

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2007～2010

課題番号：19540275

研究課題名(和文) ハドロンのマルチクォーク成分とそのダイナミクス

研究課題名(英文) Multi-quark Components of Hadrons and their Dynamics

研究代表者 岡 真

(Oka, Makoto)

東京工業大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号：60144606

研究代表者の専門分野：物理学

科研費の分科・細目：素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ハドロンの、クォーク、量子色力学、格子ゲージ理論

1. 研究計画の概要

エキゾチックな多クォーク状態がメソンおよびバリオンのスペクトルにどのように現れるかを、強い相互作用の基礎理論である量子色力学(QCD)に基づいて解明する。特に格子QCDおよびQCD和則の手法をクォーク模型などの有効模型と組み合わせることにより、ペンタクォーク Θ^+ 、励起バリオン Λ^* 、その他のハドロンの励起状態のクォーク構造を解明する。さらに、同じくQCDに基づいてハドロンの間の相互作用とハドロンの分子的共鳴状態の構造を解明する。

2. 研究の進捗状況

これまでの主な研究成果は以下の通り。

(1) QCD和則によるメソンのクォーク数の評価：スカラーメソンにおける余分なクォーク・反クォーク対の混合の定量的評価を、QCD和則を用いて行った。

(2) QCD和則によるバリオンのクォーク数の評価：同じくSU(3) 1重項の Λ バリオン励起状態における3クォークと5クォーク状態の混合の定量的評価をQCD和則を用いて行った。

(1), (2)ともに、余分なクォーク・反クォーク対を含む状態が90%近くを占める主成分であることを指摘した。これは、QCDに基づいての定量的な解析としては初めての成果である。

(3) 高エネルギー反応におけるクォーク数解析：クォーク破砕関数による多クォークハドロンの同定可能性を高運動量移行反応における破砕関数のフレーヴァー依存性を解析して、スカラーメソンの4クォーク成分を特定して行うことを提案した。

(4) チャームメソンにおける4クォーク成分の混合とアイソスピン対称性の破れの可能性：インスタントン効果によるフレーヴァー混合寄与を取り入れたクォーク模型を用いた解析の結果、グルーオン交換効果とインスタントン効果とが釣り合うことでフレーヴァー混合が抑圧される場合に、アイソスピンの破れが強くなる場合があることを指摘した。

(5) ペンタクォーク Θ^+ の量子数：QCD和則を用いて、ペンタクォーク Θ^+ の量子数と質量の解析を行った。QCD和則の信頼度を高めるために高次数の演算子まで積展開を行った上、2つの相関関数の差をとる方式で連続状態との結合を抑制して、極の効果を十分に取り出す工夫を行った。その結果、アイソスピン0および1でスピン3/2、パリティ+のペンタクォークが1.5GeV付近の質量で存在する可能性が高いことを示した。

(6) 格子QCDによる Λ 励起状態： $\Lambda(1405)$ の2極構造の格子QCDによる解析を行った。2種の演算子を用いて負パリティの Λ バリオン状態を解析し、SU(3) 1重項と8重項成分のSU(3)の破れによる混合および、固有状態の質量のクォーク質量依存性を明らかにした。

(7) Λ^* N相互作用と Λ^* ハイパー核の質量：K-メソンを原子核に吸収させて作られる Λ^* 原子核の束縛エネルギーを求めるために Λ^* と核子の相互作用をメソン交換模型を元に構築し、その性質と束縛状態の様子を調べた。その結果、カイラルユニタリ模型で予言されている2つの Λ^* 極に対応する束縛状態が得られ、さらにその結合を考えると、深く束縛する1状態が得られることを示した。このテ

一マはさらに発展する可能性が高い。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。
これまでの研究成果は、当初の目的通りに進捗している。

4. 今後の研究の推進方策

これまでのエキゾチックハドロンの構造解析の研究をさらに進展して、ハドロンの共鳴状態とマルチクォーク状態の関連を精査する。現在、格子QCDによるメソンの散乱位相差を求める研究、QCD和則によるエキゾチックハドロンの研究をさらに精密化する研究、 Λ^* バリオンと核子の束縛状態の研究などを進めている。

5. 代表的な研究成果

[雑誌論文] (計7件)

1) T.T. Takahashi, M. Oka, Low-lying Lambda Baryons with spin 1/2 in Two-flavor Lattice QCD, Phys. Rev. D81 (2010) 034505 査読有

2) P. Gubler, D. Jido, T. Kojo, T. Nishikawa, M. Oka, Possible quantum numbers of the pentaquark $\Theta^+(1540)$ in QCD sum rules, Phys. Rev. D80 (2009) 114030 査読有

3) G. Erkol, M. Oka, T.T. Takahashi, Pseudoscalar-meson-octet-baryon coupling constants in two-flavor lattice QCD, Phys. Rev. D79 (2009) 074509 査読有

4) A. Arai, S. Yasui, M. Oka, Λ^* -hypernuclei in phenomenological nuclear forces, Prog. Theor. Phys. 119 (2008) 103-115 査読有

5) M. Hirai, M. Oka et al., Proposal for exotic-hadron search by fragmentation functions, Phys. Rev. D77 (2008) 017504 査読有

6) S. Yasui, M. Oka, Triquark structure and isospin symmetry breaking in exotic Ds mesons, Phys. Rev. D76 (2007) 034009 査読有

7) J. Sugiyama, T. Nakamura, N. Ishii, T. Nishikawa, M. Oka, Mixings of 4-quark components in light non-singlet scalar

mesons in QCD sum rules, Phys. Rev. D76 (2007) 114010 査読有

[学会発表] (計5件)

1) M. Oka, Keynote on QCD: Hadron Spectroscopy in QCD, US-Japan Joint Workshop on Meson Production Reactions at Jefferson Lab and J-PARC, 2009年10月12日 (ハワイ、アメリカ合衆国)

2) M. Oka, How exotic can hadrons be?, シンポジウム講演, 日本物理学会第64回年次大会, 2009年3月30日 (立教大学、東京)

3) M. Oka, Recent results on strange systems from QCD sum rules and lattice QCD, Sendai International Symposium on Strangeness in Nuclear and Hadronic Systems, 2008年12月15日 (東北大学、仙台)

4) M. Oka, Meson-Baryon Couplings in QCD, Workshop on Hadron Dynamics, 2008年9月26日, (Almuñecar, Spain)

5) M. Oka, How shall we determine the number of quarks in hadrons?, APCTP Focus Program on Physics at RHIC, 2007年12月4日 (Pohan, Korea)

[図書] (計1件)

1) Nuclear physics. Proceedings, 23rd International Conference, INPC 2007, S. Nagamiya, M. Oka et al., (eds.), Elsevier Pub. Co. (2008) 589頁

[産業財産権] なし

[その他] なし