

Title	Three-Body Dynamics Induced by Loosely Bound Nuclei
Author(s)	福井, 徳朗
Citation	大阪大学, 2015, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/52283">https://doi.org/10.18910/52283</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏 名 ( 福井徳朗 )	
論文題名	Three-Body Dynamics Induced by Loosely Bound Nuclei (弱束縛原子核を含む3体系の動力学)
論文内容の要旨	
<p>本論文の主題は、弱束縛な原子核を含む3体系の動力学を理論的に精密に記述し、それを正しく理解することである。入射粒子がゆるく束縛した原子核の場合、それは散乱の中間状態においてその構成粒子に分解し得る。したがって、入射粒子の束縛状態と連続状態間のチャネル結合は、その反応メカニズムを精密に記述するために本質的に重要な役割を果たすと考えられる。我々は連続状態離散化チャネル結合法(CDCC)を用いて上記のチャネル結合を陽に扱うことで、粒子が分解する効果が反応メカニズムにどのように寄与するのかを明らかにする。</p> <p>まず我々は移行反応における粒子の分解状態の寄与に注目した。移行反応において、入射核と残留核の連続状態を陽に扱うために、上記CDCCを用いて結合チャネルBorn近似(CCBA)を適用した反応モデルを構築した。本研究では天体核物理において注目されている移行反応<math>{}^8\text{B}(d,n){}^9\text{C}</math>を対象とし、弱束縛核である<math>d</math>および<math>{}^9\text{C}</math>の分解状態の寄与をCCBAモデルにより詳細に分析した。その結果、2つの原子核の分解の効果は顕著であり、断面積を最大で50%以上も増加させることが判明した。さらに、<math>d</math>の分解状態から陽子が移行する過程、および<math>{}^9\text{C}</math>の分解状態へ陽子が移行する過程の2つが移行反応において重要な役割を果たすことを示した。加えて、移行反応を特徴付ける物理量である移行角運動量が、<math>{}^9\text{C}</math>の分解状態とのチャネル結合により動的に変化する重要性も確認された。移行反応の理論的記述には従来、反応過程を1段階の遷移として記述する、最も単純な反応モデルである歪曲波Born近似(DWBA)がよく用いられてきた。本研究によって明らかになった原子核の分解効果は、DWBAによる反応描像を覆すものであった。</p> <p>次に我々は分解反応を研究対象とした。特に、比較的低い入射エネルギーの分解反応において、強いCoulomb力が存在する重い原子核を含んだ系を選んだ。そのような分解反応では、eikonal近似に基づく反応モデルがうまく機能しないことが近年報告されている。Eikonal近似は比較的高エネルギーの反応において、「直線軌道」という半古典的概念を導入することにより、散乱を簡便に取り扱うことのできる近似として、核反応論研究で広く採用されているものである。我々は、入射エネルギーが20.0 MeVという比較的低い入射エネルギーの分解反応<math>{}^{208}\text{Pb}(15\text{C},n){}^{14}\text{C}</math>を、eikonal近似に基づいて解析した結果、反応にはCoulomb力が主要な役割を果たしていることが判明し、上記のようにeikonal近似がうまく機能しないことが確認された。この問題を解決するために、Coulomb力によって「直線軌道」が歪曲する補正をeikonal近似に適用した。その結果、Coulomb補正を施したeikonalモデルと純量子力学に基づく散乱の結果はよく一致することが確認された。つまり、低いエネルギーにおいても「軌道」の概念が成り立つことを示した。</p> <p>最後に、<math>{}^4\text{He}</math>原子核である<math>\alpha</math>粒子が原子核表面に局在する<math>\alpha</math>クラスター現象について、<math>\alpha</math>移行反応を用いてその実証を試みた。まずは<math>\alpha</math>クラスターの発達が理論的に示唆されている安定核の<math>{}^{20}\text{Ne}</math>を対象とし、<math>\alpha</math>移行反応<math>{}^{16}\text{O}({}^6\text{Li},d){}^{20}\text{Ne}</math>の解析から<math>{}^{20}\text{Ne}</math>における<math>\alpha</math>クラスター構造を分析した。<math>{}^{20}\text{Ne}</math>の構造の波動関数はクラスターモデルによって微視的に計算した。移行断面積の計算値と実験値の比較から、<math>\alpha</math>クラスターが発達する領域を観測量から決定可能であることを示した。これは、<math>\alpha</math>クラスター構造を分光学的因子で議論していた従来のクラスターに関する研究とは異なり、<math>\alpha</math>クラスター構造の定量的理解を可能とするものである。現時点では、<math>\alpha</math>移行反応の解析にはDWBAを用いたが、将来的に不安定核における<math>\alpha</math>クラスター構造を分析する場合、CCBAによる反応解析が求められる。</p>	

