

2020年 原子核理論研究室 年次報告

1. メンバー

教授: 木村 真明

講師: 堀内 渉

助教: Bo Zhou

研究員: Dagvadorj Ichinkhorloo, Qing Zhao

理学院/理学研究院特別研究生: Vishal Choudhary

DC3: 多田 哲明, Lai Hnin Phyu

DC2: 鈴木 祥輝, Ya Min Htet

DC1: 本木 英陽, 森谷 元, Seung Heon Shin

MC2: 槇口 雄仁, 鏑溝 勝, He Jia Jing

MC1: 渡辺 証斗

B4: 王 シン, 川合 毅, 前橋 拓斗

2. 研究成果

従来の原子核物理学は自然界に存在する原子核を対象とし、それらの構造・反応・崩壊の研究を通して、原子核の基本的な性質や核子多体系のダイナミクスを明らかにしてきた。近年、新しい原子核を人工的に合成することが可能になったことで、原子核物理学の研究対象は大きく広がっている。例えば不安定核・ハイパー核の生成により束縛限界での核子多体系の性質やバリオン物質の物性を調べることができるようになった。現在の原子核物理学は我々の自然観を深め自然・物質に対する認識の新しい段階へと進むべく、そのフロンティアを日々拡大している。

本研究室では原子核のクラスター構造・不安定原子核の性質に主眼をおいた構造・反応論及び、少数体精密計算による核子ダイナミクスの研究を行っている。これらの知見を基に原子核物質、元素合成過程の理解を進めるとともに、ハイペロンや中間子まで含めたバリオン多体系、ハドロン物質の量子物性の理解という観点から幅広く研究を行っている。

<原子核におけるクラスター現象>

A study of cluster states of light nuclei has always been an important subject in nuclear physics, which provides us new perspectives in nuclear structure and reactions. In this fiscal year, we have investigated the clustering of light nuclei. In particular, the topics related to the α particle (${}^4\text{He}$ nucleus) condensates have been intensively studied; the shape of the Hoyle state, the Coulomb screening effect to the Hoyle state and the 4α condensate state in ${}^{16}\text{O}$. For these purposes, several novel theoretical approaches were developed and applied. The real-time evolution method has been applied to investigate light clustered nuclei such as ${}^6\text{Li}$, ${}^6\text{He}$, ${}^{13}\text{C}$ and 4α condensation. Furthermore, a novel

method to eliminate the Pauli-forbidden state, and high-momentum AMD which handles the short-range correlation were proposed.

« Study of molecular resonances relevant to the carbon burning process » Kimura

The molecular resonances composed of carbon and oxygen clusters play an essential role in stellar fusion reactions. Because the measurement of these resonances is almost impossible, theoretical investigations are crucially important. Based on the antisymmetrized molecular dynamics calculations, we have identified the several $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$, $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$, and $\alpha+^{28}\text{Si}$ resonances at stellar reaction energies and predicted their resonance parameters. These results were published in two refereed journal papers.

« Benchmark calculations of ^6He , ^6Li and Be isotopes within real-time evolution method »

Zhao, Zhou, Kimura

The low-lying states of ^6He , ^6Li and Be isotopes have been calculated by the real-time evolution method (REM) as a benchmark. It was shown that REM always gives the deeper binding energy of the bound states than those obtained by the ordinary GCM calculations. Furthermore, it accurately described both the total isospin $T=0$ and $T=1$ states from a single ensemble of wave functions. Hence, we demonstrated that REM can effectively yields the basis wave functions to describe cluster states. These results were submitted to the refereed journal and one of which has already been published.

« Coulomb screening correction to the Hoyle state energy in thermal plasmas »

Phyu, Moriya, Horiuchi

We investigate how Coulomb screening affects the structure of a system of three α particles in thermal plasma environment realized in a burning star by precise three-body calculations. To take the Coulomb screening effect into account, we replace the bare Coulomb potential between α particles by the Yukawa form, which can be derived within the Debye-Hückel approximation. We obtain the energy shifts of the Hoyle state due to the Coulomb screening as a function of the Debye screening length and find that they are consistent with the conventional result based on the point charge Coulomb correction to the chemical potentials of ions.

