

OKRESOWY UKŁAD PIERWIASTKÓW CHEMICZNYCH

Periodic system of chemical elements

Edward Rurarz

Streszczenie: W roku bieżącym przypada 120. rocznica odkrycia polonu i radu. Liczby atomowe tych pierwiastków to odpowiednio: $Z=84$ i $Z=88$. Dziś znamy 118 pierwiastków. W artykule przypomniano ważniejsze fakty z historii odkrycia nowych pierwiastków i badania ich właściwości. Szczególną uwagę poświęcono pierwiastkom promieniotwórczym z obszaru liczb atomowych $Z=104-118$, które odkryto w ostatnich kilkudziesięciu latach. Autor artykułu zwraca uwagę na złożoność i ważność procedur decydujących o ustalaniu nazwy nowych pierwiastków.

Abstract: In the current year is 120. anniversary of the discovery of polonium and radium. Atomic numbers of these elements is: $Z=84$ and $Z=88$. Today we know the 118 elements. The article pointed out important facts from the history of the discovery of new elements and study their properties. Particular attention was given to radioactive elements with atomic numbers $Z=104-118$, which was discovered in recent decades. The author of the article draws attention to the complexity and validity procedures for determining the names of new elements.

Słowa kluczowe: Okresowy układ pierwiastków chemicznych, pierwiastki promieniotwórcze, pierwiastki super ciężkie, Międzynarodowa Unia Chemii Czystej i Stosowanej

Keywords: Periodic system of chemical elements, radioactive elements, super heavy elements, International Union of Pure and Applied Chemistry

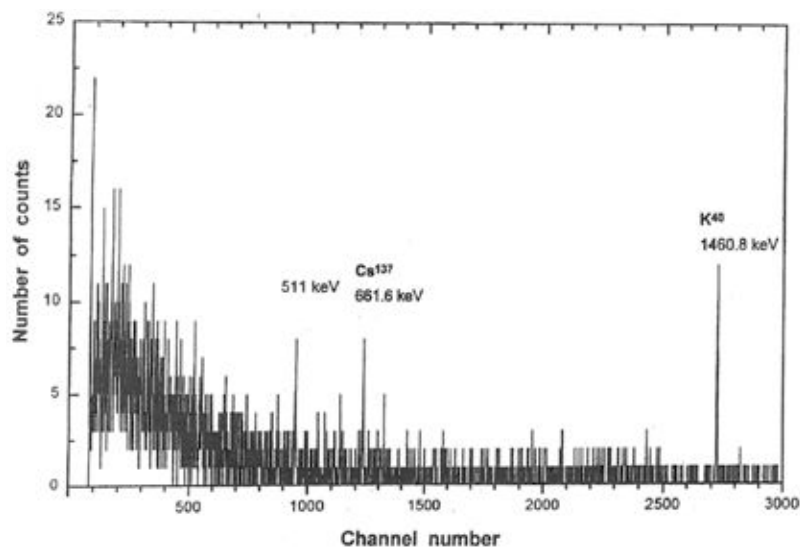
Badaniom fizyko-chemicznym właściwości pierwiastków chemicznych poświęcili swoje umiejętności intelektualne, manualne, a niekiedy i życie setki chemików poczynając od czasów starożytnych aż po dziś. Te żmudne badania (często prowadzące na mylne ścieżki) dały jednak imponujące rezultaty! Obecnie znamy 118 pierwiastków. W uporządkowaniu kolejności występowania pierwiastków bardzo pomogły osiągnięcia fizyki. Okazało się, że łatwo je uporządkować analizując liczbę protonów w jądrze atomu pierwiastka (tzw. liczbę porządkową pierwiastka oznaczoną literą Z). Dają się one zestawić w grupy, w których właściwości chemiczne pierwiastków periodycznie (okresowo) się powtarzają. Stąd nazwa Układ Okresowy Pierwiastków Chemicznych.

