

## 学 位 論 文 題 名

## Photodisintegration of the Light Neutron-Rich Nuclei

(軽い中性子過剰核の光分解反応)

## 学位論文内容の要旨

A soft dipole mode of the three-cluster nuclei  ${}^6\text{He}$  and  ${}^{11}\text{Li}$  has been studied within the microscopic cluster model on the basis of a generalized version of the zero-range approximation for nuclear forces. This version takes into account the slowly decreasing asymptotic potential and the effect of the Pauli exclusion principle on the asymptotic behavior of the relevant wave function, as well as the degeneracy of continuum states.

It turns out that the matrix elements for the electric dipole transitions from the  ${}^6\text{He}$  ground state to  $1^-$  states above the threshold for three-body breakup receive the main contribution from the wave functions in the far asymptotic region, which determines the structure of the  $S$ -matrix for the  $1^-$  states. Versions of the potential that are close to those that make it possible to reproduce the  ${}^6\text{He}$  ground state are compatible with the assumption that the above-threshold  $1^-$  resonance determining the character of the soft dipole mode exists in the  ${}^6\text{He}$  nuclear system. In the absence of resonances, the squares of the E1 matrix elements peak in the region where the above-threshold energy amounts to a few MeV.

The energy and the wave function of the  ${}^{11}\text{Li}$  ground state, as well as the total effective cross section for its electric-dipole photodisintegration, can be correctly reproduced by treating the  ${}^{11}\text{Li}$  nucleus on the basis of the microscopic three-cluster model and by using the approximation of the asymptotic potential in the form of a power-law function of the hyperradius; for this, it is sufficient to retain only basis states associated with the minimal grand-orbital values and allowed by the Pauli exclusion principle. The results of the calculations performed without taking into account the spin-orbit interaction suggest the existence of  $L^\pi = 1^+$  and  $L^\pi = 2^+$  ( $J^\pi = 3/2^+$  and  $J^\pi = 5/2^+$  if the spin-orbit interaction is taken into account) resonances of the  ${}^{11}\text{Li}$  nucleus in the low-energy region extending up to 0.5 MeV.

By considering the example of  ${}^6\text{He}$  photodisintegration, it was demonstrated that the angular and energy distributions are completely determined by the wave function for the final nuclear state – more precisely, by the coefficients in the wave-function expansion in allowed basis functions. Using hyperspherical functions, the differential cross section for  ${}^6\text{He}$  photodisintegration has been obtained as a function of the energies of the product particles, the angles between their momenta, and their emission angles with respect to the incident-photon momentum. The energy and angular distributions are similar for different photon energies in the range of low photon energies. The  ${}^6\text{He}$  disintegration is most probably accompanied by the emission of the alpha particle and

valence neutrons in opposite directions in the plane orthogonal to the photon momentum. In this case, the energies of all the three particles are equal to one another and the alpha-particle energy attains its maximum possible value. The cross section is minimal when two neutrons move in opposite directions and the alpha particle is at rest.

These results are independent of the asymptotic-potential approximation used here. Even beyond this approximation, one would arrive at the same conclusions because a resort to a more precise potential would affect only the total cross section. However, the form of energy and angular distributions is dictated by the use of the minimal approximation of the hyperspherical-harmonic method. If hyperspherical harmonics of higher grand orbitals  $K$  were included, the energy and angular distributions of final particles would be somewhat different.

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 加 藤 幾 芳

副 査 教 授 石 川 健 三

副 査 助教授 大 西 明

副 査 教 授 フィリポフ ゲナーディ

(ウクライナ、ボゴリューボフ理論物理学研究所)

副 査 教 授 岡 部 成 玄

(情報メディア教育研究総合センター)

## 学 位 論 文 題 名

### Photodisintegration of the Light Neutron-Rich Nuclei

(軽い中性子過剰核の光分解反応)

近年、短寿命原子核ビームを用いた原子核実験技術の発展により、ハイゼンベルグの谷と呼ばれる安定線から遠く離れた原子核である、陽子または中性子が過剰な不安定原子核の研究が著しく進展してきた。その結果、それらの原子核の持つ性質がこれまで理解してきた安定核の性質と大きく異なり、現在の原子核の基本的理解を大きく変えるものであることが分かってきた。そして、不安定核について観測される新たな性質はまだ完全に理解されておらず、その解明に多くの関心が集まっている。

