

プラスチックシンチレーターによる ミュオンの測定

内容

1. 目的
2. 測定原理
3. TACによる時間差の測定
4. 今後の予定
5. まとめ

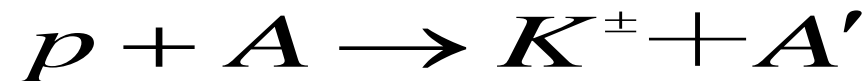
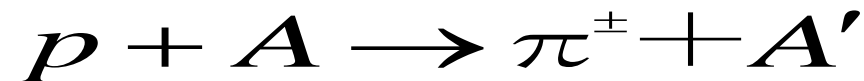
柴田研究室
三瓶恭佑

1. 目的

- プラスチックシンチレーターを設計し、測定器に対する理解を深める。
- 宇宙線ミュオンの測定を通して、測定回路の基礎を学ぶ。
- ミュオンの寿命測定をし、弱い相互作用について学ぶ。

2. 測定原理

宇宙線：一次宇宙線は p, e, α 粒子である。
大気圏で二次宇宙線ができる。



π, K 中間子の崩壊により μ が発生する。



この μ を測定に用いる。

2. 測定原理

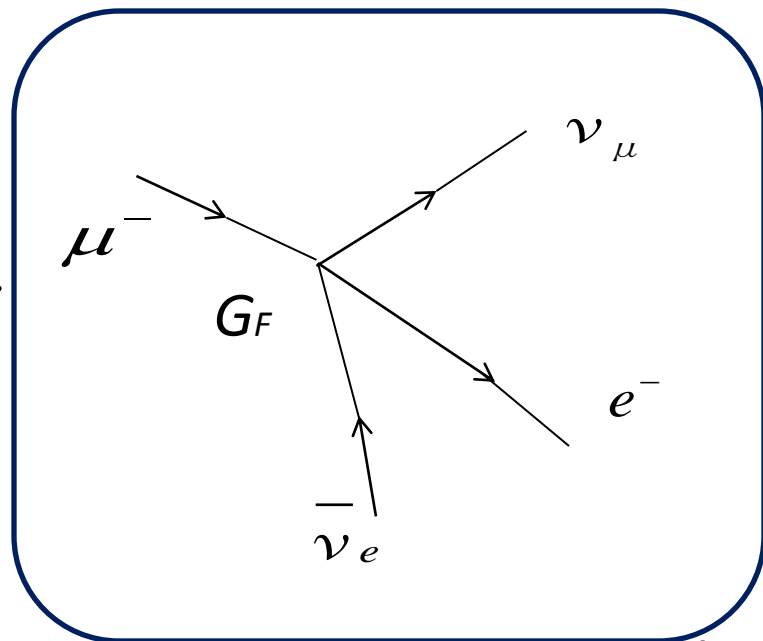
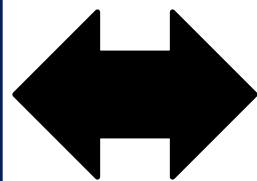
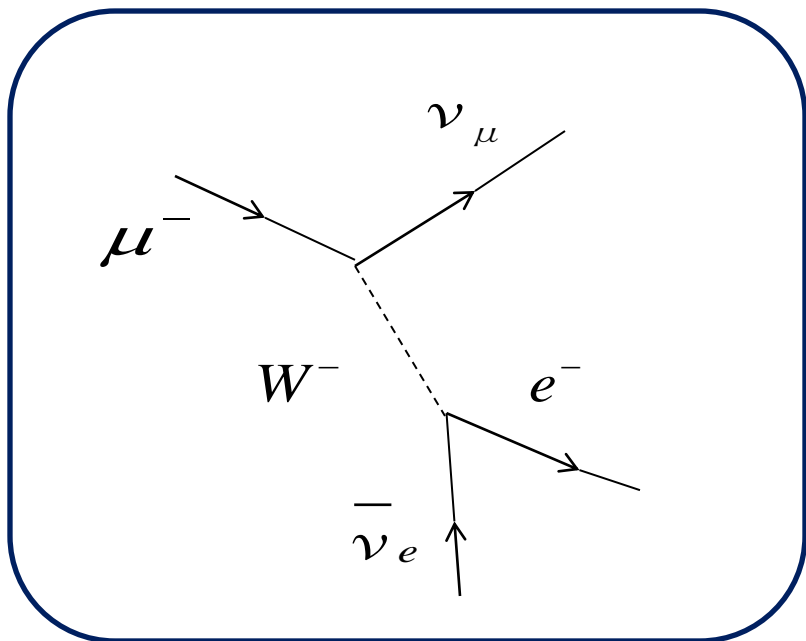
ミューオンの崩壊

