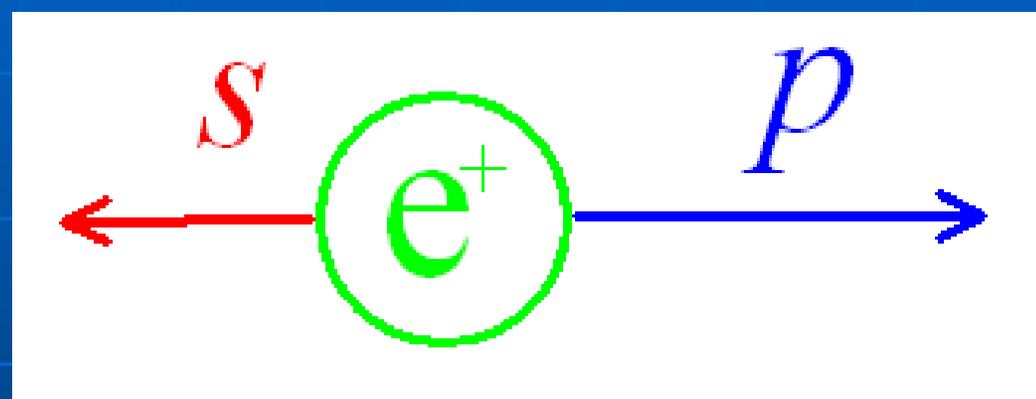
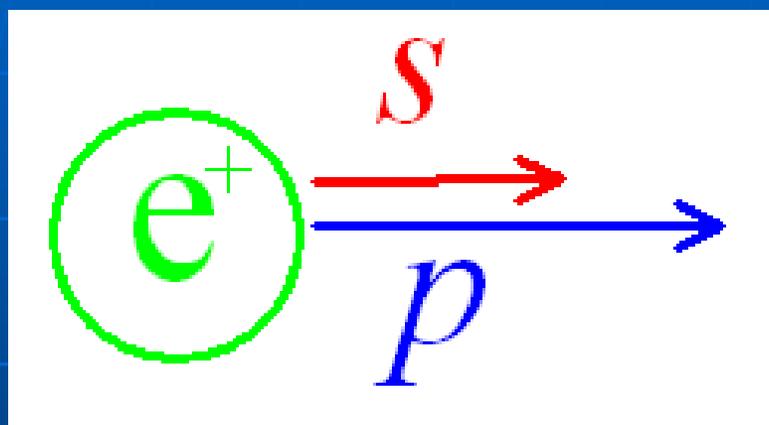


(p, n) 反応による β^+ 崩壊核 ^{63}Zn の 生成と その β^+ のヘリシティの測定



2004年度P3β班

五十部隆・井上匡志・加藤道明・佐谷哲・佐藤晃邦

発表内容

実験動機

Bhabha散乱とパリティの破れの関係
パーマロイ標的について

実験装置

線源の特性測定

Bhabha散乱の測定

Asymmetry・helicity結果

タンデム加速器以外の手段

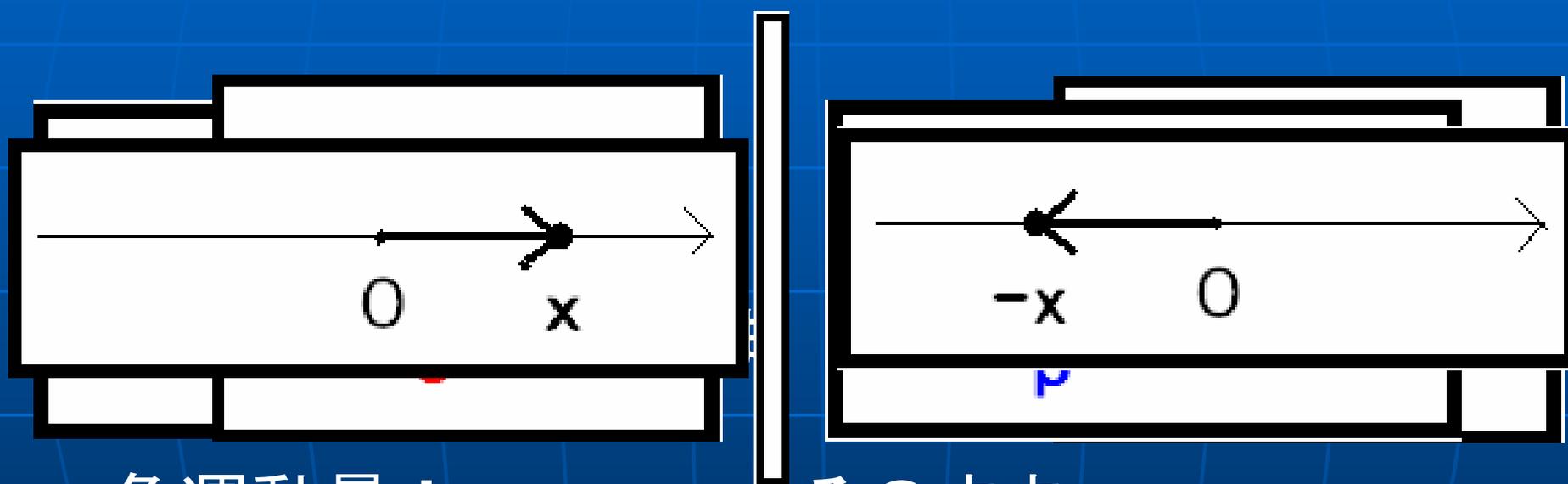
まとめ

実験動機

我々の生きる世界には普遍的な物理法則がある。
鏡の中にいる我々の鏡像達の物理法則には我々の
それとは一部違うところがあると言われている。
果たしてそれは正しいのだろうか。
我々は生来の好奇心に駆られてその現象の存在を
確かめることを決意した。

パリティ変換とは

→空間反転



- ・角運動量 $L = r \times p$ →そのまま
- ・ヘリシティ $h \propto p \cdot s$ →反転

パリティの破れとは

パリティ変換を行うことにより

$P^\dagger \hat{O} P = -\hat{O}$ となる演算子 \hat{O} について考える。

さて、パリティ対称性が成り立つならば

$$\langle \psi | P^\dagger \hat{O} P | \psi \rangle = \langle \psi | \hat{O} | \psi \rangle \quad \text{が成立。}$$

$$\begin{aligned} & \parallel \\ & -\langle \psi | \hat{O} | \psi \rangle \quad \text{つまり、} \quad \langle \psi | \hat{O} | \psi \rangle = 0 \end{aligned}$$

この式が成立しないならパリティは破れていると言える。

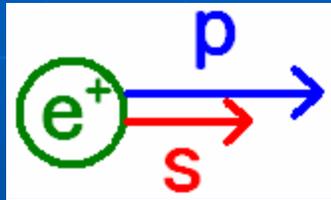
パリティの破れの検証実験 (β 崩壊)

- 偏極 ^{60}Co から生じる β 線の角度分布 (C.S.Wu)
- β 線の helicity 測定等

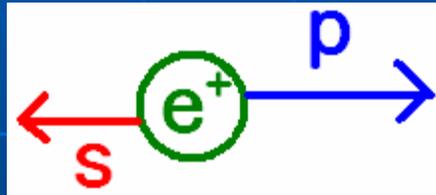
helicityとは

$$h = \frac{\mathbf{p} \cdot \mathbf{s}}{|\mathbf{p}| |\mathbf{s}|}$$

で、定義される物理量。



helicity = 1



helicity = -1

測定方法→

Stern-Gerlachの実験

Mott散乱の角度分布

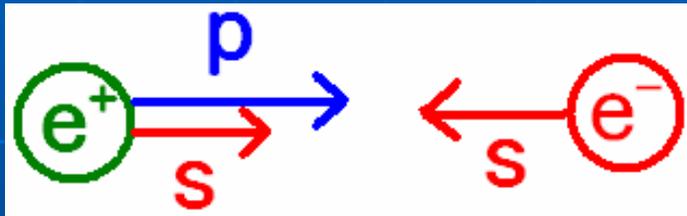
Moller散乱の断面積

Bhabha散乱の断面積 等

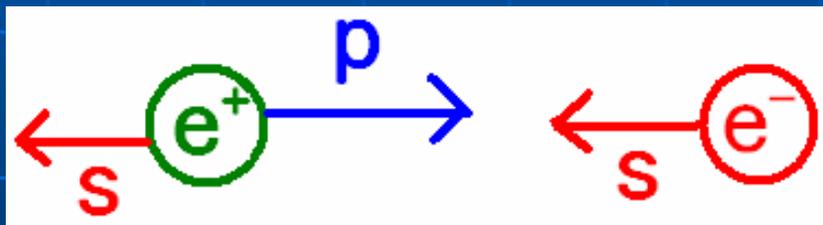
Bhabha散乱とは

陽電子—電子散乱

断面積の大きさにスピンのなす角が入っている。



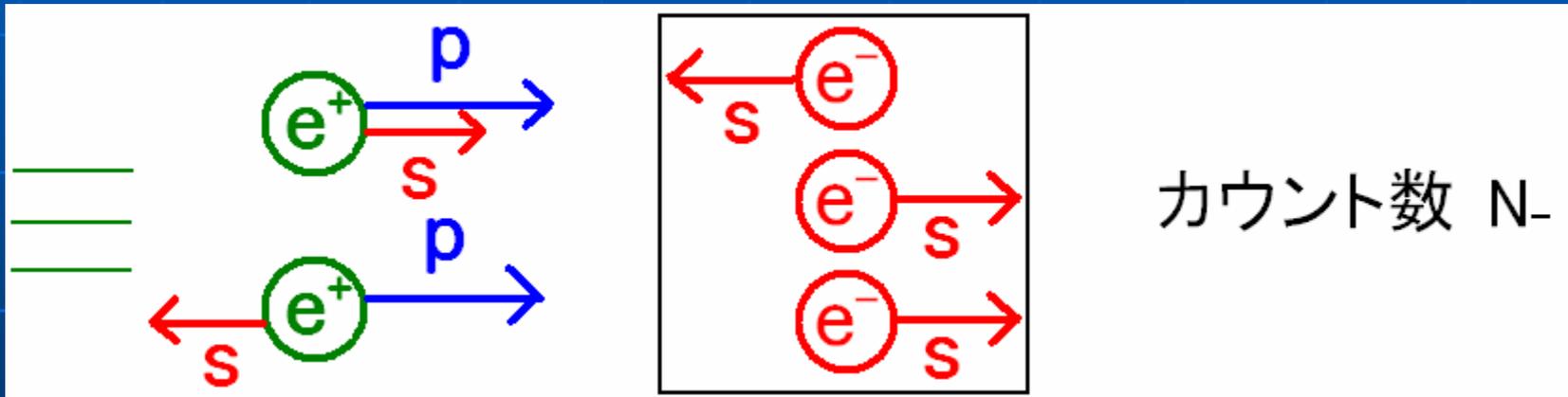
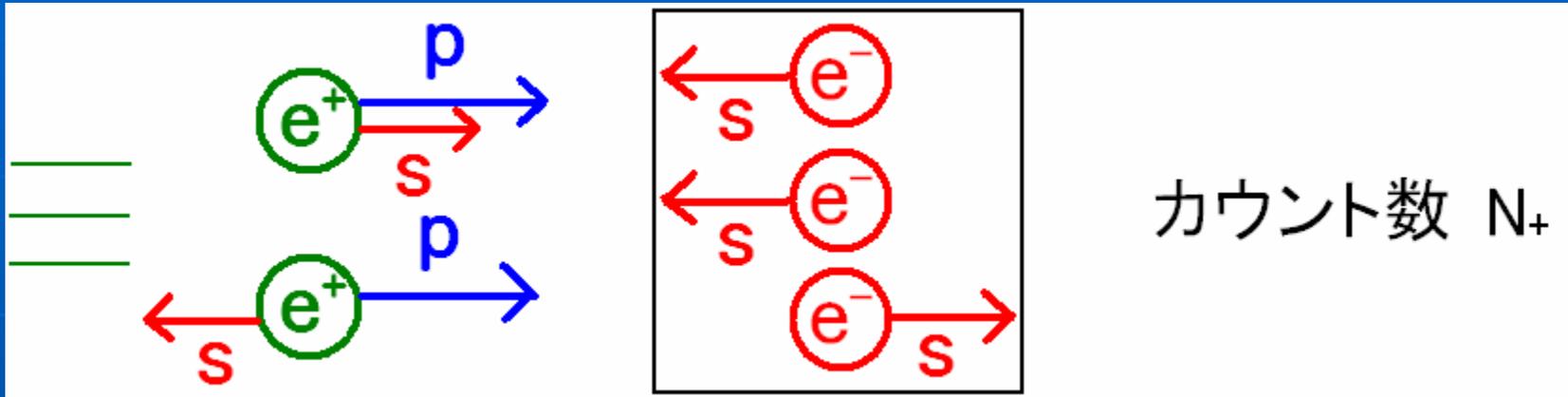
衝突確率大



衝突確率小

散乱断面積は $\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{d\sigma_0}{d\Omega} - \frac{d\sigma_1}{d\Omega} \cos \psi$ と表される。

Asymmetry



Asymmetryを

$$A_S = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-}$$

で定義する。

Bhabha散乱とパリティの破れの関係 (まとめ)

Bhabha散乱は断面積にスピン依存性を含む

もし、標的のスピンの偏極具合によって
散乱確率が変化する、つまり検出数が増える

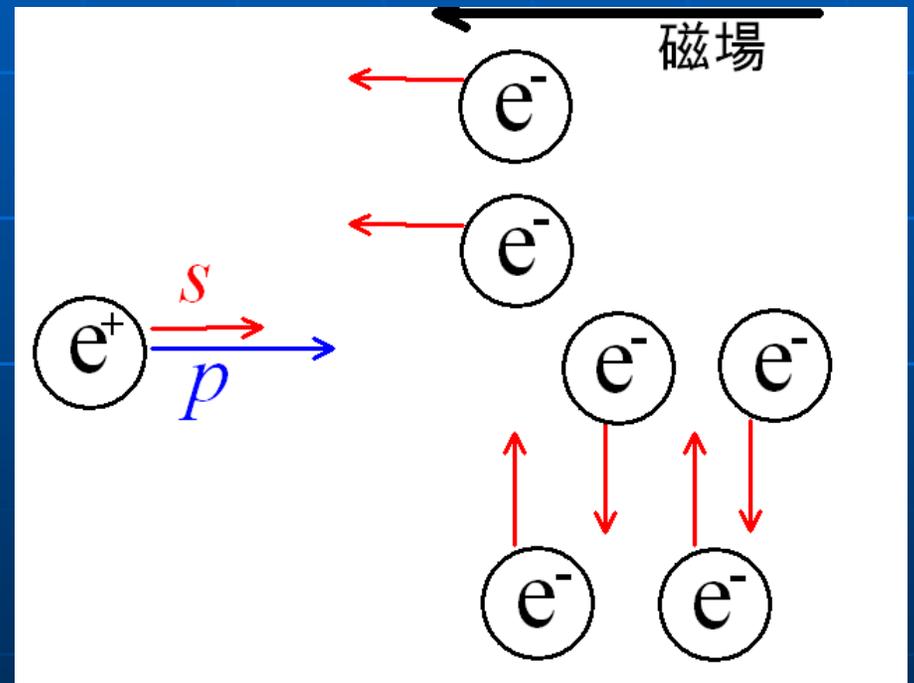
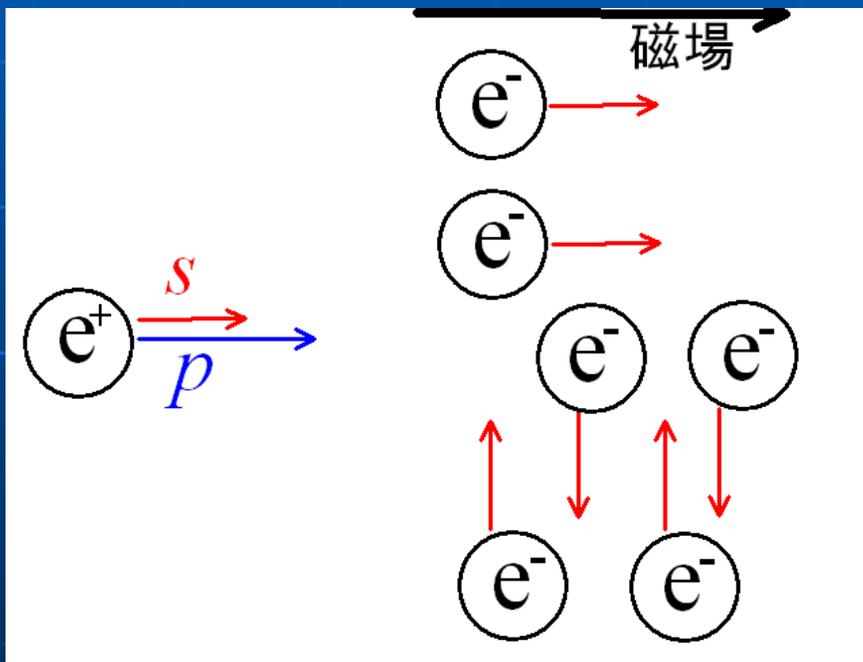
陽電子のhelicityが0でない

→パリティが破れている！！

現実の標的

標的電子全てのスピンをそろえることはできない

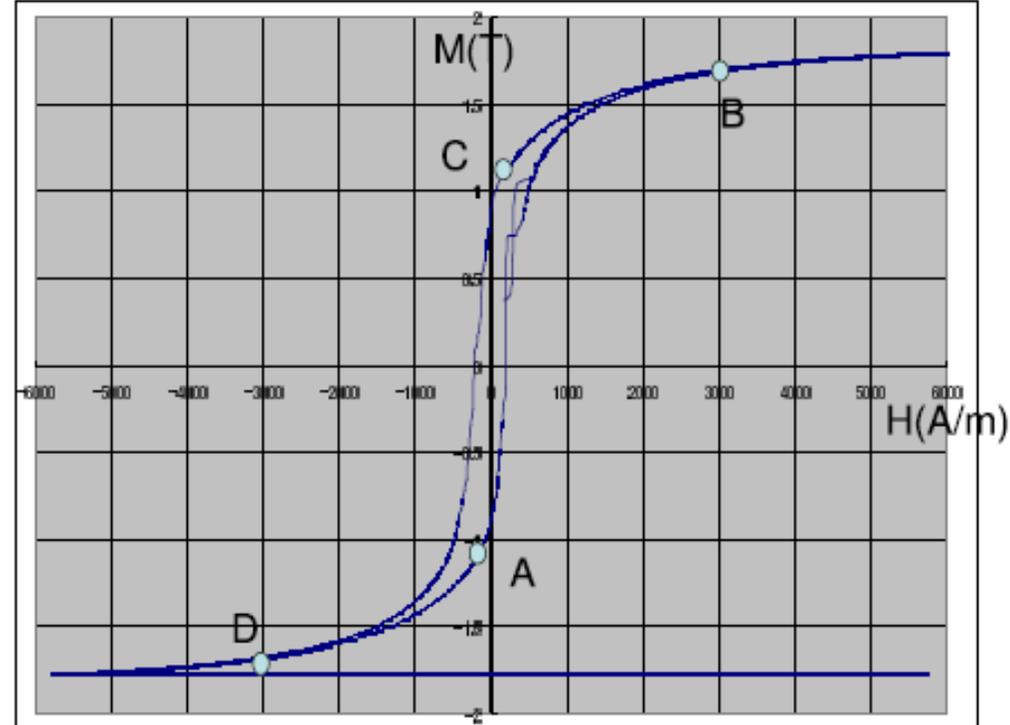
(鉄で偏極率 $P=2/26$ 、通常はそれ以下)



