

PARTICLE-ROTOR MODEL

を用いた ^{31}Ne のクーロン分解の解析

(**Coulomb dissociation of ^{31}Ne
with Particle-Rotor Model**)

2011年8月20日(土)

浦田靖子 萩野浩一 佐川弘幸*

東北大学 原子核理論研究室

会津大学*

中性子過剰核の性質

○ ハロー構造

芯核に弱く束縛された 1,2 個の valence 中性子が薄く広がっている。

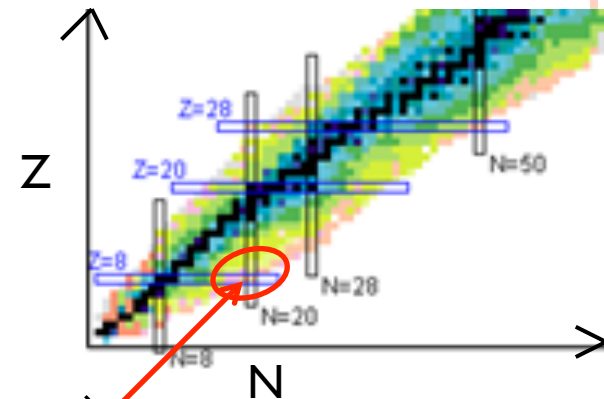
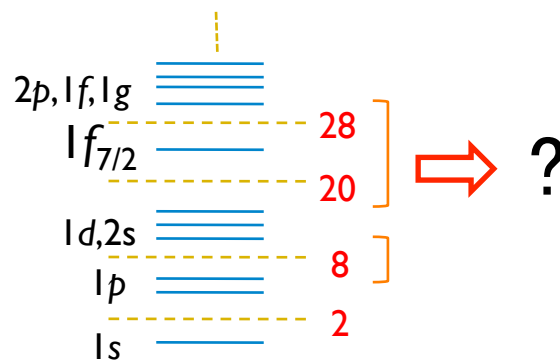
➤ ^{11}Li , ^{11}Be , ^{14}Be , ^6He , ^{19}C など

波動関数が広がってハローを構成するのは、遠心ポテンシャルが小さい s または p 軌道



○ 魔法数の破れ

軌道の逆転



➤ ^{34}Mg , ^{32}Na , ^{30}Ne , ^{32}Ne など (N~20, Z~10)

^{31}Ne のクーロン分解反応の実験

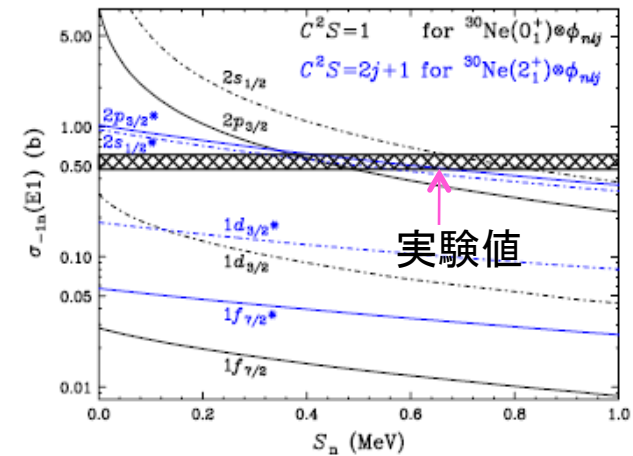
- 理研RIBFで ^{31}Ne について大きい
クーロン分解反応の断面積が測定された。
(T.Nakamura, et al., PRL 103, 262501 (2009))

