

中性子の加速を自在に制御する手法を開発、実証

—素粒子物理学への応用に期待—

【ポイント】

清水裕彦教授(理学研究科素粒子宇宙物理学専攻素粒子物性研究室)率いる名古屋大学、京都大学、九州大学、高エネルギー加速器研究機構、理化学研究所及び仏ラウエランジュバン研究所の共同研究グループは、勾配を持つ磁場と高周波磁場の組み合わせることで中性子を加速させる方法を開発・実証しました。これによって、実験に必要な位置での中性子の密度を向上させることができます。例えば、素粒子物理学の重要なテーマである時間反転対称性の破れと関係する中性子の電気双極子モーメントの測定などでは中性子の蓄積密度が測定精度の向上の鍵になっており、今回の成果が活用できると期待されています。

【背景】

背景1: 今日、中性子ビームは物質の構造解析やがん治療など様々に利用されています。しかし中性子は電荷を持っていないため電場や磁場による運動の制御が難しく、利用効率が高くありませんでした。

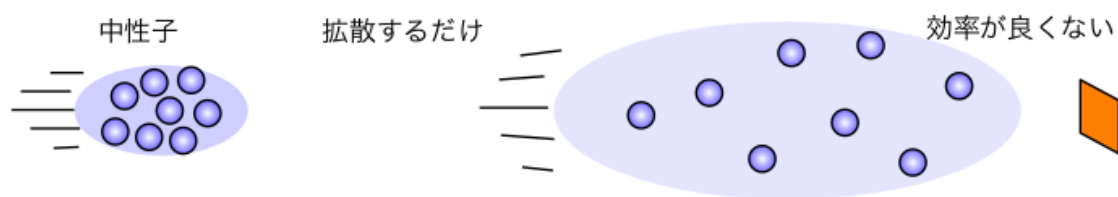
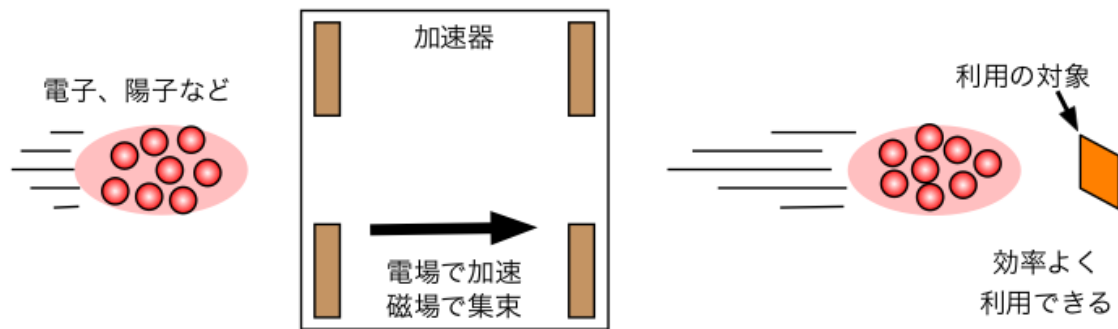
通常、陽子や、電子など電荷を持つ粒子は、電場を用いて加速させることができます。一方中性子は電荷を持たないため、電場を使った加速は出来ません。そこで中性子の小さな棒磁石としての性質(磁気モーメント)を用います。磁気モーメントは磁場の勾配から力を受けます。これまでも六極磁場を利用して横向きに力を与え、中性子ビームの集束させることに成功しています。広がるに任せていた中性子のビームも集光光学系を構成することが出来、中性子小角散乱などに於いて、その利用効率を二桁程度改善させることが出来ます。

この力を進行方向に用いれば、中性子を加速させることができます。しかしこれまでこの原理を有効に使った加速の制御は実証されていませんでした。

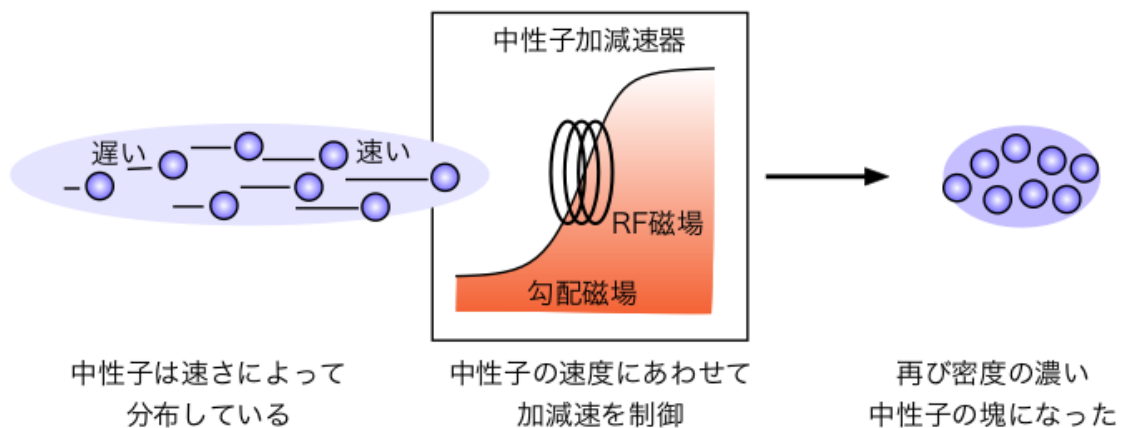
背景2: 素粒子物理学の重要なテーマである時間反転対称性の破れと関係する中性子の電気双極子モーメントの測定などでは、中性子を蓄積して測定に用います。その蓄積時の中性子密度が測定精度の向上の鍵になっています。

