

Skyrme力を用いた 多スレーター行列式による 軽い核の励起構造計算

福岡 佑太¹

船木 靖郎³, 矢花 一浩^{1, 2, 3}, 中務 孝^{2, 3}

1 筑波大学数理物質科学研究科

2 筑波大学計算科学センター

3 理化学研究所仁科加速器研究センター

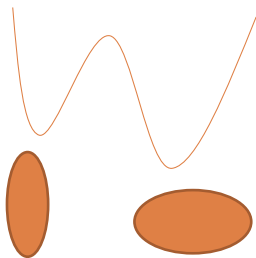
Introduction

平均場理論

- それぞれの核子がある一体場の中を運動している。
- 核図表の広い範囲にわたって、結合エネルギー, 半径, 密度分布, 変形の記述に成功

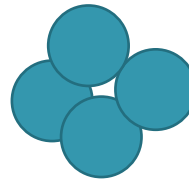
励起状態を記述するときには基底状態だけでは不十分

変形共存



^{40}Ca , ^{68}Se ,
 ^{72}Kr , ...

クラスター状態



^8Be , ^{12}C ,
 ^{16}O , ...

Generator Coordinate Method (GCM)

物理的な直観に基づいて用意されるが、直観に依らずに用意したい。

今回は軽い核の励起状態(クラスター状態が現れる核)について議論する

目的

- 多スレーター行列式を経験的に依らない方法で用意して、平均場理論をもとにした方法からクラスター励起を記述する。
- 本研究では特に基底状態と励起状態が異なっている ^{12}C の励起状態について議論する。

