

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 6月15日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21740154

研究課題名（和文） ドリップライン近傍における原子核のエキゾチック構造と非束縛状態の役割

研究課題名（英文） Role of unbound states for the exotic structure of nuclei in the drip-line region

研究代表者

升井 洋志（Masui Hiroshi）

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：30396345

研究成果の概要（和文）：ドリップライン近傍に現れる原子核のエキゾチック構造を、コア核と価核子という模型空間で取り扱い、とくに酸素同位体に現れる核半径の急激な変化がチャンネル結合系の支配的配位の違いによるものであることを明らかにした。

研究成果の概要（英文）：We study the exotic structure of nuclei near the drip-line by using a core plus valence nucleons model. The sudden change of the radius of oxygen isotopes at ^{23}O is investigated in a model space of the core plus valence nucleons. The key mechanism to make such the change comes from change of the dominant contribution of channels in the core nucleus induced by the presence of the valence nucleons.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	800,000	240,000	1,140,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	540,000	2,340,000

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学

キーワード：原子核（理論）・不安定核

1. 研究開始当初の背景

近年実験および理論的に非常に注目されている中性子および陽子がこれ以上束縛出来ない限界線（ドリップライン）近傍での安定核とは違った「エキゾチック」な構造の理論的研究を行う。この領域においては、核子あたりの束縛エネルギーが小さくなることから、波動関数の非束縛状態成分が非常に重要な役割を示す。そこで、我々の開発した新しい殻模型的方法を用いて、原子核のエキゾチックな構造の現れと核力および非束縛状態の役割について研究を行う。実際の計算

には以下の点に焦点を当てて研究を進める。

2. 研究の目的

我々がこの領域の研究を行うことは、(a)原子核構造の多様性の解明、(b)日本がリーダーシップを取るべき分野、という観点から非常に重要であると考えられる。

(a) 原子核構造の多様性の解明：研究対象としてのおもしろさ

原子核は量子孤立多体系であり、さらに核子の大きさと核子間相互作用の距離とが同じオーダーであるため、核子数や励起エネルギーの違いにより、一つの平均場中を運動する描像、クラスターの描像、そしてあるコアの周りに緩く束縛される核子で構成されるハロー構造と、さまざまな様相をみせる。ドリップライン近傍においては、緩く束縛されるという条件から、波動関数の性質と核力の関連を核構造および核反応の両方の側面から議論することが出来る。

(b) 日本がリーダーシップを取るべき分野での研究：国内外の動向

世界有数の加速器施設として、理化学研究所において RIBF(RI-Beam Factory)が稼働している。今後この加速器施設で、これまで生成されることの無かった新たな不安定核が数百種以上生成される見通しであり、原子核実験の分野で確実に世界をリードする立場にあるといえる。そのような国内での豊富な実験データを利用し、また実験データの整っていない領域に対し理論的予言を行うことが、現在の原子核理論研究に求められている重要な課題であるといえる。

3. 研究の方法

核構造、とりわけ核半径と非束縛状態の寄与とは密接な関係がある。一般的には、束縛エネルギーが小さくなれば、波動関数は遠方まで広がるため、核半径は大きくなる。しかし、酸素同位体における理論計算では、単純に束縛エネルギーが小さくなったことによる波動関数の広がりのみでは核半径の広がりには実験値を再現できていない。そこで我々は、コア核の変化が価核子の非束縛状態の成分に影響を与えることを示してきた。研究初年度および次年度では、これまでの研究で得た経験を活かして、軽い核(^4He , ^{16}O がコア核)についてハロー構造の現れ、核子対相関と核力の関係に研究の主題を当てる。ヘリウム同位体を視野に入れるのは、この系が比較的単純なコア核と価核子のモデルを用いても、ある程度核半径を再現できるためである。

さらに研究の3年目でさらに適用範囲を広げる。ドリップラインは陽子数や中性子数の変化に対して連続的ではなく、例えば、酸素同位体ではA=24であったドリップラインが、陽子が一つ多いフッ素ではA=31となり、実に6個も余計に中性子ドリップラインが伸びることになる。これは明らかに価核子間の核子相関、とくに陽子-中性子相関が重要な役割を担っていることを表している。そこで、我々の新しいアプローチを用いて、価核子による相関とコア核の相関を同時に取り扱い、

