

氏名・(本籍)	の 野	むら 村	まさ 昌	ひろ 弘
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理博第1202号			
学位授与年月日	平成3年3月28日			
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当			
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 原子核理学専攻			
学位論文題目	エネルギー移行37 MeV における ${}^6\text{Li}$ (e, e'x) 反応の研究			
論文審査委員	(主査)			
	教	授	菅	原
	真	澄	教	授
			織	原
			彦	之
			藤	平
			力	

論 文 目 次

第1章	序
第2章	測定装置
第3章	実験及び結果
第4章	議論
第5章	結論
	謝辞
	Refereces
	付録

論文内容要旨

§1 序

今回標的核として用いた ${}^6\text{Li}$ は $\alpha-d$, ${}^3\text{H}-{}^3\text{He}$ 等のクラスター模型を研究するうえで古くから使用され、電子散乱^{BE79)}, (γ,d) ^{TA86)}, $(\gamma,{}^3\text{H})$ 実験^{JU79)}が行われてきた。最近では高運動量移行が可能な高エネルギー加速器により準弾性散乱領域での $(e,e'p)$ 実験^{LA89)}が行われ p-shell, s-shell の陽子の運動量分布が測定されている。又光核反応では、標識付光子^{NO89)}による p-shell, s-shell の陽子の高運動量成分の測定や高い Missing Energy 領域での二核子による光子吸収の研究などが行われている。

今回我々が行った実験は、エネルギー移行 $\omega=37$ MeV, 運動量移行 $q=63$ MeV/c という今までに行われた事のない実験領域におけるものである。今回の $(e,e'p)$ 実験は、準弾性散乱領域での $(e,e'p)$ 実験と比較すると photon point に近い非常に低い運動量移行での実験にあたる。この事は今回の実験で測定する運動量分布は準弾性散乱領域での $(e,e'p)$ 実験で測定された運動量分布と標識付光子による測定された運動量分布とつなぐ非常に有意義なものである事を意味する。 $(e,e'p)$ 反応を光核反応と比較すると、光核反応が横成分のみによる反応であるのに対し、 $(e,e'p)$ 反応には縦成分及び同時計数実験の特徴である干渉項成分による反応も加わってくる。又 $(e,e'{}^3\text{H})$, $(e,e'{}^3\text{He})$ 実験の意義としては仮想光子では初めての実験である事、更に横横干渉項成分より得られる Analyzing Power がクラスター模型に関して新しい情報を与える事ができるなどが挙げられる。

§2 実験装置

実験には東北大学原子核理学研究施設の 300 MeV 電子線加速器から得られる電子線を用いた。電子線加速器からのパルス電子線はパルスビーム・ストレッチャーにより直流化された後、散乱槽内の標的に照射される。標的により散乱された電子は二重収束型磁気スペクトロメータにより運動量分析され、その焦点面と平行に置かれた垂直型ドリフトチェンバー (VDC) 及び二層のプラスチック・シンチレーターにより検出される。他方標的核から放出された荷電粒子は、散乱槽内に設置された半導体検出器 (SSD) によって検出、エネルギー分析される。収集される主な実験データは VDC のドリフト時間、SSD の波高値及びプラスチック・シンチレーターと SSD との時間差である。

§3 実験

実験は東北大学 300 MeV 電子ライナック、パルスビーム・ストレッチャーからのエネルギー 134 MeV 連続電子線を用いて行った。標的核は95%に濃縮した厚さ約 10 mg/cm²の ${}^6\text{Li}$ を使用した。標的核により散乱された電子は $\theta_c=26^\circ$ に置かれた磁気スペクトロメータ焦点面上の垂直型ドリフトチェンバーにより検出される。仮想光子による標的核へのエネルギー移行、運動量

移行はそれぞれ37 MeV, 63 MeV/cである。標的核から放出される荷電粒子はSSDにより測定し、 $E-\Delta E$ 法により粒子識別を行った。SSDは $(\theta, \phi) = (0^\circ, -), (30^\circ, 90^\circ), (30^\circ, 135^\circ), (60^\circ, 90^\circ), (60^\circ, 135^\circ), (180^\circ, -)$ に設置し同時計数実験の特徴である干渉項の測定も行った。

