

Li	Be	B	C	N	O	F
6,94	9,02	10,82	12,0	14,01	16,0	19,0
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
23,0	24,32	26,97	28,06	31,02	32,06	35,46,

to zauważymy tę samą prawidłowość w zmianie charakteru chemicznego poszczególnych pierwiastków. Istotnie, w obu szeregach pierwiastki odpowiadające sobie, jak chlor i fluor, siarka i tlen, sód i lit wykazują daleko idące podobieństwo pod względem charakteru chemicznego.

Widzimy więc, że taki układ pierwiastków ma tę własność, że każdemu poszczególnemu pierwiastkowi odpowiada pierwiastek najbliższy mu pokrewny stojący o siedem miejsc dalej w szeregu. Newlands nazwał tę prawidłowość *prawem oktawu*.

*B. Układ periodyczny Mendelejewa.* Próba systematyki pierwiastków dokonana przez Newlands'a, nie znalazła uznania w miarodajnych kołach chemików. Podjął ją ponownie w r. 1869 znany chemik rosyjski Dymitr Mendelejew. Wykazał on w pierwszej swej pracy: 1) że pierwiastki chemiczne, uszeregowane według wzrastających ciężarów atomowych, wykazują wyraźną periodyczność własności; 2) że ciężary atomowe pierwiastków podobnych do siebie są zbliżone do siebie (platynowce) lub też wykazują prawidłowe różnice; 3) że wartościowość poszczególnych pierwiastków zmienia się prawidłowo w sposób periodyczny wraz z ich ciężarem atomowym; 4) że wielkość ciężaru atomowego decyduje o charakterze chemicznym danego pierwiastka, a wreszcie 5) że należy oczekiwać odkrycia wielu nieznanych jeszcze pierwiastków, wypełniających luki, występujące w szeregach, ułożonych według wielkości ciężarów atomowych.

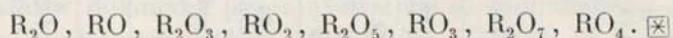
W dalszych swych publikacjach Mendelejew ułożył wszystkie pierwiastki w porządku wzrastających ciężarów atomowych w 10 poziomych szeregów w ten sposób, że odpowiednie człony tych szeregów utworzyły 8 pionowych kolumn, obejmujących podobne do siebie pierwiastki. Ten periodyczny układ pierwiastków chemicznych, podany po raz pierwszy przez Mendelejewa, a niezależnie od niego rozwinięty nieco później przez Lothara Meyera, ilustruje załączona tablica.

NATURALNY UKŁAD PIERWIASTKÓW MENDELEJEW A (1871).

	I grupa — R <sub>2</sub> O	II grupa — RO	III grupa — R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	IV grupa RH <sub>4</sub> RO <sub>2</sub>	V grupa RH <sub>3</sub> R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	VI grupa RH <sub>2</sub> RO <sub>3</sub>	VII grupa RH R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	VIII grupa — RO <sub>4</sub>
	H = 1							
pierwiastki typowe	Li = 7	Be = 9,4	B = 11	C = 12	N = 14	O = 16	F = 19	
1 rząd	Na = 23	Mg = 24	Al = 27,3	Si = 28	P = 31	S = 32	Cl = 35,5	
2 rząd	K = 39	Ca = 40		Ti = 48	V = 51	Cr = 52	Mn = 55	Fe = 56, Co = 59, Ni = 59, Cu = 63
3 rząd	(Cu = 63)	Zn = 65			As = 75	Se = 78	Br = 80	
4 rząd	Rb = 85	Sr = 87	Y = 88	Zr = 90	Nb = 94	Mo = 96		Ru = 104, Rh = 104, Pd = 106, Ag = 108
5 rząd	(Ag = 108)	Cd = 112	In = 113	Sn = 118	Sb = 122	Te = 125	J = 127	
6 rząd	Cs = 133	Ba = 137	Di = 138	Ce = 140				
7 rząd	(—)							
8 rząd			Er = 178	La = 180	Ta = 182	W = 184		Os = 195, Ir = 197, Pt = 198, Au = 199
9 rząd	(Au = 199)	Hg = 200	Tl = 204	Pb = 207	Bi = 208			
10 rząd				Th = 231		U = 240		



⊗ W tablicy Mendelejewa wszystkie znane podówczas pierwiastki uszeregowane zostały w porządku ich ciężarów atomowych, tak, że tworzą one 10 rzędów poziomych, z których niektóre zawierają po 7, niektóre zaś po 11 pierwiastków. W ten sposób powstają kolumny pionowe, oznaczone liczbami od I do VIII, obejmujące pierwiastki podobne, czyli »grupy pierwiastków pokrewnych«, jak np. potasowce, wapniowce, glinowce, węglowce, azotowce, tlenowce i chlorowce. Pierwiastki, należące do jednej i tej samej kolumny pionowej, wykazują tę samą zasadniczą wartościowość zarówno względem wodoru, jak i względem tlenu. Porównywując skład tlenków rozmaitych grup układu Mendelejewa, możemy zauważyć, że wartościowość pierwiastków względem tlenu wzrasta stale od jednego do ósmiu, tworzą one bowiem następujące typy połączeń tlenowych (których wzory ogólne podane są w podnagłówku tabelki, podanej na str. 5):



