## 光電子増倍管と シンチレータを用いた ミューオンの寿命測定

 Spring School 2023
 超高エネルギー宇宙線

 ウィンダ ジョセイン
 岡 明香里
 西田 優杜
 文川 優蘭
 和田 真優



-目的

-原理



-測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察



-まとめ







-目的





#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察



-まとめ





# To measure the lifetime of muon



-目的

-原理



#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察



-まとめ





## Who "discovered" muon?



Carl David Anderson



Seth Neddermeyer

## Cosmic ray : High energy particle coming isotopically from universe

Atmosphere



The cosmic ray

#### The equation of pion decay



(a)

(a) Feynman diagram for decay of positive pion

(b)

(b) Feynman diagram for decay of negative pion



## Lifetime of muon

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

Time required for the number of particles to decrease to 1/e of the original particles

N = number of muon

 $N_0$  = normalization constant

t = time

 $\tau_{\mu}$ = muon lifetime

# To measure the lifetime of muon



-目的

-原理

-実験装置

#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果·考察



-まとめ





## <u>使用したシンチレータと光電子増倍管</u>





有機シンチレータ (プラスチックシンチレータ) 蛍光剤(p-ターフェニル[C18H14]) を混ぜたプラスチック素材



## 荷電粒子が通過するとシンチレーション光 (~420nm)を放射(300個/1cm 程度の光子)









-目的





#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察



-まとめ







#### <u>シンチレーション検出器を3枚重ね、</u> <u>それぞれのPMTからの信号を測定する。</u>









## 実際の測定の様子











ミューオン寿命測定 ブロックダイアグラム







## ディスクリミネータで閾値設定



## Coin.

環境放射線や暗電流による余計なノイズを少し でも無くすため「-50mV程度」に設定

## <u>TDC</u>





## ADC

## TDC

[]	1100ns	-194. 00ns	S		▶Trig´d			98%	
12									
4					· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·		· · · · ] · · · ·		
			UV.				n n n n n n n n n n n n n n n n n n n	~~~~	
	A: 1	Maximum	· · · · · · · · //. · ·	29. 5mV					
	B: 1 C: Off D: 4	Minimum Maximum		-814mV 77.5mV Edge	7. (	DC	; -2'	76m¥	
le	1: 200 DC50Ω ΔV eCroy	mV 2: DC5 _637mV∆V	<mark>500mV</mark> 50Ω -1.59\ f:49.323	<mark>3:20.0mV</mark> DC50Ω /ΔV -63. 5Hz 500M	<mark>4: 2.0</mark> DC50Ω .7mVΔV S 500 poir	0V -6. 37V its	RTC:2023	3/03/0 <u>9</u>	11:59: <u>13</u>





-目的

-原理



#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察



-まとめ









我々の測定(スプリングスクール) 測定期間:約2日 全事象数:約18万event

#### それぞれについてミューオンの寿命を求めた

#### ADCのcharge分布

-上中下シンチのcharge分布を比較

- ミューオン突き抜け時のcharge分布はLandau分布に従う



ADCのcharge分布

事前測定





我々の測定



Landau分布に従う→ミューオンは上シンチを突き抜ける

ADCのcharge分布

中シンチ



事前測定

我々の測定



charge>0→ミューオンが通っている

![](_page_30_Figure_0.jpeg)

![](_page_31_Picture_0.jpeg)

**Decay time** 

![](_page_31_Figure_2.jpeg)

• 測定期間:約10日間

- •全事象数:約10<sup>6</sup>event
- •解析時のセレクション: 上1回&中2回&下0回

![](_page_31_Figure_6.jpeg)

図右上のN,tau,constはFitで得られた値

![](_page_32_Picture_0.jpeg)

Decay time

理論的に予想される τ の値は 2.12±0.05µs

104 Entries 18822 2455 Mean Std Dev 5123 測定から得られたτの値は 10<sup>3</sup>  $\chi^2$  / ndf 265.8 / 239  $406.9 \pm 13.3$ N  $2.02 \pm 0.04 \ \mu s$ 2019 ± 43.9 tau event count 0.331 - 0.203 10<sup>2</sup> CONSU 誤差は1σ程度に収まっている! 10 事象数Nと寿命ての関係式 10-1 5000 10000 15000 20000 25000 30000  $N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} = N_0 exp$ decay time[ns]

## <u>得られたグラフに対する考察</u>

![](_page_33_Figure_1.jpeg)

#### 1. 偶発的な信号はどれくらいあるか?

#### 2.グラフ左端のピークは何者?

![](_page_34_Picture_0.jpeg)

#### <u>1.偶発事象がどれくらいあるか?</u>

偶発事象:複数の独立な信号が偶然コインシデンスの条件 を満たし、カウントされる事象

これが多いと、測定で得られたデータも偶然そうなったと解釈出来てしまう。

![](_page_34_Figure_4.jpeg)

![](_page_35_Picture_0.jpeg)

<u>1.偶発事象がどれくらいあるか?</u>

得られたデータは、 測定期間10<sup>6</sup>s(約10日間)で約10<sup>6</sup> event →<u>1秒当たり1event</u>

偶発事象の頻度は大体、 100Hz×100Hz×100ns = 10<sup>-3</sup>Hz →<u>1秒当たり0.001event</u>

→偶発事象は全データの中に1/1000程度しかいない!

