



Uniqueな第一禁止遷移に おけるQuenching factorの計算

那須 淳弥、武藤 一雄

Tokyo Institute of Technology(東工大)

Today's Outline

1. Introduction
2. Model
3. Result? etc...
4. Summary

Introduction

quenchingとは何か?

有効演算子

有限な模型空間で行う核構造計算(QRPA, 殻模型)では
模型空間とその外の空間との結合を取り入れた
有効演算子を用いる

核子-核子相互作用

$$V_{NN} \Rightarrow V_{NN}^{\text{eff}} \quad (\text{eg. } G\text{-行列有効相互作用})$$

遷移演算子

$$f_{kq} \Rightarrow f_{kq}^{\text{eff}}$$

第1近似: 結合定数を有効値で
置き換える: $g_A \Rightarrow g_A^{\text{eff}}$

この有効値を今回は **quenching factor** と呼ぶ(特に g_A)

Introduction



Gamow-Teller 遷移 $0^+ \rightarrow 1^+$

sd殻核における系統的殻模型計算: $(sd)^{A-16}$ 模型

実験データは **quenching factor = 0.77** で良く再現される。

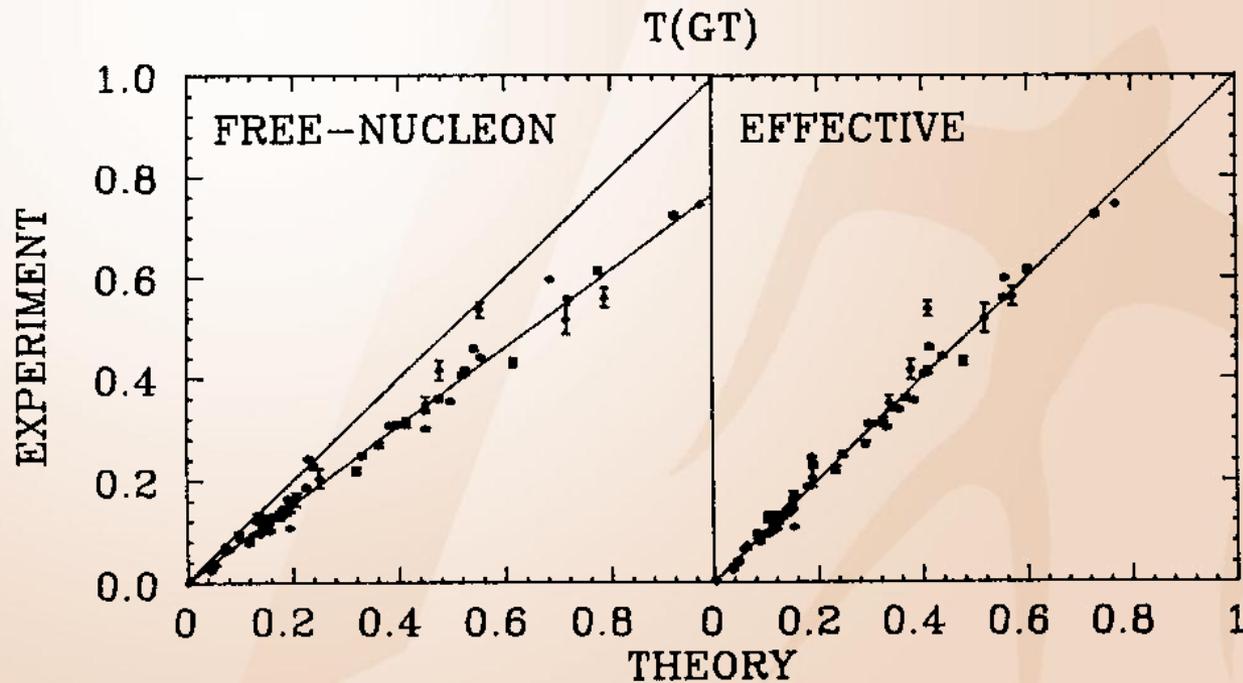


Figure 7 Theoretical vs experimental $T(\text{GT})$ matrix elements (see Sections 3 and 3.2).

