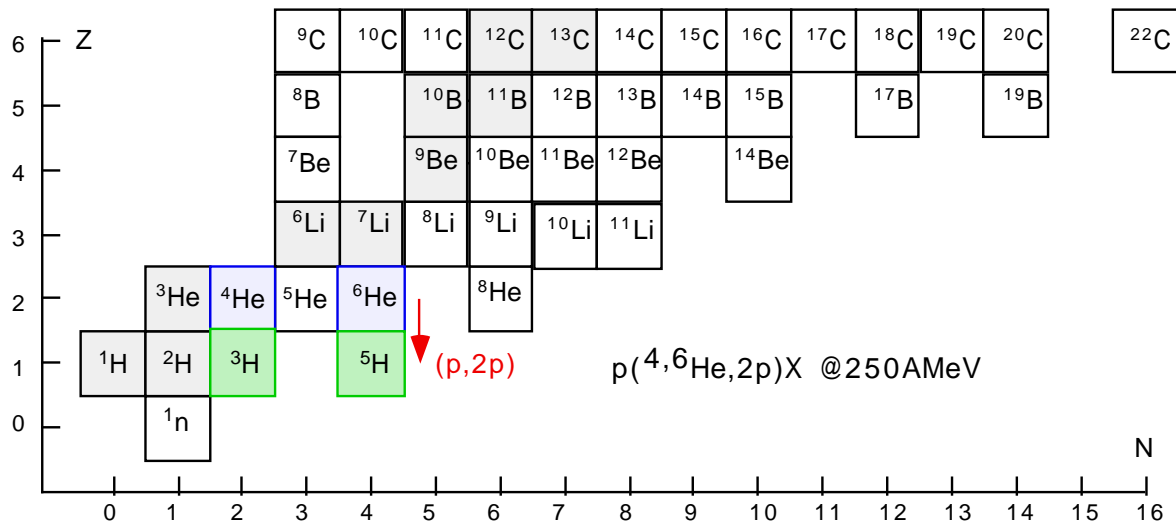


## ${}^6\text{He}$ からの陽子Knockout反応による水素同位体 ${}^5\text{H}$ の探索

小林俊雄、大津秀暁、氏家徹、奥田貴志、関口昌嗣、  
大関和貴、田澤信也 (東北大理)、  
福田直樹 (東大理)、沖花彰 (京教大教)、  
松山芳孝 (高工研)、高田栄一 (放医研)

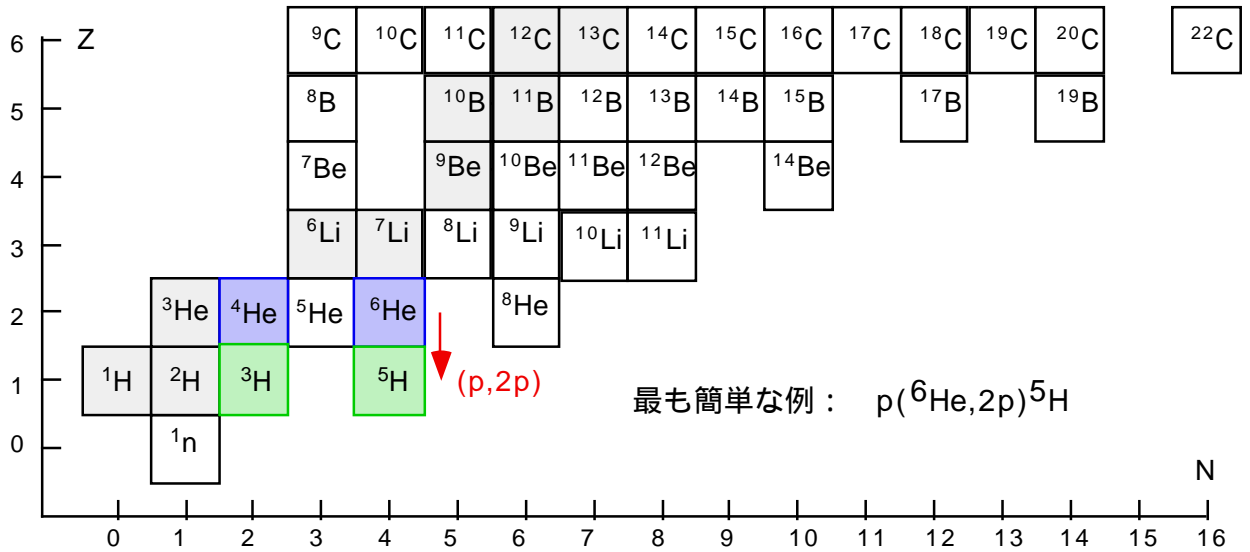
- 「1」 目的・動機
- 「2」 実験方法
- 「3」 解析・結果
- 「4」 まとめ



# 「1」目的・動機

(1) Drip Line上の中性子過剰核からの(p,2p)陽子knockout反応

Drip Line外側のExoticな共鳴状態



(2) 水素同位体 (共鳴状態) の安定性 : Pairingと角運動量バリアの競合?

