

Compton散乱の検証

課題演習A1

齊藤・坂本・清水・田淵・前田

目次

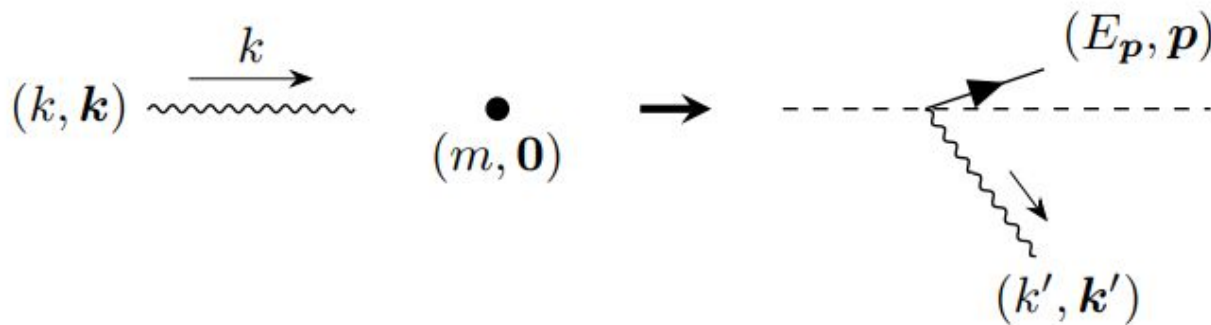
1. 理論的背景(清水)
2. 実験器具(斉藤・坂本)
3. 結果(前田・田渕)
4. 考察(斉藤)
5. 結論(田渕)

目次

1. 理論的背景(清水)
 - a. Compton散乱って？
 - b. エネルギーの角度依存性
 - c. 微分散乱断面積
2. 実験器具
3. 結果
4. 考察
5. 結論

Compton散乱って？

→電子による光の散乱現象



光の振動数の減少が起こる(古典電磁気学で説明できない)

何を実験的に観測するか？

① エネルギーの角度依存性

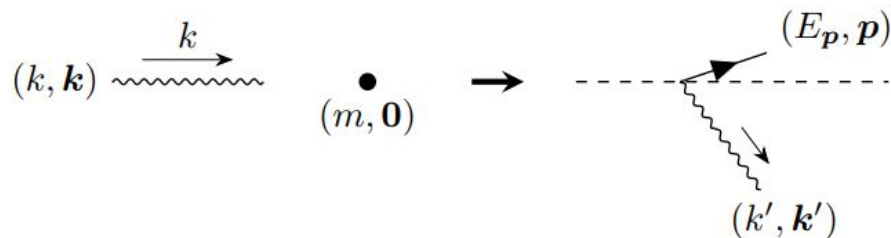
⇒ 散乱角によって**電子のエネルギー**が異なる

② 微分散乱断面積(計数の角度依存性)

⇒ 散乱が**起こりやすい方向**がある

エネルギーの角度依存性

散乱方向によってエネルギーの分配の仕方は異なる



光子の散乱角度を θ とすると光子のエネルギーの表式は

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

のように書ける

微分散乱断面積(計数の角度依存性)

散乱現象は角度ごとに”起こりやすさ”が異なる. ”起こりやすさ”の指標 である微分散乱断面積は次の式で与えられる:

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

実験と比較する際は次の関係式を用いる:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} \propto \frac{N_{\text{count}}}{T_{\text{count}}}$$

N_{count} : 計数

T_{count} : 計数時間

目次

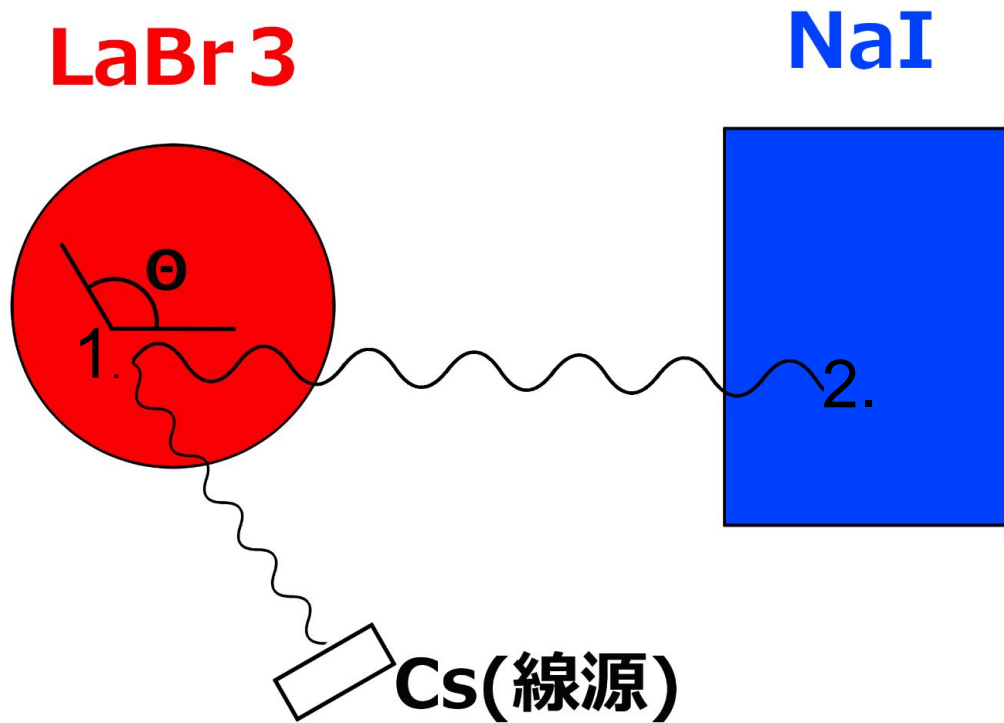
1. 理論的背景
2. 実験器具
 - a. 実験の方法
 - b. セットアップ
 - c. 個としての器具
 - d. 関係の中での器具
3. 結果
4. 考察
5. 結論

実験の方法(本実験)

1. Cs137からLaBr3
シンチレータ方向に
飛んだガンマ線がコ
ンプトン散乱

2. 散乱したガンマ線
がNaIシンチレータで
光電効果

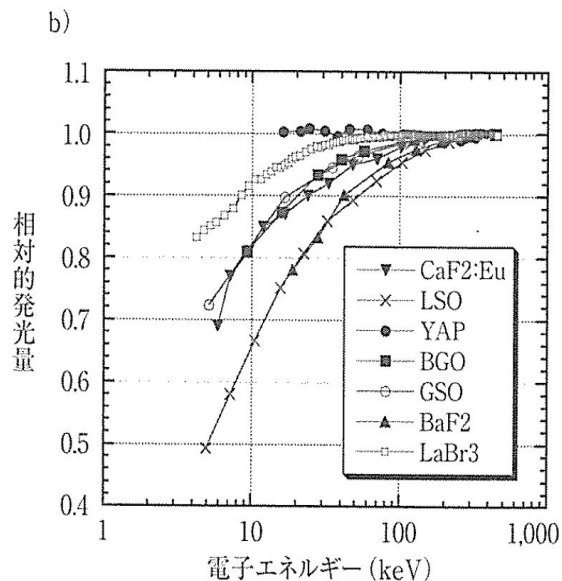
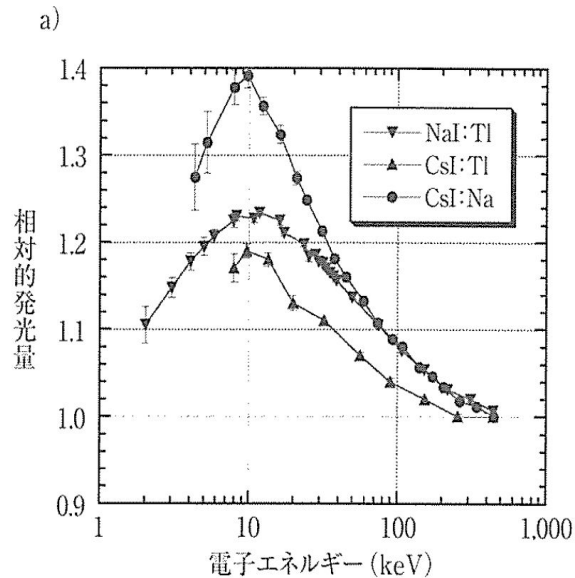
3. エネルギーと一次
関数の関係にあると
期待される電気信号
を測定



実験の方法(較正用の測定)

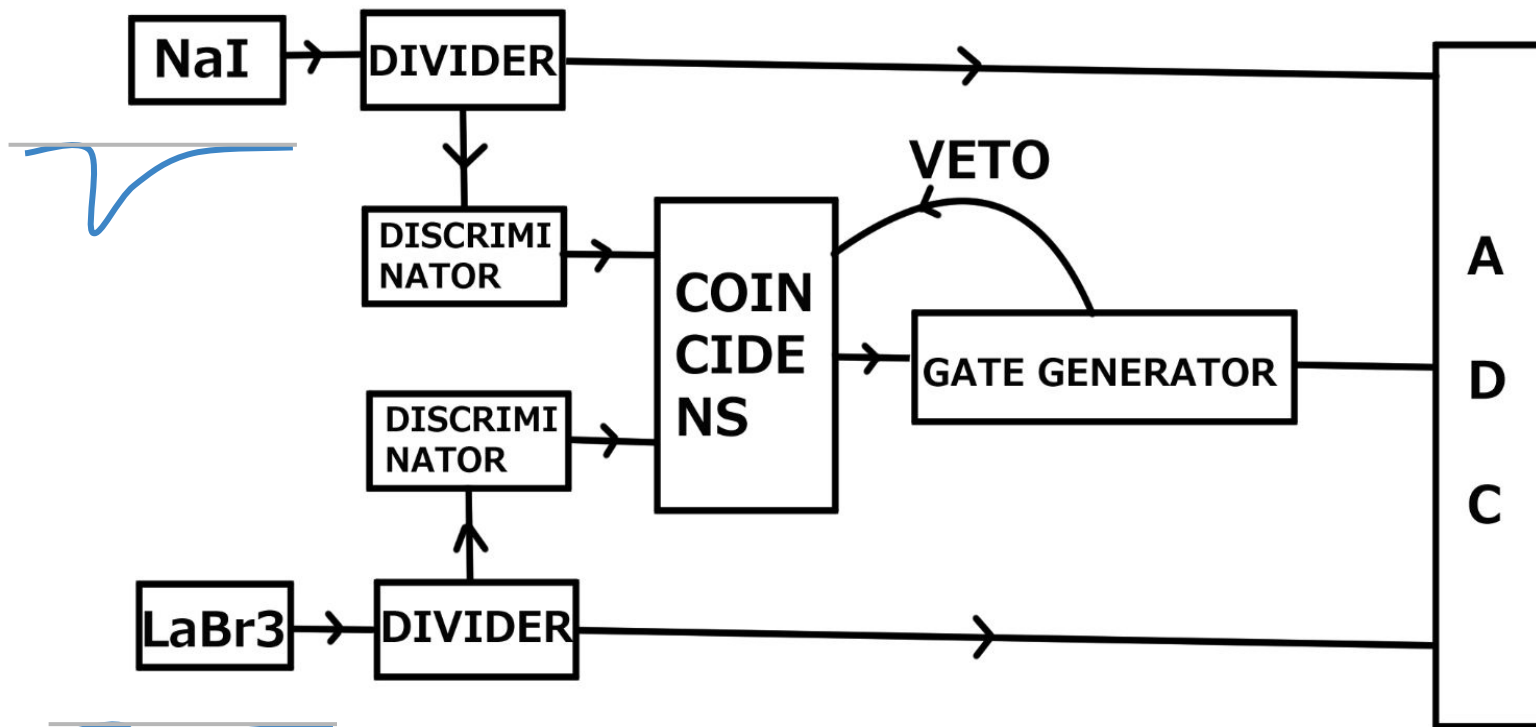
較正のために既知の
エネルギーを(個々の本実験
の前に)測定
(pedestal, Na22, Cs137)

