

学位申請論文公開講演会

日時：2026年1月26日(月) 10:00～

申請者：井出 郁央（素粒子物性研）

場所：物理会議室（C207）

接続先の問い合わせ先：清水裕彦 shimizu@phi.phys.nagoya-u.ac.jp

題目： $\text{Nd}^{3+}:\text{LaAlO}_3$ 結晶における ^{139}La および ^{27}Al の動的核偏極とスピン緩和の研究

主論文の要旨

荷電共役変換、空間反転変換、時間反転変換に対する対称性は基本的対称性と呼ばれ、これらの対称性の破れの理解は素粒子の標準模型が成立する過程において重要な役割を果たしてきた。時間反転対称性の破れの探索は素粒子標準模型を超えた新物理を探索する有力な手段であるが、測定量に現れる影響が微小であるため、様々な系における測定感度の向上が図られている。中性子が原子核に吸収されることで形成される複合核共鳴状態には時間反転対称性の破れが大きく現れる場合があると期待されており、 ^{139}La を標的核とした場合が有力候補である。

一般に、偏極核標的中を進行する偏極中性子の前方散乱振幅の中に、中性子偏極、標的核偏極と中性子運動量がなすベクトル三重積に依存する項の存在が確認されると、時間反転対称性が破れていることが明確に結論できる。そこで、偏極度の絶対値が40%を超える ^{139}La の偏極核標的の開発が必要である。

対象となる原子核を含んだ標的物質を低温に保ち磁場を印加すれば偏極核標的を得ることが可能だが、印加磁場が中性子偏極に与える影響は時間反転対称性の破れによる影響に比べて大きい。そこで、常磁性中心を含んだ化合物を標的物質に選び、変動電磁場を用いて禁止遷移を誘導することで、より偏極度が大きい常磁性中心の電子偏極度を核偏極に移行させて、低磁場において熱非平衡核偏極を得ることが有効である。この偏極方法は動的核偏極法と呼ばれる。

申請者は、標的物質に LaAlO_3 、常磁性中心に Nd を選んで、偏極核標的の研究を行った。浮遊帶溶融法によって Nd を含んだ LaAlO_3 の単結晶を育成し、温度 1.3 K、磁場 2.3 T の下でマイクロ波を照射することで、 ^{139}La と ^{27}Al の核磁気共鳴信号を測定した。 ^{139}La 及び ^{27}Al それぞれについて、信号強度から各準位の占有数比を求めてベクトル偏極度を算定した。測定を行った範囲内で得られた最も大きなベクトル偏極度は、それぞれ +26%， -48% であった。これらは飽和に至る途上での値であり、 ^{139}La のベクトル核偏極度の飽和値は +52% と求められた。これは、時間反転対称性の破れの実験に用いることが可能な範囲にある。

実際の時間反転対称性の破れの測定では、0.1T 程度の低磁場下での核偏極の保持が望まれる。そのため、実験遂行上、核偏極の縦緩和時間の情報が必要である。申請者は、温度 1.3K、磁場 2.3T の下での ^{27}Al の縦緩和時間が $T_1 = 159$ 分 であることを示し、この標的物質中での ^{139}La 縦緩和時間の推定値として $T_1 = 159$ 分 を得た。これは、希釈冷凍機温度においては、低磁場でも核偏極を維持できる可能性を示しており、時間反転対称性の破れの測定実験において求められる偏極核標的材料としての基本的データを得た。