

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 29 日現在

機関番号：11301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24740139

研究課題名(和文) 多重崩壊 粒子測定による $^{12}\text{C}$ における クラスタースタート状態の研究研究課題名(英文) Study of the alpha cluster gas-like state in  $^{12}\text{C}$  via the measurement of the multiple decay alpha particles

研究代表者

伊藤 正俊 ( ITOH, MASATOSHI )

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・助教

研究者番号：30400435

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、恒星中における炭素 $^{12}\text{C}$ の元素合成に重要な役割を果たすホイル状態の構造を実験的に決定することを目的とし、ホイル状態からの崩壊 $3\alpha$ 粒子の精密測定を行った。実験は、東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンターにおいて110MeV、 $^{12}\text{C}$ ビームを用いて $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3\alpha)^{12}\text{C}$ 反応を行った。前方に散乱される崩壊 $3\alpha$ 粒子と反跳 $^{12}\text{C}$ を同時計測することによって、バックグラウンドのないクリーンな崩壊 $3\alpha$ 粒子のデータを取得することに成功した。モンテカルロシミュレーションとの比較から、これまで観測されていなかったホイル状態から直接 $3\alpha$ 状態への崩壊を世界で初めて観測することに成功した。

研究成果の概要(英文)：The precise measurement of the decay  $3\alpha$  particles from Hoyle state in  $^{12}\text{C}$ , which plays important role of the creation of  $^{12}\text{C}$  in the stellar nucleosynthesis, has been performed in order to study the structure of the Hoyle state experimentally. The experiment was performed at Cyclotron and Radioisotope Center in Tohoku University using the  $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3\alpha)^{12}\text{C}$  reaction with the  $^{12}\text{C}^{4+}$  beam of 110 MeV. The background-free energy distribution of the decay alpha particles was obtained by the coincidence measurement of the decay  $3\alpha$  particles and the recoiling  $^{12}\text{C}$ . We have observed the direct  $3\alpha$  decay from the Hoyle state in  $^{12}\text{C}$  for the first time in the world. The branching ratio of the direct  $3\alpha$  decay has been obtained from the comparison with the result of the Monte Carlo simulation.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：クラスタースタート状態 凝縮 クラスタースタートガス 三体崩壊 運動量分布

## 1. 研究開始当初の背景

$^{12}\text{C}$  原子核の第二  $0^+$  状態は、ホイル状態とも呼ばれ、恒星内部における元素合成過程において鍵となる重要な状態であり、この構造の解明は原子核物理学だけでなく、宇宙物理学の分野からも注目されている。このホイル状態は、ヘリウム4原子核である  $\alpha$  粒子を構成粒子として考える クラスタモデルを用いて記述することができ、典型的な3 クラスタ状態だと考えられている。そのため3つの  $\alpha$  粒子から  $^{12}\text{C}$  が合成される反応(トリプル 反応)が促進されるのである。

近年、東崎・堀内らによって、この3 クラスタ状態はスピン0である  $\alpha$  粒子が原子核中で全て最低エネルギーS軌道に存在しているような、ボース・アインシュタイン凝縮と類似した状態(以下、凝縮状態)であるという提案がなされた。

この研究に触発され、多くの原子核中における凝縮状態に関する理論的研究が行われてきた。その結果、この凝縮状態は  $^{12}\text{C}$  に特有の状態ではなく、 $^{16}\text{O}$  のような陽子数と中性子数が等しく、かつ核子数が4N個であるような原子核においても、少なくとも  $^{40}\text{Ca}$  原子核までは存在する可能性が示された。

実験的研究も数多く行われ、これまで、ホイル状態の2<sup>+</sup>励起状態が10MeVに存在することや、 $^{11}\text{B}$  や  $^{13}\text{C}$  においても凝縮状態に類似した状態が存在する可能性が示されてきた。また、 $^{16}\text{O}$  や  $^{24}\text{Mg}$  などの原子核においても凝縮状態の探索実験が行われている状況であった。

## 2. 研究の目的

これらの実験的研究では、ホイル状態がガスの クラスタまたは凝縮状態であることを仮定しているものがほとんどで、ホイル状態自体の構造についての実験情報は電子非弾性散乱による形状因子の解析から、基底状態に比べ核半径が1.5倍程度に広がっていることが示唆されている以外はほとんどなかった。

