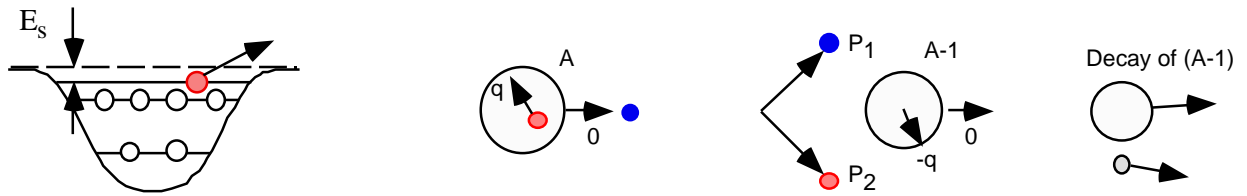


Quasi Free p-p散乱による不安定核からの陽子knockout反応：



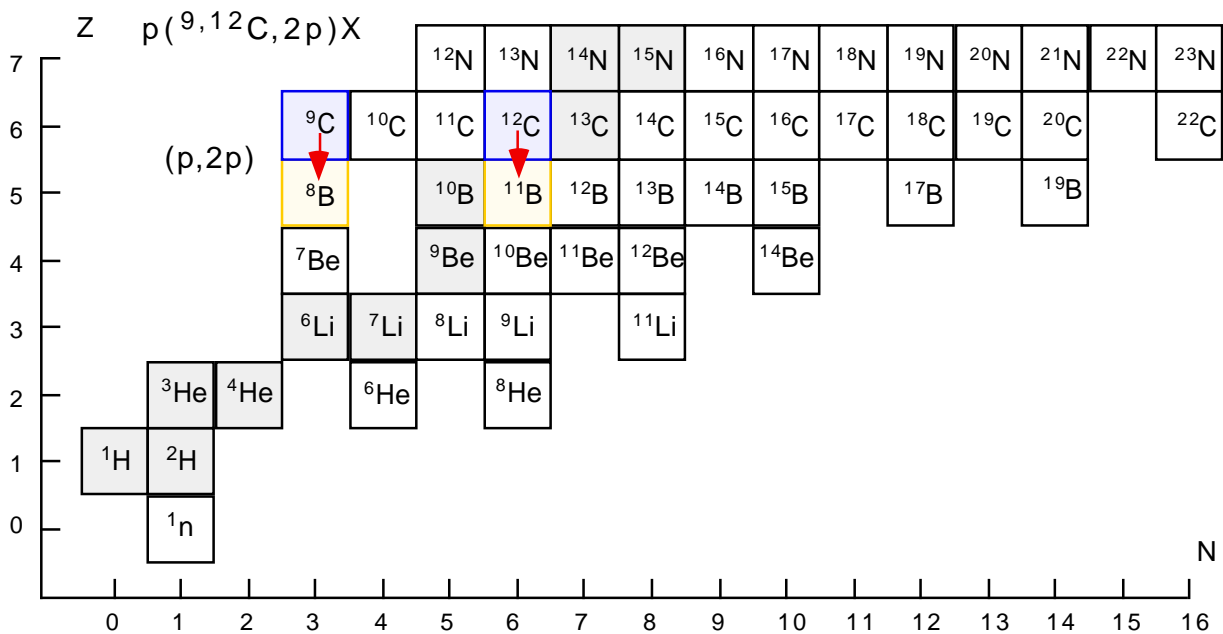
陽子過剰核側

Hole状態を通じて、陽子過剰核中の陽子単一粒子波動関数 $\psi(\mathbf{p}, \mathbf{r}) = \langle A-1 | A \rangle$ に関する情報：
主に弱束縛された外殻陽子について

運動量分布 q 、分離エネルギー E_s 、角運動量 L 、占有数 ...等

^9C ： 適当な軽い陽子過剰核 $S_p = 1.3\text{MeV}$

残留核に 崩壊する励起状態が無い



中性子過剰核側

Drip Line上の中性子過剰核からの陽子・クラスターknockout反応
によりDrip Line外側のExoticな共鳴状態の生成

反応がQuasi Free的：

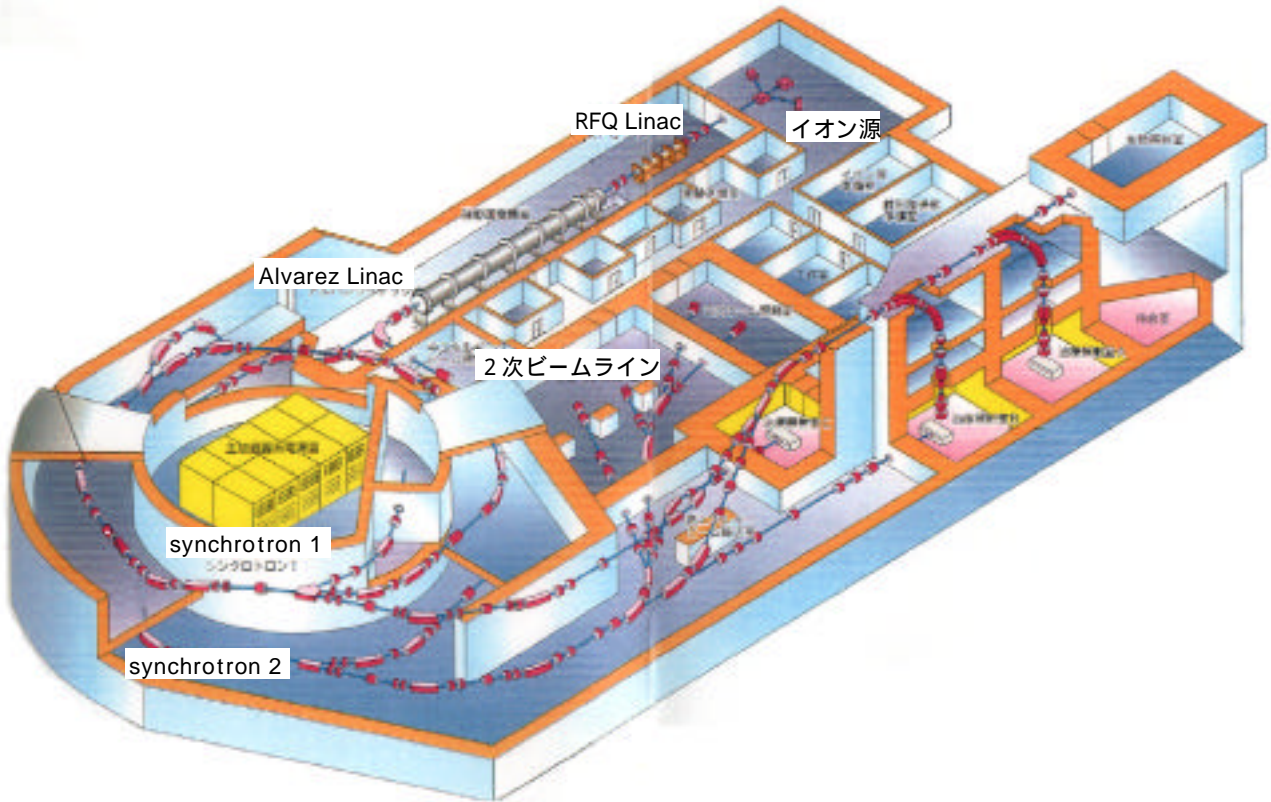
入射エネルギー 陽子分離エネルギー S_p 、Fermi運動量 P_f

放医研HIMAC：最大 $A/Z=3$ @300 A MeV

$$E_B = 250 \text{ A MeV} > 10 \times S_p$$

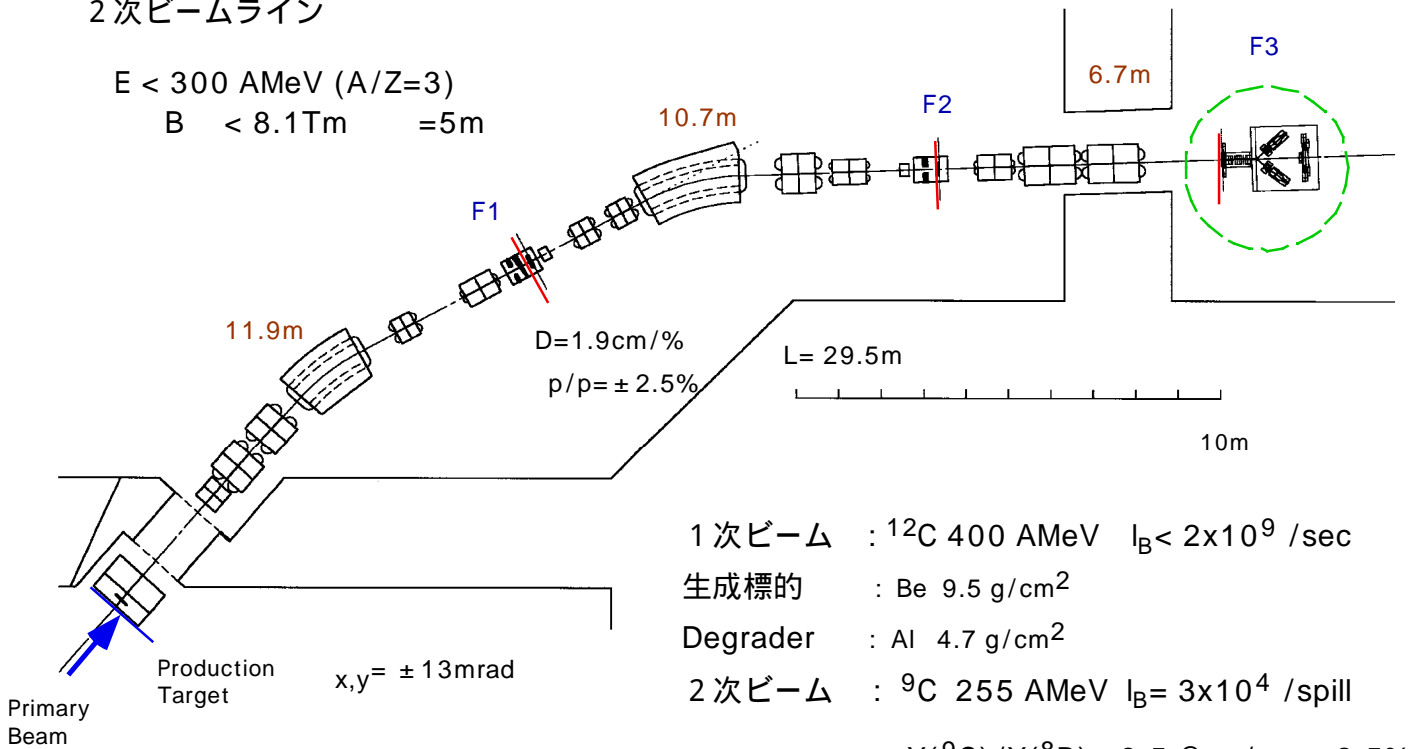
HIMAC加速器施設

RFQ (0.8 AMeV) + Alvarez (6 AMeV) + double synchorotron (800 AMeV)



