erst recht zu unmöglichen Vorstellungen. Schon 1934 hatte Gamow¹¹ auf der Londoner Tagung ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Gewinn an Zerfallsenergie, der die Emission eines ^{12}C -Kernes an Stelle dreier in einer Zerfallsreihe aufeinanderfolgender α -Teilchen begünstigte, mehr als wettgemacht würde durch die geringe Wahrscheinlichkeit, die dreimal größere Masse durch den dreimal höheren Potentialwall hindurchzubringen. Bei der Emission eines ^8Be statt zweier α -Teilchen würde aber noch nicht einmal nennenswerte Bindungsenergie gewonnen, so daß eine solche Möglichkeit völlig entfiel.

Vielleicht daß solche Einwände, die von den Physikern des Instituts den Chemikern gegen die Entstehung von Radium-Isotopen gemacht wurden, dazu beigetragen haben, vielleicht daß auch Hahns übergroße Sorgfalt im Experimentieren allein dazu ausreichte —, jedenfalls überprüften Hahn und Straßmann ihre drei Ra-Isomere aufs neue, um ganz sicher zu erweisen, daß es sich dabei um Radium handelte. Denn daß auch dies Ergebnis, wenn es sich bewahrheitet hätte, für die physikalischen Vorstellungen vom Kernbau hochinteressant gewesen wäre, steht nach dem Vorangehenden außer Zweifel. Im Dezember 1938 äußerte Hahn dem Verf. gegenüber gesprächsweise zum ersten Male die Möglichkeit, daß die fraglichen Ra-Isomere sich eher wie Barium zu verhalten schienen. Eine sichere Aussage schien ihm noch nicht möglich. Zu einer ernsthaften Diskussion einer solchen Möglichkeit kam es noch nicht. Als wir Anfang Januar 1939 aus den Weihnachtsferien zurückkehrten, war bereits alles entschieden, die Ent-

stehung des Bariums gesichert und innerhalb weniger Tage in den „Naturwissenschaften“ publiziert¹². Und nun ging es wie mit dem Ei des Columbus: Innerhalb weniger Wochen war nicht nur von den Physikern im Hause überlegt, wie eine solche Spaltung möglich sei¹³, sondern auch ihr experimenteller Nachweis an Hand der Trümmer¹⁴ erbracht. In anderen Instituten¹⁵ ergab sich dasselbe Bild; mit klarem zeitlichen Vorsprung erreichten Meitner und Frisch¹⁶ die unbestreitbare Priorität in Deutung und physikalischem Nachweis, während die ersten amerikanischen Arbeiten wenige Wochen danach die Spalten von Physical Review zu füllen begannen, und schließlich auch Paris mit einem entscheidend wichtigen neuen Motiv in den Chor einfiel, dem Nachweis der von Anbeginn vermuteten Spaltungsneutronen durch Joliot und seine Mitarbeiter¹⁷.

Man ist versucht, auf die mannigfachen Irrwege, welche der großen Entdeckung vorausgingen, das kürzlich von L. Rosenfeld angezogene Zitat zu gebrauchen: „Pitié pour nous qui combattons toujours aux frontières de l'illimité et de l'avenir; pitié pour nos erreurs, pitié pour nos péchés“ —, aber es war auch ein fruchtbarer Irrtum, aus dem eine viel intensivere Beschäftigung der Physiker mit der Frage der Isomerie entsprang, als es sonst vielleicht der Fall gewesen wäre, einer Frage, deren Verknüpfung mit dem Problem der Kernspaltung sich am Ende als Irrtum erwies.

¹⁵ Z. B. O. R. Frisch, Nature [London] **143**, 276 [1939], eingegangen im Januar 1939. R. D. Fowler u. R. W. Dodson, ebenda **143**, 233 [1939]; Physic. Rev. **55**, 417 [1939], eingegangen am 3. Febr. 1939. W. Jentschke u. F. Prankl, Naturwiss. **27**, 134 [1939], eingegangen am 14. Febr. 1939.