Pierwiastki chemiczne można dzielić na grupy z różnych punktów widzenia. Na przykład z punktu widzenia ich stabilności w czasie, czyli inaczej mówiąc na pierwiastki stabilne (są podstawą życia na Ziemi) i pierwiastki niestabilne, nietrwałe, tzn. pierwiastki promieniotwórcze. Jest ich całkiem sporo, bo aż 38. Pierwiastki promieniotwórcze ulegają różnego rodzaju rozpadom, emitując ze „swojego wnętrza” cząstki α (${}^4\text{He}$), cząstki β (dodatnio naładowane elektrony, czyli pozytrony albo ujemnie naładowane elektrony zwane negatonami) oraz promieniowanie γ i różnego rodzaju promieniowania X . Te rozpady powodują „przemebłowania” struktury jądra pierwiastka promieniotwórczego, które prowadzą do przekształcenia się jednego pierwiastka w drugi tworząc swego rodzaju łańcuchy rozpadów (najczęściej kończące się na pierwiastku stabilnym).

Właściwości promieniotwórcze posiadają dwa pierwiastki występujące w naturze takie jak: tor (symbol chemiczny Th, $Z=90$) i uran (symbol chemiczny U, $Z=92$) uznane za pierwiastki macierzyste, pierwiastki pochodne z ich rozpadu oraz duża grupa pierwiastków wytworzonych „sztucznie” (syntetycznie) w różnego rodzaju reakcjach jądrowych (stosując do tego celu reaktory atomowe i akceleratory cząstek naładowanych). W tym miejscu warto wspomnieć o dwóch ważnych parametrach dotyczących pierwiastków: ich rozpowszechnieniu w przyrodzie i czasie połowicznego zaniku. Ogół pierwiastków tworzy jakby pewną „społeczność”. W tym społeczeństwie pierwiastków można dopatrzeć się występowania rodzin (famili). Nazwę dla rodziny określa liczba atomowa Z . Jest rzeczą dobrze znaną, że w jądrze pierwiastka oprócz protonów (p) występują neutrony (n), bez ładunku elektrycznego, ale z masą porównywalną z masą protonów. Ich liczba może się zmieniać (zmienia się wtedy liczba masowa), ale nazwa pierwiastka pozostaje wciąż ta sama. I tak np. wyżej wymieniony tor ma 90 protonów i 142 neutrony co daje w sumie jego liczbę masową 232 ($90p+142n$). Praktycznie jest tylko jeden tor, niemal singiel (bo, ma 99,98% rozpowszechnienia). Tor ma również swoje izotopy, jak każdy z pierwiastków, nawet tych stabilnych np. Th-230, Th-231, Th-227 itd. Drugi ważny pierwiastek promieniotwórczy uran ma dwóch członków rodziny (zwanym naukowo izotopami!) o liczbach neutronów 143 i 146 co przy liczbie atomowej $Z=92$ daje masy 235 ($92p+143n$) i 238 ($92p+146n$). Te dwa izotopy uranu różnią się nie tylko ilością neutronów, ale również rozpowszechnia-

niem w przyrodzie. Zawartość uranu 235 wynosi 0,72%, a uranu 238 - 99,28%, czyli obrazowo mówiąc 1atom U^{235} na 99 atomów U^{238} . Jest także U-234 0,006%. Jest jeszcze coś, co je bardzo, ale to bardzo różni. Wspomnieliśmy wyżej, że izotopy promieniotwórcze ulegają rozpadowi. I tak ^{235}U ma okres połowicznego rozpadu 7×10^8 lat, a U^{238} ccharakteryzuje się znacznie dłuższym czasem połowicznego rozpad (czyli żyje znacznie dłużej), bo aż $4,5 \times 10^9$ lat. Dla nas ziemian te skale czasu są raczej niewyobrażalne! Pierwiastki stabilne w przyrodzie także mają swoje izotopy. Przykładem może być cyna (symbol Sn) ma $Z=50$, ale aż 10 izotopów (masy od 112 do 124, czyli liczby neutronów zawarte w przedziale $62 \div 74$). W świecie ludzi, roślin czy zwierząt zdarzają się „dziwolaży odstające od normy”. Coś podobnego ma miejsce wśród pierwiastków. Do takich dziwolażów należą dwa promieniotwórcze pierwiastki: technet (symbol Tc, $Z=43$) i promet (symbol Pm, $Z=61$). Oba uplasowały się pośród pierwiastków stabilnych. Czasy połowicznego zaniku dla najdłużej żyjących izotopów technetu wynoszą: ^{97}Tc $2,6 \times 10^6$ lat, ^{98}Tc $4,2 \times 10^6$ lat