2次ビームライン

$E < 300 \text{ AMeV} \text{ (A/Z=3)}$
 $B < 8.1 \text{ Tm} = 5 \text{ m}$



1次ビーム : ^{12}C 400 AMeV $I_B < 2 \times 10^9 / \text{sec}$

生成標的 : Be 9.5 g/cm²

Degrader : Al 4.7 g/cm²

2次ビーム : ^9C 255 AMeV $I_B = 3 \times 10^4 / \text{spill}$

$Y(^9\text{C})/Y(^8\text{B}) = 3.5 @ p/p = \pm 2.5\%$

2次ビームのエネルギー測定

運動量分散焦点F1での位置測定

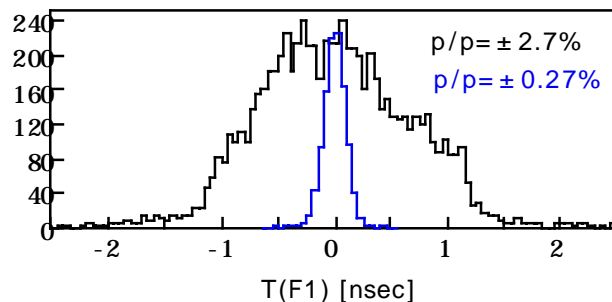
$$I_B(F1) > 1\text{MHz}$$

$$T(F1) \quad X(F1) \quad \text{beam} = 1.5 \text{ AMeV}$$

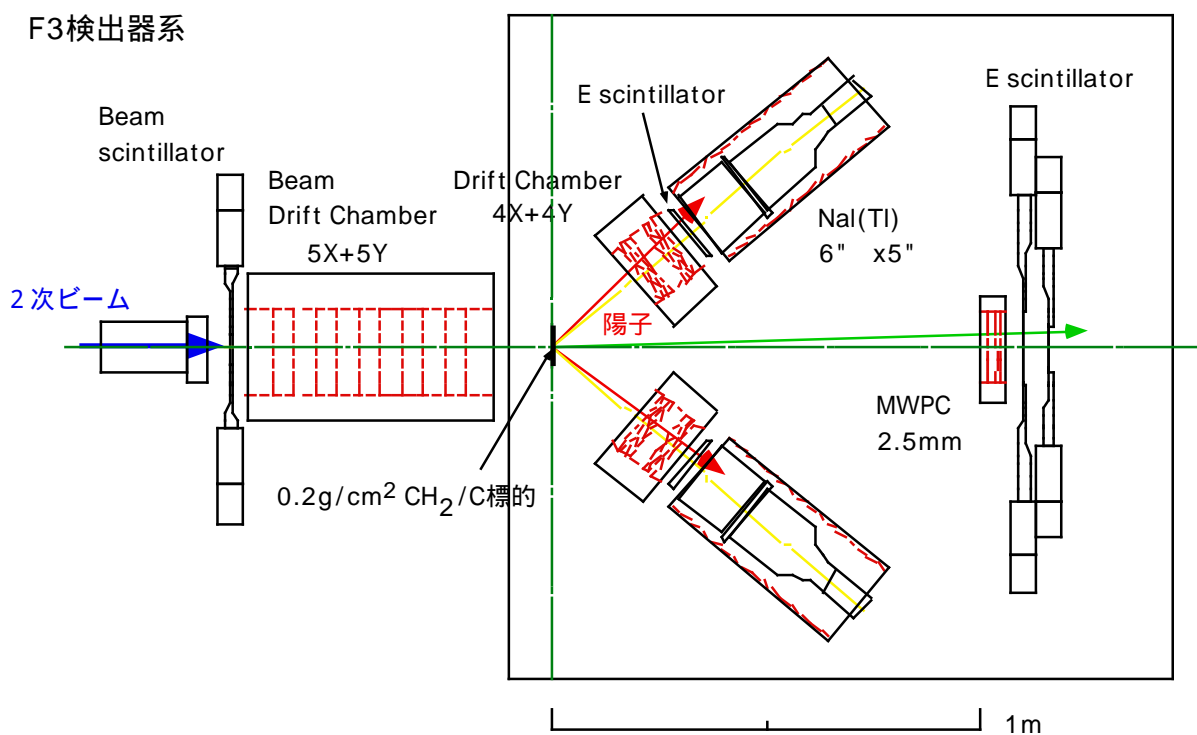
cf: TOF(F1-F3)

$$L(F1-F3) = 17.5\text{m}, \quad \tau = 0.37\text{nsec}$$

$$\text{beam} = 2.8 \text{ AMeV}$$



F3検出器系



陽子検出器

角度範囲 : $\pm 10^\circ$ (H,V) 立体角 : 約0.1sr $E_p < 210 \text{ MeV}$

$$p = 1.1 \text{ MeV} @ E_p = 120 \text{ MeV}$$

$$= 6 \text{ mrad}$$

前方検出器

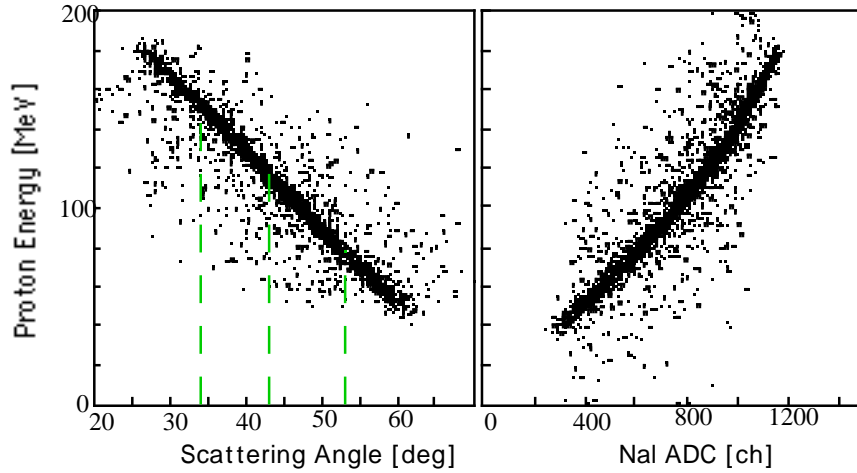
角度範囲 : $E_1 : \pm 2.3^\circ$ P (A=8) = $\pm 240 \text{ MeV}/c$

