

4 α -OCMによる ^{16}O の isoscalar monopole 励起

T. Yamada, Y. Funaki, T. Myo *et al.*
Phys Rev C.85.034315(2012)

京都大学 原子核理論
修士1回 四方悠貴

contents

- Introduction

 - monopole励起の集団運動的描像とクラスターモデル的描像

- theory

 - 4α -OCM、Isoscalar monopole operator

- calculation

 - 4α -OCMの計算結果(^{16}O の構造、monopole励起)

- summary

contents

- **Introduction**
- theory
- calculation
- summary

Introduction

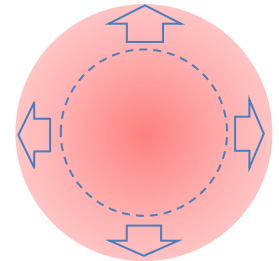
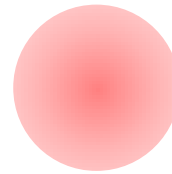
モノポール励起とは？



原子核の膨張

- 集団運動

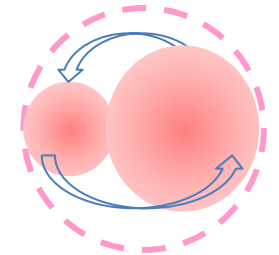
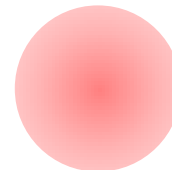
- …原子核全体が均等に膨張



密度の飽和性を破るため比較的高エネルギーな励起

- クラスタモデル

- …クラスタの自由度を持つことにより膨張



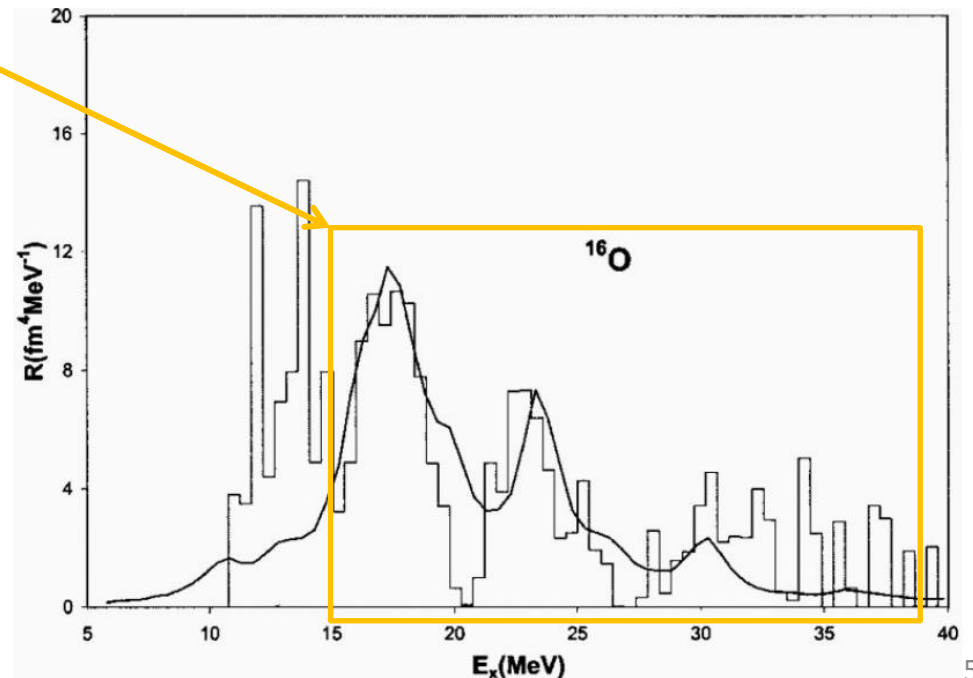
比較的低エネルギーで励起可能

Introduction

- ^{16}O のIsoscalar monopole (ISM) strength function は $E_x \cong 40$ MeV まで測定されている。
- $16 < E_x < 40$ MeV のhigher energy では3つの巨大なこぶ構造が見られる。



mean field calculation
によって再現
(実線)