i ^{99}Tc $4,2 \times 10^6$ lat oraz prometu ^{145}Pm $T_{1/2}=17,7$ lat. Ich brak w skorupie ziemskiej, wodzie i atmosferze jest dowodem na to, że czas życia Ziemi jest dłuższy od czasów życia wymienionych wyżej pierwiastków. Do dziwolażów trzeba zaliczyć pierwiastek potas niezwykle ważny w życiu człowieka. Ten jakże niewinnie wyglądający pierwiastek jest mieszaniną trzech izotopów: ^{39}K z rozpowszechnieniem 93,2581%, ^{40}K z rozpowszechnieniem 0,0117% i półokresem rozpadu $1,277 \times 10^9$ lat emitujący kwanty γ o energii 1,461 MeV oraz ^{41}K z rozpowszechnieniem 6,7302%. Zawartość potasu w organizmie człowieka wynosi 0,2% wagi całego ciała, czyli przy wadze ciała 70 kg jest 140g potasu, a więc wcale nie tak mało. Jego obecność w organizmie ludzkim łatwo udowodnić umieszczając detektor promieniowania gamma nad osobą poddaną pomiarowi osłaniając ją ścianami z cegieł ołowionych, płyt żelaznych, miedzianych i ze szkła organicznego oczyszczonych z różnego rodzaju radioaktywności naturalnych. Ilustruje to rys.1, na którym można zobaczyć zmierzone widmo gamma emitowane przez organizm człowieka.

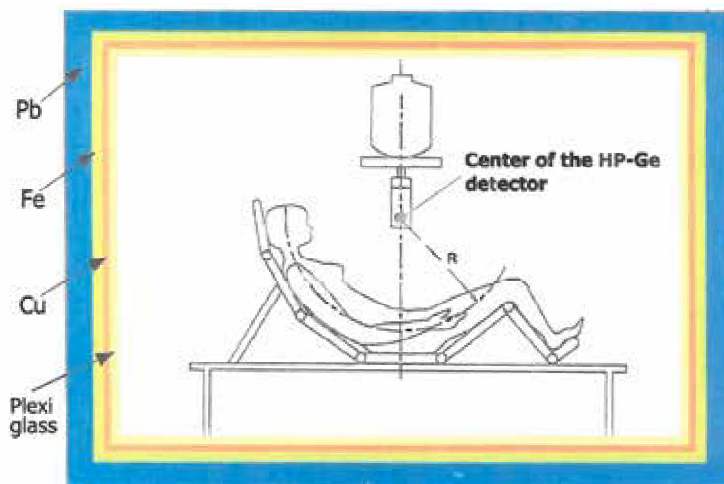


Rys. 1. Widmo promieniowania gamma emitowanego z ciała dorosłego mężczyzny zarejestrowane detektorem germanowym [wysokiej czystości i dużej objętości (Firma Camberra GC1520, objętość 72 cm^3 , zdolność rozdzielcza $1,8 \text{ KeV}$ dla energii 1332 KeV)] w ciągu 20 minut. W widmie promieniowania gamma wyraźnie widać dwie linie o energiach $1,46 \text{ MeV}$ i $0,66 \text{ MeV}$. Pierwsza z nich należy do radioaktywnego ^{40}K . Druga o mniejszej energii należy do radioaktywnego ^{137}Cs (półokres rozpadu 30 lat), którego nie powinno być w organizmie ludzkim, a jest! Jego istnienie związane jest z całą serią wybuchów bomb atomowych przeprowadzonych przez mocarstwa atomowe w atmosferze ziemskiej i awarii reaktorów jądrowych (Czarnobyl głównie). Bezustanne ruchy powietrza atmosferycznego rozniosły wiele radioaktywnych izotopów (jod, cez itd.) po całej powierzchni kuli ziemskiej, aby następnie opaść do wód i gruntów wszystkich kontynentów naszego globu. Żywe organizmy (w tym i człowiek) kolekcjonuje ^{137}Cs z wody. Tłumaczenie angielskich napisów na skalach pionowej i poziomej. Number of counts – liczba zleceń, Channel number – numer kanału.

