

|         |                                |           |   |
|---------|--------------------------------|-----------|---|
| 氏名・(本籍) | さいとうとしゆき<br>齋藤敏之               |           |   |
| 学位の種類   | 理 学 博 士                        |           |   |
| 学位記番号   | 理博第1205号                       |           |   |
| 学位授与年月日 | 平成3年3月28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<br>(博士課程) 原子核理学専攻 |           |   |
| 学位論文題目  | トリトンのベータ崩壊                     |           |   |
| 論文審査委員  | (主査)                           |           |   |
|         | 教 授 笹 川 辰 弥                    | 教 授 藤 平   | 力 |
|         |                                | 助 教 授 滝 川 | 昇 |

## 論 文 目 次

- 第1章 序 論
- 第2章 Gamow-Teller 行列要素と磁気能率
  - 2-1 Gamow-Teller 行列要素とその周辺
  - 2-2  ${}^3\text{H}$  の  $\beta$  崩壊における Gamow-Teller 行列要素
- 第3章 三核子系の束縛状態の波動関数
  - 3-1  ${}^3\text{H}$  の波動関数
  - 3-2  ${}^3\text{H}$  の波動関数
- 第4章 交換流
  - 4-1 交換流について
  - 4-2 交換流の時間成分と空間成分について
  - 4-3 二体カレント・オペレーター
- 第5章 Gamow-Teller の行列要素の実験値
  - 5-1  $ft$  値

5-2  ${}^3\text{H}$  の Gamow-Teller 行列要素の実験値

## 第 6 章 結果及び考察

6-1 Fermi 行列要素

6-2 Gamow-Teller 行列要素の波動関数依存性

6-3 パラメーター依存性

## 第 7 章 結論

謝辞

Appendix A 三核子系 S, S', D 波の定義

Appendix B Rarita-Schwinger field

Appendix C クォーク・モデルによる  $f_{\Delta\pi N}$  と  $f_{\Delta\rho N}$  の決定

Appendix D PCAC による  $g_{AN\Delta}$  と  $g_{A\rho\pi}$  の決定

# 論文内容要旨

原子核の  $\beta$  崩壊の Gamow-Teller (GT) 行列要素を計算することにより、アキシャル・カレントへの交換流 (MEC) の効果を調べることができる。しかし一般の原子核の場合、その構造はまだ十分に理解されているとは言えず、GT 行列要素の quench の機構は明らかではない。それに対し、 $\beta$  崩壊核中最も軽いトリトン ( ${}^3\text{H}$ ) は Faddeev 方程式より波動関数を数値的に求めることができるので、核構造の複雑さに煩わされることなく MEC の効果を計算することができる。しかし今までの計算では、用いられた波動関数がそれぞれ異なるため、各 MEC (Fig.1 (a)  $\Delta(\pi)$ , (b)  $\Delta(\rho)$ , (c) mesonic, (d) pair) の寄与のし方が異なる。特にこれらの MEC はテンソル力を含むために波動関数の D 状態確立 (P (D)) に強く依存し、より数値的に正確な波動関数が要求される。また、MEC オペレーターのパラメーター依存性も大きい。Fig.1 中、各 vertex には coupling constant  $\langle f_\alpha \rangle$ , cut-off-mass  $\langle \Lambda_\alpha \rangle$  という 2 つのパラメーターがそれぞれ含まれる。そのうち特に  $f_{\pi N\Delta}$  については実験値 ( $f_{\pi N\Delta}^2/4\pi=0.35$ ) とフォーク・モデルによる値 ( $F_{\pi N\Delta}^2/4\pi=0.23$ ) が共によく用いられる。前者を用いた場合後者に比べ  $\Delta(\pi)$  の寄与が 1.5 倍大きい。また、 $\Lambda_\pi$  についても  $\Lambda_\pi \simeq 1.0\text{GeV}$ ,  $\Lambda_\pi \simeq 0.6\sim 0.8\text{GeV}$  という 2 つの値がよく用いられ、この違いの影響も大きい。本論文では、Faddeev 方程式より得た数値的に十分正確な波動関数を用いることにより、波動関数の曖昧さを極力避け、GT 行列要素のパラメーター依存性を示すことにより、各パラメーター・セットの妥当性を調べる。この様にして選ばれたパラメーター・セットは、より重い原子核の GT 行列要素の計算でよりよい結果をもたらすことが期待される。

