

氏名	民井 淳
学位(専攻分野)	博士 (理学)
学位記番号	理博 第 2127 号
学位授与の日付	平成 11 年 11 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学第二専攻
学位論文題目	Polarization transfer observables for proton inelastic scattering from ^{12}C at zero degrees (^{12}C からの 0 度陽子非弾性散乱における偏極移行量)

論文調査委員 (主査) 教授 今井憲一 助教授 坂口治隆 教授 笹尾 登

論文内容の要旨

本論文は、大阪大学核物理研究センター (RCNP) リングサイクロトロンにおいて 392 MeV 偏極陽子ビームを用いて行われた ^{12}C 標的による非弾性散乱への偏極移行量をゼロ度で測定する実験を中心として、それに関連する理論的な考察も含めた研究についてまとめたものである。

本研究では、スピンを偏極させた陽子ビームによるゼロ度非弾性散乱を行ない、散乱後の陽子のスピン偏極量の変化を詳細に測定したものである。この測定により、原子核の内部での核力のスピンの関連した部分の強さがわかること、および原子核を高く励起させたとき、スピンおよびアイソスピンの関与のし方を分離できることが期待される。本研究はゼロ度での偏極移行量の測定では初めてのものである。

本研究の第一の特徴は、ゼロ度での陽子非弾性散乱を殆んどバックグラウンドのない状態で測定することに成功した点である。ビーム強度との比で言えば、ビームから 20 cm 離れた位置で $1/10^{10}$ になっている。これまでのクリーンなビームを標的まで導く技術に加えて、大型磁気スペクトログラフの中をビームと散乱粒子を通し、その運動量の違いから、ビームのみを分離した後、ビーム部分を 4 重極磁気レンズを用いて収束させて測定器から離れた場所で止めることで実験を可能にした。これにより、ビーム強度を増やしても散乱後の陽子の偏極度を測定するためのポラリメーターが安定に動作するようになった。

第二の特徴は磁気スペクトロメーターの焦点面に炭素のブロックからなる散乱体を挿入し、炭素ブロックで散乱される前後の粒子の軌道を測定することで、磁気スペクトロメーターを通過してきた陽子の偏極度を測定した点である。本実験とこれに続く一連の研究のために、ワイヤー数にして 5000 本程のガスカウンターとプラスチックシンチレーターのホドスコープからなる焦点面ポラリメーターをデータ処理系まで含めて新たに建設し、実験に使用した。この焦点面ポラリメーターのハード面での性能の良さに加えて、トリガー系およびデータ転送系の随所に FPGA を利用した特別な回路を散りばめて、非常に高速、高性能のものが完成した。本実験はその最初のものであるが、セカンドレベルトリガーでトリガーを減らしたあと、平均 7 KHz イベントレートで 20% の不感時間でデータを収集できた。

測定には水平方向に偏極したビームを用いた。偏極ビームはまず垂直に偏極した状態で AVF サイクロトロンで加速され、そののちリングサイクロトロンで再加速される前に超電導ソレノイド磁石で垂直方向から水平方向に回転させた。これをさらにリングサイクロトロンで加速してターゲット上に導く。水平方向の偏極度は加速後のビーム輸送系の 2 ヶ所に挿入したビームライン偏極度計でモニターした。実験では横方向偏極移行量 D_{SS} と縦方向の偏極移行量 D_{LL} を測定するために、加速器を調整して水平面内での回転角の異なる 2 種類ビームを用いた。ゼロ度散乱では垂直方向の偏極移行量 D_{NN} は D_{SS} に等しいので、 D_{SS} と D_{LL} を測定することで偏極移行量の全てを測定したことになる。

このような実験装置によって ^{12}C (p, p') ^{12}C 反応のゼロ度での散乱断面積、及び偏極移行量が励起エネルギー 5 MeV から

34 MeV までの領域で測定された。

測定結果のうち $0^+; T=0$ (7.65 MeV), $1^+; T=0$ (12.7 MeV), $1^+; T=1$ (15.1 MeV), の3つの離散励起状態に対して、偏極移行量の実験値を歪曲波ボルン近似 (DWIA) による計算値と比較した。有効相互作用としては、Franeý と Love の相互作用 (FL), 自由空間のパリ相互作用 (PF), 密度依存性を入れたパリ相互作用 (PDF) を使用した。 0^+ の0度における励起では、対称性から偏極移行量が $D_{SS}=1$, $D_{LL}=1$ と決まる。得られたデータはこの値と矛盾がなく、実験の精度の目安になっている。FL 相互作用は $1^+; T=0$ の励起の偏極移行量をよく再現することが分かった。この励起の偏極移行量は、有効相互作用の V_0 の大きさに敏感であるため、FL 相互作用では、 V_0 の値を良く記述していることが分かる。従来 FL 相互作用では、 V_0 の値はほとんど決められていないと考えられていたため、驚くべき一致と言える。FL 相互作用は $1^+; T=1$ 励起の偏極移行量も良く再現している。一方、PF と核物質理論から導かれた PD の相互作用では、 $1^+; T=1$ と $1^+; T=0$ の偏極移行量が再現できなかった。このことから両相互作用では、アイソベクトルテンソル相互作用 (V_{τ}^T) と V_0 の相互作用が正しく記述できていないと結論付けられる。

次に、炭素の励起状態の性質の研究する手段として、 $\Sigma \equiv (3-D_{SS}-D_{NN}-D_{LL})/4$, $S_{LL}-S_{SS} = (D_{SS}-D_{LL})/2$ なる量を導入した。平面波ボルン近似 (PWIA) による計算から、 Σ はスピン反転励起において1の値をとり、スピン非反転励起において0の値をとることが分かる。このことを利用して、炭素の巨大共鳴領域におけるスピン反転励起とスピン非反転励起の分離を行った。18.4 MeV と 19.5 MeV の励起強度はほぼスピン反転励起から成ること、22.5 MeV の励起強度は、スピン反転とスピン非反転の両方の励起からなることが分かった。一方、 $S_{LL}-S_{SS}$ の量は、スピン非反転励起において0の値、アイソスカラーのスピン反転励起において負の値、アイソベクトルのスピン反転励起において正の値をとることが PWIA 計算から予測される。この予測は、現在までに知られている炭素のアイソスカラースピン反転励起 (18.5 MeV, 20.5 MeV), およびアイソベクトルスピン反転励起 (19.5 MeV, 22.5 MeV) において確かめられた。

論文審査の結果の要旨

原子核の励起モードを探る上で、散乱角ゼロ度での測定はこれまでもアイソバリックアナログ状態、ガモフテラー状態あるいは巨大単極共鳴の発見等で主要な役割を果たし、重要視されてきたが、最も簡単で良いプローベとされる陽子非弾性散乱では実験技術上の困難さゆえに実現されていなかった。最近になって、本論文の申請者が属するグループは技術開発の末、その最初の実験に成功した。本申請論文は、これを更に発展させ、スピンを偏極させた陽子ビームによるゼロ度非弾性散乱を行ない、散乱後の陽子のスピン偏極量の変化を詳細に測定し、それに関連する理論的な考察も含めた研究についてまとめたものである。

核内で核力は自由空間での場合とは異なることが知られているが、どのように変化しているかは現在もわからない部分が多く、盛んに研究されている分野である。特にスピンスピン部分は大きさが小さいこともあり、最もわからない部分とされており、実験データが待たれていた。本研究はこれまでの断面積のデータに加えて、偏極移行量を精度良く測定することにより、これまではアイソベクトル型テンソル相互作用の影に隠れて見えなかったスピンスピン相互作用を確認することに成功した。その結果は最も単純な Franeý-Love 理論の方が実験をよく説明するという問題を投げかける結果になっているので、この方面の研究を大きく進展させることであろう。

また申請論文では偏極移行量の完全測定から連続状態への励起のなかでスピン反転励起を分離し、さらにアイソスカラースピン反転励起、アイソベクトルスピン反転励起を分離する方法を提案している。この方法はこれまでわかっている状態ではすべて成立しており、ゼロ度散乱のように散乱の機構が単純な場合には有効である。核応答関数の研究に新たな領域を拓くものとして重要である。

申請者らは、ゼロ度での散乱陽子の偏極度を測定するために、ビームが通過できる穴のあいた特殊なガスカウンターを準備した。またビームだけを4重極磁気レンズを用いて収束させて測定器から離れた場所で止めることでビームからのバックグラウンドを少なくし、実験を可能にした。

また散乱後の偏極度を精密に測定するには大量の実験データを効率良く収集せねばならず、高速データ処理系、およびセカンドレベルトリガー系の開発は必須であった。本研究を成功させるのに必要であったこれらの実験技術上の成果はすでにいくつかの実験技術関係の国際誌に発表されているが、実験方法としてもいくつかの新しい方法を確立したといえる。

申請論文は、ゼロ度陽子非弾性散乱で初めて偏極移行量を測定して、これまでわからなかった有効相互作用のスピンスピン依存項を確認した。また偏極移行量の完全測定から、連続状態への励起のなかで、スピン反転励起、アイソスカラースピン反転励起、アイソベクトルスピン反転励起を分離する方法を見いだした。

これらは有効相互作用研究に新たな問題を提起し、さらに核応答関数の研究に新たな領域を拓いたものとして評価できる。

なおこの申請論文の主な内容は、Physics Letters 誌にすでに掲載されている。

よって、本申請論文は博士（理学）の学位論文に値するものと認める。

また主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。