

平成 21 年度大型シミュレーション実施報告書

京都大学基礎物理学研究所 延与佳子

研究課題

「対称化分子動力学を用いた核構造に関する研究」

課題番号：大型 10-06

I. 研究組織

研究責任者：延与佳子 京都大学基礎物理学研究所 准教授

研究従事者：木村真明 北海道大学創成研究機構 特任助教

II. 平成 22 年度の実施報告

II-1. クラスターの励起状態の構造研究

反対称化分子動力学法を用いて不安定核と安定核の励起状態の構造研究を行った。特に最近注目されている軽い核領域の励起状態のクラスター構造に注目し、クラスター気体状態、クラスター数珠構造の探索などを行った。

拘束条件を課した変分計算に基づく AMD 法を適用して基底状態および励起状態の構造計算を行った。前年度までに、四重極変形度に拘束をかけた AMD 法を 9Li, 10Be, 11B, 12C 原子核に適用し、この手法が有効であることを確かめている。この手法を用いて得られた理論結果を解析し、励起状態に出現するクラスター構造を詳細に調べた。

C 同位体において 3つの α クラスターから形成されるクラスター気体的な状態およびポリマー状態を研究し、14C 原子核における 3 α チェーン構造が励起状態に現れることを理論的に示唆した。11B においても、2 α + t から成る 3 体クラスター構造が注目されている。特にごく最近の実験で見つかった励起状態が、11B(3/2⁻₃) 状態 (3 番目の 3/2⁻ 状態) を band head とした回転帯のメンバーである可能性を指摘した報告があり、理論結果との比較検討を行った。我々の理論結果では、11B(3/2⁻) 状態は 2 α + t の 3 つのクラスターが弱く結合した状態であることが示唆されている。その意味で 11B(3/2⁻₃) 状態はクラスター気体のような構造を持つと考えられる。一方、B(E2) の遷移強度を解析すると、11B(3/2⁻₃) 状態に比較的強い遷移を起こす状態群が存在する。これらの状態の多くは発達したクラスター構造を持つが、11B(3/2⁻₃) の場合と違って、3 つのクラスターが幾何学的な配置に並んでいる成分が主成分であるので、クラスター気体でないと考えられる。この状況は、12C におけるクラスター

一構造と非常によく似ている。 $11\text{B}(3/2^-_3)$ 状態のクラスター気体の性質を含めて、現在、より詳細な解析を行っている。

II-2. ダイニュートロン相関の研究

He 同位体においては、これまでに AMD 波動関数を 100 個程度重ね合わせて構造を記述し、例えば 8He における基底状態と励起状態の詳細な波動関数を得ている。 6He や 8He では α クラスター芯が形成され、その周りに余剰中性子が束縛された構造が出現することがわかった。2つの余剰中性子がスピンゼロの対を形成したダイニュートロン相関を調べるために、得られた波動関数における 2 体密度を計算し、空間的に強い相関をもつ 2 中性子対 (ダイニュートロン) が核表面に見られるかどうか調べた。その結果、 8He の基底状態は $p3/2$ 閉殻構造にスピンゼロに組んだ中性子対が核表面に存在する成分が混ざっており、二中性子相関が重要であることがわかった。ただし、基底状態での二中性子成分は、芯から離れるとすぐに小さくなり、 6He 基底状態がもつようなダイニュートロン成分の遠方への広がりは見られないことがわかった。定量的には、二中性子密度と、1 体の中性子密度の 2 乗を比較することで、ダイニュートロン相関の強さを評価できる。興味深い点として、2 中性子相関が微視的には波動関数の重ね合わせによって増大するという結果が得られたことは、1つのスレータ行列式に基づく平均場理論においては 2 中性子相関が抑制されるという重要な結果を示唆する。

II-3. Oblate 変形構造におけるクラスター構造と 1 次元密度波

さらに質量数の大きな 28Si およびその近傍原子核について、クラスター構造と内部構造の対称性について研究した。特に、 28Si における 5 角形構造に注目した。

28Si においては、古くから $K=5$ -回転帯の存在が実験的に知られており、 28Si における 5 角形対称構造と関連して議論することができる。AMD 計算を用いて 28 個の核子自由度を扱った構造計算を行うと、7 個の α クラスター構造が 5 角形に配置された構造が現れる。この 5 角形対称性を持つ内部構造をパリティおよび角運動量固有状態に射影した状態は、 $K=0+$ と $K=5$ -回転帯を形成する。AMD 計算では、基底回転帯および $K=5$ -回転帯に関する E2 遷移強度などの実験値をよく再現することができた。さらに一粒子波動関数を解析した結果、7 α クラスター構造で形成された 5 角形構造は、扁平に変形した内部構造 (oblate 変形) の軸対称性の自発的破れと理解することができ、静的な Density wave (密度波) として理解できることがわかった。同様の議論を 12C における 3 α クラスター構造からくる三角形構造を、oblate 変形における軸対称性の自発的破れとしての密度波で説明できるという新しい理論的解釈を得ている。密度波による軸対称性の自発的破れ (Spontaneous symmetry breaking: SSB) という見方に立つと、SSB が最も起こりやすいのは陽子数と中性子数の数が同じ $Z=N$ 原子核における coherent な密度波の場合であると言える。逆に、 $Z \neq N$ 核では SSB が生じにくく、その性質が基底状態におけるクラスター減衰の 1 要因であると解釈することができる。