

09課題演習A1後期発表

植松 久保 佐野 関 水谷

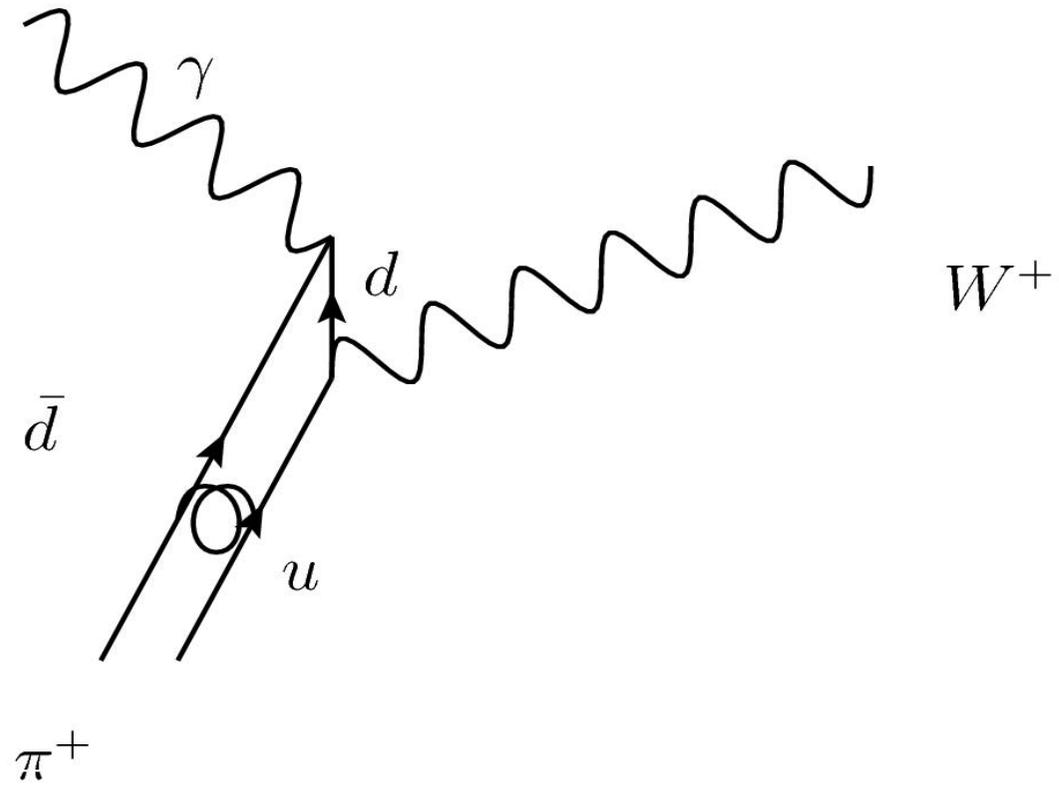
μ の寿命とg因子の理論

π の崩壊

- π のスピンはゼロ
- ニュートリノとレプトンに崩壊
- ニュートリノは左巻き（進行方向と逆のスピ
ン）
- 重心系ではレプトンも左巻き
- ブーストすると左巻きに偏っている

π の崩壊

- ダイアグラム

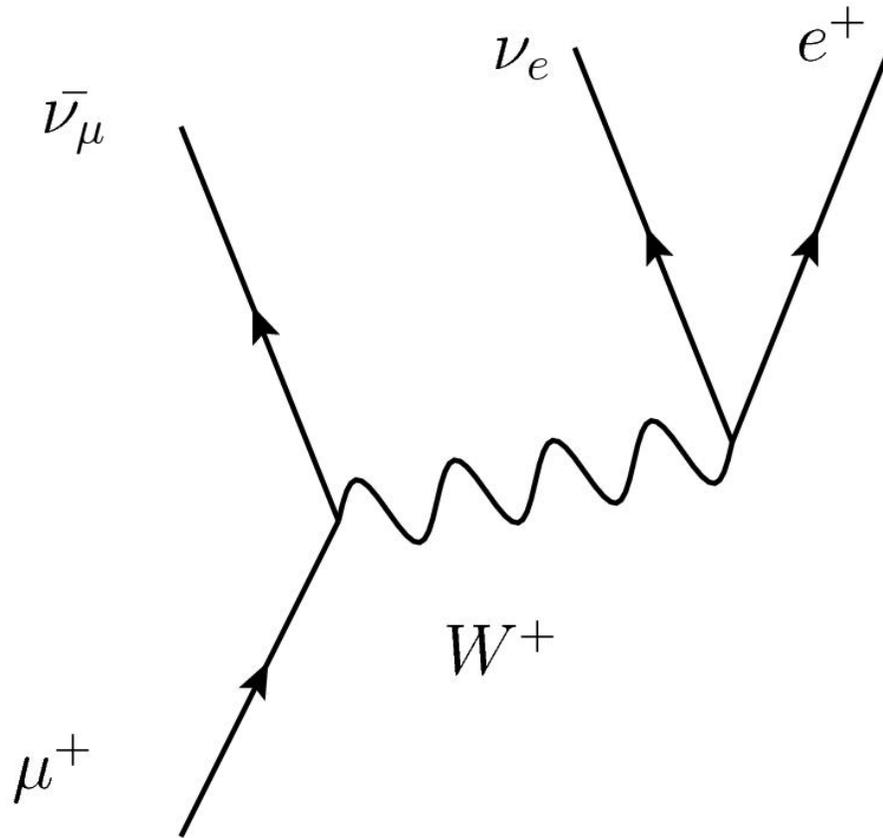


μ の崩壊

- μ^- は電子の代わりに原子核にトラップされその後崩壊。
- μ^+ の崩壊が主要な反応
- e^+ は μ^+ の進行方向の向きに放出される
- 磁場をかけると回転するので e^+ の放出方向も変わる

μ の崩壊

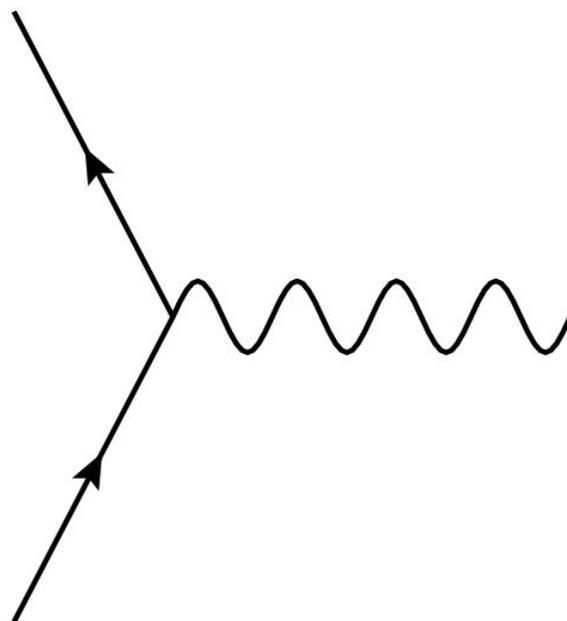
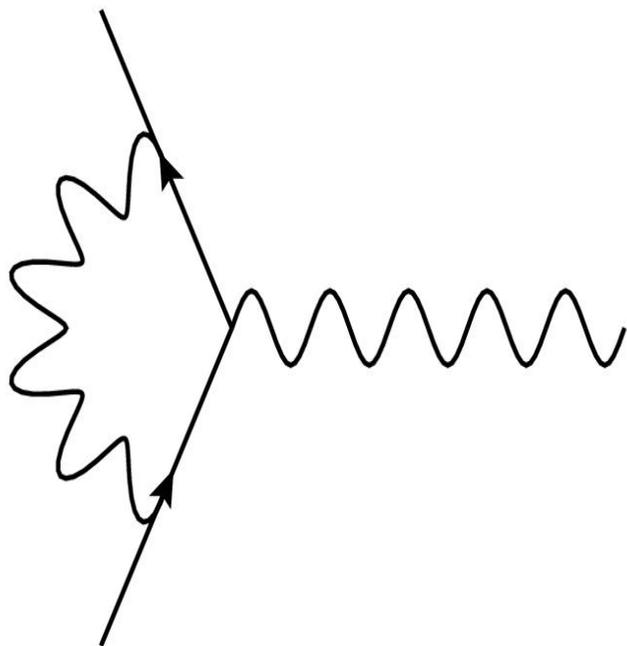
- ダイアグラム