本論文では (Coulomb modified) Faddeev 方程式より得た  ${}^3\text{H}$  ( ${}^3\text{He}$ ) の波動関数を用いる。 ${}^3\text{H}$  の Binding Energy を Faddeev 計算より再現するには二核子間相互作用 (AV14, TRS, PARIS, RSC, BONN) について計算するだけでは不十分で、34チャンネルという高部分波成分まで計算することと三体力 (TM, BR) を必要とする。また  ${}^3\text{H}$  と  ${}^3\text{He}$  の Binding Energy の差を再現するには Coulomb 力の他に更に荷電独立性の破れ (CIB), 荷電対称性の破れ (CSB) による力も必要とする。この様にして得られた波動関数は主に S, S', D 波より成り、

$$\phi = \phi_s + \phi_{s'} + \phi_D \quad (1)$$

それぞれの状態確立は  $P(S) \simeq 90$ ,  $P(S') \simeq 1$ ,  $P(D) \simeq 9\%$  である。P (D) は三体力により増加し、(CIB) + (CSB) により減少するので、GT 行列要素にもその効果が現れることが予想される。また、従来の計算では  ${}^3\text{He}$  の代わりに  ${}^3\text{H}$  の波動関数が用いられていたためその影響についても興味を持たれる。

${}^3\text{H}$  の GT 行列要素への MEC の寄与は全体の 4~6% であり、その内  $\Delta(\pi)$ ,  $\Delta(\rho)$ , mesonic カレントが主に効く事が知られている。しかし、mesonic moment の計算ではこれとは反対に pair カレントが重要であるため、本論文ではこの効果についても計算している。カレ

ント・オペレーターは、Fig.1 のダイアグラムより以下の仮定を用いて求められる。(i) 各ダイアグラムは soft pion と PCAC より計算し、各 vertex に monopole form factor を掛ける。(ii)  $\Delta(1232)$  粒子の propagator は static 近似をする ( $k_{\Delta} \rightarrow 0, E_{\Delta} \rightarrow M_{\Delta}$ )。 (iii)  $Q$ -value = 18.6 keV と非常に小さいので相対論的効果を見捨てる。なお先にも述べたように、 $f_{\pi N\Delta}$ には実験値及びクォーク・モデルによる値を、 $\Lambda_{\pi}$ についても 1.0 GeV 以上と 0.8 GeV 周辺の値とを用いて比較することにする。

GT 行列要素の実験値は、半減期より逆算して得られる。本論文では J.J. Simpson ('87) による値  $\sqrt{3}$  ( $0.961 \pm 0.003$ ) を用いる。理論値は、実験値を再現するように  $\Lambda$  を選ぶことにより得られる。その内訳は、インパルス近似値が全体の約96%で、残りの大部分を  $\Delta(\pi)$  が担っている。しかし  $\Delta(\pi)$  だけでは強過ぎ、 $\Delta(\rho)$  がその効果を弱めている。mesonic, pair の効果は小さい。

本論文の結果は大きく二つに分けることができる。まず最初に GT 行列要素の波動関数依存性 (Faddeev 方程式を解く際の核子間相互作用の影響) について述べる。なおここではカレント・オペレーターのパラメーター、 $f_{\pi N\Delta}$  をクォーク・モデルの値に、そして  $\Lambda_{\pi} = 0.8, \Lambda_{\rho} = 1.0$  GeV に固定している。

- (1) 二体力依存性：PARIS, TRS, AV14 については、インパルス近似及び各 MEC の寄与は同じ傾向にある。しかし BONN についてはテンソル力が弱いため波動関数の P (D) が小さく、インパルス近似 (MEC) の値は前者に比べ大きい (小さい)。RSC についてはテンソル力が強いため BONN とは反対の結果が得られる。しかしいずれの場合にせよ、すべての寄与を足し合わせると実験値を満足している。
- (2) 三体力、(CIB) + (CSB) 依存性：MEC の寄与は三体力により増加し、(CIB) + (CSB) により減少する。しかしその変化は十分に小さく 0.002 程度である。また、TM と BR の違いも小さい。
- (3) P (D) 依存性：P (D) とインパルス近似 (MEC) 値の間には直線に近い相関があり、P (D) が増加するとインパルス近似 (MEC) 値は減少 (増加) する。一方、Binding Energy に対する相関は見られない。
- (4) Coulomb 力依存性： ${}^3\text{He}$  の代りに  ${}^3\text{H}$  の波動関数を用いた場合、波動関数間の重なりが多いため全体的に数値が若干大きくなる。しかしその変化は 0.002 程度であり、十分に小さい。以上述べてきたように波動関数依存性は非常に小さく、Faddeev 計算より得た波動関数を用いることにより GT 行列要素を再現できることが初めて示された。そこで、以後 AV + TM + CIB + CSB を相互作用とする波動関数に固定して、パラメーター依存性について調べた結果を記す。
- (5)  $f_{\pi N\Delta}$  依存性： $f_{\pi N\Delta}$  に実験値を用いた場合、クォーク・モデルの場合に比べて  $\Delta(\pi)$  の寄与が大きくなるため  $\Lambda_{\rho}$  を大きくして  $\Delta(\rho)$  により打ち消さなければならない。なお、実験値を用いて  $\Lambda_{\pi} \geq 1.1$  GeV とした場合、 $\Delta(\pi)$  強過ぎ、GT 行列要素の実験値を再現で

