

(続紙 1)

京都大学	博士 (理学)	氏名	村田 求基
論文題目	Photodisintegration cross section of ^4He in the giant dipole resonance energy region (巨大双極子共鳴領域における ^4He 光分解反応断面積)		
(論文内容の要旨)			
<p>アイソベクター型巨大双極子共鳴 (IVGDR) は原子核の集団的励起状態である巨大共鳴の中で最もよく知られたものである。IVGDRの性質は、光分解反応をはじめとする光核反応の系統的な測定を通じ、様々な原子核において研究されてきた。とりわけ、核子数が40を超える重い安定原子核においては、IVGDRの共鳴エネルギーなどの性質を巨視的な模型によって系統的に説明することに成功している。その一方で^4Heのような軽い原子核系では、個々の核子自由度が相対的に重要となるため、重い原子核系で妥当する単純な模型によってIVGDRの性質を説明することはできない。しかし近年では、現実的な核力に基づく少数核子系の精密計算によって、軽い原子核系においてもIVGDR領域の光核反応断面積に対して定量的な予言が可能となった。</p> <p>本研究の主題である^4He原子核の光分解反応断面積においては、複数の理論計算が、およそ$E_\gamma=26$ MeVの光子による反応で断面積がIVGDRにより極大値を示すという結果へと一致を見ている。その反面、近年の実験的研究による研究結果には深刻な不一致が存在する。なかでも、嶋らによる実験では、$E_\gamma=30$ MeV以下のビームエネルギーにおいて単調に増加を続ける光分解反応断面積が報告された。この結果は理論計算や他の実験結果とも大きく異なる。それゆえ、もしこの断面積が真実であれば、精密理論計算が立脚している原子核構造理論の基礎的な事項や、^4Heの光分解反応断面積を元に計算されている天体核反応現象のシナリオ等において修正が必要となる可能性がある。</p> <p>本研究ではIVGDRのエネルギー領域で支配的な光分解反応モードである、$^4\text{He}(\gamma, n)^3\text{He}$ 反応と $^4\text{He}(\gamma, p)^3\text{H}$ 反応の同時測定を実施した。レーザーコンプトン散乱法によって生成した準単一エネルギー光子ビームを、標的となる^4Heを主体とするガスによって動作する time projection chamber (TPC) 検出器に入射させ、光分解反応によって放出される荷電粒子の飛跡を測定した。そして、記録した飛跡の形状とエネルギー損失から^4He光分解反応事象を同定し、反応の断面積を決定した。この実験手法は嶋らの先行研究を踏襲したものであるが、ニュースバル放射光施設BL01の高品質な光子ビームを用いた点、高精度の飛跡測定が可能な MAIKoアクティブ標的を用いた点、ビームエネルギーに応じた検出器条件の最適化を行った点などで、先行研究に対して優位性を持つ。$E_\gamma=23.0, 24.0, 25.0, 27.0, 28.0, 30.0$ MeV のエネルギーのビームを用いた測定により、IVGDRのエネルギー領域での断面積の決定を目指した。</p> <p>今回の測定で得られた光分解反応の微分断面積は、E1遷移を仮定した角度分布で説明されるものであった。また、微分断面積を全角度領域にわたって積分することで、全断面積を評価した。本研究の $^4\text{He}(\gamma, n)^3\text{He}$ 反応と $^4\text{He}(\gamma, p)^3\text{H}$ 反応の全断面積は、ともに$E_\gamma=26$ MeV付近で極大となった。この結果は嶋らの結果とは明確に異なり、一方で、他の実験結果や理論計算と同一の傾向であった。したがって、嶋らの結果によって示唆された、原子核構造理論や天体原子核反応過程に対する、波及的な修正の必要性はないと結論づけた。</p> <p>本研究の結果は、^4He光分解反応断面積をめぐる長年の論争に新たな知見を加えるものであると同時に、MAIKoアクティブ標的の光核反応断面積研究への適用可能性を証明するものである。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