⊗ Odwrotnie zaś wartościowość poszczególnych pierwiastków względem wodoru zmniejsza się prawidłowo, poczynając od grupy IV do grupy VII, np.  $RH_4, RH_3, RH_2, RH$ . ⊗

⊗ Podobnie zmienia się prawidłowo charakter chemiczny pierwiastków przy przejściu od jednej grupy do następnej. A więc grupa I obejmuje najbardziej elektrododatnie metale »lekkie« z grupy potasowców oraz metale »ciężkie«, szlachetne z grupy miedziowców. W grupie II znajdujemy metale elektrododatnie »lekkie« z grupy wapniowców oraz metale »ciężkie« z grupy kadmowców. W kolumnie III występują metale słabo elektrododatnie, a poczęści nawet pierwiastki »obojnaczone« (amfoteryczne) z grupy glinowców. Kolumna IV obejmuje metaloidy o charakterze słabo ujemnym z grupy węglowców, które w miarę wzrastającego ciężaru atomowego w coraz większym stopniu wykazują charakter elektrododatni. Dalej w kolumnie V spotykamy metaloidy elektroujemne z grupy azotowców, których ostatnie człony (tantal i bizmut) posiadają jednak charakter metaliczny. W kolumnie VI występują już silnie elektroujemne metaloidy z grupy tlenowców, obok nich zaś metale słabo elektrododatnie z grupy chromowców. Kolumna VII obejmuje najsilniej elektroujemne metaloidy z grupy chlorowców, obok nich zaś jeden człón metaliczny, mangan, który w swych



połączeniach tlenowych wykazuje również cechy metaloidów. Wreszcie w kolumnie VIII występują trzy »tryady« metali ciężkich, mianowicie 3 bardzo zbliżone do siebie żelazowce oraz sześć metali szlachetnych: 3 rutenowce i 3 platynowce. ☒

☒ W ten sposób, porównywując narazie tylko człony lewostronne przytoczonych w tabelce Mendelejewa 8-miu kolumn pionowych, stwierdzić możemy, że podczas przejścia od grupy I-szej do grupy VIII-ej zmniejsza się stopniowo elektrododatni, metaliczny charakter pierwiastków, zwiększa się zaś elektroujemny, czyli metaloidalny ich charakter. ☒

☒ Wówczas, kiedy Mendelejew stworzył swą pierwszą tabelkę układu perjodycznego (w r. 1871), ciężary atomowe niektórych pierwiastków nie były jeszcze z zupełną pewnością znane. Z analizy ich związków bowiem można było doświadczalnie oznaczyć tylko ich ciężary »równoważnikowe«. Np. ind uważano wówczas za pierwiastek dwuwartościowy, ponieważ towarzyszy on w przyrodzie cynkowi, i tlenkowi indu przypisywano wzór  $\text{InO}$ . Ponieważ równoważnik indu względem wodoru wynosi 37,7, więc za ciężar atomowy tego pierwiastka przyjmowano liczbę: 75,4. Jednakże w tablicy Mendelejewa niema wolnego miejsca dla pierwiastka o tym ciężarze atomowym. Uwzględniając to, Mendelejew doszedł do wniosku, że ind powinien być pierwiastkiem trój- albo czterowartościowym. Przyjmując, że ind jest pierwiastkiem trójwartościowym, otrzymamy na jego ciężar atomowy liczbę  $3 \times 37,7 = 113$ . Skład tlenku będzie odpowiadał wówczas formułce  $\text{In}_2\text{O}_3$ , a miejsce w układzie perjodycznym przypadnie mu w trzeciej kolumnie pionowej pomiędzy kadmem i ołowiem. Miejsce to istotnie jest wolne, własności zaś chemiczne indu wykazują, że jest on pierwiastkiem podobnym do glinu i innych pierwiastków III grupy. Ponieważ zaś pomiary ciepła właściwego indu również dowiodły, że jego ciężar atomowy, stosownie do reguły Dulonga i Petita, jest bliski 115, przeto przewidywania Mendelejewa w zupełności zostały potwierdzone. ☒

☒ W podobny sposób Mendelejew ustalił ciężar atomowy berylu i kilku innych pierwiastków, którym wyznaczył właściwe miejsca w układzie perjodycznym, opierając się na ich własnościach chemicznych. ☒