→ ソフトEI励起

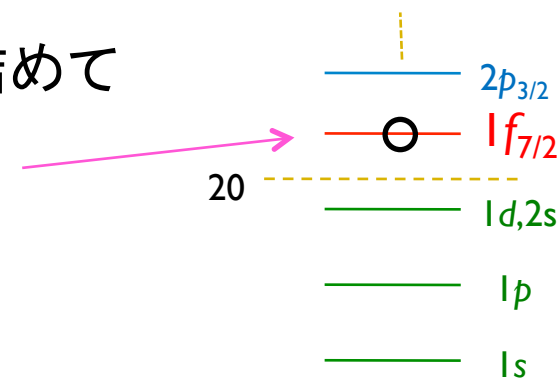
➤ ^{31}Ne はハロー構造

- 球形の殻模型で下から順に中性子を詰めて
いくと、21番目の中性子は $f_{7/2}$ に入る。

➤ ^{31}Ne の変形

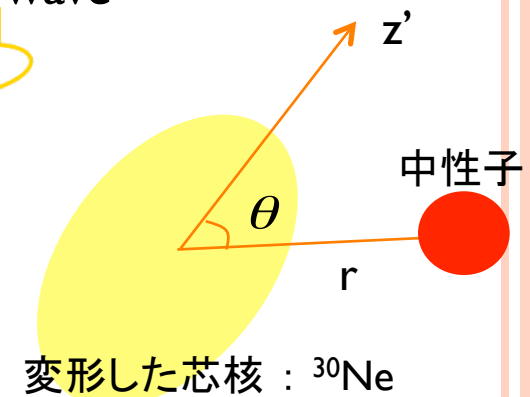
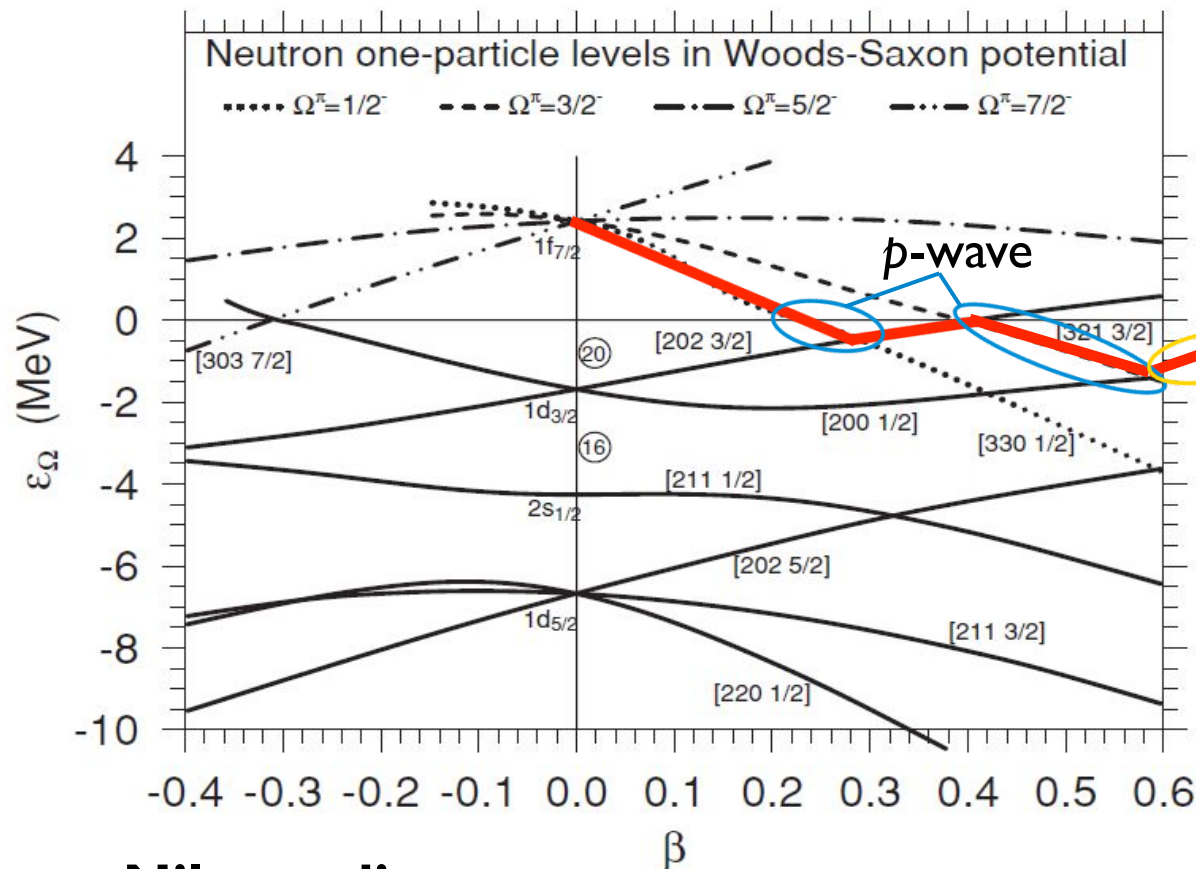


