

# 気体を用いた荷電粒子検出器

## 内容:

1. 研究の目的
2. 気体を用いた荷電粒子検出器
3. 霧箱での $\alpha$ 線の観察
4. 今後の予定
5. まとめ

柴田・陣内研究室  
寄林 侑正

# 1. 研究の目的

- **気体の電離作用を利用した荷電粒子検出器の原理を学ぶ。**
- **実際に霧箱とスパークチェンバーを作成する。**
- **放射線を観察し、荷電粒子と気体粒子の相互作用について学ぶ。**

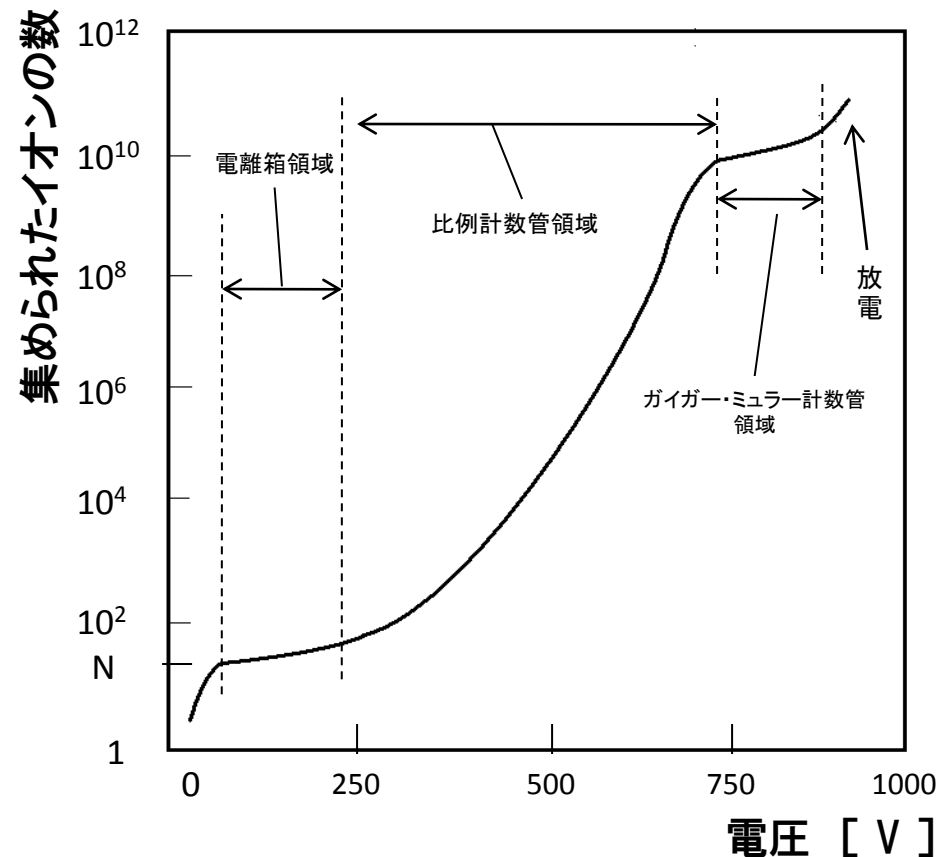
## 2. 気体を用いた荷電粒子検出器

電圧を印加するもの

- 電離箱
- 比例計数管
- ガイガーミュラー計数管
- スパークチェンバー
- etc...

電圧を印加しないもの

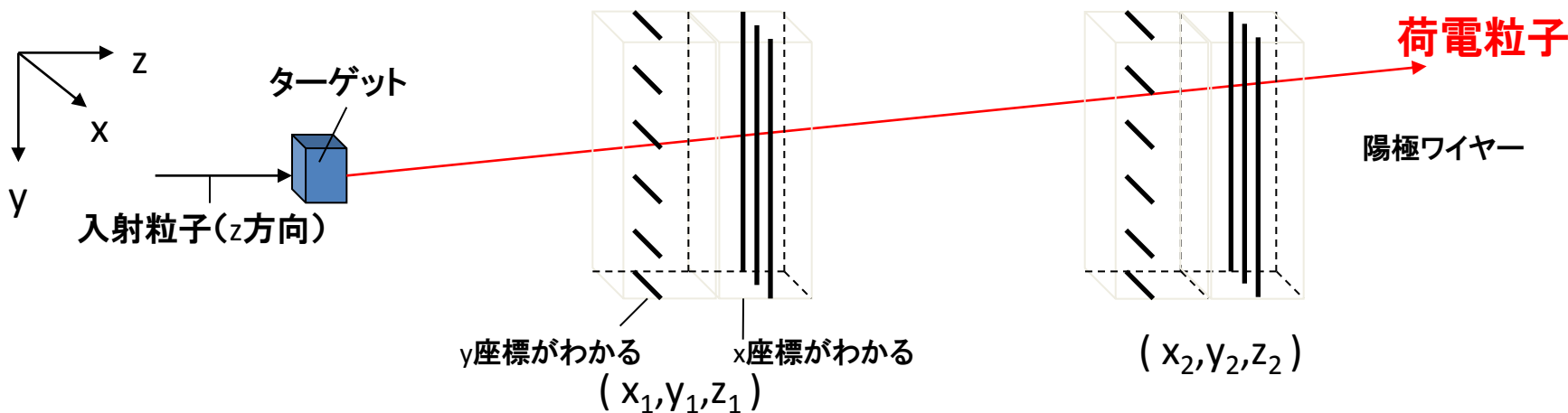
- 霧箱
- 泡箱
- etc...



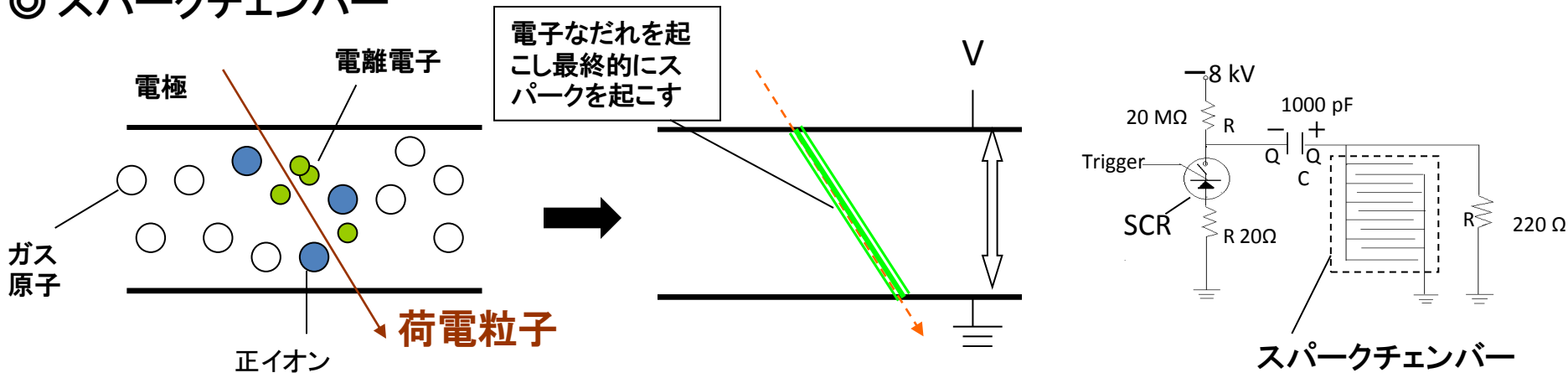
N: 放射線入射によって生成されたイオン対の数

# 電圧を印加するガス検出器

◎ MWPC ( Multi Wire Proportional Chamber ), ドリフトチェンバー ( Drift Chamber )  
荷電粒子の位置を測定するためのガス検出器。