$E_2 : \pm 4.2^\circ$ P (A=8) = $\pm 430 \text{ MeV}/c$

角度精度 : = 2.5mrad, (A=8) = $\pm 15 \text{ MeV}/c$

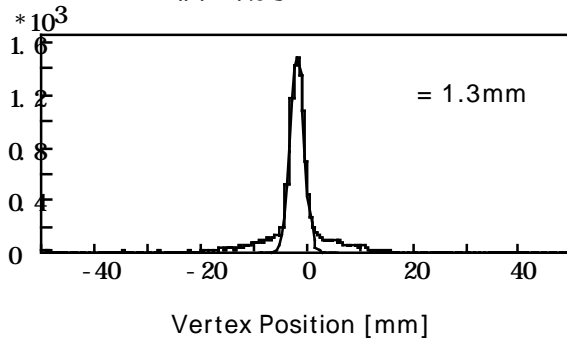
p-p散乱によるNaI(Tl)のエネルギー較正

230A MeV ^4He 1次ビーム + 9.5g/cm² Be標的 196 MeV 2次陽子ビーム
 p(p,2p)反応 from 0.2 g/cm² CH₂

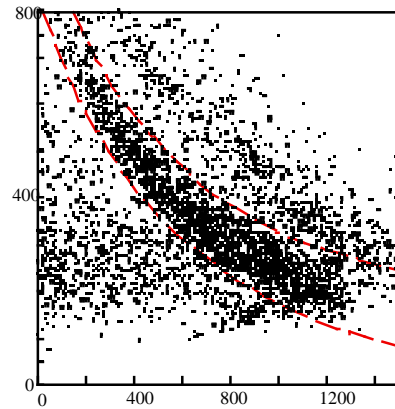


標的選択

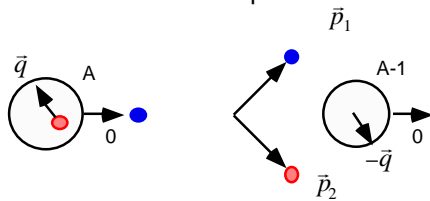
2個の陽子のvertex cut



E-Eによる陽子選択
 + NaI中での核反件事象の除去



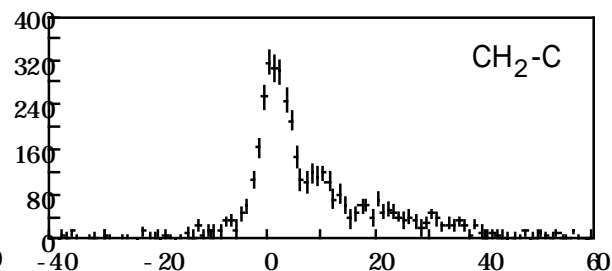
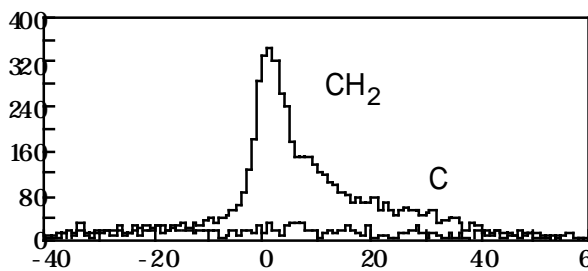
陽子分離エネルギー-S_p分布



