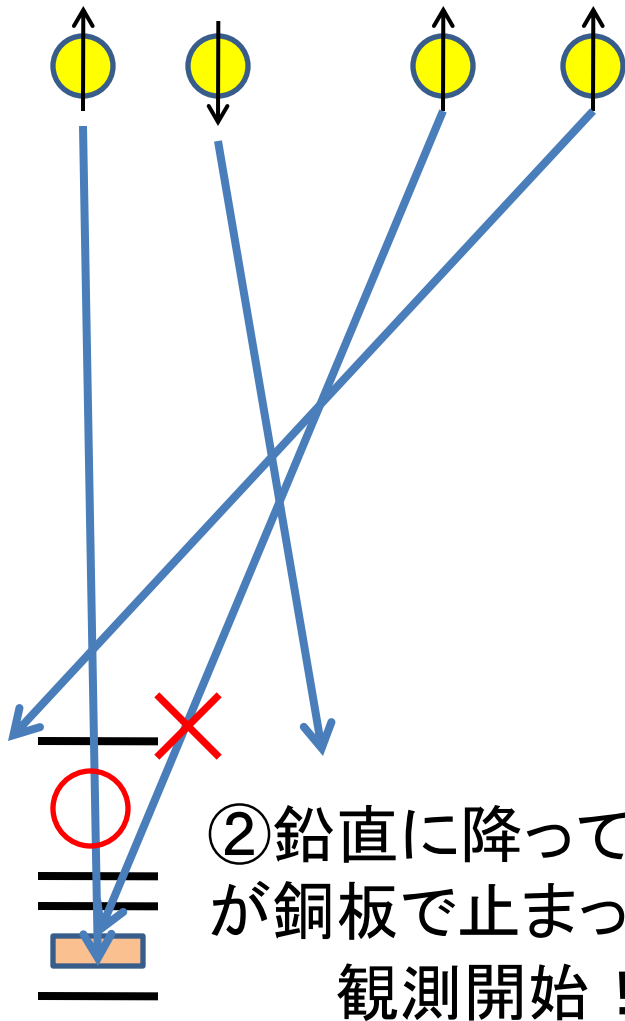


μ^+ の寿命とg因子の測定

秋山 住吉 高橋 古市 松田

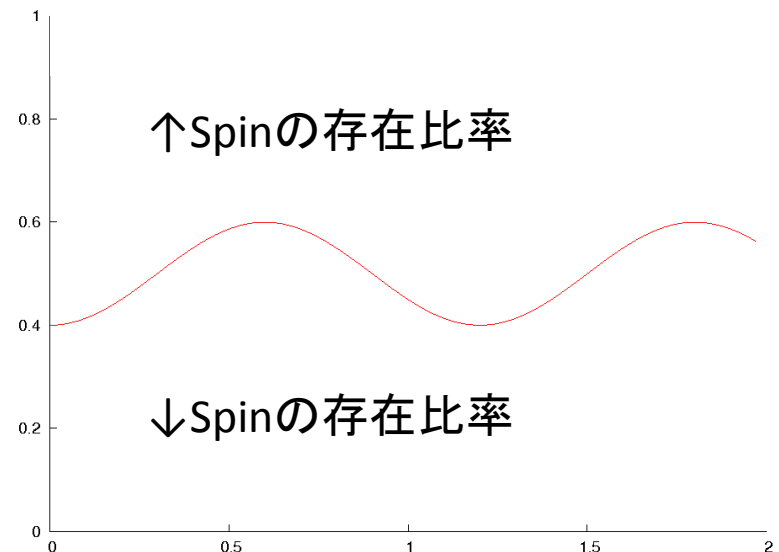
実験の概略



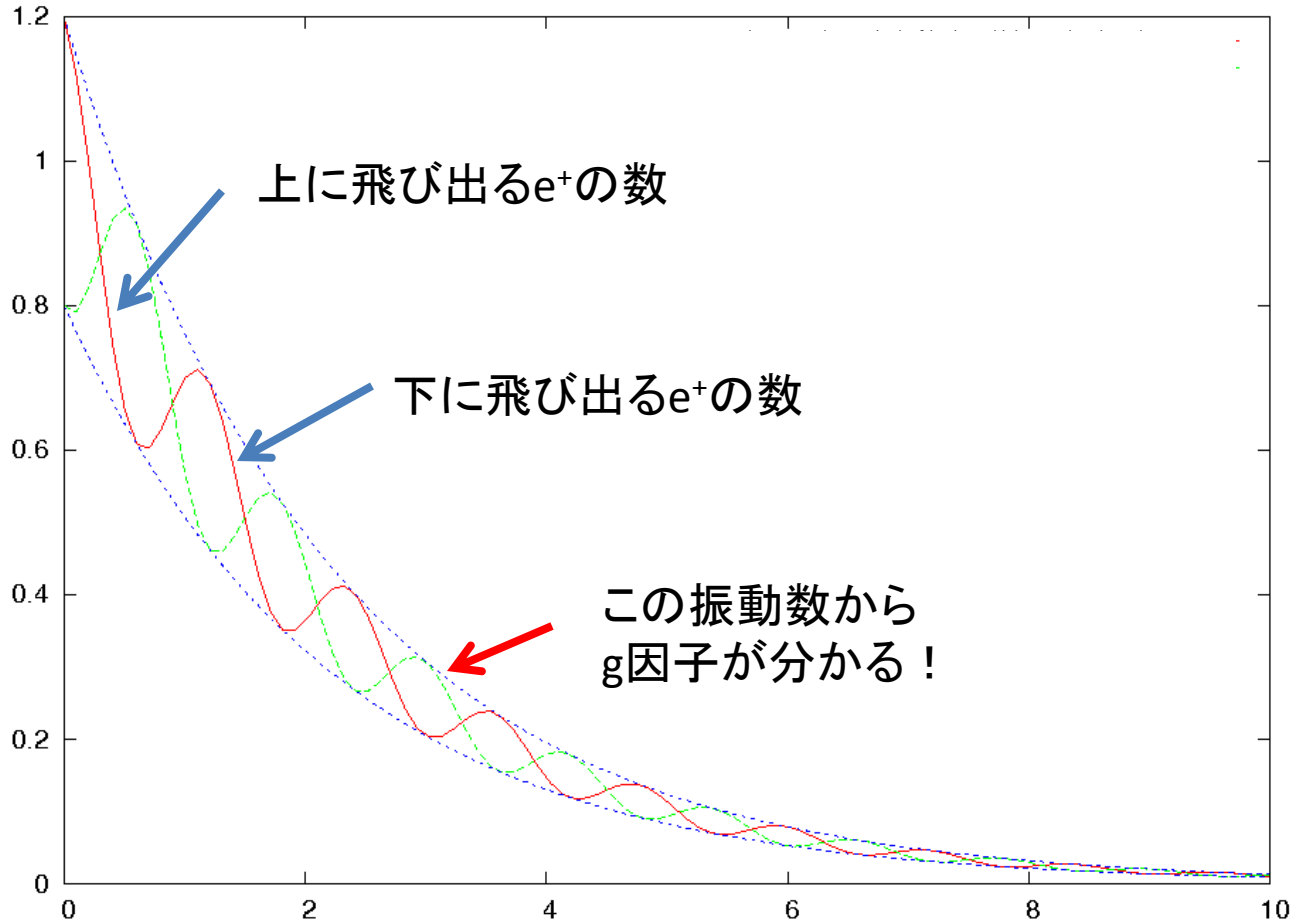
①空から左巻きに偏極した μ^+ が降ってくる

③水平にかけられた磁場の効果でスピンの存在比率が振動！

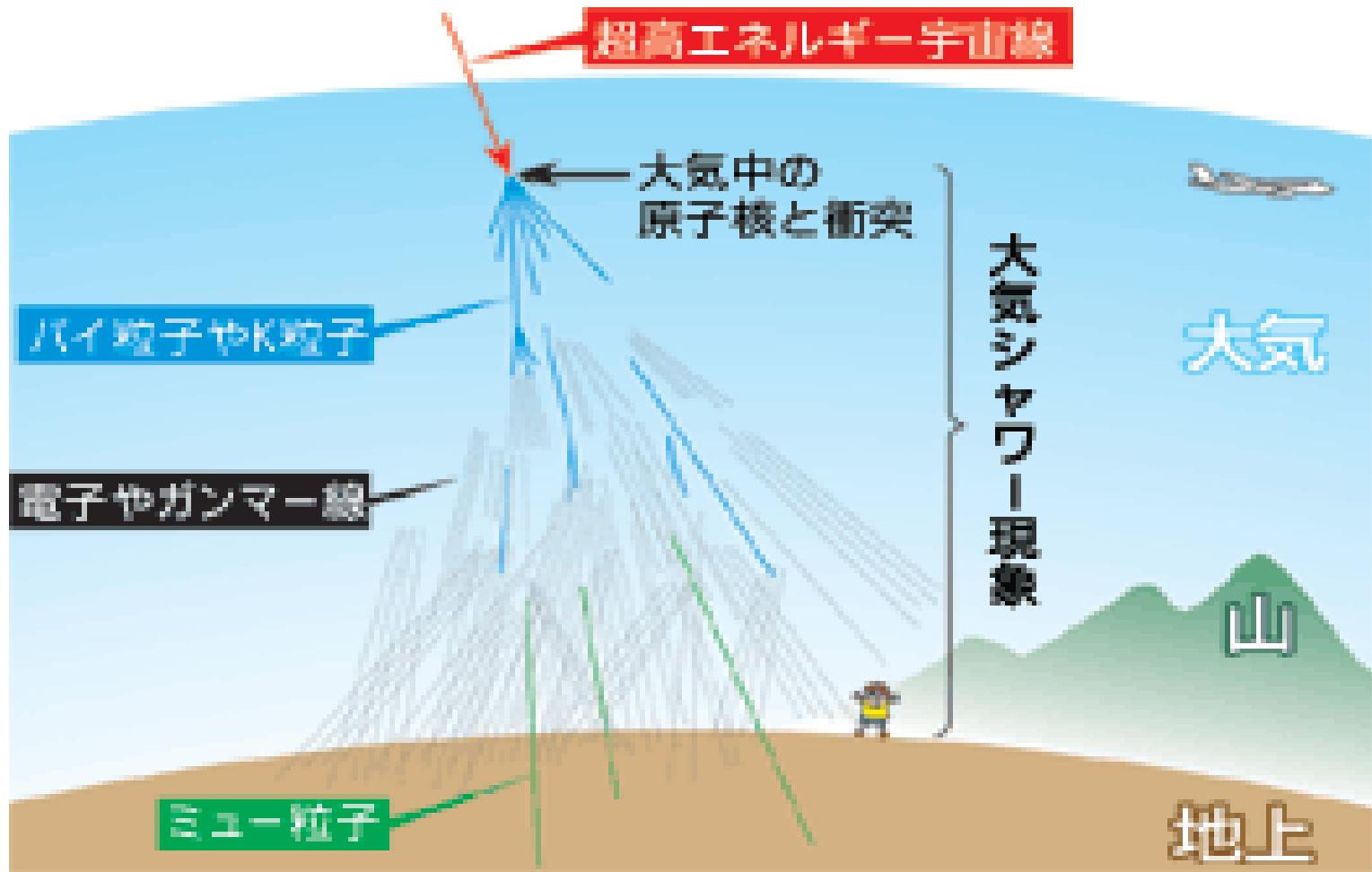
②鉛直に降ってきた μ^+ が銅板で止まったら観測開始！



μ^+ 崩壊時、Spinの向きに e^+ が飛び出しやすいので

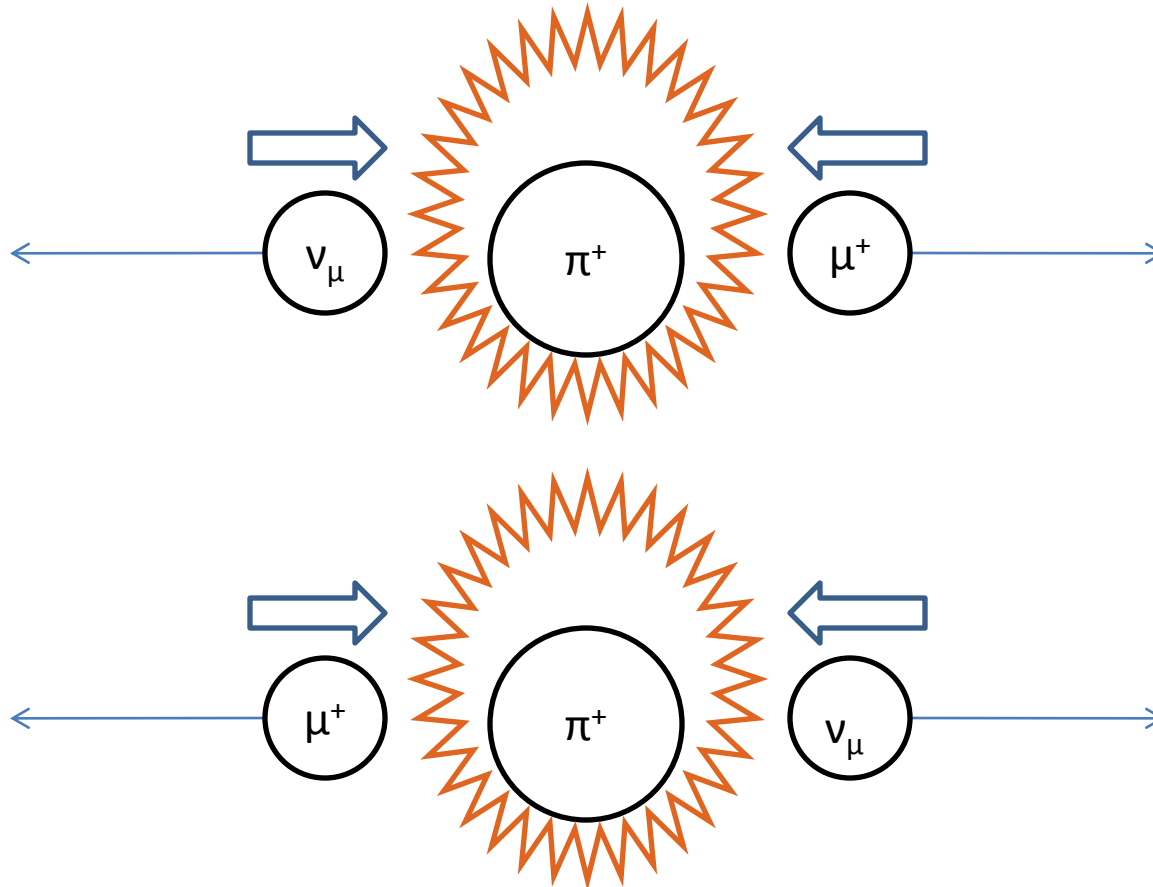


宇宙線はどこから来るの???



μ^+ の生成(重心系)