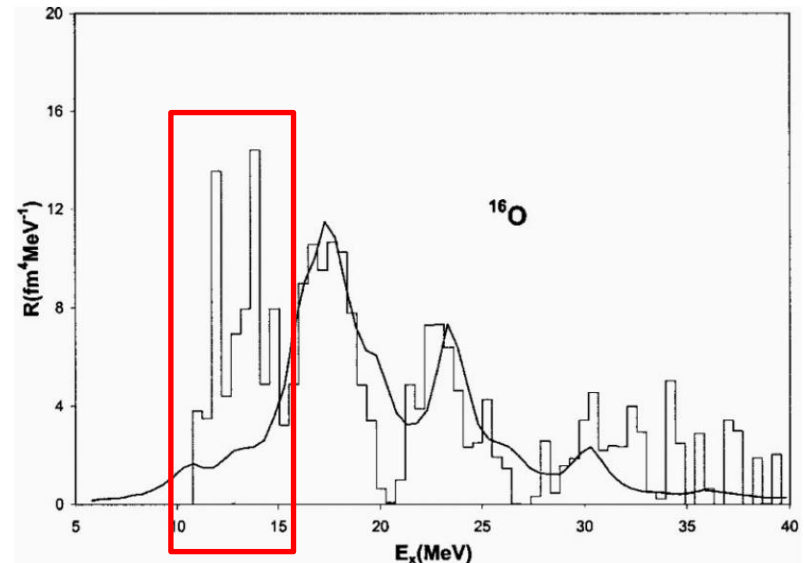
Introduction

- ^{16}O のIsoscalar monopole (ISM) strength function は $E_x \cong 40$ MeV まで測定されている。
- $16 < E_x < 40$ MeV のhigher energy では3つの巨大なこぶ構造が見られる。

しかし、低エネルギー ($E_x < 16$ MeV) は再現できない。



4α -OCM (Orthogonality condition model) によって低エネルギーでの**モノポール励起**がうまく再現されることを見る。



contents

- Introduction
- **theory**
- calculation
- summary

Theory

Isoscalar monopole (ISM) strength function

$$\begin{aligned} S(E) &= \sum_n \delta(E - E_n) |\langle 0_n^+ | \mathcal{O} | 0_1^+ \rangle|^2 \\ &= \frac{1}{\pi} \sum_n \frac{\Gamma_n/2}{(E - E_n)^2 + (\Gamma_n/2)^2} |\mathcal{M}(0_n^+ - 0_1^+)|^2 \end{aligned}$$

ISM 遷移行列要素

ISM operator

$$\mathcal{O} = \sum_{i=1}^{16} (\mathbf{r}_i - \mathbf{R}_{c.m.})^2$$

$$\mathcal{M}(0_n^+ - 0_1^+) = \langle 0_n^+ | \mathcal{O} | 0_1^+ \rangle$$

Isoscalar T=0より、E0遷移に対し

$$\begin{aligned} M(E0, 0_n^+ - 0_1^+) &\equiv \langle 0_n^+ | \sum_{i=1}^{16} \frac{1 + \tau_{3i}}{2} (\mathbf{r}_i - \mathbf{R}_{c.m.})^2 | 0_1^+ \rangle \\ &= \frac{1}{2} \mathcal{M}(0_n^+ - 0_1^+) \end{aligned}$$

Theory

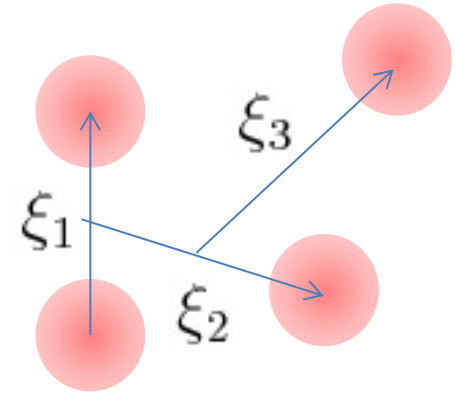
4 α -OCM

- 波動関数

$$\tilde{\Psi}(J^\pi) = \Psi(J^\pi) \phi(\alpha_1) \phi(\alpha_2) \phi(\alpha_3) \phi(\alpha_4)$$

