

核データの立場から(1)

原研 五十嵐 信 一

1. 序 言

核融合や遮蔽の分野では、いわゆる二重微分断面積(DDX)が重要な役割をしており、核データライブラリーに信頼のおけるDDXを格納しておいて欲しいと言う要求が強くなってきている。JENDL-1および-2にはDDXに相当する量が格納されていない訳ではないが、対象を炉物理あるいは炉心計算においているため、DDXが問題になる10MeVの反応断面積データの精度が必ずしも良くないと言う欠点がある。この欠点は今後取り除いて行くが、その際にどんな事に注意して核データの評価を行うべきか、と言うことについて若干のコメントをしてみたい。

問題にすべきことは幾つかあるが、ここでは非弾性散乱断面積とその角分布にしばらく考えてみる。指摘されている問題は体系中の中性子スペクトルの計算値が測定値に合っていない事で、その最大の理由が非弾性散乱断面積の角分布が正しく与えられていないことにありそうだからである。

非弾性散乱断面積を求めるには、残留核の励起準位のエネルギー、スピン、パリティの値が必要である。しかし、これらの量は比較的エネルギーの低い励起準位については測定値があるが、ある程度以上の高い励起準位については与えられていないのが普通である。このような高い励起準位の取り扱いには単位密度を使って近似する。本来の意味でのDDXはこの様な取り扱いをした場合に現われる量である。

低い励起準位を励起する非弾性散乱の成分については測定値がある場合が多い。この様な場合には測定値を使って評価値を求めるが、測定値がない準位も多いので、この様な準位も含めて値を求めることになると、どうしても理論計算が必要になる。低い励起準位を励起する成分は放出中性子のエネルギーが大きいので、複合核を経由する成分よりも直接過程または前平衡過程を通ってくる成分の方が大きいと考えられる。ここでの問題は菊池氏がコメントすることになっているので、私は高い励起の場合について考えてみることにする。

2. 散乱カーネルについて

体系中の中性子スペクトルは、良く知られている通り、次の式で表わされる。

$$Q_{in}^L (E_L \rightarrow E'_L, \mu_L) = \frac{A+1}{A} \sum_i \sigma_{in}^L (E_L, Q_i, \mu_L) \delta(Q_i - \hat{Q}_L) \quad (1)$$

記号は以下のような量を表わしている、

- E_L …… 実験室系で見た入射中性子エネルギー。
- E'_L …… 散乱中性子のエネルギー。
- μ_L …… 実験室系で見た散乱中性子の散乱角の余弦。
- Q_i …… 励起単位 i の励起エネルギー。
- A …… 標的核の質量を中性子の質量で割った値。
- $\sigma_{in}^L (E_L, Q_i, \mu_L)$ …… 入射エネルギー E_L の中性子による非弾性散乱断面積の角分布で、励起単位 i 、散乱角の余弦が μ_L の成分。

また、 \hat{Q}_L は

$$\hat{Q}_L = \frac{1}{A} \left\{ (A+1)(E_L - E'_L) - 2E_L + 2(E_L E'_L)^{1/2} \mu_L \right\} \quad (2)$$

で与えられる量である。(1)式は、標的核にエネルギー E_L の中性子が衝突して非弾性散乱を起こし、 E'_L のエネルギーを持って μ_L に相当する方向に散乱される場合の大きさの割合を表している。 $\delta(Q_i - \hat{Q}_L)$ はクロネッカーの δ で、励起エネルギー Q_i が \hat{Q}_L に等しい場合には1で、それ以外では0であるから、 \hat{Q}_L に等しい励起エネルギーがある場合のみ散乱が起こることになる。

励起単位が分っている場合には、 $\sigma_{in}^L (E_L, Q_i, \mu_L)$ を与えておけば(1)式のこの単位の成分を求めることができる。これは普通の意味の角度分布で、DDXではない。これに対して、励起単位を単位密度を使って近似する場合は(1)式の和はエネルギー Q_i の積分とスピン I とパリティ π についての和になる。 Q_i について積分した結果は

$$\begin{aligned} \sigma_{in}^{L,C} (E_L \rightarrow E'_L, \mu_L) &= \frac{A+1}{A} \sum_{I\pi} \rho(\hat{Q}_L, I, \pi) \\ &\quad \times \sigma_{in}^L (E_L, \hat{Q}_L, I\pi, \mu_L), \end{aligned} \quad (3)$$

