

原子核の回転バンドの観察

上垣内 中尾

2004年6月29日

1 実験の目的

$190 \geq A \geq 150$ 、 $A \geq 200$ の領域の原子核の電気四重極モーメントは大きな値をとることが知られており、このため原子核には回転状態が存在する。この実験では特に偶-偶核の基底回転状態のエネルギー準位を観測し、そこで得られた情報から慣性モーメント、電気四重極モーメントを決定する。

2 実験の原理

回転状態を見る方法はいくつかあるが、ここでは約 50 MeV の α 線を入射し、回転帯内 γ 線遷移によって放出された γ 線を計測する。観測されるエネルギースペクトルは一般に $fig. 1^1$ のようになる。

- 得られた γ 線スペクトルの解析方法

γ 線スペクトルの解析は (1) ピークの角運動量とパリティの決定、(2) 慣性モーメントの決定、(3) 電気四重極モーメントの決定、を行う。

(1) 角運動量とパリティの決定

回転バンドのエネルギーは

$$\hbar^2/2I \times I(I+1)$$

¹図は別紙

(ただし、 i は慣性モーメント、 I は原子核のスピン) であり、 $I \rightarrow I - 2$ の $E2$ 遷移では、 γ 線ピークのエネルギー ΔE は

$$\hbar^2/2i \times (4I - 2)$$

よって

$$\Delta E_1 / \Delta E_2 = (2I_1 - 1) / (2I_2 - 1)$$

よりピークの相対的なスピンの値が決まる。(パリティ保存のため奇数次の遷移は起きず、高次の遷移確率は非常に小さいので、 $E1$ 遷移に関しては、 L は 2 としてよい。) 偶-偶核では基底状態は 0^+ なので、 $\Delta E(2^+ \rightarrow 0^+)$ が最も小さいエネルギーピークとなるはず。

(2) 慣性モーメントの決定

$\Delta E = \hbar^2/2i \times (4I - 2)$ より i が決まる。

(3) 電気四重極モーメント Q の決定

基底回転バンドにおいては

$$Q = Q_0 \times \frac{-I(I+1)}{(2I+3)(I+1)}$$

となり (Q_0 は核固定座標から見た電荷分布に対応する定数で、電荷分布の偏りを表している。) Q_0 は

$$5/16\pi \times e^2 Q_0^2 < I_i 0 2 0 | I_f 0 >^2 = 75/4\pi \times \hbar^6 c^5 / E_\gamma^5 \times T$$

で表され、 E_γ は $E2$ 遷移で放出される γ 線のエネルギー、 T は $E2$ 遷移の遷移確率 (= ピークのエネルギー幅 $\times \hbar$)、 $< I_i 0 2 0 | I_f 0 >$ はクレブシュ・ゴールドン係数。よってこれらから Q_0 が決まる。

3 実験

3.1 実験の流れ

50MeV のエネルギー、50nA の強度を持った α 線をサイクロトロン、またはタンデム加速器によって作る。ビームは 2ns の幅のパルスを 74ns おきに出す。

これを金属酸化物のターゲットに衝突させて、 $^{158}\text{Gd}(\alpha, 4n\gamma)^{158}\text{Dy}$ のような反応を起こし、励起した原子核を作る。ここから出てくる γ 線のエネルギーを半導体検出器 (Ge(Li) 検出器) で測定する。

