

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：14602

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26400275

研究課題名(和文) 中間子原子核束縛系で探るカイラル対称性と量子異常効果

研究課題名(英文) Effects of Chiral symmetry and anomaly probed by meson-nucleus bound systems

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) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、 $\eta'(958)$ 中間子の有限密度中における質量減少の実験的な実現に向けた理論研究を行ったものである。 $\eta'(958)$ の中間子の質量はUA(1)量子異常の存在とカイラル対称性の自発的破れの効果があいまって決定されと考えられている。従って、有限密度中でカイラル対称性の自発的破れが部分的に回復すれば、 $\eta'(958)$ の質量が軽くなると予想される。本研究期間中に、ドイツ重イオン研究所において検証実験が行われ、生成断面積及び質量減少の上限値が決定された。

研究成果の概要(英文)：We investigate theoretically the mass reduction of the $\eta'(958)$ meson in the nuclear medium. To this end, we have calculated the formation spectra of $\eta'(958)$ mesic nuclei by using the missing mass spectroscopy. The heavy mass of the $\eta'(958)$ meson is considered to be determined by the UA(1) anomaly and chiral symmetry breaking. In this fiscal period, the experiment at GSI has been performed and we have determined the upper limit of the formation cross section of η' -mesic nuclei and its possible mass reduction.

研究分野：ハドロン原子核理論

キーワード： $\eta'(958)$ 中間子 中間子原子核 カイラル対称性 質量減少

1. 研究開始当初の背景

強い相互作用の基礎理論である量子色力学(QCD)により、現実世界にもたらされる現象は、クォークの閉じ込めを始め、ハドロンの質量獲得及びそれらの複雑な質量スペクトル、従来のクォーク模型の範疇に入らないエキゾチックハドロンの存在など、実に多種多様である。これらの多彩な現象はQCDのもつ対称性に密接に関係しており、これを手掛かりとして、これらの多彩な現象を紐解いていく試みは、現在のハドロン物理学において非常に重要である。

特に QCD におけるカイラル対称性は、クォーク・グルーオンで記述される基礎理論と、ハドロンがその主たる自由度である現実世界とを結ぶ重要な概念であり、その自発的破れの機構により多彩なハドロンの質量スペクトルが実現している。カイラル対称性の自発的破れは、高温・高密度において回復すると思われているが、近年、原子核密度程度でも部分的に回復することが理論的に指摘され、その検証実験も行われている。

2. 研究の目的

本研究は、対称性を手掛かりとしてハドロンの多様な質量スペクトルを統一的に理解することを究極の目的とし、その一環として $\eta'(958)$ 中間子の有限密度中における質量減少の実験的な検証の実現に向けた理論研究を行ったものである。 $\eta'(958)$ 中間子の質量は、 $U_A(1)$ 量子異常の存在とカイラル対称性の自発的破れの効果があいまって決定されると考えられていることを踏まえ、有限密度内での $\eta'(958)$ 中間子の質量減少を検証することにより、カイラル対称性の部分的回復の効果、 $U_A(1)$ 量子異常の媒質中での振る舞いを明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

$\eta'(958)$ 中間子の質量減少を検証するために、質量欠損法による中間子原子核束縛状態の生成を提案した。具体的には、光生成である(γ, p)反応および、陽子ビームを用いる(p, d)反応である。前者は、SPRING-8などの光実験施設で実現可能であり、後者は、ドイツ GSI にて実験が可能である。

4. 研究成果

当該研究期間中に、ドイツ GSI における実験が行われ、その研究結果が Physical Review Letters に掲載された。実験で得られたスペ

クトラムと理論計算との比較の結果、Nambu-Jona-Lasinio 模型などにより予想される大きな質量減少は見られなかった。これは、崩壊幅が理論的予想程度の大きさだった場合、大きな質量減少はないことを指すと考えられる。また、生成断面積の上限も決定された。

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 13 件)

1. Hideko Nagahiro, Formation of Possible $\eta'(958)$ -Nucleus Bound States and η' N Interaction, JPS Conf.Proc. 13, 010010, 2016/11 (査読あり), DOI: 10.7566/JPSCP.13.010010.

2. Y.K. Tanaka et al. (他 53 名 (H. Nagahiro(29 番目著者))), (H. Nagahiro(29 番目著者)), (eta-PRiME/Super-FRS Collaboration.), Measurement of excitation spectra in the $^{12}\text{C}(p,d)$ reaction near the η' emission threshold, Physical Review Letters 117, 202501, 2016/11, (査読あり), DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.202501.

3. Kenta Itahashi, et al. (他 53 名 (H. Nagahiro(28 番目著者))), Excitation Spectra of Carbon Nuclei near η' Emission Threshold, JPS Conf.Proc. 13, 020030 2016/10, (査読あり), DOI: 10.7566/JPSCP.13.020030

4. Hideko Nagahiro, S. Yasui, A. Hosaka, M.Oka, H. Noumi, Structure of charmed baryons studied by pionic decays, Physical Review D 95, 014023, 2016/09, (査読あり), DOI: 10.1103/PhysRevD.95.014023.

