

# I. BUDOWA MATERII.

Prof. dr A. Dorabalska.

## 1. Elementarne składniki budowy materii.

Atomy składają się z centralnego, dodatnio naładowanego jądra i zewnętrznej sfery ujemnych elektronów; jądro — z nukleonów, które występują jako neutrony i protony. W procesach rozpadu jądra poznano ponadto: cząstki —  $\alpha$  pozytrony i neutrino, a w promieniach kosmicznych — mezony trzech rodzajów: ujemne dodatnie i elektrycznie obojętne.

Tablica I podaje wykaz tych elementów składowych budowy materii. Kolumna I wskazuje nazwę składnika, II — używany symbol, III — masę spoczynkową w t. zw. jednostkach masy tj. w odniesieniu do czystego izotopu tlenu  $O^{16}$  przyjętego za 16 0000\*). IV — masę spoczynkową wyrażoną w gramach, V — znak i wielkość ładunku elektrycznego w jednostkach elektrostatycznych. Zaznaczyć należy, że masa neutrino jest hipotetyczna, a mezonów — wysoce przybliżona. Masa mezonu obojętnego nie jest jeszcze nawet w przybliżeniu określona, można się jedynie domyślać, że rzędem wielkości nie powinna wiele odbiegać od mas mezonów dodatnich i ujemnych.

**Tablica 1.**  
**Elementarne składniki budowy materii.**

		$m_0$ J.M.	$m_0$ g	e J.E.S.
Proton	p	1,00758	$1,6729 \cdot 10^{-24}$	$+4,803 \cdot 10^{-10}$
Neutron	n	1,00893	$1,675 \cdot 10^{-24}$	0
Cząstka— $\alpha$	$\alpha$	4,00276	$6,646 \cdot 10^{-24}$	$+9,606 \cdot 10^{-10}$
Elektron	$e^-$	0,000551	$9,148 \cdot 10^{-28}$	$-4,803 \cdot 10^{-10}$
Pozytron	$e^+$	0,000551	$9,148 \cdot 10^{-28}$	$+4,803 \cdot 10^{-10}$
Mezon	m	ok. 0,132	ok. $2,2 \cdot 10^{-25}$	$\left\{ \begin{array}{l} -4,803 \cdot 10^{-10} \\ 0 ? \\ +4,803 \cdot 10^{-10} \end{array} \right.$
Neutrino	$\nu$	ok. $5,51 \cdot 10^{-5}$	ok. $9,148 \cdot 10^{-29}$	0

## 2. Równoważniki energetyczne masy.

W myśl równania Einsteina  $mc^2 = E$  każdej energii E ergów odpowiada masa m gramów, przy czym  $c$  jest szybkością światła, wynoszącą w próżni

$$c = 2,99774 \cdot 10^{10} \text{ cm/sek.}$$

W przeliczeniach masy na energię i odwrotnie posługujemy się tablicą równoważników energetycznych masy.

\*) W ten sposób zdefiniowana jednostka masy równa jest  $1,6603 : 10^{-24}$  g (por. tabl. 2).

## Tablica 2.

### Równoważniki energetyczne masy.

	gramów	ergów	kalorii	elektrono- woltów*)	jedn. masy
1 jedn. masy =	1,6603.10 <sup>-24</sup>	1,492.10 <sup>-9</sup>	3,565.10 <sup>-11</sup>	9,3,72.10 <sup>8</sup>	1
1 gram =	1	8,9864.10 <sup>20</sup>	2.1474.10 <sup>13</sup>	5 61.10 <sup>82</sup>	6 02.10 <sup>23</sup>
1 erg =	1,11276.10 <sup>-21</sup>	1	2,3892.10 <sup>-8</sup>	6,24.10 <sup>11</sup>	6 70.10 <sup>2</sup>
1 kaloria =	4,6576.10 <sup>-14</sup>	4,1855.10 <sup>7</sup>	1	2,612.10 <sup>19</sup>	2,804.10 <sup>10</sup>
1 elekt. wolt =	1,782.10 <sup>-33</sup>	1,602.10 <sup>-12</sup>	3,827.10 <sup>-20</sup>	1	1,0739.10 <sup>-9</sup>

Aby np. jednostki masy ( $\frac{1}{16} \text{O}^{16}$ ) wyrazić w gramach, należy daną liczbę pomnożyć przez  $1,6603 \cdot 10^{-24}$  w ergach — przez  $1,492 \cdot 10^{-3}$  itd.

Gdy obliczenia prowadzimy nie na atom indywidualny a na gramoatom (tj. liczbę gramów odpowiadającą względnemu ciężarowi atomowemu) według zasad klasycznej stechiometrii chemicznej, pamiętamy, że w każdym gramoelemencie (a więc w gramoatomie, w gramocząsteczce w gramojonie itd.) znajduje się stała liczba elementów indywidualnych zwana stałą Avogadry i przez nią wprost wyniki mnożymy

$$\text{Stała Avogadry } \underline{N} = 6,02 \cdot 10^{23}.$$

### 3. Układ okresowy pierwiastków chemicznych.

Naturę atomu definiują dwie liczby charakteryzujące jądro: 1) liczba atomowa (porządkowa) równa liczbie protonów w jądrze i 2) ciężar atomowy równy ogólnej liczbie nukleonów (tj. protonów + neutronów) w jądrze. Według rosnących liczb porządkowych jąder atomowych szeregujemy wszystkie znane pierwiastki chemiczne w układ okresowy (tablica 3), w którym pierwiastki w sposób naturalny dzielą się na 8 grup pionowych i 7 szeregów poziomych. Obok liczby porządkowej i symbolu pierwiastka układ okresowy podaje tzw. ciężary atomowe praktyczne, oznaczone na diodze chemicznej względem tlenu naturalnego, przyjętego za 16,0000, a stanowiącego w istocie mieszaninę: 99,76%  $\text{O}^{16}$  + 0,04%  $\text{O}^{17}$  + 0,2%  $\text{O}^{18}$ . Liczby są zaczerpnięte z tablicy ciężarów atomowych, opracowanych przez Chemiczną Unię Międzynarodową z uwzględnieniem najważniejszych zdobyczy powojennej literatury oryginalnej. Chcąc przeliczyć ciężary atomo-

we praktyczne na masy atomowe względem  $\frac{1}{16}$  czystego  $\text{O}^{16}$ , należy liczby tablicy pomnożyć przez 1,000275.

W porównaniu z przedwojenną tablicą układu okresowego zwraca uwagę fakt odkrycia ośmiu nowych pierwiastków (w wielkiej przewadze otrzymanych sztucznie). Są to: 43 — technet, 61 — dawny ilin bez nowej jeszcze nazwy, 85 — astatin, 87 — frans, 93 — neptun, 94 — pluton, 95 — amer i 96 — kiur. Najnowsze badania wskazują, że najcięższe pierwiastki chemiczne, poczynając od 89 — aktynu tworzą nową drugą grupę ziem rzadkich — aktynowców, analogiczną do lantanowców.

\*) Elektronowoltem nazywamy energię, jaką posiada jeden elektron w polu jednego wolta.

Tablica 3.  
UKŁAD OKRESOWY PIERWIASTKÓW CHEMICZNYCH

Okresy	Grupa I	Grupa II	Grupa III	Grupa IV	Grupa V	Grupa VI	Grupa VII	Grupa VIII	O
1	1H 1,0080								2He 4,003
2	3Li 6,940	4Be 9,02	5B 10,82	6C 12,0114	7N 14,008	8O 16,0000	9F 18,996		10Ne 20,183
3	11Na 22,997	20Mg 24,32	13Al 26,97	14Si 28,06	15P 30,98	16S 32,06	17Cl 35,457		18A 39,944
4	19K 39,096 29Cu 63,54	20Ca 40,08 30Zn 65,377	21Sc 44,10 31Ga 69,72	22Ti 47,90 32Ge 72,60	23V 50,95 33As 74,91	24Cr 52,01 34Se 78,96	25Mn 54,93 35Br 79,916	26Fe 27Co 28Ni 55,85 58,94 58,69	36Kr 83,7
5	37Rb 85,48 47Ag 107,880	38Sr 87,63 48Cd 112,41	39Y 88,92 49In 114,76	40Zr 91,22 50Sn 118,70	41Nb 92,91 51Sb 121,76	42Mo 95,95 52Te 127,61	43Tc — 53J 126,92	44Ru 45Rh 46Pd 101,7 102,91 106,7	54X 131,3
6	55Cs 132,91 62Sm 150,38 69Tu 169,4	56Ba 137,36 63Eu 152,0 70Yb 173,10	57La 138,92 64Gd 157,18 71Lu 174,99	58Ce 140,13 65Tb 159,2 72Hf 178,6	59Pr 140,92 66Dy 162,46 73Ta 180,88	60Nd 144,27 67Ho 164,94 74W 183,92	61— 68Er 167,2 75Re 186,31	76Os 77Ir 78Pt 190,2 193,1 195,23	86Rn 222
7	87Fr —	88Ra 226,05 80Hg 200,61	89Ac — 81Tl 204,39	90Th 232,12 82Pb 207,21	91Pa 231 83Bi 209,00	92U 238,07 84Po —	93Np — 85At —	94Pu 95Am 96Cm — — —	—

#### 4. Odmiany izotopowe pierwiastków, występujące w przyrodzie.

Większość pierwiastków chemicznych nie składa się z jednakowych atomów, lecz stanowi mieszaninę izotopów. Izotopami nazywamy odmiany tego samego pierwiastka, zawierające w jądrze jednakową liczbę protonów, lecz różniących się liczbą neutronów. Każde miejsce w układzie okresowym pierwiastków może być i przeważnie jest zajęte przez całą plejadę izotopów.

Masy atomowe czystych odmian izotopowych są bliskie liczb całkowitych, zasadniczo powinny się one równać sumie mas elementów składowych, tj. neutronów i protonów, tworzących dane jądro. W istocie spotykamy pewną różnicę pomiędzy tą masą sumaryczną a ciężarem jądrowym. Różnica ta ( $B$ ), odniesiona do jednostki masy atomowej ( $A$ ), stanowi tzw. defekt masy ( $\frac{B}{A}$ ) i jest miarą energii wiązania elementów budowy jądra w całość. Czyli:

$$B = [Zm_p + (A - Z)m_n] - A_f$$

gdzie  $Z$  jest liczbą porządkową pierwiastka,  $m_p$  — masą protonu,  $m_n$  masą neutronu, przy czym  $A$  wskazuje zaokrąglony do całości ciężar atomowy pierwiastka, gdy  $A_f$  jest dokładną masą atomu izotopu oznaczoną metodami fizycznymi względem  $\frac{1}{16} \text{O}^{16}$ . Im większa energia wiązania  $\frac{B}{A}$  tym jądro jest trwalsze.

W tablicy 4 podany jest wykaz wszystkich odmian atomowych występujących w przyrodzie. Kolumna I-a zawiera liczbę porządkową pierwiastka ( $Z$ ), druga — jego nazwę, III-a — symbol chemiczny, wraz ze średnim ciężarem atomowym pierwiastka, IV-a zaokrąglone do całości masy atomowe ( $A$ ) poszczególnych izotopów, V-a — % zawartość danego izotopu w mieszaninie w przyrodzie, VI a dokładne masy atomowe izotopów ( $A_f$ ), VII-a — energię wiązania ( $\frac{B}{A}$ ) w jednostkach masy. Nie trudno zauważyć, że największa energia wiązania jądra przypada w układzie okresowym w pobliżu liczby 25 tj. manganu i żelazowców.

Izotopy promieniotwórcze, ulegające samorzutnemu rozpadowi jądra, zaznaczone są w tablicy w kolumnie IV-tej tłustym drukiem.

**Tablica 4.**  
**Izotopy występujące w przyrodzie.**

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	$A_f$	B/A
1	Wodór Deuter (D)	H	1	99,985	1,008131	— 0,00117
		1,0080	2	0,015	2,01472	
2	Hel	He	3	10 <sup>-7</sup>	3,01699	0,002734 0,007566
		4,003	4	100	4,00386	
3	Lit	Li	6	7,9	6,0169	0,005114 0,006002
		6,940	7	92,1	7,0181	

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
4	Beryl	Be 9,02	9	100	9,01496	0,006913
5	Bor	B 10,82	10 11	18,4 81,6	10,0162 11,0129	0,006911 0,007394
6	Węgiel	C 12,0114	12 13	98,9 1,1	12,00388 13,0076	0,008207 0,007977
7	Azot	N 14,008	14 15	99,62 0,38	14,00753 15,00494	0,007993 0,008228
8	Tlen	O 16,0000	16 17 18	99,76 0,04 0,20	16,00000 17,0045 18,0049	0,008531 0,008289 0,008303
9	Fluor	F 18,996	19	100	19,0012	0,007778
10	Neon	Ne 20,183	20 21 22	90 0,27 9,73	19,9989 21,0000 21,9986	0,008586 0,008550 0,008630
11	Sód	Na 22,997	23	100	23,00332	0,008403
12	Magnez	Mg 24,32	24 25 26	77,4 11,5 11,1	23,993 24,994 25,990	0,008547 0,008522 0,008692
13	Glin	Al 26,97	27	100	26,997	0,009382
14	Krzem	Si 28,06	28 29 30	89,6 6,2 4,2	27,987 28,986 29,984	0,008994 0,008761 0,008833
15	Fosfor	P 30,98	31	100	30,989	0,008632
16	Siarka	S 32,06	32 33 34 36	95,1 0,74 4,2 0,016	31,9825 32,982 33,979	0,009077 0,009088 0,009171
17	Chlor	Cl 35,457	35 37	75,4 24,6	34,9788 36,9777	0,009149 0,009166
18	Argon	A 39,944	36 38 40	0,307 0,061 99,63	35,9773 37,9746 39,9755	0,009161 0,009220 0,009183