- μ^+ は π^+ の崩壊によって生じる

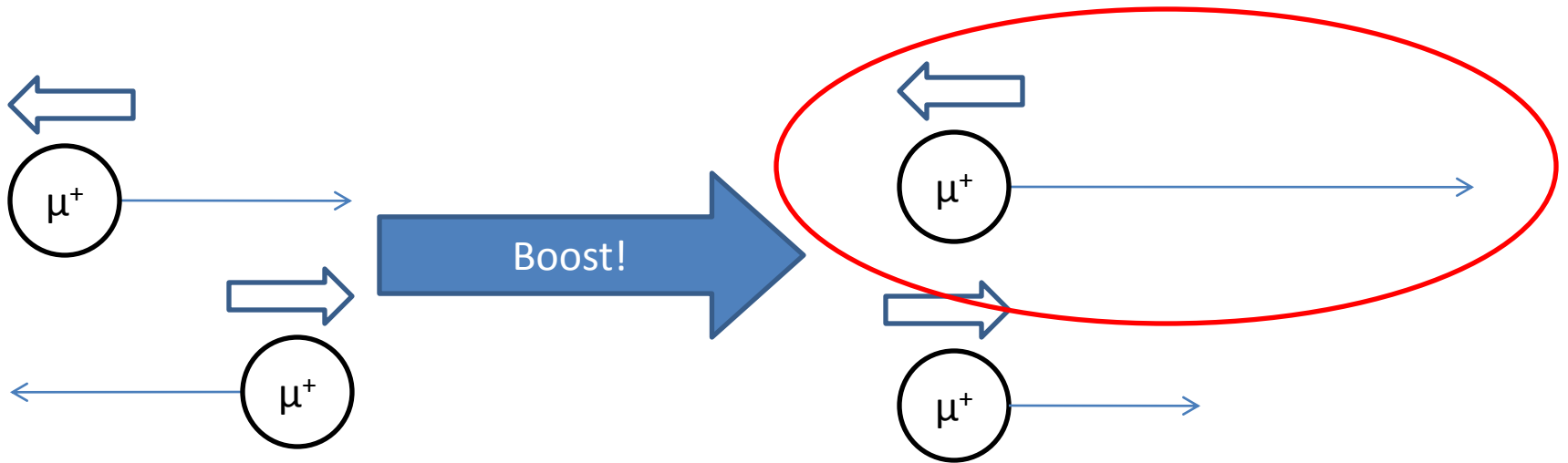


μ^+ は左巻き(運動量とスピンの向きが反対)になる

地表

実験室系へのローレンツ変換後

エネルギー大！



地表に届くミューオンのスピンは上方向に偏極している！

スピンの歳差運動

z方向の一様磁場B中でのハミルトニアンは

$$H = -\frac{geB}{2m_{\mu}} S_z = -\omega S_z$$

初期状態が

$$|t = 0\rangle = C_+ |x_+\rangle + C_- |x_-\rangle$$

のミューオンは、

時間発展演算子 $\exp(i\omega S_z t / \hbar)$ を作用

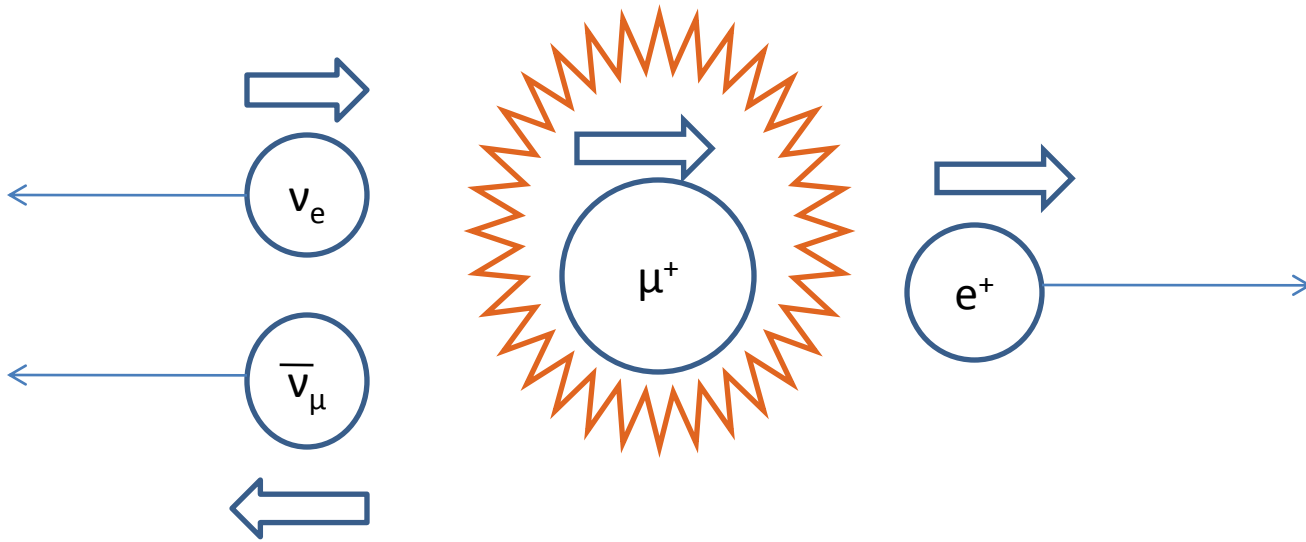
$$\begin{aligned} |t\rangle &= \frac{C_+ + C_-}{\sqrt{2}} \exp(i\omega t / 2) |x_+\rangle \\ &+ \frac{C_+ - C_-}{\sqrt{2}} \exp(-i\omega t / 2) |x_-\rangle \end{aligned}$$

スピンのx方向の期待値

$$\begin{aligned}\langle S_x \rangle &= \langle t | S_x | t \rangle \\ &= \frac{\hbar}{2} ((|C_+|^2 - |C_-|^2) \cos \omega t + i(C_+^* C_- - C_-^* C_+) \sin \omega t)\end{aligned}$$