☒ Wreszcie zwrócić należy uwagę na puste miejsca w układzie Mendelejewa, oznaczone kreseczkami. Należy przy-



pomnieć, że wówczas, kiedy tabela ta została ogłoszona, chemja  
 znała tylko 63 pierwiastki (podczas kiedy obecnie ilość zna-  
 nych pierwiastków dosięga 90-ciu). Mendelejew, wierząc  
 głęboko, że jego prawo »okresowości« jest prawem bez-  
 względnem i nie dopuszcza wyjątków, wypowiedział śmiałą myśl,  
 że każde wolne miejsce w jego tabeli odpowiadać musi no-  
 wemu, nieznanemu pierwiastkowi. Co więcej, na zasadzie in-  
 terpolacji przepowiedział on nie tylko istnienie, ale nawet  
 własności fizyczne i chemiczne tych nieznanych pierwiastków,  
 opierając się na znanych własnościach pierwiastków sąsiednich.  
 W ten sposób obliczył on ciężar atomowy, gęstość i inne  
 własności pierwiastka, znajdującego się pod borem, który zo-  
 stał przezeń nazwany »eka-borem«, a dalej ciężary atomowe  
 i własności »eka-glinu« i »eka-krzemu«. I tutaj dalszy rozwój  
 chemji sprawił odkrywcy układu perjodycznego wielki tryumf.  
 Bo oto już w r. 1875 badacz francuski Lecoq de Bois-  
 baudran odkrył przy pomocy spektroskopu nowy pierwiastek  
 z ciężarem atomowym 70, nazwany przezeń galem. Własności  
 tego pierwiastka w zupełności potwierdziły to, co Mende-  
 lejew powiedział o »eka-glinie«. W r. 1879 Nilson odkrył  
 »skand«, a w r. 1886 Winkler—»german«. Skand wykazał  
 zupełną zgodność z przepowiedzianymi przez Mendelejewa  
 własnościami »eka-boru«, a german—»eka-krzemu«. To ziszcze-  
 nie »proroctw« wywołało wielką sensację w świecie nauko-  
 wym i przyspieszyło w znacznym stopniu uznanie i przyjęcie  
 perjodycznej tabeli pierwiastków. ☒

☒ C. *Współczesna tabela układu perjodycznego.* Po tych  
 faktach odkryto jeszcze wiele nowych pierwiastków, a nawet  
 nową grupę pierwiastków (»helowców«), która przez pierwotną  
 tabelę Mendelejewa nie była przewidziana. W ogólności znamy  
 obecnie 90 pierwiastków. Ponieważ zaś ogólna liczba »miejsc«  
 w tabeli perjodycznej wynosi 92, a więc mamy obecnie dwa  
 miejsca niezajęte, odpowiadające dwóm nieznanym dotąd pier-  
 wiastkom. We współczesnej tabeli układu okresowego, przed-  
 stawionej na str. 9, wszystkie pierwiastki oznaczone są »licz-  
 bami porządkowymi« poczynając od wodoru, posiadającego Nr. 1,  
 i kończąc na pierwiastku 92: uranie. Współczesna tabela pe-  
 rjodyczna składa się z 16-tu kolumn pionowych, stanowiących  
 osiem »grup«, podobnie jak stara tabela Mendelejewa. Każda  
 więc grupa rozpada się na dwie »podgrupy«. W pierwszej





⊠ SPIS PIERWIASTKÓW PODŁUG ICH NUMERÓW PORZĄDKOWYCH  
WRAZ Z ICH CIĘŻARAMI ATOMOWEMI.

1 okres						2 okres						3 okres						4 okres						5 okres					
Nr. porz.		Symbol		Nazwa		Ciężar atomowy																							
1	2	H	He	wodór	hel	1,0078	4,002																						
3	4	Li	Be	lit	beryl	6,940	9,02																						
5	6	B	C	bor	węgiel	10,82	12,000																						
7	8	N	O	azot	tlen	14,008	16.																						
9	10	F	Ne	fluor	neon	19,00	20,183																						
11	12	Na	Mg	sód	magnez	22,997	24,32																						
13	14	Al	Si	glin	krzem	26,97	28,06																						
15	16	P	S	fosfor	siarka	31,02	32,06																						
17	18	Cl	A	chlor	argon	35,457	39,944																						
19	20	K	Ca	potas	wapń	39,096	40,08																						
21	22	Sc	Ti	skand	tytan	45,10	47,90																						
23	24	V	Cr	wanad	chrom	50,95	52,01																						
25	26	Mn	Fe	mangan	żelazo	54,93	55,84																						
27	28	Co	Ni	kobalt	nikiel	58,94	58,69																						
29	30	Cu	Zn	miedź	cynk	63,57	65,38																						
31	32	Ga	Ge	gal	german	69,72	72,60																						
33	34	As	Se	arsen	selen	74,91	78,96																						
35	36	Br	Kr	brom	krypton	79,916	83,7																						
37	38	Rb	Sr	rubid	stront	85,44	87,63																						
39	40	Y	Zr	itr	cyrkon	88,92	91,22																						
41	42	Nb	Mo	niob	molibden	93,3	96,0																						
43	44	Ms	Ru	mazur	ruten	98, (?)	101,7																						
45	46	Rh	Pd	rod	pallad	102,91	106,7																						
Nr. porz.		Symbol		Nazwa		Ciężar atomowy																							
47	48	Ag	Cd	srebro	kadm	107,880	112,41																						
49	50	In	Sn	ind	cyna	114,76	118,70																						
51	52	Sb	Te	antymon	tellur	121,76	127,61																						
53	54	J	X	jod	ksenon	126,92	131,3																						
55	56	Cs	Ba	cez	bar	132,91	137,36																						
57	58	La	Ce	lantan	cer	138,92	140,13																						
59	60	Pr	Nd	prazeodym	neodym	140,92	144,27																						
61	62	Il	Sm	illin	samar	—	150,43																						
63	64	Eu	Gd	europ	gadolin	152,0	157,3																						
65	66	Tb	Dy	terb	dysproz	159,2	162,46																						
67	68	Ho	Er	holm	erb	163,5	167,64																						
69	70	Tu	Yb	tul	iterb	169,4	173,04																						
71	72	Lu	Hf	lutec	hafn	175,0	178,6																						
73	74	Ta	W	tantal	wolfram	181,4	184,0																						
75	76	Re	Os	ren	osm	186,31	191,5																						
77	78	Ir	Pt	iryd	platyna	193,1	195,23																						
79	80	Au	Hg	zloto	rtęć	197,2	200,61																						
81	82	Tl	Pb	tal	olów	204,39	207,22																						
83	84	Bi	Po	bizmut	polon	209,00	210,																						
85	86	?	Rn	—	radon	—	222																						
87	88	?	Ra	—	—	—	—																						
89	90	Ac	Th	aktyn	tor	225,97	227,																						
91	92	Pa	U	protoaktyn	uran	232,12	231,																						
—	—	—	—	—	—	238,14	—																						

