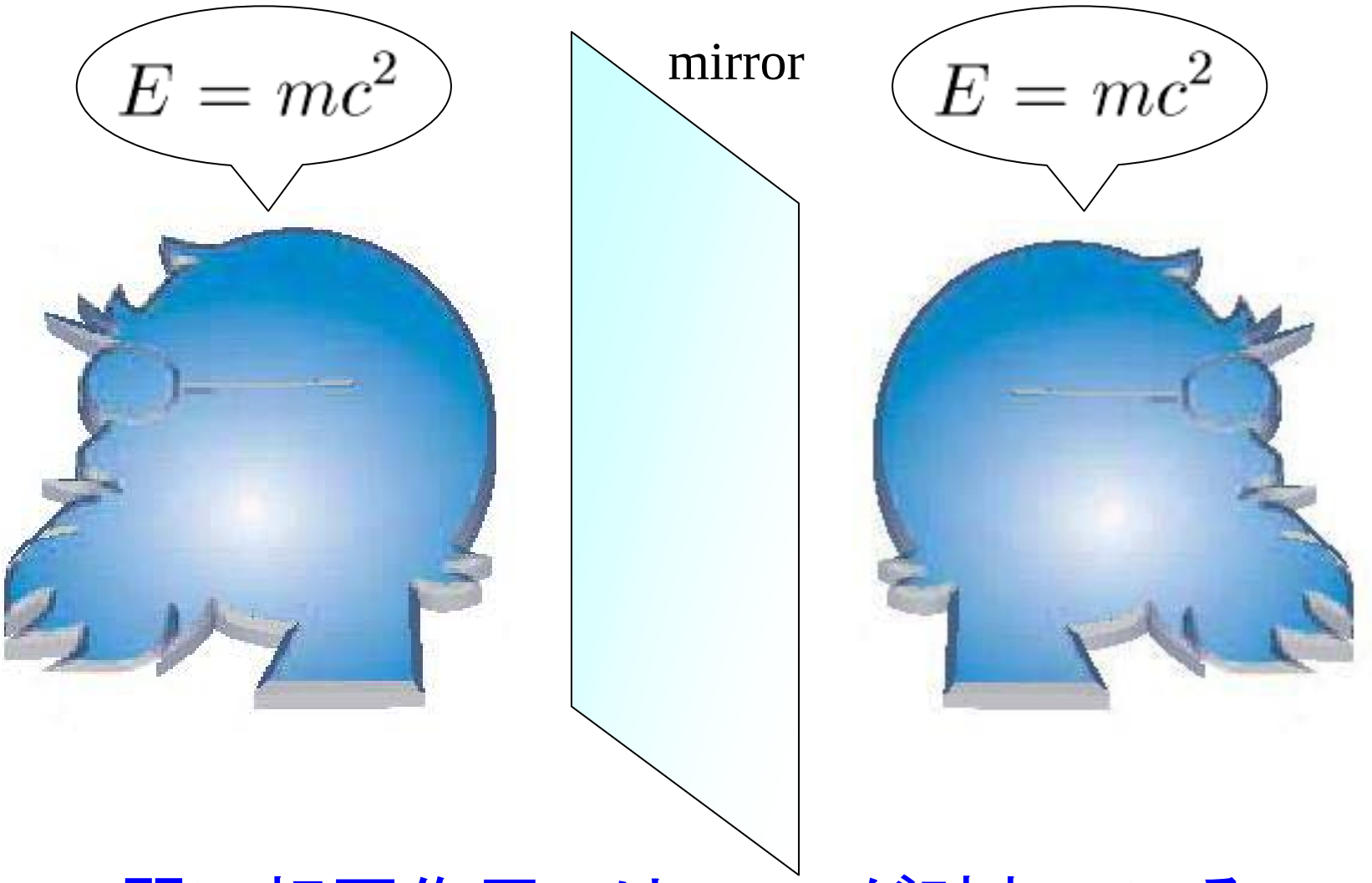
2005 年度 P3 課題研究

発表会

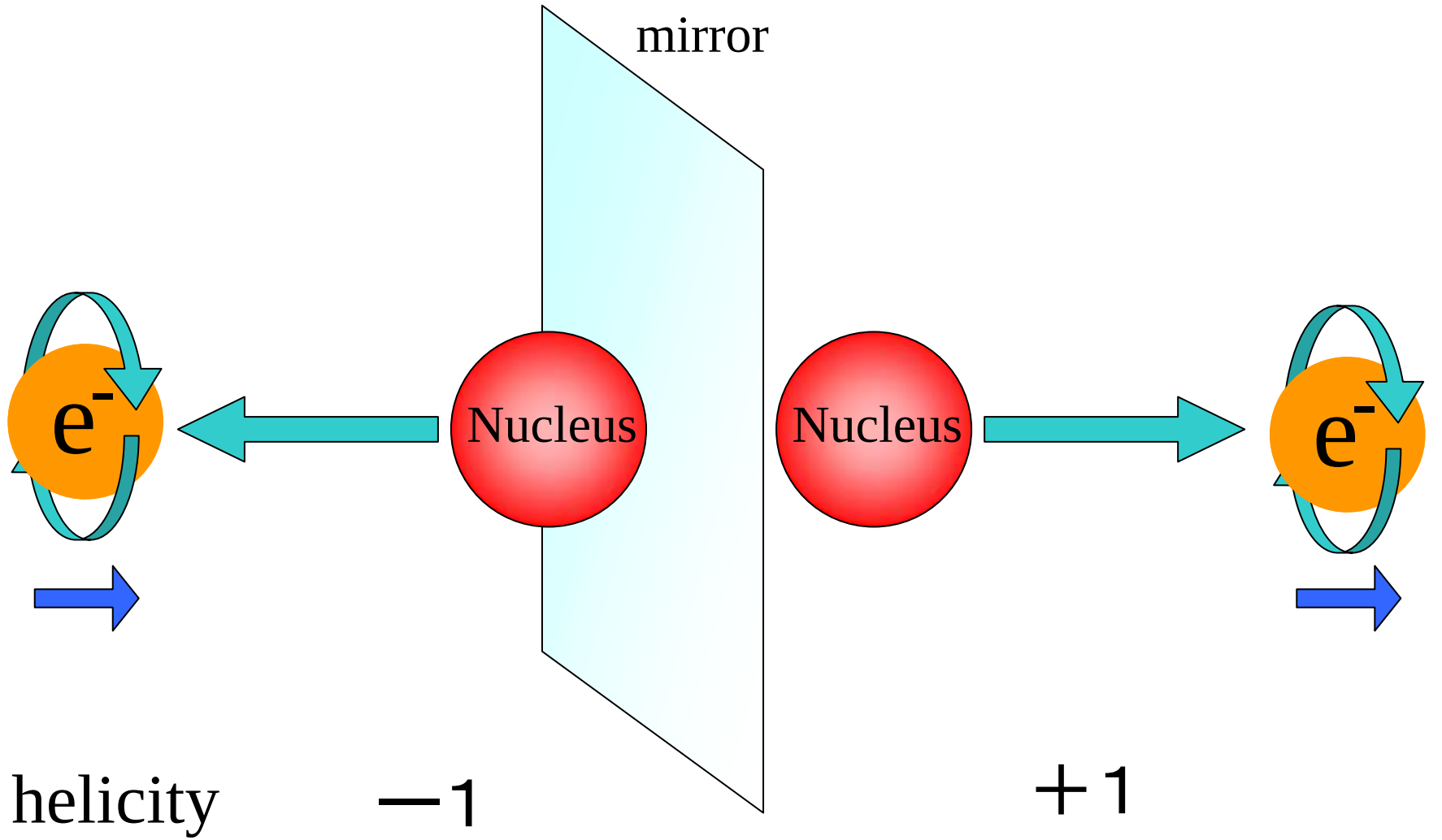
$\beta-\gamma$ 偏光相関による パリティの破れの検証

Parity



弱い相互作用ではparityが破れている

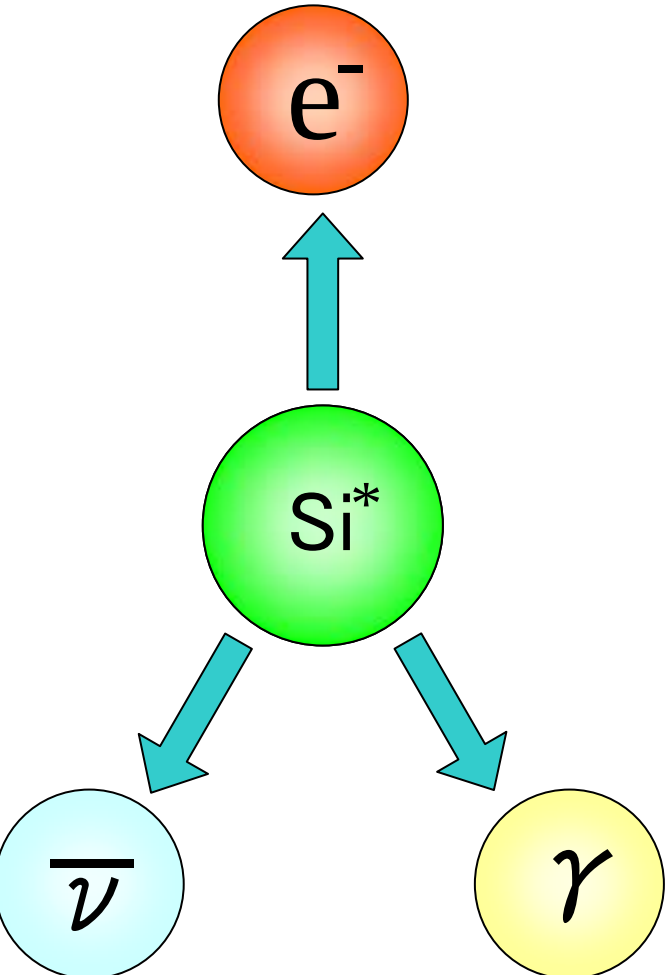
β 崩壊におけるParityの破れ

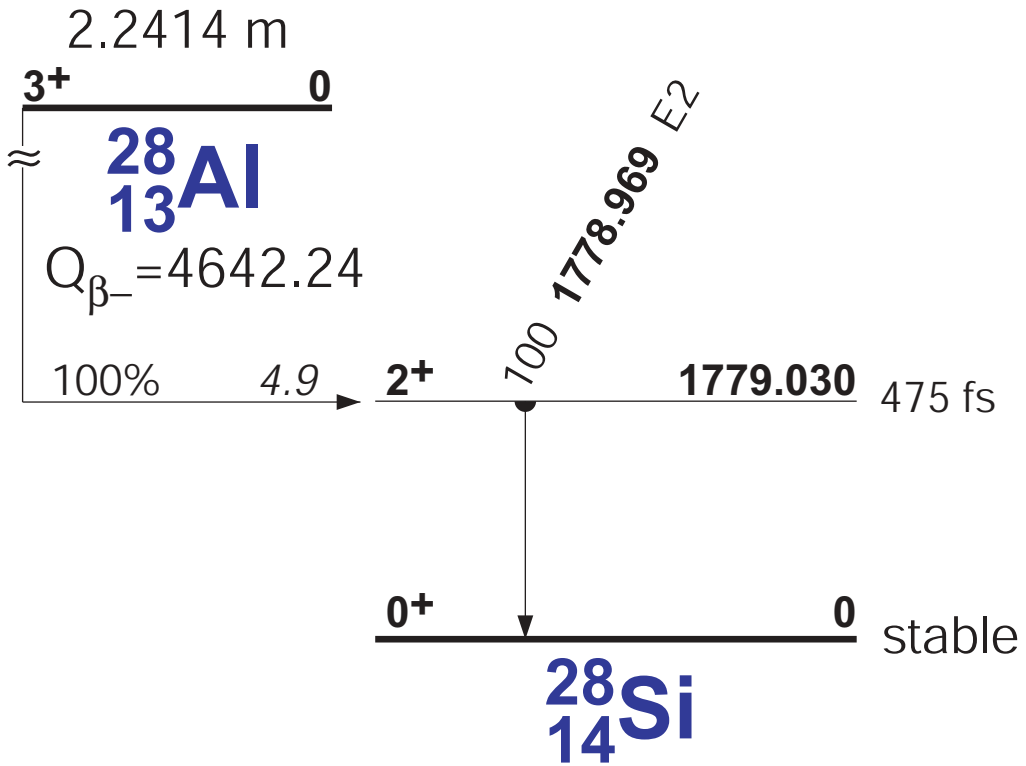


β 崩壊で放出される電子はhelicity－１が多い

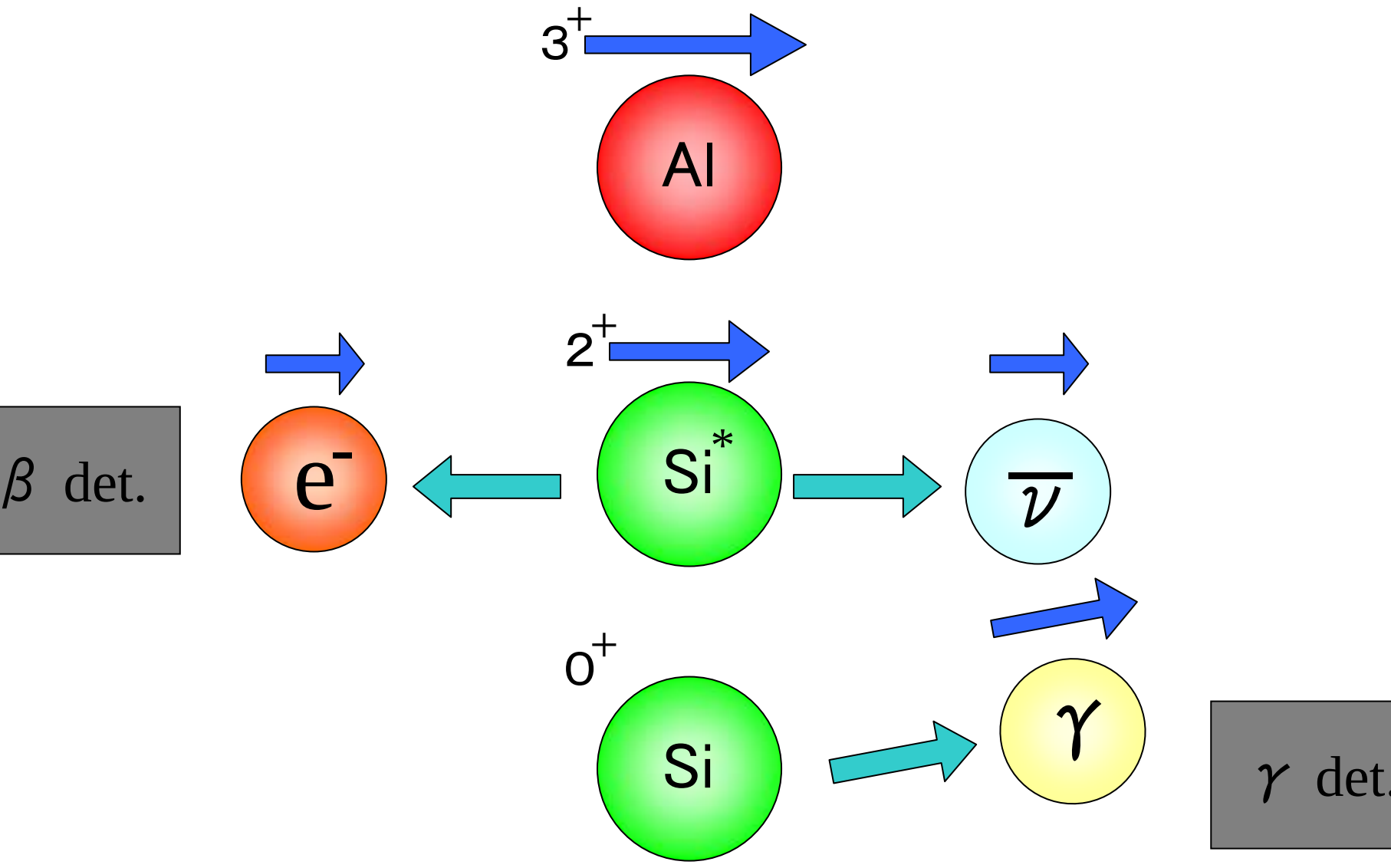
Parityの破れの実験的証明

- 1957年　C. S. Wu at el.　偏極したCoからの放出電子の角度分布を測定
- $\beta-\gamma$ 偏光相関による測定



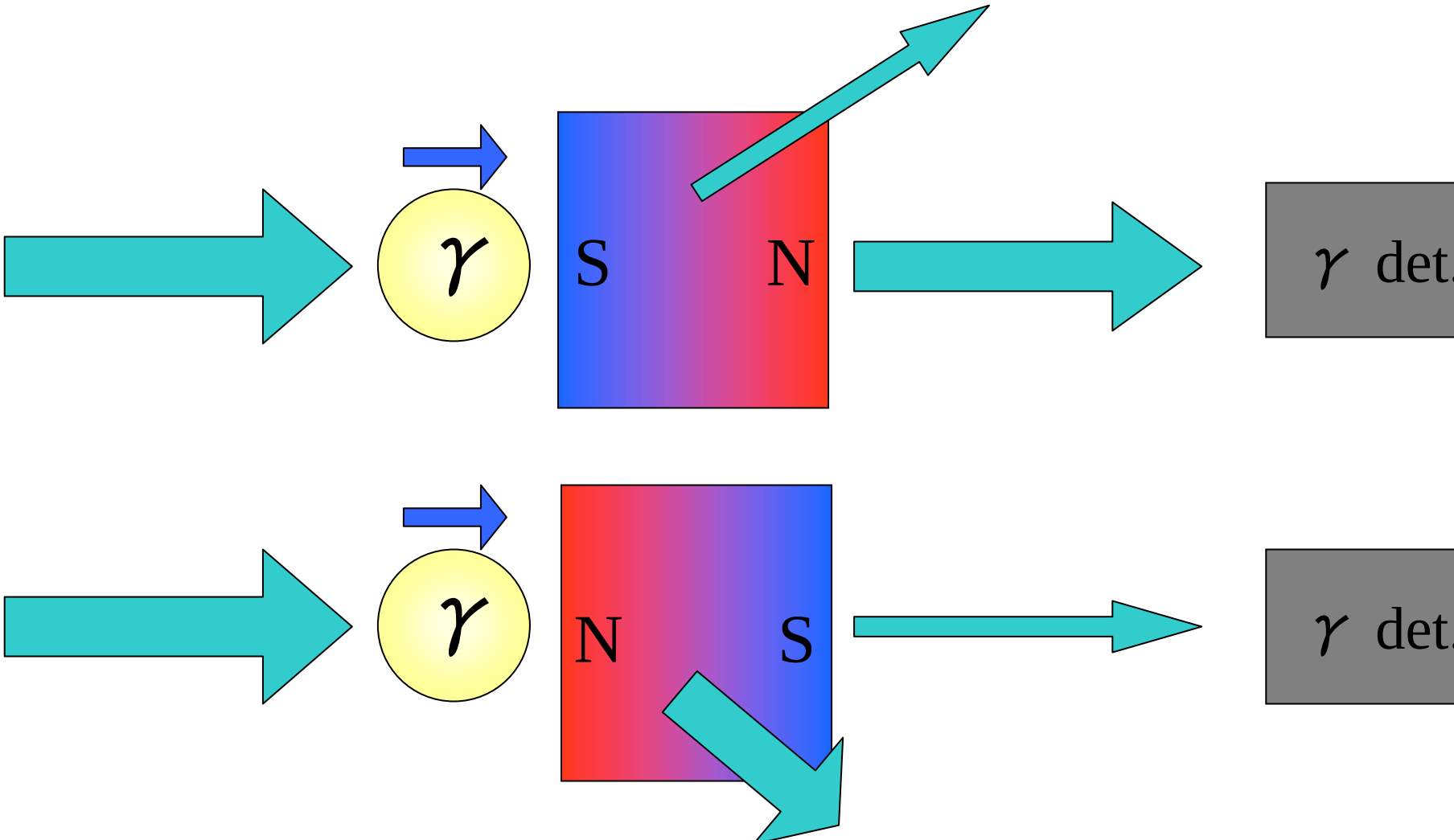


$\beta-\gamma$ 偏光相関

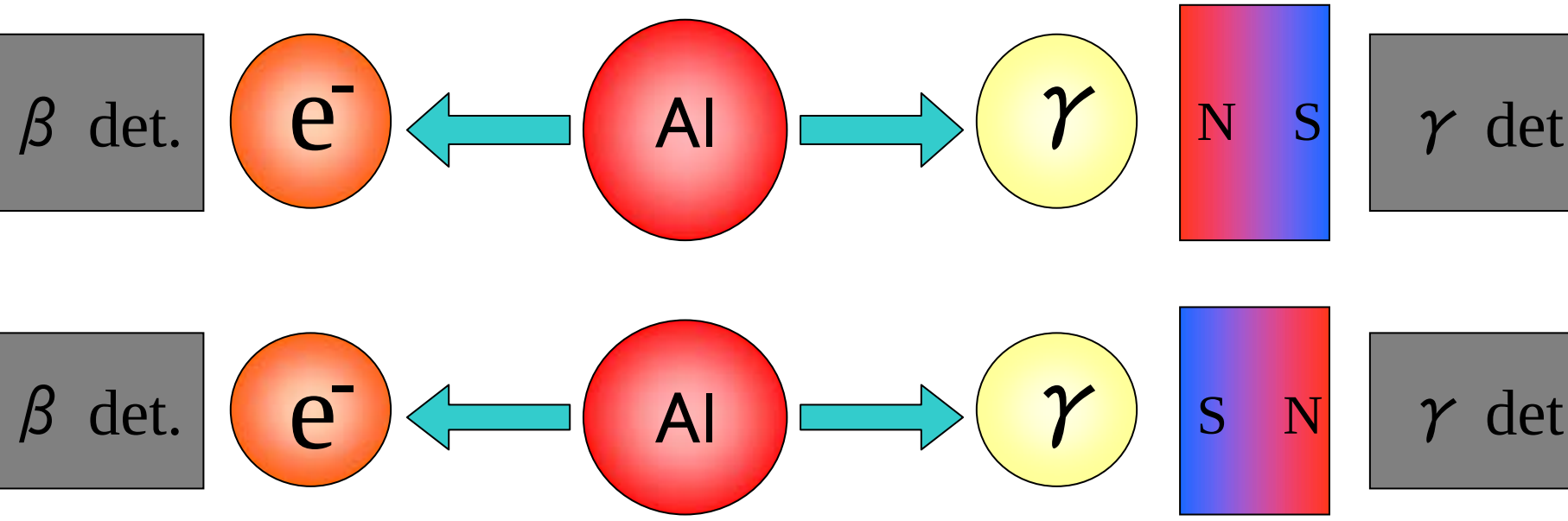


γ線偏光測定

磁化した鉄中でのγ線の振る舞いを利用



測定概念図



鉄の磁化方向を変えて測定し、計測数を比較する。
計測数に差が存在　→Parityが破れている。

透過型磁石のデザイン

①磁石を設計

②磁場の数値計算

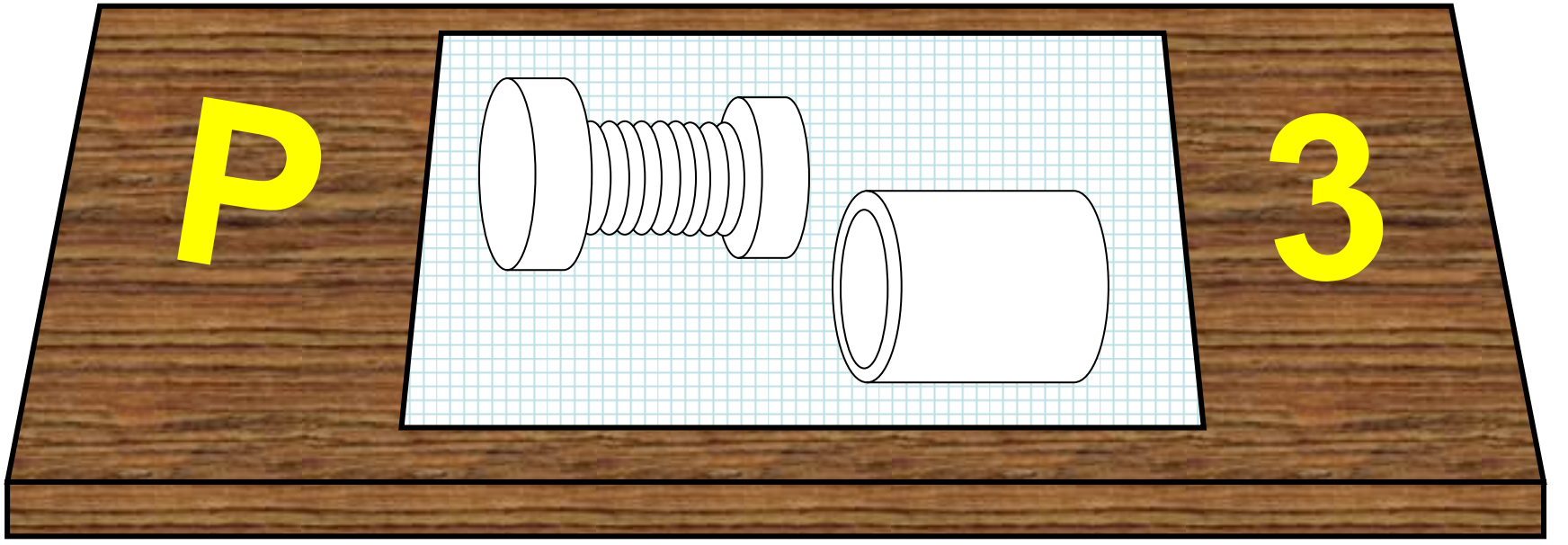
③磁場の測定（電磁誘導法）

日直吉田

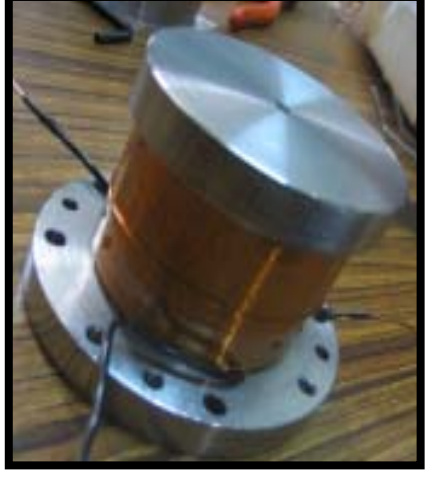
磁石の設計

どんな磁石？

- 一様・飽和磁化（2.15テスラ）
- 熱くなりすぎない
- 磁場が漏れない

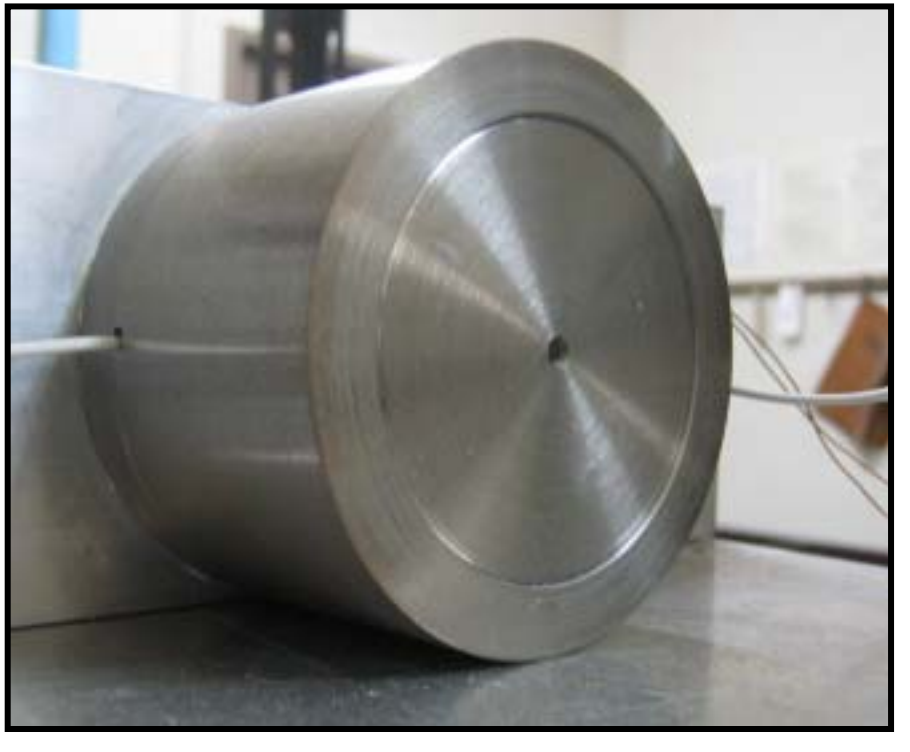


ボビン

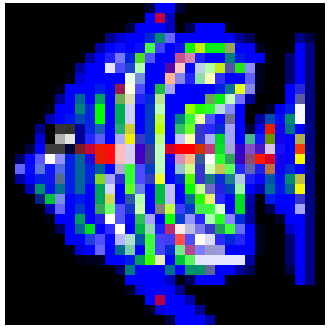


コイルを巻いたもの

ボビンケース



POISSONによる数値計算



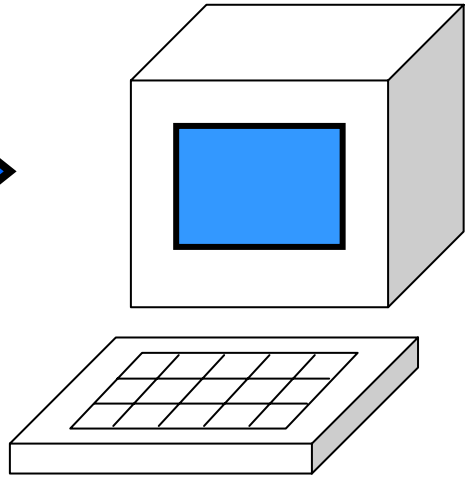
Poisson.exe

POISSONとは？

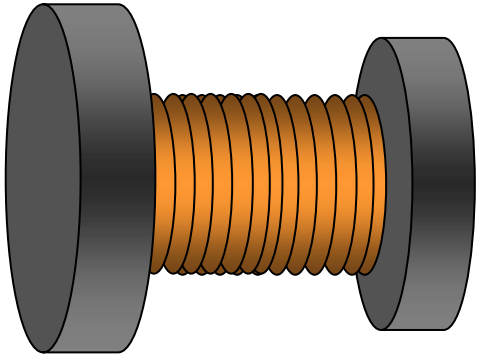
ロスアラモス研究所から
無料で配布されている
磁場の数値計算ソフト

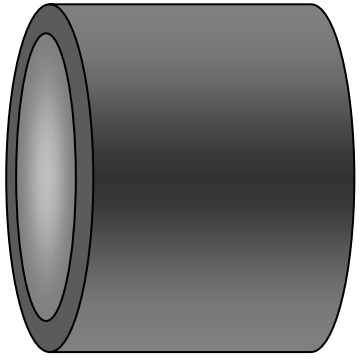
- 磁石の形状
- コイルに流す電流
- コイルの巻き数

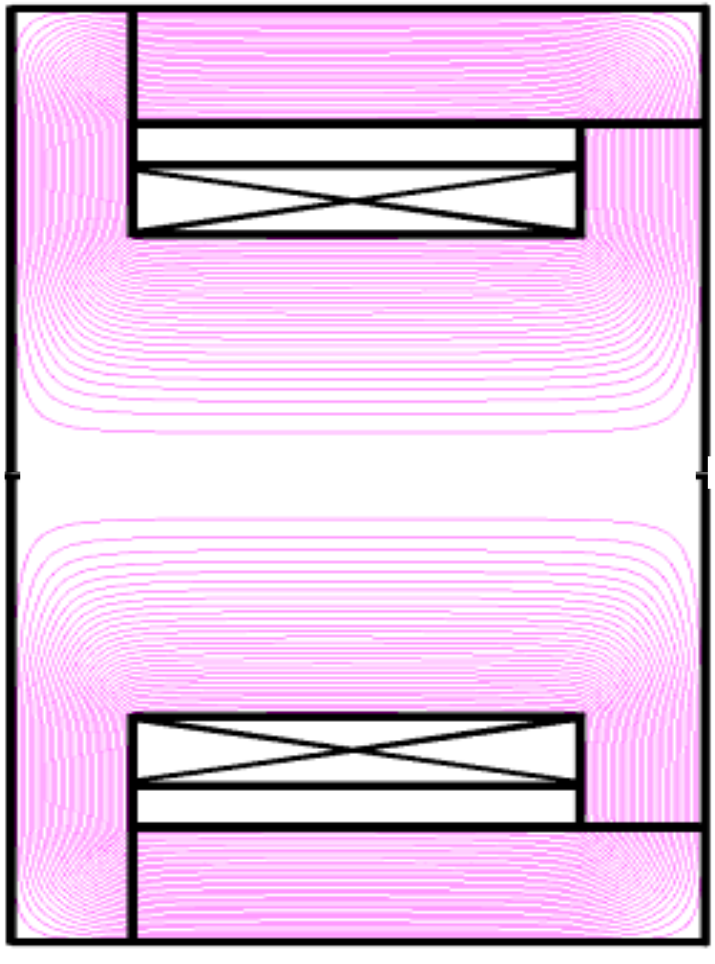
入力

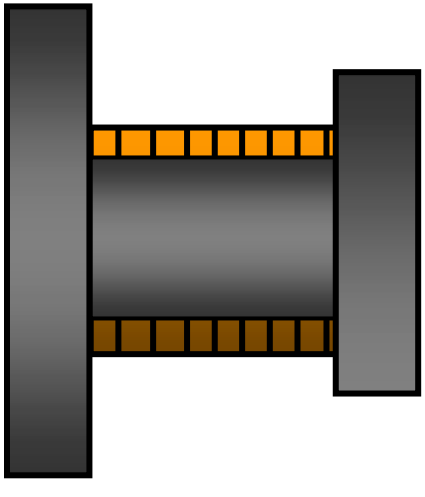


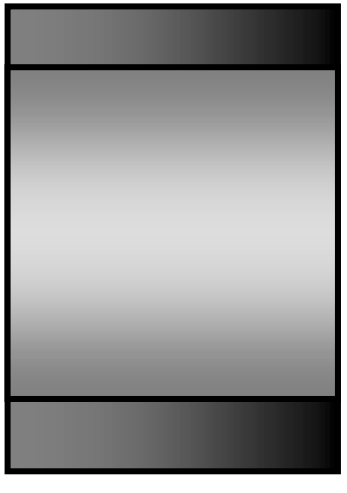
入力すると‥





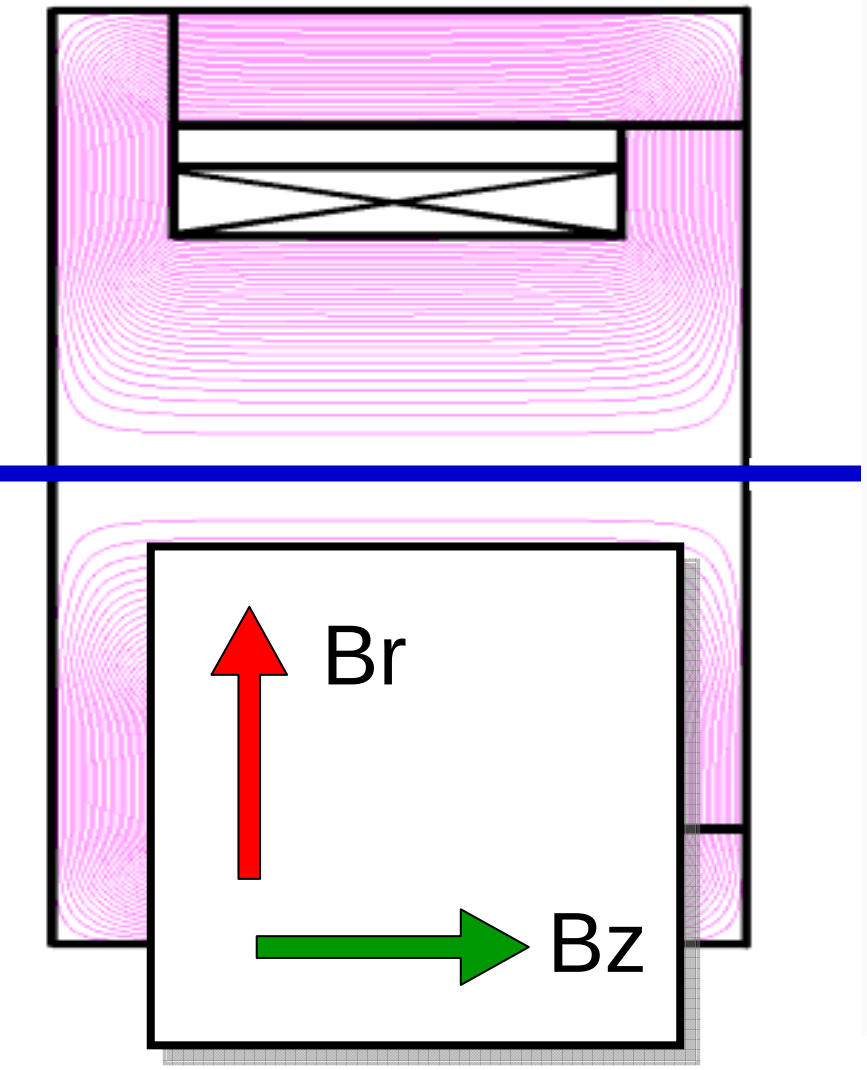


