

氏名	かわ 川 はた 畑 たか 貴 ひろ 裕
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2559 号
学位授与の日付	平成 14 年 7 月 23 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・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Polarization transfer in the $^{16}\text{O}(p, p')$ reaction at forward angles and structure of the spin-dipole resonances (前方角度での $^{16}\text{O}(p, p')$ 反応における偏極移行とスピン双極子共鳴の研究)
論文調査委員	(主査) 助教授 坂口 治隆 教授 今井 憲一 教授 谷 森 達

論 文 内 容 の 要 旨

本申請論文は、陽子非弾性散乱の実験から ^{16}O 原子核のスピン双極共鳴状態を初めて確認したものである。

実験は大阪大学核物理研究センター (RCNP) に設置されている高分解能磁気スペクトロメータ Grand Raiden および論文申請者らが建設した焦点面偏極度計 (FPP) を用いて、また申請者がこの実験のために新たに開発した氷の標的で行った。実験はゼロ度を含む 6 度より前方の散乱角でのスピン偏極度測定が中心になっている。

^{16}O を標的核とした測定では、酸素の単体が気体であるため標的の作成が実験上の問題となる。酸素の標的としてはこれまで一般には金属酸化物やガス標的が用いられているが、減算法による不純物に起因するバックグラウンドの処理は統計的に不利であるばかりでなく、しばしばスペクトルの質的劣化をもたらす。本研究のように励起エネルギーが 20MeV 以上の高励起状態を問題にする場合はいかにバックグラウンドのないエネルギースペクトルを測定するかが本質的に重要な課題となる。これらの困難を克服するために、本研究では真空中において厚さ $30\text{mg}/\text{cm}^2$ の薄氷を 140K 以下の低温で保持する氷ターゲット装置を開発し、 ^{16}O の励起スペクトルの低バックグラウンド測定に成功した。この他、非弾性散乱を散乱角度 6 度より前方で測定すること、および散乱後のスピン偏極度を測定することなど、世界のよその研究所では真似することの出来ない高度の実験技術を駆使して測定を成功させた。

測定されたスペクトルは、全偏極移行 ($\Sigma = [3 - (D_{SS} + D_{NN} + D_{LL})]/4$) がスピン反転 (非反転) 励起に対して $\Sigma = 1$ (0) となる性質を利用して、スピン反転励起と非反転励起に分離された。その結果、巨大共鳴領域 ($E_x = 15 - 25\text{MeV}$) には $\theta = 0^\circ$ に断面積のピークを持つスピン非反転状態と $\Delta L = 1$ 遷移に特徴的な角分布を持つスピン反転状態 (SDR) が観測された。これらの測定より得られた結果は、

1. 前方ピークのスピン非反転励起は単極子励起 ($\Delta L = 0$) ないしは双極子励起 ($\Delta L = 1$) によるものと推測されたが、歪曲波ボルン近似 (DWBA) 計算を用いて過去の γ 線吸収実験と比較した結果 $\Delta L = 0$ の寄与は小さく、主に双極子共鳴によるものであることが判明した。
2. また、SDR のうち $E_x = 20.9, 22.1, 24.0\text{MeV}$ の 3 つの状態は、先に同定した双極子共鳴状態と同じ励起エネルギーと幅を持っているため、もともと同一 1^- 状態のスピン反転/非反転成分が個々に観測されたものと考えられる。一方、 $E_x = 19.0, 20.4\text{MeV}$ の SDR はスピン反転成分のみを持つことから 2^- と同定された。

である。本実験の結果を A. ブラウンによる大規模殻模型計算と比較すると、殻模型計算は SDR (2^- , 1^-) の分布をよく再現するが、 $E_x \leq 29.0\text{MeV}$ のスピン反転 (非反転) 励起の強度については、実験値が理論計算より約 35% (20%) 小さいと論文では報告している。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

原子核におけるスピン・アイソスピン励起は β 崩壊を引き起こす弱い相互作用と類似の演算子によって記述される。し

たがってこの励起モードは、原子核物理だけでなく、原子核によるニュートリノ吸収や元素生成といった宇宙物理学な観点からも重要である。本論文で取り上げているスピン双極子励起モードはその存在は予想されていたが同じスピン・アイソスピン型の励起モードであるガモフ・テラー型共鳴に隠れて実験的にはなかなか確認されていなかった。

本研究では、大阪大学核物理研究センターにおいて、 ^{16}O を標的とした陽子非弾性散乱の偏極移行量測定をおこなった。二重閉殻である ^{16}O は、ガモフ・テラー型励起が禁止されているため SDR の研究に適した原子核と言える。

