

# $\mu^-$ 粒子による物質の構成元素識別システムの確立

岩井 柊馬、小川 真結 (高2) 【宮城県仙台第二高等学校】

## 1 原理と研究目的

私たちは、 $\mu^-$ の平均寿命により、物質の成分を識別するシステムの確立することを研究の最終目標とした。このシステムは $\mu^-$ の透過性を生かし、簡単には観測できない場所の物質の成分の識別を可能にする。宇宙線は、宇宙空間から絶えず降り注ぐ高エネルギーの放射線である。地表で観測できるのは、 $\mu$ 粒子がほとんどである。 $\mu$ 粒子は不安定な素粒子であるために約 $2.2\mu\text{s}$ で崩壊する。素粒子の平均寿命は、粒子の総数が $1/e$ 倍となるまでにかかった時間と定義される。 $\mu$ 粒子には負電荷をもつ $\mu^-$ 、正電荷をもつ $\mu^+$ がある。 $\mu^-$ は電子と同じ大きさの負電荷を持ち、原子に束縛されることがある( $\mu^-$ の原子捕獲)。また、束縛された $\mu^-$ の寿命は、束縛されなかった $\mu^-$ に比べて短くなる。さらに、 $\mu^-$ を捕獲する原子の原子番号が大きいほど、 $\mu^-$ の平均寿命は短くなることが知られている。本来 $\mu$ 粒子の観測には大規模な観測装置が必要であるが、研究の最終目標達成には観測機材が大きいことは課題である。本研究では、小規模な機材で $\mu^-$ の平均寿命を導出することを目標に実験を行った。

## 2 実験方法

今回はシンチレーターと光電子増倍管が内蔵されているシンチレーション検出器を4台用いて観測を行った。シンチレーターは $\mu$ 粒子が通過、または内部で崩壊する時、微弱な光を発する。その光を光電子増倍管は電気信号に変換。観測された信号をパソコンに記録し、Pythonで解析を行う。

同じチャンネルで2回観測された信号を、1度目を「入射」、2度目を「崩壊」とする。信号の観測時間の差を $\mu$ 粒子の崩壊にかかった時間とみなす。これらのデータを集め、縦軸を「崩壊した $\mu$ 粒子の個数」、横軸を「崩壊にかかった時間」としてグラフにフィッティングを行うことで平均寿命を導出する。

実験1では検出器を用いて $\mu$ 粒子の正負を区別せず平均寿命を導出した。

実験2では $\mu$ 粒子の正負を磁石を用いて区別し、それぞれの観測される割合を調べる。その後得られた値を用いて実験1の結果を補正し $\mu^-$ の寿命を導出する。

実験3ではシンチレーターに3種類の金属板(Al, Fe, Cu)を挟み、それぞれに影響を受けた $\mu^-$ の平均寿命を導出する。

## 3 結果

実験3の結果は表1のようになった。表1の値をグラフに表すと図1のようになる。

表1 金属板の種類と寿命

金属板の種類	寿命 [ $\mu\text{s}$ ]
なし	$2.09 \pm 0.22$
Al	$1.93 \pm 0.25$
Fe	$1.86 \pm 0.24$
Cu	$1.59 \pm 0.23$

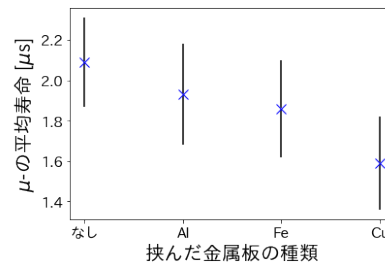


図1  $\mu^-$ の平均寿命の挟んだ金属板の種類による違い

## 4 考察

$\mu^-$ の平均寿命は、Al板、Fe板、Cu板を挟んだとき、金属板を挟まなかったときに比べて短くなった。このことから私たちの観測装置で、それぞれの金属板の影響を受けた $\mu^-$ を観測できたと考えられる。しかし、先行研究[3]によると $\mu^-$ の平均寿命は、Alの影響を受けた場合約 $0.880\mu\text{s}$ 、Feの影響を受けた場合約 $0.201\mu\text{s}$ 、Cuの影響を受けた場合約 $0.160\mu\text{s}$ である。私たちの研究結果はこれに比べ遥かに長いことから、今回の私たちの実験で、金属板の影響を受けた $\mu^-$ の数が少なかったと考えられる。

## 5 展望

今回の研究で、金属板を用いて $\mu^-$ の平均寿命を求めたところ、金属板の影響を受けた $\mu^-$ の数が少なかったと考えられる結果となった。私たちの研究の最終目標である、 $\mu^-$ による物質の構成元素識別システムを確立するために、今後は、物質の原子に $\mu^-$ が捕獲される割合の立式や、 $\mu^-$ のみを観測することを目標に研究を行っていきたい。

## 6 参考文献

- [1] T. Yamazaki et al., Phys. Scr. 11, 133 (1975)
- [2] Zyla et al. (Particle Data Group), Prog. Theor. Exp.Phys. 2020, 083C01 (2020) and 2021 update
- [3] T. Suzuki et al., Phys. Rev. C 35 (1987) 2212.