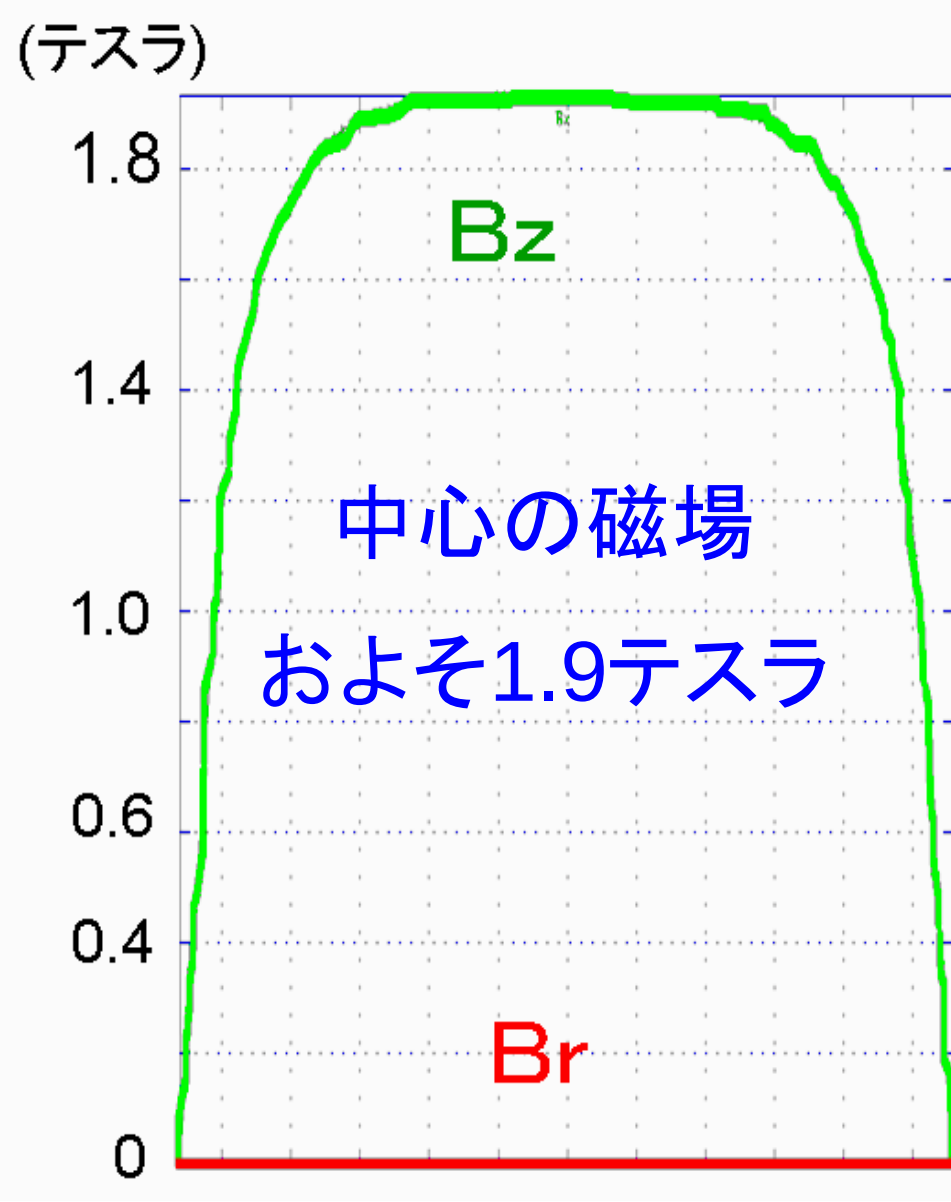




磁力線が出てくる

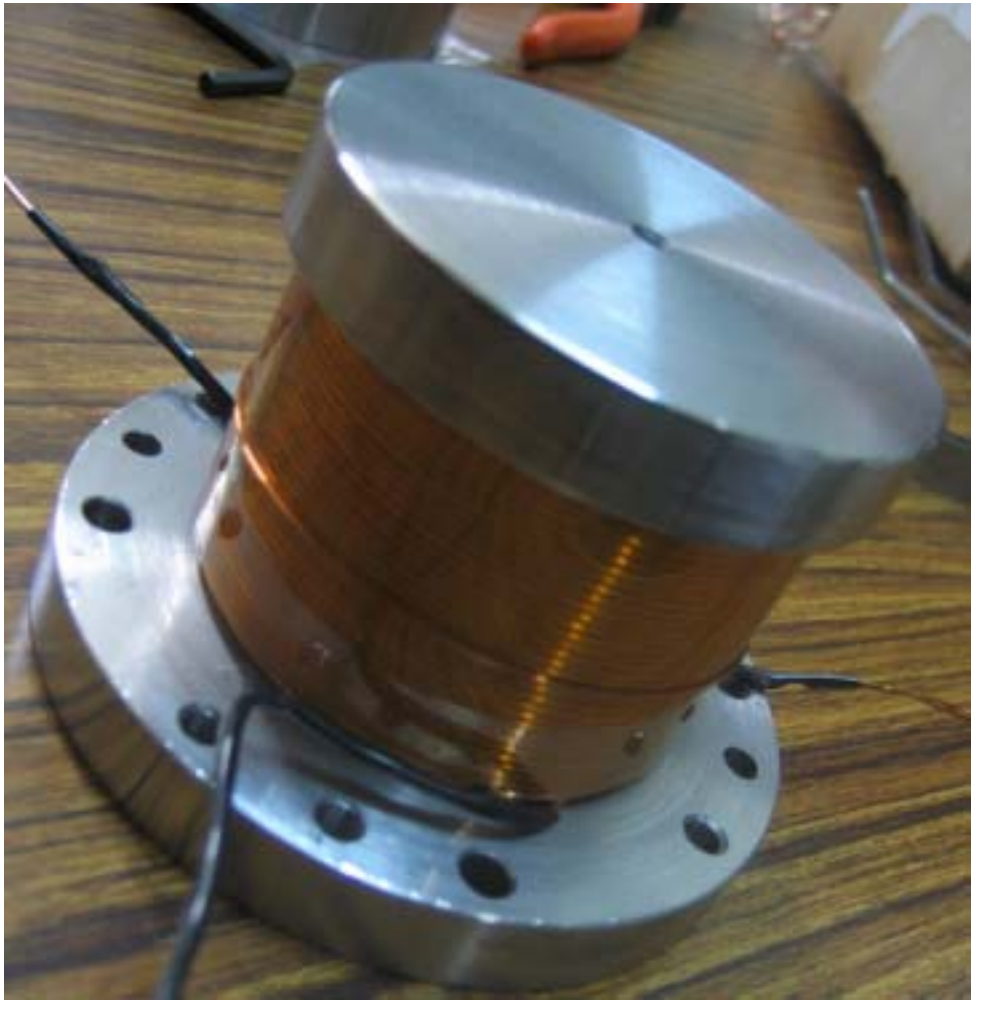
さらに・・





磁場の測定

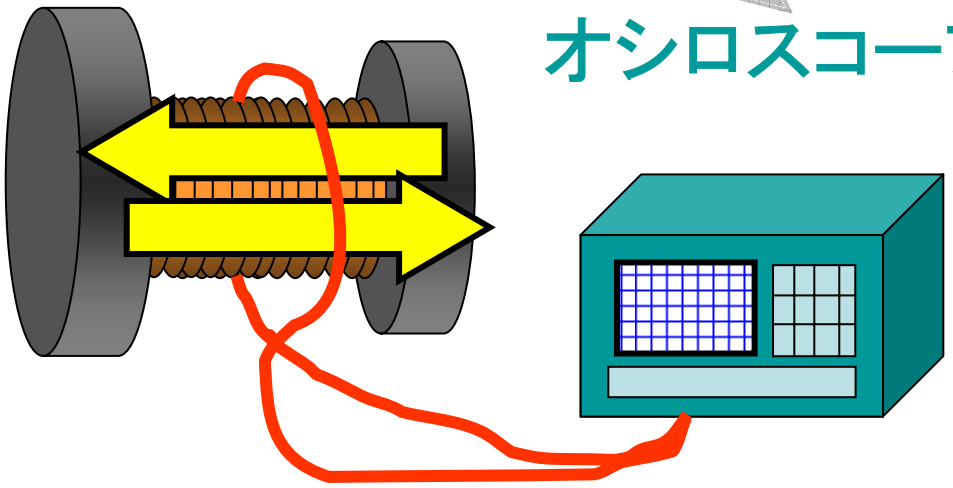
- 現実の磁場は？
- 数値計算との比較
- コイルがしっかり巻けているか？



磁石の動作確認

磁場の測定（電磁誘導法）

③を測定します



①磁石に流れる
電流を反転

↓

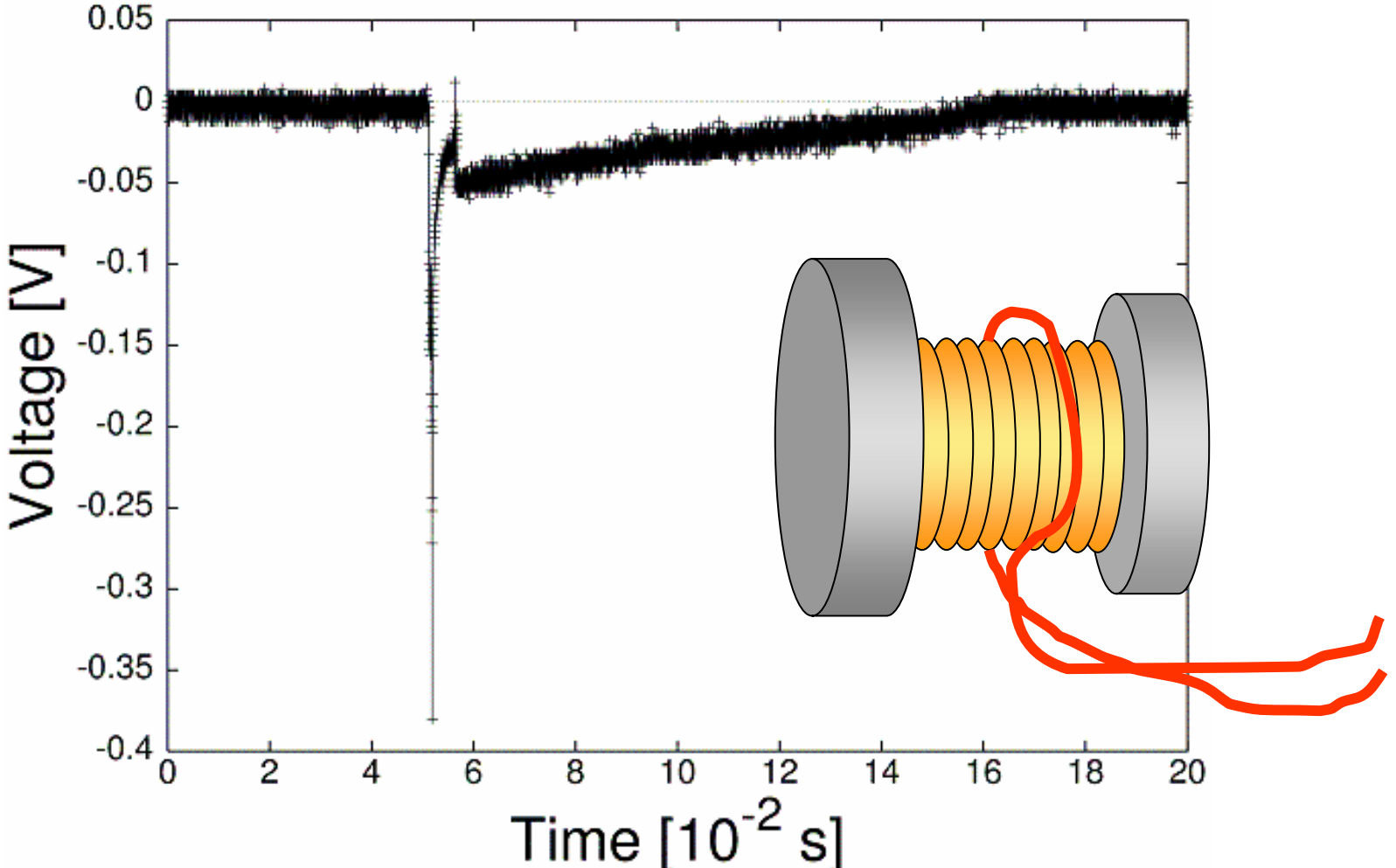
②ピックアップコイル
を貫く磁束が反転

↓

③ピックアップコイル
両端に起電力

起電力＝磁束の時間微分

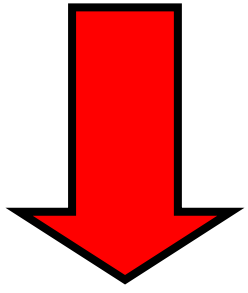
起電力の時間積分＝磁束≒磁束密度×断面積



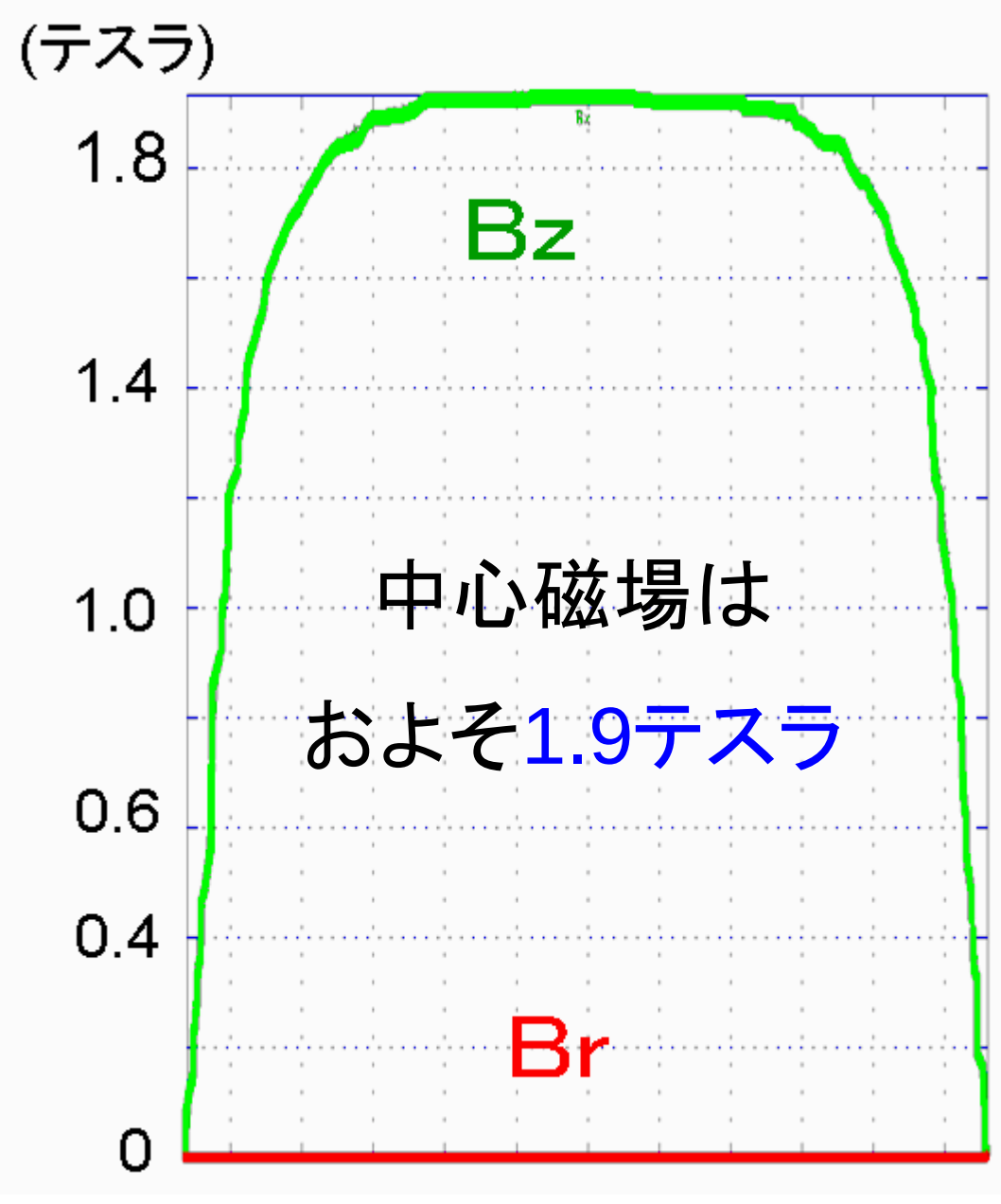
以上から得た

中心の磁場は

およそ1.95テスラ



この磁石で
実験できる！



28 AIの生成

^{28}Al の生成

1. ^{28}Al の崩壊
2. ^{27}Al からの (d, p) 反応。
3. ^{28}Al の生成

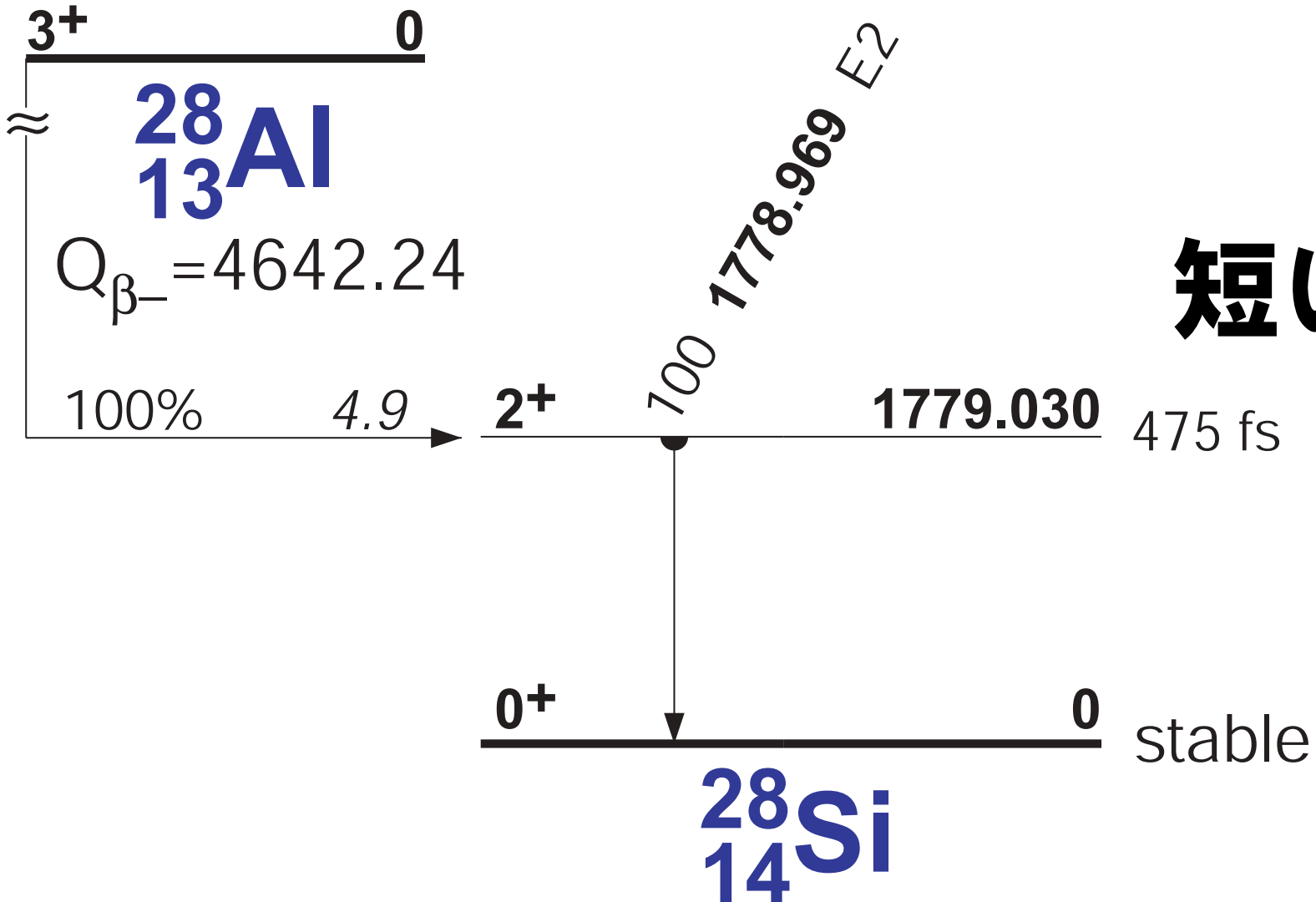
まず、

[28]AI は

どう崩壊するか。

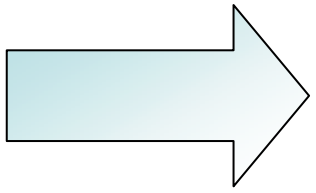
自然界には(殆ど)

存在しない。

