

テスト実験の解析

Ge 検出器で見たデータ

吉田晃

平成 17 年 11 月 10 日

Ge 検出器および MCA の使い方に関するマニュアル的なものは次のテスト実験までに用意いたしますのでここでは省略させていただきます。

1 MCA でみたいろいろなスペクトル

1.1 ^{60}Co による energy calibration

エネルギーのわかっている ^{60}Co でエネルギーとチャンネルを対応づける。今回は 2 点での 1 次関数 fit で calibration した。

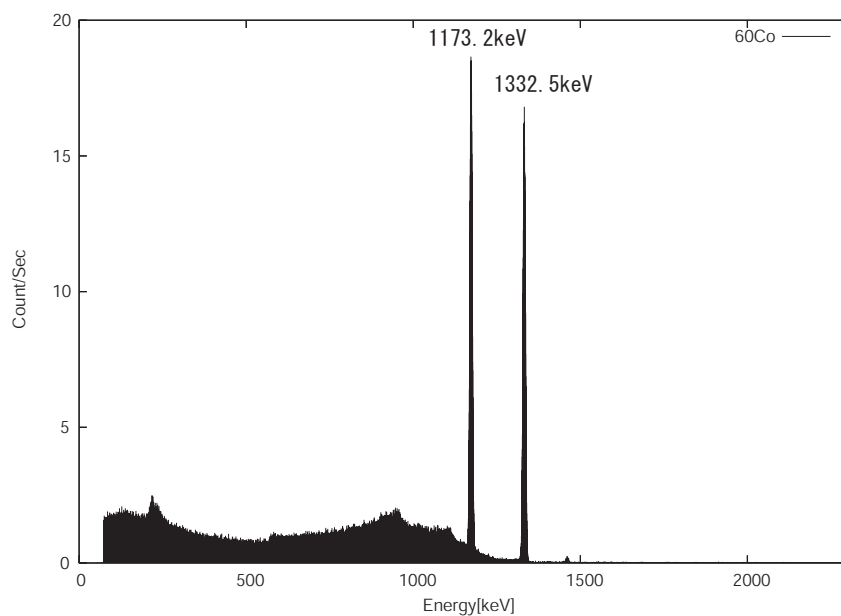


図 1: ^{60}Co による energy calibration

1.2 ビームを照射したアルミホイルからのスペクトル

縦軸を1秒あたりのカウント数にして強度の基準をそろえた。

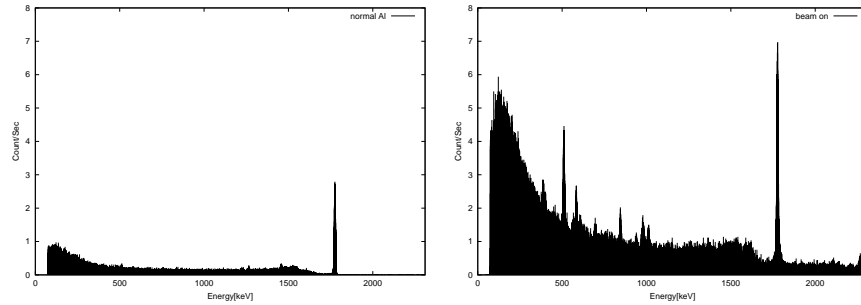


図 2: ビームが出ていないとき (左) と出ているとき (右)

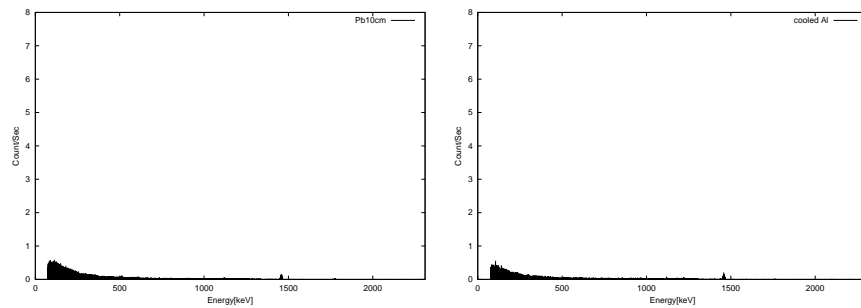


図 3: 鉛で遮蔽したものと (左) ビームをとめて15分後 (右)

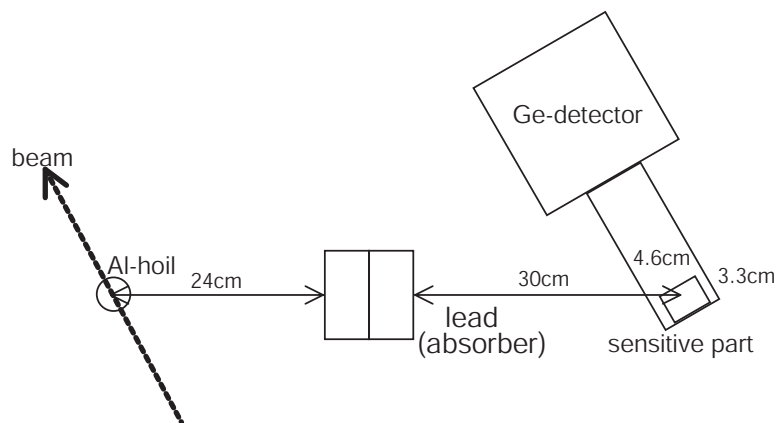


図 4: 鉛による遮蔽の様子

1.3 background について

background のデータとして最適なものはビームを照射して十分時間がたっていてまた Ge-detector に対して遮蔽していないものであるが、残念ながら今回そういったデータはとっていなかった。近いものとしてビーム照射後 15 分たって鉛 2 枚と compton 散乱用の鉄を遠めに 2 枚 (詳しくはあとで説明) 置いたデータを background とみなす。

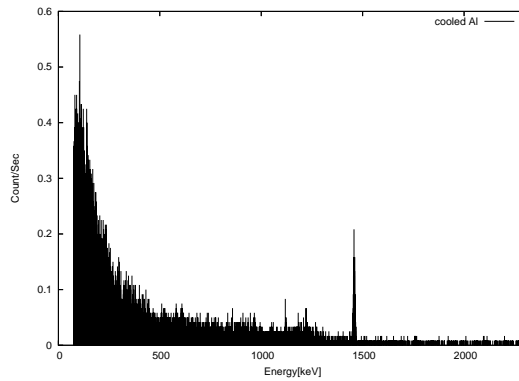


図 5: ビームをとめて 15 分後のスペクトル

1460keV あたりに見えるピークはコンクリート中に含まれるカリウムあたりが怪しいのではという舟橋さんのご指摘どおり ^{40}K の崩壊図の中に 1460keV の γ 線を見つけることができた。参考までに ^{40}K の存在比率も載せておいた。

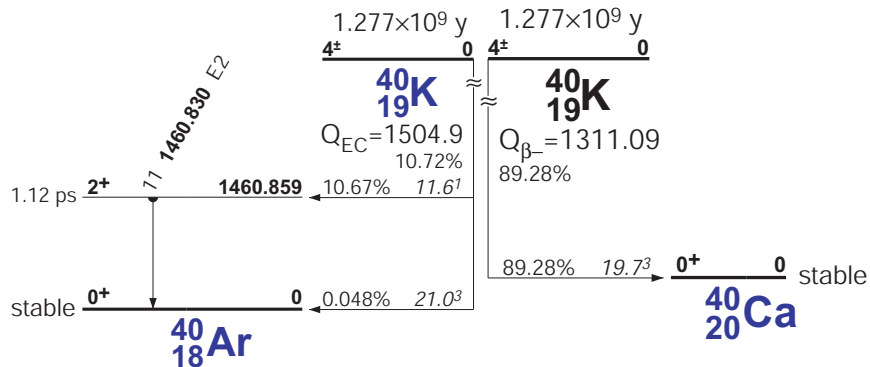


図 6: ^{40}K の崩壊

表 1: カリウム同位体の存在比率

同位体	存在比率
^{39}K	93.26 %
^{40}K	0.012 %
^{41}K	6.73 %

2 鉄と鉛による γ 線の減衰

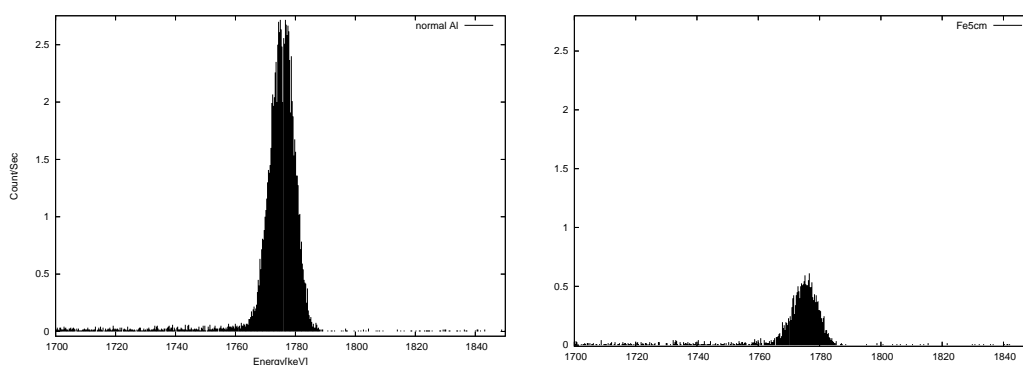


図 7: ピークの拡大図 (2分照射後の遮蔽なし [左] と鉄 5cm の遮蔽 [右])

ピークの図から 1750keV ~ 1800keV の間を足し合わせたものを比べてみた。統計誤差はカウント数のルート。ちなみに鉄 5cm のデータは透過型で実験をするときには重要になるデータであると思われる。

鉄については 1cm と 4cm のものもデータをとっていたが明らかに間違っていたので (ビームの電流が弱くなっていた、計測時間がわからない etc) 少ないデータになってしまった。

表 2: 鉄と鉛を置いたときのピークのカウント数

	ピークの強さ	back ground を引く	統計誤差
遮蔽なし	85.43	85.23	0.898
background	0.21	-	0.042
Fe 5cm	18.05	17.85	0.433
Fe 10cm	3.36	3.15	0.210
Pb 5cm	4.77	4.56	0.242
Pb 10cm	0.76	0.55	0.098

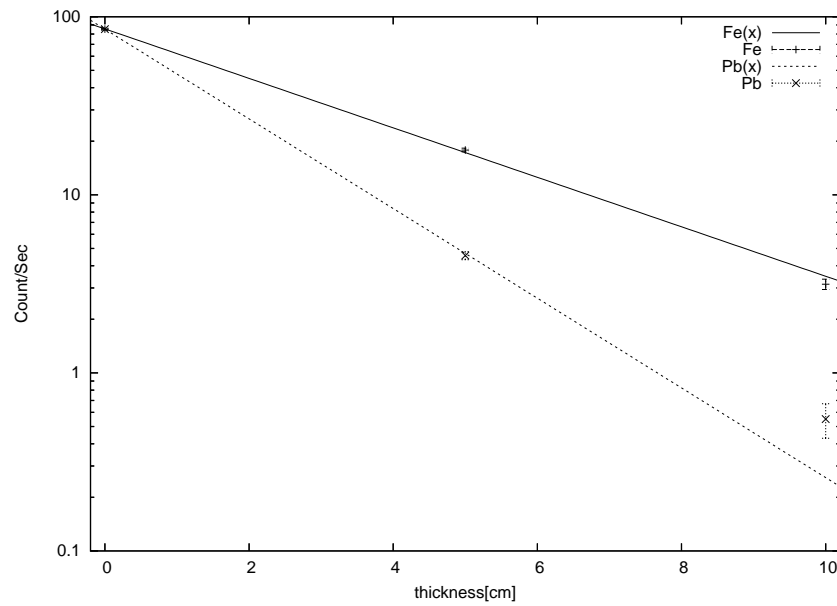


図 8: 鉄と鉛による減衰 (直線は fitting したものの)

図 8 はグラフが log スケールであることを考慮すればよく fit できているといえるだろう。web のデータにも誤差の範囲内に入ることができ γ 線の吸収については予想通りに振舞うといえる。

表 3: 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	0.0362 cm ² /g
質量吸収係数 (1.5MeV)	0.0522 cm ² /g	0.0427 cm ² /g
質量吸収係数 (1.78MeV)	0.0487 cm ² /g	0.0409 cm ² /g
radiation length(from web data)	1.81 cm	3.11 cm
radiation length(from fitting)	1.76 ± 0.128 cm	3.07 ± 0.095 cm

3 鉄による compton 散乱

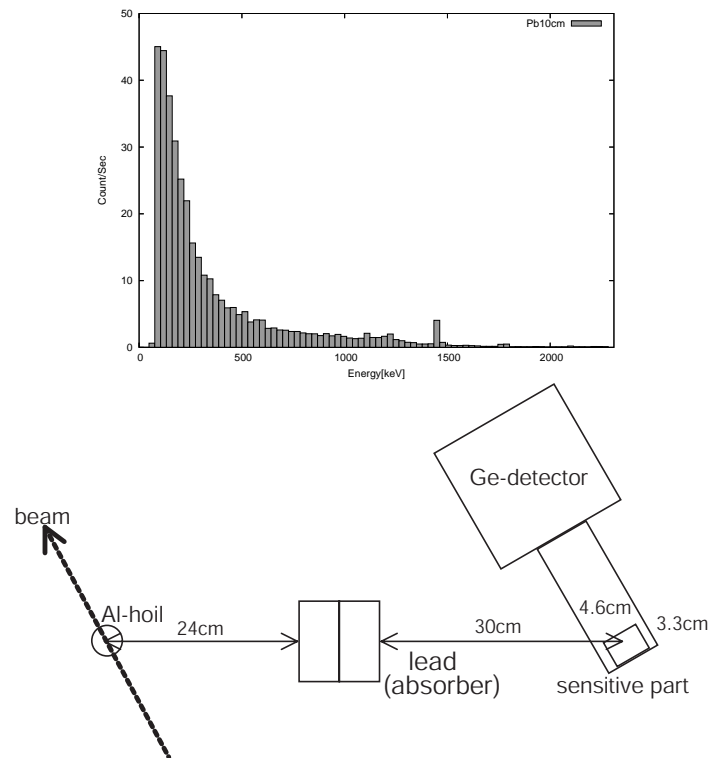


図 9: 鉛で遮蔽したスペクトルと遮蔽の様子

この上に示した状態に更に鉄をおいて compton 散乱によるスペクトルの変化を見てみた。次のページに示す A、B、C と 3 通りの方法で計測した。compton 散乱された γ 線のエネルギーを E' として散乱角を θ とすれば

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} \quad (1)$$

A の場合は

$$0.45(\theta = 35 \text{ 度}) < \cos \theta < 0.82(\theta = 63 \text{ 度}) \quad (2)$$

よって A の場合は $E=1779\text{keV}$ 、 $m_e c^2=511\text{keV}$ と $\cos \theta$ を代入して

$$610\text{keV} < E < 1094\text{keV} \quad (3)$$

同様に B の場合は

$$610\text{keV} < E < 1028\text{keV} \quad (4)$$

となるはずであり。グラフもそれをあらわしているといっているだろう。1 秒あたりの compton 散乱と思われるイベント数は A の場合で 18 回/sec、B の場合で 7.5 回/sec となった。

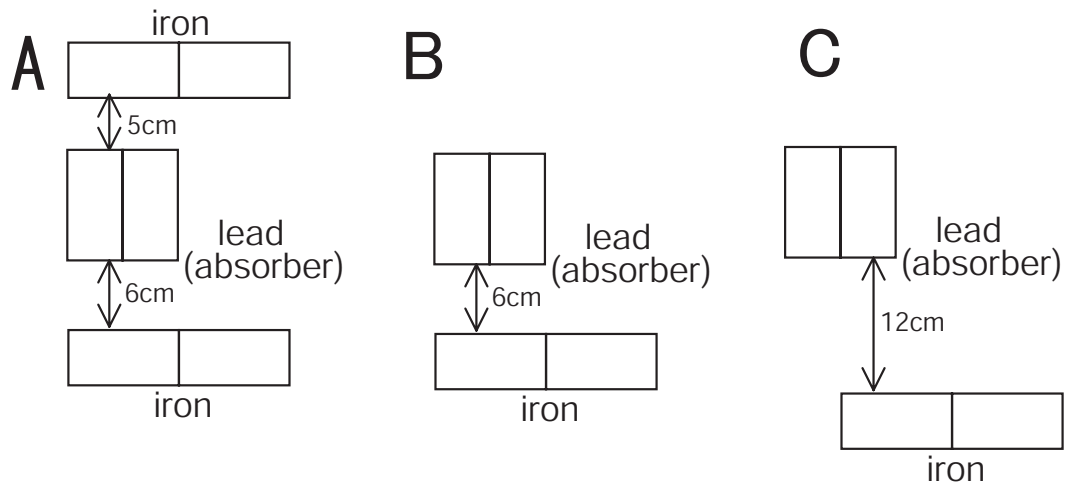


図 10: 3 パターンの鉄の配置

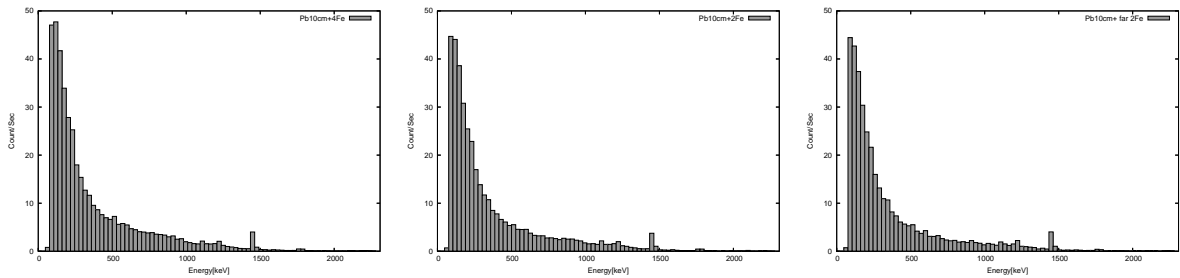


図 11: それぞれのスペクトル

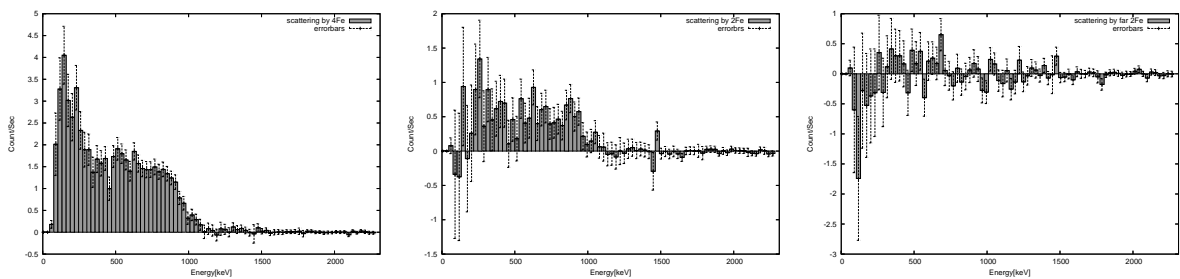


図 12: それぞれのスペクトルから鉛だけのスペクトルを引いたもの

4 ^{28}Al の生成量について

遮蔽されていないスペクトルのピークから ^{28}Al の生成量をおおざっぱに見積もってみよう。1750keV ~ 1800keV にはいったものを ^{28}Al が崩壊してできた ^{28}Si からの γ 線だと思いと 1 秒当たり $85.2 \pm 0.9 \text{count}$ している。

$$\text{count/sec} = N \times \lambda \times \frac{\Omega}{4\pi} \times \phi_{\text{Ge}} \quad (5)$$

ここで λ は崩壊率で $\lambda = \frac{1}{\tau}$ 、 τ は ^{28}Al の寿命で 193.3s、 Ω は Ge 検出器の立体角で $\frac{\Omega}{4\pi} \simeq \frac{1}{4096}$ 、 ϕ_{Ge} は Ge 検出器の検出効率。

値を入れてみると $N\phi_{\text{Ge}} = 6.74 \pm 0.07 \times 10^7$ 。これは約 7 億個である。それに対し今までのゼミで計算してきた値は

$$\begin{aligned} N(\text{60 秒照射したときの生成量}) &= 0.17[\text{m}^2](\text{10MeVの生成断面積}) \\ &\quad \times \frac{10 \times 10^{-9}[\text{C/s}](\text{ビームの電流})}{1.6 \times 10^{-19}[\text{C}](\text{素電荷})} \\ &\quad \times 47.2[\text{s}](\text{60 秒照射した時の有効照射時間}) \\ &\quad \times 2.70 \times 10^6[\text{g/m}^3](\text{アルミホイルの質量密度}) \\ &\quad \times 3.0 \times 10^{-4}[\text{m}](\text{アルミの厚さ}) \\ &\quad \times \frac{6.0 \times 10^{23}[\text{個/mol}](\text{アボガドロ数})}{27[\text{g/mol}](\text{アルミの質量数})} \end{aligned}$$

この値は計算すると $N = 90.3 \times 10^7$ となる。雑な言い方をすれば $\phi_{\text{Ge}} = \frac{1}{13}$ 程度ということになる。重要なのはこれが十分なのかどうかであるが

$$\begin{aligned} \text{3 日間での崩壊検出回数} &= N \times (1 - \exp(-60/\tau))^* (\text{60 秒の測定での崩壊割合}) \\ &\quad \times 720[\text{回}](\text{36 時間で 2 分のサイクル}) \\ &\quad \times 0.084(\beta \text{線の検出の立体角の割合}) \\ &\quad \times 0.0368(\gamma \text{線の検出の立体角の割合}) \\ &\quad \times 0.022(\text{鉄に触れて compton 散乱されてかつ detector に入る割合}) \times \phi_{\text{Ge}} \\ &= N \times \phi_{\text{Ge}} \times 0.0136 \end{aligned}$$

これは計算すると 9.18×10^5 つまり 92 万 count。とりあえずまだセーフ。