【研究の内容】

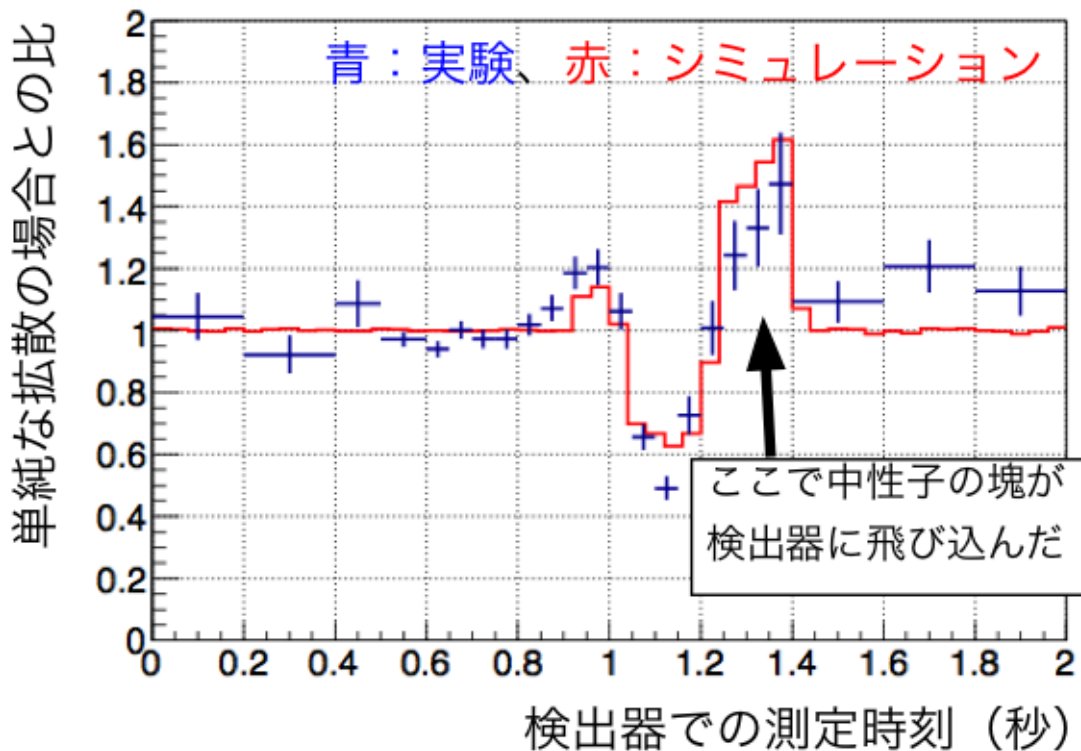
通常、陽子や、電子など電荷を持つ粒子は、電場を用いて加速させることができます。一方中性子は電荷を持たないため、電場を使った加速は出来ません。そこで中性子の小さな棒磁石としての性質(磁気モーメント)を用います。磁気モーメントは磁場の勾配から力を受けます。



この力を進行方向に用いれば、中性子を加速減速させることができます。しかしこれまでこの原理を有効に使った加速減速の制御は実証されていませんでした。単純に磁場ポテンシャルを通過させるだけでは磁場への入口での力と出口側で働く力の積算が帳消しになり、正味の加速にはならないのです。そこで中性子の通過の最中に交流磁場によって磁気モーメントを反転させ、中性子から見たポテンシャルが帳消しにならないようにすることで、正味のエネルギー変化を起こさせます。



今回、清水裕彦教授(理学研究科素粒子宇宙物理学専攻素粒子物性研究室)率いる名古屋大学、京都大学、九州大学、高エネルギー加速器研究機構、理化学研究所及び仏ラウエランジュバン研究所の共同研究グループは、勾配磁場と交流磁場を組み合わせることにより、入ってくる中性子の速度に応じて加速減速の大きさを自在に制御できることを実証しました。



また、中性子のエネルギー分布を操り、進行方向に広がっていた中性子を空間的・時間的に集束させることにも成功しました。これを用いれば実験に必要な位置での中性子の密度を向上させることができ、利用効率を格段に向上することができます。

【成果の意義】

実験に必要な位置での中性子の密度を向上させることができ、利用効率を格段に向上することができます。例えば、素粒子物理学の重要なテーマである時間反転対称性の破れと関係する中性子の電気双極子モーメントの測定などでは中性子密度が測定精度の向上の鍵になっており、今回の成果が活用できると期待されています。

【用語説明】

中性子：

原子核の主要構成要素の一つ。原子核は陽子と中性子で構成される。

超冷中性子：

毎秒 7m 程度以下という極めて遅い速度で運動する中性子。このように遅い中性子は物質表面で全反射されるため、物質の容器に閉込めることができる。

電気双極子モーメント：

中性子の電荷分布の偏りを示す量で、現在の素粒子理論の枠組を超える高エネルギー現象の影響を受け易いと考えられている。

【論文名】 "Demonstration of Focusing by a Neutron Accelerator"

Y.Arimoto, P.Geltenbort, S.Imajo, Y.Iwashita, M.Kitaguchi, Y.Seki, H.M.Shimizu, T.Yoshioka

Physical Review A **86** (2012) 023843