

演習課題 5 : 原子核からのガンマ線を計測して核スピンを調べよう

担当教員 : 大阪大学 理学研究科 物理学専攻 川畑貴裕
福井大学 工学系部門 物理工学講座 古野達也

原子核は複数の陽子・中性子(これらをまとめて核子といいます)から構成される量子多体系です。みなさんは、原子核はどういう形をしているか? と問われると、核子があつまって、球形をしていると想像されるかもしれませんが。しかし実際には、原子核には球形の状態だけではなく、レモンやミカンのように変形している状態や、アルファ粒子が塊となって寄せ集まっている状態などが見つかっています。このように原子核では、強い力によって支配される極小世界での量子多体効果によって様々な構造が現れます。

1つの原子核には、エネルギーが最も低い基底状態とエネルギーの高い単寿命の励起状態があり、励起状態はガンマ線を放出することで基底状態へ崩壊します。ガンマ線の放出過程には原子核の内部構造が反映されるので、ガンマ線を測定することで原子核の構造を調べることができます。たとえば、ガンマ線のエネルギーから励起状態のエネルギーを知ることが出来ます。また、原子核のスピンはガンマ線の放出角度に影響を与えるので、量子力学の知識を駆使してガンマ線の放出角度を解析すれば、原子核のスピンを明らかにすることができます。原子核のスピンの励起状態のエネルギーは、原子核の構造を明らかにする手がかりとなる情報です。

この演習では、放射性崩壊を起こす不安定な原子核を含んだ放射線源 ^{60}Co を用いてガンマ線を計測して、原子核における励起状態のエネルギーと核スピンを決定します。 ^{60}Co 原子核は図に示すように、 β -崩壊を起こして ^{60}Ni の励起状態に変化します。この励起状態は2回のガンマ崩壊によって基底状態になります。この時に放出されるガンマ線を2つの NaI(Tl)シンチレータと光電子増倍管を組み合わせたシンチレーション検出器や、高いエネルギー分解能を持つ Ge 半導体検出器を用いて検出します。検出器からの電気信号を信号処理回路によってコンピュータに記録し、得られたデータを解析して、2つのガンマ線が同時に放出された事象の計数率を求めます。この計数率を2つの検出器の相対角度を変えながら測定することで、2つのガンマ線放出の角度相関を得ることができます。この角度相関はガンマ線が原子核から持ち出す角運動量を反映しているので、理論計算による角度相関関数と比較することで ^{60}Ni 励起状態の核スピンを決定することができます。

この演習を通して、素粒子・原子核・宇宙分野の実験で広く用いられている放射線計測やデータ解析を勉強することができます。また、この実習はみなさんが大学で勉強している量子力学での角運動量の合成・保存則を体感するのにうってつけのテーマです。

