

原子核理論研究室

研究室構成員

高田健次郎 教授

上村 正康 助教授

清水 良文 助手

《 大学院 博士課程 》

市川 覚 大坪 慎一 肥山詠美子

《 大学院 修士課程 》

菅将 孝 佐藤 求 間所 秀樹 宮崎幸一朗

安藤 政種 須古井貴弘 藤井新一郎

今年度の研究テーマと成果

[I] 少数粒子物理の研究

1) 少数粒子系研究法の開発

昨年，一般的な量子力学的 3 体・4 体系の束縛状態の計算を，従来より非常に容易にする基底関数 Infinitesimally-shifted Gaussian-lobe functions を提唱した（肥山，上村）が，本年，これを使った汎用プログラムを九州大学大型計算機センターの応用ライブラリに収めるための開発を行った（同センターライブラリ開発採用課題として継続中）．平成 8 年度には 3 体系について一部使用可能になる．3 体モデルに基づく少数系物理の研究に貢献する事が期待される．

2) ミューオン触媒核融合

ミューオン分子 $dt\mu$ の励起共鳴状態（ $N = 2$ 敷居値下の）がミューオン触媒核融合サイクルに占める役割の重要性を明らかにした（1995 年 μCF 国際会議，木野，Wallenius，上村）． $dt\mu$ 分子の崩壊に特異性があり，大部分は $(d\mu)_{1s} + t$ チャネルに崩壊することを 3 体系チャネル結合法によって定量的に示した．これは同時に， $(d\mu)_{1s}$ の存在確率をめぐるミューオン触媒核融合サイクルの長年の難問（ q_{1s} 問題）を解決する有力なアイデアとなる．

3) 天体内核反応

天体現象における 3α 反応について，3 体系非共鳴過程の新しい反応率計算法を提唱した（菅，橋本，肥山，上村）．従来の， 2α ， 3α 共鳴の情報のみを用いる 3α

反応率計算法には、低いエネルギー非共鳴状態反応に拡張するとき、クーロン障壁透過率の仮定に極度の過小評価があることを明らかにした。この仮定を必要としない「3体系捕獲過程の精密核反応計算法」を開発し、従来の反応率を大きく上回る結果を得た。この結果は、連星中の質量降着C O白色わい星の進化のシナリオに重大な影響を及ぼす。

4) ハイパー核

上記1)の少数粒子系の計算法を活用して、本年より新たに、ハイパー核の研究がスタートした(肥山, 上村)。 $A = 6, 7$ のラムダ・ハイパー核をそれぞれ、 ${}^4\text{He} + \Lambda + N$ および ${}^5_{\Lambda}\text{He} + N + N$ の3体模型に基づいて解析し、これらのハイパー核に、 ${}^4\text{He}$ -コア、 Λ -スキム、中性子-ハローの三層構造が存在することを明らかにした。また、未発見の ${}^6_{\Lambda}\text{He}$ ハイパー核についてその励起レベル構造を予言した。現在、これらのハイパー核構造とハイペロン-核子相互作用の関連の研究、ダブル・ラムダハイパー核の研究へと進展している。

[II] 高速回転・巨大変形する原子核の構造

近年、重イオン加速器と γ -線測定技術の進展によって高い角運動量を持った原子核の励起状態(高スピン状態)を詳細に調べることが可能になってきた。原子核理論研究グループの一つでは、このような高速回転する原子核の構造の微視的立場からの研究を行っている。一般に、与えられた角運動量に対する最低エネルギー状態をイラスト状態というが、高速回転の効果によって基底状態近傍では現れなかった色々なタイプの変形状態が低い励起エネルギー状態、すなわち、イラスト状態近傍に出現する。特に、大きく変形すると慣性能率が大きくなるので基底状態近傍では想像もつかなかったほど巨大に変形した状態(超変形状態)が現れることがわかっている。また、高スピン状態では巨大変形を含めて相異なった変形を持つと考えられる状態が同じエネルギー領域に共存する場合があるが(異相共存)、それら2つの性質の異なる状態群の間の弱い電磁遷移を調べることによってそれぞれの変形状態の詳細な性質を分析することができる。一般に、高速回転運動は原子核の変形場やその中の核子の運動にも大きな影響を与えるが、それと同時に変形場や核子の運動の変化によって回転運動自身の性質も変化する。このような独立粒子運動と原子核全体としての集団的運動の自由度との絡み合いによって引き起こされる原子核の種々の興味深い現象も高速回転する原子核の研究によってより一層明確に現れる。

本年度は、昨年度に引き続きこのような高スピン状態で特徴的にイラストに現れる巨大変形回転状態(超変形回転バンド)が低スピン領域でどのように通常変形状態へと崩壊するかについての理論的研究を行った。また、ここ数年、高スピン状態で

の巨大変形を含む異相共存現象に対しトンネル現象との類似性を用いた簡単なモデルによって分析を行っているが、特に、重い奇土類原子核のイラスト状態で見られる高スピンアイソマーが通常の回転バンドに直接崩壊する現象に対して応用した。この現象は軸対称性を表す K 量子数を大きく破るために注目を集めているが、これに対し非軸対称変形 (γ 変形) 自由度の大振幅運動が重要な役割を果たしていることを明らかにした。さらに、原子核の回転運動自身の問題として、変形の主軸から大きくはずれた角運動量の方向を持つような回転運動が考えられるが、このような対称軸に垂直な軸の回りの一様回転である基底状態近傍の回転とは異なった複雑な回転運動が存在するか、また、これら原子核特有の回転運動がどのようにイラスト近傍に出現するか否かについても研究をすすめている (清水)。