« Geometric configurations of and development of novel approach to remove Pauli-forbidden states in multi-cluster systems » Moriya, Horiuchi, Zhou

Two kinds of potential models have been used for describing cluster states: a shallow potential model and a deep potential with an orthogonality condition. These two models take the Pauli principle into account in different ways. We investigate these differences in geometric configurations of α particles in ^{12}C . We find that they are closely related to the structure of the subsystem ^8Be in ^{12}C , giving strong influence on physical observables. The orthogonality condition model in general induces numerical instability due to the elimination of the Pauli forbidden states and is difficult to extend it to larger multi-cluster systems. To overcome this, we propose an efficient way to eliminate the forbidden states in the multi-cluster systems by using the property of the relative wave function of the microscopic cluster model.

«Investigation for a 4- α condensate state in ^{16}O » Motoki, Kimura

The Hoyle state (2nd 0^+ state in ^{12}C) was interpreted as a 3- α condensate state. If the α condensate state is a universal phenomenon, 4-, 5- or more α condensate states can exist. We study some 0^+ states in ^{16}O by using a real-time evolution method (REM) and obtain a possible candidate of a 4- α condensate state. Detailed analysis is in progress.

«Shape of ^{13}C studied by the real-time evolution method» Shin, Kimura

It is well known that the Hoyle state is considered as Bose-Einstein condensate. However, there is another interpretation of the Hoyle state; the rotation and vibration of the triangular symmetry of three α particles. Recently, the model was extended to ^{13}C with D_{3h} symmetry. We examined the proposed rotational bands based on the real-time evolution method and showed that the ground band exhibits a rigid-body triangular symmetry while the other excited bands have no dominant shape. The work was submitted to a peer-review journal.

«Description of 2nd 0^+ state and 3rd 0^+ state of ^{20}Ne » Yarimizo, Kimura

In ^{20}Ne , various α -cluster states are expected according to the Ikeda diagram. We expect that the 2nd 0^+ state has mixed structure of shell structure and α -cluster state like the 3rd 0^+ state. To reveal their structure, we applied the antisymmetrized molecular dynamics model.

« α -particle formation on nuclear surface probed by the α knockout reactions»

He, Zhao, Zhou, Suzuki, Kimura

The formation of α particles on nuclear surface has been a fundamental problem since the early age of nuclear physics. However, the α -particle formations in medium-mass nuclei and unstable nuclei have been poorly known. In this study, we analyzed the $^{48}\text{Ti}(p, p\alpha)^{44}\text{Ca}$ reaction which is sensitive to the α -particle formation probability. It was found that the α -particle formation in ^{48}Ti is much stronger than that expected from a mean-field approximation in orders of magnitude. We also made a similar analysis for neutron-rich carbon isotopes and found that α -particle formation was hindered by the growth of the neutron skin. These results were accepted for publication in two refereed journal articles.

«Description of ^3H and ^4He with HMAMD+UCOM approach» Zhao

We extend the high-momentum antisymmetrized molecular dynamics (HMAMD) by incorporating the short-range part of the unitary correlation operator method (UCOM) as a variational method of finite nuclei. In this HMAMD+UCOM calculation of light nuclei, the HMAMD is mainly in charge of the tensor correlation with up to the four-body correlation, while the short-range correlation is further improved by using the UCOM. ^3H and ^4He nuclei are calculated with this HMAMD+UCOM using the AV8 bare nucleon-nucleon interaction. Different roles of the short-range and tensor correlations from the HMAMD and UCOM are discussed. We show that this HMAMD+UCOM method can give consistent results with those obtained by other ab initio methods.

<不安定原子核の構造研究>

不安定同位体ビームを用いた原子核の実験・観測は国内外で日々進歩しており、理論と実験の連携により、不安定核における特異な現象や構造の探索がされている。本研究室では中性子過剰核におけるハロー構造や魔法数の消失による構造変化を精力的に調べている。また、原子核内にある芯の膨張によって半径が急激に増加するという新たな知見も得ている。

《Study of the structure and Coulomb breakup of a halo nucleus ^{11}Be 》 Kimura

In this work, we have combined a nuclear structure model AMD and a reaction model of finite range distorted wave Born approximation to describe both the structure and reactions of a neutron-halo nucleus ^{11}Be in a unified way. An extended version of AMD has successfully described the low-lying spectrum, spectroscopic factors, and the halo wave function of ^{11}Be . The halo wave function calculated by AMD has been used as an input of the reaction model to describe the triple differential cross section, neutron energy distribution, parallel momentum distribution, relative energy spectrum, and dipole response of ^{11}Be . This result was accepted for publication as a refereed journal article.

