

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 26 日現在

機関番号：32664

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2010～2013

課題番号：22740174

研究課題名(和文) 重いハドロンの分光学と未知なるチャーム/ボトム原子核の探索

研究課題名(英文) Search for Charm/Bottom Nuclei and Heavy Hadron Spectroscopy

研究代表者

須藤 和敬 (Sudoh, Kazutaka)

二松學舎大學・国際政治経済学部・准教授

研究者番号：40360573

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円、(間接経費) 960,000円

研究成果の概要(和文)：これまで我々が考えていなかったハドロンの存在を示唆するような理論・実験の報告がなされている中、それらのほとんどは軽いクォークで形成されたものであった。本研究の目的は、従来の軽いクォークではなくチャームやボトムといった重いクォークを含むハドロンの新しい形態を探ることにある。重いクォークの世界を特徴づける「重いクォーク対称性」と呼ばれる新しい対称性を導入することで、より量子色力学の理論を反映させた解析を行うことができる。結果として、重いクォークを含む原子核の存在を示唆し、それらが高密度物質中でどのように振る舞うのかを明らかにできた。

研究成果の概要(英文)：We study new states of hadrons and nuclei including a heavy quark, charm and bottom. Comparison with the light quark sector, a new symmetry called "heavy quark symmetry" is realized. Respecting the heavy quark symmetry, we construct a heavy meson effective theory in which a systematic expansion by $1/M$, M is a heavy quark mass, can be done. Several types of heavy hadrons, DD , $D\bar{D}$, BB , $B\bar{B}$, D/B in nuclei, have been studied in the framework of the heavy meson effective theory. In addition, we calculated the differential cross section of double charm tetraquark production in e^+e^- collisions. We demonstrated that the heavy quark degrees of freedom in nuclear medium is interesting in research of gluon dynamics in medium.

研究分野：数物系科学

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：ハドロン物理学 重いクォーク

1. 研究開始当初の背景

(1) 重いクォークを含む原子核については、これまでにいくつかの研究があるものの、それらの大半はストレンジネス原子核のフレーバー対称性を単純に拡張した枠組みのもとで評価されてきた。しかし軽いクォークと重いクォークでは理論に必要な対称性は異なっており、より現実的な解析が必要不可欠であった。

(2) 同時に、近年重いクォークを含む粒子が実験で相次いで発見され、それらのいくつかは従来の理論的枠組みでは説明できないものであり、重いクォークに関する新しい理論・模型が必要となってきた。

2. 研究の目的

(1) チャームクォークやボトムクォークを含んだ重いハドロンの分光学を見直し、これらの粒子の性質を説明できる理論的枠組みを構築する。

(2) 上記の成果を踏まえ、チャーム/ボトム中間子分子・原子核の存在可能性、および将来の実験に対する物理量の定量的予測を行う。

(3) 重いクォークを含んだハドロンの原子核が高密度物質中でどのように振る舞うかを研究すると共に、量子色力学のより深い理解に役立てる。

3. 研究の方法

(1) 「重いクォーク対称性」を正確に組み込んだ模型「重い中間子有効理論 (Heavy Meson Effective Theory)」を構築し、その補正項である $1/M_0$ 展開の高次項までを含んだ計算手法を確立させることにより、より現実的・定量的な計算を行う。

(2) 相互作用として軽い中間子交換ポテンシャルを仮定し、チャンネル結合により、力学的自由度を損なうことなく計算を行う。交換される中間子は中間子だけの場合と、中間子といった重いベクトル中間子まで含めた場合の結果を比較することで、計算結果の定量的な安定性を示す。

4. 研究成果

(1) ボトムクォーク、および反ボトムクォークを含む中間子である B、Bbar 中間子の束縛状態を研究し、Zb 粒子と比較・検討を行った。近年 Belle 実験で発見されたいくつかの Zb 粒子は、これまでの理論では説明するのが難しく、新しいタイプのエキゾチック/ハイブリッド粒子である可能性が示唆されている。図 1 は B 中間子と反 B 中間子の束縛状態の質量をプロットしている。図 1 に示すように、様々な量子数において、閾値近傍での束縛状態の解、および共鳴状態の解が得られた。特

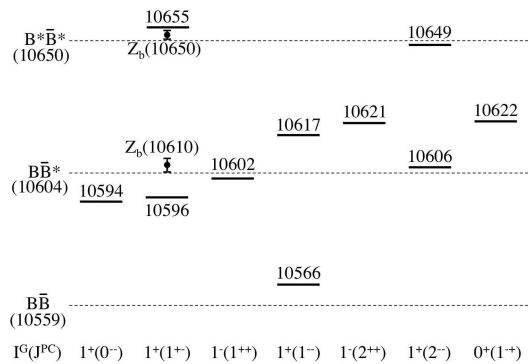


図 1 BBbar の質量スペクトル

に、実験で確認されている 2 つの Zb 粒子に比較的近い質量をもつことが確認されたことから、これらの粒子の性質や内部自由度を探る手掛かりを与えるかもしれないという点において非常にユニークな結果である。また、B - 反 B 中間子はボトムネスの自由度を頭に含まないため、などのボトムニウムとの関連性も重要になる。ここでは (5S) の崩壊から