そこで、本研究では原子核の励起状態から放出される多重崩壊  $\alpha$  粒子を効率よく精密に測定する実験手法を確立し、さらに、構成する  $\alpha$  粒子の運動量分布を求めることによって、 $^{12}\text{C}$  のホイル状態の構造を実験的に決定することが目的である。

また、本研究と同様の目的で、2011年にRadutaらによって  $^{40}\text{Ca}+^{12}\text{C}$  の重イオン衝突反応実験が行われた[1]。そこで、反応から放出される  $\alpha$  粒子のうち、ホイル状態からの崩壊3  $\alpha$  粒子の運動エネルギー分布を解析したところ、ホイル状態から直接3  $\alpha$  粒子へ崩壊した割合が、合計17%という非常に大きい結果を示した。これまでFreerらが求めた上限値4% [2]に比べ4倍以上大きい値は、恒星

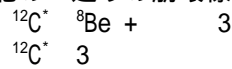
中の  $^{12}\text{C}$  生成反応率に深刻な影響を与えるため、幾つかの追実験が行われていた。本研究では、このホイル状態から直接3  $\alpha$  に崩壊する割合を正確に測定することも目的の一つである。

## 3. 研究の方法

まず、ホイル状態を生成し、そこから多重に放出される崩壊  $\alpha$  粒子を精密に測定する。

次に、検出器の配置、エネルギー分解能、ビームプロファイル、等の実験条件を考慮した崩壊  $\alpha$  粒子測定のモンテカルロシミュレーションを作成する。

ホイル状態は、  $\alpha$  粒子崩壊しきい値エネルギーよりも高い励起エネルギーのため、ほとんど全て3つの  $\alpha$  粒子に崩壊する。このとき、下記の2通りの崩壊様式が考えられる。



これを実験で得られた崩壊3  $\alpha$  粒子のドリフトプロットや運動量分布をシミュレーション結果と比較することによって、上記の2つを分離する。 $^{8}\text{Be}$  の基底状態を経由する逐次崩壊では、3  $\alpha$  粒子の運動量分布は崩壊の運動学から一意的に決定されるが、直接3  $\alpha$  崩壊する の崩壊様式では、3  $\alpha$  の運動量分布にホイル状態の構造が影響すると考えられる。

そのため、 の直接崩壊の3  $\alpha$  粒子の運動量分布を求め、精密な理論計算と比較することでホイル状態の構造を決定する。

ホイル状態の生成には、以下の3つの方法を検討しテスト実験を行った。その結果、本研究の目的であるホイル状態の構造を実験的に決定するために最適と判断した下記(1)の方法を重点的に行った。これらの実験は全てビーム粒子に研究対象となる原子核を用いる逆運動学反応を使用する。逆運動学反応では、粒子崩壊閾値近傍にある励起状態からの崩壊粒子がビーム粒子と同程度の速度を持つため、半導体検出器やスペクトロメータでの測定が比較的容易になるのが特徴である。

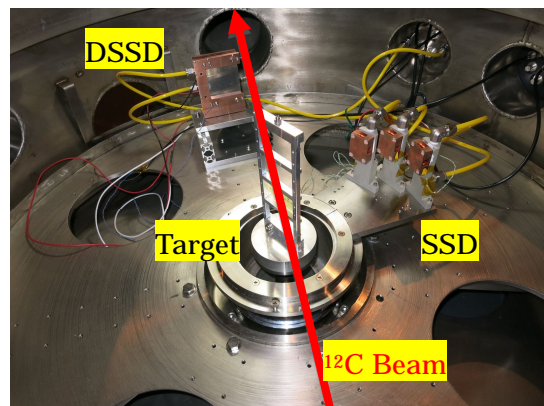


図1 有限角度設定における実験セットアップ

(1) 東北大学サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター(CYRIC)において、110MeV の $^{12}\text{C}$ ビームを用いた $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3)^{12}\text{C}$ 反応における有限角度への崩壊 $\alpha$ 粒子の精密測定。

核子あたり約10MeV/uの領域において、 $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3)^{12}\text{C}$ 反応によって、 $^{12}\text{C}$ ビームをホイル状態に励起し、そこから崩壊して放出される $\alpha$ 粒子および標的的反跳 $^{12}\text{C}$ を同時計測する。