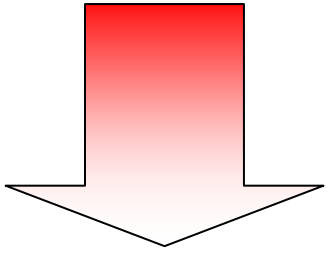


短い。

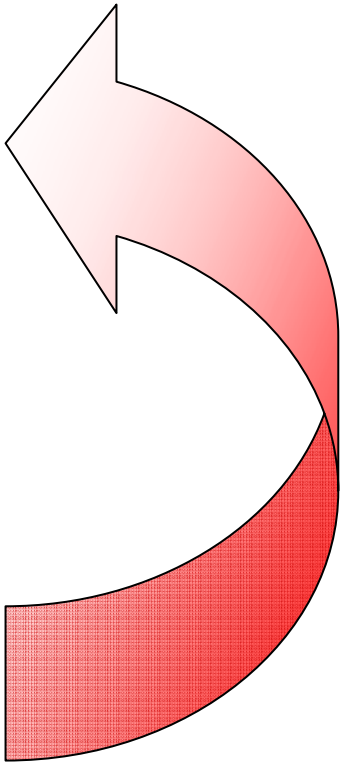
^{28}Al 自然界には(殆ど)存在しない。



^{28}Al を生成



測定！



では、

28 AI を

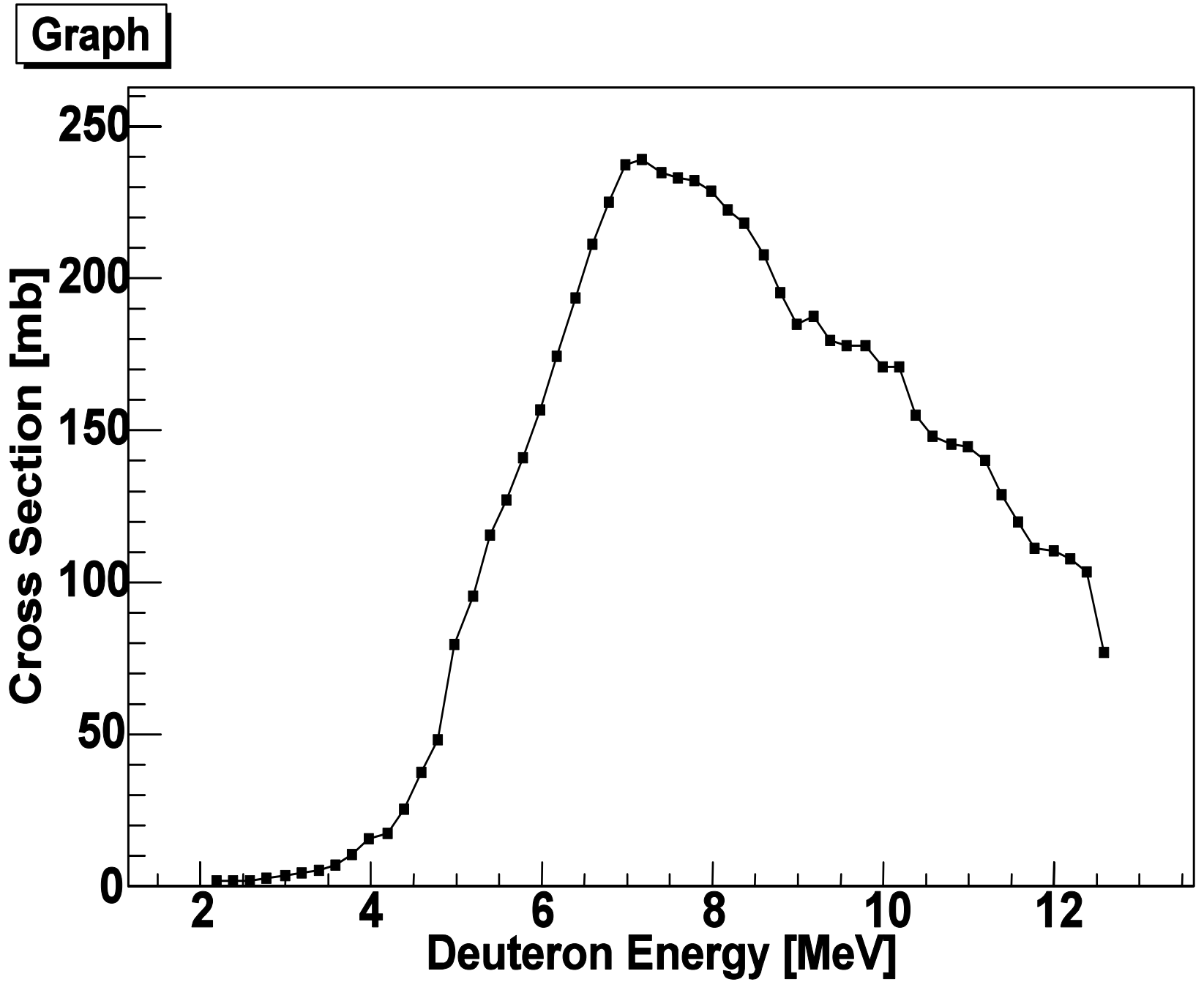
どう生成するか。

^{28}Al を最も効率良く生成。

→ ^{27}Al からの (d, p) 反応。

^{27}Al + d

→ ^{28}Al + p


Graph
Cross Section [mb]
250
200
150
100
50
0
2
4
6
8
10
12
Deuteron Energy [MeV]

27 AIは何処から入手?

→アルミホイル

で良い!

では、

実際に[28]AIは

生成出来るか。

生成成功の基準

1．β線及びγ線

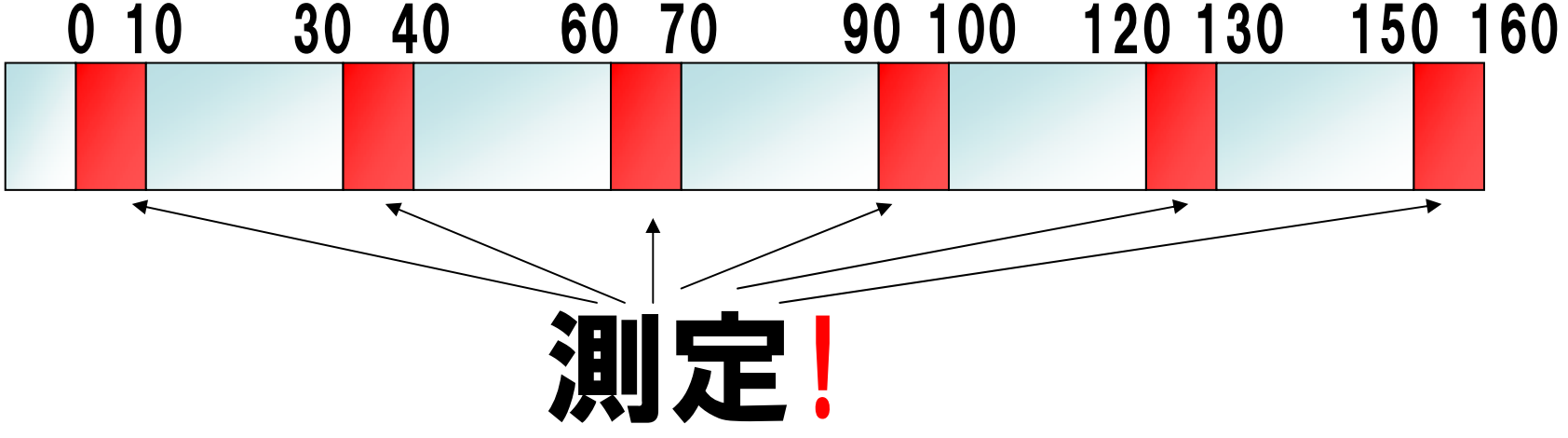
2．生成物の寿命

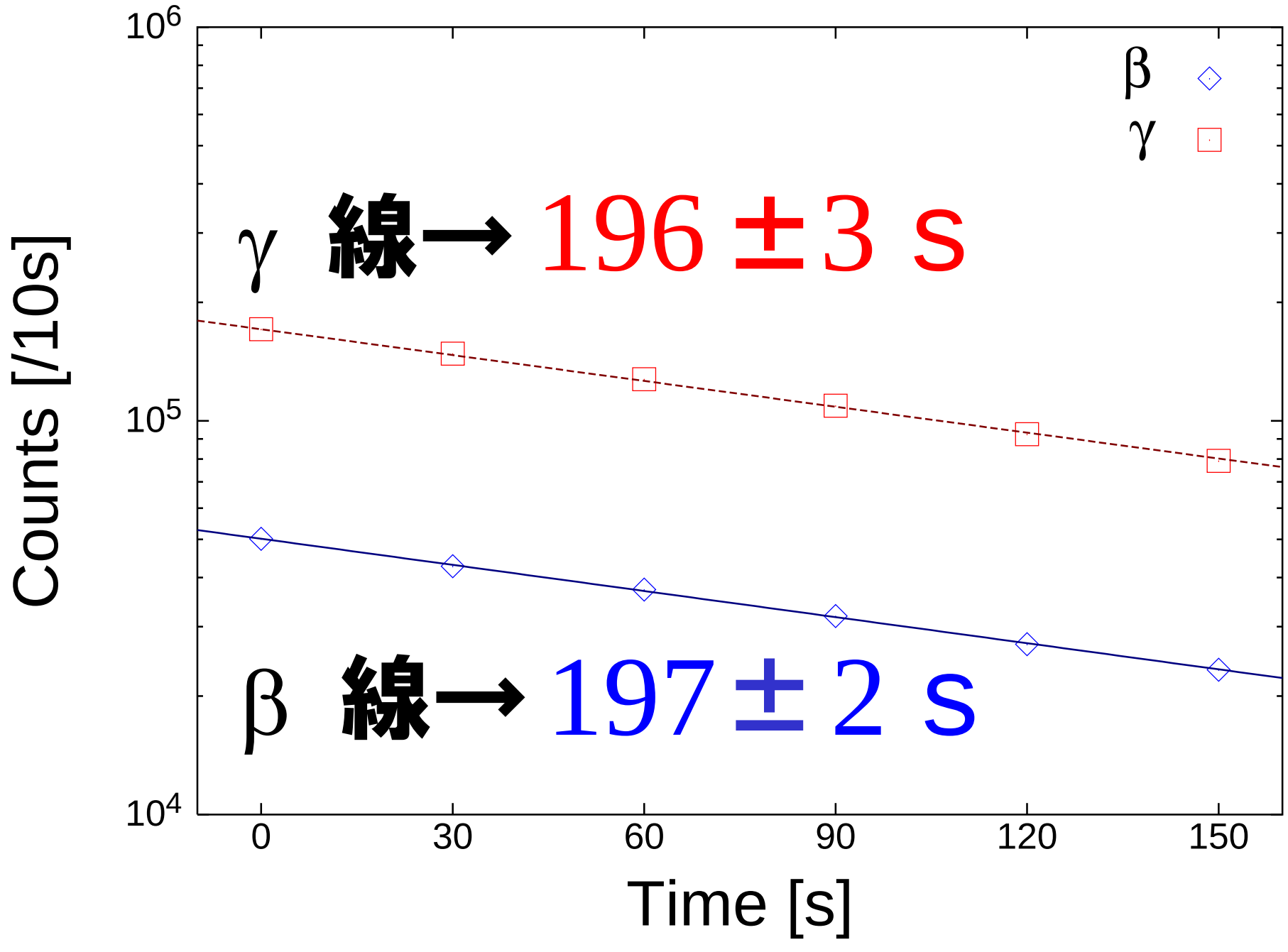
3．γ線のenergy

- 生成物の寿命測定。

  Beam を暫く当てる。

  10秒計測→20秒休憩×6。




β
γ
γ 線→ 196 ± 3 s
β 線→ 197 ± 2 s
Counts [/10s]
Time [s]
10^6
10^5
10^4
0
30
60
90
120
150

