



FADCによるCsI信号の解析と μ 粒子の寿命測定

奈良女子大学 高エネルギー研究室

大重 絵梨子

生田 繭子



発表の流れ

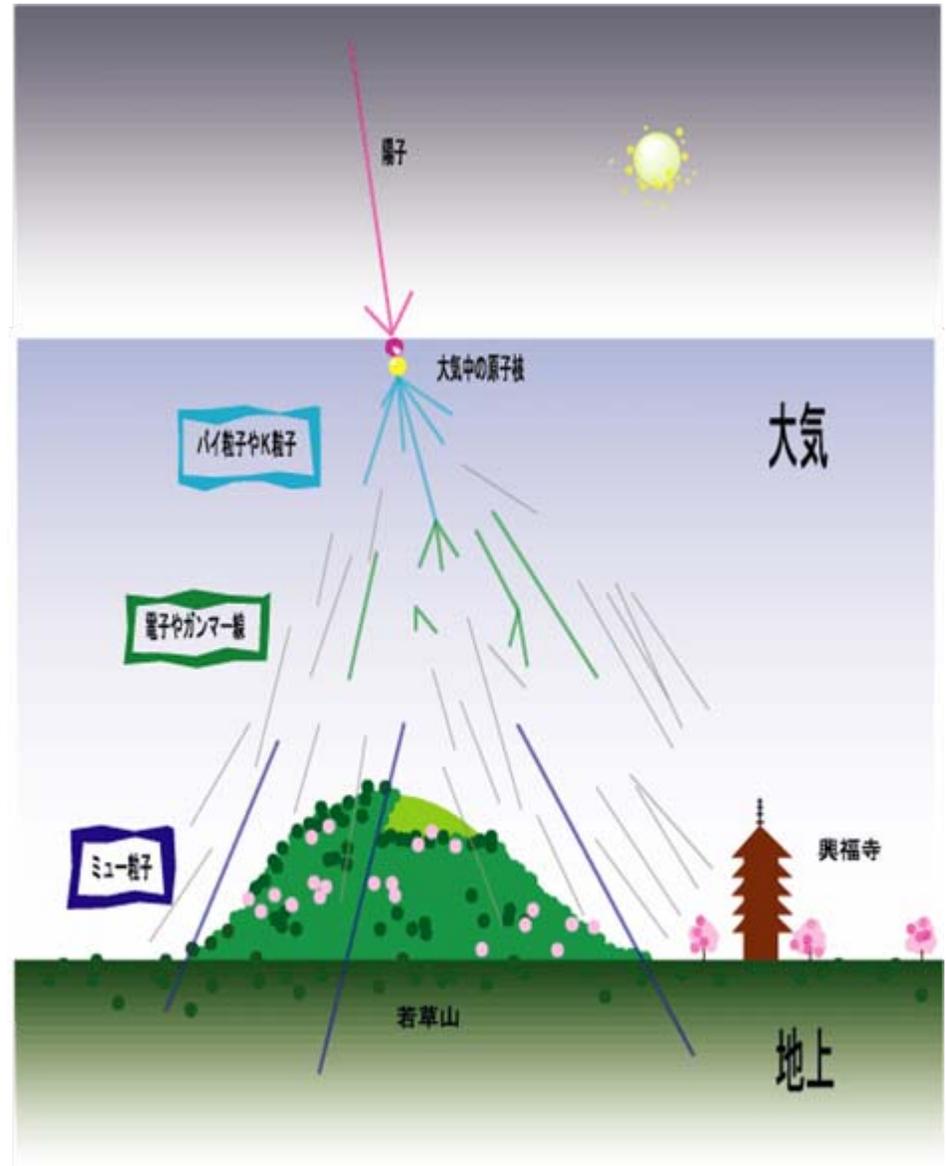


- 1、実験目的、課題
- 2、 μ 粒子について
- 3、原理
- 4、セットアップ
- 5、測定について
- 6、データ収集
- 7、解析

実験課題

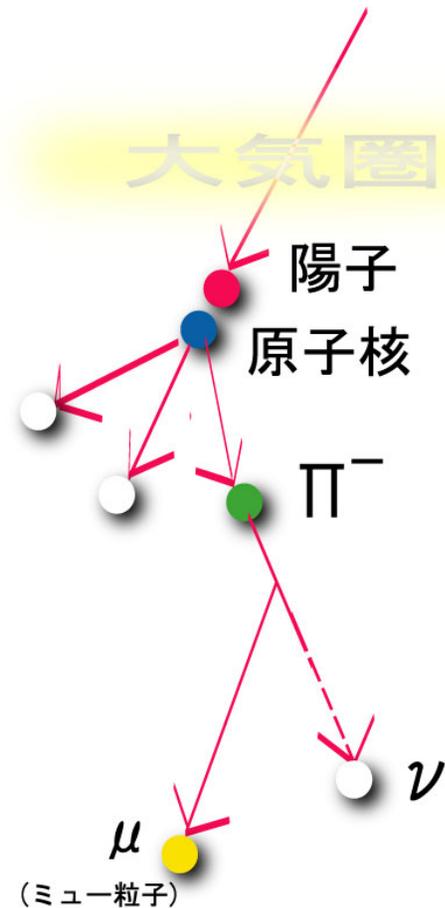
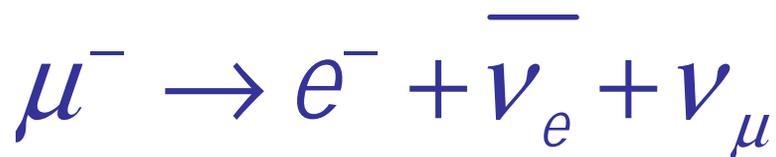
宇宙から降り注ぐ宇宙線のうちほとんどは
 μ 粒子となる

本実験ではFADCを用いてCsIシンチレーション内で崩壊する μ 粒子のシンチレーション光の波形を測定することにより
 μ 粒子の寿命を測定する。



宇宙線・ μ 粒子について

- 宇宙線のうち1次宇宙線はほとんどが陽子
- 地表にくる2次宇宙線のほとんどは μ 粒子
- 質量 105.6 MeV/C²
- 寿命 2.2 μ sec
- 崩壊モード



