

論文内容の要旨

論文題目: Structure Functions and Static Properties of the Nucleon based on the Relativistic Faddeev Approach to the NJL Model.

(NJL模型に対する相対論的ファデーエフ法による核子の構造関数と静的性質)

氏名 峯尾 浩文

量子色力学 (QCD) の研究目的は、全てのハドロン現象をクォークやグルーオンの観点から調べることであり、核子の内部構造を、QCD に基づいて調べることは、現在のハドロン物理において重要なテーマの一つである。ドイツの DESY 研究所では核子の構造関数に対する測定が行われ、核子の内部構造に関する多くの情報が得られた。また、EMC (European Muon Collaboration) による構造関数 g_1 の測定以来、スピンの依存する核子の構造関数が重要な課題として研究され、アメリカのブルックヘブンにある RHIC 加速器によって、スピンの依存する核子の構造関数が測定される予定である。我々は、低エネルギー QCD の有効理論と考えられる南部・ジョナ・ラジニオ (NJL) 模型の枠組で、相対論的 Faddeev 方程式を使って核子の構造・性質を調べ、さらに有限密度における核子、原子核の構造関数へと拡張して、EMC 効果や Fermi 運動について議論した。また、核子の質量を求めるため、核子をクォーク・ダイクォークの基底状態として記述する相対論的なファデーエフ方程式を、'static 近似' を使うことによって解析的に解いた。

この論文の前半部では、我々は内部構造を持つ 2 種類のダイクォーク、スカラーダイクォーク (0^+ , $T=0$) と軸性ベクトルダイクォーク (1^+ , $T=1$) を含んで、スピンの依存しない核子の構造関数を評価し、また、核子の静的性質についても研究した。さらにパイオン雲の効果を取り入れるためにパ

イオンを放出する親クォークが on-shell 上にあると仮定する on-shell 近似を使い、簡単な1次元の畳み込みの方法を用いた。ただし、NJL 模型はくり込み不可能な理論であるため、運動量の紫外発散を正則化する必要がある。我々はここで、核子中のクォークの光円錐運動量分布を評価するさい、「Brodsky・Lepage(BL)」カットオフを用い、核子の静的性質の評価についても、同等な正則化の方法である「共変な3次元運動量」カットオフを用いている。前者のBLカットオフは、核子に対するクォークの光円錐運動量の割合 x について制限を与え、 x に対して簡単な変数変換をすることで、共変な3次元運動量カットオフと同等になることが示されている [1]。核子中のクォークの光円錐運動量分布を実験結果と比較するために、NJL 模型で得られたバレンスクォーク及び海クォーク分布を、ある低エネルギースケール Q_0^2 で得られたものであると仮定し、Dokshitzer-Gribov-Lipatov-Altarelli-Parasi(DGLAP) 方程式を使って Q^2 発展させて、実験結果に合わせた経験的なクォーク分布 [2] と比較した。また、核子の構造関数に関して同様の Q^2 発展を行なって、構造関数の比を再解析された実験データ [3] と比較した。また、核子の静的性質について、核子の磁気能率や軸性ベクトルおよびパイオン-核子-核子の結合定数の計算を行ない、結果として、核子の構造関数の比および静的性質が実験値を妥当に再現するように、軸性ベクトルダイクォークチャンネルにおけるクォーク・クォーク相互作用の強さの範囲を決定した。我々の計算では、2~10%ほど軸性ベクトルダイクォークが混ざっているときにこれらの物理量が非常によく再現できることがわかった。また、我々はFierz変換を通して、相互作用 Lagrangian の具体的な形についての情報を得たことになる。軸性ベクトルダイクォークチャンネルにおけるクォーク・クォーク相互作用の強さがこの範囲のときの相互作用 Lagrangian は、「カラーカレント」型に似ていることがわかった。このときにGoldberger-Treimann(GT) の関係式の破れについても議論し、static 近似のもとでは、ダイクォークの直接相互作用する項がカットオフに強く依存するためにGTの関係式が大きく破れていることがわかった。また、この模型は経験的なクォーク分布の主な特徴を良く表しており、パイオンを含んでいない場合にBLカットオフを使うと、我々の Q^2 発展したクォーク分布は、経験的なクォーク分布と比べて x についての強い変化を見せるが、

パイオンの効果によって、この振舞いが緩和され、ゴットフリードの和則の値も、単純な値 $\frac{1}{3}$ からより実験値に近づいた。

そして、この論文の後半部で、有限密度における核子の構造関数を、スカラーダイクォークのチャンネルのみに限って、評価した。ベンツら [4] によって作り上げられた、核子のクォーク・ダイクォーク構造および閉じ込めの影響を現象論的に取り入れた核物質の状態方程式を用いて、核物質中での核子、ダイクォーク、コンスティテュエントクォークの有効質量を決定した。そのために従来我々が考慮していなかった閉じ込めの影響を、プロパータイムカットオフの方法で非物理的なしきい値を避けることで、現象論的に取り入れた。しかし、プロパータイムカットオフは運動量空間上で、ウィック回転した後に定義されたカットオフであるため、直接クォーク光円錐運動量分布を計算することは、大変難しい。そこで、我々は直接クォーク光円錐運動量分布を計算するかわりにまずモーメントを計算してから、逆メリン変換でモーメントからクォーク光円錐運動量分布を構成する。この方法によって我々のモデルでは、解析的にクォーク光円錐運動量分布を求めることができる。また、EMCの比、つまり核物質の一核子当たりの構造関数と自由な核子の構造関数の比を、実験に合わせたパラメーター化されたプロット [5] と比較するため、核物質の構造関数を標準的な畳み込みの方法を用いて評価した。

結果として、核子中のクォーク光円錐運動量分布はバリオン数密度が増えるにつれて、小さいクォーク光円錐運動量割合の方向にわずかに動く、つまり、媒質中で核子が大きくなっていることがわかった。そのため、EMCの比は中間のクォーク光円錐運動量割合 $x \sim 0.6$ において1を下回り、実験のプロットを妥当に再現し、EMC効果を示す兆しになっていることがわかった。しかし、プロパータイムカットオフを使うと人為的に $x = 1$ で、核子中のクォーク光円錐運動量分布が有限な値を持つてしまうために、中間の x 領域に影響を及ぼしてしまう。小さいクォーク光円錐運動量割合の領域において、実験のプロットと同じふくらみが見られたが、パイオンの効果が入っているかどうかによらず1を上回らなかった。

これらの仕事の拡張として、static近似を使わないファデーエフ法による記述や off-shell の効果を考慮したパイオンの取り扱いなどが考えられる。

また、EMCの比の改良として、プロパertimeカットオフの代わりに光円錐運動量上で定義されたBLのカットオフなど使うことが考えられる。そのためには、3次元運動量カットオフを用いて、NJL模型で飽和している核物質に対する状態方程式を作り上げる必要がある。

参考文献

- [1] H. Mineo, W. Bentz and K. Yazaki, Phys. Rev. **C 60** (1999) 065201.
- [2] A.D. Martin, R.G. Roberts, W.J. Stirling and R.S. Thone, Eur. Phys. J. **C 14** (2000) 133.
- [3] W. Melnitchouk and A.W. Thomas, Phys. Lett. **B 377** (1996) 11.
- [4] W. Bentz and A.W. Thomas, nucl-th/0105022, and Nucl. Phys. **A** (2001), in press.
- [5] I. Sick and D. Day, Phys. Lett. **B 274** (1992) 16.