g因子の理論値

- QEDで計算される
- tree graphで $g=2$
- Electron vertex functionで補正

g因子の理論値

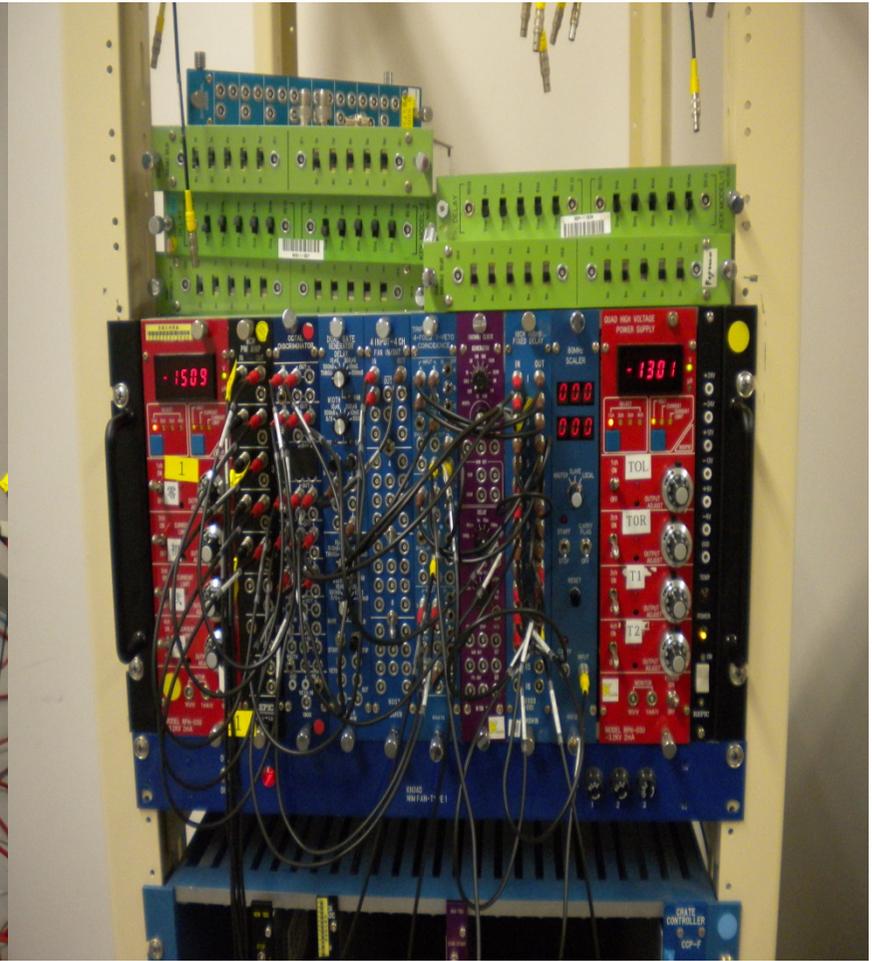
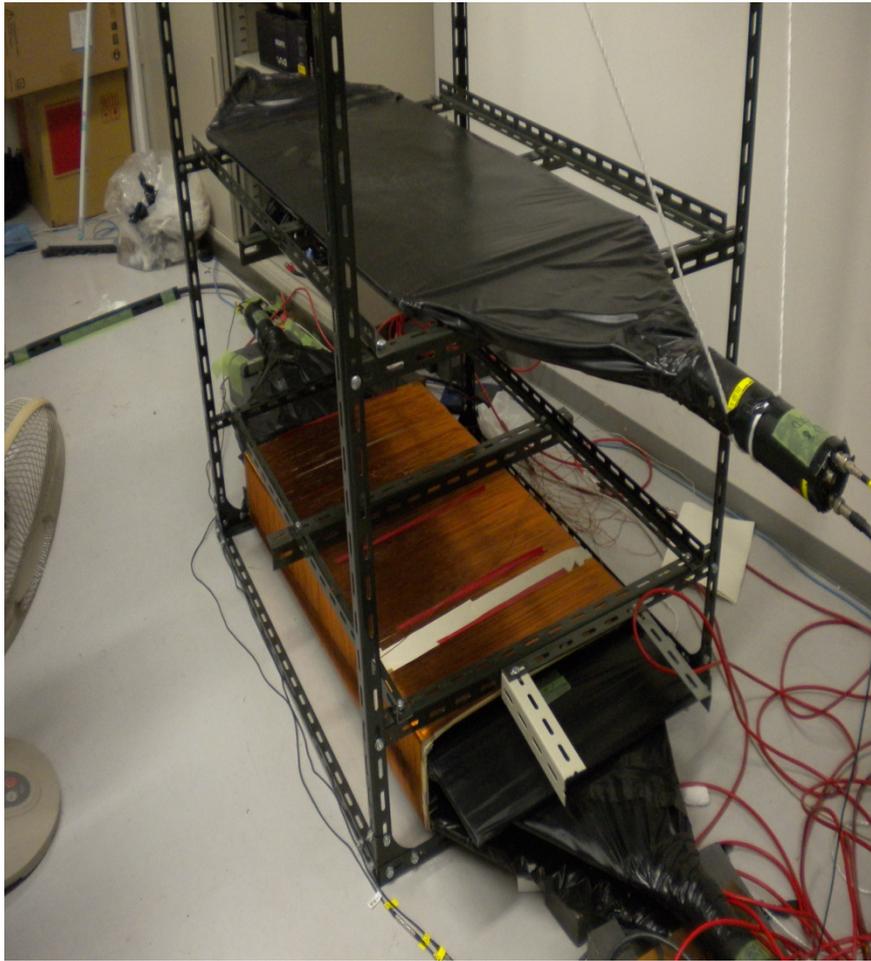


