

Materiał powtórzeniowy - budowa atomu - cząstki elementarne, izotopy, promieniotwórczość naturalna, okres półtrwania , średnia masa atomowa z przykładowymi zadaniami

I. Cząstki elementarne atomu

1. Elektrony (e^-);

- masa równa 1/1840u masy protonu, czyli $9,11 \cdot 10^{-31}\text{kg}$,
- elementarny ładunek elektryczny równy -1, czyli $1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$,
- znajdują się w przestrzeni poza jądrem atomowym,

2. Nukleony - cząstki elementarne skupione w jądrze atomowym

❖ Protony (p^+)

- elementarny ładunek elektryczny +1, czyli $1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ ale o znaku przeciwnym niż w przypadku ładunku elektronu,
- masa równa 1u, czyli $1,66 \cdot 10^{-24}\text{g}$ (unit - masa 1/12 masy atomu węgla izotopu ^{12}C),

❖ Neutrony (n^0)

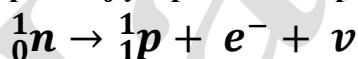
- elementarny ładunek elektryczny 0 (obojętny),
- masa nieco większa o od masy protonu (1u) - masa jest większa o masę elektronu,
- cząstki średniotrwale, czas półtrwania (połowicznego rozpadu) wynosi ok. 17minut,

3. Fotony

- cząstki pozbawiane masy i ładunku, są kwantami promieniowania elektromagnetycznego.

4. Neutrino (ν)

- cząstki bez ładunku elektrycznego,
- masa mniejsza od masy elektronu,
- powstają w procesie rozpadu neutronu:



II. Współczesny pogląd na budowę atomu

1. Jądro atomowe

- dodatnio naładowane zawierające nukleony (protony i neutrony),
- ładunek dodatni jest równy liczbie protonów
- promień bardzo mały (rzędu 10^{-13}cm)
- skupia prawie całkowitą masę atomu (masa protonów i neutronów),
- liczba protonów w jądrze = ładunkowi jądra i jest cechą charakterystyczną dla atomów danego pierwiastka

2. Sfera pozajądrowa

- ujemnie naładowana sfera elektronowa;
- ładunek jest równy liczbie elektronów, równoważy on ładunek jądra atomowego
- masa w stosunku masy jądra bardzo mała (wynika z liczby elektronów o masie 1/1840 masy protonu),
- promień w stosunku do promienia jądra bardzo duży (rzędu 10^{-8}cm).

3. Ogólny opis atomu pierwiastka

- liczba protonów = liczba atomowa Z = ładunek (+) jądra = liczba elektronów = liczba porządkowa pierwiastka w układzie okresowym pierwiastków chemicznych (uop. chem.)
- atomy o jednakowej liczbie protonów są atomami tego samego pierwiastka,
- nukleony (suma protonów i neutronów) = liczba masowa A = liczba protonów (Z) + liczba neutronów (N),

$$\begin{matrix} A = Z + N \\ A - N = Z \end{matrix} \quad \text{gdzie;}$$

- ✓ E - symbol pierwiastka,
- ✓ Z - liczba atomowa,
- ✓ A - liczba masowa,
- ✓ N - liczba neutronów

4. Pojęcia związane z budową atomu - nuklidy, izotopy, izobary, izotony:

- **Nuklidy** - atomy o identycznej budowie jądra atomowego, czyli identycznej liczbie protonów i identycznej liczbie neutronów.
- **Izotopy** - odmiany tego samego pierwiastka (o identycznej liczbie protonów w jądrze atomowym), ale których nuklidy różnią się liczbą masową, czyli różnią się liczbą neutronów w jądrze atomowym,
- **Izobary** - nuklidy różnych pierwiastków, czyli atomy o różnej liczbie atomowej Z ale identycznej liczbie masowej A ,
- **Izotony** - nuklidy różnych pierwiastków, czyli atomy o różnej liczbie atomowej Z i różnej liczbie masowej A ale identycznej liczbie neutronów (N) w jądrze atomowym.