Introduction

Gamow-Teller 遷移 $0^+ \rightarrow 1^+$

sd殻核における系統的殻模型計算: $(sd)^{A-16}$ 模型

実験データは **quenching factor = 0.77** で良く再現される。

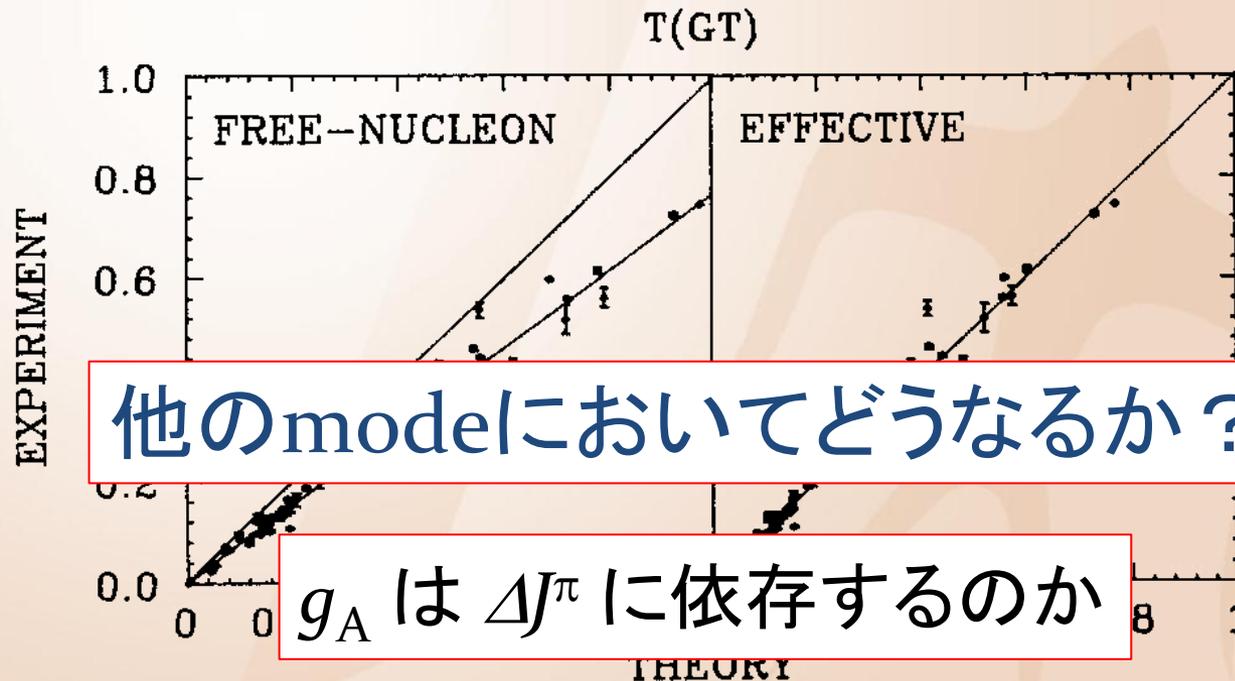


Figure 7 Theoretical vs experimental $T(\text{GT})$ matrix elements (see Sections 3 and 3.2).