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 福 井 徳 朗 )			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	保坂 淳
	副 査	教授	下口 正
	副 査	教授	青井 考
	副 査	准教授	緒方 一介
	副 査	准教授	民井 淳

論文審査の結果の要旨

近年、天然には存在しない不安定原子核(不安定核)が理論・実験の両面から注目を集めている。不安定核は、密度の飽和性を破るハロー(暈)構造や、魔法数の変化など、安定核では見られない特異な性質を示すことが知られている。これらは、不安定核の構造についての知見である。このとき、不安定核は孤立した核子多体系として捉えられ、その静的な性質の解明が主な研究目的と位置づけられる。この場合、原子核反応は核構造を調べる手段である。

その一方、不安定核と原子核との反応そのものを研究対象とみなすこともできる。これは、不安定核の動的な性質の解明を目指す研究と位置づけられる。このとき鍵となるのは、不安定核の弱束縛性である。原子核に入射した不安定核は、原子核との相互作用によって容易に励起・分解する。分解の結果、反応系は少なくとも3粒子から構成されることとなり、2粒子の場合と比べて多彩な反応現象が起きる。福井君は本研究において、2つの粒子に容易に分解する弱束縛核が関与するいくつかの反応を取り上げ、それぞれの反応で粒子の分解状態(3粒子系としての反応系の性質)がどのような役割を果たすかを明らかにした。

福井君が中心的に取り組んだ課題が、粒子移行反応における分解状態の役割の解明である。取り上げた反応は、重陽子( $d$ )標的にホウ素8原子核( ${}^8\text{B}$ )が入射し、 $d$ 内の陽子を捕獲して炭素9原子核( ${}^9\text{C}$ )が形成される反応である。 ${}^8\text{B}$ と陽子の融合反応は、恒星進化のシナリオにも影響しうる重要な反応であるが、恒星内の環境に対応する低エネルギーでは直接の測定が困難である。 $d$ を利用した陽子移行反応は、恒星内陽子捕獲反応の反応率を決定する代替反応として広く用いられている。今回取り上げた移行反応には、 $d$ と ${}^9\text{C}$ という2つの弱束縛核が含まれる。福井君はこれら2つの原子核の分解状態をどちらも明示的に取り入れたチャネル結合計算を行い、それらの分解状態を経由することで、陽子移行反応の断面積が約60%も増大することを初めて明らかにした。この結果は、今回取り上げた反応に限らず、不安定核が関与する移行反応全般で、分解状態を取り入れた正確な反応解析が必要となる可能性を示唆するものである。福井君が博士課程において開発した計算手法とプログラムは、今後世界各地で得られる移行反応の分析において、絶大な威力を発揮するものと期待される。

論文ではこの他に、炭素15原子核の鉛標的による分解反応や、リシウム6原子核を利用した $\alpha$ 粒子移行反応が取り上げられている。いずれも3粒子系が織りなす反応過程を正確に取り扱うことを軸とする重要な研究である。 $\alpha$ 粒子移行反応に関しては、現状では予備的な結果が出る段階に留まっているが、今後の進展が大いに期待できる。

本研究は、弱束縛系が関与する粒子移行反応を精緻に記述するモデルの構築と、これを用いた移行反応における3粒子系のダイナミクスの解明を初めて実現したものであり、それらは原子核反応論の進展に対する極めて重要な貢献であると考えられる。

以上より、本論文は博士(理学)の学位論文として十分に価値のあるものと認める。