

Compton散乱の検証

稲葉慎司 岡田祥吾 市川周 秋友悠希 川田倫豊 藪木裕太

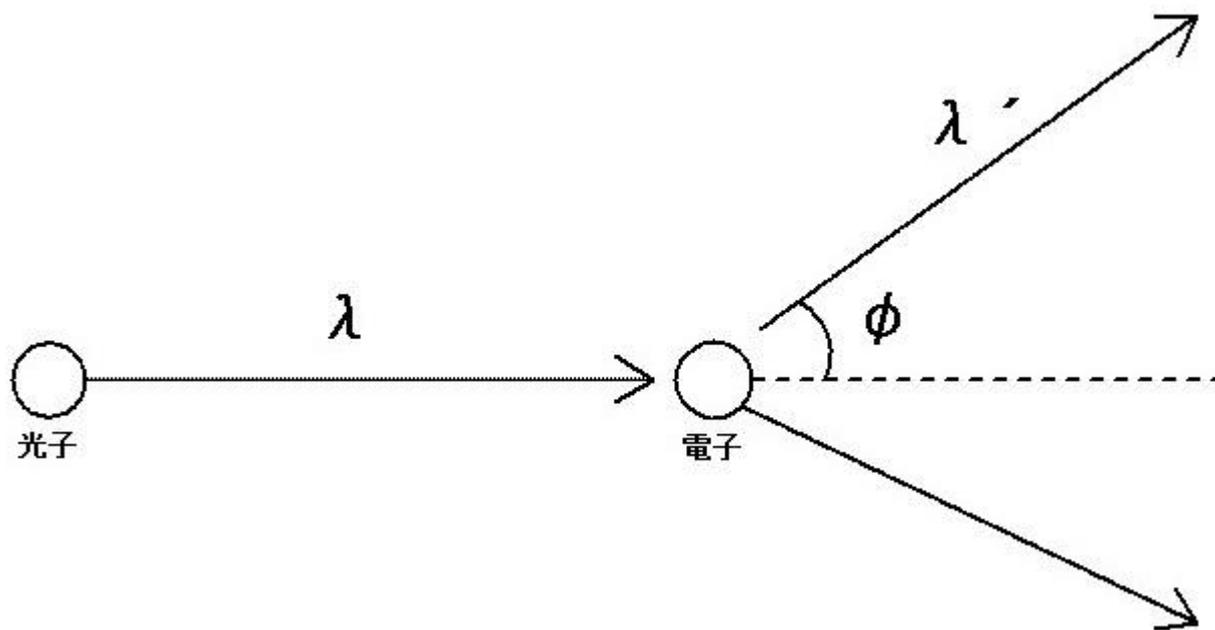
目次

- 1.はじめに(川田)
- 2.理論的背景(岡田)
- 3.実験方法(市川)
- 4.結果(稲葉、秋友)
- 5.考察(稲葉、秋友、藪木)
- 6.結論(藪木)

目次

- 1.はじめに
- 2.理論的背景
- 3.実験方法
- 4.結果
- 5.考察
- 6.結論

コンプトン散乱とは



目次

1.はじめに

2.理論的背景

3.実験方法

4.結果

5.考察

6.結論

理論的背景

コンプトン散乱 ⇒ 電子による光子の散乱

⇒ ① 散乱された角度ごとの光子のエネルギー

② どの角度に散乱されるかの確率

理論的背景

①散乱された角度ごとの光子のエネルギー

$$\omega' = \frac{\omega}{1 + \frac{\omega}{m} (1 - \cos \theta)}$$

理論的背景

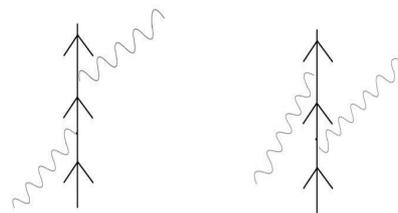
②どの角度に散乱されるかの確率

⇒ 微分散乱断面積

コンプトン散乱の微分散乱断面積の公式

⇒ Klein-仁科の公式

(導出は高レベル)



理論的背景

Klein-仁科の公式

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{2m^2} \left(\frac{\omega'}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\omega'}{\omega} + \frac{\omega}{\omega'} - \sin^2 \theta\right)$$

α : 微細構造定数

目次

- 1.はじめに
- 2.理論的背景
- 3.実験方法**
- 4.結果
- 5.考察
- 6.結論

3 実験方法

3.1 使用した実験器具

3.2 実験器具の配置

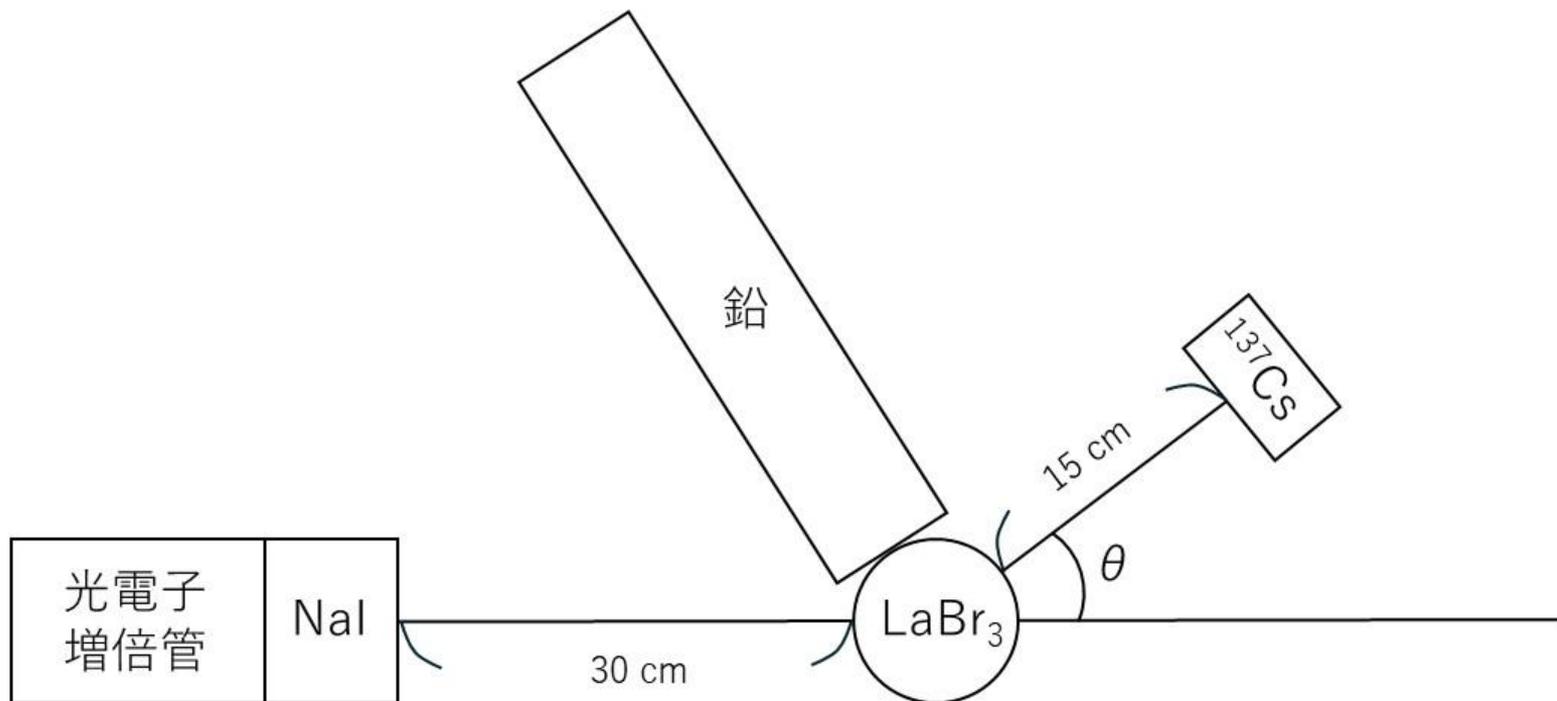
3.3 実験の配線

3.4 実験の手順

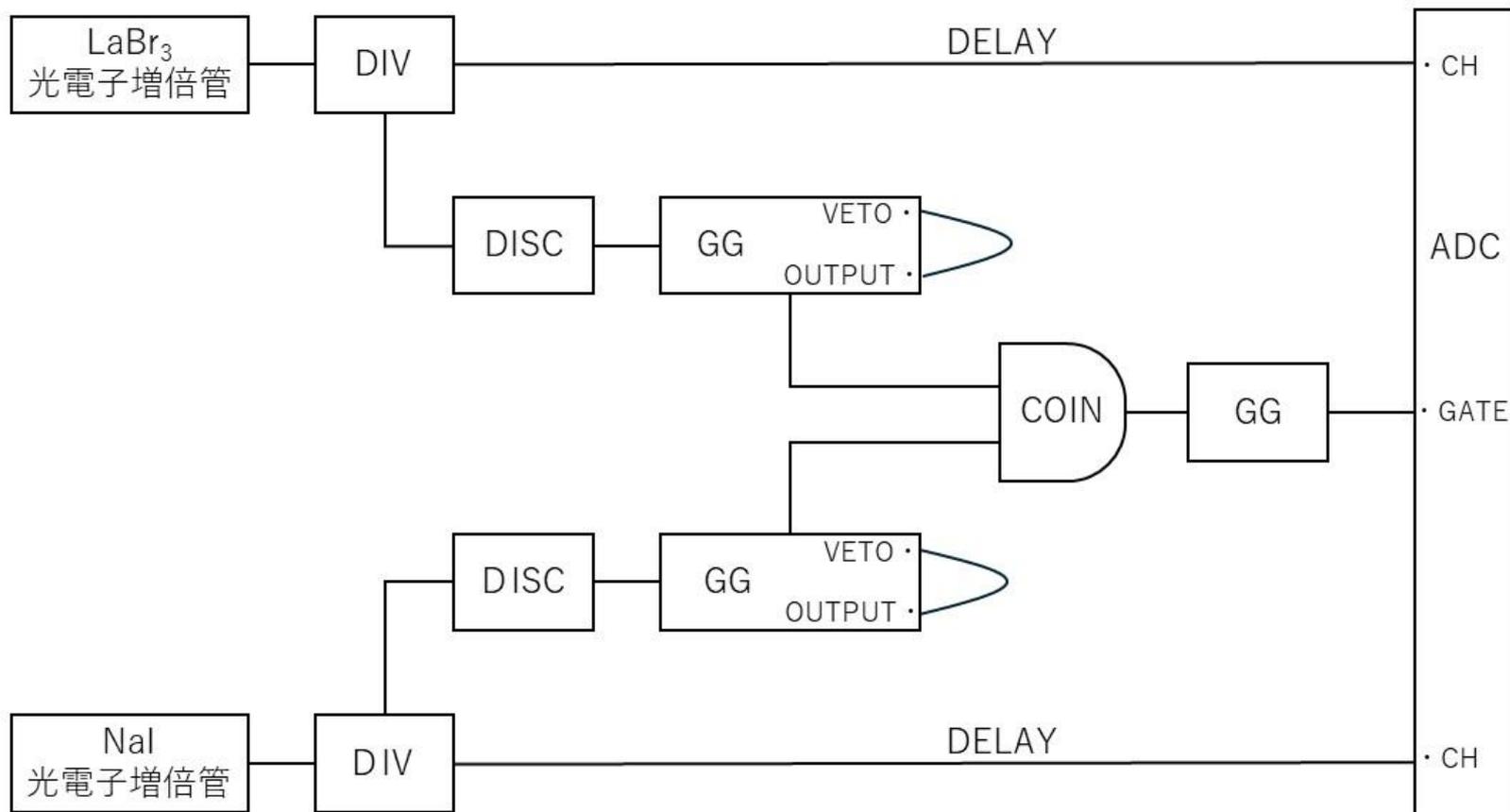
3.1 使用した実験器具

- ^{137}Cs 662 keVの γ 線を放出する。
- ^{22}Na 511 keVと1275 keVの γ 線を放出する。
- シンチレータ NaIシンチレータとLaBr3シンチレータを使用した。
- 光電子増倍管 シンチレータとセットでを使用した。
- 鉛の塊 γ 線を遮蔽するために使用した。

3.2 実験器具の配置



3.3 実験の配線



3.4 実験の手順

○本実験

- $\theta = 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ に対して5,000カウントずつ測定した。

○エネルギー較正

- ^{137}Cs 、 ^{22}Na からのガンマ線をそれぞれNaIシンチレータとLaBr₃シンチレータで10,000回測定した。
