

氏名・(本籍)	いし かわ そう いち 石 川 壮 一
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理博第 954 号
学位授与年月日	昭 和 61 年 3 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 1 項該当
研究科専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 原子核理学専攻
学位論文題目	三核子束縛状態における三体力の効果
論文審査委員	(主査) 教 授 吉 田 思 郎 教 授 鳥 塚 賀 治 助 教 授 笹 川 辰 弥

論 文 目 次

第 1 章 序論

- 1-1 本論文の目的
- 1-2 三体力の研究の現状

第 2 章 Faddeev 方程式の逐次的解法

- 2-1 Faddeev 方程式及び必要な記号の説明
- 2-2 一般論
- 2-3 Sturm-Liouville 関数を用いた解法
- 2-4 連分数の方法
- 2-5 三核子束縛問題への連分数の方法の応用

第 3 章 計算結果

- 3-1 現実的ポテンシャル
- 3-2 2PE-3NP
- 3-3 トリトンの物理量への三体力の寄与

第4章 まとめ

謝 辞

付 録 A

B

表

図

参考文献

論文内容要旨

二体力の和では書き表せない力のことを多体力と呼ぶ。多体力は一般に、構成粒子の内部自由度を凍結することにより生じる。

伝統的な描像では、原子核は核力（二体力）によって結合した核子の多体系である。この立場では、核子は内部構造を持たない“素”粒子として取り扱われ、非相対論的量子力学に従う。即ち核子間のポテンシャルを V_{ij} とすると、質量数 A の原子核の波動関数 $\Psi(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_A)$ (ξ_i は核子 i の空間-スピン-アイソスピン座標をまとめて表す) は、Schrödinger 方程式

$$\left(\sum_{i=1}^A T_i + \sum_{i>j} V_{ij} \right) \Psi = E \Psi$$

を解けば得られる。ここで T_i は核子 i の運動エネルギーである。

ところで我々は、核子は実際には“素”粒子ではなくクォーク・グルーオン構造を持ち、 Δ アイソバーの様な励起状態が存在する事を知っている。従って、これらの内部自由度を凍結して、核子の自由度だけを問題にする伝統的原子核像では、多体力は当然存在する筈である。

多体力のなかで一番簡単なものは三体力である。本論文では、三個の核子の束縛系（トリトン (${}^3\text{H}$) 又はヘリウム-3 (${}^3\text{He}$)) における三体力の寄与を、三体力を含む Schrödinger 方程式を数値的に解くことにより明らかにすることを目的とする。

以下に、各章の内容を簡単にまとめる。

第1章では、序論として三体力の研究の意義を述べ、その現状を

- ①三体力の構築
- ②二体力による三核子系の計算
- ③三体力の寄与の計算

の三つに大別して簡単にまとめた。

第2章では、三核子系に対する Schrödinger 方程式 (Faddeev 方程式) を逐次的に解く方法について述べた。まず一般論を与え (第2節)、その具体例として Sturm 関数を用いる方法 (第3節) と、連分数の方法 (第4, 5節) について説明した。これらを原子核の問題に適用しようとする、核力の中心斥力芯の存在のために、前者の方法には収束性に限界があることが分かった。一方、後者の方法を適用すると、前者の方法が収束しない場合でも速やかな収束が得られることが分かった。従って連分数の方法は、本論文の様な三核子束縛問題だけではなく、三核子散乱問題や、四体問題等のより複雑な問題にも適用が可能であると考えている。

また本章では、連分数の方法と Padé 近似との関係について言及した。

第3章では、前章で述べた連分数の方法を用いて、二体力と三体力とを含む Faddeev 方程式を数値的に解いた結果について述べた。

二体力としては、二核子系の物理量 (重陽子の諸性質や核子-核子散乱データ) を再現する様

に作られた、いわゆる現実的核子間ポテンシャルを四種類用いた。また三体力としてはCoon達によって提案された二個の π 中間子の交換に基づく、いわゆるTucson-Melbourne (TM)ポテンシャルを用いた。但し、TMポテンシャル中に現れる π NN形状因子の切断質量(A)としては、700 MeVと800 MeVとの二つの値について調べた。

