

スピン交換型偏極 ^3He イオン源の開発(I)

田中 正義

17世紀にニュートンが確立したいわゆる古典力学は、20世紀になると、物質の究極の姿を求めて次々と発見されたいった素粒子の性質を説明するには無力であることが分かり、量子力学が誕生した。この量子力学が生んだ新しい概念の一つにスピンがある。スピンはそれ自体古典力学には存在しない概念であるが、類似的には素粒子の自転運動に対応するものと考えられるが、その詳細はまだ未知の部分が多い。その結果、21世紀の今日においてもスピンは物理学研究の中心課題の一つになっている。

本研究は陽子と中性子から構成されている原子核のスピンが空間的に揃ったいわゆるスピン偏極した原子核集団を作り出す新しい方法を確立することにある。このようなスピン偏極した原子核集団を発生する装置を一般に偏極イオン源という。歴史的には偏極陽子イオン源は確立した技術となっているが、それよりも重い元素の偏極イオン源は技術的な困難さから未だ確立した技術とはなっていない。今回はヘリウムの同位元素の一つである2個の陽子と1個の中性子からなる ^3He 原子核のスピン偏極集団を発生する偏極 ^3He イオン源の偏極原理を調べた。偏極 ^3He は近似的に偏極中性子と考えられ、偏極陽子の重要なパートナーである。

偏極 ^3He イオン源の原理としてスピン交換法を用いた。原子・電子系でのスピン交換過程の存在は、20世紀中頃、核磁気共鳴法の発明でノーベル物理学賞を受賞したことで有名な米国のパーセルによって確認された。彼は、宇宙から絶えず地上に降り注いでくる21cmのマイクロ波の発生源が、入射電子と水素原子との衝突の結果、入射電子スピンの水素原子の電子スピンと交換、すなわち、スピン交換過程で発生することを発見した。本研究でも、ルビジウムと $^3\text{He}^+$ イオンの系に対してこの原理を使った。理論計算によると、ルビジウム原子と $^3\text{He}^+$ イオンの衝突過程では、入射 $^3\text{He}^+$ エネルギーが数keV以下になると、スピン交換過程が顕著に増大すると期待される。すなわち、低エネルギーの $^3\text{He}^+$ イオンをレーザー光ポンピング法によって電子スピンの偏極したアルカリ原子と衝突させると、スピン交換過程でスピン偏極した $^3\text{He}^+$ イオンが発生すると期待される。

上で述べたように、ルビジウム原子と $^3\text{He}^+$ イオンとのスピン交換過程が低エネルギーで増大することを実験的に検証するため、ベンチテスト装置を製作した。現在までのところ、 $^3\text{He}^+$ イオンのエネルギーが4keVまでの測定を行ったが、エネルギーが下がると共に、 $^3\text{He}^+$ イオンの核スピン偏極度が増大する傾向が確認され、スピン交換過程が理論で予想されたように、入射エネルギーの減少と共に増大するという理論的予測が定性的に実証された。より詳細な実験結果は次年度発表する予定である。