

分解反応を用いた中性子過剰な C, Ne, Mg, Si 核の研究

東京工業大学 中村研究室 小林信之

アウトライン

- 序論

 - 中性子ハロー核

 - クーロン分解反応 / インクルーシブなクーロン分解反応

 - ハロー核のクーロン分解断面積

 - 運動量分布 $d\sigma/dP_{\parallel}$ の測定

- 実験セットアップ @ RI ビームファクトリー(RIBF)

 - 標的 & 検出器 @ BigRIPS/ZDS

- 解析

 - 粒子識別

 - ビーム強度

- 結果

 - 分解断面積($^{19,20,22}\text{C}$, $^{29,31}\text{Ne}$, $^{33,35,37}\text{Mg}$, $^{39,41}\text{Si}$)

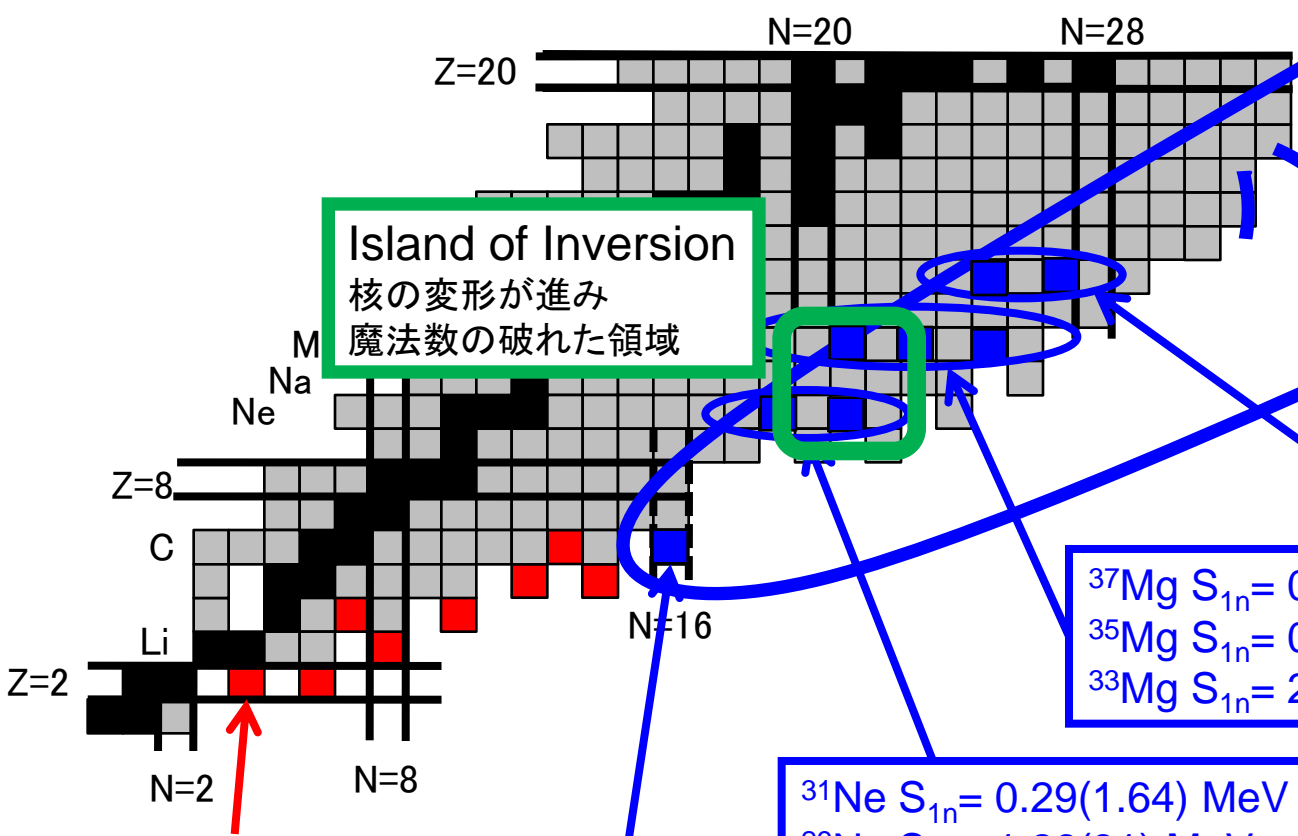
- 議論

 - ^{31}Ne の配位

 - ^{22}C の配位

- まとめ

序論 中性子ハロー核



Island of Inversion
核の変形が進み
魔法数の破れた領域

中性子ハロー核

^{22}C $S_{2n} = 0.42(94)$ MeV

^{31}Ne $S_{1n} = 0.29(1.64)$ MeV
 ^{29}Ne $S_{1n} = 1.26(31)$ MeV

^{37}Mg $S_{1n} = 0.25(1.03)$ MeV
 ^{35}Mg $S_{1n} = 0.73(46)$ MeV
 ^{33}Mg $S_{1n} = 2.22(3)$ MeV

^{41}Si $S_{1n} = -0.02(1.93)$ MeV
 ^{39}Si $S_{1n} = 2.08(36)$ MeV

ハロー構造?
存在するのか?
どこに?なぜ?

K. Tanaka et al., PRL **104**, 062701 (2003).
G. Audi et al., NPA **729**, 337 (2003).
B. Jurado et al., PLB **649**, 43 (2007).