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
19	Potas	K 39,096	39	93,4	38,975	0,009183
			40	0,012		
			41	6,6	40,974	0,009195
20	Wapń	Ca 40,08	40	96,97	39,975	0 009018
			42	0,64	41,971	0,009109
			43	0,145	42,972	0,009081
			44	2,06		
			46	0,0033		
			48	0,185		
21	Skand	Sc 45,10	45	100	54,1128	-0,01637
22	Tytan	Ti 47,90	46	7,94	45,966	0,009287
			47	7,75	46,965	0,009300
			48	73,45	47,963	0,009334
			49	5,52	48,965	0,009285
			50	5,34	49,962	0,009338
23	Wanad	V 50,95	51	100	50,964	0,009276
24	Chrom	Cr 52,01	50	4,49		
			52	83,78	51,959	0,009349
			53	9,43	52,957	0,008640
			54	2,30		
25	Mangan	Mn 54,93	55	100	54,945	0,009567
26	Żelazo	Fe 55,85	54	6,0	53,960	0,009286
			56	91,6	55,957	0,009326
			57	2,1	56,971	0,009074
			58	0,28		
27	Kobalt	Co 58,94	59	100	58,956	0,009312
28	Nikiel	Ni 58,69	58	67,4	57,9597	0 009239
			60	26,7	59,9498	0,009393
			61	1,2	60,954	0,009300
			62	3,8	61,949	0,009391
			64	0,88	63,947	0,009408
29	Miedź	Cu 63,57	63	68	62,956	0,009261
			65	32	64,955	0 009266

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
30	Cynk	Zn 65,377	64	50,9	63,956 65,952	0,009250 0,009301
			66	27,3		
			67	3,9		
			68	17,4		
			70	0,5		
31	Gal	Ga 69,72	69	61,2	68,955 79,953	0,009222 0,009242
			71	38,8		
32	German	Ge 72,60	70	21,2		
			72	27,3		
			73	7,9		
			74	37,1		
			76	6,5		
33	Arsen	As 74,91	75	100	74,931	0,009499
34	Selen	Se 78,96	74	0,9		
			76	9,5		
			77	8,3		
			78	24,0		
			80	48,0		
			82	9,3		
35	Brom	Br 79,916	79	50,6	78,959 80,933	0,008851 0,009174
			81	49,4		
36	Krypton	Kr 83,7	78	0,35	77,945 81,939 83,938 85,939	0,009268 0,009325 0,009328 0,009307
			80	2,01		
			82	11,53		
			83	11,53		
			84	57,11		
			86	17,47		
37	Rubid	Rb 85,48	85	72,8	84,945 86,984	0,009225 0,008770
			87	27,2		
38	Stront	Sr 87,63	84	0,56		
			86	9,86		
			87	7,02		
			88	82,56		
39	Itr	Y 88,92	89	100	88,944	0,009204
40	Cyrkon	Zr 91,22	90	48		
			91	11,5		
			92	22		
			94	17		
			96	1,5		

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
41	Niob	Nb 92,91	93	100	92,936	0,009270
42	Molibden	Mo 95,95	92 94 95 96 97 98 100	14,9 9,40 16,1 16,6 9,65 24,1 9,25	93,945 94,945 95,946 96,945 97,944 99,939	0,009157 0,009154 0,009141 0,009150 0,009158 0,009203
43	—					
44	Ruten	Ru 101,7	96 (98) 99 100 101 102 104	5 ? 12 14 22 30 17	95,945 98,944	0,009134 0,009138
45	Rod	Rh 102,91	101 103	? 100	102,949	0,009078
46	Pallad	Pd 106,7	102 104 105 106 108 110	0,8 9,3 22,6 27,2 26,8 13,5	103,946 104,945 105,945 107,943 109,942	0,009093 0,009100 0,009099 0,009114 0,009120
47	Srebro	Ag 107,880	107 109	52,5 47,5	106,948 108,947	0,009066 0,009073
48	Kadm	Cd 112,41	106 108 110 111 112 113 114 116	1,4 1,0 12,8 13,0 24,2 12,3 28,0 7,3		
49	Ind	In 114,76	113 115	4,5 95,5		



Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A		
50	Cyna	Sn 118,70	112	1,1	115,942	0,009089		
			114	0,8				
			115	0,4				
			116	15,5				
			117	9,1				
			118	22,5			117,939	0,009112
			119	9,8			118,938	0,009119
			120	28,5				
			122	5,5			121,944	0,009065
			124	6,8			123,943	0,009071
51	Antymon	Sb 121,76	121	56	120,889	0,009510		
			123	44	122,944	0,009053		
52	Tellur	Te 127,61	120	< 0,1				
			122	2,9				
			123	1,6				
			124	4,5				
			125	6,0				
			126	19,0				
			128	32,8				
			130	33,1				
			53	Jod			J 126,92	127
54	Ksenon	X 131,3	124	0,094	128,946	0,009016		
			126	0,088				
			128	1,9				
			129	25,23				
			130	4,07				
			131	21,17			131,946	0,009014
			132	26,96				
			134	10,54				
			136	8,95				
55	Cez	Cs 132,91	133	100	132,946	0,009003		
56	Bar	Ba 137,36	130	0,101				
			132	0,097				
			134	2,42				
			135	6,6				
			136	7,8				
			137	11,3				
			138	71,7				

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
57	Lantan	La 138,92	139	100	138,958	0,008902
58	Cer	Ce 140,13	136 138 140 142	<1 <1 88 11		
59	Prazeodym	Pr 140,92	141	100	140,959	0,008890
60	Neodym	Nd 144,27	142 143 144 145 146 148 150	25,95 13,0 22,6 9,2 16,5 6,8 5,95	145,964 147,964 149,970	0,008848 0,008849 0,008810
61	—					
62	Samar	Sm 150,38	144 147 148 149 150 152 154	3 7 14 15 5 26 20		
63	Europ	Eu 152,0	151 153	49,1 50,9		
64	Gadolin	Gd 157,18	152 154 155 156 157 158 160	0,2 2,86 15,61 20,59 16,42 23,45 20,87	154,977 155,977 156,976 157,976 159,976	0,008747 0,008748 0,008755 0,008757 0,008759
65	Terb	Tb 159,2	159	100	159,244	0,007070
66	Dysproz	Dy 162,46	158 160 161 162 163 164	0,1 1,5 22 24 24 28		

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
67	Holm	Ho 164,94	165	100	164,985	0,008697
68	Erb	Er 167,2	162 164 166 167 168 170	0,25 2 35 24 29 10		
69	Tul	Tu 169,4	169	100	169,447	0,005959
70	Iterb	Yb 173,10	168 170 171 172 173 174 176	0,06 4,21 14,26 21,49 17,02 29,58 13,38		
71	Lutes	Lu 174,99	175 176	97,5 2,5		
72	Hafn	Hf 178,6	174 176 177 178 179 180	0,3 5 19 28 18 30		
73	Tantal	Ta 180,88	181	100	180,930	0,008993
74	Wolfram	W 183,92	180 182 183 184 186	0,2 22,6 17,3 30,1 29,8		
75	Ren	Re 186,31	185 187	38,2 61,8		
76	Osm	Os 190,2	184 186 187 188 189 190 192	0,018 1,58 1,64 13,3 16,2 26,4 40,9	190,04 192,038	0,008401 0,008416

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
77	Iryd	Ir 193,1	191 193	38,5 61,5	191,04 193,04	0,008396 0,008402
78	Platyna	Pt 195,23	192 194 195 196 198	0,8 30,2 35,3 26,6 7,2	192,05 194,040 195,040 196,039 198,044	0,008345 0,008403 0,008405 0,008413 0,008393
79	Złoto	Au 197,2	197	100	197,254	0,007302
80	Rtęć	Hg 200,61	196 198 199 200 201 202 204	0,15 10,11 17,03 23,26 13,17 29,56 6,72		
81	Tal  Aktyn C'' Tor C'' Rad C''	Tl 204,39 AcC'' ThC'' RaC''	203 205 207 208 210	29,1 70,9 0,01 0,01 0,01	203,057 205,057	0,008332 0,008338
82	Ołów  Rad D Aktyn B Tor B Rad B	Pb 207,21  RaD AcB ThB RaB	204 206 207 208 210 211 212 214	1,5 22,5 22,7 52,3 0,01 0,01 0,01 0,01	204,058 208,057	0,008324 0,008340
83	Bizmut  Rad E Aktyn C Tor C Rad C	Bi 209,00 RaE AcC ThC RaC	209 210 211 212 214	100 0,01 0,01 0,01 0,01	209,057	0,008341
84	Polon Aktyn C' Tor C' Rad C' Aktyn A Tor A Rad A	Po AcC' ThC' RaC' AcA ThA RaA	210 211 212 214 215 216 218			

Z	Pierwiastek	Symbol	A	%	A <sub>f</sub>	B/A
85	Astatin	At				
	Aktyn B'	AcB'	215			
	Tor B'	ThB'	216			
	Rad B'	RaB'	218			
86	Emanacja					
	Aktynon	An	219			
	Toron	Tn	220			
	Radon	Rn	222			
87	Frans	Fa				
	Aktyn K	AcK	223			
	Tor K	ThK	224			
88	Rad	Ra	226,05			
	Aktyn X	AcX	223			
	Tor X	ThX	224			
	Rad	Ra	226	ok. 100	226,112	0,008123
	Mezotor I	MsTh I	228			
89	Aktyn	Ac	227			
	Mezotor II	MsTh II	228			
90	Tor	Th	232,12			
	Radioaktyn	RdAc	227			
	Jon	Jo	230			
	Uran Y	UY	231			
	Tor	Th	232	ok. 100	232,184	0,007827
	Uran X I	UX <sub>1</sub>	234			
91	Protoaktyn	Pa	231	100		
	Uran Z	UZ	234			
	Uran X II	UX <sub>2</sub>	234			
92	Uran	U	238,07			
	Uran II	U II	234	0,006		
	Aktynouran	AcU	235	0,71		
	Uran I	U	238	99,28	238,167	0,007919
93	Neptun	Np	237			
94	Pluton	Pu	239			

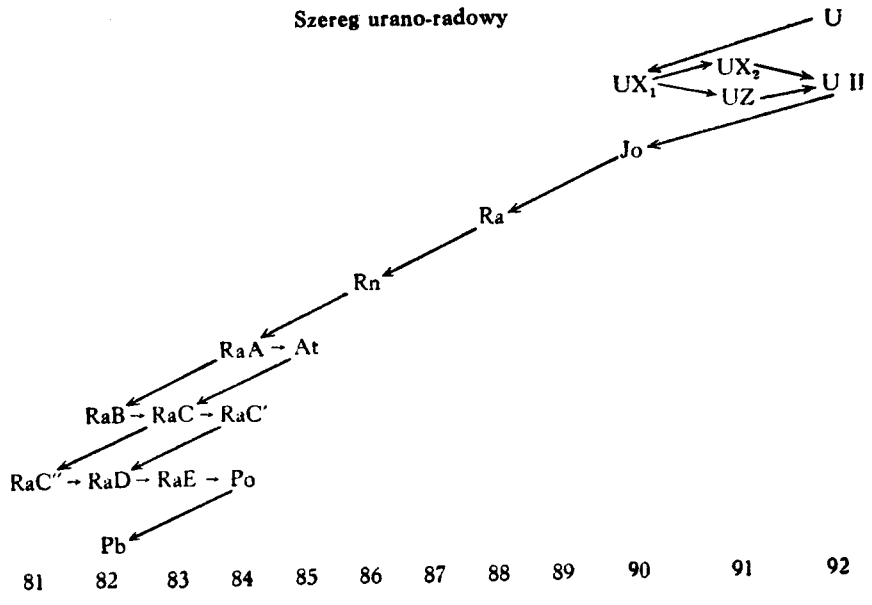
## 5. Naturalne pierwiastki promieniotwórcze.

Jądra pierwiastków ciężkich zaczynając od 81-ego talu — są na tyle nietrwałe, że ulegają samorzutnemu rozpadowi z wydzieleniem promieni, które mogą być trojakiemu rodzaju:  $\alpha$ ,  $\beta$  i  $\gamma$ . Pierwiastki takie, rozpadające się samorzutnie, nazywamy promieniotwórczymi. Promienie  $\alpha$  — są to jądra helu o masie 4 i podwójnym dodatnim ładunku elektrycznym, promienie  $\beta$  — ujemne elektrony, promienie  $\gamma$  — stanowią fale krótsze od rentgenowskich rzędu od  $4 \cdot 10^{-9}$  do  $4,7 \cdot 10^{-11}$  cm. Gdy jądro pierwiastka wyrzuci na zewnątrz cząstkę  $\alpha$  — powstaje nowy pierwiastek o 4 jednostki masy lżejszy i zajmujący w układzie okresowym miejsce o 2 wstecz od macierzystego. Gdy pierwiastek ulega przemianie  $\beta$  — produkt zachowuje w przybliżeniu swą masę, przesuwa się tylko w układzie o jedno miejsce naprzód. Promieniowanie  $\gamma$  — wśród naturalnych pierwiastków promieniotwórczych nie wywołuje przemiany, ma wyłącznie charakter wtórny. W rezultacie przemian pierwiastki promieniotwórcze są ze sobą związane rodowo.

Rozróżniamy 3 szeregi naturalnych pierwiastków promieniotwórczych: 1) szereg urano-radowy, 2) aktynowy i 3) torowy. Obok zestawione są pierwiastki, należące do tych szeregów. Poziomo odkładamy liczby porządkowe, a pionowo — ciężary atomowe pierwiastków.

