



Polskie Towarzystwo Medycyny Nuklearnej

# **PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ I JEJ MIARY**

**dr n. tech. Adam Bajera**  
**Członek honorowy PTMN**



# PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ I JEJ MIARY

---

## TREŚĆ

### PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ

**Promieniotwórczość naturalna i sztuczna**

### PODSTAWOWE WIELKOŚCI FIZYCZNE

**Prawo rozpadu promieniotwórczego - Czas połowicznego zaniku -  
Energia promieniowania - Widmo energetyczne  
- Aktywność promieniotwórcza**



## PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ I JEJ MIARY

---

# PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ



# Promieniotwórczość naturalna i sztuczna

**Promieniotwórczość naturalną obserwujemy w naturze. W przypadku promieniowania docierającego do powierzchni Ziemi pochodzi z dwóch rodzajów źródeł:**

- nietrwałe izotopy występujące w minerałach ziemskiego płaszcza skalnego,
- reakcje jądrowe zachodzące w gwiazdach (tzw. promieniowanie kosmiczne).

**W przypadku promieniotwórczości sztucznej źródłem promieniowania są izotopy produkowane z użyciem takich środków technicznych jak różnego typu akceleratory lub reaktory jądrowe.**



# **PROMIENIOTWÓRCZOŚĆ. PODSTAWOWE WIELKOŚCI FIZYCZNE**



## **Podstawowe wielkości fizyczne**

**Na potrzeby jakościowej i ilościowej analizy zjawiska promieniotwórczości zdefiniowano wiele wielkości fizycznych i ich miar, które dotyczą zarówno źródeł promieniowania jak i samego promieniowania.**

**Z punktu widzenia wykorzystania promieniotwórczości w medycynie nuklearnej za podstawowe wielkości fizyczne można uznać:**

- |  |   |                             |
|--|---|-----------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"><li>- liczbę niestabilnych jąder izotopu,</li><li>- czas połowicznego rozpadu izotopu,</li></ul> | } | <b>Cechy źródła</b>         |
| <ul style="list-style-type: none"><li>- energię promieniowania,</li><li>- natężenie wiązki promieniowania.</li></ul>               | } | <b>Cechy promieniowania</b> |



# **Prawo rozpadu promieniotwórczego**



## **Prawo rozpadu promieniotwórczego**

**Prawo spontanicznego rozpadu promieniotwórczego oparte jest na dwóch założeniach:**

- prawdopodobieństwo rozpadu jądra nie zależy od warunków zewnętrznych,**
- liczba jąder, jakie ulegają rozpadowi w czasie  $dt$ , jest proporcjonalna do całkowitej liczby jąder w danej chwili.**

**Założenie te oznaczają, że rozpad promieniotwórczy jest procesem statystycznym (losowym). Rozpad danego jądra stanowi zdarzenie przypadkowe.**





## Prawo rozpadu promieniotwórczego

**Spontaniczny rozpad (przemiana) jąder atomowych podlega prawu rozpadu promieniotwórczego:**

$$\frac{dN(t)}{dt} = -\lambda N(t)$$

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

$N_0$  – liczba niestabilnych jąder w danej objętości materii w chwili początkowej  $t = 0$ ,

$N(t)$  – liczba niestabilnych jąder w tej samej objętości w chwili  $t$ ,

$\lambda$  – stała rozpadu.

**Staća rozpadu  $\lambda$  jest prawdopodobieństwem rozpadu jądra w ciągu 1 sek. Jest ona równa ułamkowi ogólnej liczby jąder, które ulegają rozpadowi w jednostce czasu.**



# Czas połowicznego zaniku



## Czas połowicznego zaniku

**Wielkość  $\tau = 1/\lambda$  to tzw. średni czas życia izotopu promieniotwórczego.**

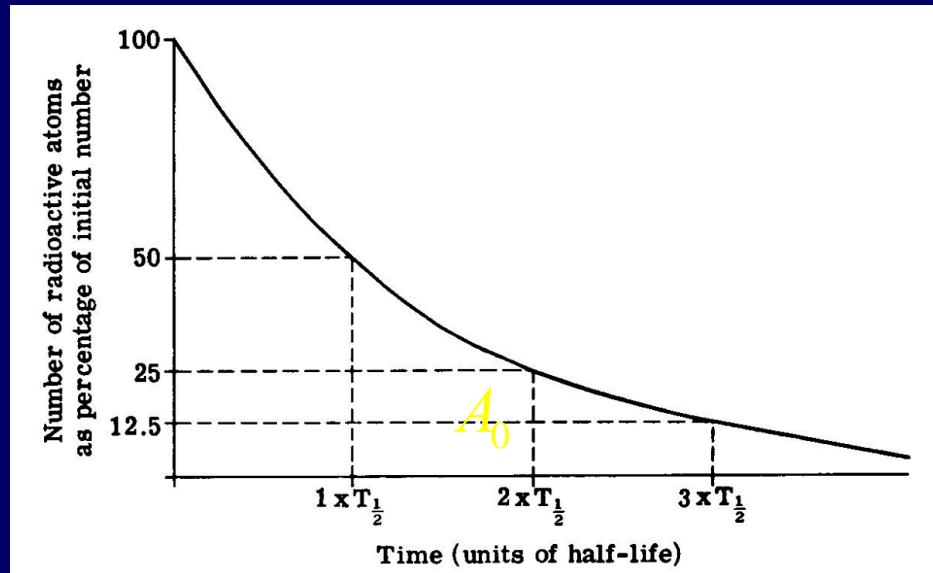
**Intensywność rozpadu promieniotwórczego charakteryzuje czas połowicznego zaniku  $T_{1/2}$ . Nazywamy tak czas, w ciągu którego rozpadowi (przemianie) ulega połowa początkowej liczby jąder danego izotopu promieniotwórczego:**