## ◎ スパークチェンバー

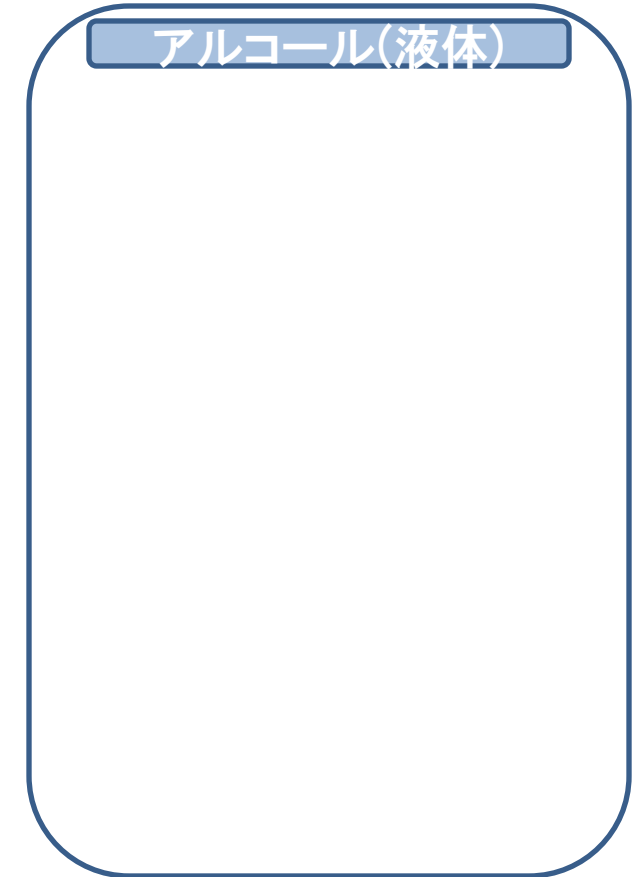


電極対を重ねることにより荷電粒子の飛跡をスパークとして観測できる。

# 電圧を印加しないガス検出器

## ◎ 霧箱

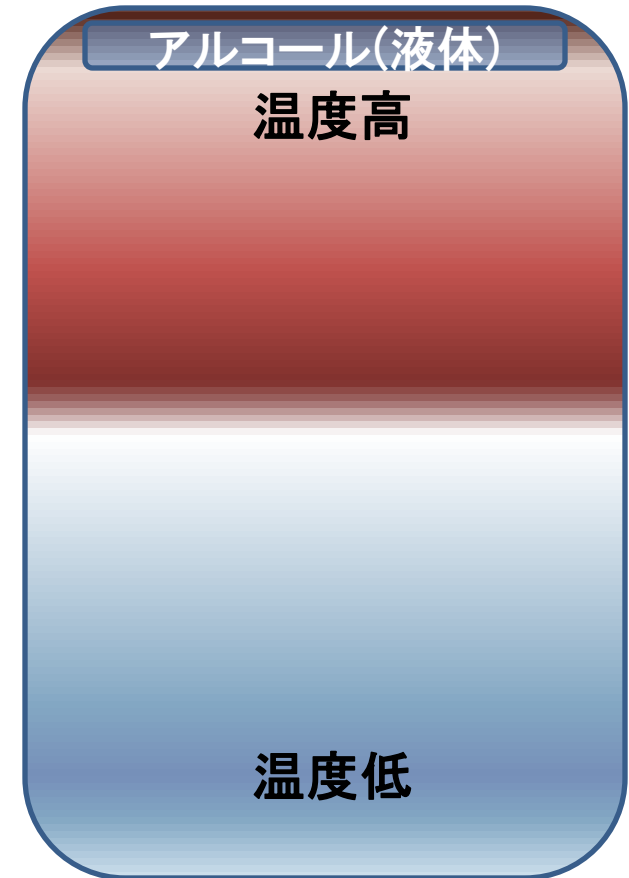
### ① 容器上部に液体アルコールを含ませる



# 電圧を印加しないガス検出器

## ◎ 霧箱

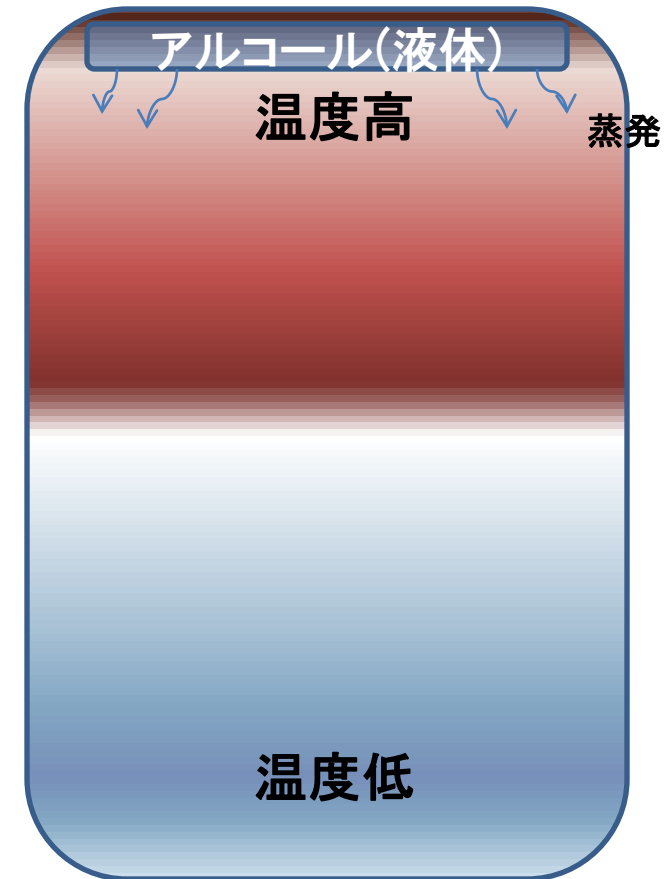
- ① 容器上部に液体アルコールを含ませる
- ② 容器内で右図のように上部と下部に温度差をつける



# 電圧を印加しないガス検出器

## ◎ 霧箱

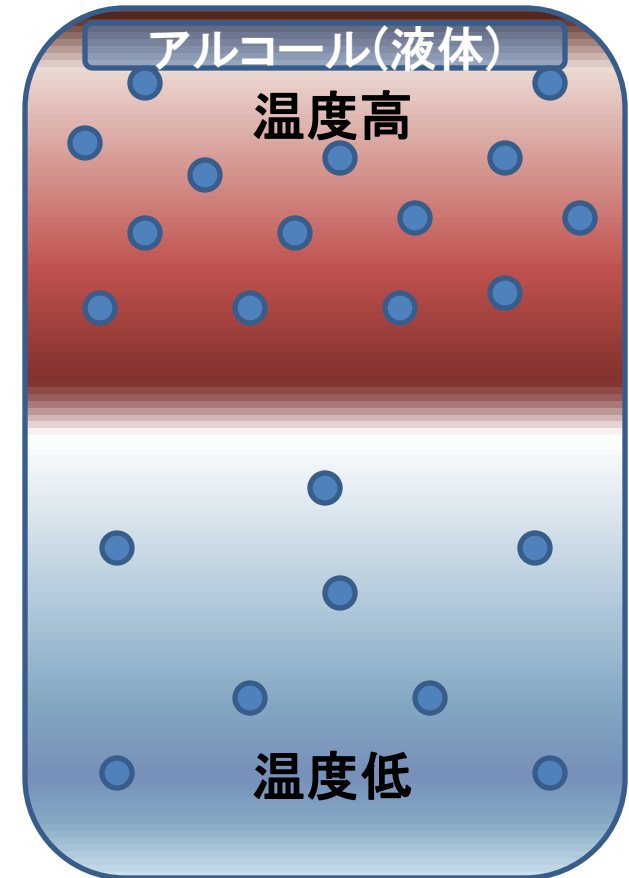
- ① 容器上部に液体アルコールを含ませる
- ② 容器内で右図のように上部と下部に温度差をつける
- ③ 液体アルコールが蒸発していく



