

## 平成 27 年度 B03 班成果報告

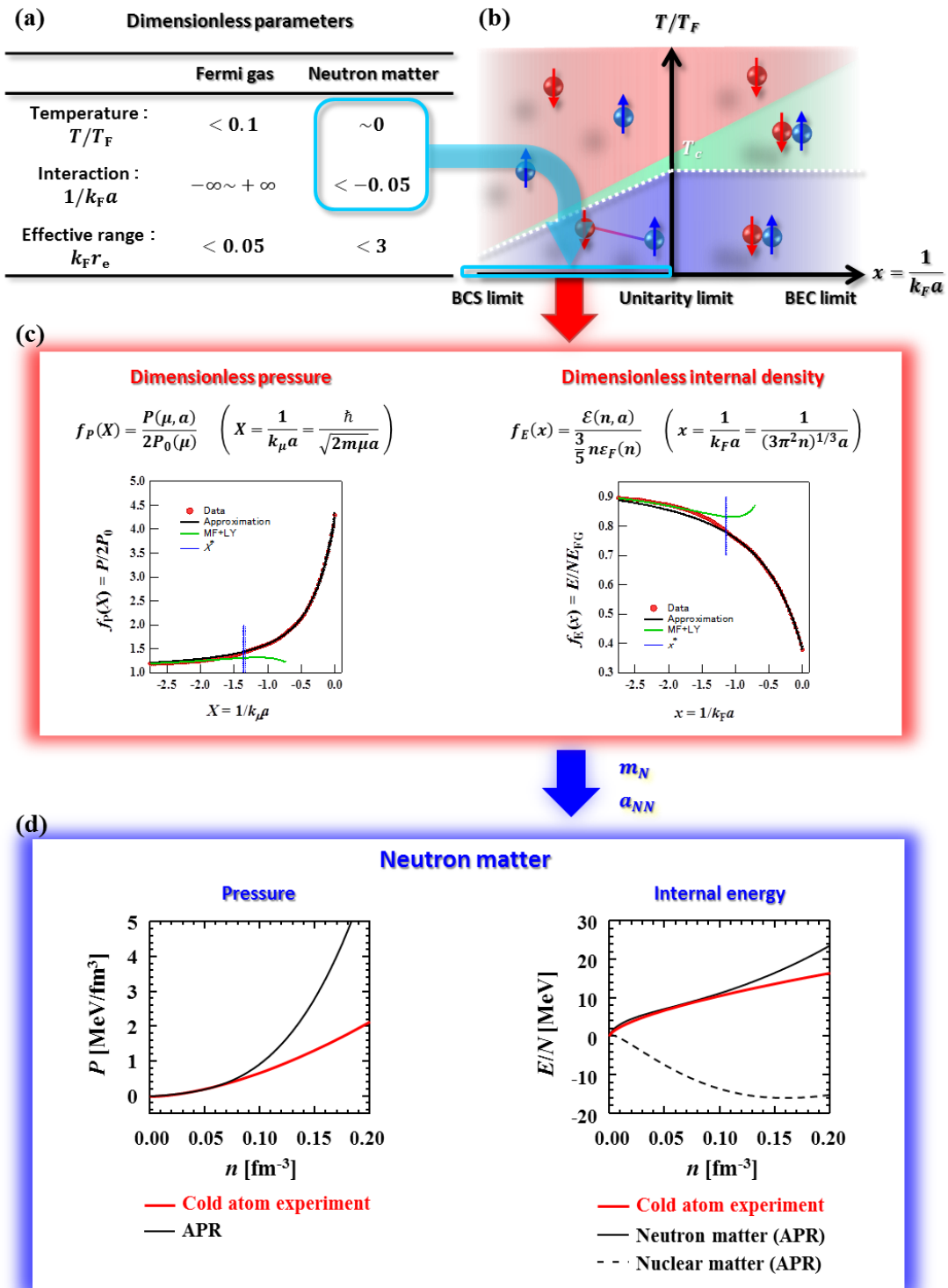
### ● 冷却原子実験による希薄中性子物質の状態方程式の決定

中性子の温度や密度で決まる内部エネルギー、つまり中性子物質の状態方程式(EOS)は、原子核の内部構造や超新星爆発から中性子星が誕生する過程を特徴付ける。そのため中性子物質の EOS の決定は、原子核物理および天体物理で重要な研究課題である。加速器を用いた原子核の衝突実験により、飽和核密度領域での中性子物質の EOS の研究は進んでいるが、低密度領域での測定はこれまで成されていなかった。我々は、冷却フェルミ原子系が、希薄中性子物質と同じ温度領域、相互作用領域に属する事に注目し、冷却フェルミ原子系で中性子物質を実験的にシミュレートし、その状態方程式を明らかにした[1,2]。

冷却原子系と中性子物質は、温度スケールやエネルギースケールを直接比較すると桁も異なり、また粒子間の相互作用も電磁気力と核力で異なるため、両者はまったく異なる物理法則に従うと考える。しかし両者とも、近距離ポテンシャルで相互作用しており、さらに平均粒子間距離や熱的波長はその相互作用ポテンシャルのサイズに比べて大きい。このような粒子系の相互作用は粒子間の相互作用ポテンシャルの詳細に依らず、散乱長や有効長というパラメータで記述できることが散乱理論によって説明できる。よって、冷却原子系で中性子物質に相当する相互作用領域で密度と内部エネルギーの関係を決定すれば、それは即ち希薄中性子物質の EOS を決定する事に相当する。

中性子は負の散乱長を持つため、中性子物質は低密度から高密度への変化に伴い BCS 領域からユニタリー極限まで変化する (図 a,b)。我々はゼロ温度極限に近い極低温  ${}^6\text{Li}$  原子気体を用い、中性子物質に相当するフェルミ粒子系を実現した。我々は高精度な撮像システムでこのフェルミ粒子系を観測し、厳密手法でトラップ系から一様系の物理量の抽出を行った。図 c に無次元圧力と無次元内部エネルギーを、それぞれの無次元相互作用パラメータの関数で示した。赤線が有限温度効果を含んだ実験データであり、黒線が本研究で得られたゼロ温度極限に相当する近似曲線である。

我々は実験結果に中性子の散乱長と密度を与え、初めて希薄中性子物質の EOS を明らかにした。図 d に本研究結果で得られた希薄中性子物質に相当する圧力と内部エネルギーを赤線で示し、原子核理論を黒線で示した。本研究により初めて低密度領域での EOS が実験で示されたが、飽和核密度の半分の領域まで驚くほど良く一致していることが判った。つまり本研究によって、希薄な中性子物質は s 波相互作用しているフェルミ気体として理解できることが明らかになった。さらに本研究結果により物性物理と原子核物理の間で共通の物理が存在する事が明確になった。今後有限温度の効果を実験で示すことにより、中性子星の冷却メカニズムや、重イオン衝突実験の理解に貢献できると考えている。



[1]堀越宗一,池町拓也,荒武幸仁,五神真: 冷却フェルミ原子実験による中性子星 M-R 曲線の構築, 日本物理学会秋季大会, 関西大学(2015/9/18).

[2]堀越宗一,荒武幸仁,五神真: 冷却原子実験による希薄中性子物質の状態方程式の決定, 日本物理学会第 71 回年次大会, 東北学院大学(2016/3/21).