

陽電子-電子対消滅からのガンマ線のNaI検出器による同時計測

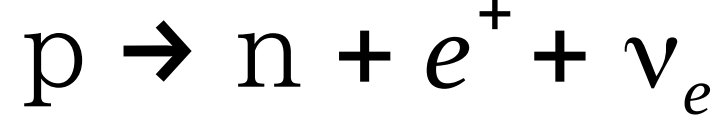
柴田研究室 16M00650 藤井 勇紀

研究の目的

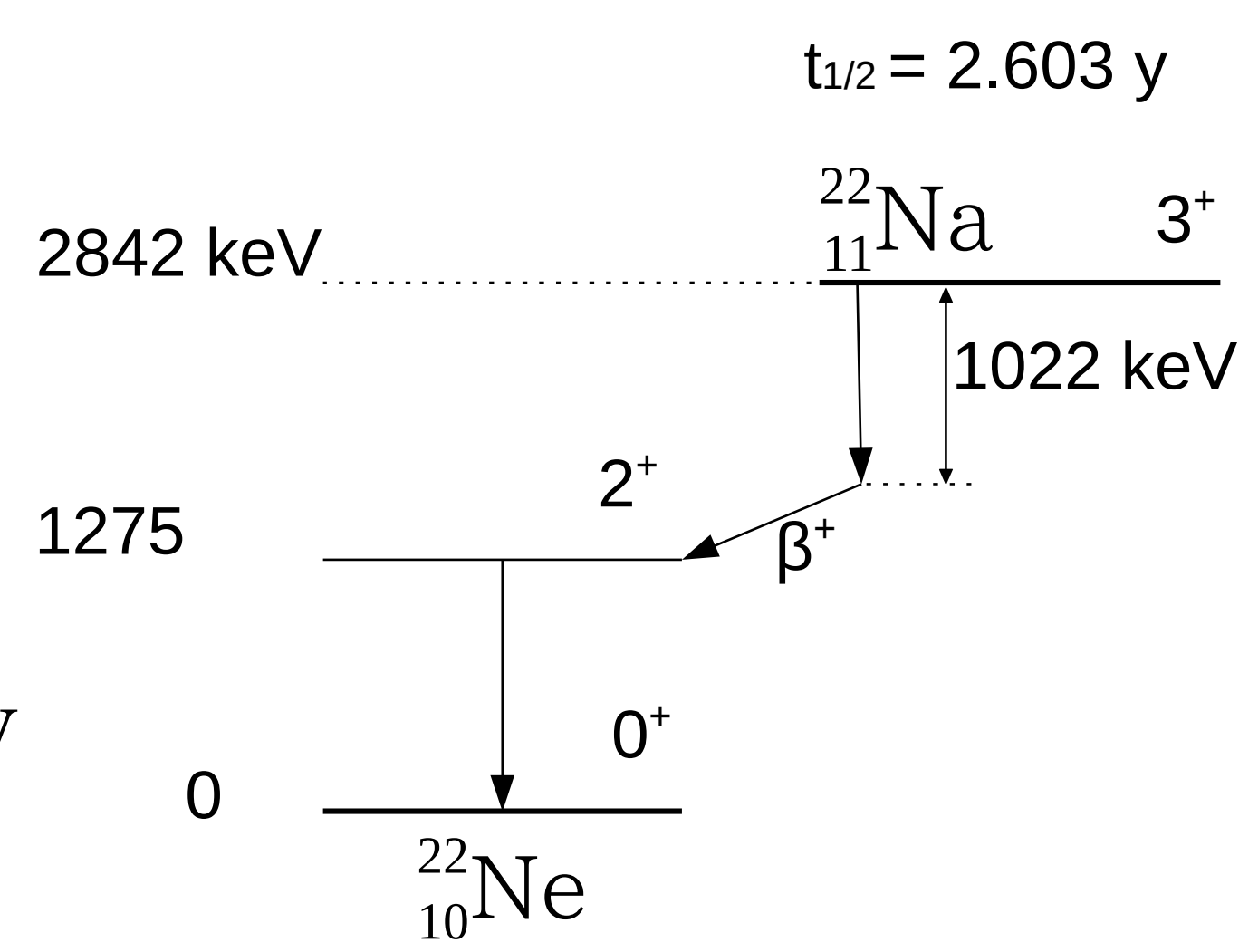
- 今回私が行った研究は、次のことを目的としている。
- 原子核のβ⁺崩壊について理解する
- 同時計測法を理解する
- データ収集法とデータ解析法を習得する

²²Naのβ⁺崩壊

- β⁺崩壊によって原子核中の陽子は次のように中性子へと崩壊する。



- 本実験では、右図のようにβ⁺崩壊する²²Na線源を用いた。



この崩壊では、陽電子とニュートリノが発生し、²²Na原子の電子が1つ余分になるため、始状態と終状態のエネルギー差は、

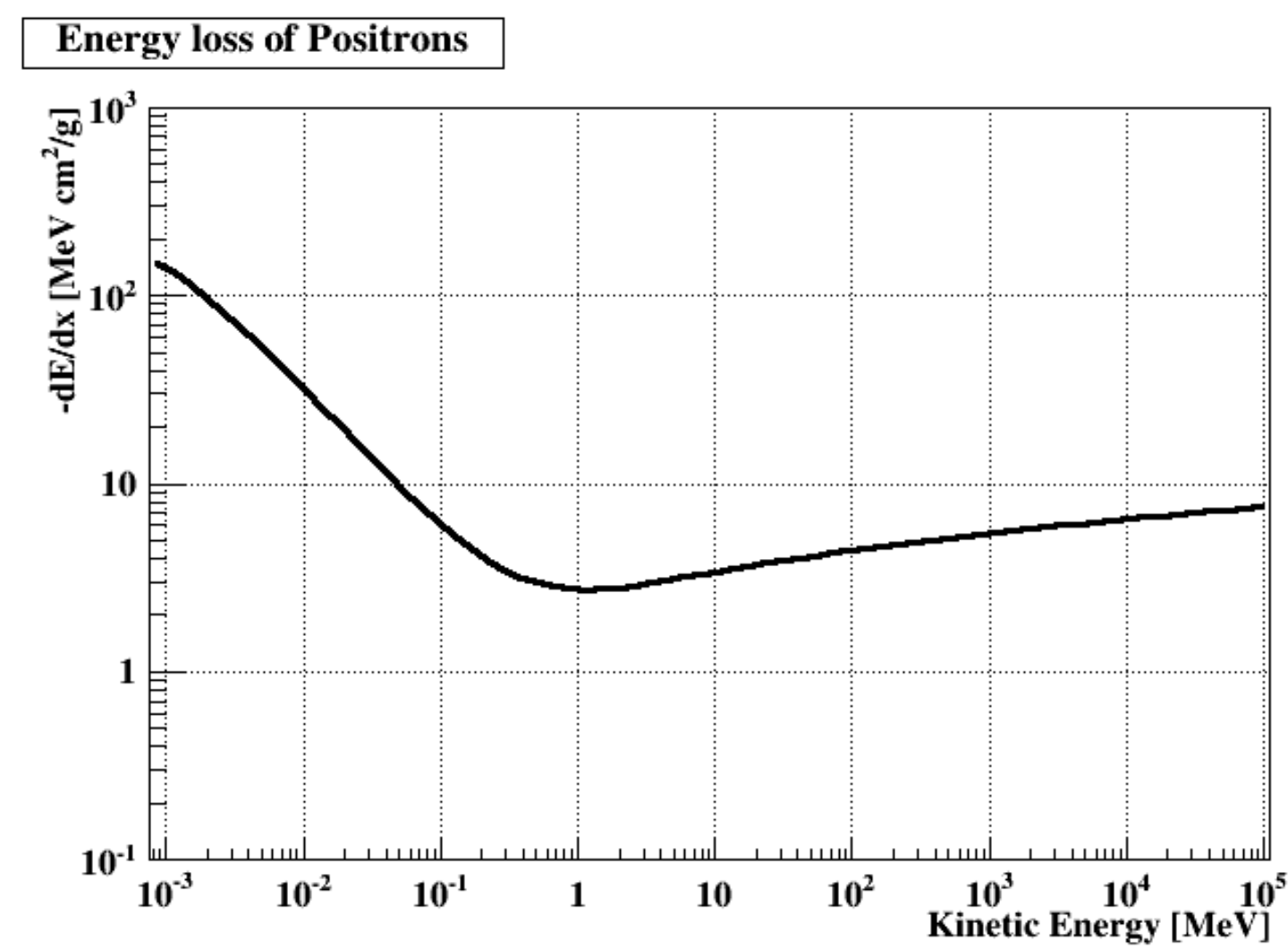
$$2842 \text{ keV} - 1275 \text{ keV} - 2 \times 511 \text{ keV} = 545 \text{ keV}$$