角振動数 ω で振動している！

μ^+ の崩壊



e^+ は μ^+ のスピンの方に飛び出しやすい！

実験の詳細

τ_{μ} の測定

- 銅板で静止した μ^+ の崩壊頻度

$$N = N_0 \exp(-t/\tau_{\mu})$$

銅板で止まってから崩壊するまでの時間を多数の μ^+ について計り、そのグラフから τ_{μ} を求める。

g因子の測定

- 静止した μ^+ に対して磁場 B をかけたとき、 μ^+ のスピンは磁場の方向を軸にして角速度 ω で歳差運動する。ここで ω は次のように表せる。

$$\omega = \frac{g|e|B}{2m_{\mu}}$$

g は g 因子であり、実験では、磁場中でのスピンの歳差運動による e^+ の放出される方向の時間変化を測定して ω を求め、 g を出す。

実験装置の構成

実験装置は主に以下のもので構成される。

- プラスチックシンチレータ × 4枚

100cm × 48cm × 1cm

- 光電子増倍管（以下PMT） × 5個

- コイル（メイン × 1個、サブ × 2個）

- 銅板 × 2枚

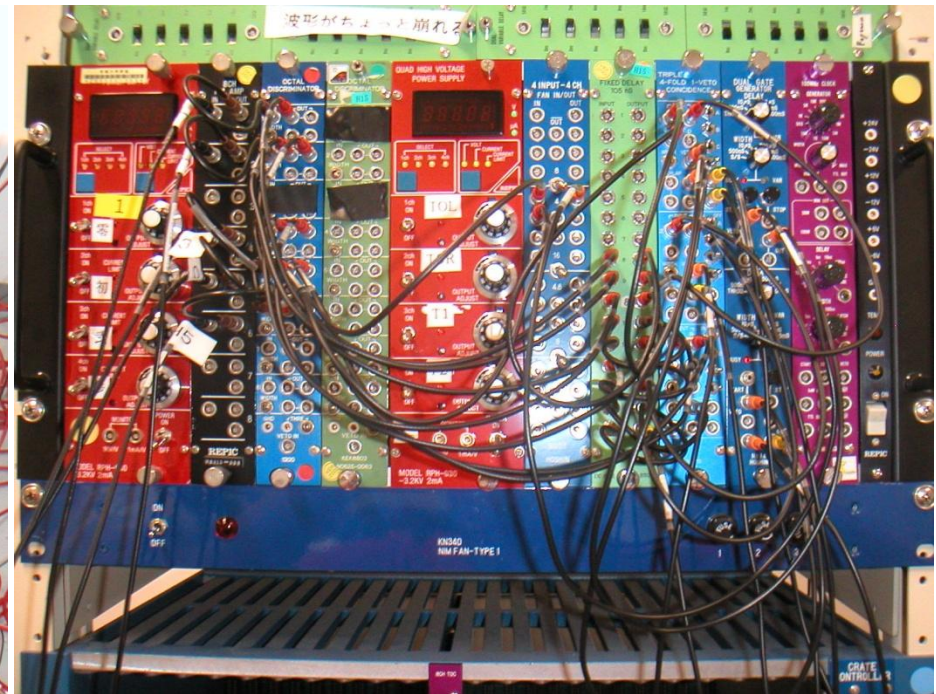
50cm × 48cm

実験装置の様子

