

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21日現在

機関番号：32704

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21540283

研究課題名（和文） 原子核における α クラスタリングと α 凝縮の構造研究

研究課題名（英文） Alpha-Clustering and Alpha Condensate in Nuclei

研究代表者 山田 泰一（YAMADA TAIICHI）

関東学院大学・工学部・教授

研究者番号：70200722

研究成果の概要（和文）：原子核の新しい存在形態である α 粒子凝縮状態の広がりや深さを明らかにするために、 ^{16}O および ^{11}B 、 ^{13}C を中心に、励起状態における存在の可能性を理論的に追究した。それぞれ 4α および $2\alpha+t$ 、 $3\alpha+n$ 閾値近傍にクラスターガス状態が出現し、その出現機構を明らかにした。さらに、軽い核でクラスター状態を探索するのに有効な物理量がアイソスカラー型の電磁単極子遷移強度であり、その励起機構を理論的に明らかにした。

研究成果の概要（英文）：Alpha-particle condensate is a novel state in nuclei. The possibility of their existences has been theoretically explored in ^{16}O , ^{11}B , and ^{13}C . It was found that they appear around 4α , $2\alpha+\text{triton}$, and $3\alpha+\text{neutron}$ breakup thresholds, respectively. Isoscalar monopole transition strengths are very useful to search for cluster states in light nuclei, and we have clarified the mechanism of why the cluster states are relatively strongly populated from the mean-field-like ground state through the isoscalar monopole transition.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	700,000	210,000	910,000
2010年度	600,000	180,000	780,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

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：クラスター構造、アルファ凝縮状態、アイソスカラー型電磁単極子遷移

1. 研究開始当初の背景

原子核の構造研究は半世紀以上の歴史があるが、軽い核の代表例である酸素16核の励起状態の構造については未知の部分が多々あり、現時点でも未解決の問題である。

酸素16核の構造研究は1960年代のブラウン・グリーンによる4粒子4空孔模型の提唱にさかのぼり、有馬・堀内・瀬部によるsd殻模型における弱結合模型に続いて、1970年代の鈴木らによるクラスター模型による構造研究により、平均場の構造を有する基底状

態以外に、第二 0^+ 状態及び第三 0^+ 状態が $\alpha+^{12}\text{C}$ クラスター構造を持つことが明らかにされた。しかし、第三 0^+ 状態よりエネルギー的に上にあつて、 4α 鎖構造の可能性を実験的に示唆されている16.95 MeVの 0^+ 状態の間にあるいくつかの 0^+ 状態の構造については、殻模型や $\alpha+^{12}\text{C}$ クラスター模型でも記述が難しく、これまで十分に理解されてこなかった。

しかし、2001年に、 α クラスターがガスの状態を形成し、しかもガス状態としてエネルギー的に最も低い軌道(S軌道)に全ての α

粒子が凝縮した状態 (α 凝縮状態) が励起状態に出現するというという画期的な予言が提唱された。その後の研究により、炭素 12 核において 3 α 閾値近傍の第二 0⁺状態 (ホイル状態) がその典型例であることが明らかにされた。酸素 16 核でも α 凝縮の状態が存在する可能性が示唆され、4 α 閾値近傍の 0⁺状態の構造が注目された。

我々は酸素 16 核の基底状態配位、 $\alpha+^{12}\text{C}$ 配位、4 α ガス配位を含む広大な模型空間を持つ模型を用いた構造分析を行い、基底状態を含めて、4 α 閾値近傍までの、励起エネルギーで約 15 MeV までの 6 つの 0⁺状態のエネルギー準位、崩壊幅、単極遷移強度をすべて再現することに初めて成功を収めた。この上で、6 番目の 0⁺状態が 4 α 凝縮的状态として出現することを理論的に示したことは、酸素 16 核の構造研究の歴史の上でも非常に大きな成果であった。