本論文は、軽い中性子過剰核に注目し、安定核には見られない2中性子ハロー構造の理解を得ることを目的として、軽い中性子過剰核の典型的原子核である  ${}^6\text{He}$  と  ${}^{11}\text{Li}$  について微視的3体クラスター模型を用いて行った光分解反応の分析結果に基づく研究である。

${}^6\text{He}$  核については  ${}^4\text{He}+n+n$  模型を、また、 ${}^{11}\text{Li}$  核については  ${}^9\text{Li}+n+n$  模型を用いて、中性子ハロー構造を持つ基底状態を記述する。そのとき、3体クラスターの波動関数の構成において核子間に働くパウリ原理考慮し、デルタ型核子間相互作用から得られる漸近ポテンシャルを用いて、3体クラスター間の相対運動波動関数を求める。これらの原子核の基底状態における中性子ハロー構造は、1 MeV 以下の極めて小さな結合エネルギーと大きな  $r^2$  平均値で特徴づけられ、実験的に得られているこれらの観測量を再現するように漸近ポテンシャルの強さを決める。ここで、微視的3体系の漸近ポテンシャル用いた研究は申請者によってはじめて行なわれたものであり、2中性子ハロー構造の再現によってその方法の有効性を確かめたとと言える。

次に、それらの方法を用いて、中性子ハロー構造を持つ原子核に特徴的に観測されると期待されているソフト・ダイポール・モードの理論的解明を行なった。ここで、 ${}^6\text{He}$  や  ${}^{11}\text{Li}$  核は基底状態のみが弱く結合した状態で、すべての励起状態が非結合状態であり、最初に現れる閾値は3体崩壊の閾値である。従って、3体連続状態を解かなければならないが、申請者はパウリ原理に従う3体調和振動子の波動関数を  $\text{SU}(3)$  群で分類する基底関数を用いた代数的手法で3体連続状態の散乱行列を求めた。そして、求められた3体連続状態と基底状態との間の電気的雙極子モーメントの行列要素を求めて、クーロン力による3体分解反応断面積を計算した。

得られた  ${}^6\text{He}$  核の3体分解反応断面積については共鳴構造が見られず、5 MeV 領域に幅広いピークを持つことが示された。この結果については、 ${}^4\text{He}+n+n$  散乱の位相差の計算結果においても、鋭い共鳴状態の存在を示唆する位相差の振る舞いを示さないことが示され、共に矛盾がないことが確かめられる。また、クーロン力による3体分解反応、すなわち仮想光子による分解反応における2つの中性子のエネルギー分布と角度分布相関を計算し、中性子間の相関が基底状態の波動関数の構造に強く依存することを示した。この2つの中性子の角度分布相関についての計算は申請者によってはじめて行われたものであり、実験的に中性子ハロー構造の特徴を見ることができるとをはじめて指摘した重要な成果と言える。

さらに、 ${}^{11}\text{Li}$  核の3体分解反応断面積の計算結果は、3体分解閾値からおおよそ 0.5 MeV のエネルギーで共鳴構造を示している。この計算結果は、スピン-軌道力を相互作用に含まれていない計算によるものではあるが、最近米国 MSU で得られた実験観測データと矛盾しない結果である。

これらの結果は計算に用いられた漸近的ポテンシャルの近似の仕方に依存せず、ここでの近似を超えた計算で全断面積は変わる可能性があるが、角分布の結果はあまり変わらないと考えられるので、ここで得られた結論は信頼できると言える。一方、超球面調和関数を基底にした計算においては、 $K$ -角運動量の量子数の取り方に3体分解断面積のエネルギー依存性や角分布の計算結果が依存するので、注意深い計算が必要であることが分かった。

これを要するに、申請者の研究は、中性子過剰核  ${}^6\text{He}$  および  ${}^{11}\text{Li}$  核の3体光分解反応について新たな知見を与えるものであり、原子核の構造の解明に貢献するところ大なるものがある。

よって、著者は北海道大学博士(理学)の学位を授与される資格あるもの、と認めるものである。