

課題名 (タイトル) :

クォーク模型バリオン間相互作用による少数バリオン系の系統的研究

利用者氏名 : ○福川 賢治

所属 : 仁科加速器研究センター 肥山ストレンジネス核物理研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

原子核物理学を構成する要素は核子(陽子及び中性子)とその間に働く相互作用、すなわち核力である。核力は近距離(核子間距離が約 0.6fm より小さい場合)では斥力、中距離及び長距離(数 fm 領域)では、引力である。核力には、中間子交換ポテンシャルや chiral effective field theory に基づくポテンシャルがあるが、近距離領域での相互作用の大きさに関わるパラメータは現象論的に決められる事が多い。一方、クォーク間に作用する相互作用から、原子核物理学で複合核間相互作用の構築に広く用いられている共鳴群法(クラスター模型における一手法)を用い、核力を記述する事ができる。この模型は、クォーククラスター模型と呼ばれている。その特徴は、クォーク間のグルーオン交換により核力の近距離領域を記述できることである。この相互作用は非常に複雑であるが、近年少数多体系(三重水素、ヘリウム 4 原子核等)に用いられている。過去の先行研究の中で最も特徴的な結果は、クォーククラスター模型では 3 体力なして、かなりの程度 3 重水素の束縛エネルギーを再現できる事である。実験値は 8.482 MeV であるが、クォーククラスター模型では、8.326 MeV まで再現する事ができる。他の中間子交換模型では概ね 7.5 から 8 MeV 程度である。また、京都大学講師の藤原氏による同じ相互作用を使ったヘリウム 4 原子核の計算でも同様の傾向を示している。このように、散乱位相差がほぼ一致する、現実的核力においても、off-shell 性の違いにより、3 核子系に対し異なる予言を与える。即ち、3 体力に対する異なる予言を与えている。報告者は 2010 年度から 3 体散乱系である核子-重陽子散乱を行っている。高エネルギー領域では 3 体力が直接聞いてくることが他のポテンシャルを用いた計算では確かめられている。また、低エネルギーでは、原子炉中で中性子の減速材として重水を用いた場合の反応度データと関係がある。これらの計算では角運動量チャンネルを数多くとる必要があるため、大容量計

算を行う必要がある。従って、RICC の一般利用申請を行った。

2. 具体的な利用内容、計算方法

1) 3 核子散乱問題

核力として、京都・新潟グループが開発したクォーク模型バリオン間相互作用 fss2 を用い、量子力学的な 3 体厳密計算である Faddeev 計算を行った。本研究では、3 体散乱系に対する Faddeev formalism である Alt-Grassberger-Sandhas (AGS) 方程式を解いて散乱行列を求める。報告者の Formalism では、離散化した結果 AGS 方程式は 9.3 万次元程度の大規模な密行列を持ち、その結果現在 140 GB 程の容量を必要としている。現在の所、核子辺り 200 MeV を超える高エネルギー領域では、現実的計算時間で収束した結果が得られておらず、今後の課題である。今年度は sub-MeV 領域を含む極低エネルギー領域での計算を行った。

2) バリオン間相互作用の簡略化に向けて

共鳴群法による相互作用では、エネルギーに比例した項が表れる。より多体の系、より幅広い解法に相互作用を適用するには、相互作用を簡略化することが必要である。共鳴群法の枠組みに基づいて、解析的にエネルギー依存性を除去する方法を、Y. Fujiwara and K. Fukukawa (Prog. Theor. Phys., 124, 433(2010))で発表された数値的に取り除く方法に基づいて計算した。

3. 結果

1) 3 核子散乱系

中性子-重陽子散乱を行った結果、1 核子あたり 50 keV 程度まで J. P. Svenne *et al.* (Few-Body Systems 44, 31)にある Bonn-B による計算と Comparable な結果を得られた。図 1 に 50 keV における散乱断面積の角度分布を示す。今後核データとの、精密な比較を行いたいと考えている。

2) バリオン間相互作用の簡略化に向けて

エネルギー非依存なバリオン間相互作用 fss2 の解析的な表式を開発した。この方法は Bargmann 積分の性質を用いて、RGM overlap kernel のべき乗和を解

析的に表現した式に基づいている。図 2 に fss2 の 2 核子系アイソスピン 0 チャンネルでの位相のずれ(上段)と、新たに得られた相互作用による位相のずれと fss2 による位相のずれの差を示す。この図から、新たな相互作用は得られていた 2 核子系の位相のずれを非常に良い精度で再現していることが分かる。