γ 線→ 196 ± 3 s

β 線→ 197 ± 2 s

^{28}Al 崩壊の既知の値 194 sと

良い一致。

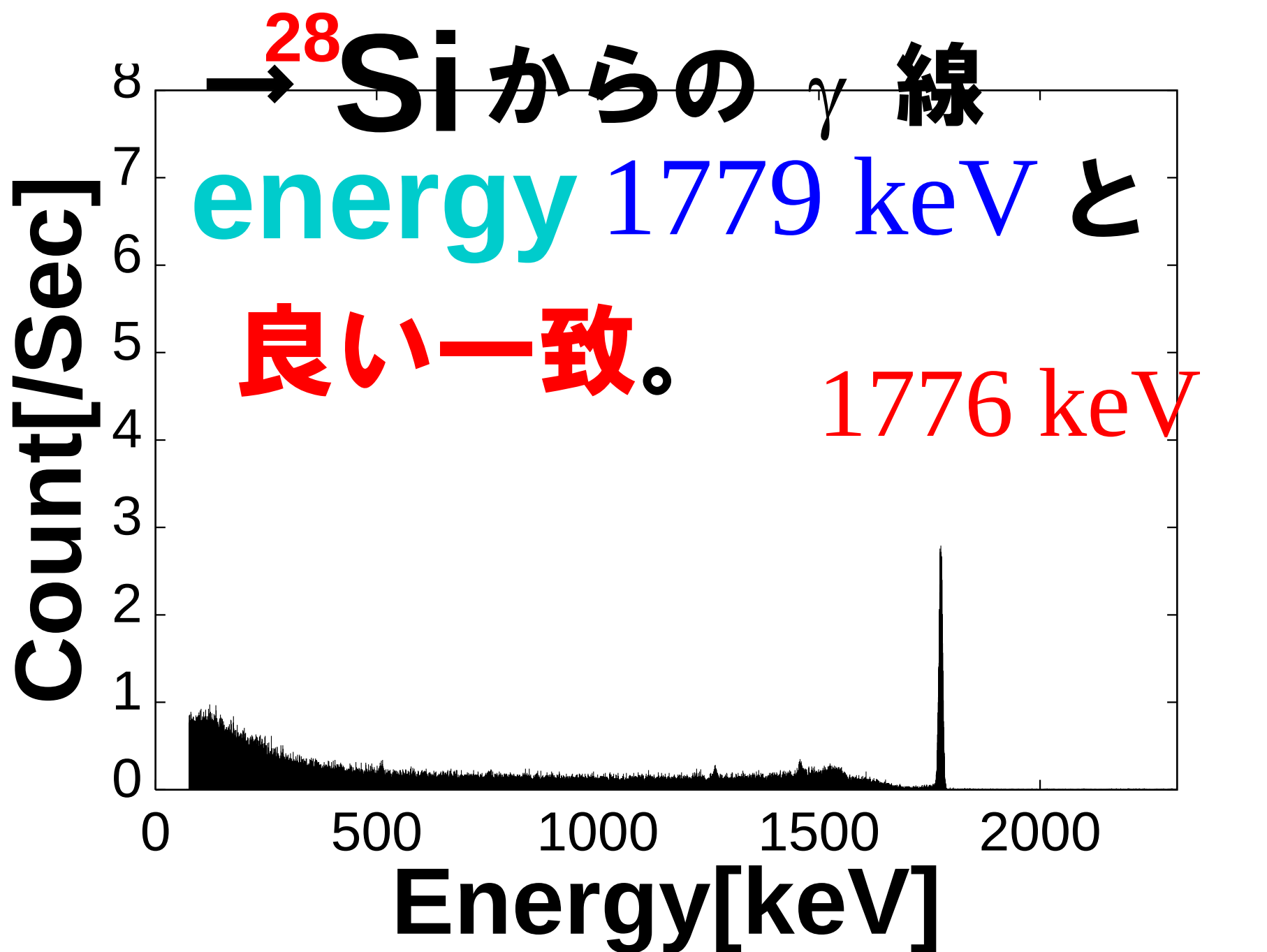
・γ 線の energy 測定。

今回は、energy 分解能の良い

Ge検出器を用いる。

Beam を暫く当てる。

暫く γ 線を計測。


→^{28}Siからの γ 線
energy 1779 keV と
良い一致。
1776 keV
Count[/Sec]
Energy[keV]
0
1
2
3
4
5
6
7
8
0
500
1000
1500
2000

