

1 . 目的

地球上にはいくつもの宇宙線という名の放射線が降り注いでいます。

太陽のような星をはじめとする多くの天体は宇宙線を放出しているので宇宙線を調べると天体の様々な状態を知ることができます。しかし、この宇宙線は粒子の大きさから人間の目で直接見てそれを確認することはできません。では人間は目で見ることができない宇宙線(以降より放射線と呼ぶ)をどの様にして発見したのでしょうか？それは19世紀の終りGeissler(ガイスラー)の陰極線、陽極線の発見やRoentgen(レントゲン)のX線の発見によってある程度放射線の存在がわかった後、1896年 Becquerel(ベクレル)がウラニウムの化合物を、写真乳剤に接近させておくと、写真乳剤が感光することから、明らかに写真乳剤まで透過する放射線が放出されていることを確認したことに始まります。

人間は未知なるものを認識するとき、まず自分の目で見てその存在を確認することから始めます。大学の講義の中で、この地球上にはたくさんの放射線が降り注いでいることは学びましたが、そのときに自分の頭には「放射線が降り注いでいる」という一つの知識が増えただけで、どこかでその知識を疑う思いがありました。少し飛躍した例えかもしれませんが、UFOは存在すると言われた状態に似ています。実際に自分で見ていないものは『百聞は一見に如かず。』という諺があるように、人間は信じることができないと私は考えます。UFOと違い放射線は科学的に、その存在を人間の目でも見るようにして確認することができます。そこで「放射線が降り注いでいる」ことを、私は自分の目で一見する為に【放射線の可視化】を実験することにしました。

放射線を見るときにも色々な方法があります。

電気的検出器

光を利用する検出器、(例 シンチレーションカウンター)

飛跡による検出器 と三種類ほどあります。

今回の実験では、 の飛跡による検出器の中の霧箱と放電箱の一種であるワイヤースパークチェンバーで放射線を肉眼で確認することを目的とします。

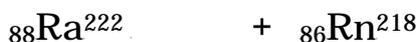
2 放射線源

2.1 放射線源概要

Rutherford(ラザフォード)はウラニウム、トリウムなどの天然の放射性物質から出ている放射線の物質による吸収測定から、放射線には性質の異なる2種類のものがあり、一方は電離能力が非常に大きく、物質に吸収されやすく、薄い紙でも止まってしまうもの。もう一方はこれに反して電離能力は小さく、透過力が大きいものがあります。前者を【 α 線】、後者を【 β 線】と命名しました。その後、 β 線よりもさらに透過力が大きい放射線も存在することがわかり、これは【 γ 線】と名づけられました。私の実験では α 線と β 線を使用しました。

2.2 α 線源

α 線の正体はヘリウムの原子核で、陽子2個と中性子2個よりなります。そのエネルギーは4~9 MeV程度です。物質透過に際して、物質中の原子や分子を励起、電離したりして物質にエネルギーを与え、自らはその運動エネルギーを失ってゆくが、イオン化能力は極めて優勢で、その軌道に沿って濃厚なイオン対を形成します。その結果、物質に対する透過能力は少なく、紙一枚程度で容易に阻止することができます。物質によって散乱をうける程度は少なく、ほとんど直進します。 α 線発生の最も簡単な例は、ラジウム ${}_{88}\text{Ra}^{222}$ がラドン ${}_{86}\text{Rn}^{218}$ に変わるときに α 粒子が放出されるもので



このような反応をする。 α 粒子は ${}^4\text{He}$ です。

今回の実験で使用した α 線源は【アメリシウム-241】

${}_{241}\text{Am}$ 原子量 241 電荷 +2 質量 7294

エネルギー 5,476 (MeV) α 線量 0.2 (μCi)

半減期 約433年

${}_{95}\text{Am}^{241} \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{93}\text{Np}^{237}$ (${}^4\text{He}$ は α 線) このように α 線を放出します。

2.3 β 線源

β 線の正体は放射線同位元素の崩壊に際して放出される電子線です。陰電子と陽電子の二つの場合がありますが、単に β 線と呼んだ場合は陰電子を意味することが多い。エネルギーはRIの種類によって大幅に異なり、数十keV~10 MeVまで様々です。電離能力は α 線の場合の約50分の1程度であるが物質透過能力は非常に高い。また、物質と衝突すると質量から物質の分子に衝突した際に大きくその進路を変えられてしまい、非常に散乱しやすいのも特徴です。

今回の実験で使用した 線源は 【プロメチウム - 147】

^{147}Pm 原子量 147 電荷 ± 1 質量 1

エネルギー 0.255 (MeV) 線量 0.2 (μCi)

半減期 約 2.63 年

$^{61}\text{Pm}^{147} \rightarrow ^{62}\text{Sm}^{147} + e^-$ このように 線を放出します。

3 . 霧箱

3.1 霧箱

1897 年に Wilson(ウィルソン)によって発明されたもので、主に宇宙線の研究に使われていました。数 MeV 以上の放射線の測定器で原子核反応を調べるのに適当です。箱内の気体とその圧力は目的によっていろいろと変えます。膨張型と拡散型の二つがあります。磁場をかければ(マグネチック霧箱とよばれる) 100 GeV オーダーのところまで運動量の測定ができ、また霧滴を数えれば電離密度の測定ができ、したがって粒子の区別が可能です。

また、似たような測定の方法に泡箱があります。これは、1952 年 Glaser(グレーサー)によって発明されたもので、高エネルギー加速器で、原子核物理を研究する場合に主に使用されました。数 10 MeV 程度以上の放射線ならば何でも測定できるし、霧箱のように運動量の測定、粒子の区別ができます。中の液体は目的によって水素、プロパンなどいろいろ変えることができる。霧箱に比べて、箱内物質の密度が高く、したがってそれだけ原子核反応の起きる確率が大いのが特徴です。

今回実験に使用したのは霧箱の高温拡散型といわれるタイプのものである。特徴は、従来の拡散型霧箱は底面をドライアイスで冷却する必要があったが、本器は底面を冷却するのは逆に、観察層の上部を加熱し、層内にエチレングリコールの加熱飽和蒸気を作り、連続的に放射線の飛跡の観察ができることです。

原理はエチレングリコールを十分にしみ込ませた観察層上部を加熱することによりエチレングリコールの蒸気を作ると同時に、電離層と上部ヒータとの間に約 60 の温度勾配を作ると、底面より約 10 ~ 20 mm のところにエチレングリコールの過飽和層ができます。この中を放射線が飛ぶと、気体分子をイオン化し、それらが核となってエチレングリコール蒸気が凝結して飛跡が見られます。

(エチレングリコール)

化学式 $\text{HO}-\text{CH}_2\text{CH}_2-\text{OH}$

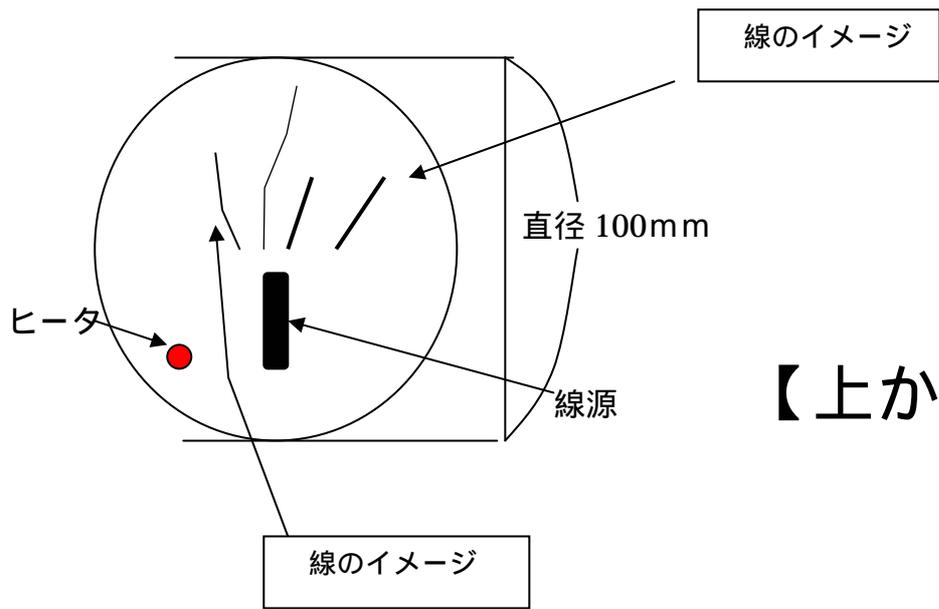
分子量 62.07 気化点 20 沸点 197 融点 -12.6

電離(イオン化)

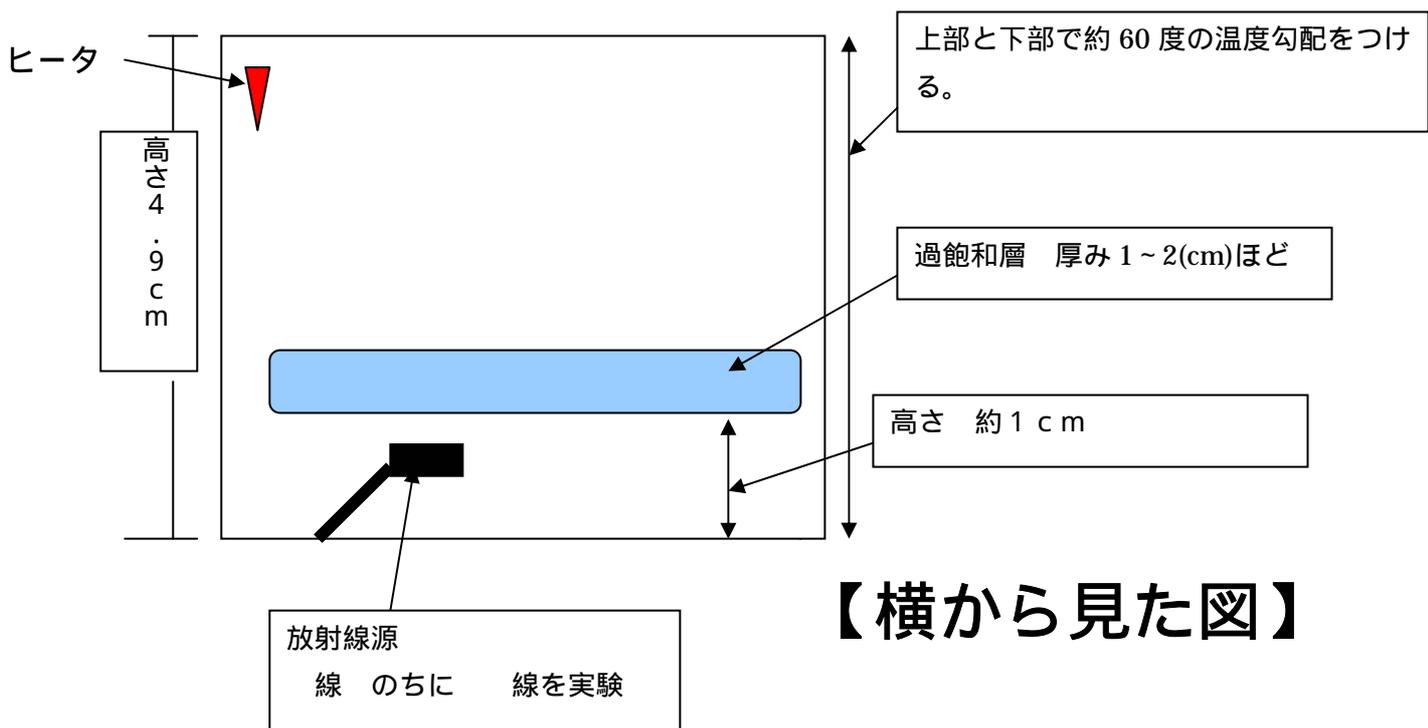
自由な電子と電子を失った原子に分離することを電離(イオン化)といいます。

電子および原子をイオンと呼びます。原子の分離は起こらないが、原子全体がエネルギーの高い状態になる場合があります。これを励起と呼びます。

このように入射荷電粒子は自分自身のエネルギーを失っていきます。これを電離損失といいます。



【上から見た図】



【横から見た図】

3.2 準備と注意点

エチレングリコールと霧箱を準備します。

霧箱の上蓋を取り、観察層内部の金網部分とテープ布にエチレングリコール(約 20ml)を十分に含浸させます。底面も全面エチレングリコールでおおいます。底面の液量は 1 mm 程の深さが良い。

観察層円筒部下部小穴に放射線源を挿入します。このとき線源の先端の高さが 10 mm 以内になるように固定します。

観察層に上蓋をし、ヒータ電力供給線を操作部コンセントに差し込みます。この時点で上蓋を付属の板バネで固定するべきなのですが、紛失しているためないままにしておきます。

ACコードのプラグを電源に差し込みます。サーモスタットつまみを 4 目盛に合わせ、電源スイッチを ON にします。光源ランプが点灯すると同時にサーモスタットつまみの左上の温度調節器の表示灯が点灯します。設定温度になると自動的に、ON、OFF を繰り返し観察層上部の温度を一定に保ちます。