得られた結果を以下に簡単にまとめる。

まず結合エネルギーについて

①実際の数値計算では、波動関数の部分波の数を適当にトランケートしなければならない。取り込む部分波の数に対する結合エネルギーの計算値の収束性は、部分波の数を34個とした時(三核子系中の二核子部分系の角運動量を4まで取り入れることに対応する)、二体力のみの時は、0.01 MeV、三体力を含む時は0.1 MeV程度である。

②二体力のみの場合にはトリトンの結合エネルギーの計算値は高々7.7 MeVであり、実験値(8.48 MeV)と比べて0.8 MeV程アンダー・バウンドしている。この結果の二体力の選択による差は0.1 MeV程度であり、従って約0.8 MeVの引力が三体力の寄与として期待されることになる。

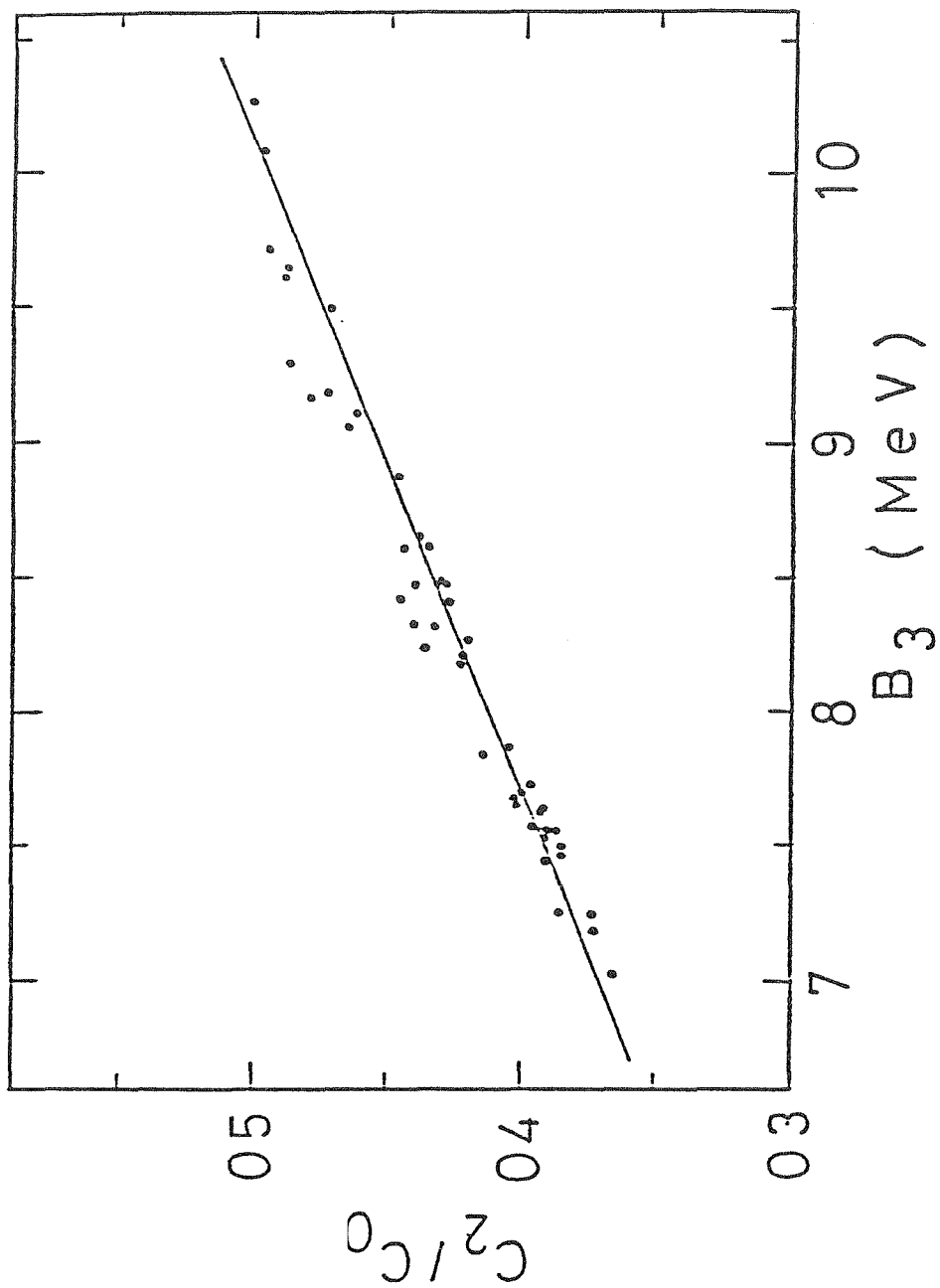
③二体力+TM三体力の計算では、どの二体力に対してもTMポテンシャルの A の値を700 MeVとすると、実験値に近い結合エネルギーの値(差が0.1 MeV程度)が得られる。また A の値を800 MeVにすると引力が強すぎて、1 MeV程オーバー・バウンドする。

