

論文審査の結果の要旨

氏名 豆田 和也

本論文は5章および3つの補遺からなる。第1章では、本論文のイントロダクションとして、強い相互作用を記述する量子色力学(QCD, quantum chromodynamics)におけるカイラル対称性の破れに関する先行研究をレビューし、本研究の位置づけについて述べている。200MeV程度より低いエネルギー領域では、クォークやグルーオン間の相互作用が強くなるため、摂動論の手法を用いて正しく記述することが困難であり、その研究が進められている。特に、右巻き及び左巻きクォークの間の対称性を表わすカイラル対称性とその破れは、質量の起源を理解するために重要な研究テーマとなっている。先行研究では、カイラル対称性の破れに関して、温度・磁場・化学ポテンシャル・重力場といった外部パラメータによる対称性の破れやその回復が調べられていたが、本論文では、回転と磁場という外部パラメータの下での振る舞いを調べる、という新たな着眼点のもとで研究が進められている。

第2章では、回転系を記述するための定式化の議論を行っている。まず、非相対論的な系に角運動量を導入することから始め、回転の効果が密度の変化と同様に記述できることを示している。続いて、相対論的効果を取り入れた定式化を進めている。系が一様回転するという設定のもとで回転する円筒座標系を定めている。その際、速度が光速を超えないという物理的な考察のもとで、その限界に対応する半径内だけで議論するという境界条件を設けている。このように境界条件を設定することは、後述の計算結果にも本質的な違いをもたらす、本研究の独自性の高い部分となっている。

第3章では、前章で定めた設定の下でカイラル対称性の破れの議論を進めている。ディラック方程式から出発し、回転座標系での記述を進めている。回転系における境界条件をフェルミ粒子に適用するための定式化を進め、それを南部-ヨナ-ラシニオ模型(NJL model, Nambu-Jona-Lasinio model)に適用した。さらにその振る舞いを調べるための数値計算も行った。絶対零度の場合を数値的に調べ、回転の効果によってカイラル対称性の破れが回復しない、という結果を得ている。これは、回転系における境界条件を設定しない先行研究では見られなかった振る舞いであり、カイラル対称性の破れについて、より物理的な理解が進む結果となっている。一方、有限温度の場合においては、回転の効果が大きくなると対称性が回復するという結果が得られている。境界条件を設定したことによって許容されるエネルギー準位が変化を受けるという点での解釈や、回転の影響と密度の変化との類推からその振る舞いの物理的理解を議論している。

第4章では、回転しており、さらに外部磁場が加わった場合のカイラル対称性について議論している。その結果、角速度が小さい場合には磁場の増加に伴って質量が

増加していくのに対して、角速度がある程度大きくなると外部磁場によって質量は減少する（カイラル対称性が回復する）という計算結果が得られた。前者の場合は先行研究で理解されていたが、後者の場合は本研究で新たに得られた知見である。本論文では、この現象を‘Rotational magnetic inhibition’と名付け、外部磁場と化学ポテンシャルがある場合の類推からその現象の物理的理解を進めた。さらに、現実の系での実現可能性についても示唆を与えている。

最後に第5章は本論文のまとめになっている。本論文の結果と、この研究が適用できる範囲についての議論がまとめられている。

本研究は、所属研究室での共同研究であるが、論文提出者が主体となって、問題設定と定式化、数値計算と物理的解釈という一連の研究を進めたもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。特に、重イオン衝突や高速回転する中性子星の理解という動機に基づいて回転系に着眼した点、定式化を進めて新たな振る舞いを見出し、さらにその物理的理解を深めたという面では、この分野における論文提出者の貢献は大きい。

したがって、博士(理学)の学位を授与できると認める。