である。ここで原子核の質量は大きいため、原子核の反跳エネルギーは無視する。そのため、この値は陽電子とニュートリノの運動エネルギーの和となる。

陽電子の飛程

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

- 右図はアクリル中での陽電子の単位質量長さ当りのエネルギー損失を表したものである。飛程はその逆数を積分することにより求められる。



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

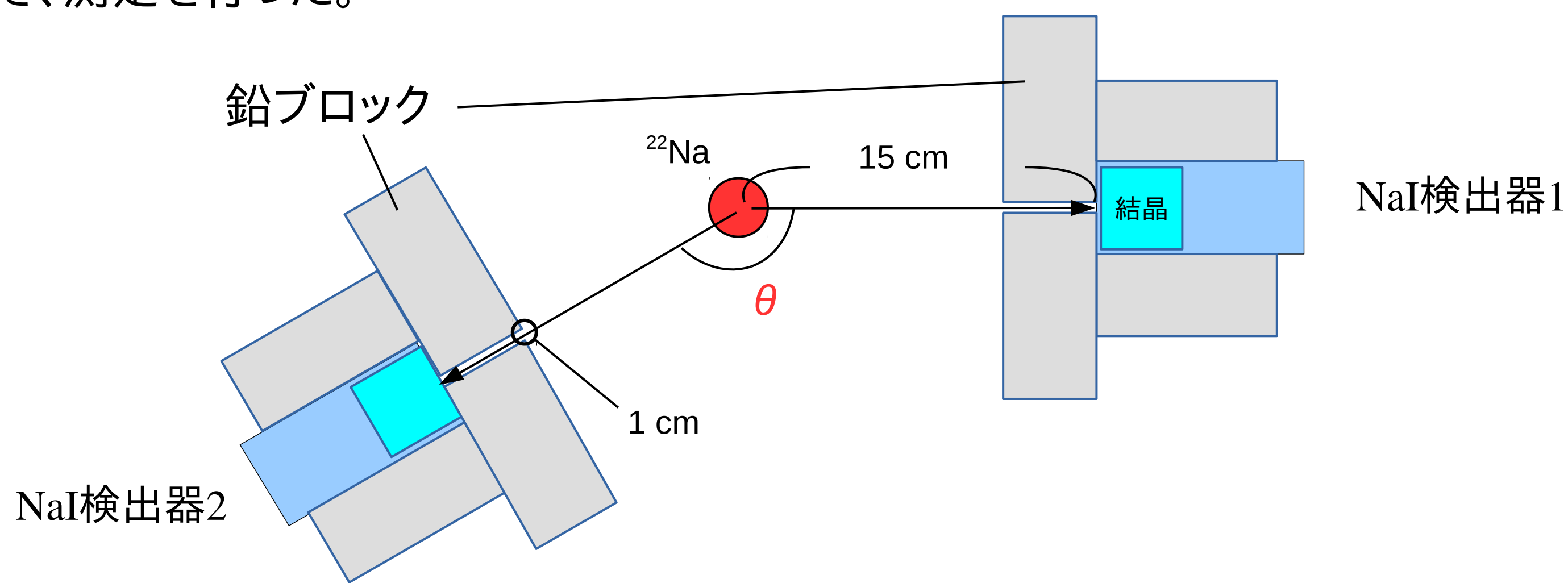
参考: W. R. Leo 著

“Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments”

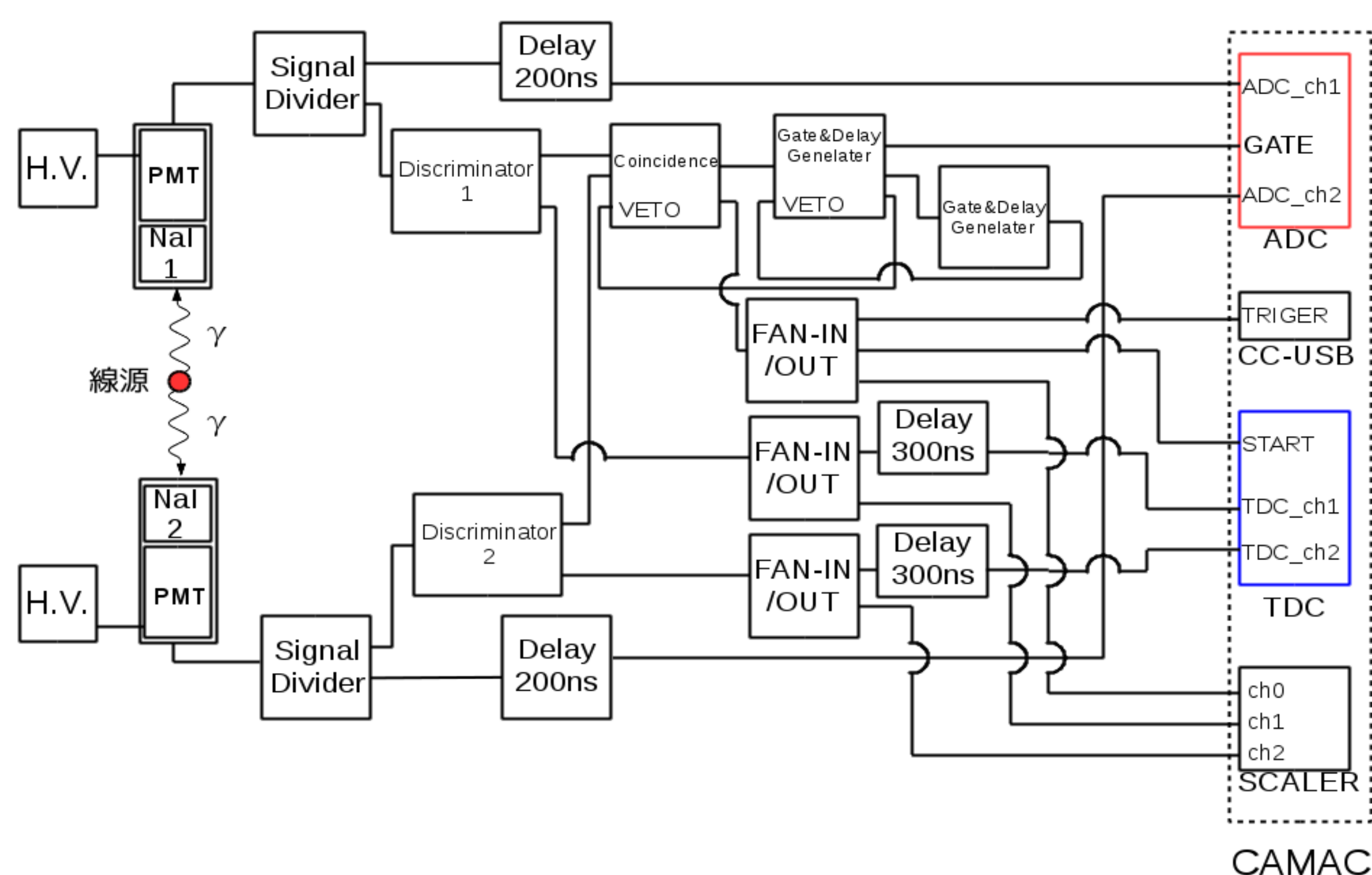
- 入射時のエネルギーを545 keVとして計算すると、飛程は1.15 mmとなる。
- 今回用いた線源はアクリル樹脂(密度:1.18 g/cm³)の容器によって密封されており、線源から容器外までの距離が最も短くなる部分でも3 mmであるため、線源から放出された陽電子は密封容器から外には出てこない。密封容器内で対消滅する。

NaI検出器2台での測定

- ²²Na線源からのガンマ線を同時計測するために、図のように2つのNaI検出器を配置した。
- 図中のOpening angle θ を90°、120°、150°、160°、170°、175°、180°と変えていき、測定を行った。

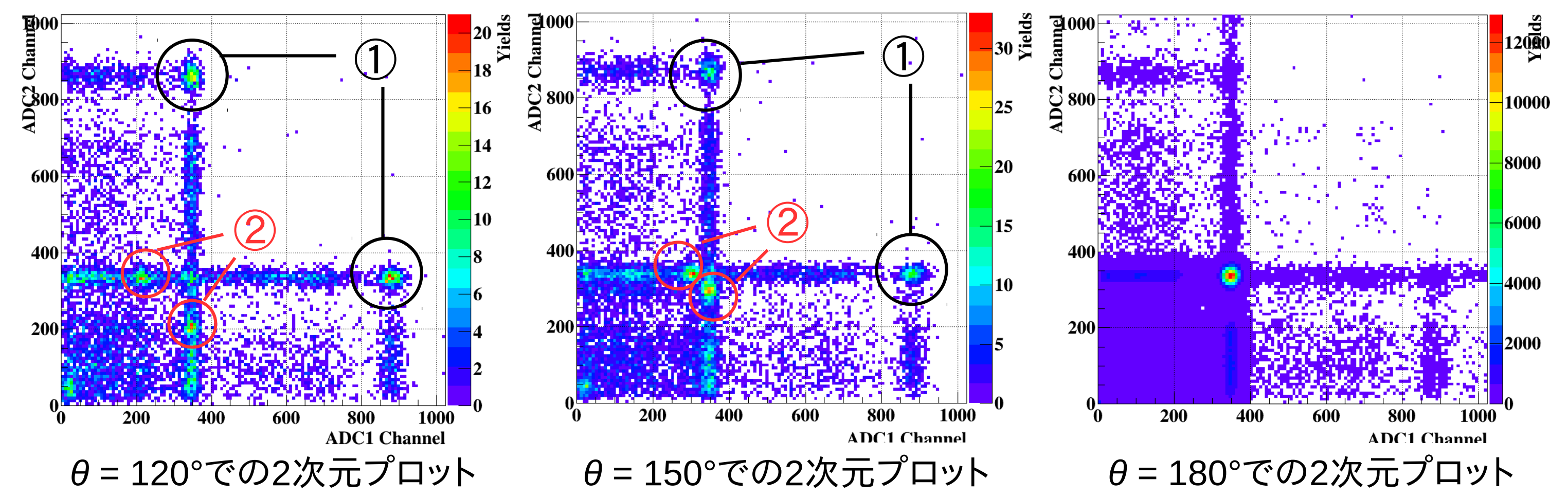


- 測定のための回路は、下図のようにCAMAC/NIMモジュールを接続した。



実験結果

