

別紙 4

報告番 -	※ 甲 第 号
----------	---------

主 論 文 の 要 旨

論文題目

Chiral variant and invariant components of the nucleon mass with quark-hadron crossover in neutron stars

(中性子星におけるクォーク・ハドロン・クロスオーバーと、核子質量のカイラル依存・非依存成分)

氏 名

南川 拓哉

論 文 内 容 の 要 旨

身の回りの物質を分解すると核子に行き着く。核子はさらにクォークからなるが、その生成過程の解析は理論的な困難を抱える。質量をはじめとした核子の詳細な性質に対して新しい理解を得ることは、原子核物理における重要な課題である。

核子質量は、カイラル対称性と密接に関わる。真空におけるカイラル対称性の自発的破れという機構による質量生成に加え、それとは独立な質量成分の存在も示唆されている。カイラル対称性は高温・高密度環境下で回復すると考えられており、重イオン衝突実験や中性子星観測が質量の理解に繋がる。申請者は、近年著しく発達した中性子星観測によるデータと照らし合わせることで、核子質量の性質について調べることを目的とした。

核子の内部構造は、核子を構成するクォークやグルーオンといった素粒子の持つ非摂動性のため、その詳細が明らかになっていない。核子の質量を担うエネルギー源として、ヒッグス粒子によるクォーク質量は 1%程度と小さい。真空においては、クォーク・反クォーク対によって引き起こされるカイラル対称性の自発的破れという機構で残りの 99%を説明することが出来る。一方で、カイラル対称性に依存しない、別の質量成分が比較的大きく存在することが示唆されており、ここではカイラル不変質量と呼ぶ。カイラル対称性は高温・高密度で回復すると考えられており、それに伴いハドロンの性質も大きく変化する。カイラル不変質量の大きさは、こうした高温・高密度環境下の物理に大きな影響を与えると考えられる。

申請者は、中性子星の観測データと照らし合わせることで、カイラル不変質量の取りうる値を調べた。カイラル不変質量を取り扱うハドロン有効模型として、パリティ二重項模型を用いた。一方で、中性子星内部では標準原子核密度の数倍以上にも達しうると考えられており、こうした極限的な高密度環境下ではハドロン間のクォーク交換相互作用が無数に行われ、もはやクォーク描像が成り立つと考えられている。また、中性子星の半径のデータや最大質量のデータから、クォーク・ハドロン・クロスオーバーが示唆されている。申請者は、これらの描像に基づく有効模型や計算手法を組み合わせ、観測データと整合するカイラル不変質量の値を調べた。その結果、少なくとも 50%、多いと 90%以上の大きい割合をカイラル不変質量が占めるという結果を得た。

申請者は、さらに、クロスオーバーにおけるカイラル凝縮の振る舞いを定性的に調べた。ハドロン相やクォーク相とは異なり、クロスオーバー領域においては微視的な描像に基づく模型を作ることは難しい。そこで、ハドロン相とクォーク相でそれぞれ計算した状態方程式を、物理的な条件のもと内挿するという手法が用いられる。この方法では、圧力とエネルギー密度のみが計算される。申請者は、内挿された状態方程式を分配汎函数として拡張することで、クロスオーバー領域におけるカイラル凝縮やダイクォーク凝縮、各粒子の数密度といった物理量の数値的な計算手法を提案し、実際にその振る舞いを得た。この結果から定性的な振る舞いを議論でき、また将来模型を拡張する際の指標となる。さらに、今回得られたカイラル凝縮の振る舞いから、カイラル凝縮の空間的な分布を議論することが出来ることが分かった。

申請者は、中性子星内部のクォーク・ハドロン・クロスオーバー描像のもと、中性子星の観測データと照らし合わせることで、核子質量の主な構成要素であるカイラル凝縮とカイラル不変質量の定性的な振る舞いを調べた。特に、カイラル不変質量は核子質量の半分以上を占めるという結果や、カイラル凝縮は高密度で緩やかに 0 に近づき、そこからカイラル凝縮の空間分布を議論できるという結果を得た。