

演習課題 7：宇宙線観察で学ぶ粒子の崩壊とスピン回転

担当教員：国際基督教大学 久保謙哉

高エネルギー加速器研究機構 西村昇一郎、中村惇平

本演習では、粒子の崩壊・飛程(打ち込み深さ)・粒子の検出など、放射線科学で一般的な概念を学び、宇宙線の観察を通してミュオン(ミュー粒子)の重要性について学びます。

ミュオンの生成と崩壊

不安定な粒子はある寿命で崩壊します。地表に降り注ぐ宇宙線の大部分を占めるミュオンはパイオンの崩壊で生成します。ミュオンは荷電レプトンで粒子・反粒子で正と負がありますが、図 1 に正ミュオンの場合を示します。粒子の磁気モーメントはスピン自由度で表されます。パイオンはスピンゼロで、ニュートリノスピンの向きは運動量と逆向きしかないので、角運動量の保存によりミュオンは生成時に完全にスピン偏極します。

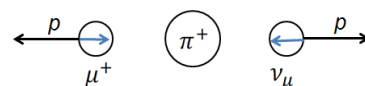


図 1 a ミュオンの生成

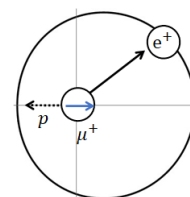


図 1 b 崩壊陽電子の放出角分布

さらにミュオンも陽電子と 2 つのニュートリノに 3 体崩壊します。この時、ミュオンスピン方向の陽電子放出確率が大きくなります(図 1 b)。スピン偏極したミュオンを物質中に打ち込み崩壊陽電子の空間分布の時間変化を測ることでミュオンスピン方向の時間変化を追跡でき物質中のミクロな磁場が分かります。この手法は**ミュオンスピン回転法(μ SR 法)**と呼ばれます。実習では宇宙線を使いますが、物質研究では加速器が使われます。

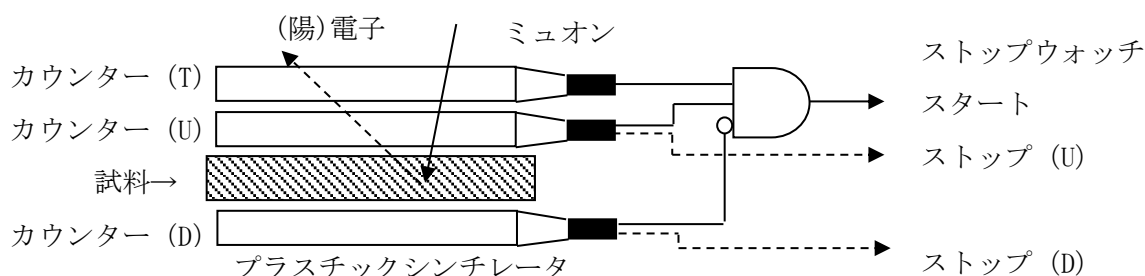


図 2 宇宙線版ミュオンスピン回転観測装置

測定原理

演習で用いる装置の概念図を図 2 に示します。3 つのカウンターが「(T=鳴った) & (U=鳴った) & (D=鳴らない)」という条件で試料にミュオンが止った事象を捕まえます。この時、ストップウォッチのスタートボタンを押します。ついで、ミュオン寿命として想定される数マイクロ秒を観測時間(タイミゲート)として設定し、測定精度を確保します。観測時間内にカウンター (U) か (D) が鳴ったらストップウォッチのストップボタンを押します。多数の事象を観測してスタートからストップまでの時間分布をヒストグラムで記録すると、試料に止まった宇宙線ミュオンの寿命を測定出来ます。また、ストップの際の U と D の違いを見ると、ミュオンが感じている磁場によるスピン回転を観察できます。