(2) チャームクォークを含む D 中間子同士、ボトムクォークを含む B 中間子同士の束縛状態を議論した。これらの粒子はチャームネス C=2、ボトムネス B=2 を持つボソンであり、これまでの実験ではその存在が確認されていない。しかし近年の Belle 実験ではクォーク 4 体からなるテトラクォークの存在も示唆されており、将来の実験においてこれらの粒子が発見される可能性は大いに期待できる。本研究ではコンパクトなテトラクォークではなく、中間子分子の描像を仮定し、これらの粒子が安定に存在できるかどうかを確かめた。結果として、複数の量子数チャンネルにおいて束縛状態と共鳴状態の解が得られた。

(3) 核媒質中における反 D 中間子、B 中間子の振る舞いを調べた。核媒質中での中間子の質量変化は、カイラル対称性の破れとその回復現象を検証するのに有用である。従来の研究ではストレンジネスを含む軽い中間子の研究が主であったが、本研究では重い中間子でも同様の現象が見られるかを議論した。

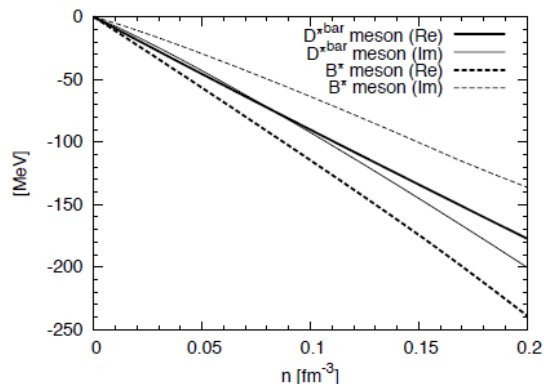


図 2 反 D 中間子・B 中間子の質量変化

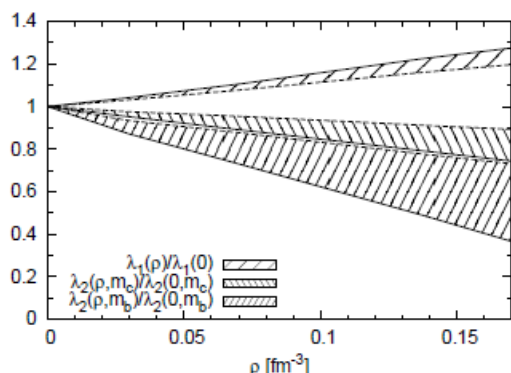


図7 密度の関数としての、真空中と核媒質中のグルーオンの比率

5. 主な発表論文等

(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15件)

S. Yasui and K. Sudoh, Probing gluon dynamics by charm and bottom mesons in nuclear medium from heavy meson effective theory with 1/M-corrections, *Physical Review C* 89 (2014) 015201, 査読有、

DOI: 10.1103/PhysRevC.89.015201

S. Yasui, S. Ohkoda, Y. Yamaguchi, K. Sudoh, A. Hosaka, Doubly Charmed Exotic Mesons, *Few Body Systems* 54 (2013) 1023-1026, 査読有、

DOI: 10.1007/s00601-013-0629-x

S. Ohkoda, Y. Yamaguchi, S. Yasui, K. Sudoh, A. Hosaka, Exotic Mesons with Hidden Bottom Near Thresholds, *Few Body Systems* 54 (2013) 1019-1022, 査読有、

DOI: 10.1007/s00601-013-0609-1

S. Yasui, K. Sudoh, Y. Yamaguchi, S. Ohkoda, A. Hosaka, T. Hyodo, Spin degeneracy in multi-hadron systems with a heavy quark, *Physics Letters B* 727 (2013) 185-189, 査読有、

DOI: 10.1016/j.physletb.2013.10.019

S. Yasui and K. Sudoh, Heavy-quark dynamics for charm and bottom flavor on the Fermi surface at zero temperature, *Physical Review C* 88 (2013) 1, 015201, 査読有、

DOI: 10.1103/PhysRevC.88.015201

T. Hyodo, Y.R. Liu, M. Oka, K. Sudoh, S. Yasui, Production of doubly charmed tetraquarks with exotic color configurations in electron-positron collisions, *Physics Letters B* 721 (2013) 56-60, 査読有、

DOI: 10.1016/j.physletb.2013.02.045

S. Yasui and K. Sudoh, D-bar and B

mesons in nuclear medium, *Physical Reviews C* 87 (2013) 015202, 査読有、

DOI: 10.1103/PhysRevC.87.015202

S. Ohkoda, Y. Yamaguchi, S. Yasui, K. Sudoh, A. Hosaka, Exotic mesons with double charm and bottom flavor, *Physical Review D* 86 (2012) 034019, 査読有、

DOI: 10.1103/PhysRevD.86.034019

S. Ohkoda, Y. Yamaguchi, S. Yasui, K. Sudoh, A. Hosaka, Exotic Mesons with Hidden Bottom near Thresholds, *Physical Review D* 86 (2012) 014004, 査読有、

DOI: 10.1103/PhysRevD.86.014004

[学会発表](計6件)

須藤 和敬, DD あるいは BB エキゾチックハドロンの構造の系統的な解析、第67回日本物理学会 年次大会、2012年3月26日、関西学院大学

須藤 和敬, チャーム原子核におけるアイソスピン対称性の破れの効果、第66回日本物理学会 年次大会、2011年3月、新潟大学(中止)

須藤 和敬, J-PARC におけるチャーム原子核生成、研究会『ストレンジネス核物理 2010』、2010年12月2日、KEK

6. 研究組織

(1) 研究代表者

須藤 和敬 (SUDOH Kazutaka)

二松学舎大学・国際政治経済学部・准教授
研究者番号: 40360573