

# 低エネルギー ${}^6\text{Li}$ 偏極度計についての検討

A. Tamii

13-NOV-2003

## 1 序

サイクロトロンによる加速を行わずに、イオン源からの  ${}^6\text{Li}$  イオンビームのテンソル偏極度を  ${}^2\text{H}({}^6\text{Li}, \alpha){}^4\text{He}$  反応により測定する可能性を検討する。

## 2 散乱断面積

最初に、 ${}^6\text{Li}^{n+}$  の実験室系でのエネルギーを、 $E_{6\text{Li}}=100 \text{ keV}/A = 600 \text{ keV}$  として計算を進める。ここでは、 ${}^6\text{Li}$  の電荷は問わない。

低エネルギーでの全断面積は、Astrophysical S-Factor を用いて以下の様に表される [1, 2]。

$$\sigma(E) = \frac{S(E)}{E} \exp(-2\pi\eta) \quad (1)$$

$E$  は重心系エネルギー、 $\eta$  は Sommerfeld (Coulomb) パラメータで下記のように表される [3]。

$$\eta = \frac{Z_a Z_A e^2}{\hbar v} = \frac{Z_a Z_A \alpha}{\beta} \quad (2)$$

$Z_A$  は入射  ${}^6\text{Li}$  核の電荷 (=3)、 $Z_a$  は標的  ${}^2\text{H}$  核の電荷 (=1)、 $v$  および  $\beta$  は相対速度、 $\alpha$  は微細構造定数 (=1/137) である。

重心系のエネルギーは実験室系のエネルギーを用いて

$$E = \frac{m}{m+M} E_{6\text{Li}} = 150 \text{ keV} \quad (3)$$

と表される。 $m$  は  ${}^2\text{H}$  の質量、 $M$  は  ${}^6\text{Li}$  の質量である。

$\beta$  を計算すると、

$$\beta = \frac{v}{c} = \sqrt{\frac{2E}{\mu c^2}} = 1.5 \times 10^{-2} \quad (4)$$

ここで  $\mu$  は換算質量で

$$\mu = \frac{mM}{m+M} = 1.5 \text{ AMU} \quad (5)$$

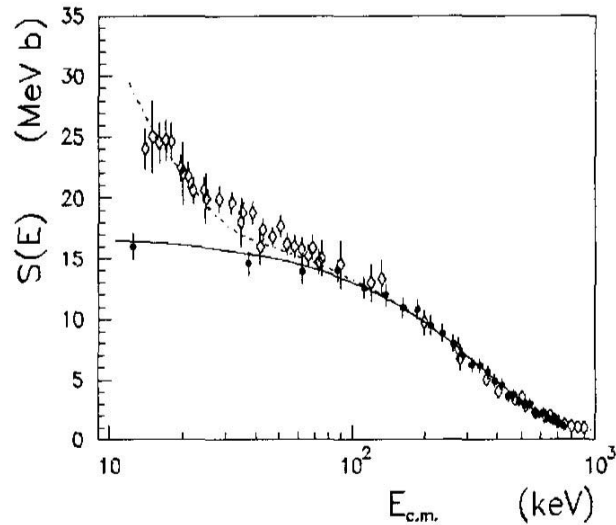


Figure 1:  ${}^2\text{H}({}^6\text{Li}, \alpha){}^4\text{He}$  反応の Astrophysical S Factor (Ref. 4 より引用)。黒丸は、直接測定  
のデータ [5]、白丸は  ${}^6\text{Li}({}^6\text{Li}, \alpha\alpha){}^4\text{He}$  反応による間接測定 (Trojan Horse Method) のデータ [1, 6]。  
点線と実線は、それぞれの測定方法に対する理論曲線 [4]。

以上を (2) に代入すると、

$$\eta = 1.8 \quad (6)$$

が得られる。

S-Factor は、Ref. 4 (図 1 黒丸と実線) を参考にすると、150 keV 付近では 13 MeV b 程度でエ  
ネルギー依存性は小さい。

式 (1) に代入して、

$$\sigma(E) = \frac{S(E)}{E} \exp(-2\pi \times 1.8) = \frac{13 \text{ MeV b}}{0.15 \text{ MeV}} \times 8.1 \times 10^{-5} = 7.0 \text{ mb} \quad (7)$$

### 3 標的厚

エネルギーが下がるとともに散乱断面積は急激に減少するので、入射エネルギーが 10%減少する  
間のみ反応が起きるとして、 $\text{CD}_2$  中の標的厚をラフに計算する。

