# ハロ一核の分解反応における 核カとクーロンカの役割

吉田数貴1, 福井徳朗1, 蓑茂工将2, 緒方一介1

¹阪大RCNP ²九州大学

#### ハロ一核

密度の飽和性  $R=1.1A^{1/3} \mathrm{fm}$  →安定核でしか成り立たない

ハロー核:1個または2個の中性子がコア核のまわりに 薄く、異常に広く分布

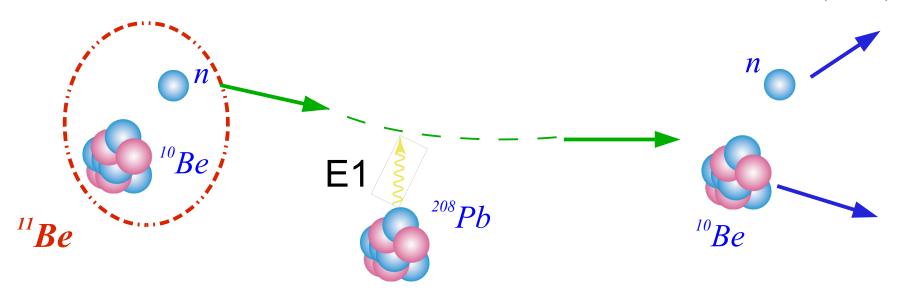


# ハロ一核の探索

ハローを特徴付ける量

#### クーロン双極子相互作用(E1)による分解断面積の大きさ

T.Nakamura, et al., PRL 103, 262501(2009)



実験で観測可能な量: $\sigma_{\mathrm{C}}^{\mathrm{exp}}, \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{exp}}$ 

#### 本研究の目的と手法

$$\sigma_{\mathrm{C}}^{\mathrm{exp}}, \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{exp}} \longrightarrow \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(E1)$$

観測量からE1による分解断面積を引き出す方法の確立

スケーリング則

対象とするハロ一核は

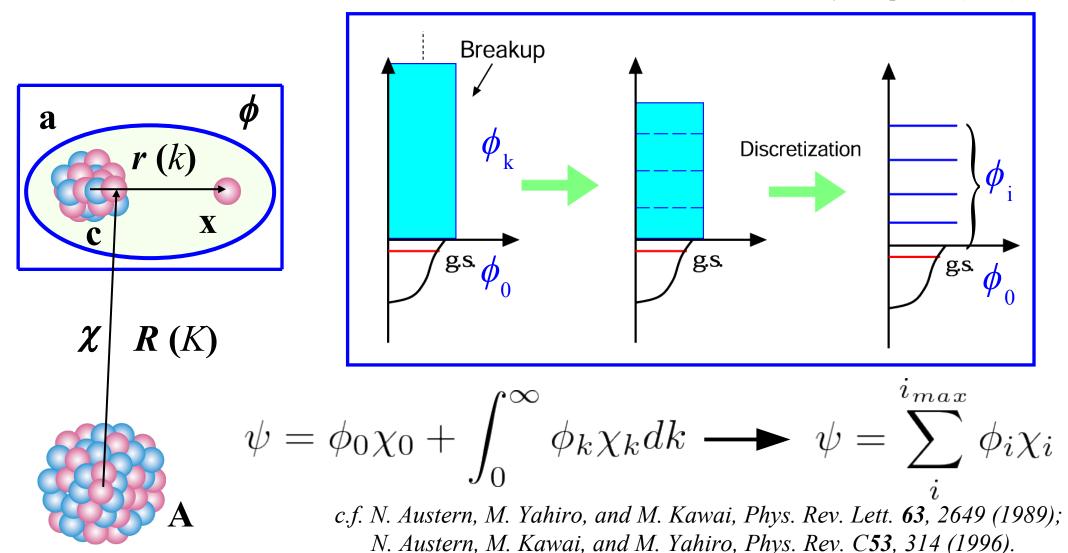
<sup>11</sup>Be, <sup>15</sup>C, <sup>19</sup>C, <sup>31</sup>Ne 1n-halo

標的核は <sup>12</sup>C, <sup>16</sup>O, <sup>48</sup>Ca, <sup>58</sup>Ni, <sup>90</sup>Zr, <sup>208</sup>Pb 反応モデルはアイコナールCDCCを用いる

N. Yahiro, K. Ogata, T. Matsumoto, K. Minomo. PTEP 2012 01A209(review)

#### CDCC法

M. Kamimura, Yahiro, Iseri, Sakuragi, Kameyama and Kawai, PTP Suppl. **89**, 1 (1986); N. Austern, Iseri, Kamimura, Kawai, Rawitscher and Yahiro, Phys. Rep. **154** (1987) 126.