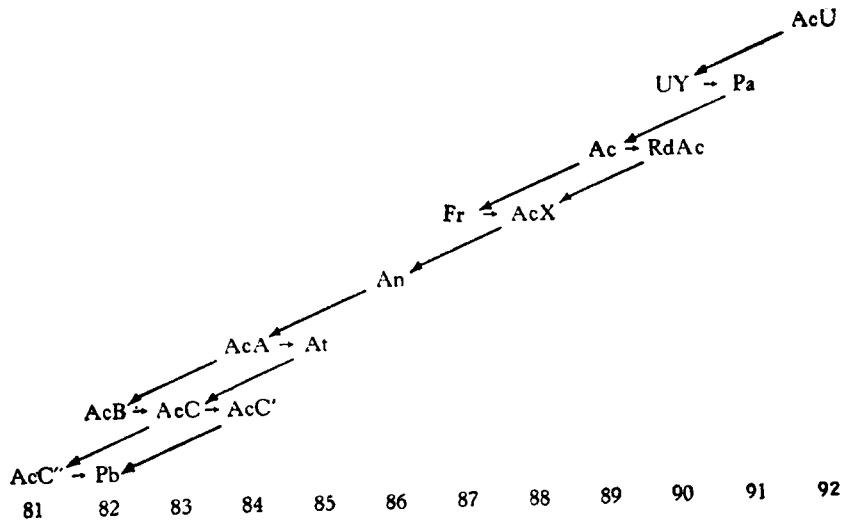
238  
234  
230  
226  
222  
218  
214  
210  
206

Szereg urano-radowy



235  
231  
227  
223  
219  
215  
211  
207

Szereg aktynowy







Pierwiastek		Z	A	Prom.	T
RaC''	Rad C drugi	81	210	$\beta$	1,32 m
RaD	Rad D	82	210	$\beta$	22 l
RaE	Rad E	83	210	$\beta$	5 d
Po (RaF)	Polon	84	210	$\alpha$	136 d
RaG (Pb)	Ołów	82	206	trwały	—

**Tablica 6.**  
**Szereg aktywny.**

Pierwiastek		Z	A	Prom.	T
AcU	Aktynouran	92	235	$\alpha$	$7 \cdot 10^8$ l
UY	Uran Y	90	231	$\beta$	24,6 g
Pa	Protoaktyn	91	231	$\alpha$	12500 l
Ac	Aktyn	89	227	$\left\{ \begin{array}{l} \beta \text{ } 99 \\ \alpha \text{ } 1 \end{array} \right.$	13,4 l
RaAc	Radioaktyn	90	227	$\alpha$	18,9 d
Fr	Frans	87	223	$\beta$	21 m
AcX	Aktyn X	88	223	$\alpha$	11,2 d
An	Aktynon	86	219	$\alpha$	3,92 s
AcA	Aktyn A	84	215	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ ok. } 100 \\ \beta \text{ ok. } 5 \cdot 10^{-4} \end{array} \right.$	0,0018 s
At	Astatin	85	215	$\alpha$	bardzo krótki
AcB	Aktyn B	82	211	$\beta$	36,1 m
AcC	Aktyn C	83	211	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ } 99,7 \\ \beta \text{ } 0,3 \end{array} \right.$	2,16 m
AcC'	Aktyn C pierwszy	84	211	$\alpha$	ok. $5 \cdot 10^{-8}$ s
AcC''	Aktyn C drugi	81	207	$\beta$	4,76 m
AcD (Pb)	Ołów	82	207	trwały	—

**Tablica 7.**  
**Szereg torowy.**

Pierwiastek		Z	A	Prom.	T
Th	Tor	90	232	$\alpha$	$1,8 \cdot 10^{10}$ l
MsThI	Mezoto pierwszy	88	228	$\beta$	6,7 l
MsThII	Mezotor drugi	89	228	$\beta$	6,13 g
RdTh	Radiotor	90	228	$\alpha$	1,90 l
RhX	Tor X	88	224	$\alpha$	3,64 d
Tn	Toron	86	220	$\alpha$	54,5 s
ThA	Tor A	84	216	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ } 98,986 \\ \beta \text{ } 0,0135 \end{array} \right.$	0,158 s
At	Astatin	85	216	$\alpha$	ok. 0,1 s
ThB	Tor B	82	212	$\beta$	10,6 g
ThC	Tor C	83	212	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \text{ } 35 \\ \beta \text{ } 65 \end{array} \right.$	60,5 m
ThC'	Tor C pierwszy	84	212	$\alpha$	$3 \cdot 10^{-7}$ s
ThC''	Tor C drugi	81	208	$\beta$	3,1 m
ThD (Pb)	Ołów	82	208	trwały	—

Niezależnie od trzech głównych szeregów istnieją w przyrodzie jeszcze 4 pierwiastki lżejsze, ulegające samorzutnemu powolnemu rozpadowi. Nie są one ze sobą związane rodowo, stanowią indywidualne wysoki w układzie okresowym. W tablicy 8 podajemy ich wykaz.

Tablica 8.

Lżejsze pierwiastki promieniotwórcze występujące w naturze.

Symbol	Nazwa	Z	A	Prom.	T
K	Potas	19	40	$\beta$	ok. $10^9$ lat
Rb	Rubid	37	87	$\beta$	$6,3 \cdot 10^{10}$ lat
Sm	Samar	62	148	$\alpha$	$1,4 \cdot 10^{11}$ lat
Lu	Lutes	71	176	$\beta$	$7 \cdot 10^{10}$ lat

Znaleziono też w przyrodzie w rudach uranowych niewielkie ilości dwóch pierwiastków transuranowych, zasadniczo otrzymywanych na drodze sztucznej, umieszczonych przeto na końcu tablicy 9-tej. Są to neptun  ${}_{93}\text{Np}^{237}$  i pluton  ${}_{94}\text{Pu}^{239}$ .

### 6. Sztuczne pierwiastki promieniotwórcze.

Ponieważ atomy wszystkich pierwiastków posiadają analogiczną strukturę, a różnią się jedynie ilościowo — liczbą elementarnych składników budowy, przeto jest rzeczą możliwą zamiana jednych pierwiastków w drugie. Zamiana taka odbywa się samorzutnie w jądrach pierwiastków promieniotwórczych spotykanych w naturze. Użycie odpowiednich pocisków atomowych pozwala też na sztuczne rozbijanie jądra. Jako pociski służyć mogą dowolne elementy budowy materii, a więc cząsteczki —  $\alpha$ , protony (p), neutrony (n), deuterony (d), nawet fotony —  $\gamma$ , muszą być tylko obdarzone dostatecznie wielką energią. Technika eksperymentalna lat ostatnich doprowadziła do skonstruowania aparatów (np. tzw. cyklotronów) będących źródłem sztucznych pocisków o wielkiej energii i natężeniu, co umożliwiło potężny rozwój działu wiedzy, zwanego dziś chemią jądra atomowego. W wyniku reakcji jądrowych umiemy dziś otrzymać wiele nieznanych dotąd odmian wszystkich pierwiastków. Liczne z tych odmian są nietrwałe, posiadają zdolność rozpadu jądra analogiczną jak klasyczne pierwiastki promieniotwórcze. Zjawisko rozpadu pierwiastków otrzymanych na drodze sztucznej nazywamy promieniotwórczością sztuczną w odróżnieniu od naturalnej, spotykanej w przyrodzie.

W istocie swej promieniotwórczość sztuczna nie różni się od naturalnej, polega również na rozpadzie jądra z wyrzuceniem na zewnątrz elementów budowy. Tylko rodzaje promieniowania nieco różnią. Jedynie u najcięższych sztucznie otrzymanych izotopów promieniotwórczych spotykamy promienie  $\alpha$ . Przeważa promieniowanie elektronowe  $\beta$ , które tutaj będziemy oznaczali symbolem  $e^-$ . Spotykamy ponadto nowe rodzaje promieni. Wiele sztucznych radiopierwiastków emituje pozytrony  $e^+$ . Istnieje jeszcze szczególnie rodzaj przemiany oznaczany symbolem K; polega on na tym, że elektron zewnętrznej sfery atomowej spada na jądro, zubożając jeden proton jądrowy. W wyniku takiej przemiany powstaje nowy pierwiastek o jeden ładunek dodatni uboższy, a więc przesunięty w układzie okresowym o jedno miejsce w lewo w stosunku do macierzystego. Wreszcie promienie  $\gamma$  w sztucznej promieniotwórczości nie mają wyłącznie charakteru pobocznego.

Znamy tu przemiany  $\gamma$ , a więc zjawisko polegające na tym, że w wyniku wysłania kwantu jądro pierwiastka przekształca się w nową odmianę o innym okresie półtrwania. Ten typ przemian prowadzi do nowego pojęcia tzw. izomerii jądrowej. Izomerami jądrowymi nazywamy takie odmiany pierwiastka, które posiadają tą samą liczbę protonów i neutronów w jądrze, różnią się tylko ich wewnętrznym rozmieszczeniem, a więc stanem energetycznym, który powoduje niejednakową trwałość odmian.

W tablicy 9 podajemy wszystkie sztucznie dotąd otrzymane pierwiastki promieniotwórcze, zaznaczając kolejno: symbol pierwiastka, jego liczbę porządkową — Z, ciężar atomowy A zaokrąglony do całości, naturę promieniowania, okres półtrwania i reakcje jądrowe, które doprowadziły do otrzymania danego rodzaju atomów. Reakcje w kolumnie 6 piszemy w skrócie w sposób dziś ogólnie przyjęty, podając najpierw symbol atomu bombardowanego, a dalej w nawiasie pocisk bombardujący jako pierwszy, a element wyrzucany jako drugi. Np.  ${}^2\text{H}^2$  (d, p)  ${}^3\text{H}^3$  jest skrótem równania stechiometrycznego:



Tam, gdzie dane liczbowe nie są jeszcze ustalone, pozostawiamy w odpowiednich kolumnach puste miejsca.

Wiele sztucznych pierwiastków promieniotwórczych powstaje w wyniku szczególnej reakcji tzw. pękania jądra. Reakcji tej podlegają najcięższe pierwiastki chemiczne, zaczynając od toru, a więc tor, protoaktyn, uran, neptun, pluton, ameryk i kiur. Proces polega na tym, że neutron wbity w jądro jednego z tych pierwiastków powoduje rozpad wybuchowy na 2 nowe jądra o masach atomowych bliskich połowy jądra macierzystego i na kilka neutronów. Reakcję tego typu nazywamy pękaniem jądra (ang. fission). Jest ona szczególnie dziś głośna i interesująca, bo stanowi źródło energii atomowej. Pierwiastki otrzymane w reakcji pękania zaznaczone są w tablicy gwiazdką obok liczby wyrażającej masę atomową (w kol. 3). Reakcję pękania, jak i inne, zaczynamy w kol. 6 bez produktów, a więc po prostu U(n) lub Pu(n).

Badania ostatnie, związane z zastosowaniem pocisków najwyższych energii (setki milionów elektronowoltów), doprowadziły do pękania i lżejsze pierwiastki od talu do bizmutu włącznie i takie więc reakcje zaobserwować możemy w kolumnie 6. Wykryto ponadto zjawisko tzw. kruszenia (ang. spallation) jądra, polegające na rozpadzie wybuchowym jąder średniej masy na pierwiastek znacznie lżejszy i kilka do kilkunastu elementów budowy, tj. neutronów i protonów. Reakcje te zaznaczamy w sposób ogólny, np.  $\text{Cu}^{65}$  ( $\alpha$ , 6z 18a)  $\text{Mn}^{51}$  oznacza, że cząstka  $\alpha$  wielkiej energii wbita w  $\text{Cu}^{65}$  daje  $\text{Mn}^{51}$  i takie elementy budowy, które w sumie obniżają liczbę atomową pierwiastka o 6 i masę atomową o 18.