# 電圧を印加しないガス検出器

## ◎ 霧箱

- ① 容器上部に液体アルコールを含ませる
- ② 容器内で右図のように上部と下部に温度差をつける
- ③ 液体アルコールが蒸発していく
- ④ 飽和蒸気圧の高い上部から飽和蒸気圧の低い下部へとアルコール蒸気が拡散していく



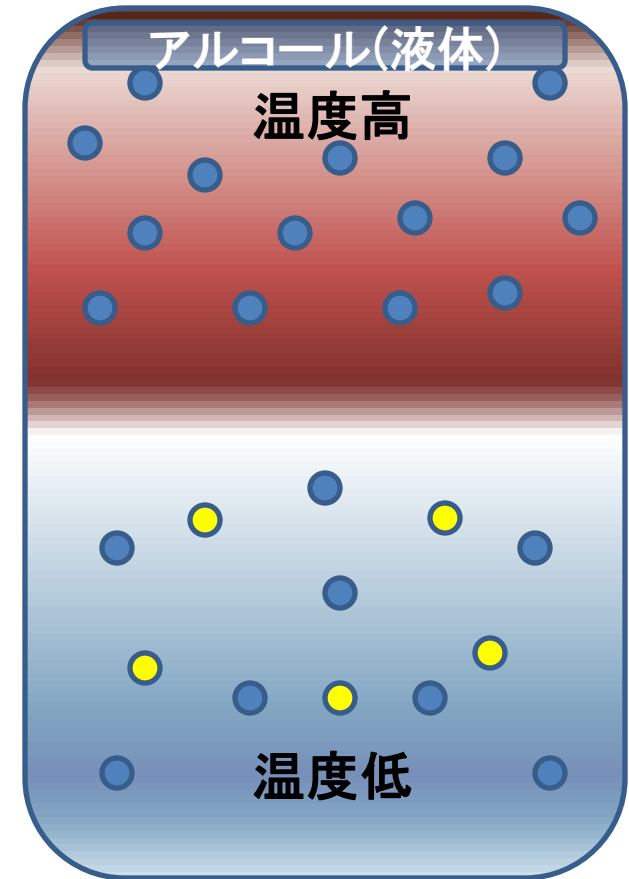
● : アルコール蒸気



# 電圧を印加しないガス検出器

## ◎ 霧箱

- ① 容器上部に液体アルコールを含ませる
- ② 容器内で右図のように上部と下部に温度差をつける
- ③ 液体アルコールが蒸発していく
- ④ 飽和蒸気圧の高い上部から飽和蒸気圧の低い下部へとアルコール蒸気が拡散していく
- ⑤ 容器内下部で過飽和の層が形成される

