

氏 名	たけもとひろ輝 竹 本 宏 輝
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 2024 号
学位授与の日付	平成 11 年 3 月 23 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	重イオン反応におけるクラスター構造を反映したフラグメント生成 機構 (主査)
論文調査委員	教 授 堀 内 昶 助教授 松 柳 研 一 助教授 初 田 哲 男

論 文 内 容 の 要 旨

入射エネルギーがフェルミエネルギーを越えた中高エネルギーの原子核反応では、反応の最大の特徴は多くのフラグメントが生成されることにある。フラグメント生成の力学的機構は多岐に亘りそれぞれに基本的重要性を有しているが、その一つに衝突核の個性を反映したフラグメント生成がある。この反応機構の従来の研究は、しかしながら、理論的には極めて不十分なものであった。それはフラグメント生成を扱う反応理論が反応機構の難しさの為に半古典的な性格のものに限られていたからである。衝突核の個性、すなわちその基底状態の構造や基底状態からの励起の特徴、を反映した反応の機構を研究するためには理論は量子力学的なものでなければならず、従来の理論はその要請に応えられなかったのである。申請論文の研究は近年発展させられてきた量子力学的な性格の反応理論の反対称化分子動力学を用いて衝突核の個性を反映したフラグメント生成機構を始めて研究したもので、重要ないくつかの知見や得、理論的予言を行ったものである。

論文の内容は大別して二つに分かれる。一つは安定核の ^{12}C 核の破碎反応を研究したもので、核構造の豊富な知識が蓄積されていることに基づいて破碎反応機構の研究を行ったことに重点がある。もう一つは中性子driplineの不安定核の ^{19}B 核の破碎反応を研究したもので、この様な不安定核では構造の知識が殆ど蓄積されていないのであるが、構造に関する知識を得る新しい方法として破碎反応の分析を用いることが有力であるとの分析に基づいた新たな提案を行っている。このどちらの破碎反応においても、衝突核のクラスター構造やクラスター自由度の励起を反映したフラグメント生成について研究したものであり、構造論の立場からはクラスター構造研究に中間エネルギー重イオン破碎反応という新しい研究手法を導入する提案を行っている点が重要である。

^{12}C には3 α 崩壊の敷居値の少し上に $0\frac{1}{2}$ や $2\frac{1}{2}$ といった3 α クラスター構造を持つ励起状態が存在するが、 ^{12}C からのフラグメント生成はこれらの状態を反応の中間励起状態として経過することが確かめられた。この中間励起状態は半周縁衝突で最も励起されやすく、生成された α フラグメントはエネルギー散逸のほとんどない。中間励起状態が半周縁衝突で最も励起されやすいことは α クラスター自由度の活性化のためには ^{12}C に二核子衝突ではなく平均場による適度な擾乱を及ぼすことが必要であることを示している。二核子衝突は ^{12}C 内の α クラスターを壊す方向に働くからである。この平均場の効果と二核子衝突の効果の競合により、 ^{12}C における α クラスター自由度の活性化は入射核の質量数および入射エネルギーに依存することになり、以下の様な点が明らかにされた。高い入射エネルギーでは ^{12}C と入射核との相互作用時間が短くなり、 ^{12}C は入射核からの平均場を十分に感じることはできず、二核子衝突により α クラスターが壊され、結果としてクラスターの自由度が活性化されなくなるが、入射核の質量数が大きければ平均場効果が大きいのでクラスターの自由度が活性化されなくなる境界の入射エネルギー値は高くなる。

中性子driplineの不安定核の ^{19}B 核の基底状態においては核構造の研究によって、 ^8He - ^{11}Li 的なクラスター構造の存在が予想されている。 ^8He も ^{11}Li も中性子driplineの不安定核であつて、安定核ではこの様な容易に励起される原子核がクラスター構造の構成要素になることは有り得ず、しかも ^{19}B 核の結合エネルギーは ^8He - ^{11}Li 分解の敷居値から深いので安定核領域のクラ

スター構造の基本法則の敷居値則も満たされていない。従って、 ^8He - ^{11}Li 的なクラスター構造が存在するとすればそれは新しい種類のクラスター構造であって、その存在の実験的検証が強く望まれて来た。本研究はその実験的検証には破碎反応が有力であることを示したものである。破碎反応を行うならば、 ^{10}B からは、基底状態にクラスター構造を持たない ^{10}B に比べ、 He と Li アイソトープが多量に生成され、しかもこれらのほとんどは同時に生成されることが予言される。この結果から、 ^{10}B のクラスター構造を実験的に確かめる方法として He と Li アイソトープの同時測定というフラグメント生成を利用した新しい実験的手法が提案されている。 ^{12}C の場合と同様に、 ^{10}B のクラスターへの分解は標的核の及ぼす平均場により引き起こされ、二核子衝突は ^{10}B 内のクラスター構造を壊す方向に働く。これにより ^{10}B におけるクラスターへの分解も入射エネルギーに依存することになり、入射エネルギーが高くなると ^{10}B のクラスター構造を反映したフラグメント生成機構は見られなくなることが論じられている。

