

令和 6 年 6 月 25 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K03536

研究課題名（和文）中間子原子核に反映される有限密度における対称性の効果

研究課題名（英文）Symmetry effects in finite densities as reflected in mesic-nuclei

研究代表者

永廣 秀子（Nagahiro, Hideko）

奈良女子大学・自然科学系・准教授

研究者番号：10397838

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究はハドロン of 多彩な質量スペクトルを対称性の観点から理解することを最終的な目的とし、その一貫としてイータプライム中間子とイータ中間子を原子核に束縛させた系に関する理論研究を行ったものである。これらの粒子は同じ量子数を持ち、互いに混合するが、それぞれ異なるメカニズムでカイラル対称性の部分的回復の影響を受けると考えられている。本研究はその実験的な観測に向けて、イータおよびイータプライム中間子と核子の系について結合チャンネル法を用いて研究を行った。これによりイータプライム中間子と核子の系に結合するバリオン共鳴の洗い出しや、崩壊チャンネルについて一定の評価を行うことが出来た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、ハドロン of 質量生成について密度という異なる軸から観測をすることが出来る。これにより真空中のハドロン of 性質を見るだけでは明らかにならなかった質量と対称性の関係を明らかにすることが出来る。本研究はこれらの実験的な観測にむけ不可欠な理論的予言や、よりよい実験条件の特定、観測結果の理論的解釈を与えることが期待される。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to understand the mass spectra of hadron in terms of QCD symmetries. For this purpose, we focus the formation of the eta and eta' mesic nuclei. These mesons have the same quantum number and they mix in the physical states. However, they are expected to be affected by partial restoration of chiral symmetry by different mechanisms. To this end, this study is carried out on the systems of eta and eta-prime and nucleon using the coupled channel approach. We identify baryon resonances which are dynamically generated by eta-prime-N potential and study their effects for the eta-prime-N system. We also evaluate the decay process of the mesic nuclei system.

研究分野：ハドロン物理学

キーワード：ハドロン 中間子原子核 対称性

1. 研究開始当初の背景

ハドロン の 性質 は、その構成粒子であるクォークに対する基礎理論:量子色力学(QCD)により決定されるが、QCD を直接的に解くことでクォークの力学からハドロン の 性質を理解することは容易ではない。ハドロン系で実現される現象は、クォークの閉じ込め、ハドロン の 質量獲得およびそれらの複雑な質量スペクトル、エキゾチックハドロン の 存在など多種多様であり、このような多彩な現象は、ハドロン がクォークの複合粒子であることに起因する複雑な非摂動的機構により実現されると考えられている。これを理論的に解くため、本研究では QCD の持つ対称性を手がかりとした有効模型を用い、クォークの言葉で記述される理論と、ハドロン を自由度とする現実世界とを対称性の観点から結びつけることを目指す。

2. 研究の目的

本研究では、中間子と原子核が構成する系に焦点を定め、そこから得られる有限密度中のハドロン の 性質を、QCD がもつ対称性の観点から記述することを目的とする。本研究では、および '(958)中間子と原子核の束縛状態を生成し、核中でのハドロン の 性質変化を分光スペクトルにおけるピーク構造から探っていく。これらの中間子は同じ量子数を持ち、互いに混合する粒子であるが、カイラル対称性の部分的回復に対する応答メカニズムが異なっていると考えられる。本研究はこれらの束縛系を包括的に議論することにより、有限媒質中におけるカイラル対称性回復のシグナルがどのように得られるのかを解明することを目指す。

3. 研究の方法

本研究では、イータおよびイータ-プライム(958)中間子原子核束縛系の質量欠損法による生成に注目した。中間子原子核束縛系におけるカイラル対称性の役割の解明にむけ、(実験的検証に向けた理論体系の強化)と(実験方法の提案と議論)の二点を基軸としている。前者に対してまず、有効理論模型を用いたイータおよびイータ'(958)と核子との相互作用、励起される N^* 共鳴について研究を行った。これにより、まず真空中における相互作用について、実験データを検証して現象論的に議論する。この結果を用いて、有限媒質中での理論的考察を行い、中間子原子核束縛系生成について詳細な議論を行う。

