

ガモフ・テラー (GT) 遷移は、スピン及び荷電スピンのみを変化させる遷移で、弱い相互作用でおこる原子核反応が絡む宇宙現象の説明において鍵となる。遷移強度 $B(\text{GT})$ 値を測定するには、100 MeV/u 以上、 0° の荷電交換反応が使われる。散乱断面積と $B(\text{GT})$ 値の間に比例関係が成立し、ある 1 つの遷移の $B(\text{GT})$ 値をもとに他の状態への $B(\text{GT})$ 値を散乱断面積から導出できるからである。

pf 殻核を標的にした詳細な $B(\text{GT})$ 値の測定を目標にして、140 MeV/u、 0° の $(^3\text{He}, t)$ 実験を RCNP で進めた。超新星爆発の前段階で pf 殻核で構成される芯が崩壊するとき、 GT_- 遷移の β 崩壊と GT_+ 遷移の電子捕獲反応が、崩壊の速度を加速させる。爆発の模擬には、pf 殻核からの $B(\text{GT})$ 値が重要である。本論文では $T_z = +1$ の ^{42}Ca , ^{46}Ti , ^{50}Cr , ^{54}Fe を標的核とし、それぞれ $T_z = 0$ の ^{42}Sc , ^{46}V , ^{50}Mn , ^{54}Co への $B(\text{GT})$ 分布を研究した。それぞれのスペクトルの分解能、60, 33, 29, 21 keV で測定し、これらの原子核の微細構造が明らかになった。

$B(\text{GT})$ 値の導出には、 β 崩壊からは $T_z = -1 \rightarrow 0$ の荷電類似遷移の $B(\text{GT})$ 値が正確に測定されていないので、 $(^3\text{He}, t)$ 反応での GT 遷移と Fermi 遷移の単位散乱断面積の比で定義される R^2 値を用いた。 β 崩壊実験により正確に $B(\text{GT})$ 値が測定されている A の系に対し、 R^2 値を導出した。 R^2 値は A に対して緩やかに変化していた。A = 46 と 54 に対する R^2 値を求め、 $B(\text{GT})$ 値を導出した。A = 42 と 50 に対しては、互いに荷電スピ対称な $(^3\text{He}, t)$ と β 崩壊の測定を融合する解析を行い、 β 崩壊実験で予想される強度を見積もった。その強度を β 崩壊で測定された全半減期で規格化し、 $B(\text{GT})$ 値を導出した。

これら 4 つの原子核の $B(\text{GT})$ 分布を比較すると、A が増えるに従い $B(\text{GT})$ 分布が高励起状態へ移動する現象がみられた。実験値の $B(\text{GT})$ 分布を殻模型計算の分布と比較した所、微細構造は現在の殻模型計算で考えられているよりも複雑で、特に高励起状態の $B(\text{GT})$ 分布の再現が難しいことが分かった。

GT_+ 遷移の電子捕獲反応でおこる $T_z = +2$ の原子核への遷移強度 $B(\text{GT}_+)$ 値は、 $(^3\text{He}, t)$ で観測される $T = 2$ の状態への類似遷移の $B(\text{GT})$ 値から求められる。 $(^3\text{He}, t)$ で観測される状態は $T = 0, 1, 2$ であり、 T の同定が必要である。同定は $T_z = +1$ の原子核を標的にした (p, p') 実験で観測される荷電類似な $T = 1, 2$ の $M1$ 状態への遷移強度の比較により可能である。 $^{54}\text{Fe}(^3\text{He}, t)$ と $^{54}\text{Fe}(p, p')$ のスペクトルを比較し T を同定した。一部の $T = 2$ の状態は、 $^{54}\text{Fe}(t, ^3\text{He})^{54}\text{Mn}$ で観測された 1^+ 状態と類似な関係にあることも分かった。

このように、今まで未知であった pf 殻核の GT 遷移強度 $B(\text{GT})$ 値とその強度分布に関する多くの知見が得られ、また GT 遷移が絡む宇宙現象の説明の応用にも期待される。