この実験のエネルギー帯
は、ガンマ線が与えた電子エ
ネルギーとほとんど線形の関
係として、較正



G. F. Knoll『放射線計測ハンドブック』(神野郁夫・木村逸郎・阪井英次 訳)より引用

セットアップ(回路の配線)

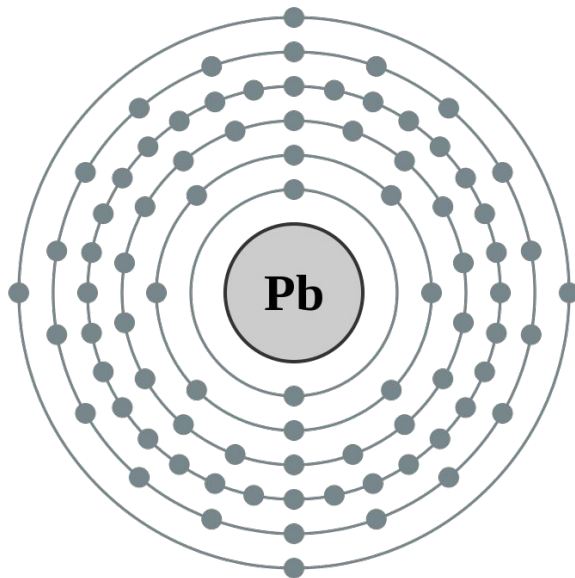


両シンチレータから同時に信号が入ったときに限り、一定時間の信号の積分を記録する

個としての器具 1 鉛塊

82: Lead

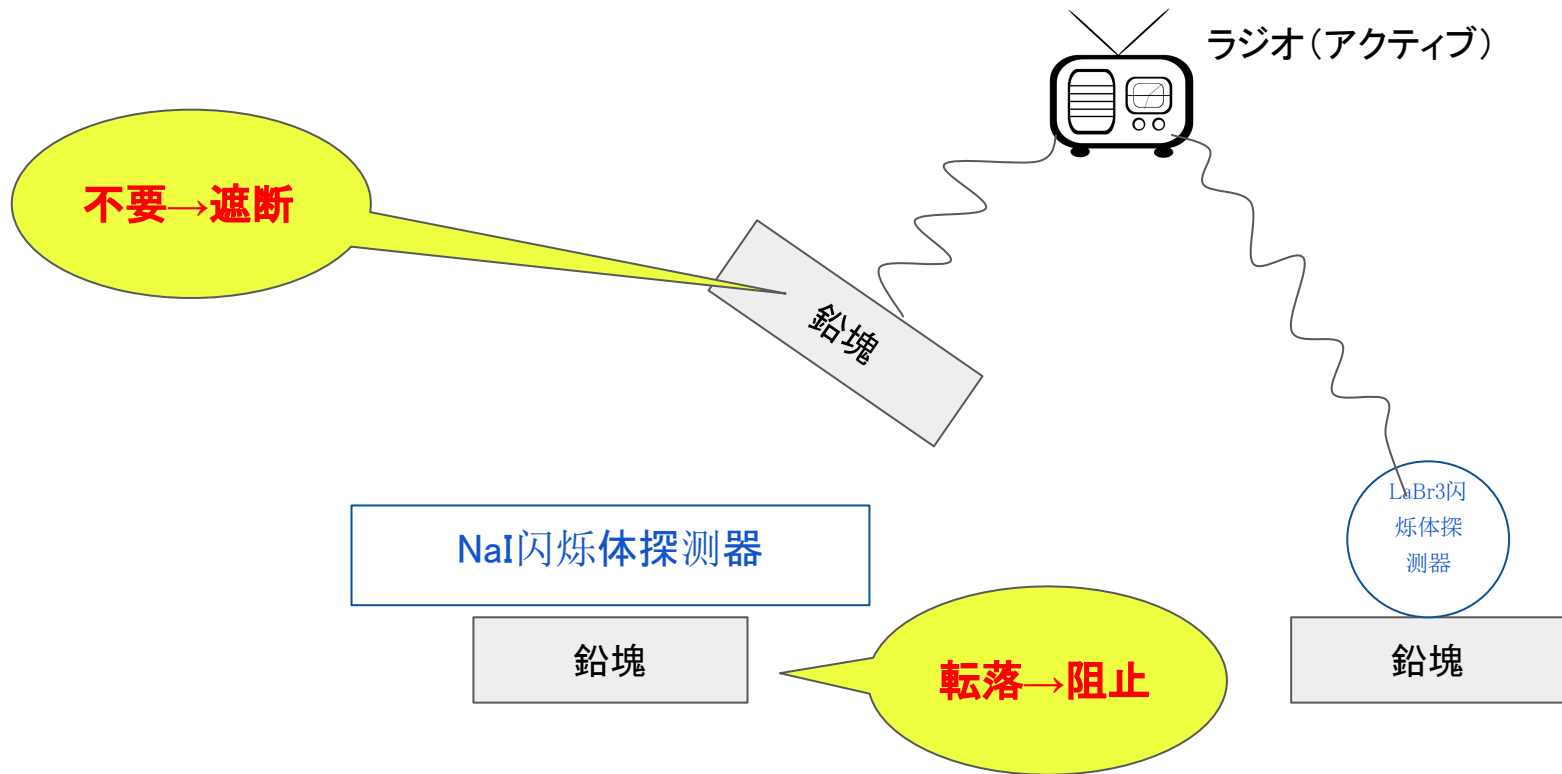
2,8,18,32,18,4



※画像はイメージです(恒真)。



関係の中での器具 1 鉛塊



A close-up shot of a cartoon character with a shocked expression, wide eyes, and an open mouth. He is driving a car, with the steering wheel visible in the foreground. The background is a blurred, reddish-pink color, suggesting a fast-moving environment. The character has a yellowish-orange complexion and a large, expressive face.

あぶない!

鉛塊の落下

うわっ、上から鉛が!!

個としての器具 2, 3 シンチレータ&光電子倍增管

Nal

LaBr₃

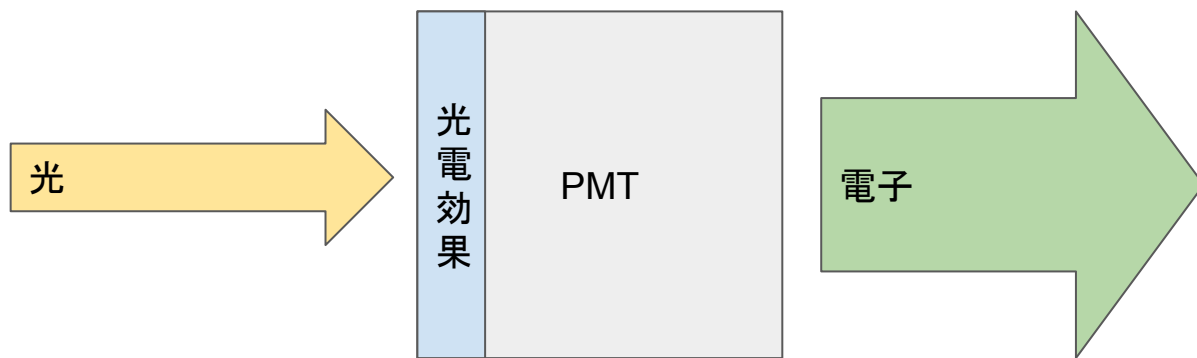


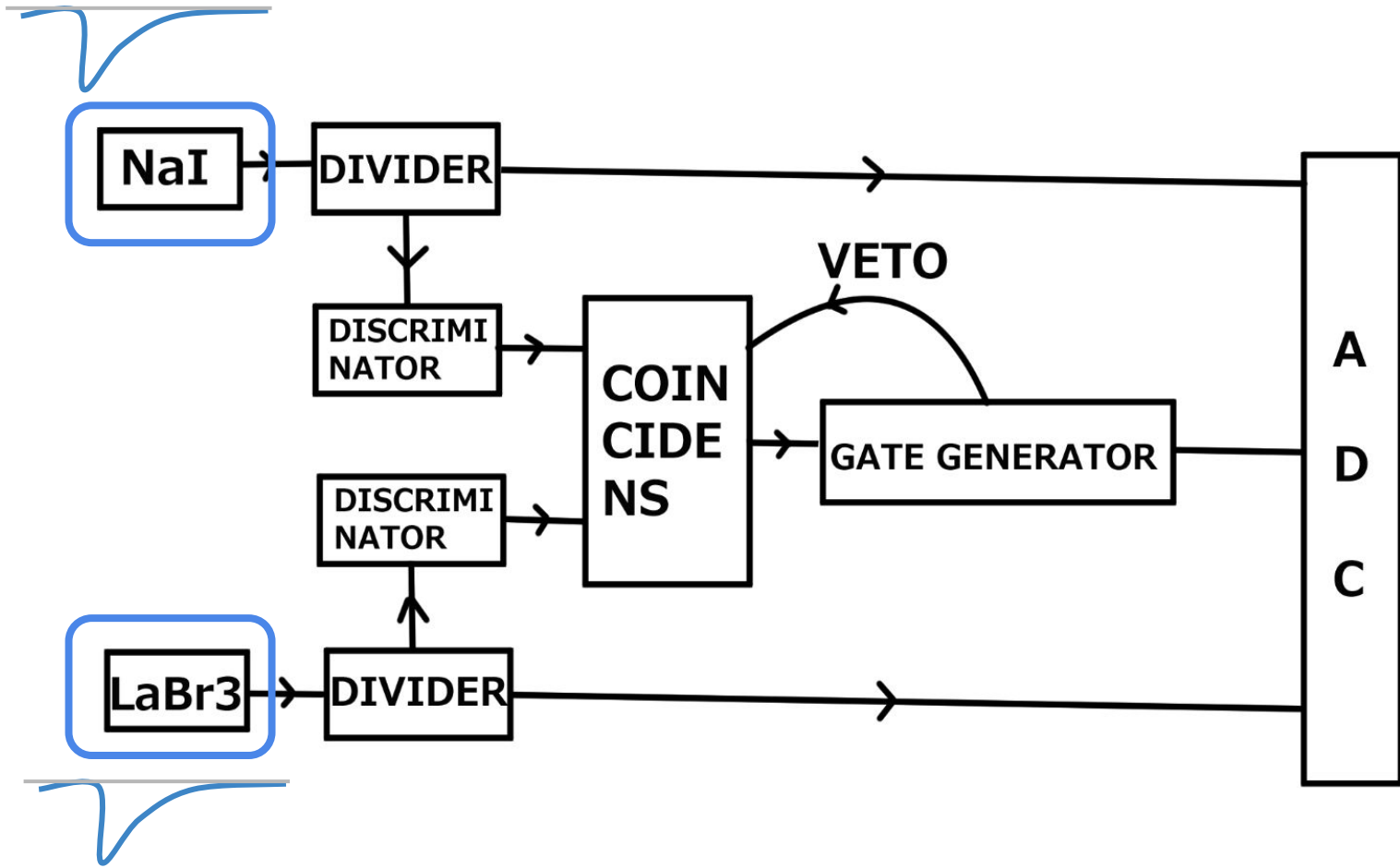
※増倍は増倍です。

関係の中での器具 2 シンチレータ

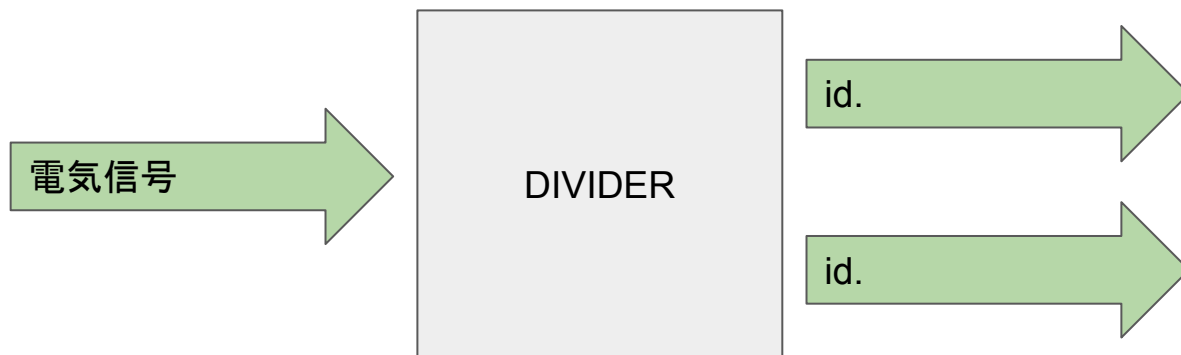


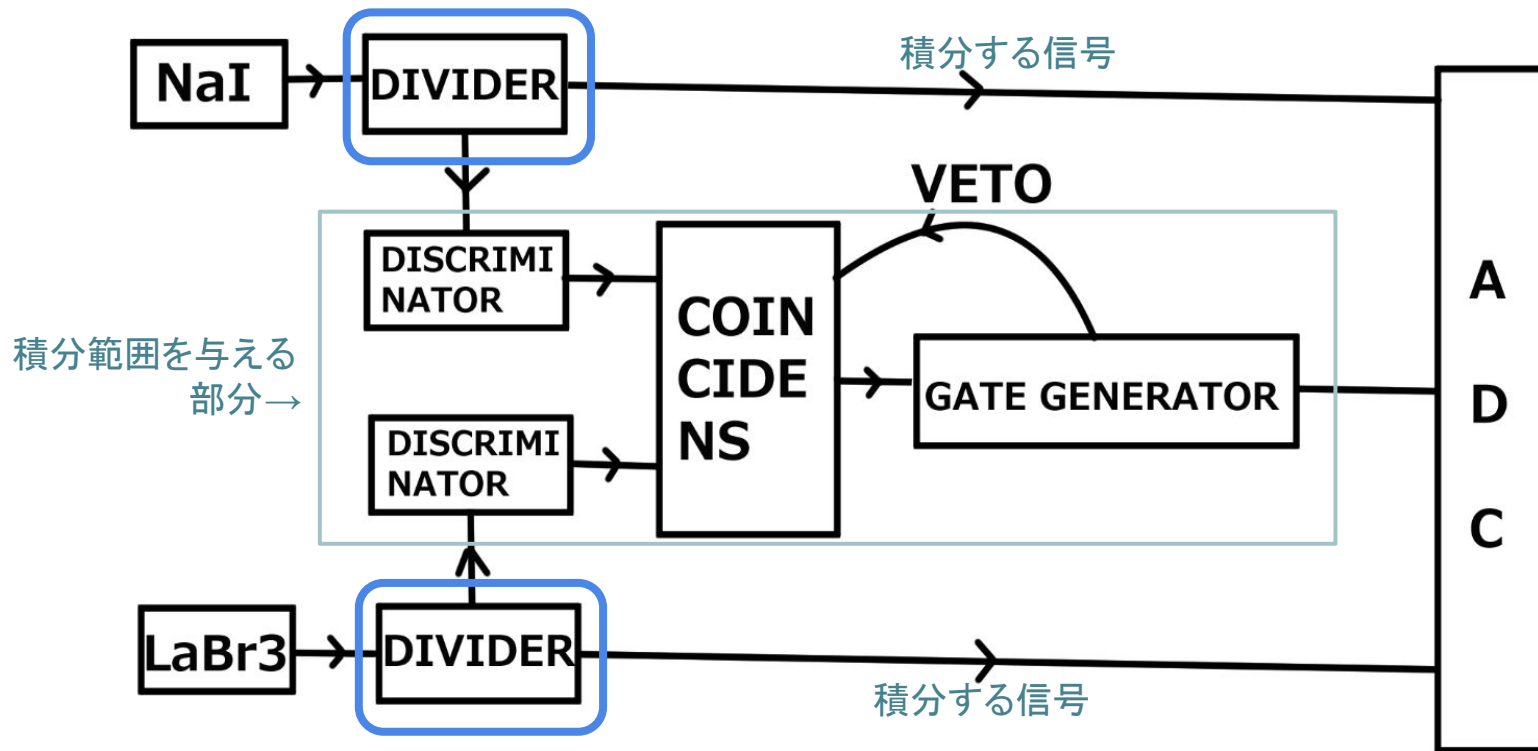
関係の中での器具 3 光電子増倍管



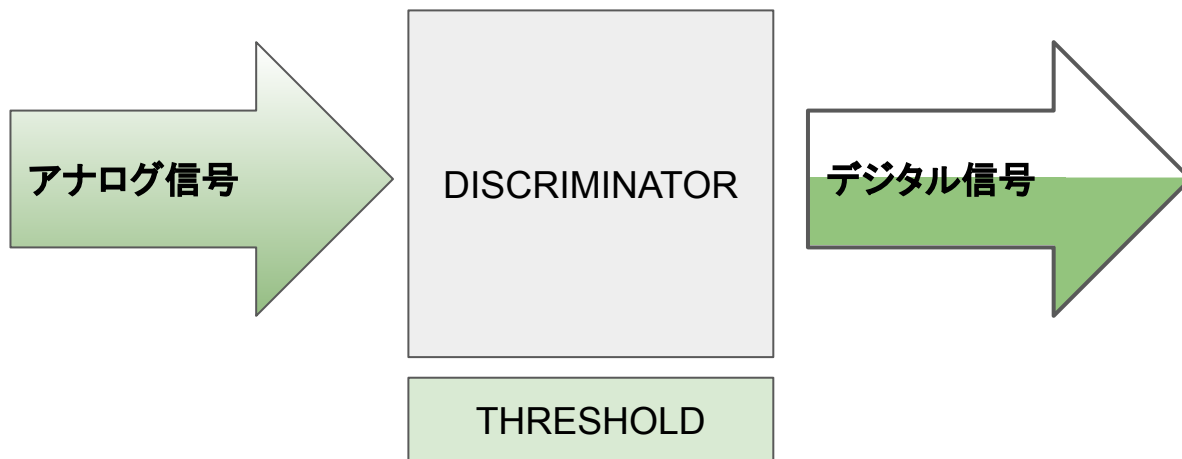


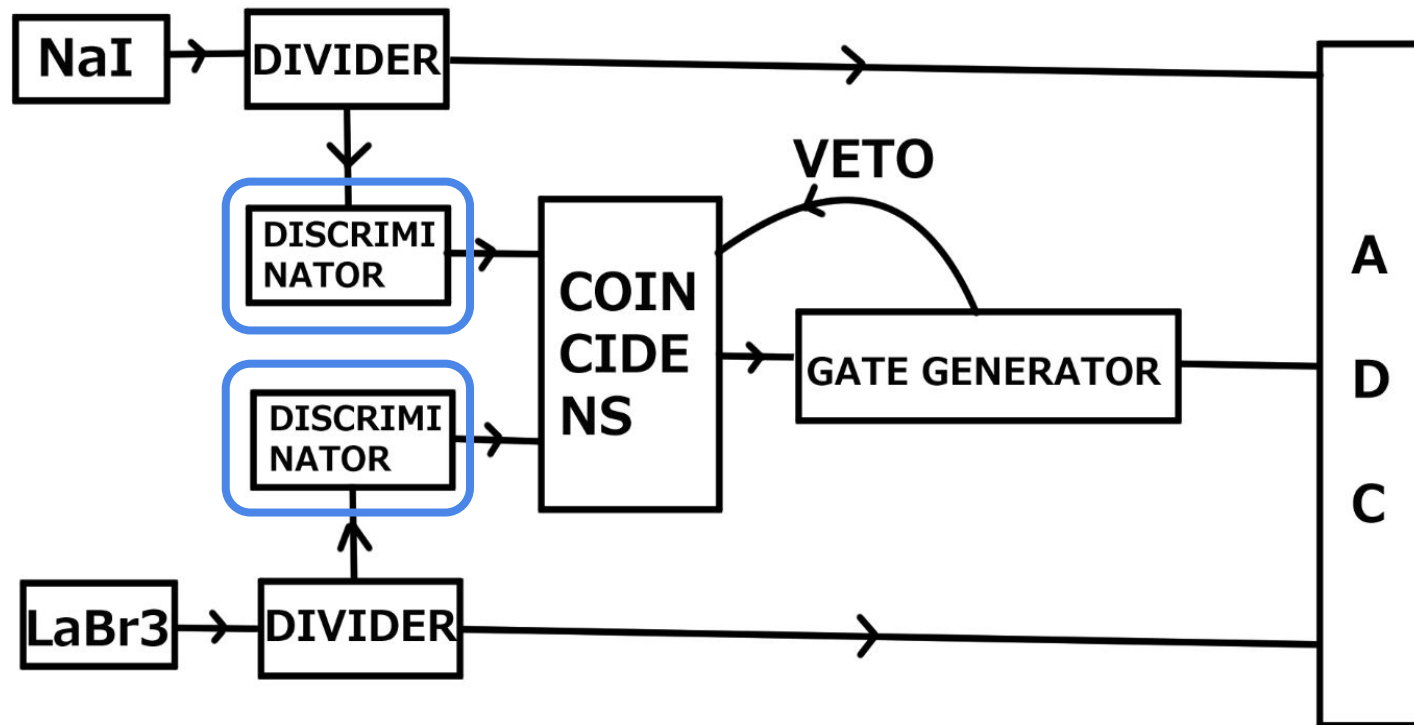
関係の中での器具 4 ジバイダ



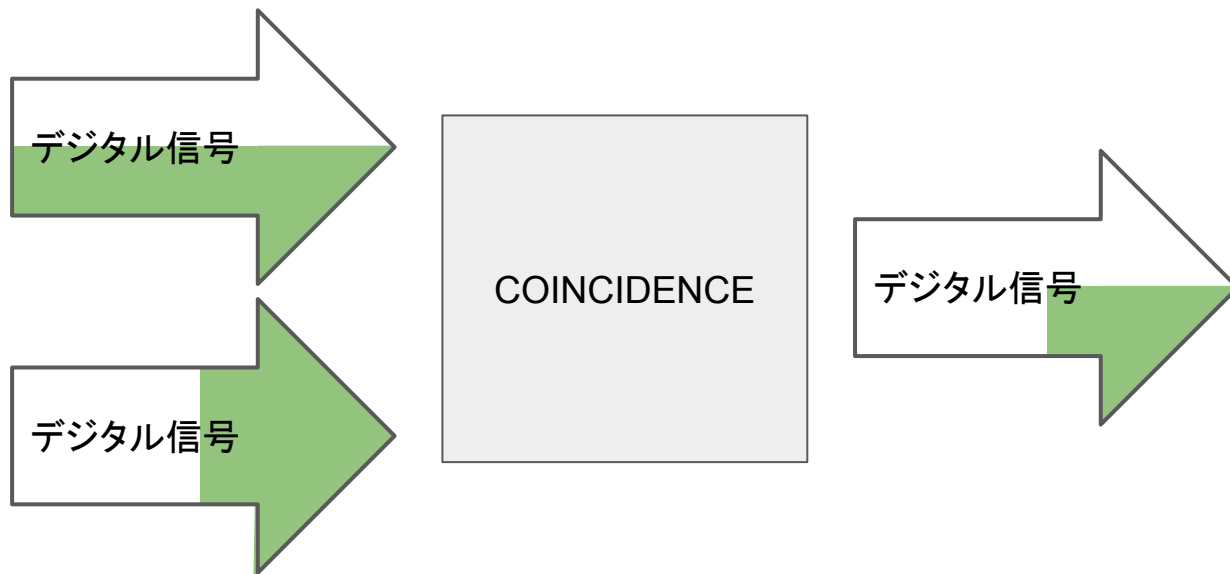


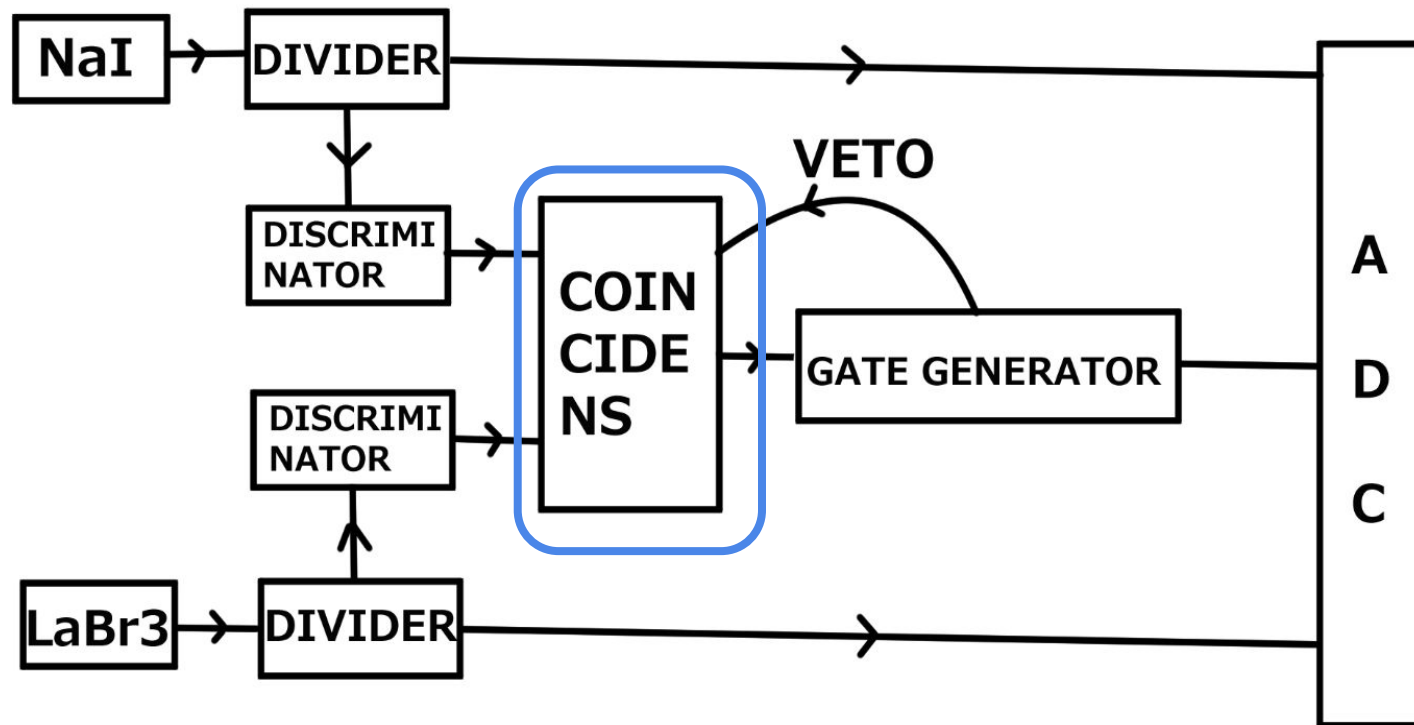
関係の中での器具 5 ジスクリミネータ



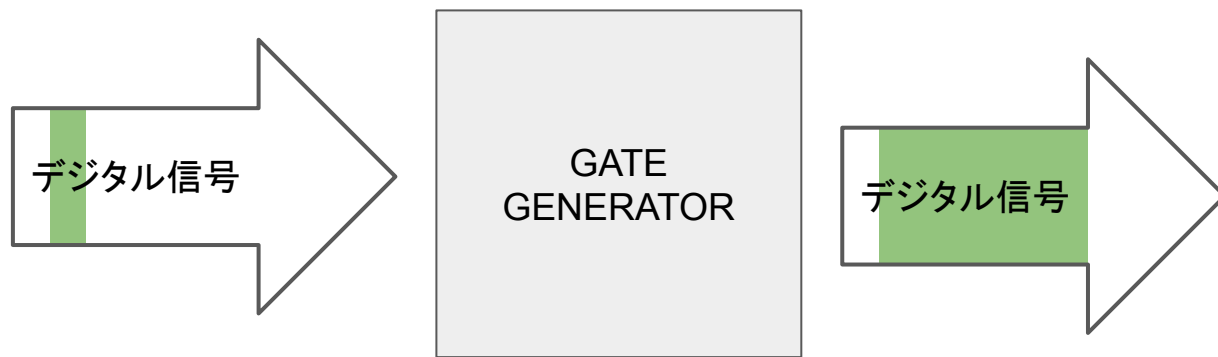


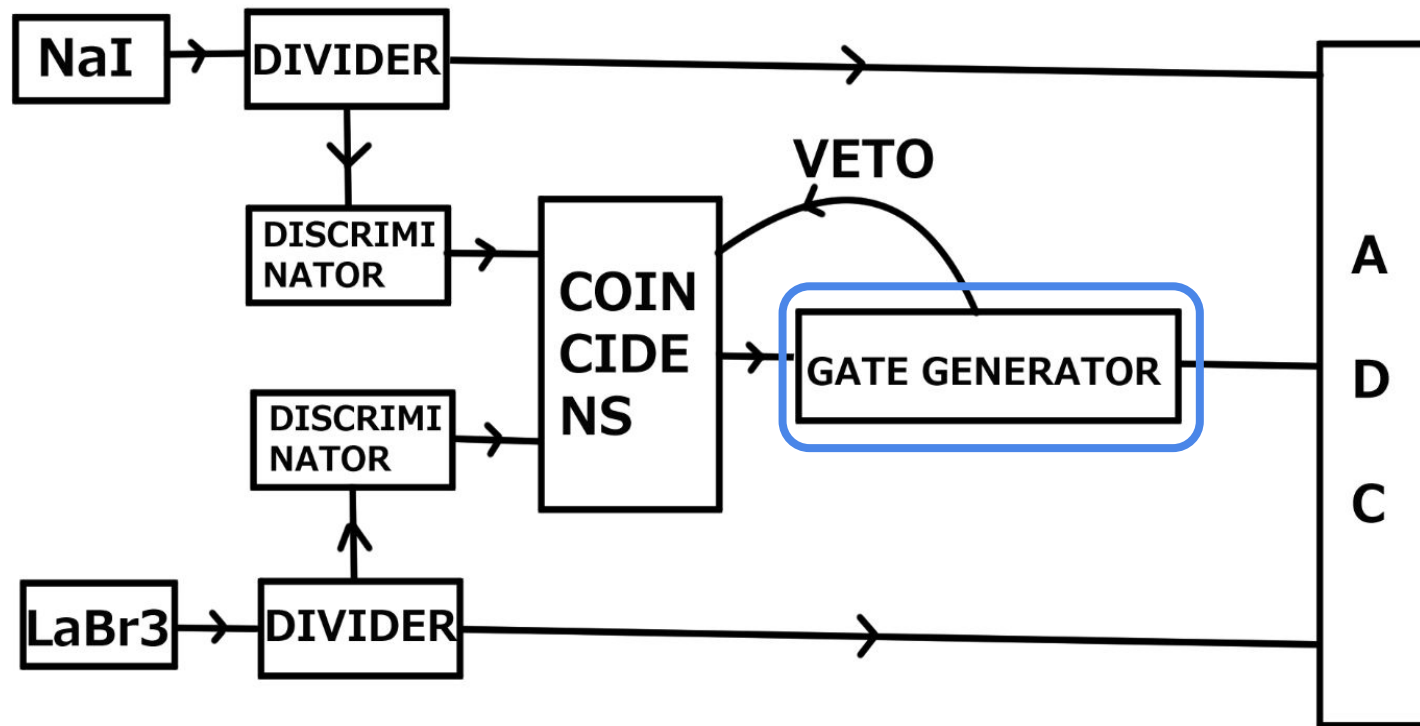
関係の中での器具 6 コーインシデンス





関係の中での器具 7 ゲートゼネレータ



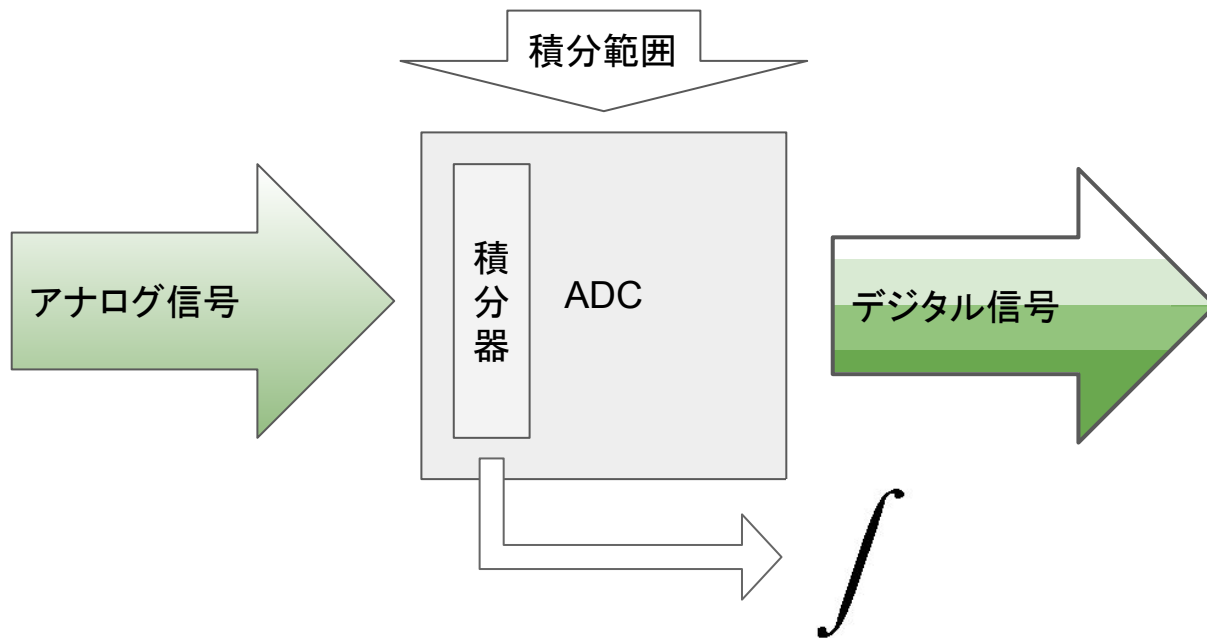


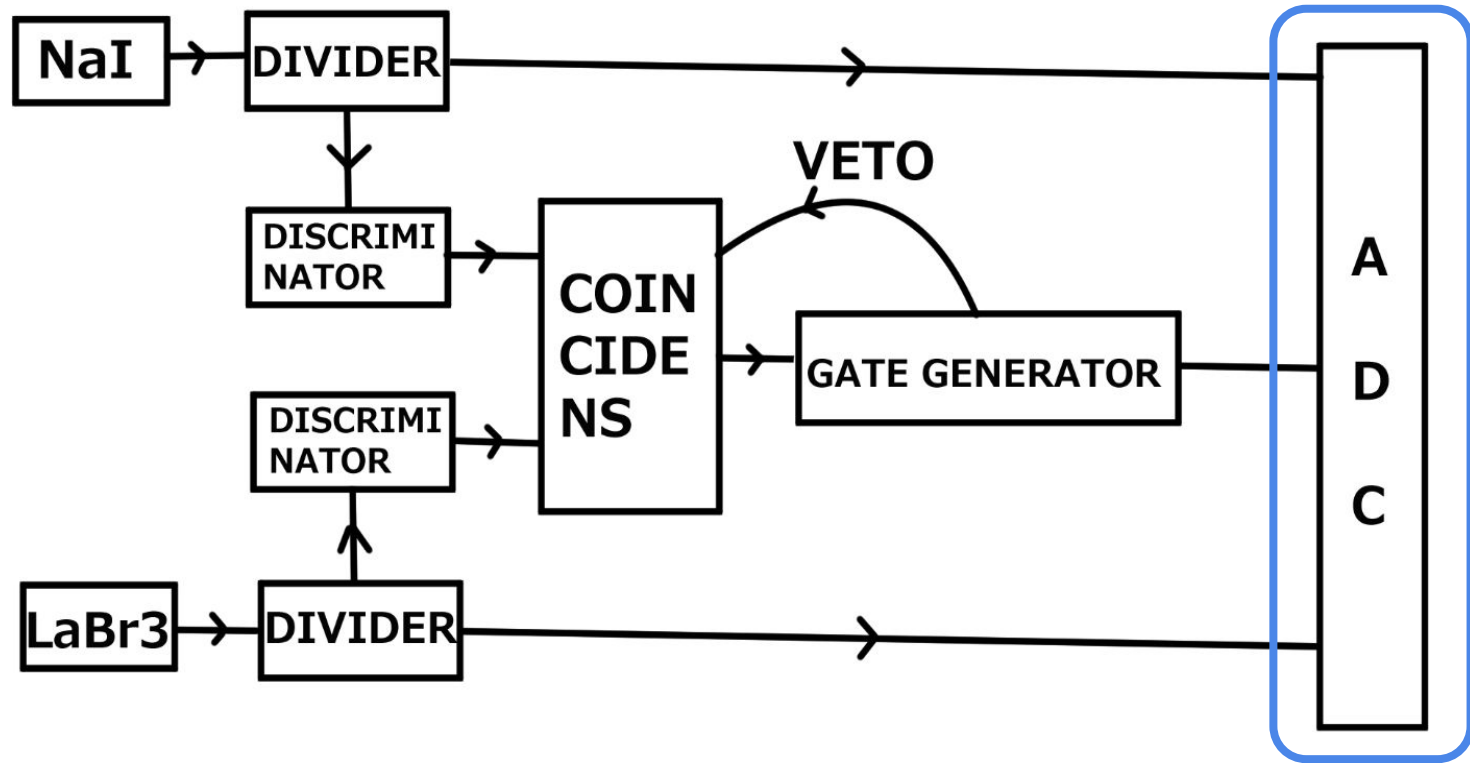
VETÖ : 私は許さない

関係の中での器具 8 ADC

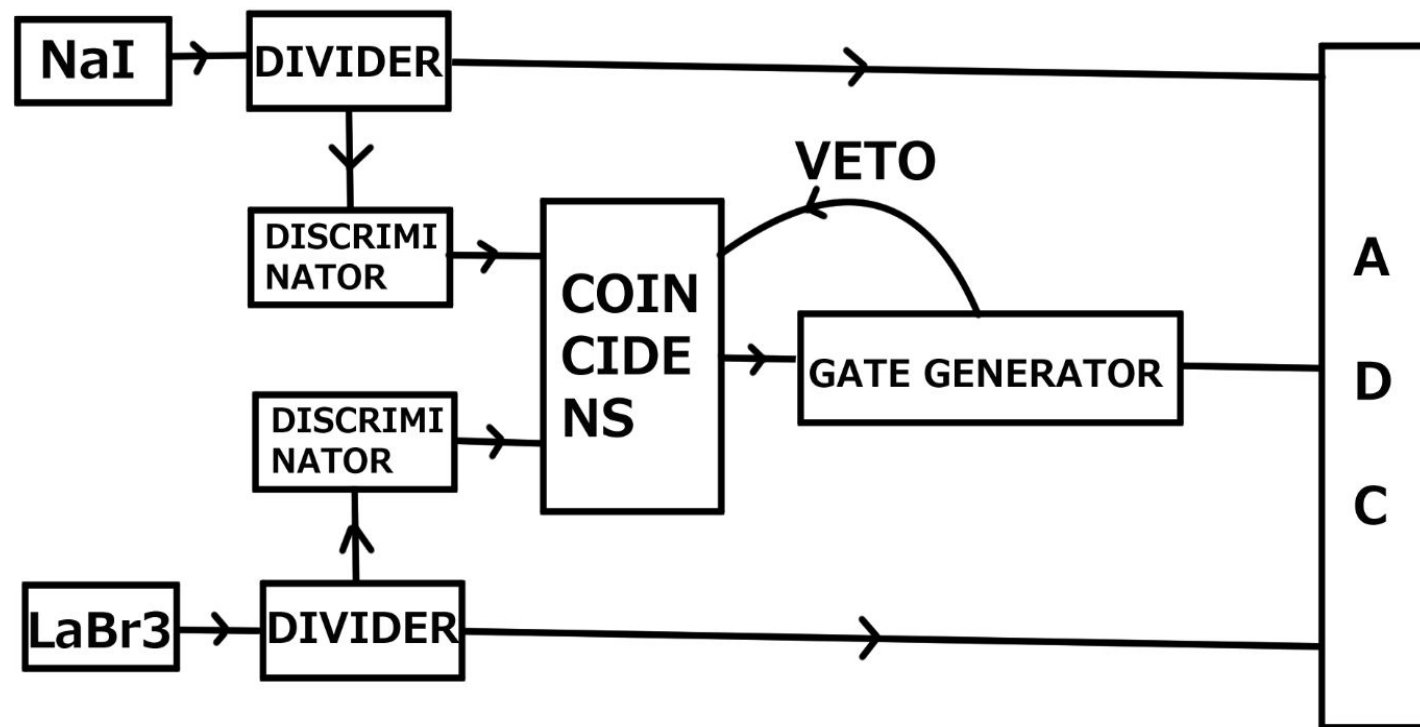


関係の中での器具 8 ADC





再掲 セットアップ(回路の配線)



両シンチレータから同時に信号が入ったときに限り、
