

Title	Gamow-Teller transitions in the light $N = Z$ odd-odd nuclei: Proton-neutron correlation and $SU(4)$ symmetry with clusters(Abstract_要旨)
Author(s)	Morita, Hiroyuki
Citation	Kyoto University (京都大学)
Issue Date	2019-03-25
URL	https://doi.org/10.14989/doctor.k21570
Right	
Type	Thesis or Dissertation
Textversion	ETD

京都大学	博 士 (理 学)	氏名	森田 皓之
論文題目	Gamow-Teller transitions in the light $N = Z$ odd-odd nuclei: Proton-neutron correlation and SU(4) symmetry with clusters		
(論文内容の要旨)			
<p>原子核構造は核力のスピン・アイソスピンの対称性により近似的にSU(4)対称性のある系である。ベータ崩壊の遷移において、この対称性のために、フェルミ型で強く遷移する終状態の近傍にガモフ・テラー型の遷移を強くもつ終状態が存在する。現実の原子核ではSU(4)対称性が破れているが、近年、軽い原子核領域で陽子数Z=中性子数Nが奇数の原子核($N=Z$奇奇核)において低エネルギー状態に強いガモフ・テラー遷移が発見され、SU(4)対称性と関連して注目されている。例えば、$^{42}\text{Ca} \rightarrow ^{42}\text{Sc}$における荷電交換反応の実験で見つかったガモフ・テラー遷移はSU(4)対称性を示す現象と考えられ、$N=Z$奇奇核におけるアイソスカラー型の陽子中性子対相関と関連付けて議論されている。また、$^{46}\text{Ti} \rightarrow ^{46}\text{V}$, $^{50}\text{Cr} \rightarrow ^{50}\text{Mn}$で観測されたガモフ・テラー遷移の強度の散らばり(フラグメント)は、変形とスピン軌道力によってSU(4)対称性の破れに起因するという解釈が提案されるなど、$N=Z$奇奇核のガモフ・テラー遷移が注目された課題となっている。</p> <p>p殻やそれよりも重い原子核で系統的な議論が進んでいる一方で、軽い$N=Z$奇奇核近傍核でのSU(4)対称性や2核子対についての理解は十分ではない。本論文では軽い$N=Z$奇奇核と近傍核の構造と低エネルギーガモフ・テラー遷移を理論的に研究し、陽子中性子相関とSU(4)対称性、および、ガモフ・テラー遷移への寄与を明らかにした。$N=Z$奇奇核の理論研究を行うため、まず、反対称化分子動力学(AMD)法をアイソスピン射影を含む形に拡張し、$N=Z$奇奇核のスペクトルに現れるアイソスピンの競合を適切に取り扱える手法を新たに開発した。</p> <p>この手法を用いて、p殻の$N=Z$奇奇核と^{22}Naの近傍でのガモフ・テラー遷移強度を系統的に研究した。$^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{22}\text{Na}$の基底状態$0^+1$からのガモフ・テラー遷移強度は異なる2つの$1^+0$状態にフラグメントするという結果を得た。このフラグメントは、基底状態で$K=0$を持っていた状態が$K=0, 1$を持つ状態に、スピン保存型とスピンスリップ型のガモフ・テラー演算子で遷移するために引き起こされる。この結果は、ガモフ・テラー遷移のフラグメントが変形とスピン軌道力によって生じるSU(4)対称性の破れに起因していることを意味する。</p> <p>一方、p殻核の場合には、いずれの核においても基底状態からのガモフ・テラー遷移強度が集中した終状態が得られ、SU(4)対称性が近似的に成り立っていることを示唆する結果を得た。特に、^6He, ^6Li及び^{10}Be, ^{10}Bでは、2核子対がαや2αのコア原子核に対して相対的に距離を保った状態が有意に含まれることを波動関数の解析で明らかにし、発達した中性子対と陽子中性子対の間でガモフ・テラー遷移が起こるということを指摘した。2核子対のガモフ・テラー遷移はSU(4)空間での回転として理解でき、軽い$N=Z$奇奇核においてSU(4)対称性が2核子対のクラスター化に起因すると解釈できる。また、p殻の2^+1励起状態におけるガモフ・テラー遷移についても系統的に研究し、同様にSU(4)対称性の観点で分類できるという知見を得た。2^+1励起状態は2核子の軌道角運動量が$L_{\text{NN}}=2$に励起した状態と変形によって原子核全体が回転する$L_{\text{core}}=2$状態に大別される。そのうち、$L_{\text{NN}}=2$に励起した状態からのガモフ・テラー遷移については大きくSU(4)対称性が破れるが、$L_{\text{core}}=2$に励起した状態からのガモフ・テラー遷</p>			