《魔法数 28 の消失による原子核の変形》 鈴木、木村、堀内

本研究では特別な形状を仮定しない微視的構造モデルである反対称化分子動力学を適用し、魔法数 28 の消失と中性子過剰な $N=28$ 近傍核の変形との関係を系統的に調べた。結果、魔法数の消失に伴い原子核は様々に変形し、特に $N=26, 30$ 核は三軸非対称変形を示すことを示した。この成果は、雑誌論文に投稿した。また、中性子過剰核 ^{40}Mg , ^{42}Si において変形共存のプロープとなるモノポール遷移強度が魔法数の消失する機構によって顕著に異なることを見出した。現在この成果をまとめ、雑誌論文に投稿準備中である。

《Pairing interaction and configuration mixing in ^{16}C 》 Htet

I have calculated the simple three-body calculation of ^{16}C to understand the pairing effect on the nuclear structure. Now, I am still working on the Woods-Saxon potential with some parameterization and calculate neutron-, proton- and matter-density distributions.

《中性子過剰核における芯核増大現象》 堀内

中性子過剰原子核の急な半径増加は弱束縛効果や変形などによって引き起こされることが定説であった。比較的深く束縛された球形核である中性子過剰カルシウム同位体の半径測定により、その変化は原子核内の安定な「芯」が膨張していることなしには説明できないことが示された。実験との共著論文を出版後、解釈に関する検討を進めた。芯の膨張現象は原子核の基本的性質である密度の飽和性と密接に関係し、その発現は芯まわりの中性子軌道の性質に依存することを理論的に示した。この成果は直ちに評価され、Physical Review C の Rapid communication として出版された。

《ドリップライン近傍原子核のハロー現象に関する研究》 堀内、木村

中性子ドリップ線（これ以上中性子を添加できない存在限界）近傍フッ素同位体の核半径を、不安定核ビームを用いた相互作用断面積の測定により初めて決定した。高エネルギー微視的散乱理論による理論解析により、未知の中性子過剰フッ素同位体の原子核半径を導出

し、弱束縛価中性子による異常な半径増加を示す「ハロー構造」の発達を世界で初めて示した。そのような中性子過剰フッ素同位体の構造について実験に先駆けた理論研究を複数の論文にまとめ、それらの成果は学術論文に出版されている。関連して、フッ素同位体の存在限界に現れる特異な現象を予言する論文を査読付き学術雑誌に出版した。

<原子核反応>

国内外で不安定同位体ビームを用いた原子核の研究が盛んに行われているが、中でも高エネルギー重イオン反応を用いた全反応断面積及び相互作用断面積は、理化学研究所の RI ビームファクトリーに代表される最新の加速器により、Ca、Ni といった重い質量領域まで拡大している。これらの物理量は原子核の大きさ、空間的広がりに関係しており、実験的、理論的にも重要な研究課題となっている。本年は反陽子を用いた原子核構造研究の可能性や、特異な原子核構造の観測量への影響について検討した。また、機械学習による原子核反応のデータ評価の研究も行っている。

《反陽子-原子核散乱による希薄核密度領域の探索》 槇口、堀内

陽子散乱によって原子核の表面密度分布を調べる研究は標準的に行われている。反陽子-核子散乱の全断面積は陽子-核子散乱の数倍程度あることから、反陽子散乱は陽子散乱に比べ原子核表面の分布により感度があることが期待される。そこで本研究では、反陽子を用いた原子核散乱について調べた。反陽子-原子核散乱は Glauber 模型の適用を行い、その計算に用いる反陽子-核子散乱のプロファイル関数のパラメータは反陽子散乱の実験データに基づき決定した。反陽子-原子核散乱の反応率を計算し、陽子散乱と比較しながら解析することにより、陽子散乱が中心密度の 1/10 程度の密度領域まで調べることができるのに対し、反陽子散乱は 1/100 程度の密度領域まで感度があることが分かった。様々な質量領域の安定原子核から中性子ハロー核等の密度分布を例に、反陽子散乱の原子核密度分布研究に対する有用性を議論した。反陽子-原子核散乱はハロー原子核のような原子核表面外縁部の密度が特徴的な原子核への適用が期待される。成果は誌上論文として発表された。