2. 研究の目的

新しい原子核の物質形態である「クラスターからなる量子ガス状態」の存在及び運動様式の広がりや深さを探究し、原子核における α クラスタリングの諸様相の解明とクラスター凝縮状態の存在の理論的確立を目指す。この至上目的に基づき、本研究計画では、¹⁶O 核の構造研究に対して、共鳴の境界条件を考慮した精密な分光学的分析を行い、この結果を利用して ¹⁶O のアイソスカラー型電磁単極子の強度関数の分析を行い、クラスター状態励起機構について調べる。さらに、一般的なクラスターガス状態、例えば α 粒子とトロン (t) 粒子 (あるいは中性子 n) からなるガスの状態 (ボゾン粒子+フェルミ粒子の混合系) の存在有無について、¹²C の近傍核である ¹¹B 核と ¹³C 核に焦点を当てて、理論的な構造分析を行う。

3. 研究の方法

¹⁶O に関しては、4 α の直交条件模型を用いて $\alpha+^{12}\text{C}$ 空間や 4 α ガス空間などの模型空間を含む 4 体問題をガウス関数展開法で結合状態近似の下で解き、さらに拡張された ACCC 法を適用して共鳴状態の構造を調べる。また、微視的波動関数である 4 α 凝縮型波動関数を用いて同様な分析を行う。一方、¹¹B および ¹³C に関してはそれぞれ $\alpha+\alpha+t$ 直交条件模型に基づく 3 体問題、3 $\alpha+n$ 直交条件模型もとづく 4 体問題をガウス関数展開法により構造分析を行う。クラスターの一粒子内部密度関数の分析から、¹¹B および ¹³C におけるクラスター凝縮度を求め、ガス状態の存在可能性について調べる。

4. 研究成果

(1) ¹¹B 原子核におけるクラスター・ガスの状態を調べるために、非常に広汎な模型空間を有する、ガウス関数展開法に基づいた直交条件模型 $\alpha+\alpha+t$ により、構造分析を行った。この結果、最近の殻模型でも記述が難しい 3 番目の 3/2⁻がクラスター構造を有し、この状態が 1 番目の 1/2⁺状態とパリティ 2 重項を形成することを示した。また、 $\alpha+\alpha+t$ の閾値近傍に出現する 2 番目の 1/2⁺状態が 3 体クラスターのガスの状態であり、単一クラスター密度関数の分析から、この状態は ¹²C のホイル状態に類似して 3 つのクラスターがそれぞれ S 軌道を主に占有する、特異的な構造を持つことが明らかにされた。Physical Review 誌に掲載された。

(2) 原子核において平均場の構造とは質的に異なるクラスター構造を有する状態が軽い原子核を中心に存在することが理論的に指摘されている。この状態を実験的に確定する有効な物理量がアイソスカラー型の電磁単極子強度であること、さらに平均場の構造を持つ基底状態からクラスター状態が電磁単極子で強く励起される機構を、微視的波動関数を用いて、代表的な例として ¹²C や ¹⁶O 場合を取り上げて理論的に明らかにした。この理論の重要な点は、軽い核の基底状態には平均場の自由度以外に α クラスタの自由度が内在していることである (基底状態の二重性)。これは SU(3) 殻模型波動関数が Bayman-Bohr 定理によりクラスター模型波動関数と数学的に同等であることに基づいており、クラスター状態への励起は、基底状態に内在しているクラスター相対運動の励起になることが理論的に示された。Progress of Theoretical Physics 誌に掲載された。

(3) 軽い核の代表例である ¹⁶O 核のアイソスカラー型電磁単極子の強度関数において、相対論および非相対論に基づいた平均場理論では比較的高いエネルギー領域 (約 16 MeV から 40 MeV) のデータを近似的に再現するが、比較的低いエネルギー領域 (約 16 MeV 以下) における強度関数の再現は、定性的ですら大きな困難を伴うという事実がある。この低エネルギー領域の強度関数が 4 α の直交条件模型に基づいた 4 体計算により見事に再現されることを明らかにした。このことは ¹⁶O 核ではクラスター状態と平均場状態とが分離して励起される様相がある事を示している。また、閉殻構造を持つ ¹⁶O の基底状態には、Bayman-Bohr 定理から証明されるように、平均場の自由度と α クラスタの自由度という 2 つの自由度が内在し、この 2 の自由度が電磁単極子により励起される機構を明らかにした。さらに、アイソスカラー型の電磁単極子励起関数の振舞いを低エネルギーか

ら高エネルギー領域まで理解するためには、平均場の自由度だけではなく、クラスターの自由度を顕に取り入れる必要性を示した。この結果は他の軽い原子核でも現れる一般的な様相であると考えられる。Physical Review誌に掲載された。