10 ~ 15 分程で層内には盛んに細かい粒滴落ちていくのが確認できるようになります。操作部側に光源があるため観察は後方斜め上部より見るのが最適です。この状態で飛跡が観察できない場合は、設定温度を粒滴が波打つように見える場合は温度が高すぎるために上部と下部の温度勾配がつきすぎ波打つように見えるので半目盛りほど下げ、粒滴がほとんど見えない場合は温度が低すぎるから過飽和層ができなくなっているため半目盛りほど上げるなど、温度を変えてやると見えるようになります。

【注意】

線源の前部に霧が付着すると、線は透過能力が低いいため線源の先端に付着した霧粒でとまり、飛跡が見えにくくなるので、霧粒が付着した場合は桐箱を斜めにし、エチレングリコールがこぼれないように放射線源を取り外し、前部を拭くとまた見えるようになる。この方法は放射線源を交換する時にも同様に使える。

上蓋は目盛りがついているほうが上にくるようにする。

温度を上げすぎると上部が曇ってしまうので注意。

3.3 測定結果

下面のエチレングリコールの深さを 1 mmにする。室内の温度が 16 °C なので 60 °C の温度勾配をつけることができるように、目盛りを 80 °C にする。まずは 線源から見る。

3 分後に細かい粒の霧が見える。

5 分後には細かい粒の霧がほとんど見えなくなる。

8 分後、よく見ると線源に向かって飛ぶような放射線の飛跡が見られる。

少し太くはっきりと見える。少し短く直線的。長さを測ることができるほど均一なわけではなく、長さははっきりとしない。

15 分後、線源に交換する。

線と比べて明らかに長く、細い。長いのも原因かも知れないが、かなりぐにゃぐにゃ曲がっていたため、線と同様に長さを計測するのは不可能でした。

【結論】成功

回目と同じ条件で。室内温度が 14 °C なので設定温度を少し低くし 75 °C にする。同じ条件で行う為 線から実験開始。

線の見え方は 3 回目と全く同じ。

少し早めの 10 分後 線源と交換する。

線も 3 回目と全く同じように見える。

線、線ともにこの見え方をすることを確信する。

回目 回目、回目と全く同じ設定で実験する。室内温度は 16 °C なので 80 °C ほどに設定。ビデオ撮影し、実験終了。

3.4 片付け方法

エチレングリコールの蒸気は体に有害なので、上蓋をはずしたらすぐさま窓を開け換気をする。5 分ほど放置した後、片付けを開始する。まず、底面に溜まったエチレングリコールをティッシュなどによくしみ込ませ、しみ込んだティッシュはゴミ箱に捨てる。有害な液体の為、決して水道で洗い流したりしてはいけない。金網部分、テープ部分にもティッシュを押し当てエチレングリコールをよく吸い込む。放射線源を指定の保管場所に戻し、片付け終了。装置内部に埃がたまらないように上蓋はつけておく。

3.5 霧箱の考察

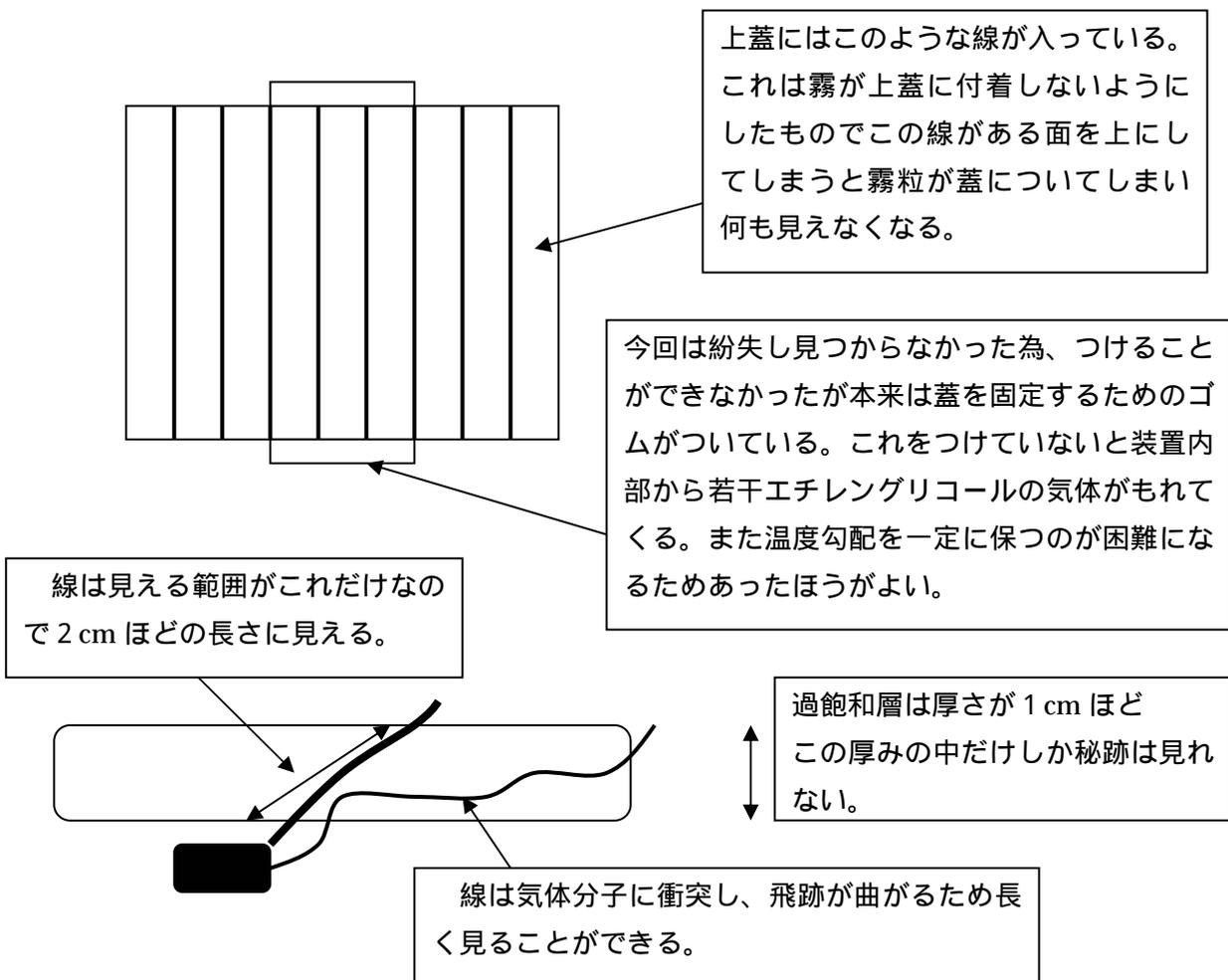
上蓋の目盛がついたほうが下になることに注意しなければいけなかった。

上部と下部の温度勾配を約60にするために、室温によって温度の設定を変えることが必要になる。過飽和層は厚みが1~1.5cmほどであること、光源から照らされる範囲しか見えないこと、そして放射線源が装置のほぼ中央に位置するため飛程が見える範囲がかなり狭くかなり見づらいため長さが測りにくい。

