

I V. 原子核理論グループ

教授 香村俊武
助教授 初田哲男
講師 宇根 司、橋本幸男
助手 北川 尚
技官 岩沢和男
大学院生 13名

【1】ハドロン多体系の状態変化の理論的研究 (香村俊武)

原子核をハドロン多体系として扱う理論研究を進めた。

負のエネルギー状態につめている核子を考慮しない相対論的平均場近似では、ハートレーフォック状態が不安定になる。有限核について不安定性のない理論を完成するために、我々が開発した平均場近似スレーター行列式状態に負エネルギー核子を取り込む繰り込み法を用いて、反核子の束縛エネルギーなどを計算した。負エネルギー核子をも中間子場の源として考慮して、ハートレーフォック計算に取り込むと、核子の束縛エネルギーが小さくなる。この結果を理解するために、原子核は正エネルギー核子から成るといふ描像で、正エネルギー核子間の中間子交換力が負エネルギー核子から受ける補正を計算した。核内では中間子の質量と結合定数が核子-反核子励起型の真空偏極により補正を受け変化する。このため、核子間の中間子交換力は結合定数が小さく到達距離が長くなる。繰り込まれた真空偏極関数は核子密度に比例する。このため、真空偏極による中間子交換力の補正は、二核子系では極めて小さいが、核内では顕著になり、媒質効果として現れる。真空偏極補正を取り入れた湯川型中間子交換力を真空偏極関数について展開すると、斥力型の核子間有効三体、四体、五体力になる。陽子-原子核散乱に寄与する中間子交換力が核子-核子散乱から得られる核力と異なり、補正を受けて、弱くなることを示した。このように核内の中間子交換力に真空偏極効果補正を導入すると、相対論的原子核散乱の実験結果を説明できることを示した。また、Liouville 方程式を用いて定式化を行い、ハドロン多体系の状態変化を場の理論に基づいて解析した。Liouville 方程式に中間子平均場状態とそれ以外の状態に分ける射影演算子を導入して、乱雑位相近似 (RPA) 以上の高次補正項を導く処方箋を得た。この定式化により、ハドロン多体系の状態変化の発展方程式が得られる。このようにして、ハドロン多体系が多粒子-多空孔励起へ移行する機構を解明する研究の手がかりを得た。中間子平均場の値により、多体系の二つの偏極状態のエネルギーが縮退する模型 Hamiltonian を開発して、一粒子状態が交差する中間状態を多体系が経過する状態変化の機構を解明した。この系は状態変化の過程でエネルギーの高い中間状態を経るため、多体系のトンネル効果現象の本質を表していると考えられる。この系の状態変化の時間発展性、遷移確率や崩壊幅などの性質を解明した。

【2】QCD物性 (初田哲男)

初田は、量子色力学 (QCD) に基いたハドロン構造とその媒質効果についての研究、及び有限温度における摂動論の収束性とその改良の研究を行なった。まず、知久氏と、有限温度の場の理論における摂動級数が、一般化された平均場理論による無限次の総和により著しく改良され、さらにこの総和のもとでも紫外発散が容易に繰り込める事を示した。斉藤氏とは、この方法を有

限化学ポテンシャルを持つ系に拡張した。また、長谷川氏とは、同様の総和法が、量子力学における散乱問題にも適用可能で、DWBAの自然な一般化を与えることを示した。高温QCDにおける熱力学ポテンシャルに対する摂動級数は、せいぜい漸近級数であることが知られている。これについて初田は、パデ近似による改良を試み、繰り込み点依存性がこの改良により大きく減少する事を示した。また、浅川氏(名古屋大学)とは、最大エントロピー法と格子QCDシミュレーションを組み合わせて、ハドロンのスペクトル関数を引き出す研究を行った。

【3】QCD物性と核子多体系(北川 尚)

北川は酒見(東京工業大)と協力し、高エネルギー反応過程のうちで、散乱された入射粒子のレプトンと、散乱中で生成されたハドロンを同時に計測するセミインクルーシヴ反応について、実験の条件を考慮して観測量のシミュレーションを行った。同時計測するハドロンがパイ中間子ばかりでなく、K中間子も含めた場合について、また、標的核を水素原子ばかりでなくヘリウム3原子にした場合についても考察し、観測量の組み合わせにより、核子中のある種類のクォークの分布が実験値から引き出されることを示した。その際現れるフラグメンテーション関数について、NIKHEFグループの計算結果を検討した上で、バッグ模型を用いた定量的な評価を進めている。また、佐川(会津大)、鈴木(日大文理)、谷垣(東北大)らと協力し、軽い質量数領域での磁気能率を殻模型を用いて系統的に評価し、実験値との比較を行った。その上で、2次の配位混合の寄与の定量的評価を試みたが、実験値の再現、特にアイソスカラー部分についての一致は見られず、残留相互作用の段階で波動関数の広がりやを考慮に入れるべきであるかどうかを検討している。また、電気四重極能率についても、同様の評価を行っているところである。

