

( 続紙 1 )

京都大学	博士 ( 理学 )	氏名	稲葉健斗
論文題目	Search for $\alpha$ condensed states in $^{13}\text{C}$ using $\alpha$ inelastic scattering アルファ非弾性散乱を用いた $^{13}\text{C}$ 原子核におけるアルファ凝縮状態の探索		
(論文内容の要旨)			
<p><math>\alpha</math>凝縮は近年の原子核物理学において大きな注目を集めている現象の一つである。<math>\alpha</math>凝縮状態においては、原子物理におけるボーズ・アインシュタイン凝縮のように、全ての<math>\alpha</math>クラスターは同一の最低エネルギー準位を占有している。<math>\alpha</math>凝縮状態では、<math>\alpha</math>クラスターの運動量分布がゼロ近傍に狭く局在化するために、その密度は原子核の飽和密度よりも小さくなる。最近では、<math>\alpha</math>凝縮が低温・低密度核物質の内部エネルギーを減少させることが理論的に指摘されている。非対称核物質中では、<math>\alpha</math>凝縮の影響が抑制されると考えられるため、<math>\alpha</math>凝縮が希薄核物質の状態方程式に強いアイソスピン依存性を生じさせる可能性がある。しかしながら、希薄核物質中において<math>\alpha</math>凝縮現象が実際に起こっているかどうかは自明ではなく、実験による確認が待たれている。</p> <p>実験においては、無限系である核物質を直接の研究対象とすることはできないが、様々な質量数及びアイソスピンを持つ有限系の原子核において、<math>\alpha</math>凝縮状態を実験的に探索することにより、希薄核物質における<math>\alpha</math>凝縮現象の手がかりを得ることができる。もし、<math>\alpha</math>凝縮状態が様々な原子核において普遍的に存在するならば、<math>\alpha</math>凝縮は希薄な原子核多体系における一般的な現象であることが示されるであろう。これまで、<math>\alpha</math>凝縮状態の存在を確立し、その性質を明らかにする試みが、理論・実験の双方から精力的に行われてきた。しかしながら、これらの研究対象は自己共役かつ核子数 <math>A=4k</math> の原子核に限られており、有限なアイソスピンを持つ <math>A\neq 4k</math> 原子核における<math>\alpha</math>凝縮状態はほとんど議論されていない。</p> <p>本研究では、自己共役でない <math>A\neq 4k</math> 原子核の系統的探索への第一歩として、<math>^{13}\text{C}</math> 原子核における<math>\alpha</math>凝縮状態の探索を行った。希薄な構造を有する<math>\alpha</math>凝縮状態の探索を行うためには、原子核の密度変化を引き起こすことのできるアイソスカラー単極子 (<math>IS0</math>) 及び双極子 (<math>IS1</math>) 遷移が有用である。そこで、これらの遷移に対する断面積が大きくなる <math>0</math> 度を含む前方角度において、<math>388</math> MeV の <math>\alpha</math> 粒子ビームを用いた <math>^{13}\text{C}</math> に対する <math>\alpha</math> 非弾性散乱の微分断面積を測定した。</p> <p>測定の結果、<math>^{13}\text{C}</math> における励起エネルギー <math>E_x = 12.5</math> MeV 付近に <math>IS0</math> 遷移によって励起されているピーク構造を新たに発見した。ピークフィット解析を行なった結果、この構造は複数の <math>1/2^-</math> 状態から構成されていることが示唆された。これらの状態に対する <math>IS0</math> 遷移強度は殻模型計算では再現できない。したがって、これらの状態は空間的に発達したクラスター構造を持つと考えられる。また、多重極分解解析により、<math>E_x = 14.5, 16.1</math> MeV に <math>IS1</math> 遷移で励起された <math>J^\pi = 1/2^+</math> または <math>3/2^+</math> 状態を発見した。理論計算から予想されるエネルギーレベル構造が実験によく対応していることから、<math>16.1</math> MeV の状態は <math>\alpha</math> 凝縮状態である可能性がある。しかしながら、この状態に対する <math>IS1</math> 遷移強度は、実験値が理論的予想値よりも顕著に小さい。今後、高励起状態を取り入れた詳細な理論計算との比較が必要だと考えられる。また、実験においても、<math>^{13}\text{C}</math> における <math>\alpha</math> 凝縮状態の存否の確立に向けて、崩壊モードの測定などの更なる実験情報の重要性を示す結果となった。</p>			

