



Title	Two-nucleon systems in a relativistic Bethe-Salpeter approach.
Author(s)	真鍋, 勇一郎
Citation	大阪大学, 2007, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/47638
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	眞鍋 勇一郎
博士の専攻分野の名称	博士(理学)
学位記番号	第 20853 号
学位授与年月日	平成 19 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当 理学研究科物理学専攻
学位論文名	Two-nucleon systems in a relativistic Bethe-Salpeter approach. (相対論的ベーテサルピーター方程式による 2 核子系の研究)
論文審査委員	(主査) 教授 土岐 博 (副査) 教授 畑中 吉治 教授 岡村 弘之 助教授 佐藤 透 助教授 保坂 淳

論文内容の要旨

現代の原子核物理において量子色力学は強い相互作用の基礎理論であると広く信じられているが、低いエネルギー領域での非摂動効果のために、核力を定量的に導出するには程遠い現状である。そこで現在までのところ核力は現象論的に構成して、散乱現象や原子核の性質を説明してきた。それらの研究では多くの場合、相対論的效果は非相対論的な計算に対する補正として取り扱われてきた。原子核の電磁的性質、特に中エネルギーから高エネルギーにかけての領域では本来相対論的な効果が本質であることを考えると不満の残るものである。そこで本研究では相対論的な枠組みで核力を構成し、軽い原子核の電磁的な性質を記述することを目指した。

一般的に相対論的な枠組みで考えると以下のような有利な点が考えられる。

1. 相対論的な運動力学の効果が自然に含まれる。
2. 4元スピノールを考慮することにより、Spin、LS力が自然に入る
3. Z-graph を通じて Exchange current の効果の一部が自然に含まれる
4. 負のエネルギー状態を考慮することが出来る

特に4の特徴は今までほとんど研究されていない。

本論文ではまずは多核子系でもっとも簡単な2核子を、核子複合系に対して相対論的な取り扱いを可能にする方法である Bethe-Salpeter (BS) 方程式を用いて解いた。相対論的 BS 方程式を相対論的な枠組みを保ったまま解くために波動関数に相当する Bethe-Salpeter amplitude を部分波展開し、運動量の動径に依存する部分と角度部分に依存する部分に分解した。ここで角度部分の函数には相対論的枠組の特徴である4元スピノル構造を取り入れた定式化を行った。また動径部分に対する BS 方程式相互作用に対して Separable ansatz を採用した。具体的には相互作用を反応の前後の相対運動量に依存する函数の積の和を用いて記述できると仮定する。このように仮定すれば一般には複雑な BS 方程式が非常に簡単に解くことが可能になる。以上の方法論を用いて相対論的な枠組みを保ち、かつ負のエネルギーの効果 explicit に考慮することを可能にした。

我々は BS 方程式を解いた結果を使って、相対論的なインパルス近似を用いて2核子系である重陽子の性質を示す各種物理量、荷電形状因子、磁気形状因子、4重極形状因子、テンソル偏極量を計算した。その結果、負のエネルギー

一成分を3%含めることにより、高い運動量移行まで各種物理量の実験値との一致具合が著しく改善されることが分かった。例外として磁気形状因子は0.5%の負のエネルギーを考慮することによって実験値を再現することが分かった。この比率の違いは今回の研究では負のエネルギー成分を一部だけ取り入れた計算を行ったので、今後は今回考慮しなかった負のエネルギー成分を考慮することにより改善される余地がある。また今回は2体系の研究であったが、今後はより多体系への応用をすることも視野にいれている。

論文審査の結果の要旨

今日まで原子核物理では、非相対論的な理論的枠組みを用いることが主流になっている。しかし、原子核という系の大きさと不確定性関係からくる運動量の大きさと核力の強さを考えると、現象によっては相対論的な効果が重要になることが予想される。とくに最近注目されているカイラル対称性を考慮した計算を実行しようとする、パイ中間子との相互作用を扱うことが必要になり、その結合の擬スカラー性から相対論的な扱いが不可欠になる。

博士論文の研究で、真鍋君は相対論的な共変性を保持し、核子の4元スピノルの構造を厳密に扱う相対論的な手法の開発に取り組んだ。相対論的な研究は散乱方程式としてベーテ・サルピータ方程式を扱うことでなされる。そこでまず、必要になる相互作用のパラメータを決定した。そして束縛状態を扱う際に避けることの出来ない負エネルギー（反粒子）の成分が果たす役割について、詳しい考察を行った。まず必要な理論的な方法を定式化した。そしてその方法を用いて、重陽子の電磁気的な性質を詳細に検討した。その結果次の成果を得ることが出来た。

- (1) ベーテ・サルピータ方程式に用いられる分離型の相互作用を、核子核子散乱のデータを再現するように決めた。この際、ランクと呼ばれるパラメータとして4を採用した。これは、今回の研究で初めて得られたパラメータセットである。
- (2) 分離型の相互作用を中間子交換のポテンシャルと比較し、上記のパラメータの意味を調べた。その結果、分離型の相互作用は、核力を記述するのに適当な関数型を与えることがわかった。
- (3) 2核子系の波動関数に、負エネルギー成分をあらわに取り込み、散乱問題と重陽子の束縛状態を扱える枠組みを定式化した。
- (4) 負エネルギーの混合率をパラメータとして重陽子の電磁形状因子を計算した。その結果、電荷形状因子、テンソル偏極量データとの一致が優位に改善できることを示した。

相対論的な手法はアイデアとしては簡単な枠組みを提供してくれるものの、実際の計算においてはかなり複雑な過程を要する。真鍋君はこの博士論文の仕事で、数式処理プログラムと数値計算を駆使し、理論の定式化から結果を得るまでの過程を完結した。そして、上記のように従来の結果から大いに改善される結果にまで至った点は高く評価できる。また、今回の研究は、相対論的な取り扱いの入り口を定式化した点で重要な意味を持っている。

以上のことから、博士（理学）の学位論文として十分価値のあるものと認める。