»podgrupie« a) znajdujemy pierwiastki charakterystyczne, których własności są podobne do siebie i odpowiadają ciągłości układu. W drugiej podgrupie zaś, oznaczonej literą b), znajdujemy pierwiastki, które różnią się od pierwiastków »podgrupy« a) i pod względem wartościowości i pod względem cech fizycznych i chemicznych. ☒

☒ A więc w pierwszej grupie a) metale alkaliczne: lit, sód, potas, rubid i cez są jednowartościowe i bardzo elektrododatnie. Metale podgrupy b) natomiast: miedź, srebro i złoto są daleko mniej elektrododatnie, tlenki ich są mniej trwałe, wartościowość zaś wynosi jeden, dwa i trzy. Srebro i złoto, jako metale szlachetne, posiadają cechy wspólne z metalami VIII b) grupy, czyli z platynowcami. ☒

☒ W drugiej grupie do podgrupy a) należą dwuwartościowe wapniowce beryl, magnez, wapń, stront, bar i rad, również w wysokim stopniu elektrododatnie: rozkładają one wodę, jak potasowce, tworzą jednak trudno rozpuszczalne w wodzie węglany i poczęści trudnorozpuszczalne siarczany. Pierwiastki zaś, należące do drugiej podgrupy: cynk, kadm i rtęć są znacznie mniej elektrododatnie, nie rozkładają wody, w kwasach rozpuszczają się bardzo powoli, okazują natomiast zdolność do wytwarzania soli zespolonych. ☒

☒ W trzeciej grupie zarówno pierwiastki podgrupy a) jak i pierwiastki podgrupy b) są trójwartościowe i posiadają, za wyjątkiem boru, cechy metaliczne. Wodorotlenki ich, trudnorozpuszczalne, mogą wykazywać charakter amfoteryczny, t. j. jednocześnie i kwaśny i zasadowy, — czego najwybitniejszym przykładem jest wodorotlenek glinu:  $\text{Al}(\text{OH})_3$ . Jedynie glin i bor są dość rozpowszechnione w przyrodzie. Inne zaś pierwiastki tej grupy należą do »metali rzadkich«. ☒

☒ Lecz oto na pierwiastku 57 (lantanie) urywa się dotychczasowa prawidłowość układu okresowego, za lantanem bowiem następuje szereg poziomy pierwiastków, które razem znajdują się w przyrodzie w tak zwanych »ziemiach rzadkich« i posiadają cechy chemiczne tak podobne, że niesłychanie trudno było oddzielić jeden od drugiego w czystym stanie, aby zbadać charakter poszczególnych tych pierwiastków. Wraz z lantanem ogólna ilość tych pierwiastków, zwanych »metalami ziem rzadkich« wynosi 15. Stanowią więc one zamkniętą grupę poziomą, zajmującą 15 miejsc układu okresowego: od



57 do 71-go miejsca. Ze względu na ich własności metaliczne i na ich trójwartościowość zaliczamy je, podobnie jak skand i itr do trzeciej grupy b) układu okresowego. ☒