アイソベクター型巨大双極子共鳴 (IVGDR) は原子核の集団的励起を示す典型的な巨大共鳴である。IVGDRの性質は、光分解反応をはじめとする光核反応の系統的な測定を通じ、様々な原子核において研究されてきた。とりわけ、質量数が40を超えるような、重い安定原子核においては、IVGDRの共鳴エネルギーなどの性質を巨視的な原子核模型によって系統的に説明することに成功している。その一方で ${}^4\text{He}$ のような軽い原子核系では、個々の少数核子多体系としての自由度が顕となり、相対的に重要となるため、重い原子核系を精度良く記述するような簡便な反応模型によってIVGDRの性質を説明することには理論は成功していない。しかし近年では、現実的な核力相互作用模型に基づく少数核子系の第一原理計算によって、軽い原子核系においてもIVGDR領域の光核反応断面積に対して定量的な予言が可能となった。

本研究の主題である ${}^4\text{He}$ 原子核の光分解反応断面積においては、複数の理論計算が、およそ $E_\gamma=26$ MeVの入射光子による反応で断面積がIVGDRの断面積の極大値を示すという結果へと一致を見ている。その反面、近年の実験的研究による研究結果には深刻な不一致が存在する。なかでも、嶋らによる実験では、 $E_\gamma=30$ MeV以下のビームエネルギーにおいて単調に増加を続けるという光分解反応断面積が報告された。この結果は理論計算や他の実験結果とも大きく異なる。それゆえ、もしこの断面積の測定結果が真実であれば、精密理論計算が立脚している原子核構造理論の基礎的な事項や、 ${}^4\text{He}$ の光分解反応断面積を元に計算されている天体核反応現象のシナリオ等において修正が必要となる可能性がある。

本研究ではIVGDRのエネルギー領域で支配的な光分解反応モードである、 ${}^4\text{He}(\gamma, n){}^3\text{He}$ 反応と ${}^4\text{He}(\gamma, p){}^3\text{H}$ 反応の同時測定を実施した。レーザーコンプトン散乱法によって生成した準単一エネルギー光子ビームを、標的となる ${}^4\text{He}$ を主成分とするガスによって動作する Time Projection Chamber (TPC) 検出器に入射させ、光分解反応によって放出される荷電粒子の飛跡を測定した。記録した飛跡の形状とエネルギー損失から ${}^4\text{He}$ 光分解反応事象を同定し、反応の断面積を決定した。この実験手法は嶋らの先行研究を踏襲したものであるが、ニュースバル放射光施設BL01の高品質な光子ビームを用いた点、高精度の飛跡測定が可能な MAIKoアクティブ標的を用いた点、ビームエネルギーに応じた検出器条件の最適化を行った点などで、先行研究に対して優位性を持つ。 $E_\gamma=23.0, 24.0, 25.0, 27.0, 28.0, 30.0$ MeV 6点のエネルギーのビームを用いた測定により、IVGDRのエネルギー領域での断面積の決定を目指した。

今回の測定で得られた光分解反応の微断面積は、E1遷移を仮定した角度分布で説明されるものであった。また、微断面積を全角度領域にわたって積分することで、全断面積を評価した。本研究の ${}^4\text{He}(\gamma, n){}^3\text{He}$ 反応と ${}^4\text{He}(\gamma, p){}^3\text{H}$ 反応の全断面積は、ともに $E_\gamma=26$ MeV付近で極大となった。この結果は嶋らの結果とは明確に異なり、一方で、他の実験結果や理論計算と一致する傾向であった。これらのことから、嶋らの結果によって示唆された、原子核構造理論や天体原子核反応過程に対する、波及的な修正の必要性はないと結論づけた。

本研究の結果は、 ${}^4\text{He}$ 光分解反応断面積をめぐる長年の論争に新たな知見を加えるものであると同時に、MAIKoアクティブ標的の光核反応断面積研究への適用可能性を証明するものである。

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