μ 粒子の崩壊の式

- 右の式はある時刻から t 秒後に崩壊しないでのこっている μ 粒子の数
- 今回の実験の最終目的はこの τ (ミュー粒子の寿命) を求めることである。

ある時刻から t 秒後に
崩壊しないでのこっている粒子 $N(t)$

$$N(t) = N_0 e^{-t/\tau}$$

t : 時間
 τ : μ の寿命

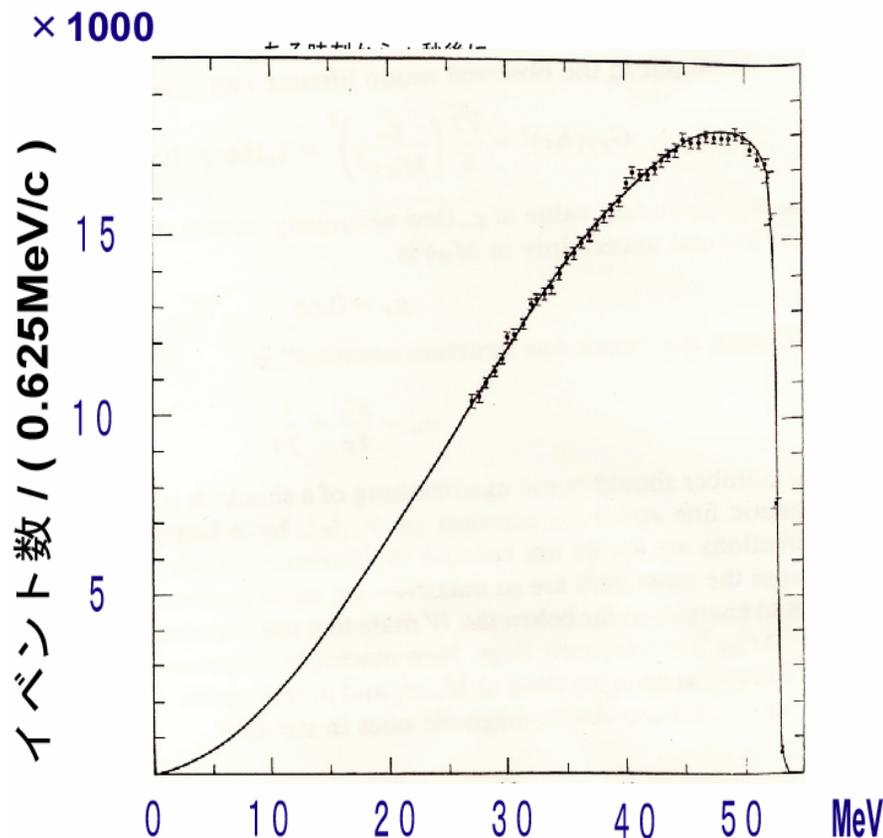
エネルギー損失について

- 右の図は静止系での μ 粒子から生成された電子のエネルギーロスの図
- シンチレーター(6cm)を通過する際にロスするエネルギー分布は以下のように計算できる

μ 粒子がCsIシンチレーターを通過するときの最小イオン損失は5.6MeV/cm

今、CsIシンチレーターは厚さが6cmなのでエネルギーロスは

$$5.2 \times 6 = 33.6 \text{ MeV} \text{ となる}$$



実験のおおまかな流れ

- μ 粒子の崩壊と思われるもののシンチレーション光の波形を測定
- 波形をFitすることによって μ 粒子が停止し、崩壊するまでの時間を数値化
- その数値をグラフにし、 μ 粒子の寿命を算出する。

エレクトロニクス配線図

シンチレーター: 入射粒子のエネルギーを光にかえる

光電子増倍管: シンチレーション光を電気信号に変え増幅する

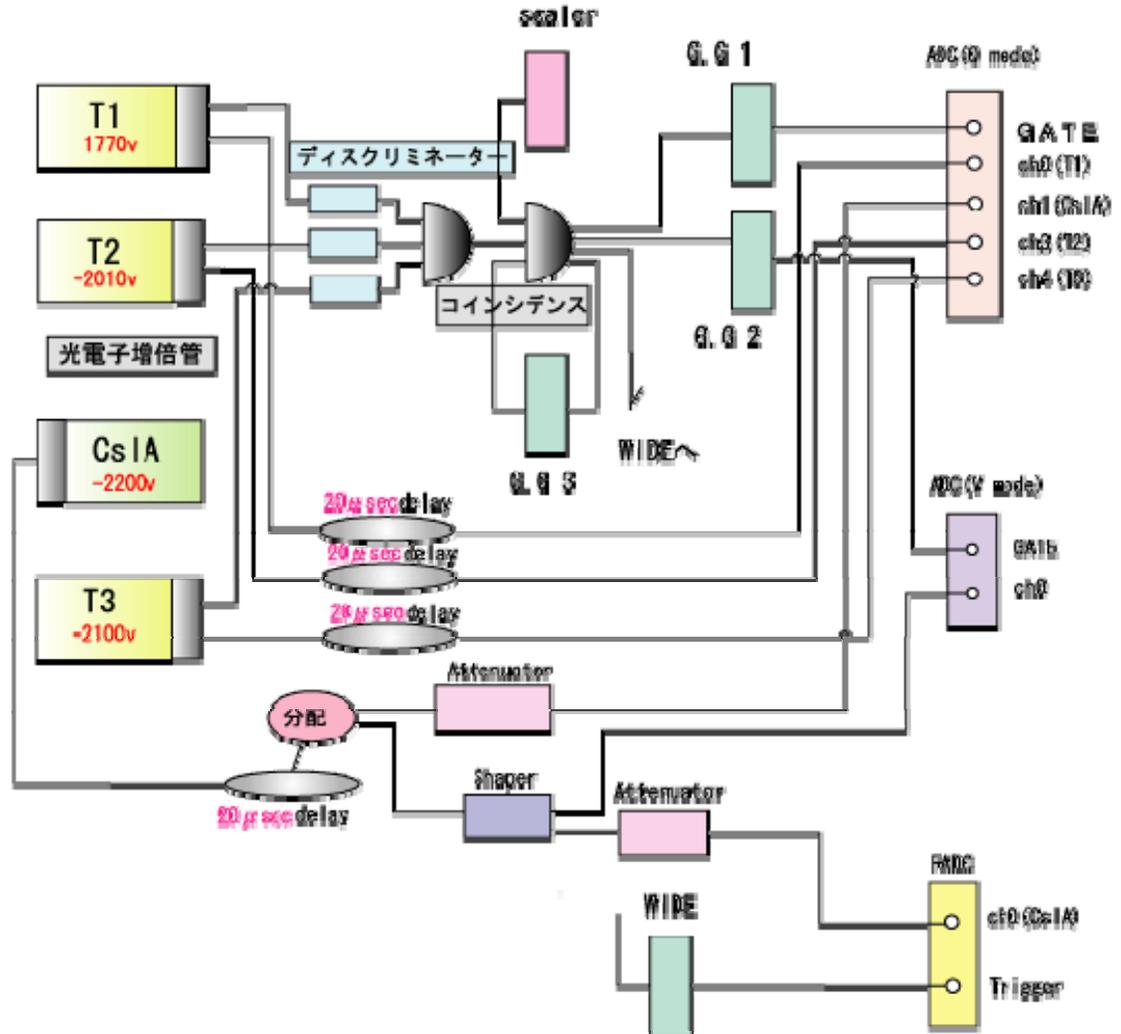
ディスクリミネーター: 設定した値より大きいシグナルがきたとき、決められたパルスを出す