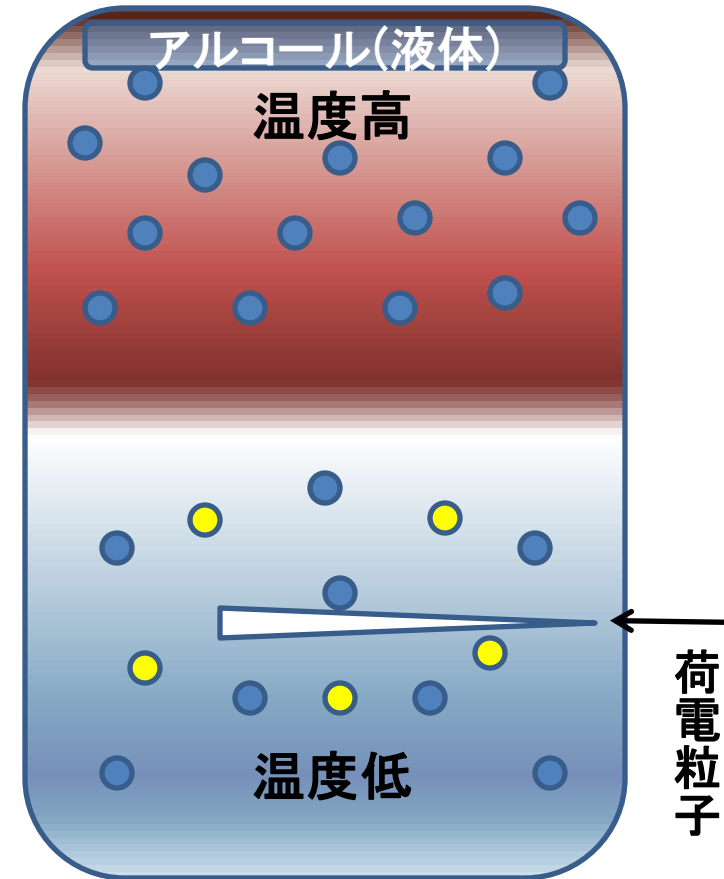


- : アルコール蒸気
- : 過飽和アルコール蒸気

# 電圧を印加しないガス検出器

## ◎ 霧箱

- ① 容器上部に液体アルコールを含ませる
- ② 容器内で右図のように上部と下部に温度差をつける
- ③ 液体アルコールが蒸発していく
- ④ 飽和蒸気圧の高い上部から飽和蒸気圧の低い下部へとアルコール蒸気が拡散していく
- ⑤ 容器内下部で過飽和の層が形成される
- ⑥ 過飽和の層を荷電粒子が通過した際、電離されて生成したイオンを核として蒸気が凝結する→霧のすじが生成



● : アルコール蒸気

● : 過飽和アルコール蒸気<sup>10</sup>

- 学部3年生の学生実験で用いた霧箱

使用した気体:エチレングリコール蒸気

化学式:  $C_2H_4(OH)_2$

融点:  $-12.9^{\circ}C$

沸点:  $197.3^{\circ}C$

動作温度:上部・・・ $110\sim 130^{\circ}C$ くらいに熱する

上部と下部の温度差・・・ $60\sim 80^{\circ}C$ くらい

- 今回作成した霧箱

使用した気体:エタノール蒸気

化学式:  $C_2H_5OH$

融点:  $-114.3^{\circ}C$

沸点:  $78.4^{\circ}C$

動作温度:上部・・・室温

下部・・・ドライアイス(昇華温度:  $-78.5^{\circ}C$ )に接触させて冷やす

# 3. 霧箱での $\alpha$ 線の観察

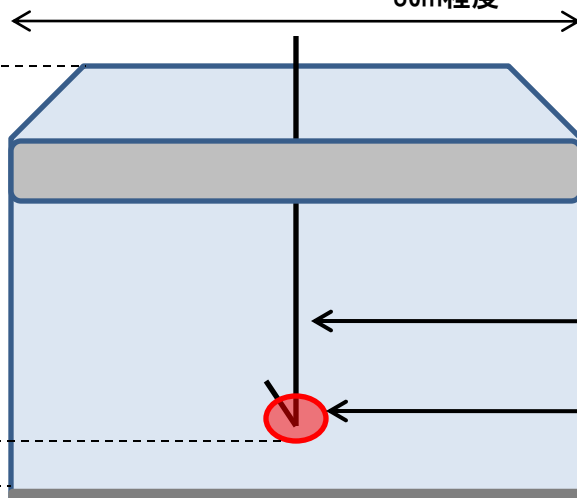


作成した霧箱



液体のエタノールをスポンジに含ませる。  
ドライアイスの上に置く。

8cm程度



エタノールを含ませたスポンジテープ

キャップから吊るした針金(線源を取り付ける)

線源(マントル)

熱伝導を良くするため、アルミテープで密封

ドライアイス

15cm  
程度

1cm  
程度

2009/12/7

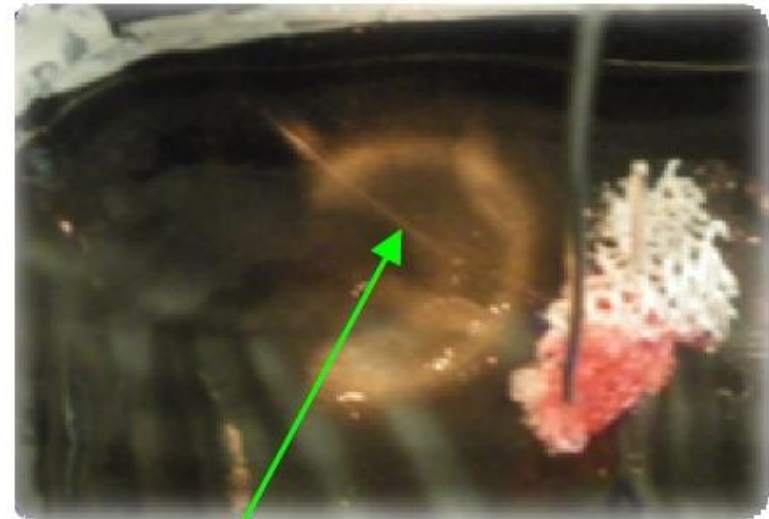
# 科学実験教室を準備し、講師を務めました。

## 「 大学生と学ぶ素粒子物理 身近な放射線について知ろう

### —霧箱の作成—

柴田研究室・多摩六都科学館共催 第30回 2009年11月8日(日)