## Tablica 9.

### Sztuczne pierwiastki promieniotwórcze.

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
H	1 3	e <sup>-</sup>	31 lat	H <sup>2</sup> (d,p); Li <sup>6</sup> (n,α); B(n); N(n)
He	2 6	e <sup>-</sup>	0,8 s	Be <sup>9</sup> (n,α); Li(n)
Li	3 8	e <sup>-</sup> , α	0,88 s	Li <sup>7</sup> (d,p); B(n,α)
Be	4 7	K	53 d	Li(d,n); B(p,α); Li(p,n)
Be	4 10		ok. 10 <sup>6</sup> lat	Be <sup>9</sup> (d,p)
B	5 12	e <sup>-</sup>	0,022 s	B(d,p)
C	6 10	e <sup>+</sup>	9 s	B(p,n)
C	6 11	e <sup>+</sup>	20,4 m	B(d,n); B(p,n); B(p,-); N(p,α)
C	6 14	e <sup>-</sup>	ok. 10 <sup>4</sup> lat	B(α,p); C <sup>13</sup> (d,p); N(n,p)
N	7 13	e <sup>+</sup>	9,93 m	B(α,n); C(d,n); C <sup>13</sup> (p,n); C(p,-); N(n, 2n) N(γ,n); O(p,α)
N	7 16	e <sup>-</sup>	8 s	N(d,p); O(n,p); F <sup>19</sup> (n,α)
O	8 15	e <sup>+</sup>	2,1 m	C(α,n); N(d,n); N(p,-); O(n,2n); O(γ,n)
O	8 19	e <sup>-</sup>	31 s	F <sup>19</sup> (n,p); Ne(n,α)
F	9 17	e <sup>+</sup>	1,1 m	N(d,n); O(p,-); O(d,n)
F	9 18	e <sup>+</sup>	1,9 g	O <sup>17</sup> (d,n); O <sup>18</sup> (p,n); F <sup>19</sup> (n,2n); F <sup>19</sup> (γ,n); Ne(d,α)
F	9 20	e <sup>-</sup>	12 s	F <sup>19</sup> (d,p); F <sup>19</sup> (n,-); Ne(n,p); Na <sup>23</sup> (n,α)
Ne	10 19	e <sup>+</sup>	20,3 s	F <sup>19</sup> (p,n)
Ne	10 23	e <sup>-</sup>	40,3 s	Ne <sup>22</sup> (d,p); Na(n,p); Mg(n,α)
Na	11 21	e <sup>+</sup>	26 s	Ne <sup>20</sup> (d,n); Ne(p)
Na	11 22	e <sup>+</sup>	3 lat	F <sup>19</sup> (α,n); Ne(d,n); Mg(d,α)
Na	11 24	e <sup>-</sup>	14,8 g	Na <sup>23</sup> (d,p); Na <sup>23</sup> (n,-); Mg(d,α); Mg(n,p); Al <sup>27</sup> (n,α)
Na	11 25	e <sup>-</sup>	60 s	Mg(n,p); Mg(γ,p)
Mg	12 23	e <sup>+</sup>	11,6 s	Na <sup>23</sup> (p,n); Mg(γ,n)
Mg	12 27	e <sup>-</sup>	10,0 m	Mg(d,p); Mg(n,-); Al <sup>27</sup> (n,p)
Al	13 24	e <sup>+</sup>	20 m	Mg(p,n)
Al	13 26	e <sup>+</sup>	7,0 s	Na <sup>23</sup> (α,n); Mg(p,n); Mg(p,-); Al <sup>27</sup> (γ,n)
Al	13 28	e <sup>-</sup>	2,3 m	Mg(α,p); Al <sup>27</sup> (d,p); Al <sup>27</sup> (n,-); Si(n,p); P <sup>31</sup>
Al	13 29	e <sup>-</sup>	6,7 m	Mg(α,p)
Si	14 27	e <sup>+</sup>	4,9 s	Al <sup>27</sup> (p,n)
Si	14 31	e <sup>-</sup>	2,6 g	Si(d,p); Si(n,-); P <sup>31</sup> (n,p); S(n,α)
P	15 29	e <sup>+</sup>	4,6 s	Si(p,n)
P	15 30	e <sup>+</sup>	2,18 m	Al <sup>27</sup> (α,n); Si(He <sup>3</sup> ,p); Si(p,n); P <sup>31</sup> (n,2n); P <sup>31</sup> (γ,n); S(d,α)
P	15 32	e <sup>-</sup>	14,3 d	Si(α,p); P <sup>31</sup> (d,p); P <sup>31</sup> (n,-); S(d,α); S(n,p); Cl(n,α)
P	15 34	e <sup>-</sup>	12,7 s	S(n)

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie	
S	16	31	$e^+$	3,18 s	Si( $\alpha$ , n); P <sup>31</sup> (p, n); S( $\gamma$ , n)
S	16	35	$e^-$	88 d	Cl(n, p); Cl(d, $\alpha$ )
Cl	17	33	$e^+$	2,4 s	S(d, n); S(p, n)
Cl	17	34	$e^+$	33 m	P <sup>31</sup> ( $\alpha$ , n); S( $\alpha$ , p+n); S(d, n); Cl(n, 2n); Cl( $\gamma$ , n)
Cl	17	36	$e^+$ , $e^-$ , K	ok. 1 roku	Cl(d, p)
Cl	17	38	$e^-$	37 m	Cl(d, p); Cl <sup>37</sup> (n, —); K(n, $\alpha$ ); As <sup>75</sup> ( $\alpha$ , 18z 41a)
A	18	35	$e^+$	1,9 s	S( $\alpha$ , n); Cl(p, n)
A	18	39	$e^-$	4 m	K(n, p)
A	18	41	$e^-$	110 m	A(d, p); A(n, —); K(n, p)
K	19	38	$e^+$	7,6 m	Cl( $\alpha$ , n); K(n, 2n); K( $\gamma$ , n); Ca(d, $\alpha$ )
K	19	42	$e^-$	12,5 g	K(d, p); K(n, —); Ca(n, p); Sc(n, $\alpha$ )
K	19	44	$e^-$	18 m	Ca(n, p)
Ca	20	39	$e^+$	4,5 m	Ca(n, 2n)
Ca	20	41	K	8,5 d	Ca(d, p); Ca(n, 2n)
Ca	20	—		30 m	Ca(d); Ca(n); Ca( $\gamma$ )
Ca	20	45	$e^-$	180 d	Ca(d, p); Ca(n); Sc <sup>45</sup> (n, p)
Ca	20	49	$e^-$	2,5 g	Ca(d, p); Ca(n, —)
Sc	21	41	$e^+$	0,87 s	Ca(d, n)
Sc	21	42	$e^+$	13,4 d	K( $\alpha$ , n)
Sc	21	43	$e^+$	4,4 g	Ca( $\alpha$ , p); Ca(d, n); Ca(p, n)
Sc	21	44	$e^+$	4 g	K( $\alpha$ , n); Ca(d, n); Ca(d, 2n); Ca(p, n) Sc <sup>45</sup> (n, 2n); Sc <sup>45</sup> ( $\gamma$ , n); Sc <sup>44</sup> ( $\gamma$ )
Sc	21	44	$\gamma$	52 g	K( $\alpha$ , n); Ca(d, n); Ca(d, 2n); Ca(p, n); Sc <sup>45</sup> (n, 2n); Ti(d, $\alpha$ )
Sc	21	46	$e^-$ , K	85 d	Ca( $\alpha$ , p); Sc <sup>45</sup> (d, p); Sc(n, —); Ti(d, $\alpha$ ); Ti(n, p)
Sc	21	47	$e^-$	63 g	Ca( $\alpha$ , p); Ti(n, p)
Sc	21	48	$e^-$	44 g	Ca(d, 2n); Ti(n, p); V <sup>51</sup> (n, $\alpha$ )
Sc	21	49	$e^-$	57 m	Ca(d, n); Ca <sup>49</sup> ( $e^-$ ); Ti(n, p)
Ti	22	45	$e^+$	3,08 g	Ca( $\alpha$ , n); Sc <sup>45</sup> (d, 2n); Sc <sup>45</sup> (p, n, $\alpha$ )
Ti	22	51		2,9 m	Ti(d, p); Ti(n, —)
Ti	22	51	$e^-$	72 d	Ti(d, p); Ti(n, —)
V	23	47	K	600 d	Ti(d, n)
V	23	48	$e^+$ , K	16 d	Sc <sup>45</sup> ( $\alpha$ , n); Ti(d, n); Ti(p, n); Cr(d, $\alpha$ )
V	23	49	$e^+$	33 m	Ti( $\alpha$ , p); Ti(d, n); Ti(p, n)
V	23	50	$e^+$	3,7 g	Ti( $\alpha$ , p); Ti(d, n); V <sup>51</sup> (n, 2n); Cr(n, p)
V	23	52	$e^+$	3,9 m	V <sup>51</sup> (d, p); V <sup>51</sup> (n, —); Cr(n, p) Mn <sup>55</sup> (n, $\alpha$ )
Cr	24	51	K, $e^+$	26,5 d	Ti( $\alpha$ , n); Cr(d, p); Cr(n, —)
Cr	24	55	$e^-$	1,6 g	Cr(d, p); Cr(n, —)
Mn	25	51	$e^+$	46 m	Cr(d, n); Cr(p, —); Cu <sup>65</sup> ( $\alpha$ , 6z 18a)
Mn	25	52	K, $e^+$	7,4 d	Cr(p, n); Fe(d, $\alpha$ )
Mn	25	52	$e^+$	21 m	Cr(p, n); Fe(d, $\alpha$ )

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie	
Mn	25	53	e <sup>+</sup>	40 m	Cr(d,n); Cr(p,n)
Mn	25	54	K	310 d	V <sup>51</sup> ( $\alpha$ ,n); Mn <sup>55</sup> ( $\gamma$ ,n); Cr(d,n); Cr(p,n); Fe(d, $\alpha$ )
Mn	25	56	e <sup>-</sup>	2,59 g	Cr( $\alpha$ ,p) Mn <sup>55</sup> (d,p); Mn <sup>55</sup> (n,-); Fe(d, $\alpha$ ); Fe(n,p); Co <sup>59</sup> (n, $\alpha$ )
Fe	26	53	e <sup>+</sup>	8,9 m	Cr( $\alpha$ n); Fe(n,2n); Fe( $\gamma$ ,n)
Fe	26	55	K	ok. 10 lat	Mn <sup>55</sup> (p,n); Fe(d,p)
Fe	26	59	e <sup>-</sup>	47 d	Fe(d,p); Co <sup>59</sup> (n,p)
Co	27	56	K	270 d	Fe(d,2n); Fe(p,n); Ni(d $\alpha$ )
Co	27	57	e <sup>+</sup>	18 g	Fe(d,n); Fe(p,-)
Co	27	58	e <sup>+</sup>	70 d	Mn <sup>55</sup> ( $\alpha$ ,n); Fe(d,n); Fe(p,n); Ni(d, $\alpha$ ); Ni(n,p)
Co	27	60	-	7 lat	Co <sup>59</sup> (d,p); Co <sup>59</sup> (n,-); Ni(n,p)
Co	27	60	e <sup>-</sup>	11 m	Co <sup>59</sup> (n,-); Ni(n,p)
Ni	28	57	e <sup>+</sup>	36 g	Fe( $\alpha$ ,n); Ni(n,2n); Ni( $\gamma$ ,n)
Ni	28	59	-	3,6 g	Co(d,2n)
Ni	28	63	e <sup>-</sup>	2,6 g	Ni(d,p); Ni(n,2n); Ni(n,-); Cu(n,p); Zn(n, $\alpha$ )
Cu	29	58	e <sup>+</sup>	7,9 m	Ni(p,n)
Cu	29	60	e <sup>+</sup>	81 s	Ni(p,n)
Cu	29	61	e <sup>+</sup> , K	3,4 g	Ni( $\alpha$ ,p); Ni(d,n); Ni(p,n); Ni(p,-)
Cu	29	62	e <sup>+</sup>	10 m	Co( $\alpha$ ,n); Ni(p,n); Ni(p,-); Cu(d,p-2n); Cu(n,2n); Cu( $\gamma$ ,n)
Cu	29	64	K, e <sup>+</sup> e <sup>-</sup>	12,8 g	Ni(p,n); Cu(d,p); Cu(n,2n); Cu(n,-); Cu( $\gamma$ ,n); Zn(n,p)
Cu	29	66	e <sup>-</sup>	5 m	Cu(d,p); Cu(n,-); Zn(n,p); Ga(n, $\alpha$ )
Zn	30	63	e <sup>+</sup>	38 m	Ni( $\alpha$ ,n); Cu(d,2n); Cu(p,n); Zn(n,2n); Zn( $\gamma$ ,n)
Zn	30	65	e <sup>+</sup> K	250 d	Cu(d,2n); Cu(p,n); Zn(d,p); Zn(n,-); Ga <sup>65</sup> K
Zn	30	69	e <sup>-</sup>	57 m	Zn(d,p); Zn(n,-); Zn <sup>69</sup> $\gamma$ ; Ga(d $\alpha$ ); Ga(n,p)
Zn	30	69	$\gamma$	13,8 g	Zn(d,p); Zn(n,-); Ga(d, $\alpha$ ); Ga(n,p)
Zn	30	72*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	49 g	Pu(n)
Zn	30	73*	e <sup>-</sup>	ok. 2 m	Pu(n)
Ga	31	64	e <sup>+</sup>	48 m	Zn(p,n)
Ga	31	65	K	15 m	Zn(d,n); Zn(p,-)
Ga	31	66	e <sup>+</sup>	9,4 g	Cu( $\alpha$ ,n); Zn(p,n)
Ga	31	67	K	84 g	Zn( $\alpha$ ,p); Zn(d,n); Zn(p,n)
Ga	31	68	e <sup>+</sup>	68 m	Cu( $\alpha$ ,n); Zn(d,n); Zn(p,n); Zn(p,-); Ga(n,2n); Ga( $\gamma$ ,n)
Ga	31	70	e <sup>-</sup>	20 m	Zn( $\alpha$ ,p); Zn(p,n); Ga(n,2n); Ga(n,-); Ga( $\gamma$ ,n)
Ga	31	72*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	14,25 g	Ga(d,p); Ga(n,-); Pu(n); Bi( $\alpha$ )
Ga	31	73*	e <sup>-</sup>	5 g	Pu(n)
Ga	31	74		9 d	Ge(d, $\alpha$ )
Ge	32			195 d	Zn( $\alpha$ )
Ge	32	71	e <sup>+</sup>	40 g	Zn( $\alpha$ ,n); Ga(d,2n); Ge(d,p); Ge(n,2n); Ge(n,-); Se(n, $\alpha$ )
Ge	32	71	K	11 d	Ga(d,2n); Ge(d,p)

