宇宙線ミューオンの 磁気能率測定



目次

- 1.動機
- 2.宇宙線ミューオンについて
- 3.測定原理
- 4.セットアップ
- 5.装置概要
- 6.予測される統計量 7.今後の予定



前期にミューオンの寿命を測定した。それを生かした実験をしたかったため、今回は宇宙線 ミューオンの一様な磁場中での寿命の挙動を 調べることによりミューオンの磁気能率gを測定 していこうと思った。

2.宇宙線ミューオン

宇宙空間には高エネルギーの放射線が存在する。その放射線のことを一次宇宙線(主成分は陽子)と言い、 その一次宇宙線が地球の大気中の窒素や酸素の原 子核と衝突したことにより生じる2次的に発生する放射 線を二次宇宙線という。(陽子、中性子、パイ中間子、 ミュー粒子、電子、ガンマ線など)

μの生成

- ・ ミューオン(μ)は上空およそ15km付近で主に π^+ 、 *K*⁺の崩壊によって生成される。 $\pi(K) \rightarrow \mu + \bar{\nu}_{\mu}$
- 地上では μ^+ は上向きに偏極しており、 μ^- は下向きに 偏極している。



μの崩壊

・ $\mu^+ \rightarrow e^+$ 崩壊 μ^+ は弱い相互作用で以下のように崩壊する。 $\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$ ・ $\mu^- \rightarrow e^-$ 崩壊 $\mu^- \delta \mu^+$ と同様に弱い相互作用で次のように崩壊する。 $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$

ただし、 μ^- はその負電荷のために、物質中では別の崩壊過程も起こる。 μ^- は物質を通過するとき、原子核との相互作用により、原子核中の陽子に捕獲される。 $p + \mu^- \rightarrow n + \nu_\mu$ このように μ^- の崩壊には、自由崩壊と原子捕獲崩壊の 二つの崩壊確率が存在するので、一般に物質中での μ^- の寿命は短くなる。 アルミ中のµ⁻の寿命は 0.88 ± 0.01µsである。 µ⁺(寿命は2.11µs)とµ⁻の 寿命の概形を表1に示す。



この実験ではアルミを用いるので、主にµ⁺の寿命から 磁気能率を決定する。

3.測定原理

概要

宇宙線ミューオンは磁場中にあるアルミ板で止めると、そのスピンは歳差運動を行う。その歳 差運動をLarmorの歳差運動というが、その運動 の周期はミューオンの磁気能率に依存する。し たがって、周期を測定することで磁気能率を決 定することができる。

Larmor振動数

磁場中の μ^+ の崩壊イベント数は時間の関数で次の式 のように表せる。 N(t) = $N_0[e^{-\frac{t}{\tau_{\mu}}}\{1 + Acos(\omega_{\mu}t + \delta)\} + B_0]$ ただし、 N_0 :は規格化定数、 $\delta = 0, \pi, B_0$:accidental backgroundである。

この関数の概形を表2に示す。



ω_{μ} はLarmor振動数と呼ばれるもので、以下のように表せる。

$$\omega_{\mu} = \frac{geB}{2m_{\mu}c}$$





寿命測定の方法は前期の実験とほぼ同じである。

具体的なセットアップはセットアップの項で説明 します。



斜線部:コイル

使用したシンチレータ ・大型シンチ A,B,C - 長さ100cm×幅33cm×厚さ1cm

小型シンチ a,b,c
 – 長さ25cm×幅33cm×厚さ1cm

使用したターゲット用AI 密度 2.70g/cm³ 一枚当たり50cm×34cm×0.5cmを6枚 →厚さ 3cm

→全質量 2295g



シンチ作成の写真





5.装置概要

- PMTおよびシンチレータの評価
- ・コイルによる磁場

PMTの評価

・プラトー特性

РМТ	A1	B1	B2	C1	C2	а	b	С
HV [V]	1750	1750	1700	1850	1900	1800	1800	1800

プラトーの測定はあらかじめ前期にプラトーを測っていた 小型シンチa,bの2つを用いて行った



A1 のプラトー特性

B1,B2 のプラトー特性









```
測定原理は右図のように2枚のシンチレータa,bをトリガーとして
ADCでデータを取る
解析では
検出効率[%]=(ペデスタルを除いたcount)/(全カウント)
として求めている
```







コイルはアルミフレームに銅線を巻きつけて作成



作成したコイル



抵抗[Ω]

1.64

1.65

1.54

1.58

測定に必要な磁場

ミューオンの平均寿命2.2µsで一周期分の振動 を見るためには約34Gauss必要

2周期分程度の振動を見たいので50~60Gauss 程度の磁場が必要

磁場を計算して必要な電流の大きさを出した





Z=6cmのXY平面での計算した磁場の分布図 (2次元)



実際に測った磁場



gnuplotで作成した実測磁場の分布図 位置がXY平面、Z方向が磁場の強さ XY平面はz=6cmでの切り口



X=0(真ん中)とX=15(端)での磁場の分布 (z=6cm)

実測磁場と計算した磁場の比較 (X=0cm,Z=6cm)



・:実測した磁場

欲しかったのは誤差±2%程度以内の磁場の エリア

以上のことからX=-17cm~+17cm、Y=25cm~ 75cmの領域を一定磁場として測定に用いる。 一定磁場の大きさはそのエリアでの磁場の平

均値を用いる。

誤差はそのエリアでの磁場の平均値からのず れで取る。

6.予測される統計量

- ・3cmのアルミ中で止まるµ⁺のエネルギー
- アルミ板からtriggerを見込む立体角・面積
- 宇宙線µ⁺のflux
- 測定期間



μ⁺のエネルギー範囲 アルミに入った直後とアルミから出る直前に止まる μ⁺のエネルギー差だけ検出できるとする 理学部棟のコンクリート(88cm) _シンチ(3cm)も考慮 $\mu^+ \mathcal{O}$ energy deposit Scinti Bethe Bloch formulaにより計算

526*MeV*~550*MeVの*⁺がAI中で止まる

アルミ板からtriggerを見込む立体角・面積



アルミ板の面積= $50cm \times 33cm = 1650cm^2$

526*MeV*~550*MeV*付近の μ^+ のdifferential fluxは 0.21×10⁻²cm⁻² · sec⁻¹ · Sr⁻¹ · GeV⁻¹

したがって今回のsetupで1秒間に得られるµ+のstop eventは 0.0108event/sec

約1か月間の測定を予定 → およそ28000*events*

ただし、PMTの検出効率やAI中で止まる陽電子は考慮していない → これよりはevent数少ない

7. 今後の予定

装置のセットアップ・ロジック回路の作成

磁場なしのミューオンの寿命測定を12月末までに開始 シンチ・ロジック回路がきちんと働いているか 予想通りの統計量が得られるか

年末に本測定(磁場あり)のテストラン
↓
本測定開始(1か月程度)

AIの厚さの理由

• なぜ3cmなのか

→厚さが厚いほうがミューオンを止められる量は増え るが、崩壊によって出てきた陽電子がAI中にキャプ チャーされる確率も上昇する。止められる量はアルミ 数cm程度ではあまり変わらないので、出てこれるかど うかで厚さを決めた。