$\Psi(J^\pi)$; 相对波動関数

→
Jacobi座標



直交条件

$$\langle u_F | \Psi(J^\pi) \rangle = 0$$

u_F : パウリ禁止状態

ISM operator (4 α)

$$\mathcal{O} = \sum_{i=1}^{16} (\mathbf{r}_i - \mathbf{R}_{c.m.})^2 = \underbrace{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^4 (\mathbf{r}_{i+4(k-1)} - \mathbf{R}_{\alpha_k})^2}_{\text{(internal)}} + \underbrace{\sum_{j=1}^3 \mu_j \xi_j^2}_{\text{(relative)}}$$

(reduced mass)

$$\mu_1 = 2, \mu_2 = 8/3, \mu_3 = 3$$

Theory

ISM operator (4α)

$$\mathcal{O} = \sum_{i=1}^{16} (\mathbf{r}_i - \mathbf{R}_{c.m.})^2 = \sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^4 (\mathbf{r}_{i+4(k-1)} - \mathbf{R}_{\alpha_k})^2 + \sum_{j=1}^3 \mu_j \xi_j^2$$

(internal) (relative)

α 粒子の励起エネルギーは20 MeVなので、今回の計算では α 粒子の励起は考えない。

相対運動のみを考える。

Hamiltonian(相対運動)

$$\mathcal{H} = \sum_{i=1}^4 T_i - T_{c.m.} + \sum_{i<j}^4 [V_{2\alpha}^{(N)}(i, j) + V_{2\alpha}^{(C)}(i, j)] + \sum_{i<j<k}^4 V_{3\alpha}(i, j, k) + V_{4\alpha}(1, 2, 3, 4)$$

- 相互作用はそれぞれ、 α 粒子間の2体、3体、4体相互作用を表す。
- 3体力と4体力は現象論的に導入されたもので、それぞれ ^{12}C 、 ^{16}O の基底状態を再現するように決められている。

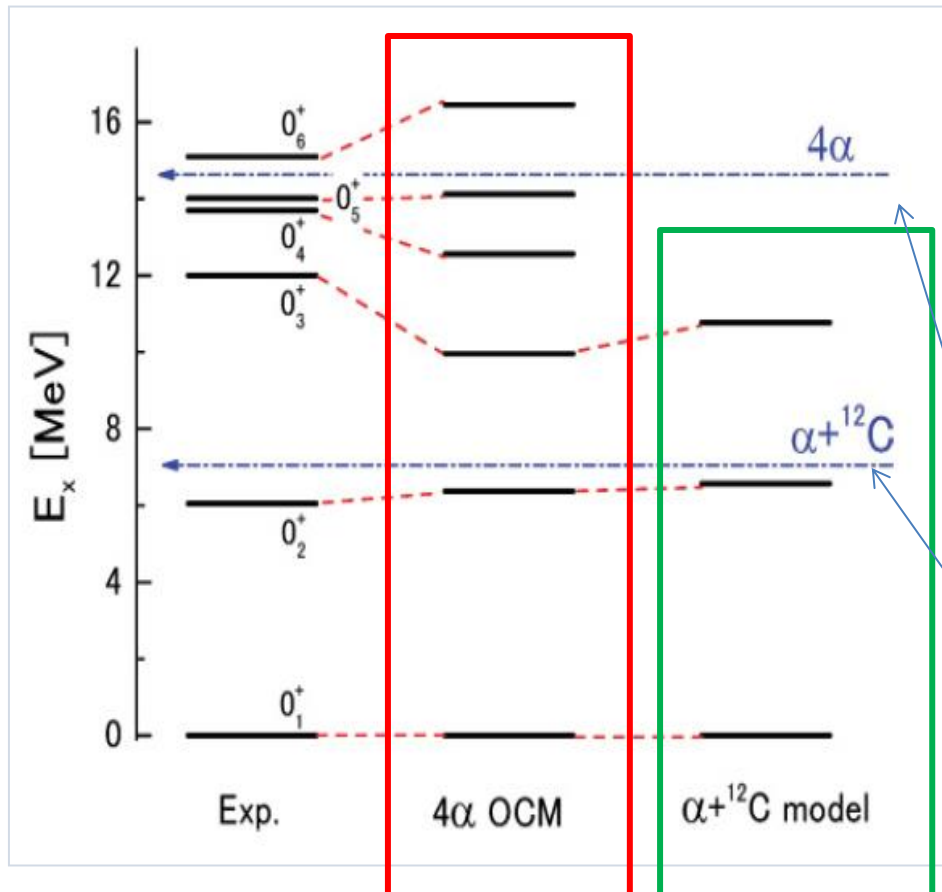
contents

- Introduction
- theory
- **calculation**
- summary

Calculation

以下、4 α -OCMによる計算結果を述べる。

➤ ^{16}O の励起スペクトル



以前の $\alpha+^{12}\text{C}$ modelでは
 $0_1^+ \sim 0_3^+$ までの3つのみ再現

今回の4 α -OCMでは実験的に
測定されている 0_6^+ までを
再現することが出来た。

クラスター分解のthreshold

Calculation

	4 α OCM				Experiment			
	$E_x(\text{MeV})$	$R_c(\text{fm})$	$M(E0)(\text{fm}^2)$	Γ	$E_x(\text{MeV})$	$R_c(\text{fm})$	$M(E0)(\text{fm}^2)$	Γ
0_1^+	0.00	2.7			0.00	2.70		
0_2^+	6.37	3.0	3.9		6.05		3.55 ± 0.21	
0_3^+	9.96	3.1	2.4		12.05		4.03 ± 0.09	
0_4^+	12.56	4.0	2.4	0.60	13.60			0.6
0_5^+	14.12	3.1	2.6	0.20	14.01		3.3 ± 0.7	0.185
0_6^+	16.45	5.6	1.0	0.14	15.10			0.166

$M(E0)$: E0遷移の行列要素 ($= \frac{1}{2} \mathcal{M}$)