酸素のスピン双極共鳴についてはこれまで陽子非弾性散乱あるいは (p, n) 反応で酸素の $T=1$, (2^- , 1^- , 0^-) 状態とアイソバリックアナログ関係にある ^{16}F の状態を調べることで多くの研究がこれまでになされてきている。しかし陽子非弾性散乱の場合はきれいなターゲットが得られなかったこと、あるいは前方での測定の難しさのために、また (p, n) 反応の場合はスピン偏極測定がなされていなかったことのために明確な結論が出せない状態であった。

本研究の実験面での特徴は

1. ゼロ度を含む超前方測定に成功した

ゼロ度の非弾性散乱を測定できる技術を持ったところは世界で1-2ヶ所しかないが、RCNPの場合は磁気分析器の2重収束性の良さと軌道追跡型のカウンターを用いることで実験装置に起因するバックグラウンドを完全に取り除くことに成功している。よそでは装置に起因するバックグラウンドを除くことができない。川畑君の場合のように高励起状態を扱う場合にはこのことが特に重要である。

2. 酸素ターゲットの困難さを克服した

ターゲットが常温ではガスであるので、バックグラウンドのため超前方測定が特に困難である。これを川畑君は自身のアイデアで Self-support の温度を -144 度以下に保った氷のターゲットを開発し、実験に成功した。この氷ターゲットは現在 RCNP で他の実験にも頻繁に使われ始めている。高励起状態を扱う場合には非常に重要になる。

3. 非弾性散乱のスピン偏極移行を測定してスピンフリップ、スピンノンフリップモードの分離に成功した。スピンドイポールモードの巨大共鳴を探索する際には決め手の情報になる。

であり、これまで諸外国で行なわれた測定の問題点をすべて解決したものになっている。

測定されたスペクトルは、全偏極移行 ($\Sigma = [3 - (D_{SS} + D_{NN} + D_{LL})]/4$) がスピン反転 (非反転) 励起に対して $\Sigma = 1$ (0) となる性質を利用して、スピン反転励起と非反転励起に分離された。その結果、巨大共鳴領域 ($E_x = 15 - 25 \text{ MeV}$) には $\theta = 0^\circ$ に断面積のピークを持つスピン非反転状態と $\Delta L = 1$ 遷移に特徴的な角分布を持つスピン反転状態 (SDR) が観測された。

1) 前方ピークのスピン非反転励起は単極子励起 ($\Delta L = 0$) ないしは双極子励起 ($\Delta L = 1$) によるものと推測されたが、歪曲波ボルン近似 (DWBA) 計算を用いて過去の γ 線吸収実験と比較した結果 $\Delta L = 0$ の寄与は小さく、主に双極子共鳴によるものであることが判明した。

2) また、SDRのうち $E_x = 20.9, 22.1, 24.0 \text{ MeV}$ の3つの状態は、先に同定した双極子共鳴状態と同じ励起エネルギーと幅を持っているため、もともと同一 1^- 状態のスピン反転/非反転成分が個々に観測されたものと考えられると結論している。一方、 $E_x = 19.0, 20.4 \text{ MeV}$ の SDR はスピン反転成分のみを持つことから 2^- と結論している。

当論文の実験の結果を A. ブラウンによる大規模殻模型計算と比較すると、殻模型計算は SDR (2^- , 1^-) の分布をよく再現するが、 $E_x \leq 29.0 \text{ MeV}$ のスピン反転 (非反転) 励起の強度については、実験値が約35% (20%) 小さいことを示した。このことは ^{16}O は Super Kamiokande や SNO などの巨大ニュートリノ検出器中に多数存在しており、理論計算に基づいているニュートリノ検出器の測定感度の修正を迫ることになる。

この実験では、陽子非弾性散乱の完全実験実現のために、申請者らは大型磁気スペクトログラフの焦点面上に設置する焦点面ポラリメーターを新たに完成させた。そのなかで申請者はとくにデータ収集の鍵をにぎる回路の一つを共同実験者の一人である竹田氏と発明し、世界でトップクラスの高速データ収集、転送を可能にした。この回路はデータ収集のパス上に介在して、ハード的に各データにイベント番号と付加情報を付け加えるものであるが、これによりデータ収集が並列化されたまたバッファ化されるので非常に重宝なものである。この回路は現在でも実験の第一線で使用されており、実験技術上の極めて大きな業績であると評価できる。

また氷のターゲットに開発も特筆すべきものとする。これまでの氷のターゲットは電子顕微鏡用のもので直径 3mm 小さく、原子核の散乱用のものとして直径 20mm もの大型のものを開発し、バックグラウンドの少ない実験を可能にした。実験技術の論文として同じ著者によりすでに公表されており、酸素の標的として他の実験にもぞくぞくと使われはじめている。これも実験技術上の極めて大きな業績であると評価できよう。

以上この申請論文は新しい実験技術を開発し、原子核の巨大共鳴の研究を飛躍的に進めたものとして高く評価できる。

なおこの申請論文は、Physical Review C に掲載が決定されている。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。