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、入射エネルギー388 MeVの $\alpha$ 粒子と $^{13}\text{C}$ 標的との非弾性散乱反応に関して、前方0度を含む微分断面積を測定したものである。測定は、大阪大学核物理研究センターのリングサイクロトロン加速器とグランドライデンスペクトログラフを使って行なわれた。この反応では、荷電スカラー型単極子遷移と双極子遷移が強く励起されることが期待されている。その結果として、 $^{13}\text{C}$ 標的原子核中における $\alpha$ 凝縮状態の存在を感度よく研究できると考えられている。このような、原子核における $\alpha$ 凝縮状態の出現は、運動量空間において非常に狭い分布をもつので、空間分布としては低密度の広がった状態として観測される事が理論的に期待されている。

最近では、 $\alpha$ 凝縮の存在が希薄核物質の状態方程式に強いアイソスピン依存性を生じさせる可能性が議論されている。しかしながら、希薄核物質中において $\alpha$ 凝縮現象が実際に起こっているかどうかは自明ではなく、実験による確認が待たれているところである。これまでに行われてきた $\alpha$ 凝縮相の実験的な探索においては、4核子からなる $\alpha$ クラスターを基本構成要素とし、核子数が4の倍数となるような原子核での研究が主であった。中でも $\alpha$ クラスター3個とみなせる $^{12}\text{C}$ におけるホイル状態は、その有力な実験的証拠と考えられている。しかし、このことは $\alpha$ 凝縮相の形成におけるアイソスピン依存性などを調べることを妨げることとなってきた。本実験は、 $^{13}\text{C}$ 標的を使って世界で初めて核子数が4の倍数からずれた原子核中での $\alpha$ 凝縮状態を探索したものである。

この実験の結果、これまでに観測されたことのない $^{13}\text{C}$ の新たな励起状態がいくつか見つかった。一つは、励起エネルギーが12.5 MeV付近にバンプ構造として観測された $J^P=1/2^-$ の状態である。この励起状態は荷電スカラー型単極子遷移で非常に強く励起されていることが観測され、 $\alpha$ 凝縮状態の候補と考えられたが、負のパリティ状態をもつことが、 $\alpha$ 凝縮状態という解釈とは矛盾している。一方、 $J^P=1/2^+$ または $3/2^+$ と考えられる励起エネルギー14.5 MeVと16.1 MeVに、荷電スカラー型双極子遷移によって励起された2つの状態が観測された。この励起準位ダイアグラムを、原子核の殻模型計算やクラスター模型計算などと比較すると、この励起エネルギー16.1 MeVの状態が、探索していた $\alpha$ 凝縮状態の励起である可能性を示唆している。より精密な理論計算が行なわれることにより、この励起準位の励起強度も含めた計算がおこなわれれば、実験と理論計算の一致が良くなると考えられる。

今後の実験において、これらの励起状態の崩壊モードの測定が行われて、ホイル状態にある $^{12}\text{C}$ の $0_2^+$ と中性子への崩壊分岐比が大きいことが確認出来れば、測定された新しい励起状態が $\alpha$ 凝縮状態かどうかについて重要な情報を与えることが期待される。これは核子数が4の倍数からずれた原子核における $\alpha$ 凝縮状態の実験研究にとって重要な知見を与えるものとなる。

よって、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る。また、令和4年1月17日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降