クーロン分解反応断面積



NILSSON DIAGRAM

変形ポテンシャル $V(r, \theta)$ 中の一粒子状態



Nilsson diagram

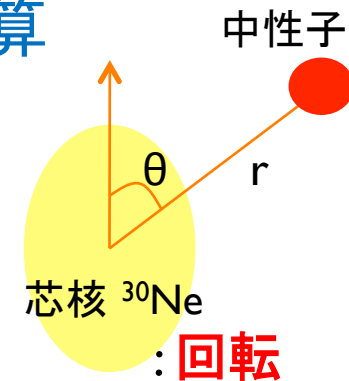
(I.Hamamoto, Phys.Rev.C 81, 021304(R) (2010))

- valence 中性子は s または p-wave が支配的な軌道をとる。

動機

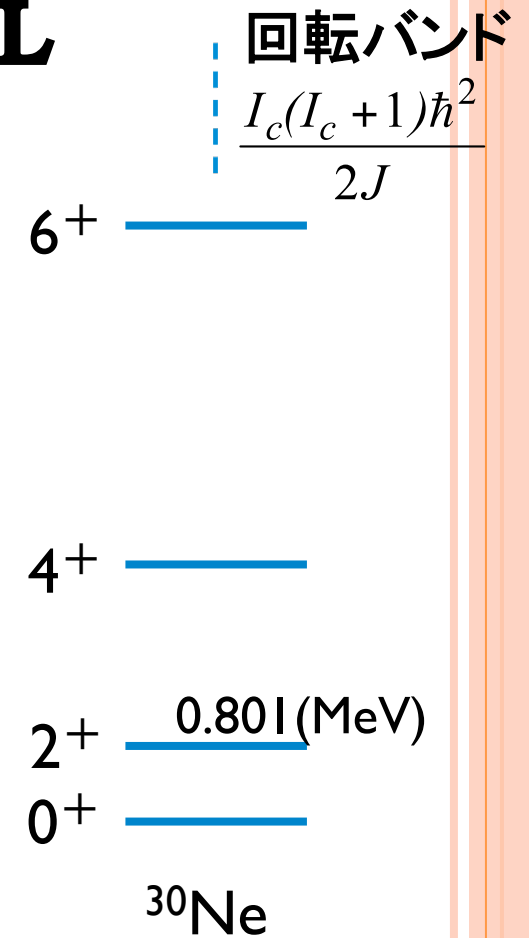
particle-rotor model による、 ^{31}Ne の基底状態の構造の議論

- **芯核の回転励起** : ^{30}Ne は0.801 (MeV) に 2^+ の第一励起状態を持つ。
→ 2^+ の状態が0.801 (MeV)になるような回転バンド
- **クーロン分解反応によるEI遷移の断面積の計算**
→ **実験データとの比較**
 - ニルソン・ダイアグラムとの比較をし、励起エネルギーの効果を議論する。
 - ^{31}Ne の基底状態の性質を議論する。
→ スピン・パリティや変形度、valence 中性子の軌道



PARTICLE-ROTOR MODEL

- ^{31}Ne : 変形して回転する芯核 (^{30}Ne) + 1 中性子
- 芯核は右図のような回転バンドを持つ。
- 角運動量 l の固有状態は、芯核の $0^+, 2^+, 4^+ \dots$ などの状態と相対角運動量 j, l の一粒子状態が結合して下の図のように表される。



$$\Psi_{IM} = \sum_{I_c j l} \alpha_{j l I_c} \left(\begin{array}{c} \text{中性子} \\ \text{31Ne} \\ I_c \end{array} \right) (IM)$$

例えば、

$$= \begin{array}{c} \text{0+} \\ \text{2+} \\ \text{4+} \end{array} \begin{array}{c} f_{7/2} \\ p_{3/2} \\ p_{3/2} \end{array} + \dots$$

PARTICLE-ROTOR MODEL

○ ^{31}Ne : 芯核 (^{30}Ne) + 1 中性子

- 芯核に軸対称な四重極変形を仮定 :

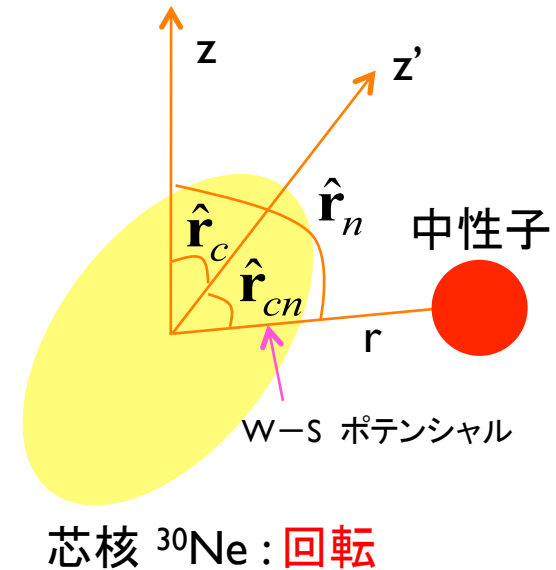
$$R_c(\hat{\mathbf{r}}_{cn}) = R_0(1 + \beta_2 Y_{20}(\hat{\mathbf{r}}_{cn}) + \dots)$$

