

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Quark condensate and pion properties in isospin-asymmetric nuclear matter
著者(和文)	HUEBSCHStephan
Author(English)	Stephan Huebsch
出典(和文)	学位:博士(理学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第12054号, 授与年月日:2021年9月24日, 学位の種別:課程博士, 審査員:慈道 大介,山口 昌英,今村 洋介,関澤 一之,藤岡 宏之
Citation(English)	Degree:Doctor (Science), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12054号, Conferred date:2021/9/24, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Stephan Huebsch	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	慈道 大介	教授	審査員	藤岡 宏之	准教授
	審査員	山口 昌英	教授			
		今村 洋介	准教授			
		関澤 一之	准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

強い相互作用における真空は、クォークの閉じ込めやカイラル対称性の動的破れなどの非摂動現象により非自明な構造を持ち、温度や密度などの外部環境によって構造が変化すると予想され、その相構造の解明はハドロン物理学の最重要課題の一つである。カイラル対称性の動的破れは真空の相転移現象であり、高温や高密度の環境下では対称性が回復すると考えられている。対称性が完全に回復する状況に至らずとも、動的破れの秩序変数の大きさが優位に減少している系でも動的破れの機構の知見を十分に得ることができる。このようなカイラル対称性の不完全（部分的）な回復が核密度程度の有限密度系で実現されることは、 π 中間子原子核系の実験的観測と理論的考察によって、線形密度近似の範囲内で確かめられている。そこでの理論の果たすべき役割は非常に大きく、信頼できる有効理論を構築することで観測事実と基礎理論の物理量を関連付けている。今後、線形密度を超えた議論の精密化が求められている。

本学位論文は「Quark condensate and pion properties in isospin-asymmetric nuclear matter」と題し、核媒質中のカイラル摂動論を用いて、非対称核物質中でのクォーク凝縮と π 中間子の性質の密度依存性を計算した。カイラル摂動論は、強い相互作用の基礎理論である量子色力学の低エネルギー有効理論であり、ハドロンの自由度で構成される。非対称性核物質は中性子密度と陽子密度の異なる核物質であり、鉛 Pb や錫 Sn など π 中間子原子分光の精密測定が行われている重い原子核では中性子数が 1.5 倍ほど多い。本論文では、陽子と中性子の密度の等しい対称核物質で行われていた先行研究を非対称核物質に拡張し、より直接的に実験との比較を可能にした。中性子数と陽子数の比が 1.5 の核物質では、クォーク凝縮が約 35%減少し、負の電荷を持った π 中間子の質量は約 10%増加することがわかった。これらは π 中間子原子分光実験から得られた値と一致している。

本論文は 6 つの章から構成されている。第 1 章では、核媒質中のカイラル対称性の部分的回復についての概観、研究の動機と目的が説明されている。

第 2 章では、本論文の理論的背景が解説されている。まず、量子色力学の基本事項やカイラル対称性の自発的破れ、南部・Goldstone 定理について説明されている。次に、有効理論の一般論について説明し、真空中でのカイラル摂動論について詳細な解説を行っている。また、本論文で用いられたカイラル場と π 中間子場の関係について詳説している。

第 3 章では、本博士論文研究の理論的道具となる核媒質中でのカイラル摂動論について詳しく解説をしている。核媒質中でのカイラル摂動論は、相互作用のない核子が漸近状態として存在する生成汎関数に対して核子場を先に積分することで得られる。系のラグランジアンは真空中のカイラル摂動論を用いており、パラメータは真空中で決定される。核子間の相互作用は密度展開の 2 次から入ってくるので、今回の計算では取り入れられていない。非対称核物質への拡張は、陽子と中性子について異なるフェルミ運動量を用いることで行う。

第 4 章では、核媒質中のクォーク凝縮についての計算方法と数値結果が述べられている。本論文では、核媒質中のクォーク凝縮を計算するのにカイラル Ward 恒等式を用いているのが特徴的である。この方法は従来のクォーク質量微分を用いた方法とは異なり、ハドロン相関関数をハドロン自由度で直接計算を行い、ハドロン物理量に対するクォーク質量依存性を知る必要がない。フェルミ運動量の 5 次（密度展開で 5/3 次）までに必要な項を全て書き下し、計算を行っている。モデルパラメータ依存性はあるものの現実的なパラメータでは、核密度ではクォーク凝縮が 35%減少することがわかった。中性子数陽子数の比に対する依存性はほとんどなく 1%以下の変化であることがわかった。また、非対称性核物質における u クォーク凝縮と d クォーク凝縮の差を計算するために、フレーバー SU(3) への拡張を行っている。u クォーク凝縮と d クォーク凝縮の差は、SU(3) 低エネルギー定数の値によるが、小さく数%程度であることがわかった。ストレンジクォーク凝縮の変化は、低エネルギー定数の値によって

増加・減少も異なり、今後、K 中間子核子散乱などから低エネルギー一定数の精密な決定が望まれる。

第 5 章では、非対称核物質での π 中間子の性質（自己エネルギー、質量、波動関数くりこみ、崩壊定数）の計算結果を示している。まず、波動関数くりこみに注意しながら核媒質中での π 中間子状態を丁寧に定義し議論の土台を明確にしている。核媒質中の π 中間子自己エネルギーでは、フェルミ運動量の 5 次までに必要な項を全て書き下し計算している。質量と波動関数くりこみは自己エネルギーより計算され、 π 中間子崩壊定数は頂点補正と波動関数くりこみの積で得られる。非対称核物質では、 π 中間子の荷電状態に対して媒質効果が異なる。中性子数陽子数の比が 1.5 の核媒質では、負の電荷を持つ π 中間子は 10% 程度の質量増加がある一方で、正の電荷を持つ π 中間子は 13% 程度の質量減少となることがわかった。 π 中間子崩壊定数についても負の電荷を持つ π 中間子は 10% 程度の減少に対し、正の電荷を持つ π 中間子は 40% 程度の減少となることがわかった。

第 6 章は、本学位論文のまとめと今後の展望について述べられている。

本学位論文においてなされた計算は、核子相関を含まない密度展開で 2 次より低いものではあるが、非対称核物質中のクォーク凝縮や π 中間子の性質を、真空中の π 中間子核子相互作用をよく記述するカイラル摂動論を用いて、理論的に計算したもので、たいへん意義が深い。核子相関の取り込みやストレンジクォーク凝縮の精密決定など今後の発展が期待できる。本論文は申請者の優れた研究能力を示すとともに、当該分野の研究の発展に大きく寄与するものであり、博士（理学）の学位論文として十分に価値のあるものと認められる。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。