以上から、

AI 生成は、

成功。

Asymmetry とは？

非対称の度合いを表すパラメーター

$$A = \frac{a - b}{a + b}$$

赤と青は同じ長さでしょうか？

Asymmetry とは？

非対称の度合いを表すパラメーター

$$A = \frac{\text{赤} - \text{青}}{\text{赤} + \text{青}} = 0.5\%$$

我々の実験では asymmetry=0.5% 以下！

Asymmetry は誤差が重要

A=0.5 ± 0.1

非対称といえる

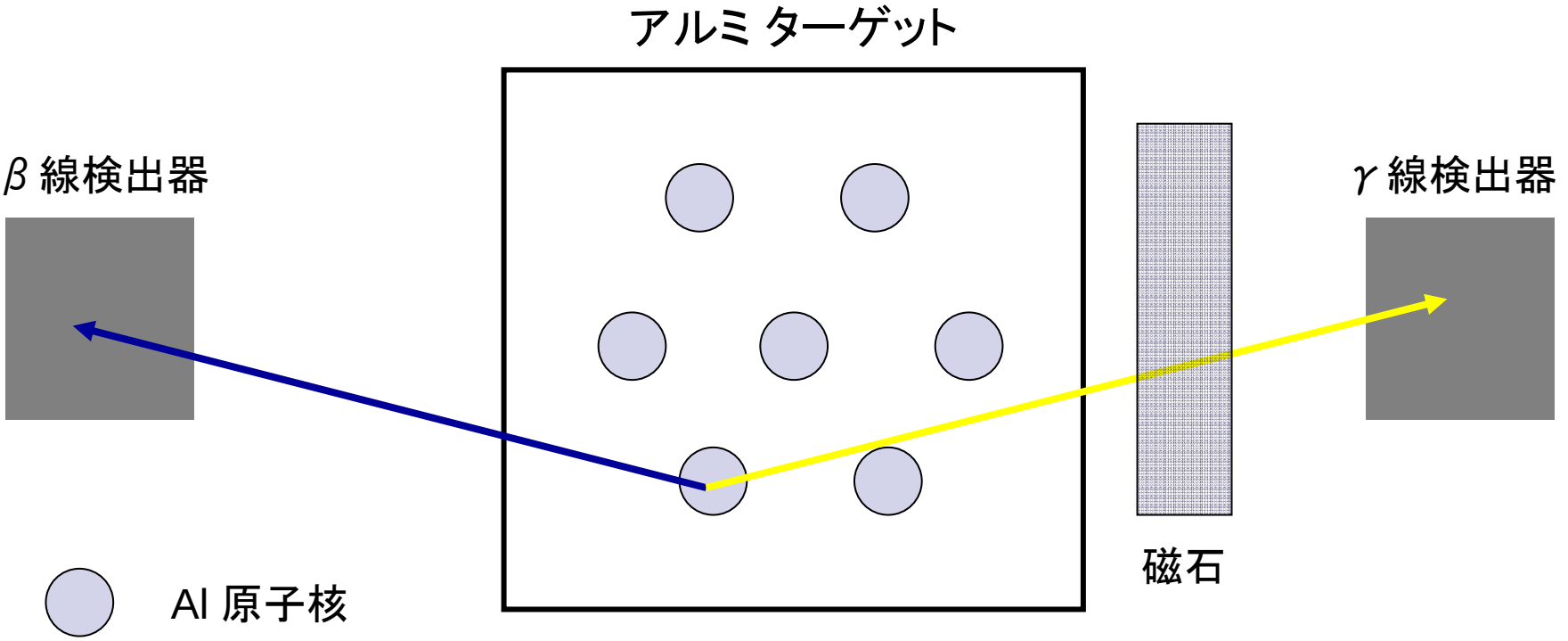
A=0.5 ± 1.0

非対称といえない

誤差を小さくするために

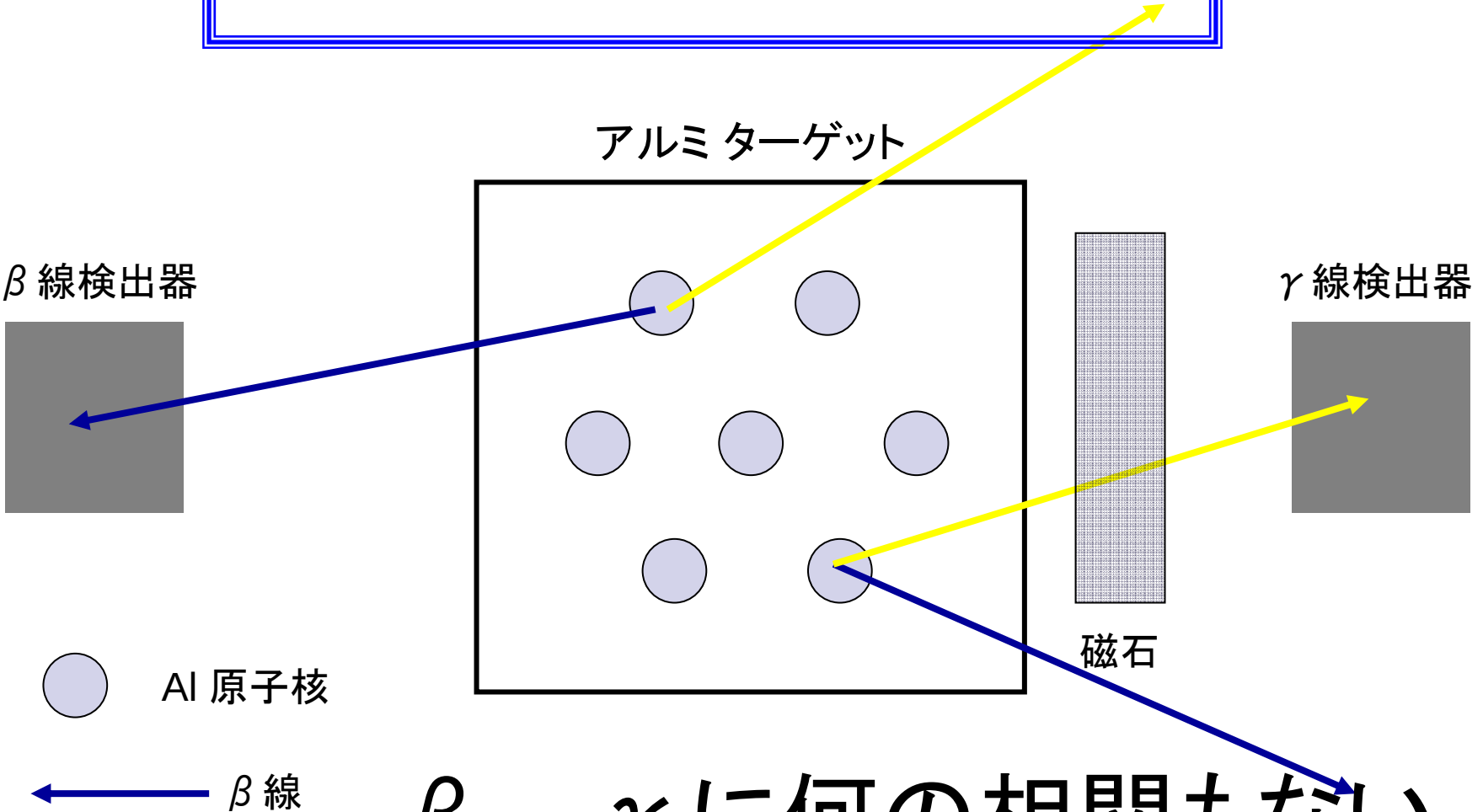
- 統計をたくさんためる
- 精度の高い実験

観測したい event



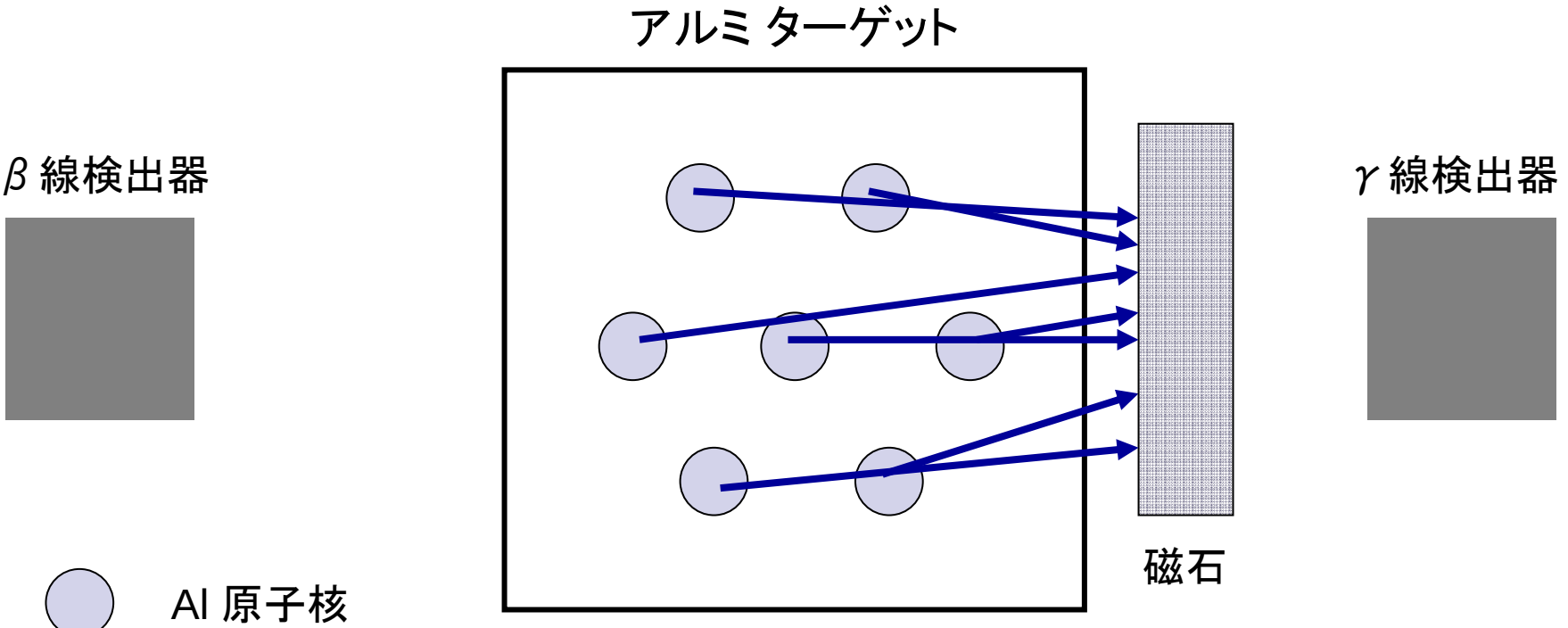
$\beta - \gamma$ の偏光相関がある

Accidental な event



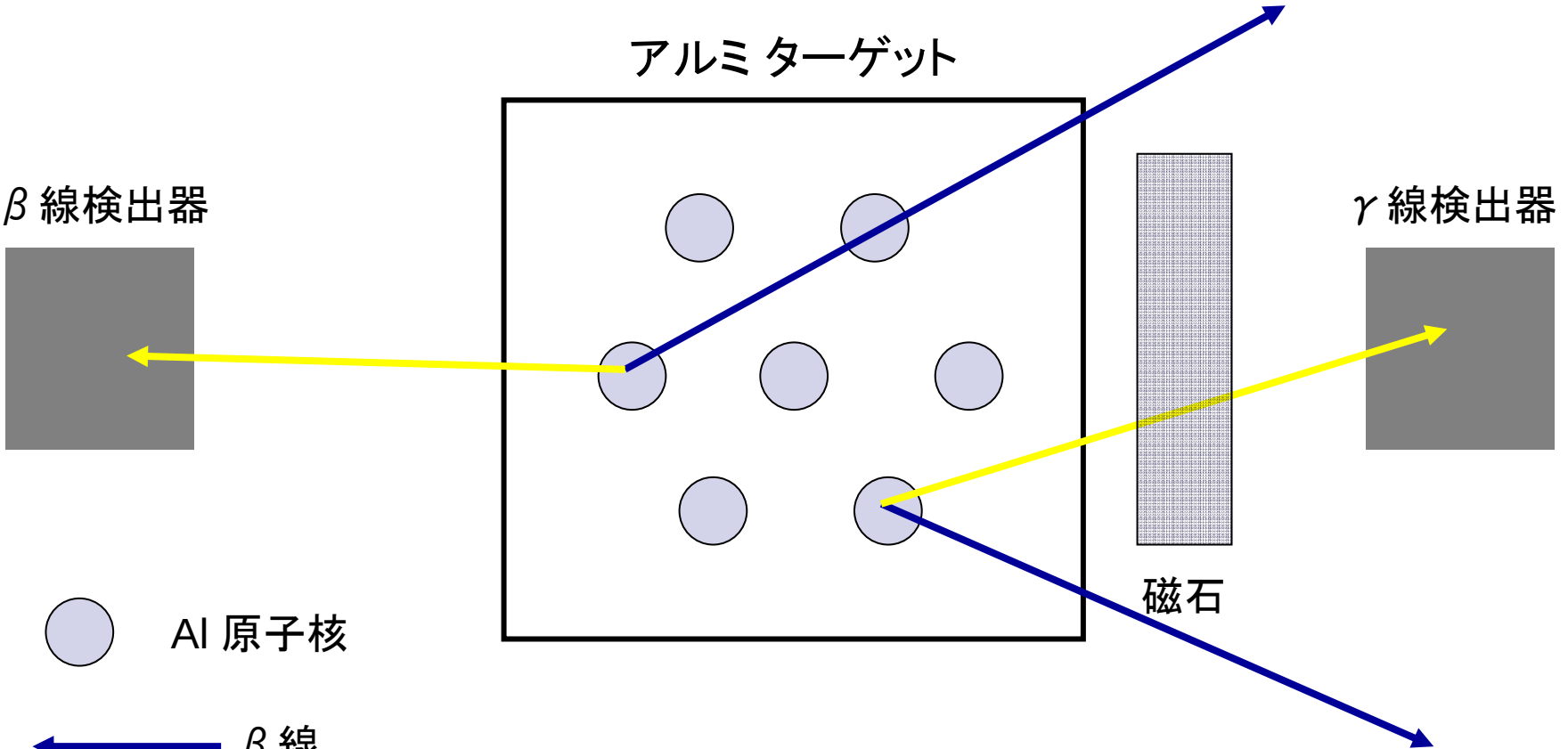
$\beta - \gamma$ に何の相関もない

いろいろな可能性①



β 線が γ 線検出器を鳴らすことはない

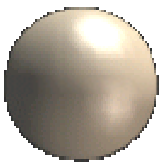
いろいろな可能性②



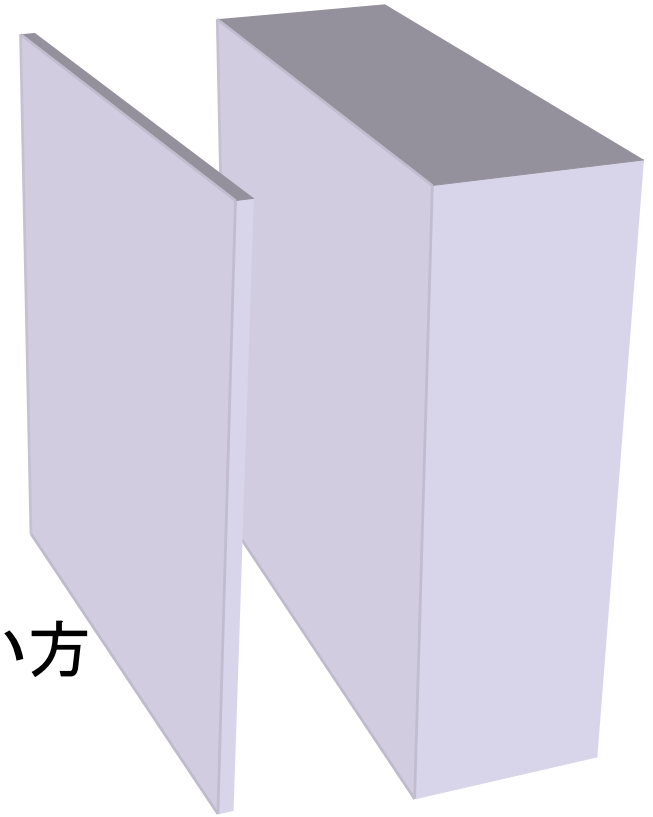
γ 線が二つの検出器を鳴らしてしまう

→ β 線検出器に工夫を

β線検出の原理



原子核

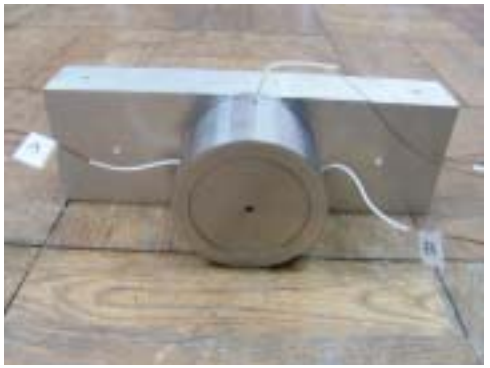


β線は2枚のシンチレータを鳴らし厚い方ですべてのエネルギーを落とす

γ線は薄い方のシンチレーターは鳴らせない

β線だけを検出

実験に使った装置



偏光分析用 マグネット

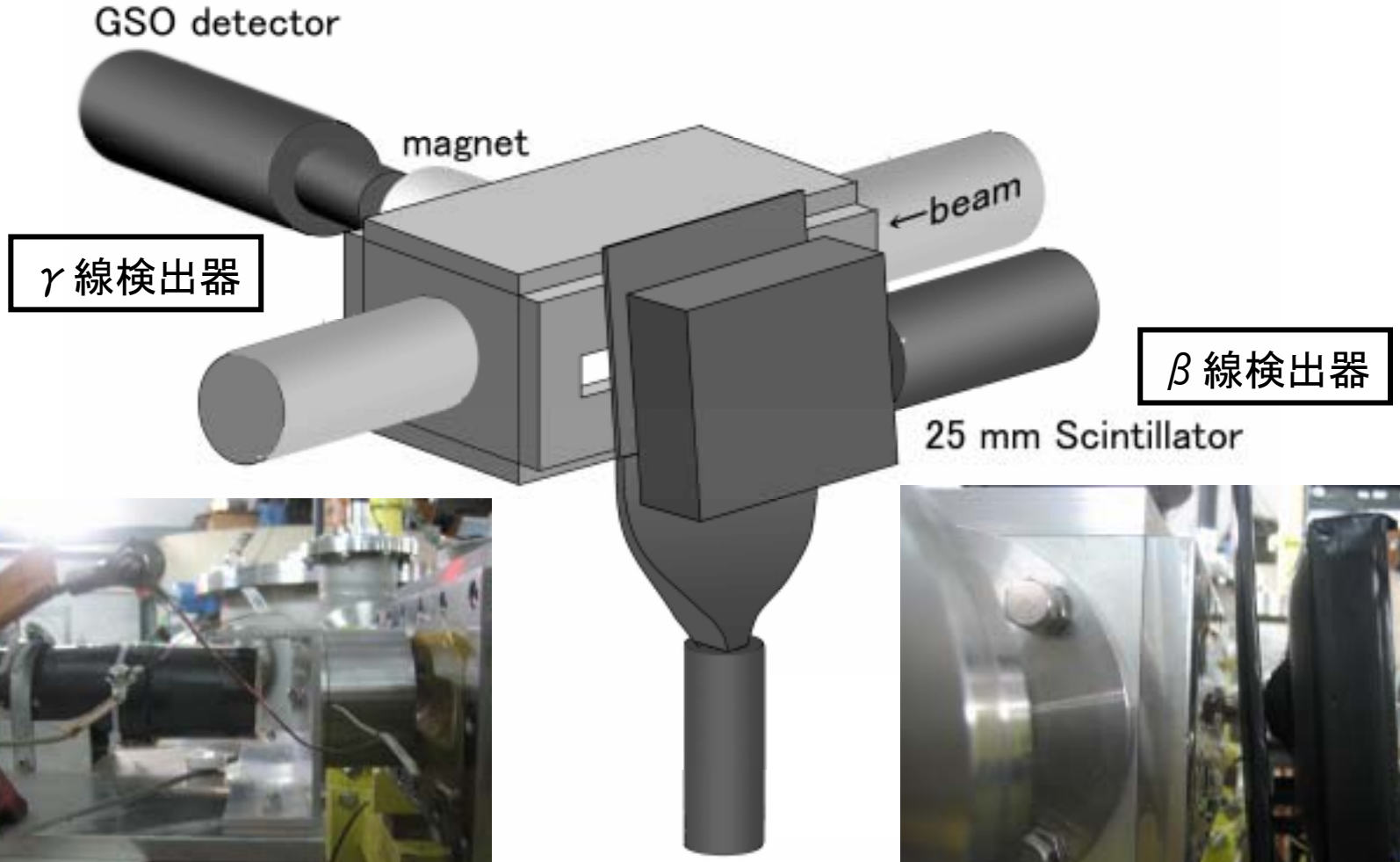
散乱槽

3mm シンチレーター

γ線検出器(GSO)

25mm シンチレーター

配置の様子

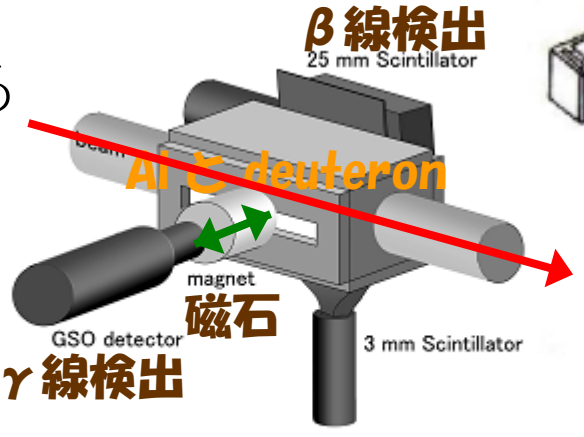


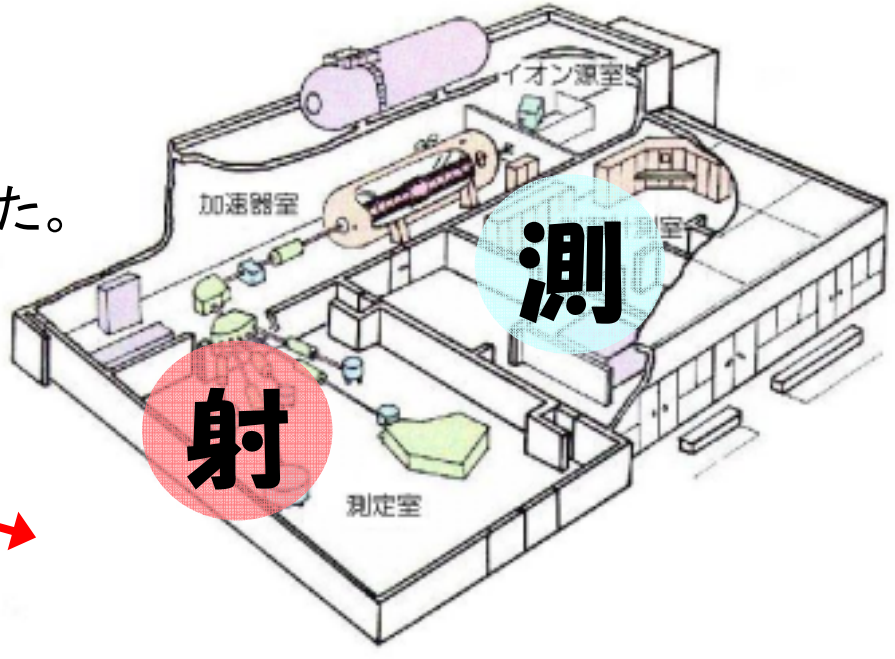
実験方法

- ^{28}Alを作る

  タンデムの皆様、お世話になりました。

- 検出する





- 計測する

  ビーム 照射/停止 が 1分/1分 の周期で　→ ビーム制御回路

  磁場反転を行いながら　→ 磁場反転回路

  ビーム停止中に coincidence が取れたイベントの　→ Coincidence 回路

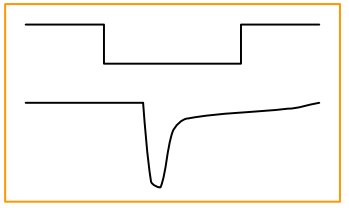
  磁場情報、β線とγ線のエネルギー、coincidence のタイミングを記録する。

  C-REG　ADC　TDC

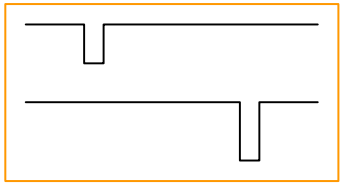
CAMAC

Event by event

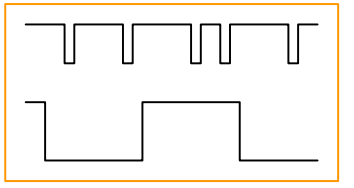
ADC



TDC



C-REG



エネルギー

タイミング

磁場方向

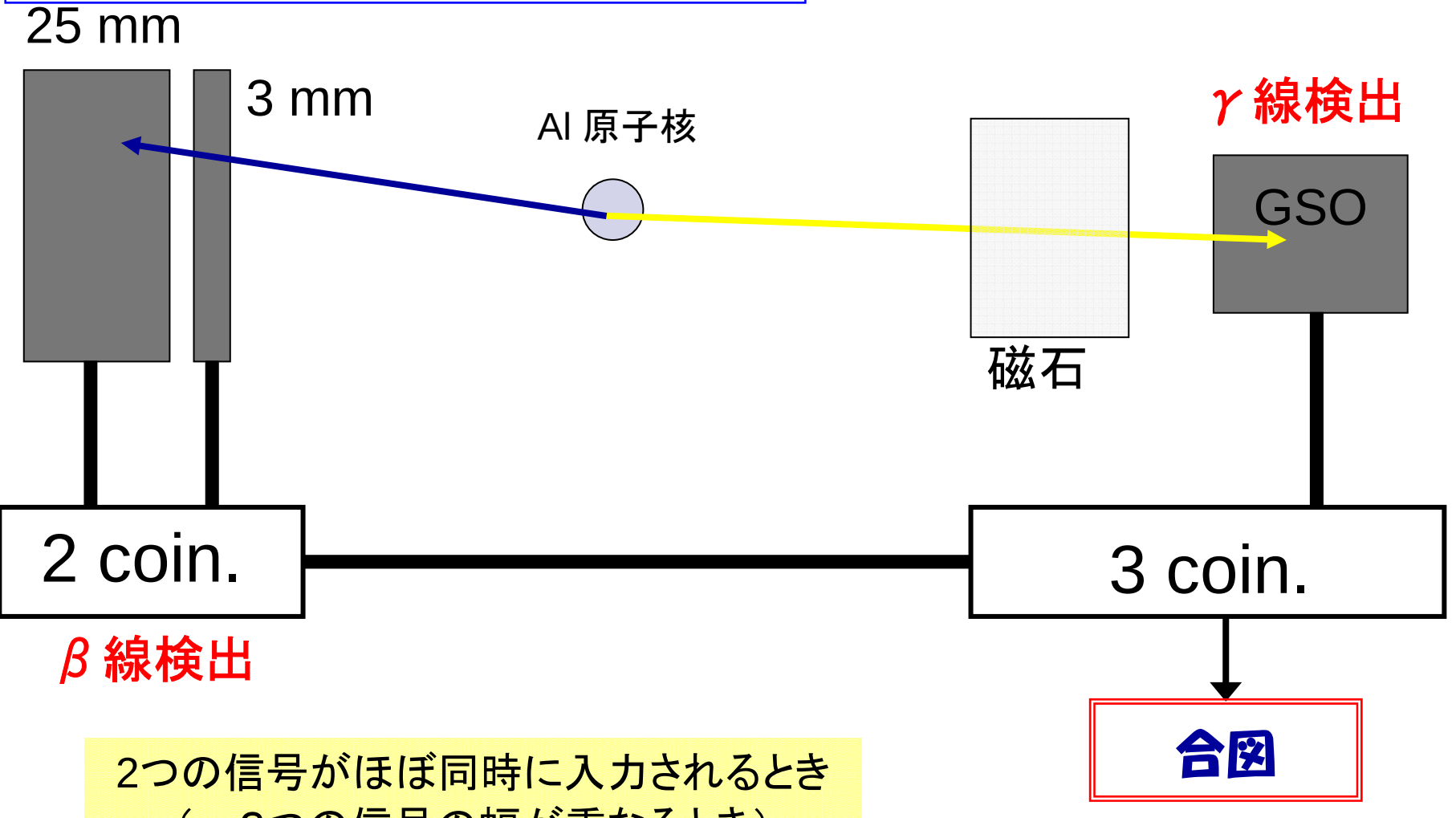
ADC (Analog-to-digital converters) :

TDC (Time-to-digital converters) :

C-REG (Coincidence Register) :

