

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 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 理論研究部門 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)とその間の相互作用である核力である。核力は、近距離(およそ 0.6 fm より近距離)では斥力、中距離及び長距離では中間子力交換に起因する引力である。その近距離力の大きさは中間子交換ポテンシャルや、chiral effective field theory の場合、現象論的に決められることが多い。原子核同士が重なるような近距離領域では、核子の下部構造が重要であると考えられる。クォーク模型の立場からは、核子を 3 クォークとみなし、クォーク間に働く相互作用から核力相互作用を構築する事ができる。そのような模型は、クォーククラスター模型と呼ばれるが、グルーオン交換による記述により近距離の斥力芯を記述する事ができる。クォーククラスター模型は核子の下部構造を考えるため、非常に複雑ではあるが、近年ようやく少数体計算への応用が進んできた(少数体クラスター問題の第一原理計算)。本申請に関する先行研究としては、3 体束縛系である 3 重水素、hypertriton や α 粒子(He 原子核)を 1 つの粒子と見なした 3 クラスター計算など(${}^6_{\Lambda\Lambda}\text{He}$, ${}^9_{\Lambda}\text{Be}$) に適用されている。また、本課題と並行する形で、京都大学講師の藤原氏により、4 体束縛系である He 原子核の計算が行われているが、3 体力の大きさに関するこれまでのクォーククラスター模型の結果と矛盾しない結果を得ている。報告者は 2010 年度から 3 体散乱系である核子-重陽子散乱の計算を行っているが、核子あたり 65 MeV を超えるようなエネルギー領域での計算では角運動量チャンネルを数多く取る必要があり、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い、およそ 150 MeV までの中間エネルギー領域における計算を行い、以下の予備的な結果を得ている。

2. 具体的な利用内容、計算方法

核力としては、京都・新潟グループによって開発され

たクォーク模型バリオン間相互作用 fss2 を用いる。量子力学的な 3 体厳密計算である Faddeev formalism により計算を行う。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。微分散乱断面積や、スピン偏極量等は散乱行列から求める事ができる。AGS 方程式は現在最大 9.3 万次元程度の大規模な連立一次方程式であり、大容量計算が必要である。現在約 140GB(= $(9.3 \times 10^4) \times (9.3 \times 10^4) \times 16$ byte) のメモリを使用している。現在の所、解法は反復解法である GMRES(m) 法であるが、このような大規模計算では、収束性が良くない。すなわち、現実的な計算時間内で収束した結果が得られていない。現在は、2 核子間の最大角運動量 5、エネルギー領域 1 核子あたりおよそ 150 MeV までの利用にとどまっている。

3. 結果

昨年度は、クーロン力を入れた計算により、1 核子あたり 65 MeV までのエネルギー領域の核子-重陽子散乱の実験データを全体的に再現する結果を与える事を確認した。今年度は、後半から一般利用を開始し、計算を行っているが、それをおよそ 1 核子あたり 150 MeV 領域まで拡張する事ができた。2 核子間の角運動量を最大 4 から 5 まで拡張した結果の例を図 1 に示す。(2 核子)-(核子)間の角運動量チャンネルについての依存性も詳しく調べる必要があるため、現段階では preliminary な結果であるが、散乱偏極量を非常に良く再現しており、部分波を大きく取ることの重要性は明らかである。クォーク模型バリオン間相互作用 fss2 は低エネルギーでは 2 重項 S 波部分において、引力的振る舞いを示すが、高エネルギー領域ではほぼ中間子交換ポテンシャルと同じ結果を与えるようである。

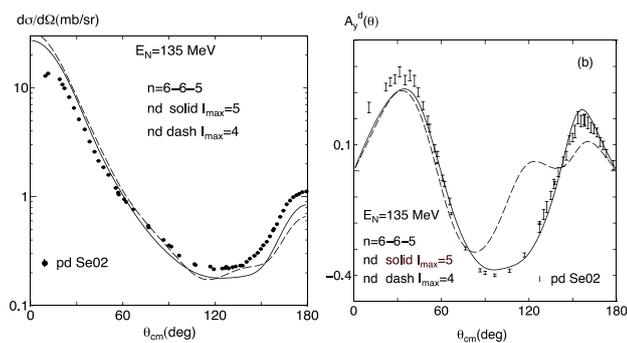


図 1 中性子-重陽子弾性散乱の、微分散乱断面積(左図)及び、重陽子のベクトル型偏極分解能(右図)。実線が 2 核子の全角運動量を 5 までとった計算、点線が 4 まで取った計算である。

また、クーロン力としては、クォークレベルで cut-off Coulomb 力を導入する事によって、散乱問題における取り扱いを可能にしているが、2 核子間の最大角運動量を増やすだけでは、クーロンカットオフパラメーターに対する依存性がそれほど影響しない事が明らかになった。

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-重陽子弾性散乱問題を中間エネルギー領域で解いた。クォーク模型バリオン間相互作用の 1 つである fss2 を用い、AGS 方程式を核子あたり 150 MeV までのエネルギー領域で解き、実験データの弾性散乱観測量をほぼ再現した。

5. 今後の計画・展望

今後の計画としては、連立一次方程式のソルバーを改良し、より高いエネルギー領域(1 核子あたり 200 MeV)前後での計算を行いたい。また今回は核子-重陽子弾性散乱について計算を行ったが、分解反応過程についても拡張したい。

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ったため、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 24 年度 RICC 利用研究成果リスト

【その他】

1. 福川賢治、藤原義和、「クォーク模型バリオン間相互作用による核子-重陽子弾性散乱」
微視的有効相互作用の理論と核構造・反応研究、2013 年 2 月 12 - 14 日、京都大学基礎物理学研究所
2. K. Fukukawa and Y. Fujiwara, "Three-nucleon scattering by the quark-model baryon-baryon interaction fss2", Dec 13-16, 2012, Nara Prefectural New Public Hall, Japan (Poster presentation)