$$N(T_{1/2}) = N_0 \cdot e^{-\lambda T_{1/2}} = 1/2 \cdot N_0$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda} = 0.693 \tau$$



## Czas połowicznego zaniku



$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$N_0$  – liczba niestabilnych jąder w danej objętości materii w chwili początkowej  $t = 0$ ,

$N(t)$  – liczba niestabilnych jąder w tej samej objętości w chwili  $t$ ,

$\lambda$  – stała rozpadu.



# **Energia promieniowania**



## **Jednostki energii promieniowania**

**Cząstki elementarne lub kwanty promieniowania, które powstają w wyniku przemiany niestabilnego jądra izotopu są nośnikami energii kinetycznej (cząstki) lub elektromagnetycznej (kwanty).**

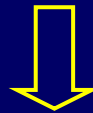
**Na potrzeby modelu uniwersalnego zdefiniowano miarę energii **POJEDYŃCZYCH** cząstek lub kwantów promieniowania. Jednostką miary energii promieniowania jest elektronowolt, eV.**



# **Elektronowolt jako jednostka energii**

**Jest to energia, jaką uzyskuje lub traci elektron, który prze-  
mieścił się w polu elektrycznym o różnicy potencjałów równej 1V:**

$$1\text{eV} = 1\text{e} \cdot 1\text{V} = 1,602\ 176\ 6208(98) \times 10^{-19}\ \text{J}$$



$$1\ \text{J} \approx 6,241\ 509\ 126(38) \times 10^{18}\ \text{eV}$$



## **Elektronowolt jako jednostka energii**

- Chociaż eV nie należy do układu SI, używany jest w różnych dziedzinach fizyki, zwykle z przedrostkami:**
- fizyka cząstek elementarnych – keV, MeV, GeV, TeV**
  - fizyka jądrowa – MeV, GeV**
  - fizyka ciała stałego – meV, eV**
  - fizyka materii skondensowanej – meV, eV**

**W odróżnieniu od poziomów energetycznych atomów, rozmieszczonych w zakresie kilku elektronowoltów (reakcje chemiczne), odległości między poziomami energetycznymi jądra mierzymy w megaelektronowoltach (reakcje jądrowe).**





# **Elektronowolt jako jednostka energii**

**Najczęściej używane wielokrotności elektronowolta**

<b>mnożnik</b>	<b>nazwa</b>	<b>symbol</b>
<b><math>10^{-3}</math></b>	<b>milielektronowolt</b>	<b>meV</b>
<b><math>10^0</math></b>	<b>elektronowolt</b>	<b>eV</b>
<b><math>10^3</math></b>	<b>kiloelektronowolt</b>	<b>keV</b>
<b><math>10^6</math></b>	<b>megaelektronowolt</b>	<b>MeV</b>
<b><math>10^9</math></b>	<b>gigaelektronowolt</b>	<b>GeV</b>
<b><math>10^{12}</math></b>	<b>teraelektronowolt</b>	<b>TeV</b>



## **Elektronowolt jako jednostka masy**

**Jednostki eV (a właściwie eV/c<sup>2</sup>) bardzo często używa się w różnych dziedzinach fizyki do określania mas cząstek i quazi-cząstek. Wynika to z relacji pomiędzy masą a energią (E=mc<sup>2</sup>) oraz faktu używania przez fizyków jednostek, w których c=1 (prędkość światła w próżni). Ściśle należałoby mówić o jednostkach eV/c<sup>2</sup> jednak zwykle pomija się c :**

$$1 \text{ eV}/c^2 = 1,783 \times 10^{-36} \text{ kg}$$

**Przykłady przybliżonych wartości mas cząstek w eV/c<sup>2</sup>**

**elektron – 0,511 MeV/c<sup>2</sup>  $\approx$  9,10938  $\times$  10<sup>-31</sup> kg**

**proton – 0,938 GeV/c<sup>2</sup>**

**neutron – 0,938 GeV/c<sup>2</sup>  $\approx$  1,7  $\times$  10<sup>-27</sup> kg**



## **Elektronowolt jako jednostka temperatury**

**Związek  $E=k_B T$  ( $k_B$  – stała Boltzmann) łączy w sposób jednoznaczny temperaturę z energią, dlatego też w niektórych zastosowaniach wartość temperatury określa się w elektronowoltach z odpowiednim przedrostkiem. Podobnie jak w przypadku masy, chcąc być ścisłym, należałoby mówić o jednostce  $eV/k_B$ .**