実験原理

トラップしたミュオンはコイルによってできた磁場により歳差運動を行う。ミュオンが崩壊したとき向いているスピンの方向が陽電子の出る方向になる。

磁場が無いときに予想される指数関数的な減衰が、磁場による歳差運動のために波打ったものとなる。この振動数を測定することによりg因子を求める。

実験装置の様子



実験装置の構成

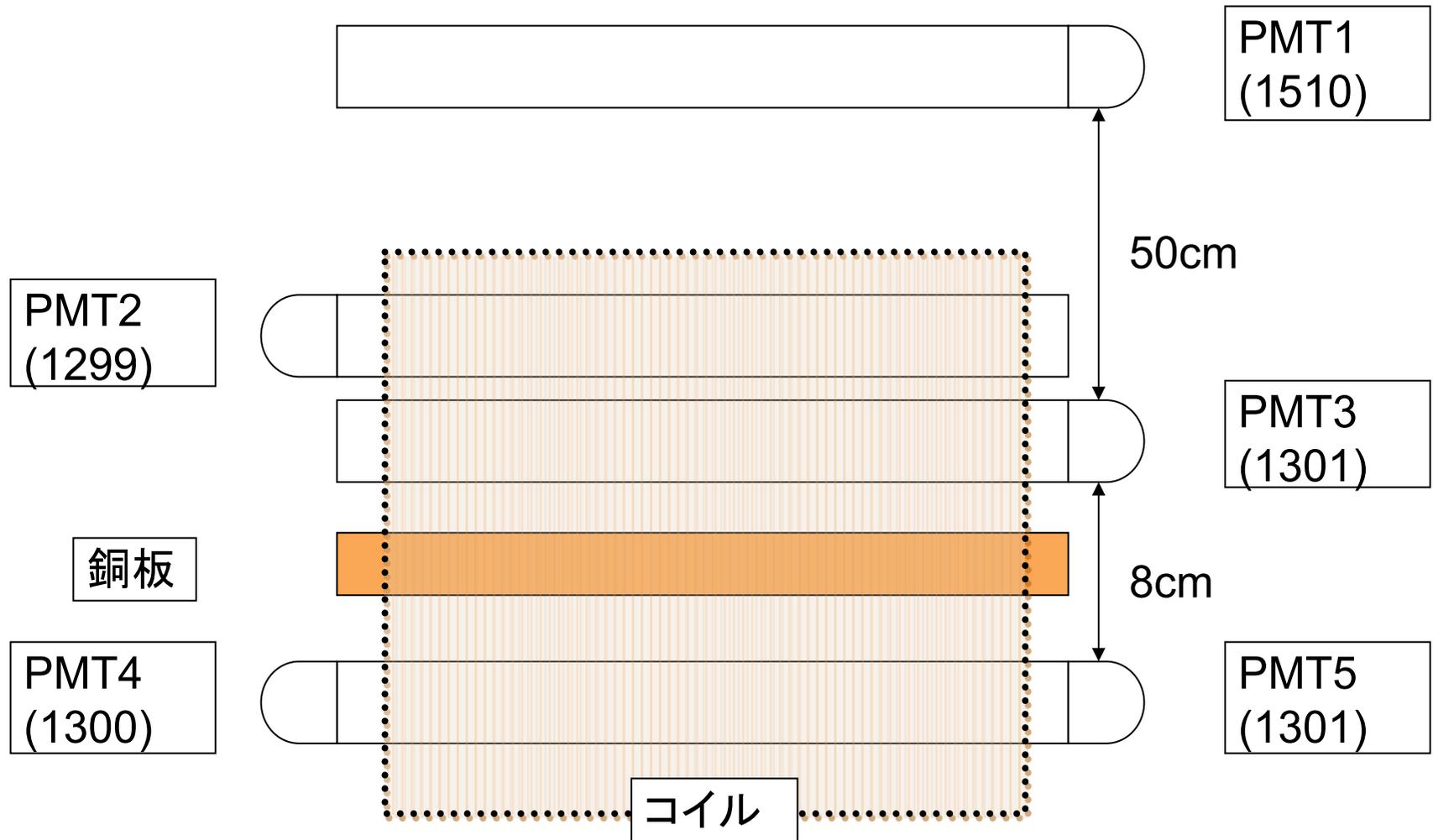
実験装置は主に以下のもので構成される。

- プラスチックシンチレータ×4
100cm×48cm×1cm
- 光電子増倍管(以下PMT)×5

前期からあったものは改めてつけ直した。

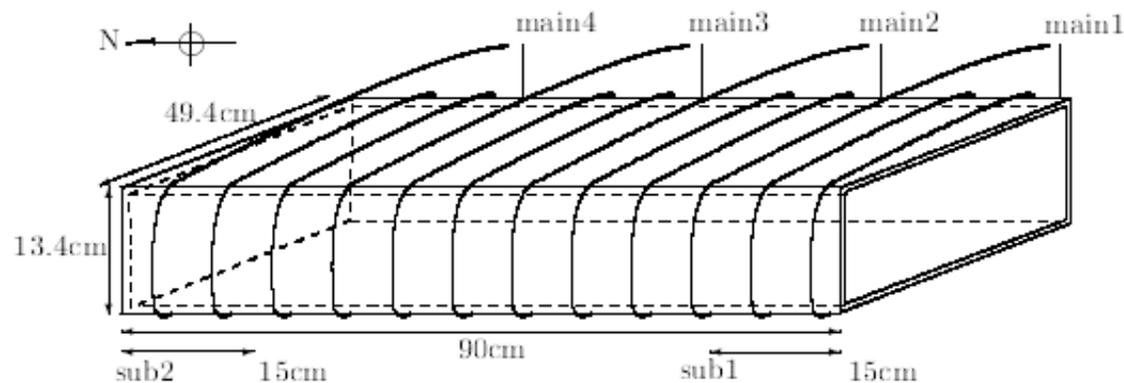
- コイル
- 銅板×2
50cm×48cm

実験装置の概略

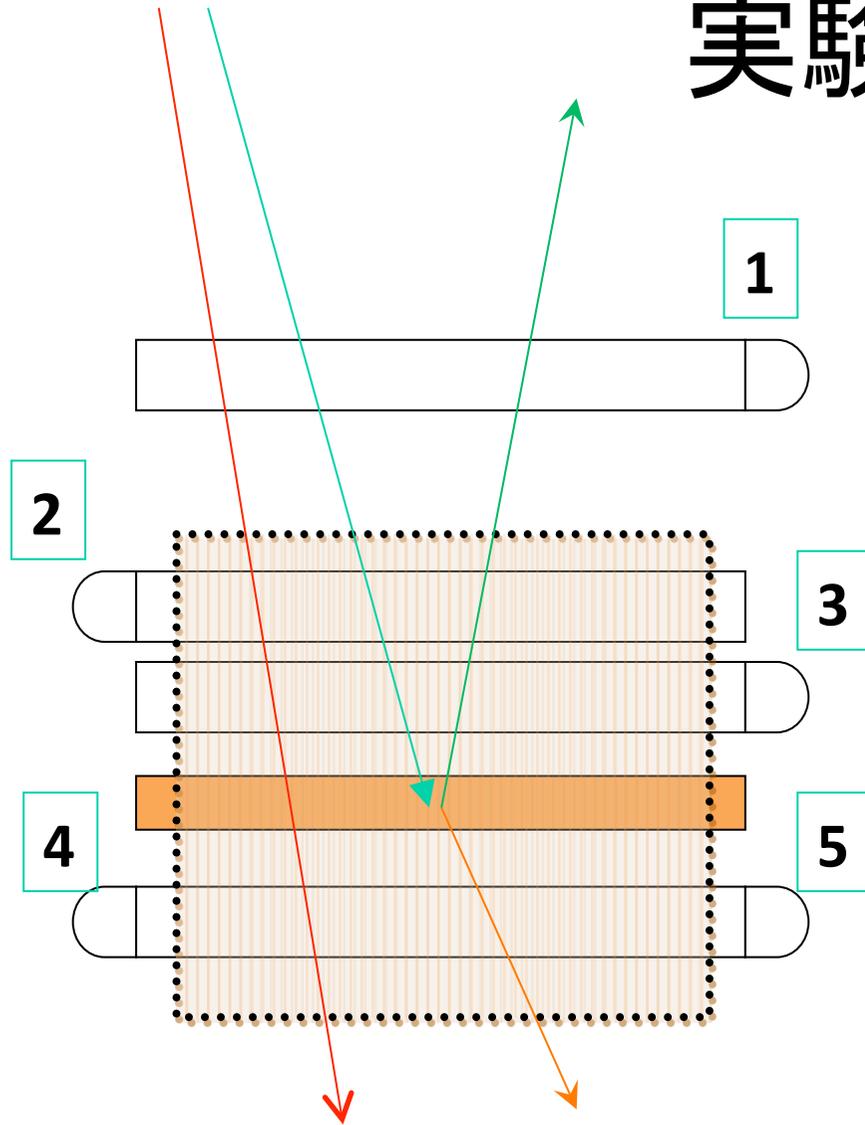


コイル

コイルの中心磁場（銅板がある場所の磁場）がほぼ一定になるように以下のようにsubコイルを用いた。磁場の強さは平均53.7Gである。



実験方針



- **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。
(青矢のみ)

- **CH1(上に崩壊した粒子)**

- 2, 3がともに反応したもの。

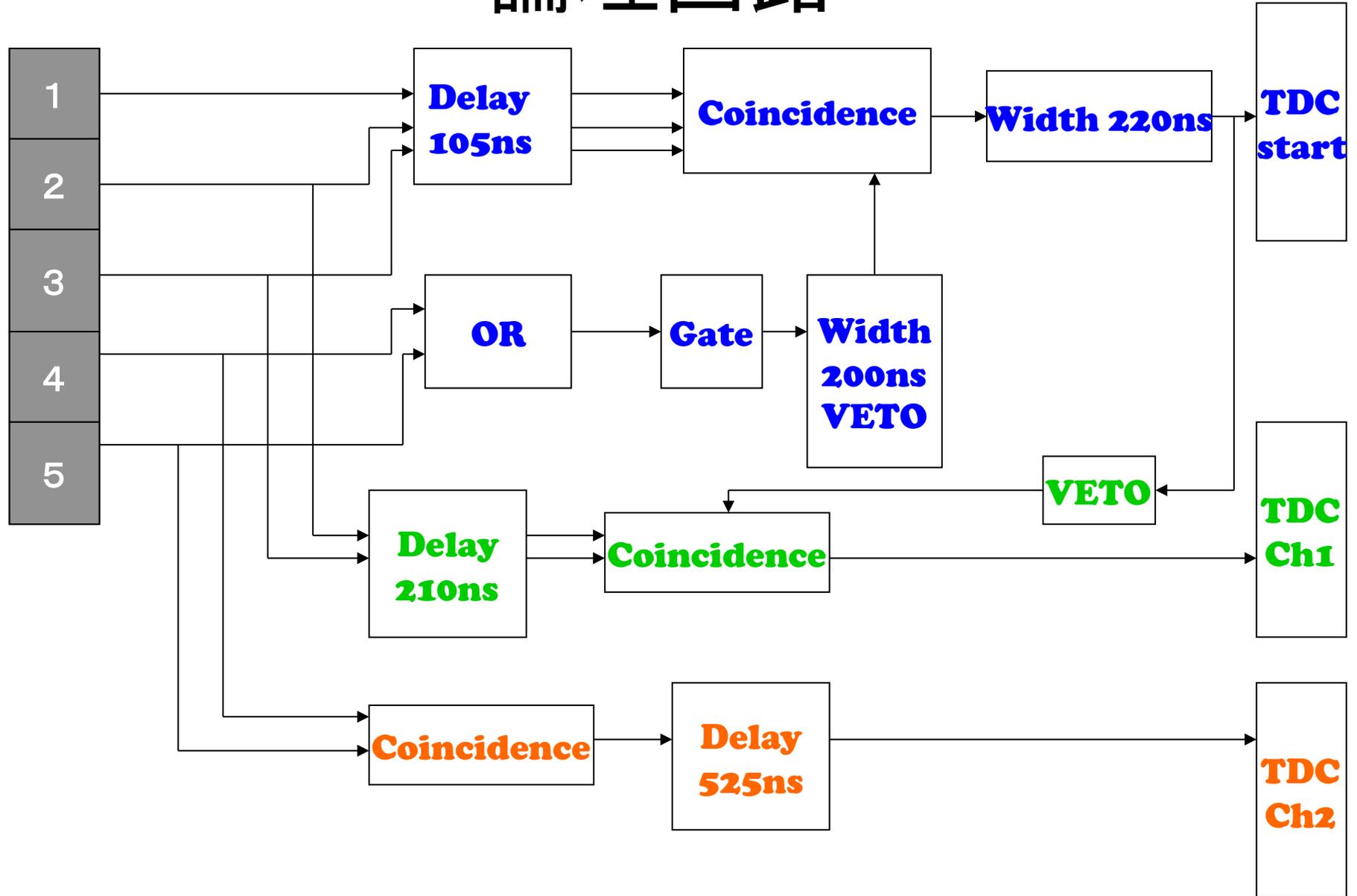
- **CH2(下に崩壊した粒子)**

- 4, 5がともに反応したもの。

実験方針

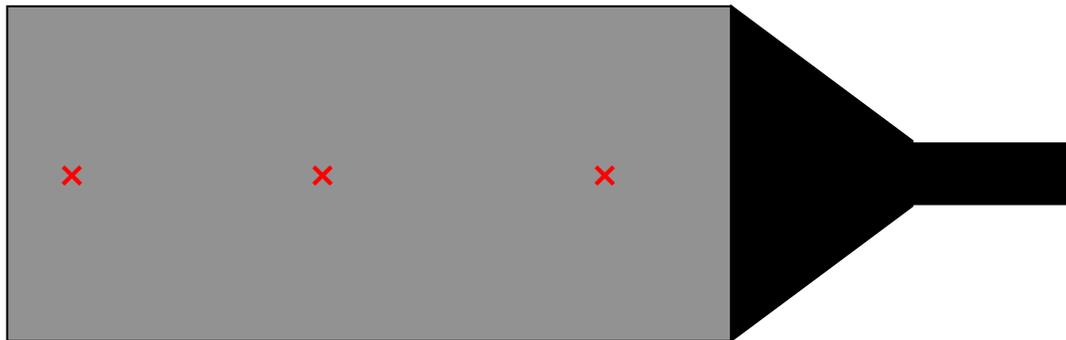
CH1、CH2の統計を取って
 ω を求める。

論理回路



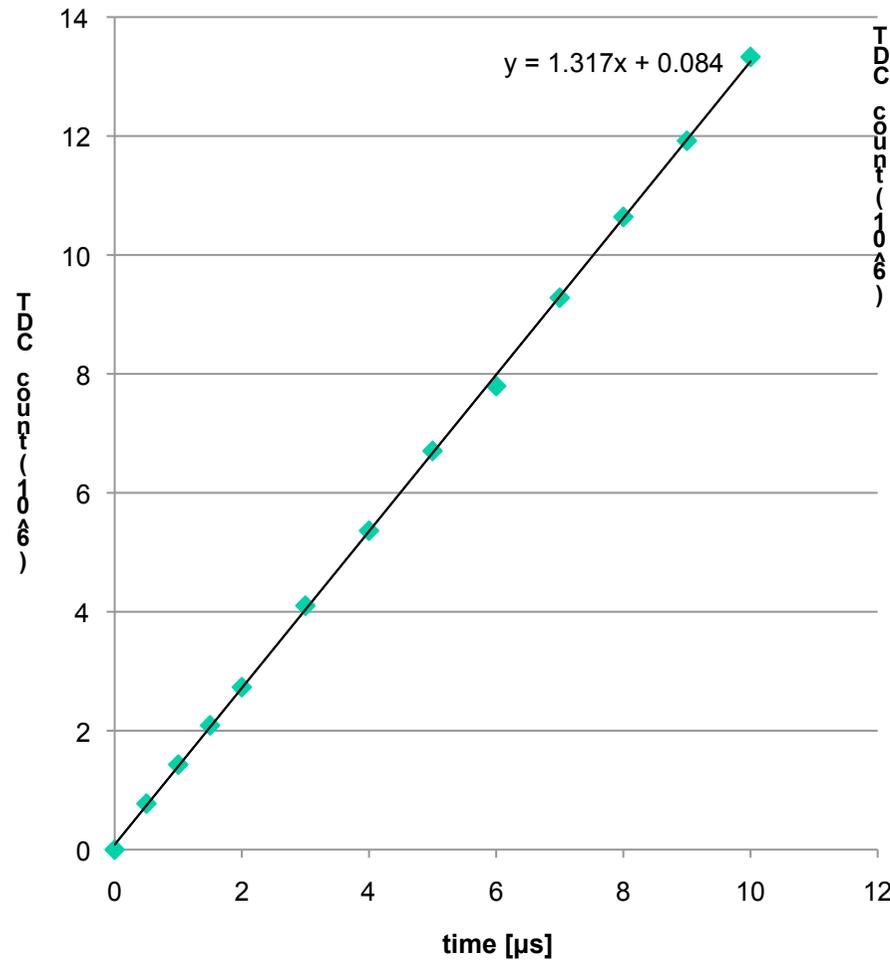
各種設定

- PMTにかける電圧
⇒低すぎると感度が落ちる。
⇒高すぎるとノイズが大きくなる。
今回はPMT1~5の順に
1510,1299,1301,1300,1301(V)で設定した。