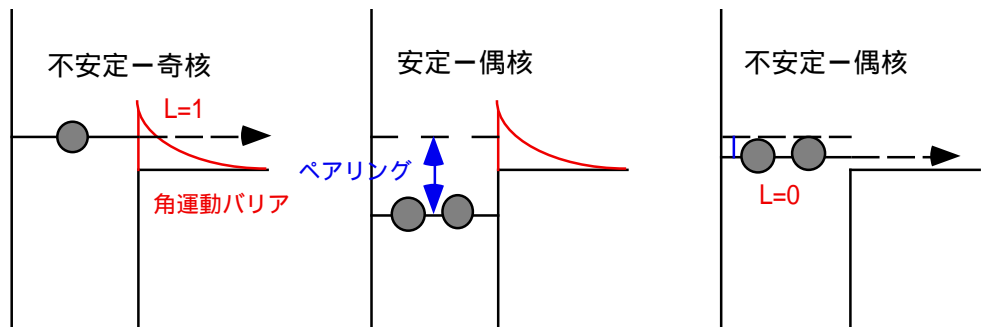
$$({}^3_2\text{H})^n \quad {}^6\text{H} = {}^3\text{H} + 3n$$

$${}^5\text{H} = {}^3\text{H} + 2n$$

$${}^7\text{H} = {}^3\text{H} + 4n$$

中性子数: odd

even



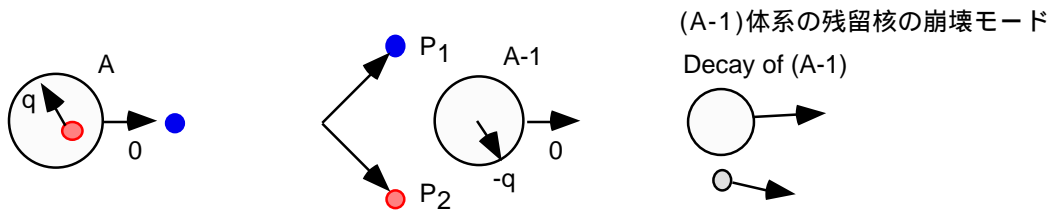
(3) 250 AMeV領域での不安定核からの陽子knockout反応の実験的方法論

HIMAC-synchrotron + 2次ビームライン

## 「 2 」 実験方法

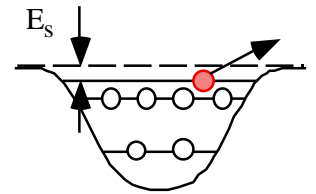
### 「 2 - 1 」 不安定核と陽子標的をInverse Kinematicsで用いた陽子ノックアウト反応

Quasi Free p-p散乱による陽子knockout反応：



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  $P_f$   
 中性子過剰核の $S_p$ は安定核より大きい   ： $S_p = 20 - 30\text{MeV}$