一定時間の信号の積分を記録する

目次

1. 理論的背景
2. 実験器具
3. 結果
 - a. 実験データ
 - b. エネルギーの角度依存性
 - c. コンプトン散乱のデータの抽出
 - d. 微分散乱断面積
4. 考察
5. 結論

実験データ (Calibration)

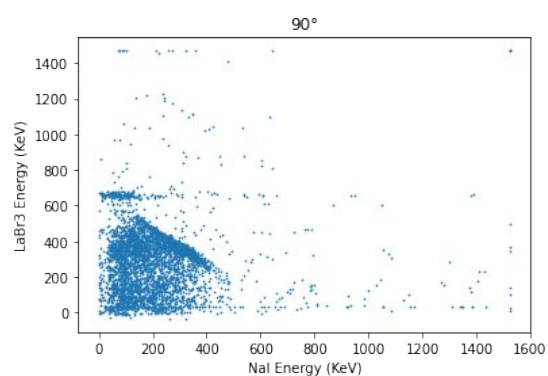
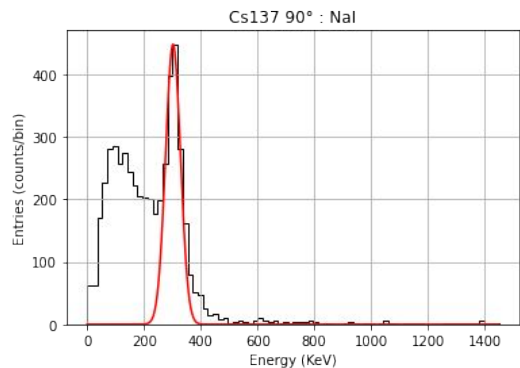
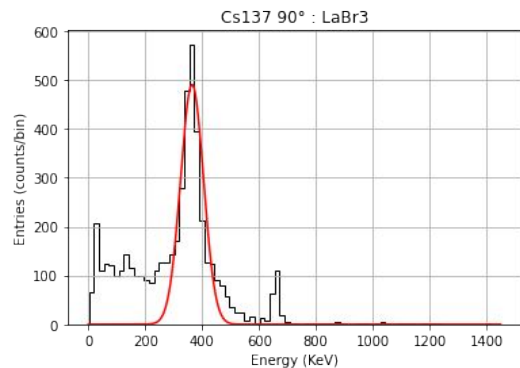
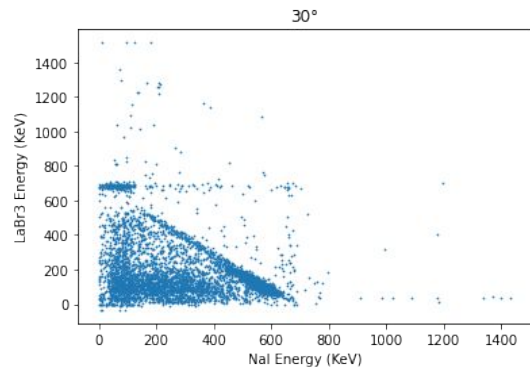
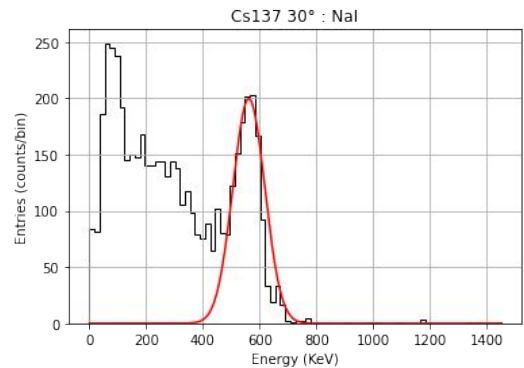
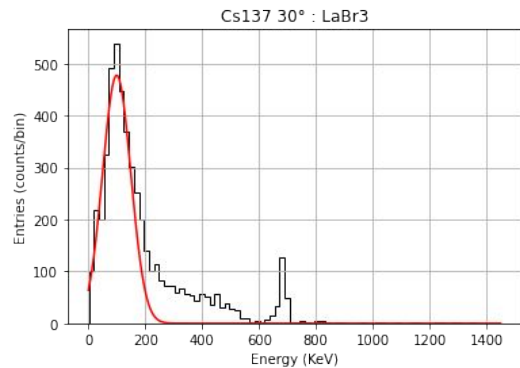
LaBr3 Calibration

