（ 続紙 1 ）

京都大学	博 士（ 理 学 ）	氏名	藤川　祐輝
論文題目	Search for the 6α condensed state in ^{24}Mg using ^{12}C + ^{12}C scattering with the new Si detector array SAKRA （Si検出器アレイSAKRAによる、^{12}C ＋ ^{12}C散乱を用いた^{24}Mgにおける6α凝縮状態の探索）		

（論文内容の要旨）

原子核における粒子クラスタリングは重要な現象であり、特にαクラスターはクラスター状態の基本的な構成要素のひとつである。^{12}Cの0_2^+状態（$E_x = 7.65$ MeV）は最も有名なαクラスター構造を持つ状態であり、ホイル状態と呼ばれている。この状態は、全てのαクラスターが最低エネルギー軌道である$0s$軌道に凝縮しているα凝縮状態としても知られている。α凝縮状態では、αクラスターが空間的に広く分布し、原子核密度が標準核子密度と比較して希薄になると示唆されている。

α凝縮状態は、$k = 10$までの自己共役な$A = 4k$核において、その存在が理論的に予言されている。現状、その存在が広く認められているのは、^{8}Beの基底状態と、先述のホイル状態のみである。^{16}Oと^{20}Neに関してはα凝縮状態の確立には至っていないものの、いくつかの候補となる状態が実験と理論の両面から示されている。しかし、次に重い$A = 4k$核である^{24}Mgにおいては、6α凝縮状態の候補は、これまでのところ実験的にも理論的にも示されていない。

そこで本研究では、Si検出器アレイSAKRAを用いて、$E_{\mathrm{cm}} = 17.5\text{–}25.0$ MeVの範囲において$^{12}\mathrm{C} + {}^{12}\mathrm{C}$散乱からの崩壊粒子を測定し、^{24}Mgにおける6α凝縮状態の探索を行った。異なる核のα凝縮状態の波動関数は大きな重なりを持つため、^{24}Mgの6α凝縮状態は3α凝縮状態である$^{12}\mathrm{C}(0_2^+)$や2α凝縮状態である$^{8}\mathrm{Be(g.s.)}$を経由して崩壊すると期待される。そこで、本研究では波形解析に特化することで大立体角での崩壊粒子検出を可能としたSAKRA検出器を新たに開発した。そして、SAKRAを用いて検出した3α粒子の不変質量を求めることで、崩壊親核である^{12}Cの状態を決定し、各E_{cm}における$^{12}\mathrm{C} + {}^{12}\mathrm{C} \rightarrow {}^{12}\mathrm{C}(0_2^+, 3_1^-) + X$反応の断面積を得た。さらに、欠損質量分光を行い、残留^{12}Cの励起エネルギーを求めることで、2つの^{12}Cの状態を決定し、$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + {}^{12}\mathrm{C}(0_1^+, 2_1^+, 0_2^+)$の各反応チャンネルの断面積を得た。

$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + X$チャンネルと$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + {}^{12}\mathrm{C}(0_1^+)$チャンネルの断面積では、$E_{\mathrm{cm}} = 19.4$ MeVにピーク構造が観測された。このエネルギーは^{24}Mgの励起エネルギー$E_x = 33.3$ MeVに対応し、6α凝縮状態の存在が理論的に予想されるエネルギー（$E_x = 33.4$ MeV）と非常に近い。さらに、この状態は3α凝縮状態である$^{12}\mathrm{C}(0_2^+)$を経由して崩壊していることから、$E_{\mathrm{cm}} = 19.4$ MeVの状態は6α凝縮状態の有力な候補となる。

$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + {}^{12}\mathrm{C}(0_2^+)$チャンネルの断面積では、^{24}Mgの励起エネルギー$E_x = 36.4$ MeVに相当する$E_{\mathrm{cm}} = 22.5$ MeVに幅広い構造が観測された。この構造に関して、微分断面積の角度分布を解析することによって、主成分のスピン・パリティが4^+であると決定した。さらに、この構造の低エネルギー側では、2^+状態の寄与を示唆する結果が得られた。励起エネルギーとスピン・パリティを考慮すると、この幅広い構造は6α凝縮状態の励起状態と理解することが可能である。