¹⁶ L. Meitner u. O. R. Frisch, Nature [London] **143**, 239 [1939], eingegangen im Januar 1939, sowie O. R. Frisch¹⁵.

¹⁷ M. Dodé, H. v. Halban, F. Joliot u. L. Kowarski, C.R. hebdom. Séances Acad. Sci. **208**, 995 [1939].

Bemerkungen zum natürlichen Aufbau und zur Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente

Von STEFAN MEYER

(Z. Naturforschg. **4a**, 84–87 [1949]; eingegangen am 5. Januar 1949)

Otto Hahn zum 70. Geburtstag zugeeignet

Wenn man von der Genesis der chemischen Grundstoffe spricht, so denkt man gewöhnlich nur an den systematischen Aufbau aus den kleinsten Bausteinen, den Protonen und Neutronen, wie er vor und zum Teil vielleicht auch nach der Abtrennung der Erde von der Sonne unter ungeheueren Energietönungen vor sich gegangen sein mag¹. Auf der Erde ken-

nen wir gegenwärtig keinen natürlich verlaufenden Vorgang, der einen systematischen Aufbau

¹ S. z. B. Zusammenstellungen bei S. Flügge u. J. Matthauch, Kernphysikalische Tabellen, Springer-Verlag, 1942; R. Sonder, Z. Kristallogr. **57**, 611 [1923]; Z. anorg. allg. Chem. **192**, 257 [1930]; Gerlands Beitr. Geophysik **136**, 319 [1932]; Schweiz. mineral. petrogr. Mitt. **28**, 528 [1948]; H. E. Suess, Z. Naturforschg. **2a**, 311, 604 [1947].

der Elemente aus Protonen und Neutronen schafft. Wohl aber haben die natürlichen radioaktiven Erscheinungen uns gelehrt, daß auf der Erde Artverwandlungen in irdischen Zeiten derart vor sich gehen, daß *Abbauten* das Maßgebliche und für die Häufigkeitsverteilung Ausschlaggebende sind.

Wir haben also von vornherein für die Gesetzmäßigkeiten in den Häufigkeitszahlen der Elemente zwei entgegengesetzte Momente zu unterscheiden*:

1. Systematischer *Aufbau*. Anstieg der Massenzahlen (A) der artgleichen² Elemente, schrittweise um $2p + 2n$ und weiterhin³ immer vorherrschender um $2p + 4n$.

Bei diesem Aufbau, der offenbar schon vor der Geburt der Erde stattfand, ist eine Bevorzugung der Stoffe mit geraden Massen- und Ordnungszahlen (Gg) unverkennbar.

2. Ein systematischer *Abbau*, in Schritten, wie sie die radioaktiven Prozesse lehren: α , α , α , ... und α , β , β , α . Gesetzt, es gäbe in gleicher Art, wie wir es bei den radioaktiven Substanzen kennen, vom $^{206}_{82}\text{Pb}$ und $^{208}_{82}\text{Pb}$ abwärts noch einen entsprechenden weiteren Abbau, so zeigt die nachstehende Tab. 1 einen verblüffend einfachen analogen Gang.**

Für die Stoffe mit ungeradem A ist ein solcher Abbau nicht durchwegs so klar ersichtlich.

3. Dazu kommt noch im Sinne der Entdeckung von O. Hahn und F. Straßmann die Aufspaltung der Atome mit den höchsten Ordnungszahlen (Z) in Bruchstücke von der Art mittelschwerer Atome.

Da es zur Zeit der Erdentstehung auch seither „ausgestorbene“ *Transurane* gegeben haben mag, so können durch ihre stabilen Bruchstücke die Häufigkeiten einzelner Isotope der Jetztzeit beeinflusst sein. Inwieweit Aufspaltungen und somit Atombröcken solcher Herkunft bei der dermaligen irdischen Häufigkeitsverteilung zur Geltung kommen, ist bisher kaum einzuschätzen.

² Artgleich bedeutet: Gg, Gu, Uu oder Ug. Gerade Massenzahl = G, ungerade Massenzahl = U; g = gerade, u = ungerade Ordnungszahl.

³ Vgl. Mitt. Radiuminst. Nr. 456; S.-B. Akad. Wiss. Wien, Abt. IIa 156, 624 [1947]; Acta phys. Austr. 2, 109 [1948].

* Die Häufigkeitsverteilung auf der Erde wurde bei Abtrennung des Mondes zuungunsten leichterer Elemente noch etwas modifiziert.

Daß bei Beachtung aller dieser Umstände Unregelmäßigkeiten in der Systematik der Häufigkeitsverteilungen durch gegenläufige Entstehungsweisen gedeutet werden können, ist zu erwarten und soll an einigen speziellen Beispielen erläutert werden.

Vor der Entdeckung der Isotopie waren die „Umstellungen“ im periodischen System mit den Atomgewichten als Basis:

Verb. gew.	^{18}A	^{19}K	^{27}Co	^{28}Ni	^{52}Te	^{55}J	^{90}Th	^{91}Pa
	39,84	39,10	58,94	58,69	127,61	126,82	232,12	231

ein Gegenstand des Interesses. Nachher hat man sich schnell mit der Erklärung als befriedigt abgefunden, daß durch verschiedene Vermischung von Isotopen und durch die Packeffekte sowohl die Abweichungen von den Ganzzahligkeiten als auch die Umstellungen sich erklären lassen. Ganz so einfach liegen aber die Verhältnisse nicht. Übrigens sind J, Th, Pa Reinelemente.

Beim radioaktiven Zerfall findet sich wiederholt das Schema: α , β , β , α , z. B.

In derartigen Fällen ist immer der zweite β -Strahler kürzerlebig, d. h. minder häufig als der vorhergehende⁴.

Der Fall: Argon-Kalium

Es ist:	A			K		
Ordnungszahl	18			19		
Atomgewicht	39,914			39,096		
Isotope	36	38	40	39	40	41
Häufigkeit %	0,31	0,06	99,63	93,4	0,01	6,6
Es ist:	Ca					
Ordnungszahl	20					
Atomgewicht	40,08					
Isotope	40	42	43	44	46	48
Häufigkeit %	99,96	0,64	0,15	2,07	0,003	0,19

Alle drei Elemente enthalten ein Isotop der Masse 40. Beim K ist es ein Gu-Kern. Von dieser Art sind außer ^2He ^3Li ^9B ^{14}N unter den natürlichen Kernen nur die β -strahlenden $^{40}_{19}\text{K}$ $^{176}_{71}\text{Lu}$ bekannt, und unter den natürlichen radioaktiven sind es nur die sehr kurzlebigen RaE, ThC'', ThC, At, RaC'', Fr, MsTh₂, UZ.

⁴ S.-B. Akad. Wiss. Wien, Abt. IIa 124, 249 [1915]; Elster-Geitel-Festschrift 1915, S. 146.

** Daß, ausgelöst durch kosmische Strahlen, aus verschiedenen Elementen auch α -Strahlen auftreten könnten, wurde in Mitt. Radiuminst. Nr. 457; S.-B. Akad. Wiss. Wien, Abt. IIa 156, 649 [1947] betont und seither durch H. E. Huntley, Nature [London] 161, 356 [1948], experimentell bestätigt.

Th-Familie ($A = 4n$)

Von ${}^{36}_{18}\text{A}$ bis ${}^4_2\text{He}$ nur α -Schritte.															
								36	40						
								18	20						
									40						
									19						
								36	40	44	48	52	56	60	64
								16	18	20	22	24	26	28	30
84	—	92	96												
38	—	42	44								(48)			68	72
84	88	92	96	100	104	108	112							30	34
36	38	40	42	44	46	48	50							28	32
			96	100	104	108	112								
			40	42	44	46	48								
										116	120	124			
										50	52	54			
										116	120	124	128	132	136
										48	50	52	54	56	58
												124	128	132	136
												50	52	54	56
														(136)	144
156	160	164	168												
64	66	68	70												
	160	164	168	172	176	180	184								
	64	66	68	70	72	74	76								
					176										
					71										
					176	180	184	188	192	196					
					70	72	74	76	78	80					
									192	196					
									76	78					
											200	204			
											80	82			
												204	208		
												80	82	←	

U-Familie ($A = 4n + 2$)

Von ${}^{40}_{22}\text{Ti}$ bis ${}^{18}_8\text{O}$ nur α -Schritte.															
								46	50	54	58				
								22	24	26	28				
								46	50	54	58	62	66	70	74
								20	22	24	26	28	30	32	34
86	90	94	98	102	106									78	82
38	40	42	44	46	48									36	36
86	—	94	98	102	106	110	114							30	34
36	—	40	42	44	46	48	50								
						110	114	118	122	126	130				
						46	48	50	52	54	56				
									122	126	130	134	138	142	
									50	52	54	56	58	60	
158	162										130	134	138	142	146
66	68										52	54	56	58	60
158	162	166	170	174											150
64	66	68	70	72											62
			170	174	178	182	186								154
			68	70	72	74	76								60
							186	190	194	198					
							74	76	78	80					
										198	202	206			
										78	80	82	←		

Tab.1. Hypothetische Fortsetzung der Th- und U-Familie⁵. Die Kerne sind der Kürze halber nur durch Massen- und Kernladungszahl gekennzeichnet. ${}^{48}_{20}\text{Ca}$ und ${}^{136}_{54}\text{X}$ fallen heraus.

Man könnte daher in Analogie zu den radioaktiven Schemen α , β , β , α ansetzen

wie dies seit vielen Jahren geschah.

Wie dort ist der zweite β -Strahler der kürzerlebige und daher minder häufige. Rückkehr in die

⁵ Mitt. Radiuminst. Nr. 457; S.-B. Akad. Wiss. Wien, Abt. IIa 156, 641 [1947]; Acta phys. Austr. 2, 124 [1948].

gleiche Plejade von ${}^{44}\text{Ca}$ in ${}^{40}\text{Ca}$ liefert hier ein stabileres Produkt. Die geringe Häufigkeit von ersterem läßt eine gewisse Instabilität erwarten. Daß bisher keine β -Strahlung aus ${}^{40}\text{A}$ und keine α -Strahlung aus ${}^{44}\text{Ca}$ bekannt sind, besagt nicht allzu viel. Es kann auch „strahlenlose“ Umwandlungen geben, d. h. solche, aus denen mit unseren Beobachtungsmitteln keine entsprechenden Wirkungen bisher festgestellt wurden, oder gar

Veränderungen um $2p + 2n$, ohne daß es zu einer He-Kern-Bildung kommt.

Sieht man aber in obiger Zusammenstellung von den Kernen der Massenzahl 40 ab, d. h. betrachtet man diese als anderer Herkunft, so verschwindet die Umstellung bei A—K und auch der übermäßige Sprung vom Ca zum Sc sowie der von Cl zu A.

Die Genesis der verschiedenen K-Isotope kann sonach verschiedener und gegenläufiger Art sein, und das vermöchte vielleicht auch die Beobachtungen von E. Gleditsch⁶ über den Elektronen-Einfang in den Kalium-Kern und die daraus resultierenden Erscheinungen verständlicher zu machen.

Wie an anderer Stelle gesagt wurde³, lassen sich ähnliche Deutungen auch für die erwähnten anderen „Umstellungen“ geben.

Näher eingegangen sei noch auf den Fall des Cassiopeium, Rubidium und Samarium.

Cassiopeium

Neben ^{175}Cp mit 97,5% Häufigkeit gibt es das viel weniger stabile und daher weit seltenere ^{176}Cp . So wie ^{40}K und einige kurzlebige radioaktive Kerne der großen radioaktiven Reihen, ist es ein β -Strahler der Art Gu.

Die Zusammenhänge würden sich zwanglos wie beim K nach dem Schema

deuten lassen.

