

Neutronika

semestr letni 2023/24

Krzysztof Miernik

Wykład 6

Równanie dyfuzji neutronów

- Bilans neutronów w czasie w pewnym elemencie objętości

$$\frac{\partial n(\vec{r}, t)}{\partial t} = S(\vec{r}, t) + \nu \Sigma_f \Phi(\vec{r}, t) - \Sigma_a \Phi(\vec{r}, t) - U(\vec{r}, t)$$

gdzie

- n - gęstość neutronów
 - Φ - strumień neutronów
 - S - źródło neutronów
 - U - ucieczka neutronów
 - Σ_a - makroskopowy przekrój czynny na absorpcję
 - Σ_f - makroskopowy przekrój czynny na rozszczepienie
 - ν - średnia liczba neutronów powstających w rozszczepieniu
- Ucieczkę można powiązać z prądem neutronów

$$U = \nabla \cdot \vec{J}$$

Równanie dyfuzji neutronów (2)

Prąd neutronów, poprzez zastosowanie przybliżeń

- a) Wszystkie neutrony mają tę samą prędkość (efektywne przekroje czynne)
- b) Ośrodek jest jednorodny
- c) Strumień jest wolno zmienny w przestrzeni
- d) Absorpcja jest mała w porównaniu do rozpraszania ($\Sigma_a \ll \Sigma_{el}$)
- e) Rozpraszanie jest izotropowe

można powiązać ze strumieniem

$$\vec{J} = -\frac{1}{3\Sigma_{el}} \vec{\nabla} \Phi$$

(znane jako prawo Ficka, opisujące dyfuzję wielu różnych systemów, nie tylko neutronów), łącznie dostajemy

Równanie dyfuzji neutronów

$$\frac{\partial n}{\partial t} = S + \nu \Sigma_f \Phi - \Sigma_a \Phi - D \Delta \Phi$$

gdzie D to efektywny parametr dyfuzji, który możemy wyznaczać z innych modeli, aby model dyfuzji lepiej opisywał rzeczywiste układy

Równanie dyfuzji neutronów (3)

Warunki zszycia obszarów (1) i (2) rozdzielonych źródłem neutronów o intensywności S_0 (w $x = 0$)

- Zszycie strumienia

$$\Phi_1(0) = \Phi_2(0)$$

- Zszycie prądu

$$J_2(0) = J_1(0) + S_0$$

Warunki brzegowe ustalamy poprzez porównanie wchodzącej gęstości neutronów na granicy i jej zależności od strumienia. Np. dla materiału na lewo od granicy w x_b , prąd wchodzący do materiału

$$j_-(x_b) = \frac{1}{4}\Phi(x_b) + \frac{1}{2}D\frac{d\Phi(x_b)}{dx}$$

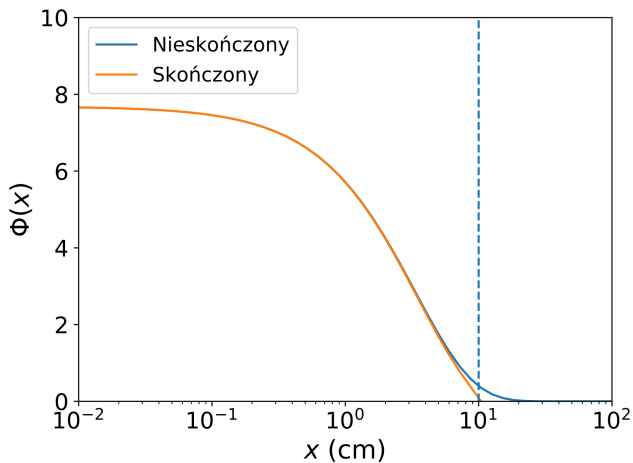
W szczególności dla granicy z próżnią ($j_-(x_b) = 0$)

$$\frac{1}{\Phi} \frac{d\Phi}{dx} \Big|_{x_b} = -\frac{1}{2D}$$

Dokładniejsze modele dają pewną granicę ekstrapolowaną, gdzie strumień spada do 0. Dla materiału o fizycznej granicy a , używamy wtedy warunku

$$\Phi(a + \lambda_{ex}) = \Phi(a_{ex}) = 0$$

Płaszczyzna



Parametry modelu dyfuzji

Parametry modelu dyfuzji dla typowych moderatorów

Material	ρ (g/cm ³)	D (cm)	Σ_a (1/cm)
H ₂ O	1.0	0.16	2.0×10^{-2}
D ₂ O	1.1	0.87	2.9×10^{-5}
grafit	1.6	0.84	2.4×10^{-4}

Problem 2

Rozwiązać równanie dyfuzji neutronów dla źródła punktowego o intensywności S_0 znajdującego się w geometrycznym środku kuli o promieniu a , wykonanej z nierozszczepialnego materiału o stałej dyfuzji D i makroskopowym przekroju czynnym na absorpcję Σ_a . Narysować wyniki dla H_2O , D_2O i grafitu, zakładając promień kuli równy 10 cm.