- 変形した Woods-Saxon ポテンシャル :

$$f(r, \hat{\mathbf{r}}_{cn}) = \frac{V_0}{1 + \exp[(r - R_0 - R_0\beta_2 Y_{20}(\hat{\mathbf{r}}_{cn}))/a]}$$

$$\cong f(r) + V_2(r) Y_{20}(\hat{\mathbf{r}}_{cn})$$

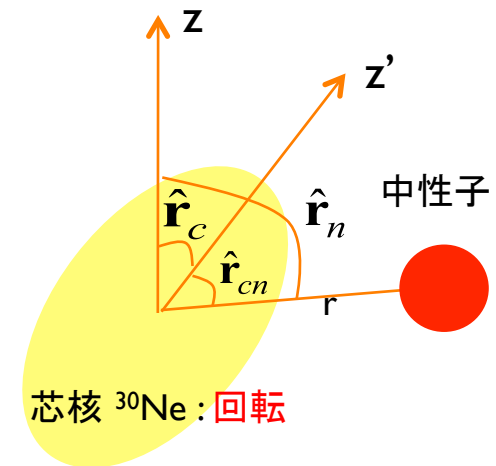
$$f(r) = \frac{V_0}{1 + \exp[(r - R_0)/a]}, R_0 = r_0 A^{\frac{1}{3}}, V_2(r) = -R_0 \beta_2 \frac{df(r)}{dr}$$



PARTICLE-ROTOR MODEL

$$H = H_0 + \underbrace{V_2(r)Y_{20}(\hat{\mathbf{r}}_{cn})}_{\text{変形による項}} + \underbrace{H_{rot}}_{\text{回転のハミルトニアン}}$$

H_0 : 球形ポテンシャルに対するハミルトニアン



波動関数を $H_0 + H_{rot}$ の固有状態で展開

$$\rightarrow \Psi_{IM} = \sum_{n,j,l,I_c} \alpha_{nj l I_c} \varphi_{nj l I_c}^{(IM)}$$

※ 連続状態は大きい箱の中で離散化して求める。

H 行列を数値的に対角化 → 展開係数 $\alpha_{nj l I_c}$

→ エネルギー固有値 E , 波動関数 Ψ_{IM}

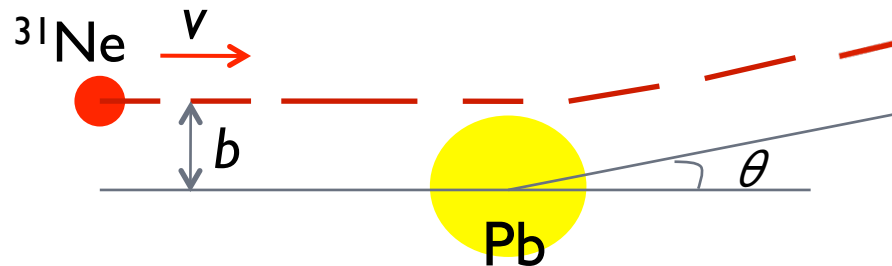
クーロン分解反応の断面積

$$B(E1; i \rightarrow f) = \frac{1}{2I_i + 1} |\langle f || \hat{D} || i \rangle|^2$$