クーロン&核力分解反応
→ ハロー核探索
→ 微視的構造の調査
(コンフィギュレーション、 C^2S)

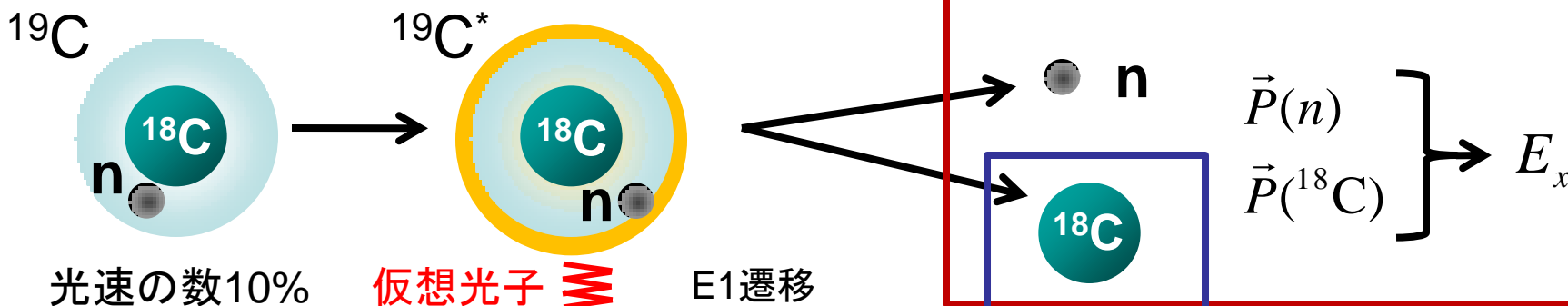
序論 クーロン分解反応 - E1遷移強度導出の手法

イクスクルーシブなクーロン分解反応

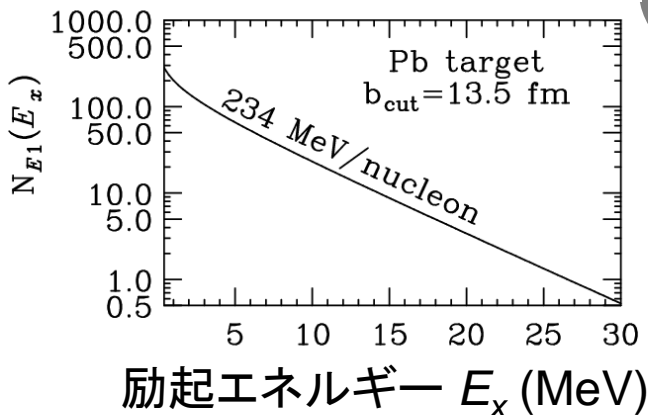
$$\frac{\frac{d\sigma(E1)}{dE_x}}{\text{測定}} = \frac{16\pi^3}{9\hbar c} N_{E1}(E_x) \frac{dB(E1)}{dE_x} \xrightarrow{\text{導出}}$$

ビーム強度
> 約 100 cps

不変質量法



仮想光子数 $N_{E1}(E_x)$

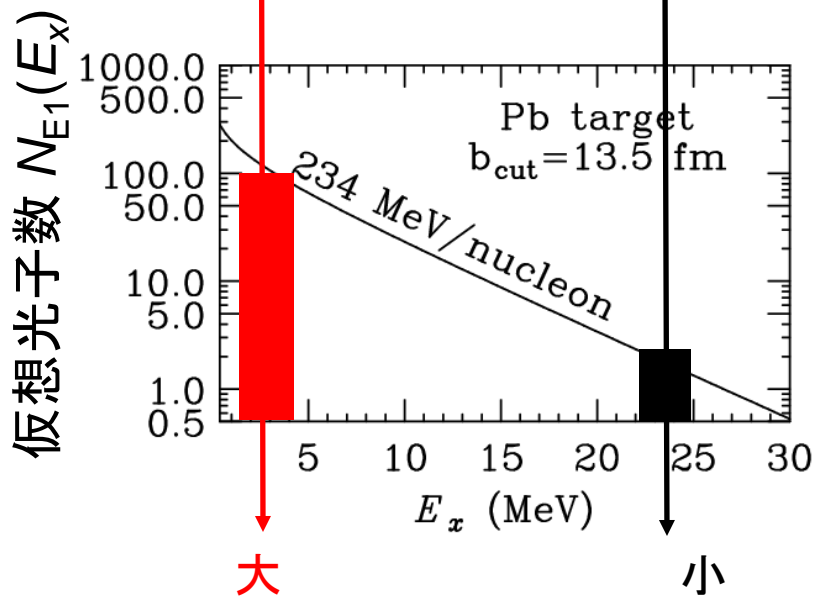
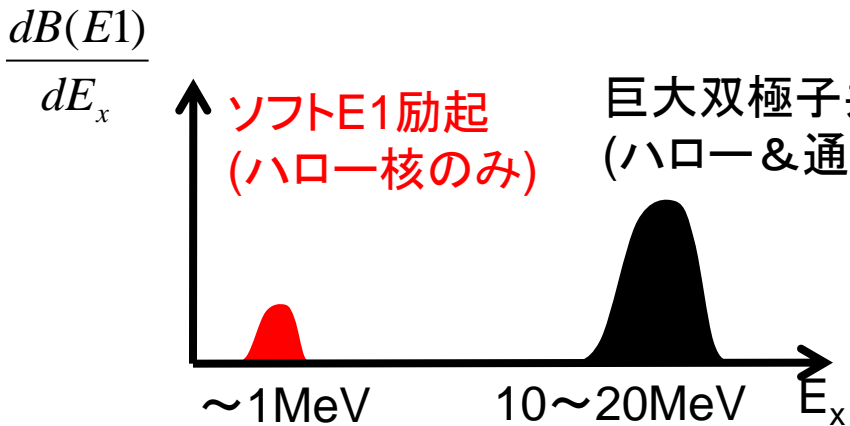


インクルーシブなクーロン分解反応 (本実験で採用)

$$\frac{\sigma(E1)}{\text{測定}} = \int_{E_{th}}^{\infty} \frac{16\pi^3}{9\hbar c} N_{E1}(E_x) \frac{dB(E1)}{dE_x} dE_x$$