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

$$m_\mu = 105.7 \text{ MeV}/c^2$$

接触型相互作用



2. 測定原理

ミューオンの寿命

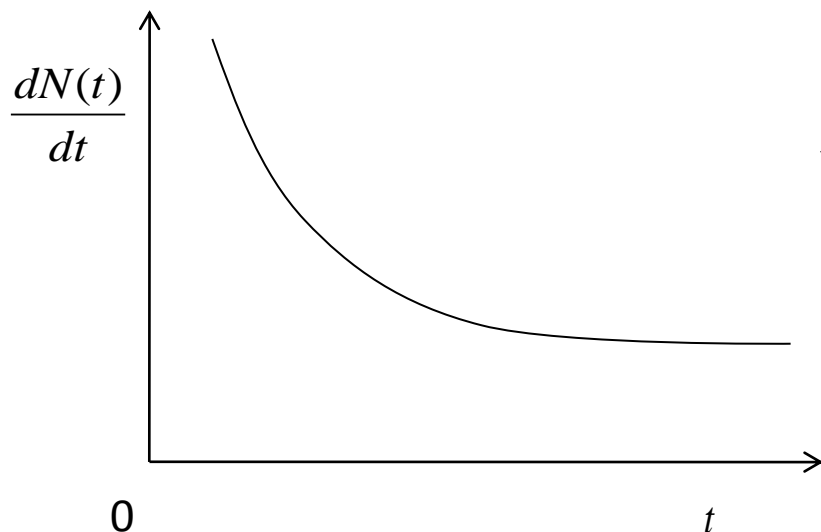
$$N(t) = N_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

N_0 元のミューオンの数

τ 寿命 : 約 $2 \mu\text{s}$

$N(t)$ 時刻 t までに崩壊したミューオンの数

$$\frac{dN(t)}{dt} = \frac{N_0}{\tau} e^{-\frac{t}{\tau}}$$



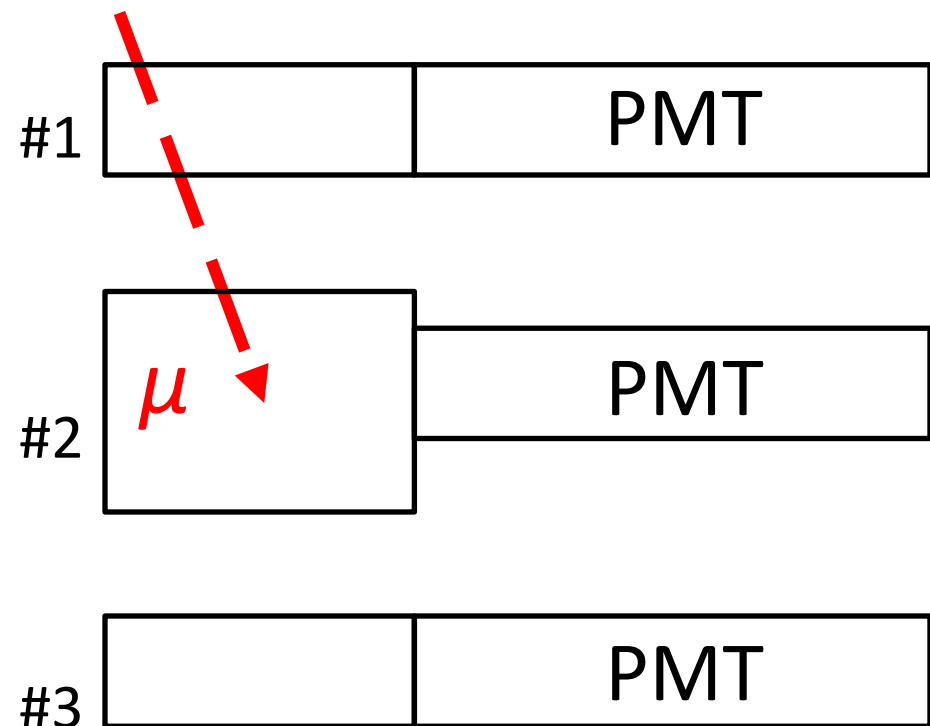
今回の実験では $\frac{dN(t)}{dt}$ を測定する。



τ と N_0 が求まる。

2. 測定原理

測定装置



- プラスチックシンチレーターと光電子増倍管を組み合わせる。

- プラスチックシンチレーター
#1, #3 : $18 \times 8 \text{ cm}^2$ 厚さ 6 mm
#2 : $16 \times 8 \text{ cm}^2$ 厚さ 10 cm

2. 測定原理

プラスチックシンチレーターと 光電子増倍管

- プラスチックシンチレーター

電離放射線が通過すると、シンチレーター内部の原子が励起される。その後、原子が基底状態に戻る際にエネルギーが可視光として放出される。

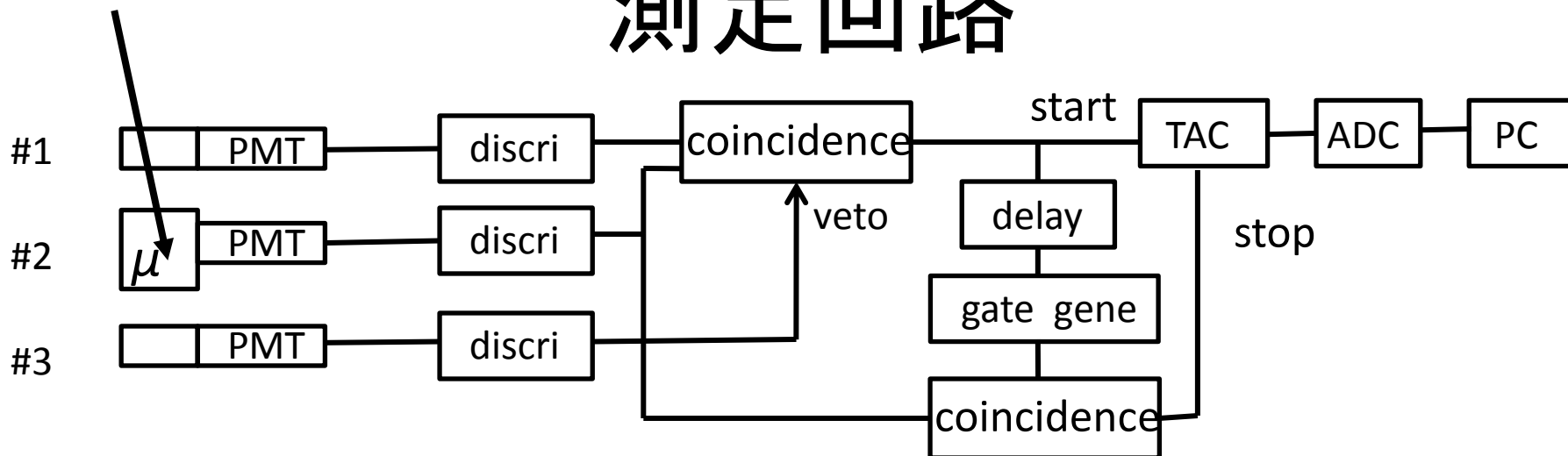
- 光電子増倍管 (PMT)

プラスチックシンチレーターからの光を光電子に変換する。それを何段ものダイノードで増幅し大きな電氣的パルスに変える。

(今回の実験では10段のダイノード)

2. 測定原理

測定回路



- ミューオンが#2で止まり、 $\#1 \otimes \#2 \otimes \overline{\#3}$ の信号をスタート
- ミューオンが崩壊し、 e^\pm を放出した信号がストップ