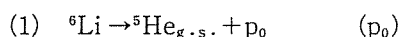
$(\theta, \phi) = (30^\circ, 135^\circ)$ で観測された陽子 (proton) 及び三重陽子 (triton) の Missing Energy Spectrumを第1図に示す。Missing Energy E_m は以下に定義される量である。

$$E_m = \omega - E_x - E_R$$

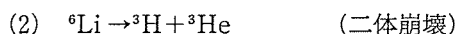
ω, E_x, E_R はそれぞれエネルギー移行, 放出粒子 x のエネルギー, 残留核の反跳エネルギーを表す。

§4 解析

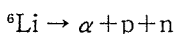
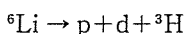
先ず初めに Missing Energy Spectrum により反応の分離を行う。Missing Energy Spectrum から一義的に決まる反応として、陽子の Missing Energy Spectrum からは、



${}^3\text{H}, {}^3\text{He}$ の Missing Energy Spectrum からは



がある。又、陽子の Missing Energy Spectrum の High Missing Energy 領域では、



等の反応が考えられる。解析は、初めに特定できた(1), (2)の反応を調べ次に陽子の High Missing Energy 領域での陽子放出反応を調べる。

(1) ${}^6\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He}_{g.s.} + p_0$ 反応

準弾性散乱領域での $(e, e'p)$ 実験及び、エネルギー移行, 運動量移行が等しい ${}^{16}\text{O}$ $(e, e'p_0)$ 実験からの類推により、 $E_m = 0 \sim 8$ MeV のピークは p-shell の陽子が直接過程により叩き出されたとし解析を行なう。先ず初めに実験で得られた断面積を核内での陽子と電子との断面積である σ_{ep} で factorize し Spectral Function $S(P_m, E_m)$ を求める。そしてこの $S(P_m, E_m)$ を $E_m = 0 \sim 8$ MeV の範囲で積分し p-shell の運動量分布を求める。得られた運動量分布と準弾性散乱領域での $(e, e'p)$ 実験結果^{LA89)}及びクラスター模型による PWIA の計算値を第2図に示す。我々の実験値は ${}^6\text{Li}(p, p)$ 実験より得られた光学ポテンシャルを使い終状態相互作用の影響を取り除いてある。我々の実験値はクラスター模型によるPWIAの計算値と滑らかにつながる。

又この計算値は終状態相互作用を考慮すると準弾性散乱領域での (e,e'p) 実験結果を再現する。この様に断面積の大きさは直接過程を考えると説明できるが、実験に現れた ϕ 依存性は説明できない。主な原因としては陽子放出過程に直接過程だけでなく共鳴を経由して放出される過程が含まれている為と考えられる。

(2) ${}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^3\text{He}$ 反応

先ず初めに (γ , ${}^3\text{H}$) 実験結果¹⁰⁷⁹⁾, クラスタモデルによる計算結果から多重極度 = 1 までとし実験で得られた角度分布に χ^2 -fitting を行う。 χ^2 -fitting の様子を第 3 図に示す。非常に良く実験値を再現している。次に Cl, El を仮定し角度分布を決めるパラメータ a_2 を求めると, $a_2 = -0.86 \pm 0.35$ となり光核反応の $a_2 = -1$ に近い値が得られた。 χ^2 -fitting により求められた横成分と横横干渉項成分の ϕ 依存性を第 4 図に示す。これは偏極した光子を使用した実験に他ならない。今回の実験条件では仮想光子の偏極度は 86% と非常に高い。この角度分布より Analyzing Power (A) を求めると, $A = 0.87 \pm 1.0$ が得られる。今回の実験では誤差が大きくこれ以上の議論はできないが、この Analyzing Power の値はこの反応が ${}^3\text{H} - {}^3\text{He}$ のクラスタがそのまま崩壊した反応なのか、 α -d クラスタの α が壊れて出てきた反応なのかを決める重要な物理量である。