コインシデンス: T1T2が同時にHitした時に信号を出す

G.G(ゲートジェネレーター): 入力された信号のパルス幅を変えたりDelayさせたりする

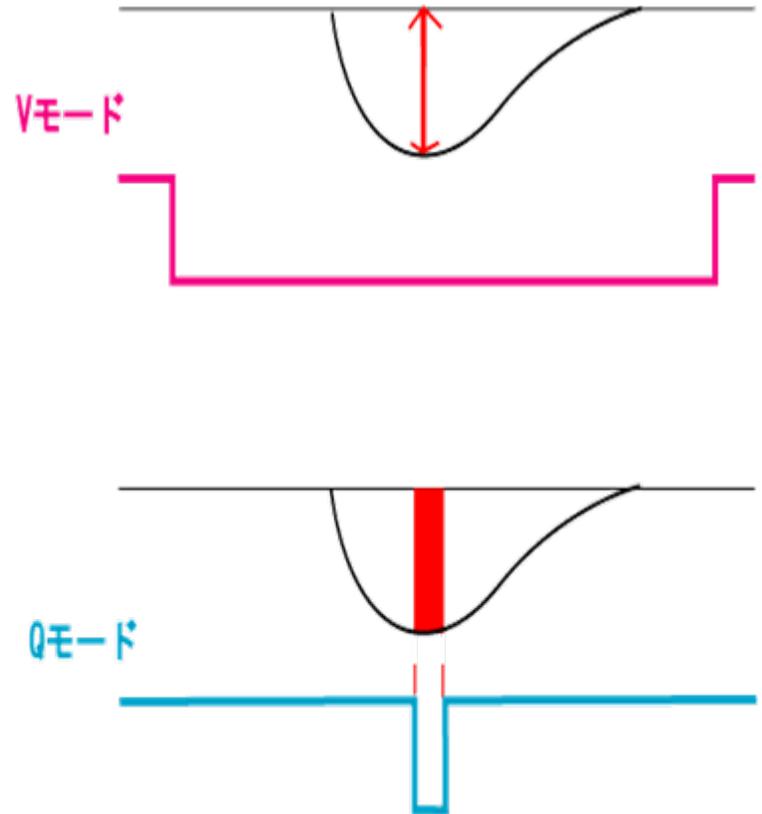
シェイパー: FADCが読みやすいように波形整形をする

アテニューエーター: 入力信号を減衰する



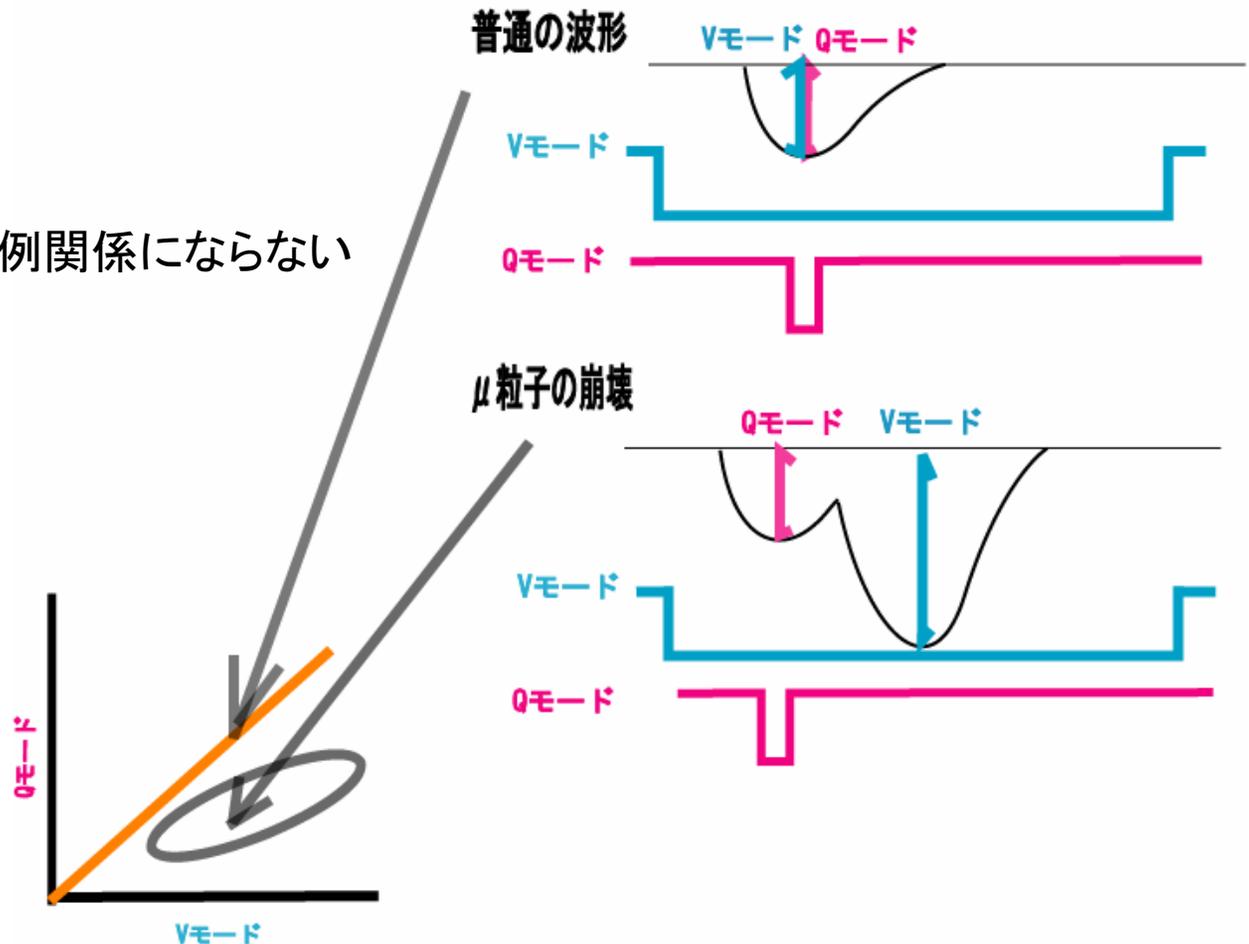
読み出す情報

- ADCについて(Qモード、Vモード)
CsIシンチレーター内で崩壊した μ 粒子は、Qモード、Vモードで数値化して解析を行う。
- Vモード(ピークホールド型ADC)
Gateパルス内の信号の中で、最も大きい電圧の値を測定できるモード。
- Qモード(電荷積分型ADC)
Gateパルス内の電圧の信号を時間積分するモード。



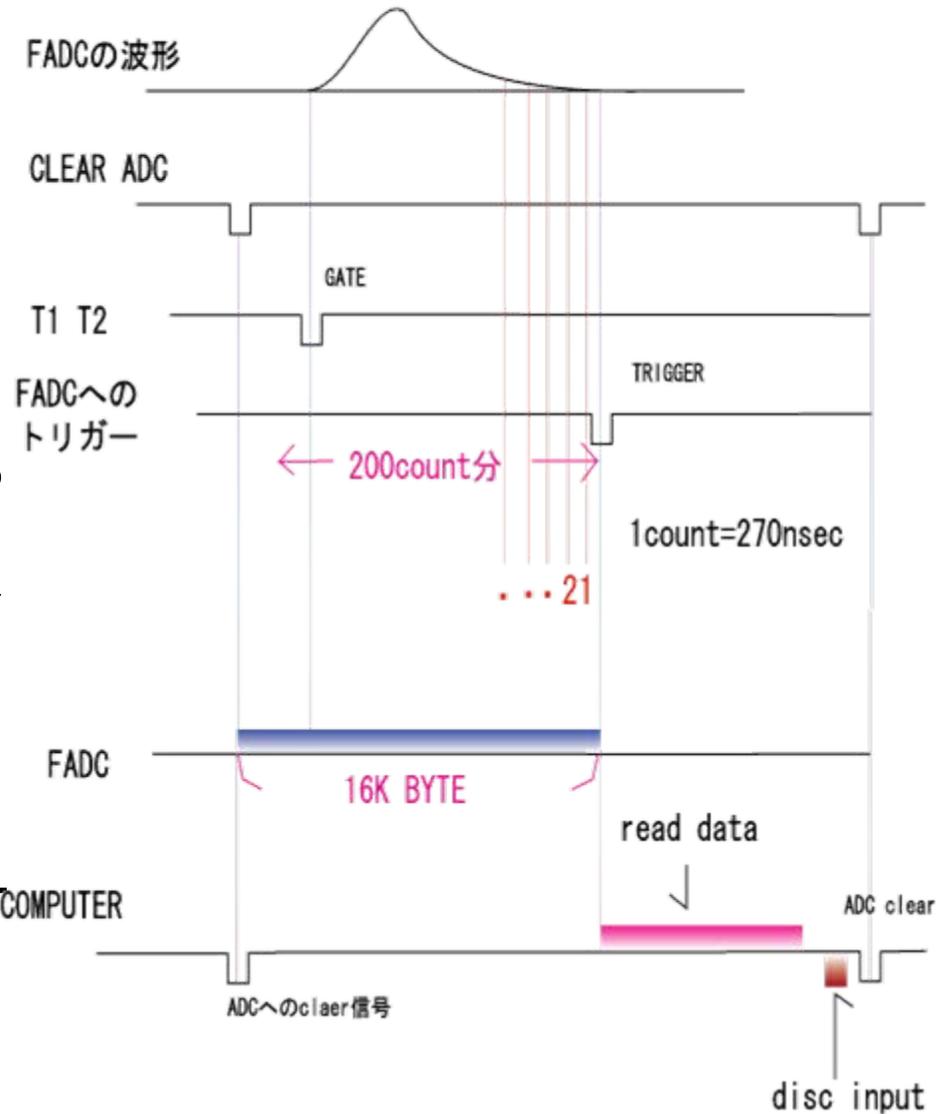
Qモード、Vモードで測る μ 粒子の崩壊

- μ 粒子が通過した時のエネルギー損失はQモード、Vモードで比例関係になる
- μ 粒子の崩壊の場合Qモード、Vモードは比例関係にならない

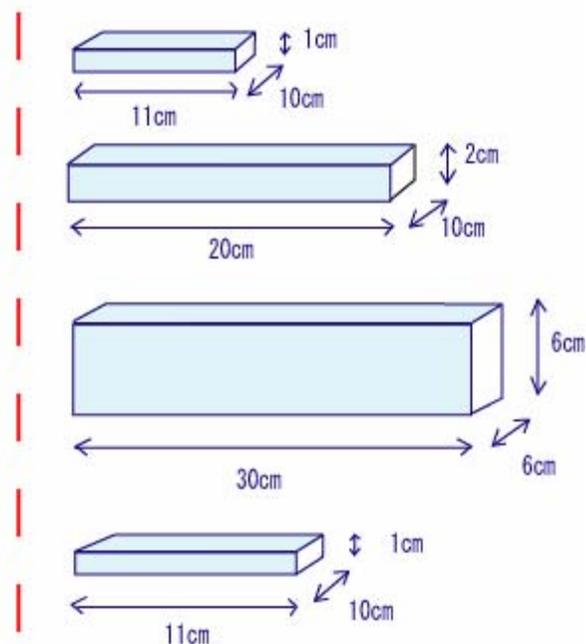
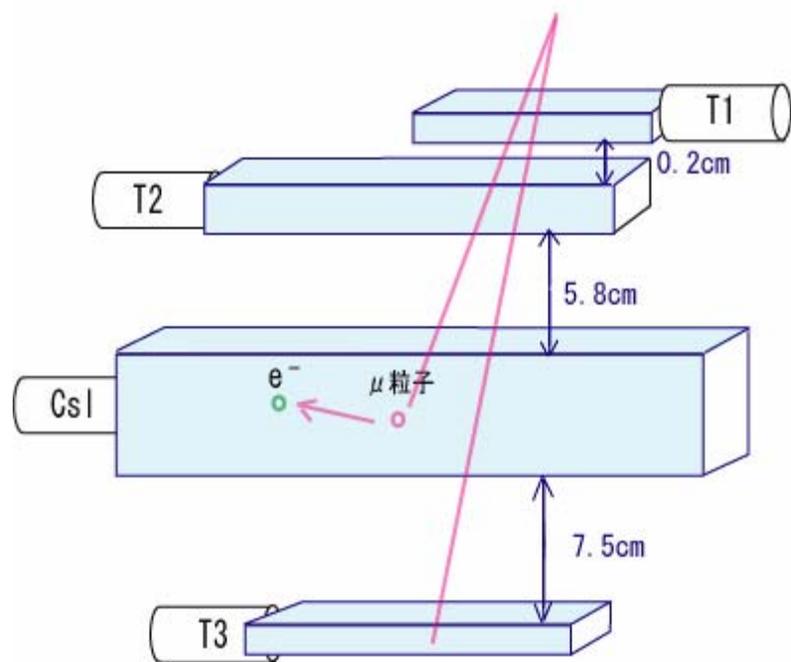


FADCについて

- FADCは時間ごとに波形を測定する
- 今回、1プロットが一番小さい値である、270nsecに設定した。波形の終わったところからさかのぼり、後ろか270nsecごとにシグナルの高さをプロットしていく。
- FADCにはSTARTモードとSTOPモードがある。今回はSTOPモードを使用。

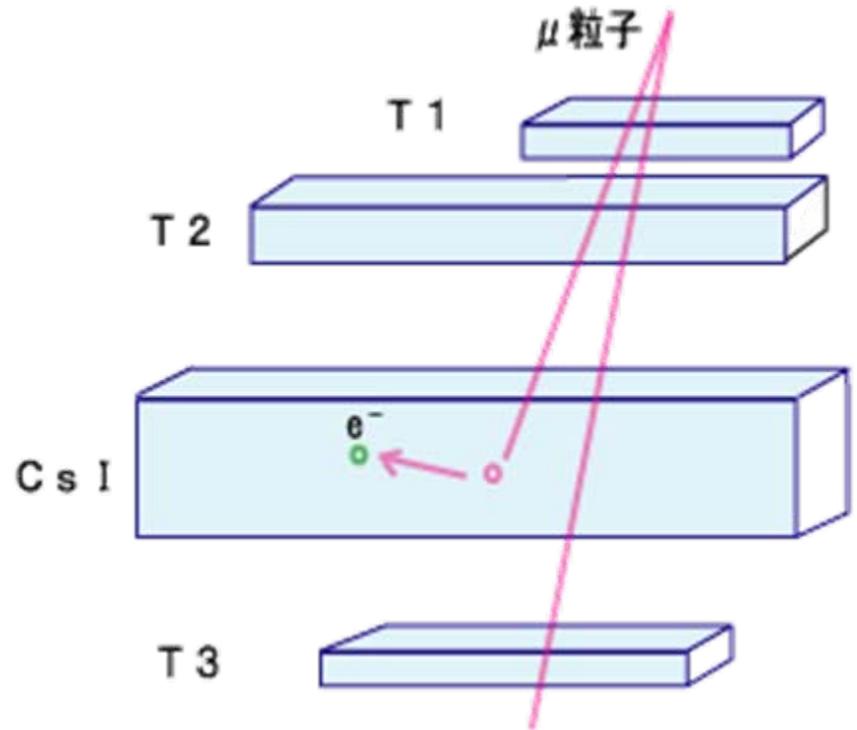


シンチレーションカウンターのセットアップ



トリガーによる反応の選別について

- T1、T2、T3はプラスチックシンチレーター
- 今回の実験ではトリガーをT1T2とした
- T1T2にHITし、かつT3を通過しない粒子が崩壊したミュオンである可能性が高い
- トリガーは必要な信号のみを取り出す役目をする



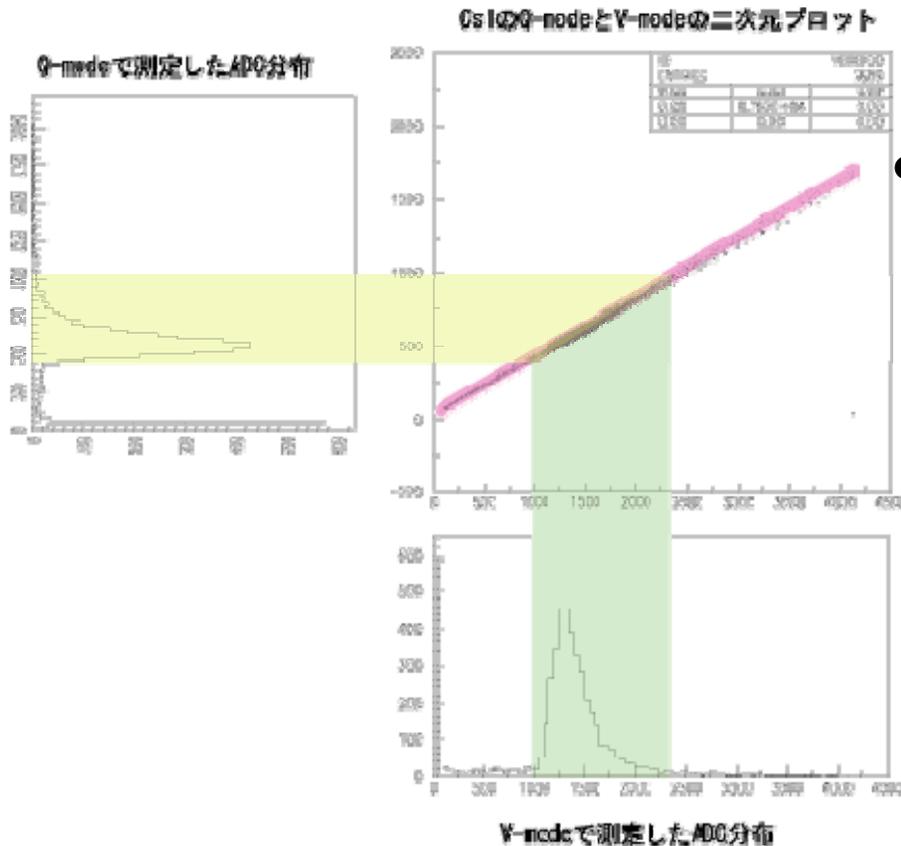
- T1、T2、T3はプラスチックシンチレーター
- CsIはタリウムを含むCsI結晶のシンチレーター

エレクトロニクスの設定

◆ HV、Threshold、ペDESTALの設定値

	HV(v)	Threshold(mv)	ペDESTAL (ADC count)
T1	-1770	200	36
T2	-2010	400	17
T3	-2100	200	21
CsI	-2200		51

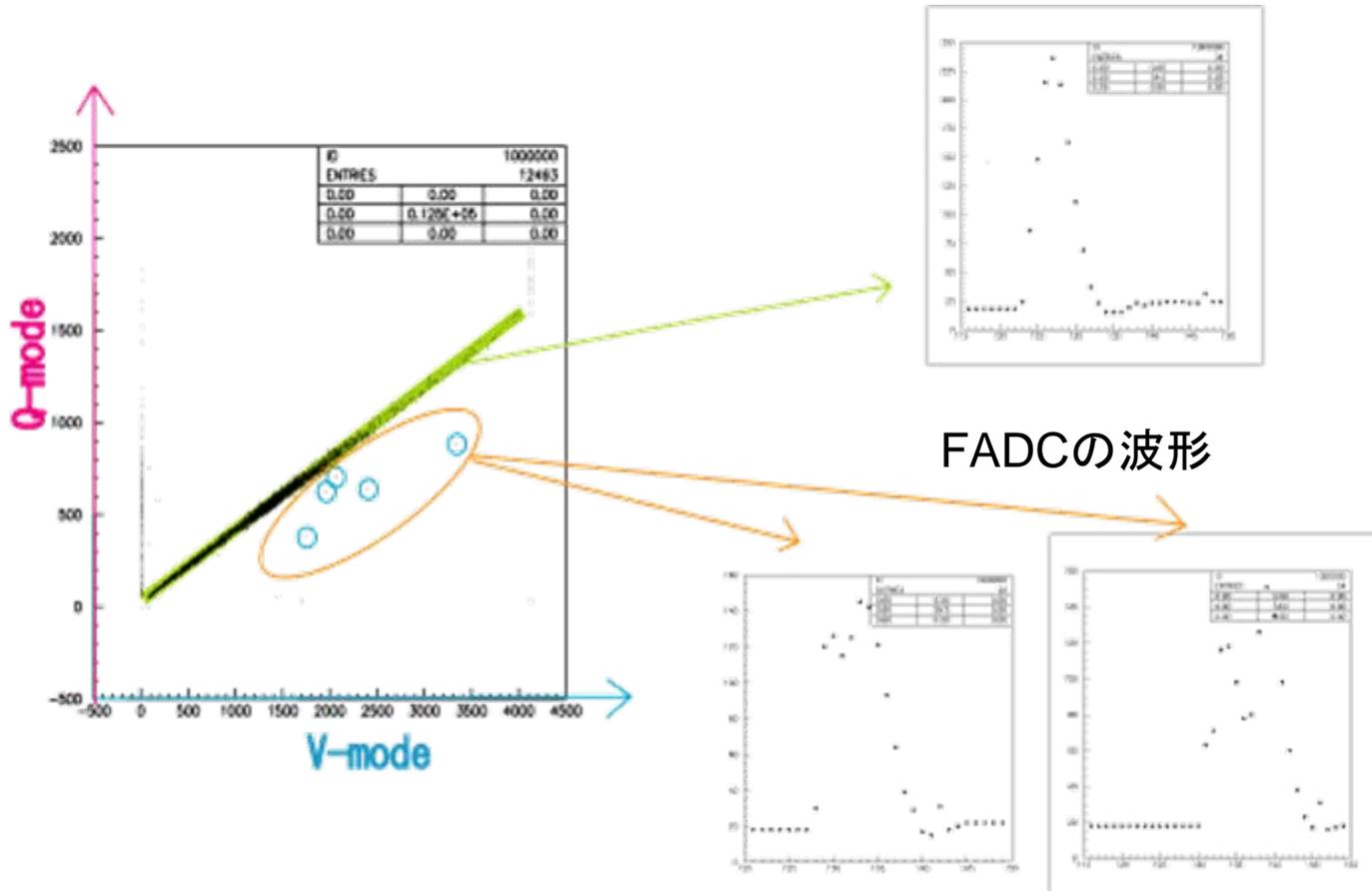
T1, T2, T3のトリガーをONにして測定したときの QモードとVモードの二次元プロットの様子



- Q-modeとV-modeのADC分布は比例している。

データ

- T1,T2をonにし、T3をoffにして測定
- 縦軸Qモード、横軸Vモード
- 普通の波だと比例するはず
- この比例から外れたものが μ 粒子の崩壊の反応の可能性が高い
- 比例関係から外れたイベントについて一つずつ調べていく



一つ山のFITについて

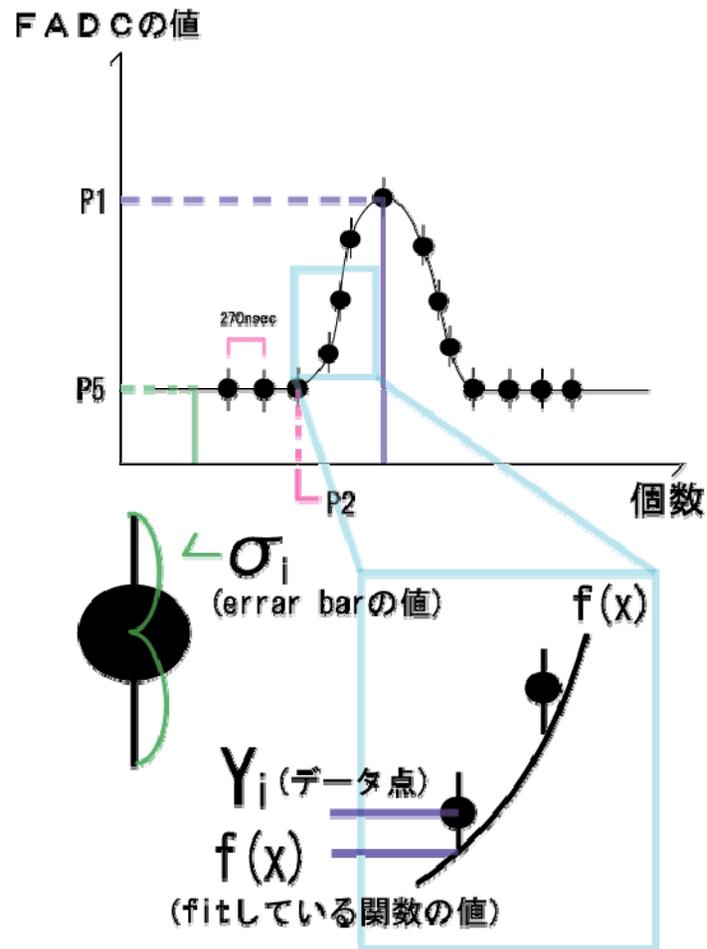
$$f(x) = P1 \frac{\left(\frac{x - P2}{P3}\right)^n}{(n-1)!} \exp\left(-\frac{x-P2}{P3}\right) + P5$$

- P1 : 高さ
- P2 : はじまりの点
- P3 : $n \times P3 \times 270\text{nsec} =$ 立ち上がりの時間
波形の形を決める値
- P5 : ペDESTALの値

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - f(x))^2}{\sigma_i^2}$$

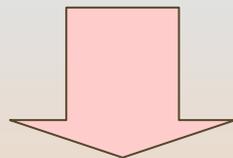
$$\text{NDF} = n - n_{\text{parameter}}$$

(点の数) (パラメーターの数)



FITする関数のnの値

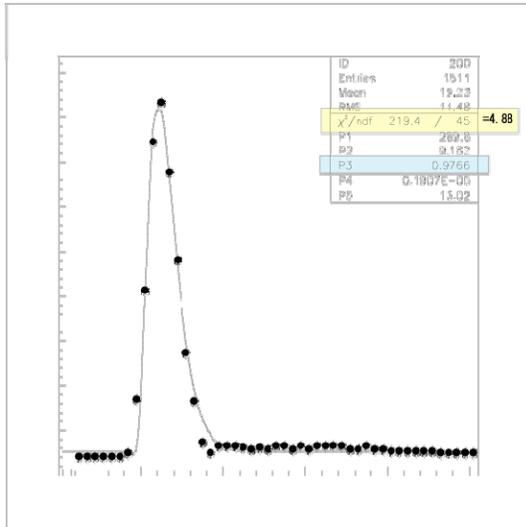
$\chi^2 / \text{NDF} \approx 1$ のとき、FITがよくできている



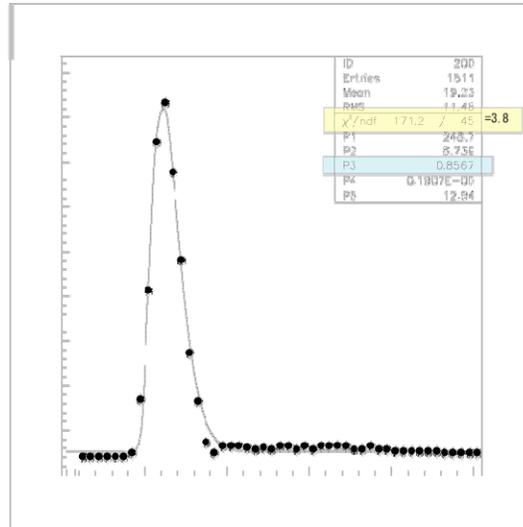
n=3, 4, 5, 6を代入して、CHISQUA
REが小さいときのnの値にする



