

宇宙線ミュオンの速さとエネルギーの測定

防衛大学校 本科 55 期 応用物理学科 佐々木 俊

1. 目的

地上で観測される宇宙線は、透過力が強いミュオンが主成分で、エネルギーは GeV 領域である。そのためミュオンの速さはほとんど光速であることが期待されるが、その速さを測定する。ミュオンの飛程はエネルギーに比例し、1 GeV で鉄 80 cm である。これより、ミュオンのエネルギーを鉄の飛程から測定する。過去に研究室で、鉛直上向きに飛行する粒子が観測されており [1]、今回この粒子のエネルギーを測定する。

2. 測定装置

測定装置 (図 1) は、同型のシンチレーション検出器 3 台から構成されている。検出器は、プラスチックシンチレーター(200 mm×200 mm×10 mm) の発光を両側からライトガイドを通して光電子増倍管で検出する。シンチレーション検出器 (S1, S2, S3) の鉛直方向の間隔は 600 mm で、その間に厚さ 22 mm の鉄板を 20 枚まで設置できる。計測システムは、ミュオンの通過を検知し、事象ごとに 6 本の光電子増倍管で通過時間及び発光量を測定する。

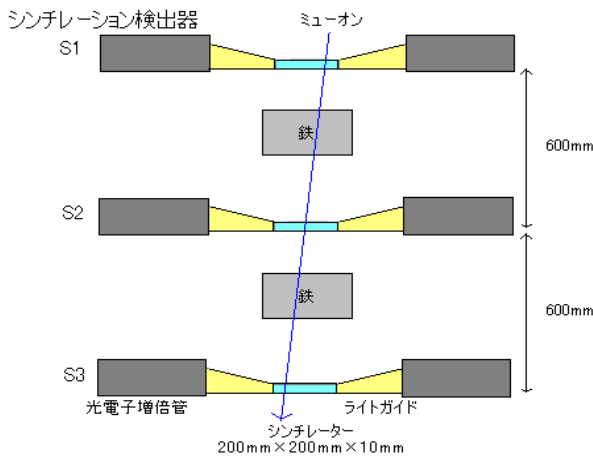


図 1: 測定装置の側面図

3. 結果

高エネルギーのミュオン通過によるシンチレーターの光出力は、エネルギーによらず一定であるので、バックグラウンド事象を排除するために 6 本の光電子増倍管の出力がピーク値の 0.6 から 3 倍以内であることを要求した。ミュオンの検出器通過時間は、左右の光電子増倍管の応答時間の平均とした。これによりシンチレーターの通過位置による時間依存性を取り除き、検出器 S1 と S3 により、飛行時間 4 ns に対する分解能 0.3 ns を達成した。

ミュオンの速さは、飛行距離の方向依存性が小さいので、S1 と S3 間の飛行時間を検出器の鉛直方向の距離で割ることにより求めた。検出器間の時間差は相互の上下位置を交換して飛行時間を測定することにより求め、補正した。その結果、ミュオンの速さ 0.308 m/ns、光速に対する相対速度 $v/c=1.03$ が得られた。3%程度の精度で光速度が測定できたと考える。

鉄の厚さを増し、単位時間あたりに通過するミュオン数の変化を測定した (図 2 ●)。他の実験 [2] による 0.2 GeV/c 以上でのミュオンの運動量測定から得られた飛程分布を図 2 に○で示す。0.2 GeV/c 以上で運動量測定の結果とほぼ一致する結果が得られた。

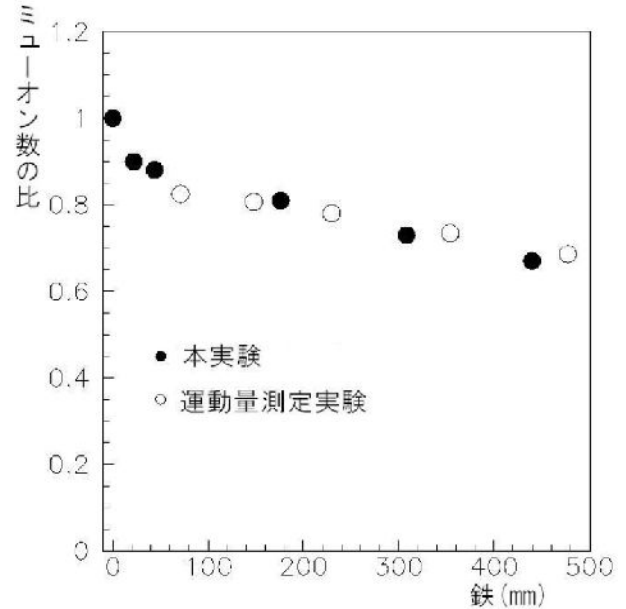


図 2: ミュオン数の鉄の厚さに対する変化

鉄の厚さ 0 mm で飛行時間の分布に、上向きの成分が確認できた。この成分のエネルギーを鉄の厚さを変えることにより測定した (表 1)。この成分は、荷電粒子が 25 MeV のエネルギーを失う鉄 22mm で 16 分の 1 に減少した。

表 1 上向き成分

鉄(mm)	時間(h)	上向き	時間当たり	上向き/下向き
0	141.2	32	2.3×10^{-1}	7.1×10^{-4}
22	73.3	2	2.7×10^{-2}	9.9×10^{-5}
44	94.5	1	1.1×10^{-2}	3.9×10^{-5}
88	71.6	0	$<1.4 \times 10^{-2}$	$<5.1 \times 10^{-5}$
220	62.0	0	$<1.6 \times 10^{-2}$	$<6.5 \times 10^{-5}$
440	65.7	0	$<1.5 \times 10^{-2}$	$<6.6 \times 10^{-5}$

4. まとめ

宇宙線ミュオンの速さは光速に対する相対速度で 1.03 という結果になり、光速に対して 3%程度の測定精度が得られた。ミュオンエネルギーの鉄の飛程による測定においては、運動量測定とほぼ一致する結果が得られた。飛行時間測定から上向きに飛行する成分が確認でき、25 MeV 程度以下のエネルギーが主であることがわかった。

参考文献

- [1]放射線計測の研究; 新川孝男 特別研究成果報告 36,9-10(2005)
- [2]Measurements of Ground-Level Muons at Two Geomagnetic Locations; J.Kremer *et al.*, Phys. Rev. Lett. 83 4241-4244(1999)

指導教官 教授 新川 孝男