- NaI検出器1,2によって同時計測されたデータの2次元プロットを下図に示す。



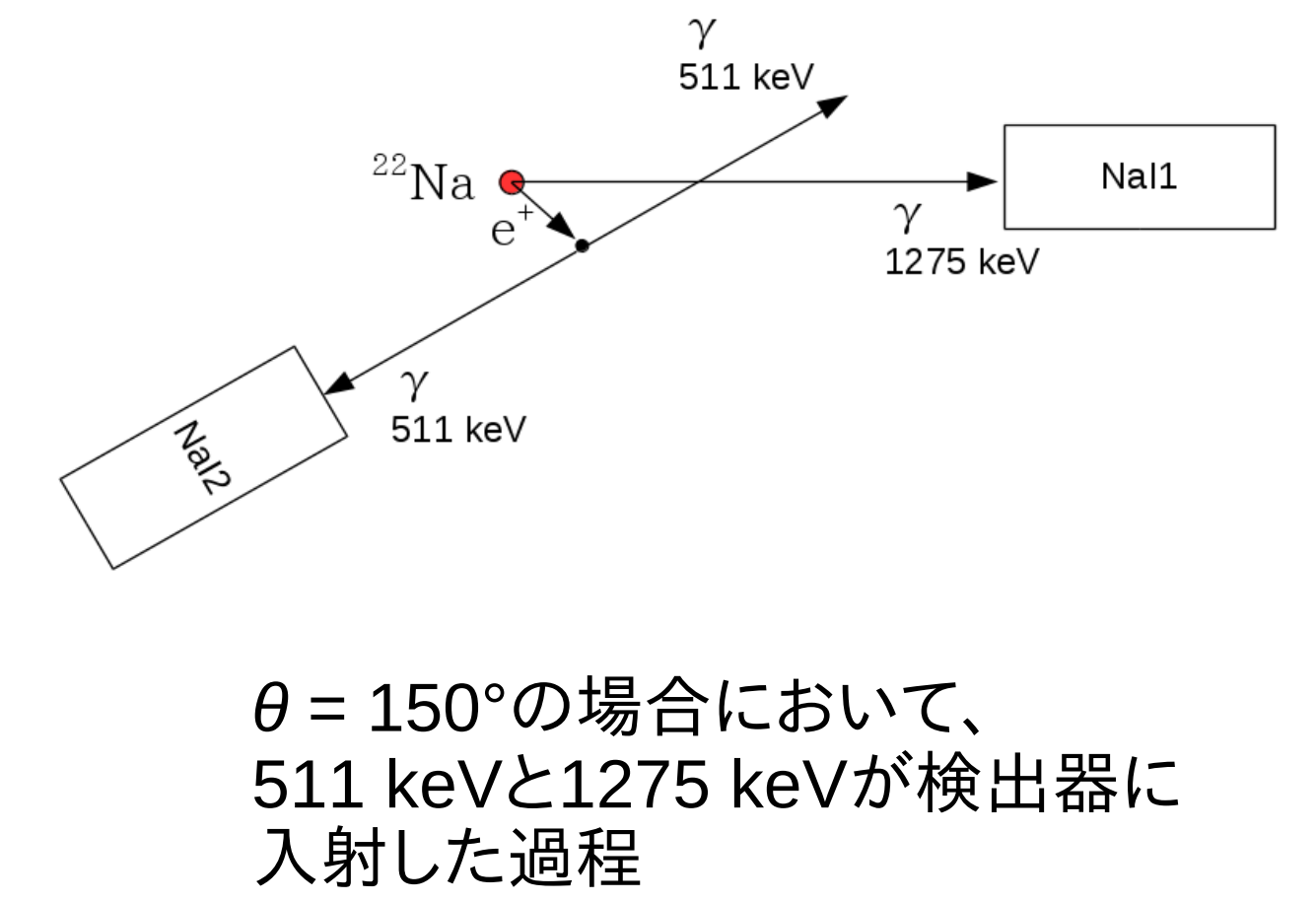
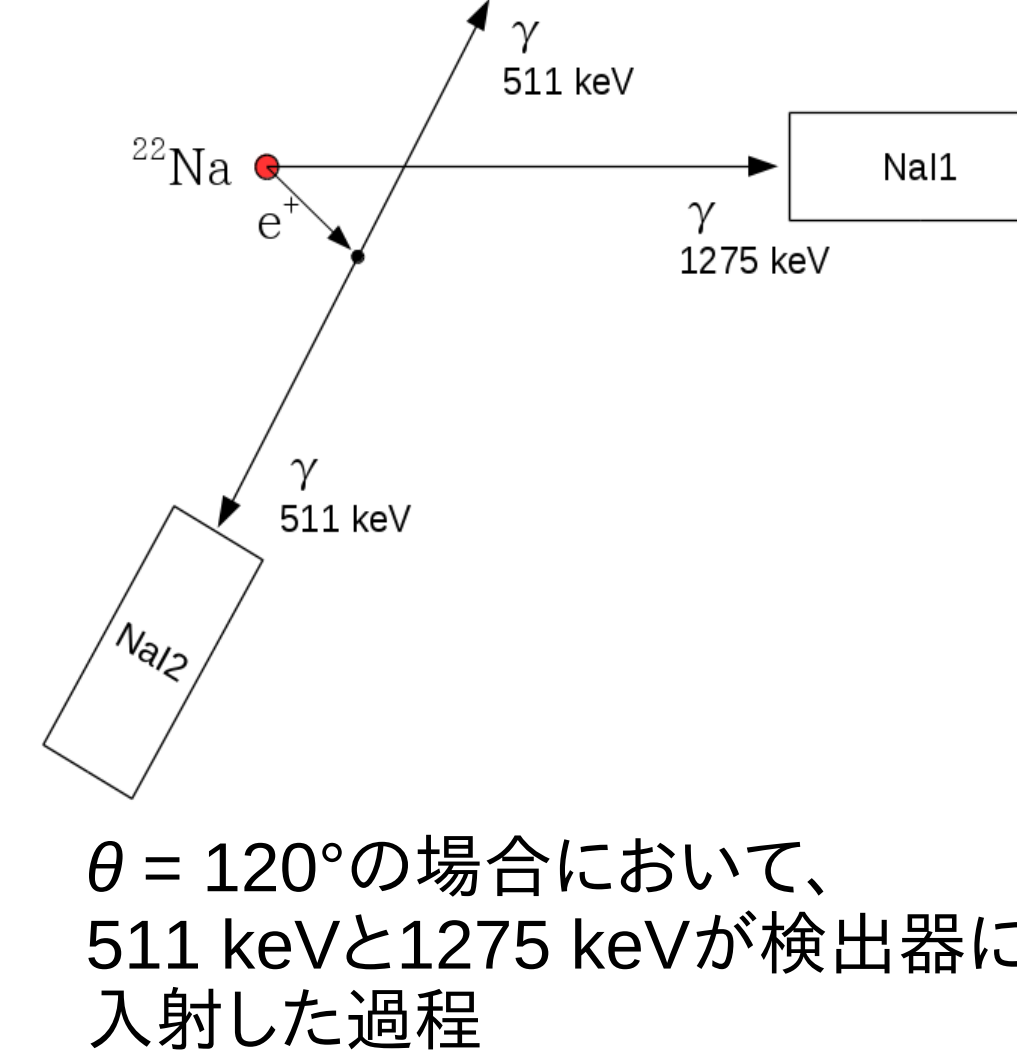
- $\theta=180^\circ$ において計数が非常に大きく、NaI1,2共に511 keVの部分にピークがある。
- $\theta=180^\circ$ 以外においてもピークがある。(図中の①、②) それぞれのピークのエネルギーから次のような過程であると考察した。

- ①のピークとなる過程

このピークは角度によってエネルギーに違いがみられない。

それぞれのエネルギーの大きさは511 keVと1275 keVである。

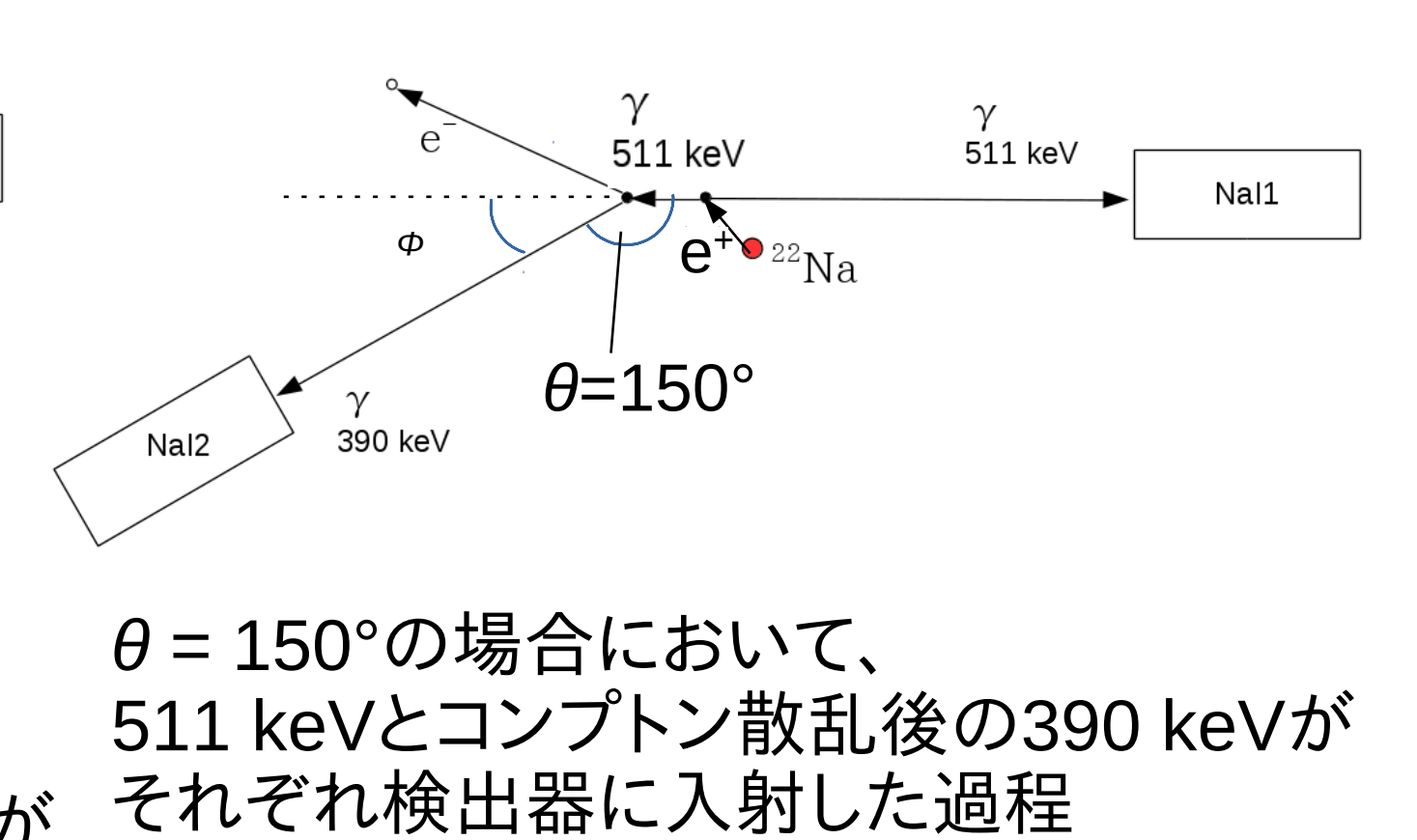