Fig.1. The spectrum of gamma radiation emitted from the body of adult male registered by Ge detector [high purity and high volume (Camberra GC1520, volume 72 m^3 , resolving power $1,8 \text{ KeV}$ for energy 1332 KeV)] within 20 minutes. In the spectrum of gamma radiation can clearly see two lines of energy $1,46 \text{ MeV}$ and $0,66 \text{ MeV}$. The first one belongs to the radioactive ^{40}K . The second smaller energy belongs to the radioactive ^{137}Cs (half-life decay of 30 years), which should not be in the human body, and it is! Its existence is connected with the whole series of atomic bomb tests conducted by nuclear powers in the Earth's atmosphere and the failure of nuclear reactors (Chernobyl mainly). Continuous air movement ripple out many radioactive isotopes (iodine, cesium, etc.) around the whole surface of the globe, to then fall into the waters and land of all the continents of the globe. Live organisms (including man) collects the ^{137}Cs out of the water.

Geometrię pomiaru z osłoną przed promieniowaniem zewnętrznym pokazano na rys. 2. Pani Maria Skłodowska-Curie, pracując z różnego rodzaju związkami potasu i obecnością w nim ciężkich pierwiastków takich jak tantal czy niob stwierdziła eksperymentalnie słabą aktywność promieniotwórczą, którą była skłonna przypisać raczej owym ciężkim

pierwiastkom, a nie potasowi. Nie dysponowała wtedy ani spektrometrami promieniowania gamma, ani schematami rozpadu pierwiastków promieniotwórczych. Do dyspozycji miała swoje bogate doświadczenie w chemii i intuicję. My też długi czas musieliśmy czekać na wyjaśnienie fenomenu ^{40}K !



Rys. 2. Geometria pomiaru promieniotwórczości ludzkiego ciała. Detektor promieniowania, łukowato wygięty leżak i osoba poddana pomiarom znajduje się wewnątrz domku wykonanego z cegieł ołowianych (na rysunku oznaczono je literą Pb), płyt żelaznych (oznaczone literą Fe) blach miedzianych (oznaczonych literą Cu) oraz wykładziny ze szkła organicznego (tzw. plexiglass). $R=42\text{ cm}$ – to promień łuku, a zarazem odległość od środka detektora do wirtualnej linii zakreślonej przez promień R w ciele osoby badanej, równoległej do kształtu łuku leżaka. Tłumaczenie angielskiego napisu na rysunku: Center of the HP-Ge detector – środek detektora germanowego (wysokiej czystości)

Fig. 2. Geometry of radioactivity measurement in the human body. Radiation detector, inward curved lounge chair and the person subjected to measurements is inside a house made of bricks lead (in the drawing marked them letter Pb), iron (with Fe) metal copper (marked Cu) and carpet with organic glass (plexiglass). $R = 42\text{ cm}$ is the radius of the arc, and the distance from the center of the detector to the virtual line launching by the RADIUS R in the body of the test person, parallel to the shape of the arc of the sun lounge. The English translation of the inscription on the picture: Center of the HP-Ge detector (high purity)

Pierwiastki promieniotwórcze

Pierwiastki promieniotwórcze niezależnie od tego, czy powstały w sposób naturalny, czy syntetyczny (wytworzone przez człowieka) są uważane

bez wątpienia jako elementy struktury materii. Warto przyrzeć się im wszystkim łącznie ze stabilnymi izotopami jak sytuują się one w okresowej tablicy pierwiastków.