#### 本研究の目的と手法

- ・分解反応を非摂動,非断熱的に記述する
- •核カとクーロンカを干渉を含め統一的に扱える
- ・2核子間の相互作用にはメルボルンのg行列
- ・密度はハートリーフォック
- ・コア-標的核,中性子-標的核間の相互作用は微視的畳み込み
- 入射エネルギー 250MeV / nucleon

# 弾性分解(EB)とstripping(STR)

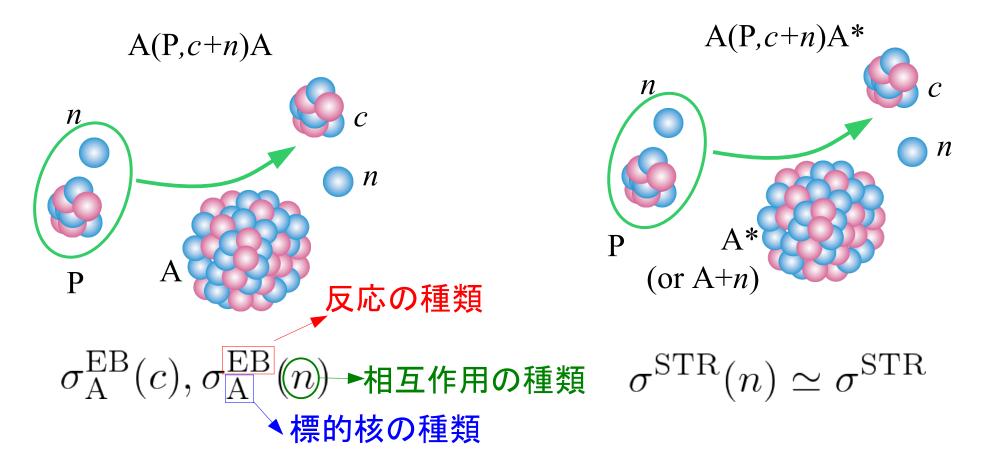
実験で観測するのはコア核のみ  $\sigma^{-1n} = \sigma^{EB} + \sigma^{STR}$ 

# EB

標的核Aが励起されない

#### STR

標的核Aが励起またはnを吸収



#### 準備(1)

<del>定理1</del>: クーロンカと核力の分解振幅の干渉は無視できる

想定1 
$$\sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}} = \sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}}(c) + \sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}}(n)$$

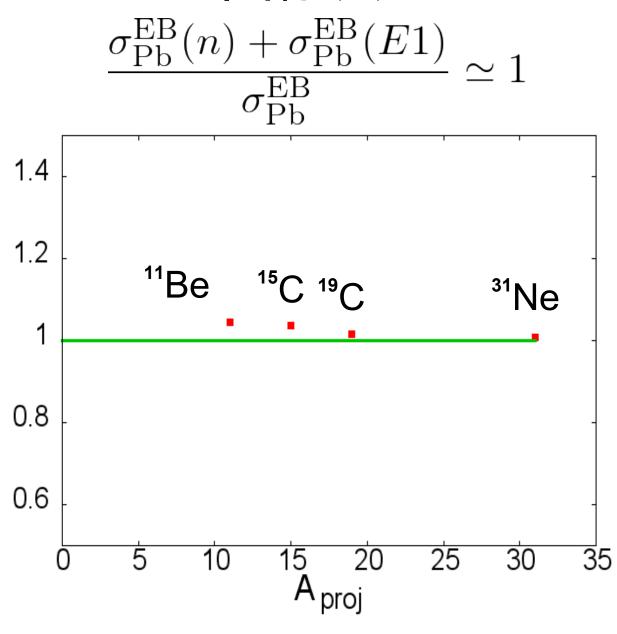
<del>| 定理2</del>: <sup>208</sup>Pbのクーロン分解断面積はE1が支配的