(4) 微視的波動関数 THSR で 4α の共鳴の取扱いを考慮に入れて、 ^{16}O におけるアルファ凝縮状態の分析を行った。共鳴の取扱いを考慮に入れると、4つの 0^+ 状態が得られて、これらの状態に対する α 凝縮度や単一 α 軌道の分析、 $\alpha+^{12}\text{C}$ チャンネル波動関数の分析などから、 4α 閾値近傍に出現する4番目の 0^+ 状態が、 4α 直交条件模型でアルファ凝縮的状态と同定された6番目の 0^+ 状態に良く対応することが明らかにされた。Physical Review誌に掲載された。

(5) 一体密度行列の座標定義に関して、ある研究グループから座標定義の不定性が指摘され、原子核における α 凝縮の存在に関して疑問を投げかける論文が発表された。この誤りを正すために、調和振動子型ポテンシャルにおいて、自己束縛系している有限ボーズ多体系の1粒子内部密度関数は、上記の研究グループなどで用いられている Pethick-Pitaevskii 型の定義では物理的に不自然な結果が生じることを指摘した。これを解決するためには、Jacobi 座標で定義された内部密度関数を使用する必要がある、これは物理的観点から正当化されることを示した。Physical Review誌に掲載された。

(6) 炭素13原子核では $3\alpha+n$ の直交条件模型に基づく4体計算を $1/2^-$ と $1/2^+$ 状態で行った。 $3\alpha+n$ の閾値近傍まで存在する3つの励起 $1/2^-$ 状態のモノポール遷移強度の再現に対してかなり良い対応が得られ、このエネルギー領域におけるクラスター自由度の重要性を示した。また、1番目の $1/2^+$ 状態が中性子ハロー的な状態を有する事を理論的に明らかにし、さらに $3\alpha+n$ 閾値近傍の3番目の $1/2^+$ 状態がホイル類似構造を有することを示した。複素スケーリング法を適応して4体共鳴状態の構造を引き出すために、計算コードを並列化し、今後の進展を期待している。

(7) 原子核における α 凝縮に関するレビュー論文を出版した (Lecture notes in Physics, Springer 社)。また、軽いハイパー核の生成・構造・崩壊に関してクラスター模型による分析に関するレビュー論文 (Progress of Particle and Nuclear Physics 誌) を出版した。

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 20 件)

- (1) T. Yamada, Y. Funaki, T. Myo, H. Horiuchi, K. Ikeda, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "Isoscalar monopole excitations in ^{16}O : α -cluster states at low energy and mean-field-type states at higher energy", 2012年3月, Physical Review C 85 巻, pp.034315-1-14, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.85.034315
- (2) T. Yamada and Y. Funaki, "` $\alpha+\alpha+t$ cluster structures and Hoyle-analogue states in ^{11}B ", 2011年, Journal of Physics: Conference Series 321 巻, pp.012025-1-4. 査読有, DOI:10.1088/1742-6596/321/1/012025
- (3) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "`Alpha clustering and condensation in nuclei", 2011年, Journal of Physics: Conference Series 321 巻, pp.012033-1-4, 査読有, DOI:10.1088/1742-6596/321/1/012033
- (4) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "`Alpha-clustering and condensation in nuclei", 2011年, Proceedings of the 2nd Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP2), (Universite Libre de Bruxelles, Belgium, 25-28 May, 2010), eds. P. Descouvemont et al., International Journal of Modern Physics E 20 巻, pp.874-879, 査読有, DOI:10.1142/S0218301311018873
- (5) Yamada and Y. Funaki, "`Cluster structures and single-cluster motions in ^{11}B and ^{13}C ", 2011年, Proceedings of the 2nd Workshop on State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP2), (Universite Libre de Bruxelles, Belgium, 25-28 May, 2010), eds. P. Descouvemont et al., International Journal of Modern Physics E 20 巻, pp.910-914, 査読有, DOI:10.1142/S0218301311018952
- (6) T. Yamada and Y. Funaki, "` $\alpha+\alpha+t$ cluster structure and $^{12}\text{C}(0_2^+)$ -analogue states in ^{11}B ", 2010年12月, Physical Review C 82 巻, pp.064315-1-13, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.82.064315