双極子演算子 D は、 $\hat{D} = eZ_{eff} r Y_{10}(\hat{r}_n)$, $Z_{eff} = -\frac{Z}{A+1}$

入射粒子(${}^3\text{Ne}$)がターゲット(Pb)の電磁場によって励起される。

→ ${}^{30}\text{Ne} + n$ に分解



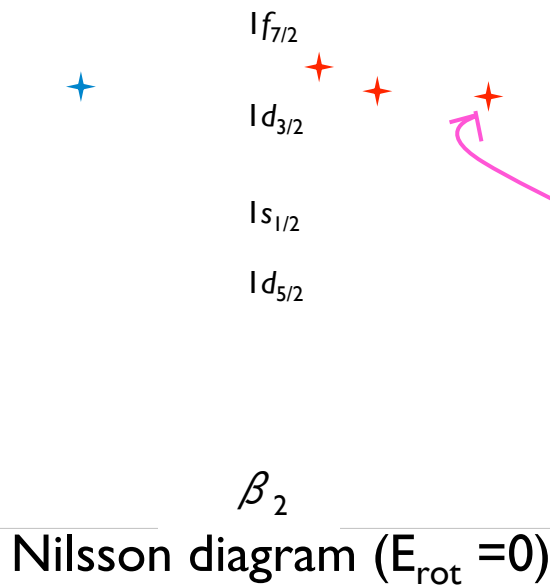
E1遷移の断面積は、
$$\sigma(E1) = \sum_f \frac{16\pi^3}{9\hbar c} N_{E1}(E_f - E_i) B(E1; i \rightarrow f) N_{E1} : \text{仮想光子数}$$

PARTICLE-ROTOR MODEL と NILSSON DIAGRAM

✖ $H = H_0 + V_2(r)Y_{20}(\theta) + H_{rot}$: particle-rotor model

$H_{rot}(E_{rot}) = 0 \rightarrow$ Nilsson diagram (ε_K): K がよい量子数

一粒子エネルギー (MeV)



➤ $E_{rot} \neq 0$ の効果

0(MeV)
0.3(MeV)

energy E (MeV)

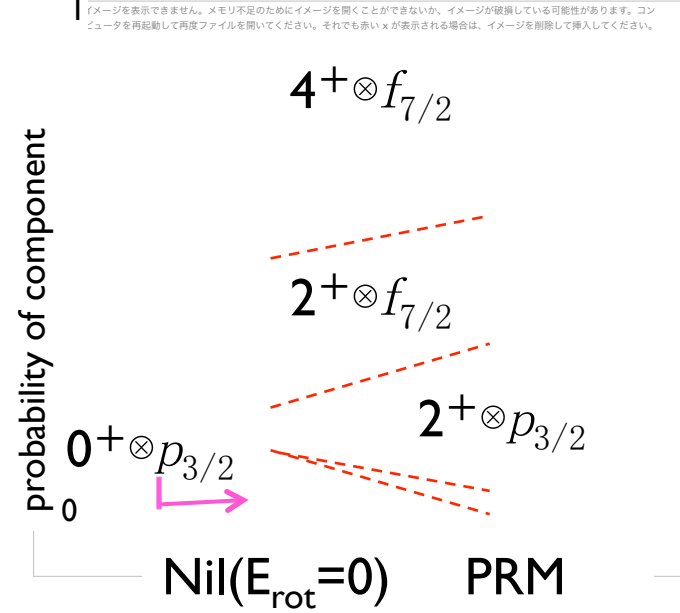
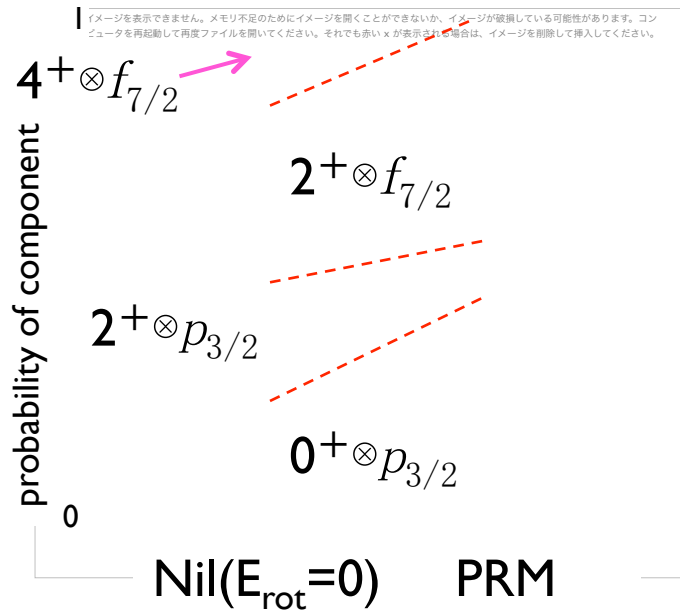
band head

E_{2+} (MeV)

結果 : 基底状態の波動関数の構成要素の確率と $B(E1)$ の、芯核の励起エネルギーによる変化

$\beta_2=0.2$, band head : $I^\pi=(3/2)^-$
 $B(E1)=0.763$, $B(E1)=0.758$ (e^2fm^2)