数cpsのビームでも実験可能

序論 ハロー核のクーロン分解断面積 $\sigma(E1)$



$$N_{E1}(E_x) \times \frac{dB(E1)}{dE_x}$$

クーロン分解断面積 $\sigma(E1)$

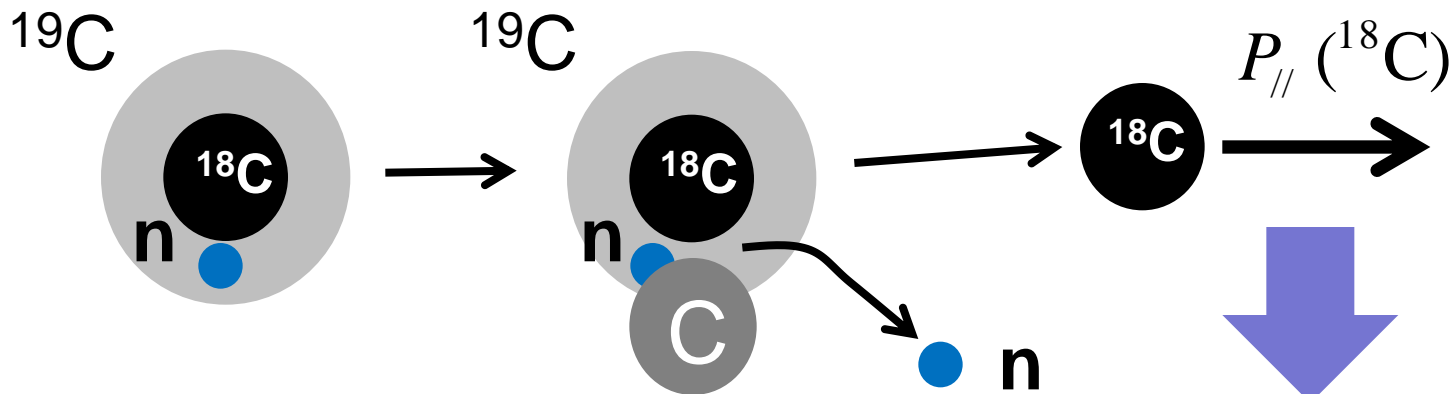
$$\sigma(E1) = \int_{E_{th}}^{\infty} \frac{16\pi^3}{9\hbar c} N_{E1}(E_x) \frac{dB(E1)}{dE_x} dE_x$$

ハロー核 \rightarrow $\sigma(E1)$ 大
($> 0.5 \text{ barn}$)

通常原子核 \rightarrow $\sigma(E1)$ 小
($\sim 0.1 \text{ barn}$)

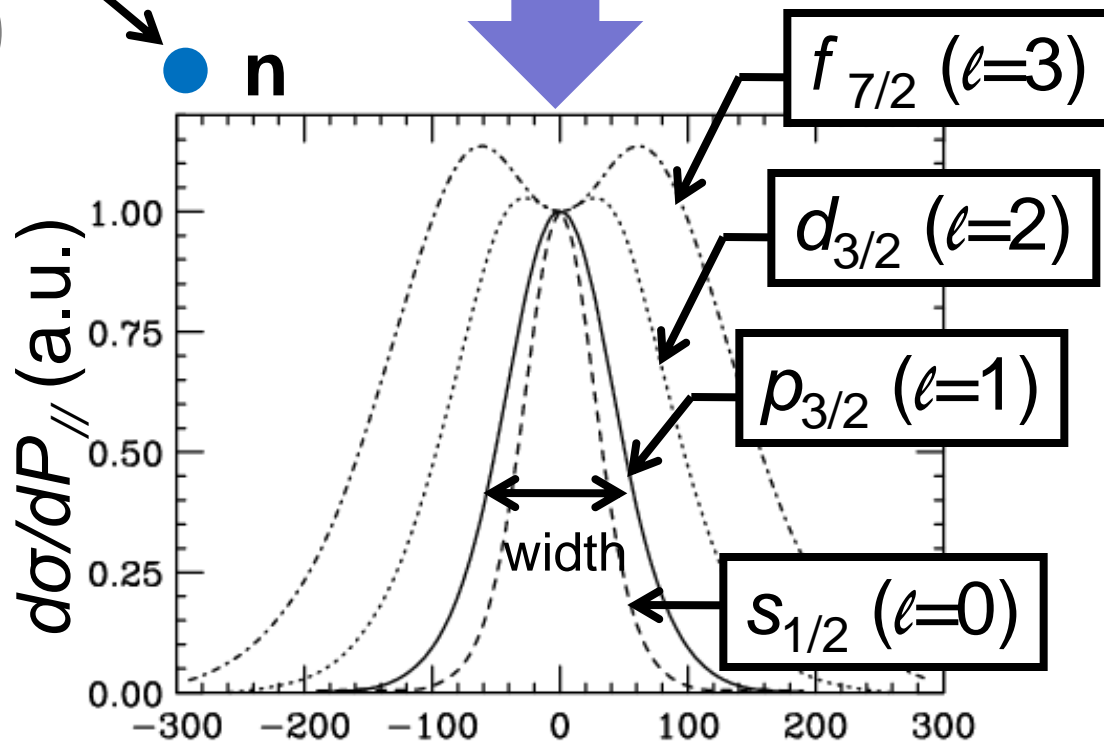
$\sigma(E1) \rightarrow$ ハロー構造有無
の特定

序論: 運動量分布 $d\sigma/dP_{\parallel}$ の測定 by 核力分解反応



$$|^{19}\text{C}\rangle = |^{18}\text{C} \otimes \phi_{nlj}\rangle$$

運動量分布の幅
 → 中性子の軌道角運動量 (ℓ)