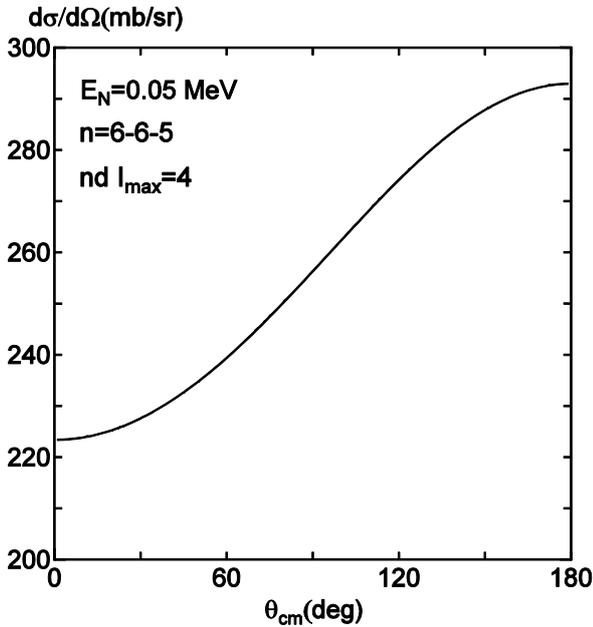


図 1. 核子あたり 50 keV の場合の、中性子-重陽子弾性散乱の微分散断面積。

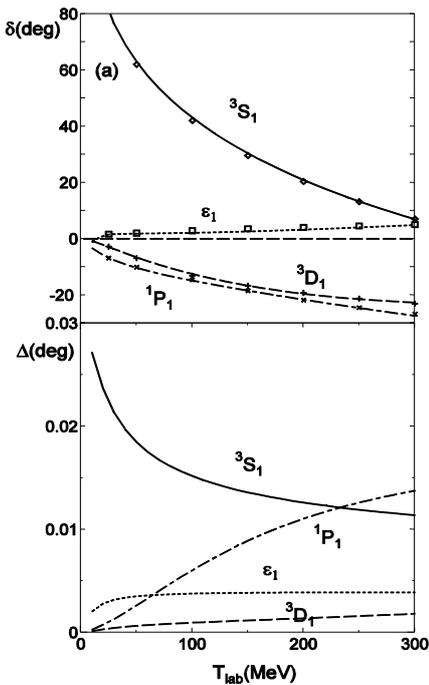


図 2. (上段) fss2 による 2 核子系(I=0 チャンネル)の位相のずれ。(下段)上で示した各チャンネルにおける位相のずれの差 $\Delta = |\delta_{fss2} - \delta_{Gauss}|$ 。

4. まとめ

大容量計算機を用い、クォーク模型バリオン間相互作用 fss2 の核子-重陽子弾性散乱を極低エネルギー領域にて計算した。また、エネルギー非依存なバリオン間相互作用 fss2 の解析的な表式を開発し、これまで得られていた 2 体の位相差を再現した。

5. 今後の計画・展望

1) 3 核子散乱系

現在は、陽子と中性子を区別しない isospin basis で計算を行っているが、陽子と中性子を区別した計算を行うことは、一つの目標である。また将来的には、より高い部分波を含め、核子辺り 200 MeV 以上のエネルギーで計算を行えるようにしたい。

2) バリオン間相互作用の簡略化

今回、解析的な表式に基づいて、2 体のバリオン間相互作用を開発したが、項の数が多く、必ずしも使いやすいとは限らない。今後は、より単純化した形でクォーク模型を表現し、核構造・核反応・核物質計算に使っていく事を考えている。

6. 利用がなかった場合の理由

申請者の利用時間は 10%程度にとどまっているが、その最大の理由は、上述した連立方程式のソルバーが不十分であり、エネルギーの適用範囲と NN の部分波が制限されてしまったことである。

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

【国際会議、学会などでの口頭発表】

1. K. Fukuakwa, ``Hyperon-hyperon interactions based on quark-model baryon-baryon interactions''. Hadron Nuclear Physics 2013 (HNP2013), July 18 -22, 2013, Zhangjiajie, Hunan province, China.

【その他】

1. K. Fukukawa, ``Hyperon-Hyperon Interaction Based on Quark-Model Baryon-Baryon Interaction'', The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS (APPC12), July 14-19, International Conference Halls, Makuhari Messe, Chiba, Japan. (Poster presentation).
2. 福川賢治「クォーク模型バリオン間相互作用による核子-重陽子散乱」、千葉敏研究室セミナー、2013年7月24日、東京工業大学