsächlich um ein dem Zirkon ähnliches Element handelt, das mit den seltenen Erden nichts zu tun hat. Es erhielt den Namen Hafnium. Kaum ein Jahr nach seiner Entdeckung ist es rein hergestellt, und nichts wird im Wege stehen, es tonnen-

weise zu gewinnen, falls es sich als technisch wertvoll erweist; denn es ist in großen Mengen in Zirkonmineralien vorhanden. Wir sehen hier ein schlagendes Beispiel dafür, wie zu ganz anderem Zwecke angestellte rein theoretische Forschungen letzten Endes auch der Technik und Allgemeinheit wertvollen Gewinn bringen können.

Der Strukturlehre chemischer Verbindungen reiht sich heute die Strukturlehre einzelner Atome an. Zur Lehre von der Lagerung der Atome im Raume kommt die Lehre von der Lagerung und den Bewegungen der Elektronen im Atom. Noch sind wir erst am Anfang dieses vor allem von Bohr erschlossenen Gebietes, aber die bisherigen Erfolge lassen in kurzer Folge neue Ergebnisse erwarten.

In großes Dunkel gehüllt ist heute noch die Strukturlehre des Atomkerns, die Lagerung der positiven und negativen Kernbestandteile innerhalb des Kernes. Hier versagen die gewöhnlichen Gesetze elektrischer Anziehungen und Abstoßungen; denn wenn sie gelten würden, wie könnte dann die auf kleinstem Raume konzentrierte positive Kernladung auch nur einen Augenblick zusammenbleiben, wo sich doch nach dem Coulombschen Gesetze gleichnamige Ladungen abstoßen müßten! Beim Kern verlassen uns auch die üblichen chemischen und physikalischen Hilfsmittel völlig, und nur die radioaktiven Erscheinungen und Methoden können uns vorläufig helfen. Aber Anfänge in der Aufklärung sind auch hier gemacht. Gewisse, von Lise Meitner aufgefundene Gesetzmäßigkeiten über die β -Strahlen radioaktiver Atome zu den von ihnen gleichzeitig emittierten Wellenstrahlen ermutigen zu weiteren Arbeiten. Auch das Studium der Strahlen und Strahlenbeziehungen isotoper radioaktiver Atomarten untereinander können hier vielleicht weiter führen, und auch hierüber sind Arbeiten im Gange. Vor allem werden uns schließlich auch die Rutherford'schen Versuche über die künstliche Atomzertrümmerung mittels α -Strahlen weitere Einblicke geben in den Bau des Atomkerns, dieses kleinsten und dennoch wichtigsten Bestandteiles des Atoms und damit der gesamten Materie, so daß wir demaleinst wohl hoffen können, „daß wir erkennen, was die Welt im Innersten zusammenhält“.

[A. 44.]

Die neuere Entwicklung der Lebensmittelchemie. (2. Bericht¹).

Von Dr. RICHARD DIETZEL und Dr. KURT TÄUFEL.

Mitteilung aus der Deutschen Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie in München.

(Eingeg. 17.2. 1934.)

Die nach den Kriegsjahren wieder in verstärktem Maße einsetzende rege Forschungstätigkeit auf dem Gesamtgebiet der Chemie läßt es angezeigt erscheinen, die Fortschritte der Naturerkenntnis in ihrer Auswirkung auf die Lebensmittelchemie näher zu betrachten. In den folgenden Darlegungen sollen diejenigen Ergebnisse der Chemie und ihrer Grenzwissenschaften in den Vordergrund gestellt werden, die zur Aufklärung der chemischen Vorgänge bei der Entstehung, Gewinnung, Aufbewahrung und Zubereitung der Lebensmittel sowie bei ihrem Abbau im Organismus Beiträge liefern.

1. Fette und Öle.

Ein Einblick in die Konstitution der in den natürlichen Fetten und Ölen enthaltenen Ester setzt die Isolierung einheitlicher Glyceride voraus. Zur Erreichung dieses Zieles sind im wesentlichen folgende Wege eingeschlagen worden.

Man sucht die ätherschwerlöslichen Glyceride von den ätherleichtlöslichen durch fraktionierte Kristallisation zu trennen. Bei flüssigen Fetten, wo diese Trennung versagt, scheidet man durch stufenweises Abkühlen die dabei kristallisierenden Glyceride von den flüssigbleibenden durch Filtrieren oder Zentrifugieren ab. Unter Umständen kommt man bei Ölen auch dadurch zum Ziele, daß man die flüssigen Glyceride in bestimmten Mengenverhältnissen in Aceton löst und die Lösung auf etwa 0° abkühlt. Hierbei trennt sich diese in zwei Schichten, von denen die obere die stärker, die untere die weniger ungesättigten Glyceride enthält. Wiederholt man nach der Trennung der beiden Schichten dieses Verfahren öfter, so gelangt man schließlich zu Stoffen, die annähernd gleiche Jodzahlen aufweisen. Bei flüssigen Fetten kann noch eine weitere Methode²) angewendet

¹) Vgl. Z. f. ang. Ch. 36, 201 [1923].

²) Die fraktionierte Destillation kann nach den bisherigen Erfahrungen im allgemeinen nicht angewendet werden, da die Glyceride mit mehr als 14 Kohlenstoffatomen sich nicht mehr unzersetzt destillieren lassen.