- この測定は本実験の始まりと終わりに行った。

目次

- 1.はじめに
- 2.理論的背景
- 3.実験方法
- 4.結果**
- 5.考察
- 6.結論

4 結果

4.1 キャリブレーション(較正)

4.2 エネルギー角度分布

4.3 微分散乱断面積

4.1 キャリブレーション(校正)

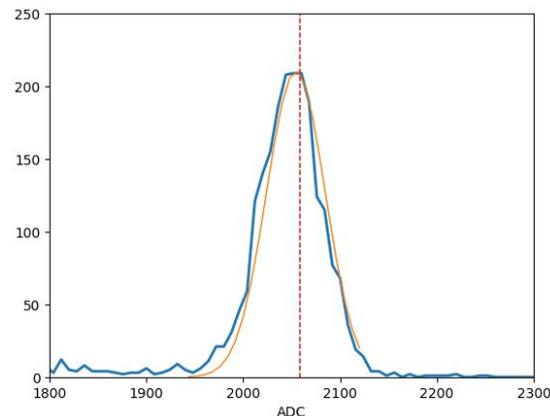
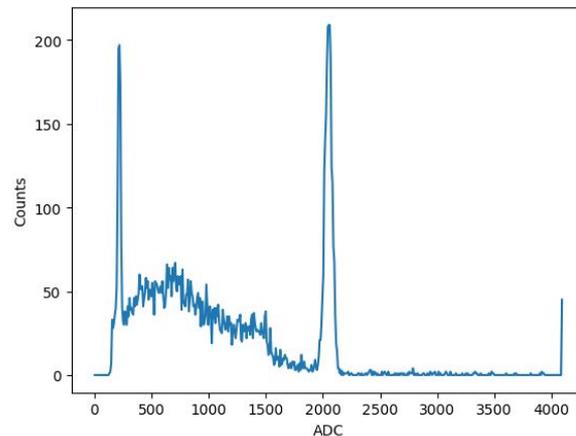
ADCの値は一定時間当たりの電子の積分値

→エネルギーと1対1対応！

◎光電ピークが既知の放射線を測定し、光電ピークをガウス関数

$$G(x, A, \mu, \sigma) = Ae^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

でフィッティングしてエネルギーと対応させる！



4.1 キャリブレーション(校正)

○用いた放射線

・Cs:光電ピーク662keV

・Na:光電ピーク511、1275keV

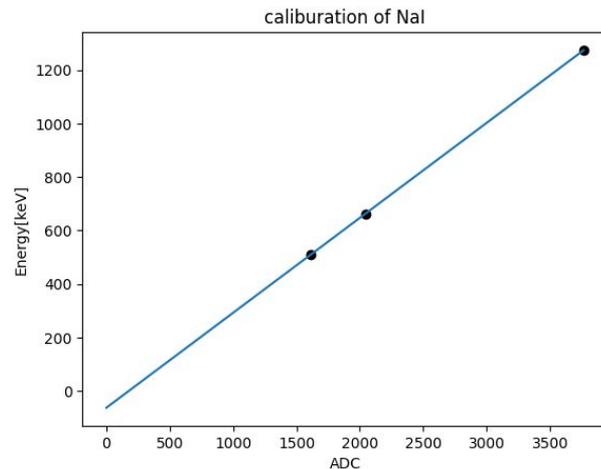
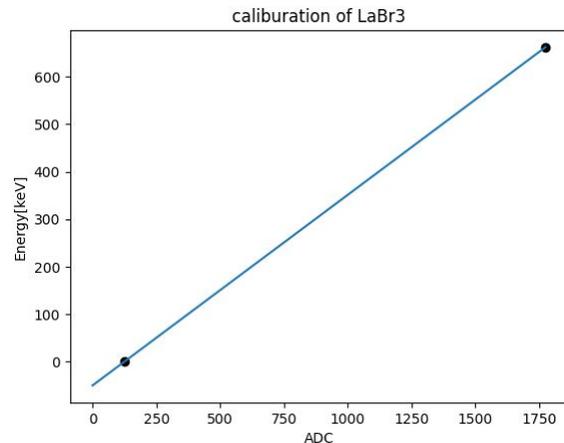
◎実験前のエネルギーの式