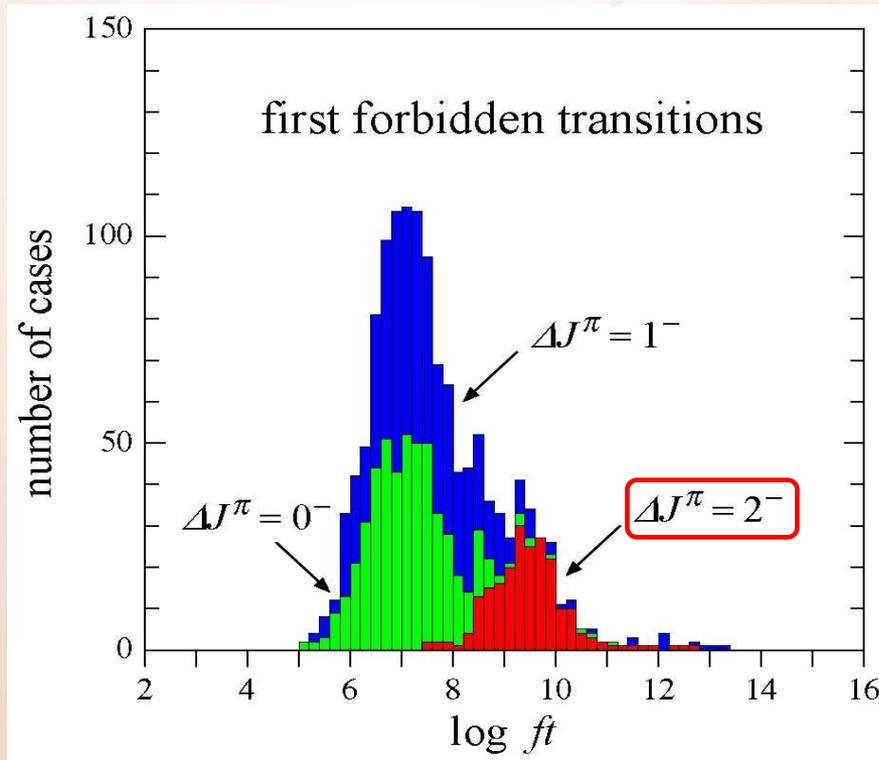
Introduction

Unique first-forbidden β decay

$$0^+ \rightarrow 2^-$$

$$\Delta J^\pi = 2^- : \Delta S = 1, \Delta L = 1$$

$$[\vec{r} \otimes \vec{\sigma}]^{(2)}$$



B. Singh *et al.*,
Nuclear Data Sheets 84, 487 (1998)

重い核などになるとこのmodeの値が無視できない

quenching factor?

これまでに系統的な計算がない→

このmodeにおける理論計算を行い実験と比較を行う

Model -Story



QRPA model → 重い閉殻の原子核等に有効

Quasi-particle RPA model story

${}_1$ 粒子エネルギーとしてWoods-Saxson Potentialによる固有エネルギーを用いる

BCS calculation

ProtonとNeutronは独立に計算をする

すなわちp-n間の対相互作用は無視する

BCS計算により準粒子を定義する

RPA calculation

BCS計算で定義された準粒子基底を用いてp-nの相関を取り入れる

Model -BCS

BCS

□ Ground state ansatz

$$|\text{BCS}\rangle = \prod_{j,m>0} (u_j + v_j c_{jm}^\dagger c_{j-m}^\dagger) | \rangle$$

□ Variation with constraints

$$\frac{\partial}{\partial u_j} \langle \text{BCS} | H' | \text{BCS} \rangle = 0$$

$$H' = H - \lambda \hat{N}$$

$$\langle \text{BCS} | \hat{N} | \text{BCS} \rangle = N$$

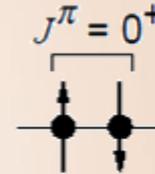
$$u_j^2 + v_j^2 = 1$$

□ quasiparticle

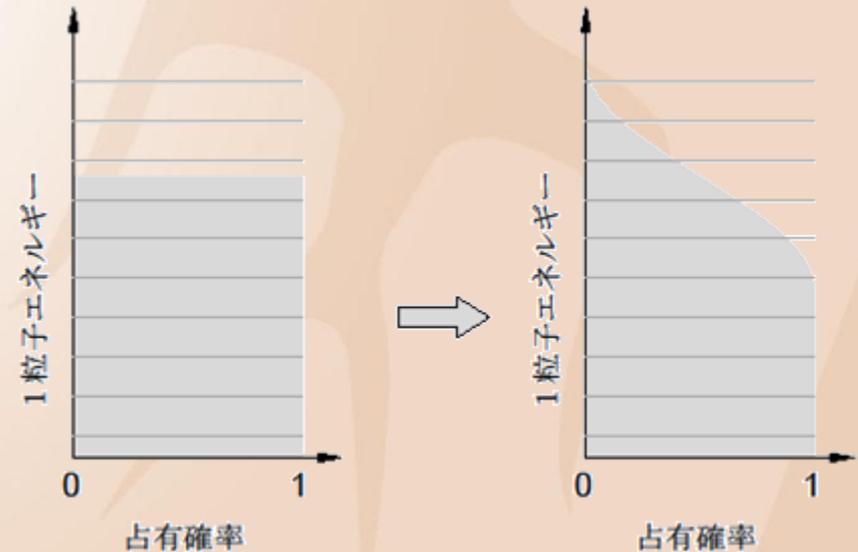
$$a_{jm}^\dagger = u_j c_{jm}^\dagger + v_j \tilde{c}_{jm}$$

$$\tilde{a}_{jm} = u_j \tilde{c}_{jm} - v_j c_{jm}^\dagger$$

$$a_{jm} | \text{BCS} \rangle = 0$$



対相互作用



Model -RPA

RPA

- Excitation Operator
charge-changing modes

$$Q_{\omega,J}^\dagger = \sum_{pn} (X_{\omega,J}^{pn} [a_p^\dagger a_n^\dagger]_J - Y_{\omega,J}^{pn} [\tilde{a}_p \tilde{a}_n]_J)$$

- Equation of motion

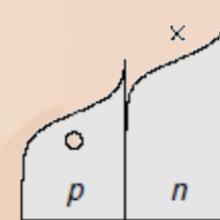
$$\begin{aligned} \langle 0 | [\delta Q, [H, Q_{\omega}^\dagger]] | 0 \rangle \\ = \omega \langle 0 | [\delta Q, Q_{\omega}^\dagger] | 0 \rangle \end{aligned}$$

- RPA equation

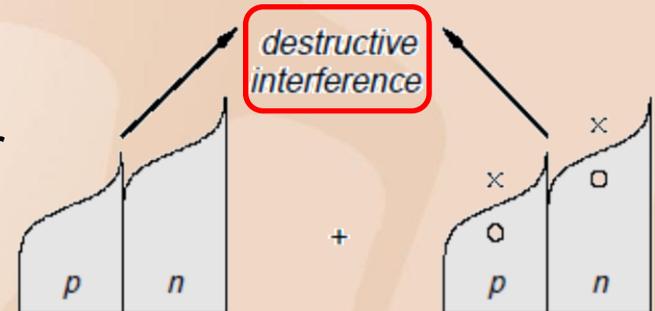
$$\begin{bmatrix} A & B \\ B & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \omega \begin{bmatrix} C & 0 \\ 0 & -C \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

ex) $0^+ \rightarrow 1^+$

intermediate
 1^+ states



daughter
ground
state



$$\langle 1^+ || t_+ \sigma || 0_f^+ \rangle =$$

$$\sum_{pn} \langle n || t_+ \sigma || p \rangle [v_p u_n X(pn) + u_p v_n Y(pn)]$$

Result (not yet)



nuclide	decay mode	parent		daughter	
		E(level)	Jp	E(level)	Jp
38S	b-	0.0	0+	0.0	2-
42Ar	b-	0.0	0+	0.0	2-
88Kr	b-	0.0	0+	0.0	2-
90Sr	b-	0.0	0+	0.0	2-
140Ba	b-	0.0	0+	30.0	2-
140Ba	b-	0.0	0+	162.7	2-
146Gd	e	0.0	0+	230.2	2-
182Hf	b-	0.0	0+	270.4	2-
202Pb	e	0.0	0+	0.0	2-
38Cl	b-	0.0	2-	0.0	0+
40Cl	b-	0.0	2-	0.0	0+
42K	b-	0.0	2-	0.0	0+
44K	b-	0.0	2-	0.0	0+
72As	e	0.0	2-	0.0	0+
74As	e	0.0	2-	0.0	0+
74As	b-	0.0	2-	0.0	0+
76As	b-	0.0	2-	0.0	0+
82Br	b-	45.9	2-	0.0	0+
84Br	b-	0.0	2-	0.0	0+
84Rb	e	0.0	2-	0.0	0+
86Rb	e	0.0	2-	0.0	0+
86Rb	b-	0.0	2-	0.0	0+
88Rb	b-	0.0	2-	0.0	0+
90Y	b-	0.0	2-	0.0	0+
92Y	b-	0.0	2-	0.0	0+
94Y	b-	0.0	2-	0.0	0+
112Ag	b-	0.0	2-	0.0	0+

これらの実験データから実験による Matrix Element を逆解きし、理論による結果と比べる

理論データは計算中

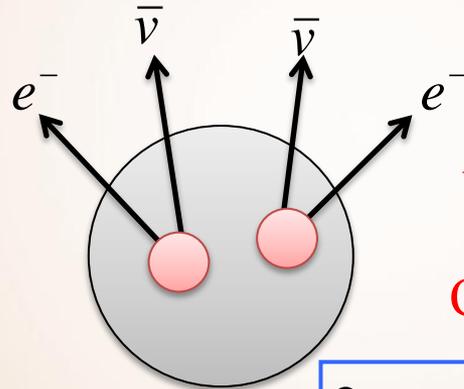
見通しとしては **quenching** が起こると考えられる

Future



ovββ decayにおける計算をより正確に行いたい

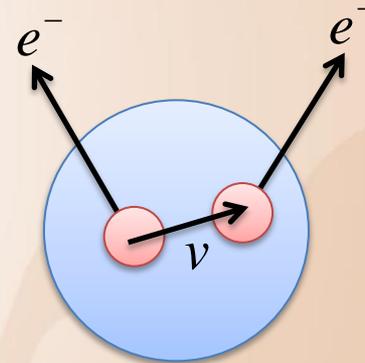
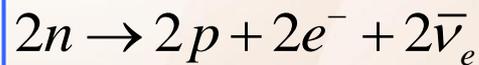
・ovββ decayとは



Allowed in
the SM

Observed

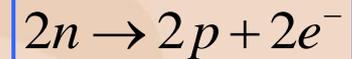
$2\nu\beta\beta$



Forbidden in
the SM

Not observed

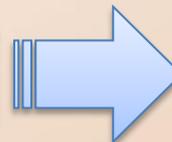
$0\nu\beta\beta$



ovββ is forbidden because the Standard Model impose lepton number and baryon number conservation.

