

学 位 審 査 報 告 書

(ふりがな)	ふくかわ けんじ
氏 名	福川 賢治
学位(専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理学研究科 物理学・宇宙物理学 専攻
(学位論文題目) Nucleon-Deuteron Scattering Described by a Quark-Model Nonlocal Gaussian Potential (クォーク模型非局所ガウス型ポテンシャルによる核子-重陽子散 乱の記述)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 藤原義和 講師 青山秀明 教授 延與佳子 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士 (学)	氏名	福川賢治
論文題目	Nucleon-Deuteron Scattering Described by a Quark-Model Nonlocal Gaussian Potential		

(論文内容の要旨)

核子間相互作用(以下、核力と呼ぶ)は、原子核物理にとって基本的な相互作用である。特に少数核子系においては、重陽子系及び 2 体の散乱データを正確に再現する、いわゆる、現実的な核力から、余分なパラメーターを付け加えることなく計算を遂行することができるので、特別な意味を持っている。現実的な核力としては、核力研究の初期の段階から存在する中間子交換ポテンシャルのほかに、量子色力学の対称性を尊重したカイラル摂動論によるポテンシャルや、構成子クォーク模型に基づくクォーク模型バリオン間相互作用が存在する。本研究において用いたクォーク模型バリオン間相互作用は、2つの核子をそれぞれ3つのクォークからなるものとして、原子核のクラスター構造の研究に広く用いられている共鳴群法を用いて構築された複合粒子間相互作用である。そこでは核力の近距離斥力は Fermi-Breit 相互作用の非局所積分交換核で記述されている。この記述は、中間子交換模型における現象論的な記述とは大きく異なる。近距離領域におけるクォーク模型バリオン間相互作用の持つ off-shell 性の効果の研究は、本研究以前に既に 3 重水素系においてなされている。中間子交換模型による核力を用いた計算では束縛エネルギーは 0.5 - 1 MeV 不足するのに対し、クォーク模型バリオン間相互作用 fss2 による計算では約 0.35 MeV の不足にとどまることが知られている。本論文では、核力の off-shell 効果が 3 体散乱系にどのような影響を及ぼすか調べるため、fss2 を 3 体散乱系での量子力学的な厳密計算である Alt-Grassberger-Sandhas (AGS) 方程式による解析に適用し、核子-重陽子弾性散乱の位相差や重陽子分解反応過程を含む様々な散乱観測量を検討した。

この研究では、AGS方程式中に表れるdeuteron poleによるsingularityをNoyes-Kowalskiの方法、3体のfree Green函数によるmoving singularityをスプライン補間とsubtractionの方法で処理し、様々な散乱観測量を計算した。まず、光学定理に基づき全微分断面積の計算を行った。これは、重陽子分解反応過程の全散乱断面積に対する計算も含んでいる。更に、phase shift と中性子-重陽子弾性散乱のS波散乱長の計算を行った。これらの結果から、fss2 がスピン 2 重項のS波チャンネル(2S)において中間子交換模型AV18よりも引力的であり、AV18+3体力の計算結果に非常に似ていることが明らかになった。これらの結果は重陽子の壊れる過程が重要である 2Sチャンネルにおいて、核力の近距離斥力の記述が重要な役割を果たすことを示している。また、多量にある陽子-重陽子散乱実験データとの比較を行うために、screened Coulomb forceを導入して、全波動関数の異なる2つの表現に対してつなぎの条件を課すことにより、陽子-重陽子系の散乱観測量を計算した。波動関数に接続条件を課すという方法はsharp cutoff Coulomb forceにおけるVincent-Phatakの方法を一般のscreened Coulomb forceに拡張したものである。核子の入射エネルギー65 MeVまでの中性子-重陽子及び陽子-重陽子弾性散乱系の微分散乱断面積や様々な散乱観測偏極量を検討した。その結果、核子及び重陽子のベクトル型偏極分解能については多少実験との不一致はあるものの、様々な観測量を全体的に良く再現することが明らかになった。クーロン力を含んだ陽子-重陽子系の計算結果は、前方の核力とクーロン力が干渉する領域で非常によく実験データを再現するが、クーロン力のもつ長距離性を元来のAGS方程式の枠組のみで扱うことは難しく、理論的にはなお様々な課題が残っている。微分散乱断面積の極小値に関しては、低エネルギー領域では非常に良く実験データを再現するが、高いエネルギー領域では従来から指摘されている不足は多少改善するものの、なお 10%程度不足している。同様に、大きな問題となっている核子のベクトル偏極分解能 A_y についての不一致は、AV18 の計算では 20 - 30 % 程度であるのに対し、fss2 では 15 - 20 % と改善している