ミューオンの崩壊

$$\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e + \nu_\mu$$

$$\mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_\mu$$

その時間差がミューオンの寿命

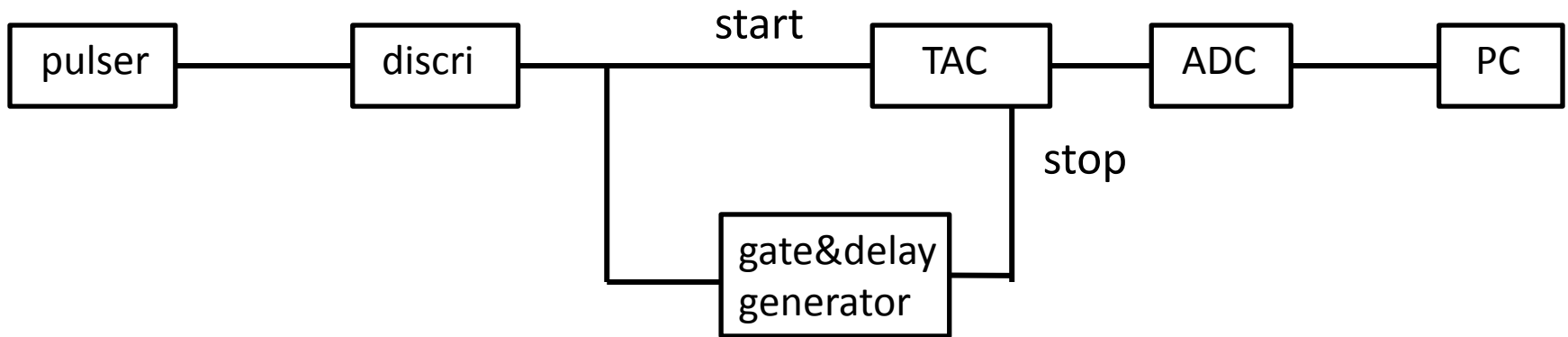
3. TACによる時間差の測定

- TAC (Time to Amplitude Converter : 時間差-波高変換器)
時間間隔をパルスの振幅に変換する。その出力をADCに入れる。



- TACのフルスケール 10 μ s
- パルサーのパルスを用いて、
時間差を0.5, 1, 4, 6 μ sで測定

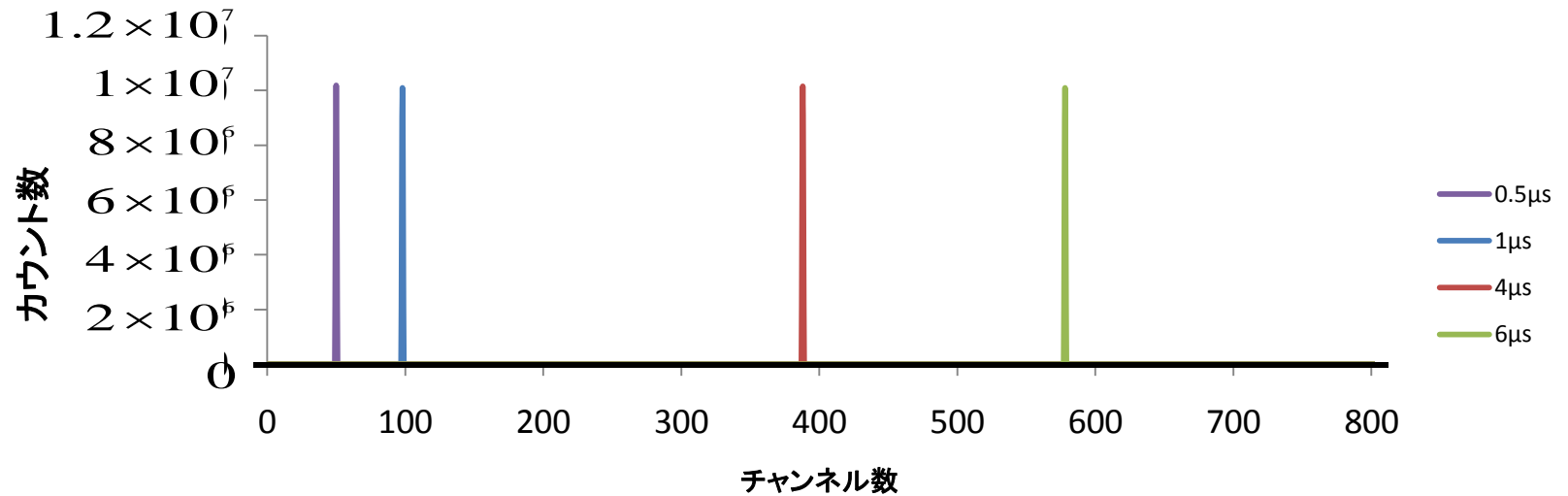
3. TACによる時間差の測定



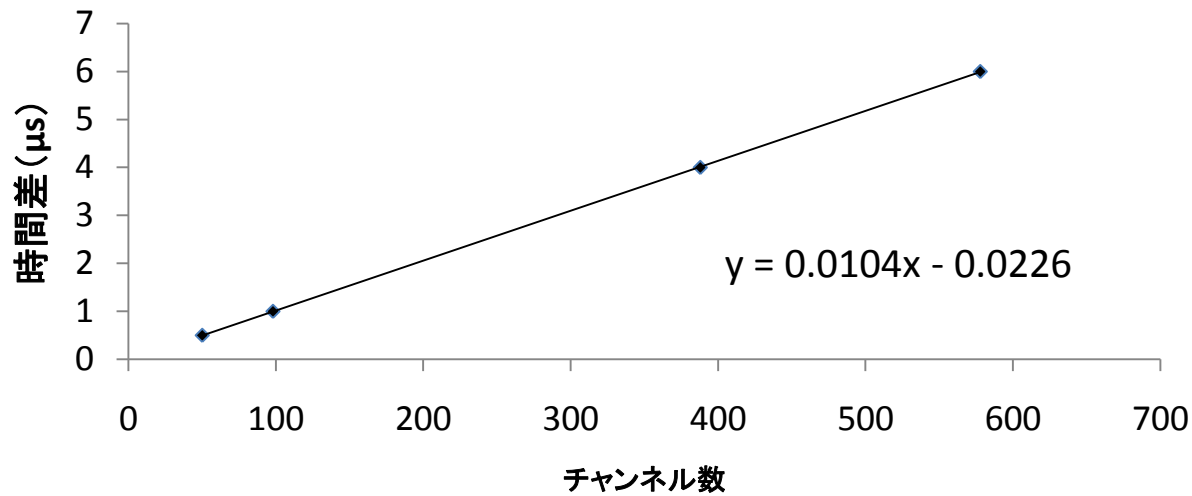
- パルサーのパルスをスタートとした。
- Delayで 0.5, 1, 4, 6 μ s 遅らせた信号をストップとした。

3. TACによる時間差の測定

TACによる時間差の測定



時間差とチャンネル数の関係



4. 今後の予定

- ミューオンの寿命を測定する。

今後の課題