【4】原子核の回転運動(宇根 司)

核スピンI(原子核の全角運動量)の値が大きくなると、それを担う運動形態も変化する。大きなK(変形した原子核の対称軸への核スピンの射影成分)をもって始まる回転バンド--高Kバンド--では、対称軸に垂直な集団回転によって核スピンの回転軸は変形の主軸から傾いた(tilted)方向をとることが古典的には考えられる。克蘭キング模型をこの考え方によって3次元的に拡張することが行われてきた。この3次元克蘭キング模型を量子論で基礎づけることを試みた。角運動量射影を行って内部状態 Φ から回転状態 Ψ^I_M をつくり、 Ψ^I_M でのハミルトニアンHの期待値を極小にすることから内部状態 Φ を決める方程式を得た。この方程式は通常の3次元克蘭キング模型での方程式とはいくつかの点で異なっている。1)拘束条件が異なり、 $\langle \Phi | J_k | \Phi \rangle$ のすべての値がIとKで与えられている。2)角速度が Φ を用いて自己無撞着に規定されている。3)ダイナミカルな変分項 $\langle \Phi | H J_k | \Phi \rangle$ の変分が存在する。この変分項は角速度と核スピン

$\langle \Phi | J_k | \Phi \rangle$ が平行になることを妨げる作用をする。定量的な分析は今後の課題である。

【5】原子核集団運動の非線型理論(橋本幸男)

橋本は院生の谷口氏と共同で原子核の八重極型集団運動のダイナミカルな性質を調べた。原子核の大振幅集団運動の特徴は、原子核平均場の形が大きく変化する古典的・巨視的側面と内部の核子運動が変化する量子的・微視的側面とが密接に関連していることである。その重要な例

として、非対称核分裂の主要な要因である八重極変形がある。原子核が大きく変形するにつれて偶・奇パリティの混合した殻構造が現れ、その反映として原子核平均場が八重極で表現される非対称形になると考えられている。この現象は、量子効果が巨視的に発現したとみなせる興味深い例である。この観点に基づき、”原子核平均場が、八重極型非対称性をもたらす量子効果を伴って空間的に非対称な形を経由しつつ時間発展する機構を調べる”が今回の研究の目的である。計算は、質量数 $A=52$ の系に対して簡単な密度依存力を用いたハートレーフォック (HF) 計算と時間依存 HF (TDHF) 計算を行なった。安定な四重極変形状態のうえで八重極型の変形を拘束条件とする変分計算によって、八重極型変形の増大につれて四重極型変形も変化 (増加) するポテンシャル曲線が得られた。その変化の過程で、一粒子エネルギー準位構造に新しい殻構造が生まれる傾向がみられた。動的な TDHF 計算においても八重極一四重極集団運動の相互依存性が確認された。四重極、八重極の各モーメントの時間発展から求まるそれぞれのタイプの集団運動の励起エネルギーの比が一粒子エネルギー準位構造から予測される値を持つことから、この運動モードが巨大共鳴状態に相当することがわかる。ここで、新しい殻構造の傾向が、動的過程にどのような効果をもたらすかを明らかにすることが次の課題として重要になった。そのための基礎的な理論を組み立てる手がかりとして、分岐現象に着目している。具体的には、(八重極一四重極集団運動のように) 二自由度の SU (3) 模型において、TDHF 周期軌道の分岐現象と量子状態群に現れる構造変化との関係を見出しつつある。これによって、動的な平均場計算から量子状態の大域的な性質変化を预言する理論的な枠組への取り組みが可能になると期待される (岩沢氏、広島大・津久間氏、茨城大・坂田氏との共同プロジェクト)。

【6】原子核の励起バンドの構造 (岩沢和男)

量子力学系としての原子核は、非常に複雑な励起構造をもっている一方、平均場の構造変化という概念が有効な場面多々ある。我々が開発した状態参照法は、その平均場の変化を連続的に求めることを可能にする。新たに開発した Cranked Hartree-Fock-Bogoliubov 計算プログラムにこの方法を適用し、クロム (Cr, $A=48$)、ゲルマニウム同位体 (Ge, $A=64-72$) の回転バンドを複数求めた。Cr48 の基底状態バンドが示す backbending 現象は、通常理解されている「バンド交差による backbending 現象」とは異なる構造を持っていることが今回の研究で初めて明らかになった。また Ge 同位体の励起バンドにおいては、励起バンドの系統性とともに対相関の発生・消滅に伴う回転バンドの分岐現象が観測された。コリオリ力が対相関を打ち消す効果があることは知られていたが、対相関を生じせしめる効果は議論されていない。今後は、対相関相転移の微視的解析が必要となろう。