32	44	33	50	28	35	36	42
13	15	9	21	17	18	19	8
0	0	0	0	1	1	1	1

Coincidence



2つの信号がほぼ同時に入力されるとき
（→2つの信号の幅が重なるとき）
信号を出力する

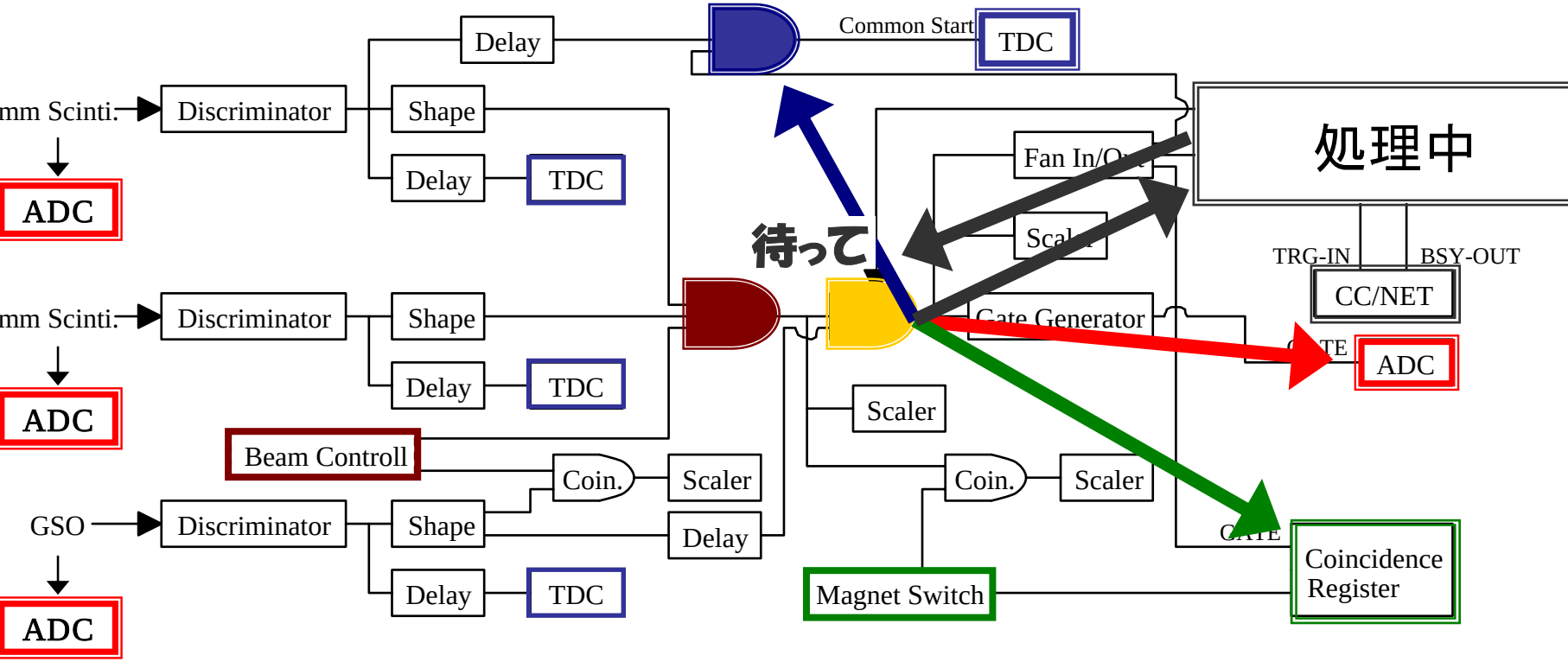
Coincidence 回路

・β - γ coin. が取れたとき、ADC と TDC の data をとる。　⇒ Start, Gate

① Beam が停止中に β coin. をとる。

② β coin. と γ 線との coincidence をとる。

③ β - γ coin. が取れた event の情報を読み込む。

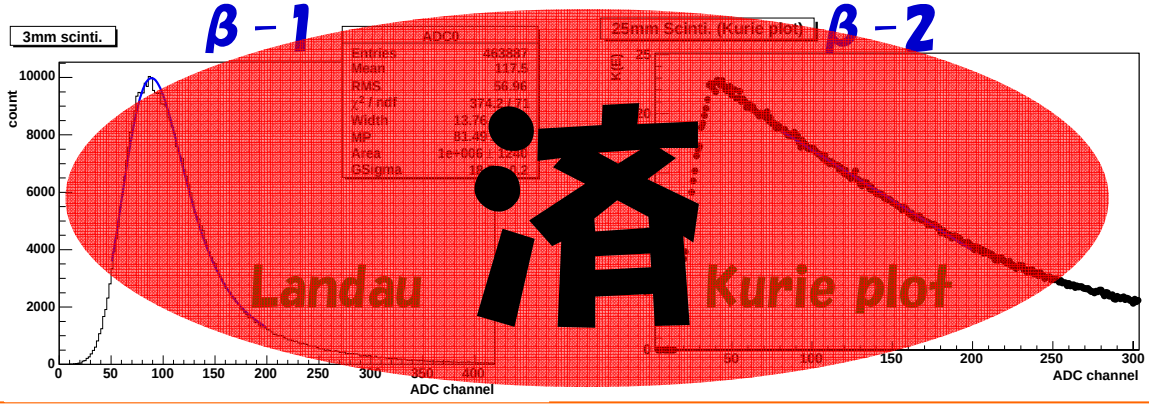


データ収集は照射1分/測定1分×60 (1 RUN) を 20 RUN + α

Histogram

ADC

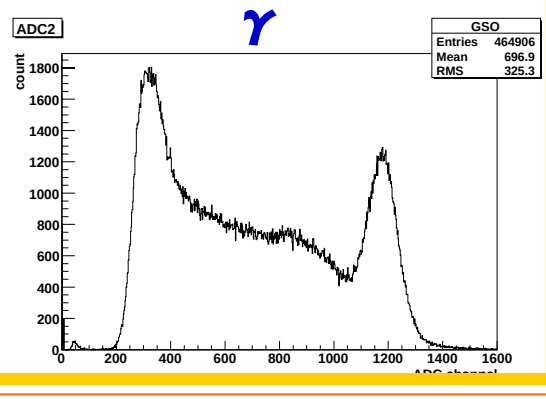
β－1



済

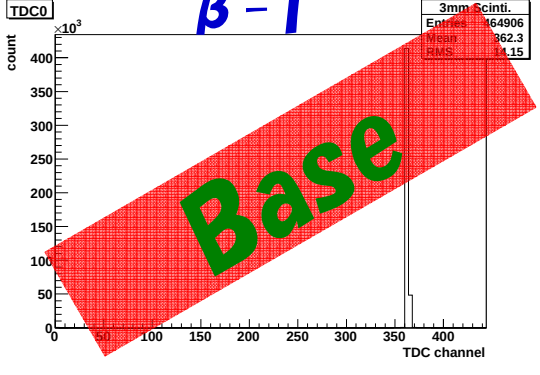
β－2

γ



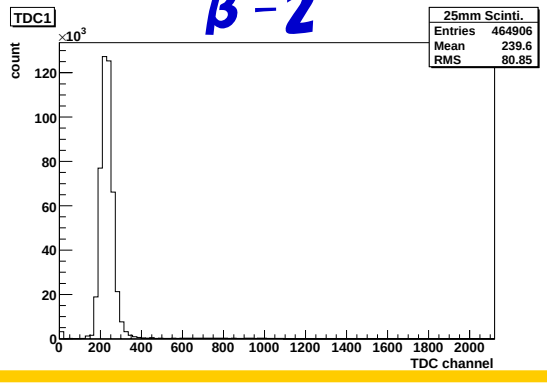
TDC

β－1

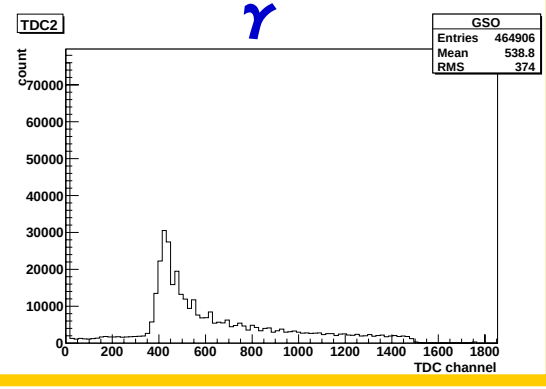


Base

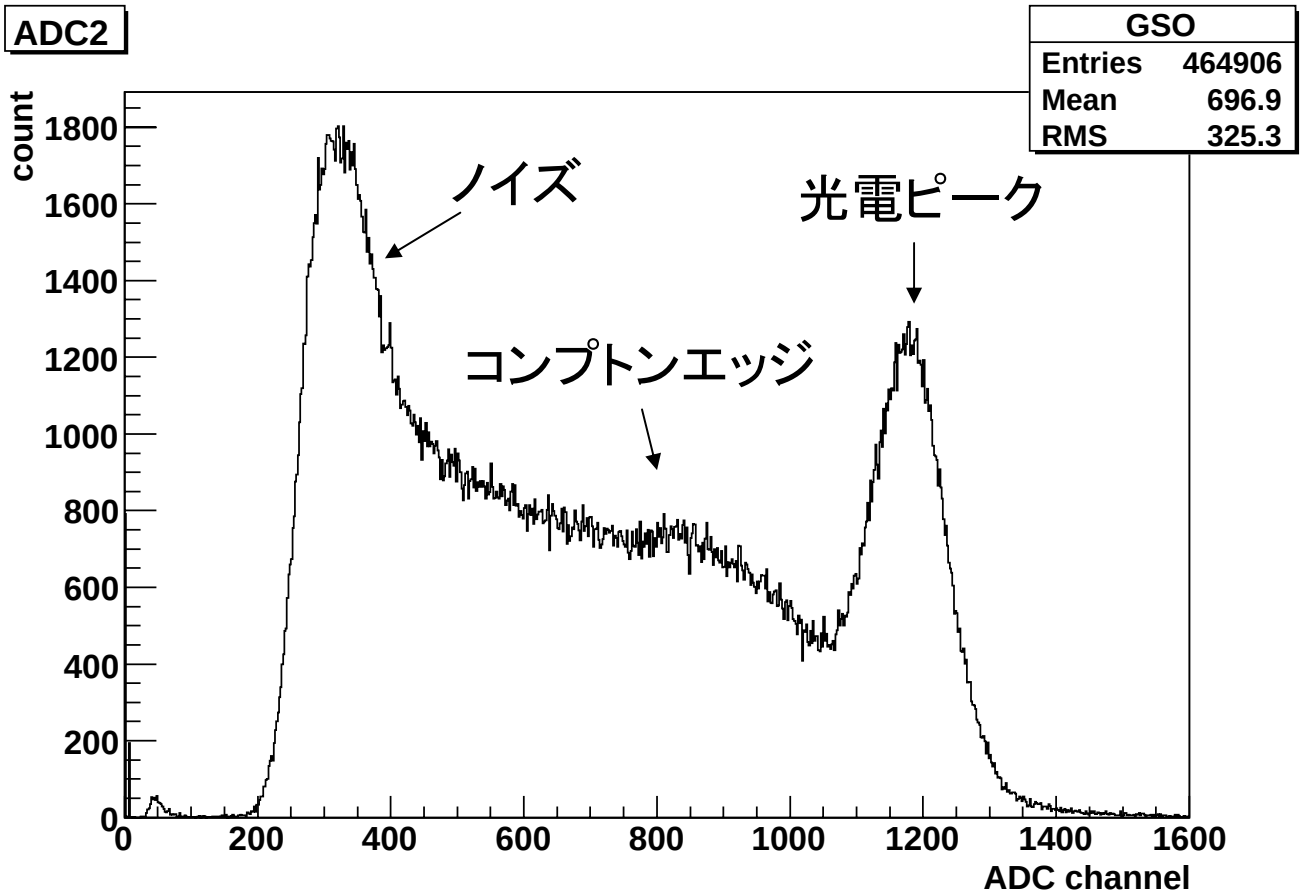
β－2



γ

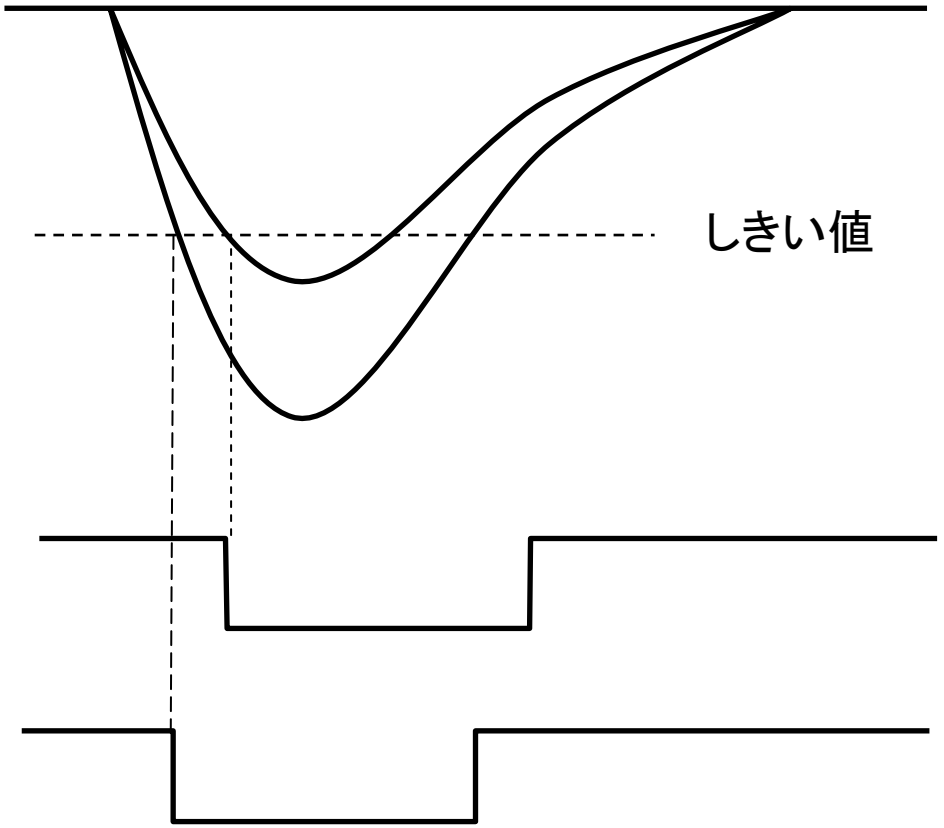


GSOのADC histogram



磁場が平行、反平行のときの
光電ピーク（ADC : 1000 ~ 1500 ch）の計数を
比較することでasymmetryを導出する。

GSOのTDC histogram を見る前に
Time – walk について説明しよう。

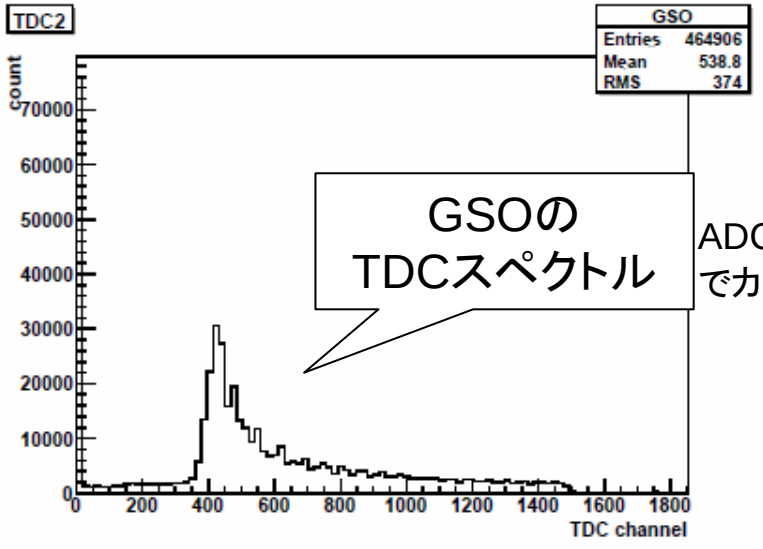


パルス小→遅く信号が出る

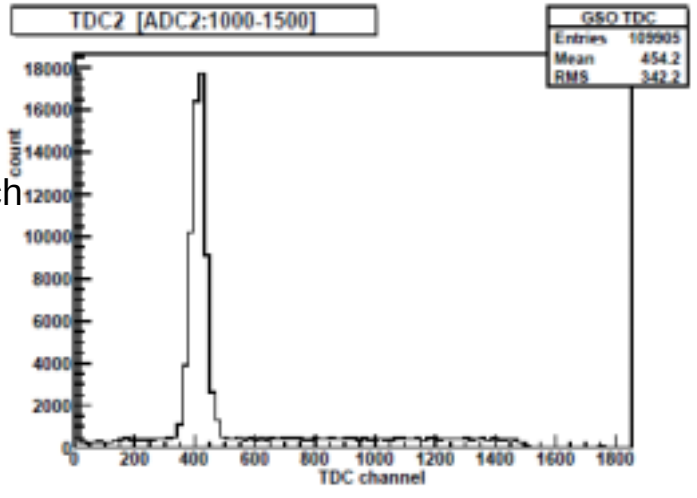
Time - walk

パルス大→早く信号が出る

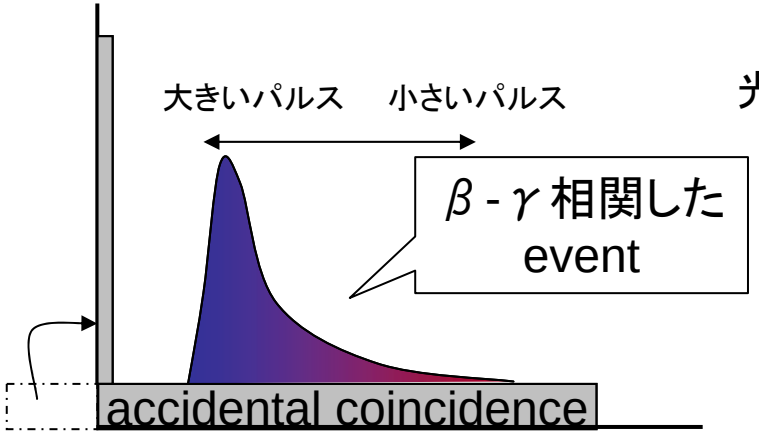
では、GSOのTDC histogram を見てみよう



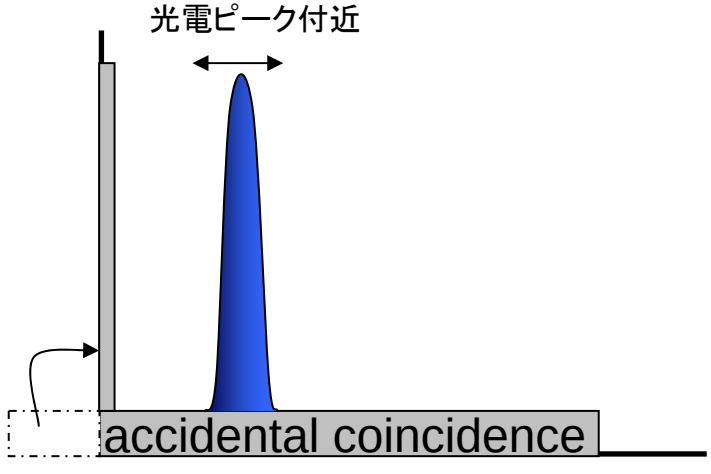
ADC : 1000 ~1500 ch
でカットしてみる。



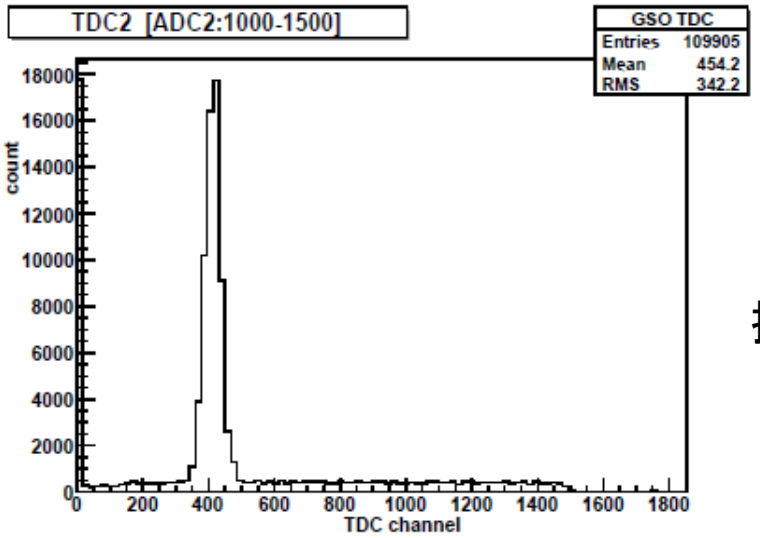
模式的に書くと



光電ピーク付近を
抽出する。

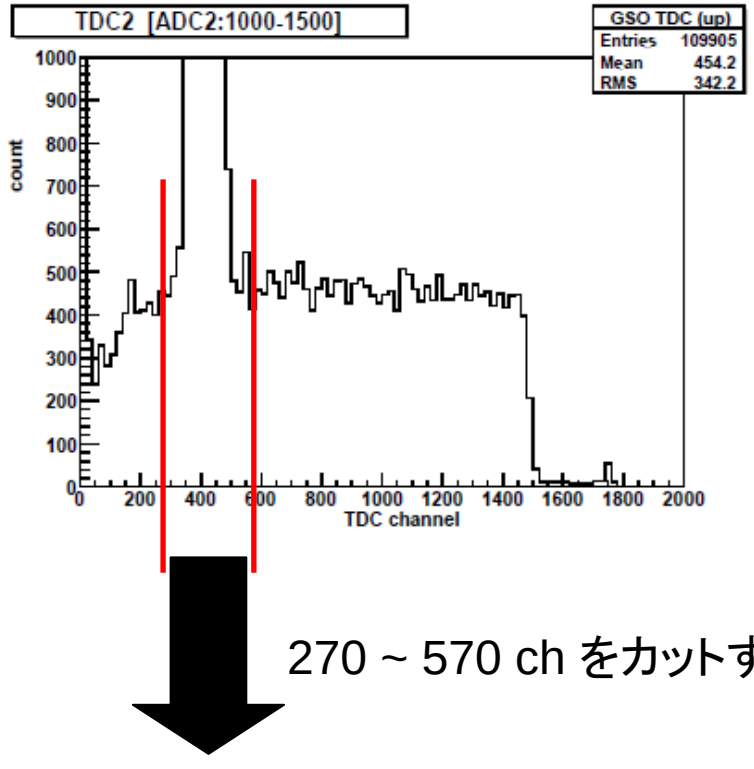


全計数に対する accidental coincidence の割合



accidental coincidence は60%

拡大すると、

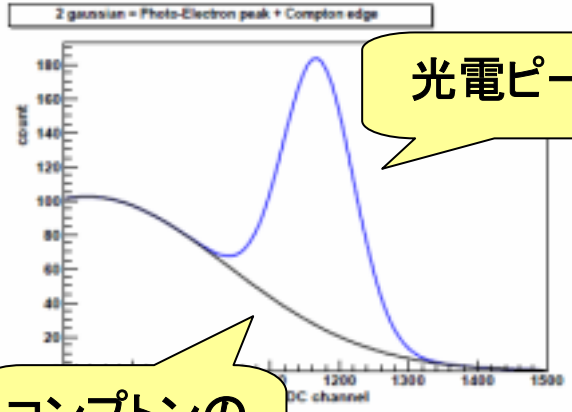


270 ~ 570 ch をカットする

accidental coincidence は
9%となり、
β - γ coincidenceの質が向上した。

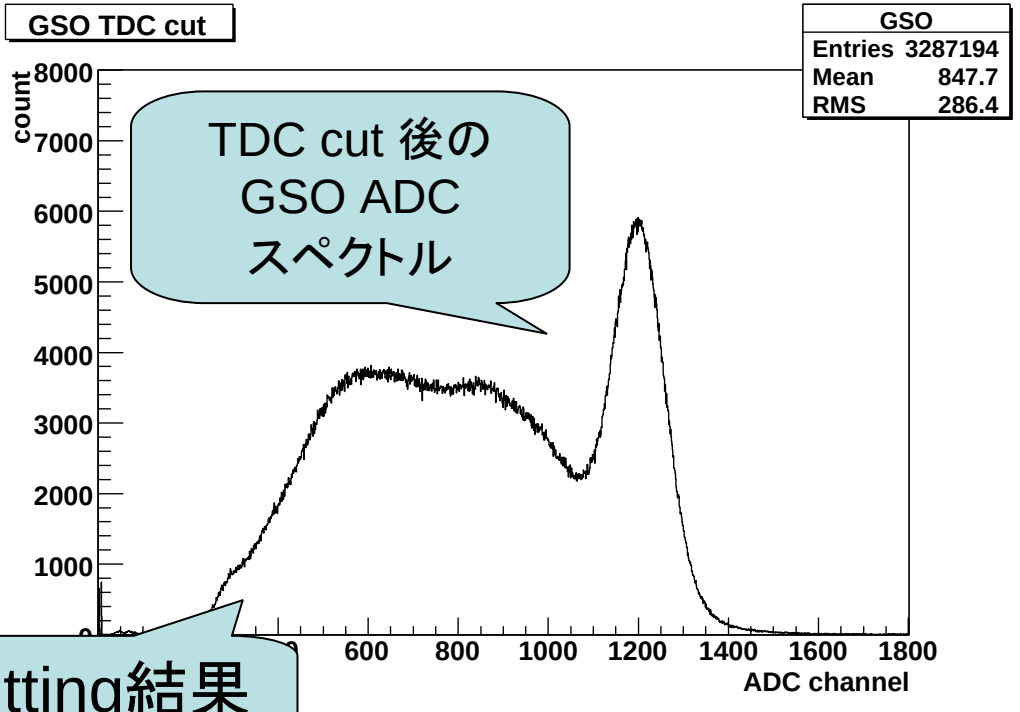
Gaussian fitting

2 Gaussian



光電ピーク

コンプトンの
入り込み



TDC cut 後の
GSO ADC
スペクトル

Fitting結果