《原子核「泡」構造の観測に対する陽子散乱の有用性》 Choudhary、堀内、木村

原子核の中心密度が極端に小さい特異な性質「泡構造」の観測のため、陽子を用いた原子核散乱の有用性について検討した。軽い原子核では原子核の内部密度は表面密度に密接に関係しており、陽子弾性散乱断面の前方ピーク構造を調べることでその情報を得ることができる。これはインド工科大学ルールキー校博士課程学生（理学院/理学研究院との MOU による特別研究学生）の受け入れをきっかけにして始めた共同研究で、その成果はすでに誌上論文にて出版されている。

《機械学習による核反応データ評価》 渡辺、木村

核反応データの評価に機械学習を導入することで、核反応模型のパラメータ最適化を試みた。ガウス過程を用いたベイズ最適化によって、実験データを再現するように、核反応模型のパラメータを 1～3 個程度まで最適化することに成功した。今後、データセットを大き

くし、最適化するパラメータの数も増やすなど、大規模な最適化を目指す。

<エキゾチック原子・原子核>

アップ・クォークとダウン・クォーク以外のクォークを構成子に持つメソンやバリオンは、核子と相互作用してエキゾチック原子・原子核となる。特にストレンジネス・クォークを含むメソンやバリオンのエキゾチック原子・原子核を調べることは、中性子星内部や原子核内部の超高密度状態を理解するのに重要であると考えられている。本研究室では、反対称分子動力学や少数体精密計算を用いて、このようなエキゾチック原子・原子核における基本的相互作用や物理的性質を調べている。

《グザイハイパー核の構造計算》 多田、木村

Ξ ハイパー核は、 ΞN 相互作用の性質理解という観点から興味を持たれており、近年観測データも増えてきているが、データが限られており相互作用の性質理解が十分とはいえない。そこで、J-PARC で分光実験の予定がある $Be12\Xi$ 系に、反対称分子動力学(AMD)を適用し構造計算をした。 ΞN 相互作用は、 $C15\Xi$ の束縛エネルギーの実験値を再現するものを複数使い、相互作用の違いによる構造の違いを議論している。

《中間子原子様三体系における三体相関》 森谷、堀内

中間子原子は長距離のクーロン相互作用及び中間子-核子の短距離相互作用によって構成される。そのような原子スペクトルを調べることで、中間子-核子相互作用についての情報が得られると期待されている。本研究では長距離と短距離ポテンシャルで相互作用する3ボソン模型を用いて中間子原子様3体系の多体相関の効果を調べた。3体波動関数は相関ガウス基底展開によって精度よく求め、束縛エネルギーの短距離相互作用のポテンシャル強度による変化を調べた。行列式を使った解析方法を適用することで、三体相関が無視できなくなる強度を定量的に評価した。成果は査読付き国際会議プロシーディングスとして出版された。

3. 成果発表

<原著論文>

(査読あり)

- “Microscopic calculations for Be isotopes within real-time evolution method”,
B. Zhou, M. Kimura, Q. Zhao and S. Shin, Eur. Phys. J A56, 298 (2020).
- “Structure of the neutron-rich nucleus ^{30}Mg ”,
H. Nishibata, et al., Phys. Rev. C 102, 054327 (2020)
- “ $\alpha+^{28}\text{Si}$ and $^{16}\text{O} + ^{16}\text{O}$ molecular states and their isoscalar monopole strengths”,
M. Kimura and Y. Taniguchi, Phys. Rev. C 102, 024325 (2020).
- “Monopole and dipole transitions of the cluster states of ^{18}O ”,
T. Baba and M. Kimura, Phys. Rev. C 102, 024317 (2020).