Γ : 崩壊幅

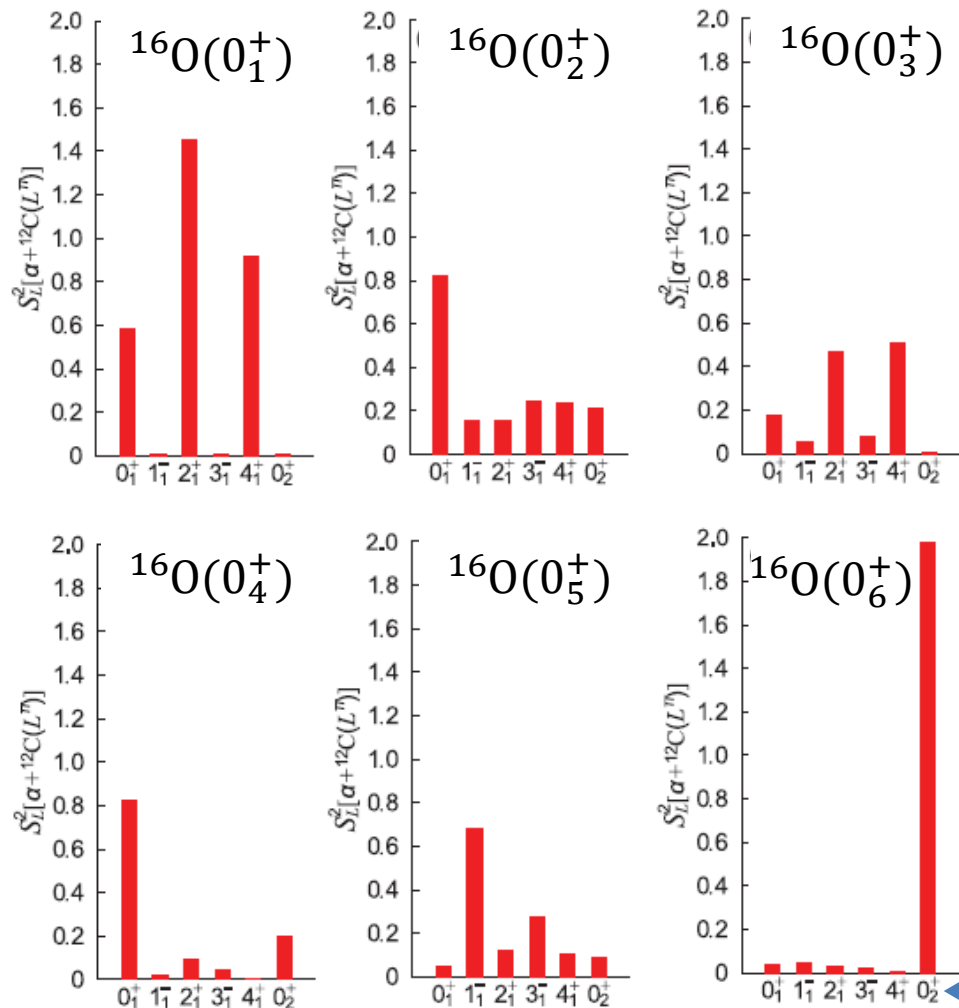
R_c : ^{16}O の荷電半径

- ^{16}O の基底状態の R_c を良く再現
- $M(E0)$ は 0_2^+ と 0_5^+ でよく再現
- Γ は $0_4^+ \sim 0_6^+$ で良く一致している。

Calculation

➤ $[\alpha + {}^{12}\text{C}(L^\pi)]_{J=0}$ の spectroscopic factor S_L^2 ←

${}^{16}\text{O}$ の各 0^+ 状態に $\alpha + {}^{12}\text{C}(L^\pi)$ 状態がそれぞれどれくらい混ざっているかを表す。



このグラフから各励起状態は主に

- $0_2^+ : \alpha + {}^{12}\text{C}(0_1^+)$ S波
- $0_3^+ : \alpha + {}^{12}\text{C}(2_1^+)$ D波
- $0_4^+ : \alpha + {}^{12}\text{C}(0_1^+)$ S波 (higher nodal)
- $0_5^+ : \alpha + {}^{12}\text{C}(1_1^-)$ P波
- $0_6^+ : \alpha + {}^{12}\text{C}(0_2^+)$ S波

