



Pochłanianie promieniowania przez materię

Natężenie promieniowania przy przejściu przez materię zmienia się zgodnie z równaniem eksponencjalnym, a jego zależność od rodzaju materii, drogi x i innych czynników jest opisana za pomocą tzw. prawa osłabienia promieniowania. Prawo to wyraża się wzorem:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x}$$

gdzie:

- $I(x)$ to natężenie promieniowania na głębokości x ,
- I_0 to początkowe natężenie promieniowania (przed przejściem przez materiał),
- μ to współczynnik osłabienia (w zależności od rodzaju materii),
- x to droga, którą promieniowanie przebywa przez materiał (grubość materiału).

Współczynnik osłabienia μ

Współczynnik osłabienia μ zależy od rodzaju materiału, przez który przechodzi promieniowanie. Może on obejmować kilka różnych efektów:

1. **Oslabienie związane z rozpraszaniem** – związane z oddziaływaniem fotonów z elektronami w materiale. Promieniowanie może być rozproszone, co zmienia kierunek fotonów.
2. **Oslabienie związane z pochłanianiem** – promieniowanie jest absorbowane przez materię, a energia promieniowania jest przekazywana do atomów lub cząsteczek materiału. W przypadku fotonów, to pochłanianie jest związane z efektem fotoelektrycznym, efektem Comtona czy zjawiskiem parowania.

Współczynnik osłabienia jest również zależny od energii promieniowania. Na przykład dla promieniowania X lub gamma w materiałach o niskiej liczbie atomowej (np. powietrze, woda), współczynnik osłabienia będzie inny niż w przypadku cięższych materiałów, takich jak ołów.

Podstawy fizyczne osłabienia

Oslabienie promieniowania jest wynikiem oddziaływań między cząstkami promieniowania (np. fotonami) a cząstkami materii (elektronami i jądrami atomowymi). Kiedy promieniowanie przechodzi przez materiał, niektóre z jego cząsteczek mogą zostać zaabsorbowane (przechodzą procesy takie jak fotoelektryczność czy efekt Comtona), inne

mogą zostać rozproszone. Efektem tego jest stopniowe zmniejszanie się liczby fotonów w jednostkowej objętości materiału, co powoduje spadek natężenia.

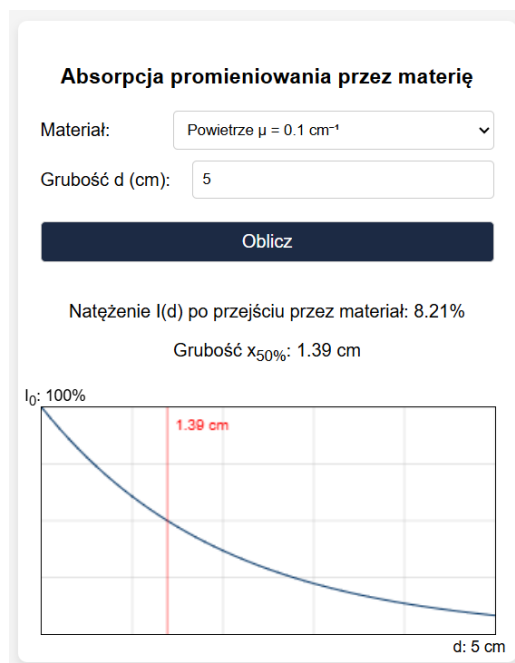
Zjawiska związane z osłabieniem promieniowania:

1. **Efekt fotoelektryczny** – foton o odpowiedniej energii wybija elektron z atomu. Efekt ten dominuje w materiałach o niskiej liczbie atomowej i dla fotonów o niskiej energii.
2. **Efekt Comptona** – foton o wyższej energii oddziałujący z elektronem (najczęściej z elektronem walencyjnym), co powoduje jego rozpraszanie i zmianę energii fotonu. Efekt Comptona jest dominujący w przypadku średnich energii promieniowania.
3. **Parowanie** – dla bardzo wysokich energii (powyżej 1,022 MeV) foton może tworzyć pary elektron-pozyton, co prowadzi do dalszego osłabienia promieniowania.

Wzrost grubości materiału a osłabienie

Jeżeli materiał jest grubszy, promieniowanie będzie ulegać dalszemu osłabieniu. Dlatego też na głębokości x w materiale o danej gęstości i rodzaju, promieniowanie maleje wykładniczo, co można interpretować jako efektywność rozpraszania i pochłaniania promieniowania w materiale.

[Absorpcja promieniowania przez materię](#)



Liniowy współczynnik absorpcji promieniowania rentgenowskiego lub gamma dla stali zależy od jej składu chemicznego, gęstości oraz energii promieniowania. Wartości te są różne dla różnych rodzajów stali i energii promieniowania.