きない。

- (6) Cut-off-mass 依存性：各 MEC の寄与は  $\Lambda$  が増加するにつれてその絶対値が増加する。GT 行列要素の実験値を再現するためには、 $f_{\pi N\Delta}$  にクォーク・モデルの値を用いた場合、 $\Lambda_\rho = 1.85\Lambda_\pi - 0.474$ 、また実験値を用いた場合、 $\Lambda_\rho = 0.1 + 14.3\Lambda_\pi - 32.8\Lambda_\pi^2 + 21.4\Lambda_\pi^3$  の関係があるように見える ( $0.75 \leq \Lambda_\pi \leq 1.0$  GeV)。

以上より、幾つかのパラメーター・セットを選ぶことができる。これらの値を用いることにより、より重い原子核での MEC の効果が評価できる。しかし、これらの内最適なセットを見出すためには  $\mu + d \rightarrow n + n$  のような他の反応についても調べる必要がある。

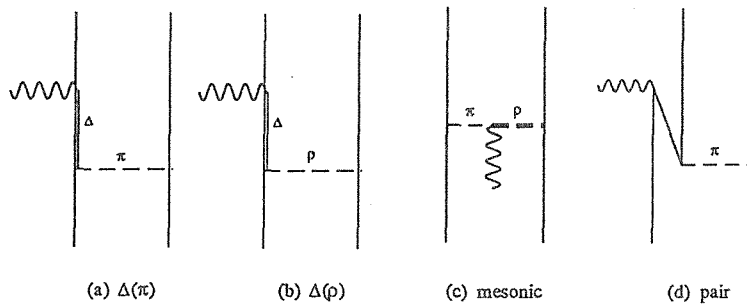


Fig.1 MEC

## 論文審査の結果の要旨

原子核の $\beta$ 崩壊の研究は、ガモフテラー (GT) 行列要素の値を実験および理論的に求め、原子核と軸性流の相互作用ならびにそれに対する交換流の補正の効果を研究すると同時に、原子核の波動関数の研究を行なうという両面を持っている。重い核では波動関数はある程度しかわかっていないが、 ${}^3\text{H}$  や  ${}^3\text{He}$  に対しても結合エネルギーその他の物理量を精度よく与える波動関数はなかったため、 $\beta$  崩壊の研究から得られる結論は確定的ととわれるものではなかった。

これに対して東北大学笹川グループによって ${}^3\text{H}$  と  ${}^3\text{He}$  の波動関数が精度よく求められたので、これを用いると波動関数の曖昧さを取込むことなく、純粹に原子核と軸性流の性質ならびに交換流による補正の効果を研究する事が出来る。

原子核物理学では、核力をはじめ殆んどすべての相互作用に関する量の形は疑う余地なく正しいものではあるが、その強さやひろがり等は必ずしも実験的理論的に確実なものではなく、関連するいろいろな量の解析を通じて明らかにされて行くという経過をたどる。

本研究では、先ず GT 行列要素の波動関数依存性を研究し、更に流れの演算子にあらわれるパラメーターの値について研究し、以下に述べる新しい知見を得た。

### (A) 波動関数依存性

- (1) 現存するどの二体力を用いても結果的には GT 行列要素の計算値は実験値と一致する。
- (2) 三体力は交換流を増すが、荷電独立、荷電対称を破る力の効果は三体力の効果と打消す。
- (3) 三核子系の D-状態の確立とインパルス近似からの GT 行列要素への寄与との間には直線関係がある。
- (4) GT 行列要素を計算する際、 ${}^3\text{He}$  の波動関数の代りに ${}^3\text{H}$  の波動関数を用いても違いは 0.002% に過ぎない。

### (B) パイ中間子の切断質量 $\Lambda_\pi$ について

- (5) 従来  $\Lambda_\pi$  としては  $\sim 1 \text{ GeV}$  と  $0.7\sim 0.8 \text{ GeV}$  の 2 種の値が用いられて来たが、 $\Lambda_\pi \geq 1.1 \text{ GeV}$  では GT 行列要素の値を再現出来ないことが結論された。
- (6) GT 行列要素の値を再現する為の  $\Lambda_\pi$  と  $\Lambda_\rho$  の間の関係式が提唱され  $\mu + d \rightarrow n + n$  のような実験の必要性が指摘された。

本論文のトリトンの $\beta$ 崩壊の研究は今後原子核の $\beta$ 崩壊を論ずる時は必ず引用されるということが予想されるものであり、本論文は齋藤敏之が自立して研究活動を行なうのに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって齋藤敏之提出の本論文は理学博士の学位論文として合格と認める。