- 時間差とチャンネル数の較正の精度を高める。
- ミューオンの入射角(天頂角分布)の影響を考える。

5. まとめ

- ミューオンの測定を通して、基本的な測定技術や原理を学ぶことが目的である。
- 宇宙線ミューオンを用いる。
- ミューオンの寿命測定に先立って、時間差とチャンネル数の較正をした。
- 時間差とチャンネル数には線形性がある。
- 今後さらに較正の精度を高める。
- TACとADCを組み合わせることでより $\frac{dN(t)}{dt}$ を測定できる。

Bethe-Blochの式と飛程(stopping range)の計算

化合物標的でのBethe-Blochの式は、各元素標的でのBethe-Blochの式の和として決定される。

$$\left(-\frac{dE}{dx}\right)_{\text{和}} = \sum_i \left(-\frac{dE}{dx}\right)_i$$

$$= \sum_i \frac{z^2 e^4 n_i}{4\pi\epsilon_0^2 V^2 m} \ln \left[\frac{mV^2}{I_i} \right] \quad \text{.....⑧}$$

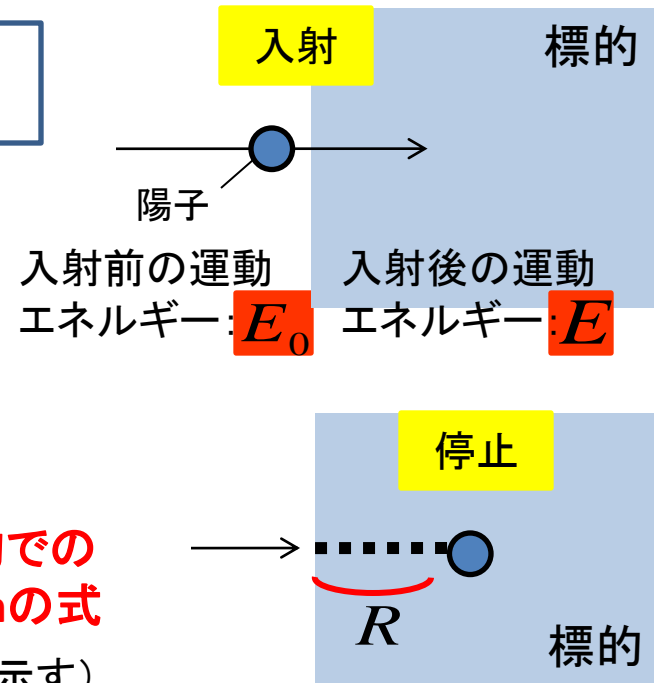
**化合物標的での
Bethe-Blochの式**

(ただし、 i は各元素の物理量であることを示す)