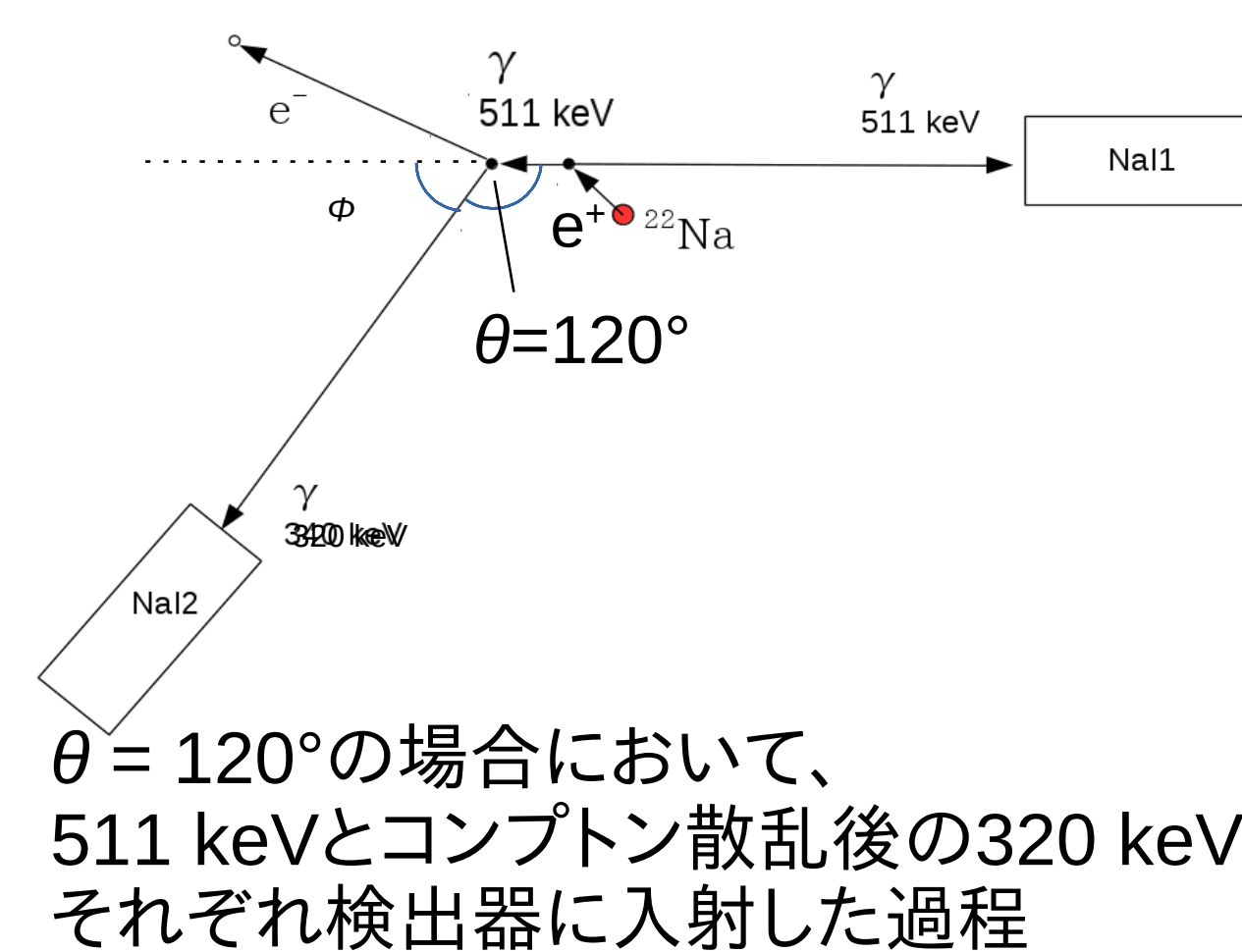
⇒陽電子の対消滅によって放出された2本の511 keVのガンマ線のうち片方と²²Naからの1275 keVのガンマ線が入射した過程によるものと考えられる