線について 実験結果では、太く短い線が見られたが、線の性質として、電離能力(イオン化能力)が大きい為、太い線になることが予想される為、この結果は正しいと言えます。また、物質に吸収されやすい為、2cm程の短い線になることも正しいことがわかる。

線について 実験結果では、長く細い線が見られたが、線の性質として、電離能力(イオン化能力)が小さい為、細い線になることが予想される為、この結果は正しいと言える。また、透過能力が高い為、長い線になることも正しいと言えます。

実験を通して、線と線は性質の通りに結果が出たといえる。



4. ワイヤースパークチェンバー

4.1 ワイヤースパークチェンバーについて

放電箱について少し述べます。放電箱とは、60年代に発展し、主に宇宙線の研究に使われている装置である。霧箱のように比較的調整の面倒なイオンに霧がつく現象や、膨張をするのに必要な温度操作などのようなものに頼らずに、電氣的に行ってしまうとするもので、きわめて安定である為、面積の大きいものを作ったり、オートメーション化したりするのに便利な装置です。

次に、放電箱の一種でスパークチェンバーと呼ばれる装置を説明します。スパークチェンバーは大阪大学で1957年から59年にかけて渡瀬譲教授のもとに研究開発されたホドスコープチェンバーという細長いガラス管の中にネオンガスを封入したものを積み重ね、宇宙線の通過直後にガラス管に高電圧を加え、宇宙線が通過したガラス管のみを放電させ、その状態を写真に撮るといった装置を改良したものです。その原理は放電箱の上下にあるシンチレーションカウンターが宇宙線通過を検出し、その検出信号で、10 keV前後の高電圧パルスを一時的(約100万分の1秒)に放電箱に与えます。宇宙線が通った所には、電離電子が作られ、高電圧パルスが印加されると、電離電子を種として電子なだれというガス増幅が起こる。そして、この電子なだれが発展していき、最終的に電氣的に伝導性の柱となり、放電し、宇宙線の通った所が光って見えるというものです。放電によって光っている時間は約100万分の1という短い時間だが目の錯覚によって長く光っているように見えるのです。

今回、私がおこなった実験は『近くにあった原子がイオン化され、放電を生じやすい状態になる。』という現象を使い、放射線を可視化する装置です。

ワイヤーチェンバーとは訳すると『線を使う箱』という意味になるように高電圧をかけるワイヤーを使用します。その構造は単純で、陽極となる高電圧をかけたタンゲステン線を陰極となる表面がなめらかな円盤から2 mmほど離し、降ってきた放射線が電子なだれをおこし放電しやすくなった状態を後押しし、放電を起こしてやるというものです。しかし、普通の宇宙線では放電が起こらない為、ワイヤースパークチェンバーはエネルギーがある程度高い放射線源を使用します。そして放射線源とワイヤーの距離を調節し荷電粒子の飛跡を観測します。今回の実験では荷電粒子の飛程を求めます。ではなぜワイヤーを使うのか？それは電場を大きくし電子なだれ(電子数の以上増殖)を起きやすくしてやるためです。

4.2 準備と注意点

放射線源と高圧電源と放射線源を用意します。

装置に線源をセットする。線源がワイヤーに接触していないか確認する。線源とワイヤーの距離は2 cm程が良い。

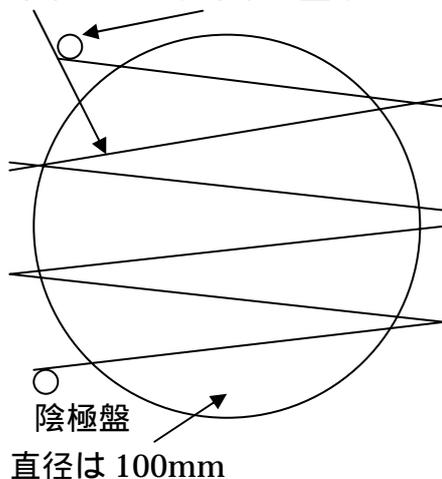
高圧電源の摘みを少しずつ回し、電圧をゆっくり印加してゆく。あちこちで放電が起こればそれは放射線に反応し起こっているものである。

一度、スイッチを切り線源とワイヤーの距離を調節し、粒子の飛程を計測する。あちこちで放電が起こらなくなった距離が、粒子の飛程の限界である。

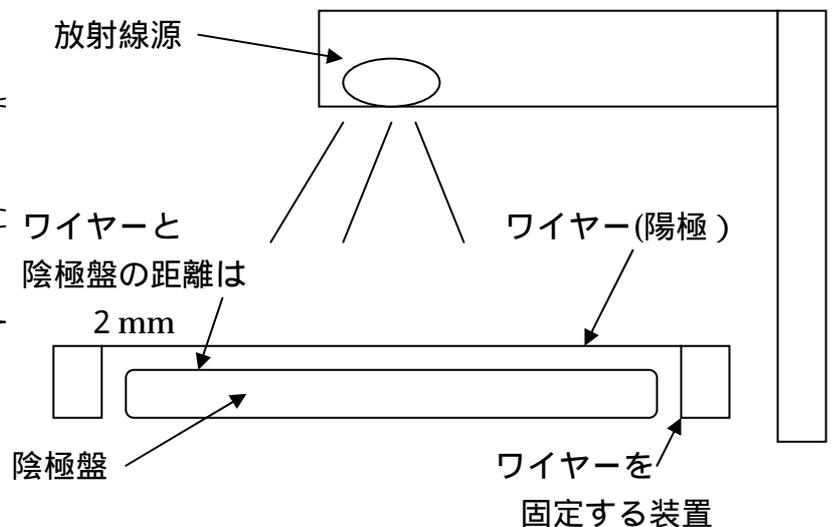
【surge 対策】

- 特定箇所で連続放電(surge)が起こった場合、まず連続放電が消えるまで印加電圧を下げる。下げた状態でランダムな放電が起こっていればよい。放電が始まる電圧と消える電圧は違うので、消えるまで下げた後に少しずつ印加電圧を上げると成功しやすい。
- ランダムな放電が起こる電圧で、surge が起こる場合、陰極盤もしくはワイヤーが surge でできた汚れが surge を起こしていることがあるため、ワイヤーの交換、もしくは陰極盤の上面を掃除してやる必要があります。ワイヤーの交換は張り具合をなるべく均一にすること、ひねりにより跡がついた場合はそのワイヤーは使えなくなるので注意が必要である。ワイヤーを淵にかけた後、本来は半田付けすれば良いのだが、この装置ではそれはできないので何らかの形で（この実験ではセロファンテープで固定した）淵にかけたワイヤーを固定してやるとうまく張れます。最後にネジでワイヤーを固定するときワイヤーが切れる場合が多いので注意が必要です。陰極盤の上面の掃除はアルコールで（この実験ではアセトンを使用した）拭いてやると良い。連続放電の後が上面に残ってしまう場合があるが、上面がほぼ滑らかであれば気にする必要はない。拭くものはなるべくなら埃のでない布を使用するのが良い。
- それでも surge が起こる場合、もしくはランダムな放電が起こらない場合は、ワイヤーと陰極盤の距離に問題があるので、距離を少しずつ変えてやること。
- surge 対策で陰極盤を取り外して掃除した場合の注意点だが、陰極盤の取り付けのむきに注意しなければいけない。向きを間違えた場合、ワイヤーの固定板に触れてしまい異臭を発することがあるので注意しなければいけない。