- “ $^{12}\text{C}+^{16}\text{O}$ molecular resonances at deep sub-barrier energy”,
Y. Taniguchi and M. Kimura, Phys. Lett. B 800, 135086 (2020).
- “Hoyle-analog state in ^{13}C studied with antisymmetrized molecular dynamics”,
Y. Chiba and M. Kimura, Phys. Rev. C 101, 024317 (2020).
- “Positive-Parity Linear-Chain Molecular Band in ^{16}C ”,
Y. Liu, et al., Phys. Rev. Lett. 124, 192501 (2020).
- “Two-neutron halo structure of ^{31}F and a novel pairing antihalo effect”,
H. Masui, W. Horiuchi and M. Kimura, Phys. Rev. C 101, 041303 (2020).
- “Energy dependence of total reaction cross sections for ^{17}Ne on a proton target” (4/17),
T. Moriguchi, M. Amano, A. Ozawa, W. Horiuchi, Y. Abe, T. Fujii, R. Kagesawa, D. Kamioka,
A. Kitagawa, M. Mukai, D. Nagae, M. Sakaue, S. Sato, S. Suzuki, T. Suzuki, T. Yamaguchi,
and K. Yokota, Nucl. Phys. A 994, 121663-1-13 (2020).
- “Exploring two-neutron halo formation in the ground-state of ^{29}F within a three-body model”,
J. Singh, J. Casal, W. Horiuchi, L. Fortunato, and A. Vitturi, Phys. Rev. C 101, 024310-1-7
(2020).
- “Swelling of Doubly Magic ^{48}Ca Core in Ca Isotopes beyond $N = 28$ ” (23/70),
M. Tanaka, M. Takechi, A. Homma, M. Fukuda, D. Nishimura, T. Suzuki, Y. Tanaka, T.
Moriguchi, D. S. Ahn, A. Aimagambetov, M. Amano, H. Arakawa, S. Bagchi, K.-H. Behr, N.
Burtebayev, K. Chikaato, H. Du, S. Ebata, T. Fujii, N. Fukuda, H. Geissel, T. Hori, W.
Horiuchi, S. Hoshino, R. Igosawa, A. Ikeda, N. Inabe, K. Inomata, K. Itahashi, T. Izumikawa,
D. Kamioka, N. Kanda, I. Kato, I. Kenzhina, Z. Korkulu, Y. Kuk, K. Kusaka, K. Matsuta, M.
Mihara, E. Miyata, D. Nagae, S. Nakamura, M. Nassurlla, K. Nishimuro, K. Nishizuka, S.
Ohmika, K. Ohnishi, M. Ohtake, T. Ohtsubo, H. J. Ong, A. Ozawa, A. Prochazka, H. Sakurai,
C. Scheidenberger, Y. Shimizu, T. Sugihara, T. Sumikama, H. Suzuki, S. Suzuki, H. Takeda, Y.
K. Tanaka, I. Tanihata, T. Wada, K. Wakayama, S. Yagi, T. Yamaguchi, R. Yanagihara, Y.
Yanagisawa, K. Yoshida, and T. K. Zholdybayev, Phys. Rev. Lett. 124, 102501-1-6 (2020).
- “Two-Neutron Halo is Unveiled in ^{29}F ” (6/46),
S. Bagchi, R. Kanungo, Y. K. Tanaka, H. Geissel, P. Doornenbal, W. Horiuchi, G. Hagen,
T. Suzuki, N. Tsunoda, D. S. Ahn, H. Baba, K. Behr, F. Browne, S. Chen, M. L. Cortés, A.
Estradé, N. Fukuda, M. Holl, K. Itahashi, N. Iwasa, G. R. Jansen, W. Jiang, S. Kaur, A. O.
Macchiavelli, S. Matsumoto, M. Momiyama, I. Murray, T. Nakamura, S. J. Novario, H. J. Ong,
T. Otsuka, T. Papenbrock, S. Paschalis, A. Prochazka, C. Scheidenberger, P. Schrock, Y.
Shimizu, D. Steppenbeck, D. Suzuki, H. Suzuki, S. Takeuchi, M. Takechi, H. Takeda, R.
Tanuchi, K. Wimmer, and K. Yoshida, Phys. Rev. Lett. 124, 222504-1-7 (2020).
- “Core swelling in spherical nuclei: An indication of the saturation of nuclear density”,
W. Horiuchi and T. Inakura, Phys. Rev. C 101, 061301(R)-1-6 (2020).