・LaBr3

$$E = 0.4013x - 49.8901$$

・NaI

$$E = 0.3551x - 62.4701$$



4.1 キャリブレーション(校正)

◎実験後のエネルギーの式

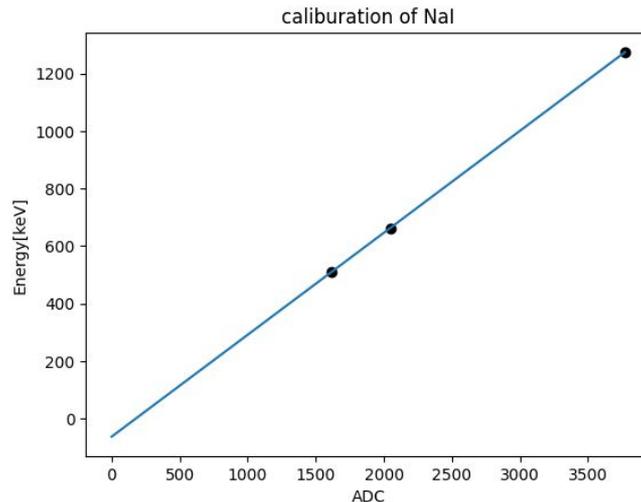
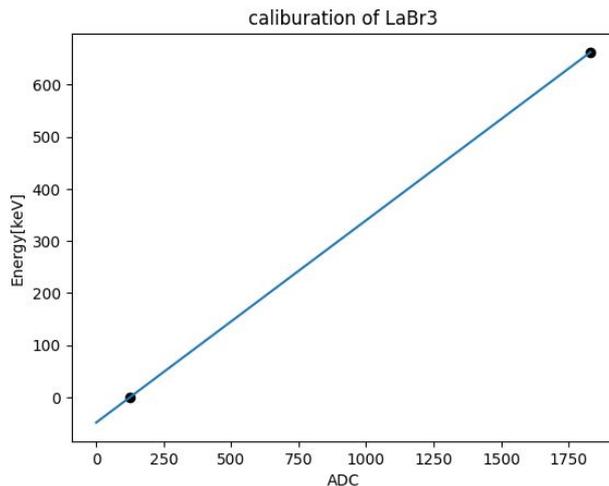
・LaBr3