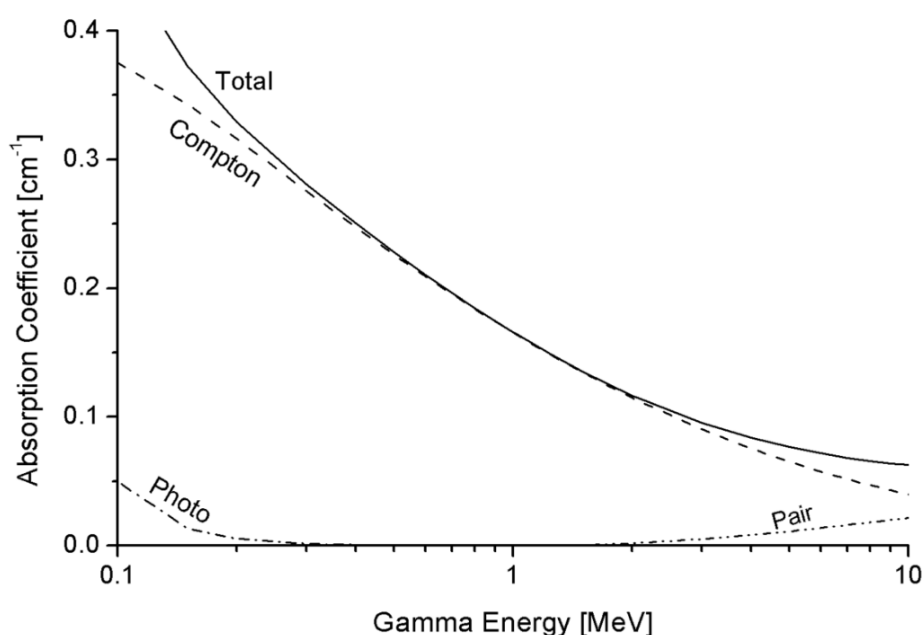
Przykładowo, dla stali zawierającej 0,5% węgla (C), 9% niklu (Ni), 18% chromu (Cr) i 72,5% żelaza (Fe) o gęstości $8,6 \text{ g/cm}^3$, liniowy współczynnik osłabienia promieniowania rentgenowskiego $\lambda K\alpha$ wynosi około $49,6 \text{ cm}^{-1}$.

krystalografia.us.edu.pl

W przypadku promieniowania gamma o energii 662 keV, liniowy współczynnik osłabienia dla stali wynosi około $0,1727 \text{ mm}^{-1}$, co odpowiada grubości warstwy półchłonnej (grubości, przy której natężenie promieniowania spada o połowę) wynoszącej około 4 mm.

[Wikipedia](https://pl.wikipedia.org/wiki/Wsp%C3%B3lczynnik_absorpcji)

Należy jednak pamiętać, że wartości te mogą się różnić w zależności od dokładnego składu stali, jej struktury oraz energii promieniowania. Dlatego w praktycznych zastosowaniach zaleca się korzystanie z tabel zawierających wartości współczynników dla konkretnych materiałów i energii promieniowania lub przeprowadzanie indywidualnych pomiarów dla danego przypadku.



Wykładniczy charakter absorpcji promieniowania gamma (*total*), tutaj: w aluminium. Liniami przerywanymi zaznaczono poszczególne składowe odpowiedzialne za pochłanianie.

Obliczmy dla jakiej grubości natężenie promieniowania po opuszczeniu materiału jest dwukrotnie mniejsze od początkowego.

Ponieważ chcemy, aby $I = \frac{I_0}{2}$, równanie przyjmuje postać:

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu x}$$

Po uproszczeniu:

$$\frac{1}{2} = e^{-\mu x}$$

Zatem:

$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\mu x$$

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{\mu}$$

1. Woda ($\mu = 0.5 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{0.5} \approx \frac{0.693}{0.5} \approx 1.386 \text{ cm}$$

2. Powietrze ($\mu = 0.1 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{0.1} \approx \frac{0.693}{0.1} \approx 6.93 \text{ cm}$$

3. Aluminium ($\mu = 2 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{2} \approx \frac{0.693}{2} \approx 0.347 \text{ cm}$$

4. Stal (Fe) dla 100 keV ($\mu = 10 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{10} \approx \frac{0.693}{10} \approx 0.0693 \text{ cm}$$

5. Stal (Fe) dla 662 keV ($\mu = 0.1727 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{0.1727} \approx \frac{0.693}{0.1727} \approx 4.01 \text{ cm}$$

6. Kości ($\mu = 0.465 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{0.465} \approx \frac{0.693}{0.465} \approx 1.49 \text{ cm}$$

7. Tkanka miękka ($\mu = 0.465 \text{ cm}^{-1}$):

$$x_{50\%} = \frac{\ln(2)}{0.465} \approx \frac{0.693}{0.465} \approx 1.49 \text{ cm}$$

Podsumowanie

Podstawowa teoria osłabienia promieniowania przechodzącego przez materię opiera się na równaniu wykładniczym. Natężenie promieniowania zmniejsza się w miarę wzrostu drogi,

jaką przebywa ono przez materiał. Zjawisko to zależy od rodzaju materiału (np. jego gęstości, liczby atomowej) oraz od energii promieniowania.