



# Analiza FW : A4

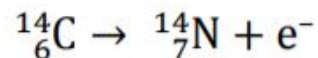
- zadanie 3 na Olimpiadzie Chemicznej
- największa korelacja chemii fizycznej na płaszczyźnie folder – zawody
- na co zwrócić szczególną uwagę :
  - kinetyka ogólnie
  - promieniotwórczość
- podobne zadania :
  - 57 edycja I etap : zadanie 3 + 57 edycja FW (A3)
  - 47 edycja FW (A3)
  - 49 edycja FW (A1)

# Izotopy i reakcje promieniotwórcze

**Zadanie 1**- Wymień naturalne izotopy węgla (są trzy).

węgiel-12, węgiel-13 , węgiel-14 , co możemy zapisać jako  $^{12}\text{C}$  ,  $^{13}\text{C}$  ,  $^{14}\text{C}$ .

**Zadanie 2** - Radioaktywny izotop węgla  $^{14}\text{C}$  można otrzymać w wyniku bombardowania neutronami atomu azotu. Węgiel-14 ulega rozpadowi beta minus. Napisz równania reakcji.



**Zadanie 3** - Dokończ równania reakcji.


 $^{18}\text{F}$ 

 $^{20}\text{Ne}$ 


p

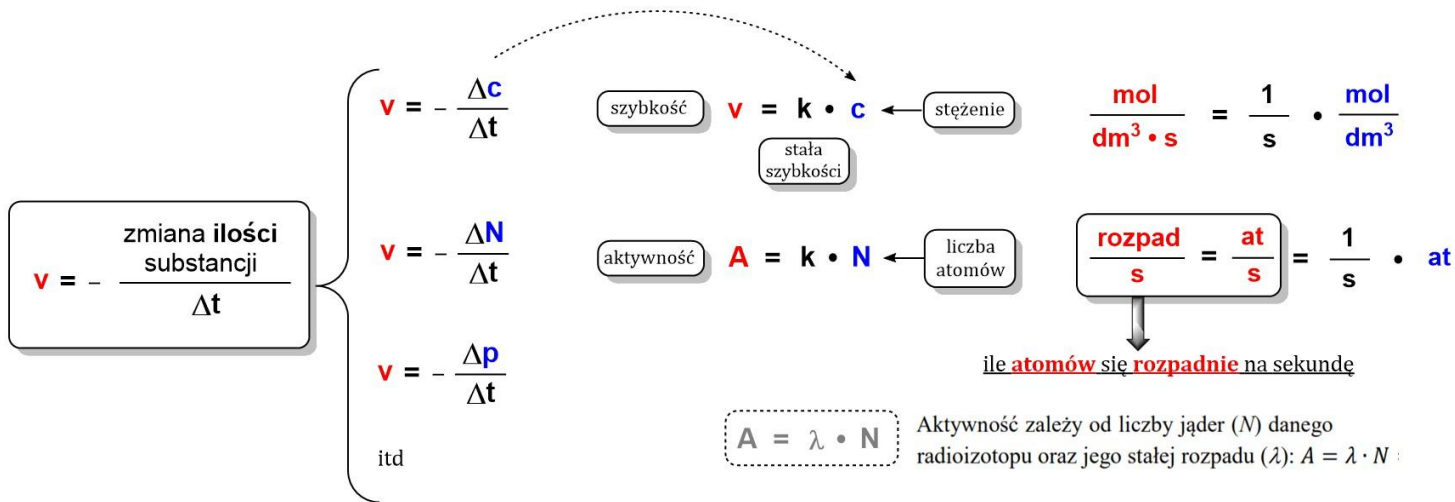


$\alpha$

# Aktywność = szybkość reakcji

**Zadanie 4-** Pamiętajsz jak w chemii analitycznej omawialiśmy rozpuszczalność? To było dokładnie to samo, co znaleźliśmy już wcześniej, tylko pozmieniały się symbole. Przez to, że mnóstwo symboli było innych, mogliśmy mieć fałszywe wrażenie, że przerabiamy coś nowego, a wszystko już znaleźliśmy. Tutaj jest dokładnie tak samo.