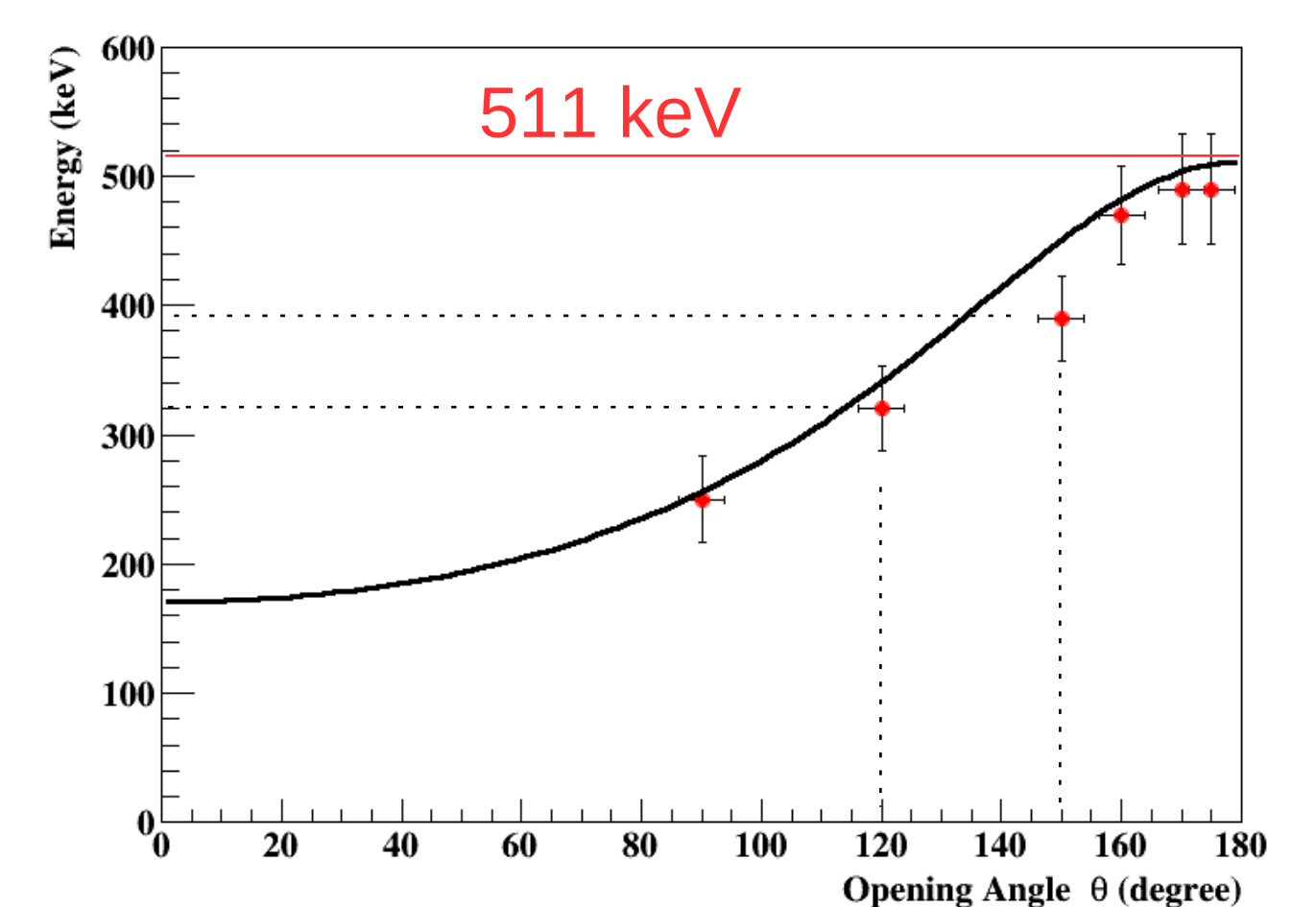
- ②のピークとなる過程

このピークはエネルギーに角度依存性があり、 θ が大きくなるほど観測されるエネルギーも大きくなっていく。

⇒陽電子の対消滅によって放出された2本の511 keVのガンマ線のうち片方がそのまま一つの検出器に入射し、もう一方がコンプトン散乱した後に別の検出器に入射した過程によるものと考えられる



- ②のコンプトン散乱するという過程が正しいならば、検出されるエネルギーには角度依存性があるはずである。実際、 $\theta = 120^\circ$ よりも 150° の方がエネルギーは大きい。コンプトン散乱後のガンマ線の理論値と実験値を比較したものを右図に示す。この図をみると、理論値と実験値はおおよそ一致している。



まとめ

- 本研究の目的は、次の通りである。
 - 同時計測法の理解
 - 原子核のβ⁺崩壊についての理解
 - データ収集法とデータ解析法の習得
- ²²Naが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検出器を2台使い、同時計測でデータを取得した。
- 計数はOpening angle θ が180°の場合に特に大きくなっていった。そのため、陽電子は対消滅するとき、反対方向にガンマ線を放出することが確認できた。
- 陽電子の対消滅によって放出された2本の511 keVのうち片方のガンマ線と²²Neからの1275 keVのガンマ線が入射した過程によるピークが確認できた。
- 陽電子の対消滅によって放出された2本の511 keVのガンマ線のうち片方がそのまま1台のNaIに入射し、もう一方がコンプトン散乱した後に別の検出器に入射する過程によるピークが確認できた。