OKRESOWY UKŁAD PIERWIASTKÓW CHEMICZNYCH																																			
1	H																2	He																	
3	Li	4	Be											5	B	6	C	7	N	8	O	9	F	10	Ne										
11	Na	12	Mg											13	Al	14	Si	15	P	16	S	17	Cl	18	Ar										
19	K	20	Ca	21	Sc	22	Ti	23	V	24	Cr	25	Mn	26	Fe	27	Co	28	Ni	29	Cu	30	Zn	31	Ga	32	Ge	33	As	34	Se	35	Br	36	Kr
37	Rb	38	Sr	39	Y	40	Zr	41	Nb	42	Mo	43	Tc	44	Ru	45	Rh	46	Pd	47	Ag	48	Cd	49	In	50	Sn	51	Sb	52	Te	53	J	54	Xe
55	Cs	56	Ba	57	La	71	Hf	72	Ta	73	W	74	Re	75	Os	76	Ir	77	Pt	78	Au	79	Hg	80	Tl	81	Pb	82	Bi	83	Po	84	At	85	Rn
87	Fr	88	Ra	89	Ac	103	Rf	104	Db	105	Sg	106	Bh	107	Hs	108	Mt	109	Ds	110	Rg	111	Cn	112	Nh	113	Fl	114	Mc	115	Lv	116	Ts	117	Og
LANTANOWCE				57	La	58	Ce	59	Pr	60	Nd	61	Pm	62	Sm	63	Eu	64	Gd	65	Tb	66	Dy	67	Ho	68	Er	69	Tm	70	Yb	71	Lu		
AKTYNOWCE				89	Ac	90	Th	91	Pa	92	U	93	Np	94	Pu	95	Am	96	Cm	97	Bk	98	Cf	99	Es	100	Fm	101	Md	102	No	103	Lr		
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #90EE90; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></div> PIERWOTNE PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #0000FF; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></div> PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE WTÓRNE </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="background-color: #FF0000; width: 15px; height: 10px; display: inline-block;"></div> PIERWIASTKI PROMIENIOTWÓRCZE WYTWORZONE PRZEZ CZŁOWIEKA </div>																																			

Rys. 3. Układ okresowy pierwiastków zwany również tablicą Mendelejewa jest to zestawienie wszystkich pierwiastków chemicznych w tabeli, uporządkowanych według wzrastającej liczby atomowej. Współczesny układ okresowy pierwiastków jest zmodyfikowaną wersją układu opracowanego w 1869 r. przez rosyjskiego uczonego Dymitra Mendelejewa

Fig. 3. Periodic system of chemical elements also called Periodic Mendeleev table is a summary of all the chemical elements in the table, arranged according to increasing atomic number of. The modern periodic table is a modified version of the layout developed in 1869 by the Russian scientist Dmitri Mendeleev

Zróznicowania pierwiastków zaznaczono kolorami. Wyróżnione są trzy ich kategorie. Jedną, to tor i uran (kolor zielony), których czas życia jest tak długi (porównywalny z wiekiem Ziemi), że przetrwały one na Ziemi od czasu ich syntezy w procesach astrofizycznych. Drugą kategorią to pierwiastki pochodne, wtórne (kolor niebieski), które powstają z rozpadu powyższych dwóch pierwiastków podstawowych, pierwotnych: toru i uranu. Izotopy siedmiu pierwiastków pochodnych stanowią rodziny (szereg) promieniotwórcze. Występują one w naturze: do nich należą polon i rad, odkryte przez Marię i Piotra Curie. Trzecia kategoria to pierwiastki promieniotwórcze, które nie występują w sposób naturalny w przyrodzie (kolor czerwony). Zostały one wyprodukowane przez człowieka w różnego rodzaju reakcjach jądrowych.

Poszukiwania nowych, nieznanymi ciężkich pierwiastków chemicznych trwają od wielu dziesięcioleci. Intensywne ich badania miały miejsce w wielu laboratoriach całego świata na przełomie XX i XXI wieku. Informacje o nich zawsze wzbudzają emocje. Równoległe toczą się gorące dyskusje dotyczące trwałości ciężkich jąder atomowych i granicy układu okresowego pierwiastków.

O tym zainteresowaniu super ciężkimi pierwiastkami świadczy liczba nowo odkrytych pierwiastków z obszaru liczb atomowych $Z=104\div 118$ (15 sztuk). O ile do wytworzenia radioaktywnych pierwiastków z grupy aktywnych o liczbach atomowych Z od 93 do 103 (od Np do Lr) wystarczyło używać do naświetlenia materiału tarczowego (najczęściej pierwiastek o mniejszej liczbie atomowej) neutronów powolnych (z reaktora), neutronów prędkich lub przyśpieszonych do dużej energii w akceleratorach jonów deuteru, helu, węgla 12, boru 10 lub 11 oraz tlenu 18, to do wytworzenia nowych pierwiastków o liczbach atomowych $Z=104\div 118$ stosowano jony pierwiastków cięższych a mianowicie neonu 22, a nawet żelaza 56 (często ze specjalnie do tego celu budowanych akceleratorów ciężkich jonów!). Dla tych, którzy próbowali swych sił w poszukiwaniu nowych nieznanymi ciężkich pierwiastków było jasne, że skala trudności będzie rosła wraz ze wzrostem liczby atomowej pierwiastka Z . W tych badaniach uczestniczyły bogate laboratoria fizyczne, wyposażone w akceleratory zdolne przyśpieszać ciężkie jony pierwiastków (jako pocisków) do wysokich energii wsparte laboratoriami chemicznymi o szerokich możliwościach analitycznych. Ludzie dysponujący wyżej wspomnianym sprzętem i wysokimi kwalifikacjami, nie zawiedli, odkrywając osiem nowych pierwiastków (nazwa i symbol): $Z=104$ -rutherfordium (Rf), 105-dubnium (Db), 106-seaborgium (Sg), 107-bohrium (Bh), 108-hassium (Hs), 109-meitnerium (Mt), 110-darmstadtium (Ds.) i 111-roentgenium (Rg).