Otóż cała „promieniotwórczość” to kinetyka, tylko że w sumie zawsze pierwszego rzędu. Zatem jest łatwiej. Zależnie od książki/źródła mogą się także zmienić inne symbole, np. stałej szybkości. Tylko po co komplikować sobie życie?



# Scałkowana postać równania

**Zadanie 5**- Pamiętasz jak w kinetyce był taki slajd : „Dlaczego wszystkie reakcje na zawodach są reakcjami I rzędu” ? Otóż chodziło o to, że zamiast stosunku stężeń możemy bez problemu używać stosunku ciśnień, mas czy właśnie atomów. Tak samo można zatem używać aktywności, bo jak widzimy, są one proporcjonalne do ilości atomów, a zatem także proporcjonalne do stężenia. Zatem ten wzór, który się teraz pojawi to żaden nowy wzór! Od razu znamy też wzór na czas półtrwania.

$$\ln \frac{c_0}{c} = kt$$

$$\ln \frac{A_0}{A} = kt$$

$$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{k}$$

**Zadanie 6**- Pamiętasz co było najważniejsze do zapamiętania w tym wzorze? Jakie pułapki zastawiają na Ciebie autorzy zadania?

Chodziło o to, że wartości  $c$  oraz  $c_0$  dotyczą substratu, a często w zadaniach było podawane coś innego (np. liczba moli produktu, czy całkowite ciśnienie panujące w zbiorniku  $\Rightarrow$  ciśnienie wszystkich gazów, a nie tylko naszego substratu). Tutaj również musisz o tym pamiętać.

# Proste zadania na rozgrzewkę

**Zadanie 7** – Zaczniemy od prostych zadań, które spowodują to, że przyzwyczaimy się do zmiany naszych symboli z szybkości na aktywność oraz przyzwyczajenie się do jej nowej jednostki. Tutaj często spotkamy się z tak zwanymi **bekerelami** (Bq), który oznacza po prostu 1 rozpad na sekundę.

Jeden z nuklidów obecnych w paliwie nuklearnym jest uran-235, który jest alfa emiterym z czasem półtrwania wynoszącym 703 miliony lat. Ile czasu potrzeba, aby z pewnej ilości uranu-235, aby zostało 10% pierwotnej ilości?

$$703 \cdot 10^6 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 9,86 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{lat}} \quad \ln \frac{m_0}{m} = kt \quad \ln \frac{100}{10} = 9,86 \cdot 10^{-10} \cdot t \implies t = 2,34 \cdot 10^9 \text{ lat}$$

**Zadanie 8** – O godzinie 8:00 rano pacjent otrzymał dawkę 1,5 mg jodu-131, dla którego czas półtrwania wynosi 8 dni. Oblicz masę nuklidu jodu w miligramach, która pozostanie u pacjenta następnego dnia o godzinie 17:00, zakładając że jod ten nie ulega w żaden sposób wydalaniu.

Minęło 31 h, natomiast stała szybkości wynosi : 0,0036 1/h (obliczone z  $t_{1/2} = (\ln 2) : k$ , gdzie  $t_{1/2} = 192$  h).

Podstawiamy do wzoru na scałkowaną postać równania kinetycznego :

$$\ln \frac{m_0}{m} = kt \quad \ln \frac{1,5}{m} = 0,0036 \cdot 31 \implies m = 1,34 \text{ g}$$

# Proste zadania na rozgrzewkę

**Zadanie 9** – Próbka zawierająca  $^{18}\text{F}$  ( $t_{1/2} = 1,83 \text{ h}$ ) ulega rozkładowi z szybkością  $1,5 \cdot 10^5 \text{ rozp/s}$ . Ile czasu potrzeba, aby próbka ta uległa rozkładowi z szybkością  $2,5 \cdot 10^3 \text{ rozp/s}$

$$\ln \frac{A_0}{A} = kt \quad 1,83 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 0,38 \frac{1}{\text{h}} \quad \ln \frac{1,5 \cdot 10^5}{2,5 \cdot 10^3} = 0,38 \cdot t \implies t = 10,8 \text{ h}$$

**Zadanie 10** – Pewne znalezisko archeologiczne ma stosunek węgla-14 ( $t_{1/2} = 5715 \text{ lat}$ ) do węgla-12 równy 72,5% tego, co znajduje się w żywych organizmach. Jak „stare” jest to znalezisko (czyli ile ma lat)?

