

原子炉理論 第3回 (中性子スペクトル(1)中性子の減速)
講義ノート

東京工業大学 小原 徹

3. 中性子スペクトル

原子炉内の各領域の群定数の計算

$$\text{例) } \Sigma_{t,g} = \frac{\int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \Sigma_t(E) \phi(E)}{\int_{E_g}^{E_{g-1}} dE \phi(E)}$$

3.1 熱中性子炉体系での中性子の減速

(1) 原子炉内の中性子スペクトル

原子炉内の中性子束は、エネルギーによって大きく異なっている。

{ 炉型(高速炉・熱中性子炉)によって異なる
 炉内の位置によっても異っている

熱中性子炉：核分裂で発生した高速中性子を熱中性子に減速して核分裂連鎖反応を起させる。中性子のエネルギーを減少されるのは原子核との散乱によってのみ可能。

以後簡単のため、中性子束の空間依存性を無視して、中性子スペクトルを議論する。

(2) 中性子減速方程式

無限での均質な媒質中に一様に分布している中性子源からの減速を考える。

あるエネルギー E の中性子が原子核と単位時間に衝突する数は、単位時間に発生するエネルギー E の中性子の数と等しい。

なぜなら、輸送方程式を単純化して次の式が得られる。

$$[\Sigma_s(E) + \Sigma_a(E)]\phi(E) = \int_E^\infty dE' \Sigma_s(E' \rightarrow E)\phi(E') + S(E) \quad \dots (1)$$

散乱が重心系で等方的な弾性散乱だけとすると、

$$\Sigma_s(E' \rightarrow E) = \begin{cases} \frac{\Sigma_s(E')}{(1-\alpha)E'} & (\alpha E' \leq E \leq E') \\ 0 & (\text{それ以外}) \end{cases} \quad \dots (2)$$

ここで, $\alpha = \left(\frac{A-1}{A+1}\right)^2$ A : 媒質の原子核の質量数

(3) 水素中での中性子の減速

水素中にエネルギー E_0 の中性子を出す中性子源（強度 S_0 ）がある場合（吸収は全くないとする）

減速方程式

$$\Sigma_s(E)\phi(E) = \int_E^{E_0} dE' \frac{\Sigma_s(E')\phi(E')}{E'} + S_0\delta(E - E_0) \quad \dots (3)$$

解くと,

$$\phi(E) = \frac{S_0}{\Sigma_s(E)E} + \frac{S_0}{\Sigma_s(E)}\delta(E - E_0) \quad \dots (4)$$

Σ_s がエネルギーによってあまり変化しなければ（一般的にそうであるが）中性子源のエネルギー E_0 以下の中性子束は $\frac{1}{E}$ で変化する。

$$\phi(E) \propto \frac{1}{E} \quad \dots (5)$$

(4) 中性子レサジー

中性子の減速課程の議論では, 中性子エネルギー E ではなくレサジーがよく用いられる。

$$\text{定義 : } u \equiv \ln \frac{E_0}{E} \quad E_0 \text{ は通常 } 10\text{MeV} \quad \dots (6)$$

理由 : 散乱による減速…エネルギーが比で変化する → 対数を用いると便利

レサジー利用例(1): 散乱による平均レサジー増加 ξ

1回の散乱当りの平均レサジー増加は以下のように求められる。

$$\xi = 1 + \frac{\alpha}{1-\alpha} \ln \alpha = 1 - \frac{(A-1)^2}{2A} \ln \left(\frac{A+1}{A-1} \right) \quad \dots (7)$$

特徴①エネルギーに依存せず常に一定

②散乱原子核の質量数だけで決まる（媒質の原子核に固有な値）

ξ が大きいほど, 少ない衝突回数で中性子エネルギーを熱中性子領域まで下げることが出来る。

物質の中性子減速能力を測る目安

減速能 ($\equiv \xi \Sigma_s$) が大きい方がよい。

→散乱断面積が大きく，少ない散乱回数で中性子を低いエネルギーに減速できる。

減速比 ($\equiv \xi \frac{\Sigma_s}{\Sigma_a}$) が大きい方がよい。

→少ない散乱回数で減速でき，衝突の際に中性子が吸収されてしまう確率が小さい。

レサジー利用例(2): 単位レサジー当りの中性子フラックス

中性子スペクトルを議論するときは，単位エネルギー当りの中性子フラックスではなく，単位レサジーあたりの中性子フラックスで議論するのが一般的。スペクトルをグラフで書くときも単位レサジー当りのフラックスで表す。