

透過型だけ見つめてる

吉田晃

平成 17 年 11 月 10 日

お詫びと訂正

前回発表したデータに誤りがありました。お詫びして訂正致します。

表 1: γ 線の radiation length(fitting の結果と web 上のデータとの比較)

	鉛	鉄
密度	11.34 g/cm ³	7.87 g/cm ³
質量吸収係数 (2.0MeV)	0.0461 cm ² /g	0.0427 cm ² /g
質量吸収係数 (1.5MeV)	0.0522 cm ² /g	0.0488 cm ² /g
質量吸収係数 (1.78MeV)	0.0487 cm ² /g	0.0453 cm ² /g
radiation length(from web data)	1.81 cm	2.80 cm
radiation length(from fitting)	1.76 ± 0.128 cm	3.07 ± 0.095 cm

1 Who are we?

舟橋さんが「答えを知っているのが学生実験の苦しさ」とおっしゃるようにどんな立場で実験をするのかは重要です。実験までのシナリオを考えてみました。

1. QDE をマスター (鉄との γ 線の振る舞いもスピンも考慮してよく知ってるぜ)
2. 弱い相互作用を勉強するがパリティが破れるなんて信じられん!
3. 理論が本当に正しいか自分たちの目で確かめよう!!

これからはここに書いた台本の役になりきりましょう。

実験のとりあえずの目標は

$$\text{「}\beta - \gamma\text{の coincidence で}\gamma\text{線の偏極率が??である。} \quad (1)$$

に設定すればいいかと思います。?? を十分有限値にすれば僕らの勝ちです。

2 透過型の理論的なおさらい

2.1 よく出てくる物理量のおさらい

- τ_t : 鉄での γ 線の全断面積 (対生成、compton、光電効果をあわせて 3.8barn)
- σ_c^\pm : 偏極によって変化する compton 散乱の断面積 ($\sigma_c^\pm = \mp 0.021\text{barn}$)
- f : 鉄電子の偏極度 (外から 20000gauss かけたとき 0.08)
- N : 単位体積あたりの鉄の原子数 (8.46×10^{22} 個/cm²)
- E : γ 線のエネルギー (1779keV)
- L : 鉄の厚さ (1cm ~ 10cm 程度)
- P_c : γ 線の偏極度 (-1 ~ 1、0 が無偏極、そしてこの実験で求める最後の数値)
- Z : 鉄の陽子数 (26)

2.1.1 Asymmetry の値と誤差

まず全断面積は

$$\sigma_{\text{total}} = \tau_t + fZP_c\sigma_c \quad (2)$$

光子の偏極方向と平行 (反平行) に磁場をかけたときの透過した count 数を N_+ (N_-)、Ge-detector のもつ立体角に飛んでくる γ 線を N_{inc} とすると

$$N_{\pm} = N_{\text{inc}} \times \exp \{ -NL(\tau_t + ZfP_c\sigma_c^\pm) \} = (\text{磁場に影響されない数}) \times e^{-NLZfP_c\sigma_c^\pm} \quad (3)$$

よって asymmetry は

$$A = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} = \tanh(NLZfP_c\sigma_c^-) \quad (4)$$

$NLZfP_c\sigma_c^- = \varepsilon$ と置くと相対誤差は

$$\frac{\Delta A}{A} \simeq \frac{\Delta N_+ + \Delta N_-}{N_+ - N_-} = \frac{\sqrt{N_{\text{inc}}e^{-NL\tau_t}}(\sqrt{e^{-\varepsilon}} + \sqrt{e^{\varepsilon}})}{N_{\text{inc}}e^{-NL\tau_t}2 \sinh \varepsilon} \quad (5)$$

$\varepsilon \simeq 0.02$ ($P_c=1$ として) となり十分小さい。近似をすれば

$$\frac{\Delta A}{A} \simeq \frac{e^{NL\tau_t/2}}{\sqrt{N_{\text{inc}}\varepsilon}} = \frac{1}{\sqrt{N_{\text{inc}}NZfP_c\sigma_c^-}} \times \frac{e^{NL\tau_t/2}}{L} \quad (6)$$