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie	
Ge	32	75*	e <sup>-</sup> , γ	89 m	Ge(n); Ge(n,2n); As <sup>75</sup> (n,p); Se(n,α); Pu(n)
Ge	32	77*	e <sup>-</sup> , γ	12 g	Ge(d,p); Ge(n,-); Sc(n,α); Pu(n)
Ge	32	78*	e <sup>-</sup> , γ	2,1 g	Pu(n)
As	33		e <sup>+</sup>	50 g	Ge(d)
As	33		e <sup>+</sup>	66 m	Ge(d)
As	33	74	e <sup>+</sup> e <sup>-</sup>	17 d	Ge(d,n); Ge(p,n); As <sup>75</sup> (n,2n); Se(d,α)
As	33	76	K, e <sup>+</sup> , e <sup>-</sup>	26,8 g	Ge(p,n); As <sup>75</sup> (d,p); As <sup>75</sup> (n,-); Se(d,α);
As	33	77*		40 g	Pu(n) Se(n,p); Br(n,α)
As	33	77	e <sup>-</sup>	55 d	Ge(d)
As	33	78*	e <sup>-</sup> , γ	80 m	Se(n,p); Br(n,α); Pu(n)
As	33	78*	e <sup>-</sup>	90 m	Pu(n)
As	33	81*	e <sup>-</sup>	ok. 10 m	Pu(n)
Se	34	75		48 d	As <sup>75</sup> (p,n)
Se	34	79*	e <sup>-</sup>	ok. 10 m	Pu(n)
Se	34	81*	e <sup>-</sup>	17 m	Pu(n); Se(d,p); Se(n,2n); Se(γ,n); Se <sup>79</sup> γ; Br(n,p)
Se	34	81*	γ, e <sup>-</sup>	59 m	Pu(n); Se(d,p); Se(n,2n); Se(γ,n); Br(n,p)
Se	34	83*	e <sup>-</sup> , γ	30 m	Se(d,p); Se(n,-); Pu(n)
Se	34	84*	e <sup>-</sup>	ok. 2 m	Pu(n)
Se	34			kilka g	Th <sup>232</sup> (n)
Se	34			kilka dni	Th <sup>232</sup> (n)
Br	35	78	e <sup>+</sup>	6,3 m	As <sup>75</sup> (α,n); Se(d,n); Se(p,n); Br(n,2n); Br(γ,n)
Br	35	80	e <sup>-</sup>	18 m	Se(p,n); Br(d,p); Br(n,2n); Br(n,-); Br(γ,n); Br <sup>80</sup> γ;
Br	35	80	γ	4,45 g	Se(p,n); Br(d,p); Br(n,2n); Br(n,-); Br(γ,n)
Br	35	82*	e <sup>-</sup> , γ	34 g	Se(d,2n); Se(p,n); Br(d,p); Br(n,-); Rb(n,α);
Br	35	83*	e <sup>-</sup>	2,4 g	Se <sup>83</sup> e <sup>-</sup> -Th(n); U(n); Pu(n); Bi(α) Pu(n); Bi(α)
Br	35	84*	e <sup>-</sup> , γ	30 m	Rb(n,α); U(n); Pu(n)
Br	35	85*	e <sup>-</sup>	3,0 m	U(n); Pu(n)
Br	35	87*	e <sup>-</sup>	56 s	U(n); Pu(n)
Kr	36			13 s	Bi(p,n)
Kr	36		γ	55 s	Br(p,n)
Kr	36	81	e <sup>+</sup>	34,5 g	Se(α,n); Br(p,n); Kr(d,p);
Kr	36	83*	γ, e <sup>-</sup>	113 m	Se(α,n); Br <sup>83</sup> e <sup>-</sup> ; Kr(d); Th(n); U(n); Pu(n)
Kr	36	85*	e <sup>-</sup>	4,6 g	Br <sup>85</sup> e <sup>-</sup> ; Kr(d,p); Kr(n,-); Rb(n,p); Sr(n,α); Pu(n)
Kr	36	87*	e <sup>-</sup>	75 m	Br <sup>87</sup> e <sup>-</sup> ; Kr(d,p); Kr(n,-); Rb(n,p); Pu(n)
Kr	36	88*	e <sup>-</sup>	170 m	Th(n); U(n); Pu(n)
Kr	36	89*	e <sup>-</sup>	2,6 m	U(n); Pu(n)
Kr	36	90*	e <sup>-</sup>	ok. 33 s	Pu(n)
Kr	36	91*	e <sup>-</sup>	9,8 s	Pu(n)
Kr	36	92*	e <sup>-</sup>	3 s	Pu(n)
Kr	36	93*	e <sup>-</sup>	2 s	Pu(n)
Kr	36	94*	e <sup>-</sup>	1,4 s	Pu(n)

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
Kr	36	97*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Rb	37	82	e <sup>+</sup>	20 m Br( $\alpha$ ,n)
Rb	37	84	e <sup>+</sup>	6,5 g Br( $\alpha$ ,n); Kr(d,n)
Rb	37	86*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	19,5 d Rb(n,-); Sr(d, $\alpha$ ); Pu(n)
Rb	37	87*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	6,3.10 <sup>10</sup> lat Pu(n)
Rb	37	88*	e <sup>-</sup>	18 m Kr <sup>88</sup> e <sup>-</sup> ; Rb(n); Th(n); Pa(n); U(n); Pu(n);
Rb	37	89*	e <sup>-</sup>	15,5 m Kr <sup>89</sup> e <sup>-</sup> ; Pu(n)
Rb	37		e <sup>-</sup>	88 s U(n); Pu(n)
Rb	37	91*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Rb	37	92*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Rb	37	93*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Rb	37	94*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Rb	37	97*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Sr	38	85	K	66 d Rb(p,n)
Sr	38	85	$\gamma$	70 m Rb(p,n)
Sr	38	87	$\gamma$	2,8 g Rb(p,n); Sr(d,p); Sr <sup>87</sup> (n,n); Sr(n,-); Sr( $\gamma$ ); Y <sup>87</sup> K; Zr(n, $\alpha$ )
Sr	38	87*	e <sup>-</sup>	55 d Sr(d,p); Sr(n,-); Rb <sup>89</sup> e <sup>-</sup> ; Y <sup>89</sup> (n,p); Zr(n, $\alpha$ ); U(n); Pu(n)
Sr	38	90*	e <sup>-</sup>	25 lat U(n); Pu(n)
Sr	38	91*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	8,5 g Zr(n, $\alpha$ ); U(n); Pu(n); Bi( $\alpha$ )
Sr	38	92*	e <sup>-</sup>	2,7 g Rb <sup>92</sup> e <sup>-</sup> ; U(n); Pu(n)
Sr	38	93*	e <sup>-</sup>	7 m U(n); Pu(n)
Sr	38	94*	e <sup>-</sup>	ok. 2 m Pu(n)
Sr	38	97*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Y	39	86	K	105 d Sr(p,n); Sr(d,2n)
Y	39	87		14 g Sr(d); Sr(p)
Y	39	87	K	80 g Sr(d,n); Sr(p,n)
Y	39	88	e <sup>+</sup>	2,0 g Sr(d,n); Y <sup>89</sup> (n,2n); Zr(d, $\alpha$ )
Y	39	90*	e <sup>-</sup>	65 g Sr <sup>90</sup> e <sup>-</sup> ; Y <sup>89</sup> (d,p); Y <sup>89</sup> (n,-); Zr(n,p); Nb <sup>93</sup> (n, $\alpha$ ); U(n); Pu(n); Bi( $\alpha$ )
Y	39	91*	e <sup>-</sup>	57 d Sr <sup>91</sup> e <sup>-</sup> ; Zr(n,p); Pu(n)
Y	39	91*	$\gamma$ , e <sup>-</sup>	50 m Pu(n)
Y	39	92*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	3,5 g Sr <sup>92</sup> e <sup>-</sup> ; Zr(n,p); Pu(n)
Y	39	93*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	10 g Pu(n)
Y	39	94*	e <sup>-</sup> , $\gamma$	20 m Pu(n)
Y	39	95*	e <sup>-</sup>	ok. 3 g Pu(n)
Y	39	97*	e <sup>-</sup>	b. krótki Pu(n)
Y	39			72 g Zr(n,p)
Zr	40	89	e <sup>+</sup>	78 g Y <sup>89</sup> (p,n); Zr(n,2n); Mo(n, $\alpha$ )
Zr	40	89	$\gamma$	4,5 m Y <sup>89</sup> (p,n)



Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie	
Zr	40	93*	2,5 m	Pu(n)	
Zr	40	95*	e <sup>-</sup> , γ	65 d	Zr(d,p); Zr(n,2n); Zr(n,-); U(n); Pu(n)
Zr	40	97*	e <sup>-</sup> , γ	17 g	Zr(n,-); Mo(n,α); Th(n); U(n); Pu(n)
Nb	41	92	e <sup>-</sup>	11 d	Nb <sup>93</sup> (n,2n); Mo(n,p)
Nb	41	93	γ	55 d	Zr <sup>95</sup> e <sup>-</sup>
Nb	41	94	e <sup>-</sup>	7,5 m	Nb(n,-)
Nb	41	95*	e <sup>-</sup> , γ	35 d	Pu(n)
Nb	41	95*	e <sup>-</sup>	90 g	Pu(n)
Nb	41	97	e <sup>-</sup> , γ	75 m	Zr <sup>97</sup> e <sup>-</sup>
Mo	42	91	e <sup>+</sup>	17 m	Mo(n,2n); Mo(γ,n)
Mo	42	99*	e <sup>-</sup> , γ	67 g	Mo(d,p); Mo(n,2n); Mo(n,-); Th(n) U(n); Pu(n); Bi(α)
Mo	42	101*	e <sup>-</sup> , γ	14,6 m	Mo(n,-); U(n); Pu(n)
Mo	42	102*	e <sup>-</sup>	12 m	U(n); Pu(n)
Mo	42	105*	e <sup>-</sup>	b. krótki	Pu(n)
Tc	43		K	90 d	Mo(d)
Tc	43		K	62 d	Mo(d)
Tc	43			110 g	Mo(p)
Tc	43		K	ok. 2 d	Mo(d)
Tc	43	96		2,7 g	Nb <sup>93</sup> (α,n); Mo(dn); Mo(p,n)
Tc	43	99*	γ	6,6 g	Mo <sup>99</sup> e <sup>-</sup> ; Pu(n)
Tc	43	99*	e <sup>-</sup>	4.10 <sup>6</sup> lat	Pu(n)
Tc	43	101*	e <sup>-</sup>	14 m	Mo <sup>101</sup> e <sup>-</sup> ; Pu(n)
Tc	43	102*	e <sup>-</sup>	ok. 1 m	Pu(n)
Tc	43	105	e <sup>-</sup>	18 s	Mo(p); Pu(n)
Tc	43	107*	e <sup>-</sup>	ok. 1,5 m	Pu(n)
			e <sup>-</sup>	53 m	Mo(p);
			e <sup>-</sup>	36,5 g	Mo(p); Ru(d)
			e <sup>-</sup>	50 d	Mo(d); Ru(d)
			e <sup>-</sup>	90 m	Mo(α)
Ru	44	103	e <sup>-</sup>	4 g	Ru(d,p; Ru(n,2n); Ru(n,-)
Ru	44	103*	e <sup>-</sup> , γ	42 d	U(n); Pu(n)
Ru	44	105	e <sup>-</sup>	20 g	Ru(n,-);
Ru	44	105*	e <sup>-</sup> , γ	4 g	Th(n); U(n); Pu(n); Bi(α)
Ru	44	106*	e <sup>-</sup>	1 rok	Pu(n)
Ru	44	107*	e <sup>-</sup>	4 m	U(n); Pu(n)
Rh	45	102	e <sup>-</sup> e <sup>+</sup>	210 d	Rh(n,2n)
Rh	45	103*	γ, e <sup>-</sup>	56 m	Rh <sup>103</sup> (n,n); Pu(n)
Rh	45	104	e <sup>-</sup>	42 s	Ru(p,n); Rh(n,-); Rh <sup>104</sup> γ;
Rh	45	104	γ	4,4 m	Ru(p,n); Rh(n,-);
Rh	45	105	e <sup>-</sup>	46 d	Ru(d,n); Ru <sup>105</sup> e <sup>-</sup>

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
Rh	45	105*	$e^-$ , $\gamma$	34 g Ru <sup>105</sup> $e^-$ ; U(n); Pu(n)
Rh	45	106*	$e^-$ , $\gamma$	30 s Pu(n)
Rh	45	107*	$e^-$	24 m Ru <sup>107</sup> $e^-$ ; U(n); Pu(n)
Rh	45	109*	$e^-$	ok. 1 g Pu(n)
Rh	45	*	$e^-$ , $\gamma$	9 g Pu(n)
Pd	46		$e^-$	12,3 g Pd(d,p); Pd(m,—); Ag(n,p)
Pd	46	107*	$e^-$	Pu(n)
Pd	46	109*	$e^-$	13,4 g Pu(n)
Pd	46	111*	$e^-$	26 m Pd(d,p); Pd(n,—); Th(n); U(n); Pu(n)
Pd	46	112*	$e^-$	21 g Th(n); U(n); Pu(n)
Ag	47	102	$e^+$	73 m Pd(p)
Ag	47	104	$e^+$	16,3 m Pd(p)
Ag	47	105	K	45 dni Pd(p)
Ag	47	106	$e^+$	23 m Rh( $\alpha$ ,n); Pd(d,n); Pd(p,n); Pd(p,—); Ag(d,p—2n); Ag(n,2n); Ag( $\gamma$ ,n); Cd(n,p)
Ag	47	106		8,2 d Rh( $\alpha$ ,n); Pd(d,n); Pd(p,n); Ag(n,2n); Cd(n,p)
Ag	47	108	$e^-$	3,2 m Pd(p,n); Ag(d,p); Ag(n,2n); Ag(n,—); Ag( $\gamma$ ,n); Cd(n,p); Ag(X,n)
Ag	47	109*	$e^-$ , $\gamma$	40 s Pde $^-$ ; Ag(n,n); Ag( $\gamma$ ); Cd K; Pu(n)
Ag	47	110	$e^-$	22 s Ag(n,—); Cd(n,p)
Ag	47	110	$e^-$	225 d Ag(d,p); Ag(n,—)
Ag	47	111*	$e^-$	7,5 d Pd( $\alpha$ ,p); Pd(d,n); Pd <sup>111</sup> $e^-$ ; Cd(n,p); Pu(n)
Ag	47	112*	$e^-$	3,2 g Cd(n,p); Pd <sup>112</sup> $e^-$ ; U(n); Pu(n)
Cd	48	109	K	6,7 g Ag(d); Ag(p)
Cd	48	109	K	158 d Ag(d)
Cd	48	115*	$e^-$ , $\gamma$	56 g Cd(n,p); Cd(n,2n); Cd(n,—); U(n); Pu(n)
Cd	48	115*	$e^-$	44 d Pu(n)
Cd	48	117*	$e^-$	170 m Cd(d,p); Cd(n,—); U(n); Pu(n)
Cd	48	*	$\gamma$	50 m Cd(n,n); Cd( $\gamma$ ); U(n); Pu(n)
In	49		$e^+$	66 m Ag( $\alpha$ ); Cd(d); Cd(p)
In	49		$e^+$	23 m Ag( $\alpha$ ); Cd(d); Cd(p)
In	49	112	K	65 g Ag( $\alpha$ ,n); Cd(d,n); Cd(p,n); In(n,2n)
In	49	113	$\gamma$	105 m Cd(d,n); Cd(p,n); Sn <sup>113</sup> K
In	49	114	$e^-$	72 s Cd(p,n); In(n,2n); In( $\gamma$ ,n); In <sup>114</sup> ( $\gamma$ )
In	49	114	$\gamma$	50 d Cd(d,n); Cd(p,n); In(d,p); In(n,2n); In(n,—)
In	49	115*	$\gamma$ , $e^-$	4,5 g Cd(d,n); In( $\alpha$ , $\alpha$ ); In(p,p); In(n,n); In( $\gamma$ ,—) Cd <sup>115</sup> $e^-$ ; Pu(n)
In	49	116	$e^-$	54 m Cd(p,n); In(d,p); In(n,—)
In	49	116	$e^-$	13 s In(n,—); Cd(p,n)
In	49	117*	$e^-$	117 m Cd(d,n); Cd <sup>117</sup> $e^-$ ; Pu(n)
Sn	50	113	K	105 d Cd( $\alpha$ ,n); In(p,n); Sn(d,p)
Sn	50	121*	$e^-$	60 g Pu(n)

