

研究種目：基盤研究（C） 一般

研究期間：2006～2009

課題番号：18540290

研究課題名（和文）原子核の新しい殻構造とスピン依存型遷移の理論的研究

研究課題名（英文） Theoretical studies on new shell structure of nuclei
and spin dependent transitions

研究代表者 鈴木 俊夫

日本大学・文理学部・教授

研究者番号：70139070

研究分野：

科研費の分科・細目：物理学、素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：殻模型、ガモフ・テラー遷移、磁気双極子遷移、テンソル力、
ニュートリノ-原子核反応、元素合成

1. 研究計画の概要

(1) 殻構造の変化がスピン依存型遷移に及ぼす影響を研究する。特に、中性子過剰核の磁気双極子遷移、ガモフ・テラー遷移、スピン双極子遷移における殻構造の変化による強度の増減や分散の特徴を明らかにする。

(2) 改良された殻模型ハミルトニアンを用いた核構造に基づいて、スピン依存型遷移によって引き起こされるニュートリノ-原子核反応の研究を行う。反応断面積が従来の結果と比べてどの程度変化するかを明らかにするとともに、超新星爆発時の星の中で元素合成に対する影響を調べる。

(3) スピン・アイソスピン依存型の核力、特にテンソル力と2体のスピン軌道力が殻構造の変化に果たす役割を明らかにする。

2. 研究の進捗状況

(1) 中性子炭素過剰核の電磁遷移の特異性、特に ^{17}C における磁気双極子遷移の減少の異常性と ^{6}C 、 ^{18}C における電気四重極遷移の特異性が、テンソル力成分とアイソスピン $T=1$ のモノポール項を改良をしたハミルトニアンによって殻構造の変化をうまく取り入れることで説明できることがわかった。

(2) ①新しい殻模型ハミルトニアンを用いて、超新星ニュートリノ、加速器ニュートリノによるニュートリノ-原子核反応の研究を行った。特に ^4He 、 ^{12}C からの荷電変換反応、中性カレント反応の断面積を求め、それらが従来の結果に比べて増大すること、この増大は超新星爆発時の元素合成、特に、軽核 ^7Li 、 ^{11}B の合成率の増大をもたらすことを示した。また、ニュートリノ振動の生成率への影響を

調べ、生成率の比 $^7\text{Li}/^{11}\text{B}$ が混合角 θ_{13} の値を決める一つの方法である事を再確認した。

② 一方、fp殻における新しい殻模型ハミルトニアンを用いて、 ^{56}Ni からのガモフ・テラー遷移、ニュートリノ-原子核反応の研究を行い、陽子放出断面積が従来のハミルトニアンの結果より増大し、Mn元素合成率も増大することを示した。ガモフ・テラー遷移強度の分布・分散の違いが、元素合成ニュートリノ過程に及ぼす影響の重要性を示した。

(3) 核力のテンソル成分の改良が、ドリップ線近傍での殻構造の進化・変化に重要な役割を果たしていることを明らかにした。特に、 ^{47}Ar での $N=28$ shell-gapの減少、K同位体での $N=20\sim 28$ の殻の進化・変化($d_{5/2}-d_{3/2}$ gapの変化)が、テンソル力の効果で説明できることを示した。二体のスピン・軌道力も特にp-s軌道間で重要であり、殻構造の進化に重要な役割を担っていることを示した。

(4) デルタ粒子の励起に伴う3体力が、アイソスピン $T=1$ のモノポール項の斥力補正をもたらすことを示した。

3. 現在までの達成度

② おおむね順調に進展している。

当初の計画どおり、テンソル力成分等を改良した新しいハミルトニアンを用いて、中性子過剰核、特に炭素同位体の殻構造の変化とスピン依存型遷移の特徴、異常を再現することに成功した。また、ニュートリノ-原子核反応に応用することによって、超新星爆発時の元素合成率が新しいハミルトニアンによって有意に変化することを示した。さらに、殻構造の変化に果たすテンソル力の重要性を具体的に明らかにすることができ、研究計画の概要に示した目的はほぼ達成できた。そ

の他にも、殻構造の変化を引き起こす核内核力の変化に3体力が重要な役割を担っている可能性を示すことができた。

4. 今後の研究の推進方策

(1) ニュートリノ-原子核反応の研究を Fe, Ni 同位体, La 等に拡張して、元素合成におけるニュートリノ過程の重要性を示す。

(2) 3体力によるモノポール項の補正が殻構造の変化に及ぼす影響を種々の同位体で調べるとともに、補正のオリジンを高次の効果まで入れてさらに探る。

(3) スキン、ハローの効果殻模型計算に本格的に取り入れることは今後の課題とする。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 8 件)