の構造をなしていることがわかる。

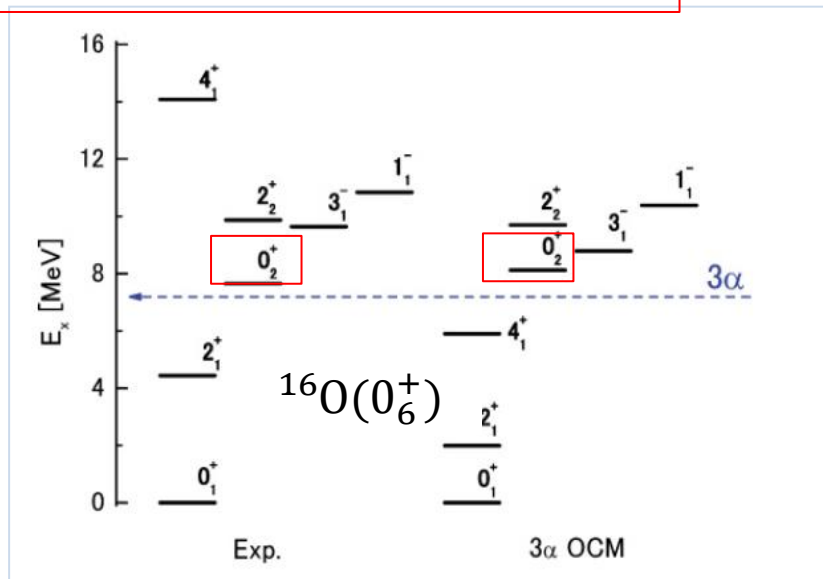
${}^{12}\text{C}$ 周りの α 粒子の軌道

横軸 ${}^{12}\text{C}(L^\pi)$

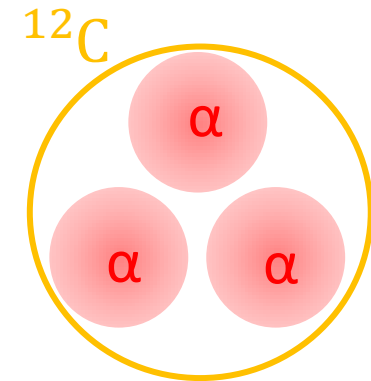
Calculation

➤ ^{16}O の4 α クラスター構造

3 α -OCMによる ^{12}C の励起スペクトル



- 0_2^+ はHoyle state

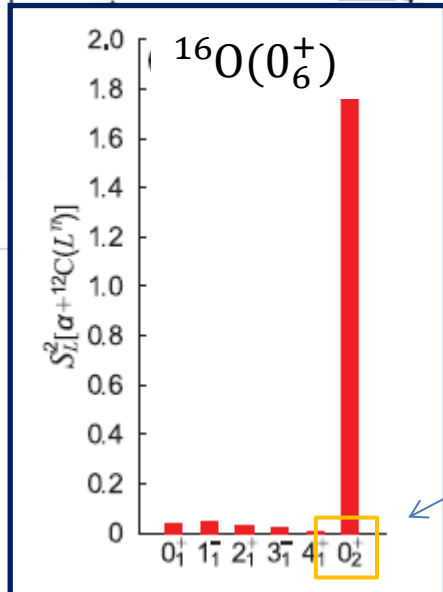
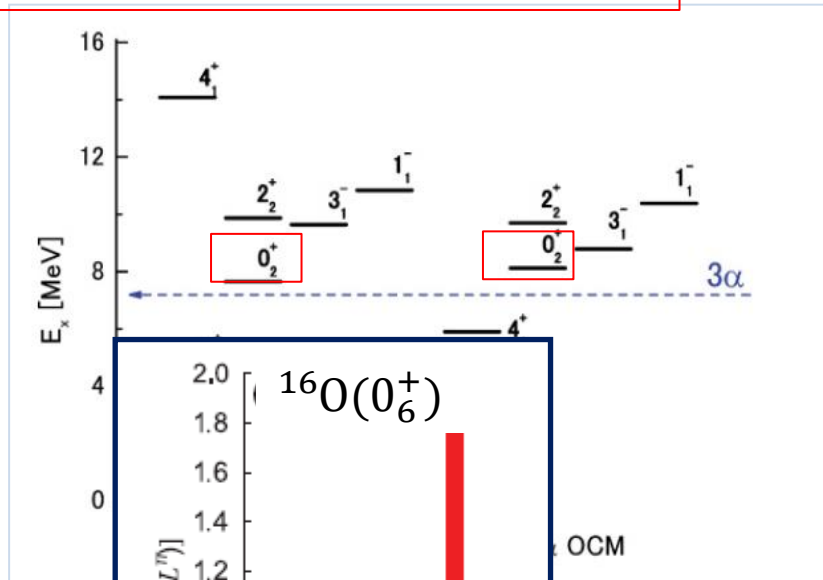