^{12}C の特徴

- 基底状態：平均場的な状態
- 励起状態：クラスター状態



α 粒子
 ^4He

0_2^+ について

- Hoyle state
宇宙での元素合成の時に重要
- Bose-condensed gas state
3 α 粒子のガス状態
→ 半径が大きくなる

Y. Funaki et al. PRC 67, 051306 (2003)

手法 手順1

1. 何らかの方法で多数のスレーター行列式を生成

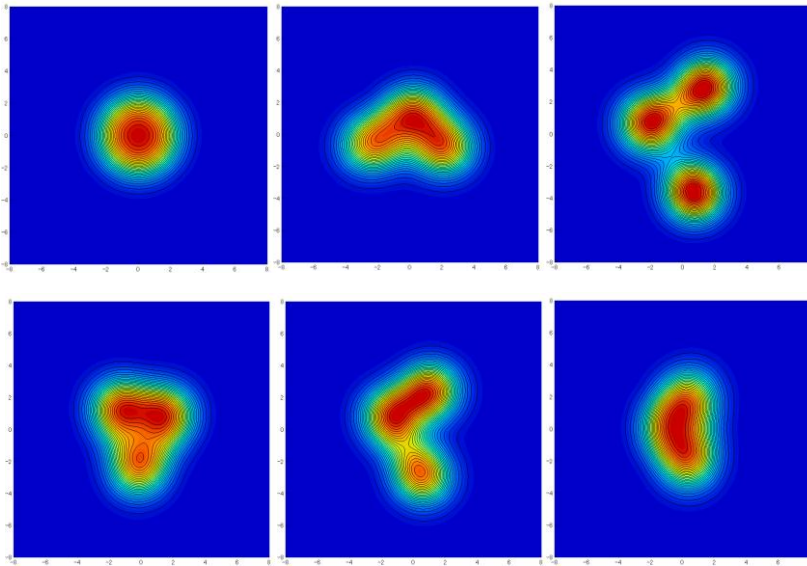


2. 各スレーター行列式についてパリティ, 角運動量について射影

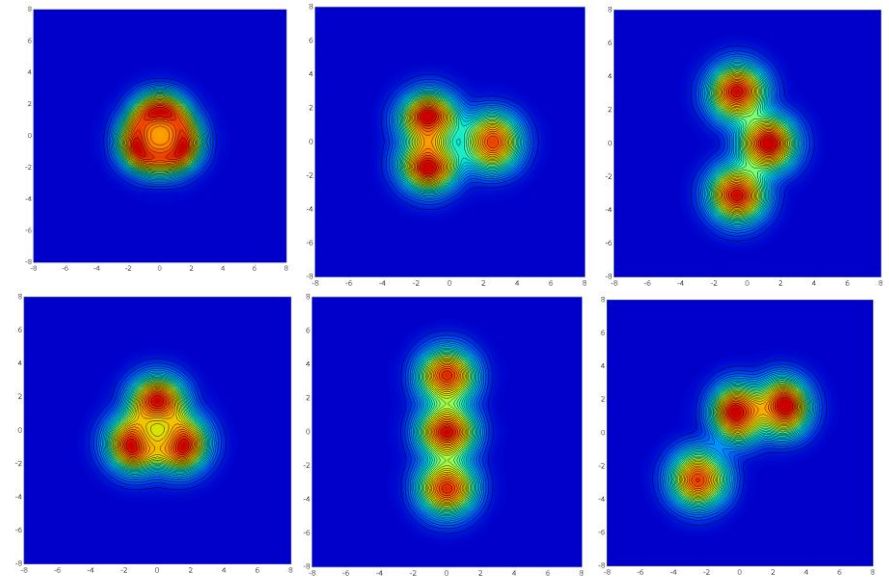


3. 配位混合
(ハミルトニアンに対角化)

虚時間法から(計45個)



クラスター配位(計31個)



手法 手順2

1. 何らかの方法で多数のスレーター行列式を生成



2. 各スレーター行列式についてパリティ、角運動量について射影



3. 配位混合
(ハミルトニアンに対角化)

パリティ・角運動量射影

原子核はパリティ、全角運動量の固有状態

用意したスレーター行列式はさまざまな状態が混合状態

→ それぞれのスレーター行列式を射影することにより、成分を抜き出す

$$\hat{P}_{MK}^J \hat{P}^\pm |\Phi_n\rangle \left\{ \begin{array}{l} \hat{P}_{MK}^J = \frac{2J+1}{8\pi^2} \int d\Omega D_{MK}^{J*} \hat{R}(\Omega) \\ \hat{P}^\pm = \frac{1}{2}(1 + \hat{P}_r) \quad (\hat{R} = e^{-i\alpha \hat{J}_z} e^{-i\beta \hat{J}_y} e^{-i\gamma \hat{J}_z}) \end{array} \right.$$

手法 手順3

1. 何らかの方法で多数のスレーター行列式を生成



2. 各スレーター行列式についてパリティ、角運動量について射影



3. 配位混合
(ハミルトニアンに対角化)

配位混合

配位を重ね合わせて、波動関数を作る

$$|\Psi^{J(\pm)}\rangle = \sum_{n,K} g_{nK} \hat{P}_{MK}^J \hat{P}^{\pm} |\Phi_n\rangle$$

ハミルトニアンを対角化することで得られる

波動関数を得られるのでさまざまな物理量が計算できる

虚時間法によるスレーター行列式の準備

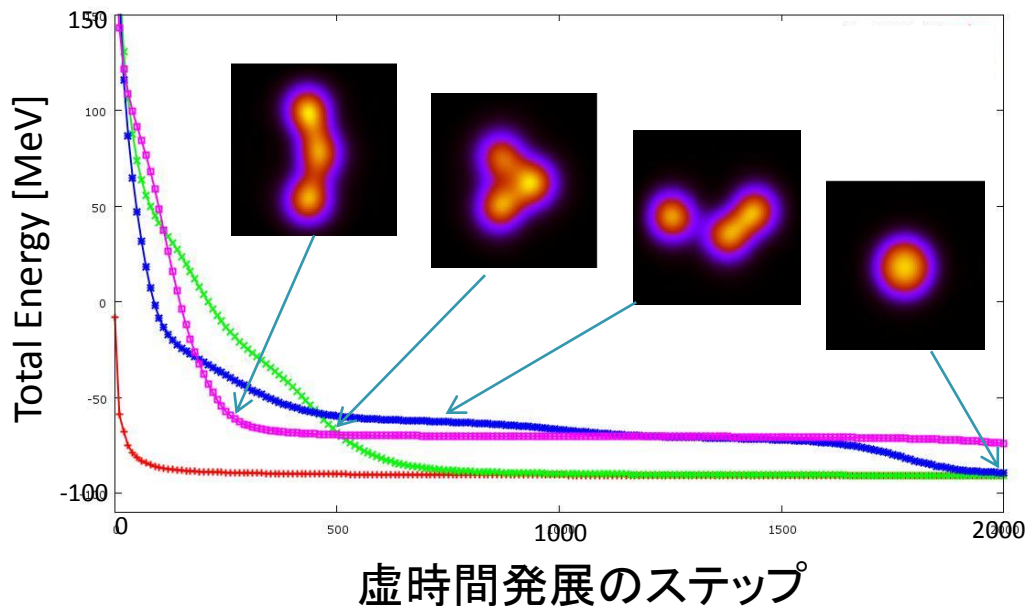
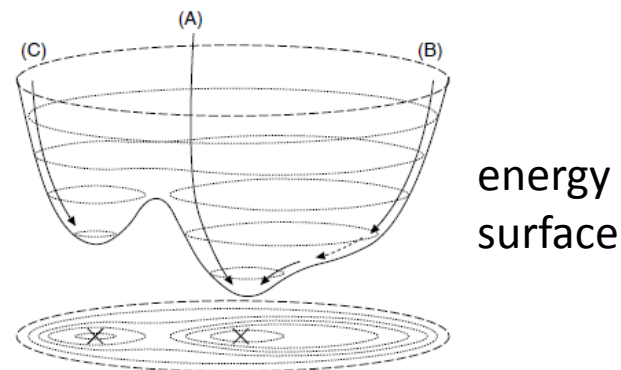
• 虚時間法

