

論文審査の結果の要旨

氏名 笹野 匡 紀

本論文は、エネルギー 300 MeV における $^{116}\text{Cd}(p,n)^{116}\text{In}$ および $^{116}\text{Sn}(n,p)^{116}\text{In}$ 反応を用いて、 $^{116}\text{Cd} \rightarrow ^{116}\text{Sn}$ の 2 ニュートリノ 2 重ベータ崩壊の中間状態を実験的に調べた研究をまとめたものである。第 1 章では研究の背景と目的、第 2 章では (p,n) 実験の詳細、第 3 章では (n,p) 実験の詳細が述べられている。第 4 章で実験で得られた ^{116}In の励起スペクトルを示した後、第 5 章では、それらから多重極展開法を用いてガモフ・テラー (GT) 遷移強度分布を求める過程が示される。第 6 章では得られた GT 遷移強度分布と理論計算との比較が論じられ、第 7 章に結論が示されている。

2 重ベータ崩壊 $(A, Z) \rightarrow (A, Z + 2)$ は、親核 (A, Z) と娘核 $(A, Z + 2)$ の間の核 $(A, Z + 1)$ (中間核) が親核より重く、親核から中間核へのベータ崩壊が禁止される時におこる、非常に稀な核崩壊様式 (弱い相互作用の二次過程) である。

この崩壊ではニュートリノレス 2 重ベータ ($0\nu\beta\beta$) 崩壊と 2 ニュートリノ 2 重ベータ ($2\nu\beta\beta$) 崩壊の二つが考えられる。前者はレプトン数保存を破ることから標準理論を検証する目的で探索がなされているが、いまだ明確な証拠が確認されていない。一方後者は、すでに 10 個ほどの核種に対して半減期 ($\gtrsim 10^{19}$ 年) が測定されている。これら測定された半減期を説明するために、殻模型や準粒子乱雑位相近似 (QRPA) などを用いた計算がなされてきた。しかし、測定された半減期の精度が 10-30% であるのに対し、計算値は互いに 2 桁から 5 桁も異なる。その原因は、核構造に依存する核行列の不定性にあると考えられる。

$\beta\beta$ 崩壊は中間核 $(A, Z+1)$ を仮想中間状態とし、ベータ崩壊が 2 回連続して起きたものと考えられる。仮想中間状態は親核および娘核と GT 遷移 (角運動量移行量 $\Delta L = 0$ 、スピン移行量 $\Delta S = 1$ 、アイソスピン移行量 $\Delta T_z = 1$) で結ばれており、その GT 遷移強度分布は親核からの (p,n) 反応および娘核からの (n,p) 反応によって得ることができる。

そこで本論文では、もっとも代表的な $\beta\beta$ 崩壊核種の一つである ^{116}Cd において、親核 ^{116}Cd および娘核 ^{116}Sn の基底状態から、中間核 ^{116}In への GT 遷移強度分布を高い励起エネルギーまで導出して理論との比較を行い、核行列に関する知見を得ることをめざした。

実験は大阪大学核物理研究センターで行われた。 $^{116}\text{Cd}(p,n)^{116}\text{In}$ 反応の二階微分散

乱断面積は中性子飛行時間測定で得た。 $^{116}\text{Sn}(n,p)^{116}\text{In}$ 反応の二階微分散乱断面積は、 $^7\text{Li}(p,n)$ 反応で得られたほぼ単色エネルギーの中性子ビームと磁気分析器を用いて得た。得られた二階微分散乱断面積から多重極展開法、すなわち断面積の角度分布の形の ΔL 依存性に基づき、 $\Delta L = 0$ (GT 遷移) の成分を $\Delta L \geq 1$ の成分より分離する手法を用いて、GT 成分を (p,n) については励起エネルギー 50 MeV まで、 (n,p) については 30 MeV まで取り出した。更に GT 成分と GT 遷移強度分布の比例関係を用い、めざす GT 遷移強度分布を求めた。

これを準粒子乱雑位相近似 (QRPA) を用いた Álvarez-Rodríguez らの理論予測と比較したところ、理論は実験結果を再現しないことがわかった。特に、ガモフ・テラー巨大共鳴領域に対応する 5 – 15 MeV の励起エネルギーにおいて、理論値は実験結果の半分程度しか説明しない。このことは、理論予測が巨大共鳴領域を経由する遷移の寄与を核行列を過少評価していることを示す。

最後に、実験で得られた GT 遷移強度の各励起エネルギー毎の遷移強度の平方根で GT 遷移行列を置き換えて全ての中間状態の寄与を足すという近似で、 $0\nu\beta\beta$ の核行列として 0.32 ± 0.05 を得た (うち、GT 巨大共鳴領域のみの寄与が 0.202 ± 0.005 と全体の約 60% あり、巨大共鳴領域を経由する遷移が $2\nu\beta\beta$ 崩壊の核行列に大きく寄与することを示唆する)。この値は崩壊寿命測定によって得られた値 0.064 ± 0.007 より 5 倍大きい。この原因はエネルギーごとの行列要素の位相の違いによる打ち消しを無視したことによる。

本論文は、2重ベータ崩壊の親→中間核と娘核→中間核の双方の GT 遷移強度分布を研究した初めてのものとして評価できる。実験は論文申請者を含む 22 名の共同で行われたが、特に (p,n) 反応の実験、データ解析、理論との比較については論文提出者が主体となって行っており、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士 (理学) の学位を授与できると認める。