$$E = 0.3880x - 48.3440$$

・NaI

$$E = 0.3545x - 62.8069$$

30度から90度では実験前、120度から150度までは
実験後の値を使う



4.2 エネルギー-角度分布

①コンプトン散乱の抽出

LaBr3:反跳電子のエネルギー

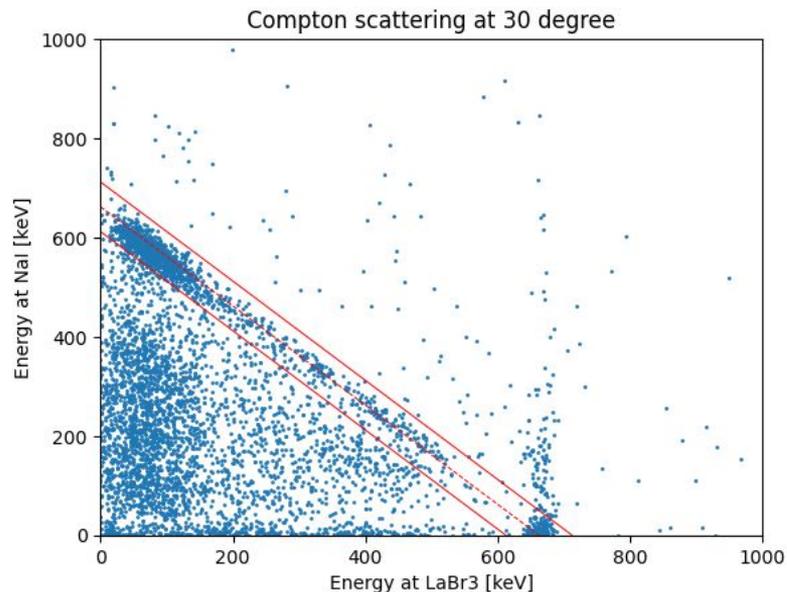
NaI:散乱光子のエネルギー

→コンプトン散乱だと足して 662keV

・662±50keVのみを見る

・角度ごとに密度の濃い領域を見る

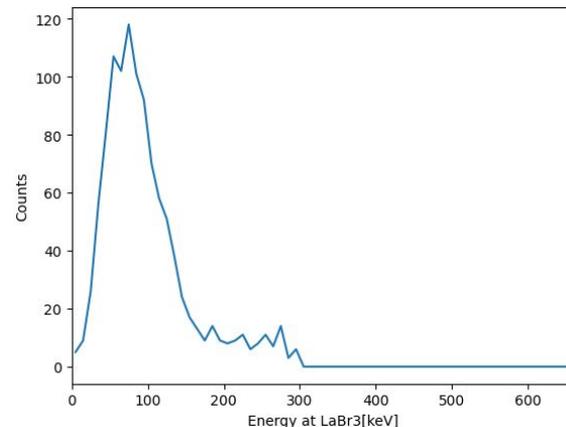
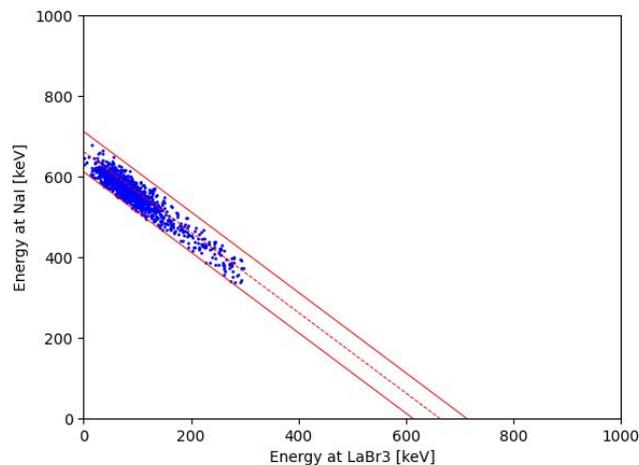
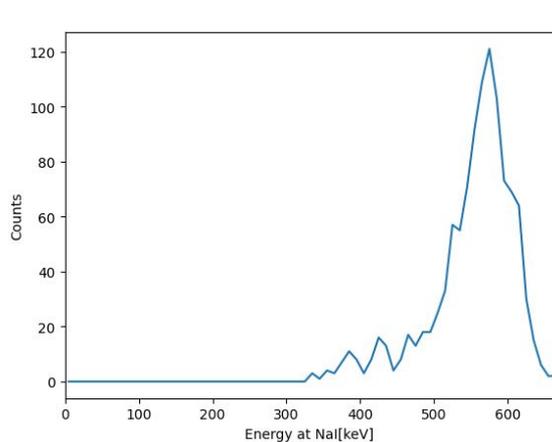
→そこから解析



4.2 エネルギー-角度分布

②NaI、LaBr3それぞれエネルギーのピークを求める

(ガウス関数によるフィッティング)