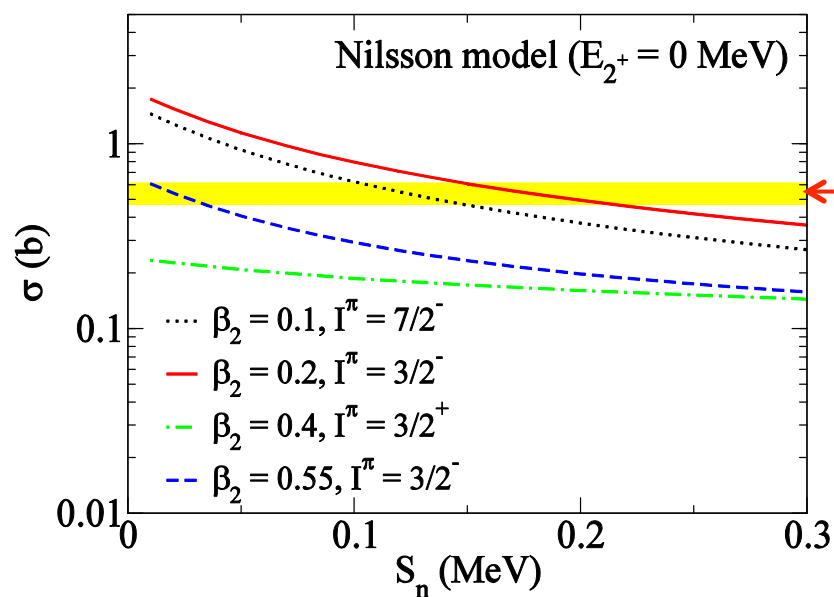
$\beta_2=0.55$, band head : $I^\pi=(3/2)^-$
 $B(E1)=0.482$, $B(E1)=0.412$ (e^2fm^2)



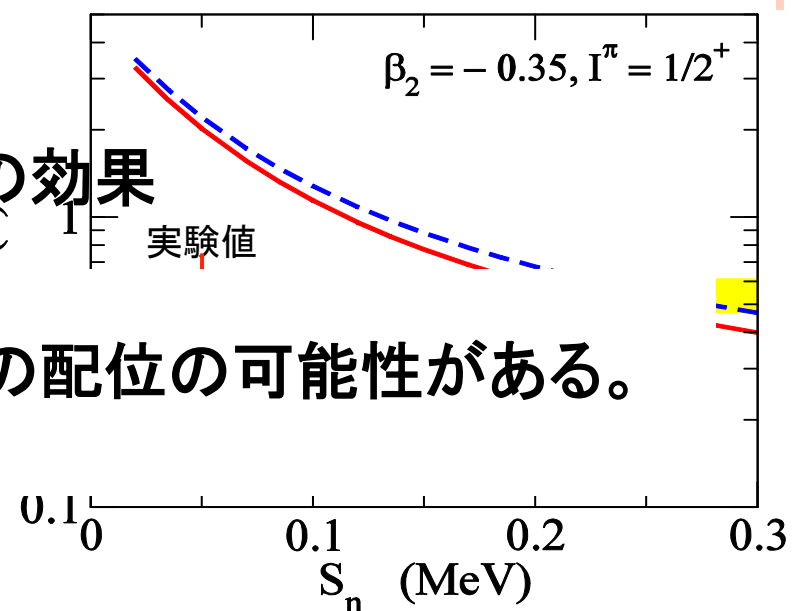
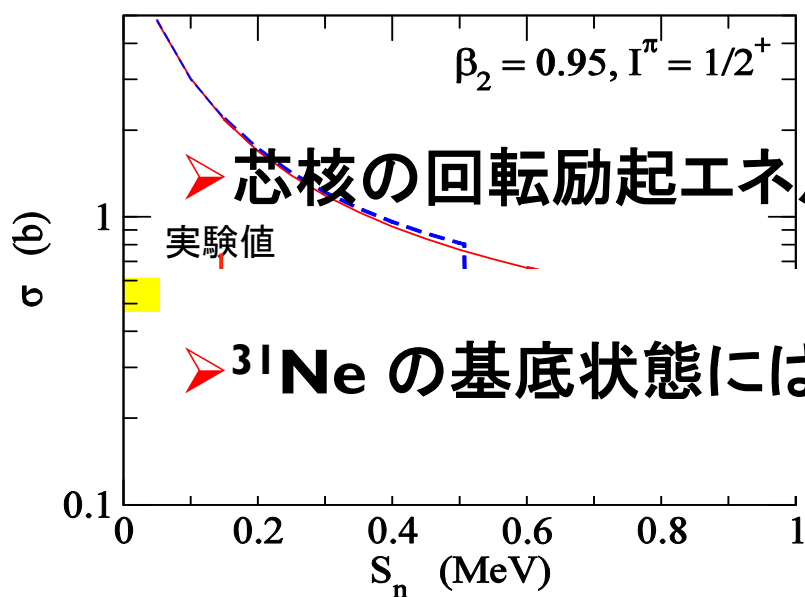
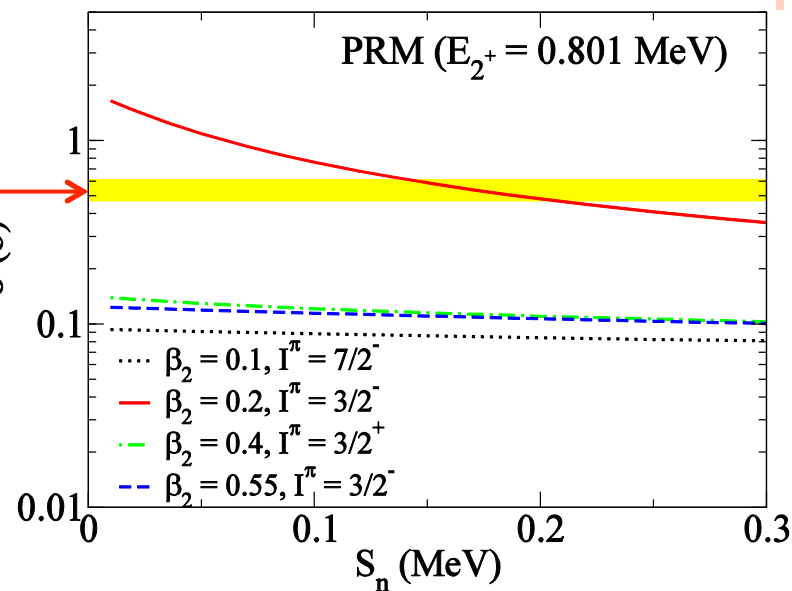
左右ともに $S_n=0.3$ (MeV)