☒ W grupie IV a) znajdujemy pierwiastki, znane nam z poprzedniego tomu, mianowicie węglowce: węgiel, krzem, german, cynę i ołów. Są to pierwiastki czterowartościowe. Pierwsze dwa, węgiel i krzem, są metaloidami i tworzą kwasy bardzo słabe: kwas węglowy  $\text{H}_2\text{CO}_3$  i kwas krzemowy  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ . Ze wzrostem jednak ciężaru atomowego coraz silniej przejawia się w podgrupie a) charakter metaliczny, osiągając najwyższy stopień w cynie i w ołowiu. Te dwa ostatnie pierwiastki tworzą oprócz związków czterowartościowych, posiadających charakter kwasowy, sole dwuwartościowe, w których występują one w roli metali, np.:  $\text{SnCl}_2$ ,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{PbSO}_4$ , i t. d. Pierwiastki podgrupy IV b) natomiast: tytan, cyrkon, hafn i tor są pierwiastkami wybitnie metalicznymi i nie są zdolne tworzyć kwasów. ☒

☒ W grupie V znów mamy do czynienia z dwiema podgrupami. Do podgrupy a) zaliczamy najbardziej charakterystyczne pierwiastki pięciowartościowe, t. j. azotowce, z którymi poznaliśmy się już w poprzednim tomie. Są to: azot, fosfor, arsen, antymon i bizmut. I znów daje się w tej podgrupie zauważyć ciągle przejście od metaloidów do metali. Azot i fosfor są bowiem wybitnymi metaloidami i tworzą mocne kwasy: azotowy  $\text{HNO}_3$  i metafosforowy  $\text{HPO}_3$ . Poczynając zaś od arsenu występuje coraz silniej na jaw charakter metaliczny pierwiastków, osiągając najwyższy stopień w bizmucie. Wiadomo również że pierwiastki tej podgrupy posiadają różne wartościowości: w niższych stopniach utlenienia tworzą one związki trójwartościowe, czasem zaś i dwu- i czterowartościowe. Jeżeli porównamy z nimi pierwiastki podgrupy b): wanad, niob, tantal i protoaktyn, to zauważymy stosunek podobny do tego, jaki istnieje pomiędzy dwiema podgrupami grupy IV. Pierwiastki te są metalami, mogą jednak oprócz związków zasadowych tworzyć również kwasy. Charakterystyczną jest ich zdolność do wytwarzania silnie spolimeryzowanych »polikwasów« i kwasów zespolonych. ☒

☒ Podgrupę VI a) stanowią tlenowce, a więc: tlen, siarka, selen, tellur i polon, — metaloidy, których najwyższa wartościowość osiąga sześciu. Ich tlenki odpowiadają więc ogólnemu wzo-



rowi  $\text{RO}_3$ , kwasy zaś dają się wyrazić wzorem ogólnym  $\text{H}_2\text{RO}_4$ . W podgrupie b) znajdujemy metale: chrom, molibden, wolfram i uran, pierwiastek, posiadający największy ciężar atomowy i zajmujący przeto ostatnie miejsce w układzie periodycznym. Cechę wspólną tej podgrupy z podgrupą tlenowców stanowi zdolność tworzenia kwasów o podobnym wzorze ogólnym  $\text{H}_2\text{RO}_4$ . Różnica pomiędzy temi dwiema podgrupami przejawia się nie tylko w fizycznych własnościach pierwiastków lecz również w łatwości, z jaką kwasy pierwiastków podgrupy b) polimeryzują się i tworzą »polikwasy« i kwasy zespolone (heteropolikwasy). Pod tym względem są one podobne do pierwiastków grupy V b). ☒

☒ Jeszcze większą różnicę pomiędzy podgrupą a) i b) znajdujemy w grupie VII. W podgrupie a) tej grupy figurują »chlorowce«, — najsilniejsze, najbardziej elektroujemne metaloidy, fluor, chlor, brom i jod. Ostatni pierwiastek tej podgrupy, posiadający Nr. 85, jeszcze nie został odkryty. W kwasach o najwyższym stopniu utlenienia, posiadających wzór ogólny  $\text{HRO}_4$ , osiągają one najwyższą wartościowość równą siedmiu. W miarę wzrostu ciężaru atomowego stopień ich elektroujemności maleje, ostatni zaś członek tej grupy, nieznany pierwiastek 85 zapewne jest już metalem. Pierwiastki podgrupy b) natomiast: mangan, mazur i ren są wybitnymi metalami. Z pierwiastkami podgrupy a) łączy je tylko istnienie kwasów o ogólnym wzorze  $\text{HRO}_4$ , jak np. kwas nadmanganowy:  $\text{HMnO}_4$ . Wartościowość pierwiastków tej podgrupy w kwasach  $\text{HRO}_4$  jest ta sama, co najwyższa wartościowość chlorowców. Skala wartościowości jest jednak dość szeroka, znane są bowiem związki manganu dwuwartościowe, trójwartościowe, czterowartościowe, sześciowartościowe i siedmiowartościowe. Związki najniższej wartościowości, jak np.  $\text{MnCl}_2$ ,  $\text{MnSO}_4$ , są solami. Jednocześnie ze wzrostem wartościowości słabnie jednak charakter zasadowy manganu, ustępując miejsce charakterowi kwasowemu, — zjawisko ogólne, dające się zauważyć w wielowartościowych związkach innych pierwiastków. Dwa ostatnie pierwiastki podgrupy VII b), mazur i ren, zostały odkryte niedawno. ☒