- "The ^{29}F nucleus as a lighthouse on the coast of the island of inversion",
L. Fortunato, J. Casal, W. Horiuchi, J. Singh, and A. Vitturi, *Comm. Phys.* 3, 132-1-5 (2020).
- "Coulomb screening correction to the Q value of the triple-alpha process in thermal plasmas",
L. H. Phyu, H. Moriya, W. Horiuchi, K. Iida, K. Noda, and M. T. Yamashita, *Prog. Theor. Exp. Phys.* 2020, 093D01-1-12 (2020).
- "Utility of antiproton-nucleus scattering for probing nuclear surface density distributions",
K. Makiguchi, W. Horiuchi, and A. Kohama, *Phys. Rev. C* 102, 034614-1-8 (2020).
- "Imprint of a nuclear bubble in nucleon-nucleus diffraction",
V. Choudhary, W. Horiuchi, M. Kimura, and R. Chatterjee, *Phys. Rev. C* 102, 034619-1-8 (2020).
- "Quasiparticle properties of a single α particle in cold neutron matter",
E. Nakano, K. Iida, and W. Horiuchi, *Phys. Rev. C* 102, 055802-1-8 (2020).
- "Total reaction cross section on a deuteron target and the eclipse effect of the constituent neutron and proton",
W. Horiuchi, Y. Suzuki, T. Uesaka, and M. Miwa, *Phys. Rev. C* 102, 054601-1-8 (2020).
- "Electric dipole response of low-lying excitations in the two-neutron halo nucleus ^{29}F ",
J. Casal, J. Singh, L. Fortunato, W. Horiuchi, and A. Vitturi, *Phys. Rev. C* 102, 064627-1-16 (2020).
- " α decay to a doubly magic core in the quartetting wave function approach",
S. Yang, C. Xu, G. Röpke, P. Schuck, Z. Ren, Y. Funaki, H. Horiuchi, A. Tohsaki, T. Yamada, and B. Zhou, *Phys. Rev. C* 101, 024316 (2020).
- "Evolution of clustering structure through the momentum distributions in 8-10Be isotopes",
S. Li, T. Myo, Q. Zhao, H. Toki, H. Horiuchi, C. Xu, J. Liu, M. Lyu, and Z. Ren, *Phys. Rev. C* 101, 064307 (2020).

<会議抄録等>

- "Glauber model analysis for the ^{22}C nuclear radius",
T. Nagahisa and W. Horiuchi, *Springer Proceedings in Physics "Recent Progress in Few-Body Physics –Proceedings of the 22nd International Conference on Few-Body Problems in Physics–"*, Chapter 36, 209-213 (2020).
- "Properties of supersymmetric transformed alpha-nucleus potential with electric-multipole transitions",
T. Arai, W. Horiuchi, and D. Baye, *Springer Proceedings in Physics "Recent Progress in Few-Body Physics –Proceedings of the 22nd International Conference on Few-Body Problems in Physics–"*, Chapter 37, 215-218 (2020).
- "Two-neutron correlations in ^6He studied with spin-flip charge-exchange transitions",
N. Kawamura and W. Horiuchi, *Springer Proceedings in Physics "Recent Progress in Few-*

Body Physics –Proceedings of the 22nd International Conference on Few-Body Problems in Physics–”, Chapter 38, 219-222 (2020).

