

論文名：連続状態乱雑位相近似に基づく直接中性子捕獲反応の理論的研究（要約）

Title of Doctoral Thesis: Theoretical study of continuum random-phase approximation for direct neutron capture reaction

新潟大学大学院自然科学研究科

氏名 齊藤 照之

（以下要約を記入する）

中性子過剰核は弱束縛の中性子を有し、それによって中性子ハローや中性子スキン、pygmy 共鳴などといった安定核には見られないエキゾチックな振舞いを呈する。また、中性子過剰核は鉄より重い元素の半数の起源とされている **r-process** に深く関与する。これは中性子過剰な環境下で原子核が次々と中性子を捕獲し、より重い元素を合成する過程である。中性子過剰核は不安定であり、実験データが乏しいため (n, γ) , (γ, n) 反応などは理論的に予測することが不可欠である。**r-process** 研究における中性子捕獲は 2 つの反応機構、複合核過程 (compound process) と直接過程 (direct process) によって評価される。前者は Hauser-Feshbach の方法によって記述される。一方で後者の記述については、主に比較的単純なモデルである平均場描像に基づく一粒子運動モデル (single particle motion, potential model) が用いられるのが現状である。

そこで本研究は密度汎関数理論 (density functional theory, DFT) に基づく連続状態乱雑位相近似 (continuum random-phase approximation, cRPA) によって直接中性子捕獲を理論的に定式化する。特に中性子を捕獲後に励起状態を形成する合成核種 A^* が γ 放出し、より低エネルギー領域の離散的励起状態 A^{**} へ遷移する励起-励起状態遷移チャネル $(A-1) + n \rightarrow A^* \rightarrow A^{**} + \gamma$ の評価方法を新たに構築した。これは線型応答理論 (linear response theory) においてある特殊な非局所一体演算子に対する線型応答を考えることで励起状態間遷移行列要素を持つ強度関数を構成する。そして、この強度関数を分解することで励起-励起状態遷移チャネルの直接中性子放出断面積を記述し、これを詳細釣り合いを用いて逆過程の直接中性子捕獲過程に変換する。

この新しい直接中性子捕獲の理論は巨大共鳴 (giant resonance) をはじめとして RPA で扱える集団運動状態を考慮した理論となっており、その点で一粒子運動モデルを越えたモデルとなっている。更に核子自由度のみから記述するので、その意味で微視的なモデルにもなっている。加えて、一粒子連続状態を離散化せずに扱う Green 関数の手法を用いた理論にもなっているため、低エネルギー励起であっても容易に連続状態の配位混合が起こるような中性子過剰核の記述に適している。そもそも捕獲する自由中性子が連続状態であることから言ってもこの手法は自然に適ったものである。

デモンストレーションとして本研究では閉殻原子核でありかつ中性子過剰核である ^{140}Sn について球対称性を仮定し、平均場に Woods-Saxon ポテンシャル、残留相互作用に Skyrme 型を用いて数値計算を行った。離散的 low-lying RPA 励起状態として 1st 2^+ , 2nd 2^+ , 1st 3^- と取り上げ、それらの励起状態と離散・連続スペクトル上の 1-, 2+, 3- 励起状態間の $E1, E2, E3$ 遷

【別紙 2】

移の強度関数の数値計算結果を示す。また、それらを用いて計算した光放出分岐比の結果も議論した。更に、 ^{139}Sn の基底状態が中性子を捕獲し ^{140}Sn を合成する直接中性子捕獲過程について、E1, E2 遷移を含む励起-励起状態遷移チャンネルの直接中性子捕獲断面積の数値計算結果を示す。RPA 相関がない場合、即ち一粒子運動モデルとの比較を行い、核子自由度の観点から相関や集団運動状態の影響を定性的、定量的に調べた。

通常基底-励起状態間遷移の強度関数に見られるような巨大共鳴からなる resonance のピーク構造とは大きく異なり、励起状態間遷移の強度関数は low-lying 励起状態の粒子空孔配位を強く反映した多様な構造を有する。集団運動状態の存在によって E2 による γ 崩壊が E1 の場合よりも光放出分岐比において優勢になる場合が見られた。また、相関による配位混合の影響によって直接中性子捕獲において一粒子運動モデルでは選択則から禁じられるようなチャンネルが開いたり、各種集団運動状態の存在によって断面積が飛躍的に増大するなどの結果が得られた。