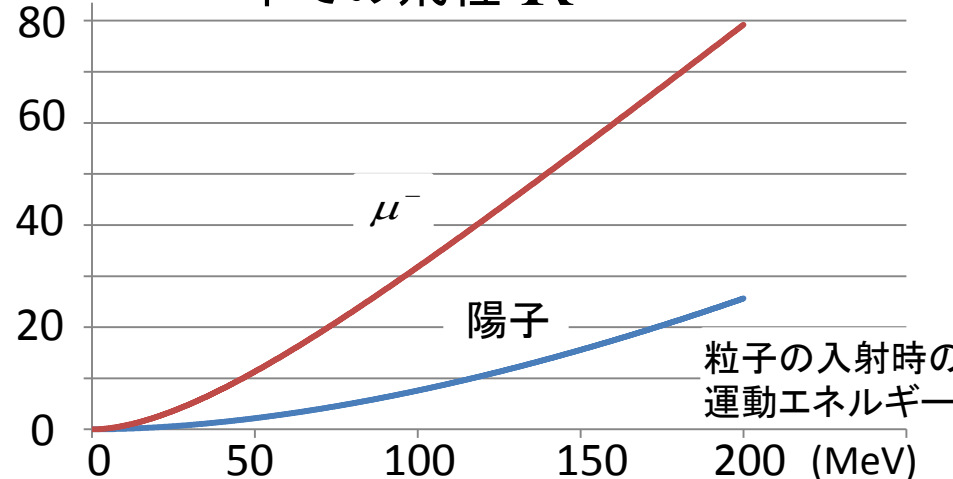
Bethe-Blochの式から、次のように飛程 R が計算できる。ただし E_0, E はそれぞれ重荷電粒子の標的物質に侵入する前、および後の運動エネルギーである。