(7) Y. Funaki, T. Yamada, A. Tohsaki, H. Horiuchi, G. Röpke, and P. Schuck, "Microscopic study of 4α -particle condensation with inclusion of resonances", 2010 年 8 月, Physical Review C 82 卷, pp.024312-1-15, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.82.024312

(8) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "Alpha clustering and condensation in ^{16}O ", 2010 年, Proceedings of the International Symposium on "Forefronts of Researches in Exotic Nuclear Structures (Niigata2010)", (Hotel Belnatio, Tokamachi, Niigata, 1-4 March, 2010), ed. S. Aoyama et al., Modern Physics Letters A 25 卷, pp.1939-1942, 査読有, DOI:10.1142/S0217732310000691

(9) T. Yamada and Y. Funaki, "Cluster structures in $3/2^-$ and $1/2^+$ states of ^{11}B ", 2010 年, Proceedings of the International Symposium on "Forefronts of Researches in Exotic Nuclear Structures (Niigata2010)", (Hotel Belnatio, Tokamachi, Niigata, 1-4 March, 2010), ed. S. Aoyama et al., Modern Physics Letters A 25 卷, pp.1943-1946, 査読有, DOI:10.1142/S0217732310000708

(10) T. Yamada, "Cluster structures in hypernuclei", 2010 年, Proceedings of the 12th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, (Varenna, Italy, 15-19 June, 2009), eds. F. Cerutti et al., the CERN Proceedings series 1 卷, pp.107-114., 査読有, <http://cdsweb.cern.ch/record/1237901/files/p107.pdf>

(11) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "Alpha-particle clustering in nuclei and four-alpha-particle condensation in ^{16}O ", 2010 年, Proceedings of the 12th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, (Varenna, Italy, 15-19 June, 2009), eds. F. Cerutti et al., the CERN Proceedings series 1 卷, pp.323-330. 査読有, <http://cdsweb.cern.ch/record/1237933/files/p323.pdf>

(12) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "Present status of α -particle condensed states in $4n$

self-conjugate nuclei", 2010 年, Proceedings of the 7th Japan-China Joint Nuclear Physics Symposium (JCNP2009), (University of Tsukuba, Ibaraki, Japan, 9-13 November, 2009), ed. A. Ozawa et al., Nuclear Physics Trends 1235 卷, pp.223-227, 査読有, DOI: [10.1063/1.3442598](https://doi.org/10.1063/1.3442598)

(13) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "Alpha-particle condensed states in nuclei", 2010 年, Proceedings of the International Workshop on "Hadron and Nuclear Physics (HNP09)", (RCNP, Osaka, Japan, 16-19 November, 2009), ed. A. Hosaka et al., Hadron and Nuclear Physics 09 (World Scientific Conference Book) pp.251-260 (ISBN: 978-981-4313-92-6). 査読有無, DOI:10.1142/9789814313933_0033

(14) Y. Funaki, H. Horiuchi, W. von Oertzen, G. Röpke, P. Schuck, A. Tohsaki, and T. Yamada, "Concepts of nuclear α -particle condensation", 2009 年 12 月, Physical Review C 80 卷, pp.064326-1-14, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.80.064326

(15) E. Hiyama and T. Yamada, "Structure of light hypernuclei", 2009 年 10 月, Progress in Particle and Nuclear Physics 63 卷, pp.339-395, 査読有, DOI: [10.1016/j.pnpnp.2009.05.001](https://doi.org/10.1016/j.pnpnp.2009.05.001)

(16) T. Yamada, Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "Internal One-Particle Density Matrix for Bose-Einstein Condensates with Finite Number of Particles in a Harmonic Potential", 2009 年 5 月, Physical Review C 79 卷, pp.054314-1-11, 査読有, DOI:10.1103/PhysRevC.79.154314

(17) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, " α -Cluster states and 4α -particle bose condensate in ^{16}O " Proceedings of KGU Yokohama Autumn School of Nuclear Physics, (KGU Kannai Media Center, Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan, 9-10 October, 2008), eds. T. Yamada and Y. Funaki, 2009 年, International Journal of Modern Physics A 24 卷, pp.1995-2002, 査読有, DOI:10.1142/S0217751X09045558