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
Sn	50	123*	e <sup>-</sup> 10 d	Pu(n)
Sn	50	125*	e <sup>-</sup> 9 m	Sn(d,p); Sn(n,-); Pu(n)
Sn	50	126*	e <sup>-</sup> 70 m	U(n); Pu(n)
Sn	50		e <sup>-</sup> 40 m	Sn(d,p); Sn(n,-)
Sn	50		e <sup>-</sup> 26 g	Sn(d,p); Sn(n,-)
Sn	50		e <sup>-</sup> ok. 400 d	Sn(d,p); Sn(n,-);
Sn	50	*	e <sup>-</sup> 2,5 d	U(n)
Sn	50	*	e <sup>-</sup> 130 d	Pu(n)
Sn	50	*	e <sup>-</sup> 20 m	Sn(d,p); Sn(n,-)
			e <sup>-</sup> 25 m	Sn(d,p); Sn(n,-)
			e <sup>-</sup> 3 g	Sn(d,p); Sn(n,-)
			e <sup>-</sup> 13 d	Sn(d,p); Sn(n,-)
Sb	51	118		In(α,n)
Sb	51	120	e <sup>+</sup> 17 m	Sn(d,n); Sn(p,n); Sb(n,2n); Sb(γ,n)
Sb	51	122	e <sup>-</sup> 2,8 d	Sn(d,2n); Sn(p,n); Sb(d,p); Sb(n,-)
Sb	51	124	e <sup>-</sup> 60 d	Sb(d,p); Sb(n,-); Te(d,α); J <sup>127</sup> (n,α)
Sb	51	125*	e, γ <sup>-</sup> ok. 2,7 l	Pu(n)
Sb	51	126*	e <sup>-</sup> ok. 1 g	Sn <sup>126</sup> e <sup>-</sup> ; U(n); Pu(n)
Sb	51	127*	e <sup>-</sup> 80 g	U(n); Pu(n)
Sb	51	129*	e <sup>-</sup> 4,2 g	U(n); Pu(n)
Sb	51	132*	e <sup>-</sup> 5 m	Th(n); U(n); Pu(n)
Sb	51	133*	e <sup>-</sup> 10 m	Th(n); U(n); Pu(n)
Sb	51		e <sup>-</sup> 40 m	U(n)
Te	52	121	K	Sn(α,n); Sb(d,2n); Sb(p,n)
Te	52	127*	e <sup>-</sup> 9,3 g	Sn(α,n); Sb <sup>127</sup> e <sup>-</sup> ; Te(d,p); Te(n,2n); Te(n,-); Te <sup>127</sup> γ; J(n,p); U(n); Pu(n)
Te	52	127*	γ 90 d	Sn(-,n); Te(d,p); Te(n,-); J(n,p); U(n); Pu(n)
Te	52	129*	e <sup>-</sup> , γ 72 m	Sb <sup>129</sup> e <sup>-</sup> ; Te(d,p); Te(n,2n); Te(n,-); Te(γ,n) Te <sup>129</sup> γ, Pu(n)
Te	52	129*	γ 32 d	Te(d,p); Te(n,2n); Te(n,-); Pu(n)
Te	52	131*	e <sup>-</sup> 25 m	Te(d,p); Te(n,-); Te <sup>131</sup> γ; U(n); Pu(n)
Te	52	131*	γ, e <sup>-</sup> 30 g	Te(d,p); Te(n,-); U(n); Pu(n)
Te	52	132*	e <sup>-</sup> , γ 77 g	Sb <sup>132</sup> e <sup>-</sup> ; U(n); Pu(n)
Te	52	133*	e <sup>-</sup> 60 m	Sb <sup>133</sup> e <sup>-</sup> ; Th <sup>232</sup> (n); Pu(n)
Te	52	134*	e <sup>-</sup> 43 m	Th <sup>232</sup> (n); U(n); Pu(n)
Te	52	135	e <sup>-</sup> 15 m	Th <sup>232</sup> (n); U(n); Pu(n)
Te	52	135*	e <sup>-</sup> ok. 2 m	Pu(n)
Te	52	*		ok. 1 m Pu(n)
J	53	124	e <sup>+</sup> 4,0 d	Sb(α,n); Te(p,n)
J	53	126	e <sup>-</sup> 13,0 d	Sb(α,n); Te(d,n); Te(p,n); J <sup>127</sup> (n,2n)
J	53	128	e <sup>-</sup> 25,0 m	Te(d,2n); Te(p,n); J <sup>127</sup> (n,-)

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
J	53 130	$e^-$	12,5 g	Te(d); Te(p); Cs <sup>133</sup> (n, $\alpha$ )
J	53 131*	$e^-, \gamma$	8 d	Te(d,n); Te <sup>131</sup> $e^-$ ; Pu(n); Bi( $\alpha$ )
J	53 132*	$e^-, \gamma$	2,4 g	Te <sup>132</sup> $e^-$ ; Pu(n)
J	53 133*	$e^-, \gamma$	22 g	Te <sup>133</sup> $e^-$ ; Pu(n)
J	53 134*	$e^-, \gamma$	54 m	Te <sup>134</sup> $e^-$ ; Th(n); Pu(n)
J	53 135*	$e^-, \gamma$	6,6 g	Te <sup>135</sup> $e^-$ ; Pu(n)
J	53 136*	$e^-$	1,8 m	U(n); Pu(n)
J	53 137*	$e^-$	30 s	U(n); Pu(n)
J	53 137*	$e^-$	22 s	Pu(n)
X	54 127		75 s	J(p,n)
X	54 127		34 d	J(p,n)
X	54 133	$e^-$	7,0 d	Te( $\alpha$ ,n); J <sup>133</sup> $e^-$ ; X(d,p); X(n,-); Cs <sup>133</sup> (n,p); Ba(n, $\alpha$ )
X	54 133*	$e^-, \gamma$	5,3 d	Pu(n)
X	54 135*	$e^-, \gamma$	15 m	J <sup>135</sup> $e^-$ ; X(n,-); X(n,2n); Pu(n)
X	54 135*	$e^-, \gamma$	9,4 g	J <sup>135</sup> $e^-$ ; X(d,p); X(n,-); Y(n,2n); Ba(n, $\alpha$ ) Pu(n)
X	54 137*	$e^-$	3,4 m	J <sup>137</sup> $e^-$ ; X(n,-); Pu(n)
X	54 138*	$e^-$	17 m	Th <sup>232</sup> (n); Pa(n); U(n); Pu(n)
X	54 139*	$e^-$	41 s	Th(n); U(n); Pu(n)
X	54 140*	$e^-$	9,8 s	Th(n); U(n); Pu(n)
X	54 141*	$e^-$	3 s	Pu(n)
X	54 143*	$e^-$	1 s	Pu(n)
X	54 144*	$e^-$	b. krótki	Pu(n)
X	54 145*	$e^-$	0,8 s	Pu(n)
X	54 *		68 m	Pu(n)
Cs	55 134	$e^-$	3,0 g	Cs <sup>133</sup> (d,p); Cs <sup>133</sup> (n)
Cs	55 134	$e^-$	1,7 lat	Cs <sup>133</sup> (d,p); Cs <sup>133</sup> (n,-)
Cs	55 135*	$e^-$	2,5.10 <sup>4</sup> lat	Pu(n)
Cs	55 136*	$e^-, \gamma$	13 d	Pu(n)
Cs	55 137*	$e^-, \gamma$	33 l	Pu(n)
Cs	55 138*	$e^-, \gamma$	32 m	X <sup>138</sup> $e^-$ ; Pu(n)
Cs	55 139*	$e^-$	7 m	X <sup>139</sup> $e^-$ ; Pu(n)
Cs	55 140*	$e^-$	40 s	X <sup>140</sup> $e^-$ Pu(n)
Cs	55 140*	$e^-$	b. krótki	Pu(n)
Cs	55 141*	$e^-$	b. krótki	Pu(n)
Cs	55 142*	$e^-$	ok. 2 m	Pu(n)
Cs	55 143*	$e^-$	b. krótki	Pu(n)
Cs	55 144*	$e^-$	b. krótki	Pu(n)
Cs	55 145*	$e^-$	b. krótki	Pu(n)
Ba	56 133	K	30 g	Cs <sup>133</sup> (d,2n); Cs <sup>133</sup> (p,n); Ba(n); Bi( $\alpha$ )
Ba	56 133		14 d	Cs(d)

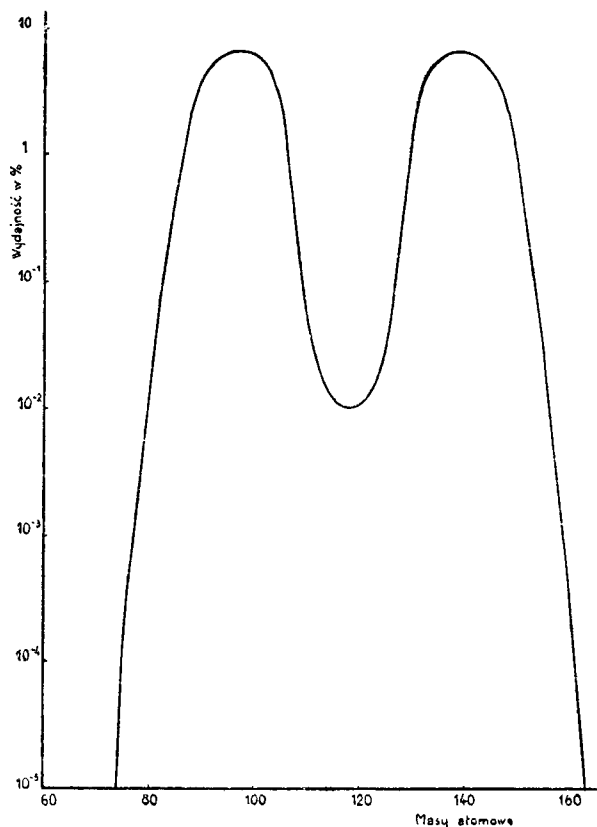
Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
Ba	56		2,5 m	Ba(n)
Ba	56	139*	e <sup>-</sup> , γ 87 m	Ba(d,p); Ba(n,—); La <sup>139</sup> (n,p); Ce(n,α); Cs <sup>139</sup> e <sup>-</sup> ; Pu(n)
Ba	56	140*	e <sup>-</sup> , γ 12,5 d	Cs <sup>140</sup> e <sup>-</sup> ; Th <sup>232</sup> (n); Pu(n)
Ba	56	141*	e <sup>-</sup> , γ 18 m	Th <sup>232</sup> (d); Th <sup>232</sup> (n); U(d); U(n); Pu(n)
Ba	56	142*	e <sup>-</sup> 6 m	Pu(n)
Ba	56	143*	e <sup>-</sup> ok 0,5 m	Pu(n)
Ba	56	144*	e <sup>-</sup> b. krótki	Pu(n)
Ba	56	145*	e <sup>-</sup> b. krótki	Pu(n)
La	57	138	e <sup>-</sup> 31 g	La <sup>139</sup> (n,2n)
La	57	140*	e <sup>-</sup> 40 g	La <sup>139</sup> (d,p); La <sup>139</sup> (n,—); Ba <sup>140</sup> e <sup>-</sup> ; Pu(n)
La	57	141*	e <sup>-</sup> 3,5 g	Th(n); U(n); Pu(n)
La	57	142*	e <sup>-</sup> , γ 74 m	Pu(n)
La	57	143*	e <sup>-</sup> 19 m	Pu(n)
La	57	144*	e <sup>-</sup> b. krótki	Pu(n)
La	57	145*	e <sup>-</sup> b. krótki	Pu(n)
Ce	58		e <sup>-</sup> 15 d	Ce(n,—); U(n)
Ce	58	141*	e <sup>-</sup> , γ 28 d	Pu(n)
Ce	58	143*	e <sup>-</sup> , γ 33 g	Pu(n)
Ce	58	144*	e <sup>-</sup> 300 d	La <sup>141</sup> e <sup>-</sup> ; U(n) Pu(n)
Ce	58	145*	e <sup>-</sup> 1,8 g	Pu(n)
Ce	58	146*	e <sup>-</sup> 15 m	U(n); Pu(n)
Pr	59	140	e <sup>+</sup> 3,5 m	Pr(n,2n)
Pr	59	142	e <sup>-</sup> 18,7 g	Pr(n,—)
Pr	59	143*	e <sup>-</sup> 13,8 d	Pu(n)
Pr	59	144*	e <sup>-</sup> , γ 17 m	Ce <sup>144</sup> e <sup>-</sup> ;
Pr	59	145*	e <sup>-</sup> 4,5 g	Pu(n)
Pr	59	146*	e <sup>-</sup> , γ 25 m	Ce <sup>146</sup> e <sup>-</sup> ;
Nd	60	141*	e <sup>-</sup> , γ 11 d	Nd(n); Pu(n)
Nd	60	149*	e <sup>-</sup> , γ 2 g	Nd(n); Pu(n)
Nd	60	151	e <sup>-</sup> b. krótki	Pu(n)
Nd	60		e <sup>-</sup> 21 m	Nd(n)
—	61	147*	e <sup>-</sup> 3,7 lat	Pu(n); Nd e <sup>-</sup>
—	61	149*	e <sup>-</sup> , γ 47 g	Pu(n)
—	61	151*	e <sup>-</sup> , γ 12 m	Pu(n)
—	61	153*	e <sup>-</sup> ok. 5 m	Pu(n)
—	61	156*	e <sup>-</sup> ok. 5 m	Pu(n)
			100 d	Pr(α)
Sm	62	153*	e <sup>-</sup> , K 47 g	Sm(n,2n); Sm(n,—); Sm(γ); Pu(n)
Sm	62	155*	e <sup>-</sup> , γ 21 m	Sm(n,2n); Sm(n,—); Sm(γ); Pu(n)
Sm	62	156*	e <sup>-</sup> ok. 10 g	Pu(n)
		150	e <sup>-</sup> 27 g	Eu(n,2n)

	Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
Eu	63	152	$e^-$ , K	9,4 g	Eu(d,p); Eu(n,—)
Eu	63	154	$e^-$	ok. 7 lat	Eu(n,—)
Eu	63	155	$e^-$ , $\gamma$	2 lata	Pu(n)
Eu	63	156*	$e^-$ ; $\gamma$	15,4 d	Pu(n)
Eu	63	157*	$e^-$ , $\gamma$	15,4 g	Pu(n)
Eu	63	158*	$e^-$	60 m	Pu(n)
Gd	64			8 g	Gd(n,—)
Tb	65	160	$e^-$	3,9 g	Tb <sup>159</sup> (n,—)
Tb	65	160	$e^-$	72 d	Tb <sup>159</sup> (n,—)
Dy	66	165	$e^-$	2,3 g	Dy(n,—)
Ho	67	166	$e^-$	28 g	Ho <sup>165</sup> (n,—)
Er	68			7 m	Er(n,—)
Er	68		$e^-$	5 g	Er(n)
Er	68		$e^-$	10 g	Er(n,2n); Er(n,—)
Tu	69	170	$e^-$	127 d	Tu <sup>169</sup> (n,—)
Yb	70	169	K	33 d	Yb(n)
Yb	70		$e^-$	2,4 g	Yb(n);
Yb	70		$e^-$	99 g	Yb(n)
Lu	71	176	$e^-$ , K	6,6 d	Lu(n,—)
Lu	71	177	$e^-$	3,4 g	Lu(n,—)
Hf	72	181		55 d	Hf(n,—)
Ta	73	180	K	8,2 g	Ta <sup>181</sup> (n,2n)
Ta	73	182	$e^-$	99 d	Ta <sup>181</sup> (d,p); Ta <sup>181</sup> (n,—)
W	74	185	$e^-$	75 d	W(d,p); W(n,2n); W(n,—); Re(d, $\alpha$ )
W	74	187	$e^-$	24 g	W(d,p); W(n,—)
Re	75	184	K	54 d	W(d,n); Re(n,2n)
Re	75	186	$e^-$	90 g	W(d,2n); W(p,n); Re(d,p); Re(n,2n); Re(n,—)
Re	75	188	$e^-$	16 g	Re(d,p); Re(n,—)
Os	76		$e^-$	32 g	Os(n,—)
Os	76		$e^-$	17 d	Os(n,—)
Ir	77		$e^-$	1,5 m	Ir(n,—)
Ir	77		$e^-$	19 g	Ir(n,—)
Ir	77		$e^-$	60 d	Ir(n,—)
Pt	78	197	$e^-$	18 g	Pt(d,p); Pt(n,—); Hg(n, $\alpha$ )
Pt	78			80 m	Pt(n)
Pt	78	199	$e^-$	31 m	Pt(d,p); Pt(n,—); Hg(n, $\alpha$ )
Au	79	196	$\gamma$	54 g	Pt(d,n)
Au	79	197	$\gamma$	5,6 d	Au(n)
Au	79	198	$e^-$	67,8 g	Pt(d,2n); Au(d,p); Au(n,—); Hg(n,p)
Au	79	199	$e^-$	3,3 d	Pt <sup>199</sup> $e^-$
Au	79		$e^-$	164 d	Pt(d)
Au	79		$e^-$	48 m	Hg(n,p)

Z	A	Prom.	T	Otrzymywanie
Hg	80	197	K	64 g Au(d); Hg(n)
Hg	80	198	$\gamma$	32 g Pt( $\alpha$ ); Au(d,n); Hg(n)
Hg	80	199		43 m Hg(n)
Hg	80	203	$e^-$	60 d Hg(n)
Hg	80	205	$e^-$	5,5 m Hg(n)
Tl	81			44 g Hg(d)
Tl	81		K	10,5 g Hg(d)
Tl	81	202	K	12 d Hg(d); Tl(n)
Tl	81	204	$e^-$	4,23 m Hg(d); Tl(n)
Tl	81	206	$e^-$	3,5 lat Tl(n)
Tl	81	207	$e^-$	4,7 m Pb(n,p)
Pb	82	204	$\gamma$	52 g Tl(d); Pb(n)
Pb	82	205	K	68 m Tl(d); Pb(n)
Pb	82	209	$e^-$	3,3 g Pb <sup>208</sup> (n,-); Bi <sup>209</sup> (n,p);
Bi	83	207	K	6,4 d Pb <sup>206</sup> (d,n)
Bi	83	210	$e^-$	5 d Bi <sup>209</sup> (d,p); Bi(n,-)
Po	84	210	$\alpha$	136 d Bi <sup>209</sup> (d,n); Bi <sup>210</sup> $e^-$
Po	84	211	$\alpha$	0,005 s At <sup>211</sup> K
At	85	211	K, $\alpha$	7,5 d Bi <sup>209</sup> ( $\alpha$ ,2n)
Th	90	231	$e^-$	24,5 g Th(n,2n)
Th	90	233	$e^-$	26 m Th(n,-)
Pa	91	233	$e^-$	27,4 d Th <sup>233</sup> $e^-$
U	92	237	$e^-$	7,0 d U(n,2n)
U	92	239	$e^-$ , $\gamma^-$	23 m U(d,p); U(n,-)
Np	93	237	$\alpha$	2,25.10 <sup>6</sup> U <sup>237</sup> $e^-$
Np	93	238	$e^-$	2,0 d U(d,2n)
Np	93	239	$e^-$ , $\gamma^-$	2,3 d U <sup>239</sup> $e^-$
Pu	94	238	$\alpha$	50 lat Np <sup>238</sup> $e^-$
Pu	94	239	$\alpha$	24000 lat Np <sup>239</sup> $e^-$
Pu	94	241	$e^-$	U( $\alpha$ ,n)
Am	95	241	$\alpha$	500 lat Pu <sup>241</sup> $e^-$
Am	95	242	$e^-$	18 g Am(n, $\gamma$ )
Cm	96	240	$\alpha$	30 d Pu <sup>239</sup> ( $\alpha$ ,3n)
Cm	96	242	$\alpha$	5 mies. Pu( $\alpha$ ,n)

Tablica wskazuje, że na drodze sztucznej, laboratoryjnej otrzymano dotąd 445 rodzajów atomów promieniotwórczych. Możemy dziś przeto mówić o chemii jądra atomowego, jako kształtującej się obecnie nowej gałęzi wiedzy. Przegląd metod otrzymywania poszczególnych pierwiastków (w kol. 6-ej) pozwala wyodrębnić określone typy reakcji jądrowych, dających się dziś usystematyzować w zależności od natury pocisku bombardującego.

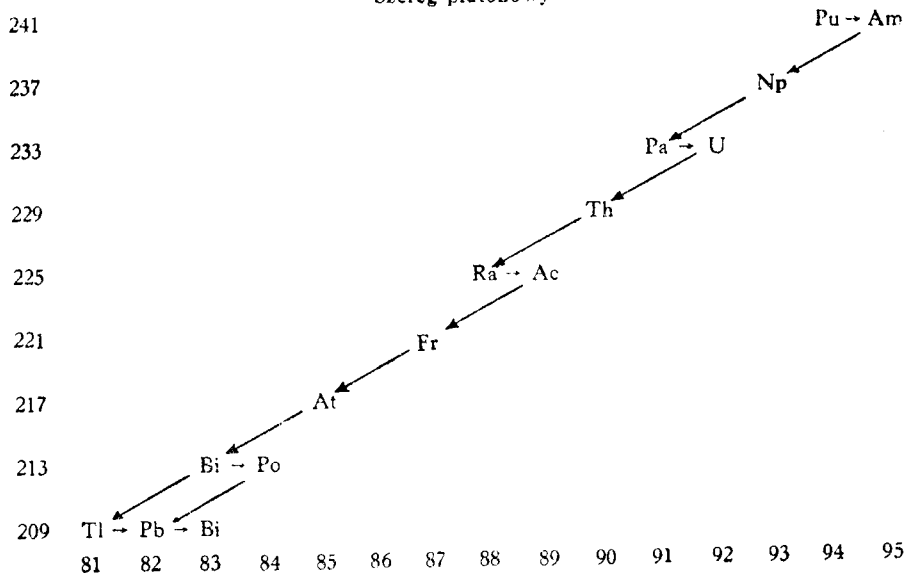
Tablica wskazuje ponadto, że produktami reakcji pęknięcia uranu-235 i plutonu 239 są pierwiastki, przypadające w pobliżu środka układu okresowego w granicach liczb atomowych od 30 (Zn) do 63 (Eu). Wydajność procentowa tych pierwiastków, tworzących się w stosie uranowym, jest bardzo różnorodna. Na wykresie podajemy (za Plutonium Project File, The American Chemical Society, 1155 16th St., Washington 6, D. C.) krzywą procentowej zawartości poszczególnych pierwiastków w produktach pęknięcia  $U^{235}$ .



Na końcu tablicy 9 obserwujemy wreszcie kilka nowych ciężkich pierwiastków, które niezaprzeczenie muszą być pierwiastkami macierzystymi nieznanymi dotąd szeregów promieniotwórczych. Nowy taki jeden szereg plutonowy udało się już poznać, odkrywając w nim od dawna poszukiwaną czwartą rodzinę pierwiastków promieniotwórczych.



Szereg plutonowy



Charakterystykę liczbową poszczególnych pierwiastków szeregu plutonowego podaje tablica 10, ujęta w kolumny te same, co w szeregach klasycznych.

**Tablica 10.**  
**Szereg plutonowy.**

	Pierwiastek	Z	A	Prom.	T
Pu	Pluton	94	241	$\beta$	
Am	Ameryk	95	241	$\alpha$	500 lat
Np	Neptun	93	237	$\alpha$	$2,25 \cdot 10^6$ lat
Pa	Protoaktyn	91	233	$\beta$	27,4 dni
U	Uran	92	233	$\alpha$	$163 \cdot 10^3$ lat
Th	Tor	90	229	$\alpha$	7000 lat
Ra	Rad	88	225	$\beta$	14 dni
Ac	Aktyn	89	225	$\alpha$	10 dni
Fr	Frans	87	221	$\alpha$	5 min.
At	Astatin	85	217	$\alpha$	0,02 sek.
Bi	Bizmut	83	213	$\left\{ \begin{array}{l} \alpha \ 2\% \\ \beta \ 98\% \end{array} \right.$	46 min.
Po	Polon	84	213		$\alpha$
Pb	Ołów	82	209	$\beta$	3,3 godz.
Bi	Bizmut	83	209	trwały	

## 7. Budowa elektronowa atomów poszczególnych pierwiastków.

Sfera zewnętrzna atomu — pozajądrowa składa się z liczby ujemnych elektronów, równej liczbie dodatnio naładowanych protonów jądra. Wobec tego atom w stanie normalnym jest elektrycznie obojętny. Promieniotwórczość, zarówno naturalna jak i sztuczna, jest zjawiskiem jądrowym. Zewnętrzna sfera elektronowa jest siedliskiem klasycznego chemizmu atomu oraz promieniowania falowego typu rentgenowskiego i światła widzialnego.

Sfera elektronowa atomu posiada zdefiniowaną budowę. Elektrony rozmieszczone są w określonych od jądra odległościach, stanowiących poziomy energii. Elektron najbliższy jądra jest energetycznie najbiedniejszy. Przejściu elektronu z jednego poziomu na drugi odpowiada pobranie lub wydzielenie energii w postaci kwantu promieniowania. Wynika stąd fakt, że promieniowanie ma charakter nieciągły, k w a n t o w y i cała sfera zewnętrzna atomu jest skwantyfikowana. Kwant energii —  $\varepsilon$  każdego promieniowania falowego jest proporcjonalny do częstości drgań —  $\nu$  i równy  $\varepsilon = h\nu$ , gdzie  $h$  jest tzw. stałą Plancka równą

$$h = 6,626 \cdot 10^{-27} \text{ erg. sek.}$$

Położenie elektronu w zewnętrznej sferze atomu określamy za pomocą tzw. liczb kwantowych. Jest ich cztery. Pierwsza liczba kwantowa główna —  $n$  wskazuje kolejność poziomu elektronowego, licząc od jądra w dal. Tak więc poziom najbliższy jądra oznaczamy jako 1, dalej 2, 3, 4, 5, 6 i 7. Zamiast cyfr używamy częstokroć liter K, L, M, N, O, P i Q. Druga, poboczna liczba kwantowa —  $l$  związana jest z możliwością eliptycznego toru elektronowego. Mimośród takiej elipsy jest również skwantyfikowany. Poboczna liczba kwantowa musi być mniejsza od głównej co najmniej o jedność. Trzecia liczba kwantowa, zwana magnetyczną, spowodowana jest istnieniem momentu magnetycznego elektronu i charakteryzuje orientację kierunkową atomu w polu magnetycznym. Trzecia liczba kwantowa nie może cyfrowo przekraczać drugiej, może jednak być zarówno dodatnia, jak i ujemna. Wreszcie czwarta liczba kwantowa tzw. kręt albo spin wyraża ruch obrotowy elektronu dookoła własnej osi. Może ona być tylko dwojaka: w prawo lub lewo.

Atom nie może posiadać dwóch elektronów, dla których wszystkie cztery liczby kwantowe byłyby jednakowe (zasada Pauli). A więc cztery liczby kwantowe definiują jednoznacznie stan energetyczny elektronu. W konsekwencji tej zasady liczba elektronów, mogących się znajdować na określonych głównych poziomach energetycznych jest ograniczona i można ją z góry przewidzieć. W tablicy 10 zestawiamy wszystkie możliwe kombinacje liczb kwantowych i widzimy, że na pierwszym poziomie energetycznym mogą być najwyżej dwa elektrony, na 2-im — 8, na 3-im — 18, na 4-ym — 32.

**Tablica 11.**

**Liczba możliwych stanów kwantowych elektronu.**

Liczba główna n	L. po- boczna l	L. magnetyczna m			Liczba kombinacji:		
					bez krętu	z krętem	
1	0	0			1	2	
2	0	0			1	2	
	1	-1	0	+1	3	6	
3	0	0			1	2	
	1	-1	0	+1	3	6	
	2	-2	-1	0	+1	+2	5
4	0	0			1	2	
	1	-1	0	+1	3	6	
	2	-2	-1	0	+1	+2	5
	3	-3	-2	-1	0	+1	+2

Według ogólnych zasad kombinacji liczb kwantowych rozmieszczone są elektrony sfery zewnętrznej atomów wszystkich pierwiastków chemicznych układu okresowego. Obowiązuje przy tym zasada, że w normalnym nie-pobudzonym atomie elektrony zajmują miejsca energetycznie najbiedniejsze. Idąc przeto myślowo od jednoelektronowego wodoru do 96-elektronowego kiuru, widzimy jak elektrony zabudowują kolejno najpierw dozwolone miejsca poziomu pierwszego, następnie drugiego o najniższych pobocznych liczbach kwantowych itd. Tablica 12 zawiera zestawienie budowy elektro-nowej wszystkich pierwiastków chemicznych.

Kolumna 1-a wskazuje liczbę porządkową pierwiastka, 2-ga — jego symbol, 3-a — ogólną liczbę elektronów na poziomie 1-ym K, 4-a — 2-im L itd. Wewnątrz każdego z głównych poziomów mamy podział na podgrupy zależne od pobocznych liczb kwantowych: zeru w przyjętej ogólnej symbolice odpowiada litera s, jedyne — p, 2 — d, 3 — f, 4 — g, 5 — h.

Tablica 12.

Budowa elektronowa pierwiastków chemicznych.

Z	A	K 1s	L		M			N				O							
			2s	2p	3s	3p	3d	4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	5g			
1	H	1																	
2	He	2																	
3	Li	2	1																
4	Be	2	2																
5	B	2	2	1															
6	C	2	2	2															
7	N	2	2	3															
8	O	2	2	4															
9	F	2	2	5															
10	Ne	2	2	6															
11	Na	2	2	6		1													
12	Mg	2	2	6		2													
13	Al	2	2	6		2	1												
14	Si	2	2	6		2	2												
15	P	2	2	6		2	3												
16	S	2	2	6		2	4												
17	Cl	2	2	6		2	5												
18	A	2	2	6		2	6												
19	K	2	2	6		2	6												
20	Ca	2	2	6		2	6			1									
21	Sc	2	2	6		2	6	1		2									
22	Ti	2	2	6		2	6	2		2									
23	V	2	2	6		2	6	3		2									
24	Cr	2	2	6		2	6	5		1									
25	Mn	2	2	6		2	6	5		2									
26	Fe	2	2	6		2	6	6		2									
27	Co	2	2	6		2	6	7		2									
28	Ni	2	2	6		2	6	8		2									
29	Cu	2	2	6		2	6	10		1									
30	Zn	2	2	6		2	6	10		2									
31	Ga	2	2	6		2	6	10		2	1								
32	Gc	2	2	6		2	6	10		2	2								
33	As	2	2	6		2	6	10		2	3								

Z	A	K	L	M	N				O					P						
					4s	4p	4d	4f	5s	5p	5d	5f	5g	6s	6p	6d	6f	6g	6h	
34	Se	2	8	18	2	4														
35	Br	2	8	18	2	5														
36	Kr	2	8	18	2	6														
37	Rb	2	8	18	2	6			1											
38	Sr	2	8	18	2	6			2											
39	Y	2	8	18	2	6	1		2											
40	Zr	2	8	18	2	6	2		2											
41	Nb	2	8	18	2	6	4		1											
42	Mo	2	8	18	2	6	5		1											
43	Tc	2	8	18	2	6	5		2											
44	Ru	2	8	18	2	6	7		1											
45	Rh	2	8	18	2	6	8		1											
46	Pd	2	8	18	2	6	10													
47	Ag	2	8	18	2	6	10		1											
48	Cd	2	8	18	2	6	10		2											
49	In	2	8	18	2	6	10		2	1										
50	Sn	2	8	18	2	6	10		2	2										
51	Sb	2	8	18	2	6	10		2	3										
52	Te	2	8	18	2	6	10		2	4										
53	J	2	8	18	2	6	10		2	5										
54	X	2	8	18	2	6	10		2	6										
55	Cs	2	8	18	2	6	10		2	6									1	
56	Ba	2	8	18	2	6	10		2	6									2	
57	La	2	8	18	2	6	10		2	6	1								2	
58	Ce	2	8	18	2	6	10	2	2	6									2	
59	Pr	2	8	18	2	6	10	3	2	6									2	
60	Nd	2	8	18	2	6	10	4	2	6									2	
61	Il	2	8	18	2	6	10	5	2	6									2	
62	Sm	2	8	18	2	6	10	6	2	6									2	
63	Eu	2	8	18	2	6	10	7	2	6									2	
64	Gd	2	8	18	2	6	10	7	2	6	1								2	
65	Tb	2	8	18	2	6	10	9	2	6									2	
66	Dy	2	8	18	2	6	10	10	2	6									2	
67	Ho	2	8	18	2	6	10	11	2	6									2	
68	Er	2	8	18	2	6	10	12	2	6									2	
69	Tm	2	8	18	2	6	10	13	2	6									2	
70	Yb	2	8	18	2	6	10	14	2	6									2	
71	Lu	2	8	18	2	6	10	14	2	6	1								2	
72	Hf	2	8	18	2	6	10	14	2	6	2								2	
73	Ta	2	8	18	2	6	10	14	2	6	3								2	

Z	A	K	L	M	N	O					P					Q	
						5s	5p	5d	5f	5g	6s	6p	6d	6f	6g		6h
74	W	2	8	18	32	2	6	4			2						
75	Re	2	8	18	32	2	6	5			2						
76	Os	2	8	18	32	2	6	6			2						
77	Ir	2	8	18	32	2	6	7			2						
78	Pt	2	8	18	32	7	6	9			1						
79	Au	2	8	18	32	2	6	10			1						
80	Hg	2	8	18	32	2	6	10			2						
81	Tl	2	8	18	32	2	6	10			2	1					
82	Pb	2	8	18	32	2	6	10			2	2					
83	Bi	2	8	18	32	2	6	10			2	3					
84	Po	2	8	18	32	2	6	10			2	4					
85	At	2	8	18	32	2	6	10			2	5					
86	Rn	2	8	18	32	2	6	10			2	6					
87	Fr	2	8	18	32	2	6	10			2	6					1
88	Ra	2	8	18	32	2	6	10			2	6					2
89	Ac	2	8	18	32	2	6	10			2	6	1				2
90	Th	2	8	18	32	2	6	10			2	6	2				2
91	Pa	2	8	18	32	2	6	10	2		2	6	1				2
92	U	2	8	18	32	2	6	10	3		2	6	1				2
93	Np	2	8	18	32	2	6	10	4		2	6	1				2
94	Pu	2	8	18	32	2	6	16	5		2	6	1				2
95	Am	2	8	18	32	2	6	10	6		2	6	1				2
96	Cm	2	8	18	32	2	6	10	7		2	6	1				2

Pod wpływem czynników natury energetycznej elektrony mogą zmieniać zasób swej energii, co jest związane z emisją lub absorpcją promieniowania. Promienie określonej długości fali odpowiadają każdej zmianie w kombinacji liczb kwantowych elektronu, przeto dla każdego pierwiastka są ściśle określone i tworzą serie podlegające ogólnemu prawu. Emisja lub absorpcja promieniowania widzialnego, podczerwieni i ultrafioletu związana jest z zmianą poziomu energetycznego elektronów najbardziej oddalonych od jądra. Gdy zmiany zachodzą w głębi sfery elektronowej na poziomach K, L, M pierwiastków cięższych, obserwujemy promieniowanie rentgenowskie.

## 8. Siły wiążące atomy w cząsteczki.

Elektrony ostatnie, najbardziej oddalone od jądra są to tzw. elektrony wartościowości; warunkują one chemizm atomu. Gdy elektron wartościowości jednego atomu skojarzy się w taki czy inny sposób z elektronami drugiego — powstaje cząsteczka związku chemicznego.

Związki heteropolarne są zespołem jonów, związanych ze sobą siłami elektrostatycznego przyciągania. Wiązania heteropolarne (jonowe) spotykamy w cząsteczkach i kryształach elektrolitów (np.  $H^+Cl^-$ ,  $Ba^{2+}Cl^-Cl^-$ ). Jony tworzą się na skutek tego, że elektron może porzucić sferę działania jądra własnego atomu, przechodząc do drugiego na niższy poziom energetyczny.

Związki homeopolarne stanowią zespół elektrycznie obojętnych atomów. Wiązania homeopolarne (niebiegunowe) wiążą atomy np. w cząsteczkach gazów ( $H_2$ ,  $O_2$ ) i w większości związków organicznych. Atomy są sprzężone przez wspólne elektrony, zajmujące dokoła jąder poziomy, które odpowiadają kolejnym liczbom kwantowym, jak w atomach. Jako siły wiążące szczególnie są ważne elektrony oznaczone symbolami  $\pi$  i  $\delta$ , dające wektor momentu obrotowego i składową momentu wzdłuż osi wiążącej atomy. Elektrony te mają magnetyczną liczbę kwantową równą jedności ( $\pi$ ) i dwójce ( $\delta$ ). O wartościowości decyduje ponadto kręt elektronu, gdyż para elektronów o przeciwstawnych krętach tworzy wiązanie.

Rezonans budowy polega na tym, że kilka możliwych teoretycznie struktur cząsteczki daje wypadkową energię niższą od poszczególnych. W rezultacie związek reaguje chemicznie, jakby w określonym procencie zawierał cząsteczki kilku typów budowy.

Moment dwubiegunowy (dipolowy) ( $\mu$ ) jest to wielkość, wyrażająca się iloczynem ładunku elektrycznego przez odległość między ramami ładunków dodatnich i ujemnych w cząsteczce. Momenty dwubiegunowe są rzędu  $10^{-18}$  jedn. elektrst. cm. (tj. jednostek Debye'a). Moment dipolowy warunkuje występowanie sił, wiążących całe cząsteczki w zespole.

## II. NAUKA O FAZACH.

Dr Z. Błaszowska.

### 1. Podstawowe prawa stechiometrii.

**Prawo zachowania masy.** Masa ciał tworzących dany układ zamknięty jest wartością stałą, niezależną od przemian fizycznych lub chemicznych, zachodzących wewnątrz układu. (Lavoisier, 1770 r.).

$\sum m = \sum m_1$ . Zatem podczas procesów chemicznych suma masy nie ulega zmianie.

**Prawo zachowania energii.** Ogólna ilość energii, zawartej w układzie zamkniętym, odosobnionym od wpływów zewnętrznych, jest stała.  $\sum E = \text{const.}$  (Jul. Rob. Mayer, 1841 r.).

**Prawo stałości stosunków wagowych.** Stosunki wagowe pomiędzy ilościami poszczególnych pierwiastków tworzących między sobą związki chemiczne, są stałe (Proust, 1801—1806 r.).

**Prawo wielokrotności stosunków.** Ilości danego pierwiastka, wchodzące w połączenia chemiczne z jedną i tą samą ilością jakiegokolwiek innego pierwiastka, pozostają względem siebie w prostym stosunku wielokrotnym. (Dalton, 1803 r., Wollaston, 1808 r.). Pierwiastki łączą się z sobą wzajemnie w stosunku swych równoważników chemicznych, lub ich wielokrotności.

**Teoria atomowa Daltona.** Budowa materii jest nieciągła. Każde ciało materialne składa się z cząsteczek chemicznych, a cząsteczki — z atomów.