原子核の基底状態を求める時に用いられる

虚時間発展中にはlocal minimumやshoulderが現れて、その場所で基底状態とは異なった状態が現れる

S. Shinohara, Ph.D. thesis(2007)

S. Shinohara *et al.*, Phys. Rev. C 74,054315 (2006)



初期値を何度も変えて、異なった状態を45個用意する(虚時間配位)

- 基底状態から30MeV以下
- それぞれのスレーター行列式のオーバーラップは70%以下

数値計算の詳細

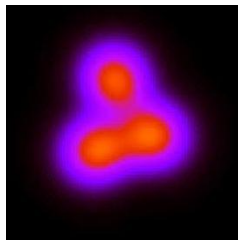
- Skyrme相互作用 : SLy4
- 空間サイズ : 8fm (球形メッシュ)
- メッシュサイズ : 0.8fm

- スレーター行列式 : 45個
- 積分点 : α ; 18点 β ; 30点 γ ; 18点

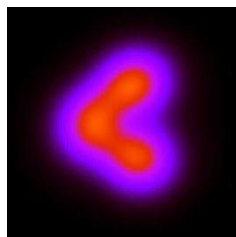
- 計算時間
512CPU \times 6.5h (SR16000@YITP)

実験の励起スペクトルと比較

Hoyle state : 0_2^+



41.2%



36.1%

31.7%

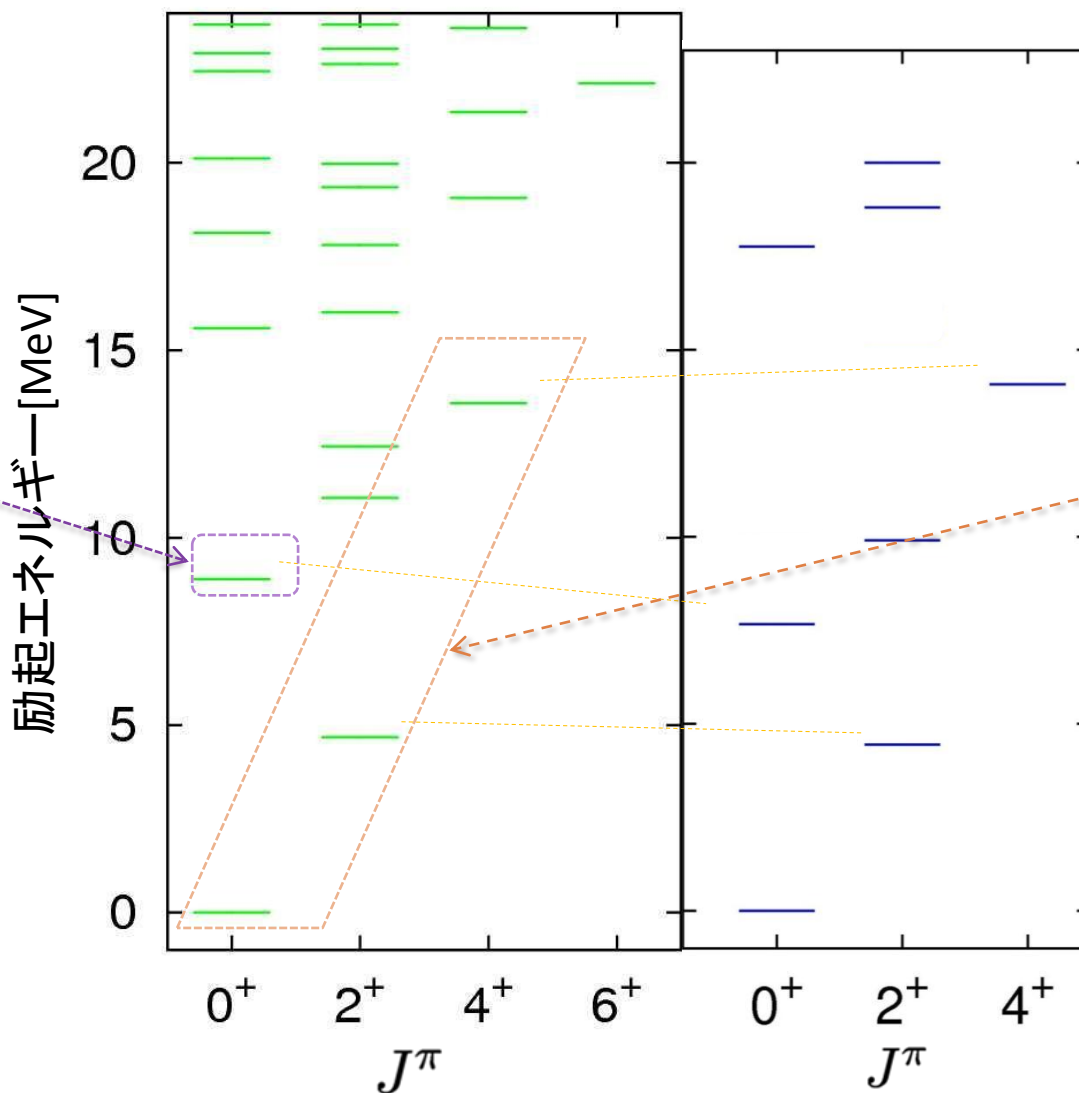
28.9%

27.9%

⋮

虚時間(45個)