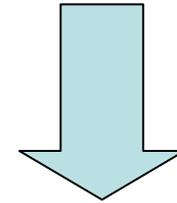
n=3



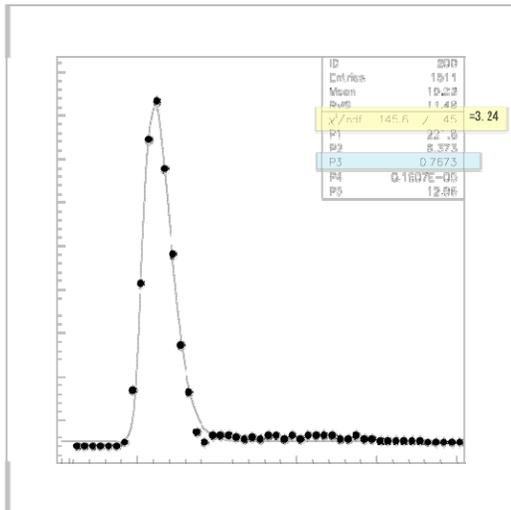
n=4



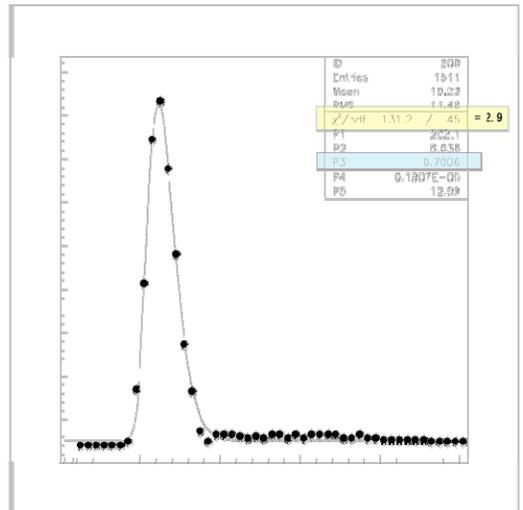
0127ev2の波形をnの値を変えてFIT



n=5



n=6



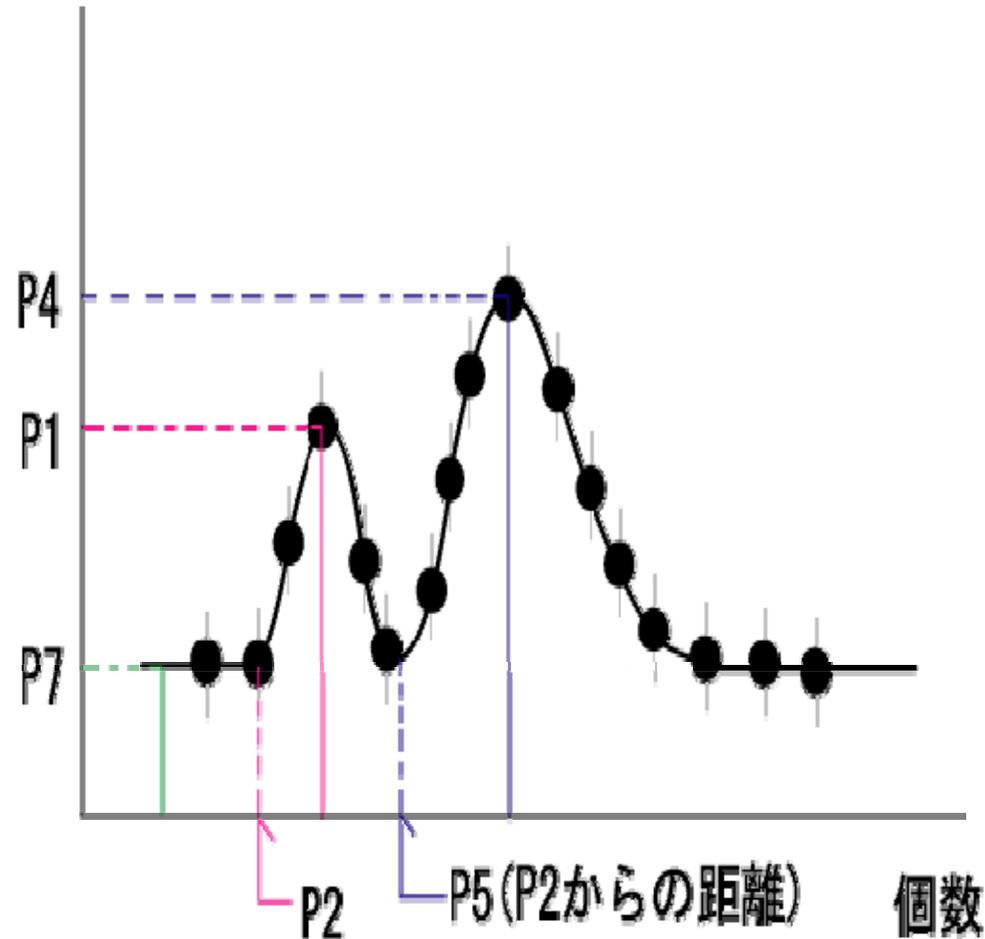
n=6に決定

二つ山のFIT

n=6を代入

$$f(x) = P1 \frac{\left(\frac{x - P2}{P3}\right)^6}{(5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2)!} \exp\left(-\frac{x - P2}{P3}\right) + P4 \frac{\left(\frac{x - P'5}{P6}\right)^6}{(5 \cdot 4 \cdot 3 \cdot 2)!} \exp\left(-\frac{x - P'5}{P6}\right) + P7$$

FADCの値

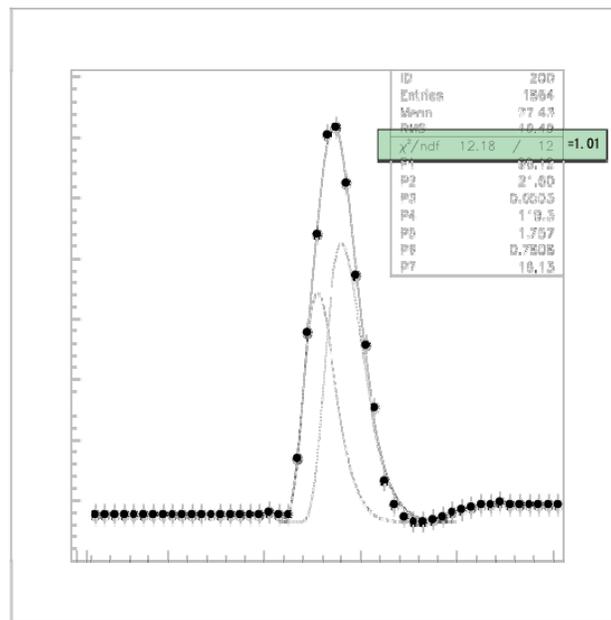
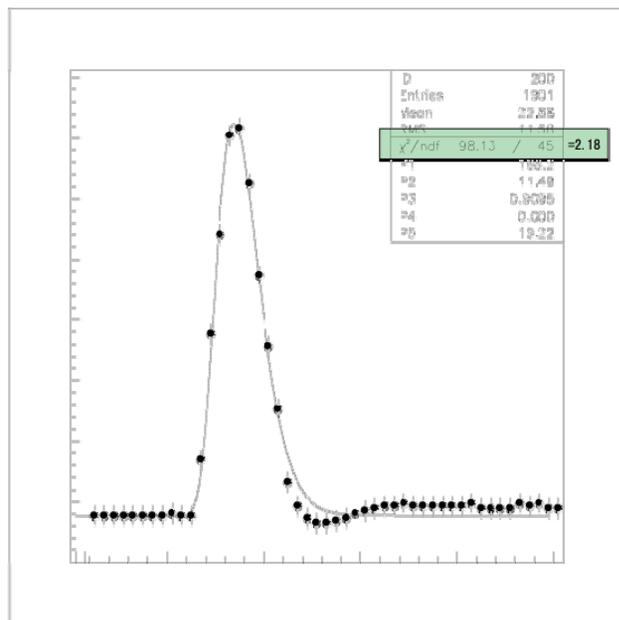


μ 粒子の式
 P1 : 高さ
 P2 : はじまりの点
 P3 : 波形の形を決める値

電子の式
 P4 : 高さ
 P'5 : はじまりの点
 P'5 = P2 + P5 (P5はP2からの距離)
 P6 : 波形の形を決める値

P7 : ペDESTALの値

比例関係から外れた点で、目で見えてひとつ山にし か見えない波形についての選別



例:0228ev1598について

CHISQUAREの値を比べて、二つ山FITの方が小さかったら μ 粒子の崩壊の波形とする。

全データ

- 総数 221046 イベント
- QモードVモードの比例関係から外れていたイベント 73 イベント
- μ 粒子の崩壊と思われる反応 52 イベント

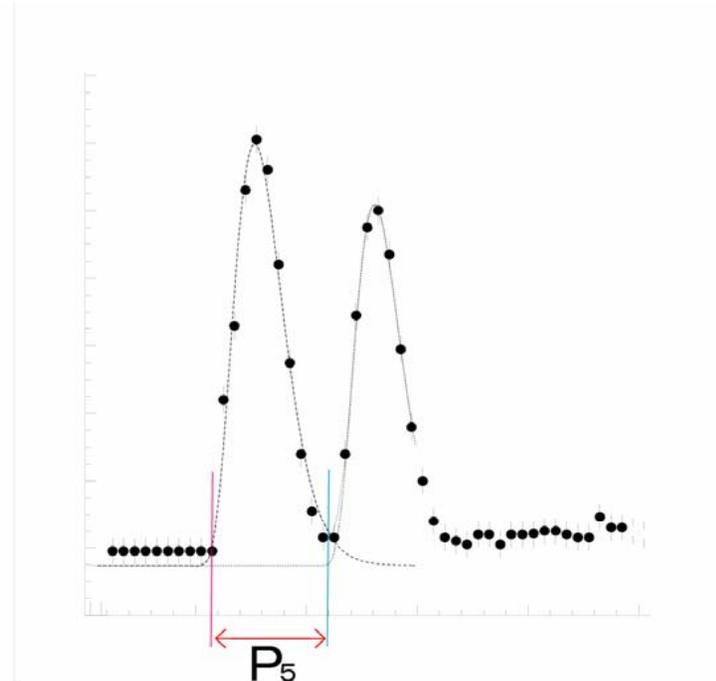


- 52イベントについてはP5の値を調べることによって寿命を出す。
- この寿命は

$$N = N_0 e^{-t/\tau}$$

t: 時間
 τ : μ の寿命

という式に従って崩壊するのでP5の値をグラフにするとこの式の形のグラフになることが予想される



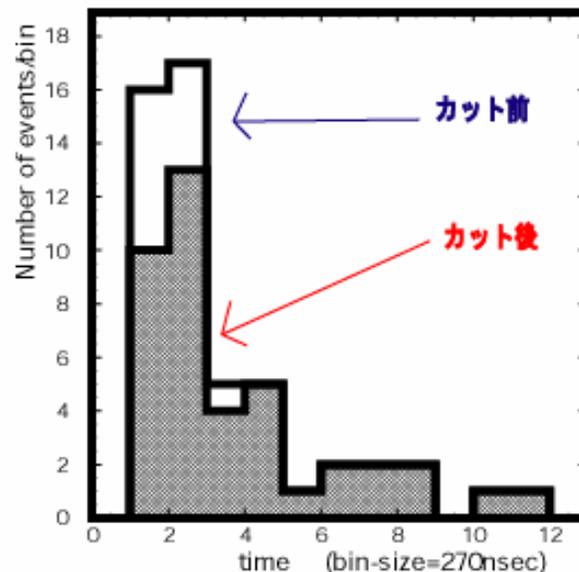
1 カウントは270nsecなので

$$P_5 \times 270\text{nsec} = \text{そのイベントの} \mu \text{ 粒子の寿命}$$

(一般的に μ 粒子の寿命は式中の τ のこと)