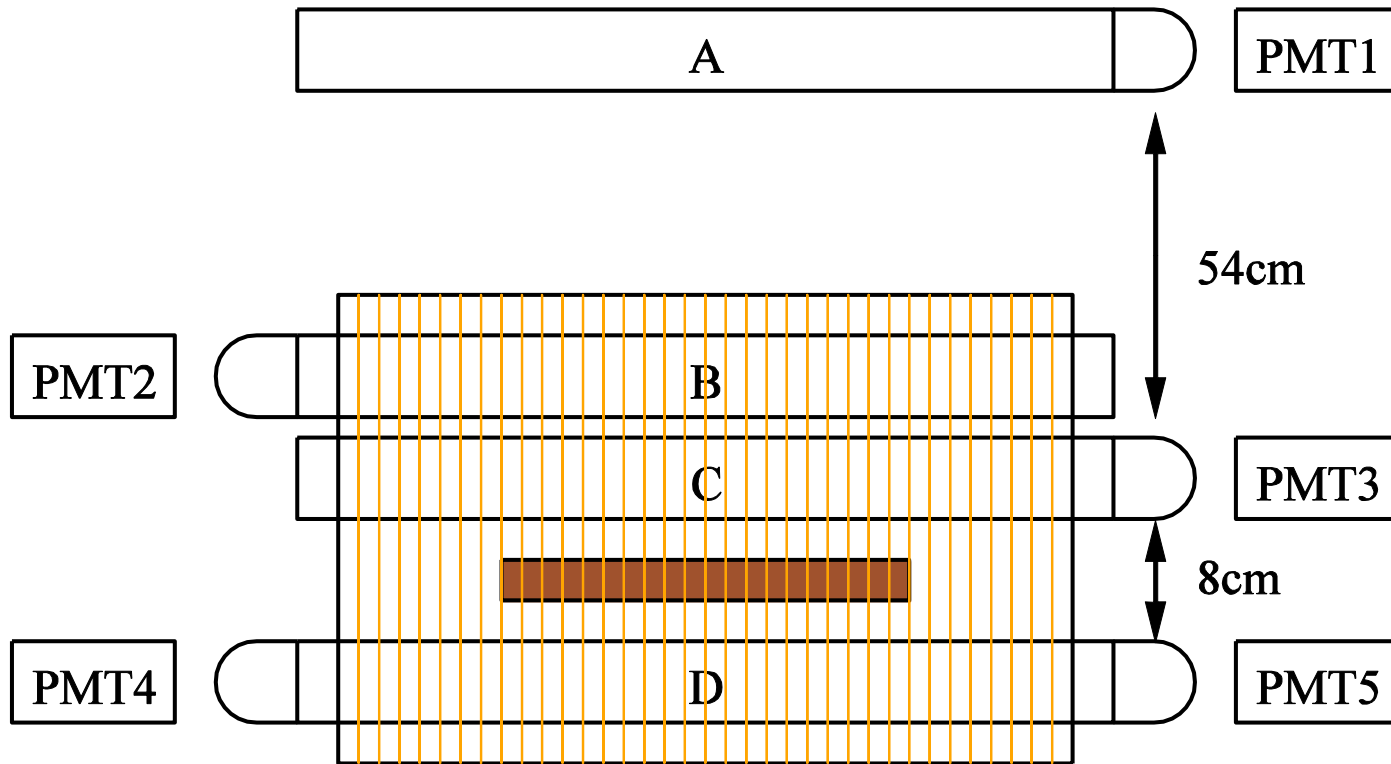
シンチレーター



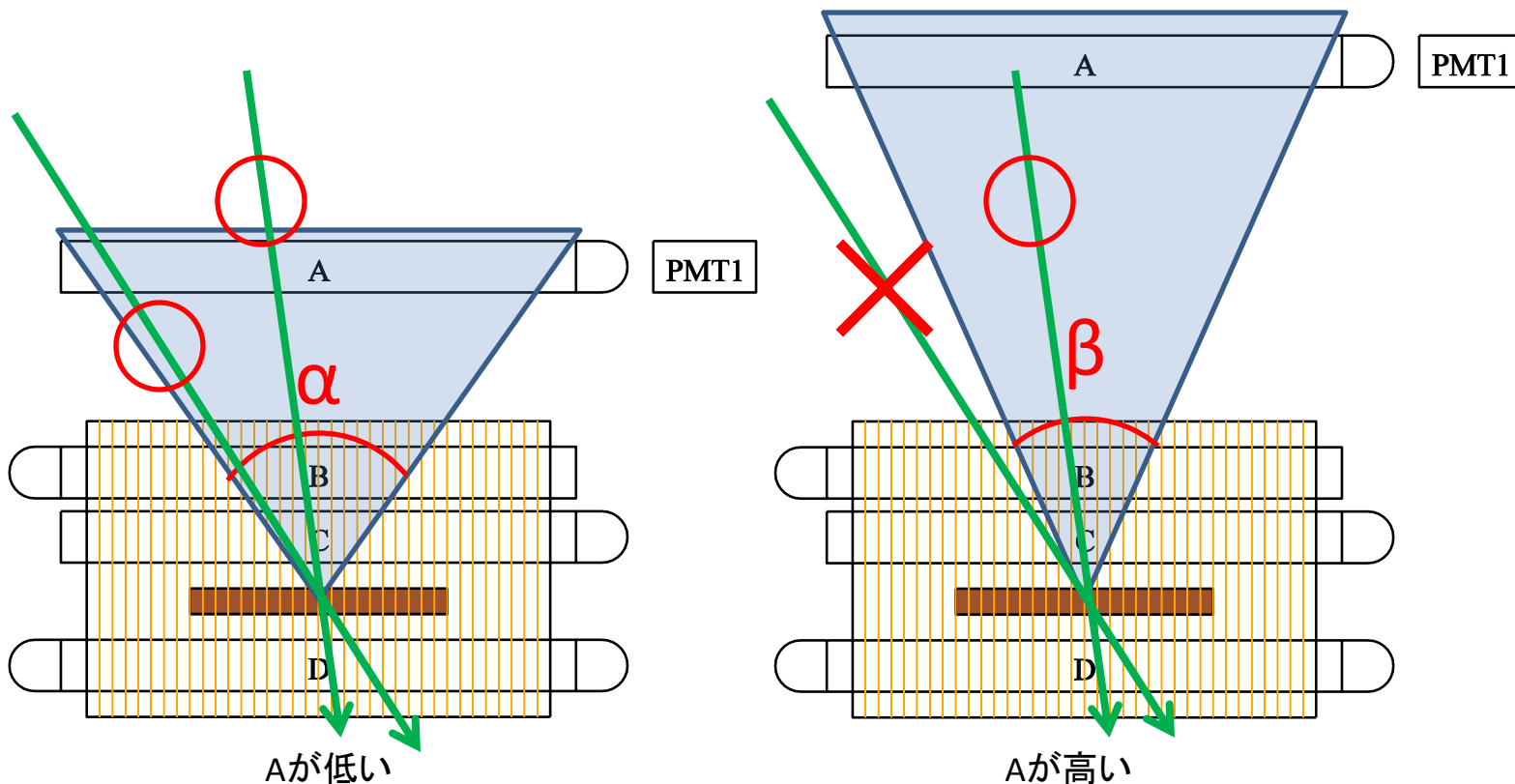
回路



装置の配置



シンチレータAの高さの決定



$\alpha > \beta$ なので、Aが高い方では、運動方向が鉛直下向きに近いミュオンのみカウントされる。

しかし、高すぎると観測できるイベントが少なくなってしまう！

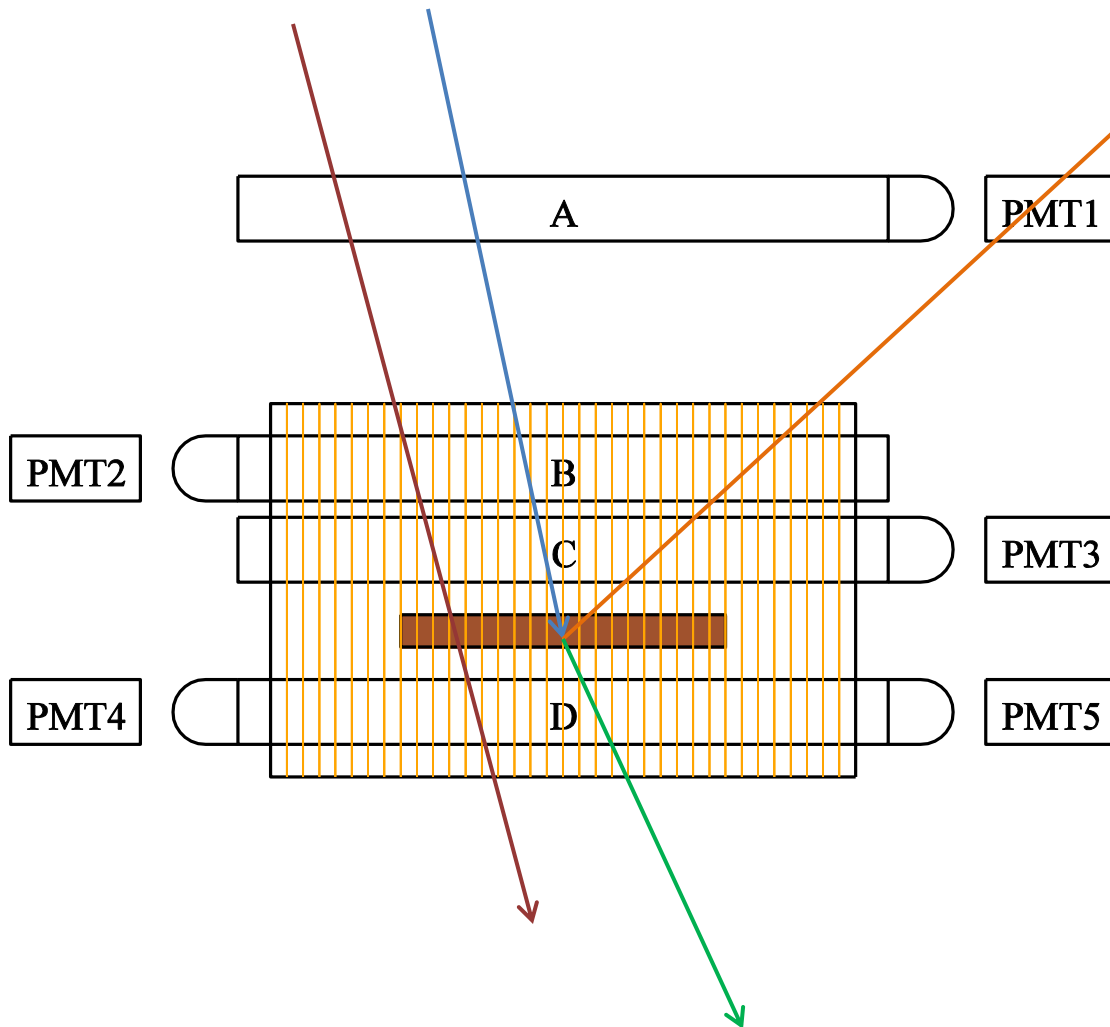
54cmと高めに設定し、23日と、実験日数を長めにとった。

コイル内の磁場



単位はGauss

データのとり方



• Start Signal

1, 2, 3が反応し4, 5がどちらも反応しなかったもの。

• CH1(上に崩壊した粒子)
2, 3がともに反応したもの。

• CH2(下に崩壊した粒子)
4, 5がともに反応したもの。

実験方針

CH1、CH2の統計を取って
 ω を求める。

結局、TDCに

Start $1 \wedge 2 \wedge 3 \wedge \neg(4 \vee 5)$

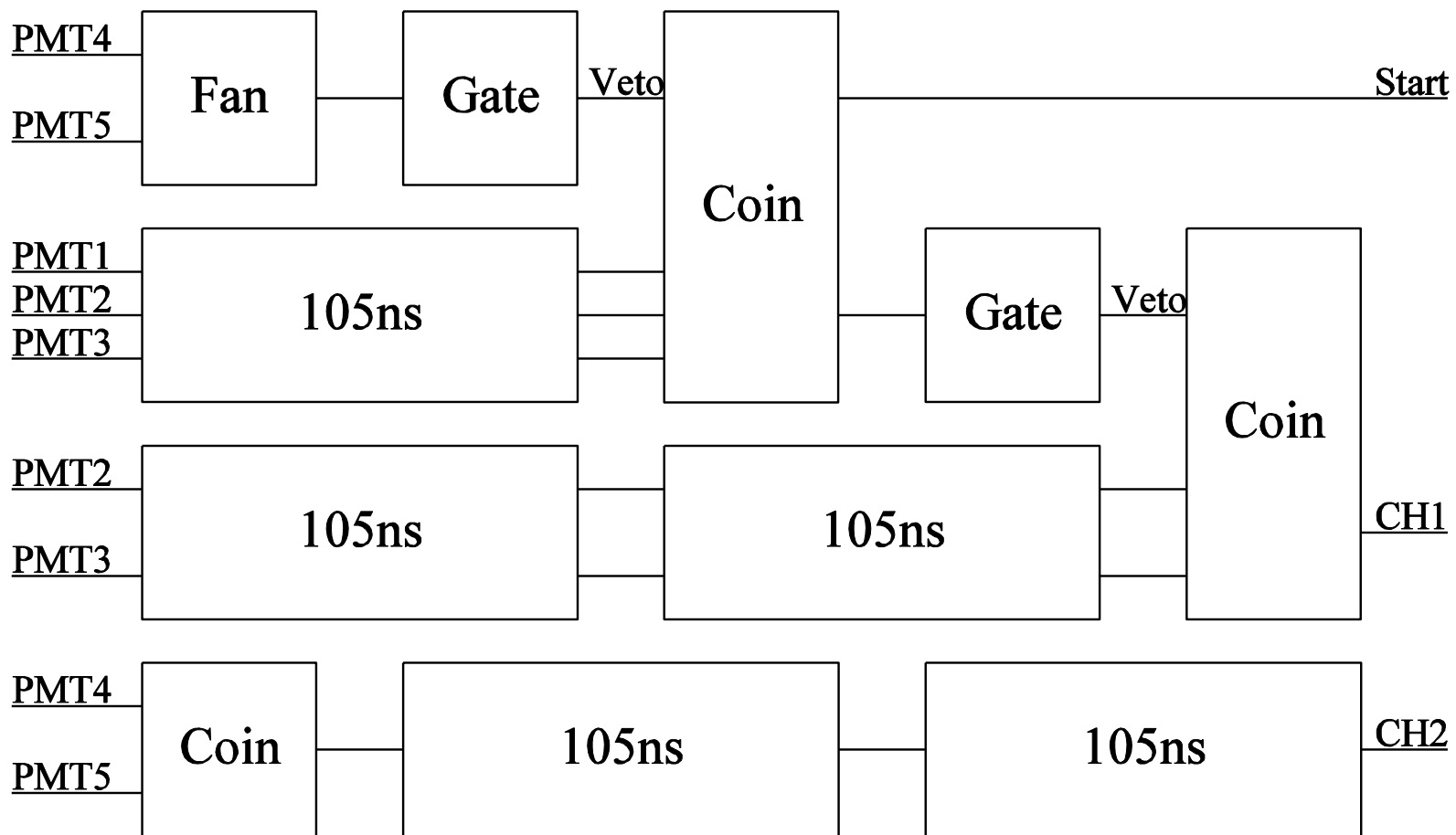
CH1 $2 \wedge 3 \wedge \neg \text{Start}$

