

氏名	王 岩		
授与した学位	博 士		
専攻分野の名称	理 学		
学位授与番号	博甲第	5 6 0 5	号
学位授与の日付	平成29年 9月29日		
学位授与の要件	自然科学研究科 数理物理学専攻 (学位規則第4条第1項該当)		
学位論文の題目	Study of γ rays emitted from giant resonances of ^{12}C and ^{16}O (炭素・酸素原子核の巨大共鳴状態から放出される γ 線の研究)		
論文審査委員	教授 吉村 浩司	准教授 吉見 彰洋	教授 市岡 優典

学位論文内容の概要

ニュートリノと炭素・酸素原子核の中性カレント (NC) 反応によって放出される γ 線は超新星爆発時に放出されるニュートリノの検出に有用である。超新星爆発では全種類のニュートリノが平均エネルギー 10-20MeV を持って放出されるが、検出される主な信号は荷電カレント (CC) 相互作用による逆 β 崩壊反応 ($\bar{\nu}_e + p \rightarrow e^+ + n$) が主な信号である。だが CC 信号では反電子型のニュートリノしか検出できない。一方、2番目に多いと期待される中性カレント (NC) 信号ではミュー型やタウ型の(反)ニュートリノの検出が可能であり、超新星爆発の機構解明において非常に重要となる。NC 信号は超新星ニュートリノとの NC 相互作用により酸素・炭素原子核が巨大共鳴状態へと励起された後に放出される γ 線の検出により同定されると理論的に予想されているが、実験的にその放出機構や放出率は確認されていなかった。

そこで、392MeV の陽子ビームと磁気スペクトロメータを用いて、非弾性散乱反応により原子核を巨大共鳴状態へと励起させ、放出される γ 線を NaI(Tl) シンチレータで同時測定した。実験は大阪大学の核物理研究センターにて行った。その結果以下の新たな知見が得られた。

- 炭素・酸素原子核の巨大共鳴状態から放出される γ 線が世界で初めて系統的に測定された。放出される γ 線のエネルギースペクトルから、原子核は核子崩壊後に娘核の励起状態へ遷移し、その後 γ 線を放出する事が確認された。
- 巨大共鳴状態の励起エネルギー (16-34MeV) を 2MeV 毎に区切り、各領域での γ 線放出率が誤差約 10% の精度で得られた。その結果、多数の核子を放出するエネルギー閾値までは、励起エネルギーの上昇に伴い γ 線放出率も上昇し、その後は次第に減少する傾向が測定された。
- γ 線放出率の散乱角依存性を調べた。その結果、散乱角度が 3 度付近での γ 線放出率は 0.5 度付近の放出率よりも大きい値を持つことがわかった。0 度付近の散乱ではスピン非反転型の励起 (GDR) が支配的であり、4 度付近においてはスピン反転型の励起 (SDR) が支配的であることが過去の実験データで測定されている。よって、SDR は GDR よりも大きい γ 線放出率を持つ、つまり娘核の励起状態へと崩壊し易い事が示唆された。
- 炭素原子核の崩壊モデル計算を多数の核子を放出するエネルギー閾値まで行い、実験データと比較した。その結果、崩壊モデルが測定値を定性的に再現することが確認された。
- 測定された γ 線放出率を用いて、超新星爆発のニュートリノ観測で期待される NC 信号数の見積もりを行った。実験値を用いた見積もりは本研究が初めてであり、極めて有益な情報である。

論文審査結果の要旨

スーパーカミオカンデ（水チェレンコフ検出器）や KamLAND(液体シンチレータ検出器)等のニュートリノ実験で超新星爆発からのニュートリノの観測が期待されている。従来の観測では最も検出頻度の高い荷電カレント(CC)反応事象が主に用いられていたが、CC 事象は反電子型ニュートリノしか検出できないため、ミュー型やタウ型の（反）ニュートリノを検出することができる中性カレント（NC）反応事象が超新星爆発の機構解明において非常に重要になっている。NC 事象は、主にニュートリノの標的である酸素原子核および炭素原子核が巨大共鳴状態へ励起した後で放出される γ 線の検出により同定されるが、これまで実験的に測定されたことはなく、その放出機構や放出率の算出は理論計算に頼らざるを得なかった。

RCNP-E398 実験では、392 MeV の陽子ビームを用いて炭素、酸素原子核の巨大共鳴状態を精密な励起エネルギー毎に生成し、そこから放出される γ 線を世界で初めて観測し、 γ 線放出率の励起エネルギー依存性および散乱角依存性を前方（0-4 度）で測定することに成功した。これにより、励起状態の詳細な情報（励起エネルギー、スピンパリティ、アイソスピン等）をもとにして、原子核の崩壊モデル計算と実験データを比較することが可能となった。これらは今後の超新星爆発のニュートリノ観測の NC 事象の解析に極めて大きなインパクトを与えると期待される。

これらの成果は共同実験によるものであるが、王岩氏は、実験のデザインから携わり、ビーム実験によるデータ収集、データ解析まで、本質的な貢献をしている。特に解析については、スペクトロメータのキャリブレーション、 γ 線検出器の調整、実験データの物理的解釈など、主要な部分を修士学生と協力して行った。本審査会の発表、質疑応答においても、論文内容を明瞭に報告し、すべての質疑に的確に応答したことから、王岩氏が本研究において実験・解析全般を主導してきたことが窺える。

従って、審査委員会は、本論文が本審査に値するものであると判断する。