ドリップラインの変化とその際に現れるエキゾチックな核構造を明らかにしていく。

4. 研究成果

(A) チャンネル結合系の取り扱いの重要性

研究初年度において、価核子間の相互作用と核構造の密接な関係を、 ^{16}O をコア核としてモデル化し、束縛エネルギー、核半径、密度分布といった物理量を通して議論した。得られた結果として以下のことが挙げられる。(1) 少ない価核子の束縛エネルギーを再現する単純なモデル相互作用を用いた場合、ドリップラインは再現されず over binding の傾向を示す。(2) ドリップラインを再現し、1中性子束縛エネルギーを再現するように相互作用を変化させた場合においても、核半径の急激な増加は再現されない。(3) 核半径の急激な変化は「固まったコア」と「価核子」という単純なモデルではなく、コア核の様々な配位とその優位性が価核子の存在により変化することにより起こることを示唆した(図1参照)。

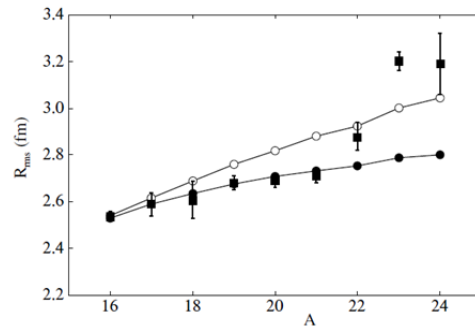


図1: 酸素同位体の核半径と実験値

図1に示すように、固まったコアと価核子のモデル空間(黒丸で示す)では、 ^{21}O までは実験の核半径をうまく再現するが、それより重い核については、かなり小さい核半径となる。これに対し、平均場的にコア核の半径を広げたモデル(白丸で示す)では、 ^{22}O および ^{24}O の半径をある程度再現するようになる。これは、酸素同位体におけるコア核(^{16}O)の多様な取り扱いの必要性を示している。

(B) 核半径の実験値を定性的に解析

sd殻原子核の酸素同位体では、 $0d_{5/2}$ 軌道が占有される ^{22}O までは固定された大きさの ^{16}O コア核に価核子が付加されるモデルでうまく半径およびエネルギーが再現できるのに対し、 $1s_{1/2}$ 軌道に核子が入る ^{23}O 、 ^{24}O では平均場的に広がりを持つようなコア核と価核子のモデルで再現されることがわかっている。そ

ここで、この半径の広がり方において違う2つの描像が、 ^{23}O を境に急激に変化するメカニズムをコア核の支配的な配位の変化ととらえることで定量的な議論を行った。ここで重要な点は、励起チャンネルにおいてはコア核内の核子の配位の変化により価核子の軌道の一部が禁止状態とすることで、価核子がこの軌道に入ることが禁止されるために原子核全体としてこのチャンネルの寄与が減少するということである。さらに励起チャンネルはテンソル相互作用の効果で核半径が小さくなるような成分が支配的となり、基底チャンネルでは平均場的に半径が広がった成分が支配的になると仮定することで、酸素同位体の半径の変化を再現することが可能であることを示した (図2参照)。

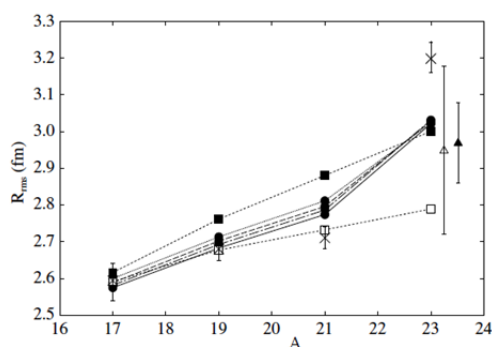


図2：チャンネル結合系での酸素同位体の核半径の変化

我々は、チャンネル結合系 (黒丸で示す) での計算は ^{21}O までの比較的小さな核半径と ^{23}O での広がった核半径が同じ枠組みで記述できることを示した。さらに、チャンネル結合系での議論を通じて、酸素同位体の核半径の広がりの変化は、その束縛エネルギーのからみてハロー的な非束縛状態の寄与が引き起こすものではなく、核全体が広がったことによるものであるという描像を取り入れることで理解できることを示した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計7件)