$$\bar{q} = (\bar{p}_1 + \bar{p}_2)$$

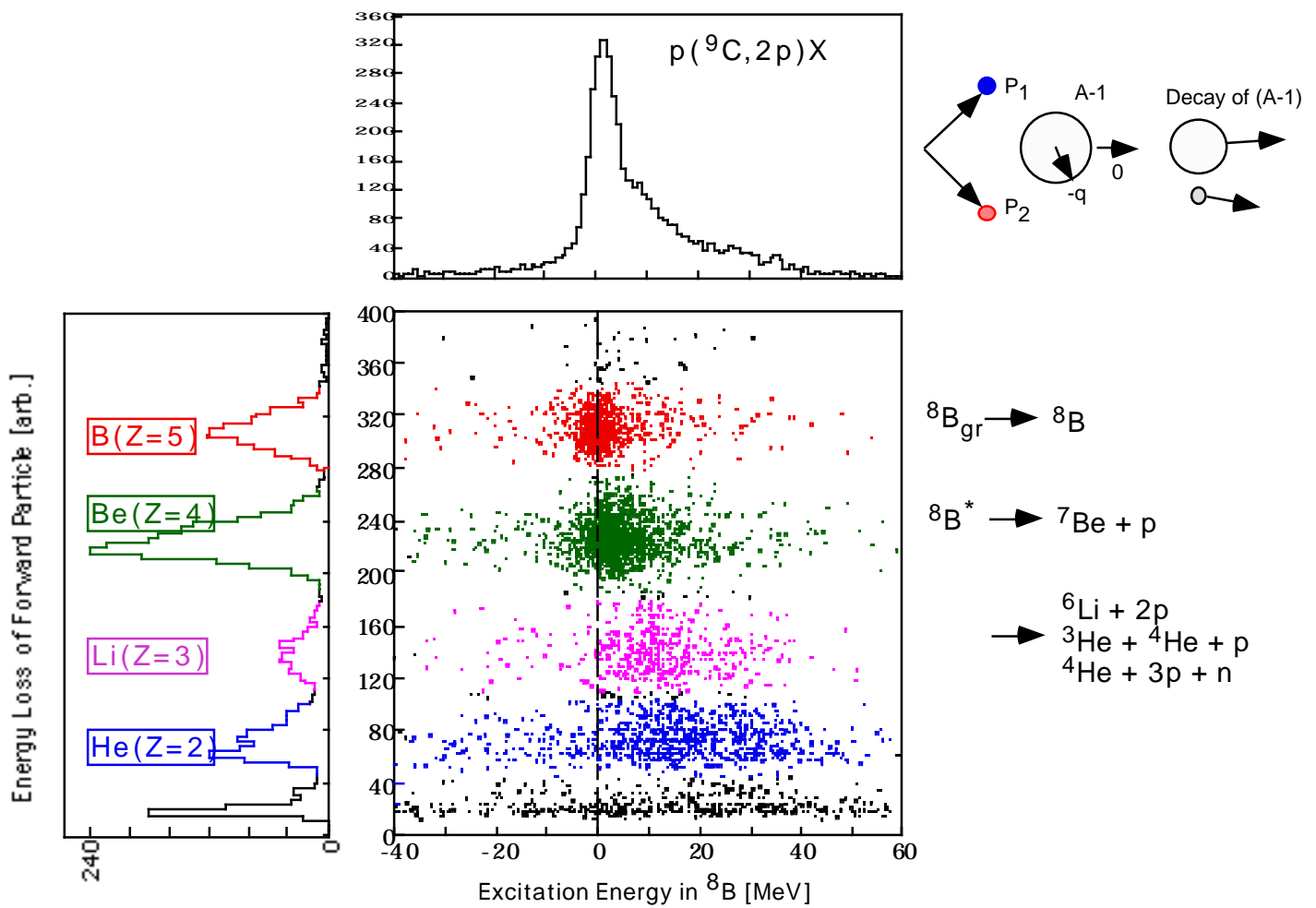
$$\bar{q}_{||} = \frac{(\bar{p}_1 + \bar{p}_2)_{||} - \gamma\beta(M_A - M_{A-1})}{\gamma}$$

$$E_s = T_0 - \gamma(T_1 + T_2) - 2(\gamma - 1)m_p + \beta\gamma(\bar{p}_1 + \bar{p}_2)_{||} - \frac{q^2}{2M_{A-1}}$$

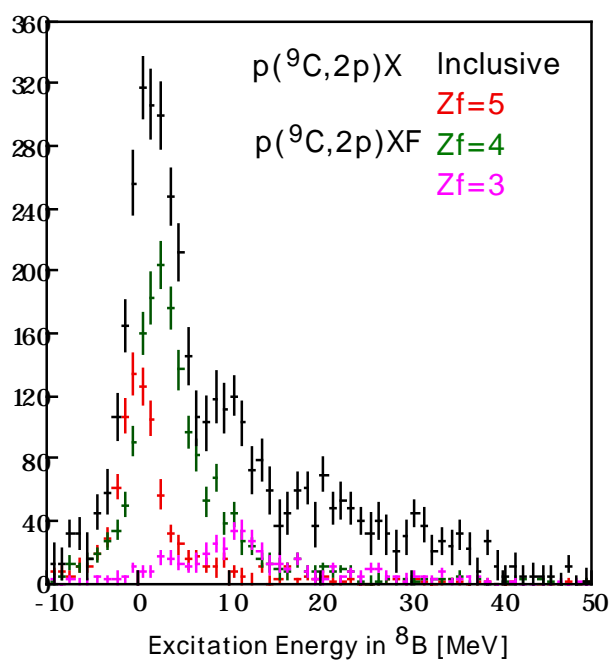


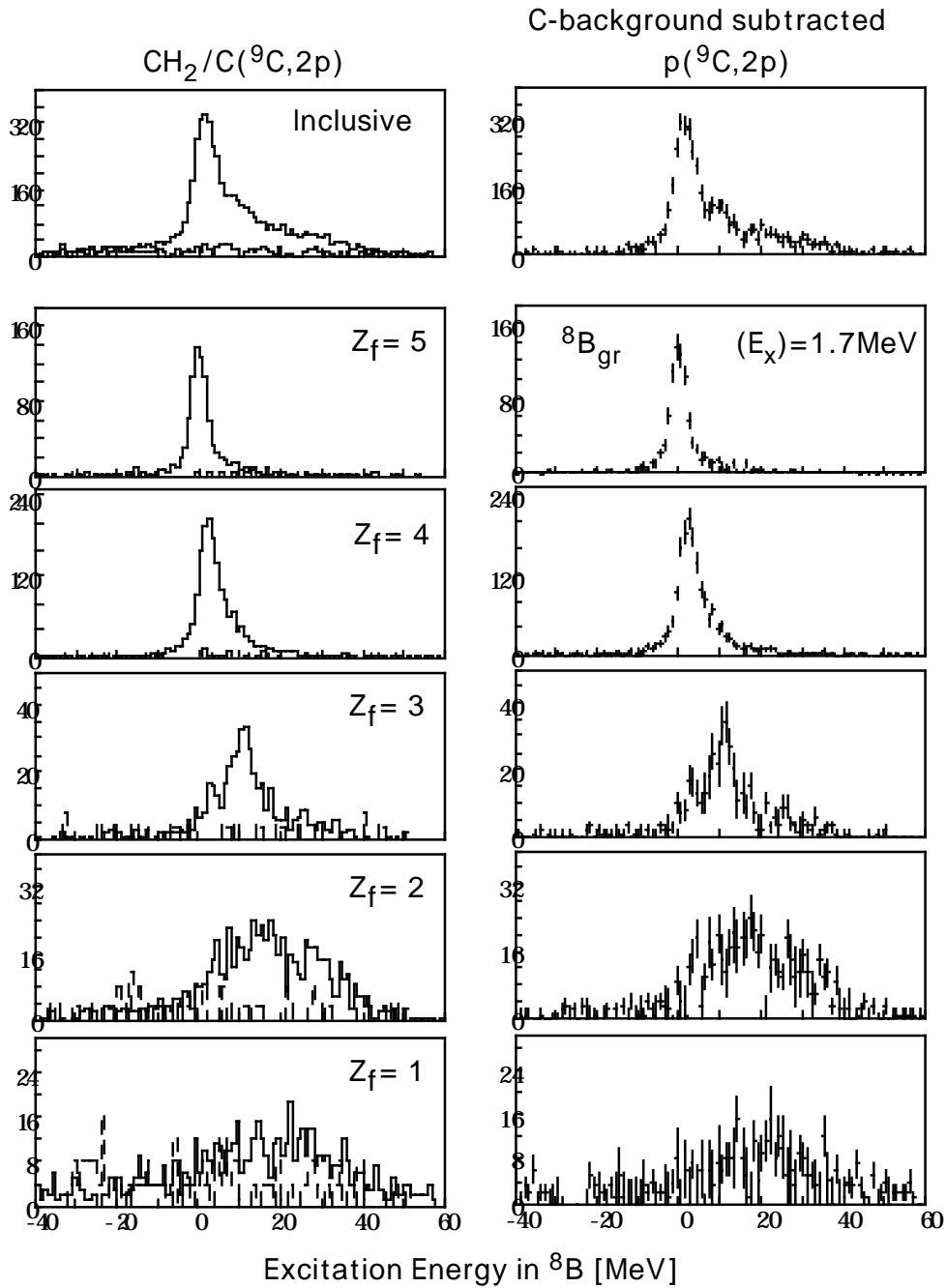
Excitation Energy [MeV] in ⁸B

$p(^9\text{C}, 2p)$ 反応の残留核崩壊様式による分離： 前方粒子との相関

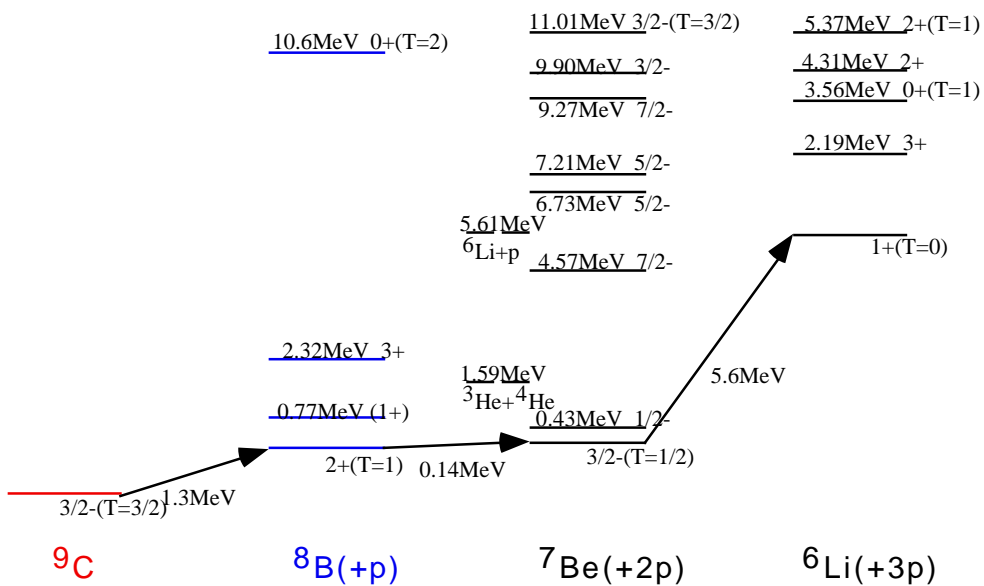


残留核 $^8\text{B}^*$ の崩壊モード

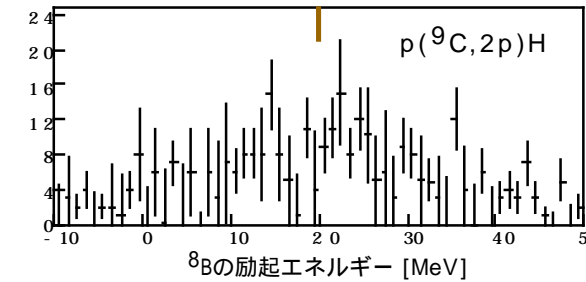
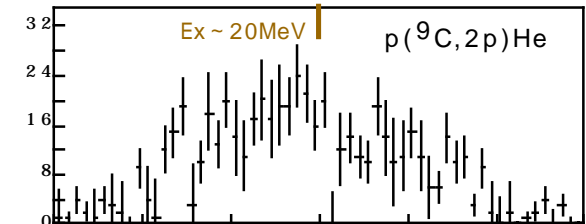
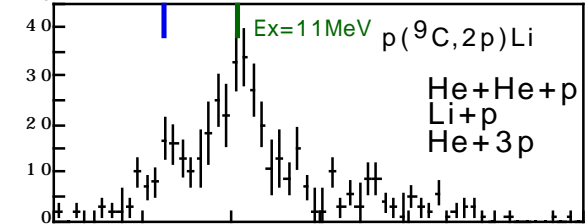
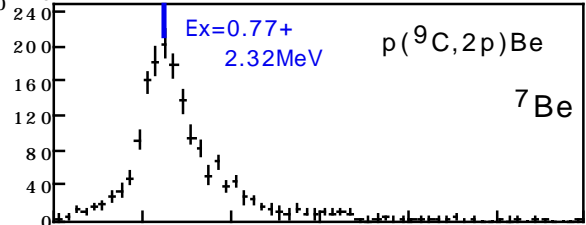
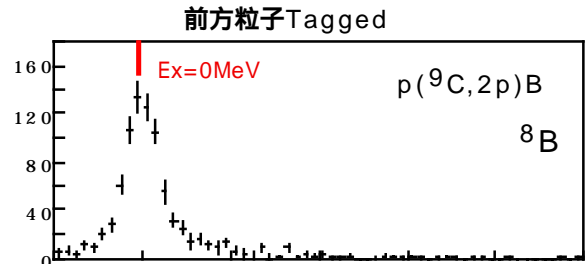
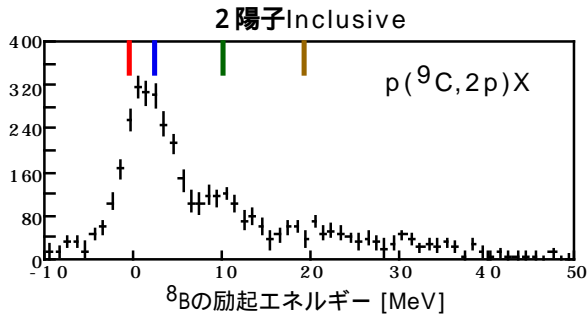