	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
Gradient	0.3777	0.37	0.3682	0.3674	0.3662	0.3657	0.3666
Standard deviance of gradient	0.0064	0.0061	0.0075	0.0056	0.0056	0.0057	0.0057
Intercept	-33.6621	-30.7819	-35.4773	-34.9554	-35.2114	-35.1163	-35.2533
Standard deviance of intercept	7.2102	6.98	8.6839	6.4782	6.5165	6.6002	6.5834

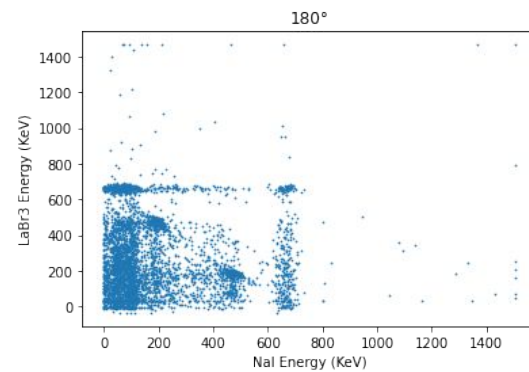
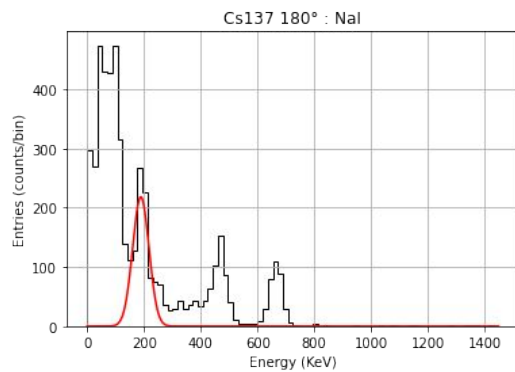
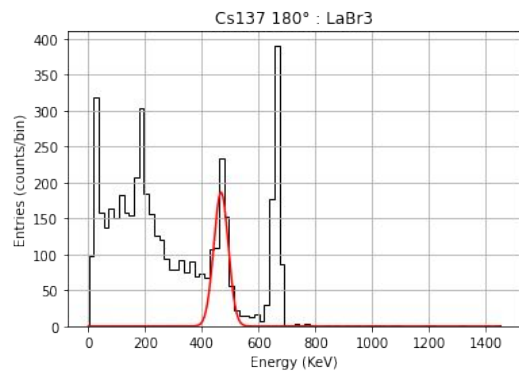
NaI Calibration

	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
Gradient	0.3846	0.3809	0.377	0.3817	0.3806	0.3801	0.3766
Standard deviance of gradient	0.0098	0.0096	0.0097	0.0098	0.0104	0.0096	0.0096
Intercept	-37.2149	-36.0619	-37.4349	-37.356	-37.957	-37.761	-37.4595
Standard deviance of intercept	10.9435	10.7139	11.0291	11.0227	11.6808	10.8777	10.9032

実験データ(本実験)



実験データ(本実験)



エネルギーの角度依存性

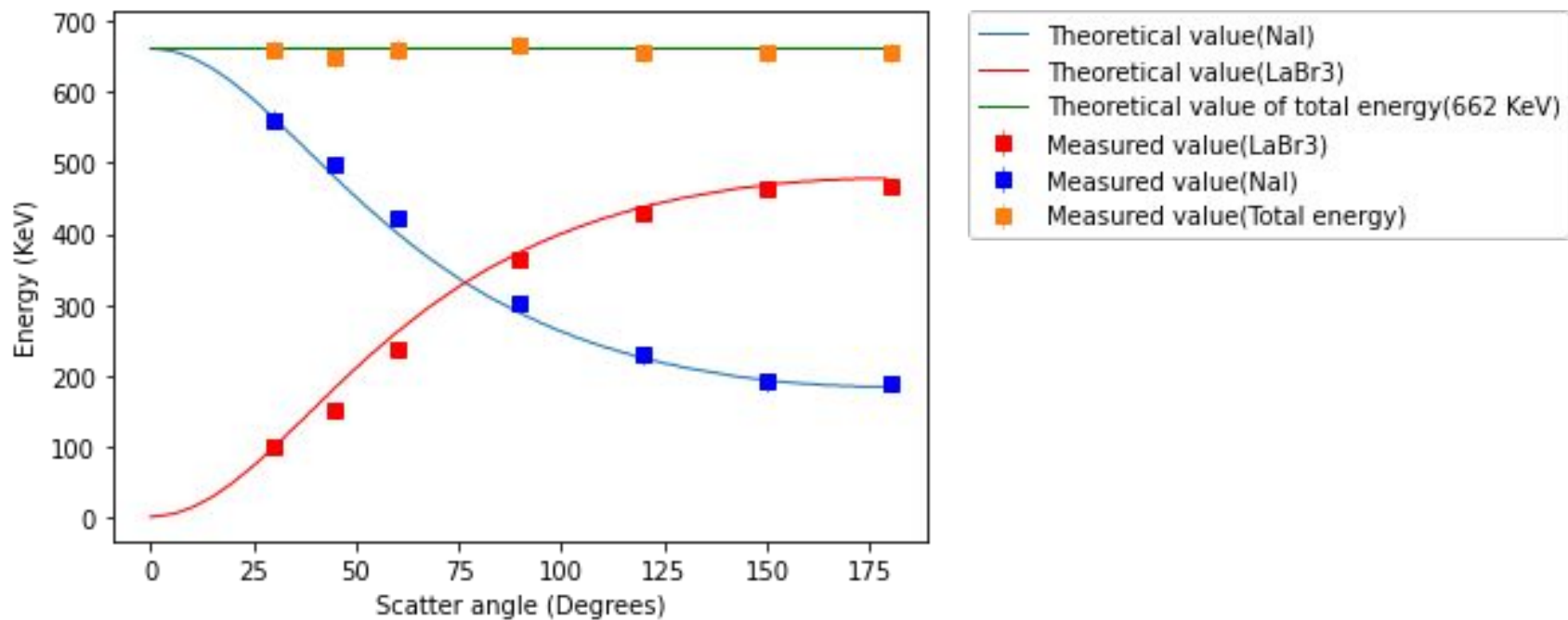
理論式

$$\text{NaI} : E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{mc^2}(1 - \cos \theta)}$$

$$\text{LaBr}_3 : E - E'$$

$$\text{和} : E$$

エネルギーの角度依存性



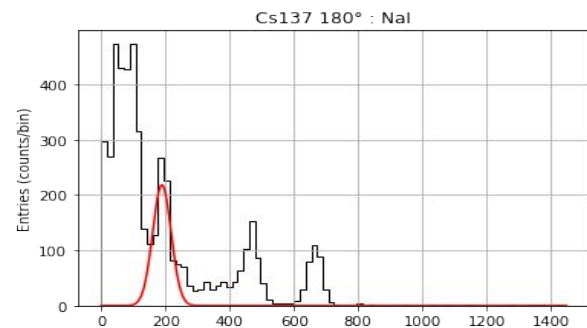
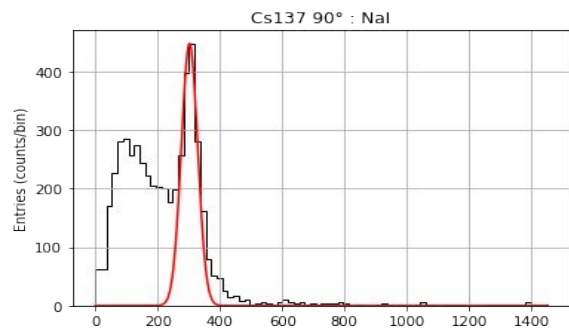
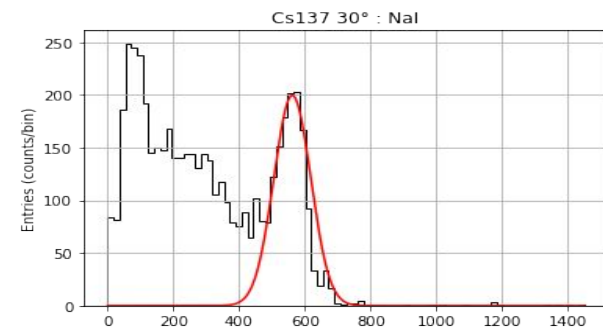
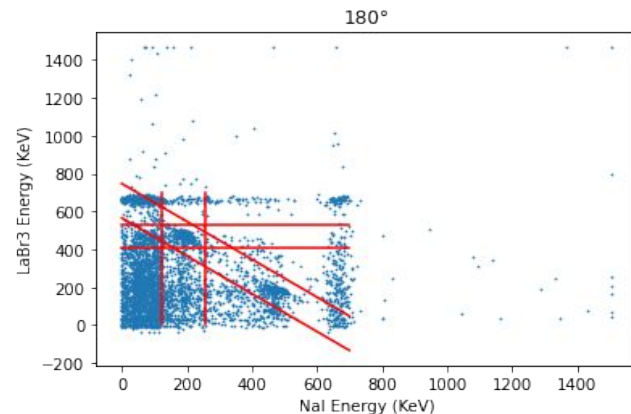
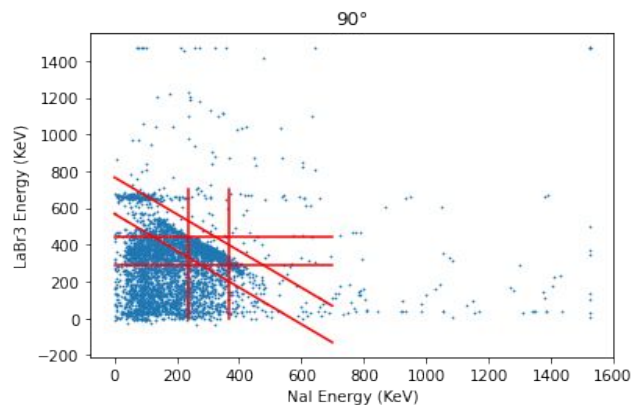
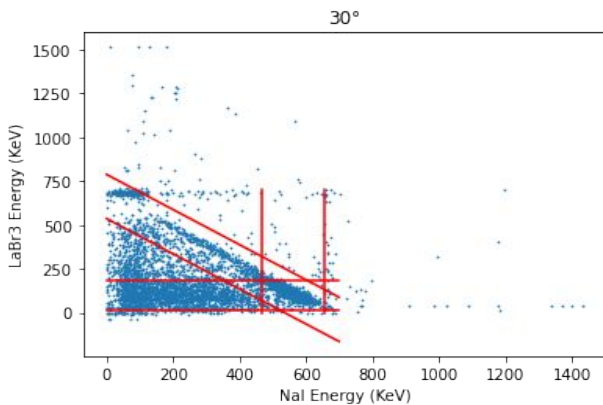
コンプトン散乱のデータの抽出