	Entries	999175	
	Mean	18.62	
	Std Dev	16.96	
	$\chi^2$ / ndf	5524 / 71	
	Prob	0	
	Constant	1.85e+05 ± 3.18e+02 9.199 ± 0.006	
	MPV		
	Sigma	2.483 ± 0.004	

事前測定の結果

#### Decay time

![](_page_36_Figure_2.jpeg)

### 左端のピークは何者?

![](_page_37_Picture_0.jpeg)

![](_page_37_Picture_1.jpeg)

<我々の測定>

![](_page_37_Figure_3.jpeg)

アフターパルスが測定された

![](_page_38_Picture_0.jpeg)

PMT内で生じる粒子によって疑似的な信号が観測されること

![](_page_38_Figure_2.jpeg)

- この部分での弾性散乱電子
   ⇒電子が光電面にが入り、早い ピークに
- PMT内の残留気体(*N*<sub>2</sub>や*O*<sub>2</sub>など)

⇒イオン化した粒子が光電面に 戻り、遅いピークに

## アフターパルスとは?

PMT内で生じる粒子によって疑似的な信号が観測されること

![](_page_39_Figure_2.jpeg)

- この部分での弾性散乱電子
   ⇒電子が光電面に入り、早い ピークに
- PMT内の残留気体(*N*<sub>2</sub>や*O*<sub>2</sub>など)

⇒イオン化した粒子が光電面に 戻り、遅いピークに

![](_page_40_Picture_0.jpeg)

PMT内で生じる粒子によって疑似的な信号が観測されること

![](_page_40_Figure_2.jpeg)

- この部分での弾性散乱電子
   ⇒電子が光電面に入り、早い
   ピークに
- PMT内の残留気体(*N*<sub>2</sub>や*O*<sub>2</sub>など)
- ⇒イオン化した粒子が光電面に 戻り、遅いピークに

## アフターパルスとは?

PMT内で生じる粒子によって疑似的な信号が観測されること

![](_page_41_Figure_2.jpeg)

- この部分での弾性散乱電子
   ⇒電子が光電面に入り、早い
   ピークに
- PMT内の残留気体(*N*<sub>2</sub>や*O*<sub>2</sub>など)
- ⇒イオン化した粒子が光電面に 戻り、遅いピークに

![](_page_41_Picture_6.jpeg)

アフターパルスの様子

<事前観測>

<我々の測定>

![](_page_42_Figure_3.jpeg)

![](_page_43_Figure_0.jpeg)

![](_page_44_Figure_0.jpeg)

![](_page_45_Picture_0.jpeg)

電圧を10%高くするとtは0.95倍程度の大きさになるはず

<事前観測>

<電圧を大きくした測定>

![](_page_45_Figure_4.jpeg)

![](_page_46_Picture_0.jpeg)

<事前観測>

<電圧を大きくした測定>

![](_page_46_Figure_3.jpeg)

どの観測結果でもピークが存在⇔位置が変わっていない

荷電粒子によるピークではない

![](_page_47_Picture_0.jpeg)

#### Decay time

![](_page_47_Figure_2.jpeg)

• 測定期間:約2日

• 全事象数:約18万event • 上1回、中2回、下0回

寿命  $\tau$  の値は、  $\tau = 1.42 \pm 0.24 \,\mu s$ 

理論値と大幅にずれている。 (理論値は 2.12 ± 0.05 µs)

この原因は、図右側のデー タが0か1ばかりで、<u>Gauss</u> <u>分布とみなせない</u>からだと 考えられる。

## 我々の測定の結果(bin数を下げた)

![](_page_48_Figure_1.jpeg)

bin数を500→30に減らして、 FittingがGauss分布になる ようにした。

寿命 τ は2.016±0.133 μsと、 理論値と無矛盾な値が得られ た。 (理論値は2.12±0.05μs)

## ミューオンの寿命の測定に成功した!!

![](_page_50_Picture_0.jpeg)

-目的

-原理

-実験装置

#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察

-今後の展望

-まとめ

![](_page_50_Picture_8.jpeg)

