

2004年度卒業論文
Muonの寿命と磁気能率の測定

99S2005C

緒方 岳

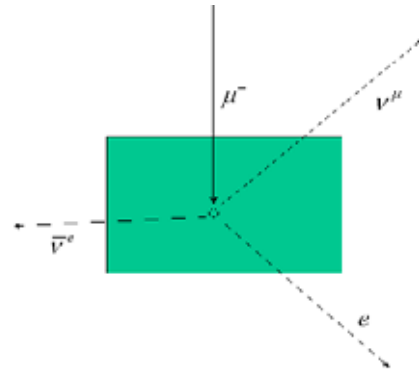
目次

- 1 . 概要と目的
- 2 . 理論
 - Muon とは
 - Muon の寿命
 - Muon の磁場とスピンの相互作用
- 3 . 装置
 - 測定装置
- 4 . セットアップ
 - PMT の H.V. の決定
 - NIM 回路
 - CAMAC (TDC)
 - 磁場の計測
- 5 . 測定
 - Muon の寿命の測定
 - Muon の磁気能率の測定
- 6 . 結果
- 7 . まとめ
- 8 . 謝辞
- 9 . 付録
 - ターゲットシンチレーターの作成

1 概要と目的

Muon は質量約 106 MeV 、寿命 $2.2 \mu\text{s}$ 、電荷 e (素電荷) の素粒子である。

右図のようにシンチレーター中に Muon を止め、入射してから崩壊までの時間を測定してやることで、Muon の寿命の測定をすることが出来る。



$N_{(t)}$ を時間 t の Muon の数 $N_{(0)}$ を時間 0 での Muon の数 τ_μ を Muon の寿命とすると、以下の式のようにかける。

$$N_{(t)} = N_{(0)} e^{-t/\tau_\mu}$$

また、このシンチレーターに磁場をかけてやる事によって、Muon のスピンと磁場との相互作用が起き、Muon の寿命の式は以下のように変化する。

$$N_{(t)} = N_{(0)} e^{-t/\tau_\mu} (1 - A \cos(\omega t))$$

$$\therefore \omega = -\frac{g_\mu q B}{2m_\mu c}$$

ここで q は Muon の電荷、 B はシンチレーターにかけた磁場、 m_μ は Muon の静

止質量、 c は光速 g_μ は Muon の磁気能率である。

今回、静磁場中に宇宙線の Muon を静止させこの崩壊を測定し、Muon の磁気能率を測定する。

また、同時に、測定機器等の使用方法や、回路等の組み方、測定や、解析方法について学ぶ。

2 理論

2 1 Muon とは

Muon とは 1937 年に宇宙線の中から発見された静止質量 105 MeV の素粒子で、強い相互作用はしないが、弱い相互作用や、電磁相互作用はする。

スピンは 1/2 を持っており、同時に磁気能率も持っている。

高エネルギー一次宇宙線（ほとんどが陽子）が地球の大気にぶつかり、そのエネルギーによって、中間子や K 中間子、光子等の二次宇宙線が作られる。

中間子や、K 中間子は非常に短い寿命で、電子や陽電子、Muon 等に崩壊する。地上に届く荷電宇宙線の約 70% が Muon である。

2 2 Muon の寿命

Muon は不安定であり、平均寿命 τ をもち、崩壊をする。

単位時間あたりに壊れる粒子の割合は等しく微小時間 dt の間に崩壊する確率を λ とすると

$$\begin{aligned} -\frac{dN_{(t)}}{dt} &= N_{(t)}\lambda \\ \therefore N_{(t)} &= N_{(0)}e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

となる。ここで $N_{(t)}$ は時間 t での Muon の個数である。

また粒子の平均寿命 τ は、平均値の定義より

$$\tau = \frac{\int_N^0 t dN}{\int_N^0 dN} = \int_0^\infty \lambda t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

また、Muon は、平均寿命は 2000 年時点で、

$$= 2.19703 \pm 0.00004 (\mu s)$$

と、測定されている。

2 - 3 磁場とスピンの相互作用

Muon と、磁場との相互作用のハミルトニアンは

$$\hat{H} = -\vec{\mu} \cdot \vec{B}$$
$$\therefore \vec{\mu} = \frac{g_{\mu} q \vec{S}}{2mc}$$

と書ける \vec{S} は Muon のスピン、 \vec{B} は磁場を表している。

もし、XYZ 空間上で磁場が一定で Z 方向のみを向いている ($\vec{B} = k B_z$) とする

とスピンと磁場の相互作用は Z 方向のスピンの大きさを \hat{S}_z とすると

$$\hat{H} = \frac{-gq\vec{S} \cdot \vec{B}}{2mc} = \frac{-gq\hat{S}_z \cdot B_z}{2mc}$$

ゆえに

$$\hat{H} = \omega \hat{S}_z$$

ここで $\omega = \frac{-gqB_z}{2mc}$ は、スピン振動数である。

ここで、スピンの Z 方向の固有値は 2 通りあり $\hat{S}_z = \pm \hbar/2$ である。つまり

$$\hat{H}|\pm z\rangle = \pm\omega(\hbar/2)|\pm z\rangle$$

ここで $\pm \hbar\omega/2$ は固有状態 $|+z\rangle, |-z\rangle$ のエネルギー固有値である。

ここで Muon がシンチレーターに $t = 0$ の時 $|+Z\rangle$ で入ってきたとすると

$$|\Psi_{(0)}\rangle \equiv |+z\rangle = \left(\frac{|+z\rangle}{\sqrt{2}} + \frac{|-z\rangle}{\sqrt{2}} \right)$$

この状態は、時間の進みに伴って $\hat{U}_{(t)} = e^{-i\hat{H}t/\hbar}$ だけ変化するつまり

$$|\Psi_{(t)}\rangle = e^{-i\hat{H}t/\hbar} \left(\frac{|+z\rangle}{\sqrt{2}} + \frac{|-z\rangle}{\sqrt{2}} \right)$$

この時 $\hat{H}|\pm z\rangle = \pm\omega(\hbar/2)|\pm z\rangle$ であることを使って

$$|\Psi_{(t)}\rangle = \left(\frac{e^{-i\omega t/2}|+z\rangle}{\sqrt{2}} + \frac{e^{-i\omega t/2}|-z\rangle}{\sqrt{2}} \right)$$

ここで、固有状態 $|+z\rangle, |-z\rangle$ にある確率は

$$\langle +z | \Psi_{(t)} \rangle^2 = \left| \frac{e^{i\omega t/2}}{\sqrt{2}} \right|^2 = 1/2$$

$$\langle -z | \Psi_{(t)} \rangle^2 = \left| \frac{e^{-i\omega t/2}}{\sqrt{2}} \right|^2 = 1/2$$

つまり、それぞれのエネルギー状態にある確率は時間に寄らず一定である。

ここで、Muon が状態 $|+x\rangle, |-x\rangle$ にある確率を求める。

$$\langle +x | \Psi_{(t)} \rangle = \left(\frac{\langle +z |}{\sqrt{2}} + \frac{\langle -z |}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{e^{-i\omega t/2}|+z\rangle}{\sqrt{2}} + \frac{e^{-i\omega t/2}|-z\rangle}{\sqrt{2}} \right) = \cos\left(\frac{\omega t}{2}\right)$$

より、 $|+x\rangle$ にある確率は

$$\langle +x | \Psi_{(t)} \rangle^2 = \cos^2\left(\frac{\omega t}{2}\right)$$

同様に、 $|-x\rangle$ にある確率は

$$\langle -x | \Psi_{(t)} \rangle = \left(\frac{\langle +z |}{\sqrt{2}} - \frac{\langle -z |}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{e^{-i\omega t/2}|+z\rangle}{\sqrt{2}} + \frac{e^{-i\omega t/2}|-z\rangle}{\sqrt{2}} \right) = \sin\left(\frac{\omega t}{2}\right)$$

$$\langle +x | \Psi_{(t)} \rangle^2 = \sin^2\left(\frac{\omega t}{2}\right)$$

スピンのx成分はこの二つの状態の和なので

$$\langle \hat{S}_x \rangle = \left(\frac{\hbar}{2}\right) \cos^2\left(\frac{\omega t}{2}\right) + \left(-\frac{\hbar}{2}\right) \sin^2\left(\frac{\omega t}{2}\right) = \frac{\hbar}{2} \cos(\omega t)$$

同様に、スピンのy成分も計算出来て

$$\langle \hat{S}_y \rangle = \left(\frac{\hbar}{2}\right) \left(\frac{1 - \sin(\omega t)}{2}\right) + \left(-\frac{\hbar}{2}\right) \left(\frac{1 - \sin(\omega t)}{2}\right) = \frac{\hbar}{2} \sin(\omega t)$$

これより、x-y平面上でのスピンの成分の大きさは $\frac{\hbar}{2}$ であり、x-y平面上を回

転しているということがわかる。

この回転が通常の崩壊の式に加わる形で、崩壊の式は

$$N_{(t)} = N_{(0)} e^{-t/\tau} (1 - A \cos(\omega t))$$

という式になる。

3 測定装置

3 - 1 測定装置

降って来る Muon、崩壊後の電子とともに電荷と運動エネルギーを持っている、その運動エネルギーを光に変える物質であるシンチレーターを使い崩壊を観測する。

時間 $t = 0$ の時シンチレーターに Muon が入射し止まった、この時シンチレーターからは光が出る。そして、ある時間 ($t =$) たった時 Muon は崩壊し、電子に崩壊する。

この電子の運動エネルギーからシンチレーターは光を出す。

この二つの光の間隔 を測定してやり、Muon の寿命を測定する。

装置は、Muon の入射及び停止の確認のためのトリガーシンチレーター、6 枚と Muon を停止、崩壊させるためのターゲットシンチレーターが 1 つある。それぞれのシンチレーターは反応速度の速いプラスチックシンチレーターを使用して作られている。

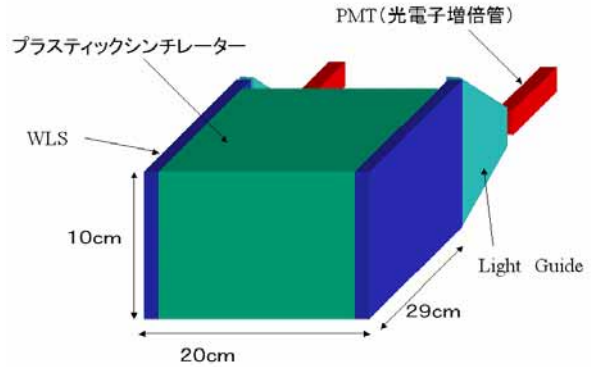
測定装置の中身は以下のものを使い作られている。

- ・光電子増倍管 (以降 PMT) は、光電効果を用いて、PMT 内部に入った光の数に比例した電荷量のパルスを出す測定装置。
- ・シンチレーター (以降シンチ) は、荷電粒子が通過した時に光を出す物質で、今回使用した物は、反応時間の早いプラスチックシンチレーター (放出光波長 $\sim 420 \text{ nm}$)
- ・Wave Length Sifter (以降 WLS) は、シンチレーターが出す波長 ($\sim 420 \text{ nm}$) を吸収し、光電子増倍管の感度の良い波長 ($\sim 500 \text{ nm}$) を放出するという物質。
- ・Light Guide は、WLS からの光を出来るだけ PMT に導くために、光が外に漏れ出さないために、屈折率の高いアクリルで出来ている。
- ・シリコングリースは、シンチレーターを WLS、WLS と Light Guide、の接合面に塗られている、空気よりは屈折率が高いため、それぞれの物質間での光の移動を助ける。
- ・Pet フィルムは、反射率の高いフィルムで、装置から外に出ようとした光を少しでも装置内に戻すために装置の外周に巻いてある。
- ・Black フィルムは、外部の光が、装置内に入り込むのを防ぐために Pet フィルムの外側に巻いてある。

これらを使い、ターゲットシンチレーターとトリガーシンチレーターを作成した。



ターゲットシンチレーター



ターゲットシンチレーター (内部)

上図にあるのがターゲットシンチレーターである。Muonを止めやすいように厚めに作られている。大きさは

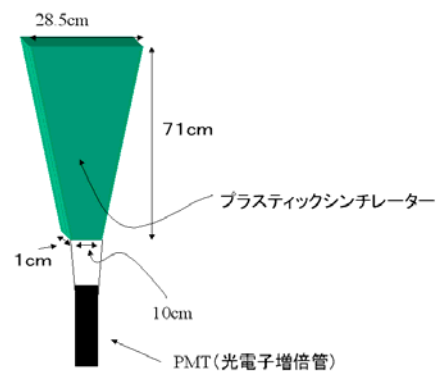
20 × 29 × 10 (cm)

左右に PMT が接続されており、2つの PMT の同時係数を見てやることで、ノイズでの反応を減らすことが出来るようになっている。

また、磁場を発生させるためのソレノイドコイル (黄色の線) が巻かれている。



トリガーシンチレーター

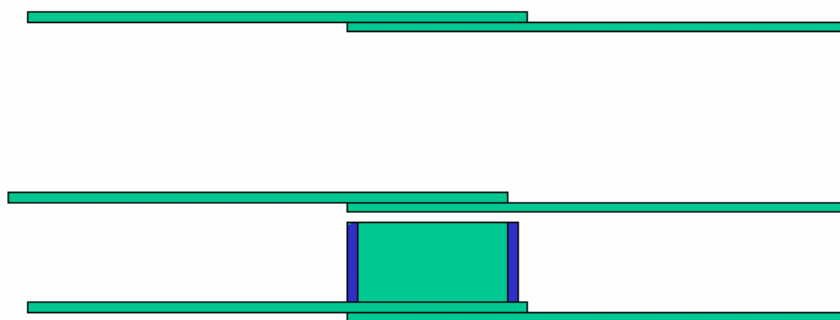


トリガーシンチレーター (内部)

次にトリガーシンチレーターである。

これは、底辺 28.5cm、上辺 10cm、高さ 71cm、厚さ 1cm の台形柱のプラスチックシンチレーターにそのまま PMT をつけた形をしている。

これらの装置を次のページのように配置した。



これより、下の2つのトリガーシンチレーター以外が光った場合に、ターゲットシンチレーター内に Muon が止まったと確認できる。

今回、ターゲットシンチレーターの作成を行った、これは付録に載せておく。

4 セットアップ

4 - 1 PMT の High Voltage (H.V.) の決定

PMT の H.V.の決定は、H.V. Curve と呼ばれる、方法を使い測定を行った、H.V. Curve とは、2組の PMT を使い同じ粒子の通過で同じ Response をするという

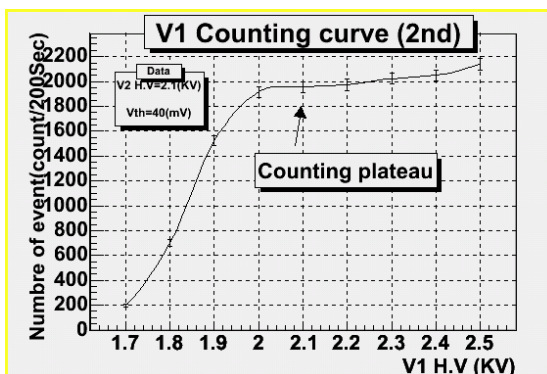
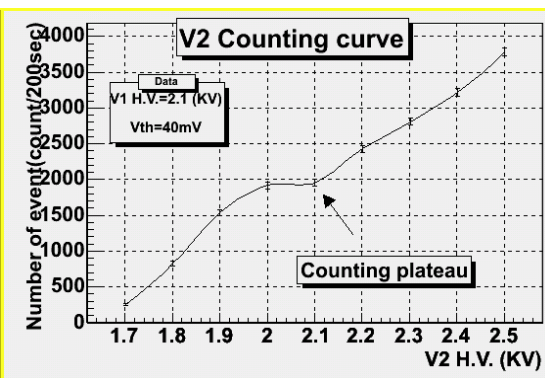
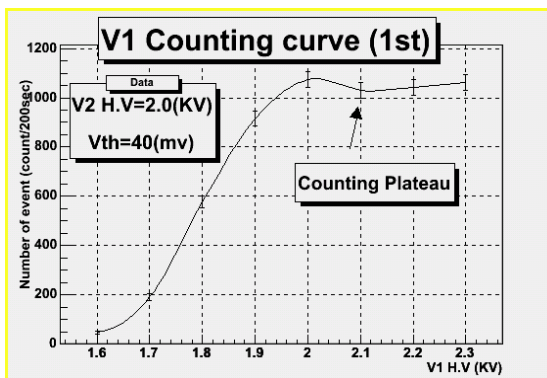
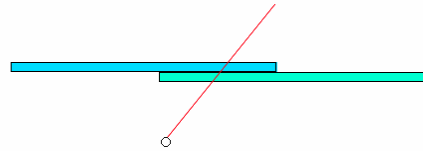
ことから、片側の H.V.を固定した状態で、もう片側の H.V.を変化させていき、単位時間あたりに使用するシュレッシュホールド以上のパルスが、2つの PMT から同時に出るといったイベントの数を記録していくという方法である。

測定した数値をグラフにプロットし、H.V.の変化による測定数の変化の小さい場所を、PMT の Counting Plateau と決定しその値を本測定時の測定 H.V.としていく。