$$\frac{S}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp\left(-\frac{(x-u)^2}{2\sigma^2}\right)$$

面積 S を直接パラメーターにすることで、光電ピークの計数及び統計的な誤差を直接評価してやれる。

Asymmetryの導出

●各RUNについて

$$A_{\mathrm{RUN}} = \frac{N_+ - N_-}{N_+ + N_-} + \sqrt{(\sigma_+)^2 + (\sigma_-)^2} \qquad \sigma_\pm = \frac{\Delta N_\pm}{N_+ + N_-}$$

●RUNの足し上げ

$$A = \frac{N_1 A_1 + N_2 A_2 + N_3 A_3 + \cdots}{N_1 + N_2 + N_3 + \cdots} = \frac{\sum_{\mathrm{RUN}} N_i A_i}{\sum_{\mathrm{RUN}} N_i} \equiv \frac{Z_A}{Z}$$

●誤差の伝播

$$\sigma_A = A \sqrt{\sum_{\mathrm{RUN}} \left(\frac{N_i \Delta A_i}{Z_A}\right)^2}$$

気になる値は・・・

A_{count}＝0.469±0.210 [%]

もう一息！最後は系統誤差の評価だ。

系統誤差

系統誤差として考えられるもの

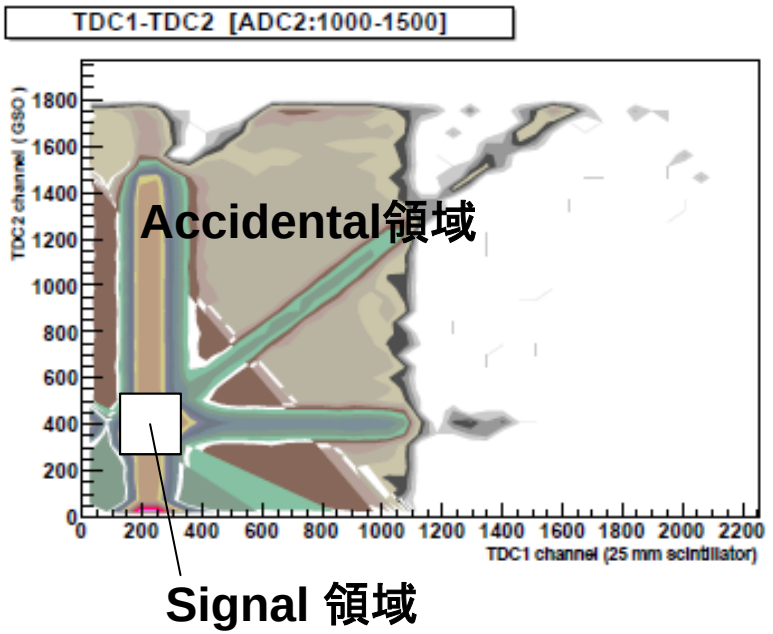
- Beam intensity の変動
- [illegible]検出器のgain
- 回路[illegible]ad ti
- Beam制[illegible]良
- Coinc[illegible]良
- TD[illegible]の正当性
- ....

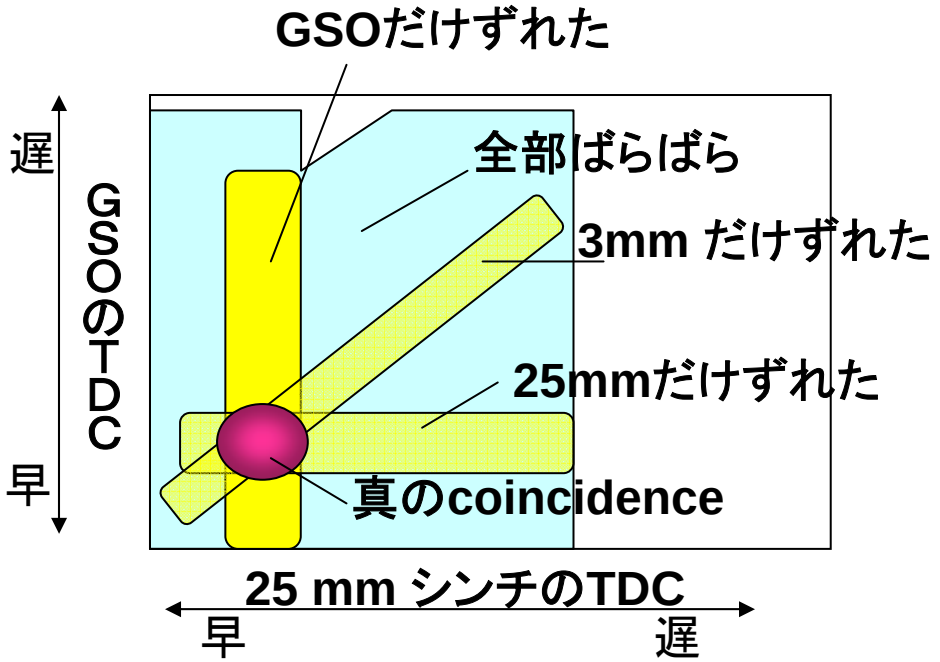
→ここの評価のヒントはaccidental 領域に

これらの及ぼす影響は
0.1 %よりも十分小さい

Accidental領域のasymmetry

- Cutした部分 ＝ accidental領域





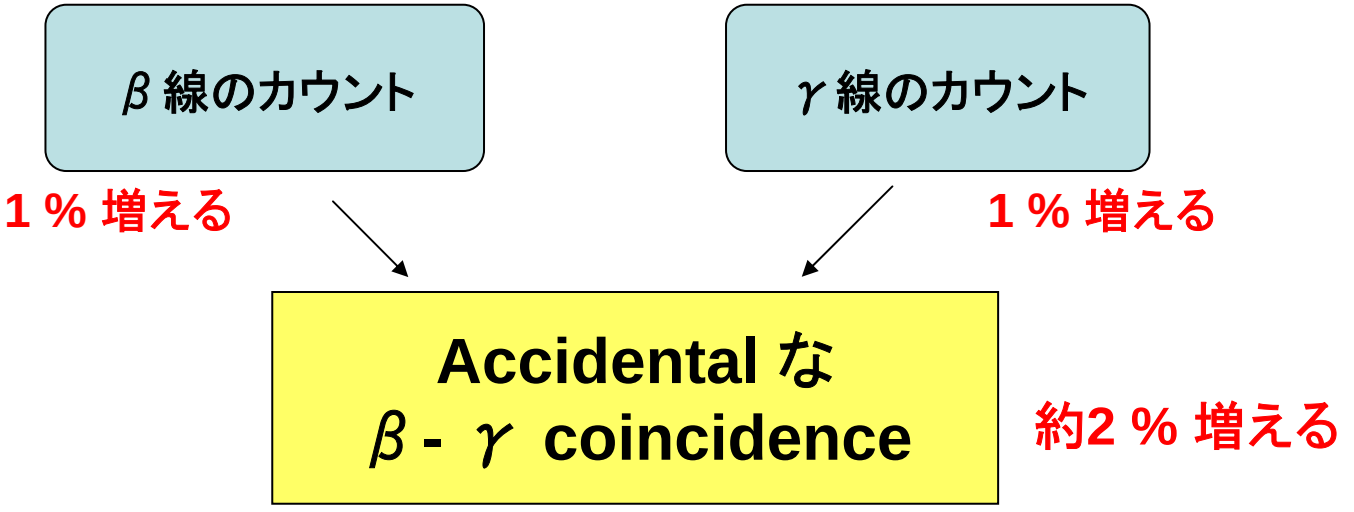
本来asymmetryを持たないはずの領域

Accidental領域の持つasymmetry

$A_{count}^{acc} = 0.015 \pm 0.295$ [%]

Accidental coincidence rateは

Beam intensity の**2乗**に比例する。



我々が求めたいもの

$$A_{\mathrm{count}} \simeq A_{\mathrm{parity}} + A_{\mathrm{beam}}$$

$$A_{\mathrm{count}}^{\mathrm{acc}} \simeq 2A_{\mathrm{beam}}$$

⇐ Beam変動が作る系統誤差を評価できている。

結局

$$\begin{aligned} A_{\mathrm{parity}} &\simeq A_{\mathrm{count}} - A_{\mathrm{beam}} \\ &\simeq A_{\mathrm{count}} - A_{\mathrm{count}}^{\mathrm{acc}}/2 \end{aligned}$$

結論

$$A_{parity} = 0.462 \pm 0.210 \pm 0.148\ [\%]$$

独立なので2乗和で足し上げる。

誤差をまとめると

$$A_{parity} = 0.462 \pm 0.256\ [\%]$$

96．４％

で破れていることを示す。

終。