(3) Proton in the high missing energy region

準弾性散乱領域での (e,e'p) 実験^{1A89)}及び、標識付光子による (γ , p) 実験¹⁰⁸⁹⁾からの類推により, $E_m = 20\text{--}25$ MeV のピークは s-shell の陽子が直接過程により叩き出されたとし解析を行う。解析は p_0 反応と同じ方法で行ない運動量分布を求める。得られた結果を第 5 図に示す。今回の実験値は、クラスタモデルによる PWIA の計算値より大きな値を示す。特に高い運動量成分では実験値のほうがかなり大きい。これは他の反応からの陽子が含まれている事を意味する。このことに関して、 ${}^3\text{H}$ の Missing Energy Spectrum の $E_m \geq 21$ MeV の領域で ${}^6\text{Li} \rightarrow p + d + {}^3\text{H}$ 反応, ${}^6\text{Li} \rightarrow p + p + n + {}^3\text{H}$ 反応からの ${}^3\text{H}$ を測定することができた。つまり $E_m = 20\text{--}25$ MeV の領域には ${}^3\text{H}$ を放出する反応からの陽子が含まれている。

§ 5 結論

今回比較的高いエネルギー領域での (e,e'x) 実験を行った。(e,e'p) 実験からは、p-shell, s-shell から直接過程で叩き出されたと考えられる陽子が測定できた。又、(e,e' ${}^3\text{H}$), (e,e' ${}^3\text{He}$) 反応からは同時計数実験の特徴である干渉項から ${}^3\text{H} - {}^3\text{He}$ 二体崩壊における偏極度を求めることができた。以下に今回の実験で得られた結果をまとめる。

${}^6\text{Li} \rightarrow {}^5\text{He}_{g.s.} + p_0$ 反応

核内での陽子の運動量分布から断面積の大きさは説明できるが、 ϕ 依存性は説明することができない。主な原因としては陽子放出過程に直接過程だけでなく共鳴を経由する過程が含まれている為と考えられる。

${}^6\text{Li} \rightarrow {}^3\text{H} + {}^3\text{He}$ 反応

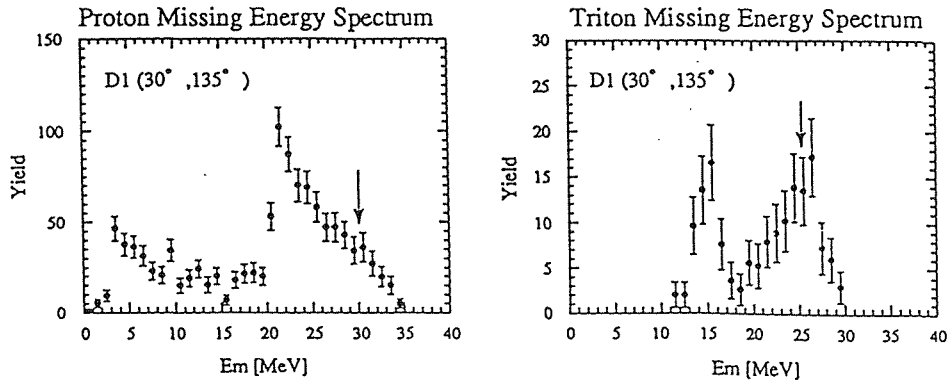
Cl, El のみで非常に良く実験値を再現する。又角度分布を決めるパラメータ $a_2 = -0.86 \pm 0.35$ が得られ、更に横-横干渉項により Analyzing Power $A = 0.85 \pm 1.0$ が得られた。

Proton in the high missing energy region

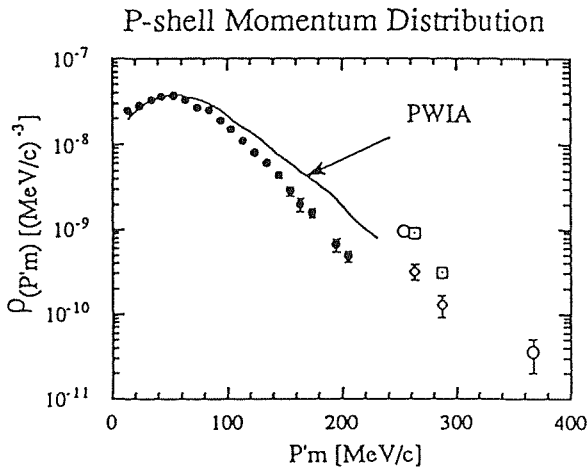
$E_m = 20 \sim 25$ MeV のピークが s-shell から陽子が直接過程により叩きだされたものとする、実験値はクラスター模型による PWIA の計算値より大きな値を示す。これは ${}^6\text{Li} \rightarrow p + d + {}^3\text{H}$ 反応、 ${}^6\text{Li} \rightarrow p + p + n + {}^3\text{H}$ 反応からの陽子が含まれている事を意味する。このことに関しては、 ${}^3\text{H}$ の Missing Energy Spectrum の $E_m \geq 21$ MeV の領域でこれらの反応からの ${}^3\text{H}$ を測定することができた。