になる。 ρ は単位密度である。 $(A+1)/A$ を除いた部分は、

$$\frac{d^2 \sigma_{in}^L (E_L, \hat{Q}_L, \mu_L)}{dE'_L d\mu'_L} \equiv \sum_{I\pi} \rho(\hat{Q}_L, I, \pi) \sigma_{in}^L (E_L, \hat{Q}_L, I\pi, \mu_L), \quad (4)$$

と表され、これがDDXと言はれる量である。 Ω' は散乱方向の立体角である。

3. ^{56}Fe の例

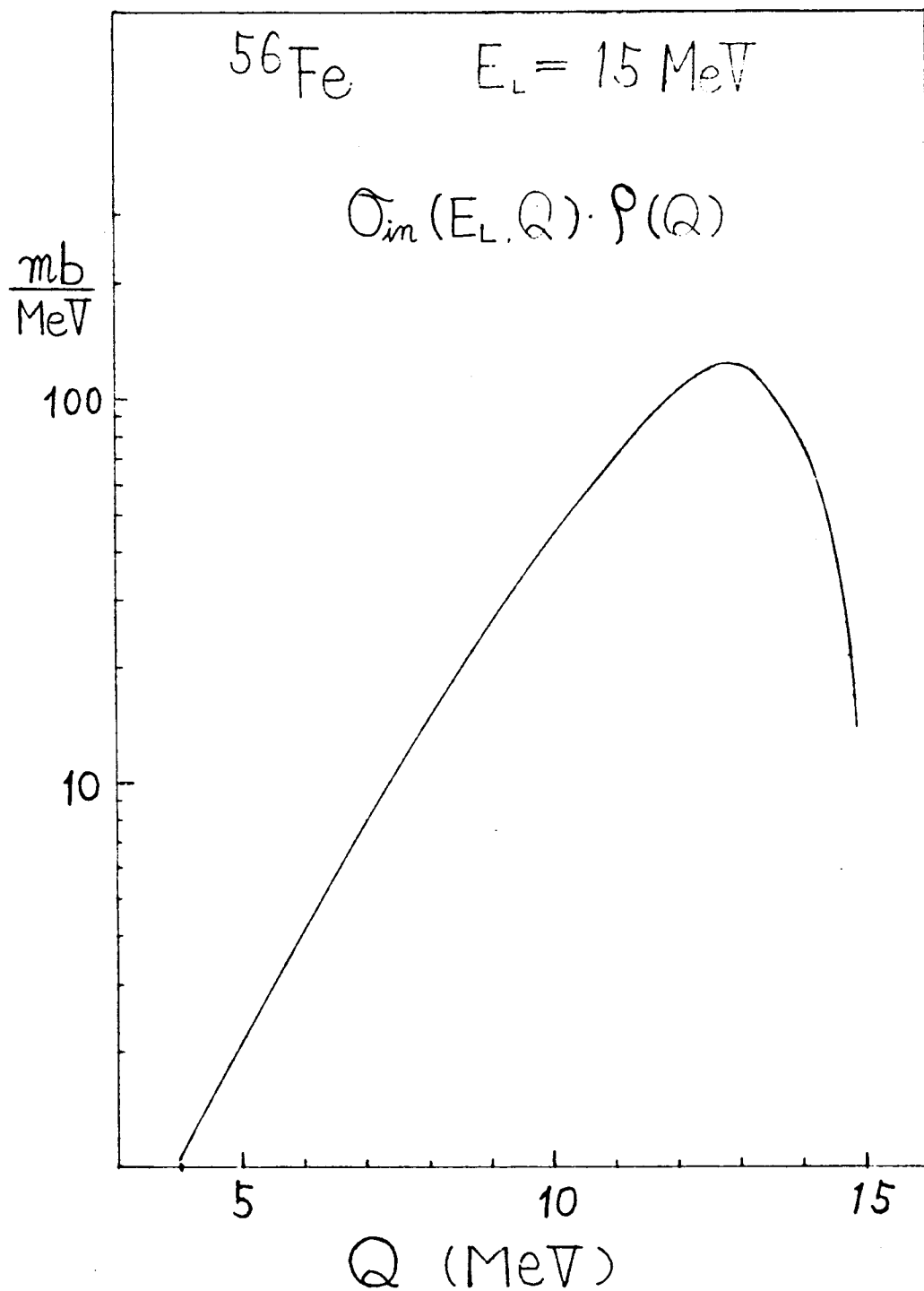
$E_L = 15 \text{ MeV}$ の場合の計算例を示す。第1図は(4)式を角度について積分した量で、いわゆる連続状態への非弾性散乱スペクトルを表す。横軸は \hat{Q}_L で、励起エネルギーを表す。この図は12.8 MeV 附近の励起エネルギー状態が最も励起され易いことを示している。