④三体力の結合エネルギーへの寄与を非摂動として計算した場合と、一次の摂動論で計算した場合とでは、その結果に二倍以上の差がある。この事は、三体力の高次の摂動の効果が重要であることを示している。

その他の物理量について

⑤上で求めた波動関数を用いて、荷電半径、漸近規格定数、DWBAゼロ・レンジ・パラメータ等の物理量を計算すると、これらの物理量は結合エネルギーと強い相関があり、結合エネルギーを再現すれば実験値を再現することが分かった。例として、トリトンのD波とS波の漸近規格定数の比(C_2/C_0)の結合エネルギー依存性を図に示した。

最後に以上の結果を第4章でまとめた。



論文審査の結果の要旨

本論文は、トリトンに対する三体力の対果を研究したものである。1983年には、種々の現実的の二体ポテンシャルを用いてトリトンの結合エネルギーが多くの人達によって計算された。その結果は何れも7.5 MeVを超えることなく、三体力を一次の摂動として考慮しても8 MeVを超える事はないという事が示された。これらの計算はトリトンに対し5個の部分波状態を考慮して行なわれたものである。1984年に石川は18個の部分波状態をとって類似の計算を行ない、結合エネルギーの計算値が8 MeVを越え、実験値8.48 MeVに近い値が得られる事を示した。1985年に石川は三体力を摂動として扱わず、現実的の二体力のみならず三体力が存在する系に対するファデーエフ方程式を34個の部分波状態に対して解き、実験値が求まる事を示した。解法は笹川らによって提唱された連分数法を三核子束縛系に適用したものであるが、上記の方程式がAcoss 1000を用いて僅か10分と極めて速やかに解く事が出来る。

種々の現実的のポテンシャルと考慮する部分波状態の数に応じて結合エネルギーが求まる。系の漸近形は結合エネルギーに応じて決まるので、系の漸近状態に直接関係する物理量は、系に作用するポテンシャルには直接に依存しないで、結合エネルギーの大きさのみと簡単な関係を持っている筈である。実際、石川は、漸近規格化定数の比と結合エネルギーの間には直線的な関係がある事を見出した。又、荷電半径も結合エネルギーと簡単な関係を保っている。従ってトリトンの結合エネルギーを与えると、これらの量は直ちに計算出来ることとなった。実際実験結果はそのようになっている。

これらの結果により、原子核物理学で従来積極的に研究されていなかった三体力の効果の研究の必要性が決定的となった。本研究に用いられた三体力は、一応標準的と考えられているものであるが、用いられた三体力の効果は、他の三体力とくらべて一番大きいとはいえ、この三体力のみがトリトン内部に作用しているわけではないので更に研究を進める必要があり、本研究は1986年4月にワシントン市(米国)で開催される三体力に関する研究集会の動機の一つとなった。

上記の諸成果は既にPhysicaal Review Letter誌上に二篇、Few-Body Systems (Physica Acta Austriaca)誌上に一篇の論文として発表されている。本論文は、これらの論文を総合報告したものである。

以上、石川壯一提出の論文は原子核の三体力に関する極めて重要な知見を与えたものであり、本人が卓越した論理的思考と計算技術を備え、高度の学識と自立して研究活動を行うに必要な能力を有することを示している。よって石川壯一提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。