Ref. 7 より、100 keV/A での  ${}^6\text{Li}$  の炭素中でのエネルギー損失は  $2.6 \text{ MeV mg}^{-1} \text{ cm}^2$  程度  
である。(図書室に文献が見あたらなかったため、手元にあるコピーの水素・炭素入射に関する  
100 keV/A における値から類推した)。

CD<sub>2</sub>でも同様のエネルギー損失であるとする、エネルギーの10% (60 keV)を失う間に通過する厚さは  $2.3 \times 10^{-2} \text{ mg/cm}^2$  程度。この厚さ中の重水素標的の厚さは

$$T = 2.3 \times 10^{-2} \times \frac{2 \times 2}{12 + 2 \times 2} = 5.8 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2 \quad (8)$$

## 4 イベント量

${}^2\text{H}({}^6\text{Li}, \alpha){}^4\text{He}$  反応の Q 値は 22.372 MeV と大きい。同種粒子への 2 体崩壊で、実験室系で 11.2 MeV の  $\alpha$  粒子 2 つが反対方向に出ると考えて良い。

標的直後にディグレーダーを挟んだ後 (バックグラウンド軽減の為)、シリコン検出器により全立体角の 1/4 を覆い、シングルカウンタ測定をしたとすると、同種粒子 2 体崩壊の条件から立体角は 2 倍得をして、 $4\pi$  の 1/2 となる。

${}^6\text{Li}^{3+}$  のビーム量が  $1 \text{ e}\mu\text{A} = 330 \text{ pA}$  であったとすると、単位時間当りのイベント量 ( $Y$ ) は、

$$Y = 3.76 \times 330 \text{ pA} \times \frac{5.8 \times 10^{-3} \text{ mg/cm}^2}{2} \times 7.0 \text{ mb} \times \frac{1}{2} \times 1000 = 1.3 \times 10^4 \text{ cps} \quad (9)$$

偏局分解能が  $A_{ZZ} \sim -1$  程度であるとする [8]、ビームテンソル偏極度  $p_{ZZ}$  の統計誤差を 0.01 程度にするには、約 80,000 個のデータを溜める時間が必要。

$$t = 80,000/Y = 6.2 \text{ sec} \quad (10)$$

## 5 ビームエネルギーが半分の場合

ビームエネルギーが半分の 50 keV/A であった場合、

- 重心系エネルギー ( $E$ ) は 1/2
- $S(E)$  の変化は小さい
- $\beta$  は  $1/\sqrt{2}$ 、 $\eta$  は  $\sqrt{2}$  になるので、 $\exp(-2\pi\eta)$  は  $(8.1 \times 10^{-5})^{\sqrt{2}-1} = 0.020$  倍

従って、散乱断面積は、 $2 \times 0.020 = 0.040$  倍となる。

標的厚は、

- 厚さあたりのエネルギー損失は 80% 程度に減る (増えない!)
- ビームエネルギーの 10% は、1/2 になる。

より、 $(1/2)/0.8 = 0.6$  倍程度となる。

従って、単位時間当りのイベント量は  $0.040 \times 0.6 = 0.024$  倍、つまり 1/40 程度に減る。同じ統計誤差を溜めるための時間は 40 倍で 250 秒程度になる。エネルギーが下がった場合の影響は非常に大きい。

しかし、 ${}^6\text{Li}^{3+}$  が 50 keV/A で  $1 \text{ e}\mu\text{A}$  程度出るのであれば、この測定方法には可能性があることになる。加速電圧は 100 kV。

## 6 その他

### その他の要請

- 標的からビームカレントが読み出せること
- 標的が溶けないこと。50 keV/A、1 e $\mu$ A の条件では、発熱量は 0.1 W。

## References

- [1] C. Spitaleri *et al.*, Nucl. Phys. A **719** (2003) 99c.
- [2] W.A. Fowler, Rev. Mod. Phys. 56 (1984) 149.
- [3] 例えば、G.R. Satchler, Direct Nuclear Reactions, pp. 121.; 河合、吉田著「原子核反応論」(朝倉書店,2002) pp. 63.
- [4] R.G. Pizzone *et al.*, Nucl. Phys. A **718** (2003) 496c.
- [5] S. Engster *et al.*, Z. Phys. A **342** (1992) 471.
- [6] A. Musumara *et al.*, Phys. Rev. C **64** (2001) 068801.
- [7] L.C. Northcliffe and R.F. Schiling, Nucl. Data Sheets **A7** (1970) 223.
- [8] F. Seiler *et al.*, Nucl. Phys. A **286** (1977) 1.