(続紙 2)

移ではスピン軌道力によるSU(4)対称性の破れの効果が小さいため、SU(4)対称性は保たれることも指摘し、軽いN=Z奇奇核の統一的な理解を与えた。

(論文審査の結果の要旨)

p殻およびsd殻領域におけるN=Z奇奇原子核の系統的な理論研究を行い、中性子-陽子対相関を、特に、低エネルギーのGamow-Teller遷移強度を通して調べた研究である。N=Z奇奇核における中性子-陽子対相関は近年注目された課題の一つであり、特に、最近の荷電交換反応によって低エネルギー状態に強いガモフ・テラー遷移が発見されたことを受けて、実験・理論の両面で急速に研究展開している興味深い現象である。にもかかわらず、N=Z奇奇核の理論研究は理論的な扱いの難しさから、偶偶核に比べて詳細な研究は限られていた。本研究ではまず、新しい理論的枠組みとして、反対称化分子動力学(AMD)法を拡張したアイソスピン射影AMD法を構築し、N=Z奇奇核のスペクトルの記述と、異なるアイソスピン状態の競合を扱うことに成功した。この手法は、軽い原子核構造の特徴であるクラスター構造と2核子対の発達を取り扱いにも適している。

この手法をp殻核のZ=N奇奇核(質量数A=6, 10, 14)とガモフテラー遷移先の隣接核、および、sd殻核である ^{22}Na , ^{22}Ne (A=22)の構造を研究に適用し、2核子対の形成・発達を系統的に研究するとともに、ガモフ・テラー遷移における2核子対相関の役割を解明した。波動関数の解析において、2核子対の空間分布を顕わに示すことで対相関の空間的発達について定量的な議論を行っている。また、ガモフテラー遷移の強い状態をSU(4)対称性の観点で解析し、遷移先の週状態をスピン・フリップ回転状態として分類し、2核子対相関について新しい観点での知見が得られている。

p殻核の場合には、クラスター芯と2核子対が形成されることを系統的に示し、2核子対の形成と空間的発達によって、近似的にSU(4)対称性が成り立つことを明らかにした。その結果として、ガモフ・テラー遷移強度の集中が起こることを提案し、ベータ崩壊や荷電交換反応で観測された実験データを説明できることを示した。

一方、この手法をsd殻領域の原子核として質量数A=22の系にも適用し、p殻原子核との類似性と相違点をガモフテラー遷移の観測データと結び付けて議論した。

$^{22}\text{Ne} \rightarrow ^{22}\text{Na}$ の基底状態 0^+1 からのガモフ・テラー遷移強度が2つの 1^+0 状態にフラグメントするという実験事実は、強度が集中しているp殻核の状況との違いを示す。本研究では、このフラグメントを理論計算で説明することに成功し、変形した芯原子核と陽子中性子対におけるSU(4)対称性と破れによって理解できることを示した。すなわち、変形芯の表面に形成された陽子中性子対がもつスピン(S=1)について、芯から受けるスピン軌道力の効果でスピン対称性が破れ、スピンの向きの異なる2つの状態(K=0とK=1)の縮退が解けることがガモフ・テラー遷移のフラグメントの要因である。同様に変形芯と2核子対をもつ ^{10}B との比較解析によって、スピン軌道力質量数の小さい原子核ではスピン軌道力の寄与が弱いためにSU(4)対称性が保たれるという相違点を明らかにした。新たに開発した理論手法に基づいた一連の研究によって、ガモフ・テラー遷移現象を陽子中性子対の形成およびSU(4)対称性の観点で系統的に議論し、新しい知見を明らかにしたことは重要な研究成果であり、奇奇核の系統的な実験データを説明することに成功したことは高く評価できる。

よって、本論文は博士(理学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成31年1月18日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公表可能日： 年 月 日以降