- “Impact of uncertainties of unbound ^{10}Li on the ground state of two-neutron halo ^{11}Li ”, J. Singh and W. Horiuchi, Proceedings of the 24th European Conference on Few-Body Problems in Physics (EFB2019), SciPost Physics Proceedings 3, 007.1-9 (2020).
- “Electric-dipole transitions in ^6Li with a fully microscopic six-body calculation”, W. Horiuchi and S. Satsuka, Proceedings of the 24th European Conference on Few-Body Problems in Physics (EFB2019), SciPost Physics Proceedings 3, 022.1-10 (2020).
- “Three-body correlations in mesonic-atom-like systems”, H. Moriya, W. Horiuchi, and J.-M. Richard, Proceedings of the 24th European Conference on Few-Body Problems in Physics (EFB2019), SciPost Physics Proceedings 3, 051.1-9 (2020).
- “Three-body description of $2n$ -halo and unbound $2n$ -systems: ^{22}C and ^{26}O ”, J. Singh, W. Horiuchi, L. Fortunato, and A. Vitturi, Proceedings of the 13th International Conference on Nucleus-Nucleus Collisions (NN2018), JPS Conference Proceedings 32, 010029 (2020).
- “Nuclear “diffuseness” probed by nucleon-nucleus diffraction”, W. Horiuchi, S. Hatakeyama, and A. Kohama, Proceedings of the 27th International Nuclear Physics Conference 2019 (INPC2019), Journal of Physics: Conference Series 1643, 012089-1-6 (2020).
- “Measurements of total reaction cross sections for ^{17}Ne using a solid hydrogen target”, T. Moriguchi, M. Amano, A. Ozawa, W. Horiuchi, Y. Abe, T. Fujii, R. Kagesawa, D. Kamioka, A. Kitagawa, M. Mukai, D. Nagae, M. Sakaue, S. Sato, S. Suzuki, T. Suzuki, T. Yamaguchi, and K. Yokota, Proceedings of the 27th International Nuclear Physics Conference 2019 (INPC2019), Journal of Physics: Conference Series 1643, 012099-1-6 (2020).
- “Sensitivity of core + n potential on configuration mixing in ground state of neutron-rich exotic nuclei”, J. Singh and W. Horiuchi, Proceedings of the 27th International Nuclear Physics Conference 2019 (INPC2019), Journal of Physics: Conference Series 1643, 012158-1-6 (2020).
- “グラウバー理論による反陽子-原子核散乱の記述”, 槇口雄仁, 堀内渉, 原子核研究 Vol.64 Supplement 1 2019年夏の学校特集号 pp.62-63.

4. 学術講演

4.1. 国際学会・国際シンポジウム

<招待講演>

- REIMEI workshop at ASRC/JAEA “Universal features of quantum flows with spin, orbital and tensor interactions” [Ibaraki Quantum Beam Research Center (IQBRC), Tokai, Ibaraki, Japan,

2020.2.17-19]

- *W. Horiuchi, “Modification of spin components in light nuclei induced by the tensor correlations”

<一般講演>

≪口頭発表≫

- Innovative Area (FY2017-2021) Gravitational Wave Physics and Astronomy: Genesis, The Third Annual Area Symposium [Hirao Memorial Seminar House, Konan University, Kobe, Japan, 2020.2.10-12]
 - *W. Horiuchi, K. Yoshida, and T. Sato, “Towards a unified description of neutrino-nucleus reactions for a wide range of momentum and energy transfers, and mass number”
- The 3rd Symposium on Clustering as a window on the hierarchical structure of quantum system [Online workshop, 2020.5.18]
 - *W. Horiuchi, K. Iida, H. Moriya, Lai Hnin Phyu, K. Noda, and M. T. Yamashita, “Energy shifts of a three-alpha system in thermal plasmas”
- PANDORA Workshop 2020 [Online, 2020.6.30-7.1]
 - *M. Kimura, “Molecular dynamics approach for nuclear dipole responses”

4.2. 国内学会・国内その他

<招待講演>

- 「東北大学セミナー」 [東北大学, 仙台市, 2020.1.23]
 - *堀内渉, “リチウム6、ヘリウム6の電気双極子励起におけるクラスター構造の役割”
- 「日本物理学会 2020 年秋季大会」 [オンライン, 2020.09.17]
 - *木村真明, “反対称化分子動力学による光核励起断面積の理論計算”
- 「大阪大学 南部コロキウム」 [オンライン, 2020.11.06]
 - *木村真明, “原子核のかたち”
- 「京都大学物理第二教室談話会」 [京都大学, 京都市, オンライン, 2020.12.3]
 - *堀内渉, “原子核半径研究の最近の進展”

<一般講演>

≪口頭発表≫

- 「日本物理学会第75回年次大会」 [名古屋大学東山キャンパス, 2020.3.16-19]
 - *鈴木祥輝, 木村真明, “中性子魔法数28の破れと変形状態について”
 - *椿原康介, 江幡修一郎, 堀内渉, 古本猛憲, “ α -原子核グローバル光学ポテンシャルの系統的分析”