最初の固定する H.V. は 2 . 0 kV としてその後使用電圧を決定した後はその電圧を使いペアの PMT の H.V.を決定していった。

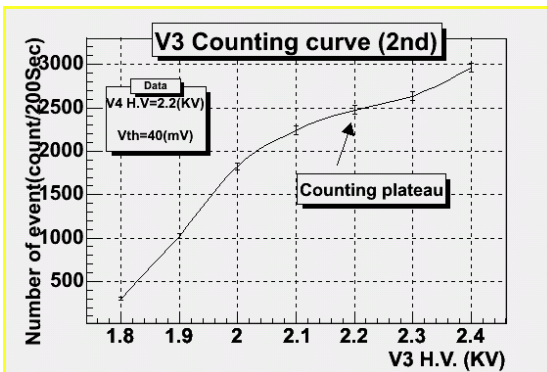
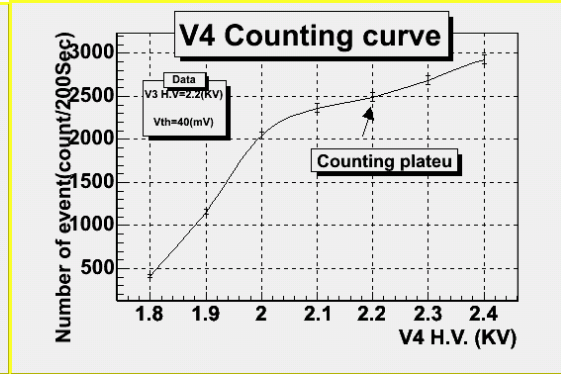
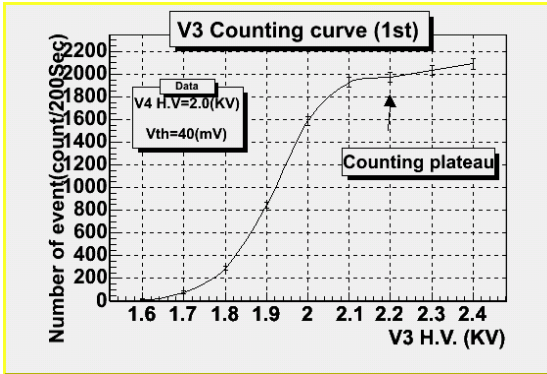
相関関係のある PMT として、それぞれ V1.V2、V3.V4、V5.V6、V7.V8 をペアにして、測定を行っていった。

共同で、トリガー部分 (V 1 ~ 6 まで) の PMT の H.V. Curve の測定を行った西田君との兼ね合いで、V1~V4まではスレッシュホールドを 30 mV、V5.V6のシュレッシュホールドは 40 mV、測定時間を、V5、V6の測定時以外を 200 秒、V5.V6測定時を 300 秒で測定を行った。

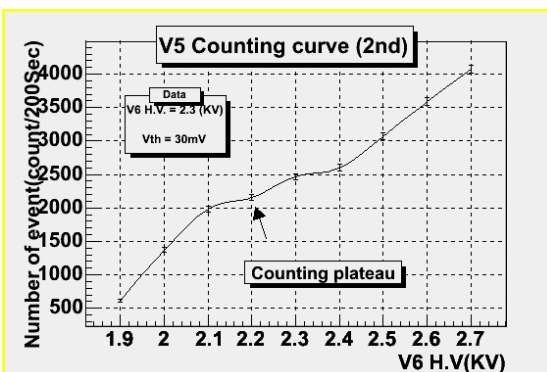
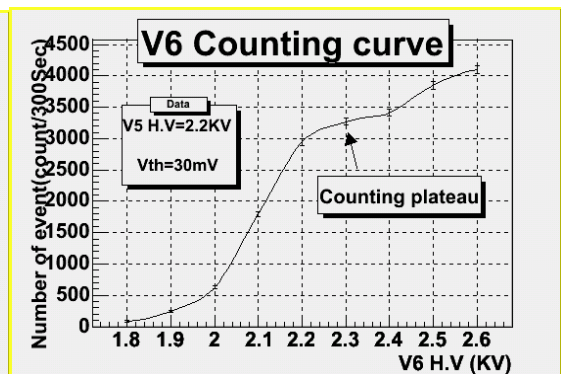
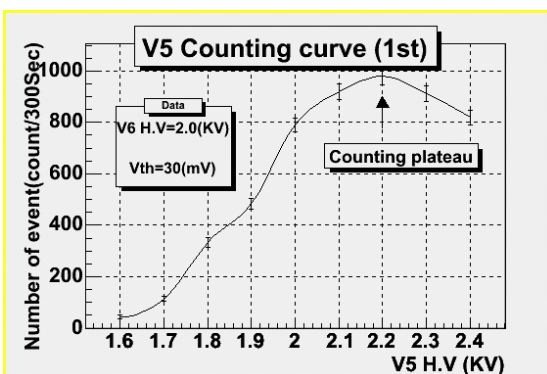


まず、V2のH.V.を固定して測定を行い。V1のPlateauを2.1kVと仮定し、V2を測定、V2のPlateauを2.1kVとして再度

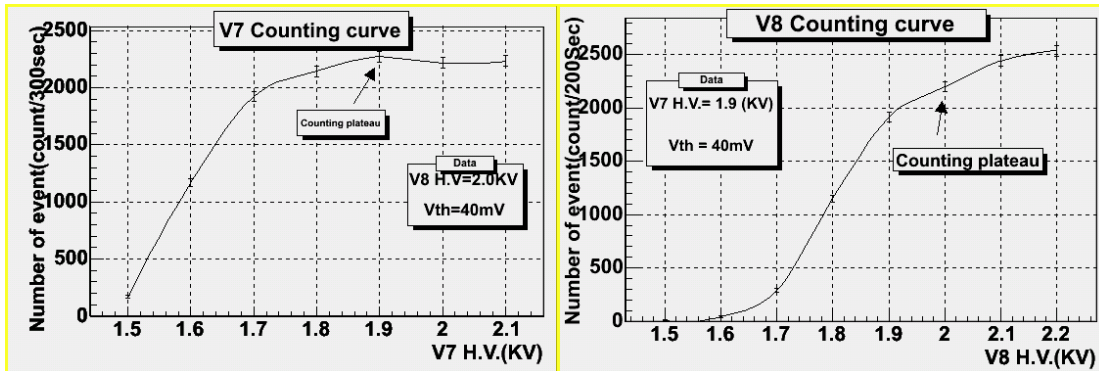
V1を測定した。この結果、V1のPlateauの値はやはり2.1kVだったのでV1,V2のH.V.を2.1kVとした。



V1,V2と同様にV3,V4のH.V.は
 $V3 = 2.2 \text{ kV}$
 $V4 = 2.2 \text{ kV}$
 とした。



これも、同様に
 $V5 \text{ H.V.} = 2.2 \text{ kV}$
 $V6 \text{ H.V.} = 2.3 \text{ kV}$
 と、決定した。



V7 = 1 . 9 kV

V8 = 2 . 0 kV

今回は、V8の Counting Plateau が、2 . 0 kV と測定で出たので、再度の測定は行わなかった。

また、今回計測した宇宙線の測定が、理論と矛盾しないことを確認するためにトリガー部分のそれぞれの、ペアの H.V.が Plateau と設定した場所の時の計数を見ました。

V1,V2 1 9 5 5 (Count/200Sec)

V3,V4 2 4 7 8 (Count/200Sec)

V5,V6 1 9 8 6 (Count/200Sec)

また、重なっている面積 660 cm^2 から 200Sec で 2200Count が予想されているので

誤差 10%程度なので、宇宙線が観測されているであろうと予想できる。

次に、決定した H.V.での PMT の単体の計数を測定し、Accidental Coincidence の計算を行った。

Accidental Coincidence とは、偶発的に起こった相互に関係の無い反応が、同時に計測されることをいう。

V1~V6 までの Single 計測数は、以下のようにになっている。

V1= 2 0 0 5 9 (Counts/200Sec)

V2= 4 7 6 1 3 (Counts/200Sec)

V3= 1 1 3 1 6 (Counts/200Sec)

V4= 3 7 8 7 3 (Counts/200Sec)

V5= 3 9 3 4 5 (Counts/200Sec)

V6 = 4 1 6 9 0 (Counts/200Sec)

それぞれ、片側のパルスの長さ W11 を 4 0 ns 反対側のパルスの長さ W12 を 3 0 ns としている。

単位時間当たりの、偶発同時計数を N_a とした場合の計算式は、

$$N_a = N_1 \times N_2 \times (W11 + W12)$$

N_1, N_2 はそれぞれの単位時間当たりの計測数で求まり。

$$N_A = V1 \times V2 = 0.00167 \text{ (Counts/Sec)}$$

$$N_B = V3 \times V4 = 0.00075 \text{ (Counts/Sec)}$$

$$N_C = V5 \times V6 = 0.00287 \text{ (Counts/Sec)}$$

となり、単位時間当たり 1 1 個の宇宙線数と比べると十分に小さいと考えることが出来る。これより、本測定回路を作るため、Accidental Coincidence を考慮に入れる必要は無いと考えることが出来る。

4 - 2 NIM 回路

NIM 回路とは、原子核実験測定用に開発された、回路設計の規格で、測定器から出てくるアナログ信号をデジタル信号 (-700mV を 1、0 V を 0) に変換したり、AND 回路や OR 回路のようなモジュールを使い、変換したデジタル信号を処理したりすることが出来る機械である。

この、回路で使用する同軸ケーブルは 5 0 インピーダンスで 1 m5ns の遅延がある。

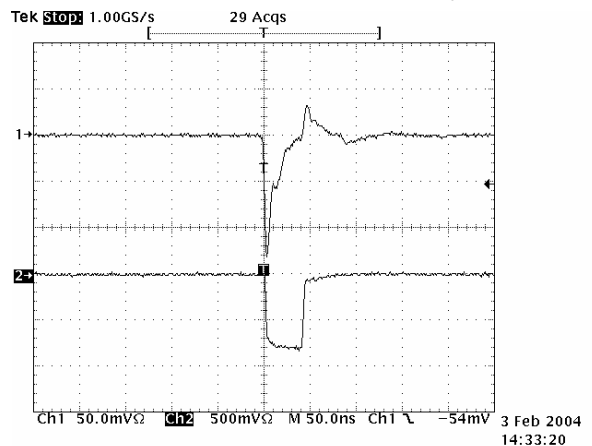
まず、DISCRIMINATOR の検証を行う。

DISCRIMINATOR とは、アナログ信号で、ある設定した閾値(スレッシュホールド)を超えるものを検出した時に、デジタルパルスを決められた幅出すという装置である。

PMT からの信号を 2 つに分岐させ、1 つをオシロスコープ、もう一つを DISCRIMINATOR に入れ適当なシュレッシュホールドを設定してやり DISCRIMINATOR の出す信号とアナログの信号の関係を見てやり、設定したスレッシュホールド以上の信号でのみデジタルパルスを出すということを確認する。

右図のように設定したスレッシュホールド(今回は 4 0 mV)でデジタルパルスが出ている。

今後はこのようにデジタルパルス化した信号を取り扱う。



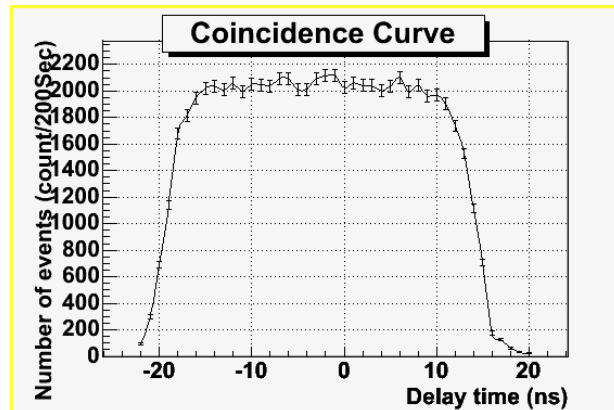
次に COINCIDENCE 回路について、確認する。

COINCIDENCE 回路とは任意 Channel 入力の AND 回路で、INPUT 部分に設定した数以上 1 が入ると 1 を出すという装置である。

まず、Input の設定を 2 にした状態で 2 つ同時に 1 を入れてやりきちんと反応すること、また 1 つのみ 1 を入れても 1 を出さないということもオシロスコープで確認した。

その後、V1 と V2 のデータをスレッショールド 4 0 mV で設定し先ほど決定した H.V. をかけた状態で DISCRIMINATOR に通し 2 0 ns のパルスを出し片側をケーブルを使い遅らせていき、その時の測定数の変化を見た。

右図のようなデータが見えた、これより 10ns 程度重なっていればほぼ 1 0 0 % COINCIDENCE を取るということが確認できた。回路作成時にはこの 1 0 ns を最低限度重なっているべき領域として考え回路の作成を行った。



次に、FANIN / FANOUT 回路を見てみる。

この回路は、OR 回路であり、複数個ある入力のどれかに 1 が入ると 1 を出すという回路である。また出力も複数個あるため、デジタルパルスの分岐としても使える。今回は、2 入力 4 出力の回路を使った、それぞれの入力に交互に 1 のパルスをいれ、その出力を見て OR として正常に動作しているかをオシロスコープで確認した。また 4 出力とも同時に同じパルスが出ていることもオシロスコープで確認した。