![](_page_50_Picture_9.jpeg)

ミューオン崩壊時のエネルギー分布

-中シンチのエネルギー較正をしたい

#### →ミューオンが全てのシンチを突き抜けたときを記録

![](_page_51_Picture_3.jpeg)

![](_page_51_Picture_4.jpeg)

エネルギー較正用の測定条件

ミューオン崩壊時のエネルギー分布

-ミューオン崩壊時のエネルギーの分布(Gauss分布)を見たい

#### →中シンチをできるだけ薄くする

![](_page_52_Figure_3.jpeg)

![](_page_53_Picture_0.jpeg)

![](_page_53_Picture_1.jpeg)

## ミューオンの寿命:2.197±0.0000022µs 測定結果: 2.016 ± 0.133µs -μ<sup>-</sup>の<u>原子核捕獲</u>の影響 $\nu_{\mu}$ $\mu^- + p \rightarrow n +$ →磁場によってµ+とµ-に分けて測定 $\mu^-$ の見かけの寿命 $\tau_ \frac{\tau_{decay}\tau_{absorp}}{\tau_{decay}+\tau_{absorp}} < \tau_{decay}$ $\tau_{decay}$ :平均寿命、 $dt/\tau_{absorp}$ : $\mu^{-}$ がdt時間に吸収される割合

![](_page_54_Picture_0.jpeg)

-目的

-原理

-実験装置

#### -測定方法・セットアップ

#### -測定結果・考察

![](_page_54_Picture_6.jpeg)

-まとめ

![](_page_54_Picture_8.jpeg)

![](_page_54_Picture_9.jpeg)

まとめ

●空気シャワーから検出されるミューオンを測定することが出来た。

- ●ミューオンの寿命の測定が出来た。
  - 2.016±0.133μs(文献値との誤差1.6σ)
- ●アフターパルスの原因について考察した。
- ●ミューオン崩壊時のエネルギー分布がガウス分布になるかどうか を確かめたい。
- ●磁場をかけて実験することでµ⁺とµ⁻を区別して測定したい。

## Thank you very much !!!

![](_page_56_Picture_1.jpeg)

## 以下、発表で使わないスライド

または質問用

## 偶発事象の補足説明

偶発事象:別々の事象が同時に観測されて、それがeventとしてカウントされる

・上と中の2つのシンチレータはそれぞれ約100Hzの信号を発していることをオシロスコープで確認した。

![](_page_58_Figure_3.jpeg)

![](_page_59_Picture_0.jpeg)

![](_page_59_Picture_1.jpeg)

bin数:50

Decay time

![](_page_59_Figure_4.jpeg)

bin数:15

![](_page_59_Figure_6.jpeg)

*τ* [μs]

bin数

![](_page_59_Figure_7.jpeg)

![](_page_59_Figure_8.jpeg)

## <u>回路と解析でのselectionの違い</u>

- ・回路では単にU&M&!Lを取っている
- ・解析ではさらに厳しく、Uに1回、Mに2回、Lに0回のeventのみを 取っている

![](_page_60_Picture_3.jpeg)

例えば、

電子2つがUとMのみ通る事象などが、解析によって削られる。

・特に、今回の測定では0~数10MeV程度のエネルギースケー ルのものが測定されている。

→このエネルギースケールではミューオンより電子の方が多い。

## 事前測定の結果一constな部分について

**Decay time** 

![](_page_61_Figure_2.jpeg)

#### <u>概算</u>赤の長方形の面積 Nev × (bin数) = 2.76 × 500 ≈ 1500 event

![](_page_62_Figure_0.jpeg)

![](_page_63_Picture_0.jpeg)

電圧を10%高くするとtは0.95倍程度の大きさになるはず

<事前観測>

![](_page_63_Figure_3.jpeg)

![](_page_63_Figure_4.jpeg)

![](_page_64_Picture_0.jpeg)

<事前観測>

<電圧を大きくした測定>

![](_page_64_Figure_3.jpeg)

どの観測結果でもピークが存在⇔位置が変わっていない

荷電粒子によるピークではない

## 荷電粒子でないパルス

#### PMTに接続されるケーブルが原因か?

ケーブルの劣化によってケーブル内で電子が反射するように。

⇒5nsにつき1m電子が移動

![](_page_65_Figure_4.jpeg)

180~200 nsのピークは20 mケーブルの劣化が原因?

 $\mu^-$ の見かけの寿命 $\tau_-$ 

### $\tau_{decay}$ :平均寿命、 $dt/\tau_{absorp}$ : $\mu^{-}$ がdt時間に吸収される割合

![](_page_66_Figure_2.jpeg)

![](_page_66_Figure_3.jpeg)