$$5715 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 1,2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{lat}} \quad m_{\text{C-14}} = 0,725 m_{(\text{C-14})_0} \quad \ln \frac{m_{(\text{C-14})_0}}{0,725 m_{(\text{C-14})_0}} = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot t \implies t = 2650 \text{ lat}$$

To dobry moment, aby bardziej wyjaśnić na czym polega datowanie z użyciem radioizotopu węgla. Pamiętaj z zadania 2, że węgiel-14 cały czas jest tworzony w atmosferze z azotu, a gdy powstanie to nieustannie rozkłada się z powrotem do azotu-14 (mamy niemalże proces równowagowy). Powstały węgiel-14 jest utleniany do  $^{14}\text{CO}_2$ , który jest inkorporowany do roślin przez fotosyntezę, a dalej (to już biologia) to wszystkich żyjących organizmów. Dlatego też te wszystkie organizmy posiadają stały stosunek węgla-14 do węgla-12, który jest dokładnie taki sam jak w atmosferze. Gdy jednak organizm umrze, przestaje dostawać nowy węgiel-14, a stosunek  $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$  zaczyna maleć z czasem półtrwania równym  $t_{1/2} = 5715 \text{ lat}$ ).

# Datowanie radioizotopowe

**Zadanie 11** – Teraz jeśli znajdziemy jakieś znalezisko, to z reguły jest ono stworzone z materiałów, które kiedyś „żyły” np. papirus, drewno, gdzie stosunek  $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$  wyznacza wiek znaleziska. Załóżmy np. , że w naszym znalezisku stosunek  $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$  jest równy 25% tego, co występuje w żywych organizmach.

Oznacza to, że zawiera w sobie 25% węgla-14 w porównaniu do ilości tego węgla w żyjących organizmach (węgiel-12 jest stabilny, więc jego ilość się nie zmienia, nawet gdy coś „umrze”). W takim razie minęły dwa okresy półtrwania ( $100\% \rightarrow 50\% \rightarrow 25\%$ ), czyli wiek znaleziska to  $2 \cdot 5715 = 11430$  lat.

**Zadanie 12** – Dinozaury żyły około 65 milionów lat temu, dlatego wykorzystanie metody datowania na podstawie izotopu węgla-14 nie jest tutaj do wykorzystania. Dlaczego?

Maksymalny wiek materiału, który da się określić z pomocą datowania radiowęglowego to około 50000 lat (nie musisz pamiętać tej liczby). Po tym czasie zawartość węgla-14 robi się już tak mała, że nie da go zmierzyć (ile go tam jest). Ponadto po tak długim czasie nie jesteśmy w stanie też ustalić czy stosunek  $^{14}\text{C} : ^{12}\text{C}$  w atmosferze się nie zmienił (a prawdopodobnie się zmienił : dlatego ta metoda jest obarczona błędem około 5%  $\Rightarrow$  to dużo, bo np. dla obliczonego wieku 6000 lat mamy około  $\pm 300$  lat błędu).

Trzeba by tutaj użyć po prostu innych nuklidów, których czas półtrwania jest dłuższy np.  $^{238}\text{U}$  lub  $^{87}\text{Rb}$ .

# Zadania

**Zadanie 13** – Pewne znalezisko archeologiczne zawiera węgiel-14 ( $t_{1/2} = 5715$  lat) , którego szybkość rozpadu wynosi 0,85 Bq na 1 gram węgla. Oblicz wiek znaleziska, jeśli wiadomo że szybkość rozpadu węgla-14 w żywych organizmach wynosi 153 Bq na 10 gram węgla.

$$5715 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 1,2 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{lat}} \qquad \ln \frac{15,3}{0,85} = 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot t \implies t = 2,38 \cdot 10^4 \text{ lat}$$

**Zadanie 14** – Jednym z badań używanych w medycynie nuklearnej jest PET, do którego jest potrzebny  $^{18}\text{F}$  ( $t_{1/2} = 1,83$  h) ( $t_{1/2} = 1,83$  h), a który wytwarza się w cyklotronie. Załóżmy, że będzie go transportować karetka, która porusza się ze stałą prędkością 100 km/h oblicz maksymalną odległość o jaką musi być oddalony szpital od cyklotronu, jeśli chcemy, aby co najmniej 65%  $^{18}\text{F}$  dotarło do szpitala?