想定2 多段階過程は無視できる

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) \simeq \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(E1)$$

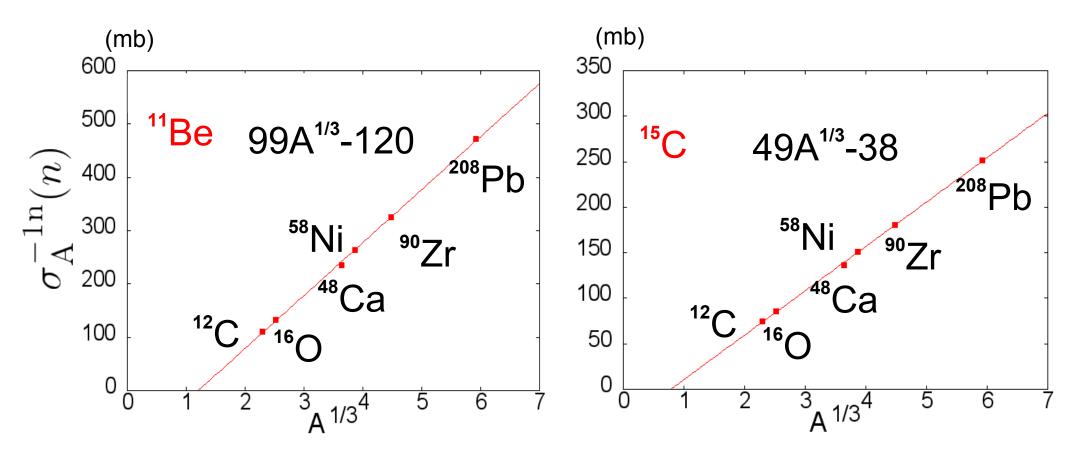
$$\frac{\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(E1)}{\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}} \simeq 1$$

# 準備(1)



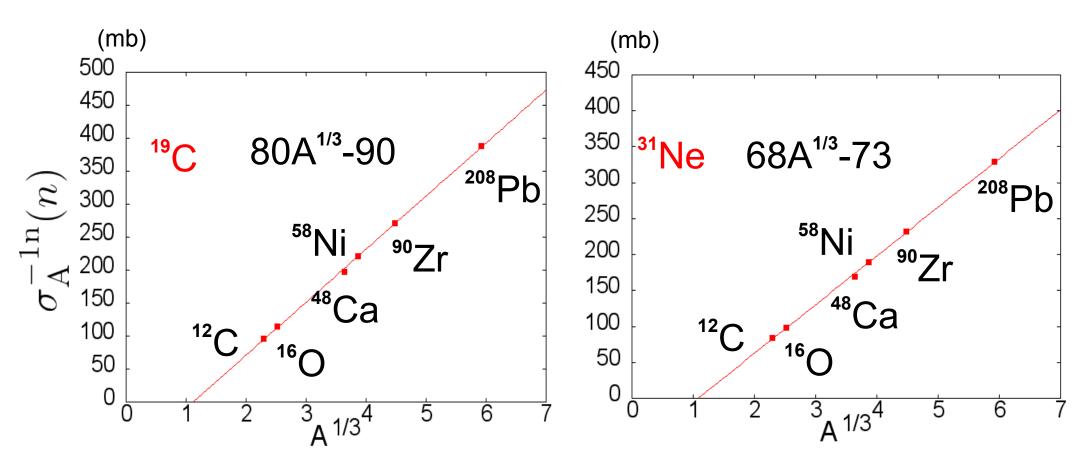
# 準備(2)

定理3: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) = \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$$
 想定3 
$$(\sigma^{-1n}(n) = \sigma^{\mathrm{STR}}(n) + \sigma^{\mathrm{EB}}(n))$$

