

^{22}Na の β^+ 崩壊

内容

1. 目的
2. ^{22}Na の β^+ 崩壊
3. 測定の設定アップ
4. 実験結果
5. まとめ

柴田研究室

12B16340

藤井 勇紀

1. 目的

ドレル-ヤン反応($クォーク + 反クォーク \rightarrow \gamma^* \rightarrow \mu^+ + \mu^-$)の解析が卒業研究のテーマであるため、同時計測について学ぶ第一段階として、 ^{22}Na 線源を用いたガンマ線同時計測を行った。併せて、次のことを行った。

- データ解析法の習得
- 原子核の β^+ 崩壊についての理解

参考: 大学院 物理基本実験

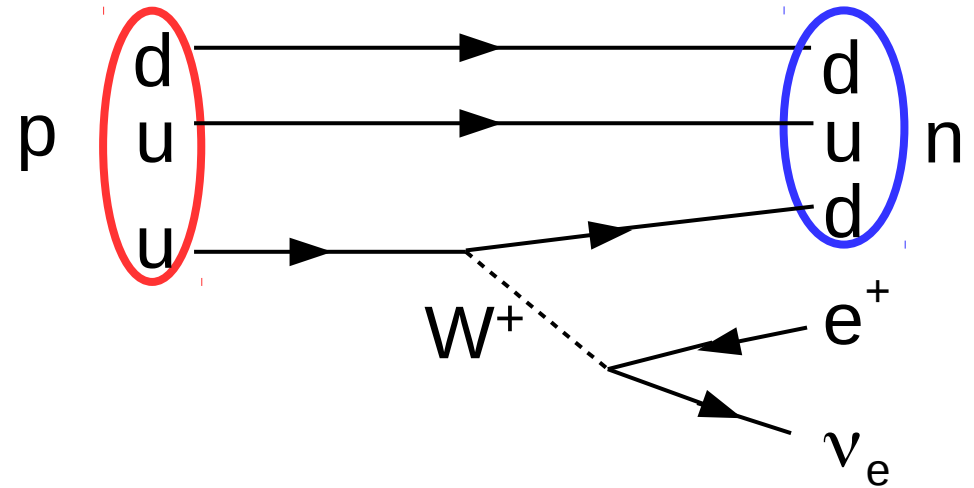
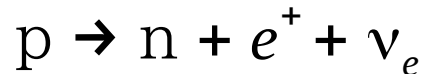
テーマB 「NaIシンチレータによるガンマ線の測定」テキスト

2. ^{22}Na の β^+ 崩壊

^{22}Na は次のように β^+ 崩壊する。

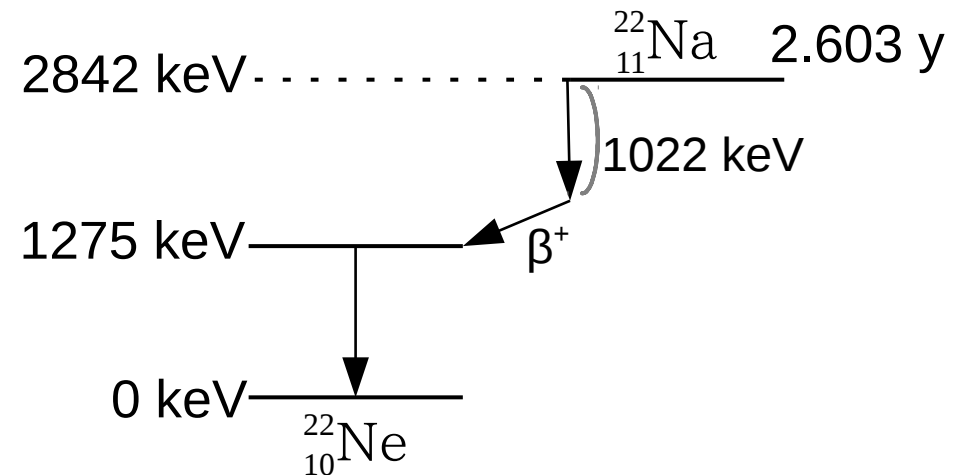


核子のレベルにおいては、
次のように崩壊する。



右図は、この崩壊の原子の崩壊図である。

この崩壊では、陽電子とニュートリノが発生し、 ^{22}Na の電子が1つ余分になるため、陽電子とニュートリノが持つ運動エネルギーの和は、



$$E_e + E_\nu = 2842 \text{ keV} - 1275 \text{ keV} - 2 \times 511 \text{ keV} = 545 \text{ keV}$$

となる。ここで原子核の質量は大きいいため、原子核の反跳エネルギーは無視した。

陽電子のエネルギー分布

β^+ 崩壊は3体崩壊であるため、陽電子のエネルギー分布は連続分布となる。

陽電子が最大運動エネルギー T_{max} を持つのは、 $E_\nu=0$ のときである。 $T_{max} = 545 \text{ keV}$

参考:八木浩輔 著 「原子核物理学」

陽電子の飛程(stopping range)

陽電子の単位長さ当たりのエネルギー損失はBethe-Blochの式を修正して表される。

飛程はその逆数を積分することで求められる。

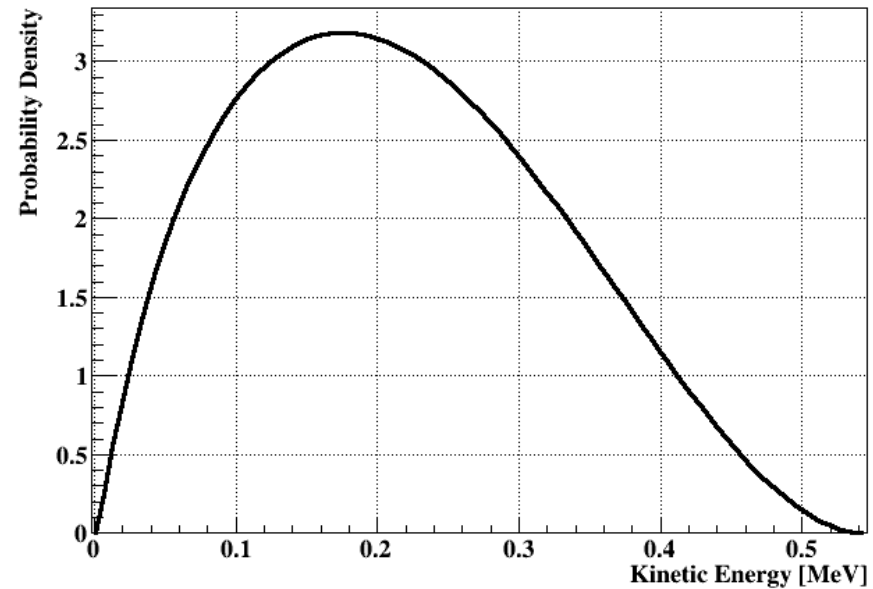
本実験で用いた線源は厚さ3mmの亚克力樹脂(密度:1.18 g/cm³)で密封されている。

亚克力樹脂中での運動エネルギー545 keVの陽電子の飛程 R は、 $R = 1.15 \text{ mm}$ となる。

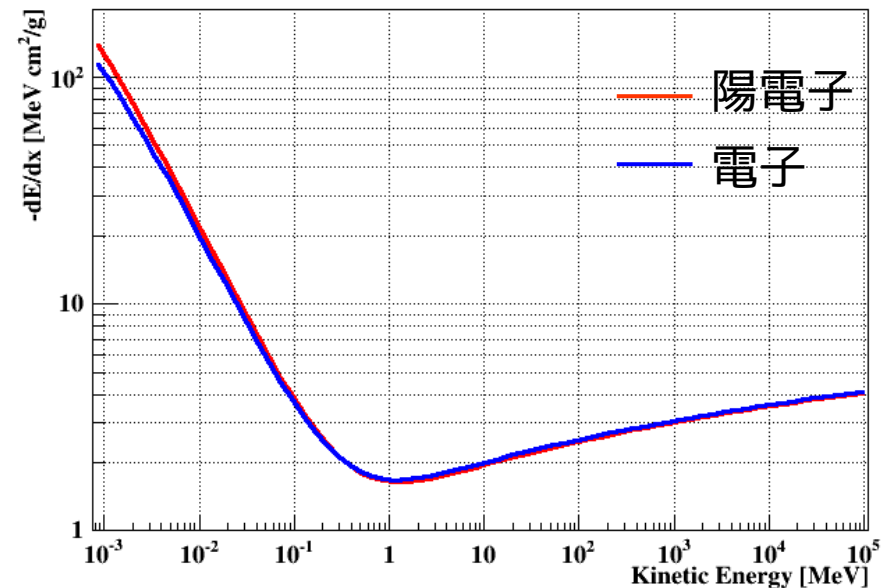
そのため、陽電子は亚克力樹脂中からは出てこないと考えられる。

参考:W. R. Leo 著 , “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”

Energy distribution

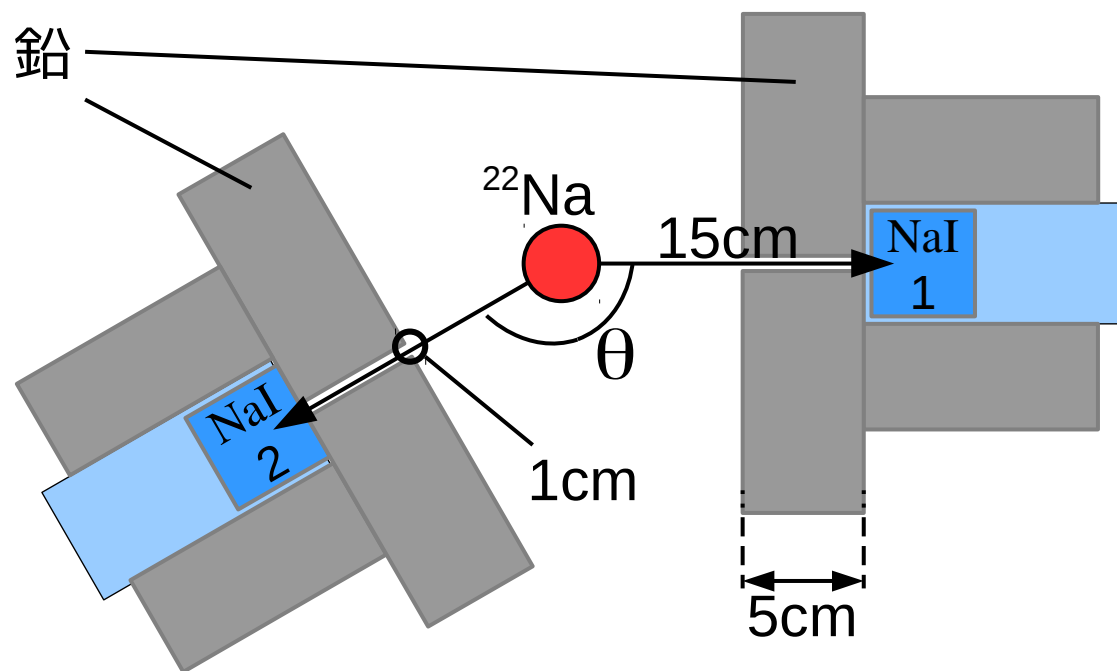


Energy loss



3. 測定のセットアップ

$e^+ + e^- \rightarrow \gamma \gamma$ によって生じるガンマ線を同時計測した。
2つのNaIシンチレータは図のように配置した。



