

## VI.1. Rutheforda-Soddy’ego prawo rozpadu promieniotwórczego.

W roku 1896 fizyk francuski Becquerel (Antoine Henri, 1852-1908), badając sole uranu stwierdził, że emitują one niewidzialne promieniowanie powodujące zaciernienie kliszy fotograficznej.

W roku 1908 fizyk brytyjski Rutherford (Sir Ernest, 1871-1937) ze współpracownikami odkrył, że promieniowanie to jest efektem naturalnego rozpadu jąder atomowych. Z kolei wykazano doświadczalnie, że rozpad ten ma charakter wykładniczy (E. Rutherford, F. Soddy, i inni).

### Aktywność źródła promieniowania. „Czas połowicznego rozpadu”.

Przyjmuje się, że ilość cząstek  $\Delta N_t$  ulegających rozpadowi jest proporcjonalna do ilości cząstek  $N_t$  pozostających w układzie oraz do przedziału czasu  $\Delta t$ , w którym ten proces zachodzi. Zwane to jest *aktywnością źródła promieniowania*:

$$\frac{\Delta N_t}{N_t} = -\lambda \cdot \Delta t \quad (\text{VI.1.1.})$$

gdzie:  $\Delta N_t = (N_t - N_o)$  – ilość cząstek ulegających rozpadowi w czasie  $\Delta t$ ;

$N_o$  – ilość cząstek na początku procesu rozpadu, gdy  $\Delta t = (t - t_o)$ ;

$N_t$  – ilość cząstek w układzie po czasie  $\Delta t$ ;

$\lambda = \text{constant}$ , współczynnik proporcjonalności zwany stałą naturalnego rozpadu promieniotwórczego.

W powyższym znak minus (-) wstawiony jest dla zaznaczenia, że zapis ten odnosi się do procesu rozpadu. Indeks ( $t$ ) oznacza, że tak  $\Delta N_t$  jak i  $N_t$  są funkcjami czasu  $t$ .

Ponieważ lewa strona zależności (VI.1.1.) jest wielkością bezwymiarową, to stała rozpadu  $\lambda$  ma wymiar częstotliwości:  $\lambda = 1/t$ .

Tym samym, w zapisie (VI.1.1.) zawarta jest okresowość rozpadu promieniotwórczego.

Zależność (VI.1.1.) możemy przepisać w postaci:

$$\frac{\Delta N_t}{N_t} = \frac{N_t - N_o}{N_t} = 1 - \frac{N_o}{N_t} = -\lambda \cdot t \quad (\text{VI.1.2.})$$

gdzie: dla  $t_o = 0$  jest, że  $\Delta t = (t - t_o) = t$ .

Z powyższego wynika charakterystyczny okres  $t = T$  naturalnego rozpadu danego pierwiastka promieniotwórczego:  $\lambda \cdot T = 1$ .

Dla tego warunku, z zależności (VI.1.2.) znajdujemy:

$$1 - \frac{N_o}{N_t} = -\lambda \cdot T = -1$$

oraz 
$$\frac{N_t}{N_o} = 2^{-1} = 2^{-\lambda \cdot T} \quad (\text{VI.1.3.})$$

Z powyższego znajdujemy, że:  $N_o = 2N_t$ .

Oznacza to, że według zapisów (VI.1.1.) oraz (VI.1.2.) w charakterystycznym dla danego pierwiastka czasie  $T$ , naturalnemu rozpadowi ulega połowa cząstek.

Jest to t.zw. *okres połowicznego rozpadu T*.

Z bezpośrednich obserwacji wynika, że dla różnych pierwiastków różne są okresy  $T$ , a tym samym różne są stałe rozpadu  $\lambda = 1/T$ .

Z zapisów (VI.1.2.) oraz (VI.1.3.) wynika, że dla dowolnego czasu  $t$  możemy napisać:

$$N_t = N_0 \cdot 2^{-h \cdot t} \quad (\text{VI.1.4.})$$

gdzie, dla ułatwienia dalszych rozważań, zmieniliśmy oznaczenie stałej  $\lambda$  na  $h$ .

