

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月31日現在

機関番号：82401

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2009～2011

課題番号：21540288

研究課題名（和文） 厳密少数多体系計算法の確立とエキゾチック原子核への適用

研究課題名（英文） Computational method for Few-body problem and its application to Exotic nuclei

研究代表者

肥山 詠美子 (HIYAMA EMIKO)

独立行政法人理化学研究所・肥山ストレンジネス核物理研究室・准主任研究員

研究者番号：10311359

研究成果の概要（和文）：

「無限小変位ガウス・ローブ法」をさらに開発を進めて、5体問題の束縛状態を計算する方法を確立した。その成功例として、 $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ を $\alpha\alpha\Lambda\Lambda N$ の5体問題を行った。近年、KEK-E373 実験で HIDA イベントと呼ばれるハイパー核が発見されたが、 $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ なのか $^{12}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ なのか実験的に決めることができなかった。この問題について、 $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ の基底状態の発見であることを指摘した。

研究成果の概要（英文）：

Using further developed 'Infinitesimally shifted Gaussian Lobe method, we could succeed in calculating the bound state of five-body problem. As for an example, we performed five-body calculation of $\alpha\alpha\Lambda\Lambda N$ in $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$. Recently, in KEK-E373 experiment, they observed HIDA event. However, they could not determine this event was observation of $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ or $^{12}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$. In this issue, we pointed out that this event was observation of $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2009年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2010年度 | 900,000 | 270,000 | 1,170,000 |
| 2011年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 総計 | 2,900,000 | 870,000 | 3,770,000 |

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・O原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：ハイパー核、少数多体系題、ハイペロン—核子間相互作用

1. 研究開始当初の背景

J-PARC プロジェクトと RIBF プロジェクトという大きな実験施設が稼動しつつあり、日本を舞台として、原子核物理分野の急速な発展が世界的に大いに期待されている状況にある。これらに2つのプロジェクトの目的の一つは、新しい核（同位元素）の発見をすることである。このような状況下で当然ながら、実験に先駆けた理論的予言が重要になってくる。

2. 研究の目的

自身で開発してきた「無限小変位ガウス・ローブ法」を用いて、ハイパー原子核分野、中間子原子核分野、ハドロン分野のそれぞれに適用することによって、各分野の研究重要課題の発展に貢献することである。また、同時にその分野の固有の課題を克服することで中心の計算法をレベルアップさせて、新しい課題への応用を高めることである。

3. 研究の方法

自身で開発した無限小変位ガウス・ローブ法を使用して、研究すべきシステムを3体から5体問題に基づいてその束縛エネルギーを求める。この方法は、斥力芯が高い相互作用、long range tail をもつ相互作用を使用しても制度よく求めることができるのが利点である。

4. 研究成果

「無限小変位ガウス・ローブ法」をさらに開発を進めて、5体問題の束縛状態を計算する方法を確立した。その成功例として、 $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ を $\alpha\alpha\Lambda\Lambda N$ の5体問題を行った。近年、KEK-E373 実験で HIDA イベントと呼ばれるハイパー核が発見されたが、 $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ なのか

$^{12}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ なのか実験的に決めることができなかった。この問題について、 $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$ の基底状態の発見であることを指摘した。

また、このような計算が可能になった副産物として、冷却原子の世界に、適用することが可能になった。超冷却原子分野では、LM2M2 ポテンシャルなどのような、現実的な $^4\text{He}\text{-}^4\text{He}$ 原子ポテンシャルを用いた dimer, trimer, tetramer の精密少数多体計算が最近話題を集めている。これら両分野で用いる粒子間相互作用は非常に強い斥力心と long-ranged tail (ハイパー核ではクーロン相互作用) を持つため、これらを同時に記述できる計算法を確立する必要がある。平成23年度は、LM2M2 potential という $^4\text{He}\text{-}^4\text{He}$ potential を用いた dimer, trimer, tetramer の2体~4体構造計算を行った。特に、非常に浅い tetramer の励起状態を精度よく得ることができた。さらにこの得られた励起状態から dimer-pair model を提案し、5体以上の ^4He の原子系の励起状態のエネルギーの見積もることができることを提案した。

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6件)

①Variational calculation of ^4He tetramer ground and excited states using a realistic pair potential', E. Hiyama and M. Kamimura, Phys. Rev. A85, 022502 (2012).
査読有

②'Structure of $^{10}\text{Be}_{\Lambda}$ studied with the four-body cluster model', Y. Zhang, E. Hiyama, and Y. Yamamoto, Nuclear Physics

A (in press). 査読有

③'Recent progress of hypernuclear physics',

E. Hiyama, Few-body systems
'Few-body Aspects of hypernuclear physics',
E. Hiyama, Few-body systems. DOI
10.1007/s00601-011-0296-8 (2012).

査読有

④ 'S=-1 hypernuclear structure', E.
Hiyama, M. Kamimura, Y. Yamamoto, and Th.
A. Rijken, Progress of Theoretical Physics
185, 106 (2010).

査読無

⑤ 'S=-2 hypernuclear structure', E.
Hiyama, M. Kamimura, Y. Yamamoto, and Th.
A. Rijken, Progress of Theoretical Physics
185, 152 (2010).

査読無

⑥ 'Five-body cluster structure of the
double Λ hypernucleus $^{11}\text{Be}_{\Lambda\Lambda}$
E. Hiyama, M. Kamimura, Y. Yamamoto, and
T. Motoba, Physical Review Letter 104
(2010).

査読無

[学会発表] (計 12 件)

①日本物理学会年次会、発表日：2012年
3月25日、関西大学、

「Variational calculation of 4He tetramer
ground and excited states using a
realistic pair potential」

②ワークショップ：Critical stability 2011
10.9-10.15, 2011, Erice, Italy

Four-body calculations of 4He tetramer and
light hypernuclei using realistic
two-body potentials (招待講演)、講演日：

10月12日

③国際会議：Third International
Conference on Nuclear Fragmentation

NUFRA2011, October 2-9, Kemer, Antalya,
Turkey

講演タイトル：Few-body aspects of
hypernuclear physics(招待講演)、講演日：
10月8日

④ワークショップ名；Strange Hadronic
Matter Trento Italy 2011.9.26-9.30

講演タイトル：Clustering aspect of light
nuclei(招待講演)、講演日：9月30日

⑤ワークショップ名：Korea-Japan workshop
on nuclear and hadron physics at J-PARC
Seoul, Korea 9.22-9.23, 2011

講演タイトル：Structure of $\text{Be}_{10\Lambda}$ and $\text{B}_{10\Lambda}$
hypernuclei with the four-body cluster
model、講演日：9月23日

⑥国際会議：the Fifth Asia-Pacific
Conference on Few-Body Problem in Physics
2011, Seoul, Korea, 8.22-8.26, 2011

'S=-1 and S=-2' few-body systems'、講演日：
8月24日

⑦Many: ab initio description of atomic,
molecular and nuclear systems with
number of particles $A > 4$ 4-8 of July 2011,
Trento, Italy

講演タイトル：Four- and Five-body
calculation of systems including strange
quark (招待講演)、講演日：7月6日

⑧ワークショップ名：'Hadron Physics
Meeting strangeness physics at J-PARC',

2011-5.27-5.28, APCTP, Pohang

講演タイトル：S=-1 and S=-2 hypernuclei
from view points of few-body problem' (招待講演)、講演日：5月27日

⑨物理学会：2010 Fall Meeting of the APS
Division of Nuclear Physics, 2010年11
月、サンタフェ
講演タイトル：Recent progress in
hypernuclear physics、講演日：11月6日

⑩国際会議：The 3rd International
Conference on Nuclear and Particle Physics,
2010, 10月、ドゥブロニク、講演日：10
月4日

⑪国際会議：The 21st European Conference on
Few-body problems in physics, 2010, 9月、
サラマンカ、講演日：9月1日

⑫ワークショップ名：' State of the Art in
Nuclear Cluster Physics' ,2010, 5月、ブ
リュッセル
講演タイトル：' Four-body structure of
S=-2 hypernuclei、講演日：5月26日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

肥山 詠美子 (HIYAMA EMIKO)
独立行政法人理化学研究所・肥山ストレンジ
ネス核物理研究室・准主任研究員
研究者番号：10311359

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし