

# 学位審査報告書

（ふりがな） 氏 名	さとうこういち 佐藤 弘一
学位（専攻分野）	博 士 （ 理 学 ）
学位記番号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学 専攻
（学位論文題目）  Macroscopic and microscopic analyses of large-amplitude oblate-prolate shape mixing dynamics (大振幅オブレート・プロレート変形混合ダイナミクスの 巨視的及び微視的解析)	
論文調査委員	（主査） 延與佳子 准教授 國廣悌二 教授 板垣直之 准教授

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理 学 )	氏名	佐藤 弘一
論文題目	Macroscopic and microscopic analyses of large-amplitude oblate-prolate shape mixing dynamics		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、原子核の変形共存の現象に焦点をあてて、四重極変形状態の量子的混合と量子的回転を取り扱う手法により Kr 等の原子核における基底・励起バンド (回転スペクトル) を理論的に記述し、変形混合現象を研究したものである。</p> <p>原子核では、様々な変形状態が存在することが知られている。基底状態と異なる形を持った状態が励起状態として現れる現象は変形共存と呼ばれ、実験的にも種々の原子核で見つかっている。球対称性から破れた変形として典型的なものは四重極変形で、オブレート (パンケーキ形) 変形、プロレート (葉巻形) 変形、<math>\gamma</math> 変形 (非軸対称 4 重極変形) がある。平均場近似の見方では、変形共存は平均場が複数の平衡点を持つことに対応するが、変形状態がほぼエネルギー領域に縮退して現れる場合には、異なる変形状態が量子的混合し大振幅の集団運動を生じうる。さらに有限量子多体系である原子核では、集団的に変形した系は回転の自由度をもつため、変形と回転運動の大振幅集団ダイナミクスを解くことが変形混合現象の解明に不可欠である。本論文では、変形と回転自由度を記述した 5 次元四重極集団 Hamiltonian に基づいて変形共存 / 混合現象を研究した。</p> <p>まず、5 次元四重極集団 Hamiltonian において巨視的なモデルを仮定して解析することにより、非軸対称変形の効果や慣性質量の変形度依存性が変形共存 / 混合ダイナミクスに与える影響をより一般的に調べた。特に、オブレート・プロレート対称性とその破れの観点からモデル解析を行い、理想的なオブレート・プロレート変形共存、<math>\gamma</math> 不安定極限、非軸対称 3 次元回転という 3 つの現象とそれらの間の遷移を統一的に記述できることを示した。また、励起 0+ エネルギーがポテンシャルバリアの高さに依存すること、E2 遷移強度がオブレート・プロレート非対称性に敏感であること、回転運動が変形混合を抑制しうること、などの知見を得た。</p> <p>原子核の変形混合のダイナミクスを微視的な立場から研究した。平均場に複数の平衡点が縮退し、それらが量子的トンネル効果によって混合しうる系では大振幅集団運動が起こりうる。そのような大振幅集団運動の微視的理論として、本研究では「Constrained HFB + Local QRPA 法」を開発した。この手法は、大振幅集団運動の微視的理論である断熱的自己無撞着集団座標法 (ASCC) 法を応用して 5 次元 Hamiltonian の微視的パラメータを実用的に計算する方法である。5 次元四重極集団 Hamiltonian のポテンシャル項を Constrained (拘束条件を課した) HFB 法で計算し、運動エネルギー項に現れる換算質量を Constrained HFB に基づく Local (各点での) QRPA (準粒子乱雑位相近似) で求める。このようにして、5 次元 Hamiltonian のパラメータを微視的に決定した上で、5 次元パラメータのシュレディンガー方程式を解くことによって、四重極変形 (2 自由度) と回転 (3 自由度) の 5 次元集団運動ダイナミクスを記述する。</p> <p>この手法を陽子過剰 Se, Kr, Cr 同位体の変形共存 / 混合の解析に適用し、エネルギーレベルや電磁遷移強度などを計算し、実験データとの良い一致を得た。Se, Kr の同位体を系統的に調べることで、変形混合の様相が中性子数に依存して変化する様子を明らかにした。</p> <p>今回の手法は平均場の time-odd 成分の効果を取り入れて慣性質量を計算するというメリットがある。time-odd 成分の効果を無視した従来のクランキング質量を用いた計算と比べた結果、クランキング質量は励起エネルギーを低く見積もることを明らかにし、time-odd 成分の重要性を指摘した。エネルギーレベルや集団座標の各点の振幅などを解析した結果、Se, Kr 同位体原子核の低励起状態は理想的なオブレート・プロレート変形共存と、ポテンシャルバリアのない</p>			

(続紙 2)

$\gamma$  不安定極限との中間的な状態として理解できることを示した。これらの低励起状態では、従来から知られている  $\beta$  振動的な励起、回転の効果に加え、 $\gamma$  変形に対する大振幅の揺らぎが重要な役割を果たすことを明らかにした。

(論文審査の結果の要旨)

原子核においては、変形振動や回転などの集団運動が生じることが知られており、本研究のテーマである変形混合現象は、新しい集団運動ダイナミクスとして興味深い課題である。多体系の自由度の中からどのような集団座標が発現し、そこからどのようなダイナミクスが生じるかという問題は、原子核の多彩な集団運動を理解する上で重要であり、そのための微視的理論を構築することは古くからの大きな課題である。平均場理論に基づくこれまでの研究では、静的なポテンシャル曲面の性質についてのみ議論されているものが多く、また、集団運動ダイナミクスは QRPA (準粒子乱雑位相近似) を用いてポテンシャル極小点近傍での小振幅近似の範囲で記述されることが殆どであった。しかしながら、異なる変形状態が量子的に混合するという変形混合現象は大振幅集団運動の顕著な例の一つであり、大振幅集団運動を記述できる微視的理論が切望されている。本研究では、断熱的自己無撞着集団座標 (ASCC) 法に基づいて、四重極集団運動を微視的に記述する実用的な枠組みとして、CHFB + LQRPA 法と呼ぶ新しい手法を開発した。この手法を Se や Kr 同位体に適用して、低励起状態のエネルギーレベルは遷移強度などの実験値の再現に成功し、この手法の実効性が示されている。これまで ASCC 法を用いた変形混合の記述としては、変形 (1 自由度) と回転 (3 自由度) の  $1 + 3 = 4$  次元 Hamiltonian を用いた研究はあるが、変形度と非軸対称性の 2 自由度を取り込んだ研究は行われていなかった。本研究は、変形 (2 自由度) と回転 (3 自由度) の  $2 + 3 = 5$  次元四重極に関する大振幅集団運動の微視的研究であり、手法の実用性が認められ、本研究で明らかにされた物理的知見は独創的で高く評価できる。また、モデルを仮定した 5 次元四重極 Hamiltonian の解析によって、変形混合が生じた場合のエネルギースペクトルや遷移強度などの特徴が巨視的な描像でどのように理解されるかについて新しい観点で議論を行っている。このように、5 次元四重極運動を巨視的模型と微視的理論の両方でアプローチすることにより、様々な変形共存現象の統一的な理解を与えている。特に、オブレートとプロレートの異なる変形状態が共存し、低いポテンシャルバリアのために互いに量子的に混合しうる状況においては、変形が混合し多彩な現象が現れることを示している。一例としては、慣性質量の変形度依存性から生じる“回転による混合抑制”というメカニズムを指摘した。これは、ポテンシャル曲面からだけでは予想できない新しい現象であり、変形混合の多彩性の一つである。

また、変形混合状況において、 $\beta$  振動的な励起、回転の効果に加え、 $\gamma$  変形に対する大振幅の揺らぎが重要な役割を果たすことを明らかにしたことは、四重極集団運動の解明に重要な意義をもつ。さらに、従来よく用いられてきたクランキング質量の問題点や time-odd 成分の重要性を指摘した点は、今後の大振幅集団運動現象の研究において大きなインパクトを与える成果である。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 14 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降