以上の 3 回路を使い Muon の寿命と磁気能率の測定用の回路を作成した。

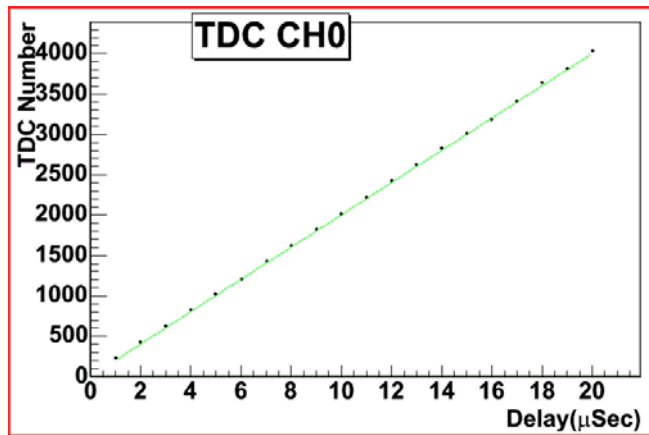
4 - 3 CAMAC

CAMAC とは CERN で開発された規格で、CAMAC クレートという専用のクレートを使い、アナログ量をデジタル数値として出力する回路である。

今回は TDC (Time to Digital Converter) を使い測定を行う。

TDC の出す数値と、私の達の使っている時間への変換や、出す数値と時間との直線

性を調べるために、2個同時出力のパルスを使い片側のパルスを1 μ s ずつ遅らせて、TDCのスタート部分と、CHに入れ、出力される数値を確認していった。



直線に乗っており、また傾きから1 Channelが5 nsに対応していることがわかる。今後、TDCで取ったグラフはTDCのChannelを時間に変換しておく。

4 - 4 磁場の計測

磁場をかけるために、ターゲットシンチレータに、銅線を巻きソレノイドコイルを作った。コイルは2.9 cmの方向に160回巻いたので、単位長さあたりの巻き数は、 $160 \div 0.29 = 552.724$ (回/m)

これより、ソレノイドの出す磁場の強さを計算してやると

$$B = \mu_0 n I \times 10^{-4} \quad (\text{Gauss})$$

より

$$B = 6.93 \times I \quad (\text{Gauss})$$

Iは電流(A)となるはずである。

今回磁場の測定は、サーチコイルを使いソレノイドコイルに電流を流し、磁場が安定した後に電流を切り、その時にコイルの外に巻いておいたサーチコイルに誘導される電圧の積算値を、オシロスコープで観測するという方法で測定を行った。

ここで、 $\int E dt$ を電圧の積算値、nをサーチコイルの巻き数、Aをサーチコイルの

面積とすると、磁場Bは、以下の式のように求めることができる。

$$B = \frac{10^{-4}}{nA} \int E dt \quad (\text{Gauss})$$

今回、

$$n = 4 \quad (\text{回})$$

$$A = 2 \times 10^{-4} \quad (\text{m}^2)$$

である、ソレノイドコイルに流す電流を1 Aずつ変えて5 Aまで測定を行った。

その結果が右のグラフである、このグラフの傾きよりコイル内部の磁界の電流の依存性を調べられる。

今回傾きは、

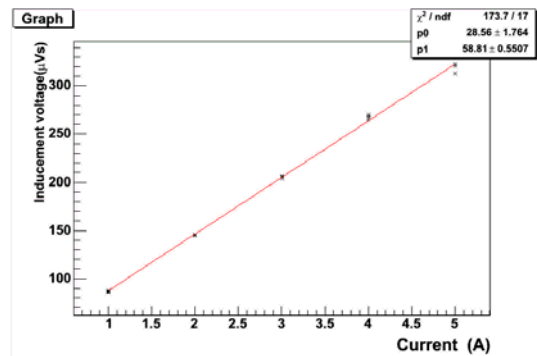
$$\int Edt / I = 58.8 \pm 0.6 \quad (\mu\text{Vs} / \text{A})$$

この値から、求められる電流と、磁場との関係が求められ。

$$B / I = 7.35 \pm 0.08 \quad (\text{Gauss} / \text{A}) \text{ が求められる。}$$

この、理論値と、測定値の違いはコイルの単位長さあたりの巻き数の問題から来ていると思われる、今回コイルは二重に、合計160回巻いたが、その二重目の部分は、一様にまかれておらず、中央よりになっているために、中央部分の単位長さあたりの巻き数が多くなっているためこの結果が出たのではないかと考えられる。

今後は、この実験での値を使い測定を行っていく。



5 測定

5 1 Muon の寿命の測定

Muon の寿命の測定を行うために、まず、ターゲットシンチレータから出てくるパルスについて確認を行った。

右図のようなパルスを確認することが出来た。

これは、Muon が中央のシンチレーターで止まり、その後電子が崩壊を起こして、電子が走ったと考えられる図である。

左側のパルスが、Muon で右が電子である。

この、2つのパルスの幅を測ってやれるような回路を NIM 回路を使い右図のような回路を作った。


この回路での A,B,C,D はそれぞれ

$$A = V1 \times V2$$

$$B = V3 \times V4$$

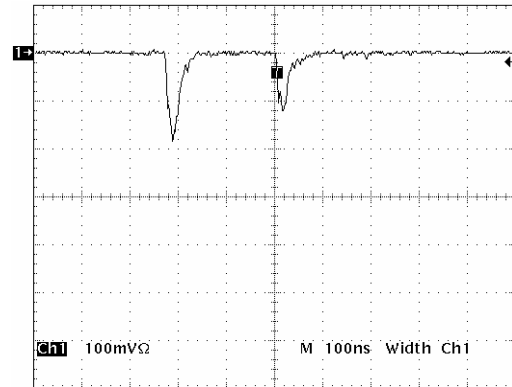
$$C = V5 \times V6$$

$$D = V7 \times V8$$

の COINCIDENCE を取ったもの 

である、パルスが上向きに出ているものは、その長さの通常のパルスを Veto に入れたものである。

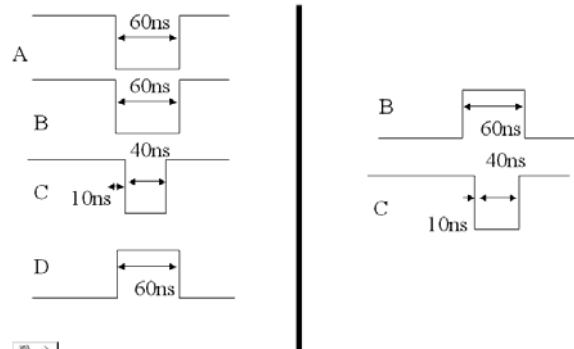
これより、上方から来た Muon が中央のシンチレーターの中で止まり、崩壊後の電子が上方以外に走った時のパルスを捕まえられると考えられる。これらのパルスを COINCIDENCE 回路に入れて、それぞれを TDC のスタートストップに入れて測定を行った。



