

Title	Quark-Hadron matter in two color Nambu-Jona-Lasinio model
Author(s)	Imai, Shotaro
Citation	大阪大学, 2013, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/48816
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	今井 匠太郎
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 25809 号
学位授与年月日	平成25年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Quark-Hadron matter in two color Nambu-Jona-Lasinio model (2カラー南部ヨナラシニオ模型におけるクォークハドロン物質の研究)
論文審査委員	(主査) 教授 保坂 淳 (副査) 教授 浅川 正之 教授 岸本 忠史 教授 大野木 哲也 准教授 若松 正志

論文内容の要旨

2 カラー-2 フレーバーにおいてスカラーダイクォークを含む (Polyakov loop extended) Nambu-Jona-Lasinio モデルによる有限温度密度のクォークハドロン物質の研究を行なった。クォーク場に対してボソナイゼーションの方法を使うことで繰り込まれた有効ラグランジアンを導出した。ボソナイゼーションはこれまでメソン(クォーク・反クォーク)に対してのみ適用されてきたが、今回我々は2カラーにおいてバリオン(ダイクォーク)に対しても適用することができることを示した。バリオンは物質を構成するため、ダイクォーク・バリオンの存在は物質中のカイラル対称性の振舞いを理解するために重要である。ボソナイゼーションによって導出されたメソン・バリオンラグランジアンはバリオンを含んだ拡張線形シグマモデルであることを示した。クォークで書かれた有効モデルからハドロンの有効モデルを導出したことにより、クォークとハドロン両方のダイナミクスを記述する枠組みを与えることができた。

導出したハドロン有効ラグランジアンを熱力学へと適用した。この時、簡単のためハドロン相互作用項を無視した(ガウス近似)。有限温度系において、クォーク閉じ込めの振舞いを考えるために、ポリヤコフープとその有効ポテンシャルを導入した。2 カラーにおいてダイクォーク・バリオンはボソンであるためにある有限の密度でボーズ・アインシュタイン凝縮を起こす。よって、系のオーダーパラメーターはカイラル凝縮、ダイクォーク凝縮、ポリヤコフープの期待値の3つとなり、これらの有限温度密度における振舞い平均場近似を用いて解析した。メソン・バリオンの質量スペクトラムの有限温度密度における変化をハドロン有効ラグランジアンを解析することによって記述した。有限温度においては、ポリヤコフープによる閉じ込めの効果を含めた場合と含めない場合でスペクトラムの振舞いに違いがあることを示した。有限密度においてはダイクォーク・バリオンが零質量になり、バリオン数対称性の破れによる Nambu-Goldstone ボソンになることを示した。クォークハドロン物質の状態方程式を記述し、クォークのみの寄与だけではなく、メソン・バリオンが状態方程式にどの様に寄与するのかを解析した。バリオン数密度を記述し、格子 QCD による数値シミュレーションの結果と比較した。相互作用項を無視したガウス近似の枠組みでは格子 QCD による計算結果を再現することができず、ハドロンラグランジアンを非摂動的相互作用までを含んだ完全な取り扱いが必要で

あることを示した。

最後に、この非摂動相互作用を含んだ取り扱いとして、ガウス汎関数法のレビューを行なった。本論文では我々のハドロンラグランジアンをこの非摂動理論へ適用していないがガウス汎関数法の特性を議論した。

論文審査の結果の要旨

ハドロンはクォークとグルーオンから構成されるため、周囲の環境変化によってその性質が変わると予想されている。宇宙誕生の初期にはクォークとグルーオンが解離した状態であったが、温度が冷えるに従ってハドロンが形成され現在の宇宙に進化していったと考えられている。このような極限状況における物理を明らかにするためにも、ハドロンの構造を考慮した考察が不可欠である。

今井君は本研究で、ハドロンの構造とその性質の変化、およびハドロン物質の相構造に関する理論研究を行なった。メソンとバリオンを統一して記述するために、現実の QCD を簡略化したカラー数 2 の QCD を考察することにした。さらに有効理論として、カイラル対称性の自発的破れと、カラーの閉込めの動力学を簡便に扱うことのできる pNJL 模型を採用した。2 カラー QCD の利点の一つは、有限密度において格子 QCD 計算が可能になりその結果と比較できるという点である。

まず、pNJL にハドロン化の方法を適用し、クォーク反クォーク対としてのメソンとクォーク対としてのバリオンを記述するラグランジアンを導出することに成功した。この結果を用いて、ハドロン物質の熱力学的な考察を平均場近似の元で行なった。まず有限温度・密度における相構造を調べた。Polyakov loop とバリオン数密度が結合することによって、有限温度、密度いずれの場合にも、カイラル相転移と閉じ込め相転移がほぼ同時に起こることを示した。得られた結果は格子 QCD の結果とよく一致した。カラー SU(2) では、バリオンはダイクォークボソンとして出現する。そのため、密度の低いところでは Bose-Einstein 相転移がおり、一方密度を上げていくと BCS 相転移が起こることを示し、BEC-BCS クロスオーバー現象を確認した。さらにハドロンの性質として、 π 、 σ 中間子とダイクォークバリオンの質量が有限密度でどのように変化するかを調べた。その結果、ダイクォーク凝縮の存在により σ 中間子の質量変化が、従来の理論予想と大きく異なることを見いだした。これはダイクォーク凝縮のシグナルとなり得る。最後に、有限密度におけるバリオン数密度を計算した。その結果、平均場近似に改善すべき点があることを示した。

本研究で今井君はハドロンの性質をクォーク動力学に基づいて記述し、有限温度、密度における相構造とハドロンの諸性質を検討した。多くの結果は極限状況におけるハドロン物質の性質に新たな知見をもたらすものである。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。