本研究は、6α凝縮状態とその励起状態の候補を示した初めての実験結果であり、6α凝縮状態の確立に向けた新たな実験が進展し、本結果の解釈を深めるような新たな理論計算へと繋がることが期待される。

（続紙　２　）

（論文審査の結果の要旨）

原子核における粒子クラスタリングは、その構造を理解する上で重要な現象であり、特にαクラスターはクラスター状態の基本的な構成要素のひとつである。^{12}Cの0_2^+状態（$E_x = 7.65$ MeV）は最も有名なαクラスター構造を持つ状態であり、ホイル状態と呼ばれている。この状態は、全てのαクラスターが最低エネルギー軌道である$0s$軌道に凝縮しているα凝縮状態としても知られている。しかし、その他の原子核においては、必ずしも期待通りの質量数領域にこのようなα凝縮状態の存在が実験的に見つかっているわけではないのが現状である。理論的にはα凝縮状態は、$k = 10$までの自己共役な質量数$A = 4k$核において、その存在が理論的に予言されている。現状、その存在が広く認められているのは、^{8}Be の基底状態と、^{12}Cにおけるホイル状態0_2^+状態のみである。^{16}Oと^{20}Neに関してはα凝縮状態の確立には残念ながら至っていない。次に重い$A = 4k$核である^{24}Mgにおいては、6α凝縮状態の候補は実験的にも理論的にも見つかってはいない。

そこで本研究では、新たに開発したSi検出器アレイSAKRAを用いて重心エネルギー、$E_{\mathrm{cm}} = 17.5\text{–}25.0$ MeVの範囲において$^{12}\mathrm{C} + {}^{12}\mathrm{C}$散乱から放出される崩壊粒子を測定し、^{24}Mgにおける6α凝縮状態の探索を行った。異なる核のα凝縮状態の波動関数は大きな重なりを持つため、^{24}Mgの6α凝縮状態は3α凝縮状態である$^{12}\mathrm{C}(0_2^+)$や2α凝縮状態である$^{8}\mathrm{Be(g.s.)}$を経由して崩壊すると期待される。そこで、本研究では波形解析に特化することにより大立体角での崩壊粒子検出を可能としたSAKRA検出器を新たに開発した。そして、SAKRAを用いて検出した3α粒子の不変質量を求めることで、崩壊親核である^{12}Cのエネルギー状態を決定し、各E_{cm}における$^{12}\mathrm{C} + {}^{12}\mathrm{C} \rightarrow {}^{12}\mathrm{C}(0_2^+, 3_1^-) + X$反応の断面積を得た。さらに、欠損質量分光を行い、残留^{12}Cの励起エネルギーを求めることで、2つの^{12}Cの状態を決定し、$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + {}^{12}\mathrm{C}(0_1^+, 2_1^+, 0_2^+)$の各反応チャンネルの断面積を測定した。

$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + X$チャンネルと$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + {}^{12}\mathrm{C}(0_1^+)$チャンネルの断面積では、$E_{\mathrm{cm}} = 19.4$ MeVにピーク構造が観測された。このエネルギーは^{24}Mgの励起エネルギー$E_x = 33.3$ MeVに対応し、6α凝縮状態の存在が理論的に予想されるエネルギー（$E_x = 33.4$ MeV）と非常に近い。さらに、この状態は3α凝縮状態である$^{12}\mathrm{C}(0_2^+)$を経由して崩壊していることから、$E_{\mathrm{cm}} = 19.4$ MeVの状態は6α凝縮状態の有力な候補となる。

$^{12}\mathrm{C}(0_2^+) + {}^{12}\mathrm{C}(0_2^+)$チャンネルの断面積では、^{24}Mgの励起エネルギー$E_x = 36.4$ MeVに相当する$E_{\mathrm{cm}} = 22.5$ MeVに幅広い構造が観測された。この構造に関して、微分断面積の角度分布を解析することによって、主成分のスピン・パリティが4^+であることが決定した。この構造の低エネルギー側では、2^+状態の寄与を示唆している。以上のことから、この幅広い構造は6α凝縮状態の励起状態と理解することができる。

本研究は、6α凝縮状態とその励起状態の候補を示した初めての実験結果であり、6α凝縮状態の確立に向けた新たな実験や、本結果を解釈する理論研究を強く動機づけることとなった。

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６年１月１８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