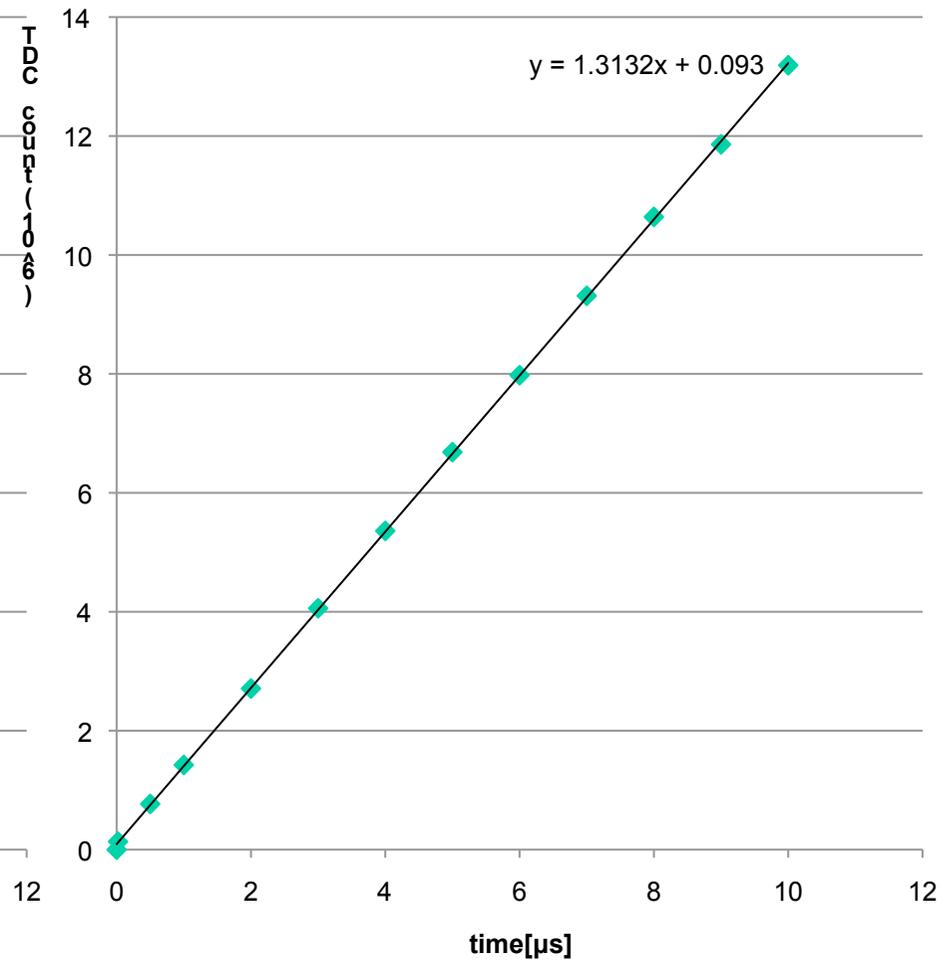


TDC校正

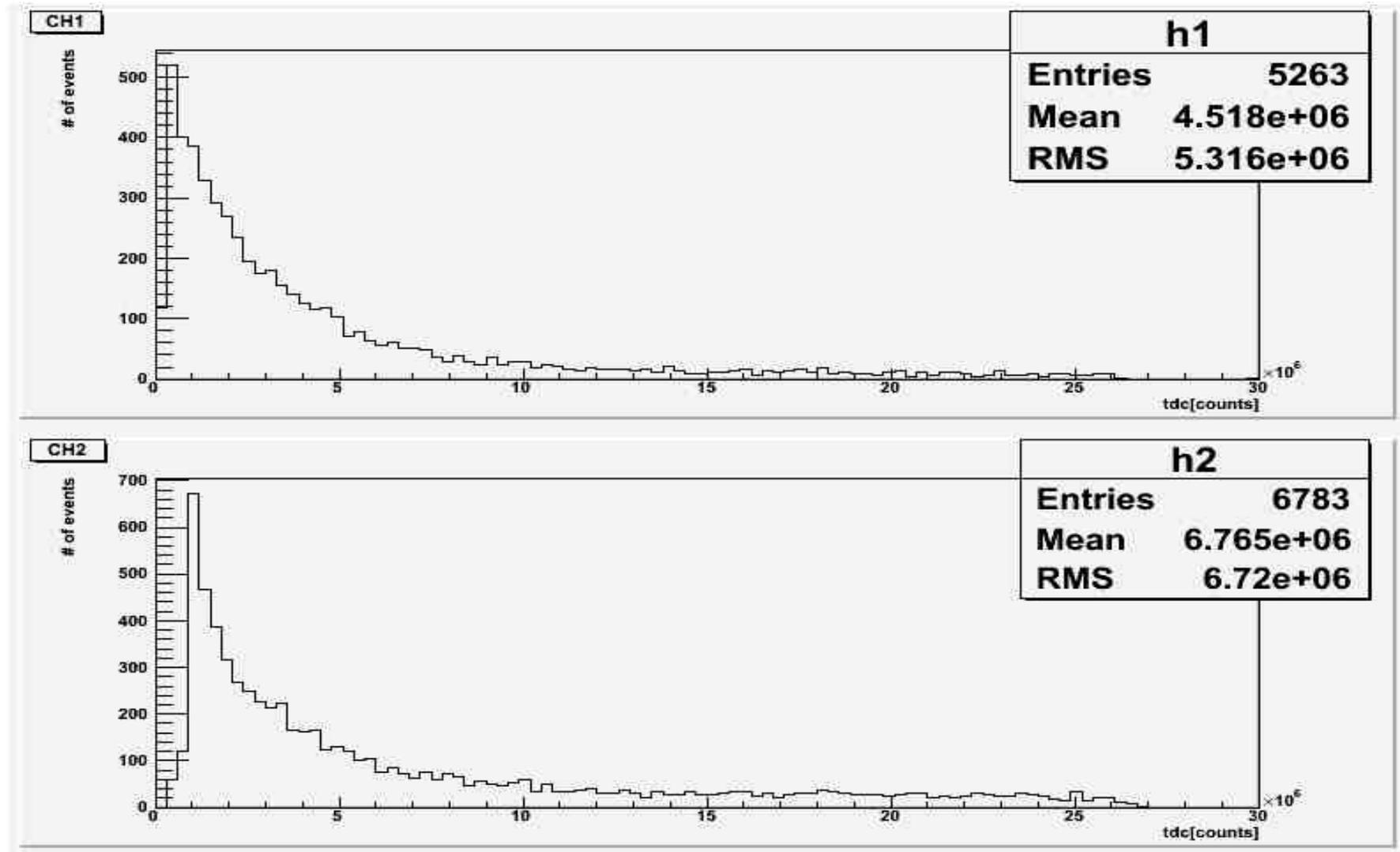
Ch1 TDC calibration



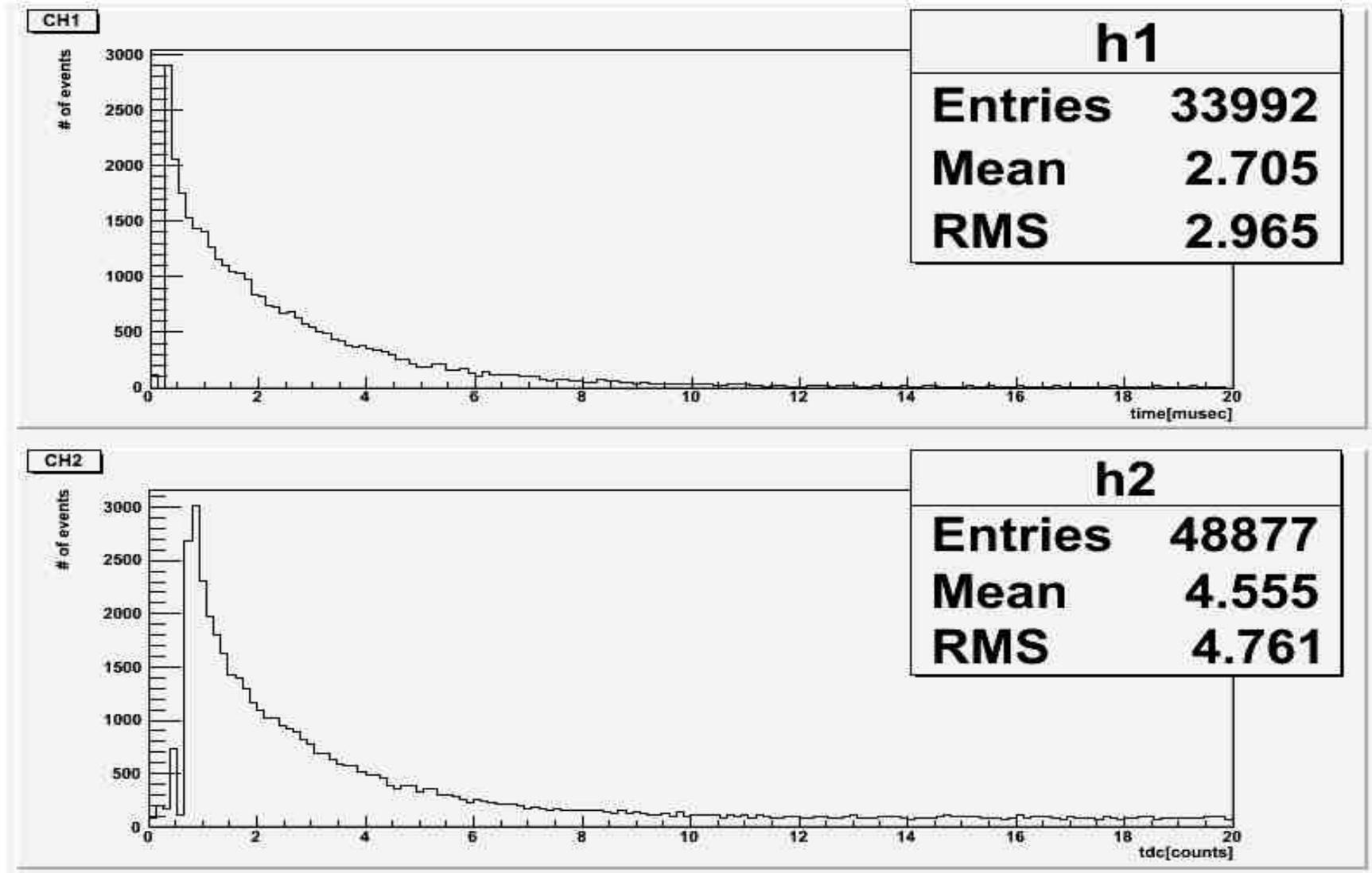
Ch2 TDC calibration



実験データ(磁場なし)

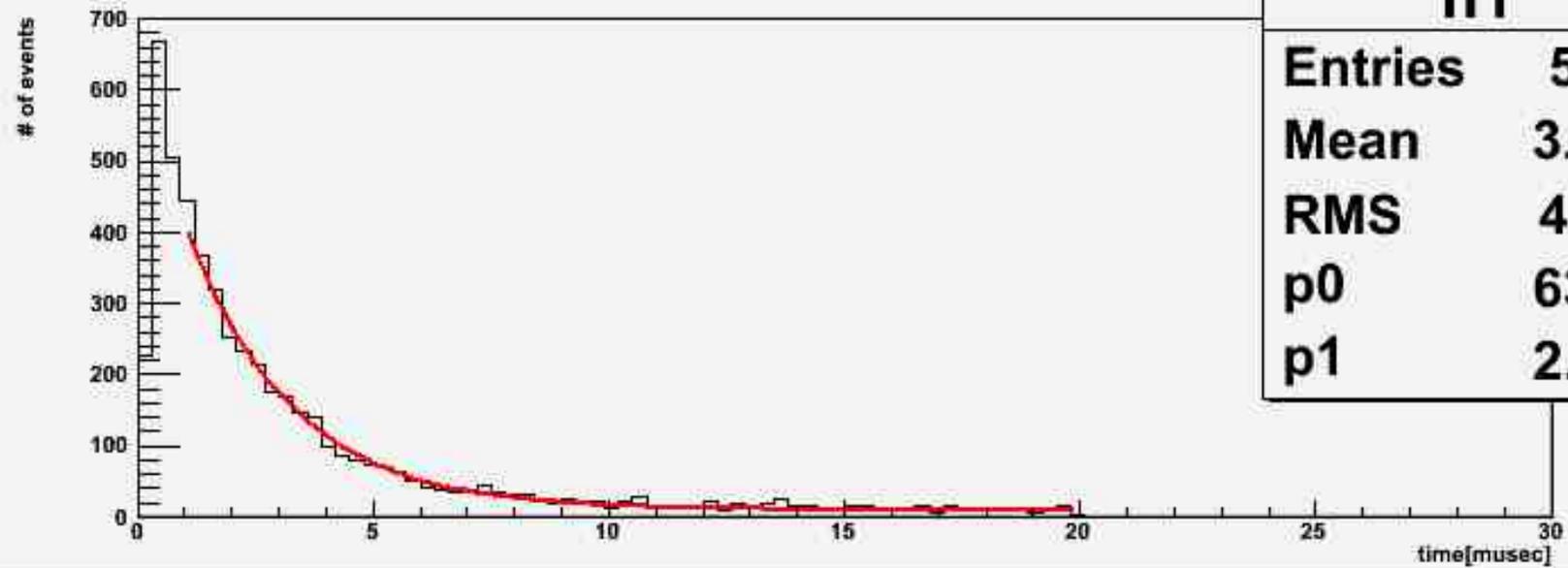


実験データ(磁場あり)

