

原子核パート

8/6 (金) 研究会 1

- 15:30 – 15:55

松本 萌未 (東北大学)

「核子座標の最頻値を用いたクラスター構造の解析」

一般に、理論計算で得られた量子多体系の波動関数は、非常に多くの多体相関の情報を含んでいる。にもかかわらず、原子核分野においては、多くの場合波動関数に含まれる情報のほとんどを積分消去した量 (1 体・2 体密度行列) の解析が行われてきた。一方で、近年、量子化学の分野において、全電子間の相関の情報を引き出し可視化する方法が開発され、分子系の構造の研究に応用されている。そこで我々は、そのような方法を原子核系に対して応用することを試みる。その最初の段階として、N 核子系の波動関数の 2 乗が最大となるような N 個の位置とスピンの組を求めることで、最も確率の高い核子の配置を可視化する。本講演では、この方法を p 殻および sd 殻核の Hartree-Fock 波動関数、および対相関を含む Hartree-Fock+BCS 波動関数に適用し、結果の比較を行うことによってクラスター構造に対する対相関の効果について議論する。

- 16:00 – 16:25

山本 昌幸 (大阪市立大学)

「 3α 換算幅振幅を用いた ^{12}C の構造解析」

^{12}C 原子核の励起状態の構造分析において、 3α クラスター模型がよく用いられている。 ^{12}C 原子核の量子状態の構造については模型波動関数との重なりに基づいて議論されてきた。しかし 3α の相対波動関数を直接解析していないため、3つの α 粒子がどのように空間的に相関しているかは、模型依存性が強くなり不明瞭である。したがって、模型依存性が少ない手法を用いて 3α 相関を解析することが必要である。具体的な手法としては、まず Brink 模型について 3α の配置を生成座標とした生成座標法を用いて、 ^{12}C の 0^+ 状態の固有波動関数を求める。得られた波動関数から 3 体の換算幅振幅 (3α 換算幅振幅) を評価し、各 0^+ 状態における 3α 相関を解析する。解析に当たっては、特定の幾何学的配置を持つクラスター状態の換算幅振幅と比較することで、各 0^+ 状態でどのような構造が実現しているかを理論的に明らかにする。

- 16:30 – 16:55

天野 翔太 (近畿大学)

「動力学模型を用いた融合反応における接線方向の摩擦と入射エネルギーの依存

性]

低エネルギー重イオン反応では、ほとんどの運動エネルギーが散逸する。これは比較的軽い反応系で成立し、融合障壁を透過していれば融合の障害とはならないが、重い系になると散逸効果が融合反応にかなり影響を及ぼす。この散逸効果は二核（入射核と標的核）が十分接近すると働き始め、その際二核間には接線方向の摩擦が強く作用し始める。この摩擦は軌道角運動量の一部を核スピンの転化することで遠心力ポテンシャルを下げ、融合に有利に働くことが考えられているが、この摩擦の大きさは不定とされてきていた。

本研究では動力学模型を用いた超重核領域の計算により、この摩擦の大きさが入射エネルギーに依存することが明らかとなった。これは接線方向の摩擦が超重核における融合反応において無視できないことを示している。さらに核分裂片の質量分布および運動エネルギーを解析した結果の報告も行う。

8/6 (金) 研究会 2

- 17:30 – 17:55

渡辺 証斗 (北海道大学)

「チャンネル結合光学模型を用いた核子-原子核散乱に対するポテンシャルの最適化」

核データの生成は従来であれば、専門家の手作業によって行われるため、人的、時間的コストがかかる。近年、データサイエンスの発展に伴い、核データを機械学習を用いて生成する試みがなされているが、先行研究の手法では物理的な背景を無視しており、実用に足りうる核データの生成は難しいと考えられる。そこで、実験データを直接補間せず、チャンネル結合光学模型を機械学習を用いて最適化することで、実験データを再現する核データを生成することを着想した。

実際に、少ないデータセットを再現するように少数の光学パラメータを最適化する予備計算を行ったところ、データセットを十分に再現する核データを生成することができた。また、最適化の結果、パラメータ間の相関を確認することもできた。以上のことをまとめ発表する。

- 18:00 – 18:25

李 東ウク (九州大学)