実験値



基底状態
バンド



0_1^+
89.8%

86.9%

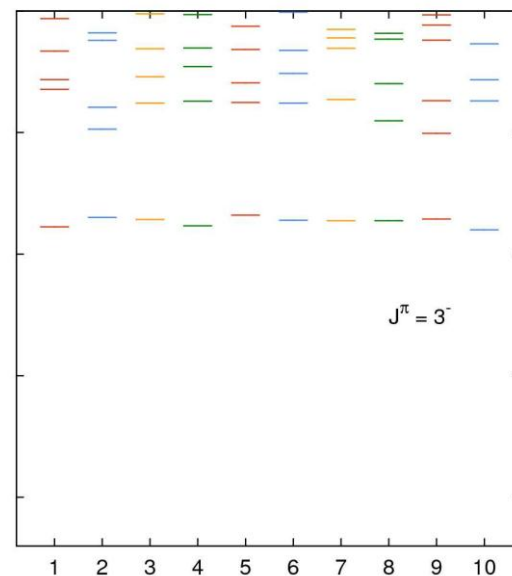
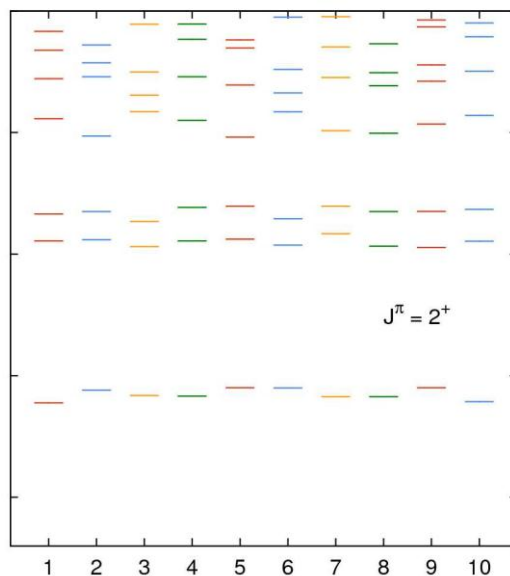
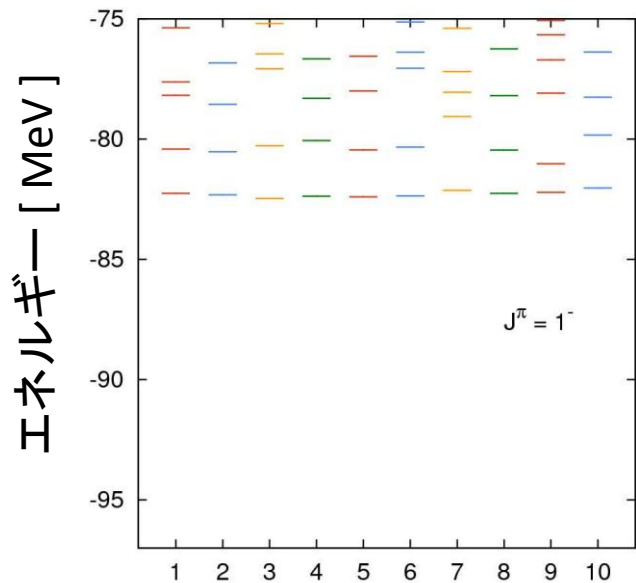
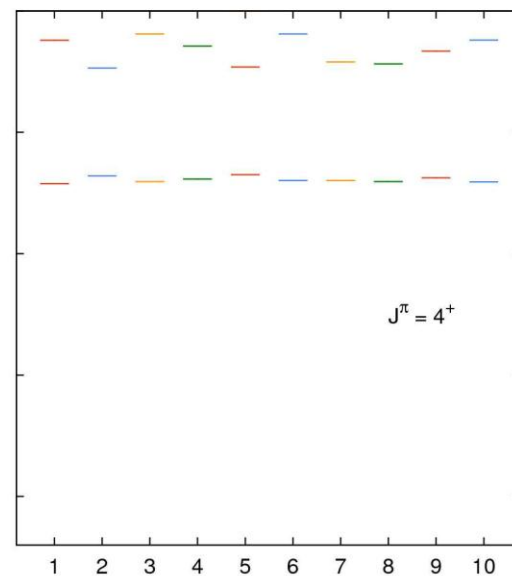
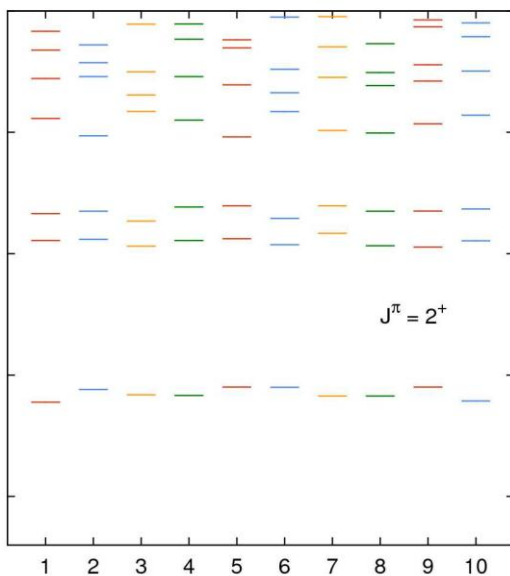
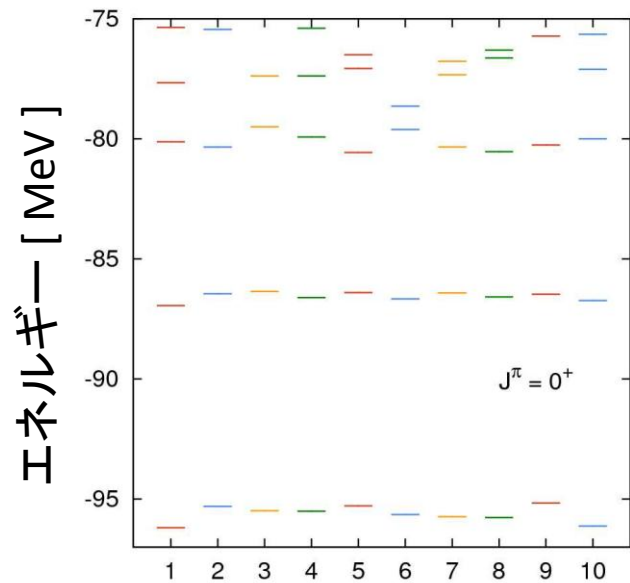
86.2%