Violating lepton number conservation

If $0\nu\beta\beta$ will be observed...



It shows that neutrino is
'Majorana particle'.

Future

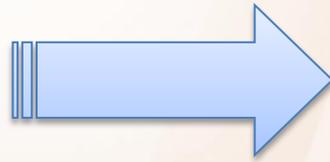


Neutrino is the candidate of “Majorana particle”, which is **particle = anti-particle**.

At present $\nu\bar{\nu}\beta\beta$ is the only one process for confirming it. And the absolute mass of neutrino can be decided.



Neutrino



Dirac particle



Majorana particle

Absolute Mass

It is almost certain that neutrino has mass because it occurs Neutrino oscillation.

distinguishing

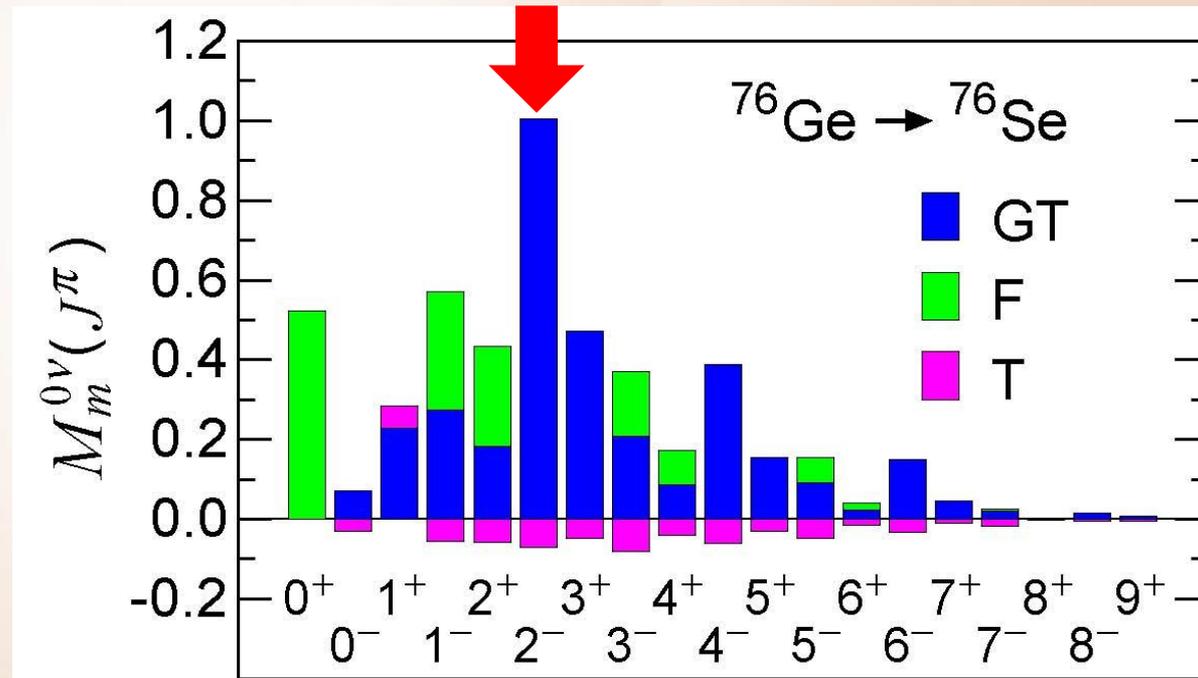
deciding

by observing $\nu\bar{\nu}\beta\beta$

Future



核行列要素の結果 parent → intermediate state



Spin-parity of nuclear intermediate states

$0^+ \rightarrow 2^-$ のquenchingが起これば寄与が下がる

quenchingの議論が重要となる

Summary



原子核の構造計算ではmodel spaceの内外の結合として有効演算子を用い、第一近似として結合定数を有効値で置き換える

$0^+ \rightarrow 1^+$ の遷移ではquenchingが起こる

他のmodeにおいては系統的な計算がない

$0^+ \rightarrow 2^-$ が重要である ← $ov\beta\beta$ においても

構造計算のmodelとして重い閉殻に用いるのに適したQRPAを用いた(ている)

結果はまだないがquenchingが起きると予想している

最終的な目標は $ov\beta\beta$ decay計算

→ quenchingが起これば補正が必要