$$1,83 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 0,38 \frac{1}{\text{h}} \qquad \ln \frac{100}{65} = 0,38 \cdot t \implies t = 1,14 \text{ h}$$

$$v = \frac{s}{t}$$

$$100 = \frac{s}{1,14} \implies s = 114 \text{ km}$$



# Zadania

**Zadanie 15** – Bizmut  $^{210}\text{Bi}$  ulega rozpadowi beta z czasem półtrwania wynoszącym 5 dni. Zakładając, że w próbce znajduje się 1,2 g bizmutu-210 (o masie atomowej 209,984 u) ustal ile rozpadów beta będzie miało miejsce w okresie 13,5 dni?

Zakładając, że ludzkie ciało przechwytuje 5,5% tych rozpadów, oblicz na jaką ilość promieniowania zostaje narażone ludzkie ciało, a wynik podaj w kiurach (Ci). Wskazówka :  $1 \text{ Ci} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bq}$ .

$$5 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 0,139 \frac{1}{\text{dni}} \qquad \ln \frac{1,2}{m_{\text{Bi}}} = 0,139 \cdot 13,5 \implies m_{\text{Bi}} = 0,185 \text{ g}$$

Zatem rozpadowi uległo  $1,2 - 0,185 = 1,015 \text{ g}$  bizmutu, co odpowiada  $4,834 \cdot 10^{-3}$  molom, czyli  $2,911 \cdot 10^{21}$  tyle atomów rozpadło się w ciągu 13,5 dnia, co musimy przeliczyć na sekundy, co daje  $2,5 \cdot 10^{15}$  rozpadów/s , a to przecież ilość Bekereli. Tylko 5,5% tego jest pochłaniane, co daje  $0,1375 \cdot 10^{15} \text{ Bq}$  i przeliczając to na Curie wychodzi około 3710 Ci.

# Zadania

**Zadanie 16** – Rad-226 ulega rozpadowi do radonu-224, który jest radioaktywnym gazem z czasem półtrwania równym 1600 lat. Jaka będzie objętość gazowego radonu zmierzonego w warunkach  $p = 1 \text{ atm}$  oraz  $T = 298 \text{ K}$ , która powstanie z rozkładu 25 g radu w przeciągu 50 dni?

$$1600 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 4,33 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{lat}}$$

$$\ln \frac{25}{m_{Ra}} = 4,33 \cdot 10^{-4} \cdot 0,137 \implies m_{Ra} = 24,9985 \text{ g}$$

Masa radu, który uległ rozpadowi wynosi  $25 - 24,9985 = 0,0015 \text{ g}$ , przeliczając to na mole mamy  $6,64 \cdot 10^{-6}$  mola, tyle też powstanie radonu. Dalej korzystamy z równania Clapeyrona :

$$pV = nRT$$

$$1013 \cdot V = 6,64 \cdot 10^{-6} \cdot 83,14 \cdot 298$$

$$V = 1,62 \cdot 10^{-4} \text{ dm}^3$$

# Zadania

**Zadanie 17** – Czas półtrwania uranu-238 wynosi  $4,5 \cdot 10^9$  lat. Próbkę skały o masie 1,6 g wykazuje 29 rozpadów na sekundę. Zakładając, że cała radioaktywność skały bierze się z obecności uranu-238 oblicz zawartość procentową ( $\%_{\text{mas}}$ ) w badanej skale.

Ilość rozpadów możemy przeliczyć na lata, co daje  $9,152 \cdot 10^8$  rozpadów/lata.

$$4,5 \cdot 10^9 = \frac{\ln 2}{k} \implies k = 1,54 \cdot 10^{-10} \frac{1}{\text{lat}} \quad 9,152 \cdot 10^8 = 1,54 \cdot 10^{-10} \cdot N \implies N = 5,94 \cdot 10^{18} \text{ at}$$

Liczba atomów uranu można obliczyć z równania kinetycznego :  $A = kN$ . Przeliczamy to dalej na mole ( $9,9 \cdot 10^{-6}$  moli) , masę ( $2,35 \cdot 10^{-3}$  g) , a z tego wyciągamy zawartość procentową równą około 0,15%.