(続紙 2)

より広い 3 体位相空間を取り扱う重陽子分解反応過程については、ほぼ全ての配位について、fss2 は中間子交換模型による計算と非常によく似た結果を与えている。例えば、symmetric space star configuration における anomaly は fss2 でも解決しないことが明らかになった。また、陽子の入射エネルギー 65 MeV で見られる陽子-陽子間終状態相互作用における dip 構造は cutoff 半径を大きくとる事によって概ね再現されることが明らかになった。

(論文審査の結果の要旨)

2 核子散乱データと重陽子の性質を正確に再現する現実的核力による 3 核子系の研究は、実験技術や理論的発展、更にはコンピュータ性能の向上により近年長足の進歩を遂げたが、本論文の研究対象とする核子あたり 65 MeV 程度以下の比較的低いエネルギー領域においてすら、いまだ完全には解明されていない。その理由は、2 核子データからは決定することの出来ない核力の off-shell 効果や 3 体力の不定性が今なお存在し、それが実験データと理論計算の結果との完全な一致を妨げているためである。本論文では、前者の核力の off-shell 性の違いに着目し、短距離部分の強い斥力効果の記述が通常の中間子交換ポテンシャルとは全く異なるクォーク模型バリオン間相互作用を用いて、核子-重陽子散乱を包括的に検討している。使われている枠組みは、厳密な 3 体散乱問題に対する標準的なものであるが、随所に新しい計算方法の工夫が施されている。特に、実際に使われた核子間力は、2 核子系の性質を最も良く再現する fss2 というクォーク模型バリオン間相互作用を、非局所ガウス函数により表わしたものであり、fss2 の off-shell における振舞いを正確に再現している。核子-重陽子弾性散乱と重陽子分解反応の種々の観測量を検討した結果、従来 2 核子力のみでは不十分にしか記述出来なかった 3 重陽子の結合エネルギーやスピン 2 重項の中性子・重陽子散乱長が、微分散乱断面積やスピン偏極量等の他の多くの観測量と共に統一的に再現されることが明らかになった。本論文の最も重要な寄与は、ここで用いられたクォーク模型バリオン間相互作用 fss2 が何故三体力を導入することなく 3 重陽子の結合エネルギーやスピン 2 重項の散乱長を再現するのかという理由を明らかにしたことである。それは、核力の短距離部分の斥力の記述方法に関係しており、通常の中間子交換ポテンシャルにないクォーク模型バリオン間相互作用の非局所が、重陽子が特に強い偏極効果を受けるスピン 2 重項の S 波位相差や相互作用に大きな引力的効果を与えることに起因している。

論文では更に、核力の T-行列の持つ deuteron singularity の AGS 方程式における新しい取り扱いや、3 体散乱問題での大きな困難の一つである moving singularity の具体的な取り扱い、全散乱断面積に関係した光学定理の新しい導出法、三体分解反応の微分断面積計算における部分波の取り扱いに関する工夫、更には 3 体問題でのクーロン力の新しい取り扱いに関しても詳細に記述されており、この分野での今後の発展に大きく寄与することが予想される。

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 24 年 1 月 17 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った。その結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降