3.2 実験装置

図1のような装置を作る。

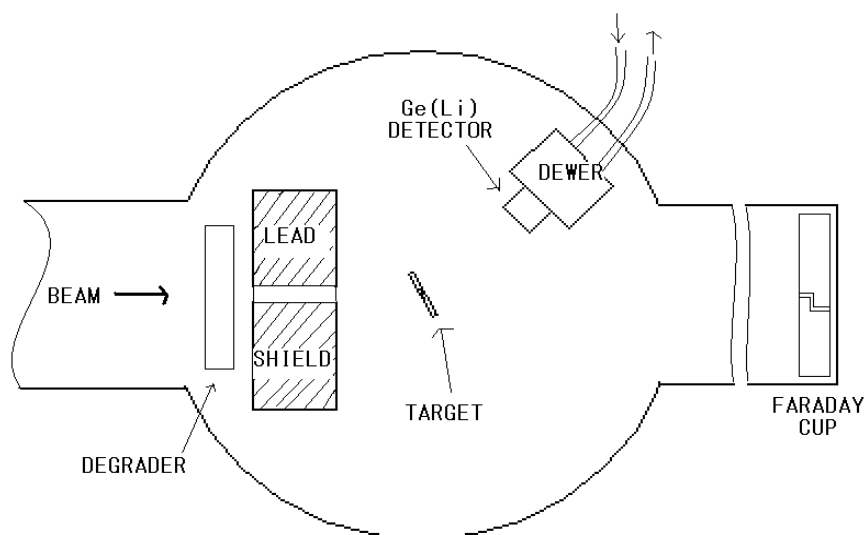


図 1: 装置

入射ビームは4重極磁石により収束される。degraderによってエネルギーが調節される。

ターゲットは、 $3\mu\text{m}$ のmylar(ポリエステルフィルム)に $3\sim 5\text{mg}/\text{cm}^2$ の金属酸化物をdepositしたものである。

γ 線は、ビームに対して 55° の位置におかれたGe(Li)検出器で検出する。検出器は図のような形をしている。ここに γ 線が通ると、electronとholeの対が生成する。これは液体窒素によって冷却されている。検出器の面積は 0.5cm^2 である。これに100Vの電圧をかけると、electronもholeも100ns程度で端まで移動する。

FARADAY CAPは、ビームが装置の中央に入っているかを調べる装置。

4 誤差解析

Ge(Li)検出器はエネルギー分解能がよく、1MeVで $1\sim 2\text{keV}$ 程度の誤差になる。よって、エネルギーは0.2%の精度で測定できる。入ったエネ

ルギーと検出される電流の非線型性が 0.5 % 程度あるので、キャリブレーションと測定するエネルギーによっては誤差は最大 0.5 % になる。

励起状態の寿命によるエネルギーの幅は 5keV 程度と予想される。一方、検出器の相対的な値に 2keV 程度の誤差があるので寿命の誤差は 40 % になる。

電気 4 重極モーメントの射影因子 Q_0 は、

$$\frac{5}{16}e^2Q_0^2 < I_i 0 2 0 | I_f 0 >^2 = \frac{75}{4\pi} \frac{\hbar^6 c^5}{E_\gamma^5} T$$

より、 $\delta Q_0/Q_0 \approx 1/2(\delta T_0/T_0)$ に代入すると、($T = 1/(\text{寿命})$) なので、誤差は 20 % になる。

慣性モーメント j は、

$$\Delta E = \frac{\hbar}{2j}(I_i(I_i + 1) - I_f(I_f + 1))$$

で表されるので、 $\delta \Delta E/E \approx -(\delta j/j)$ によって誤差は 0.5 % になる。

5 その他の問題点

この実験の (α, xn) の反応で、 $(\alpha, (x-1)np)$ 反応が起こる cross section は小さい。なぜならば、低いエネルギーの陽子はクーロン障壁によって核から出ることができないからである。

(α, xn) 反応が起きるようなエネルギーで α を入射したとき、 $(x-1)$ 個または $(x+1)$ 個の中性子が出てくる可能性がある。奇核はエネルギー準位が基底状態に近いものが多いのでこれは問題になるほど多くなりうる。このとき、 $(\alpha, (x+1)n)$ や $(\alpha, (x-1)n)$ の反応によって生じた核による γ を区別するために、少しエネルギーを増減させて実験を行う。エネルギーを増やしたときに増える γ は、 $(\alpha, (x+1)n)$ 、減る γ は $(\alpha, (x-1)n)$ によって生じた核によるものと分かる。エネルギーを減らしたときに増える γ は、 $(\alpha, (x-1)n)$ 、減る γ は $(\alpha, (x+1)n)$ によって生じた核によるものと分かる。

バックグラウンドがどれだけあるかを調べるために、Ge 検出器とターゲットの間に 10mm の鉛を置いて実験を行う。これで測定された量がバックグラウンドと思われる。