4. 研究成果

本研究では、イータプライムと核子との間に $UA(1)$ 量子異常の効果により生じると期待される 交換相互作用を模して、これらの間にコンタクトの相互作用を導入した。その結合定数はフリーパラメータとし、核子標的の場合のイータ生成断面積や N 散乱振幅等の実験データと比較することにより、その大きさを決定可能かどうかを評価した。このコンタクト相互作用が引力の場合には、バリオ共鳴がイータプライムと核子の閾値近傍に生成される可能性があることが分かった。しかしこのバリオ共鳴はイータプライムと核子に選択的に結合するため、他のチャンネルには非常に小さいピークとしてしか現れず、イータプライムを含まないチャンネルの散乱データでは観測しえない可能性をしめした。

このバリオ共鳴はイータプライムが原子核中に導入された場合にも励起されることが期待され、それはイータプライム原子核束縛状態として観測される可能性がある。また、中間子と核子の結合チャンネルとして低エネルギー定理により決定される Weinberg-Tomozawa 相互作用に加えより高次の項や、ベクトル中間子も考慮に入れた。上記で計算されたイータプライムと核子の散乱振幅を用い、いわゆる t 近似を用いて、原子核中におけるイータプライムのセルフエネルギーを評価し、イータプライムのスペクトラル関数について、その真空中での形との比較を行った。さらに、このセルフエネルギーに対し局所密度近似を行うことで、イータプライムと原子核間のポテンシャルを導出した。その結果、このポテンシャルはイータプライムの束縛状態を生成することができるくらい十分に深くなりえることがわかった。またこのポ

テンシャルは強いエネルギー依存性を持つことも分かった。さらにこのエネルギー依存性を持ったポテンシャルを用い、束縛エネルギーとその崩壊幅の見積もりも行った。その結果、束縛状態はこれまでの生成実験において注目されたエネルギーの範囲外にピークを出しえることが分かった。これが、これまでの実験でピークが観測されなかったひとつの原因であると考えられる。さらに、一つ一つの束縛状態の束縛エネルギーは、崩壊幅より十分に大きいことが分かった。しかし、強いエネルギー依存性のため、異なる量子数を持つピークがかなり狭いレベルスペーシングで生成され、各ピークがずれて重なり、それぞれのピークを分けて観測することができない可能性が分かった。したがって、イータプライムの束縛状態は、これまで観測していなかったエネルギー領域に、いくつものピークが重なった大きなピークとして観測される可能性があることが分かった。現在、この結果をまとめて発表する準備を進めている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 4件 / うち国際共著 3件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Lyu Qi-Fang, Nagahiro Hideko, Hosaka Atsushi	4. 巻 107
2. 論文標題 Understanding the nature of $\Omega_{cc}(2012)$ in a coupled-channel approach	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 14025
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.107.014025	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Nishi Takahiro et. al	4. 巻 2023
2. 論文標題 Chiral symmetry restoration at high matter density observed in pionic atoms	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Physics	6. 最初と最後の頁 online
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41567-023-02001-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Arifi Ahmad Jafar, Nagahiro Hideko, Hosaka Atsushi, Tanida Kiyoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Two-Pion Emission Decay of Roper-Like Heavy Baryons	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Few-Body Systems	6. 最初と最後の頁 36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00601-021-01625-0	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Kinutani S., Nagahiro H., Jido D.	4. 巻 108
2. 論文標題 Excitation spectra of heavy baryons in a quark-diquark model with relativistic corrections	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 094011-1,14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.108.094011	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tani Akari、Ikeno Natsumi、Jido Daisuke、Nagahiro Hideko、Fujioka Hiroyuki、Itahashi Kenta、Hirenzaki Satoru	4. 巻 2021
2. 論文標題 Structure of double pionic atoms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1, 16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptab023	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------