μ 粒子の寿命イベントの選別

- Fit してだしたP5の値をヒストグラムにした
- 縦軸がbin数、横軸がP5の値(時間)
- 普通の一つ山の波形なのか、 μ 粒子の崩壊が早すぎて1つの山にみえるのか見た目では判別できななのでCHISQUAREで判断した



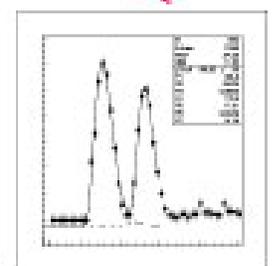
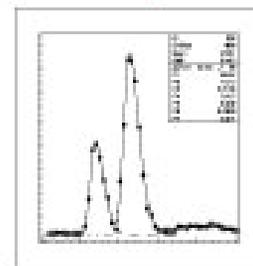
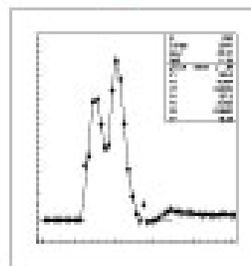
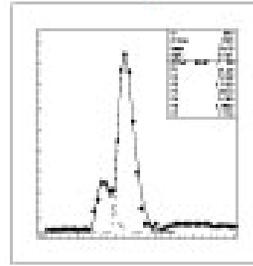
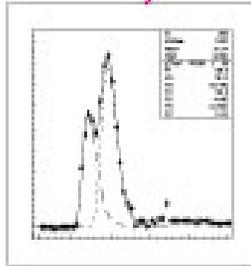
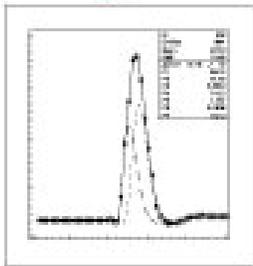
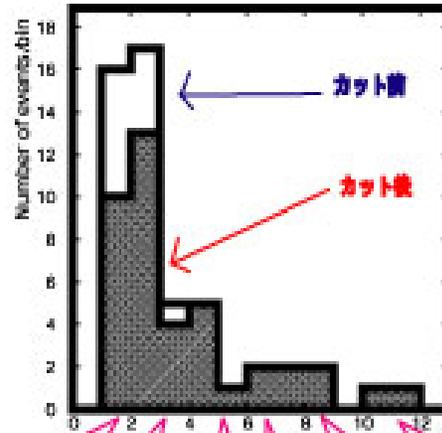
カットの条件

$$X_1 - 1 < X_2$$

X : 1つ山用のFIT関数でFitしたときのCHISQUARE

X : 1つ山用のFIT関数でFitしたときのCHISQUARE

P5の値別の代表的な波形



μ 粒子の寿命の算出

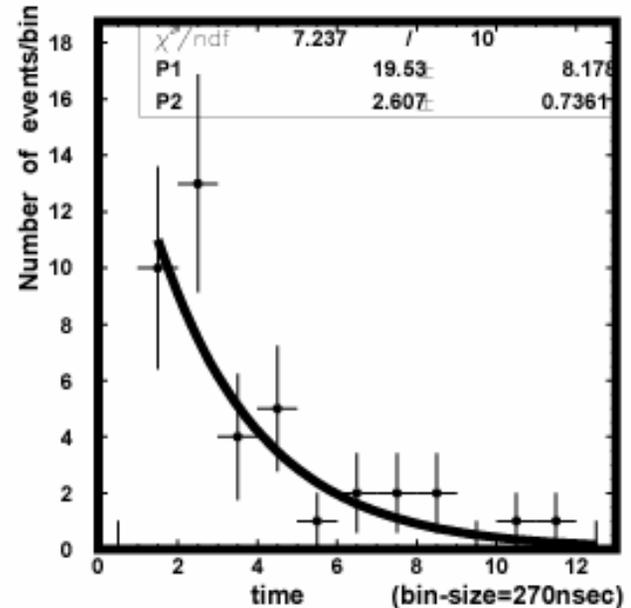
- μ 粒子は

$$P_1 e^{-\frac{x}{P_2}}$$

- に従って崩壊していくので
- μ 粒子の寿命のFitはこの関数を使う。
- このときのa2の値が寿命に対応しており

$$\text{muon life} = P_2 \times 270 \text{nsec}$$

- の式で μ 粒子の寿命が算出できる
- 寿命が短くなってしまったのは、timeの1~3の部分が多いためとかんがえられる。
- 原因としては
- 一つ山が二つ山かの判別が難しいため、一つ山のものを2つ山としてFITしてしまっていると考えられる。



$$P_2 \quad 2.607 \times 270 = 704 \text{nsec}$$

Error

$$\begin{aligned} -0.60 \times 270 \text{nsec} &= -162 \text{nsec} \\ 1.21 \times 270 \text{nsec} &= 327 \text{nsec} \end{aligned}$$

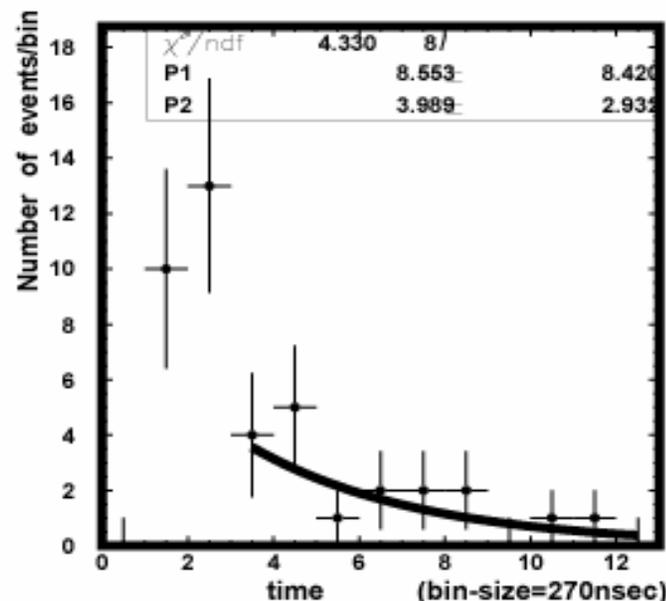
$$\text{寿命} : 704 \begin{matrix} -162 \\ +327 \end{matrix} \text{ nsec}$$

P5の値をカットした場合の μ 粒子の寿命算出

- 実際より多めに数えている可能性のある、P5の値が1~3までのbin数を省いてFitした
- μ 粒子の寿命は

1077⁻⁴⁶⁴₊₁₁₂₀ nsec

という、近い値がでた。



P₂

$$3.989 \times 270\text{nsec} = 1077\text{nsec}$$

Error

$$-1.72 \times 270\text{nsec} = -464\text{nsec}$$

$$4.149 \times 270\text{nsec} = 1120\text{nsec}$$

寿命 : 1077⁻⁴⁶⁴₊₁₁₂₀ nsec

まとめ

- ❁ 最初の2binのイベントは2山と1山の判別の測定の精度が十分でないと予想される
- ❁ 3bin目以降でFitすることと、より統計をあげるることにより、より精度の高い値が測定できると予想される



今後の課題

- STOPモードをやめSTARTモードにすることによって、同じ時間で測定できる数を増やす。
- 2つ山と1つ山の判別の精度を上げる。
- より多くのイベントをとることにより、精度をあげる。