CH2 $4 \wedge 5$

と入力すれば
 μ^+ の崩壊時間が計測できる！

単純に $2 \wedge 3$ としてしまうと
Start信号それ自体もCH1のStop信号と認識されてしまう！

論理回路



PMTの電圧調整

- 印加電圧を上げることで検出効率が上がる。
- 一方で印加電圧を上げすぎると、アフターパルスによるいらぬデータが増える。

検出効率が平坦になり始めるところの電圧を適正電圧として定めた。

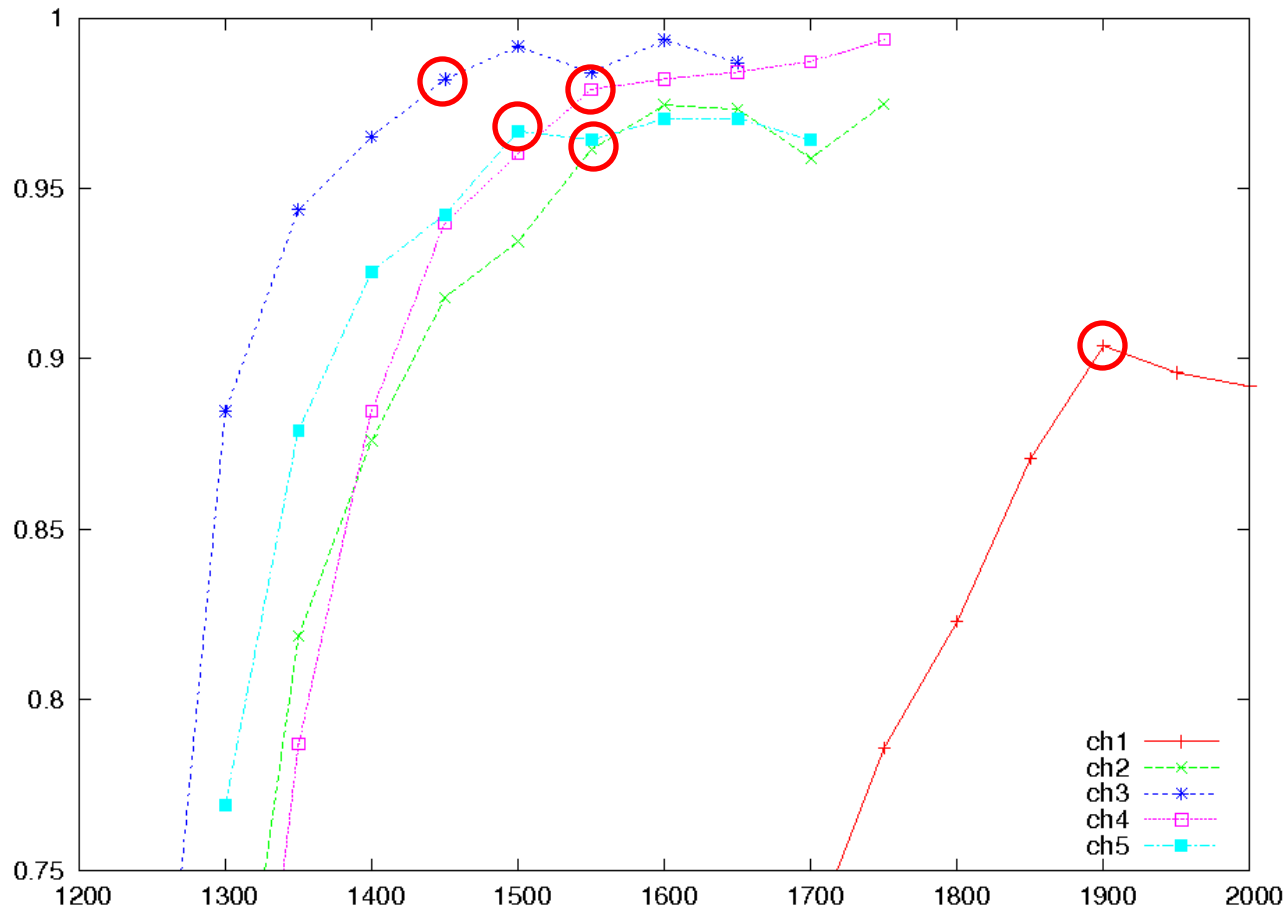
- Discriminatorの閾値の設定
20mVとした。

検出効率の定義

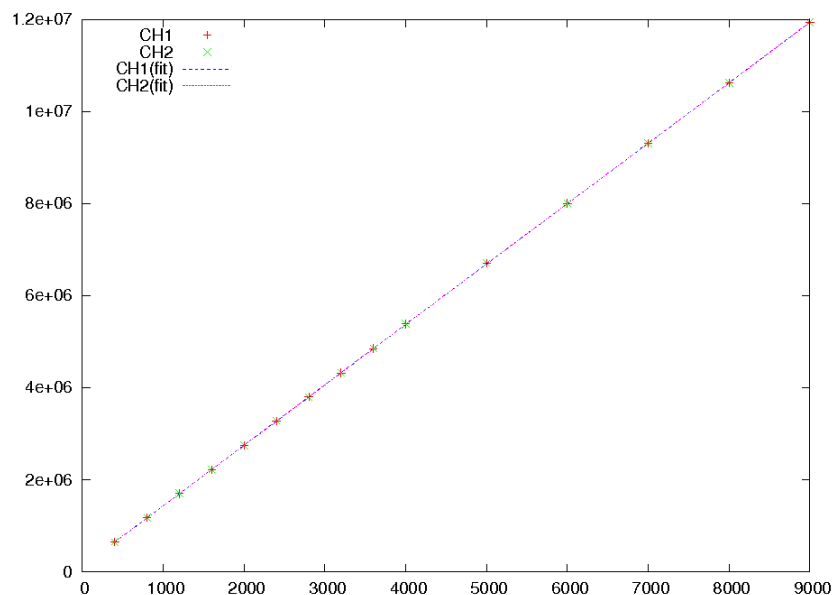
$$(\text{PMT1の検出効率}) = \frac{1 \wedge 2 \wedge 3 \wedge 4 \wedge 5}{2 \wedge 3 \wedge 4 \wedge 5}$$

等

各PMTの検出効率の曲線



TDCキャリブレーション



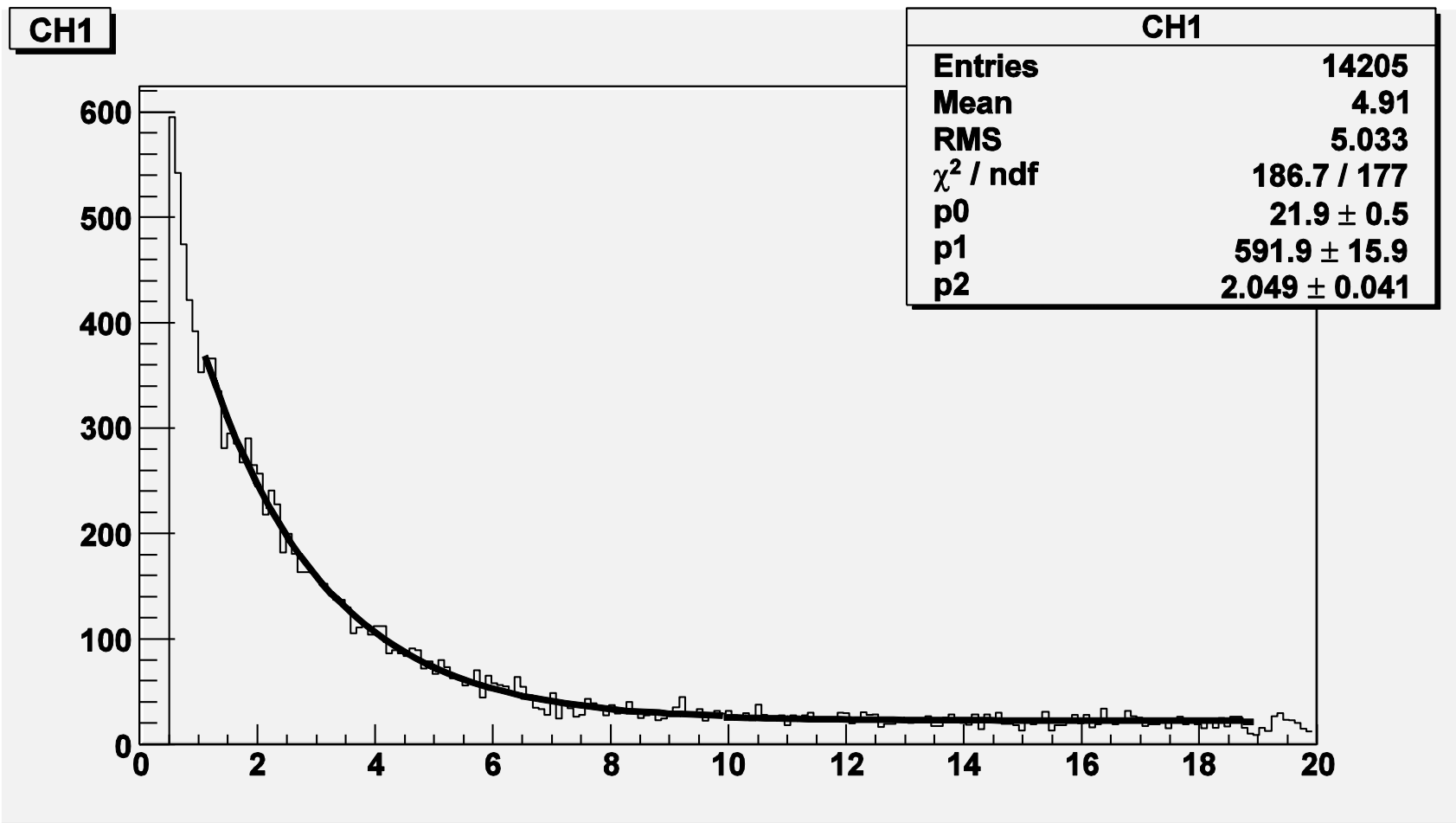
1つの信号を2つに分け
片方をStartに入れ、
もう片方はDelayを通し
CH1とCH2に入れる。
そのときのTDCカウントを
測定した。
結果は左図のようになっ
た。

TDCカウントと寿命

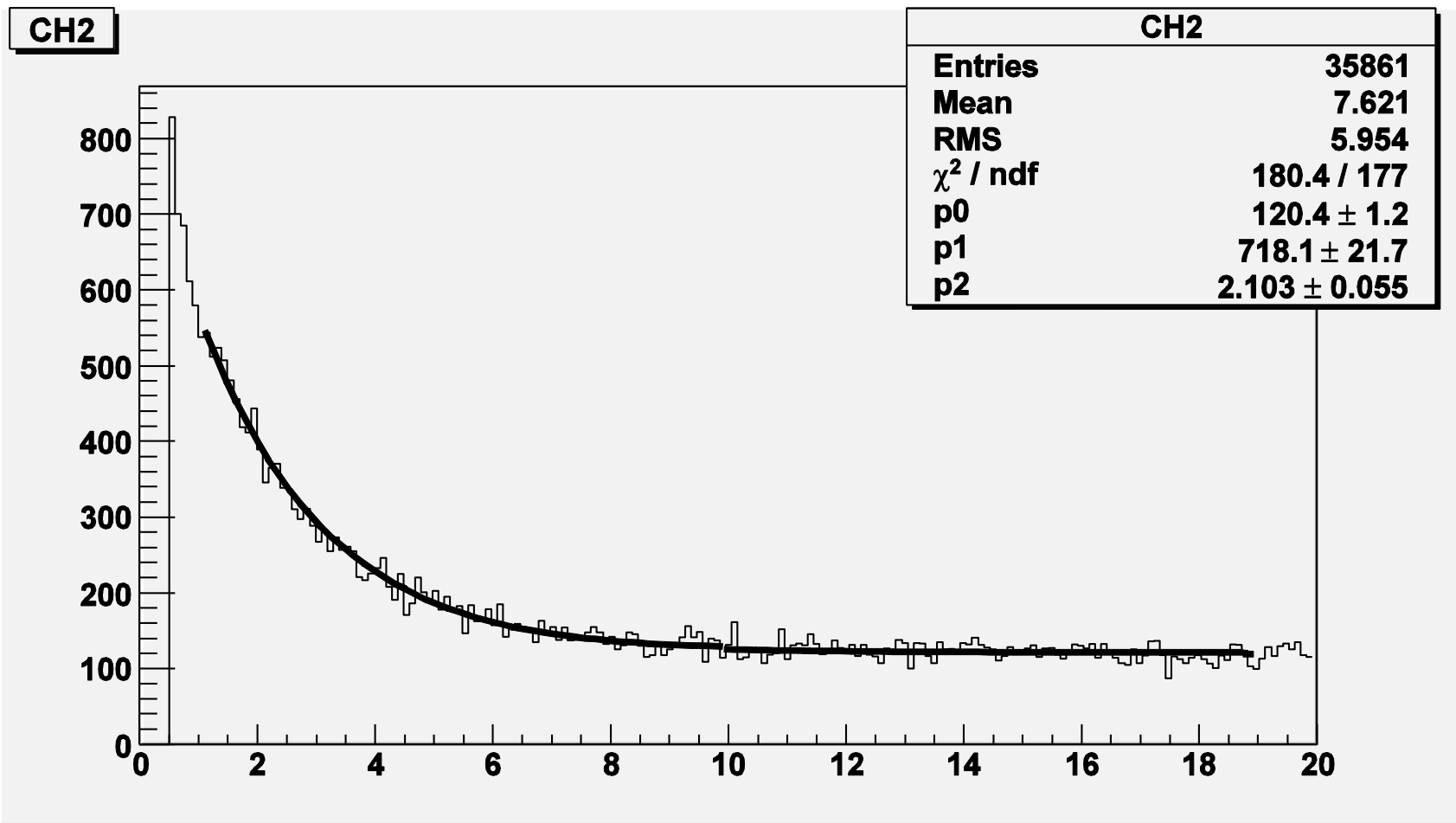
- 寿命が0だったときに相当するTDCカウントも測定した。
- キャリブレーションで得られたデータと合わせて、TDCカウントから寿命を求める式として次の式を得た。
- $T_1 = (C_1 - 243990.0)/1313.0$
- $T_2 = (C_2 - 244760.5)/1313.0$