Przykładowe zadanie

Zad. 1. Dla atomu pierwiastka o ogólnych symbolach : ${}^{64}_{29}\text{E}$ i ${}^{63}_{29}\text{E}$ podaj:

Polecenie	Rozwiązanie	
	${}^{64}_{29}\text{E}$	${}^{63}_{29}\text{E}$
Nazwę pierwiastka i jego symbol	Miedź Cu	Miedź Cu
Liczbę porządkową w uop. chem.	29	29
Liczbę atomową (Z)	29	29
Liczbę protonów	29	29
Ładunek jądra	+29	+29
Liczbę elektronów	29	29
Liczbę nukleonów	64	63
Liczbę masową (A)	64	63
Liczbę neutronów (N)	$64 - 29 = 35$	$63 - 29 = 34$
Sumę wszystkich cząstek elementarnych	$29\text{p}^+ + 35\text{n}^0 + 29\text{e}^- = 93$	$29\text{p}^+ + 34\text{n}^0 + 29\text{e}^- = 92$
Wnioski: Są to atomy tego samego pierwiastka - mają identyczną liczbę atomową Z , różnią się liczbą masową A , czyli liczbą neutronów w jądrze atomowym, stąd są one wobec siebie izotopami.		

Zad. 2. Następujące nuklidy: ${}^{40}_{20}\text{E}$, ${}^{40}_{18}\text{E}$, ${}^{41}_{19}\text{E}$ i ${}^{44}_{20}\text{E}$ dobierz w grupy (pary) wg następujących kryteriów:

Rozwiązanie:

- są wobec siebie izotopami: ${}^{40}_{20}\text{E}$ i ${}^{44}_{20}\text{E}$, ponieważ są to nuklidy mają identyczne liczbę atomową Z a różnią się liczbę neutronów w jądrze atomowym, są to nuklidy izotopów wapnia - ${}^{40}\text{Ca}$ i ${}^{44}\text{Ca}$
- są wobec siebie izobarami: ${}^{40}_{20}\text{E}$ i ${}^{40}_{18}\text{E}$, są to nuklidy o różnej liczbie atomowej Z , ale identycznej liczbie masowej $A = 40$, są to nuklidy - ${}_{20}\text{Ca}$ i argonu - ${}_{18}\text{Ar}$
- są wobec siebie izotonami: ${}^{41}_{19}\text{E}$ i ${}^{40}_{18}\text{E}$, są to nuklidy o różnej liczbie atomowej Z i różnej liczbie masowej A , ale identycznej liczbie neutronów $N = 22$ w jądrze atomowym, są to nuklidy potasu - ${}_{19}\text{K}$ i argonu - ${}_{18}\text{Ar}$

III. Średnia masa atomowa

- Większość pierwiastków występujących w przyrodzie stanowi mieszaninę kilku izotopów zachowującą na ogół skład bez względu na pochodzenie próbki, stąd masa atomowa nie jest równoznaczna z liczbą masową A pierwiastka. W praktyce nie stosuje się mas atomowych poszczególnych izotopów pierwiastka, lecz średnie masy atomowe wyznaczone dla mieszaniny występującej w przyrodzie.
- Średnie masy atomowe oblicza się na podstawie procentowego udziału izotopów danego pierwiastka występujących w przyrodzie wg wzoru:

$$m_{at} = \frac{\% \cdot m_1 A_1 + \% \cdot m_2 A_2 + \dots + \% \cdot m_n A_n}{100\%} \quad \text{gdzie:}$$

- ✓ % - procentowy udział danego izotopu,
- ✓ m_1, m_2, m_n masa atomowa danego izotopu A_1, A_2, A_n .

Przykładowe zadania

Zad. 3 Tlen w przyrodzie występuje w trzech trwałych odmianach izotopowych ${}^{16}\text{O}$ stanowi 99,76%, ${}^{17}\text{O}$ stanowi 0,04%; ${}^{18}\text{O}$ stanowi 0,20%. Oblicz średnią masę atomową tlenu wynikającą z procentowego udziału w/w izotopów.