^{12}C が3 α クラスターガス構造をなしている。

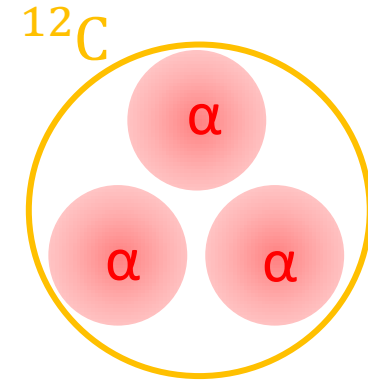
Calculation

➤ ^{16}O の4 α クラスター構造

3 α -OCMによる ^{12}C の励起スペクトル



- 0_2^+ はHoyle state

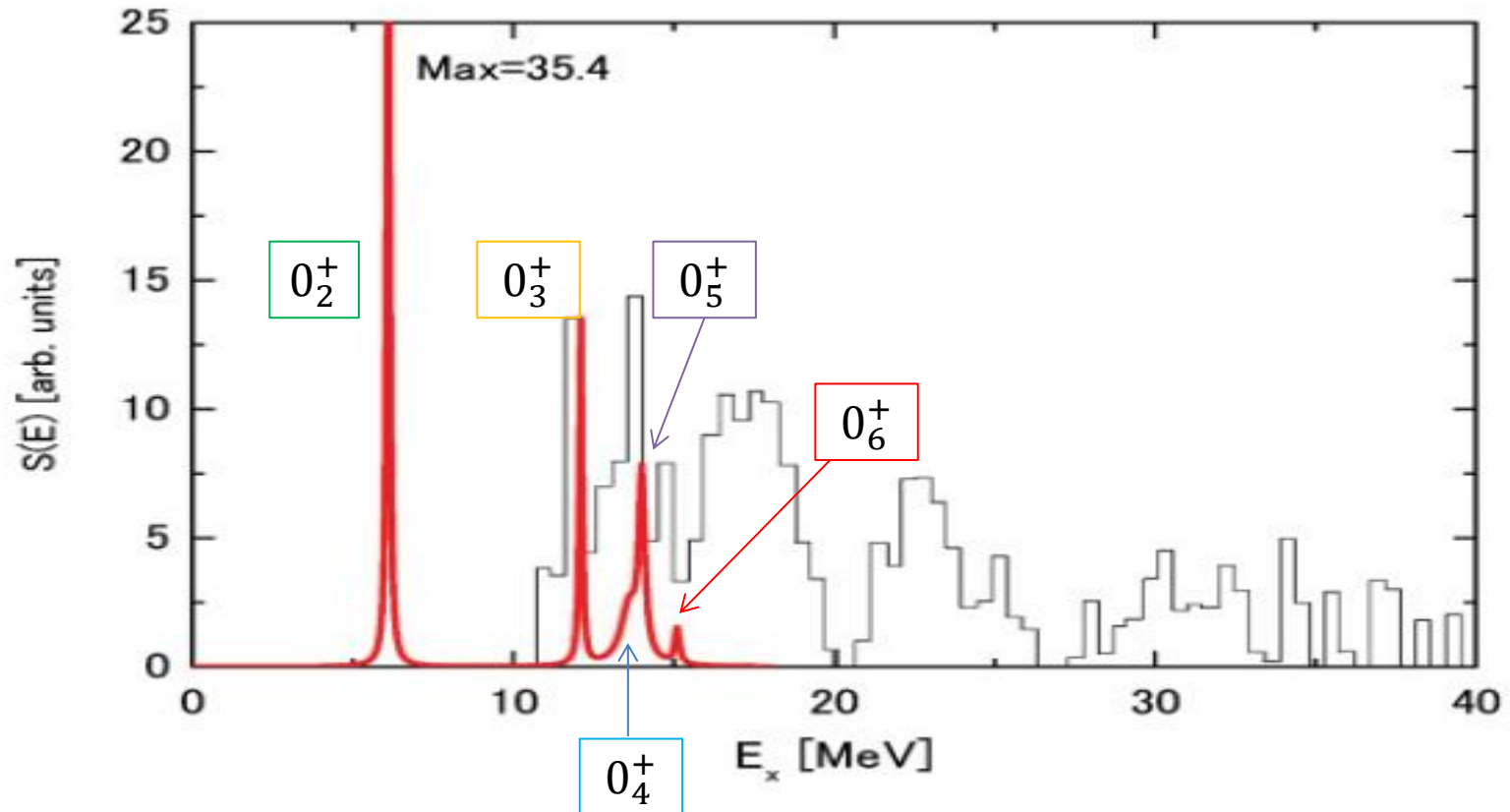


^{12}C が3 α クラスターガス構造をなしている。

^{16}O の 0_6^+ は $\alpha+^{12}\text{C}(0_2^+)$ がdominant
 →4 α ガス構造をなしているとみなせる。

Calculation

➤ $0_2^+ \sim 0_6^+$ のISM強度関数



- mean field で再現できなかった低エネルギーでのピークを再現。
- 実験で 0_2^+ のモノポール励起は観測出来てない。

contents

- Introduction
- theory
- calculation
- **summary**

Summary

- $\alpha + {}^{12}\text{C}$ OCMでは再現できなかったstate($0_4^+ \sim 0_6^+$)を4 α -OCMでは再現できた。
- ${}^{16}\text{O}$ の 0_6^+ は4 α 構造をなしていると見なされる。
- mean fieldでは再現できなかったISM強度関数の低エネルギー($E_x < 16 \text{ MeV}$)部分が4 α -OCMによって良く再現できた。