REFERENCES:

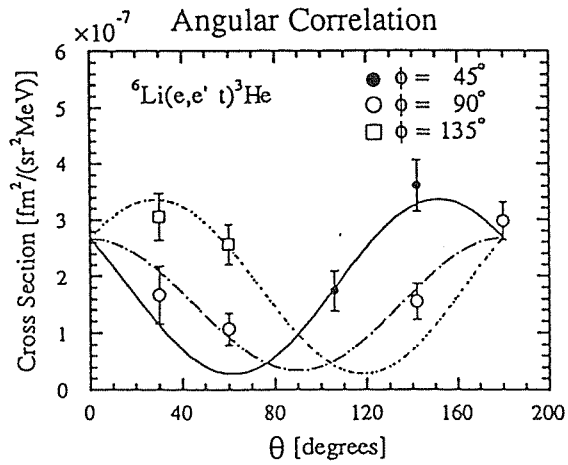
- BE79 J.C. Bergstrom et. al. : Nucl Phys. A327 (1979) 439.
- JU79 G. Junghans et. al. : ZPhysik A291 (1979) 353.
- LA89 J.B.J.M. Lanen et. al. : Phys. Rev. Lett. 62 (1989) 2925.
- LA89 J.B.J.M. Lanen et. al. : Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 2793.
- NO89 I. Nomura et. al. : Dr.thesis of Tohoku University (1989)
- TA86 H. Taneichi et. al. : Nucl. Phys. A448 (1986) 315.



第1図 Missing Energy Spectrum (proton, triton)。
 $(\theta, \phi) = (30^\circ, 135^\circ)$ における Missing Energy Spectrum。
 図中の矢印は検出器のしきい値を示す。

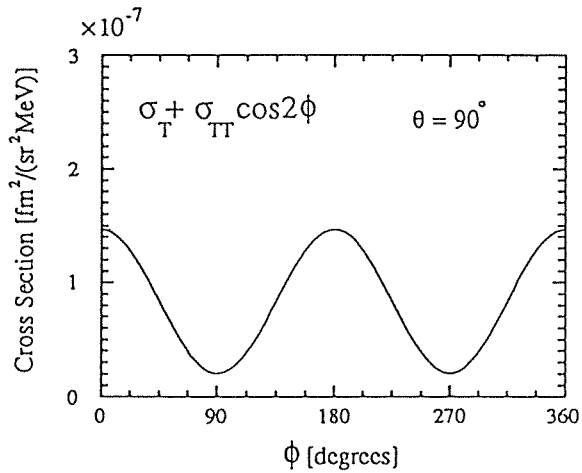


第2図 Proton Momentum Distribution (p-shell)。
 ●は準弾性散乱領域での $(e, e'p)$ 実験により得られた運動量分布。○□◇は今回の実験で得られた運動量分布。□◇はそれぞれ $\phi = 135^\circ, 90^\circ$ の値を示し、この差は干渉項によるものである。図中の曲線はクラスター模型の PWIA による運動量分布の計算値を示す。●以外は終状態相互作用による歪曲の効果を取り除いてある。



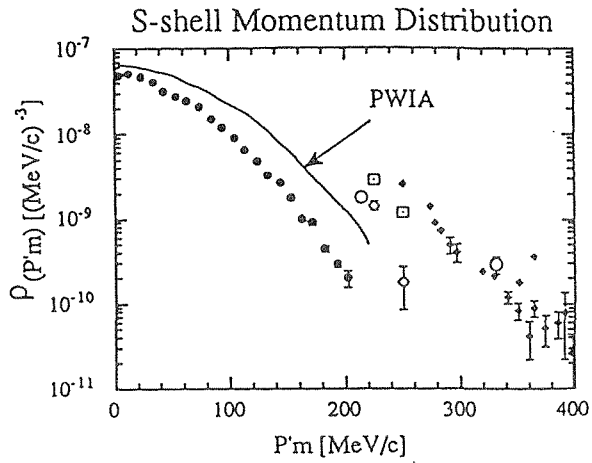
第3図 Triton 角度分布。

図中の曲線は多重極度 1 の角度分布を表す関数で実験値に χ^2 -fitting した曲線を示す。



第4図 ϕ 方向角度分布。

$\theta=90^\circ$ における横成分 (σ_T), 横横干渉項成分 (σ_{TT}) の ϕ 方向角度分布。



第5図 Proton Momentum Distribution(s-shell)。

●◆はそれぞれ準弾性散乱領域での $(e,e'p)$ 実験, (γ_{tag}, p) 実験により得られた運動量分布。
 ○□◇は今回の実験で得られた運動量分布。□◇はそれぞれ $\phi = 135^\circ, 90^\circ$ での値を示し、この
 差は干渉項によるものである。図中の曲線はクラスター模型のPWIAによる運動量分布の計算
 値を示す。●以外は終状態相互作用による歪曲の効果を取り除いてある。

論文審査の結果の要旨

野村昌弘提出の論文は、130 MeV 準直流電子線を用いて ${}^6\text{Li}$ を標的とする同時計数電子散乱実験を行ない、 $(e, e'p)$ および $(e, e'^3\text{H})$ 反応についての考察を行なったものである。

${}^6\text{Li}$ は ${}^4\text{He}$ に陽子と中性子が1個ずつ加わった核であるが、単純な殻模型では説明出来ない点が多く、 ${}^4\text{He}+d$ や ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$ などの二体模型の他に ${}^4\text{He}+p+n$ 三粒子模型による研究が行われている。

著者は、励起エネルギー37 MeV、移行運動量63 MeV/cで、散乱電子と放出荷電粒子を同時に測定した。これは、運動学的に見て、従来行なわれてきた準弾性散乱実験と光核反応実験の中間に位置する領域で、反応機構も余り良く分っていない。著者はE- Δ E法によって、放出粒子として陽子、三重陽子(${}^3\text{H}$)、 ${}^3\text{He}$ を識別し、オフプレーンにおいてそれらの角度分布を測定した。

陽子の Missing Energy Spectrum に見られる2つの顕著なピークは、p殻およびs殻の陽子に対応している。著者は、これらの角度分布から、反応が準弾性散乱現象として説明出来る事を明らかにし、終状態相互作用を考慮に入れて求めた核内陽子の運動量分布が理論計算や他の実験結果と矛盾しない事を示した。ただし縦方向・横方向干渉項の大きさは平面波ボルン近似を用いた準弾性散乱の計算では説明出来ず、より精密な取り扱いの必要な事を示している。

一方、 $(e, e'^3\text{H})$ 反応のうち二体反応 ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$ によるピークは、陽子の場合と対照的に、多重極度1の角度分布を示す事が明らかになった。断面積のオフプレーン角度(ϕ)依存性を利用して求めた非干渉項成分、縦方向・横方向干渉項は光核反応の実験結果と矛盾しない事が示された。又、横方向・横方向干渉項から求まる分析能の大きさは偏極 γ 線による実験の非対称性と関係があり、励起エネルギー60 MeVで $(e, e'^3\text{H})$ 実験を行なえば、 ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$ 二体分解反応が ${}^4\text{He}+d$ クラスターからの組みかえ反応によっておこったのか、最初から ${}^3\text{H}+{}^3\text{He}$ クラスターが存在したのかを判定出来る事が示唆された。

著者は、本実験を行なうにあたり、垂直型ドリフトチェンバーの製作をはじめ、オンラインおよびオフライン計算機プログラムの作成にたずさわって、実験技術の修得に努めた。

したがって、本論文は、著者が自立して研究活動を行なうのに必要な高度の研究能力と学識を有する事を示している。よって野村昌弘提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。