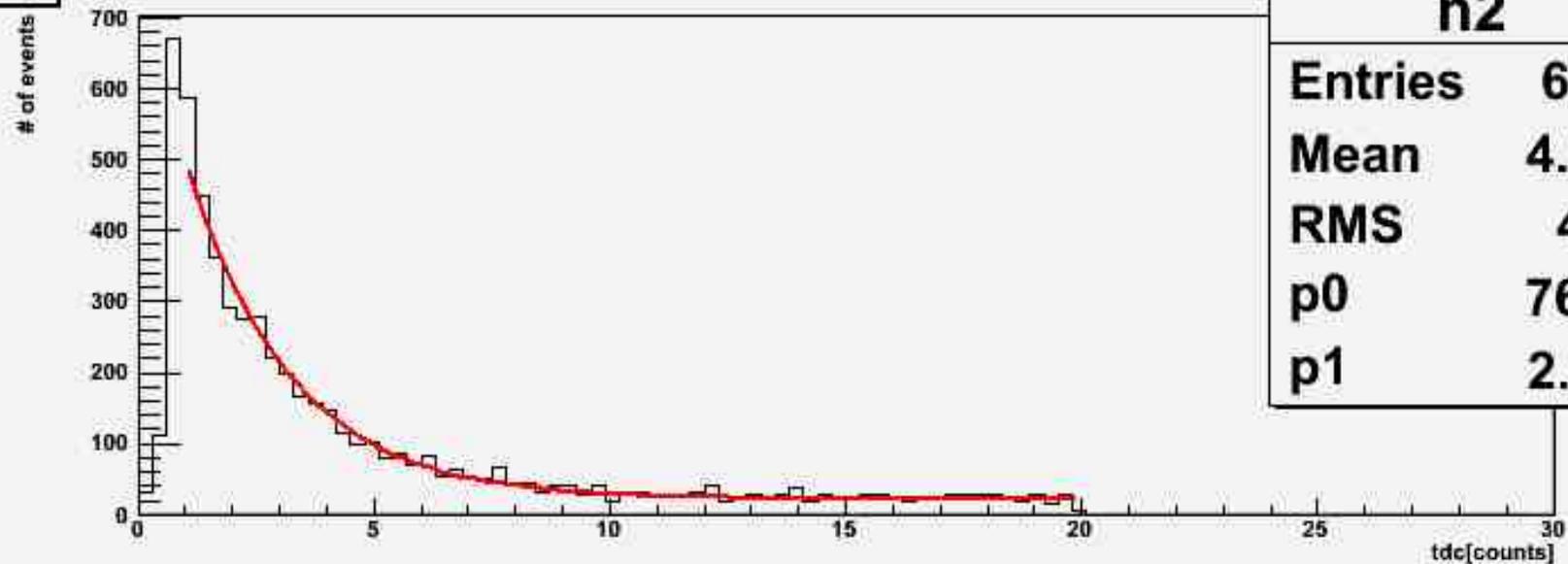


ミューオンの寿命は？

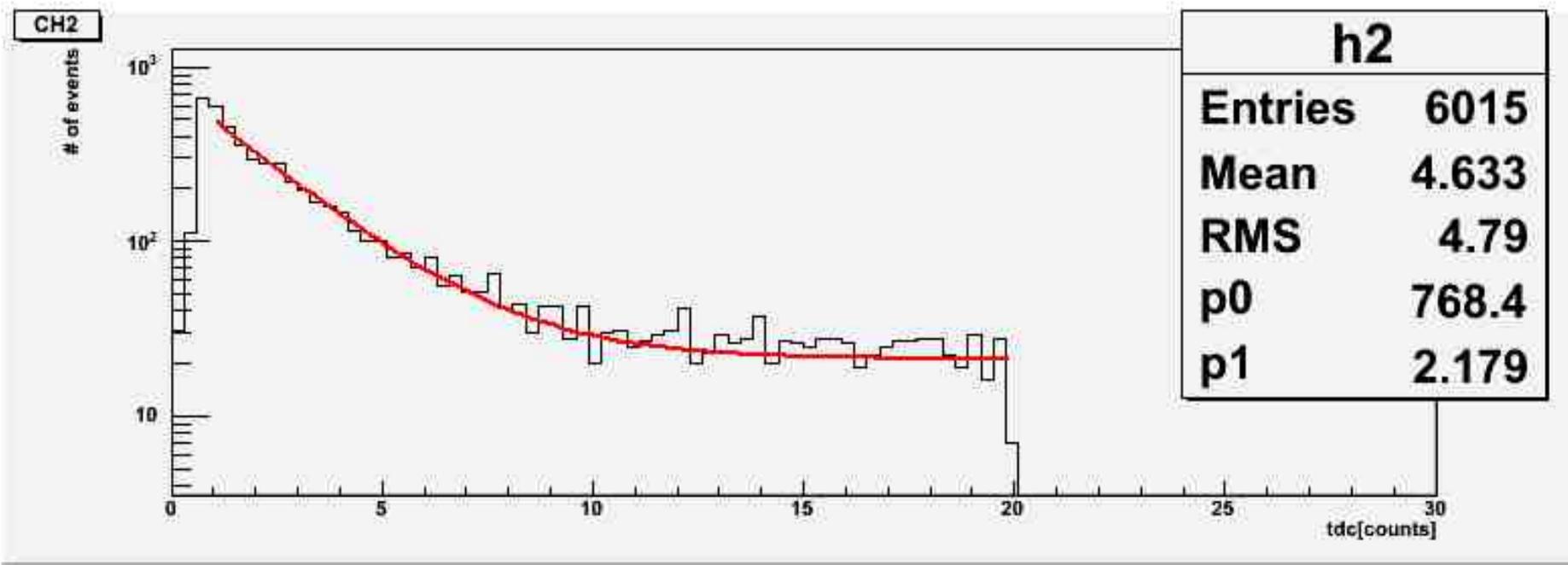
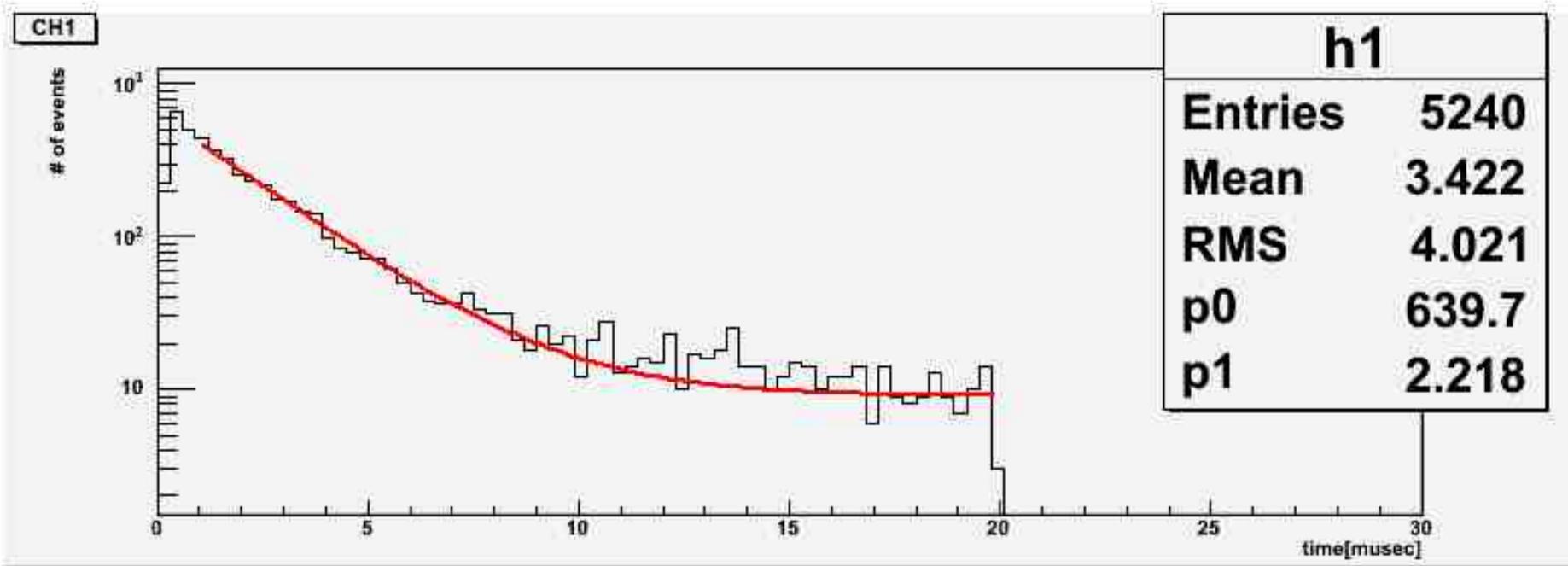
$$N = N_0 \exp(-t / \tau) + C_0$$

CH1**h1**

| | |
|----------------|--------------|
| Entries | 5240 |
| Mean | 3.422 |
| RMS | 4.021 |
| p0 | 639.7 |
| p1 | 2.218 |

CH2**h2**

| | |
|----------------|--------------|
| Entries | 6015 |
| Mean | 4.633 |
| RMS | 4.79 |
| p0 | 768.4 |
| p1 | 2.179 |

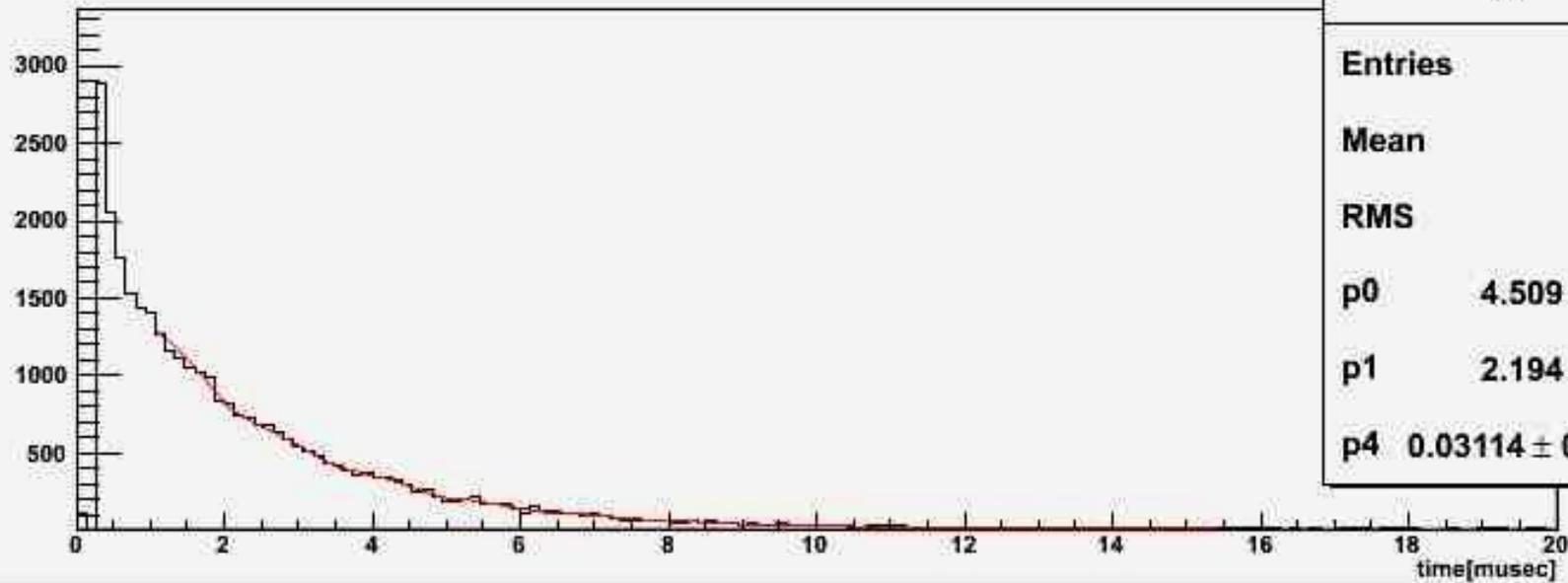


ミューオンの角振動数は？

$$N(t) = N_0 \exp(-t/\tau) \times (1 + A \cos[\omega(t - t_0)]) + C_0$$

CH1

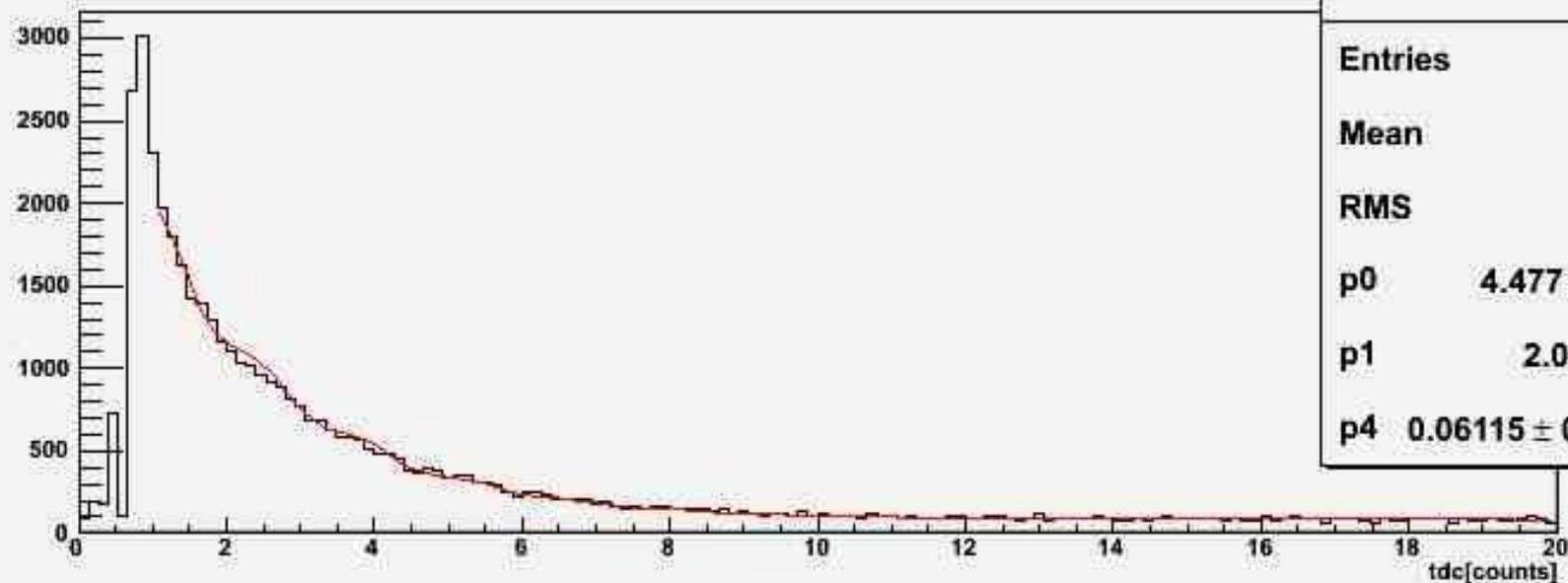
of events

**h1**

| | |
|----------------|--------------------------|
| Entries | 33992 |
| Mean | 2.705 |
| RMS | 2.965 |
| p0 | 4.509 ± 0.054 |
| p1 | 2.194 ± 0.009 |
| p4 | 0.03114 ± 0.00985 |

CH2

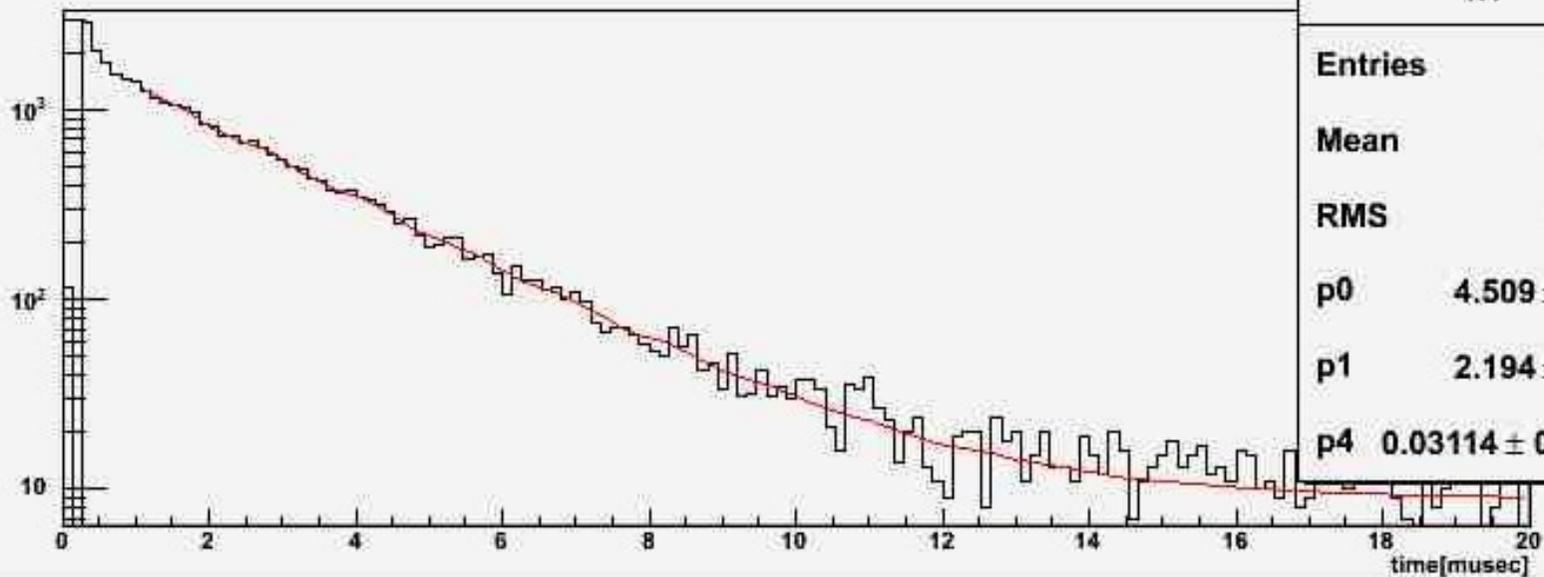
of events

**h2**

| | |
|----------------|--------------------------|
| Entries | 48877 |
| Mean | 4.555 |
| RMS | 4.761 |
| p0 | 4.477 ± 0.048 |
| p1 | 2.05 ± 0.01 |
| p4 | 0.06115 ± 0.00875 |

CH1

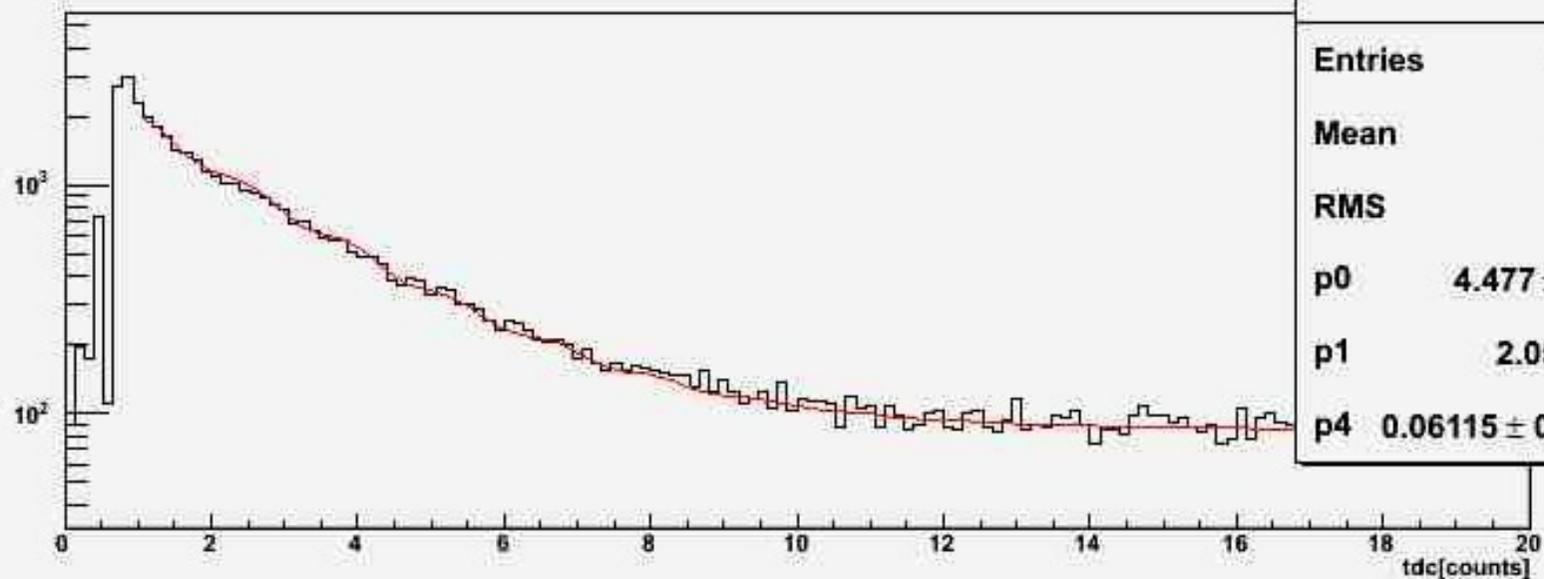
of events

**h1**

| | |
|----------------|--------------------------|
| Entries | 33992 |
| Mean | 2.705 |
| RMS | 2.965 |
| p0 | 4.509 ± 0.054 |
| p1 | 2.194 ± 0.009 |
| p4 | 0.03114 ± 0.00985 |

CH2

of events

**h2**

| | |
|----------------|--------------------------|
| Entries | 48877 |
| Mean | 4.555 |
| RMS | 4.761 |
| p0 | 4.477 ± 0.048 |
| p1 | 2.05 ± 0.01 |
| p4 | 0.06115 ± 0.00875 |

時間の原点はどこなのか？

start signal, ch1, ch2に用いる回路のそれぞれにおいて生じる時間の遅れを計測



ch1では112ns, ch2では574nsだけstart signalから遅れていた。



この値を時間の原点として解析した。

g因子の値は？

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

$$m_\mu = 105.6 \text{ MeV}/c^2$$

$$e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$$

解析結果まとめ

| | 寿命 (μs) | ω ($1/\mu\text{s}$) | g |
|-----|----------------------|------------------------------|----------------------|
| ch1 | 2.218 ± 0.055 | 4.509 ± 0.054 | 1.971 ± 0.024 |
| ch2 | 2.179 ± 0.054 | 4.478 ± 0.048 | 1.958 ± 0.021 |
| 文献値 | 2.2 | | 2.0023 |

それぞれの測定の妥当性

- μ^- の影響の程度
- 磁場の測定精度
- TDCのキャリブレーションによる誤差

μ^- の影響の評価

文献値([1] p.234)より、

個数比 $N_+/N_-=1.25$ (地上で)

μ^- の寿命(銅板中) $0.160 \pm 0.004 \mu\text{s}$

$$\Rightarrow N_-/N_+ \leq (1/1.25)[\exp(-\{(1/0.164)-(1/2.197)\}t)]$$

- フィットTINGは $1\mu\text{s} \sim 20\mu\text{s}$ の範囲で行ったので、 $1\mu\text{s}$ で計算してやると、 N_- は N_+ に対して、約0.3%となり μ^- の影響は無視できる。

寿命の評価

- ここまでで得られた寿命をまとめる。

| | (なし)CH1 | (なし)CH2 | (あり)CH1 | (あり)CH2 |
|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 寿命 | 2.218 ±0.055 | 2.179 ±0.054 | 2.194 ±0.009 | 2.050 ±0.007 |
| 文献値 との差 | 0.96% | 0.82% | 0.14% | 6.69% |

g因子の評価

| 磁場あり | CH1 | CH2 |
|------------|----------------------|----------------------|
| g因子 | 1.971 ± 0.024 | 1.958 ± 0.021 |
| 文献値 との差 | 1.5% | 2.2% |

反省

- 磁場のムラが大きかった。(最小値51.1G、最大値56.6G)
- 磁場の測定精度が良くなかった。(向き依存、時間依存が大きかった。)
- シンチレータの設置前に磁場を測定すべきだった。
- HVの適正値を考えずに実験し、2週間分のデータを無駄にしてしまった。

まとめ

- 寿命については、磁場なしの測定ではほぼ文献値と等しい値が得られたが、磁場ありのときは1割弱もの誤差が見られた。
- g因子については、およそ文献値に近い値が得られた。(CH1では文献値との誤差が下方に1.5%、CH2では下方に2.2%出た。)

参考文献

- [1] 小田 稔 宇宙線 裳華房
- [2] 武田 暁 素粒子 裳華房
- [3] 2009年度 前期A1レポート