**Elektronowolt jest stosowany jako jednostka temperatury w fizyce plazmy. Przykładowo, plazma w tokamaku – by zaszła w niej synteza jądrowa – musi mieć temperaturę 15 keV, czyli 174 milionów kelwinów.**



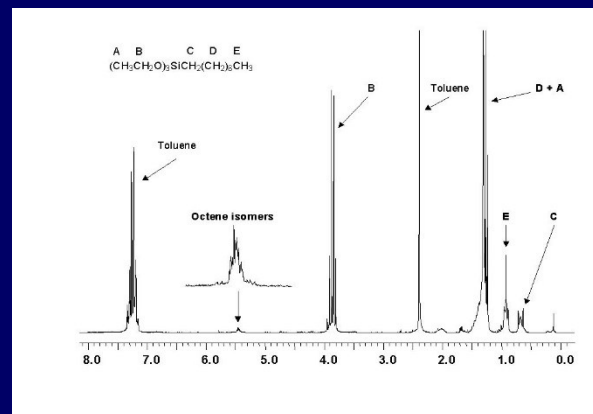
# **Widmo energetyczne**



## Widmo energetyczne

Tzw. emisyjne widmo energetyczne to wykres energii promieniowania rozłożonego na poszczególne energie kinetyczne cząstek lub energie kwantów, czyli promieniowania elektromagnetycznego. Wykres ten ma postać "linii", "pasm" lub "pików".

Widmo energetyczne jest – formalnie – rozkładem gęstości prawdopodobieństwa (tzw. histogramem) wartości energii cząstek lub kwantów.



Przykład widma energetycznego



## **Widmo energetyczne**

**Formalnie, ze względu na wygląd widma, rozróżnia się trzy rodzaje widm energetycznych: ciągłe, liniowe i pasmowe.**

**Widmo ciągłe – ma postać ciągłego obszaru lub szerokich pasów występujących w sposób ciągły wzdłuż skali energii. Jest emitowane przez ciała stałe i ciecze.**

**Widmo liniowe (atomowe) – ma postać oddzielnych linii wzdłuż skali energii; typowo występuje dla gazów atomowych.**

**Widmo pasmowe (cząsteczkowe) jest przypadkiem pośrednim pomiędzy widmem liniowym a ciągłym. Można je zaobserwować dla gazowych związków chemicznych**

# **Aktywność promieniotwórcza**





## Aktywność promieniotwórcza

Aktywnością rozpadu promieniotwórczego nazywa się iloczyn

$$A(t) = \lambda \cdot N(t)$$

zatem

$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$A_0$  – aktywność w danej objętości materii w chwili początkowej  $t = 0$ ,

$A(t)$  – aktywność w tej samej objętości w chwili  $t$ ,

$\lambda$  – stała rozpadu.





## **Aktywność promieniotwórcza**

**Aktywność promieniotwórcza NIE ZALEŻY od procesów fizycznych czy chemicznych takich jak zmiany temperatury, ciśnienia !!!**



## Aktywność promieniotwórcza

Jednostką aktywności promieniotwórczej w układzie miar SI jest bekerel, Bq :

$$1Bq = \frac{1 \text{ rozpad}}{1 s}$$

Historyczną jednostką jest kiur, Ci :

$$1Ci = 3,7 \cdot 10^{10} Bq$$

**1 Ci został zdefiniowany jako aktywność jednego grama radu-226.**



## Aktywność promieniotwórcza

W medycynie nuklearnej używa się zwykle takich liczb niestabilnych jąder izotopów, które manifestują się wartościami wyrażonymi w jednostkach :

$$1kBq = 10^3 Bq \quad 1MBq = 10^6 Bq \quad 1GBq = 10^9 Bq$$
$$1Ci = 3.7 \cdot 10^{10} Bq \quad 1mCi = 37 MBq$$

Aktywność przeliczoną na jednostkę masy substancji promieniotwórczej nazywamy aktywnością właściwą. Aktywność właściwą można też wyrażać względem długości (dla źródeł liniowych), powierzchni (dla źródeł płaskich), objętości lub masy (dla źródeł przestrzennych).



## **Aktywność promieniotwórcza**

### **UWAGA !!!**

**AKTYWNOŚĆ NIE OKREŚLA STOPNIA ZAGROŻENIA PROMIENIOWANIEM JONIZUJĄCYM. Zagrożenie napromieniowaniem zależy od bardzo wielu czynników, jak: rodzaj promieniowania, energia emitowanych cząstek, ich przenikliwości, rodzaju radionuklidu (czy jest metabolizowany czy od razu wydalany z organizmu), sposobu napromieniowania (z wewnątrz czy z zewnątrz), narządu narażonego na promieniowanie.**



**Koniec tematu**

**Kompilacja - [adam.bajera@euromail.pl](mailto:adam.bajera@euromail.pl)**