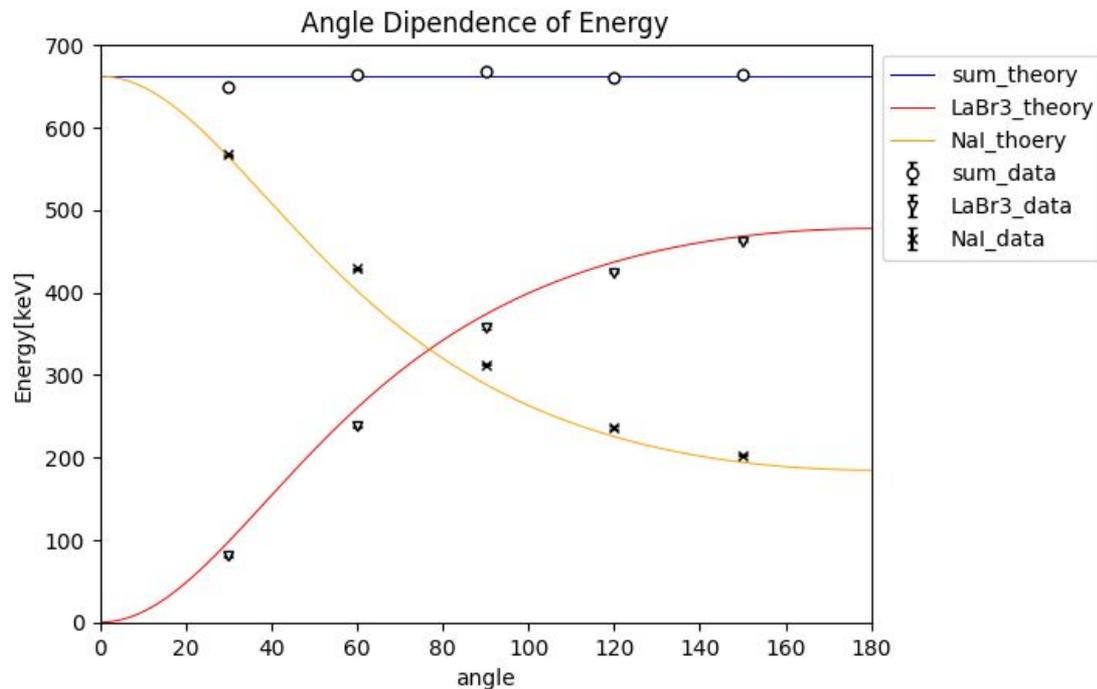


ex) 30度では、NaI:566.7544keV LaBr3:80.4952keV

4.2 エネルギー-角度分布

○理論式

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



4.3 微分散乱断面積

①コンプトン散乱の回数のカウント

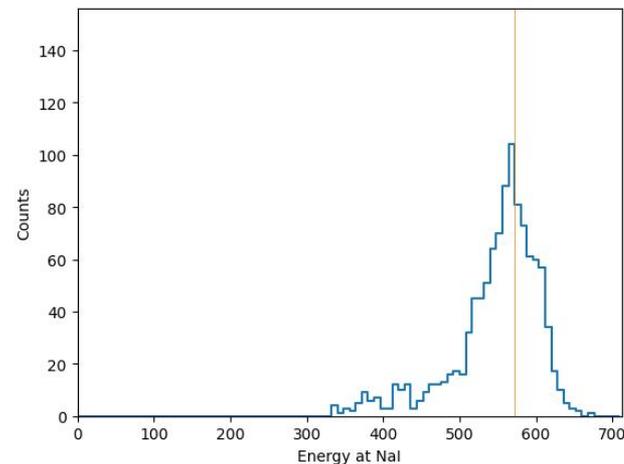
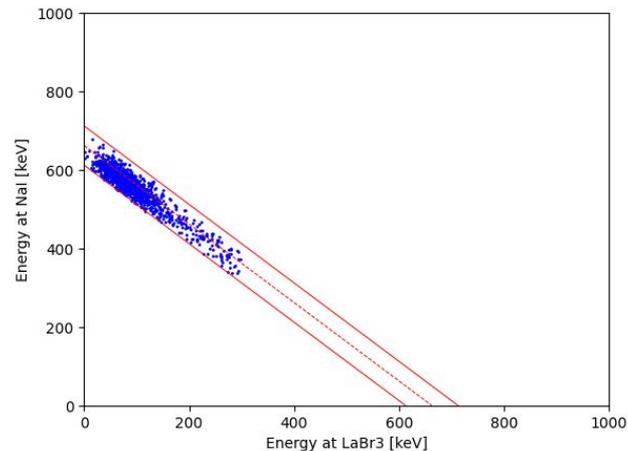
・散布図の個数をカウント

→しかし、低エネルギーではノイズが大きい

→ノイズが小さい高エネルギー側(ピークの山の右半分)が本当のコンプトン散乱

↓

山の右側をカウントし、それを二倍すればよい



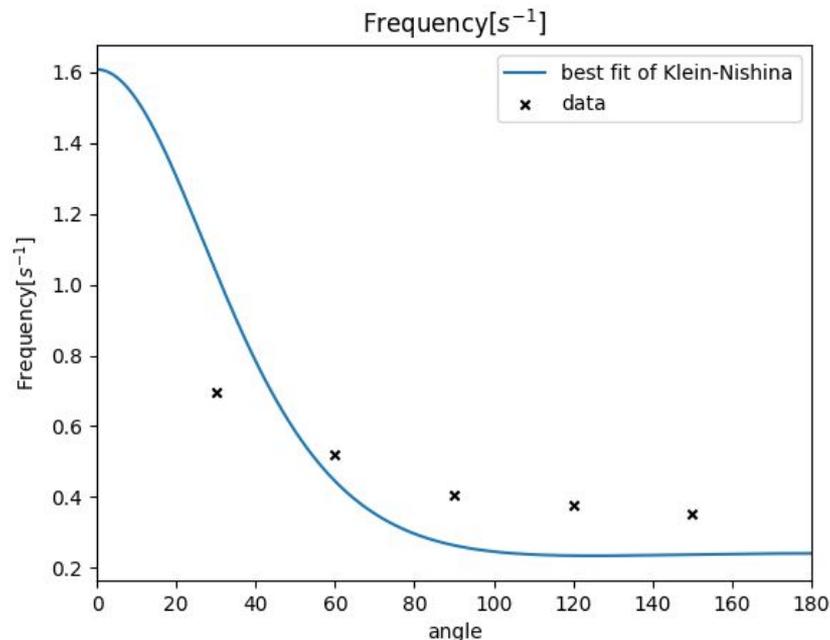
4.3 微分散乱面積

②角度ごとの散乱頻度 [1/s]を クライン仁科で近似

・今回の実験で装置の距離などは変えてない

$$\frac{N}{T} = f(\theta) \equiv C \frac{1}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)}$$
$$\times \left(1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta) + \frac{1}{1 + \frac{h\nu}{m_e c^2} (1 - \cos \theta)} - \sin^2 \theta \right)$$

最小二乗法で定数 Cを計算する！



→適切な補正が必要

目次

- 1.はじめに
- 2.理論的背景
- 3.実験方法
- 4.結果
- 5.考察**
- 6.結論

5 考察

5.0 精度の評価方法

5.1 シンチレータの減衰

5.2 NaIシンチレータの補正

5.3 LaBr₃シンチレータの補正

5.0 精度の評価方法

・重み付き最小二乗法

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^5 \frac{(y_i - f(\theta_i))^2}{\sigma_i^2}$$

この値を最小にするようなパラメータを定める。このカイ二乗値はデータの自由度にしか依存しない。→**カイ二乗値が小さいほど精度が良い**

・散乱頻度の誤差は、

$$\sigma = \frac{\sqrt{N}}{T}$$

である。(カウント数はポアソン分布に従うため)