45パーマロイの性質

Fe-Ni-Co合金
高透磁率軟磁性材
料

飽和磁束密度が大
＝電子の偏極率が大きい

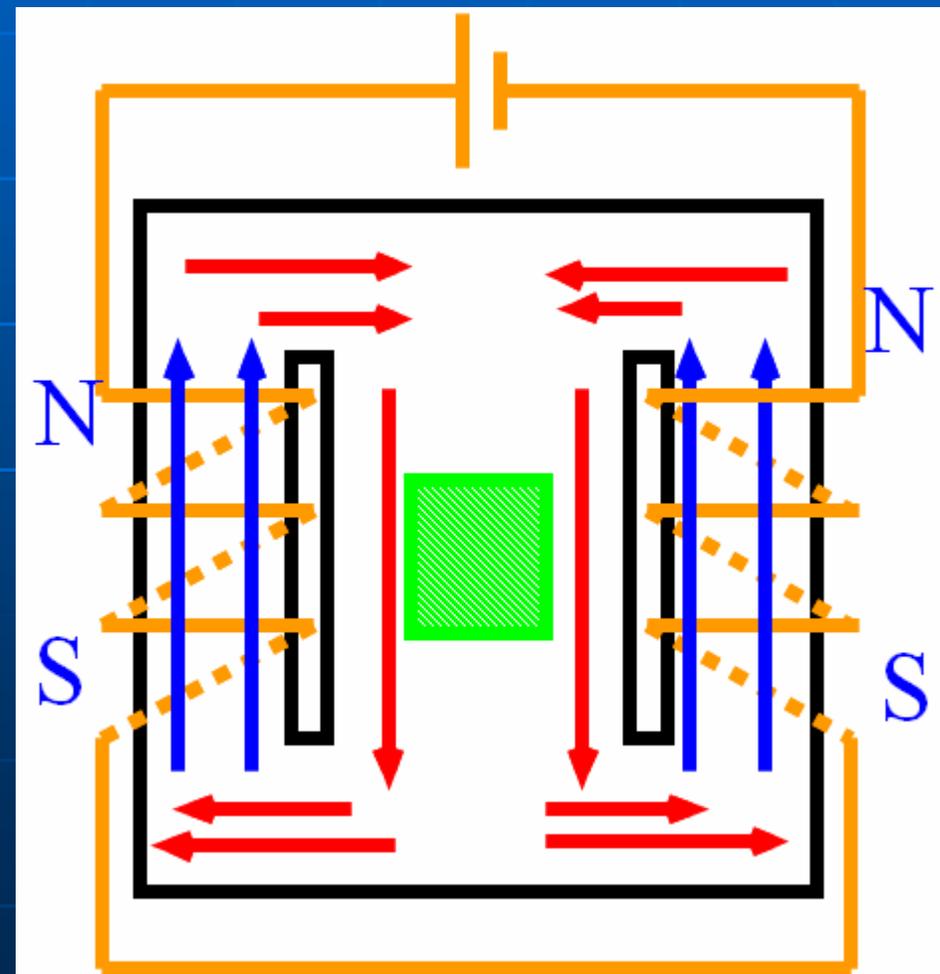


2003年度P2Moller班
卒業論文より引用

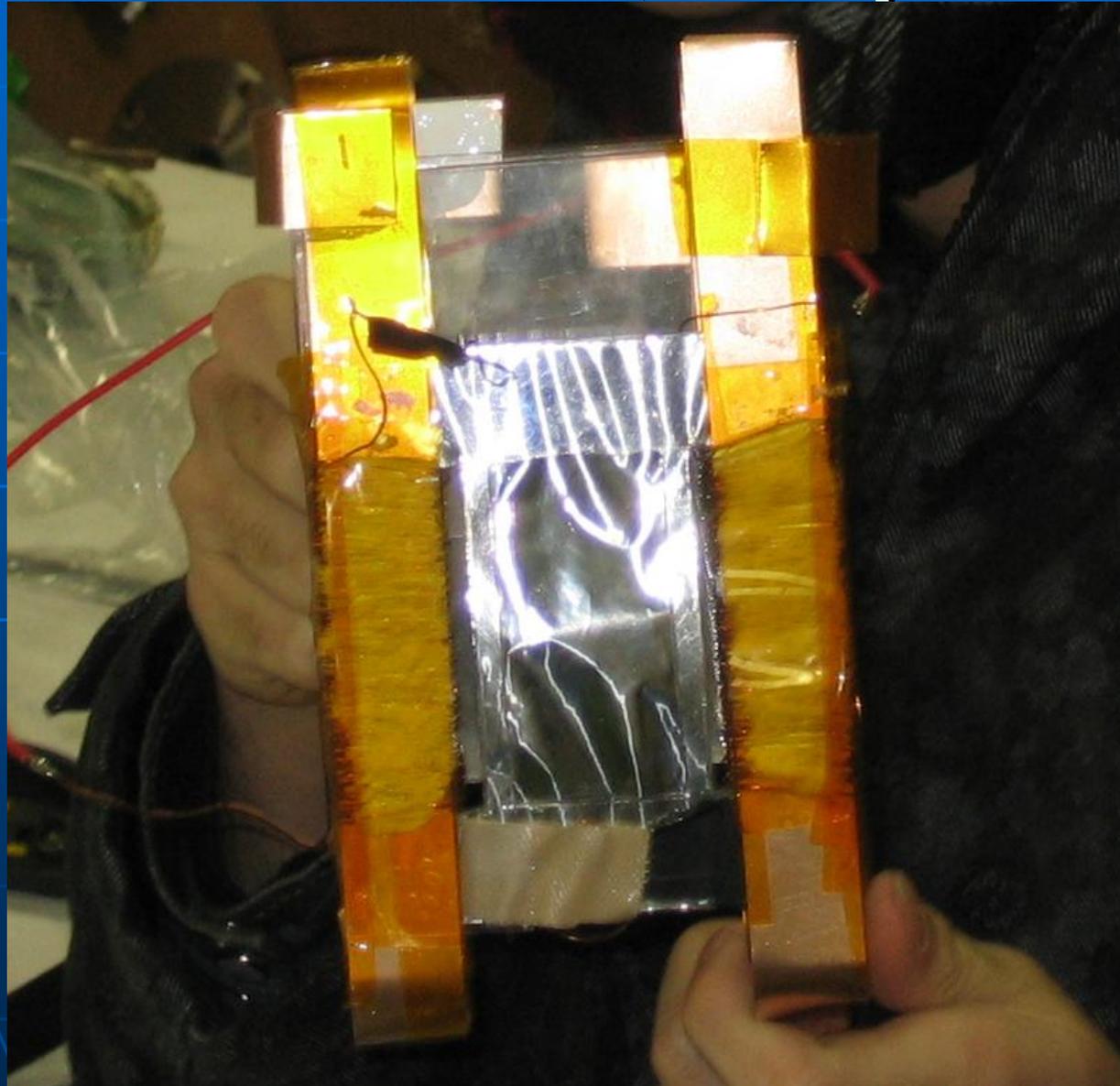
パーマロイの偏極方法

周囲にコイルを並列に巻き、
中央部を励磁させる。

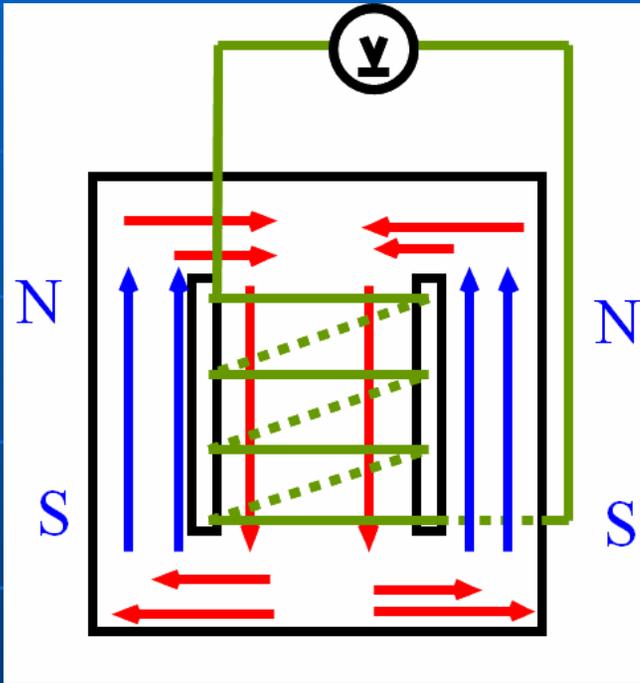
厚さ0.01mmのため
3mmのアクリル板で
バックング
(ビーム部は除く)



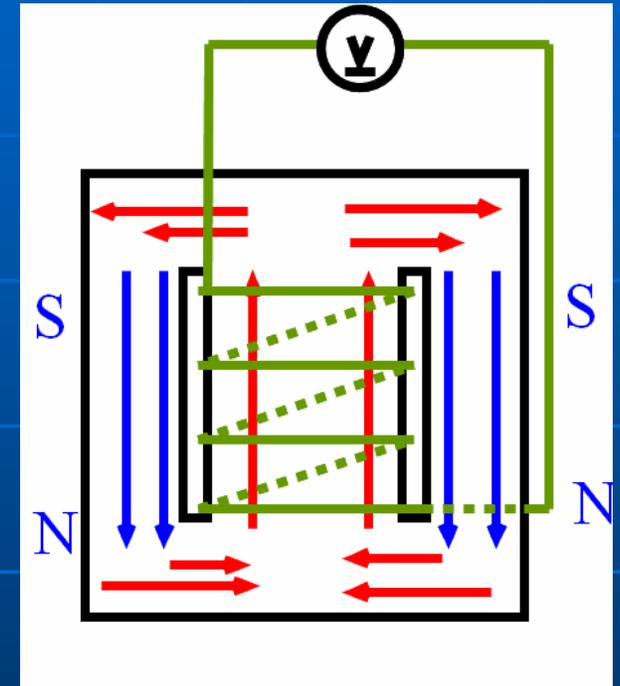
パーマロイ



磁化測定の実理



←励磁コイルの電流反転→
磁束密度は $B \leftrightarrow -B$



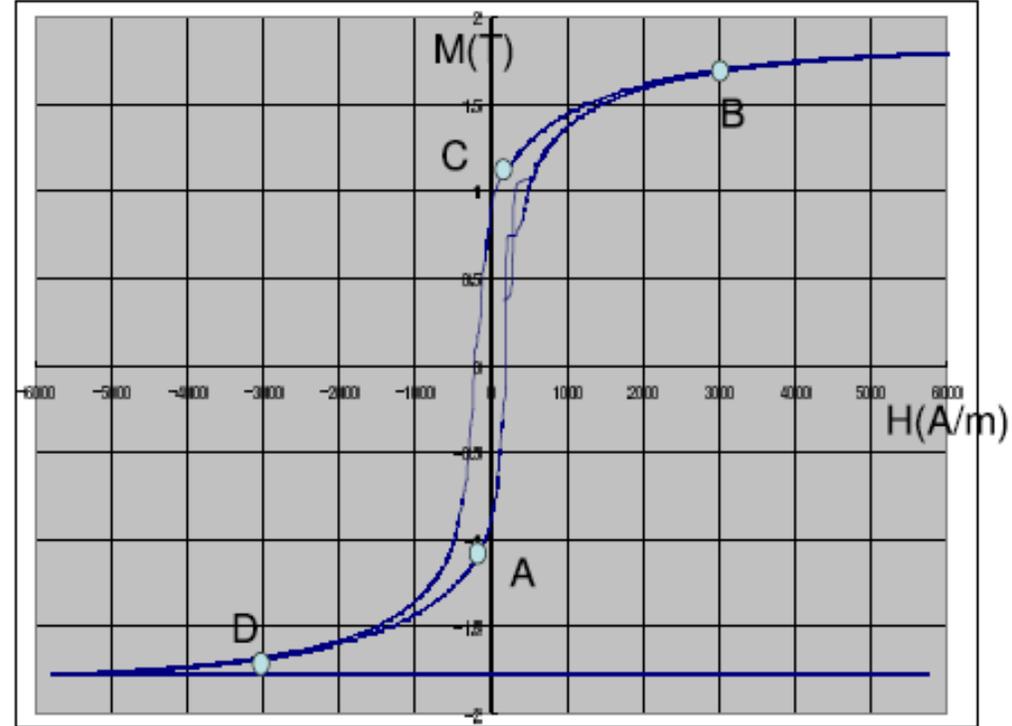
磁束密度の変化による誘導電流を測定する。

電流反転により、 $2B$ に比例した電圧が発生する。

磁化の測定結果

測定データ

B-H曲線



実験時は3A
→飽和時の130/160

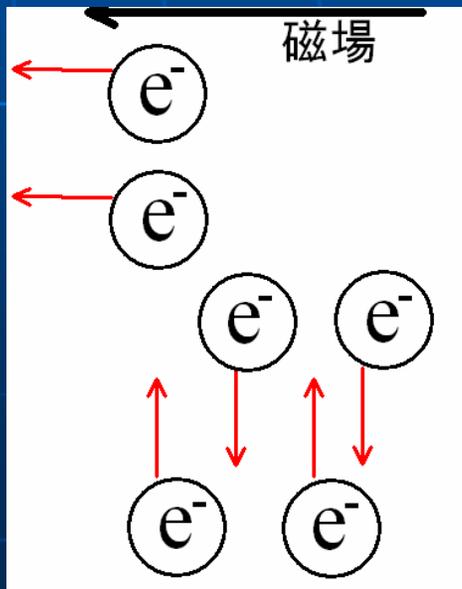
よって $1.8\text{T} \times 130/160 = 150\text{T}$

標的電子の偏極率

強磁性体の場合、磁場の由来はほぼ電子スピンのみ。

$$B \sim M = \mu_s NP$$

例



μ_s : Bohr磁子
N: 電子密度
P: 偏極率

測定時は $B=1.5T$

→ $P=0.015$

gainへの影響

今回の目標は磁場反転前後で

Bhabha散乱のスピンの依存性

による計数率の変化を測定すること

→磁場がフォトマルの計数率に影響を与えては



磁場の反転前後で計数率が変わるかを確認する

gainへの影響

$$A_s = \frac{N_+ - N_-}{N_- + N_+}$$

$N_+ = 2874$
 $N_- = 2788$

$$A_s = 1.5 \pm 1.3\%$$

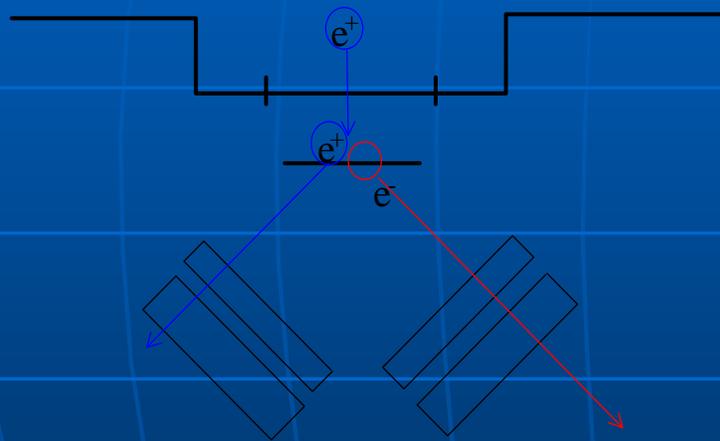
ただし、Asymmetryも小さいため、
本当に無視できるか？
もっとデータをためて確認すべき。

Bhabha散乱以外の排除

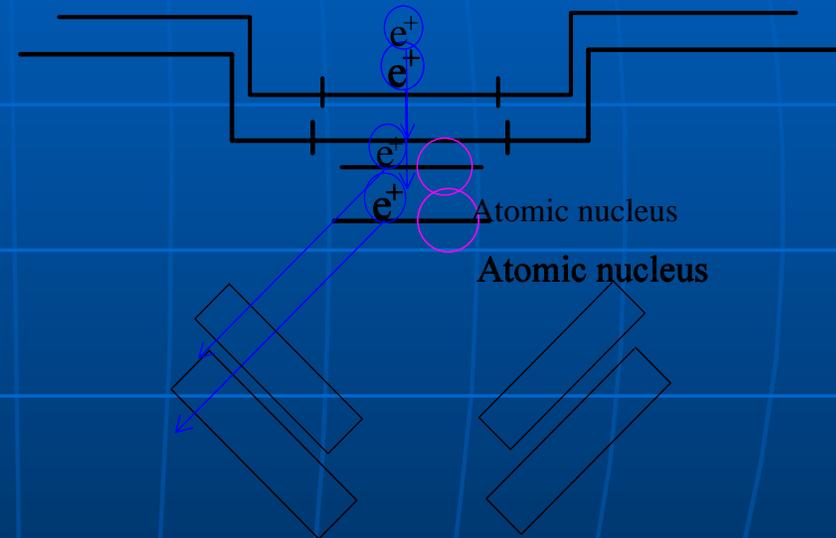
- 原子核による陽電子の散乱の排除
- 対消滅による γ 線の排除
- Accidental coincidenceの排除

