

# 中性子電気双極子能率測定のための、パルス超冷中性子高密度輸送方法の開発

Development of transport system of pulsed ultra-cold neutrons for nEDM measurement

京都大学 北口雅暁

現代物理学は、現在の物質優勢の宇宙はいかにして形成・進化してきたか、自然の基本的な相互作用とはどのようなものか、という問いに答えようと発展してきた。20 世紀物理学の一つの完成形「素粒子標準理論」は Weinberg-Salam 理論と量子色力学の組み合わせによって様々な素粒子反応を説明することに成功した。しかし現在において「標準理論」は、基本的な 4 つの相互作用のエネルギーが大きく異なり統一されていないこと、基本的対称性の破れの起源を説明しないこと、といった点で満足いく理論ではないと考えられるようになった。「素粒子標準理論を超える物理とは何か？」は 21 世紀物理学の最も重要な課題の一つである。

「標準理論を超える物理」を実験的に検証する方法として ILC などの高エネルギー実験とともに超精密測定によるものがある。相互作用の高次ループのしみ出しを調べることは現在の加速器実験ではすぐには到達できない高エネルギー実験に対応し、「標準理論を超える物理」の早期発見あるいは強い制限を与えることができるかと期待されている。その中でも中性子の電気双極子能率の測定はクォークの電気双極子能率と直接結びつきクリアな実験が行えること、現在の測定精度が、「標準理論を超える物理」として有力視されている超対称性理論の予言する値まであと一歩のところまで迫っていることなどから、非常に有望なものの一つである。

電気双極子能率の測定には極めて運動エネルギーの低い中性子、超冷中性子を用いる。超冷中性子は物質の核力ポテンシャルによって容器内に貯蔵することができ、微小な相互作用を長時間蓄積して拡大することができる。スピンをそろえた中性子を容器に貯蔵し、電場磁場との応答を見る。測定領域の電場磁場の一様性やその測定精度などの系統誤差を低減するために、測定容器の体積を小さくすることが重要である。統計精度を保ったまま体積を 1/100 にするために、中性子密度を 100 倍に増加させたい。大強度加速器などによって高密度で発生させた超冷中性子も、単純に空間的に拡散させるだけの従来の輸送方法では測定容器に導くまでに希薄になってしまう。発生位置での高い密度を保って中性子を輸送することが、測定容器内の超冷中性子の密度向上、つまり電気双極子能率の測定精度の向上にとって、極めて重要である。

中性子パルスの時間集束を利用してこれを実現させる。パルス中性子では速度分布を持った中性子が同時に発生し、ある位置には速度に応じて異なる時刻に到着する。蓄積容器までの輸送途中に中性子を加速減速させる素子を置く。減速には磁場中でのスピン反転を用いる。この際スピン2状態間のポテンシャル差に相当する運動エネルギーが交換される。磁場を適切に変調させ加減速量を時刻(=中性子の初速)に応じて変化させれば蓄積位置への到着時刻をそろえることができる。これにより拡散による密度の低下を防ぎ、また集束した中性子が到達する時間のみ容器の扉を開けることでこぼれ出る中性子を減らすことができる。

最大1Tの静磁場と最高30MHzから時間変調する振動磁場を持つ中性子加減速器を開発した。フランスILLの原子炉にて得られる超冷中性子ビームを用いて加減速を実証した。大強度陽子加速器J-PARCでの中性子電気双極子能率測定実験のための開発研究を押し進めることができた。