Rubidium

Rb ist neben K ein schon sehr früh als β -strahlend erkanntes Element. Man unterscheidet derzeit bloß die zwei natürlichen Isotope: $^{85}_{37}\text{Rb}$ mit 72,8% und $^{87}_{37}\text{Rb}$ mit 27,2%.

Man weist derzeit die natürliche β -Strahlung dem Isotop 87 zu, und dies hat eine besondere Stütze in der Arbeit von O. Hahn, F. Straßmann und Walling⁷ gefunden, die nebeneinander $^{87}_{37}\text{Rb}$ und $^{87}_{38}\text{Sr}$ im gleichen Material mit Hilfe von Mattauchs Massenspektrogrammen feststellen konnten.

Nun ist das einigermaßen auffallend für einen β -Strahler, der andererseits so stabil ist, daß ^{87}Rb

eine Häufigkeit der gleichen Größenordnung hat wie ^{85}Rb . Die anderen derartigen natürlichen radioaktiven Stoffe, K und Cp, gehören der Art Gu an; man hätte daher für das β -strahlende Rb eher ein seltenes ^{86}Rb erwarten können. Die Zuordnung zu ^{87}Rb war nur von Mattauch nach seiner Isobarenregel vorausgesehen worden.

Vielleicht bietet andererseits das ^{187}Re , das als β -strahlend gemeldet wurde⁸, einen Parallellfall. Dabei mag es beachtenswert sein, daß ^{87}Rb und ^{187}Re der sogenannten $4n+3$ -Reihe angehören, die Isotope mit $A = 85$ und $A = 185$ der $4n+1$ -Reihe.

Samarium

Als Isotope sind nach Mattauch⁹ bekannt:

A	144	147	148	149	150	152	154
% Häufigkeit	2,95	14,62	10,97	13,56	7,27	27,34	23,29

Beim Nd finden sich dazu als Isobare 144, 148, 150. Man könnte demnach wiederum an das Schema denken:

wovon Nd bereits mehrmals als β -strahlend signalisiert wurde und $Z = 61$ (Illinium = Promethium) bestimmt sehr selten und kurzlebig ist.

Man hat bis vor kurzem die α -Strahlung dem Isotop ^{148}Sm zugeordnet. Neuerdings wird die α -Aktivität dem ^{152}Sm zugeschrieben¹⁰. Ein analoges Schema wie obiges für ^{148}Sm läßt sich ebensogut für ^{152}Sm mit der Verwandlung in ^{148}Nd aufstellen, und das träfe auch für ^{154}Sm und ^{150}Nd zu. Dabei wären in obigem Sinne 152 und 148 der Th-Familie, dagegen 154 der U-Familie zuzurechnen.

In allen Fällen würde die Rückkehr in die gleiche Plejade zu einem Stoff geringerer Stabilität (Häufigkeit) führen.

Es wäre auch denkbar, daß die Sm- α -Aktivität nicht einheitlich ist, und zwar nach der Herkunft aus 154, 152, 148 verschieden. Die Massen 150 und 144 kommen wegen des Fehlens von Sm-Isotopen der Massen 146 und 140 nicht in Frage.

Es mag nicht bedeutungslos sein, daß gerade die Häufigkeiten der Gg-Isotope des Nd (ebenso wie die des Ca, das in der Diskussion über K herangezogen ist) Unregelmäßigkeiten zeigen.

⁶ E. Gleditsch, Physic. Rev. **72**, 640 [1947]; vgl. auch J. H. J. Poole, Nature [London] **162**, 775 [1948].

⁷ O. Hahn, F. Straßmann u. Walling, Naturwiss. **25**, 189 [1937]; ebenda J. Mattauch.

⁸ Libby, Physic. Rev. **73**, 487 [1948]; A. H. W. Aten jr., Nature [London] **161**, 1019 [1948].

⁹ J. Mattauch, Z. Naturforschg. **3a**, 105 [1948].

¹⁰ A. J. Dempster, Physic. Rev. **73**, 1125 [1948]; N. Feather, Nature [London] **161**, 412 [1948].