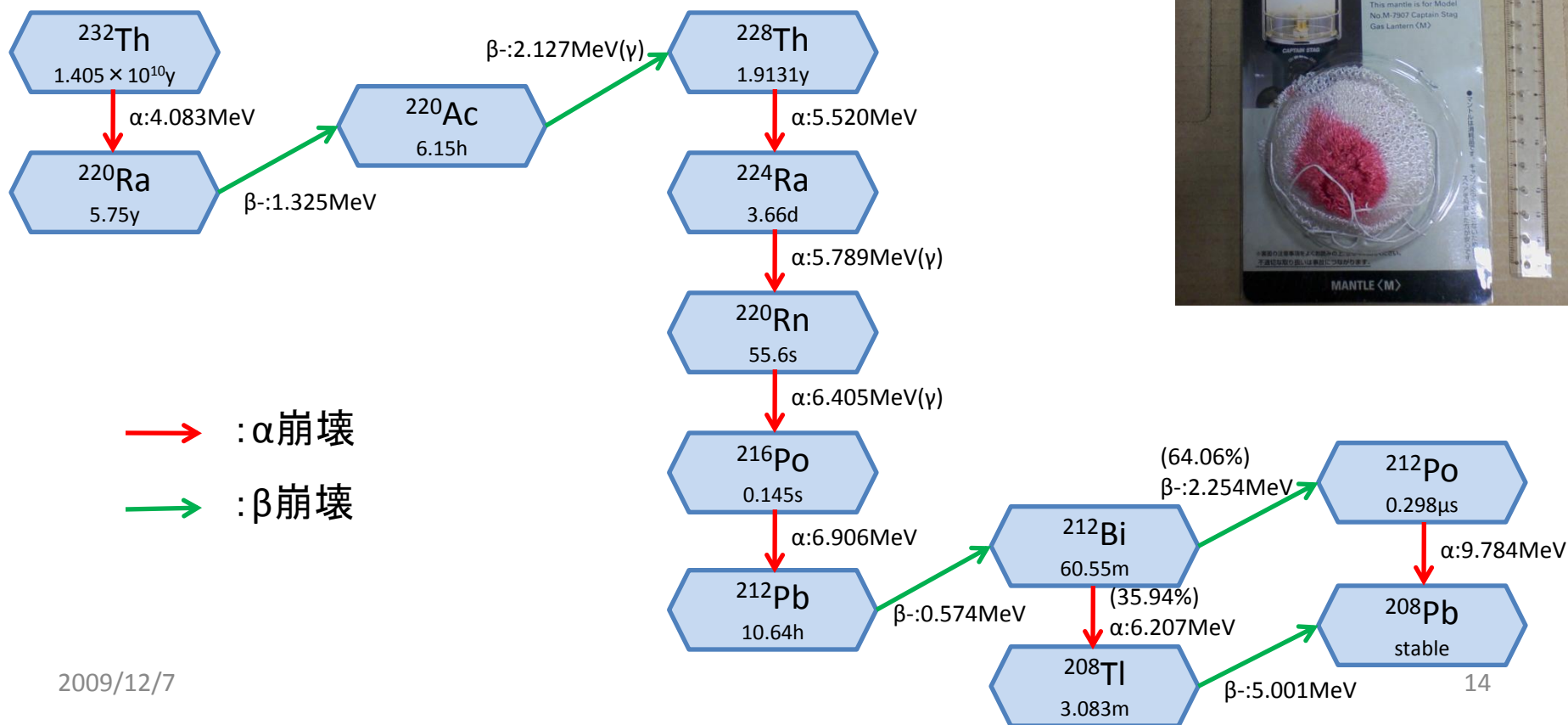
中高生約20名が参加し、ペットボトルで霧箱を作成しました。



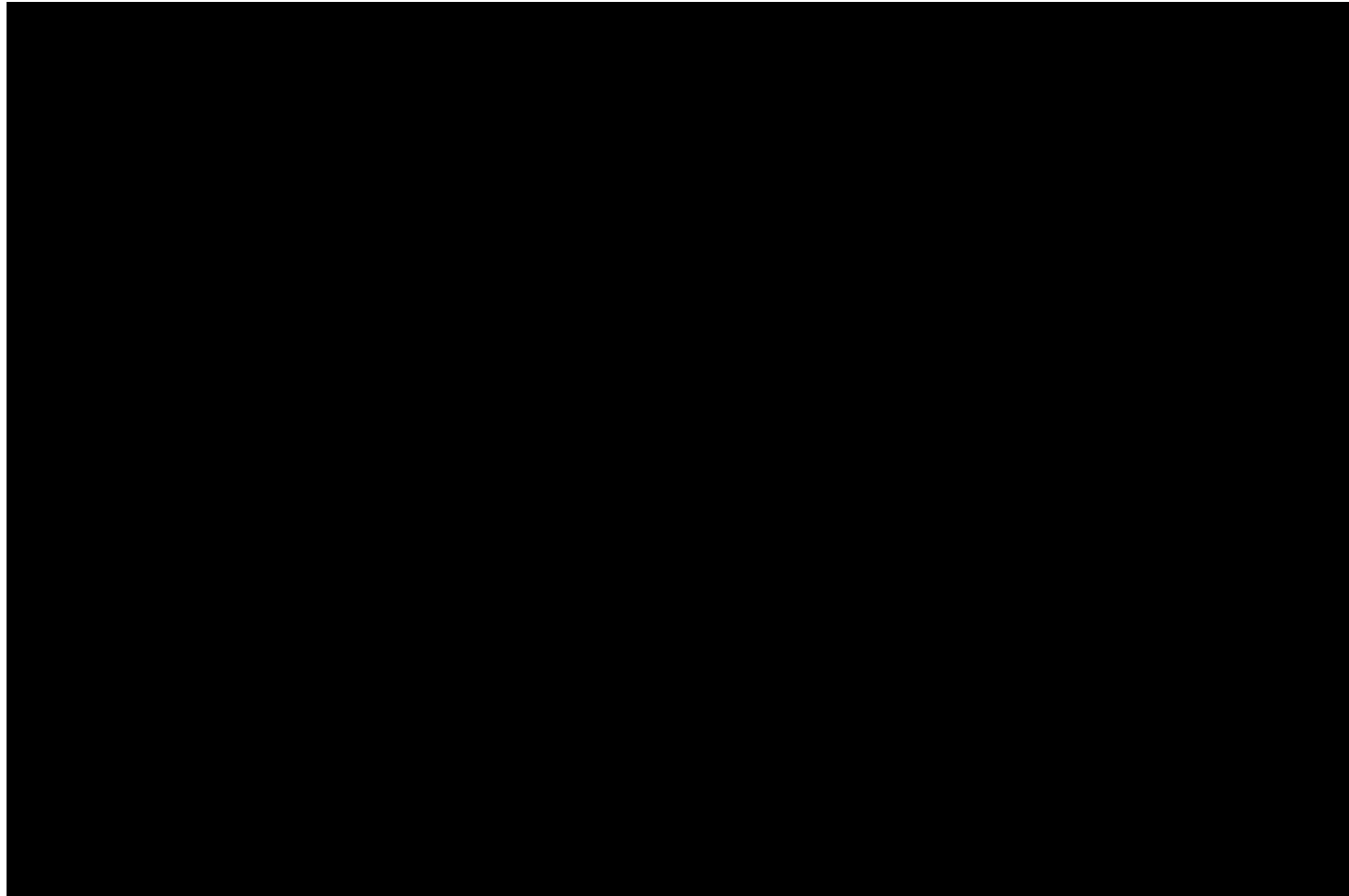
放射線(α線)

# 用いた線源

野外キャンプ等で使われるランタンの芯(マントル)  
マントル中には $^{232}\text{Th}$ が含まれる



今回使ったマントルを3年生の学生実験で用いた霧箱で見ると・・・



# 観測された飛跡

トリウム系列からの $\alpha$ 線



空気中に拡散したラドン気体からの $\alpha$ 線(?)



## 4. 今後の予定

### ◎霧箱

- 温度勾配や過飽和の度合い等、動作原理を詳しく見る
- $^{232}\text{Th}$ 系列に沿った連続的な崩壊を霧箱で確認する
- 霧箱で宇宙線を確認できるように調整する

### ◎スパークチェンバー

- 電圧を印加する検出器として学び、完成させる

## 5. まとめ

- 気体を用いた荷電粒子検出器には電圧を印加するものとししないものがある
- 電圧を印加するもの・・・MWPC、ドリフトチェンバー、スパークチェンバーなど
- 電圧を印加しないもの・・・霧箱、泡箱など
  