Oprócz uczonych rozpraw o możliwościach wytworzenia nowych pierwiastków, sam układ okresowy pierwiastków jest do pewnego stopnia suflerem. Dlatego warto zwrócić uwagę na pierwiastki należące do charakterystycznych grup układu okresowego pierwiastków. Właściwości tych pierwiastków zmieniają się w systematyczny (a więc przewidywalny) sposób w kierunku od góry ku dołowi grupy.

A oto kilka przykładów:

Pierwiastek z $Z=113$ jest pierwiastkiem grupy borowców. Można go nazwać eka-talem gdyż jest odpowiednikiem znajdującego się bezpośrednio nad nim pierwiastka o $Z=81$ czyli talu,

Pierwiastek z $Z=114$ należący do grupy węglowców można nazwać eka-olowiem,

Pierwiastek z $Z=117$ należy do dobrze zbadanej grupy fluorowców,

Pierwiastek z $Z=118$ powinien być gazem szlachetnym podobnie jak poprzedzające go gazy He, Ne, Ar, Kr i Xe.

Po odkryciu pierwiastka z $Z=111$ naukowcy skierowali swe zainteresowania na pierwiastki w obszarze liczb atomowych $Z=112\div 118$ (siedem pierwiastków).

Żmudne, długotrwałe badania kilku grup eksperymentatorów (wspartych przez teoretyków) w kilku państwach doprowadziły do zmniejszenia liczby tych siedmiu nieznanymi pierwiastków do czterech. Są to trzy pierwiastki o liczbach atomowych 112, 114 i 116. Udało się ustalić dla nich nazwy i symbole. Oto one: dla $Z=112$ copernicium (Cn) – honorując naszego astronoma Mikołaja Kopernika, dla $Z=114$ flerowium (Fl) oraz $Z=116$ livermorium (Lv).

Ogromne zaangażowanie zespołów ludzkich, unikalna, wysokiej jakości aparatura stosowana w poszukiwaniach nowych pierwiastków plus zdobyte doświadczenie w pracach przy odkryciu pierwiastków o niższych liczbach atomowych była gwarancją odkrycia czterech nieznanymi pierwiastków o liczbach atomowych $Z=113, 115, 117$ i 118 . Była to tylko kwestia czasu. I tak się stało.

Komisja ustalająca nazwy nowo odkrytych pierwiastków i ich parametry fizyko-chemiczne Międzynarodowej Unii Chemii Czystej i Stosowanej (International Union of Pure and Applied Chemistry) poinformowała o odkryciu tych czterech pierwiastków nadając im jednocześnie nazwę i symbol pierwiastka, oto one: $Z=113$ nihonium (Nh), $Z=115$ moscovium (Mc), $Z=117$ tennessine (Ts) i $Z=118$ oganesson (Og).

Odkrycie pierwiastka musi spełniać ostre kryteria ustalone przez IUPAC. Pierwiastek odkryty w jednym laboratorium musi zostać potwierdzony przez inne konkurencyjne laboratoria. Przewodzą w tej dziedzinie ośrodki naukowe w USA, Niemczech i Rosji. W ten sposób rośnie liczba „decydentów” o nazwie pierwiastka co zmniejsza szanse na consensus (jednoznaczność) przy ustalaniu nazwy pierwiastków. Trwa to nieraz latami!

*dr Edward Rurarz,
były pracownik
Instytutu Badań Jądrowych,
Instytutu Problemów Jądrowych,
Otwock-Świerk*