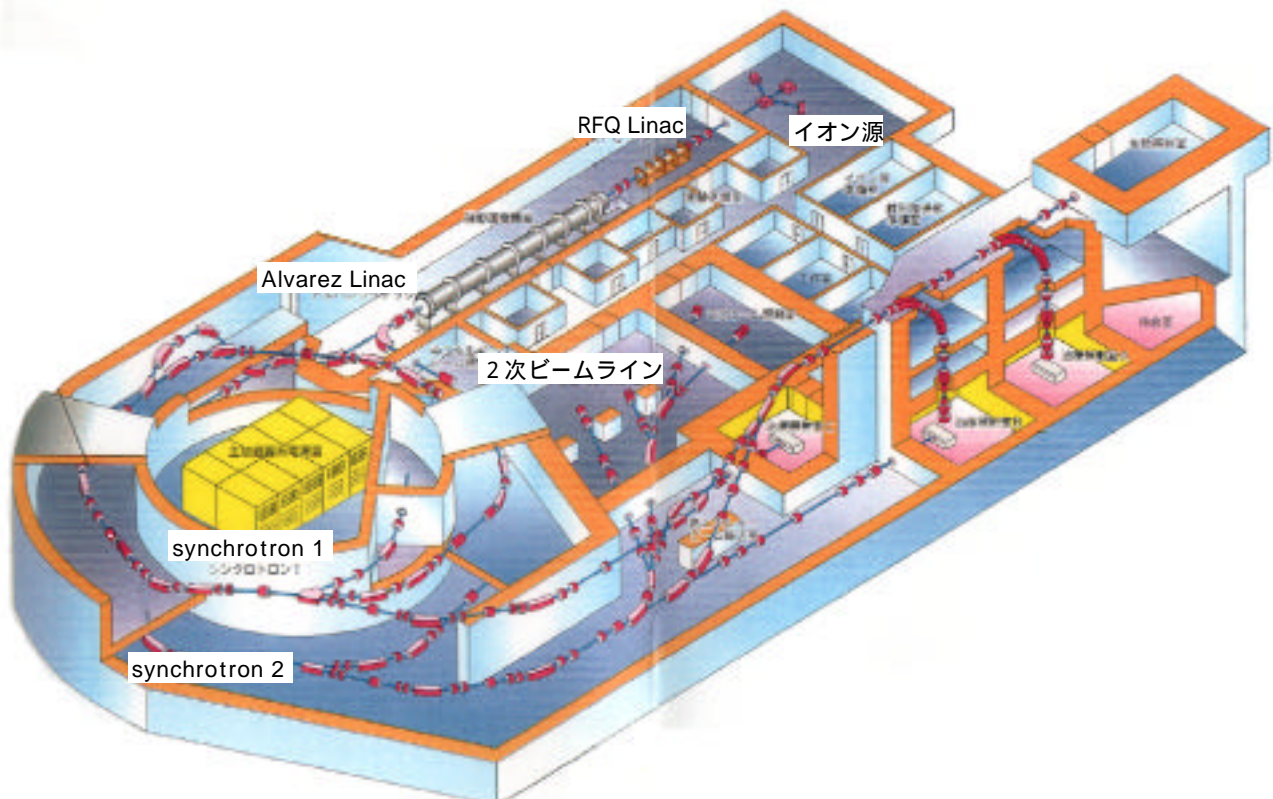


加速器施設

理研   ： $30 - 80\text{ AMeV}$   
 放医研： $200 - 350\text{ AMeV}$     ( $E_B > 10 \times S_p$ )

HIMAC加速器施設

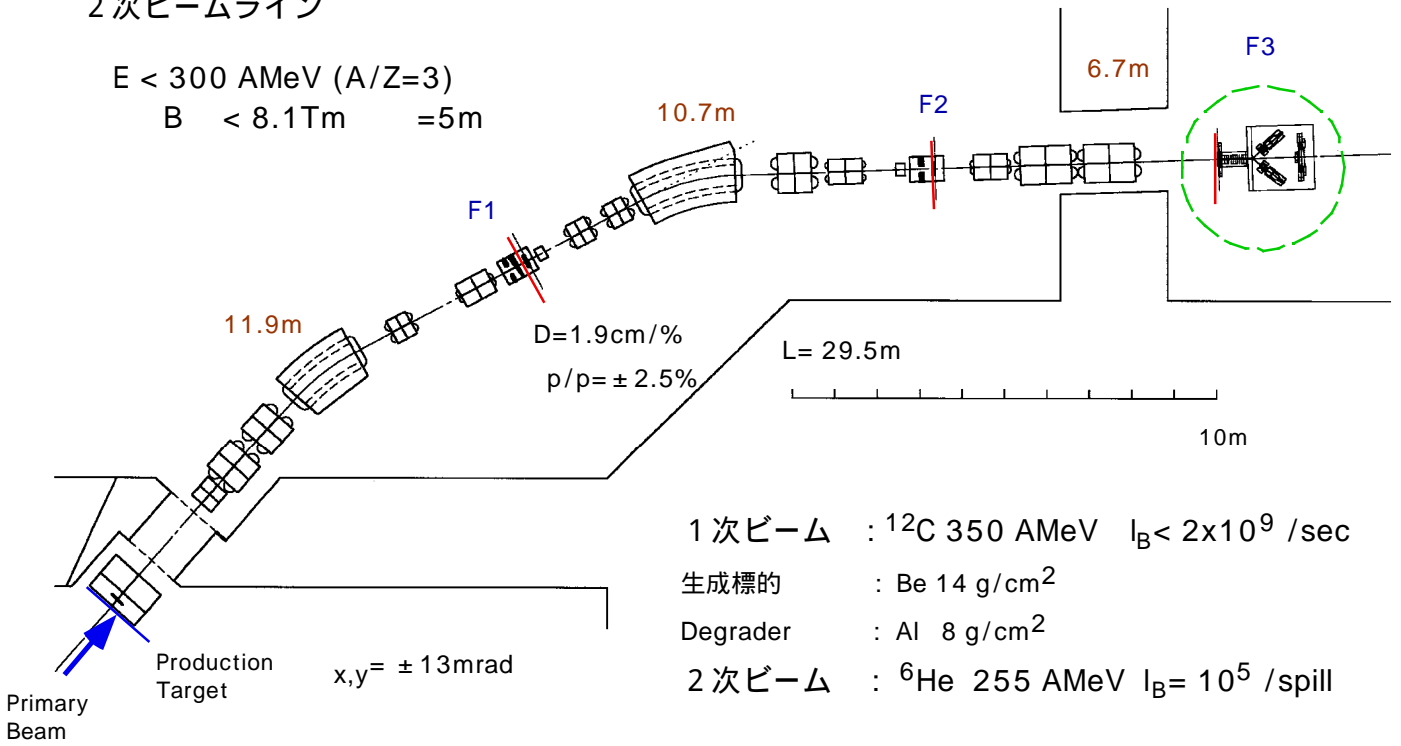
RFQ ( $0.8\text{ AMeV}$ ) + Alvarez ( $6\text{ AMeV}$ ) + double synchrotron ( $800\text{ AMeV}$ )