実験結果

実験データ(磁場なし)CH1



実験データ(磁場なし)CH2

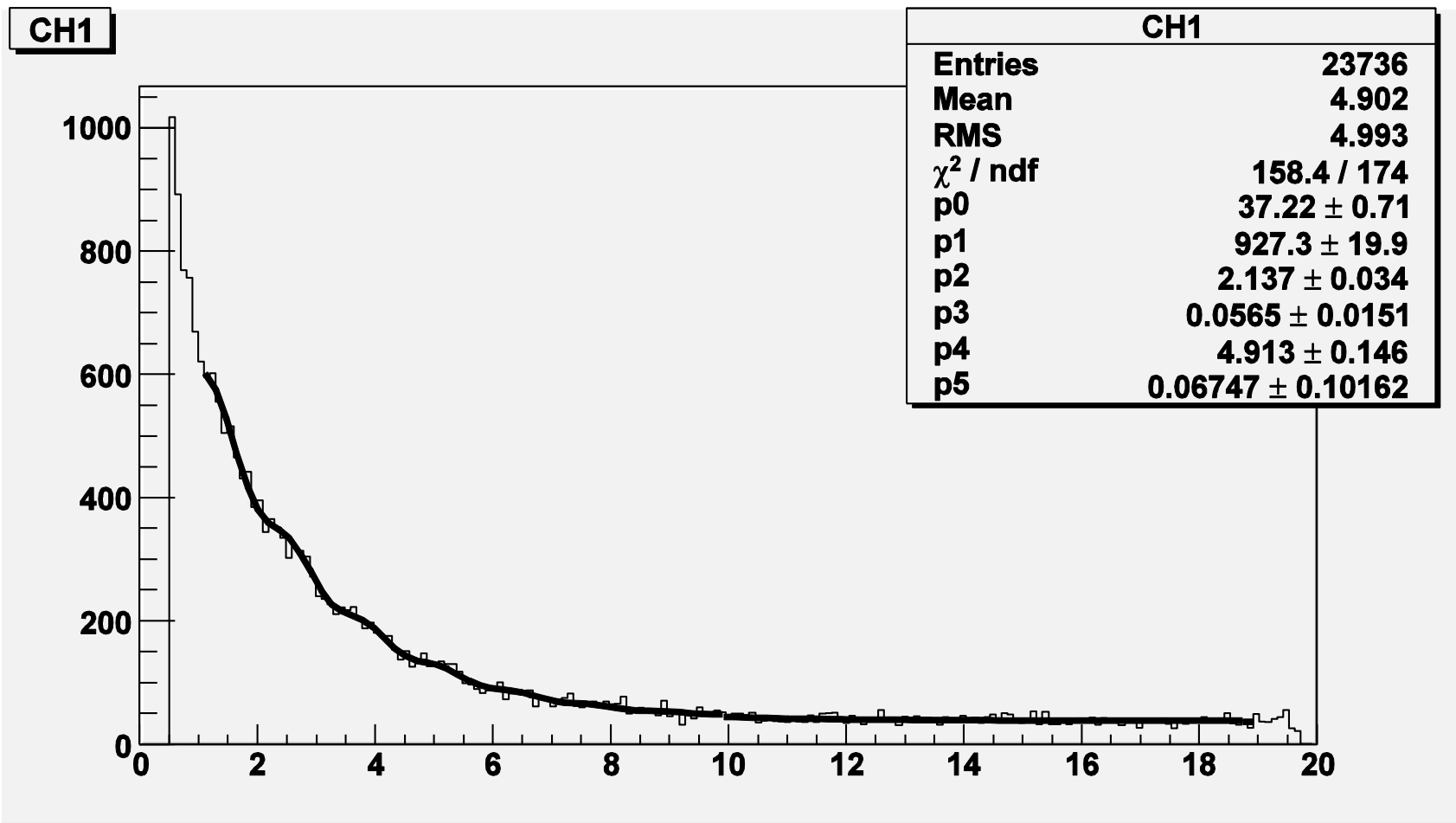


$$N_1 = A_1 + B_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_1}\right) \text{ でフィット}$$

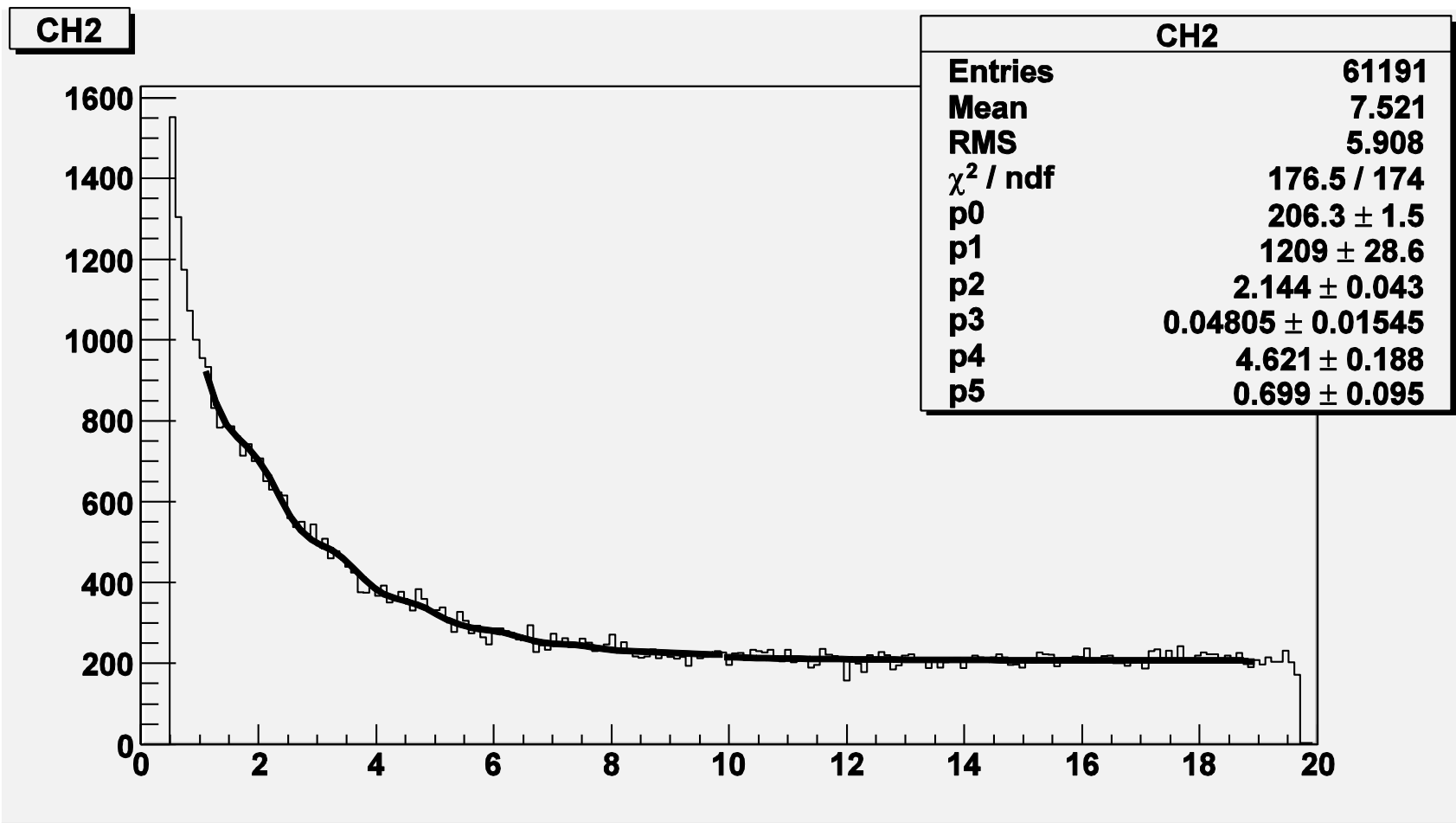
	A_1 (バックグラウンド)	B_1	τ_1 (寿命) (μs)
CH1	21.9 ± 0.5	591.9 ± 15.9	2.049 ± 0.041
CH2	120.4 ± 1.2	718.1 ± 21.7	2.103 ± 0.055

寿命の文献値: $2.197(\mu\text{s})$

実験データ(磁場あり)CH1



実験データ(磁場あり)CH2



$$N_2 = A_2 + B_2 \exp\left(-\frac{t}{\tau_2}\right) \times (1 + \alpha_2 \cos[\omega(t - t_2)])$$

でフィット

	A_2 (バックグラウンド)	B_2	τ_2 (寿命) (μs)
CH1	37.22 ± 0.71	927.3 ± 19.9	2.137 ± 0.034
CH2	206.3 ± 1.50	1209 ± 28.6	2.144 ± 0.043
	α_2	$\omega(\text{rad}/\mu\text{s})$	t_2
CH1	0.0565 ± 0.0151	4.913 ± 0.146	0.067 ± 0.102
CH2	0.0481 ± 0.0155	4.621 ± 0.188	0.699 ± 0.095

gの決定

$$\omega = \frac{g|e|B}{2m_{\mu}} \quad \text{によって求める}$$

$$g_1 = 2.246 \quad \text{:CH1から求めたg因子}$$

$$g_2 = 2.113 \quad \text{:CH2から求めたg因子}$$

誤差の評価

誤差伝搬の式

$$\sigma_g^2 = \left(\frac{\partial g}{\partial \omega} \right)^2 \sigma_\omega^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial B} \right)^2 \sigma_B^2$$

$$\sigma_{g_1} = 0.076 \rightarrow g_1 = 2.246 \pm 0.076$$

$$\sigma_{g_2} = 0.092 \rightarrow g_2 = 2.113 \pm 0.092$$

考察

- 解析の結果、ミューオンの寿命は文献値より小さく、g因子は大きくなってしまった。

寿命の考察

- ノイズを一定値 A_1, A_2 としてフィットしているが、ノイズの数が多くなると、一定値ではなく、短時間側に多くなる。寿命が文献値よりも短く出た一因かもしれない。

g因子の考察

g因子の値が文献値より大きくなった理由：
磁場を実際の値より小さく測定してしまったことが考えられる。磁場の測定にはハンディガウスメータを使ったが、このブローブの先端が磁場に対して垂直でないとき実際の磁場より小さい値が観測されてしまう。

謝辞

- 実験にあたり、お世話してくださった南野先生、TAの山内さんに感謝いたします。