1. Hiroshi Masui, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, “Investigation for a Drastic Change of the Core in ^{23}O and ^{24}O ”, 査読有, Few-Body Systems 52, 2012

2. Kazuyuki Yamamoto, Hiroshi Masui, Masanobu Ohta, Kiyoshi Kato, “Particle capture reaction using extended core plus valence nucleon model”, 査読有, Journal of the Korean Physical Society 59, 2011, pp907 – 910.

3. Hiroshi Masui, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, “Properties of drip-line nuclei with an m-scheme cluster-orbital shell model approach”, 査読有, Journal of Physics: Conference Series 312, 2011, pp092038.

4. Hiroshi Masui, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, “Cluster-orbital shell model approach and developments for study of neutron-rich systems”, CERN Proceedings 2010, 査読無, 2010, pp63 – 68.

5. Hiroshi Masui, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, “Cluster-orbital shell model approach for study of exotic nuclei near the neutron drip-line”, Modern Physics Letters A25, 査読無, 2010, pp1911 – 1914.

6. Hiroshi Masui, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, “Study of neutron-rich nuclei with an m-scheme cluster-orbital shell model approach”, 査読有, European Physical Journal A42, 2009, pp535 – 540.

7. Hiroshi Masui, Kiyoshi Kato, Kiyomi Ikeda, “M-scheme cluster-orbital shell model approach for neutron-rich systems”, 査読有, Modern Physics Letters A24, 2009, pp1009 – 1012.

[学会発表] (計9件)

1. 升井 洋志, “部分禁止状態を考慮に入れた Cluster-orbital shell model 計算”, 日本物理学会 第67回年年次大会, 2012年3月27日, 関西学院大学, 西宮.

2. 升井 洋志, “Effects of the core-size and valence neutrons for the structure of unstable nuclei”, The international Symposium on Physics on Unstable Nuclei “ISPUN11”, 2011年11月25日, Hanoi,

ベトナム.

3. 升井 洋志, “Study of a role of valence nucleons with a drastic change of the core in drip-line nuclei”, YKIS2011 Symposium Frontier Issues in Physics of Exotic Nuclei, 2011年10月13日, 京都大学, 京都.

4. 升井 洋志, “Cluster-orbital shell modelにおけるコア励起のモデル化と価核子の影響”, 日本物理学会 2011年秋季大会, 2011年9月16日, 弘前大学, 青森.

5. 升井 洋志, “Investigation for a drastic change of the core in ^{23}O and ^{24}O ”, The Fifth Asia-Pacific Conference on Few-Body Problems in Physics 2011, 2011年8月25日, Seoul, 韓国

6. 升井 洋志, “中性子過剰核における価核子とコア励起の関係”, 日本物理学会 2010年秋季大会, 2010年9月13日, 九州工業大学 (福岡県).

7. 升井 洋志, “Properties of drip-line nuclei with an m-scheme cluster-orbital shell model approach”, International Nuclear Physics Conference 2010, 2010年7月6日, University of British Columbia (バンクーバー, カナダ).

8. 升井 洋志, “コア励起を取り入れた M-scheme cluster-orbital shell model approach”, 日本物理学会 第65回年次大会, 2010年3月23日, 岡山大学 (岡山県).

9. 升井 洋志, “Study of density and structure of oxygen isotopes with the cluster-orbital shell model approach”, The 3rd Joint Physics Meeting of APS and JPS, 2009年11月17日, ハワイ島 (アメリカ).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:

発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等

とくに無し

6. 研究組織
(1) 研究代表者
升井 洋志 (Hiroshi Masui)

研究者番号: 30396345

(2) 研究分担者
()

研究者番号:

(3) 連携研究者
()

研究者番号: