

氏名・(本籍)	く　　ど　　よ　　し　　て　　る 工　藤　善　輝
学位の種類	理　学　博　士
学位記番号	理　博　第　8　7　号
学位授与年月日	昭和40年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科専門課程	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	The Effect of Final State Interactions in the $(\alpha, 2\alpha)$ Reactions (原子核反応に於ける終状態が三体の場合の 終状態相互作用の理論的研究 $(\alpha, 2\alpha)$ 反応 ——)
論文審査委員	(主査) 教授 武 田 暁 助教授 宇 井 治 生 助教授 梶 山 一 典 助教授 藤 平 力

論 文 目 次

- 第1章 序 論
- 第2章 角分布の定式化
- 第3章 数値計算と実験との比較 (その1)
- 第4章 終状態相互作用の効果
- 第5章 数値計算と実験との比較 (その2)
- 第6章 討論及び結論

論 文 内 容 要 旨

第 1 章 序 論

($\alpha, 2\alpha$) 反応の終状態で、二つの α 粒子が放出され、その二つの α 粒子の相対運動のエネルギーが、 Be^9 の低い励起状態のエネルギーに近い状態になつた時には、強い相互作用をして放出される。以下、この相互作用を、終状態相互作用と呼ぶ。

本論文の目的は、実際に、終状態相互作用が ($\alpha, 2\alpha$) 反応の角相関の分布に、重要な役割をしている事を示す事である。

ここで、角分布の定式化にあつては、切断ボルン近似を採用した。次に、上に述べた、終状態相互作用の効果を入れる為に、終状態で二つの α 粒子の相対運動の波動関数として、歪曲波を使つた。即ち、この取扱ひ方法は、歪曲波ボルン近似の一種とみなされる。更に、標的核の波動関数に関しては、調和振動型殻模型を使つて、 α クラスター構造を詳しく考慮に入れた。

第 2 章 角分布の定式化

この章では、終状態相互作用が、どういう役割をするかを、はつきり示す為に、先ず、この効果を考えない式を導出する。次に、この効果を考慮した式は、第 4 章で導くが、それは、この章で出した式を修正する事によつて簡単に求められる。

($\alpha, 2\alpha$) 反応の定式化に際しては、直接過程を仮定し、現在迄いろいろな直接過程の理論で使われている平面波切断ボルン近似を採用した。更に、標的核の波動関数を α 粒子 (α クラスター) と、残留核の波動関数との積で展開する際に、その相対運動の波動関数は、切断半径の外側では、変数が虚数の球面ハンケル函数を使つた。この際展開係数の一つとしてあらわれるスペクトロスコピック因子は、調和振動型殻模型を使つて計算し、標的核の α クラスター構造を詳しく考慮に入れた。

以上の方法を使つて導かれた、角相関の断面積は、主として二つの量の積であらわされる。第一の部分は、 $\alpha-\alpha$ 散乱に関係した部分で、この部分は、この近似では $\alpha-\alpha$ の相互作用には余り依存せず、散乱角度が増大するにつれて、ゆるやかに減少する。

第 4 章で論ずる様に、終状態相互作用を入れると、この部分だけが修正される。

次に第二の部分は、主として、標的核の中での、 α クラスターの軌道角運動量 L に依存して大体決つた分布を示し、従つて、標的核での α クラスター構造を大きく反映している。その反映の仕方は、($P, 2P$) 反応の場合と同様に、運動量変化 k が 0 になる角度で、 $L=0$ に対しては、極大になり、 $L=2$ に対しては、逆に、極小を示す。

第 3 章 数値計算と実験との比較 (その 1)

この章では、第 2 章で終状態相互作用を考慮に入れずに導びいた理論式と実験との比較をする。

柳父、山下、滝本、荻野、諸氏により行われた、 α 粒子の入射エネルギーが 2.8 MeV での Be^9 ($\alpha, 2\alpha$) He^5 (ground) と O^{12} ($\alpha, 2\alpha$) Be^9 (ground) 反応の角相関測定実験を例題として解析する。

この実験では、反応が同一平面で起り、放出 α 粒子 α_1 と α_2 の散乱角が入射方向に関して、対称になる様にして測定してある。

実験を解析する為に必要な Be^9 及び O^{12} に対する α のスペクトロスコピック因子は、調和振動型殻模型を使つて計算した。解析結果は、 Be^9 ($\alpha, 2\alpha$) He^5 反応に関しては、理論と実験との一致は大体よい様に思われる。

しかし、 O^{12} ($\alpha, 2\alpha$) Be^9 反応に関しては、実験の角分布で谷になつている部分が理論では

$K=0$, $L=0$, 従つて, 山になり説明不可能である。

これは第2章で導びいた平面波切断ボルン近似が悪い近似である事を示している。従つて次の章で, いろいろ考えられる効果の中で, 角相関に一番効いて来ると考えられる終状態での二つの α 粒子間の相互作用をとり入れた式を導出し, 第5章でその理論式と実験との比較をする。

第4章 終状態相互作用の効果

序論で論じた様に, 終状態で二つの α 粒子の相対運動のエネルギーが, Be^8 の低い励起状態のエネルギーに近くなつた時には, 二つの α 粒子は強く相互作用して放出され, 従つてその軌道が曲げられる。それゆゑ, この効果が当然角相関の分布に影響を与える筈で, 本章では第2章で導びいた断面積の式に, この効果を取り入れるを試みる。その方法としては, 二つの α 粒子の波動函数を, 重心運動と相対運動の部分に分離し, 相対運動の波動函数として, 第2章での平面波の代りに, さらに内向球面波をつけ加える。従つて, 終状態相互作用の効果は内向球面波の部分に入る事になる。この効果を入れると, 第2章で論じた断面積の, 第一の部分だけが変形されるが, 第二の部分は変化しない。

第5章 数値計算と実験との比較 (その2)

この章では, 前章で導びかれた, 終状態相互作用を入れた修正された理論式と, 第3章で解析した同じ実験との比較をする。第4章での内向波に含まれる位相のずれは $\alpha-\alpha$ 散乱の実験で求められたものを使つた。この位相のずれは, 二つの α 粒子の相対運動のエネルギー変化 (即ち散乱角の変化) によつて変化し, 終状態相互作用の効果をあらわすことになる。

$\text{Be}^9 (\alpha, 2\alpha) \text{He}^5$ 反応に関しては, 第2章での平面波近似でもかなりよい一致はしていたが, 修正された理論では, さらによい一致を示す。

この解析の結果, 平面波近似での一致は, 単に偶然である事がわかつた。 $\text{O}^{12} (\alpha, 2\alpha) \text{Be}^8$ 反応に関しては, 平面波近似での理論では山となるべき所が実験では谷となつており, 説明不可能なることを第3章で示したが, この修正された理論では, よい一致を示す。その理由は, 平面波近似では, 山となつていた所では, 終状態相互作用の効果が, それを減少させる方向に働き, 結果的には, 谷になる為である。この効果が分布を減少させる方向に働くか, 或は増大させる方向に働くかは, α 粒子間の相対運動のエネルギー (即ち散乱角) によつて決まる。

第6章 討論及び結論

以上の解析により, $(\alpha, 2\alpha)$ 反応では, 終状態相互作用が重要な役割をしている事が結論される。

そのほかに問題にすべき効果として, 標的核及び残留核と α 粒子間の相互作用がある。この効果は, 角分布の絶対値には影響するが, その分布の形には余り影響しないと思われる。この事情は (d, p) ストリッピング反応の時と同様と考えられるからである。

$\text{Be}^9 (\alpha, 2\alpha) \text{He}^5$ 反応に関しては, 平面波断熱近似による解析がある。本論文での取り扱い方法と断熱近似との関係について論じた。

断熱近似にくらべて, 本論文での取り扱い方法は, 標的核の違う場合, 入射エネルギーの違う場合や, 二つの α 粒子の散乱角が非対称の時にも簡単に適用できる利点がある。

さらに断熱近似では取り扱えない, 放出 α 粒子と残留核の中の α 粒子との相互作用も調べる事ができる。

$(P, P\alpha)$ 反応にも終状態相互作用があると思われるが, この種の反応も, 本論文の方法で同様に

取り扱える。

最後に、原子核の α クラスター構造を調べる為に、現在迄、ノックオン反応、重粒子ストリッピング反応や重イオンによるストリッピング反応による方法があるが、この論文で取り扱った $(\alpha, 2\alpha)$ 反応もその目的の為に適当である事を示す。

以 上

参 考 論 文

- (1) T.Honda, Y.Kudo and H.Uji.
" Exchange effect in the scattering of an α -particle by light nuclei "
Nuclear Physics 44 (1963) 472.
- (2) T.Honda, H.Horie, Y.kudo and H.Uji.
" The (d, α) reaction and cluster structure of light nuclei "
Prog. Theor. Phys, 31 (1964) 424..
- (3) T.Honda, Y.Kudo, H.Uji and H.Horie.
" The (p, α) reaction for p-shell nuclei and reduced widths for nuclear clusters ""
Physics Letters 10 (1964) 99.
- (4) T.Honda, H.Horie, Y.Kudo and H.Uji.
" Nuclear direct interaction in the $C^{12}(t, \alpha)B^{11}$ reaction."
Nuclear Physics (to be published).

論 文 審 査 要 旨

工藤善輝の論文は原子核反応にさいして、何個かの粒子が生成される場合、生成粒子間の力の影響を定量的に論じたものである。

近年、原子核実験の急速な進歩にともない、放出粒子数が2個以上ある原子核反応の角度相関関数の測定が可能になり、すでに幾つかの実験結果が報告されている。

これ等の結果は原子核構造に対する幾つかの重要な知見を提供した。

しかしながら定量的な結論を得るためには充分な理論的取扱いが要求される。

本論文は $(\alpha, 2\alpha)$ 反応を例に取り、放出される2つの α 粒子間の終状態相互作用を正しく取り入れた角度相関関数の定式化を行いさらにこれを用いて実際に京都大学サイクロトロンにより行なわれた $\text{Be}^9(\alpha, 2\alpha)\text{He}^5$ 及び $\text{C}^{12}(\alpha, 2\alpha)\text{Be}^8$ 反応の解析を実行した。その結果は次のように要約される。

- ① 終状態相互作用の影響は自由 α 粒子の散乱により知られている、位相角度を用いる事により割合簡単に角度相関関数に取り入れる事が出来た。
- ② $\text{C}^{12}(\alpha, 2\alpha)\text{Be}^8$ 反応の角度相関の実験結果は終状態相互作用を考慮しない場合には、完全に説明不可能である。
- ③ 終状態相互作用を(1)の方法で取り入れると実験結果を見事に再現する事が出来る。
- ④ $\text{Be}^9(\alpha-2\alpha)\text{He}^5$ 反応は、終状態相互作用を考慮しない時にも定性的には説明出来るが、これは偶然であつて、実際には終状態相互作用を考慮しないかぎり、原子核構造への定量的知見は求める事が出来ない。

この種の反応に於て、実験、理論間のいちぢるしい一致が示されたのは、この論文が初めてであり、今後の多粒子発生をともなう原子核反応の取り扱いに明るい見通しを与えたものと考えられる。

なお、参考論文4篇は主として原子核反応に関するものでいずれも主論文の参考として有意義のものである。

よつて工藤善輝の提出した論文は理学博士の学位論文として合格と認める。