<学位>

1. 理学博士：板橋宏

Overlap of Nonlinear Resonances in Quantum System

2. 理学修士：斉藤裕之

デルタ展開法による有限密度でのカイラル相転移

3. 理学修士：谷口将人

原子核の八重極型集団運動

4. 理学修士：高橋和孝

ランダム行列模型による QCD のカイラル対称性の破れ

5. 理学修士：村上謙一

核内における中間子交換力の非線形効果

<発表論文>

1. T. Nagata, A. Kato and T. Kohmura

\overline{NN} Vacuum Polarizations and Meson Exchange Interactions in Finite Nuclei,
Nucl. Phys. Vol. A601, No. 4 (1997), 333-348.

2. T. Kohmura, T. Nagata and M. Nakano

Vacuum Polarization and Meson Exchange Interactions in Finite Nuclei,
Proc. 14th International Conference on Particle and Nuclei , 683-685,
ed. C. E. Carlson and J. J. Domingo (1997), World Scientific.

3. T. Nakano and T. Kohmura

Effective Meson Masses in Nuclear Matter Based on a New Evaluation of Vacuum Polarization,
Proc. 14th International Conference on Particle and Nuclei , 704-706,
ed. C. E. Carlson, and J. J. Domingo (1997), World Scientific.

4. T. Kohmura

Relativistic Nuclear Scattering and Meson Exchange Interactions,
Proc. RCNP International Workshop on Nuclear Medium Effect via Nucleon Induced
Reactions,
Genshikaku Kenkyuu Vol. 42, No. 1 (1997), 173-179, ed. H. Sakaguchi and H. Sakai.

5. T. Hatsuda

Pade Improvement of the Free Energy in High Temperature QCD;
Phys. Rev. D56 (1997) 8111-8114.

6. S. Chiku and T. Hatsuda

Soft Modes Associated with Chiral Transition at Finite Temperature;
Phys. Rev. D57 (1998) 6-9.

7. H. Kitagawa, N. Tajima and H. Sagawa, Z.Phys. A358 (1997) 381-387

"Reaction cross sections and radii of A=17 and A=20 isobars",

8. 田中武志、坂田文彦、丸森寿夫、岩沢和男

Bandtermination of collective rotation: Dynamical mechanism of occurrence
Phys.Rev.C 56 (1997) 180

9. Structural Change in the Cranked HFB Bands

岩沢和男、坂田文彦、田中武志、橋本幸男、丸森寿夫
Prog.Part.Nucl.Phys. 38(1997)249

<口頭発表>

1. T. Hatsuda

In-medium QCD sum rules;
Invited talk at NORDITA Workshop on
Dense Hadronic Matter: Concepts, Methods and Problems,
(April 9-10, 1997, NORDITA, Copenhagen, Denmark).

2. T. Hatsuda

QCD Constraints on Vector Mesons in Hot/Dense Medium;
Invited talk at International Conference on Soft Dilepton Production,
(Aug. 20-22, 1997, LBNL, Berkeley, USA).

3. T. Hatsuda

Resummed Perturbation and QCD Thermodynamics;
Invited talk at APCTP Workshop on Astro-Hadron Physics,
(Oct. 25-31, 1997, Seoul, Korea).

4. T. Hatsuda

QCD at Finite Temperature and Density;
Invited Lecture at VI Hadron Physics 1998,
(March 16-21, 1998, Florianopolis, Brasil).

5. 橋本幸男、津久間秀彦、坂田文彦、岩沢和男,
Periodic Orbits and TDHF Phase Space Structure,
”重イオン・フォトン・RI ビームによるガンマ線分光”
(1997年7月15、16日 於 日本原子力研究所)

6. 橋本幸男、谷口将人、岩沢和男,
動的平均場法による八重極集団運動の性質
日本物理学会 (1998年3月30日)

7. 岩沢和男

Cranked HFB Bands of Ge Isotopes
「重イオン・フォトン・RI ビームによる γ 線分光」研究会
1997年7月15日-16日,日本原子力研究所先端基礎研究センター

8. 岩沢和男、坂田文彦、田中武志、丸森寿夫、橋本幸男,
Cranked HFB Bands of Ge Isotopes
日本物理学会1997年秋の分科会10月22日

9. 知久季倫

Detecting the critical softening of chiral transition through
sigma \rightarrow 2 pi process

広島 1997年6月3日

10. 知久季倫

Soft modes associated with chiral transition at finite temperature

LBNL 1997年8月21日

11. 知久季倫

Delta 展開法による有限温度での質量項の resummation

基研 1998年1月12日

<受賞>

初田哲男： 西宮湯川記念賞

「核媒質中におけるハドロンの動的構造の研究」