5.0 精度の評価方法

補正なしのデータ

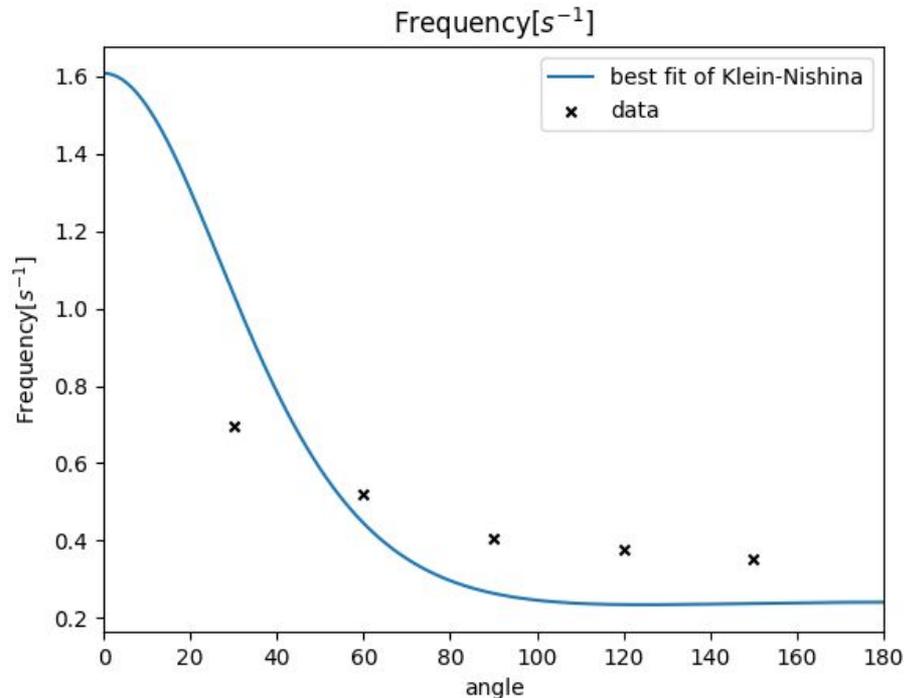
カイ二乗値:604.134

定数C:0.8035

ずれた原因

①NaIシンチレータ内で入射光子の一部が透過

②LaBr3シンチレータ内で入射光子の一部が減衰



5.1 シンチレータの減衰

- ・ガンマ線は物質内で減衰する

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\frac{\mu}{\rho} \times \rho \times l}$$

(I :透過光子数、 I_0 :入射光子数、 μ/ρ :質量減衰係数、 ρ :物質の密度、 l :光子の進む距離) 実は、**質量減衰係数は入射光子のエネルギーの関数である**

- ・角度ごとに、透過確率は異なる。→これを補正する！

[参考] 各シンチレータの大きさ、密度

	密度[g/cm ³]	円柱半径[cm]	円柱の高さ[cm]
LaBr3	5.27	2.4	
NaI	3.67		5.5

5.2 NaIシンチレータの較正

問題点

:NaIシンチレータのいる”場所”に飛んで行った光子のうち光電吸収されたのは一部

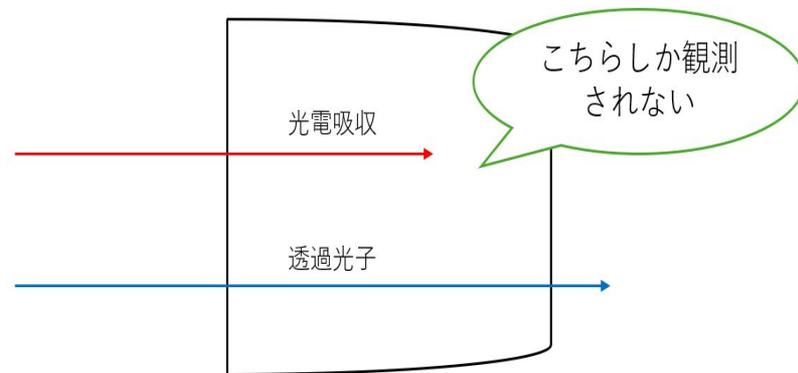
解決

: $N = N_{\text{exp}}(\text{測定値}) + (\text{透過した光子の数})$ とする。すなわち、

$$N_{\text{NaI}} \equiv N \times \frac{1}{1 - e^{-\frac{\mu}{\rho} \times 3.67 \times 5.5}}$$

という因子を掛け算する。

NaIシンチレータの模式図



5.2 NaIシンチレータの補正

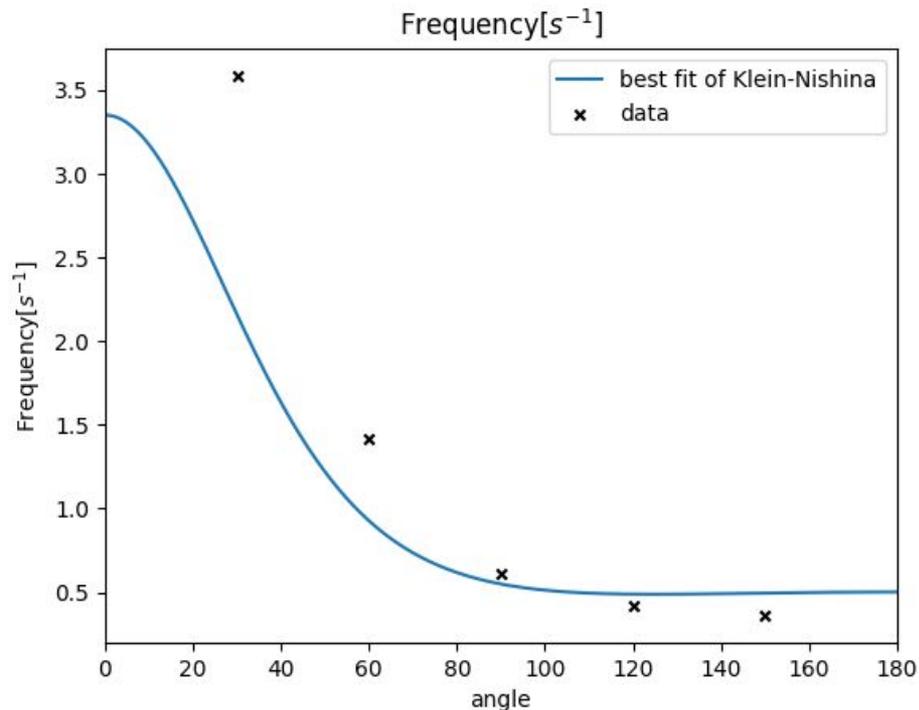
・NaIシンチレータ補正後のデータ

カイ二乗値:434.1904

定数C:1.6737

・補正なしのデータよりは精度が上がった

・しかし、理論値より変化率が大きいのでさらなる補正が必要



5.3 LaBr₃シンチレータの補正

NaIシンチレータの補正より高度、なぜなら

- ・すべてがシンチレータの中心でコンプトン散乱しているわけではない
 - 散乱点ごとに透過する確率が異なる
- ・コンプトン散乱の前後で光子のエネルギーが変化
 - これに伴い、質量減衰係数が変化