# Zadania

**Zadanie 18** – Próbką 1,5 litra gazu (pomiar w warunkach  $p = 745 \text{ mmHg}$  oraz  $T = 25 \text{ st. Celsjusza}$ ) zawiera 3,55% obj. radonu-220, który jest alfa emitorem z czasem półtrwania równym 55,6 s. Ile cząsteczek alfa zostanie wyemitowanych przez tę próbkę w przeciągu 5 minut ?

Obliczamy objętość radonu równą  $0,05325 \text{ dm}^3$ . Korzystamy z równania Clapeyrona, aby obliczyć liczbę moli radonu.  $760 \text{ mmHg} = 1013 \text{ hPa}$ , zatem  $p = 993 \text{ hPa}$

$$993 \cdot 0,05325 = n \cdot 83,14 \cdot 298 \Rightarrow n = 2,13 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$$

$$55,6 = \frac{\ln 2}{k} \Rightarrow k = 0,01247 \frac{1}{s} \quad \ln \frac{2,13 \cdot 10^{-3}}{n} = 0,01247 \cdot 300 \Rightarrow n = 5,06 \cdot 10^{-5} \text{ mol}$$

Obliczamy zatem ile moli radonu się rozpadło, wychodzi  $n = 2,08 \cdot 10^{-3} \text{ mol}$ , co wystarczy przeliczyć na atomy dając  $1,25 \cdot 10^{21}$  atomów, tyle też wydzieli się cząsteczek alfa.

# Zadania

**Zadanie 19** – Próbką 228 ml wodnego roztworu zawiera 2,35% masowych chlorku magnezu. Dokładnie połowa jonów magnezu to jony magnezu-28, który ulega rozpadowi beta, a jego czas półtrwania wynosi 21 godzin. Oblicz szybkość rozkładu magnezu-28 w roztworze po upływie 4 dni. Gęstość roztworu wynosi

$$1,02 \text{ g/cm}^3 . M_{\text{Cl}} = 35,5 \text{ g} \quad M_{\text{Mg}} = 24,3$$

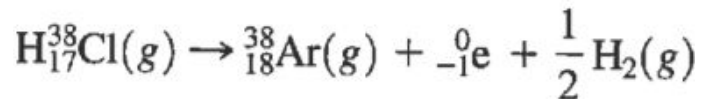
Masa roztworu to 232,56 g , z czego 5,47 g stanowi  $\text{MgCl}_2 \Rightarrow n = 0,0574$  mola . W takiej ilości chlorku magnezu znajduje się 0,0574 mola magnezu, z czego 0,0287 mola Mg-28.

Stała szybkości wynosi  $k = 0,033 \text{ 1/h}$  , a ze scałkowanego równania otrzymujemy, że po upływie 4 dni liczba moli magnezu-28 wynosi 0,00121 mola, co przeliczamy na atomy otrzymując  $7,27 \cdot 10^{20}$  atomów, co możemy podstawić już do równania kinetycznego

$$A = 0,033 \cdot 7,27 \cdot 10^{20} = 2,4 \cdot 10^{19} \text{ rozp/h.}$$

# Zadania

**Zadanie 20** – Nuklid  $^{38}\text{Cl}$  ulega rozpadowi beta, a jego czas półtrwania to 37,2 minuty. Próbkę zawierającą 0,4 mola gazowego  $\text{H}^{38}\text{Cl}$  została umieszczona w zbiorniku o pojemności 6,24 litra. Po 74,4 min ciśnienie wynosiło 2200 hPa. Oblicz temperaturę panującą w zbiorniku. Napisz równanie reakcji z udziałem  $\text{H}^{38}\text{Cl}$ .



Warto zauważyć, że minęły dwa okresy półtrwania, zatem naszego  $\text{H}^{38}\text{Cl}$  zostało  $0,4 : 2 : 2 = 0,1$  mola, co oznacza że przereagowało 0,3 mola, zatem powstało 0,3 mola argonu oraz 0,15 mola wodoru, łącznie 0,55 moli gazów (nasz substrat również jest gazem). Teraz tylko równanie Clapeyrona :

$$2200 \cdot 6,24 = 0,55 \cdot 83,14 \cdot T$$

$$T = 300 \text{ K}$$