実験値は、 $S_n=0.29 \pm 1.64$ (MeV)

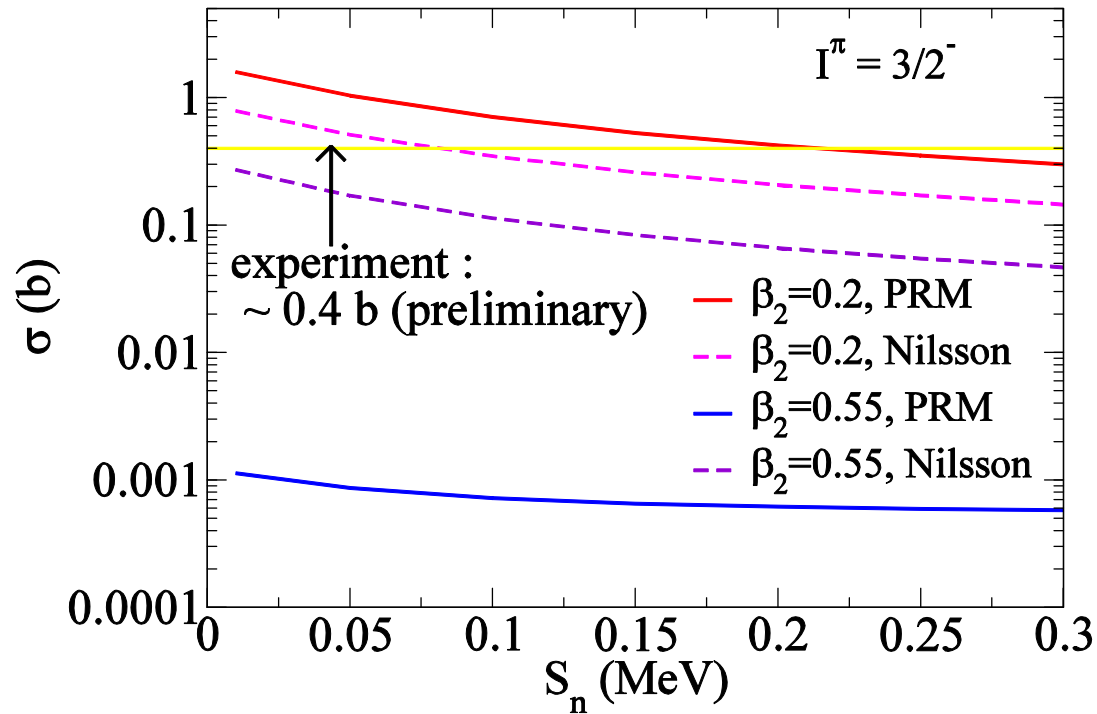
EI遷移の断面積 $\sigma(EI)$



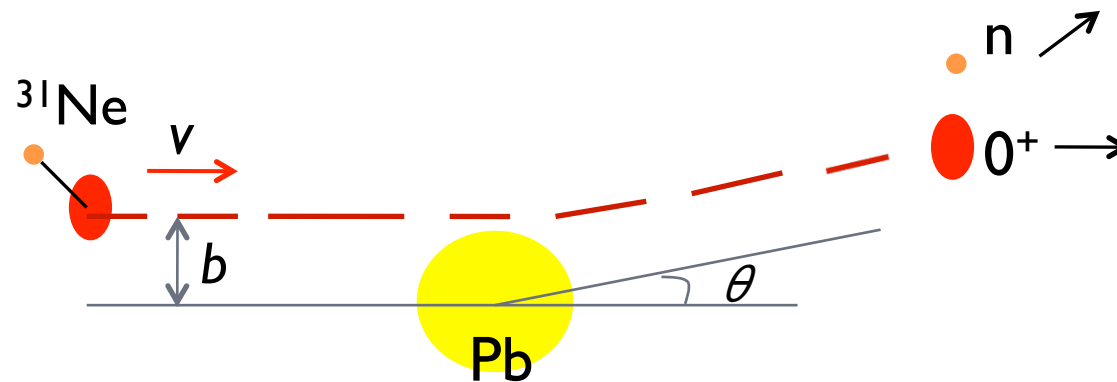
実験値



クーロン分解後に芯核が 0^+ のもの



➤ 同様の結論が得られる。

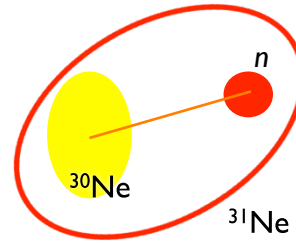


まとめ

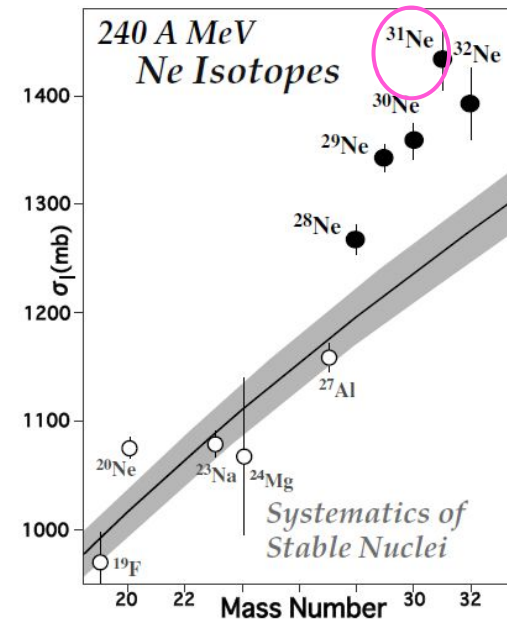
- ◆ particle-rotor model を用いて芯核の励起エネルギーを考慮することにより、 ^{31}Ne の基底状態の構造を議論した。
- ◆ クーロン分解反応でのEI遷移の断面積 $\sigma(EI)$ を議論する場合、芯核の励起エネルギーを考慮することが重要である。
- ◆ $\sigma(EI)$ の実験値との比較から、 ^{31}Ne の基底状態の配位は、次の3種類に絞られる。


I^π	支配的な軌道	β_2
$(3/2)^-$	$P_{3/2}$	$\beta_2 \sim 0.25$
$(1/2)^+$	$s_{1/2}$	$\beta_2 \sim 0.95$
$(1/2)^+$	$s_{1/2}$	$\beta_2 \sim -0.35$

今後の発展



- ^{31}Ne の相互作用断面積の計算
→ 実験値 (M.Takechi et al.,
Nucl.Phys.A 834, 412c (2010))
- クーロン分解反応の断面積の運動量分布
→ 分布の形状は配位によって大きく異なる。
(W.Horiuchi et al., Phys.Rev.C 81, 024606 (2010))
- 他の中性子過剰核への適用
→ 例えば ^{33}Mg ($N=21, A=12$): 魔法数の破れの指摘
(R.Kanungo et al., Phys.Lett.B 685, 253 (2010))





ご清聴ありがとうございました。