原子核による散乱の排除

Bhabha散乱

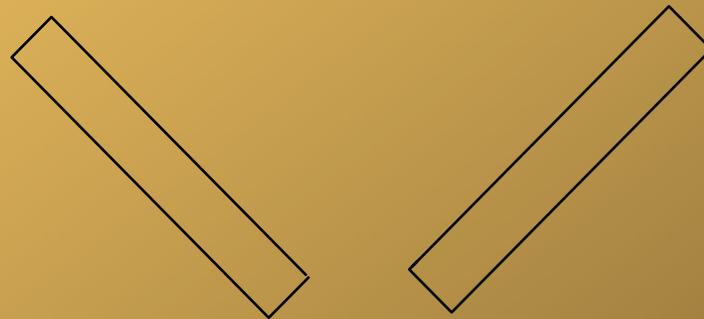
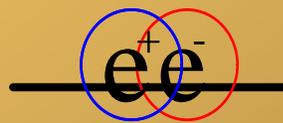


原子核による散乱

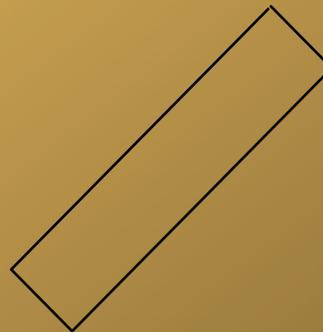
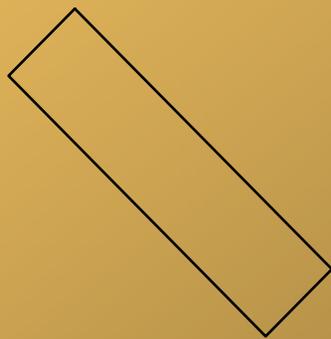
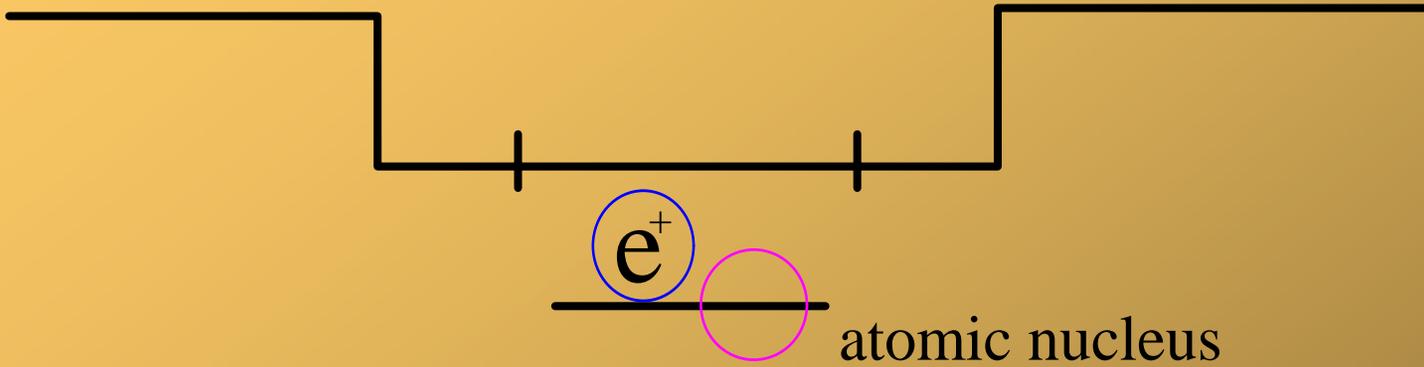


左右同時に入ったときのみカウントすればよい！

Bhabha散乱

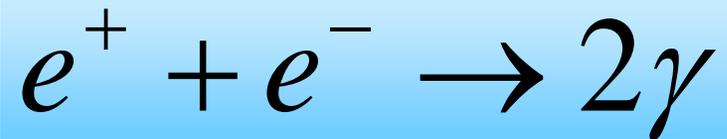


原子核による散乱



対消滅による γ 線の排除

陽電子は対消滅により γ 線を生じる



陽電子・電子の同時計測を取りたいため、シンチの信号から γ 線を取り除く工夫が必要になる。

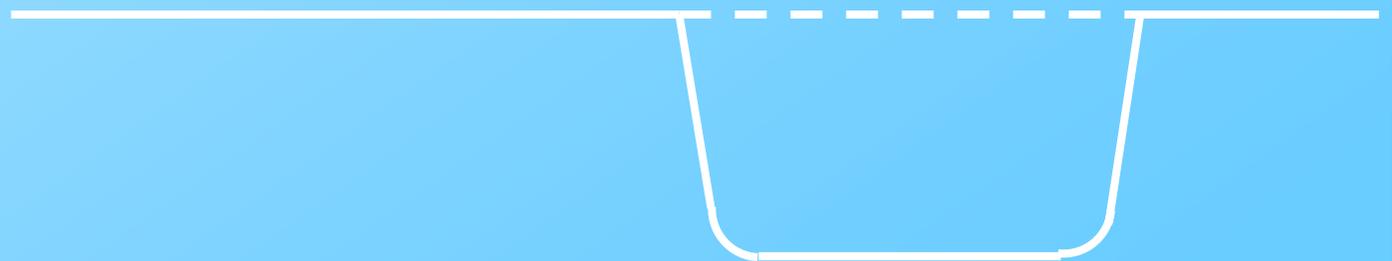
シンチを2枚重ねにし、両方鳴ったときのみ β 粒子と見なす。

右armの
coincidence
e信号

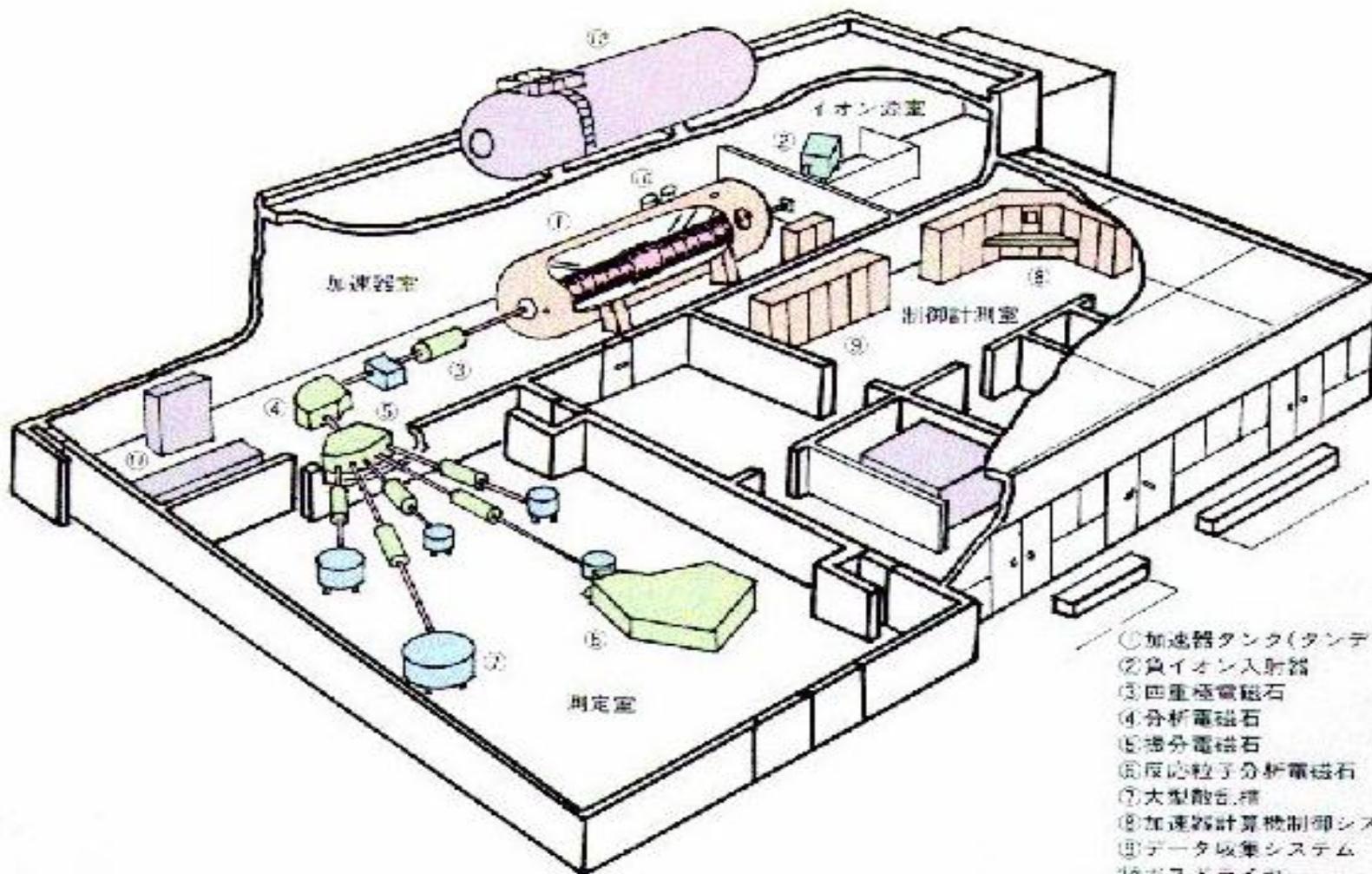
$$\tau = 30 \text{ ns}$$



左armの
coincidence
e信号

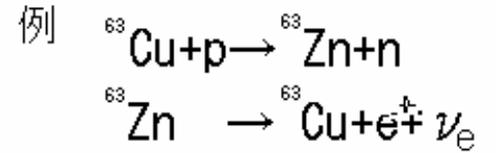


タンデム加速器とは



- ① 加速器タンク(タンデム加速器)
- ② 負イオン入射器
- ③ 四重極電磁石
- ④ 分析電磁石
- ⑤ 撈分電磁石
- ⑥ 反応粒子分析電磁石
- ⑦ 大型散乱槽
- ⑧ 加速器計算機制御システム
- ⑨ データ収集システム
- ⑩ ガスドライヤー
- ⑪ SF₆回収システム
- ⑫ 回収タンク

(p, n) 反応とは？



線源の選定

タンデム加速器で製造可能な線源
→ (p, n) 反応により β^+ 不安定核を作る

ある程度の強度が必要
→ (p, n) 反応の断面積が大きいこと

タンデム加速器では p を 12 MeV 程度まで加速可能
→ あまり原子番号が大きい反応は不可能

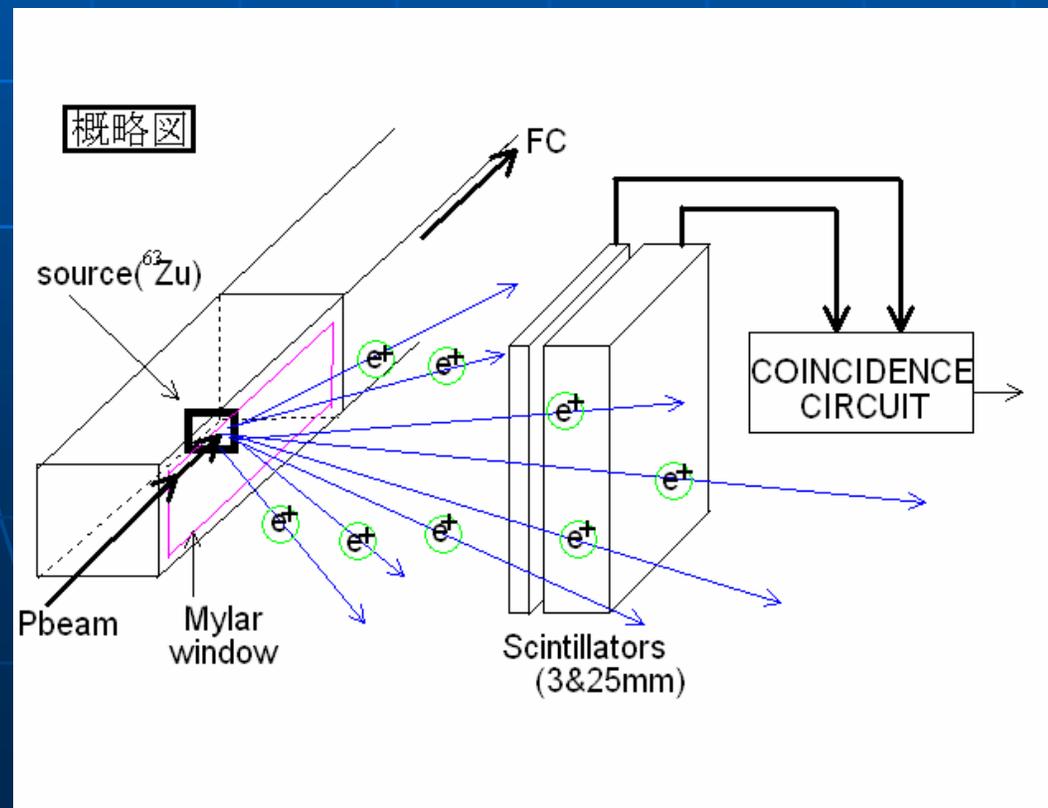


$^{63}\text{Cu}(p,n)^{63}\text{Zn}$ の性質の測定

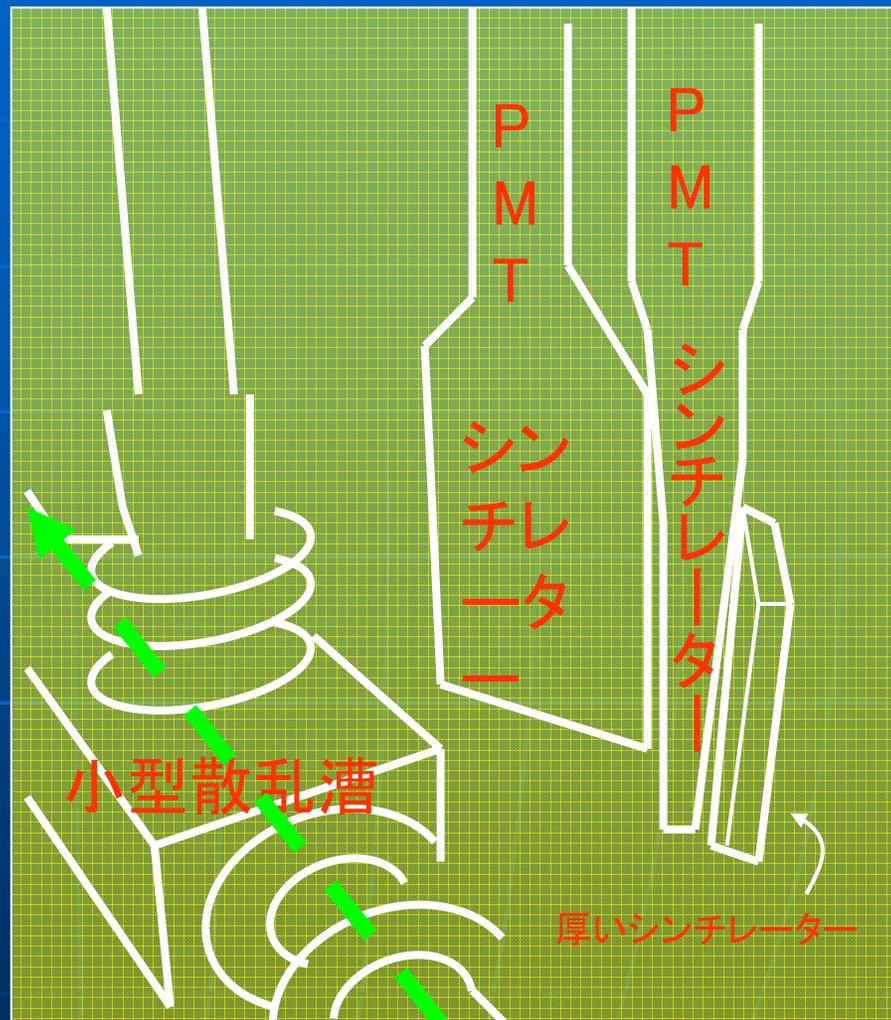
半減期の測定(文献値38.1min)

β^+ のエンドポイントの測定(文献値2345Kev)

測定値と文献値(table of isotopes)を比較し、 ^{63}Zn が生成していることを確認する

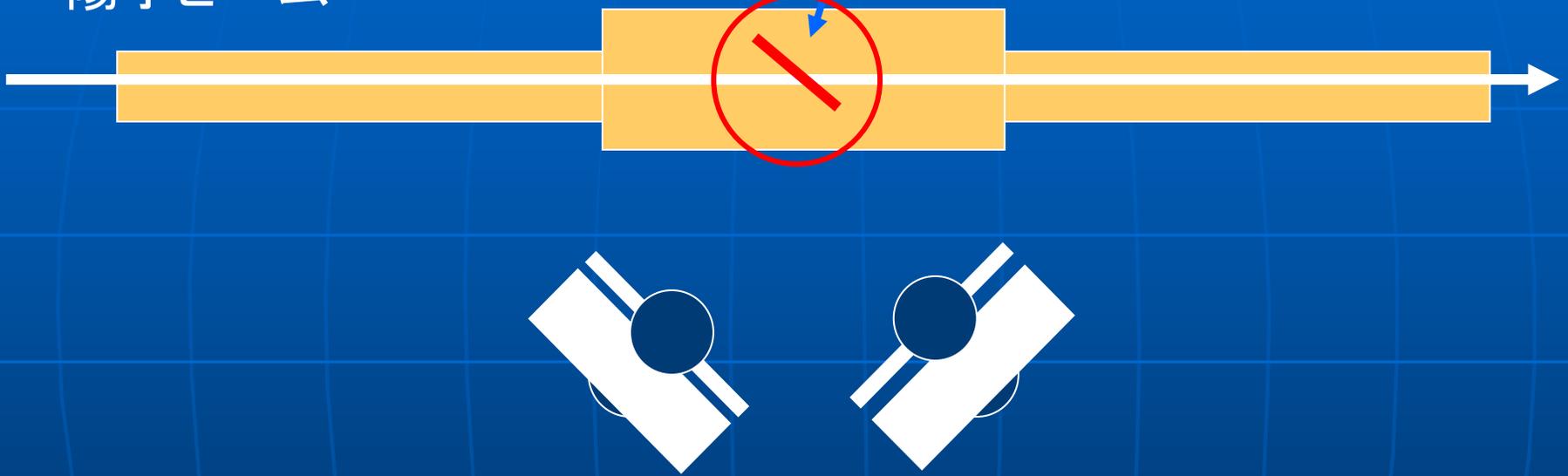


実験装置(2-coincidence)

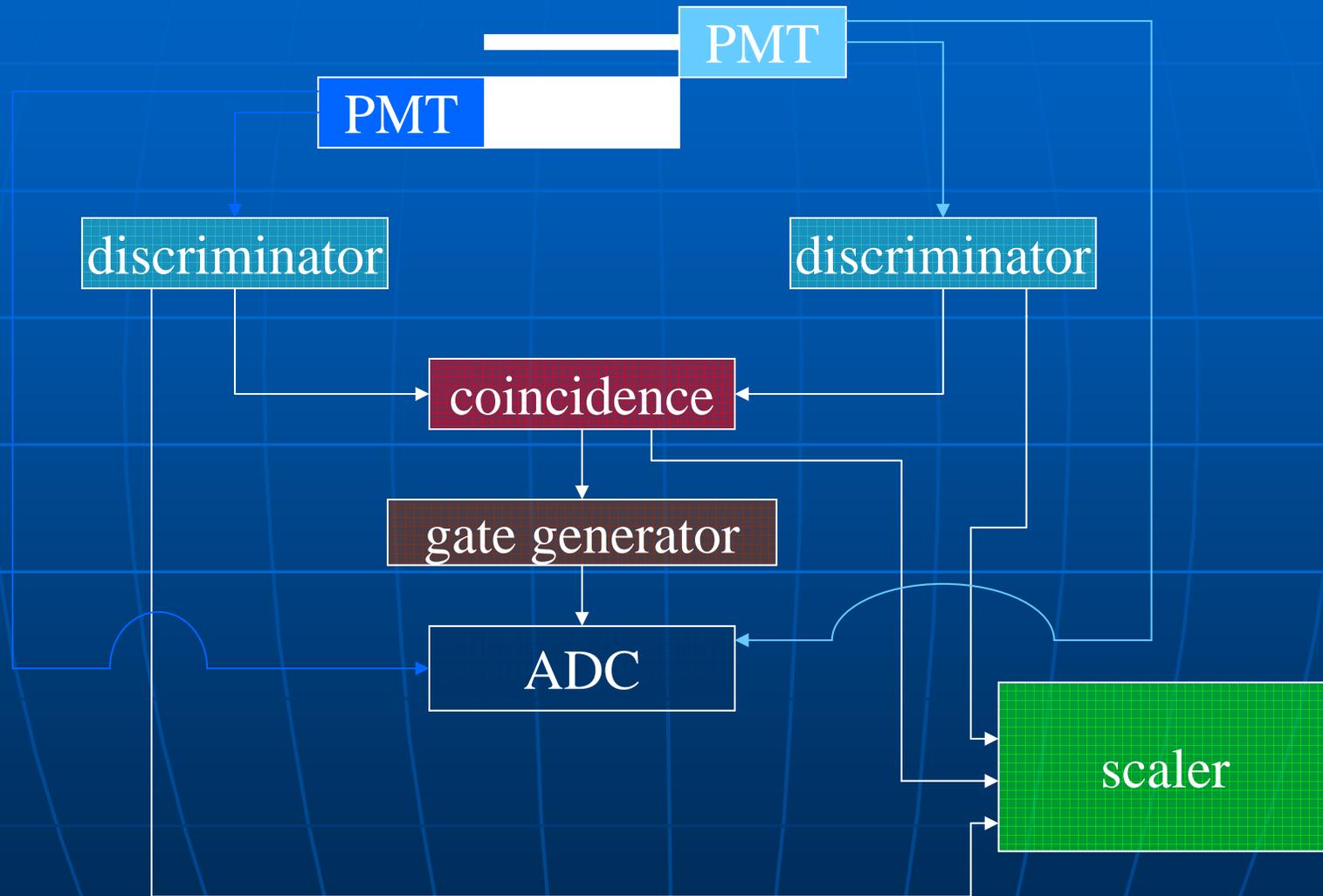


陽子ビーム

^{63}Cu



回路图



半減期の測定

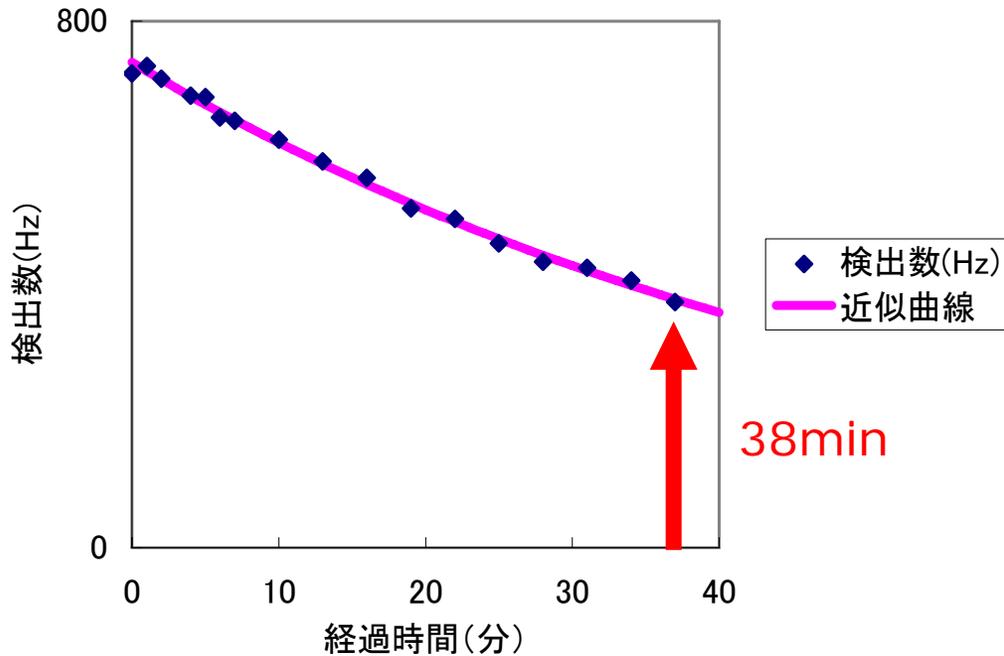
このデータに対し、

$N(t) = A \exp(-Bt) + C$ [Hz]
でフィッティングする
と

→ 半減期 =
 38.3 ± 0.3 min

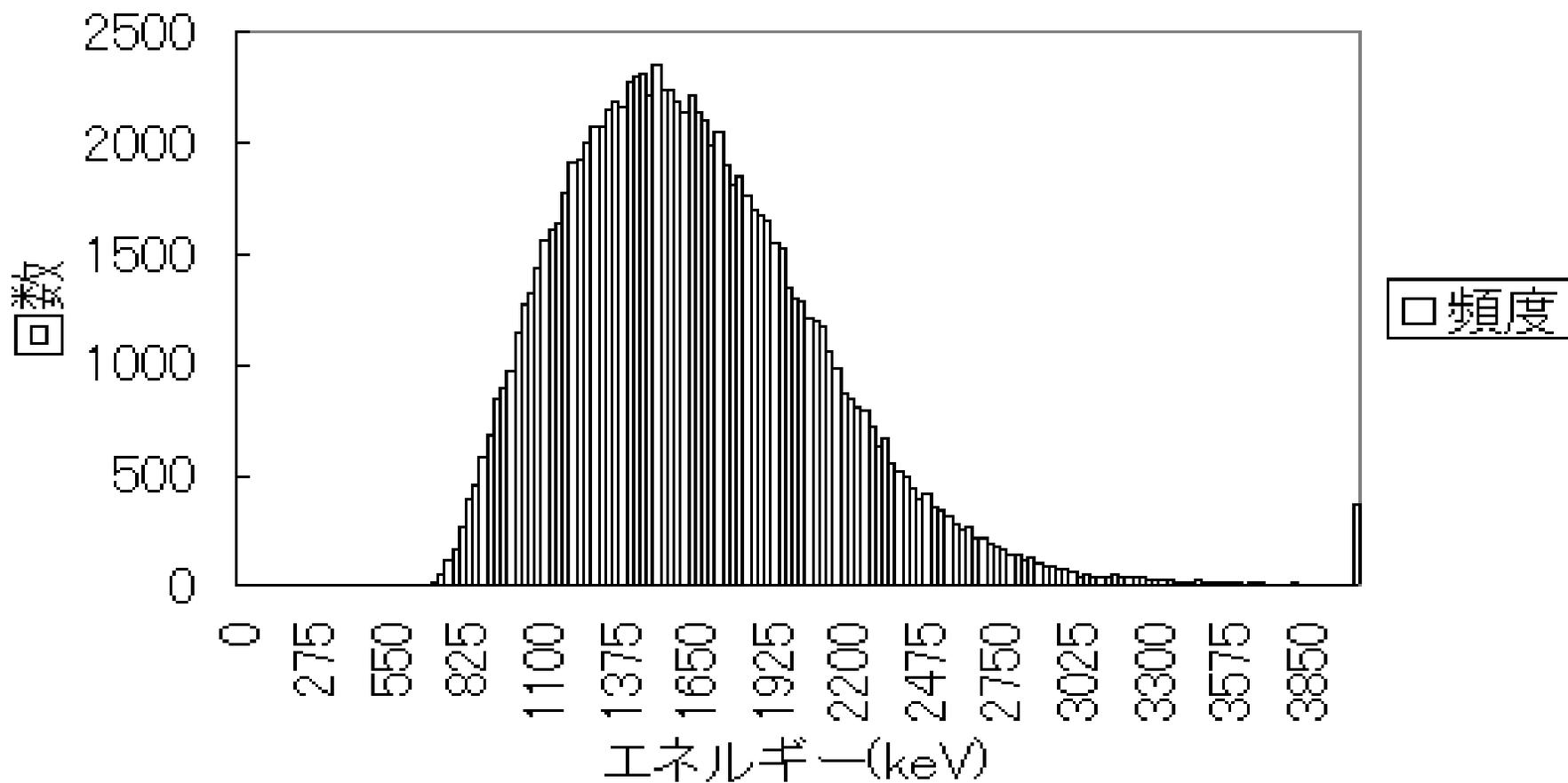
(文献値 38.1 min)

検出数の変化

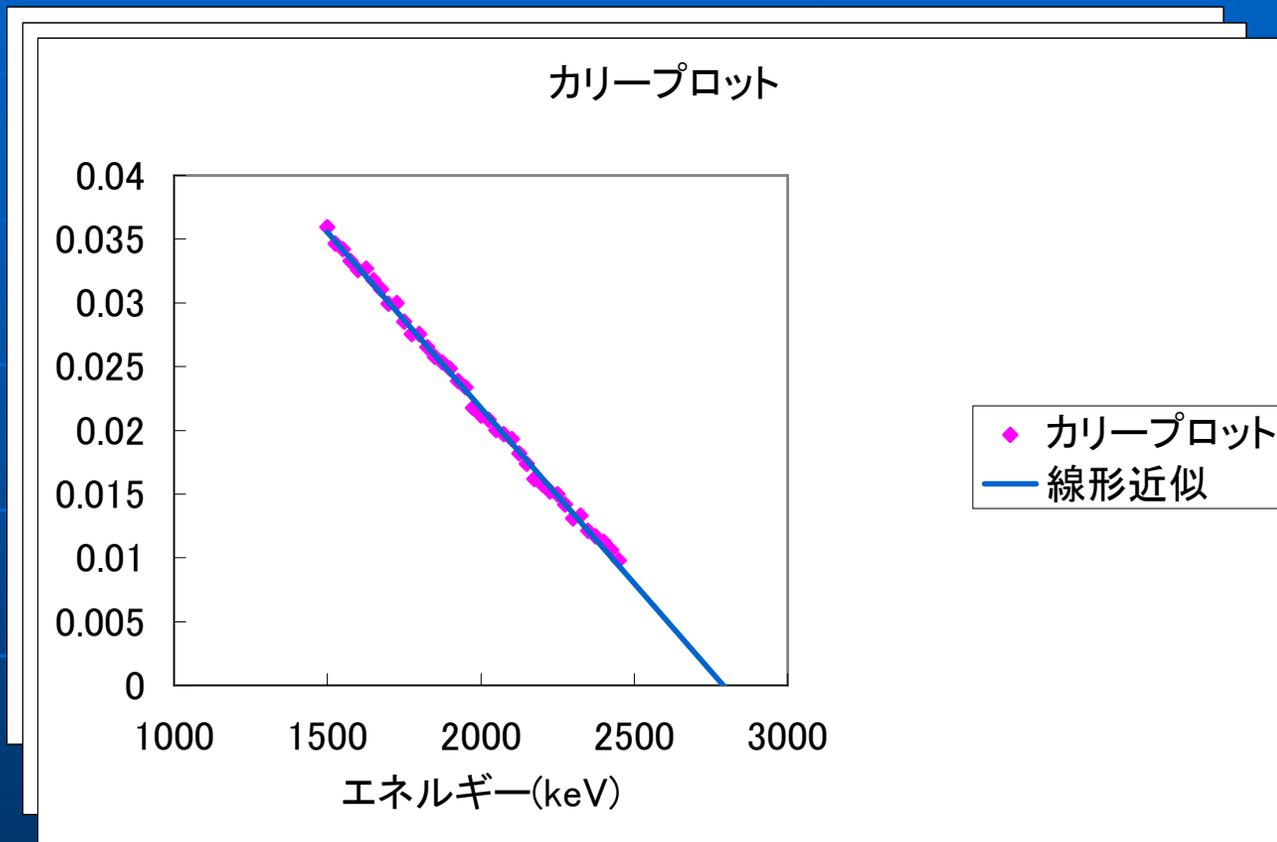


エネルギースペクトル

^{63}Zn のスペクトル



エンドポイントの見積もり



直線性の良い部分のみで線形近似

→交点は2789KeV(文献値2345KeV)