84.9%

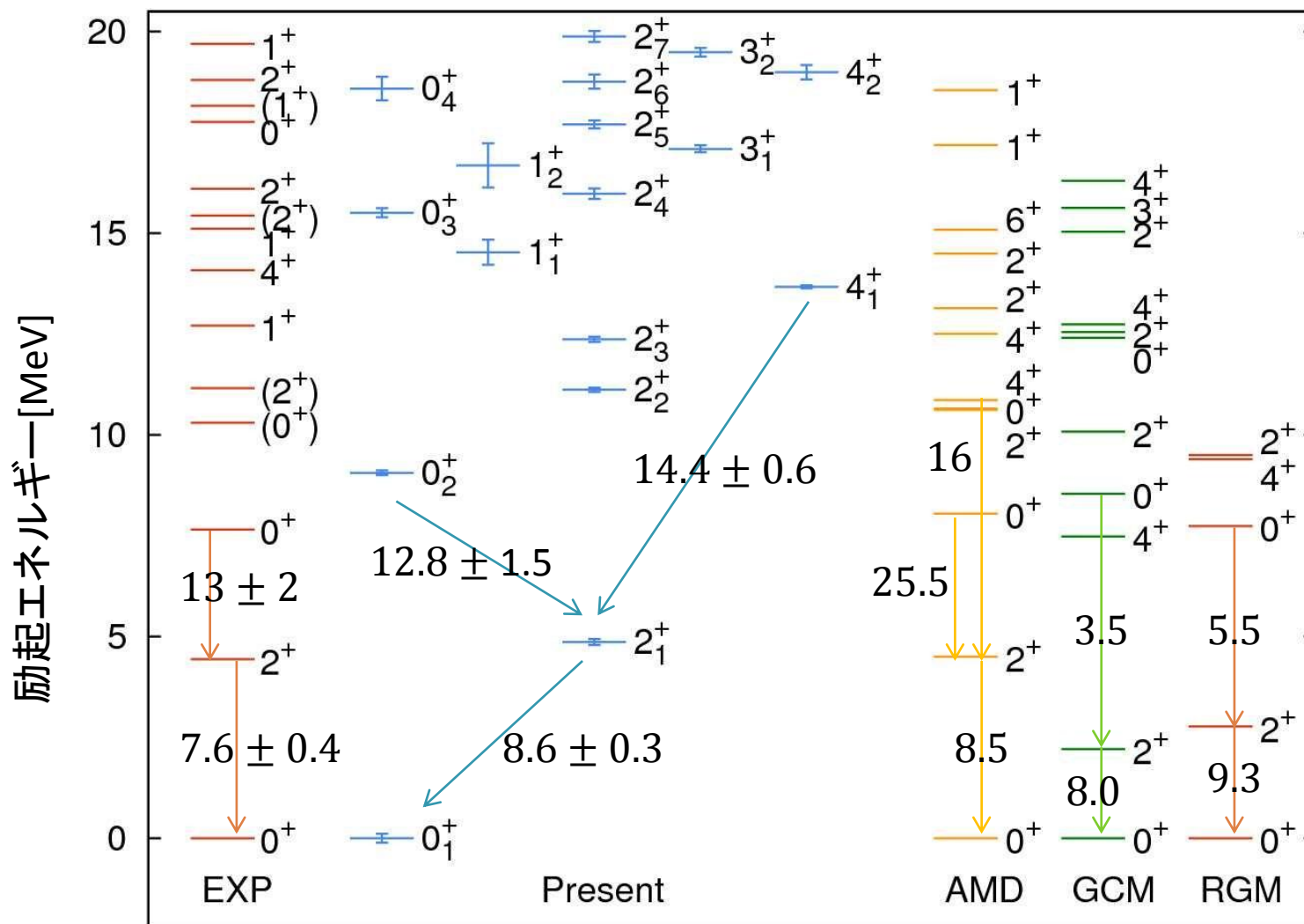
84.2%

⋮

スレーター行列式の組 10セットについて 励起スペクトル



他の理論計算とスペクトルの比較



電気四重極繊維強度 $e^2 fm^4$

まとめ

多数のスレーター行列式の準備

- 虚時間法を使うことで、経験に依らずスレーター行列を生成する

^{12}C の計算

- 基底状態バンドをよく再現
- Hoyle状態も得ることができて、アルファ粒子の異なった配置の状態を多数重ね合わせ合わせたものになっている。これは3つの α 粒子がゆるく結合した状態に対応する。
- 誰がやっても似たような結果を得ることができる。