5. Moeki Miyatani, H. Nagahiro, S. Hirenzaki, N. Ikeno, Formation of $\eta'(958)$ Bound States by (γ, d) Reaction Acta Phys.Polon. B47, 367-372, 2016/01, (査読あり),

6. N. Ikeno, J. Yamagata-Sekihara, H. Nagahiro, S. Hirenzaki, Formation of Deeply Bound Pionic Atoms and Pion Properties in Nuclei, Acta Phys.Polon. A127, 1568-1570, 2015/05(査読あり), DOI: 10.12693/APhysPolA.127.1568

7. H. Fujioka, (他 52 名 Hideko Nagahiro 27 番目著者), Spectroscopy of η' -nucleus bound states at GSI and FAIR --- very preliminary results and future prospects --- Hyperfine interactions (Proceedings of the International Conference on Exotic Atoms and Related Topics (EXA 2014)), 2015/03

DOI : 10.1007/s10751-015-1145-9
(査読なし),

8. Natsumi Ikeno, Junko Yamagata-Sekihara, Hideko Nagahiro and Satoru Hirenzaki Formation spectra of pionic atoms in the Green's function method, Progress of Theoretical and Experimental Physics 033D01, 2015/03, (査読あり)
DOI: 10.1093/ptep/ptv013

9. Super-FRS collaboration (H. Fujioka, et al. (他 52 名 Hideko Nagahiro 27 番目著者)) Search for η' (958)-nucleus bound states by (p,d) reaction at GSI and FAIR Acta Phys. Polon. B46, 127, 2015/01
DOI : 10.5506/APhysPolB.46.127
(査読あり)

10. S. Hirenzaki, H. Nagahiro, D. Jido, Formation of η' (958) Bound States in Nuclei, JPS Conf.Proc. 1, 013030, 2014
DOI: 10.7566/JPSCP.1.013030, (査読あり)

11. N. Ikeno, J. Yamagata-Sekihara, H. Nagahiro, S. Hirenzaki, Formation of Deeply Bound Pionic Atoms in the (d,3He) Reaction, JPS Conf.Proc. 1, 013060, 2014
DOI : 10.7566/JPSCP.1.013060, (査読あり)

12. Hideko Nagahiro, Atushi Hosaka, Elementarity of composite systems, Physical Review C90, 065201, 2014/12
DOI : 10.1103/PhysRevC.90.065201
(査読あり)

13. CBELSA/TAPS Collaboration (S. Friedrich et al. 他 62 名 Hideko Nagahiro 45 番目), Experimental constraints on the omega-nucleus real potential, Physics Letters B 736, 26-32, 2014/07
DOI : 10.1016/j.physletb.2014.07.004
(査読あり)

[学会発表](計 16 件)

1. Hideko Nagahiro, Effect of the final state interaction of η' N on the η' photoproduction off nucleon, 第 72 回日本物理学会年次大会, 2017/03/19, 大阪
2. Hideko Nagahiro, Structure of charmed baryons studied by pionic decays Structures and Interactions of Heavy Quark Hadrons 2017/03/01, つくば
3. Hideko Nagahiro, Structure of charmed baryons studied by pionic decays, 2016

JAEA/ASRC Reimei Workshop : New exotic hadron matter at J-PARC, 2016/10/24, 茨城

4. Hideko Nagahiro, チャームバリオン励起状態の構造とパイオン放出に崩壊, 日本物理学会, 2016/09/21, 宮崎
5. Hideko Nagahiro, Decays of charmed baryons through pion emission in the quark model, The 10th APCTP-BLTP/JINR-RCNP-RIKEN Joint Workshop on Nuclear and Hadron Physics, 2016/08/17, RIKEN
6. Hideko Nagahiro, Formation of possible η' (958)-nucleus bound states and η' N interaction, The 14th International Conference on Meson-Nucleon Physics and the Structure of the Nucleon (MENU2016), 2016/07/29, 京都
7. Hideko Nagahiro, Decays of charmed baryons through pion emission in the quark model, 日本物理学会 第 71 回年次大会, 2016/03/19, 仙台
8. Hideko Nagahiro, チャームバリオンの崩壊 / Mesic nuclei by missing mass spectroscopy, 二国間交流事業共同研究, 2016/02/20, 東京工業大学
9. Hideko Nagahiro, Decays of charmed baryons through pion emission in the quark model, Mini-Workshop on hadron physics with a variety of flavors, 2016/02/16, 大阪
10. Hideko Nagahiro, 結合チャネル計算による η' (958)核子相互作用, 原子核媒質中のハドロン研究 III, 2015/10/17, つくば
11. Hideko Nagahiro, クォーク模型によるチャームバリオンの崩壊 --パイオン放出過程-, 日本物理学会 2015 年秋季大会, 2015/09/25, 大阪市立大学
12. Hideko Nagahiro, η' (958)-nucleon interaction and possible bound state of η' N systems, 1st Hadron Spanish Network Days and Spanish-Japanese JSPS Workshop, 2015/06/15, スペイン
13. Hideko Nagahiro, Elementarity of composite systems, Workshop on "Bound states in QCD and beyond", 2015/03/24, オーストリア
14. Hideko Nagahiro, Hadron properties at finite density and spectroscopies of mesic nuclei, Hadrons and Hadron Interaction in QCD2015 -Effective Theory and Lattice -,

2015/03/05, 京都

15. Hideko Nagahiro, Study for the elementarity of composite systems, 4th Joint Meeting of the Nuclear Physics Division of the American Physical Society and The Physical Society of Japan, 2014/10, ハワイ
16. Hideko Nagahiro, Formation of η' (958) mesic nuclei by (p,d) reaction, EXA2014, 2014/09, ウィーン

6 . 研究組織

(1)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