Excitation Energy in ^8B [MeV]



$p(^9\text{C}, 2p)$ 反応で生成された ^8B 状態



~20MeV deep hole state?

遷移強度比
計算 実験
1.09 0.28 ± 0.03

10.6MeV 0+(T=2)

5.61MeV $^6\text{Li}+p+p$

1.92 1.86 ± 0.20

2.32MeV 3+

1.59MeV $^3\text{He}+^4\text{He}+p$

1.0 1.0 ± 0.07

0.77MeV (1+)

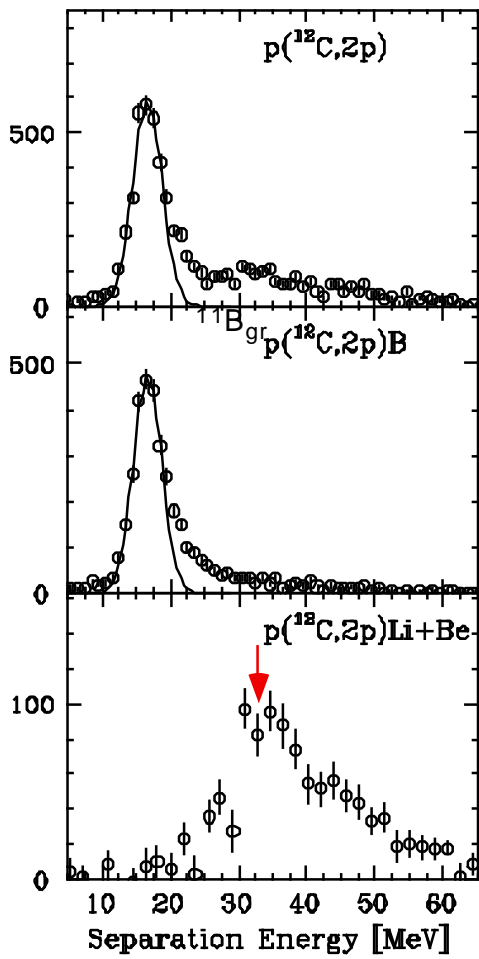
0.14MeV $^7\text{Be}+p$

2+(T=1)