$\alpha$ 粒子の測定には、表面に縦16本、裏面に横16本の両面シリコンストリップ検出器(DSSD)を $7.6^\circ$ に設置して用いた。

また、本研究の特徴である前方角度での $\alpha$ 粒子測定を行うため、DSSDの前に200 $\mu\text{m}$ のアルミニウム板を設置した。これにより、エネルギー損失の違いから、バックグラウンドとなるビームハローや前方への弾性・非弾性散乱 $^{12}\text{C}$ 粒子を止め、崩壊 $\alpha$ 粒子のみをDSSDで測定することを可能にした。反跳 $^{12}\text{C}$ は $67^\circ$ に設置した幅1mm×高さ10mmの銅製のスリットを用いて立体角を限定したシリコン検出器(SSD)で測定する。さらに、これらのシリコン検出器を安定に高分解能で使用するために、ペルチェ素子を用いた冷却装置を開発して使用した。図1に実験セットアップを示す。

(2) 大阪大学核物理研究センターにおいて大口径スペクトロメータ(LAS)による $^{36}\text{Ar}$ ビームを用いた $^4\text{He}(^{36}\text{Ar}, n)$ 反応による $0^\circ$ 多重崩壊 $\alpha$ 粒子測定のテスト実験。

これまで、反応によって多重に放出される粒子を高分解能の磁気スペクトロメータで測定を試みた実験はなかった。そこで、今回は核子あたり50MeV/uの $^{36}\text{Ar}$ ビームを使って、放出される多重 $\alpha$ 粒子測定のテストを試みた。通常LASで使用しているマルチワイヤードリフトチェンバー(MWDC)のようなガス検出器では、2粒子の飛跡が非常に近いような場合は、それぞれを精密に測定することはできない。そのため、焦点面下流に幅50mmと幅100mmのプラスチックシンチレータを並べることで、MWDCだけでなく、プラスチックシンチレータでも、多重に散乱される2個以上の $\alpha$ 粒子の検出を行えるようにして測定を行った。

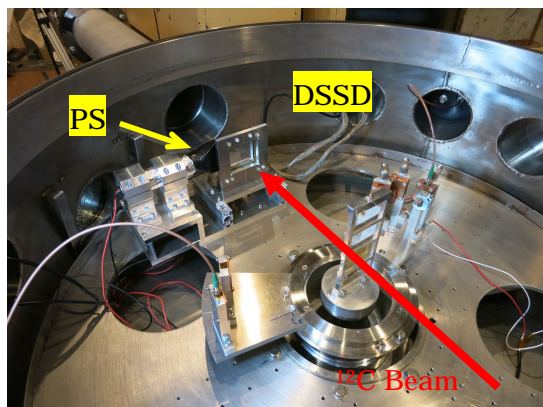


図2  $0^\circ$ 測定の実験セットアップ

(3) 東北大学CYRICにおいて、 $0^\circ$ における $^{12}\text{C}$ ホイル状態からの崩壊 $\alpha$ 粒子測定実験

本研究のいずれの方法も、非弾性散乱的に $^{12}\text{C}$ を基底状態からホイル状態に励起する。 $^{12}\text{C}$ の基底状態およびホイル状態はともに $0^\circ$ 状態であるため、反応による角運動量移行は0となる。そのため散乱断面積の角度分布は $0^\circ$ が最大となり、角度が増加するにつれて急激に減少する。つまり、ホイル状態を測定する最も効率の良い方法は $0^\circ$ において崩壊 $\alpha$ 粒子を測定することである。この方法では、ビームエネルギーや標的核は(1)の方法と同じにし、 $0^\circ$ にシリコンストリップ検出器(DSSD)を設置する。また、(1)と同様にバックグラウンドを止め、崩壊 $\alpha$ 粒子のみを測定するために200 $\mu\text{m}$ のアルミニウム板(AI板)をDSSDの直前に挿入する。(1)との違いは、このAI板でバックグラウンドとなる散乱 $^{12}\text{C}$ 粒子だけでなく、ビーム $^{12}\text{C}$ そのものを止めることである。そのため、標的からの散乱粒子だけでなく、AI板中での反応によって生じた散乱粒子もバックグラウンドとなる。