☒ Grupa VIII i ostatnia układu periodycznego wykazuje pewne osobliwości. W podgrupie a) znajdujemy sześć pierwiastków gazowych nieczynnych, t. zw. »helowców«, o których mówiliśmy już w tomie pierwszym. Są to pierwiastki »szlachetne«, nie



łączą się bowiem z innymi pierwiastkami. Ich wartościowość równa więc się 0. Stanowią one przeto niejako podgrupę z-e-rową, którą umieszczano początkowo na początku układu perjodycznego przed grupą I. Przyłączenie tych pierwiastków do grupy VIII nastąpiło wskutek rozważań budowy ich atomów, o czym będzie mowa w rozdziale VI tego tomu. Podgrupa b) zawiera dziewięć pierwiastków, rozmieszczonych w trzech rzędach, po trzy w każdym rzędzie poziomym. Do pierwszego rzędu zaliczamy więc żelazowce: żelazo, kobalt i nikiel. Do drugiego i trzeciego rzędu zaliczamy platynowce, ruten, rod, pallad, osm, iryd i platynę. Są to metale szlachetne, podobnie jak srebro i złoto, następujące tuż po nich. Stosownie do ogólnej reguły należałoby oczekiwać, że metale te powinny być ośmiowartościowe, ale taki wysoki stopień wartościowości przejawia się tylko w nielicznych związkach, np. w nadtlenkach osmu i rutenu,  $\text{OsO}_4$  i  $\text{RuO}_4$  oraz, być może, w karbonyłkach żelazowców, np.  $\text{Ni}(\text{CO})_4$ . W innych związkach żelazowce i platynowce wykazują niższe stopnie wartościowości: od dwu do sześciu. ☒

☒ Jako ogólną regułę możemy więc wygłosić następujące twierdzenie: najwyższa wartościowość pierwiastków względem tlenu i pierwiastków ujemnych zwiększa się w układzie perjodycznym od jednego do ośmiu, najwyższa zaś wartościowość każdego poszczególnego pierwiastka odpowiada liczbie, umieszczonej w nagłówku tej grupy, do której dany pierwiastek należy. ☒

☒ Kilka słów należy powiedzieć jeszcze o wodorowych związkach metali. Otóż zdolność do tworzenia związków wodorowych jest wspólna dla wielu pierwiastków. Pierwiastki grupy Ia) czyli potasowce tworzą związki  $\text{MeH}$ , pierwiastki grupy IIa), wapniowce tworzą związki  $\text{MeH}_2$ . Ale związki te posiadają charakter »solii«, wodór zastępuje w nich bowiem metaloid, np. chlor. Jest on więc w stosunku do metalu pierwiastkiem ujemnym. Dopiero poczynając od grupy IVa) zaczyna się przejawiać w związkach wodorowych pierwiastków szczególna prawidłowość. A więc pierwiastki grupy IVa): węgiel, krzem i inne są względem wodoru czterowartościowe i tworzą związki ogólnego wzoru  $\text{RH}_4$ , posiadające charakter obojętny. Pierwiastki grupy Va) czyli azotowce są względem wodoru trójwartościowe ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{PH}_3$ ,  $\text{AsH}_3$ ) i tworzą związki,

posiadające charakter słabo zasadowy. Pierwiastki grupy VIa) tworzą związki dwuwartościowe ( $\text{OH}_2$ ,  $\text{SH}_2$ ,  $\text{SeH}_2$ ,  $\text{TeH}_2$ ), które posiadają charakter słabo kwaśny. Wreszcie pierwiastki grupy VIIa) są względem wodoru jednowartościowe i tworzą związki typu  $\text{RH}$  ( $\text{FH}$ ,  $\text{ClH}$ ,  $\text{BrH}$ ,  $\text{JH}$ ) o charakterze silnych kwasów. Pierwiastki podgrup b) nie tworzą podobnych związków. ☒

☒ Stąd wyprowadzić się daje druga reguła zasadnicza, opiewająca, że wartościowość pierwiastków względem wodoru zmniejsza się stale od grupy IV ku VIII. ☒

☒ Jako trzecią ogólną regułę możemy wygłosić tu twierdzenie następujące: suma wartościowości danego pierwiastka (o ile tworzy on związek wodorowy) względem tlenu i względem wodoru równa się ósmiu. Teoretyczne uzasadnienie tych trzech reguł, dotyczących wartościowości pierwiastków, podamy w rozdziale VI. ☒

