

V. Evaluation of the $^{10}\text{B}(n, \alpha)$ Cross Section and Branching Ratio [EUR 3950 e (1968)] by K. Gubernator and H. Moret

西村 和明(原研)

中性子データの標準として $^{10}\text{B}(n, \alpha)$ 断面積の重要性はよく知られていて、これまでも ^{10}B 断面積の収集、評価が行なわれてきた。しかし今までの報告には、 ^{10}B 断面積の事情を説明するのに役立つ最新のデータやコメントのすべてが考慮されていないうらみがあった。この評価では ^{10}B の標準断面積としての特殊性が考慮されている。すなわち各測定に使われた試料の天然Bに含まれる ^{10}B のアイソトピック存在比が吟味され(18.4~20.0 atom%), また各研究所のリファレンス・スタッフの試料でさえも、交換比較の測定により19.78~20.13 atom% (相対精度 $\pm 0.5\%$)の差があることがわかった。

この報告では今までの文献を Non-(n, α) 反応と (n, α) 反応に分類し、個々の文献についてその内容の特徴、断面積等の数値データを述べている。 σ_{nT} (全断面積)と σ_{nS} (散乱断面積)は収集していないが、 σ_{nA} (吸収断面積)に関する結果は、 $\sigma_{nT} - \sigma_{nS}$ として得られている。ただし $\sigma_{nS} = \sigma_{nn}$ とした。

Non-(n, α) 反応に含まれる反応として(n, n), (n, γ), (n, p), (n, t)を考慮している。(n, n)断面積については6件の文献の紹介がある。あとの3者の反応についてはそれぞれ1~3件の測定についての紹介がある。しかしこれらは、 σ_{nA} に対する寄与が非常に小さいため、100 keV 以下での $1/v$ 依存性からのずれを説明できず、また熱エネルギーでの $\sigma_{n, \alpha}$ に対する影響も説明できない。

Q値に関しては唯一の高精度測定であるGeelの最近の実験値を採用し、 $Q_0 = +2792 \pm 2$ keV としている。

(n, α) 反応では、i) 熱中性子エネルギーでの(n, α)断面積 $\sigma_{n, \alpha}^0$ およびii) 熱中性子から1 MeV までの(n, α)断面積に分けて評価している。

i) では6件の文献の寸評をのせ、これらのうちから測定に使用した試料の分析が信頼できるもの3件を取り、この3件のWeighted mean として $\hat{\sigma}_{n, \alpha}^0 (^{10}\text{B}) = (3835 \pm 14) \text{ b}$ を求めた。誤差は95% confidence levelとして計算されている。

ii) ではRice, Duke, Argonne, Aldermaston, Harwell, Oak Ridgeにおける実験を検討し、熱中性子から300 keV までの間で、最も精密な4件のデータ・セットを選択した。これから $\sigma'_{n, \alpha} = C \cdot E^{-1/2}$ を仮定して、i)の推奨値 $\hat{\sigma}_{n, \alpha}^0 = (3835 \pm 14) \text{ b}$ を使って $C = (19.274 \pm 0.071) \text{ b} \cdot \text{keV}^{1/2}$ を求めた。誤差は上と同じく95% confidence limitsに対応するものである。

次に“ $1/v$ ” $\sigma'_{n,\alpha}$ と測定 $\sigma_{n,\alpha}$ との差を求め、エネルギーの関数として第3図にプロットしてある。この差 $\delta(E_n)$ を $\delta(E_n) = A + B \cdot E_n^{+1/2} + D \cdot E_n$ (1) とし、weighted least squares fit で A, B, D の各係数を求めた：

$$\left. \begin{aligned} A &= -(0.32 \pm 0.05) b \\ B &= +(0.079 \pm 0.012) b \cdot \text{keV}^{-1/2} \\ D &= -(0.0039 \pm 0.0006) b \cdot \text{keV}^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (\text{誤差は標準偏差})$$

この結果、推奨値として $\hat{\sigma}_{n,\alpha} = \sigma'_{n,\alpha} + \delta(E_n)$ がきまり、これによる計算値がⅢ表にのっている。表中の誤差 $\Delta \sigma_{n,\alpha}$ は 95% confidence limits で与えられている。これは、

i) 熱中性子値 $\hat{\sigma}_{n,\alpha}^0$ の不確定さ、すなわち係数 C における誤差

ii) 散乱断面積の不確定さ

iii) 最小自乗法 fit の定数と係数における誤差

から計算されたものである。

Branching Ratio R は、ここでは $^{10}\text{B}(n, \alpha)$ が ^7Li の基底状態に行く確率として定義している。すなわち、

$$R = 100 \cdot \sigma_{n,\alpha_0} / \sigma_{n,\alpha} \quad \text{with} \quad \sigma_{n,\alpha} = \sigma_{n,\alpha_0} + \sigma_{n,\alpha_1}.$$

熱中性子エネルギーでの R は R^0 とし、16件の文献を紹介して、そのうちGeelの実験だけを推奨している： $\hat{R}^0 = 6.308 \pm 0.012$ 。誤差はGeelの測定の標準偏差0.0064 から計算された95% confidence limits のものである。

熱中性子から1 MeV までの領域の R については7件の文献を挙げ、これから4件が熱中性子から30 keV の間で最も精密なデータ・セットとして採用された(前の $\sigma'_{n,\alpha} = C \cdot E^{-1/2}$ における C の決定に採用した理由と同じである。)

この4件のデータ・セットから unweighted mean として $R = 6.3 \pm 0.13$ (標準偏差) が $20 \text{ eV} < E_n < 30 \text{ keV}$ で求まった。 $\hat{R}^0 = 6.308 \pm 0.012$ を考慮して、推奨値としての $\hat{R}$ は、 $\hat{R} = 6.3 \pm 0.3$ (95% confidence limits) となった。30 keV 以上では、原著者による標準偏差にもとづいた weight をつけて、 $R = C + A(E_n - 30)^2 + B(E_n - 30)^3$ (2) により最小自乗法 fit が適用された。ここで E_n は keV 単位、 $C = 6.3$ としてある。significant test を行なった結果、3次以上の項は $E_n < 300 \text{ keV}$ で no significant improvement (F-test, 5% level) であった。この結果 $30 \text{ keV} < E_n < 100 \text{ keV}$ で次の定数をもった(2)式が推奨されている：

$$\left. \begin{aligned} C &= 6.3 \pm 0.1 \\ A &= (2.1 \pm 0.1) 10^{-4} \text{ keV}^{-2} \end{aligned} \right\} \quad (\text{誤差は標準偏差})$$

$$B = -(3.6 \pm 0.6) 10^{-7} \text{ keV}^{-3}$$

最後に、この評価の結果求めた $\hat{\sigma}_{n,\alpha}$, $\hat{\sigma}_{n,\alpha_1}$, $\hat{R}$ が confidence limit 95% で計算され $\Delta \hat{\sigma}_{n,\alpha}$, $\Delta \hat{\sigma}_{n,\alpha_1}$, $\Delta \hat{R}$ と共に数値として第Ⅲ表にまとめてある。

表の使い方で注意したいのは、 $\hat{\sigma}_{n,\alpha}$ と $\hat{\sigma}_{n,\alpha_1}$ の値を linear interpolation で求めるのは正しくない！と強調していることである。