

ミューオン対生成の PHITS への組み込み

Implementation of muon pair production in PHITS

*坂木 泰仁, 波戸 芳仁, 岩瀬 広, 平山 英夫

高エネルギー加速器研究機構

高エネルギー電子加速器施設で問題となるミューオンの生成モデルを PHITS に組み込み、ミューオンによる線量や放射化の計算を可能にした。また、SLAC におけるミューオン遮蔽実験のデータを用いて検証した。

キーワード：ミューオン、PHITS、遮蔽計算、モンテカルロ、ミューオン遮蔽実験

1. 緒言

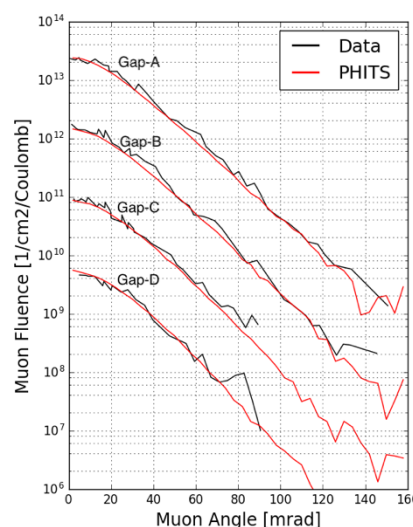
約 210MeV を超える電子が物質と電磁相互作用するとミューオンが生成される。ミューオンは透過性が非常に強いため、高エネルギー電子ビームを用いた施設において、高線量の区域を広範囲につくる。その為、遮蔽設計の観点において、高エネルギー電子から生じるミューオン場を精度良く計算する必要がある。そこで、本研究では、遮蔽計算等で用いられる PHITS コードにミューオン対生成過程を組み込み、電子起源のミューオン場の評価を可能にした。

2. 方法

量子電磁気学の摂動論をベースとした計算式を用いた。ミューオン対生成過程はミューオンを生成する光子が 実光子か仮想光子かで分けられる。今回は、遮蔽設計の場面において重要となる実光子の場合を考える。また、寄与が最も大きいと予想される Bethe-Heitler 過程に対する微分断面積を計算コードに組み込んだ。光子と物質との電磁相互作用は、光子が原子核と相互作用する **coherent** モードと、光子が核子と相互作用する **quasi-elastic** モードと **inelastic** モードが存在し、これら全ての寄与を考慮した。**coherent** モードが主要な寄与となるが、残り 2 つの寄与は、ミューオンが大角度に散乱される領域において重要となる。微分断面積の表式は、Born 式と簡易な Weizsacker-Williams 近似式があるが、より厳密な Born 式を用いた。

3. 結果

ミューオン遮蔽実験と PHITS の結果を比較し、組み込んだモデルを検証する。本研究では、SLAC で行われたミューオン遮蔽実験におけるデータと比較する。この実験は、体系が詳細にわかっておりモンテカルロの検証に非常に有用である。また、18GeV の高エネルギー電子を起源としたミューオン束の絶対値と広がりに関するデータが示されている。ミューオンが通過する鉄の密度が不明であったが、今回新たに測定し PHITS を用いた計算のインプットとして利用した。右図は、4 つの測定場所で測定された実験データと PHITS の計算結果との比較であり、非常に良く一致している。PHITS は電子起源で生じるミューオン束の絶対値と角度分布を共に高精度で予言できることを示した。



*Yasuhito Sakaki, Yoshihito Namito, Hiroshi Iwase, Hideo Hirayama

The High Energy Accelerator Research Organization