[III] 原子核の中低エネルギー集団励起状態の微視的構造

1) 大規模数値計算のための新アルゴリズムの開発とテスト

原子核の集団運動を微視的に解析するためには、膨大な計算機資源と計算時間を必要とし、現在我々に許されている計算機では、例えば、主記憶容量の不足という困難にしばしば遭遇する。このような困難を解決するために、ハッシング法と呼ばれる方法を巨大数値計算に応用出来るように改良した、簡易型ハッシング法を開発し、この方法が大規模数値計算に極めて有用であることを確かめた (高田)。

2) 中重核における 8 重極集団運動状態

^{146}Gd や ^{148}Gd において強い 8 重極の集団性を持った励起状態が次々に実験的に観測されてきた。これらは半実験的な particle-phonon coupling model を用いた解析で理解できるが、真に微視的な意味で理論的に再現することが出来る否が大変興味深い。

そこで我々は、Dyson boson mapping をこれらの問題に適用して、微視的に出来るだけ正確な解析を試みた。Fermion 相互作用として、粒子対に対しては surface delta 力、粒子-空孔対には octupole-octupole 力を仮定し、前者の強度は pairing 力、後者の強度は ^{146}Gd のスペクトルから定める。この Hamiltonian を解いて集団的 Fermion 空間を構成する集団的フォノンを決定し、この Fermion 空間を Dyson mapping を用いて boson 空間に写像し、そこでエネルギー固有値と $B(E3)$ を求め、実験値と比較して、この領域における octupole collectivity の強い enhancement のメカニズムを明らかにする。

この種の解析は膨大な計算機主記憶容量を必要とする。そこで我々は前項で述べた簡易型ハッシング法を多用したプログラムを新たに書き下し、 $^{146,148}\text{Gd}$ の 8 重極

多フォノン励起状態の精密な微視的解析を行った。その結果，中性子対モードと8重極粒子-空孔モードとの coupling が ^{148}Gd における8重極遷移の enhancement に本質的寄与をしていることを明らかにした(清水，高田)。

3) 準粒子表示 Dyson boson mapping の汎用プログラム

上の研究結果から，Dyson boson mapping はかなり複雑な系の微視的解析に十分適用可能であることが明らかとなったので，この手法を閉殻から遠く離れた領域の核に応用出来るよう，Dyson boson mapping の準粒子表示での計算機汎用プログラムの開発に着手し，現在進行中である(清水，高田)。

発表論文リスト

《原著論文》

- (1) Y. Kino, M.R. Harston, I. Shimamura, E.A.G. Armour and M. Kamimura, Asymptotic form of three body $(dt\mu)^+$ and $(dd\mu)^+$ wave functions, Phys. Rev., **A52** (1995) 870
- (2) Y. R. Shimizu and M. Matsuzaki, Nuclear Wobbling Motion and Electromagnetic Transitions, Nucl. Phys. **A588** (1995), 559.
- (3) 高田健次郎, “数値計算にハッシュ法を応用する”, 九州大学大型計算機センター広報, **28** (1995) 129-135

《Proceedings》

- (1) E. Hiyama and M. Kamimura, Three-body structure of ${}^6\text{He} = {}^4\text{He} + n + n$ using realistic $n - n$ potentials, Nucl. Phys., **A588** (1995) 35c
- (2) S.-I. Ohtsubo and Y. R. Shimizu, Dynamics of Non-Principal Axis Rotations, Proceedings of the third IN2P3-RIKEN Symposium on *Heavy Ion Collisions*, October 24-28, 1994, Shinrin-Koen, Saitama, Japan, ed. by T. Motobayashi, N. Frascaria and M. Ishihara, World Scientific Publishing Co. Ltd., Singapore, 1995, pp.319-328.

講演

- (1) M. Kamimura, “Recent Topics in Muon Catalyzed Fusion”, at Japan-Korea

- Joint Symposium on Nuclear Physics, Fukuoka, November, 1995.
- (2) M. Kamimura, “Few-Body Approach to Nuclear and Exotic Clusters”, at Japan-US Seminar on Progress in Study of Nuclear and Micro Clusters”, Honolulu, December, 1995
 - (3) E. Hiyama, “Structure of 9^{Λ}Be and $Y - N$ Interactions”, at Workshop on Hypernuclei and $Y - N$ Interactions, Tokyo, March, 1995
 - (4) E. Hiyama, “Halo Structure of Light Hypernuclei”, at Japan-Korea Joint Symposium on Nuclear Physics, Fukuoka, November, 1995.
 - (5) K. Takada, “Application of “hashing” method to large numerical calculations”, Invited Lecture at GANIL, Caen, France, June 30,1995.
 - (6) Y. R. Shimizu, “ K -Forbidden Isomer Decays in the Hf, W, Os region — Breakdown of the K quantum number due to the γ -degree of freedom —”, INT-95-3 on “Nuclear Structure under Extreme Conditions”, October 2 - December 15, 1995, Univ. of Washington, Seattle, U.S.A.

修士論文

- 1) 大坪慎一：“Tilted axis cranking”, 1995年3月
- 2) 肥山詠美子：“新ガウス型基底関数の提唱と少数粒子系への応用”, 1995年3月
- 3) 成松加奈子：“原子核における「相転移現象」のトンネル効果によるアプローチ”, 1995年3月