- ① T. Suzuki and T. Otsuka, “Exotic magnetic properties in ^{17}C ”, Phys. Rev. C **78**, 061301(R)/1-5 (2008). 査読有
- ② T. Yoshida, T. Suzuki, S. Chiba et al., “Neutrino-nucleus reaction cross sections for light element synthesis in supernova explosions”, The Astrophysical Journal **686**, 448-466 (2008). 査読有
- ③ H. Sagawa, X.R. Zhou, T. Suzuki and N. Yoshida, “Possible shape coexistence and magnetic dipole transitions in ^{17}C and ^{21}Ne ”, Physical Review C **78**, 041304 (R)/1-5 (2008). 査読有
- ④ T. Suzuki, S. Chiba, et al., “Advances in shell-model calculations and neutrino-induced reactions”, Prog. Part. Nucl. Phys. **59**, 486-493 (2007). 査読有
- ⑤ T. Suzuki, S. Chiba, T. Yoshida, T. Kajino and T. Otsuka, “Neutrino-nucleus reactions based on new shell model Hamiltonians”, Physical Review C **74**, 034307/1-9 (2006). 査読有
- ⑥ T. Suzuki and M. Honma, “Gamow-Teller transitions and neutrino-nucleus reactions based on new shell-model interactions”, Journal of Physics: Conference Series **49**, 35-40 (2006). 査読有
- ⑦ L. Gaudefroy, ..., T. Suzuki et al., “Reduction of Spin-Orbit Splittings at the N=28 Shell Closure”, Physical Review Letters **97**, 092501/1-4 (2006). 査読有
- ⑧ A. Gade, ..., T. Suzuki et al., “Evolution of the $E(1/21^+)-E(3/21^+)$ energy spacing in odd-mass K, Cl, and P isotopes”, Physical Review C **74**, 034322/1-5 (2006). 査読有

[学会発表] (計 11 件)

- ① T. Suzuki, ‘Structure of Light Exotic Nuclei’, The 3rd LACM-EFES- JUSTIPEN Workshop, Feb. 2009, Oak Ridge, USA
- ② T. Suzuki, ‘Exotic Electromagnetic Transitions in Neutron-Rich Carbon Isotopes’ Franco-Japanese Symposium on New Paradigms in Nuclear Physics, Sept. 2008, Paris, France
- ③ T. Suzuki, ‘Electromagnetic Properties of Neutron-Rich Li and C Isotopes’ The 5th International Conference on Exotic Nuclei and Atomic Masses (ENAM08), Sept., 2008, Ryn, Poland
- ④ T. Suzuki, ‘Spin Modes, Neutrino-induced Reactions and Nucleosynthesis in Stars’ International Conference on Nuclear Physics and Astrophysics: From Stable Beams to Exotic Nuclei, June 2008, Urgup, Turkey
- ⑤ 鈴木俊夫 「殻模型計算におけるテンソル力」、日本物理学会年会、2008年3月、近畿大
- ⑥ T. Suzuki, ‘Neutrino-Nucleus Reactions and Nucleosynthesis’, 10th International Symposium on Origin of Matter and Evolution of Galaxies (OMEG07), Dec. 2007, Sapporo, Japan
- ⑦ T. Suzuki, ‘Spin structure of stable and unstable nuclei and neutrino-induced reactions’, Trento Workshop on Exotic Modes of Excitations: from Nuclear Structure to Astrophysics, Oct. 2007, Trento, Italy
- ⑧ T. Suzuki, ‘Nuclear Structure and Nucleosynthesis’, Japanese-German Workshop on Nuclear Structure and Astrophysics, Sept.-Oct. 2007, Chiemsee, Germany
- ⑨ T. Suzuki, ‘Neutrino-nucleus reactions and nucleosynthesis’ 2nd International Conference on Frontiers in Nuclear Structure, Astrophysics and Reactions (FINUSTAR2), Sept. 2007, Agios Nikolaos, Crete, Greece
- ⑩ T. Suzuki, ‘Magnetic properties of light neutron-rich nuclei and shell evolution’ International Symposium on Physics of Unstable Nuclei (ISPUN07), June 2007, Hoi-An, Vietnam
- ⑪ T. Suzuki, ‘Advances in shell-model calculations and neutrino-induced reactions’ International School of Nuclear Physics, 27th Course, Radioactive beams, Nuclear Dynamics and Astrophysics, Sept. 2006, Erice, Italy