- 霧箱の動作を詳しく見ていく。
- スパークチェンバーについて学び、完成させる。



# 飛程

- Bethe-Blochの式

荷電粒子が標的物質中で失うエネルギー

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

- 飛程

荷電粒子がエネルギーを失うまでに標的物質中を走る長さ

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

# 標準温度圧力の空気中におけるアルファ粒子の 飛程は

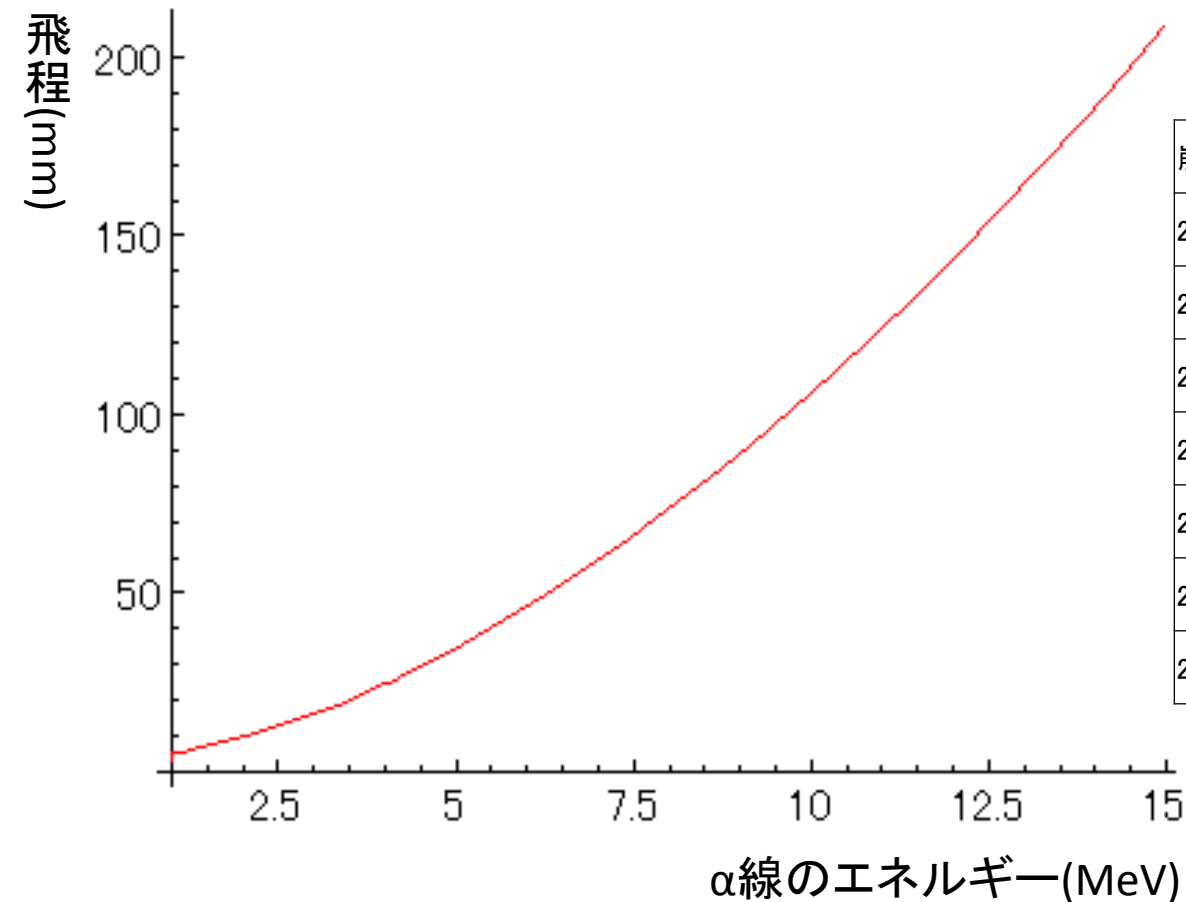
$$R(mm) = \begin{cases} \exp[T(MeV)] & 1MeV < T \leq 4MeV \\ [0.05T(MeV) + 2.85][T(MeV)]^{3/2} & 4MeV < T < 15MeV \end{cases}$$

T(MeV):α粒子の運動エネルギー  
 空気中以外の場合、Bragg-Kleeman則

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \sqrt{\frac{A_1}{A_2}} \quad \longrightarrow \quad R(mm) = 0.337 \frac{\sqrt{A_{\text{実効}}}}{\rho(kg/m^3)} R_{air}(mm)$$

$$\sqrt{A_{\text{実効}}} = \left( \sum_{i=1}^L \frac{\omega_i}{\sqrt{A_i}} \right)^{-1}$$

# $\alpha$ 線の空気中での飛程



崩壊核	エネルギー(MeV)	飛程(mm)
$^{232}\text{Th}$	4.083	25.19761482
$^{228}\text{Th}$	5.52	40.54129249
$^{224}\text{Ra}$	5.789	43.72792758
$^{220}\text{Rn}$	6.405	51.38924206
$^{216}\text{Po}$	6.906	57.98978525
$^{212}\text{Bi}$	6.207	48.87173984
$^{212}\text{Po}$	9.784	102.1920468

# 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。

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

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

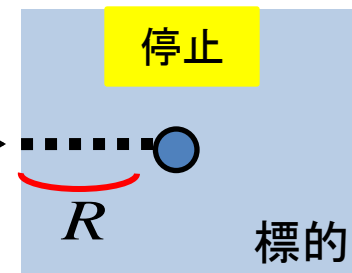
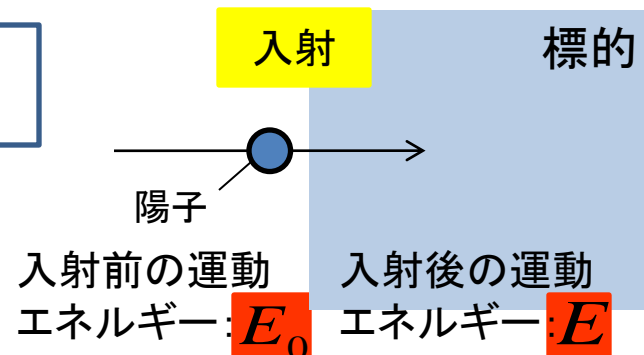
化合物標的での  
Bethe-Blochの式

(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。

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

重荷電粒子の飛程



$R$  (cm) 陽子、 $\mu^-$  のプラスチック(CH) 中での飛程  $R$