^8B

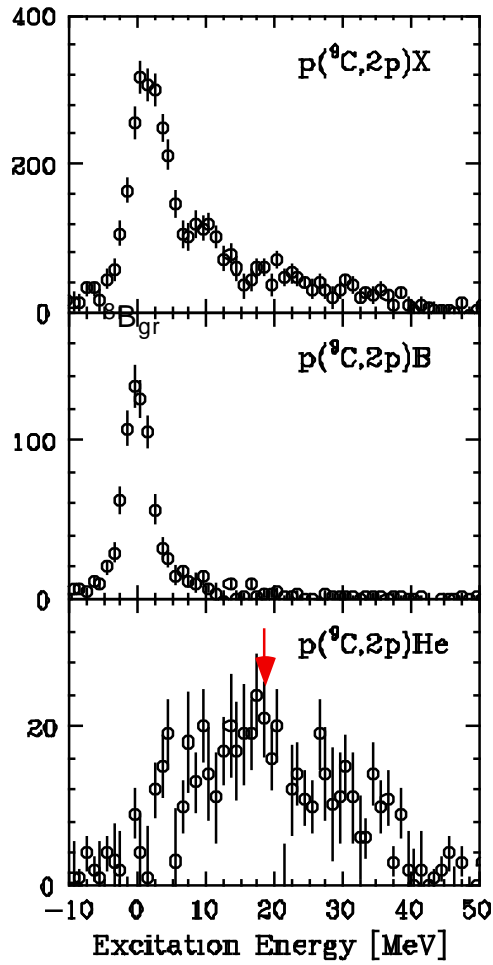
Deep Hole 状態

$p(^{12}\text{C}, 2p) @ 230\text{A MeV}$



$$S_p(^{12}\text{C}) = 16.0\text{MeV}$$

$p(^9\text{C}, 2p) @ 255\text{A MeV}$



$$S_p(^9\text{C}) = 1.3\text{MeV}$$

2 陽子
inclusive

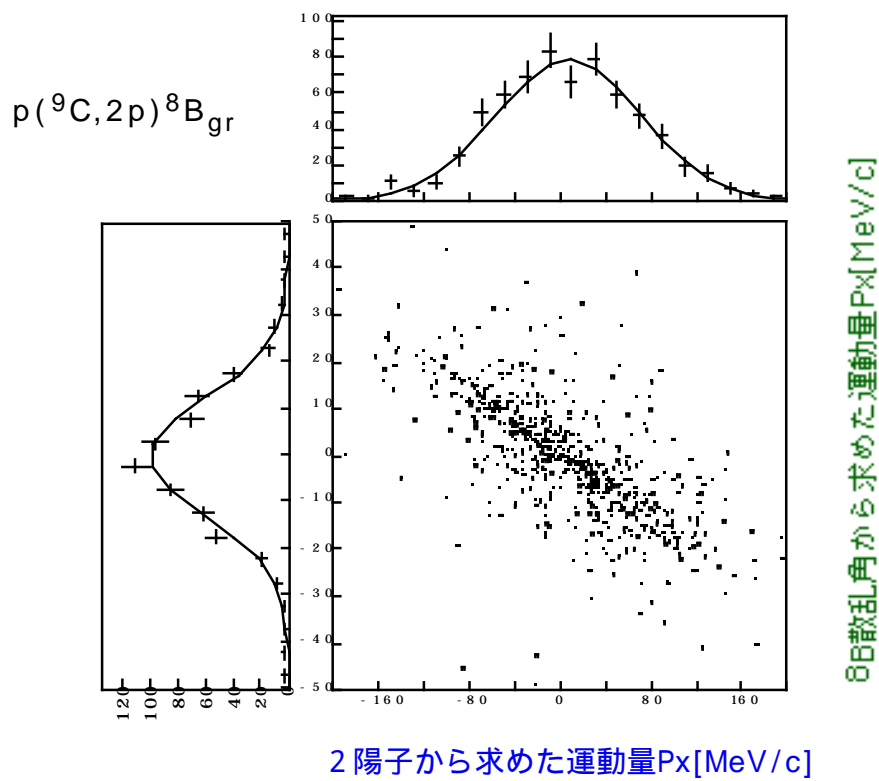
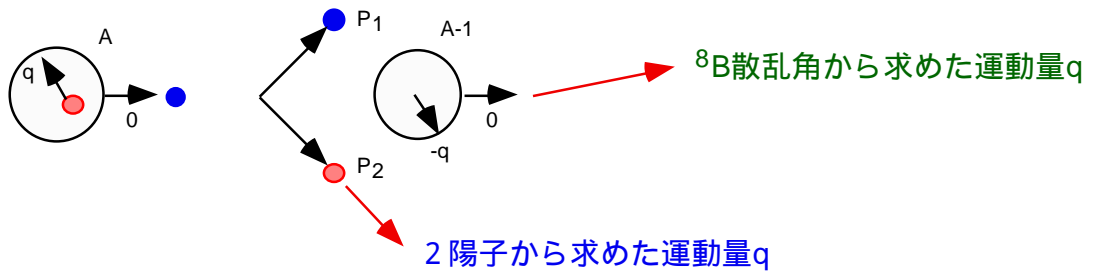
終状態：
 $(p_{3/2})^{-1}$
B基底状態

終状態：
 $(s_{1/2})^{-1}$

深さはほぼ同じ位置にある？

状態の巾はかなり広い

${}^9\text{C}$ のvalence proton運動量分布



$resol=15\text{MeV}/c$ を差し引き後、 $(p_x)=64 \pm 3\text{MeV}/c$

比較：

分離エネルギー $S_p=1.3\text{MeV}$ が合う様に作った波動関数のフーリエ変換
の一次元射映：

$$cal(p_x) = 86\text{MeV}/c$$

まとめ

(1) HIMAC 2 次ビームラインを用いて陽子過剰核 ${}^9\text{C}$ からの陽子Knockout反応

$p({}^9\text{C}, 2p)X$ の測定を行った。

$$E_B = 255 \text{ AMeV} > 10 \times S_p$$

$$\text{ビーム強度 } 3 \times 10^4 / 3 \text{ sec} \quad Y({}^9\text{C}) / Y({}^8\text{B}) \quad 3.5$$

標的 : $0.2 \text{ g/cm}^2 \text{ CH}_2/\text{C}$

(2) 終状態である ${}^8\text{B}^*$ 状態について

残留核 (${}^8\text{B}^*$) からの崩壊粒子でTagする事により、終状態の分離が可能

$$p({}^9\text{C}, 2p){}^8\text{B}_{\text{gr}} : (E_x) = 1.7 \text{ MeV}$$

既知の 4 状態 : $2^+(\text{gr}), 1^+(0.77 \text{ MeV}), 3^+(2.32 \text{ MeV}), 0^+(10.6 \text{ MeV}, T=2)$

低励起状態に関しては、遷移強度 (比) はshell模型計算と良く一致

$T=2$ 状態に関しては計算値よりかなり少ない

S-hole状態と思われる $E_x \sim 20 \text{ MeV}$ の巾の広い状態

${}^9\text{C}$ のvalence proton ($p_{3/2}, S_p = 1.3 \text{ MeV}$)の運動量分布

2 陽子からの q と ${}^8\text{B}$ 散乱角分布からの q は良く一致

$$(p_x) = 64 \text{ MeV}/c < \text{計算値 } 86 \text{ MeV}/c : \text{impact parameterのcutoffが必要}$$

(3) 250 AMeV領域での陽子Knockout反応

NaI(Tl) で 2 個陽子を測定する場合、 $(E_x) = 1.5\text{-}2.0 \text{ MeV}$ 程度

2 次ビームエネルギー測定 @F1 : MWPCの使用による改善

前方粒子の測定による崩壊様式のTag : 結局前方磁気分析器が必要