「Three-body structure of $\alpha \Xi N$ system and ΞN interaction」

現在、J-parc で Ξ ハイパー核の研究が精力的に行われている。ハイパー核とは核子に加えて、1つ以上の s クォークを含むバリオン (ハイペロン) が含まれる原子核を指す。ハイパー核を考慮することで、2次元の核図表はストレンジネス S を z 軸とした 3次元に拡張され、どのようなハイパー核が存在するかを理論的に予測

することが原子核物理において重要な課題である。

本研究では軽い Ξ ハイパー核である ${}_{\Xi}^6\text{Li}$, ${}_{\Xi}^6\text{He}$, ${}_{\Xi}^6\text{He}$, ${}_{\Xi}^6\text{H}$ に注目する。これらを $\alpha + \Xi + N$ の3体系としてみなし、ガウス関数基底展開法を用いて構造計算を行う。 ΞN 相互作用として、Nijmegen hard-core model (ND), Extended soft-core model (ESC04), HAL を用いた3通りの計算を行った。本研究では Ξ ハイパー核の束縛エネルギー、粒子間平均距離などを計算し、ハイパー核の存在可能性を議論した。

- 18:30 – 18:55

村上 耕太郎 (京都大学)

「格子 QCD を用いたメソン-バリオン相互作用の解析によるバリオン 10 重項の研究」

バリオン 10 重項のほとんどは共鳴状態である。例えば、 Δ バリオンは P 波の π 中間子-核子系に崩壊する。一方 Ω バリオンは安定であるが、P 波の \bar{K} 中間子- Ξ バリオン系と同じ量子数を持つ。我々は HAL QCD 法によるポテンシャルを媒介したメソン-バリオン相互作用の解析を行い、これら 2 つのバリオンの性質の違いを調べる。その際、本研究では 3 クォーク型のソース演算子を用い、必要となる all-to-all 伝搬関数をノイズ法と AMA 法を組み合わせる。また、本研究では π 中間子が重いところで計算を行う。このとき、 Δ バリオンおよび Ω バリオンはどちらも安定な状態として存在する。本講演では得られたポテンシャルおよびそれらから得られる観測量から、2 つのメソン-バリオン相互作用および相当するバリオン 10 重項の振る舞いの違いを議論する。

8/7 (土) 研究会 3

- 15:00 – 15:25

五十嵐 律矩 (新潟大学)

「ツイスト 3 グルーオン破碎に関わる電子陽子深非弾性散乱における横偏極ハイペロン生成過程の断面積」

スピンの進行方向に対して横偏極した粒子が 1 つだけ登場する高エネルギー包含過程の反応断面積がスピンの向きに依存する現象はシングルスピン非対称 (SSA) と呼ばれる。従来、無偏極高エネルギー包含過程の記述に成功していたパートン (=クォーク, グルーオン) 模型と摂動論的な量子色力学 (QCD) では説明できない現象であったが、近年の研究により、パートン間の量子多体相関を反映した「ツイスト 3」機構により引き起こされることが明らかになっている。本研究では 2030 年までに稼働予定の Electron-Ion Collider (EIC) 実験で観測予定の電子-陽子深非弾性散乱における横偏極ハイペロン生成過程を扱う。この過程には次の 3 つの種類が SSA に寄与する：(i) 入射陽子に対するツイスト 3 分布関数, (ii) 終状態横

偏極ハイペロンに対するツイスト 3 クォーク破砕関数と(iii)ツイスト 3 グルーオン破砕関数の寄与である。ここでは(iii)に対する QCD 結合定数の主要項近似で断面積公式の導出を行う。既に計算が為されている(i),(ii)と併せて、この研究は将来の EIC 実験の解析に有用である。

- 15:30 – 15:55

衣川 友那 (東京都立大学)

「不安定状態の弱束縛関係式のレンジ補正による改良」

観測されるハドロンのほとんどはクォーク 3 つまたはクォーク反クォーク対の状態であり、それ以外のはエキゾチックハドロンと呼ばれる。我々はエキゾチックハドロン候補の内部構造をモデル非依存に求めたいと考え、弱束縛関係式に注目した。弱束縛関係式は弱束縛の系の内部構造を決定できるもので、その系がどのくらいハドロン分子的かを示す量である複合性を観測量から見積もることができる。ハドロン分子とはハドロンが弱束縛した状態で、エキゾチックハドロン候補の取りうる内部構造と考えられているものの一つである。しかし、有効レンジが散乱長に比べて大きい系に弱束縛関係式を適用すると、複合性を正しく見積もれないことから、弱束縛関係式に有効レンジの影響を取り入れたレンジ補正が必要であることがわかった。我々は不安定状態での弱束縛関係式のレンジ補正を提案し、数値計算を用いて改良の妥当性を評価した。その結果、改良した弱束縛関係式の方が適用範囲が広いことがわかり、妥当な改良ができた。