鉛をおいた理由は次の理由からである。

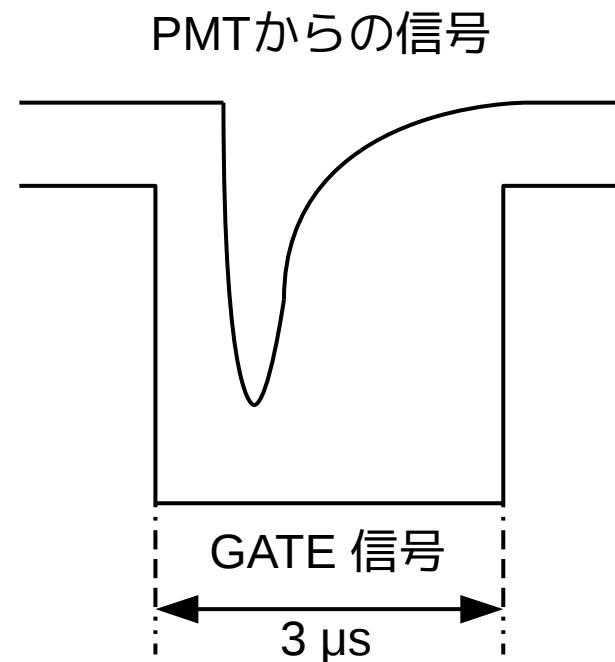
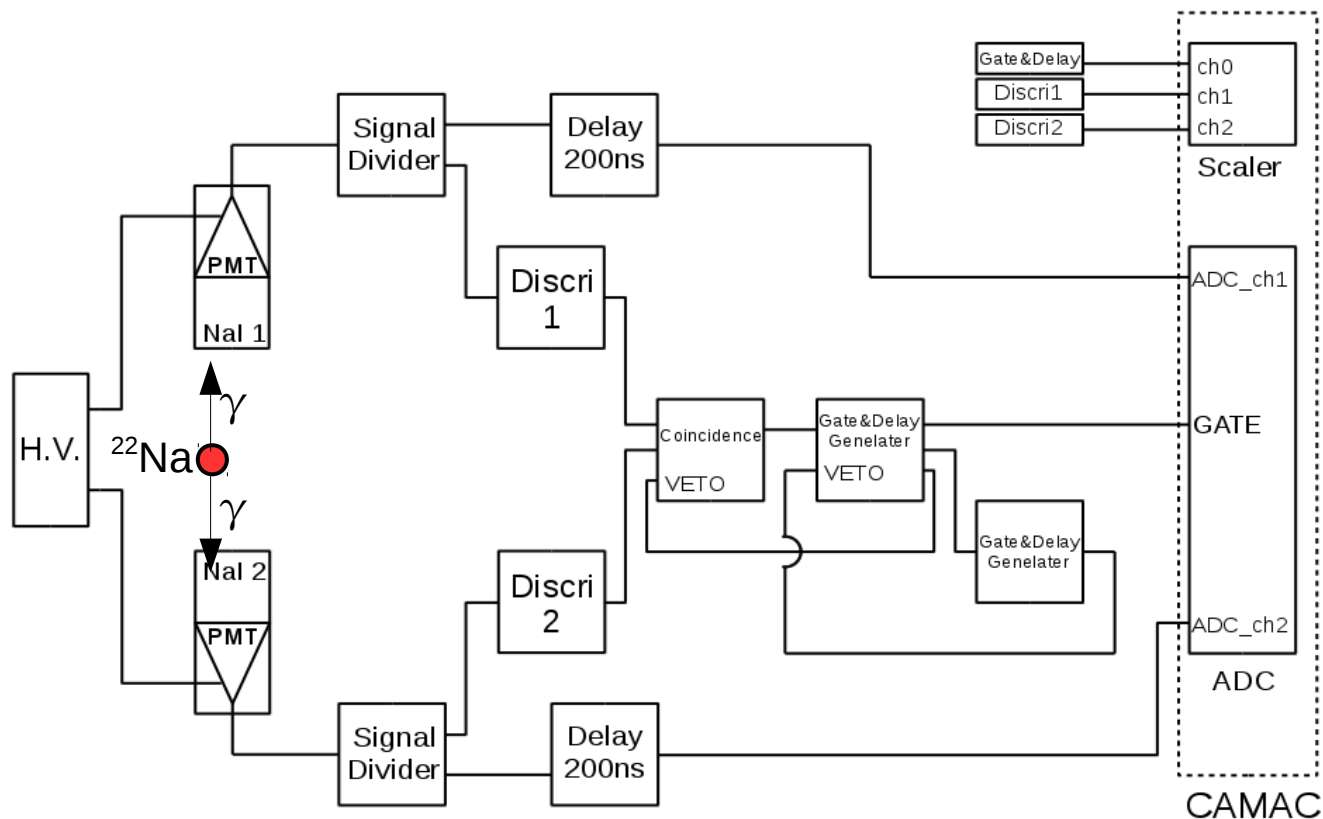
- 環境放射線を防ぐため
- 片方のNaIでコンプトン散乱したガンマ線がもう片方のNaIに入るのを防ぐため

実験のための回路は左図のように接続した。

破線で囲まれている部分がCAMACモジュールであり、それ以外の部分はNIMモジュールである。

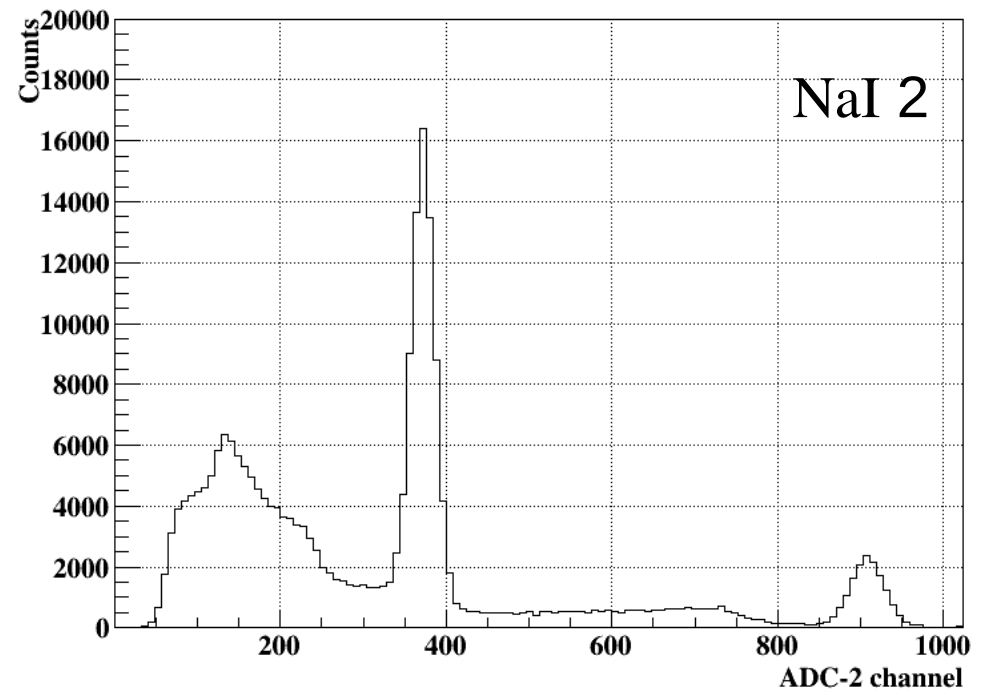
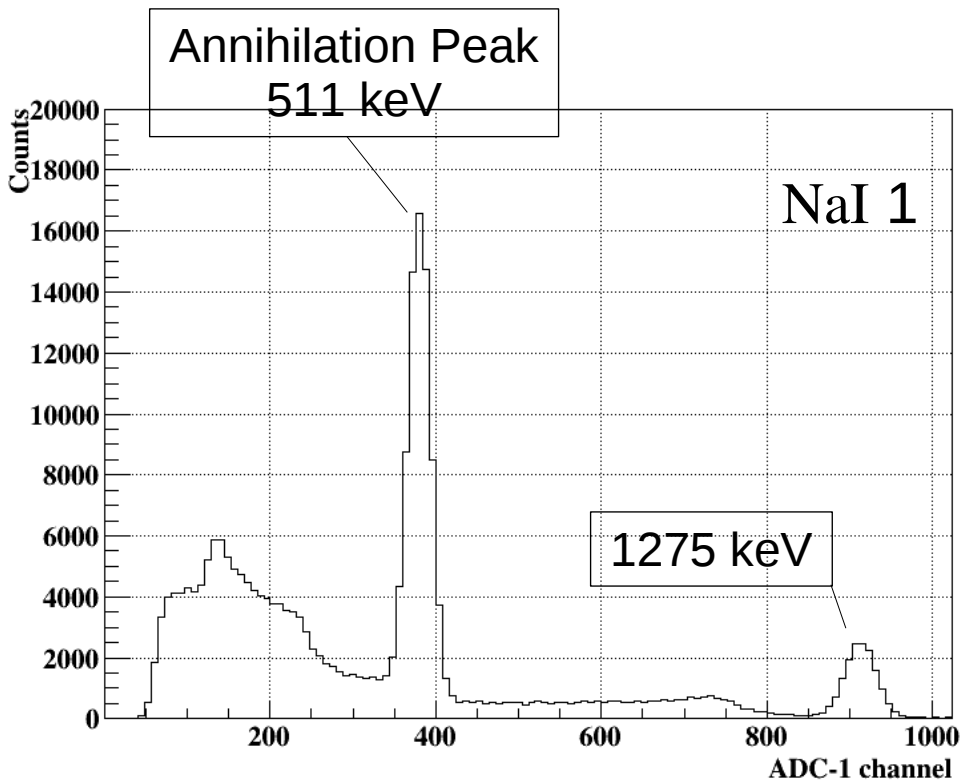
GATE信号は右図のようにPMTからの信号全体が入るよう調整した。

NaI 1とNaI 2でゲインが同じになるようPMTへの印加電圧を調整した。

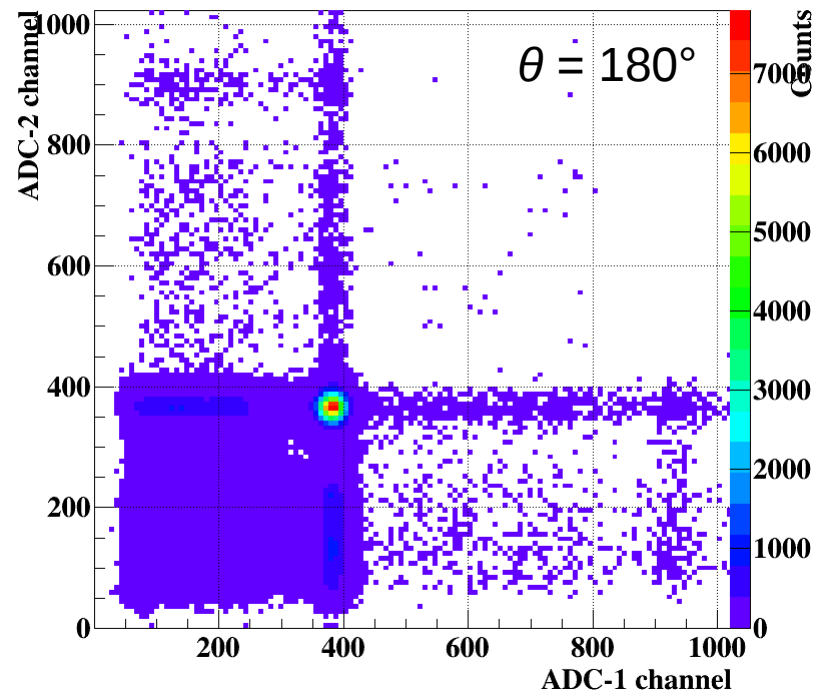
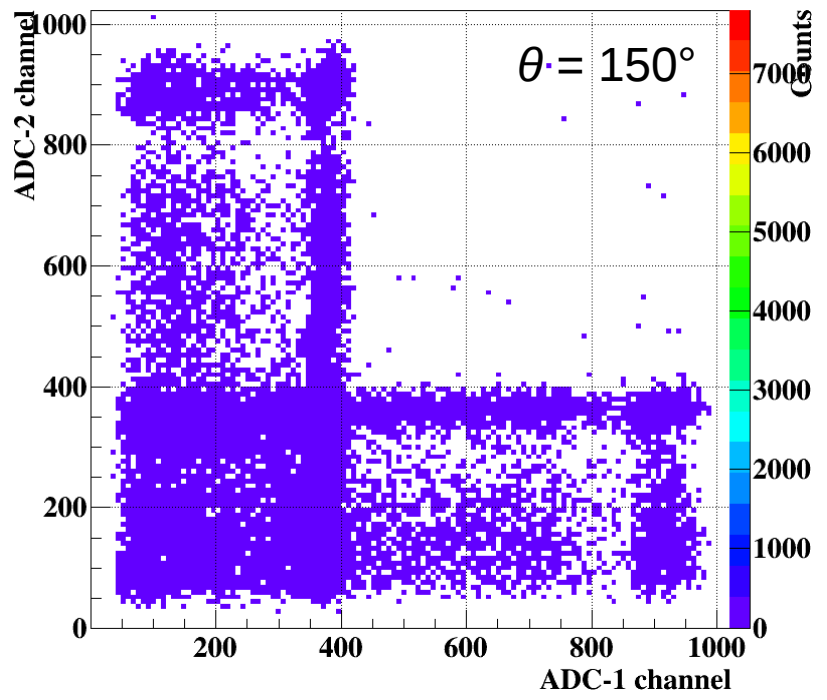
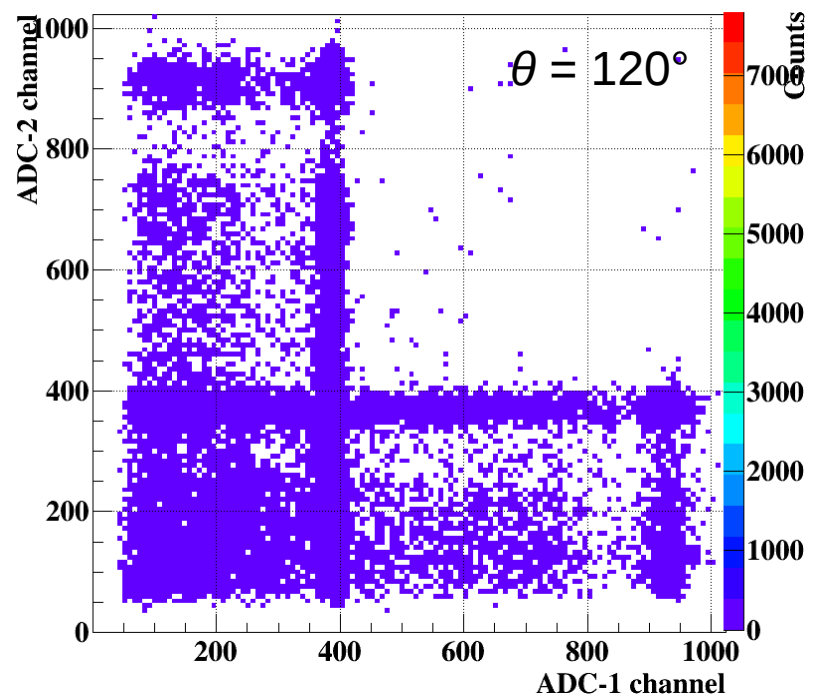
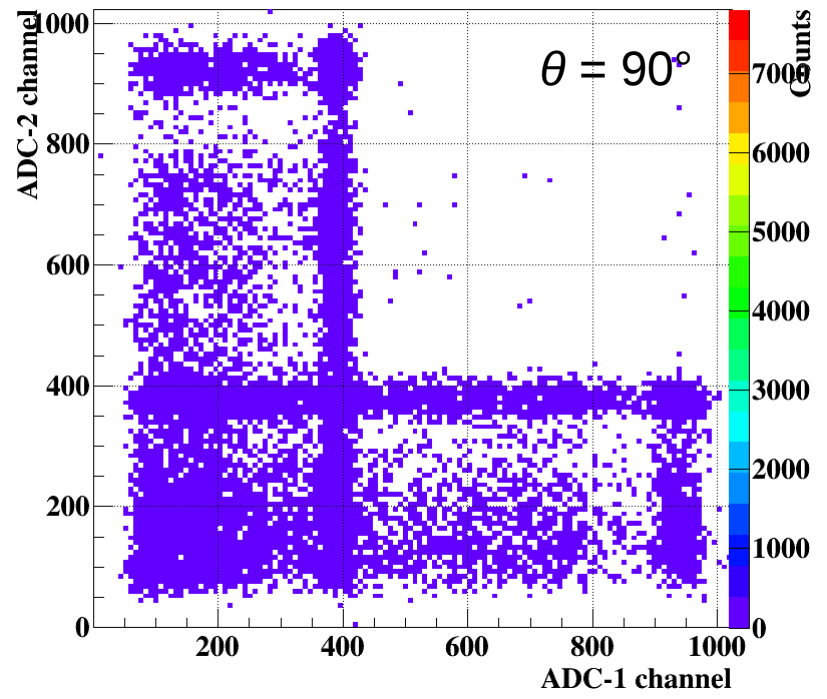


4. 実験結果

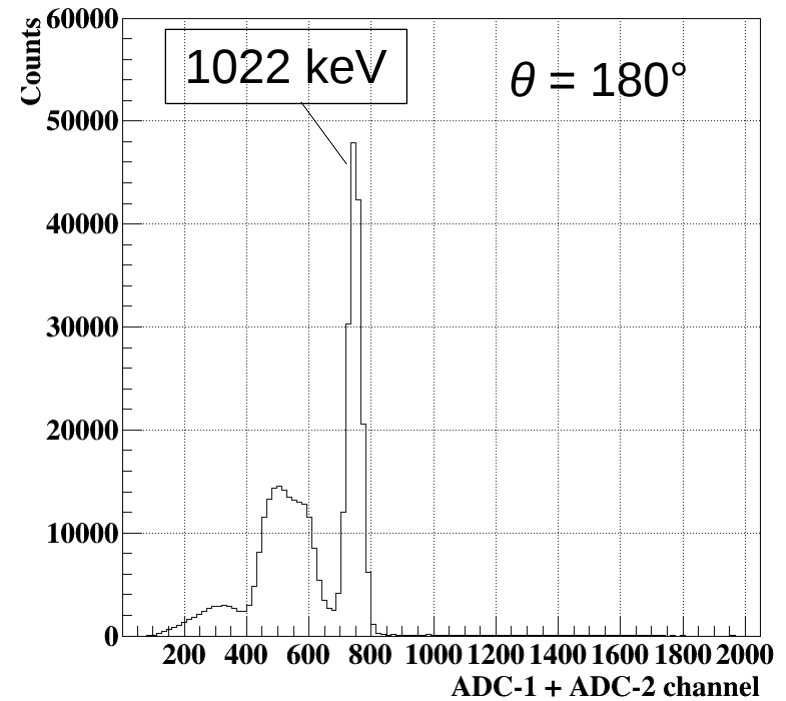
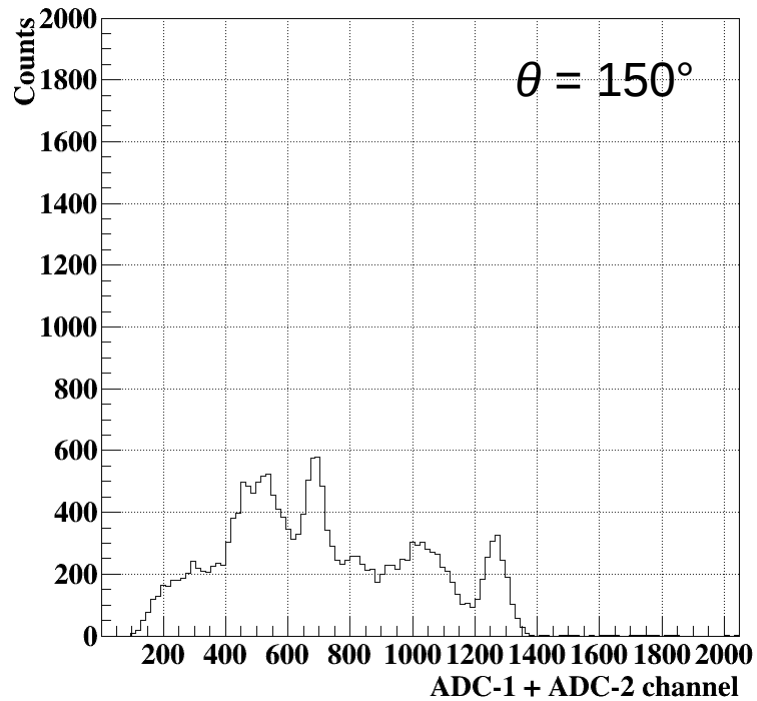
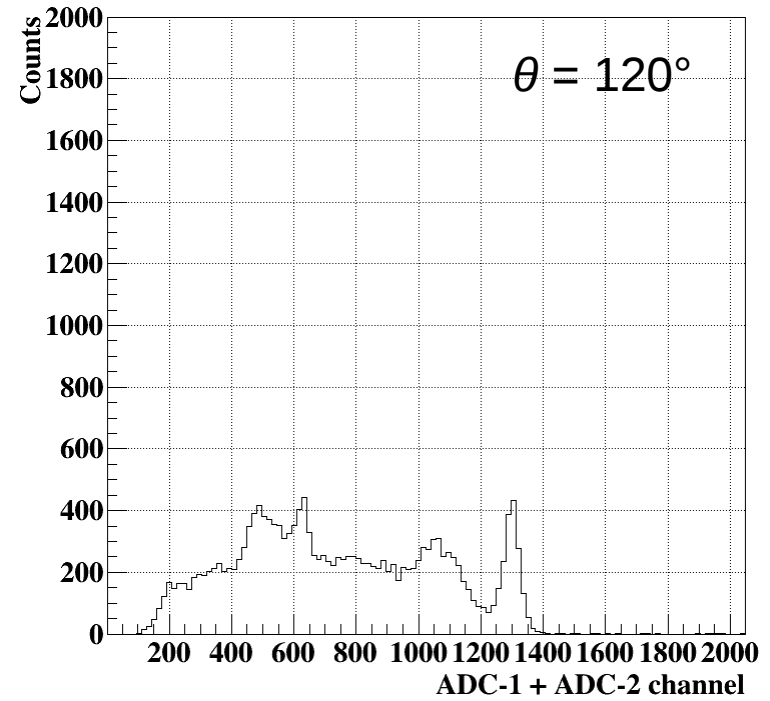
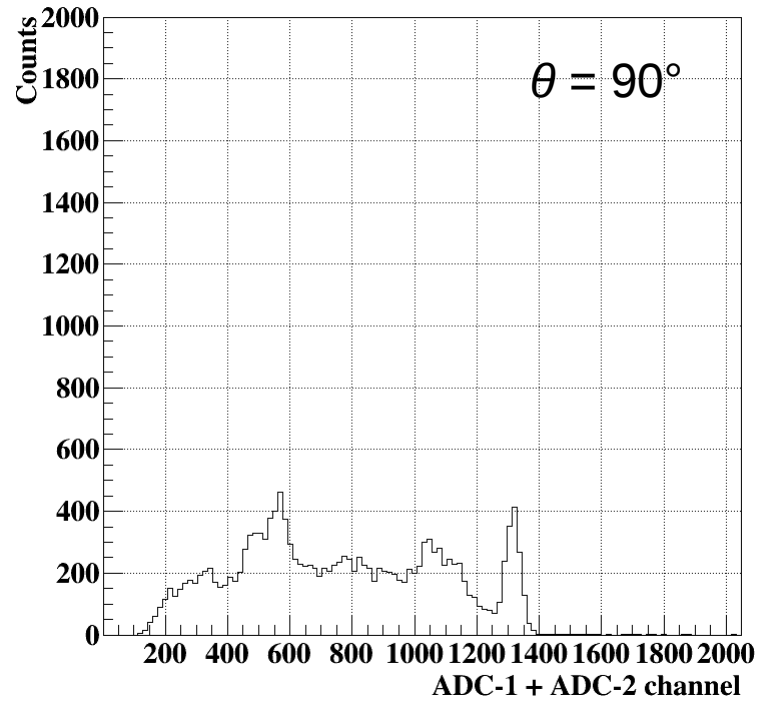
図はそれぞれのNaIシンチレータによって測定した ^{22}Na のガンマ線のエネルギースペクトルである。

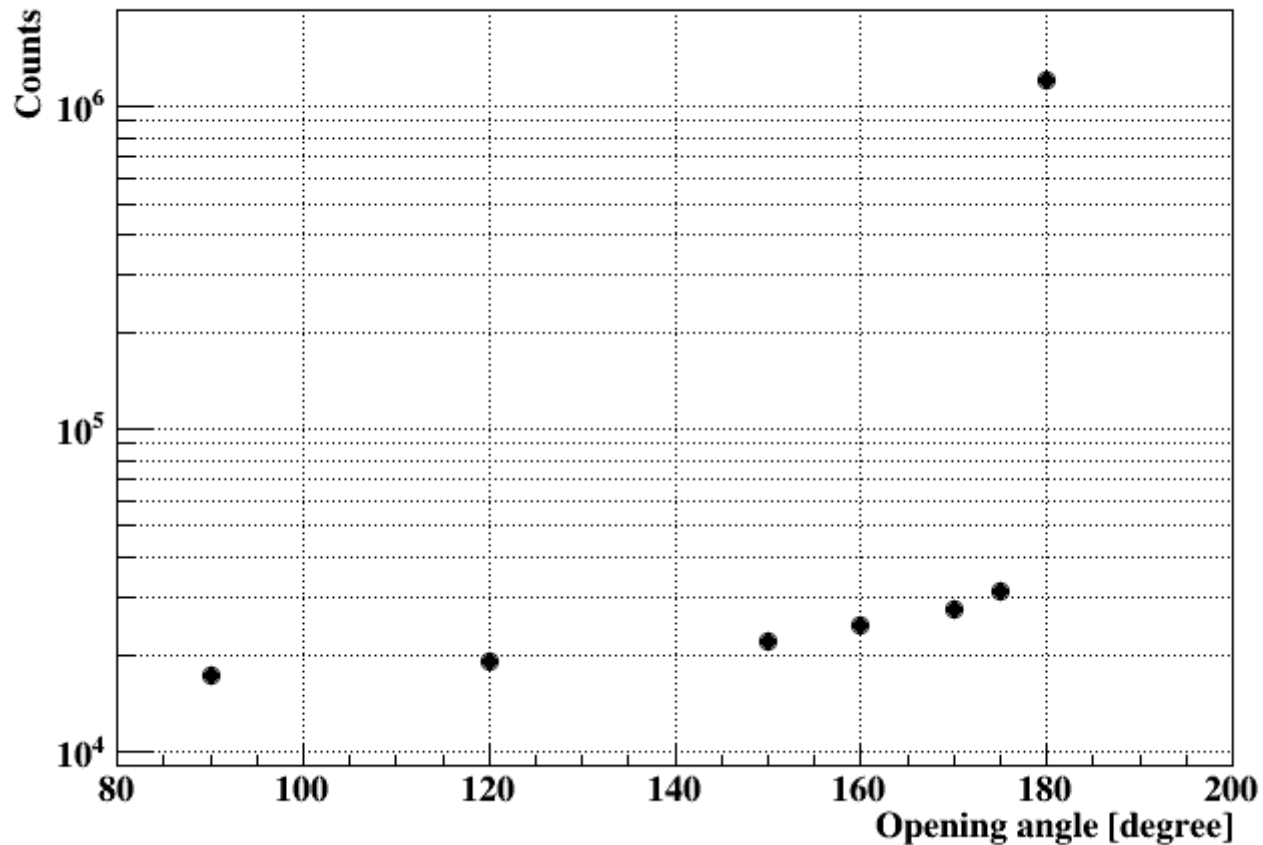


^{22}Na 線源の同時計測によって得られたスペクトルの2次元プロット



ADC 1とADC 2のChannelの和をとった1次元ヒストグラム





各角度における全計数をまとめた。

計数はOpening angleと共に計数が大きくなっており、 180° の場合に特に大きくなっている。

陽電子は対消滅するとき、反対方向にガンマ線は放出される。

5. まとめ

- ドレル-ヤン反応の解析が卒業研究のテーマであるため、同時計測について学ぶ第一段階として、 ^{22}Na 線源を用いたガンマ線同時計測を行った。
- β^+ 崩壊した際に放出される陽電子の最大飛程を計算した。
- NaIシンチレータを鉛で囲い、NIMモジュールとCAMACモジュールを用いてデータを取得した。
- $\theta = 180^\circ$ の場合のみ大きなピークがあり、ADC 1とADC 2の和は1022 keVに一致する。
- 陽電子が対消滅するとき、反対方向にガンマ線は放出される。