測定対象となるホイル状態からの崩壊 $\alpha$ 粒子はAI板を通過した後、DSSDの中で停止し、全エネルギーが測定されるが、AI板等で生じた陽子などのバックグラウンド粒子はDSSDを通過するものも存在する。これらのバックグラウンド粒子は、DSSDの下流に設置したプラスチックシンチレータ(PS)によってバックグラウンドと判断され、データを取り込まないようにして崩壊 $\alpha$ 粒子測定のデータ収集効率をあげている。図2に $0^\circ$ 測定の実験セットアップを示す。

ホイル状態の散乱断面積は(1)の場合と比べ100倍近く大きく、また、 $0^\circ$ 以外の状態は励起されにくいいため、ビームのクオリティやこれらのバックグラウンド除去の効果によっては、最も効率的な測定となる可能性があった。

#### 4. 研究成果

(1) ホイル状態からの崩壊 $\alpha$ 粒子測定実験の最適化

まず、研究方法で挙げた3つの実験を行った結果を簡単に述べる

3-(1)の有限角度での $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3)^{12}\text{C}$ 反応における崩壊 $\alpha$ 粒子測定では、ビーム電流2~3pAに対し1時間あたり200~300イベントが観測された。反跳 $^{12}\text{C}$ 測定用のシリコン検出器を $67^\circ$ に設置することによって、図3(a)にあるように崩壊 $\alpha$ 粒子と同時計測されるイベントは運動学計算からホイル状態( $0_2^+$ 状態)からの崩壊 $\alpha$ 粒子しかない。そのため、図3(b)の太線で示されるように、ホイル状態以外からの崩壊 $\alpha$ 粒子はほとんど含まれていないことがわかる。

3-(2)の50MeV/uの $^{36}\text{Ar}$ ビームを用いたLAS

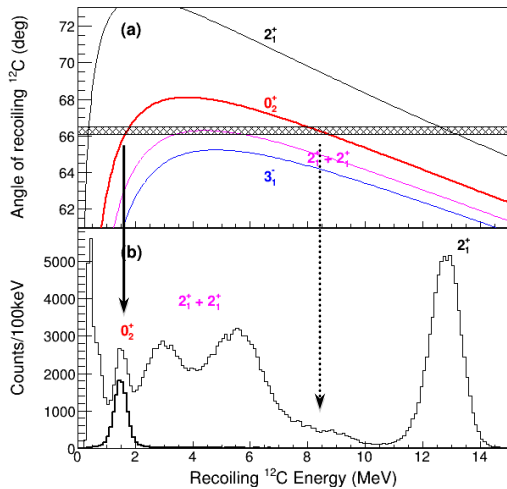


図 3 (a) $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, ^{12}\text{C})^{12}\text{C}$  反応の運動学 (b) 反跳  $^{12}\text{C}$  のエネルギースペクトル。4.44 MeV- $2_1^+$  状態は束縛状態のため、崩壊は起こらない。(b)の細線はシングルスペクトル、太線は3とのコインシデンススペクトル。8.5MeVの反跳  $^{12}\text{C}$  に対応する崩壊3粒子の散乱角度は約  $15^\circ$  となり、同時計測が行われない。

による多重崩壊粒子測定の実験では、焦点面下流に設置した 50mm 幅および 100mm 幅のプラスチックシンチレータアレイによって  $^8\text{Be}$  2 から 2 粒子を分離することができなかった。従って、本研究のように  $^8\text{Be}$  を経由する崩壊と直接 3 粒子への崩壊を分離する精密な測定には、適していないことが分かった。しかしながら、 $^{36}\text{Ar}$  が全て粒子に崩壊しているようなイベントも数イベント存在し、今後、 $^8\text{Be}$  の 2 を分離する必要のない多重崩壊粒子の研究では有効であることが確認された。

3-(3)に行った  $0^\circ$  における  $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3)$  反応における崩壊3粒子測定では、 $^{12}\text{C}$  ビームの量が僅か 100 分の 1 程度しか出せなかったにも関わらず、ホイル状態からの崩壊3粒子の測定効率率は(1)の 2 倍程度であった。しかしながら、(1)の測定方法に比べ、バックグランドとなる偶発計測の割合が多く、直接3に崩壊する3-のような崩壊チャンネルへの微小な分岐比を求めることは困難であった。

このようなテスト実験の結果、(1)の  $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3)$   $^{12}\text{C}$  反応における有限角度への崩壊3粒子をさらに統計精度を上げて測定することにした。

(2)  $^{12}\text{C}(^{12}\text{C}, 3)$   $^{12}\text{C}$  反応における崩壊3粒子測定のモンテカルロシミュレーション

次に、実験のモンテカルロシミュレーションを開発した。このモンテカルロシミュレーションでは、実際の実験条件、 $^{12}\text{C}$  ビームのプ

ロファイル、実験装置の配置、標的やバックグランド除去用の Al 板によるエネルギー損失・エネルギー広がり・クーロン多重散乱による角度広がり、を考慮した。実際の検出器内における詳細なレスポンスについては、考慮していない。また、考慮した崩壊様式は以下の3通りである。

$^8\text{Be}+$  チャンネルを経由する逐次崩壊 (SD)

直接 3 崩壊のうち 3 粒子の運動エネルギーが等しいもの (DDE)。本研究では、3 粒子のエネルギーが 3 等分のエネルギー周辺にガウス分布していると仮定した。

直接 3 崩壊のうち 3 粒子の運動エネルギーが崩壊粒子の位相空間内へ一様な確率で崩壊するもの (DD)

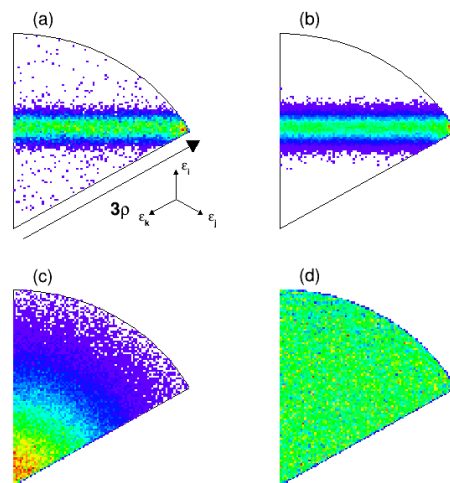


図 4 崩壊 3 粒子の対称ダリッツプロット。(a)実験結果。(b),(c),(d)は、それぞれ、SD, DDE, DD の崩壊様式によるモンテカルロシミュレーションの結果。詳細は文章中に記載。

図 4 に実験におけるダリッツプロットとこれら 3 つの崩壊様式におけるモンテカルロシミュレーションの結果を示す。このダリッツプロットでは 2012 年に報告された Kirsebom らによるホイル状態からの崩壊3測定実験 [3] で用いられた 3 の対称性を考慮した対称ダリッツプロットである。対称ダリッツプロットでは粒子のエネルギーを以下のように定義する。

$$E_{i,j,k} = E_i + E_j + E_k$$

$$x = \frac{1}{3} (E_i - E_k)$$

$$y = \frac{2}{3} (E_i - E_j - E_k)$$

$$(3)^2 = x^2 + y^2$$

ここで、 $E_{i,j,k}$  は崩壊粒子の運動エネルギーを  $E_i > E_j > E_k$  の順に並べたものである。

図 4 から、ホイル状態は、大部分が崩壊様式の逐次崩壊 (SD) であるということが分かった。

(3) ホイル状態から直接 3 粒子状態へ崩壊

する分岐比

このようにホイル状態からの崩壊 3 粒子の精密測定による実験結果と、モンテカルロシミュレーションの結果を用いて、4-(2)-、のホイル状態からの崩壊分岐比を求めた。図5は、崩壊 3 粒子のうち、最大の運動エネルギーの  $\epsilon_1$  分布を示している。モンテカルロシミュレーションで SD、DDE、DD の分布を求め、黒丸で示した実験データに合うように  $\chi^2$ -フィッティングを行った。フィッティングの良さを示す換算  $\chi^2$  は 0.99 となり、良いフィッティングが行えていることが示された。その結果、SD、DDE、DD への崩壊分岐比は、 $98.9 \pm 0.7\%$ 、 $0.2 \pm 0.1\%$ 、 $0.9 \pm 0.2\%$  となった。この値は、2013年8月に Physical Review C で Rana らの  $^{12}\text{C}(0_2^+)$  3 反応実験 [4] によって報告された評価値、 $99.09 \pm 0.14\%$ 、 $0.3 \pm 0.1\%$ 、 $0.6 \pm 0.1\%$  とほぼ一致していることが分かった。