論文審査の結果の要旨

重イオン破碎反応のこれまでの研究はその重点が核反応の機構の探求や核物質の性質の解明にあつて、核構造の研究には特殊な場合を除いてあまり利用されて来ていなかった。その理由は、実験的研究の場合には、沢山の自由度の関与する重イオン破碎反応は多くの場合精密さを要請される構造研究には適当でないと考えられていたことによると考えられる。理論研究の場合には、その理由は、衝突核の個性、すなわちその基底状態の構造や基底状態からの励起の特徴、を反映した反応の機構を研究するためには理論は量子力学的なものでなければならないにも拘らず、反応機構の難しさの為にフラグメント生成を扱う反応理論が半古典的な性格のものに限られていたからであると言うことが出来る。申請論文の研究の重要な功績は、近年発展させられてきた量子力学的な性格の反応理論の反対称化分子動力学を用いて衝突核の個性を反映したフラグメント生成機構を始めて研究したことにある。その結果、重要ないくつかの知見や得ることができ、また最近大きな発展を示している不安定核の構造研究に対して中間エネルギー重イオン破碎反応という新しい研究手法を導入する提案を行っている点が高く評価できる。核構造論の立場からは核構造研究に中間エネルギー重イオン破碎反応という新しい研究手法を導入することが有用であることを示した点が重要である。

本論文の構成は大別して二つに部分からなる。一つは安定核の ^{12}C 核の破碎反応を研究したものであるが、この核は良く発達したクラスター励起状態群が存在する典型的原子核であり、核構造の豊富な知識が蓄積されていることに基づいて、「衝突核の個性を反映した破碎反応機構」の特徴を研究している。研究の結果得られた成果は、まず、 ^{12}C からのフラグメント生成のうち α クラスターの生成はクラスター励起状態群を反応の中間励起状態として經由することを確かめたことであり、次に、クラスター励起状態群への励起、つまりクラスター自由度の活性化は入射核からの平均場効果によるものであることと、クラスター自由度の活性化を妨げる効果として二核子衝突過程があることを示したことである。そして三番目の成果としては、この平均場の効果と二核子衝突の効果の競合により、 ^{12}C における α クラスター自由度の活性化がどの様に入射核の質量数および入射エネルギーに依存するかを明らかにしたことにある。クラスター自由度の活性化が平均場の効果と二核子衝突の効果の競合によるとすれば、中間励起状態は半周縁衝突で最も励起されやすく、生成された α フラグメントはエネルギー散逸がほとんどないことが説明出来るし、高い入射エネルギーでは ^{12}C と入射核との相互作用時間が短くなり、 ^{12}C は入射核からの平均場を十分に感じることはできず、二核子衝突により α クラスターが壊され、結果としてクラスターの自由度が活性化されなくなるが、入射核の質量数が大きければ平均場効果が大きいのでクラスターの自由度が活性化されなくなる境界の入射エネルギー値は高くなることなどを系統的に説明出来る。

本論文のもう一つの部分は中性子driplineの不安定核の ^{10}B 核の破碎反応を研究したものであるが、この様な不安定核では構造の知識が殆ど蓄積されていないので、構造に関する知識を得る新しい方法として破碎反応の分析を用いることが有力であるとの分析に基づいた新たな提案を行っている点が大きな成果である。中性子driplineの不安定核の ^{10}B 核の基底状態においては核構造の研究によって、 ^8He - ^{11}Li 的なクラスター構造の存在が予言されている。 ^8He も ^{11}Li も中性子driplineの不安定核であつて、安定核ではこの様な容易に励起される原子核がクラスター構造の構成要素になることは有り得ず、しかも ^{10}B 核の結合エネルギーは ^8He - ^{11}Li 分解の敷居値から深いので安定核領域のクラスター構造の基本法則の敷居値則も満たされていない。従って、 ^8He - ^{11}Li 的なクラスター構造が存在するとすればそれは新しい種類のクラスター構造であつて、その存在

の実験的検証が強く望まれて来ていた。本研究はその実験的検証には破碎反応が有力であることを示したものである。破碎反応を行うならば、 ^{10}B からは、基底状態にクラスター構造を持たない ^{10}B に比べ、 He と Li アイソトープが多量に生成され、しかもこれらのほとんどは同時に生成されることが予言される。この結果から、 ^{10}B のクラスター構造を実験的に確かめる方法として He と Li アイソトープの同時測定というフラグメント生成を利用した新しい実験的手法が提案されている。実際に実験をするためにはどの入射エネルギー領域が適切かなどが問題となるが、 ^{12}C の場合と同様に、 ^{10}B のクラスターへの分解は標的核の及ぼす平均場により引き起こされ、二核子衝突は ^{10}B 内のクラスター構造を壊す方向に働くことを明らかにして、入射エネルギーがどれほど高くなると ^{10}B のクラスター構造を反映したフラグメント生成機構が見られなくなるのかも論じている。

以上に述べた本論文の研究の重要な成果により、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た。

なお、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。