参考文献

- 大学院 物理基本実験
テーマB 「NaIシンチレータによるガンマ線の測定」テキスト
- W. R. Leo 著 , “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”
- Richard B. Firestone 著 “Table of Isotope”
- 八木浩輔 著 「原子核物理学」

$$-\frac{1}{\rho} \frac{dE}{dx} = D \frac{Z}{A} \frac{1}{\beta^2} \left[\ln \frac{\tau^2(\tau+2)}{2(I/m_e c^2)^2} + F(\tau) - \delta - 2 \frac{C}{Z} \right]$$

$$F(\tau) = 2 \ln 2 - \frac{\beta^2}{12} \left(23 + \frac{14}{\tau+2} + \frac{10}{(\tau+2)^2} + \frac{4}{(\tau+2)^3} \right)$$

$$\tau = \frac{T_e}{m_e c^2}, \quad D = 2\pi N_a r_e^2 m_e c^2 = 0.1535 \text{ MeVcm}^2/\text{g}$$

δ : 密度補正

C : 殻補正

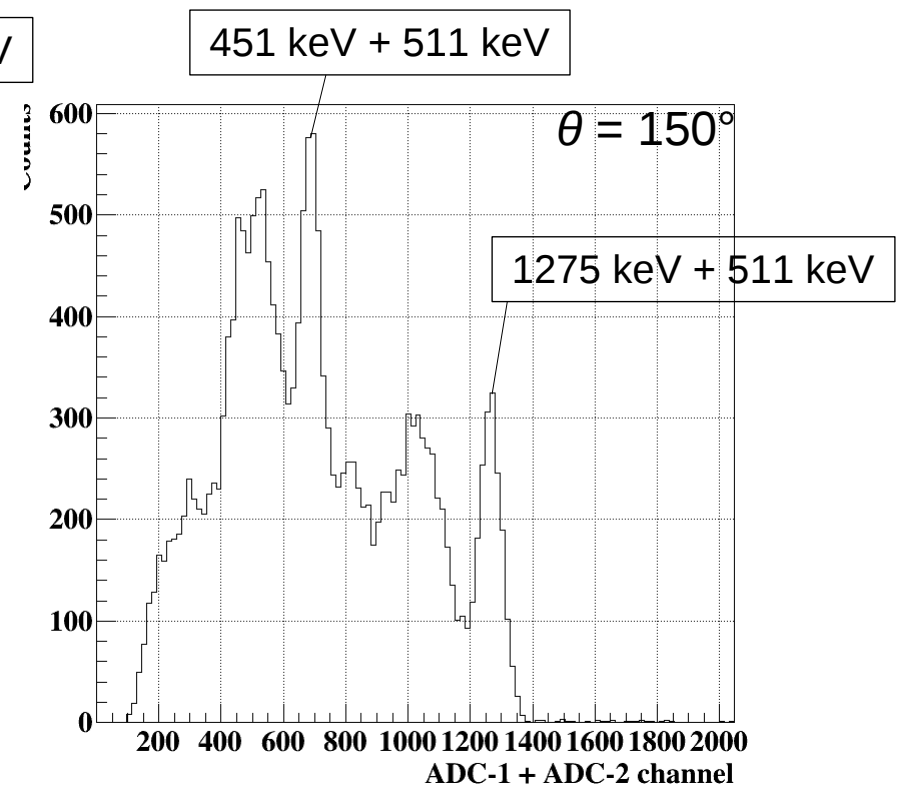
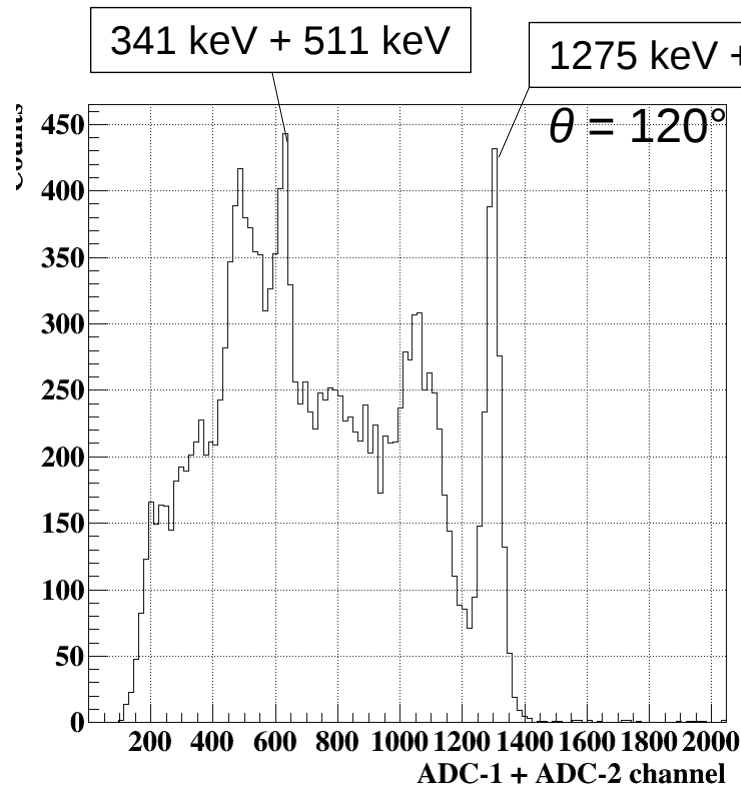
$$R(E_{kin}) = \int_0^{E_{kinmax}} \left(\frac{dE}{dx}(E_{kin}) \right)^{-1} dE_{kin}$$

線源は厚さ3mmの亚克力樹脂(密度:1.18g/cm³)で密封されている。
 亚克力樹脂中での運動エネルギー545 keVの陽電子の飛程Rは、
 R = 1.15 mm となる

そのため、陽電子は亚克力樹脂中で静止する。

参考:W. R. Leo 著 , “Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”

計数に角度依存性が現れている要因としては、線源を密封しているアクリル中でのコンプトン散乱が考えられる。



指し示したピークのエネルギーは対応する角度にコンプトン散乱された際のエネルギーと511 keVの和をとった値に一致する。

511 keV に対する鉛の減衰係数: 2.27 cm^{-1}

鉛 5cm の場合、511 keV のガンマ線は、

$e^{-2.27 \times 5} = 1.18 \times 10^{-5}$ だけ減衰する。