ワイヤー ワイヤー止め



【上から見た図】



【横から見た図】

4.3 成功までの長い道のり(第一段階)

1回目 陰極盤とワイヤーの距離は0.6 mmに設定

線源は霧箱と同様の線源を使用(線源)。

ワイヤーの直径は50 μ mのタングステン線を使用。

【結果】

電圧を2 kVまで上げたところランダムな放電が起こる。いったん印加電圧を0 kVまで下げ線源を取り除いた後、電圧を上げていくと2 kV付近でランダムな放電が始まる。【失敗】その後、陰極盤とワイヤーの距離を2 mmにしたり電圧を5 kVまで上げたりするが、成功する気配はない。ワイヤーの汚れが原因ではないかと疑う。

2回目 線源は1回目と同様。陰極盤とワイヤーの距離は2 mmから少しずつ近づけていく方法をとる。ワイヤーは直径が100 μ mのタングステン線に変更。

【結果】

距離(mm)	線源ありの放電電圧(kV)	線源なしの放電電圧(kV)
2	2.2	2.3
1.5	2.2	2.2
1	2.25	2.25
0.5	2.2	2.2

図からもわかるように線源あり、線源なしの状態と同じように放電してしまう為、失敗である。ワイヤーは張り替えた為、陰極盤に付着した汚れが原因ではないかと疑う。

3回目 陰極盤を取り外し、アルコール(アセトン)で洗浄する。

陰極盤とワイヤーの距離は2 mmにする。

ワイヤーは100 μ m 線源は線源を使用。

【結果】陰極盤の取り付けの向きが原因か、異臭が発生。反応は全くない。異臭は電圧を上げすぎたことが原因だった。5 kV以上にはしないように気をつける。

実験失敗

4回目 陰極盤の向きをワイヤーが固定されている装置に触れないようにセットする。陰極盤とワイヤーの距離は2 mmから0.5 mmまで0.5 mmずつ変化させていく方法をとる。

ワイヤーの直径は100 μm 線源は 線源を使用。

【結果】

距離(mm)	線源ありの放電電圧(kV)	線源なしの放電電圧(kV)
2	失敗	失敗
1.5	失敗	失敗
1	失敗	失敗
0.5	2.3	2.25

やはり同じ電圧で放電が起こってしまう。さらに、放電が特定の箇所で起こっている為、surgeと判断する。ワイヤーのたるみが原因ではないかと疑う。

実験失敗

5回目 ワイヤーの直径は100 μmのまま張りなおしをおこなう。方法はすべて4回目と同じにしておこなう。

【結果】4回目と同じ結果に終わる。Surgeを繰り返していた為、ワイヤーの交換と陰極盤の洗浄が必要と判断する。**実験失敗**

6回目 ワイヤーは直径が50 μmのタンゲステン線を使用する。

方法はすべて4回目と同じにしておこなう。

【結果】何kVにしても距離をいくら変えようとも全く反応しない。何を変えればどのような条件にすれば良いのか全くわからなくなる。**実験失敗**

7回目～10回目

ワイヤーはそのまま、陰極盤とワイヤーの距離を0.1mmの単位で変化させた。

0.1mmから5mm程まで試したり、陰極盤の向きを変えたり、ワイヤーの張り具合を均一にしたり色々試みるがすべて失敗に終わる。

4回すべて実験失敗

1 1 回目 ワイヤーを直径が75 μmのタングステン線に変更する。

放射線源は 線源 陰極盤とワイヤーの距離は2 mmから0.5 mmずつ変化させていく方法をとる。

【結果】

距離(mm)	線源ありの放電電圧(kV)	線源なしの放電電圧(kV)
2	失敗	失敗
1.5	失敗	失敗
1	失敗	失敗
0.5	2.3	失敗

0.5 mmで線源ありの場合だけ反応した為、この成功が自然放電によるものかどうかを確認する為に0.5 mmに固定し5回繰り返してみる。

回数	線源ありの放電電圧(kV)	線源なしの放電電圧(kV)
1	2.2	失敗
2	2.3	2.2
3	2.25	2.2
4	2.3	失敗
5	失敗	2.3

線源ありとなしでほとんど変わっていないことが判明する。

よってこれは surge ではないにしろ自然放電であると結論づけるしかない。

原因は0.5 mmという陰極盤とワイヤーの距離にあると判断する。

1 2 回目 放電が起きやすいようにライターのガス(ブタン)を装置内に充満させる方法をとる。ガス漏れを防ぐ為、装置のガスが漏れそうな箇所をセロファンでふさぐ。

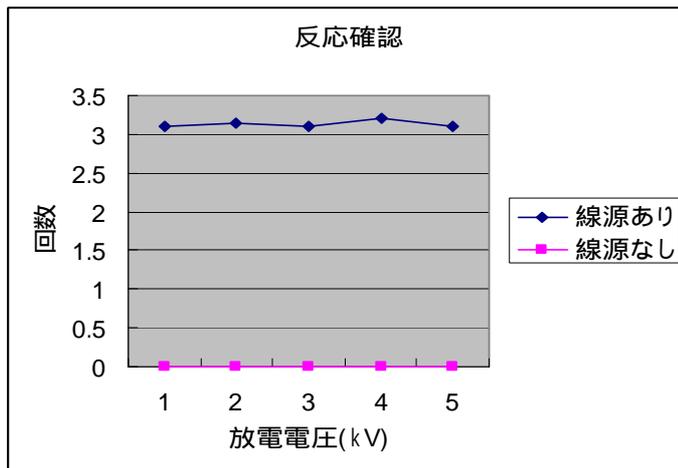
線源は 線源を使用 陰極盤とワイヤーの距離は2 mmから0.5 mmずつ変化させる方法をとる。

【結果】

距離(mm)	線源ありの放電電圧(kV)	線源なしの放電電圧(kV)
2	3.1	失敗
1.5	3.15	失敗
1	Surge 発生	Surge 発生
0.5	Surge 発生	Surge 発生