- *槇口雄二, 堀内渉, 小濱洋央, “反陽子-原子核散乱による希薄核密度領域の探索”
- *本木英陽, 木村真明, “実時間発展法による、 ^{16}O の 0^+ 状態の構造”
- *Seung Heon Shin, Bo Zhou and Masaaki Kimura, “Excited states of ^{13}C studied by the Real-time Evolution Method”
- *多田哲明, 木村真明, 井坂政裕, 山本安夫, “AMD による ^{12}Be ハイパー核の構造計算”
- *鎌溝勝, 木村真明, “ ^{20}Ne 原子核の反転遷移の可視化”
- 「日本物理学会 2020 年秋季大会」 [オンライン開催, 2020.9.14-17]
- Lai Hnin Phyu, 森谷元, *堀内渉, 飯田圭, 野田佳那, Marcelo Takeshi Yamashita, “熱プラズマ中の3アルファ系におけるクーロン遮蔽効果”
- *森谷元, 堀内渉, “直交条件モデルによる炭素 12 におけるアルファ粒子の幾何学的配位”
- *堀内渉, 稲倉恒法, “球形原子核の芯核半径増大現象について”
- *槇口雄二, 堀内渉, 小濱洋央, “原子核密度分布に対する反陽子-原子核散乱の有用性”
- *升井洋志, 堀内渉, 木村真明, “ ^{31}F での新しいAnti-Halo 形成”
- *椿原康介, 江幡修一郎, 堀内渉, 古本猛憲, “密度依存 α - N 有効相互作用を用いた弾性散乱の記述”
- *Jagjit Singh, Jes'us Casal, Wataru Horiuchi, Lorenzo Fortunato, and Andrea Vitturi, “Two-neutron halo formation in the ground-state of ^{29}F ”
- 新学術領域研究「量子クラスターで読み解く物質の階層構造」第5回領域研究会 [オンライン, 2020.9.24-25]
- *木村真明, “Carbon burning process studied by α -inelastic scattering”

5. 国際学会及び国際シンポジウムの組織
該当なし

6. 科研費、助成金取得状況

- 木村真明, 科研費・基盤 C (代表), 2019.04-2022.03, 4,160 千円, “ α 非弾性散乱を用いた新しいアプローチによる炭素燃焼過程の研究”
- 木村真明, 科研費・研究成果公開促進費(代表), 2020.04-2021.03, 900 千円, “原子核反応データファイル”
- 堀内渉, 科研費・基盤 C(代表), 2018.04-2022.03, 800 千円, “第一原理計算による3核子力効果の解明とその宇宙核反応への影響”
- 堀内渉, 科研費・新学術領域研究(研究領域提案型)重力波創世記公募研究(代表), 2018.04-2021.03, “包括的ニュートリノ原子核反応の記述”(2021.3 まで延長)

- 堀内渉, 科研費・新学術領域研究(研究領域提案型), 量子クラスターで読み解く物質の階層構造公募研究(代表), 2019.04-2021.03, 1200 千円, “核物質中の原子核クラスター形成に関する物理的、化学的アプローチ”
- 木村真明, 堀内渉, 2020 年度北海道大学情報基盤センター萌芽型共同研究(分担), 2020.05-2021.03, 300 千円, “大規模数値計算による原子核反応シミュレーションとデータベース構築”
- 木村真明, 堀内渉, “Structure and reactions of nuclei away from the valley of stability”, Scheme for Promotion of Academic and Research Collaboration (SPARC) (granted 4,077,828IDR for two years)
- 木村真明, RCNP Collaboration Research network (COREnet), 2020.5-2021.3, 408 千円, “Research on nuclear clustering by new reaction probes”

7. その他の活動

<学外委員>

- 木村真明, 大阪大学原子核研究センター 研究計画検討専門委員会委員
- 木村真明, 大阪大学原子核研究センター B-PAC 委員
- 木村真明, 京都大学基礎物理学研究所 運営協議会委員
- 木村真明, 理化学研究所 RIBF 理論推進会議委員
- 木村真明, Progress of Theoretical and Experimental Physics、編集委員
- 木村真明, Chinese Physics C 編集委員
- 堀内渉, 理化学研究所 RIBF Users Executive Committee
- 堀内渉, 理化学研究所 RIBF 理論推進会議委員(議長)
- 堀内渉, 原子核研究 編集委員

<集中講義>

- 堀内渉, 「少数粒子系精密計算法による原子核多体問題」, 東北大集中講義, [東北大学大学院, 2020.1.22-24]
- 堀内渉, 「少数粒子系精密計算法による原子核多体問題へのアプローチ」, 京都大集中講義, [京都大学大学院 (オンライン), 2020.12.2-4]