第2図は重心系で見た角度分布で、 90° を中心に前後対称であるが、 90° の値と 0° または 180° の値の差は10%以下であることを示している。JENDLではこの角度分布を角度によらず一様にしていて問題にされているが、この場合にはあまり問題ではないと考えられる。第3図には同じ角度分布を実験室系で見た場合を示す。

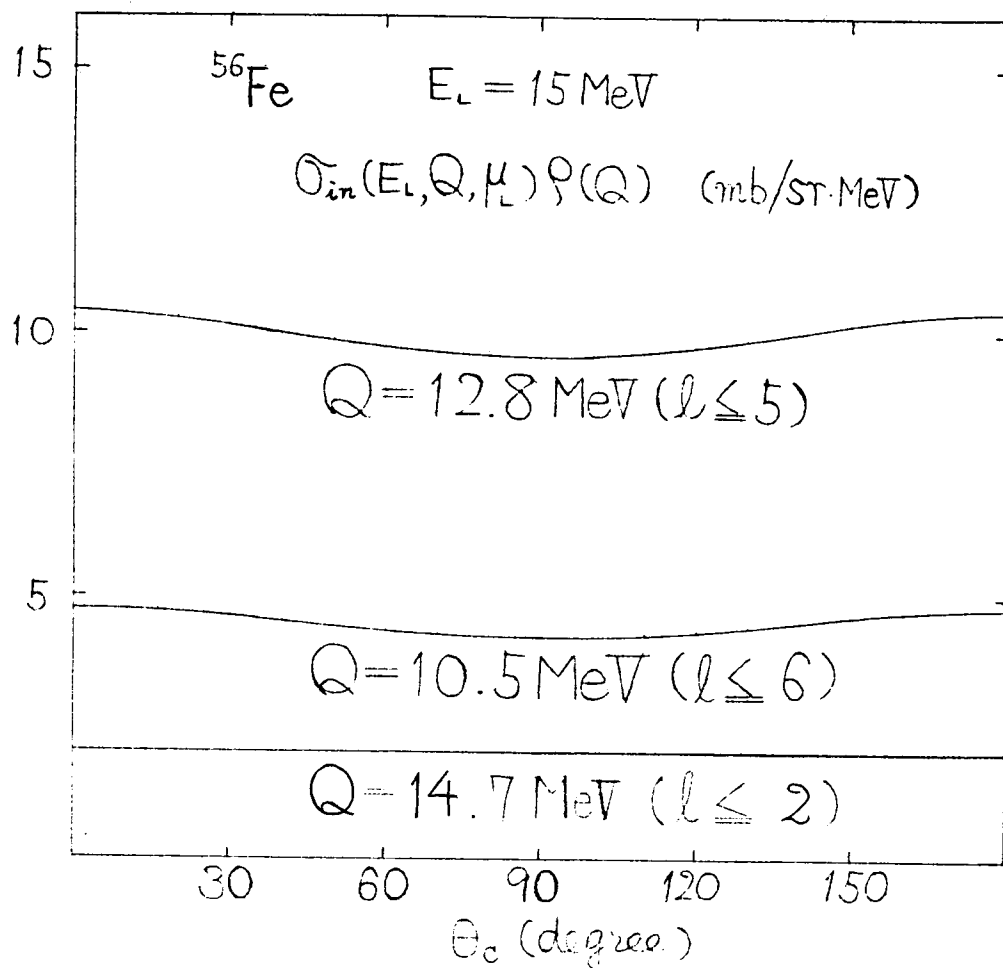
角度分布の角度依存性があまり問題にならないとすると、問題はむしろ断面積の大きさにあると考えられる。この励起状態の非弾性散乱断面積は測定がほとんどなく、どうしても計算を必要とするのでそれに必要な単位密度のパラメータなどが良く整えられている必要がある。

