

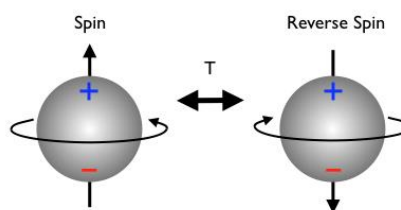
演習課題 06 : 時間反転対称性の破れの探索

～フェルミオン電気双極子能率～

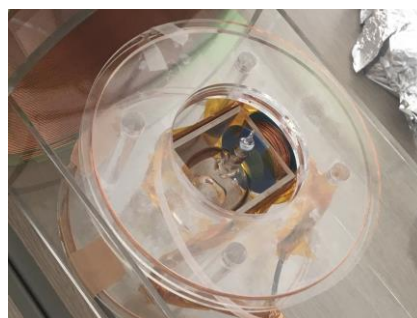
担当教員：名古屋大学理学研究科 北口雅暁、清水裕彦

素粒子物理学は原子よりも小さな空間スケールでの法則を扱うことが多いため、私たちが日常的に経験するエネルギー領域をはるかに超えた高エネルギー現象を扱うことになります。しかし研究対象が高いエネルギー領域にあるからと言って、実験に用いる系のエネルギーが高いとは限りません。高エネルギー現象が低エネルギー過程に現れる微小な効果を測定することで、素粒子物理学を研究することができます。この演習では、精密測定を通じて素粒子標準模型を超える物理の探索に挑みます。

素粒子には対応する反粒子があります。宇宙初期に物質と反物質が同数作られたはずですが物質と反物質の性質にわずかな違いがあるために、現在の宇宙には物質しか残っていないと考えられています。この物質と反物質の性質の違いの源が「CP 対称性の破れ」です。CP 対称性の破れは現在の素粒子標準理論の重要な性質で、実験によっても確認されています。



時間反転対称性は「時間の向きを逆にしても物理法則は変わらない」という対称性で、CP 対称性と直結しています。時間反転対称性が成り立つ場合には基本的な粒子は電気双極子能率（粒子内での電氣的な偏り）を持つことはありませんが、CP 対称性すなわち時間反転対称性が破れると有限の電気双極子能率が現れます。電気双極子能率の値は素粒子の理論に極めて強い制限を与えるため、その値の測定は素粒子研究の最重要課題の一つになっています。しかし現在まで 0 でない電気双極子能率の値を観測した実験はありません。中性子や原子核、電子やミューオンの電気双極子能率の探索が世界中で競争になっています。



実習で作成した NMR 装置と Xe セル

この演習では、スピン偏極した ^{129}Xe 原子核を用いて電気双極子能率の探索を行います。 ^{129}Xe 原子核はスピン $\hbar/2$ で磁気モーメントを持っており、静磁場中で歳差回転します。これに静電場を加えると、もしも電気双極子能率が存在すれば、歳差回転の周波数が変化します。静電場の極性を反転させた時の歳差回転周波数の変化から、電気双極子能率を測定することができます。

^{129}Xe 原子核の歳差回転周波数は核磁気共鳴 (NMR) の手法で測定します。スピンのそろった原子核が歳差回転する時に生じる微小な電磁波を、共振コイルや超低雑音アンプで捉えます。

実習項目

1. NMR 装置を作る

^{129}Xe 原子核に歳差運動を引き起こすドライブコイルや微小な電磁波を捉えるピックアップコイルを、自分で設計し作成します。効率よく検出できるよう工夫しましょう。

2. NMR 信号を見る

作成したコイルを配置して NMR として動かします。調整を行い、設計値どおりにできたか、装置の基本特性を調べます。

3. 電気双極子能率探索実験

スピン偏極した ^{129}Xe 原子核の NMR 信号を測定し、データ解析から歳差回転周波数を求めます。電場の極性を反転させて、電気双極子能率を探します。自分のアイデアで装置や測定方法を工夫して、測定精度を向上させてみましょう。