(18) T. Yamada, Y. Funaki, H. Horiuchi, K. Ikeda, and A. Tohsaki, "Alpha clustering and monopole strengths in light nuclei" Proceedings of KGU Yokohama Autumn School of Nuclear Physics, (KGU Kannai Media Center, Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan, 9-10 October, 2008), eds. T. Yamada and Y. Funaki, 2009年, International Journal of Modern Physics A 24 巻, pp.2043-2052, 査読有, DOI:10.1142/S0217751X09045601

(19) A. Tohsaki, Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and T. Yamada, "Microscopic wave function of alpha condensation", Proceedings of KGU Yokohama Autumn School of Nuclear Physics, (KGU Kannai Media Center, Kanto Gakuin University, Yokohama, Japan, 9-10 October, 2008), eds. T. Yamada and Y. Funaki, 2009年, International Journal of Modern Physics A 24 巻, pp.2003-2018, 査読有, DOI:10.1142/S0217751X0904556X

(20) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, "α-particle condensed state in ^{16}O ", 2009年, Proceedings of Franco-Japanese Symposium, "New Paradigms in Nuclear Physics", (Institut Henri Poincare, Paris, 29 September-2 October, 2008), ed. K. Hagino et al., International Journal of Modern Physics E 18 巻, pp.2083-2087, 査読有, DOI:10.1142/S0218301309014330

[学会発表] (計 24 件)

(1) 山田泰一, 船木靖郎, 明孝之, 堀内昶, 池田清美, G. Röpke, P. Schuck, 東崎昭弘, "16O 核におけるアイソスカラー型単極子励起とクラスター構造", 2012年3月; 日本物理学会 第67年次大会、(関西学院大学、西宮市)

(2) 東崎昭弘、船木靖郎、堀内昶、ピーター・シュック、ゲルド・レプケ、山田泰一, "(3・)-α系の微視的研究 (V)", 2012年3月; 日本物理学会 第67年次大会、(関西学院大学、西宮市)

(3) 山田泰一, "クラスターガス状態とアイソスカラー型単極子励起", 2011年12月; 京都大学基礎物理学研究所研究会「E0、E1 励起を通じて探る原子核の低い励起エネルギーのエキゾチックな構造」、京都市

(4) T. Yamada, "Cluster-gas-like states and monopole excitations", 2011年11月; Seminar of Institute of Physics, Nanjing University (南京大学), Nanjing, China

(5) T. Yamada, "α+α+t cluster structures and Hoyle-analogue states in ^{11}B ", 2011年10月; YKIS2011 Symposium on "Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei (YKIS2011)", Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan

(6) T. Yamada, "Cluster-gas-like states and monopole excitations", 2011年10月; YIPQS Long-term workshop on "Dynamics and Correlations in Exotic Nuclei (DCEN2011)", Yukawa Institute for Theoretical Physics, Kyoto University, Kyoto, Japan

(7) 山田泰一, "クラスターガス状態とモノポール励起", 2011年9月; 大阪大学核物理研究センター研究会「クラスターガス状態探索のための研究戦略会議」、大阪大学、茨木市

(8) 東崎昭弘、船木靖郎、堀内昶、ピーター・シュック、ゲルド・レプケ、山田泰一, "(3・)-α系の微視的研究 (IV)", 2011年9月; 日本物理学会 2011年秋季大会、(弘前大学、弘前市)

(9) T. Yamada, "Alpha-cluster structures and Hoyle-analog states in ^{11}B ", 2011年6月; International Symposium on "Advances in Nuclear Many-Body Theory", Primosten, Croatia

(10) T. Yamada, "Hoyle-analog states and monopole excitations in light nuclei", 2011年6月; International Workshop on "Clusters in Nuclei, Nuclear Matter, HIC and Astrophysics", European Center for Theoretical Studies in Nuclear Physics and Related Areas (ECT*), Trento, Italy

(11) 船木靖郎、山田泰一、堀内昶、G. Röpke、P. Schuck、東崎昭弘, "4α 直交条件モデルを用いた 16O 励起状態の研究", 2011年3月; 日本物理学会 第66回年次大会、(新潟大学、新潟市)

(12) 東崎昭弘、船木靖郎、堀内昶、ピーター・シュック、山田泰一、ゲルド・レプケ, "(3α)-α系の微視的研究(III)", 2011年3月; 日本物理学会 第66回年次大会、(新潟大学、新潟市)

(13) T. Yamada, “ $\alpha+\alpha+t$ cluster structures and Hoyle-analogue states in ^{11}B ”, 2011年2月; International EFES-IN2P3 conference on “Many-body correlations from dilute to dense nuclear systems (MBC 2011)”, Paris, France

(14) 東崎昭弘、船木靖郎、堀内昶、山田泰一、Gerd Röpke, Peter Schuck, “ (3α) - α 系の微視的研究II”, 2010年9月; 日本物理学会2010年秋季大会(九州工業大学、北九州市)

(15) 船木靖郎、山田泰一、堀内昶、Gerd Röpke, Peter Schuck、東崎昭弘, “ 4α 直交条件模型を用いた ^{16}O のクラスター構造研究”, 2010年9月; 日本物理学会2010年秋季大会(九州工業大学、北九州市)

(16) 山田泰一、船木靖郎, “ $A=13$ 核におけるクラスター構造と単一クラスター運動”, 2010年9月; 日本物理学会2010年秋季大会(九州工業大学、北九州市)

(17) T. Yamada, “Cluster structure and monopole strengths in light nuclei”, 2010年9月; The Workshop on “Clustering and Nucleon Correlations”, Hokkaido University, Sapporo, Japan

(18) 山田泰一, “ ^{11}B における $\alpha+\alpha+t$ 構造と Hoyle-analogue 状態”, 2010年8月; 「少数粒子系物理の現状と今後の展望」研究会(福岡国際会議場、福岡市)

(19) T. Yamada, “Cluster structures and single-cluster motions in ^{11}B and ^{13}C ”, 2010年5月; The second Workshop “State of the Art in Nuclear Cluster Physics (SOTANCP2)”, the Universite Libre de Bruxelles, Belgium

(20) 山田泰一、船木靖郎, “ ^{11}B 核におけるクラスター構造と単一クラスター軌道”, 2010年3月; 日本物理学会第65回年次大会(岡山大学、岡山市)

(21) 船木靖郎、山田泰一、堀内昶、Gerd Röpke、Peter Schuck、東崎昭弘, “共鳴の条件を取り入れた ^{16}O における 4α 凝縮状態へのアプローチ”, 2010年3月; 日本物理学会第65回年次大会(岡山大学、岡山市)

(22) 東崎昭弘、船木靖郎、堀内昶、山田泰一、Gerd Röpke, Peter Schuck, “ (3α) - α 系の微視的研究”, 2010年3月; 日本物理学会第65回年次大会(岡山大学、岡山市)

(23) T. Yamada, “Single cluster motions and cluster structures in light nuclei”, 2009年8月; The 6th Workshop on Aspects of Alpha Correlations and Alpha Condensation in Nuclear System, Rostock University, Germany

(24) T. Yamada, “Structure of light hypernuclei”, The 12th International Conference on Nuclear Reaction Mechanisms, 2009年6月, Varenna, Italy

[図書] (計3件)

(1) T. Yamada, Y. Funaki, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, A. Tohsaki, “Nuclear Alpha-Particle Condensates”, 2012年, Springer社, Cluster in Nuclei - Vol.2 -, ed. C. Beck, Lecture Notes in Physics 848 巻, 第5章, pp. 229-298

(2) 杉本徹, 山田泰一, 伊藤悦朗, “基礎物理学”, 東京教学社, 2010年

(3) Y. Funaki, T. Yamada, H. Horiuchi, G. Röpke, P. Schuck, and A. Tohsaki, “Alpha-Particle Condensation in Nuclear Systems”, 2010年, “Cluster Structure of Atomic Nuclei”, ed. M. Brenner, (Research Signpost/Transworld Research Network, ISBN:978-81-308-0403-3), 第1章, pp.1-42

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 泰一 (YAMADA TAIICHI)

関東学院大学・工学部・教授

研究者番号: 70200722

(2) 連携研究者

船木 靖郎 (FUNAKI YASURO)

理化学研究所・ストレンジネス核物理研究室・協力研究員

研究者番号: 00435679