線源の生成能力

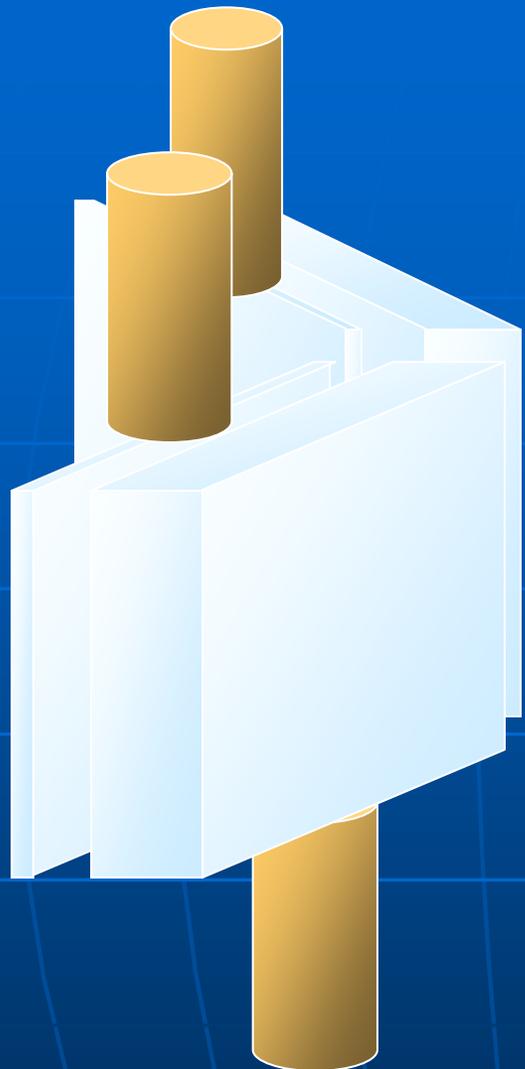
2.5nA 陽子ビーム90秒 $=2\ \mu\text{Ci}$

1nA陽子ビーム1分
 $=0.53\ \mu\text{Ci}$ 生成

1nA陽子ビーム
 $=$ 最高29.31 μCi まで生成可能

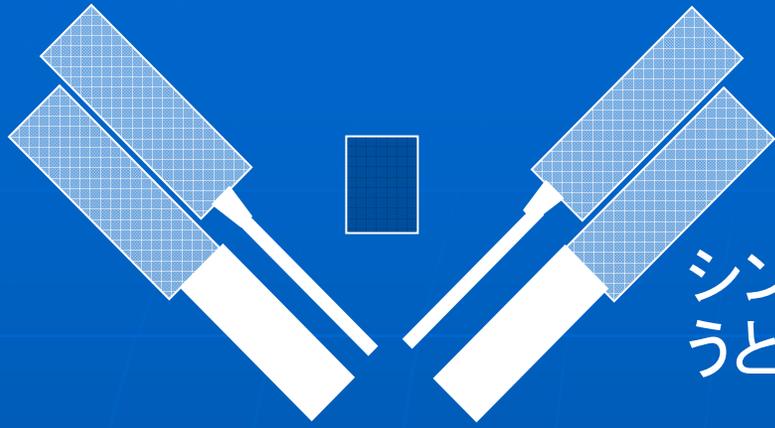
タンデムでは100nAまで照射可能。

よって、MAX3mCi程度

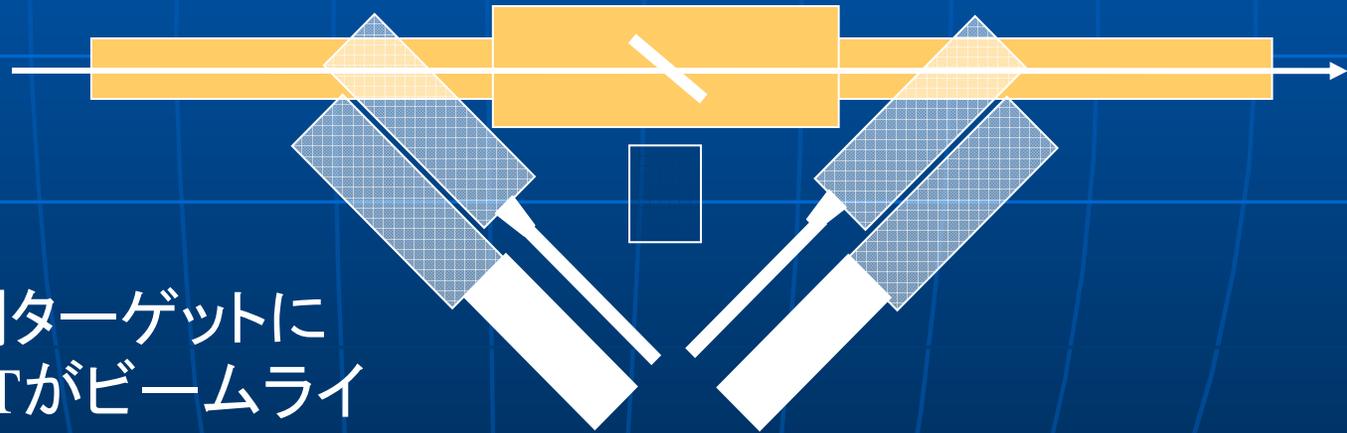


シンチレーター

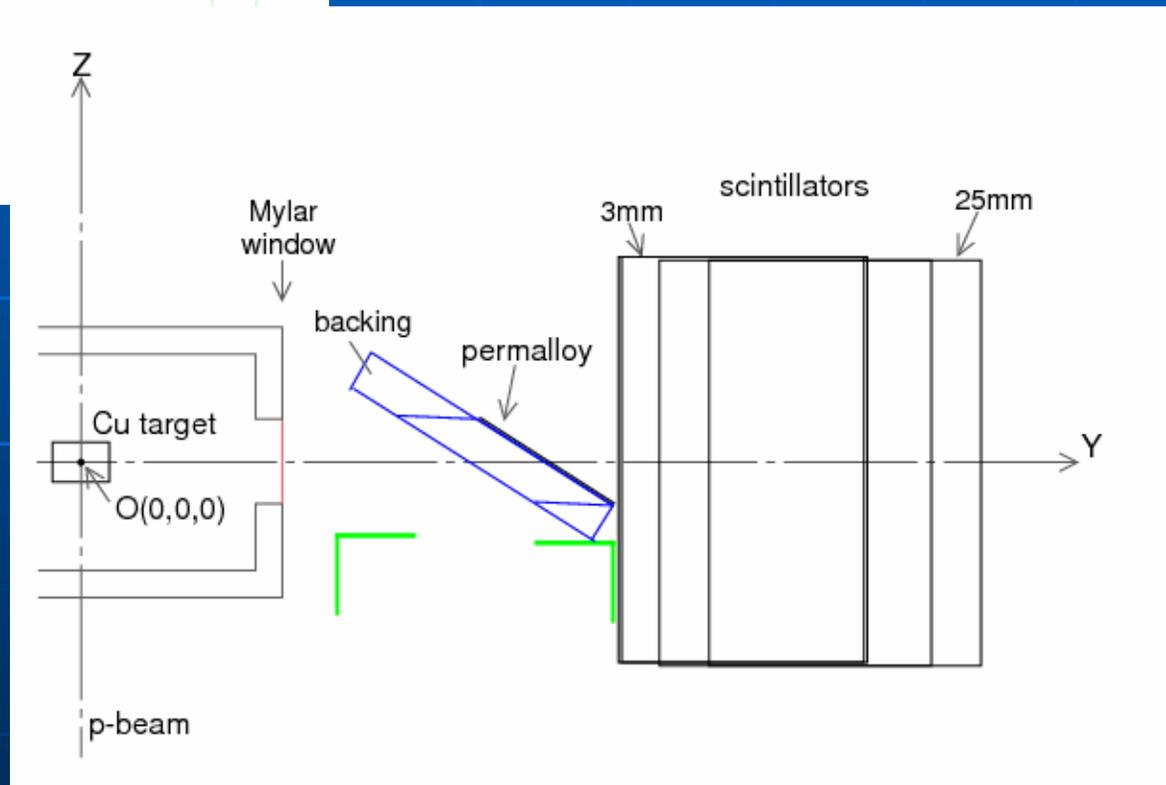
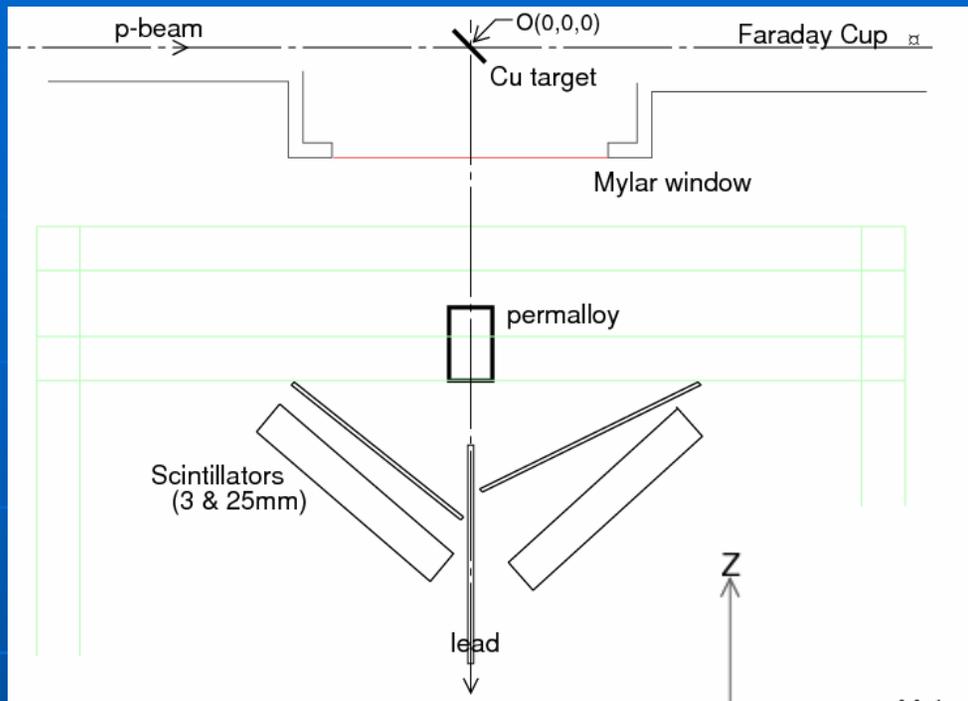




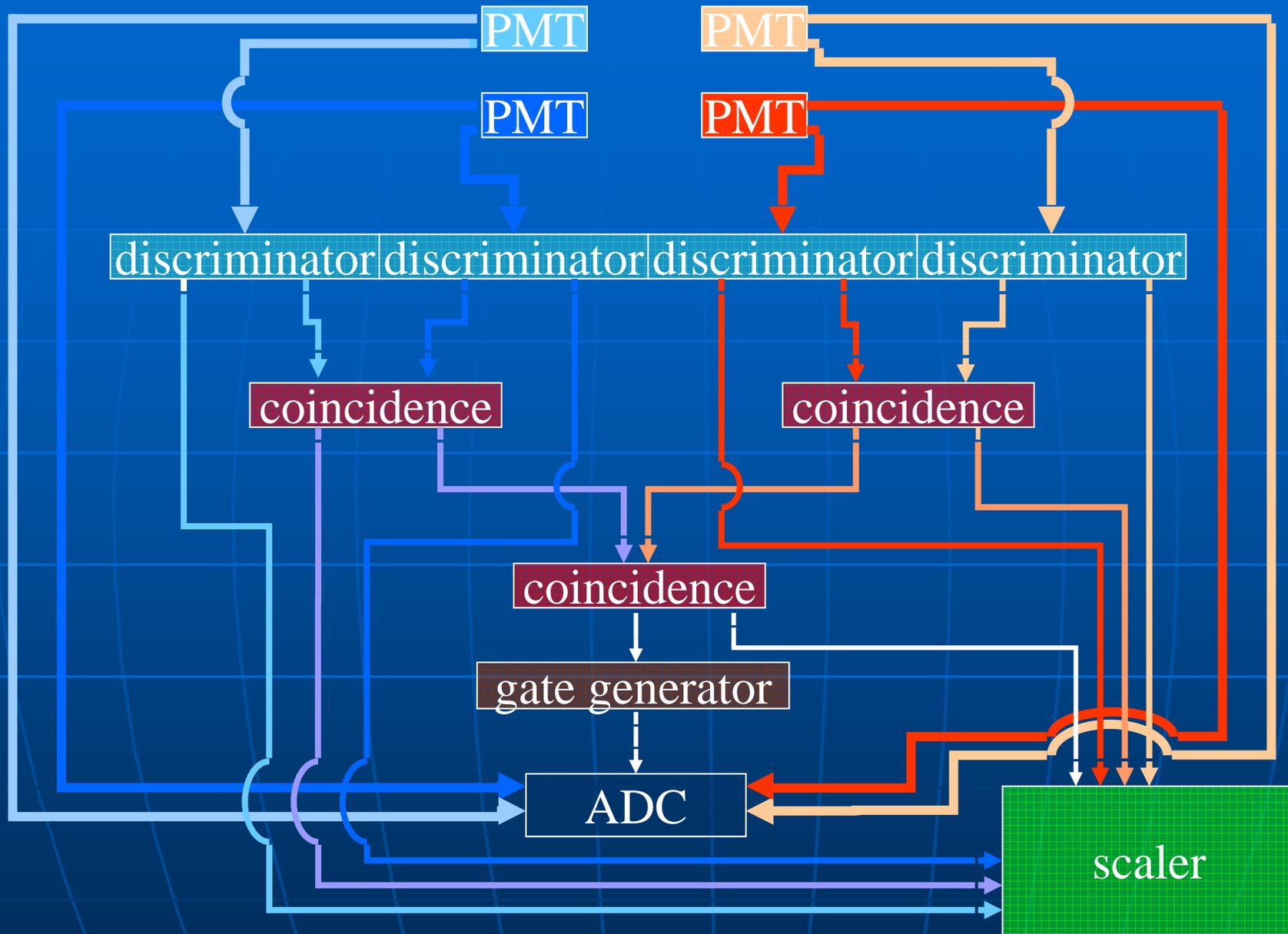
シンチレーターを近づけよ
うとするとPMTがぶつかる



パーマロイを銅ターゲットに
近づけるとPMTがビームライ
ンにぶつかる



回路图

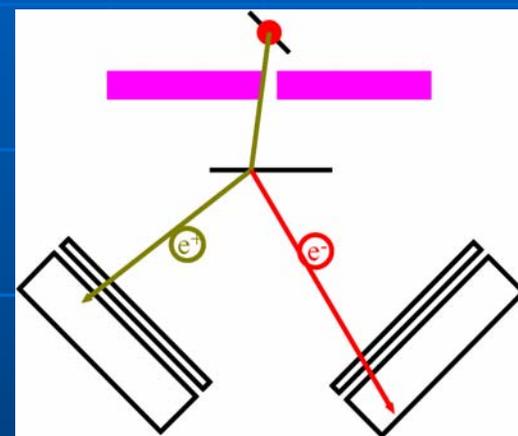


Bhabha散乱イベントの抽出

4-coincidence以外に課する条件

前面のシンチが左右ともに500keV以上検出する

→薄いシンチを貫通した
イベントのみカウントする



4枚のエネルギーが合計2789keV以下
(今回測定した ^{63}Zn のエンドポイント)

$$N_{+}=4457$$

$$N_{-}=4451$$

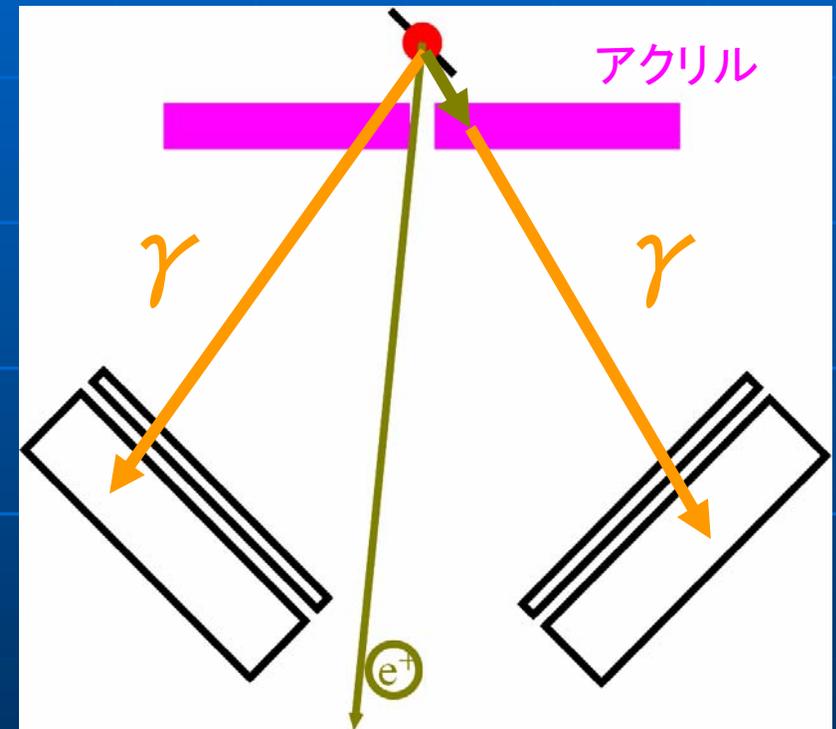
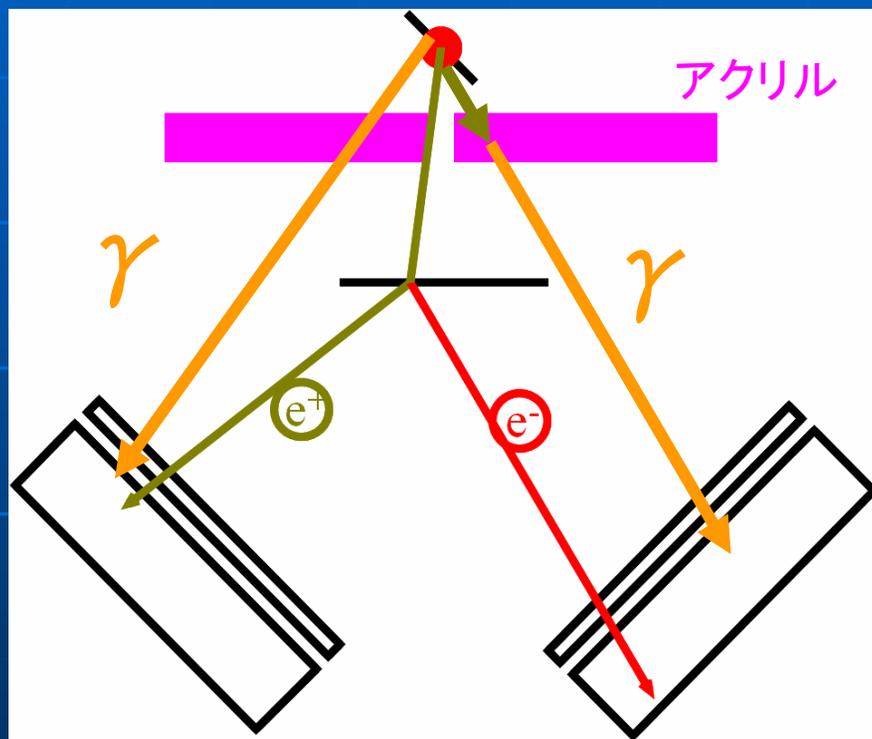
→

$$N_{+}=395$$

$$N_{-}=350$$

パーマロイ散乱イベントの抽出

パーマロイを置かずに同様の測定を行う。



パーマロイ有りの測定値 - パーマロイ無しの測定値
= パーマロイによるBhabha散乱

Asymmetry

パーマロイありの測定値 – パーマロイ無しの期待値

$$N_+ = 395$$

それぞれ 243 ± 7

$$N_- = 350$$

= パーマロイ由来

$$N_+ = 152 \pm 25$$

$$N_- = 107 \pm 24$$

$$\rightarrow A_S = 0.17 \pm 0.11$$

誤差が大きく、**パリティが破れてるとは言い難い**

helicity

Asymmetryが確認できなかつたため、
helicityが有限値であると言えない。

→パリティの破れは確認できず

バックグラウンドの原因

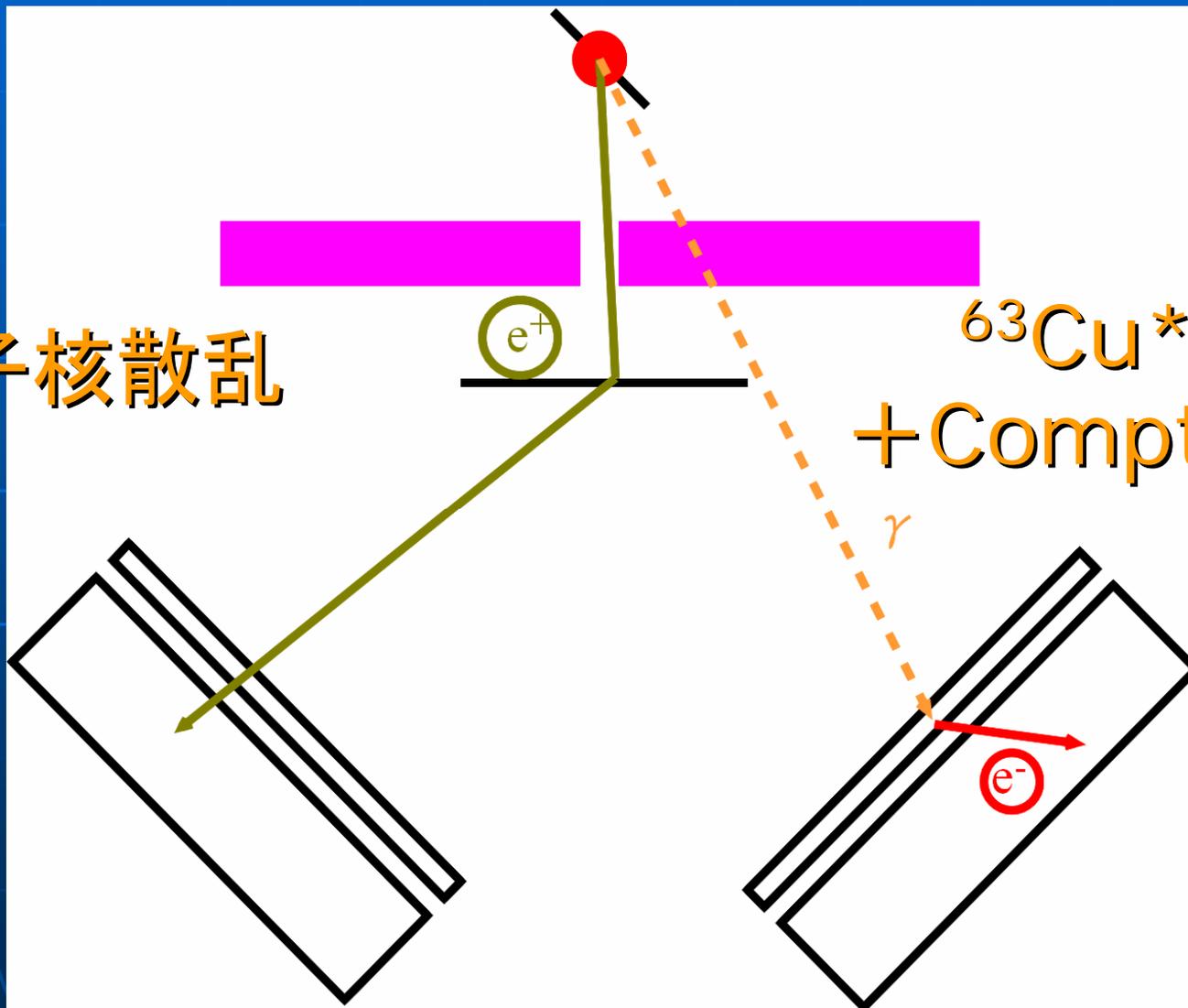
4-coincidenceしたイベント	エネルギー条件でカット後
$N_+ = 4457$	$N_+ = 395$
$N_- = 4451$	$N_- = 350$

バックグラウンドの性質

- 左右の検出器を同時に鳴らす
→少なくとも2つの粒子が生じる
- 薄いシンチレーターでエネルギーを落とさない
→ガンマ線が関与している

バックグラウンドイベント1

原子核散乱



$^{63}\text{Cu}^*$ の γ
+ Compton散乱

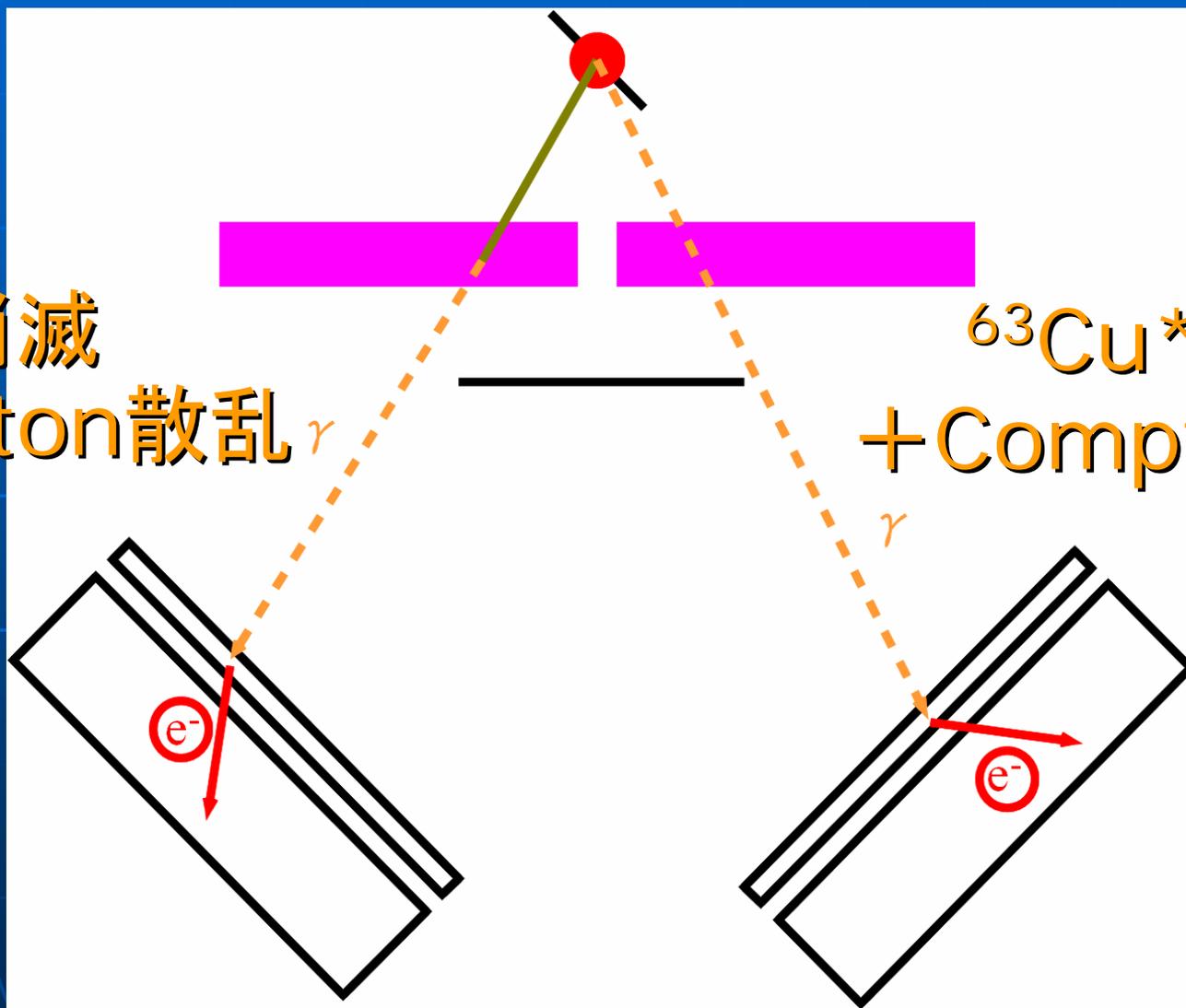
γ

e^-

バックグラウンドイベント2

対消滅
+ Compton散乱 γ

$^{63}\text{Cu}^*$ の γ
+ Compton散乱



チェックングソースとの比較

タンデムのメリット

強い線源を用意できる。
(チェックングソースは通常 $100\ \mu\text{Ci}$ 以下)

→測定時間を短縮できる。

半減期が短い崩壊を使える。

→反応の選択肢が増える。

測定時には強力でも、すぐに弱まる線源を使える。

→実験が安全に行える

チェッキングソースとの比較

タンデムのデメリット

マシンタイムに制約がある

→数日間で測定する必要がある
数回勝負になる

ビームラインは動かさない

→配置に幾何的な制約を受ける。
(線源と測定装置間が遠くなる等)

密封線源 (Bhabha散乱) と の比較

チェックソースは陽電子のエネルギーが低い
68Ge max1.90MeV **VS** 63Zn max2.345keV
22Na max0.54MeV 27Al max3.789keV

coincidenceのためにはmin500keV程度必要

→実質的な線量は少ない。

強度ではタンデム加速器が有利

密封線源 (Moller散乱) と の比較

β^- を利用するため対消滅はない

→ γ 線を放出しない不安定核を用いれば
シンチが一重ですむ

~~coincidenceのためにはmin500keV程度必要~~

低エネルギーの陽電子も使える

チェックングソースが優る可能性も。

まとめ

(p, n) 反応による β^+ 崩壊核 ^{63}Zn の生成

半減期・maxエネルギーにより確認
タンデム加速器で作れる能力→最大3mCi

その β^+ のヘリシティの測定

10時間のデータ累積で

Asymmetry→ 0.17 ± 0.11

helicity→有限値を持たず