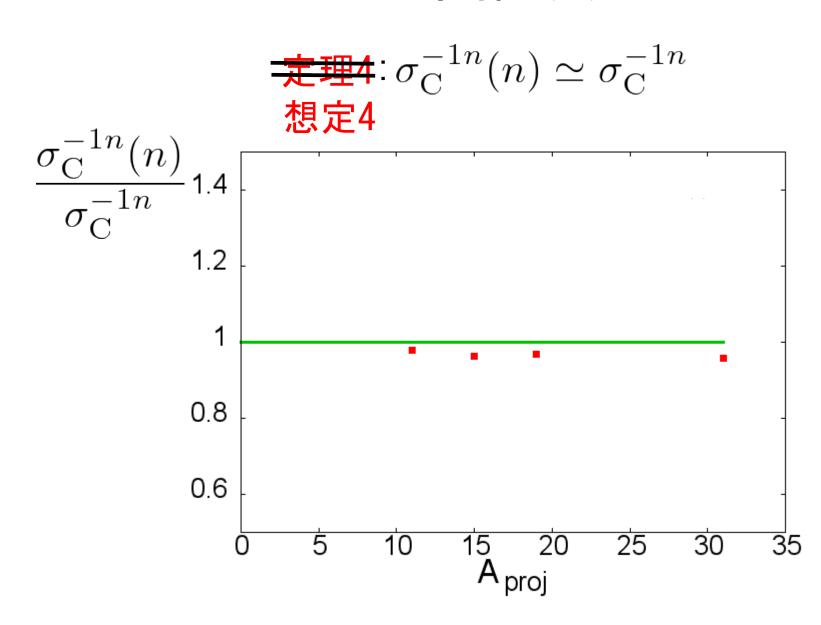


# 準備(2)

定理3: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) = \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$$
 想定3 
$$(\sigma^{-1n}(n) = \sigma^{\mathrm{STR}}(n) + \sigma^{\mathrm{EB}}(n))$$



### 準備(3)



$$\sigma_{\rm Pb}^{-1n} = \sigma_{\rm Pb}^{\rm STR} + \sigma_{\rm Pb}^{\rm EB}$$

$$\sigma_{\text{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\text{Pb}}^{\text{STR}} + \sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}}$$

$$\frac{\mathbf{定理}}{\mathbf{EB}} : \sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}} = \sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}}(c) + \sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}}(n)$$
想定1  $\sigma_{\text{STR}}^{\text{STR}}(n) \simeq \sigma_{\text{STR}}^{\text{STR}}$ 

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}} + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}$$

$$= \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}} + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}$$

$$= \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n)$$

$$= \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n) \simeq \sigma^{\mathrm{STR}}$$

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c)$$

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}} + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}$$

$$\frac{\mathbf{定u}}{\mathbf{c}_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}} : \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n)$$

$$\frac{\mathbf{z}_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}}{\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n)} \simeq \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n) \simeq \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}$$

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c)$$

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c)$$

**完理**: 
$$\sigma_{\text{Pb}}^{\text{EB}}(c) = \sigma_{\text{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\text{Pb}}^{-1n}(n)$$

想定1



$$\sigma_{\rm Pb}^{-1n} = \sigma_{\rm Pb}^{\rm STR} + \sigma_{\rm Pb}^{\rm EB}$$

定理 : 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n)$$
想定  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n) \simeq \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n)$ 

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{STR}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c)$$

$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) + \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c)$$

定理: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n)$$
 想定:  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) = \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$  想定3

定理: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n)$$
 想定:  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) = \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$   $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$ 

定理: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n)$$
 想定1 
$$\begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \end{array}{c} \end{array} \end{array} \end{array} \end{array} \end{array} : \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n) \\ \end{array} \end{array}$$
 想定3 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n) \\ \\ \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \begin{array}{c} \end{array}{c} \end{array} \end{array} \end{array} : \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) \simeq \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(E1) \\ \end{array} \end{array}$$
 想定2

定理: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n)$$
 想定1 ま理3:  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n) = \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$  の 想定3  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$  の 意思  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$  の 意思  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) \simeq \sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c)$  の  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(E1) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$ 

定理: 
$$\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n)$$
 想定1  $\frac{\mathbf{z}_{\mathbf{T}}}{\mathbf{z}_{\mathbf{T}}}$ :  $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(n) = \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$   $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$   $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(c) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$   $\sigma_{\mathrm{Pb}}^{\mathrm{EB}}(E1) = \sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)$ 

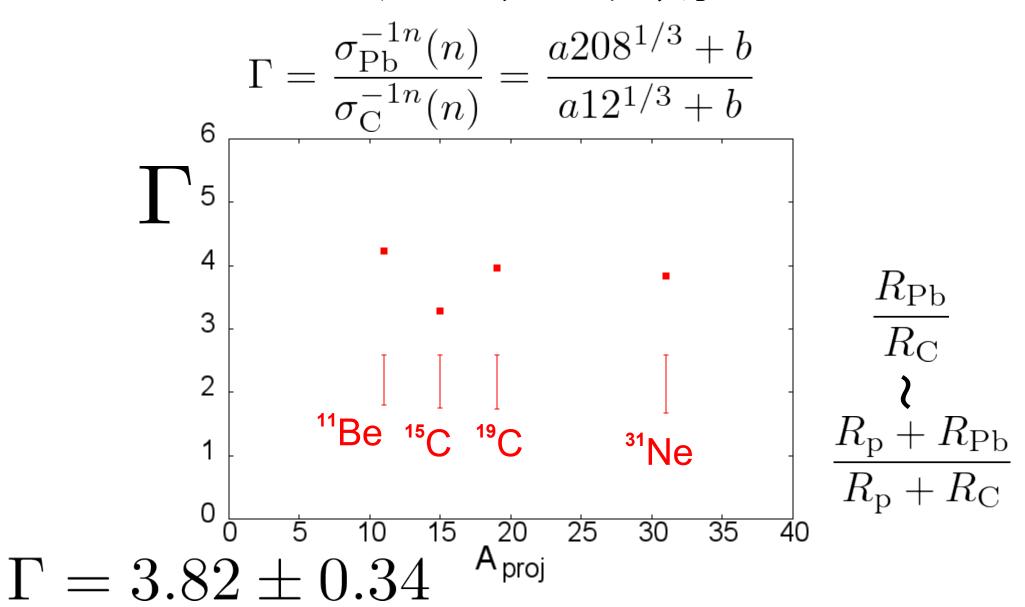
$$\mathfrak{T} \quad \sigma_{\mathrm{Pb}}^{exp}(n) = \frac{\sigma_{\mathrm{Pb}}^{-1n}(n)}{\sigma_{\mathrm{C}}^{-1n}(n)} \sigma_{\mathrm{C}}^{exp}(n) \qquad (\sigma_{\mathrm{C}}^{exp}(n) \simeq \sigma_{\mathrm{C}}^{exp})$$

$$= \frac{a208^{1/3} + b}{a12^{1/3} + b} \sigma_{\mathrm{C}}^{exp}$$

$$\Gamma$$

(2) 
$$\Gamma = \frac{R_{\rm p} + R_{\rm Pb}}{R_{\rm p} + R_{\rm C}} \sim \frac{R_{\rm Pb}}{R_{\rm C}}$$
  $\left(R_{\rm A} \propto A^{1/3}\right)$ 

T.Nakamura, et al., PRL 103, 262501(2009)



#### まとめ

$$\sigma_{\rm C}^{\rm exp}, \sigma_{\rm Pb}^{\rm exp} \longrightarrow \sigma_{\rm Pb}^{\rm EB}(E1)$$

#### 観測量から(E1)による分解断面積を引き出す方法の確立

$$\sigma_{\rm Pb}^{\rm EB}(E1) = \sigma_{\rm Pb}^{-1n} - \Gamma \sigma_{\rm C}^{-1n}$$

$$\Gamma = \frac{R_p + R_{Pb}}{R_p + R_C} \sim \frac{R_{Pb}}{R_C}$$

$$\Gamma = \frac{\sigma_{Pb}^{-1n}(n)}{\sigma_C^{-1n}(n)} = \frac{a208^{1/3} + b}{a12^{1/3} + b}$$

$$\Gamma = 3.82 \pm 0.34$$

### 将来の展望

- ■今回対象としたのはハロ一核であることがある程度確定している核種
- ■分解断面積の増加が穏やかな核種の場合、より正確に E1による分解断面積を見積もる必要がある

CDCCを用いて正確なスケール因子を決定



E1による分解断面積を正確に見積もる



ハロ一核かどうかの正確な判定