☒ Wprowadzenie do chemii układu perjodycznego miało niezmiernie doniosłe skutki. Układ perjodyczny pozwolił bowiem nie tylko uogólnić znane fakty, ale dał możność przepowiedzenia istnienia nowych pierwiastków i wskazał kierunek badań na pół wieku. W tej postaci jednak, w jakiej układ ten został wyrażony przez Mendelejewa, nie był on idealnym, zawierał bowiem szereg wyjątków, szpecących w pewnym stopniu zewnętrzną fasadę tej budowy. Przedewszystkiem rzucają się w oczy wyjątki od porządku następstwa ciężarów atomowych. Wszak zasadę układu stanowi reguła, że następny pierwiastek powinien posiadać większy ciężar atomowy niż poprzedni. Od tej reguły mamy trzy wyjątki: 1) pierwiastek 19-ty, potas posiada ciężar atomowy 39,104, mniejszy niż argon, pierwiastek 18-ty o ciężarze atomowym 39,944. 2) Ciężar atomowy pierwiastka 28, t. j. niklu (58,69) jest mniejszy od ciężaru atomowego pierwiastka 27, t. j. kobaltu (58,94) i wreszcie 3) ciężar atomowy jodu, 126,932 jest mniejszy niż ciężar atomowy jego poprzednika telluru 127,5. Te wyjątki, zarówno jak brak wszelkiej ilościowej prawidłowości ciężarów atomowych dowodzą, że ciężar atomowy nie jest funkcją jednoznaczną zasadniczych cech pierwiastków, ale raczej wielkością wypadkową, wynikającą z wpływu pewnych (nieznanych) czynników pobocznych. Badania XX wieku dowiodły, że ciężar atomowy zastąpić należy raczej »liczbą porządkową«, t. j. liczbą, określa-



jącą miejsce danego pierwiastka w układzie perjodycznym. Właśnie ta liczba porządkowa jest cechą charakterystyczną pierwiastka, a że daje się ona oznaczyć zapomocą pewnej metody doświadczalnej, niezależnej od tego lub innego sposobu układania pierwiastków, — przeto uważać ją będziemy dalej za cechę podstawową całego układu. Z tego względu w tablicy współczesnej, podanej na stronie 9, wymieniliśmy tylko symbole pierwiastków oraz ich liczby porządkowe. ☒

☒ Klucz do tej tablicy stanowi spis pierwiastków, podany na stronie 10. W spisie tym podane są numery porządkowe, symbole chemiczne, nazwy oraz ciężary atomowe pierwiastków, uchwalone w r. 1932 przez Międzynarodową Komisję Ciężarów Atomowych. Zarówno tablica układu okresowego, jak i spis pierwiastków wykazują jeszcze pewną prawidłowość »okresów« czyli szeregów poziomych. Otóż wogóle mamy siedem takich rzędów poziomych czyli okresów: w pierwszym okresie mamy dwa pierwiastki, w drugim i trzecim okresie po osiem pierwiastków, w czwartym i piątym po osiemnaście, w szóstym zaś trzydzieści dwa pierwiastki. Bohr zwrócił uwagę na to, że ilość pierwiastków, należących do jakiegokolwiek okresu  $r$  daje się wyrazić zapomocą następującego nader prostego równania:

$$r = 2 \cdot n^2,$$

w którym  $n$  oznacza proste liczby całkowite 1, 2, 3... A więc w okresie pierwszym mamy  $2 \cdot 1^2 = 2$  członów, w drugim i trzecim okresie mamy  $2 \cdot 2^2 = 8$  członów, w czwartym i piątym mamy  $2 \cdot 3^2 = 18$  członów, wreszcie w szóstym okresie  $2 \cdot 4^2 = 32$  członów. W rozdziale VI podane będzie teoretyczne uzasadnienie powyższej prostej reguły w związku z teorią budowy atomu. Tutaj zaś zwrócimy uwagę na to, że prawdopodobnie ostatni czyli siódmy okres zawierać powinien 32 członów czyli razem z poprzednimi 118 pierwiastków. Ponieważ dotąd znamy tylko 5 członów tego okresu, przeto oczekiwać należy odkrycia jeszcze 27 nieznanych pierwiastków, z których jeden (potasowiec) ma zająć miejsce 87 w układzie perjodycznym, reszta zaś zająć powinna miejsca ostatnie za uranem. Jeżeli jednakże zważymy, że pierwiastki o wysokich ciężarach atomowych, poczynając od pierwiastka 81, są nietrwałe i ulegają powolnemu rozpadowi, — o czym się przekonamy w rozdziale, poświęconym radowi, — to należy uznać za możliwe, że

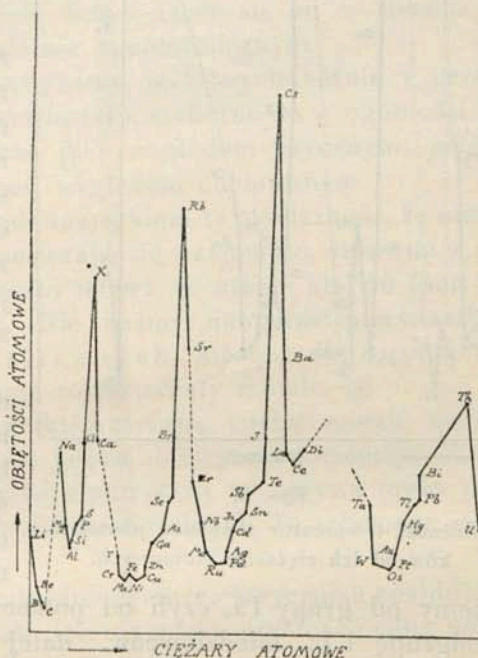
pierwiastki 93-ci i następne, jako posiadające najwyższe ciężary atomowe, są tak nietrwałe, że w ciągu długich okresów geologicznych wogóle uległy one zupełnej zagładzie. Narażenie więc uznać należy, że układ pierwiastków znanych kończy się na uranie, pierwiastku o liczbie porządkowej 92. ☒

