

機関番号：32668

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20540281

研究課題名（和文） ハドロンの性質に対するクォーク反クォーク対の影響

研究課題名（英文） Effects of quark-antiquark pairs on the hadron properties

研究代表者 竹内 幸子 (TAKEUCHI SACHIKO)

(日本社会事業大学・社会福祉学部・教授)

研究者番号：90251503

研究分野：原子核理論物理学、ハドロン物理学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：クォーク反クォーク対、 $\Lambda(1405)$ 、 $X(3872)$ 、エキゾチック・ハドロン、クォーク模型、ハドロン物理

1. 研究計画の概要

この研究の目的は、バリオン共鳴状態、また、近年発見された $q-q\bar{q}\bar{q}$ 系の可能性があると考えられている重いクォークを含む中間子、および、1GeV より軽いスカラー中間子などを対象とし、クォーク内部自由度を考慮したハドロンにおけるクォーク反クォークペアの影響を明らかにすることである。また、それを通じて、低エネルギー領域でのハドロンの性質や、ハドロン構造を作り出すダイナミクスに対する知見を得て、非摂動的な QCD の性質を現象論的に理解しようとするのである。

(1) 研究対象

具体的には、① $\Lambda(1405)$ 、 $N^*(1440)$ を始めとする正負パリティのバリオン共鳴状態、② また、 $Ds_0^*(2317)^\pm$ 、 $Ds_1(2460)^\pm$ 、 $X(3872)$ 等のパリティが正であるか、或いは、正と予想され、 $q-q\bar{q}\bar{q}$ 系の可能性があると考えられている重いクォークを含む中間子、および、③ 1GeV より軽いスカラー中間子 ($f_0(600)$ 、 $f_0(980)$ 、 $a_0(980)$ 、 $\kappa(800)$) などである。

(2) 研究手法

以下に挙げるいくつかの手法を用いて研究対象にアプローチすることにより、モデルによらない系の特質を明らかにする。すなわち、① バリオン共鳴状態に対しては、 (qqq) と $(qqq)-(q\bar{q}\bar{q})$ の配位が結合した状態を、中間子に関しては、 $(q\bar{q}\bar{q})(q\bar{q}\bar{q})$ 配位と軌道部分が励起した $(q\bar{q}\bar{q})$ とが結合した状態を仮定したクォーク模型を用いる。② ハドロンを基本粒子とし、その間の相互作用をクォーク模型から導出する。また、 (qqq) 、 $(q\bar{q}\bar{q})$ コアに対応する状態を、散乱状態に埋め込まれた束縛状態として取り入れた、リ

ップマンシュヴィンガー (LS) 方程式を解く。③ グリーン関数の方法で、クォークコアを通じて生成される状態の質量スペクトルを計算する。④ 複素スケーリング法で、クォーク模型、ハドロン模型共に、しきい値近くの共鳴状態を調べる。

2. 研究の進捗状況

- (1) $\Lambda(1405)$ ：クォーク模型、ハドロン模型の LS 方程式、複素スケーリング法を行い、観測結果が再現できることを見た。
- (2) $N^*(1440)$ ：ハドロン模型の LS 方程式での解析を試みた。観測結果を再現するためには、 $N\pi\pi$ 系との結合が必要であることがわかった。
- (3) Λ_0 等の重いクォークを含むバリオン系：研究を進展させ、これらも研究対象とし、重いクォークを含む系の持つ性質を明らかにできつつある。
- (4) $X(3872)$ ：クォーク模型、および、グリーン関数の方法を用いたハドロン模型、あるいは、LS 方程式で ρ 中間子の崩壊幅の影響を取り入れたハドロン模型によってその性質を調べた。ピークの幅やアイソスピン対称性の破れ等の性質を再現することが出来た。
- (5) DsJ 系：クォーク模型を用いて計算を進めている。
- (6) T_{cc} 系 ($cc-q\bar{q}\bar{q}$)：クォーク模型を用いて計算を進めている。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

理由：実験の成果がまだ出ていないペンタクォーク Θ^+ に対する研究を一時停止している一方、当初の予定に含まれていない T_{cc} や Λ_0 等の重いクォークを含むバリオン系に

についての成果を得つつあるため。

4. 今後の研究の推進方策

現在の実験の状況を考え、ペンタクォーク Θ^+ 、および、軽い中間子から、重いクォークを複数個含む系に、研究対象の重点を移して、引き続き研究を続行する。また、共鳴状態の構成粒子である ρ 中間子の崩壊幅の影響を取り入れる方法を開発したこと、重いクォークを持つ系の特性がわかってきたことなどを活かし、研究のまとめに入る予定である。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 1 件)

- ① M. Takizawa and S. Takeuchi, “Heavy Mesons and Hadron Scattering — Structure of the Exotic Hadron X(3872) —”, Progress Theoretical Physics Supplement 186, 160–165, 2010, 査読有
- ② Y.-R. Liu, M. Oka, M. Takizawa, X. Liu, W.-Z. Deng and S.-L. Zhu, “D Dbar production and their interactions”, Physical Review D 82, 014011(1-18), 2010, 査読有
- ③ Sachiko Takeuchi and Kiyotaka Shimizu, “Baryon resonances in the baryon meson scattering coupled to the q_3 -state”, EPJ Web of Conferences 3, 07017(1-5), 2010, 査読有
- ④ Sachiko Takeuchi and Kiyotaka Shimizu, “ $\Lambda(1405)$ in a baryon-meson scattering described from a quark-model viewpoint”, Strangeness In Nuclear And Hadronic Systems (SENDAI08), 167–172, 2009, 査読有
- ⑤ Sachiko Takeuchi and Kiyotaka Shimizu, “ $\Lambda(1405)$ resonance in baryon-meson scattering with a bound state embedded in the continuum”, Physical Review C79 045204-(1-12), 2009, 査読有

[学会発表] (計 3 2 件)

- ① Sachiko Takeuchi, “Negative-parity Λ_q baryons in the baryon-meson continuum”, [Baryons’10] International conference on the structure of baryons, 2010年12月8日, Osaka, Japan
- ② Sachiko Takeuchi, “X(3872) as a coupled two-meson molecular state with a tetraquark configuration”, [HAW09] Third Joint Meeting of the Nuclear Physics Divisions of the American

Physical Society and The Physical Society of Japan, 2009年10月17日, Hawaii, USA

- ③ Sachiko Takeuchi, “Baryon resonances in the baryon meson scattering coupled to the q_3 -state”, [FB19] 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, 2009年9月4日, University of Bonn, Germany
- ④ Makoto Takizawa, “Structure of the X(3872) and its Isospin Symmetry Breaking”, [FB19] 19th International IUPAP Conference on Few-Body Problems in Physics, 2009年9月3日, University of Bonn, Germany
- ⑤ Sachiko Takeuchi, “ $\Lambda(1405)$ in a baryon-meson scattering described from a quark-model viewpoint”, International symposium on “Strangeness in Nuclear and Hadronic Systems”, 2008年12月14日, Sendai, Japan