ここで、Rana らの実験結果 [4] に対し、本研究の実験結果の優位性を述べる。通常、逐次崩壊 (SD) では、図6のように、まずホイル状態と  $^8\text{Be} + \alpha$  のエネルギー差 287.6keV が解放され、 $^8\text{Be}$  と  $\alpha$  粒子に分配される。重心運

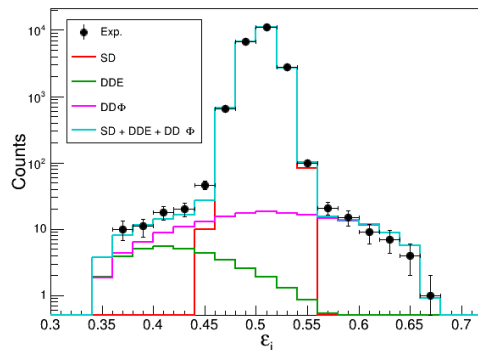


図5 崩壊 3 粒子のうち最大の運動エネルギーの  $\epsilon_1$  分布。図の黒丸は実験データを示し、赤線、緑線、マゼンタ線、はそれぞれモンテカルロシミュレーションで求めた SD、DDE、DD からの寄与を示す。水色線は合計を示している。

動エネルギーにすると、 $^8\text{Be}$  と  $\alpha$  粒子の質量比から  $\alpha$  粒子の運動エネルギーは約 192keV となる。 $\epsilon_1$  の値にすると 0.506 となる。一方、直接 3 状態に崩壊する DDE、もしくは DD では、ホイル状態と 3 状態のエネルギー差 379.4keV が一度に解放され、それぞれの崩壊様式に応じたエネルギーが 3 つの粒子に分配される。従って、 $\epsilon_1$  は 0.33 から 0.66 までの値に分布する。この時、測定される 3 粒子のエネルギー分解能が十分に良ければ、SD と直接 3 崩壊 (DDE、または DD) の成分をはっきりと分離できる。故に、本実験のエネルギー分解能を考慮したモンテカルロシミュレーションから、図5の崩壊 3 粒子の運動エ

ネルギー  $\epsilon_1$  分布における 0.56 以上の実験点は、ホイル状態が直接 3 状態に崩壊している成分を示していることは明らかである。つまり、ホイル状態から直接 3 状態への崩壊の観測に成功していることを示している。一方、Rana らの実験では、SD とそれ以外の崩壊様式をはっきりと分離することができず、シミュレーションで得られた数種類の運動エネルギー分布を  $\chi^2$  フィットすることでようやく、直接 3 状態へ崩壊する分岐比の有限値を得ており、本研究によって世界で初めてホイル状態から直接 3 状態への崩壊の観測に成功したと言える。

しかしながら、得られた値は本研究で得られた値とほぼ一致しており、本研究は Rana らの研究結果の値を再現することとなった。

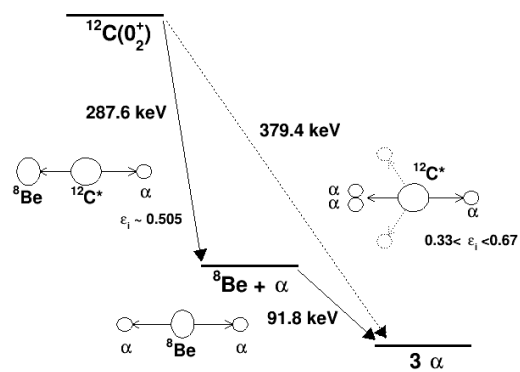


図6 ホイル状態= $^{12}\text{C}(0_2^+)$ からの崩壊のレベルスキーム

#### 参考文献

- [1] Ad.R.Raduta et al, Phys.Lett.B 705, 65 (2011)
- [2] M.Freer et al, Phys.Rev.C 49, R1751 (1994)
- [3] O.S.Kirsebom et al, Phys.Rev.Lett. 108, 202501 (2012)
- [4] T.K.Rana et al, Phys.Rev.C 88, 021601(R) (2013)