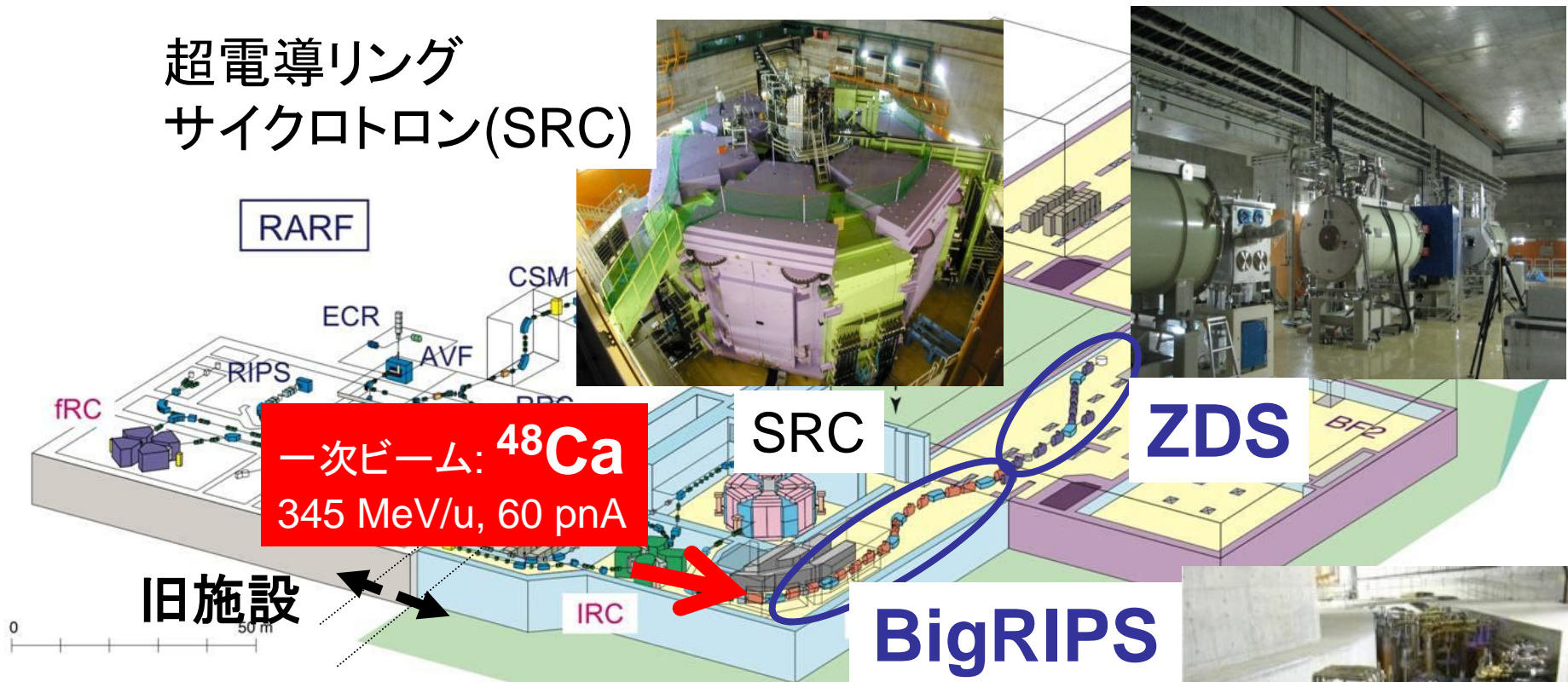


運動量分布

→ 核構造 (配位、スピン) が導出可能 P_{\parallel} (MeV/c)

RI ビームファクトリー @ 理化学研究所

超電導リング
サイクロトロン(SRC)



一次ビーム: ^{48}Ca
345 MeV/u, 60 pA

旧施設

新施設 RIBF
(RI Beam Factory)

2007年完成

$^1\text{H} \sim ^{238}\text{U}$; ~ 350 MeV/u
 ~ 200 pA(^{48}Ca)



実験セットアップ

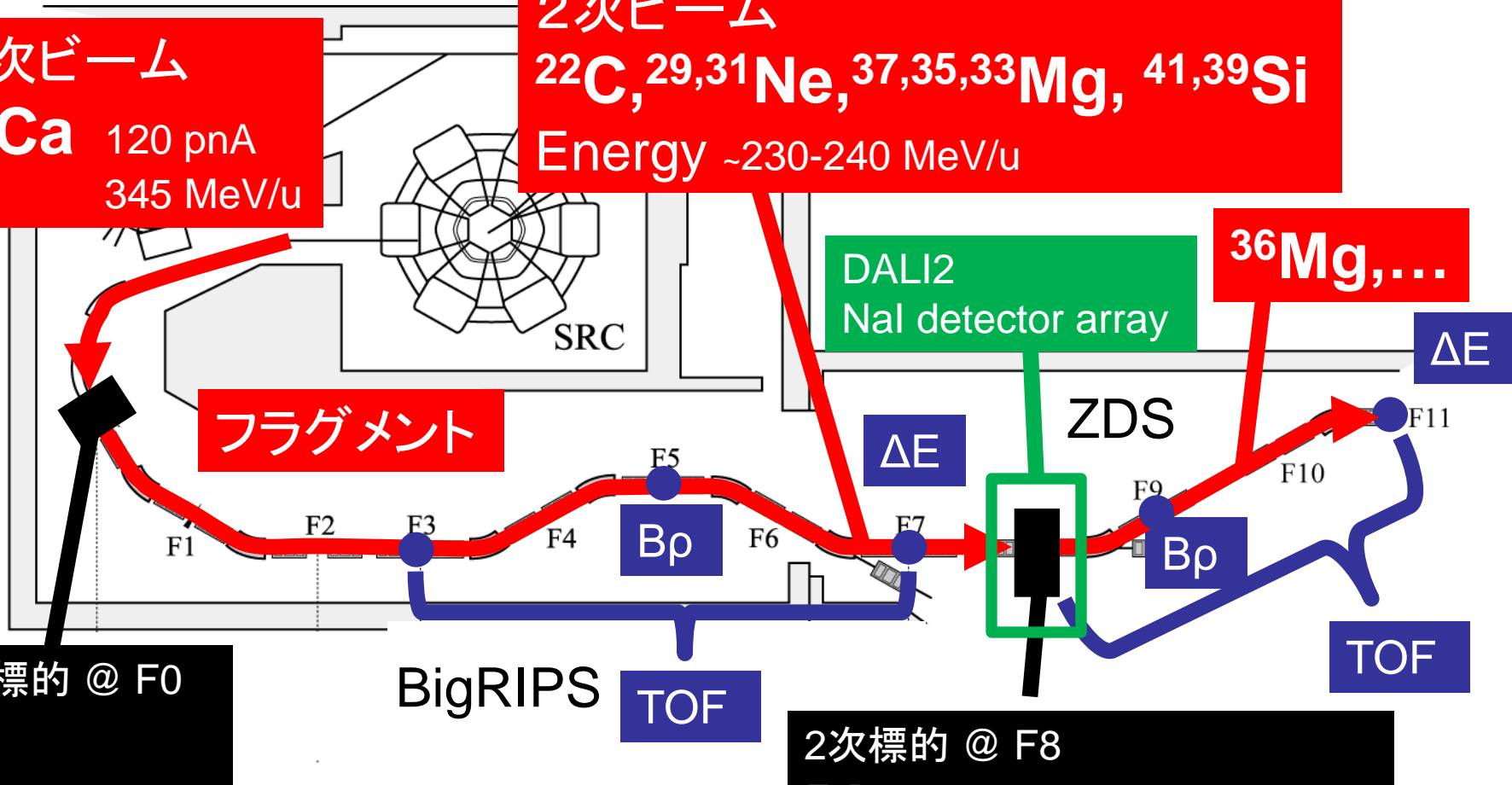
1次ビーム

^{48}Ca 120 pA
345 MeV/u

2次ビーム

^{22}C , $^{29,31}\text{Ne}$, $^{37,35,33}\text{Mg}$, $^{41,39}\text{Si}$

Energy ~230-240 MeV/u



フラグメント

DALI2
NaI detector array

$^{36}\text{Mg}, \dots$

1次標的 @ F0
Be

BigRIPS
TOF

2次標的 @ F8
Pb 6.74 g/cm² (^{22}C)
3.37 g/cm² (Ne, Mg, Si)
C 4.02 g/cm² (^{22}C)
2.54 g/cm² (Ne, Mg, Si)

ΔE

ZDS

ΔE

F9

F10

F11

TOF

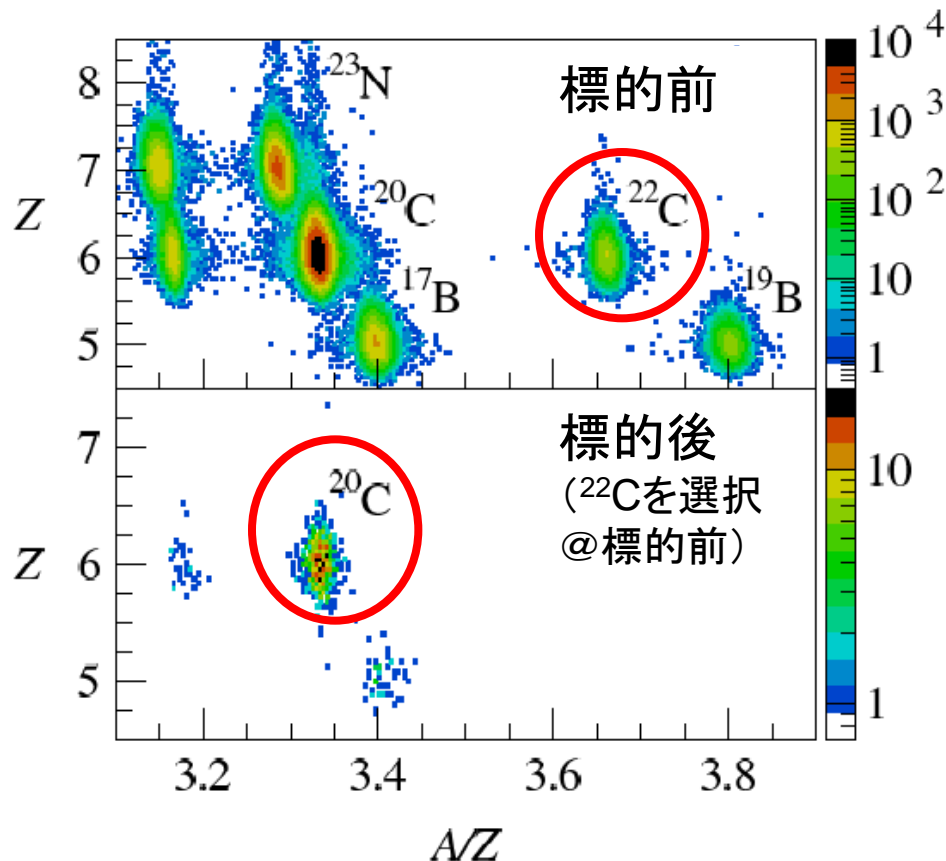
$B\rho$

$B\rho$

TOF

粒子識別 & ビーム強度

反応: $^{22}\text{C} + \text{Pb} (6.74 \text{ g/cm}^2) \rightarrow ^{20}\text{C}$



$^{41}\text{Si} \sim 300$ 個/秒 @ RIBF

$^{37}\text{Mg} \sim 6$ 個/秒 @ RIBF

$^{22}\text{C} \sim 6$ 個/秒 @ RIBF

$^{31}\text{Ne} \sim 5$ 個/秒 @ RIBF

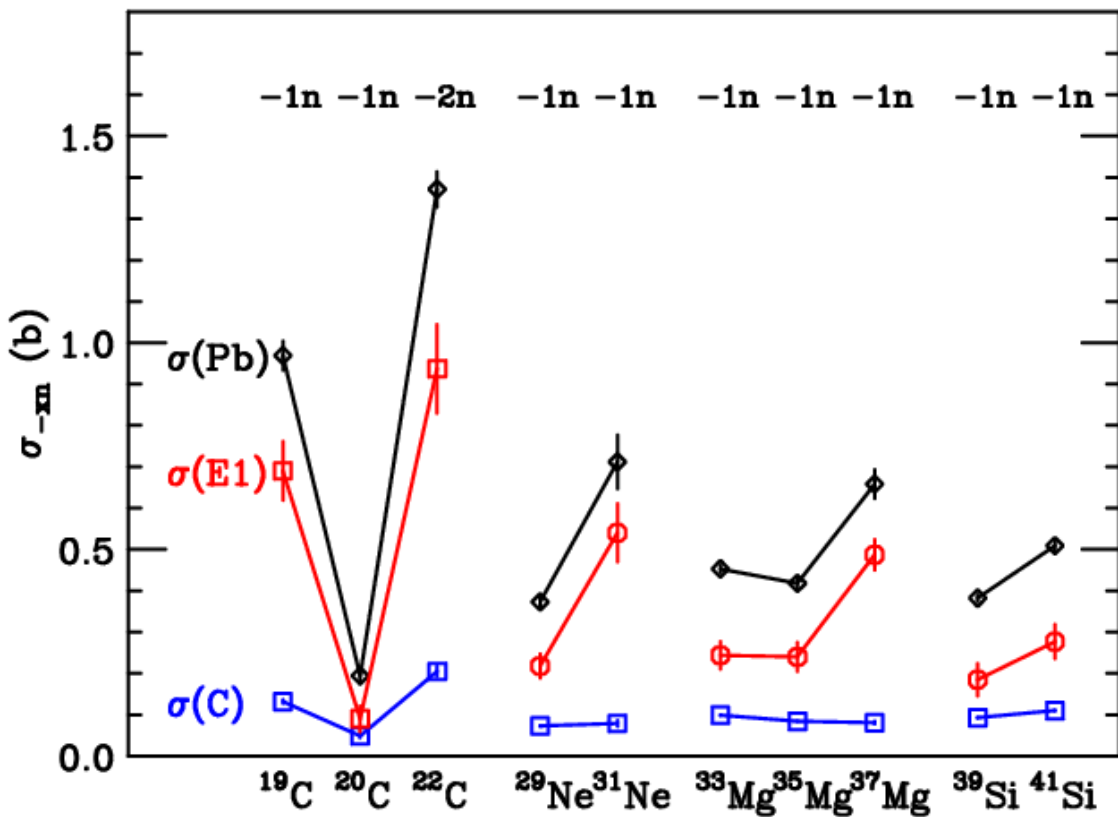
$\uparrow \times 10^5$

$^{31}\text{Ne} \sim 4$ 個/日 @ RIPS

H.Sakurai et al., PRC54,2802R(1996)

^{22}C , ^{20}C が他の核種から分離可能

結果



$^{19,22}\text{C} \rightarrow$ ハロ一核

$^{31}\text{Ne}, ^{37}\text{Mg} \rightarrow$ ハロ一構造を示唆

$^{41}\text{Si} \rightarrow ?$

$\sigma(E1)$ 導出

$$\sigma(E1) = \sigma(\text{Pb}) - \Gamma\sigma(\text{C})$$

↑ ↑ ↑
鉛標的の分解断面積 (クーロン+核力分解)
炭素標的の分解断面積 (核力分解)
クーロン分解断面積 (核力分解断面積を含まず)

$$R \propto A^{1/3}$$

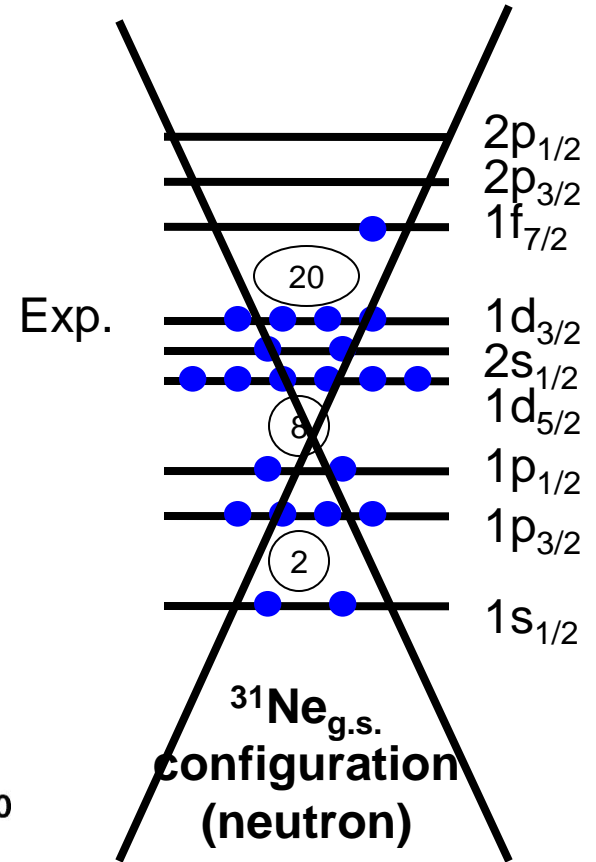
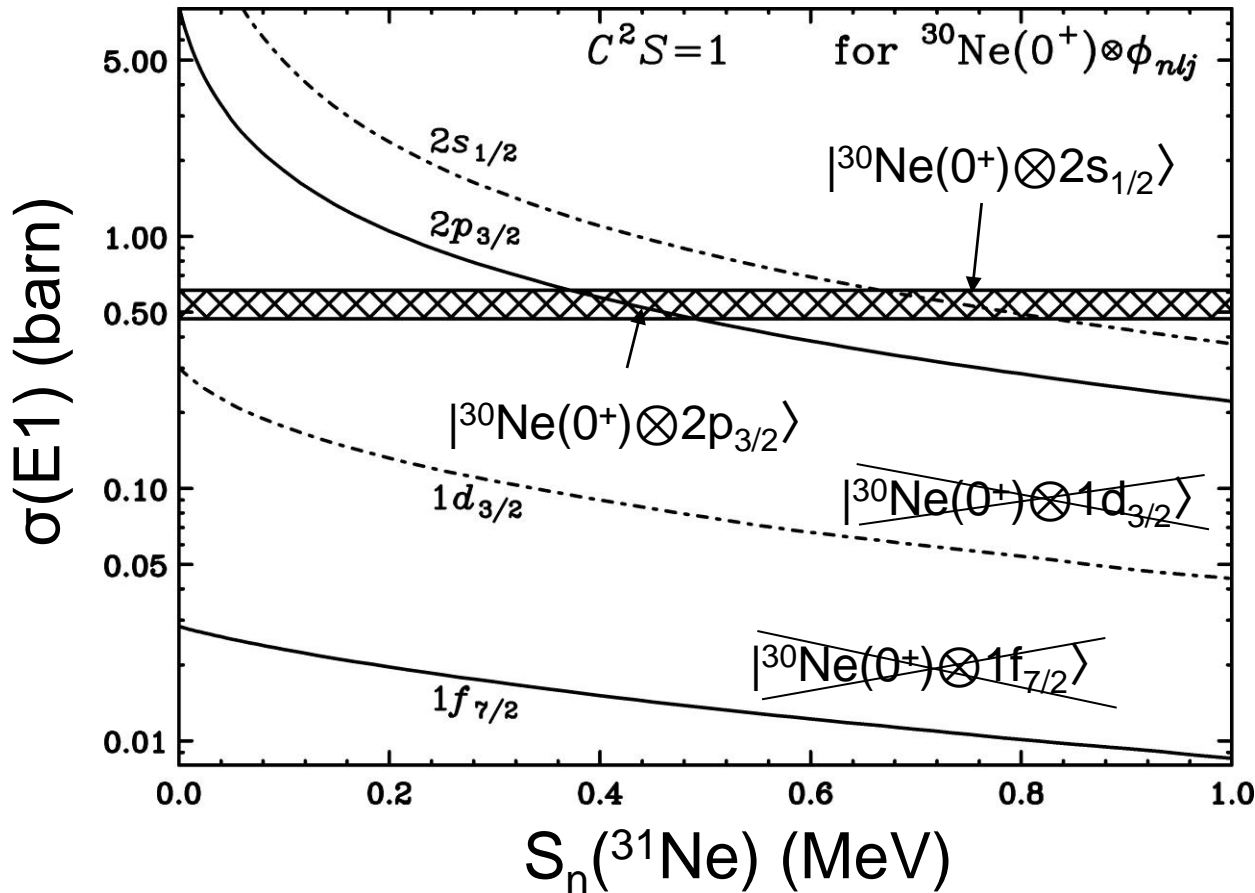
$$\Gamma_{\max} = \frac{R(\text{Pb})}{R(\text{C})} = 2.6$$

$$\Gamma_{\min} = \frac{R(\text{Pb}) + R(^{31}\text{Ne})}{R(\text{C}) + R(^{31}\text{Ne})} = 1.7$$

$$\Gamma = \frac{\Gamma_{\max} + \Gamma_{\min}}{2} = \frac{2.6 + 1.7}{2} = 2.2$$

コンフィグレーション of $^{31}\text{Ne}_{\text{g.s.}}$

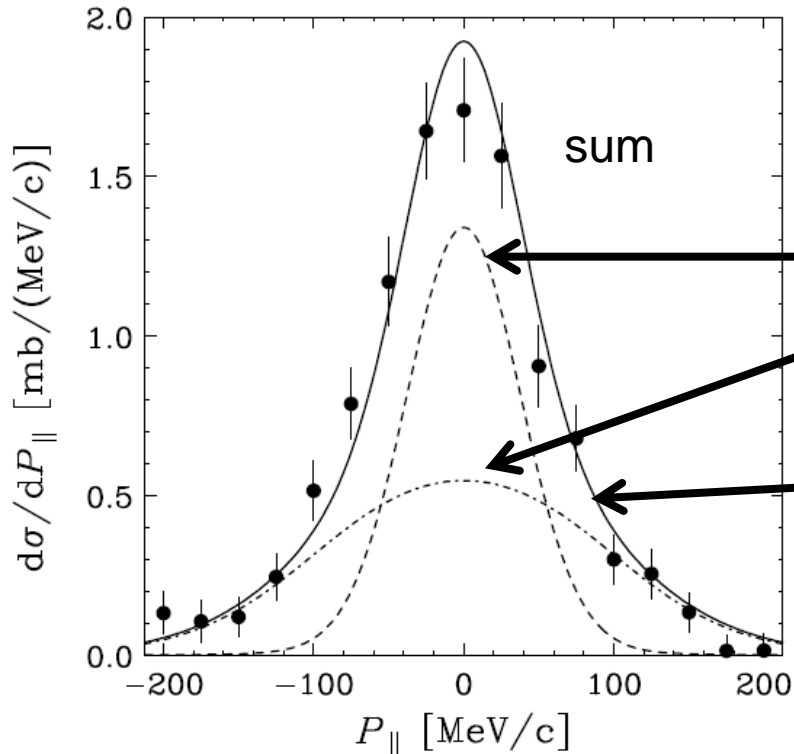
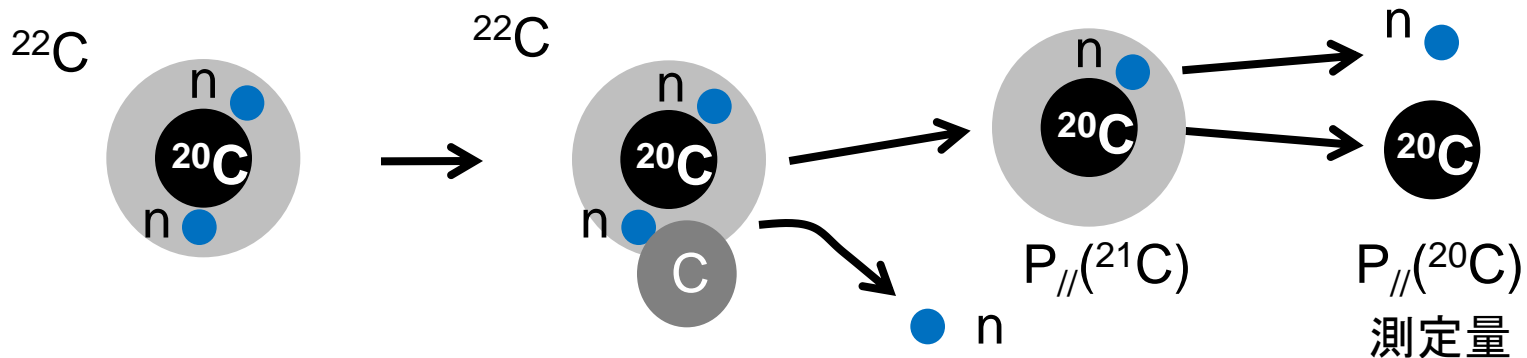
チャンネル: $^{31}\text{Ne} \rightarrow ^{30}\text{Ne}$ $S_n(^{31}\text{Ne})=0.29(1.64)$ MeV



バレンス中性子 \rightarrow Low- l 軌道 ($2p_{3/2}$, $2s_{1/2}$)

シェルモデル計算 by 宇都野氏 $\rightarrow 2p_{3/2}$ ~~$2s_{1/2}$~~

運動量分布 $d\sigma/dP_{\parallel}({}^{22}\text{C} + \text{C} \rightarrow {}^{20}\text{C})$



State	C ² S	σ (mb)
$ {}^{21}\text{C} \otimes 2s_{2/2}\rangle$	1.403	137.55
$ {}^{21}\text{C} \otimes 1d_{5/2}\rangle$	4.212	135.87
$ {}^{21}\text{C} \otimes 1d_{3/2}\rangle$	0.342	9.55
合計		283.0

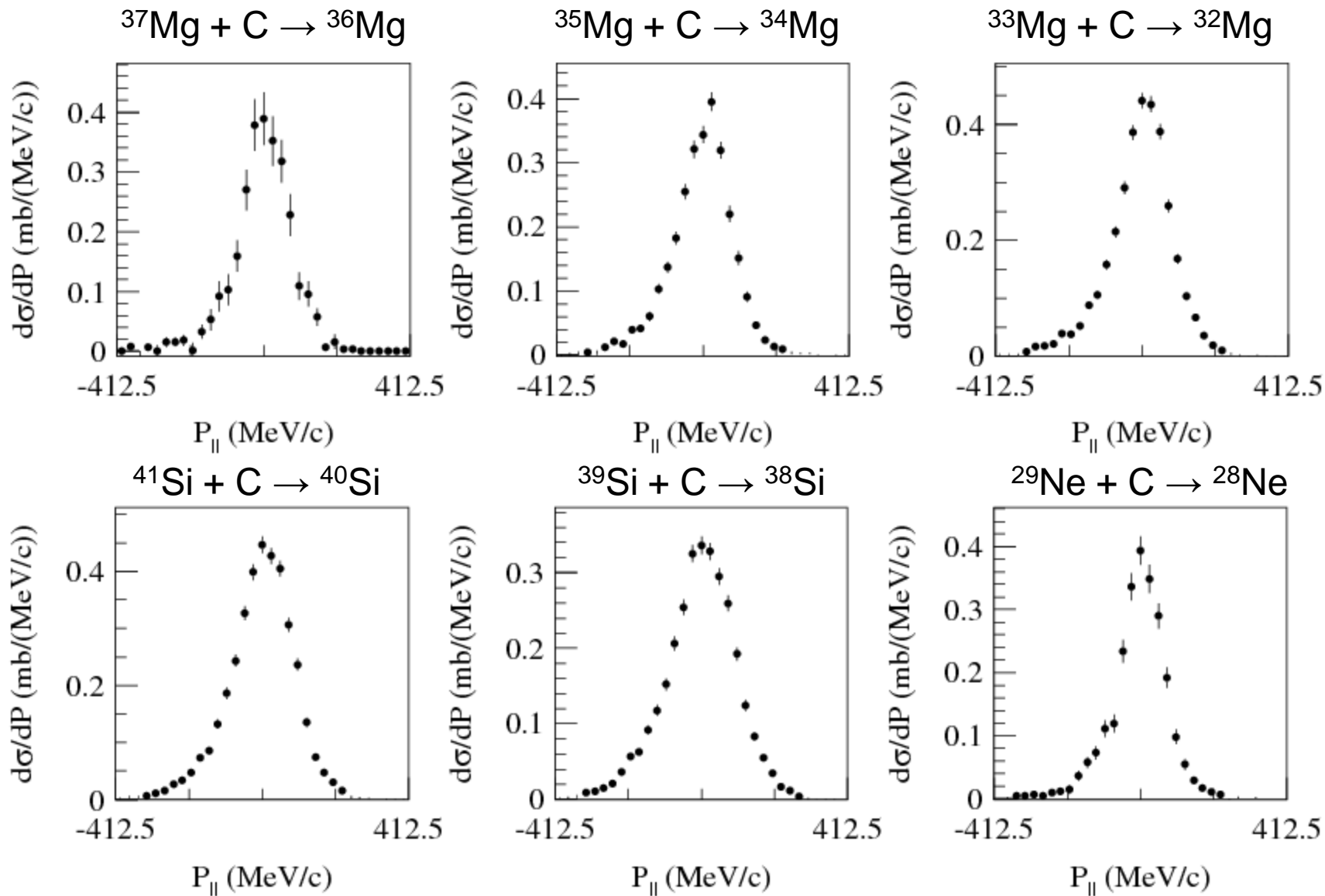
実験値

266(19)

グラウバー計算 by J. A. Tostevin
 C²S : Shell Model (WBP)
 断面積の実験値 (266mb) に規格化

分解能(σ) = 27 MeV/c
 FWHM = 76(8) MeV/c

Ne, Mg, Si に対する運動量分布(C target)



Very Preliminary

まとめ

- $^{19,20,22}\text{C}$, $^{29,31}\text{Ne}$, $^{33,35,37}\text{Mg}$, $^{39,41}\text{Si}$ のインクルーシブな分解断面面積を測定
- ^{22}C , ^{31}Ne , ^{37}Mg におけるハロー構造を示唆
- ^{22}C で s 軌道 の配位が支配的
- ^{31}Ne で low- ℓ 軌道 の配位が支配的

展望

- γ 線スペクトル & コアフラグメントの運動量分布
→ ^{37}Mg , ^{41}Si の配位を特定

Collaborators

Department of Physics, Tokyo Institute of Technology

**T. Nakamura, Y. Kondo, Y. Satou, S. Deguchi, Y. Kawada, K. N. Tanaka,
N. Tanaka**

RIKEN Nishina Center for Accelerator-Based Science

**N. Aoi, H. Baba, N. Fukuda, N. Inabe, M. Ishihara, D. Kameda, T. Kubo,
K. Kusaka, T. Motobayashi, T. Ohnishi, M. Ohtake, H. Otsu, H. Sakurai,
M. Takechi, H. Takeda, E. Takeshita, S. Takeuchi, K. Tanaka, Y. Togano,
Y. Yanagisawa, K. Yoneda, A. Yoshida, K. Yoshida**

LPC-ENSICAEN, IN2P3-CNRS et Université de Caen, France

J. Gibelin, N. A. Orr

International Atomic Energy Agency, NAPC/Nuclear Data Section, Austria

A. Mengoni

CNS, University of Tokyo

A. Saito, S. Shimoura

Department of Physics, University of Tokyo

T. Sumikama

Halo Structure of the Island of Inversion Nucleus ^{31}Ne
T. Nakamura, N. Kobayashi, Y. Kondo, Y. Satou et al.
Phys. Rev. Lett. **103**, 262501 (2009).

以上