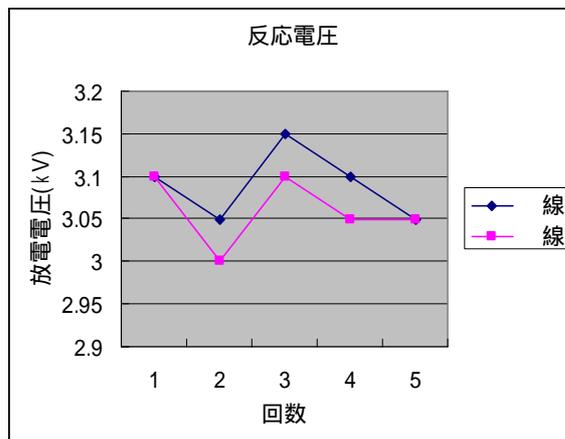
距離が2 mmで放電が発生し、距離を減らすと surge が発生する為、2 mmで固定しこれが自然放電でないか回数を重ね検証する。

回数	線源ありの放電電圧(kV)	線源なしの放電電圧(kV)
1	3.1	失敗
2	3.15	失敗
3	3.1	失敗
4	3.2	失敗
5	3.1	失敗



以上の結果から線源がある場合とない場合での反応の違いは明らかであるので、第一段階が成功したといえる。線源だけでなく線源でも同様の結果になるかを検証する。

回数	線源の放電電圧 (kV)	線源の放電電圧 (kV)
1	3.1	3.1
2	3.05	3.0
3	3.15	3.1
4	3.1	3.05
5	3.05	3.05
平均と誤差	3.09 ± 0.02	3.06 ± 0.02



線源、線源ともにワイヤーチェンバーに反応してランダムな放電を起こしているといえる。これにてワイヤーチェンバーの反応を確かめる第一段階の実験は成功したといえる。線源と線源の放電する電圧の平均は 3.075 ± 0.009 (kV) である。

この計測をおこなった後、より正確に放電が起こる陰極盤とワイヤーの距離を調べる実験をおこなった。その結果から距離はワイヤーにはそれぞれの箇所ですみがある場合があるため、正確な値ではないが、おおよそ 1.85 mm がもっとも失敗のない距離だということが判明した。これ以降は陰極盤とワイヤーの距離は 1.85 mm に保つことにする。

4.4 第一段階の考察

色々な失敗の上、12回目にしようやく成功にたどり着いた。より正確な実験値を得る為には装置内にガスを充満させ放電を起こりやすくしてやる必要があった。この結果をふまえ、より正確に第二段階の実験を成功させたい。

4.5 第二段階への説明

第一段階ではワイヤーから線源の距離を一定にして、正確に放電を起こす条件を求めた。距離を一定に保ったことにより線、線ともにワイヤーに届き放電を起こすことができた。しかし、線と線とは空気中で飛ぶ距離（飛程）が異なるはずである。線は線源説明の項目でも述べたが、その電離能力は非常に高いため、空気中では～10cmほどしか飛ぶことはできない。今回はガスと空気の混合気体であるため、その混合気体中でどれほど飛ぶかを実験によって求めたい。そして線は電離能力が低い為、混合気体中で止まらずに装置の許す限り飛ぶことができるのかも実験によって求めたい。第二段階の条件はすべて第一段階で出した数値を使用し、その上で線源とワイヤーの距離を細かく変えていき、線源による飛程の違いを求める。

4.6 第二段階の条件と結果

【条件】 陰極盤とワイヤーの距離 1.85mm

線源は線線ともに使用

線源とワイヤーの距離は2cmから0.5cm刻みで上げていく。

装置内にはライターのガスを充満させ、ガスが漏れそうな穴はすべてセロファンテープで封じる。放射線源差込口は塞ぐことはできないため、そのまま実験をおこなう。なるべく充満させたままの状態を保つ為に、実験中は常にガスを注入し続ける。

印加電圧は0keVから少しずつ上げていき放電が起こった目盛りでとめる。

ワイヤーは直径が75μmのタングステン線を使用する。

線、線を同じ条件で実験できるように0.5cm上げるごとに切り換え交互に実験をおこなう。

【手順】

第一段階と同じ条件で実験器具を設置する。

2cmからはじめ放電が起こった電圧で止め、数値を計測する。

0.5cmずつ線源とワイヤーの距離を離してゆく。

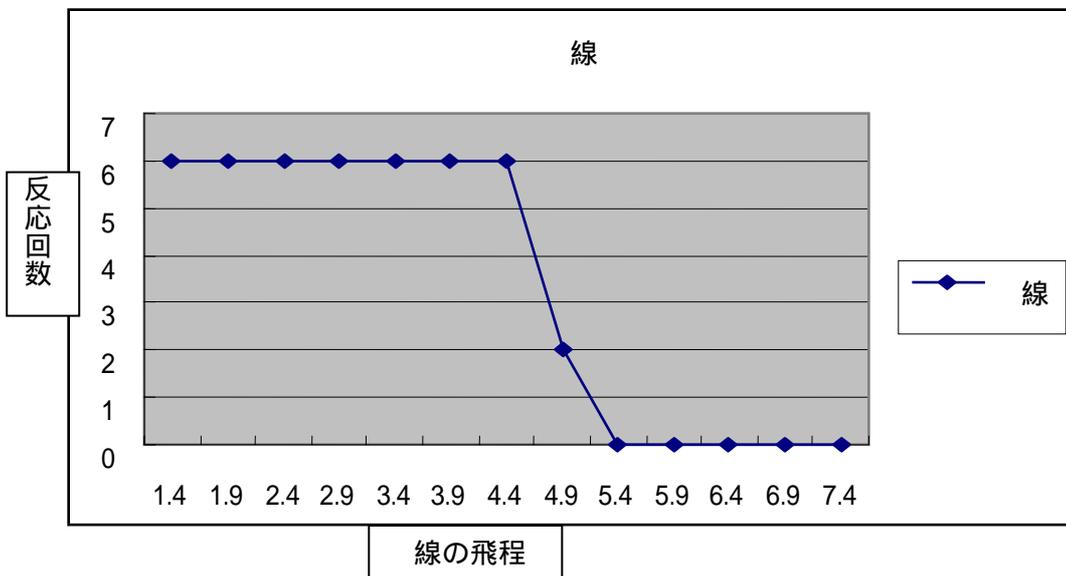
線、線ともに反応が無くなったらその前後の数値を0.1cm刻みで細かい値を計測する。