Rozwiązanie:

Dane: $m_1 A_1 = 16\text{u}$ i 99,76%; $m_2 A_2 = 17\text{u}$ i 0,04%; $m_3 A_3 = 18\text{u}$ i 0,20%;

$$m_{at} = \frac{99,76\% \cdot 16\text{u} + 0,04\% \cdot 17\text{u} + 0,20\% \cdot 18\text{u}}{100\%} = \frac{1596,16\% \text{u} + 0,68\% \text{u} + 3,60\% \text{u}}{100\%} = \frac{1597,44\% \text{u}}{100} = 15,9744\text{u}$$

Zad. 4. Wodór w przyrodzie występuje w dwóch trwałych izotopach prot: ${}^1\text{H}$ i deuter: ${}^2\text{D}$ a średnia masa atomowa wodoru wynosi 1,0079u. Ustal procentowy udział izotopów wodoru.

Rozwiązanie: Dane: $m_{at} = 1,0079\text{u}$; $m_1 A_1 = 1\text{u}$ i x procent. $m_2 A_2 = 2\text{u}$ i $100\% - x$,

$$1,0079\text{u} = \frac{x \cdot 1\text{u} + (100\% - x) \cdot 2\text{u}}{100\%} = \frac{x\text{u} + 200\% \text{u} - 2x\text{u}}{100\%} = \frac{-x\text{u} + 200\% \text{u}}{100\%}$$

$$100,79\% \text{u} = -x\text{u} + 200\% \text{u} / : \text{u}$$

$$\% {}^1\text{H} = x = 200\% - 100,79\% = 99,21\% \quad \% {}^2\text{D} = 100\% - 99,21\% = 0,79\%$$

Zad. 5. Pewien pierwiastek jest mieszaniną dwóch izotopów, pierwszy z nich stanowi 93,08% i zawiera 20 neutronów w jądrze, natomiast drugi zawiera o 2 neutrony więcej, masa atomowa tego pierwiastka wynosi 39,1343u. Oblicz liczbę atomową Z tego pierwiastka.

Rozwiązanie:

Dane: $m_1A_1 = Z + 20u$ i stanowi 93,08%;

$m_2A_2 = Z + 20 + 2 = Z + 22u$ i $100\% - 93,08\% = 6,92\%$,

$m_{at} = 93,1343u$

$$39,1343u = \frac{93,08\% \cdot (Z + 20u) + 6,92\% \cdot (Z + 22u)}{100\%}$$

$$3913,43\%u = 93,08\%Z + 1861,6\%u + 6,92\%Z + 152,24\%u \quad / : \%$$

$$3923,43u = 100Z + 2013,84u$$

$$100Z = 1909 \text{ to } Z = 19,09 \approx 19$$

IV. Naturalna promieniotwórczość i okres półtrwania (połowicznego rozpadu)

1. Trwałość jąder atomowych

- najtrwalsze są jądra atomów w których stosunek liczby neutronów do liczby protonów jest zbliżony do jedności, prawidłowość powyższa występuje w jądrach pierwiastków do liczby atomowej $Z = 20$,
- w jądrach atomów pierwiastków o liczbie atomowej $Z > 20$ stosunek ten wzrasta do 1,6. Nadmierny wzrost liczby neutronów, jak i również nadmierny jego spadek powoduje, że jądro staje się nietrwałe i podlega przemianie lub serii przemian prowadzących do powstania jądra trwałego,
- zmniejszenie nadmiaru neutronów dokonuje się przez emisję promieniowania β^- ,
- drugim czynnikiem decydującym o trwałości jąder atomowych jest jego masa, jądra o dłuższych masach są nietrwałe bez względu na stosunek neutronów do protonów,
- jądra o zbyt dużych masach, dążąc do przemiany w jądra trwałe o mniejszej masie, emitują cząsteczki α .