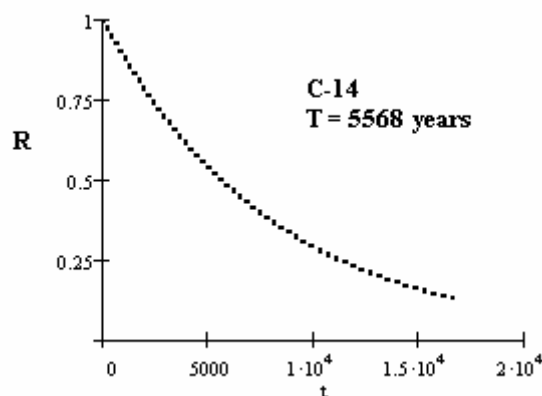


Fig. VI.1.1. Rozpad promieniotwórczy według zależności (V.1.4), gdzie:  $R = N_t/N_0$ .

Tak więc, powyższa zależność, podana tutaj po raz pierwszy w literaturze przedmiotu, jest złożeniem okresowości rozpadu (okres połowicznego rozpadu) według przyjętej zależności (VI.1.1.), oraz wykładniczego charakteru tego rozpadu według Rutherforda-Soddy’ego.

### „Literaturowe prawo rozpadu promieniotwórczego”

W t.zw. „literaturze przedmiotu” wykładniczy charakter rozpadu promieniotwórczego wywodzi się z zależności (VI.1.1.), przy narzuconych warunkach:

$$\left. \begin{array}{l} -\Delta N \rightarrow -dN \\ \Delta t \rightarrow dt \end{array} \right\}$$

co może budzić poważne wątpliwości, ponieważ dla cząstek materialnych o skończonych wymiarach i istniejących w skończonym czasie, nie istnieje coś takiego jak:  $dN$  czy  $dt$ . Pozostawiono natomiast oznaczenie stałej  $\lambda$  naturalnego rozpadu promieniotwórczego.

Tak więc, tylko i wyłącznie ze sztucznie narzuconego formalizmu matematycznego (ale nie jako prawo przyrody!), zależność (VI.1.1.) przepisywana jest w postaci:

$$\frac{dN}{N} = -\lambda dt$$

Całkując obydwie strony powyższego równania, znajdujemy:

$$\ln N_t = -\lambda \cdot t + \text{constant}$$

Przyjmuje się, że dla  $t = 0$  całkowita ilość jąder przed rozpadem wynosi  $N_0$ , i mamy:

$$\ln N_t = -\lambda \cdot t + \ln N_0$$

czyli

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} \quad (\text{VI.1.5.})$$

Zależność (VI.1.5.) przedstawiana jest w „literaturze przedmiotu” jako zapis wykładniczego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych według Rutherforda, Soddy’ego, i innych.

W powyższym występuje okresowość  $t = \tau$  rozpadu promieniotwórczego:  $\tau = 1/\lambda$ .

Dla tego warunku, z zależności (VI.1.5.), znajdujemy:

$$\frac{N_\tau}{N_0} = \frac{1}{e} = 0,3678\dots$$

gdzie:  $N_\tau$  – ilość cząstek jaka pozostaje w układzie po okresie  $\tau$  rozpadu.

A to oznacza, że w okresie czasu  $\tau$  rozpadowi ulega **znacznie więcej niż połowa** cząstek znajdujących się na początku procesu rozpadu danego pierwiastka.

A to także oznacza, że według zależności (VI.1.5.) nie istnieje okres  $T$  połowicznego rozpadu (patrz: zależność VI.1.3.).

Z tego właśnie względu, dla zależności (VI.1.5.) wprowadzono „poprawkę” w postaci czasu połowicznego rozpadu  $T$ :

$$\left. \begin{aligned} \frac{N_T}{N_0} = e^{-\lambda \cdot T} = \frac{1}{2} \\ T = \frac{\ln 2}{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (\text{VI.1.6.})$$

Uwzględniając powyższe, zależność (VI.1.5.) można, a nawet należy przepisać w postaci:

$$N_t = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = N_0 \cdot e^{-(\ln 2) \cdot \frac{t}{T}} = N_0 \cdot (e^{\ln 2})^{-\frac{t}{T}} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}} \quad (\text{VI.1.7.})$$

Ale to oznacza, że za pomocą warunków (VI.1.6.) zależność (VI.1.5.) sprowadzona jest do zależności (VI.1.4.).

Pytanie: jeżeli rzeczywiście istnieje okres połowicznego naturalnego rozpadu pierwiastków promieniotwórczych, który można opisać prostą zależnością (VI.1.4.), to po co w nauce stosowana jest zależność (VI.1.5.) ze sztucznie narzuconym warunkiem (VI.1.6.)?

„That is the question”!

Z powyższego wprost wynika, że opis rozpadu pierwiastków promieniotwórczych za pomocą równań (VI.1.5.) oraz (VI.1.6.) może budzić poważne wątpliwości merytoryczne.