最後の部分を L (鉄の厚さ) の関数として最小値を求めると微分の結果

$$N\tau_t L_0 = 2 \quad (7)$$

を満たす L_0 (これは radiation length の 2 倍の長さ) がもっとも精度よく実験できることがわかる。鉄に 1779keV の γ 線が入射するという条件下では

$$L_0 = 5.60 \text{ [cm]} \quad (8)$$

assymetry の値とその誤差は大きく P_c によるのでまだ見積もることはできないが 33 % よりは小さいことが予想される。25 % ぐらいを代入すれば $\varepsilon = 0.005$ 、 $A = 0.5 \%$ となる。

$$\frac{\Delta A}{A} = \frac{e}{\sqrt{N_{\text{inc}}} \times \varepsilon} \geq \frac{1}{5}$$

を要求するなら $N_{\text{inc}} \simeq 700$ 万、検出量としての $N_{\pm} \simeq 100$ 万程になり 4 倍ほど多く count をためる必要があることがわかる。

3 具体的な design と count 数

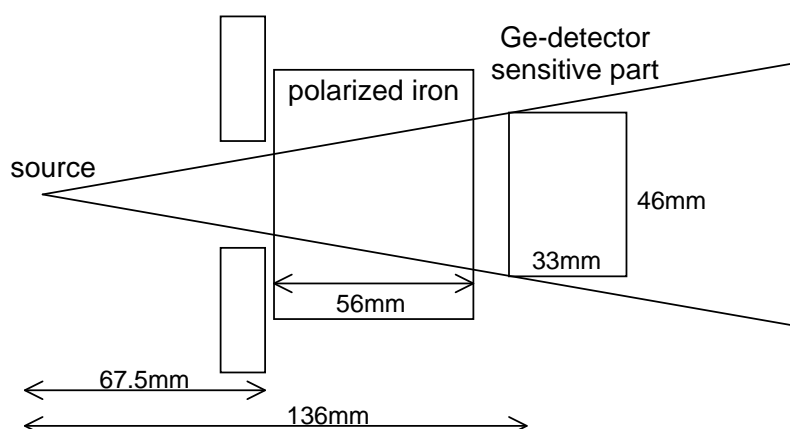


図 1: 透過型の design

この図での立体角の割合は $0.007 = \frac{1}{140}$ 透過率は $\frac{1}{e^2}$ より γ 線の検出に関しては $\phi_{\text{trans}} = 9.47 \times 10^{-4}$ 。これに対し散乱型での検出率は $\phi_{\text{scat}} = 1.08 \times 10^{-4}$ 。4 倍多くためることを考慮してもこの時点では透過型有利である。しかし、検出器の検出効率 (Ge と GSO) まで入れて考えると結局どちらがいいかはあまりわからない。

4 なぜ透過型か？

- Ge-detector と GSO-detector を比べたときに明らかに Geの方が今のところがんばってくれているから
- 角度依存性などを含まず全断面積だけの議論なので解析がしやすそう
- 人がしていないことをしてみたい年頃
- まだ解決していない問題を含む散乱型 (GSO の性能、compton 散乱のスペクトル) に対し、透過型はとりあえず実験できそう

5 もう1回テスト実験するとしたら

- 鉄の吸収係数が公表されているデータとあわないのは気になる
- 小型散乱槽 (立方体) で真空を引いてビームを出せるのか
- Ge-detector がいかれないような最大のビーム強度は

6 今後やること

- (テスト)Ge-detector の検出効率テスト (強度がわかっている線源を使って)
- (テスト) β 線の coincidence のテスト
- (テスト) 鉛で遮蔽するとどのくらい background を減らせるか
- (テスト) ビーム on/off 切り替えの間隔を長くする
- (レポート) $\Delta A/A$ はいくつにすればいいの？
- (レポート) 偏極度 P_c って何？
- (考察) background としてはどんなデータを用意するべきか

参考文献

- [1] H.Schopper, Measurement of Circular Polarization of γ -rays
1958, Nuclear Instruments 3 (P158-P176) [特に 3.3 節 Transmission の部分]