2. Promieniotwórczość naturalna (radioaktywność naturalna) i rodzaje rozpadu

- samorzutna emisja promieniowania alfa, beta i gamma przez występujące w przyrodzie radioaktywne izotopy pierwiastków,
- **rozpad β^- (przemiana β^-)** - to emisja cząstki β^- , promieniowanie jest strumieniem elektronów o dużej przenikliwości i szybkości zbliżonej do szybkości światła, rozpad związany jest z rozpadem neutronu na proton i elektron:

$${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p^+ + e^- + \nu, \text{ rozpad można opisać równaniem:}$$

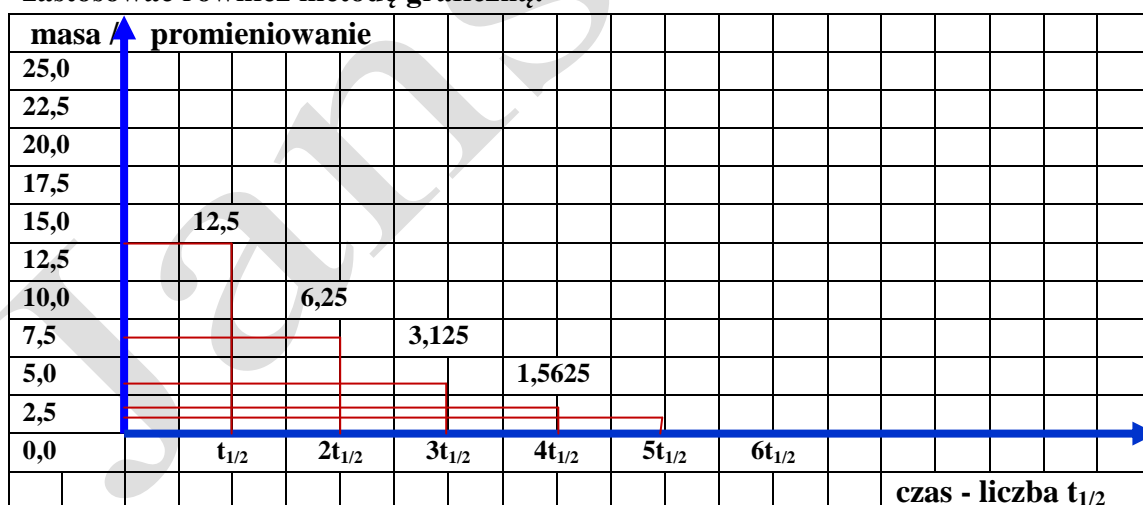
$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z+1}^AY + e^- + \nu, \text{ w wyniku przemiany powstaje jądro o takiej samej liczbie masowej A i liczbie atomowej Z o jedną większej, czyli zgodnie z regułą przesunięć Fajansa - Soddy'ego powstaje jądro pierwiastka o jedno miejsce w prawo w uop.chem. , przykład: }_{13}^{28}Al \rightarrow {}_{14}^{28}Si + e^- + \nu$$

- **rozpad α (przemiana α)** - to emisja cząstki α przez jądro pierwiastka radioaktywnego, tj cząstki składającej się z 2 protonów i 2 neutronów, czyli jądra izotopu helu ${}^4_2\text{He}$, jest to promieniowanie o znacznie mniejszej przenikliwości na promieniowanie β^- , przemiana ta prowadzi do zmniejszenia liczby masowej A o 4 i zmniejszenia liczby atomowej Z o 2, przemianę opisuje równanie:

$${}^A_Z\text{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\text{Y} + \alpha [{}^4_2\text{He}]$$
, czyli zgodnie z regułą przesunięć Fajansa - Soddy'ego powstaje jądro pierwiastka o dwa miejsca w lewo w uop. chem.:
 przykład: ${}^{28}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{24}_{11}\text{Na} + {}^4_2\text{He}$,
- rozpad jąder pierwiastków o dużych masach, tj liczbie atomowej $Z \geq 82$ kończy się na powstaniu trwałego jądra izotopu ołowiu lub bizmutu.