- 16:00 – 16:25

花井奏太 (慶應義塾大学)

「中性子星・超新星のカイラル輸送現象に起因した重力波」

一般に天体の内部構造は宇宙物理学の基本的な問題であるが、星震 (地球で言う所の地震) を解析することで、これを調べるのが星震学である。特に、中性子星や超新星の場合、星震に伴って重力波を放出すると考えられている。

一方、超高温・超高密度領域では相対論的なフェルミオンが実現しており、そのカイラリティに由来する新たなタイプの量子輸送現象であるカイラル輸送現象が現れる。その代表的な例が、磁場方向のカレントであるカイラル磁気効果や、系の回転軸方向のカレントであるカイラル渦効果である。これらのカイラル輸送現象に伴って、それぞれカイラル磁気波、カイラル渦波と呼ばれる波が誘起されることが知られている。

以上のようなカイラル波は、中性子星や超新星内部でも実現すると期待できる。本発表では、1. 磁場中の中性子星内部の電子物質やクォーク物質、2. 回転する超新星内部のニュートリノ物質の 2 つの状況で、カイラル磁気波とカイラル渦波によ

り生じる新たなタイプの重力波について議論する。

8/7 (土) 研究会 4

- 17:00 – 17:25

西淵 択磨 (東京都立大学)

「共鳴状態としての Ξ 励起状態の性質の解明」

$\Xi(S = -2, I = 1/2)$ の励起状態である $\Xi(1620)$ や $\Xi(1690)$ はこれまで多くのモデル計算が行われてきたが、実験データが少ないことからその物理的性質についてはあまり解明されていなかった。近年になり、Belle 実験により $\Xi_c \rightarrow \pi \pi \Xi$ 崩壊の不変質量分布が観測され、先述の $\Xi(1620)$ や $\Xi(1690)$ の詳細なデータが得られ、理論的な解析が求められている。本研究では、カイラルユニタリー法を用いたメソンバリオン散乱振幅の数値計算を Ξ 共鳴を動的に生成する。また、不変質量分布の理論的計算を行い、Belle 実験の崩壊過程のデータと比較することで、 Ξ の励起状態のスピンやパリティといった物理的性質の解明を目指す。

- 17:30 – 17:55

金 龍熙 (九州大学)

「ダイクォーク模型による T_{QQ} テトラクォークの構造」

現代において、エキゾティックハドロンは様々なクラスター構造の仮定のもとで理論的に解析されている。 T_{QQ} テトラクォークはその一つであり、2つの重いクォークと2つの軽い反クォークにより構成されている。特にボトムクォーク2つを含む T_{BB} テトラクォークについては、束縛状態にて安定して存在できるということが数々の理論計算で予想されている。本研究では、「ダイクォークのカイラル有効理論」から得られたダイクォーク模型とポテンシャルを用いる。そして、 T_{QQ} テトラクォークを重いクォーク2つと反ダイクォーク1つの3体系とみなし、エネルギースペクトルとその構造を比較・考察する。

- 18:00 – 18:25

寺島 伊吹 (東京都立大学)

「クォークとハドロンの自由度を含む結合ポテンシャルの解析」

クォークは自然界では単独で存在しておらずカラーが無色となるように結合したハドロンとしてのみ存在している。この現象はカラーの閉じ込めと呼ばれその原理は未だ未解明である。これは、クォーク間ポテンシャルのみを考えるとクォーク間距離が十分大きいときはポテンシャルが発散することにあらわれている。一方で、ハドロン間ポテンシャルはハドロン間の距離が十分大きいときにゼロに収束することが知られている。では、両方の結合を考えたときには互いのポテンシャル

にどのような影響を与えるのであろうか？本発表では、クォークの自由度をもつ閉じ込めポテンシャルとハドロンの自由度をもつ散乱ポテンシャルの 2 チャンネル結合問題を設定し、一方を消去したとき他方にどのような結果をもたらすかについて議論する。