$$R(E_0) = \int_0^{E_0} \left\{ -\frac{dE}{dx} \right\}^{-1} dE$$

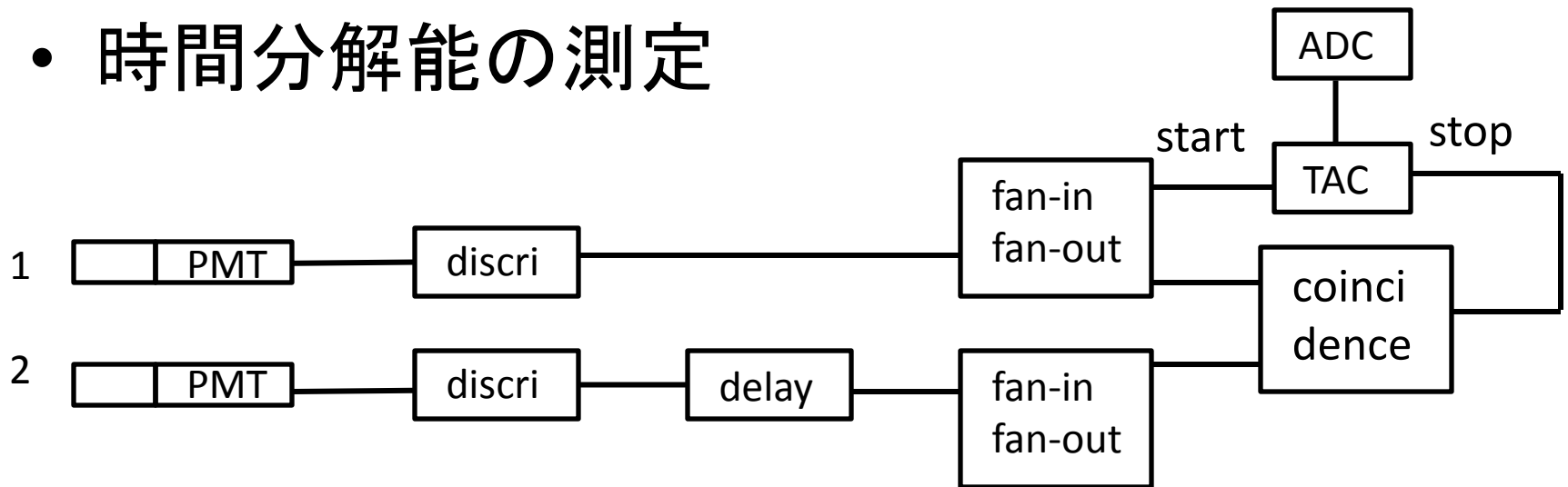
**.....⑨
重荷電粒子の飛程**



R (cm) 陽子、 μ^- のプラスチック(CH) 中の飛程 R

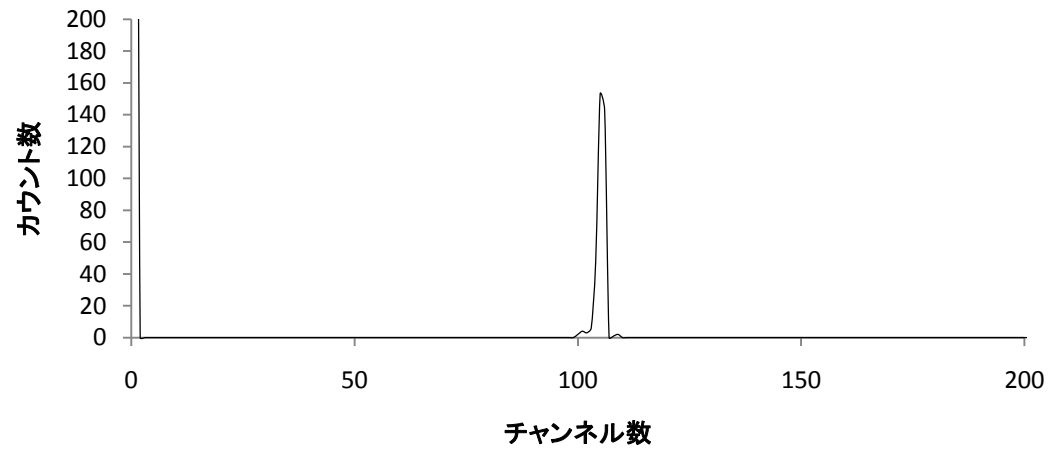


• 時間分解能の測定



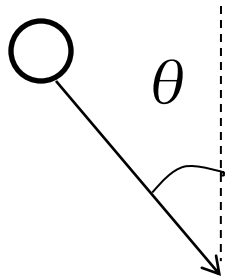
- 1のプラスチックシンチレーターの信号をスタートとした。
- Delayで $5\mu\text{s}$ 遅らせた信号をストップとした。

delay 5ns



•半値全幅が

ミューオンの天頂角分布



- ミューオンは大気中を走る際にエネルギーを失いながら降って来る。そのために通過する大気に差が生まれると地表に降ってくるミューオンの量が変わる。
- 天頂角が変わることにより通過してくる大気の長さに差が生まれるためにミューオンの降ってくる量は天頂角に依存していると言えることができる。

Bethe-Blochの式

Bethe-Bloch

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{z^2 e^4 n}{4\pi\epsilon_0^2 V^2 m} \ln \left[\frac{mV^2}{I} \right] \text{ (MeV/cm)}$$

電子の質量: m

重荷電粒子の電荷: ze

重荷電粒子の速度: V

標的物質の単位体積中の電子の数: n

標的物質の平均イオン化ポテンシャル: I

$$\tau^{-1} = \frac{G^2 m^2}{192 \pi^3}$$

宇宙線とは

入射粒子数を表す量の一つとして強度が上げられる。ある方向からくる粒子の強度はその方向宇宙線む単位立P

立体角から入射して、単位面積を単位時間に通過する粒子数である。したがって単位はよく $cm^2sec^{-1}sterad^{-1}$

を用いる。天頂角 μ に対する強度を j_μ とすると

$$J =$$

$$\int$$

$$j_\mu d\Omega = 2\pi \int_0^{\pi/2} j_\mu \sin \mu d\mu$$

$$\int_0^{\pi/2} \sin \mu d\mu = 2$$

$$0$$

$$j_\mu \sin \mu d\mu$$

は、単位面積を単位時間内に上側のあらゆる方向からくる粒子数”全方向強度”である。

宇宙線の諸成分の天頂角 μ に対する強度は鉛直強度 $j_{\mu=0}$ に対して次のように近似される。

$$j_\mu \approx j_{\mu=0} \cos^n \mu$$

n の値は粒子の種類や高度によって異なる。地上付近ではミューオンの成分に対しては $n \approx 2$ 、電子に対し

ては $n \approx 3$ である。

$$2$$