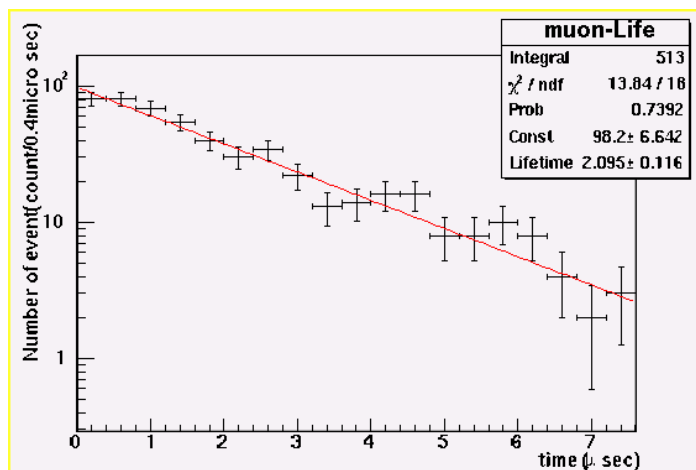
寿命測定用回路

スタート回路

ストップ回路



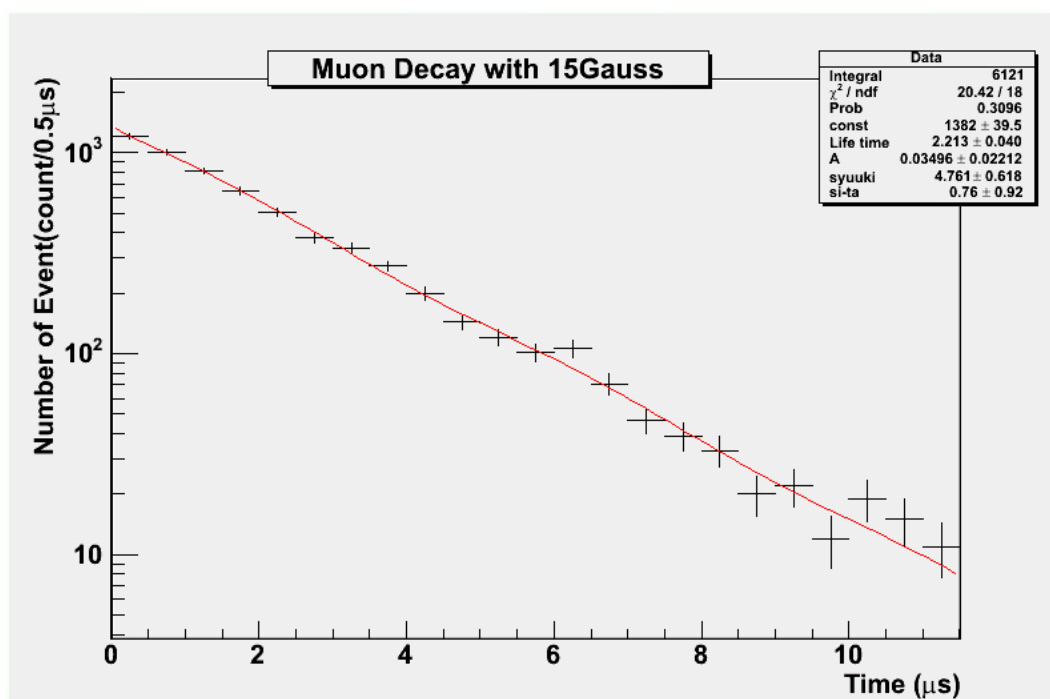
これより、寿命は $2.1 \pm 0.1 \mu s$ と求められる、これは Muon の寿命 $2.2 \mu s$ とよく合っており、Muon の崩壊を捕まえることが出来たと考えられる。



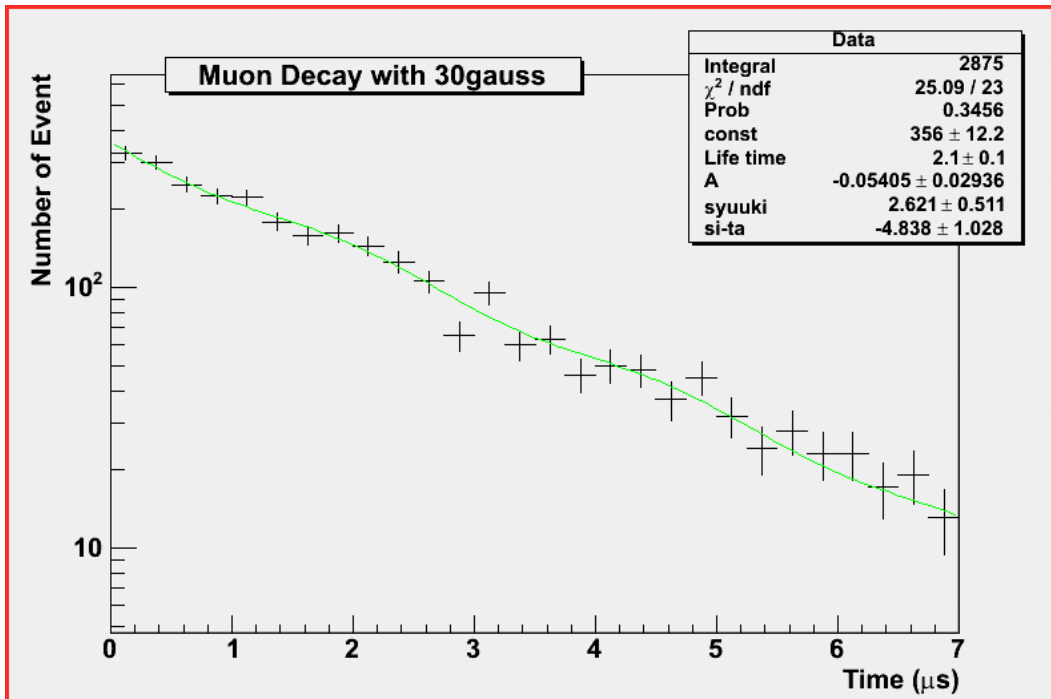
5 2 Muon の磁気能率の測定。

寿命の測定より、正確に Muon の寿命が測れているであろうと予測できるので次に磁場をかけて、Muon の磁気能率の測定を行った。

まずはソレノイドコイルに 2 A の電流を流し測定を開始した。



同様に、電流を上げ、4 A での測定も行った。



これより 2 A と 4 A の電流を流した時の Muon の寿命の式が求まった
それぞれ、

2 A の時の は

$$2.1 \pm 0.3 \quad (\times 10^2 \text{ kHz})$$

4 A の時の は

$$3.8 \pm 0.8 \quad (\times 10^2 \text{ kHz})$$

である。

6 . 結果

今回の測定の結果として、Muon の寿命は、

B (gauss)	0	1 5	3 0
$\tau_{\mu}(\mu s)$	2.095 ± 0.116	2.216 ± 0.048	2.092 ± 0.057

以上の3つより、

$$\tau_{\text{exp}} = 2 . 1 6 \pm 0 . 4 (\mu s)$$

と求められる、現在測定されている、Muon の寿命は

$$\tau_{\mu} = 2 . 1 9 7 0 3 \pm 0 . 0 0 0 0 4 (\mu s)$$

であり、よく合っていると考えられる。

また、Muon の磁気能率は、

電流 (A)	振動数 ($\times 1 0^2$ kHz)	g_{μ}	g_{μ}
2 A	$2 . 1 \pm 0 . 3$	2 . 1	$\pm 0 . 3$
4 A	$3 . 8 \pm 0 . 8$	1 . 9	$\pm 0 . 4$

この2つの結果から

$$g_{\mu} = 2.0 \pm 0.3$$

と求められる。

標準理論より導かれた g_{μ} の値は、

$$g_{\mu} = 2.0023318319$$

となっているので、これもまたよく合っている。

7.まとめ

今回の実験の目的は、Muon の寿命と磁気能率の測定を行うことだった。

測定の結果から、

- ・ Muon の停止と、崩壊後の電子を捕らえることが出来た。
- ・ それにより、Muon の寿命の測定が出来、寿命は 2.16 ± 0.04 と求められた。
- ・ 磁場による、Muon の崩壊の時間変化を測定することが出来た。
- ・ これにより、Muon の磁気能率の測定が出来、磁気能率 g_{μ} は 2.0 ± 0.3 と求められた。

問題点の1つとして統計数の少なさが問題の一つだと考えられる。

今回の測定では、1日に約400データを取ることが出来たが、ターゲットシンチレーターの間に鉄や鉛など、密度の高い物質を挟むことにより Muon の停止の確率を上げることが出来る。しかし、同時に崩壊後の電子を捕まえることが少し難しくなる事も予想されるので、適切な厚さの鉄等を挟んで実験を行ってみると良いと思う。

また、崩壊の信号の時にトリガーシンチレーターの B で Veto を取っているが、これをトリガーシンチレーター A に変えるだけで立体角の問題から、少し統計の貯まる早さがあがるのではないかと考えられる。

後は、カロリメーターの体積を増やすことが出来ればそれも統計を貯めるのが速くなると思う。

もしくは、コイルを巻く向きを変えて、Muon の崩壊後の電子（陽電子）は Muon のスピンの向きに出るということを利用し、スピンの向きが磁場と垂直方向に出ている Muon の崩壊後の電子を効率よく集めるということも出来ると思う。

測定精度は統計量と、測定機器の精度によって決まるが、今回の実験ではまだ測定機器の精度を超える量集めることが出来たとは思えないからである。

今回は、シンチレーターの作成等で時間がかかってしまい、磁気能率の測定を開始するのが遅れてしまったが、出来れば3桁の測定精度の実験が出来れば良いと思う。

8 謝辞

本研究にあたり、適切な指導をしていただいた、竹下徹教授に深く感謝いたします。また、さまざまな事にご指導していただいた長谷川庸司助手に深く感謝いたします。また、機器の操作等手取り足取りご指導くださいました、宮崎由之研究員に深く感謝いたします。また、色々な相談や、協力をしていただいた、高エネルギー研究室、テラヘルツ分光研究室の方々に感謝の意を表します。

9 . 付録

9 - 1 ターゲットシンチレーターの作成

ここに光電子増倍管以外の材料が写っている、手前にあるのが Pet フィルム、続いてシンチとその上の黄緑色なのが WLS、その奥に Light Guide その奥に Black フィルムである。

これらを、使い、中央の測定装置を作成した。



1、まず、シンチレーターと、WLS の境界面にシリコングリースを塗り、空気の入らないように、合わせます。

このとき、グリース自体には接着能力はほとんど無いので、ずれてしまわないように注意が必要です。



2、次に、あらかじめ、巻きやすいように切っておいた Pet フィルムを巻き、テープでとめます、この時、外部から強く押さえてやる事で、シリコングリースの層が薄くなり、光を通しやすくしてやります。



3、Light Guide を覆うための Pet フィルムを作ります。

この時、少し大きめにつくり、WLS との境界付近の穴を塞ぐ様に利用します。



4、Light Guide に PMT を付け、その接合部分にテープを何重にも巻き、光が入らないようにします。

その後、Light Guide にグリースを塗り WLS にくっつけます。

そして、テープで固定します。



5、Black フィルムを、全体に巻いていきます、特に Light Guide と WLS との接合部付近は覆いにくく光が入り込みやすいので、丁寧に巻いてやります。



6、巻き終わって、光漏れをしていないことを確認したら、出来上がりです。