5.3 LaBr3シンチレータの補正

- ・入射光子がある点でコンプトン散乱を起こし、NaIシンチレータの方向に散乱格子が透過する確率

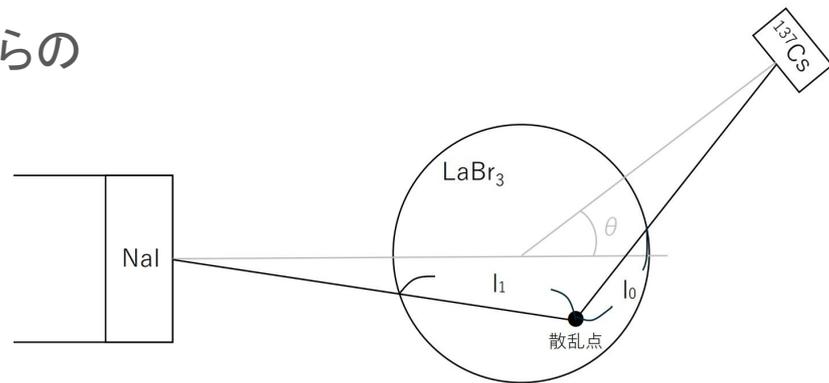
$$e^{-(\mu_0 l_0 + \mu_1 l_1)}$$

μ_0 :入射光子(662keV)に対する線減衰係数

μ_1 :散乱光子に対する線減衰係数(角度依存)

- ・シンチレータ内の各点周りの微小面積要素からの寄与を等しく見て平均をとる

$$Trans_{ave} = \frac{\int dS e^{-(\mu_0 l_0 + \mu_1 l_1)}}{\int dS}$$



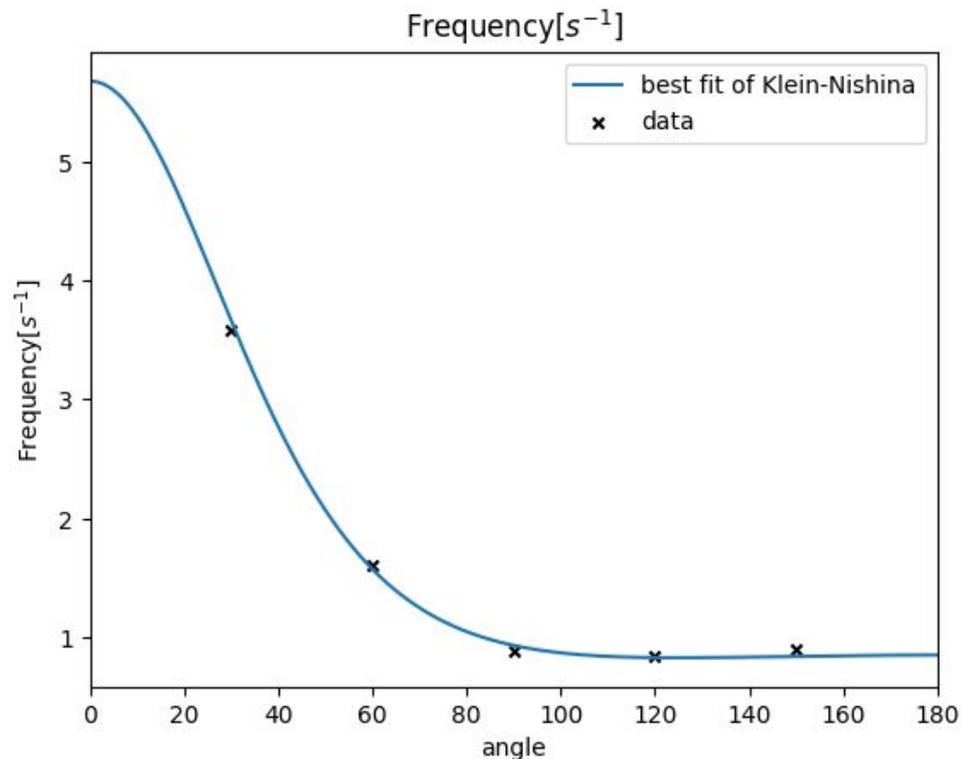
5.2の補正に加えて、この逆数を掛け算する(簡単のために30度の値で規格化)

5.3 LaBr3シンチレータの補正

・LaBr3シンチレータ補正後のデータ

カイ二乗値: 8.2645

定数C: 2.8388



目次

- 1.はじめに
- 2.理論的背景
- 3.実験方法
- 4.結果
- 5.考察
- 6.結論

6.結論

実験では、理論値と一見異なるようなデータが得られたが、シンチレータの非理想的な振る舞いを考慮し、適切な補正を行うことにより理論値とおおむね一致する結果が得られ、Klein-仁科の公式を検証することに成功した。

この実験により、光子の粒子性を確認できた。