4. まとめ

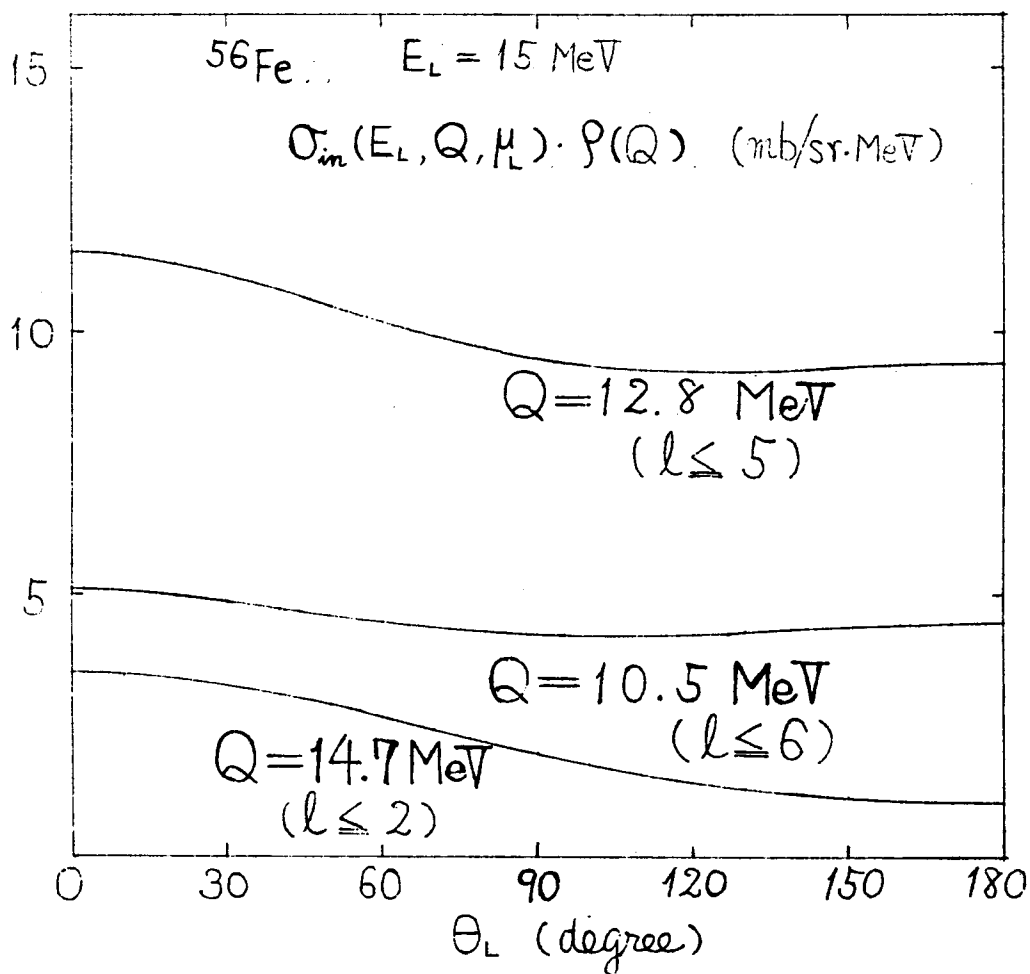
^{56}Fe についてDDXの計算例を示した。この例で見る限り、角度分布が重心系で一様(等方)とする近似はあまり問題にならない。むしろ断面積の大きさを正しく与えることの方が重要であると考えられる。しかし、もっと軽い核では別の要因があるので、この結論がそのままは成立たないであろう。一般的に言えば、励起準位ができるだけ高い励起のものまで良く判っていることが望ましい。更に、角度分布は低い励起準位の方がより重要になるので、直接過程の取り扱いを十分取り入れた評価が必要になる。



第1図 鉄による15MeV中性子の非弾性散乱スペクトル
横軸は励起エネルギー



第2図 鉄による 15 MeV 中性子の非弾性散乱断面積の角分布 (重心系)



第3図 鉄による 15 MeV 中性子の非弾性散乱断面積の角分布 (実験室系)