

堀越宗一



東京大学理学系研究科附属フォトンサイエンス研究機構

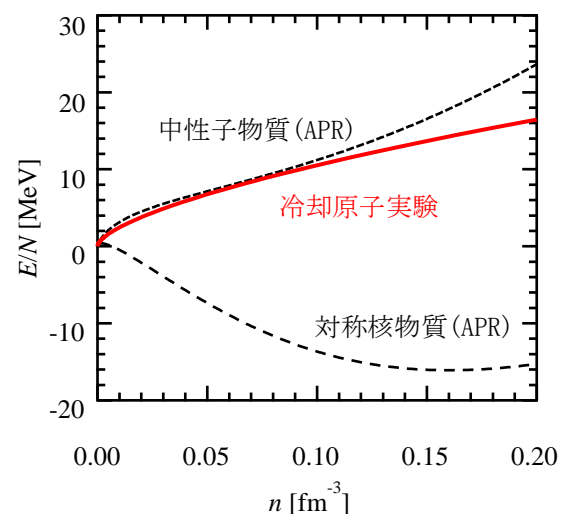
東京都文京区本郷 7-3-1

hori@psc.t.u-tokyo.ac.jp

冷却原子気体を用いた極低温量子物質の実験的シミュレーション

粒子の波動性が顕著になる量子系では、粒子は量子統計性を持った波として振る舞い、粒子間の相互作用の影響は散乱波の対称性と位相シフトとして現れる。低エネルギー極限では散乱過程は等方的な s 波散乱に従い、散乱長が散乱波の位相シフトを与える。また散乱長は量子多体系の相互作用エネルギーや熱力学量を与える重要な物理量でもある[1]。特に散乱長の絶対値が平均粒子間距離よりも大きい相互作用領域をユニタリー領域と呼び、物性物理や原子核物理の発展において極めて重要な研究領域となっている。しかしこれまで、基底状態におけるフェルミ超流動の様々な熱力学量（密度、圧力、内部エネルギー、化学ポテンシャル）や他の物理量（超流動ギャップ、超流動揺らぎ）と、粒子間相互作用のパラメータである散乱長との関係は完全には理解されていない状況であった。

冷却原子系は理想的なエネルギーの階層構造を満たし、散乱長や温度の制御や熱力学量の精密測定が可能のため、ユニタリー領域のフェルミ粒子系を普遍的かつ系統的に研究できる量子系を実現できる。本研究では ${}^6\text{Li}$ 原子を用いた冷却原子実験により、基底状態におけるフェルミ超流動の熱力学的特性を包括的に決定し普遍的な状態方程式を示し、様々な理論モデルの妥当性を評価した[2]。また得られた状態方程式からクーパー対の結合強度を与える超流動ギャップの大きさを示し、超流動ギャップと熱力学量の関係が明らかになった。さらに冷却原子実験で得られた状態方程式に中性子の質量と散乱長を与え、中性子星に存在すると期待されている超流動中性子物質の状態方程式を示した(図)[3]。これにより世界で初めて低密度領域の中性子物質の状態方程式が実験によって示され、また原子核理論 (APR) が我々の結果と近い値を示していることが確認された。



図：核物質の状態方程式

[1] 堀越宗一, しょうとつ, 2017年9月15日.

[2] M. Horikoshi, *et. al.*, PRX 7, 041004 (2017).

[3] 堀越宗一, 原子核研究 第61巻, 58-69 (2016)