どちらかの線源の反応が無くなっても、装置で測ることのできる上限まで(8cm)どちらも計測を続ける。また、実験が終わる

まで、ガスは注入し続ける。

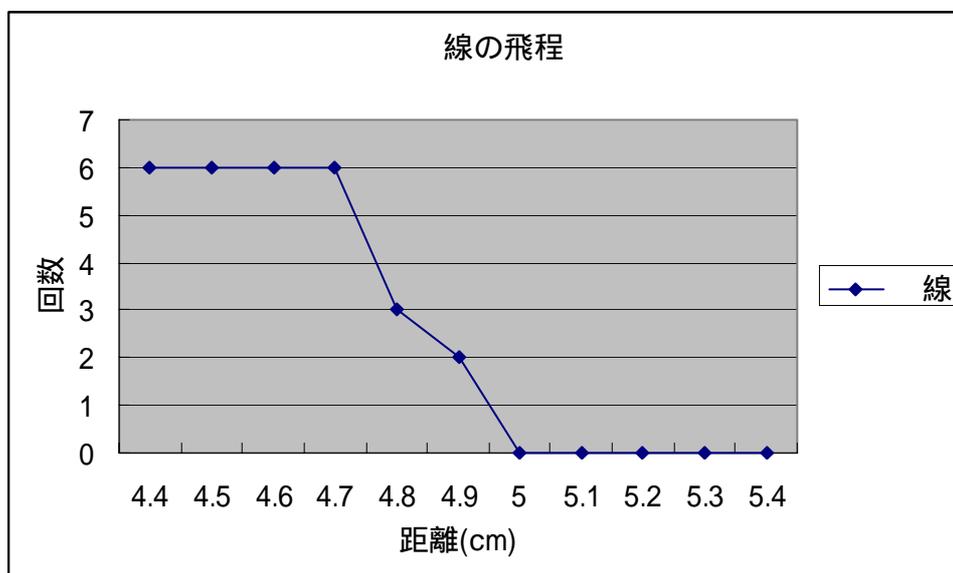
【結果】

距離 (cm)	線源を感知し放電する電圧 (kV)					
1.4	3.1	3.0	3.2	3.1	3.15	3.0
1.9	3.0	3.1	3.05	3.0	3.05	3.05
2.4	3.1	3.05	3.1	3.0	3.05	3.0
2.9	3.1	3.05	3.05	3.0	3.0	3.1
3.4	3.1	3.1	3.0	3.05	3.1	3.05
3.9	3.0	3.15	3.1	3.05	3.0	3.0
4.4	3.05	3.1	3.1	3.05	3.1	3.0
4.9	3.2	×	×	3.05	×	×
5.4	×	×	×	×	×	×
5.9	×	×	×	×	×	×
6.4	×	×	×	×	×	×
6.9	×	×	×	×	×	×
7.4	×	×	×	×	×	×



線は5.4cm以上飛んでいないことがわかった。次に、0.1cm刻みでより厳密に線の飛程を計測する。

距離 (cm)	線を感知する電圧 (kV)					
5.0	3.05	3.1	3.1	3.05	3.1	3.0
5.1	3.0	3.05	3.0	3.1	3.05	3.0
5.2	3.05	3.0	3.05	3.0	3.1	3.05
5.3	3.05	3.05	3.05	3.1	3.1	3.05
5.4	3.0	×	3.0	3.05	×	×
5.5	3.2	×	×	3.05	×	×
5.6	×	×	×	×	×	×
5.7	×	×	×	×	×	×
5.8	×	×	×	×	×	×
5.9	×	×	×	×	×	×
6.0	×	×	×	×	×	×



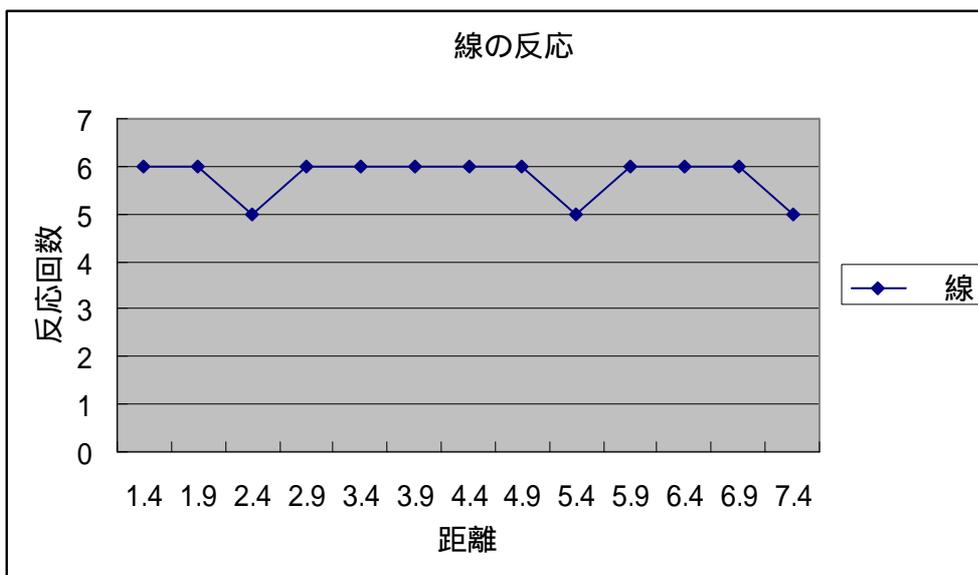
以上より 線は5 cm 以上飛ばないということがわかった。
平均飛程は約 4.7 cm であるといえる。

【平均飛程】

放射線は物質中を通過するとき、物質の原子と電磁相互作用を行い、原子の周りの電子を跳ね飛ばして原子をイオン化することでエネルギーを失う。このエネルギー損失は通過する物質の原子番号のほか、入射荷電粒子の電荷、質量およびエネルギーによって決まり、放射線のエネルギーが一定ならば同一物質中での飛程は確率的にほぼ一定である。しかし、単一入射エネルギーであるにもかかわらず平均飛程の周りにガウス分布する。これを飛程の揺らぎと呼ぶが、これは放射線粒子の大きさによっておき、線は物質原子とぶつかりやすく飛程はガウス分布になり、線は粒子が小さいため物質原子とぶつかりにくい、ぶつかりると進路が大きく変わるためガウス分布する。

線と同じ条件で 線も計測する。

距離 (cm)	線源が感知し放電する電圧 (kV)					
1.4	3.1	3.0	3.05	3.1	3.1	3.0
1.9	3.1	3.0	3.0	3.0	3.1	3.05
2.4	×	3.1	3.1	3.05	3.05	3.1
2.9	3.05	3.1	3.0	3.0	3.1	3.1
3.4	3.15	3.1	3.05	3.05	3.1	3.1
3.9	3.0	3.1	3.1	3.0	3.0	3.05
4.4	3.1	3.1	3.0	3.05	3.05	3.05
4.9	3.0	3.0	3.1	3.0	3.05	3.05
5.4	3.1	3.05	3.0	3.05	×	3.0
5.9	3.05	3.1	3.05	3.05	3.0	3.1
6.4	3.05	3.1	3.1	3.0	3.05	3.05
6.9	3.05	3.05	3.1	3.1	3.05	3.05
7.4	×	3.05	3.0	3.0	3.05	3.05