3. Okres półtrwania (połowicznego rozpadu) $t_{1/2}$ lub $\tau_{1/2}$

- jest to czas, po którym liczba atomów pierwiastka promieniotwórczego zmniejszy się o połowę (jest to jednoznaczne ze spadkiem promieniowania o połowę i także spadkiem o połowę masy pierwiastka promieniotwórczego),
- do obliczeń stosuje się wzór: $m_k = m_o \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$; gdzie
 - ✓ m_k - masa końcowa izotopu promieniotwórczego,
 - ✓ t - czas całkowity,
 - ✓ $t_{1/2}$ - czas połowicznego rozpadu,
- dla ustalenia wieku lub masy próbki izotopu promieniotwórczego można zastosować również metodę graficzną:



4. Przykładowe zadania

Zad. 6. Okres połowicznego rozpadu ${}^{223}\text{Fr}$ wynosi 21 minut. Oblicz ile gramów tego izotopu pozostanie po upływie 1h i 24' jeżeli początkowa masa próbki tego izotopu wynosiła 2g.

Rozwiązanie:

Dane: $t_{1/2} = 21'$; $t = 1\text{h i } 24' = 84'$; $m_o = 2\text{g}$.

$$m_k = m_o \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} = 2\text{g} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{84}{21}} = 2\text{g} \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^4 = 2\text{g} \cdot \frac{1}{16} = 0,125\text{g}$$

Zad. 7. Oceń wiek minerału zawierającego w swoim składzie związki uranu ^{234}U jeżeli okres półtrwania tego izotopu wynosi $2,35 \cdot 10^5$ lat a promieniowanie (I) jest 36 krotnie mniejsze niż pierwotne (jego masa jest 32-krotnie mniejsza).

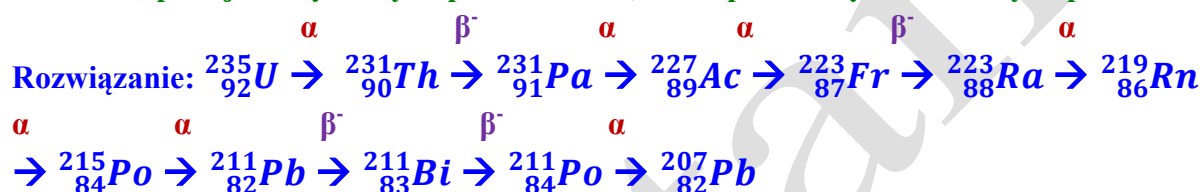
Rozwiązanie:

Dane: $I = \frac{I_0}{32}$; $t_{1/2} = 2,35 \cdot 10^5 \text{ lat}$

$\frac{I}{I_0} = \frac{1}{32}$ a 32 to 2^5 , czyli $\frac{t}{t_{1/2}} = 5$ stąd $t = 5 \cdot 2,35 \cdot 10^5 \text{ lat} = 11,75 \cdot 10^5 \text{ lat} = 1,175 \cdot 10^6 \text{ lat}$

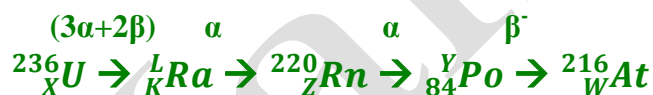
Zad. 8. Zaproponuj cykli przemian α i β^- , które doprowadzą do powstania z radioaktywnego jądra ^{235}U trwałego jądra izotopu ołowiu ^{207}Pb . Podaj łączną liczbę:

- przemian α ,
- przemian β^- ,
- podaj liczbę różnych pierwiastków, które powstaną w trakcie tych przemian.



- 7 przemian α
- 4 przemiany β^-
- 9 różnych pierwiastków (Thor, protaktyn, aktyn, frans, rad, radon, polon, ołów, bizmut).

Zad. 9. W podanym schemacie przemian brakujące wartości liczbowe oznaczona symbolami literowymi X, Y, Z, W, K, L. Przypisz tym oznaczeniom określone wartości liczbowe:



Rozwiązanie:

$\text{X} = 92,$

$\text{K} = 92 - (3 \times 2) + 2 \times 1 = 88$

$\text{L} = 236 - (3 \times 4) = 224$

$\text{Z} = 88 - 2 = 86$

$\text{Y} = 220 - 4 = 216$

$\text{W} = 84 + 1 = 85.$