#### 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4件)

M.Itoh et al, "Isoscalar giant resonance strengths in  $^{32}\text{S}$  and possible excitation of superdeformed and  $^{28}\text{Si} + \alpha$  cluster bandheads", Phys.Rev.C、査読有、88巻、064313、2013年、DOI: 10.1103/PhysRevC.88.064313

M. Itoh et al, "Nature of 10 MeV state in  $^{12}\text{C}$ ", J. Phys. Conf. Ser.、査読有、436巻、012006、2013年、

DOI:10.1088/1742-6596/436/1/012006

伊藤 正俊、"炭素 12 ホイル状態の励起と

アルファ粒子凝縮”、パリテイ、依頼記事、2012年12月号、40-43

M.Freer, M.Itoh, et al, "Consistent analysis of the 2<sup>+</sup> excitation of the <sup>12</sup>C Hoyle state populated in proton and  $\alpha$ -particle inelastic scattering", Phys.Rev.C, 査読有、86巻、034320、2012年、DOI:  
<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevC.86.034320>

〔学会発表〕(計12件)

伊藤 正俊、炭素12のホイール状態からの崩壊  $\alpha$  粒子の精密測定、日本物理学会、2014年3月28日、東海大学

伊藤 正俊、"Observation of direct  $\alpha$  decay from Hoyle state", Workshop on Clustering Aspects in Nuclei and Nuclear Matter、2013年9月13日、ドイツ・ロストック大学、招待講演

伊藤 正俊、多重崩壊  $\alpha$  粒子測定によるクラスターガス状態の研究、RCNP 研究会「核子・ハイペロン多体系におけるクラスター現象」、2013年7月26日、横浜・関東学院大学関内メディアセンター

伊藤 正俊、Study of the  $\alpha$ -cluster gas states in <sup>12</sup>C and <sup>16</sup>O、RCNP 研究会「原子核・ハドロン構造におけるテンソル力の重要性」、2013年7月11日、茨木・大阪大学核物理研究センター

伊藤 正俊、Study of  $\alpha$  gas-like states by the measurement of decay  $\alpha$  particles、RIKEN mini Workshop、2013年3月5日、和光市・理化学研究所

伊藤 正俊、Family of the  $\alpha$  gas-like structure in <sup>12</sup>C and <sup>16</sup>O、International Workshop on "Large-scale computations for nuclear  $\alpha$ -particle condensation" organized by JICFuS、2012年11月14日、和光市・理化学研究所

伊藤 正俊、"Family of the  $\alpha$  gas-like structure in <sup>12</sup>C and <sup>16</sup>O", The 6<sup>th</sup> LACM-TORIJIN-JUSTIPEN Workshop Joint Institute for Heavy Ion Research、2012年11月2日、アメリカ・オークリッジ

伊藤 正俊、"Family of the  $\alpha$  gas-like structure in <sup>12</sup>C and <sup>16</sup>O", The 4<sup>th</sup> International conference on "Collective Motion in Nuclei under Extreme Conditions (COMEX4)"、2012年10月25日、湘南国際村センター、招待講演

伊藤 正俊、"Nature of the 10 MeV state in <sup>12</sup>C", 10<sup>th</sup> International conference on Cluster Aspects of Nuclear Structure and Dynamics、2012年9月24日、ハンガリー・デブレツェン、招待講演

伊藤 正俊、"炭素12のホイール状態とその励起"、日本物理学会、2012年9月12日、京都産業大学、招待講演

伊藤 正俊、"Measurement of decay

particles from cluster states in <sup>12</sup>C ~ toward the study of unstable nuclei ~"、RIBF ULIC-Symposium "Perspective in Isospin Physics" – Role of non-central interactions in structure and dynamics of unstable nuclei -, 2012年8月28日、和光市・理化学研究所

伊藤 正俊、非弾性散乱による <sup>16</sup>O の  $\alpha$  崩壊閾値近傍における クラスター状態の研究、RCNP 研究会「原子核の閾値近傍における共鳴現象と反応ダイナミクス」、2012年7月19日、茨木市・大阪大学核物理研究センター

〔その他〕

ホームページ等

<http://cycgw1.cyric.tohoku.ac.jp/~itoh/index.html>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

伊藤 正俊 ( ITOH MASATOSHI )

東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・助教

研究者番号：30400435