以上の結果より 線は7.4cmまで飛んでいることがわかる。

4.7 第二段階の考察

線は平均飛程が 4.7cm だということ、線は 7.4cm 以上は飛ぶことがわかった。線の 4.7cm という結果は空気中の線の予想値とかなり違う。

線の空気中の平均飛程は

実験式 $R_{[cm]} = 0.318 E^{3/2}$ (E ; MeV) より

実験に使用した線のエネルギーは 5.476MeVなので飛程は 4.075cmほどになるはずなのですが、実験により得られた値と比較すると 0.6cmほどの違いがあります。今回はガス(ブタン C_4H_{10})を使用しているため、4.075(cm)よりも短くなるのなら成功と言えました。長くなってしまった原因はわかりません。ただメタンガス中で線は約 4.6cm 飛びます。この実験で使用したのはブタンですがメタンと化学式は似ています。考えられる原因はここにしかありません。

線は 7.4cm 以上飛ぶことがわかりました。線は空気中では

エネルギー	1.3MeV	3.8m
	2.3MeV	7.7m
	3.3MeV	13.8m

飛ぶことが実験によりわかっています。

この数値と比較すると、大雑把な近似により $R \propto E^{3/2}$ といえるので

今回使用した線源のエネルギーは 0.255MeV なので 30cm 以上は飛ぶと言えるので今回の実験の結果 7.4cm 以上飛ぶという結果は正しいと言える。

4.8 ワイヤースパークチェンバーの考察

この実験は成功するまでに実に 30 回以上、反応が出て失敗とわかった回数を合わせると考えられないほど失敗した。ではなぜそんなに失敗が多かったのか？それはおそらく surge という現象のためだろう。Surge によってついた陰極盤とワイヤーの汚れには非常に取り除くのに苦労させられた。また、埃が原因で失敗した例も数多くあった。プロアブラシを使うまでは、おそらく自らがかけている電場が埃を呼び寄せ、墓穴を掘っていたのだろう。陰極盤とワイヤーの距離も見えかけた先に続く道に濃い霧を発生させてしまっていた原因の一つだと考えられる。距離が 0.5 mm 以下だと自然放電がランダムに起こるのだが、これを線源によるものだと勘違いし、何度も失敗を繰り返してしまった。しかし、数多くの失敗から、あまりこの実験とは関係ないが『家電製品は埃に弱い』という教訓が得られました。

計測ができた飛程に関する考察だが、実験結果より線は混合気体中では 7.4cm 以上飛ぶことが確認され、線は装置が反応した数値までを線が飛んでいるとすると、4.9cm 飛んだということになります。この数値は正しいのであろうか？線は 7.4cm 以上どれくらい飛ぶのか計測できないので線についてのみ考えていきます。

線はそのエネルギーが $4 \text{ MeV} < E < 7 \text{ MeV}$ であれば空気中では

$$R(\text{cm}) = 0.318 E^{3/2} \quad (E ; \text{MeV} \quad R ; \text{飛程})$$

という実験式によりもとめられる。今回使用した線源のエネルギーは 5.476MeV なので、

飛程の平均は約4 cm程である。しかし、今回使用したのはライターのカスと空気との混合気体である。線の飛程は通過する気体によって大きくその飛程を変えます。例えば気体が水素の場合、その飛程は5.4 MeVならばおおよそ18 cmになるのです。

次にこの混合気体について考える。今回使用したカスはライターのカスである。ライターのカスは色々あるが、主に使われているのはブタン(C_4H_{10})というカスである。このカスは分子量が58.12なので、空気より重いと見える。よって装置の下部は(下からもカスが漏れる穴があった為おそらくとしかいえないが)ブタンが、上部は(カスは装置下部に注入し、上部には大きなカスが漏れる穴があったため)空気が占めていたと思われる。装置内部の空気とカス比率が正確にわからないため、正確に計算することができないのが残念だが、計算できたとしても4.7cmという結果はなかったとブタンの分子量から予測されます。分子量58.12は線が透過してしまい飛程は4.7cmよりも短くなると考えられるからです。そのためワイヤースパークチェンバーは飛程の計測をするという意味では失敗でした。ただ線は7.4cm以上飛んだため成功といえます。そして放射線が目に見えなくても飛んでいるということが確認できたのも大きな収穫でした。

5 未来へ

今回の実験で、霧箱は目には見えないが放射線源の周りは放射線が飛んでいること、ワイヤースパークチェンバーは放射線源から放射線はどれくらい飛んでいるのかがわかった。これで飛躍的な考えではあるが、昔から常々疑問に思っていた空気は様々な分子の集合体であるという疑問も、自分の目で放射線粒子を見ることで解決に至った。

しかし、当初私が考えていた卒業研究は、科学博物館にあるような大型のものとは言わないが、スパークチェンバーを作ることになった。今回、予想以上にワイヤースパークチェンバーの成功が遅かった為、その研究はできなかったのが非常に悔やまれる。そして、ワイヤースパークチェンバーがライターのカスの注入なくしては成功しなかったのも非常に残念である。空気のみで反応してくれていれば、その飛程が理論値と合致するかを判断することができた。

もし、私と同じように放射線源から放射線が発せられているのか疑問に思った人がいれば、ぜひこの研究を踏み台にしてスパークチェンバーを作って、この信州大でいつでも装置の電源を入れれば宇宙線が見られるようにして欲しいと思う。

さらにもう一つ。私は放射線に関してもう一つの疑問がある。それはこの地球上で放射能が強いのはどこかという疑問である。できることなら、ロシアのチェルノブイリの時に大活躍したような放射能感知器を自分で作り、色々な土地にいて計測してみたかった。

【謝辞】

本研究に当たり、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、機器の操作や問題の解決方法など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きました高エネルギー研究室、ならびにテラヘルツ分光研究室の方々に感謝の意を表します。その他にも、本研究の完成までに様々な協力をしていただきました皆様に感謝いたします。本当にありがとうございました。

【参考文献】

- 三浦 功 管 浩一 俣野 恒夫 著 放射線計測学 (1960 発行)
川島勝弘 山田勝彦 著 放射線測定技術 (1973 通商産業研究社)
河田 燕 著 放射線計測技術 (1978 東京大学出版会)
関口 晃 著 放射線計測概論 (1978 東京大学出版会)
多田 順一郎 著 わかりやすい放射線物理学 (1997 オーム社出版局)
フェルミ 著 原子核物理学 (1954 吉岡書店)
E・シュポルスキー 原子物理学 (1958 東京図書株式会社)
その他 Web 上の放射線に関する様々な HP 及び化学物質に関する HP