微分散乱断面積の計算

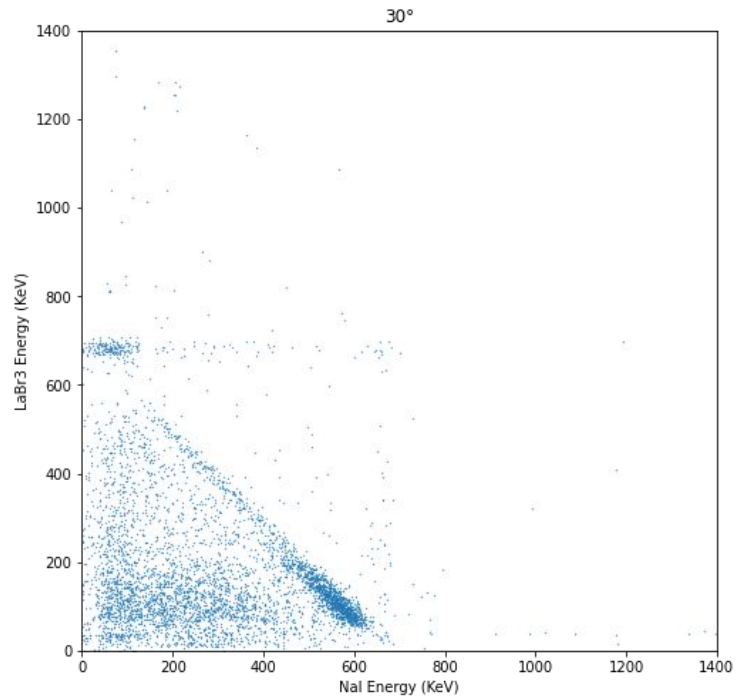
・・・コンプトン散乱がおこった回数(計数)が必要

$$N_{\text{count}} = \begin{cases} |x - E_{\text{NaI}}| & \leq 3\sigma_{\text{NaI}} \\ |y - E_{\text{LaBr}_3}| & \leq 3\sigma_{\text{LaBr}_3} \\ |x + y - E| & \leq 3\sigma \end{cases}$$

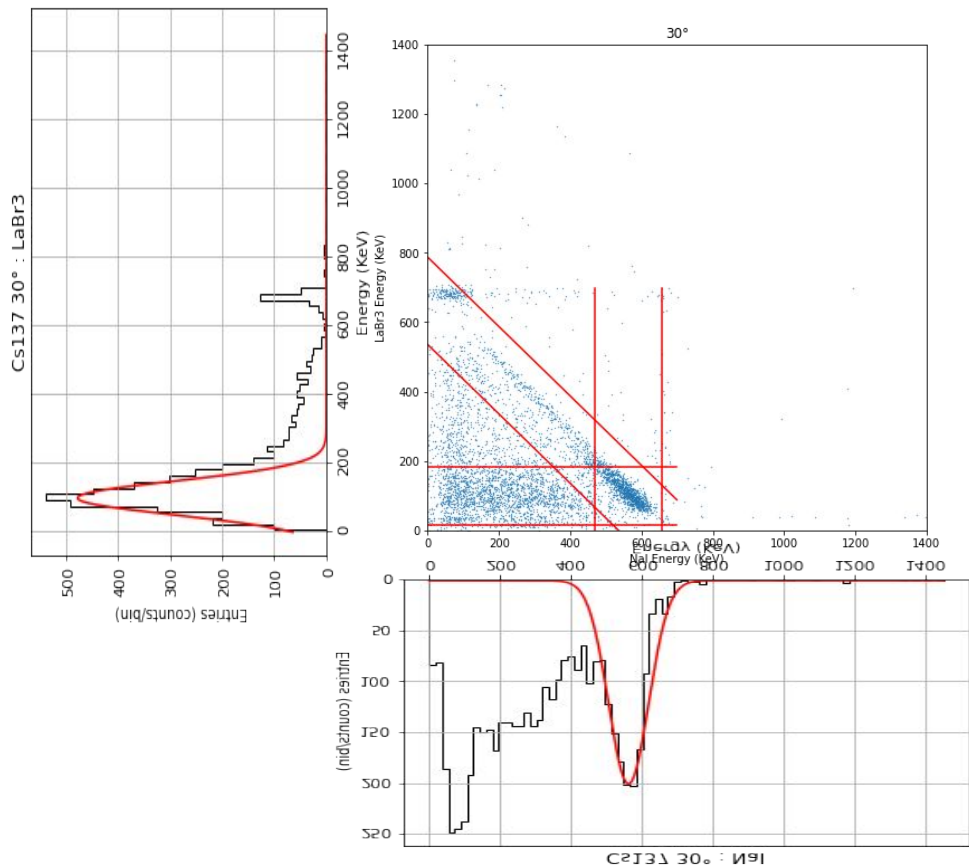
コンプトン散乱のデータの抽出



コンプトン散乱のデータの抽出



コンプトン散乱のデータの抽出



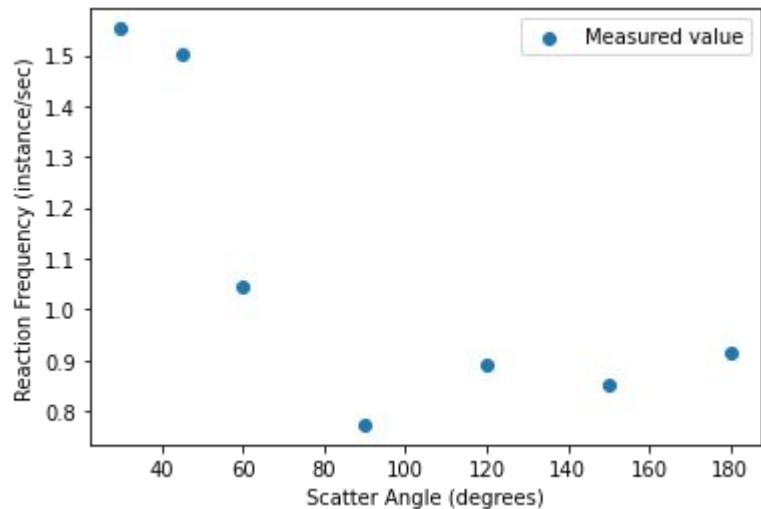
微分散乱断面積

理論式

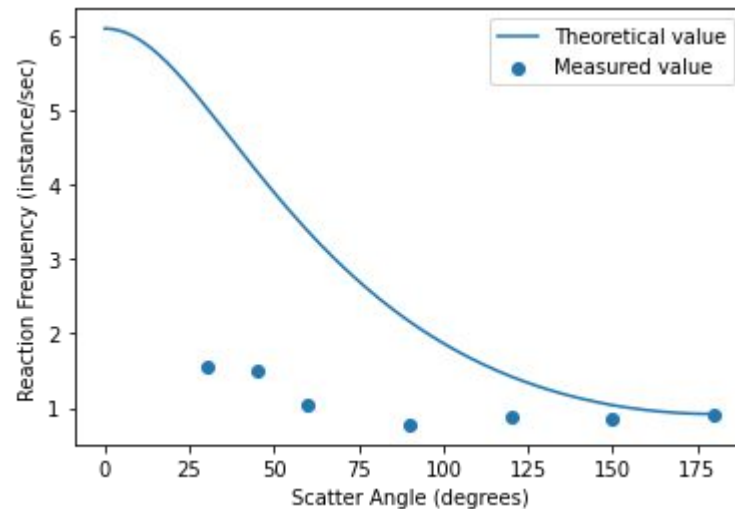
$$\frac{N_{\text{count}}}{T_{\text{count}}} \propto \left(\frac{E'}{E} \right)^2 \left[\frac{E'}{E} + \frac{E}{E'} - \sin^2 \theta \right]$$

微分散乱断面積

反応数を時間で割ったやつ



理論式を180度にあわせたやつ

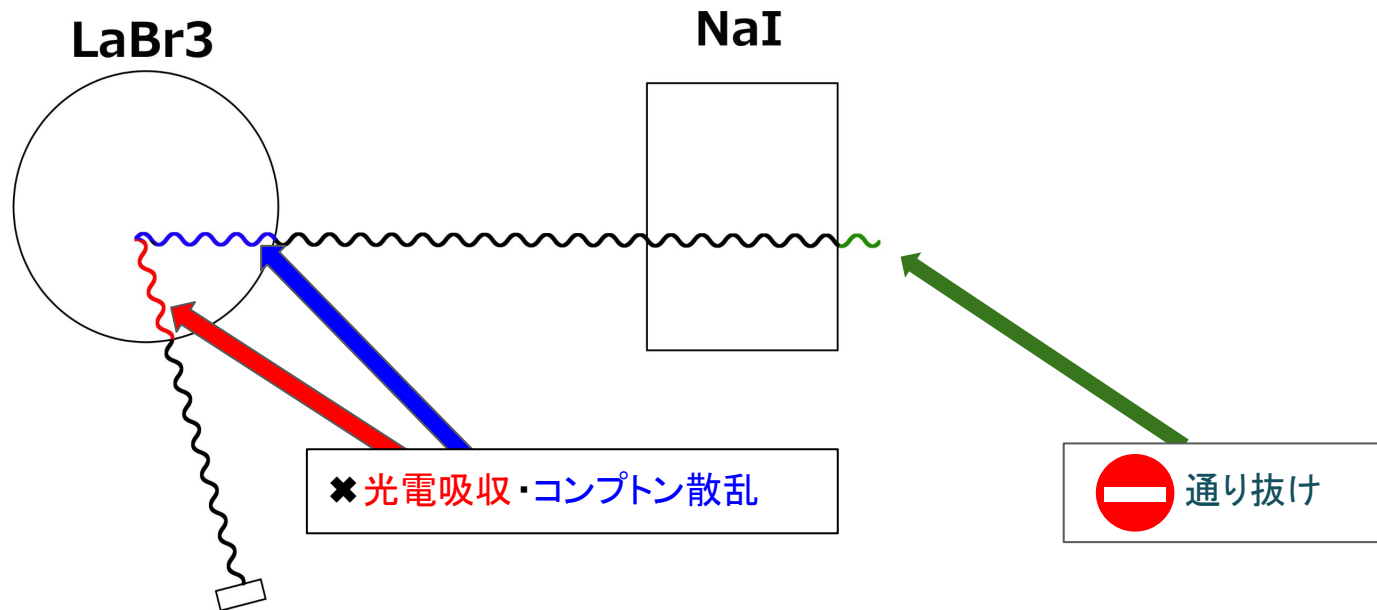


目次

1. 理論的背景
2. 実験器具
3. 結果
4. 考察
 - a. 理論式の補正
 - b. 前方散乱のずれ
5. 結論

理論式の補正

微分散乱断面積だけだと、LaBr3で光電吸収してしまったり、反対にNaIで光電吸収せずに通り抜けてしまったりする場合は考慮されていないので、それらを考慮して理論式を補正(NaIでのコンプトン散乱はひとまず考えない)