*D. Objętości atomowe.* Nietylko własności i charakter chemiczny pierwiastków, ale i ich własności fizyczne wykazują funkcjonalną zależność periodyczną od ciężarów atomowych, jak to poraz pierwszy wykazał Mendelejew oraz Lotarjusz Meyer.

Najwyraźniej i najbardziej prawidłowo występuje ta zależność w odniesieniu do t. zw. objętości atomowej, t. j. objętości, wyrażonej w  $\text{cm}^3$ , którą zajmuje gram atom danego pierwiastka. Liczbowo objętość atomowa  $v_{\text{at}}$  równa się ilorazowi z ciężaru atomowego  $C_{\text{at}}$  przez gęstość  $d$ :

$$v_{\text{at}} = \frac{C_{\text{at}}}{d}$$

Zależność objętości atomowych pierwiastków chemicznych od ich ciężarów atomowych ilustruje wykres, podany na rys. 1, z którego wynika, że w pierwszych 5-ci u okresach największe objętości atomowe posiadają metale z grupy potasowców: lit, sód, potas, rubid i cez, czyli metale lekkie pierwszej grupy. W pierwszym i drugim szeregu poziomym objętości atomowe zmniejszają się od pierwiastków pierwszej grupy do pierwiastków grupy 4-ej, a następnie znów wzrastają do pierwiastków 7-mej oraz pierwszej grupy następnego szeregu. W szeregach 3 i 4 oraz 5 i 6 tworzących tak zw. wielkie okresy,



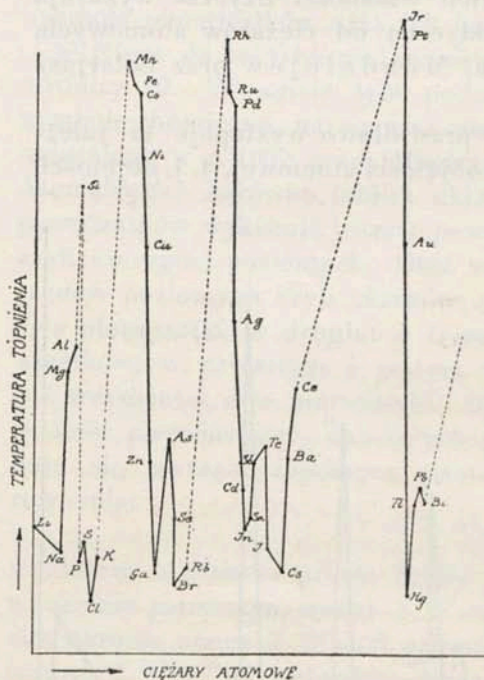
Rys. 1.

Zależność objętości atomowych od ciężarów atomowych pierwiastków.



objętości atomowe zmniejszają się stale od pierwiastków 1-ej grupy do pierwiastków grupy 7-ej, a następnie stale wzrastają od pierwiastków 1-ej grupy aż do pierwiastków pierwszej grupy następnego szeregu i t. d.

Temperatury topnienia pierwiastków wykazują również okresową zależność funkcjonalną od ciężarów atomowych, jak



Rys. 2.

Zależność temperatur topnienia pierwiastków od ich ciężarów atomowych.

niemy od grupy Ia, czyli od potasowców, później omówimy podgrupę Ib: miedziowców, dalej grupę IIa wapniowców i t. d., aż do VIII i ostatniej grupy. Że jednak wszystkie prawie pierwiastki, wchodzące w zakres drugiego tomu, są metalami, przeto musimy w niniejszym rozdziale poświęcić jeszcze nieco miejsca omówieniu ogólnych własności metali. ☒

## 2. METALE.

A. *Charakterystyka ogólna.* Metale tworzą swoistą kategorię pierwiastków chemicznych, podobnych naogół do siebie, a róż-

to wynika z załączonego obok wykresu (rys. 2). Najtrudniej topliwe są pierwiastki 4-ej i 8-ej grupy: występują one na wierzchołkach odpowiednich krzywych.

W dalszym ciągu rozważań, po zapoznaniu się z pierwiastkami promieniotwórczemi, powrócimy raz jeszcze do sprawy systematyki pierwiastków chemicznych, aby omówić zmiany, którym układ periodyczny uległ w najnowszych czasach.

☒ W tem miejscu dodamy tylko to, że w tomie niniejszym posilkować się będziemy układem periodycznym, jako zasadą podziału rozważanego przez nas materiału: a więc zacz-