理論式の補正

補正が大事な理由

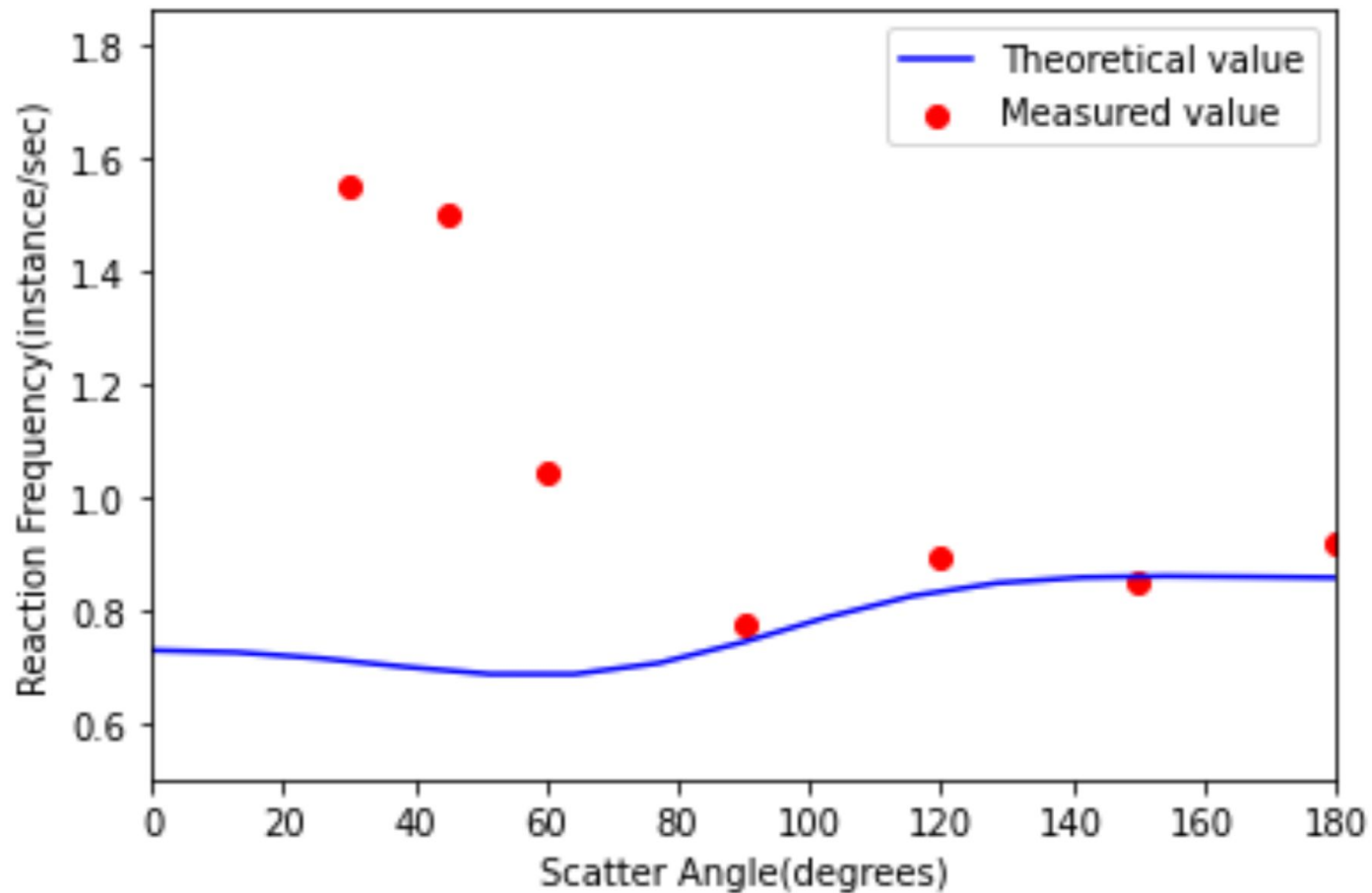
・LaBr₃の中心で180°散乱した光子がLaBr₃から(二回目の反応をせずに)脱出できる確率...

約1.3% (30°散乱なら約37%)

・30°散乱したガンマ線が、NaIでコンプトン散乱も光電吸収もせず通り抜ける確率

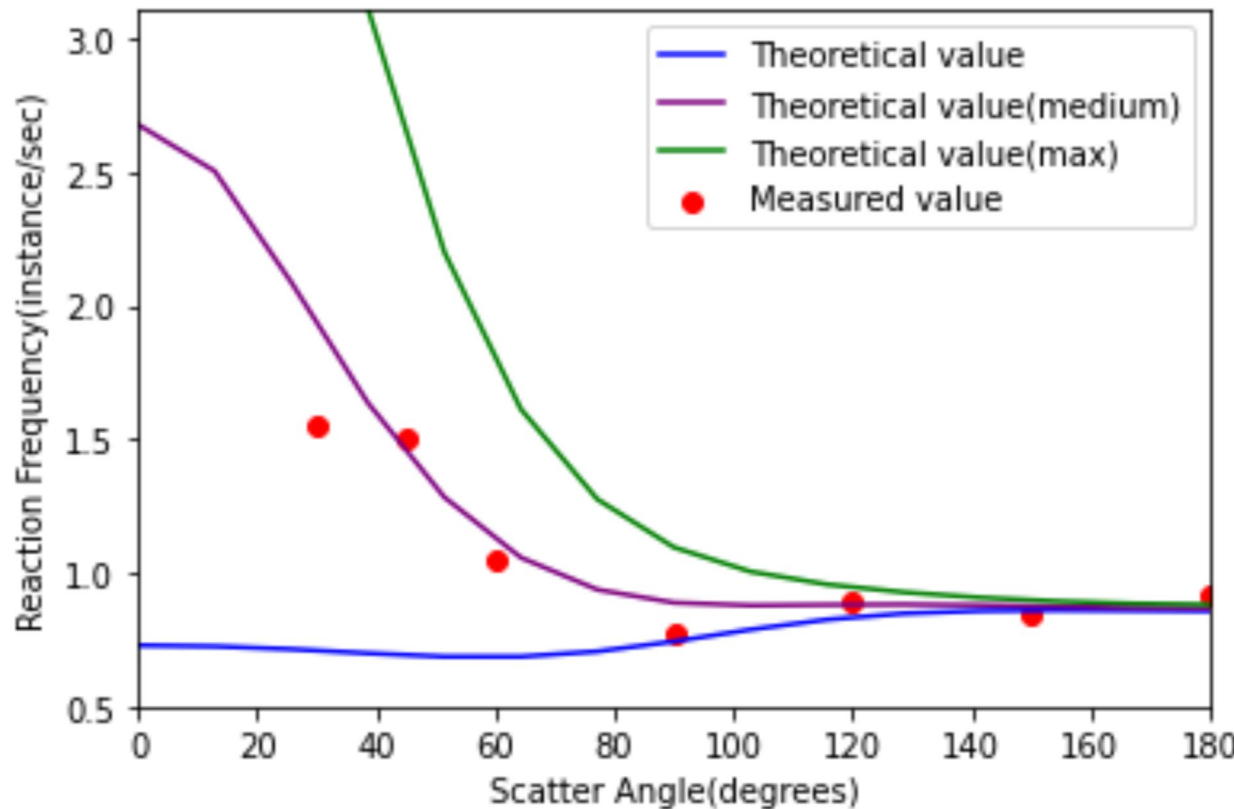
約30% (180°散乱なら約0.4%)

理論式の修正

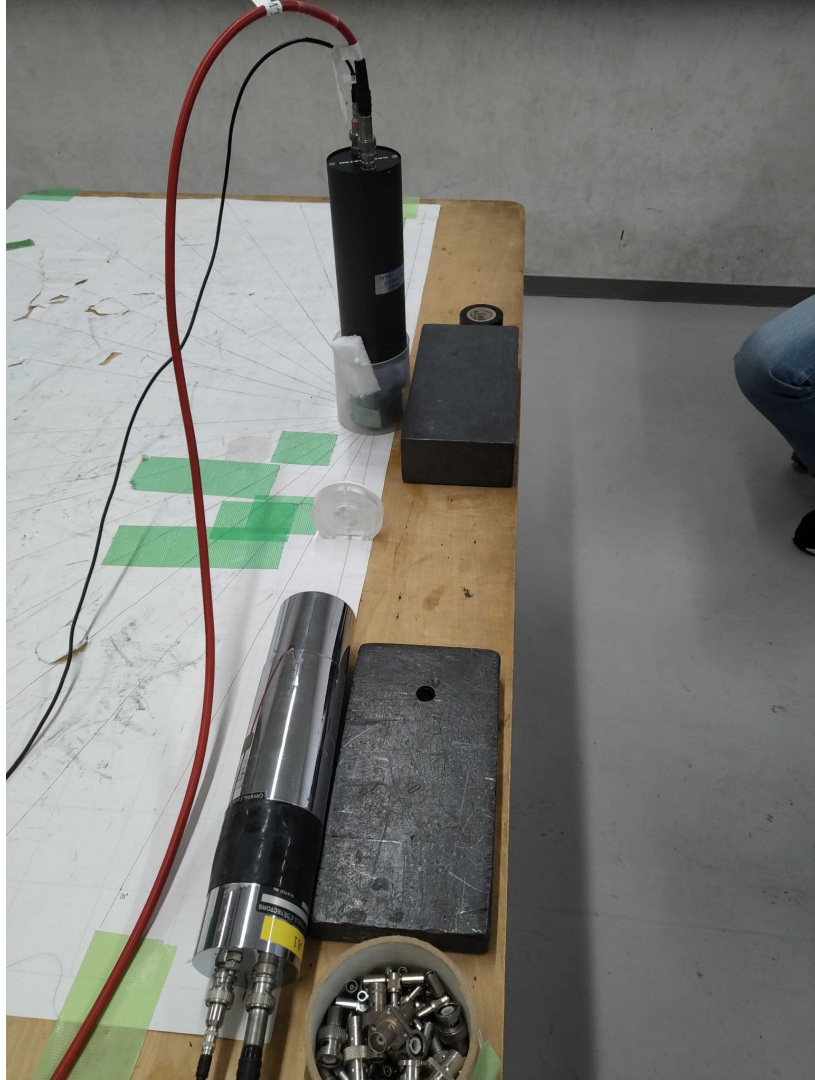


前方散乱のずれ

前方散乱で理論値が小さく
なっているため、NaIでの
コンプトン散乱の効果を考えて
補正する。(紫はコンプトン散
乱したもの30%は光電吸収
するもの、青は0%、緑は
100%)



風景



目次

1. 理論的背景
2. 實驗器具
3. 結果
4. 考察
5. 結論

結論

コンプトン散乱の計測

```
graph TD; A[コンプトン散乱の計測] --> B[散乱した粒子のエネルギーの散乱角分布]; A --> C[散乱した粒子の微分断面積];
```

散乱した粒子の エネルギーの散乱角分布

実験値の 68% 程度が誤差も含めて理論値と一致している。

散乱した粒子の 微分断面積

計測値はクライン仁科の式の定数倍になっていない。計測時間に問題はないとすると、計測値と理論の不整合は、コンプトン散乱の計数が正確に評価できていないことが原因だということになる。

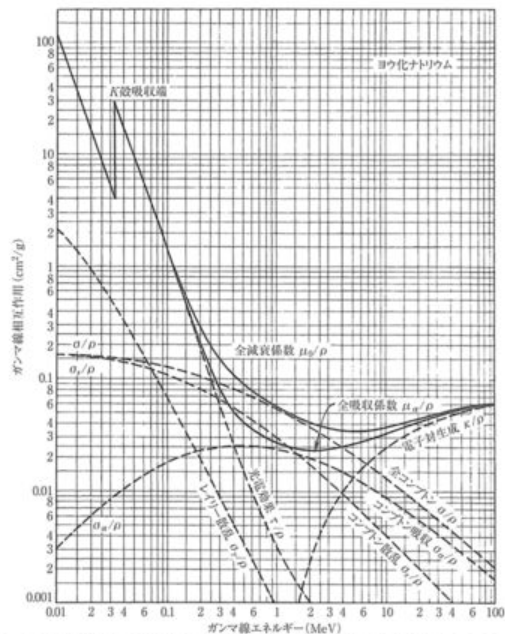


図 2.18 ヨウ化ナトリウム (NaI) 中の種々のガンマ線相互作用のエネルギー依存性。(R. D. Evans, *The Atomic Nucleus* (1955) より引用)

この電子は反跳電子 (recoil electron) と呼ばれる。すべての角度に散乱することが可能なので、電子に伝えられるエネルギーはゼロから入射ガンマ線エネルギーに近い値まで変化する。この相互作用に対するエネルギー伝達と散乱角の関係を表わす式は、エネルギーと運動量の保存則の連立方程式を解いて簡単に導くことができる。

下の図に示す符号を用いると、散乱ガンマ線エネルギーと散乱角の関係式は次のように書くことができる。