「2-2」実験のSetup

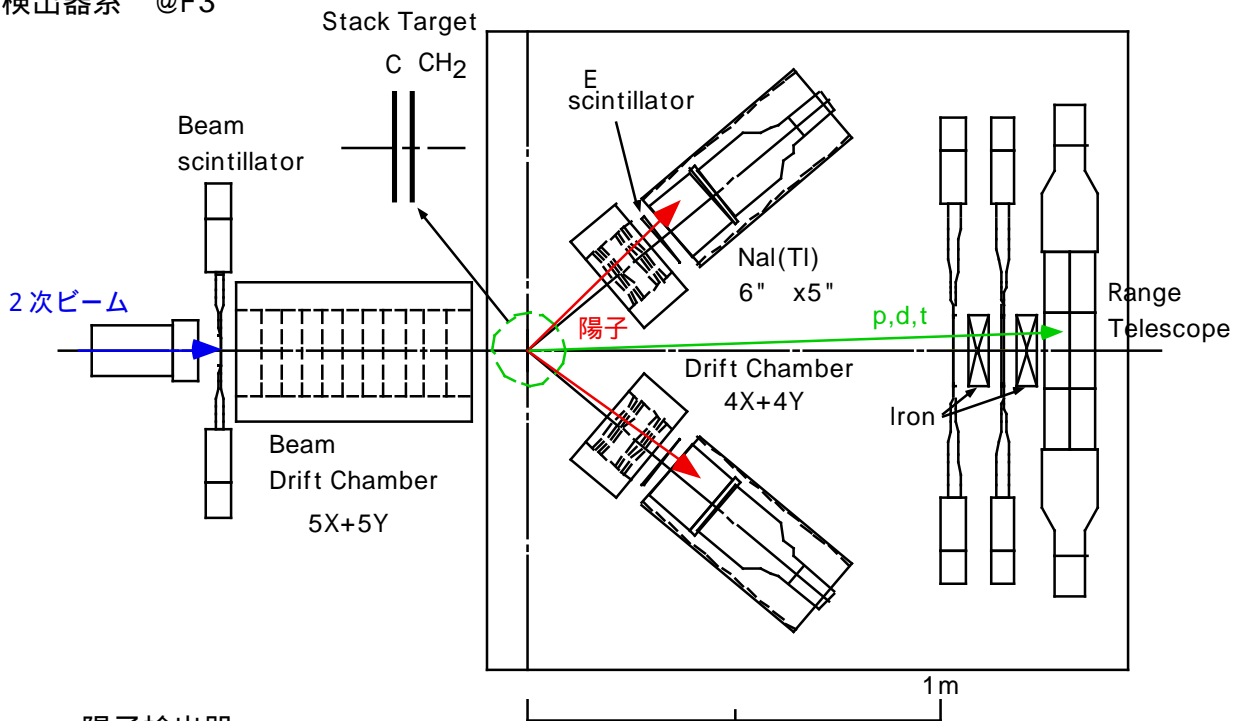
2次ビームライン

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



1次ビーム :  $^{12}\text{C}$  350 A MeV  $I_B < 2 \times 10^9 / \text{sec}$   
 生成標的 : Be 14 g/cm<sup>2</sup>  
 Degradier : Al 8 g/cm<sup>2</sup>  
 2次ビーム :  $^6\text{He}$  255 A MeV  $I_B = 10^5 / \text{spill}$

検出器系 @F3



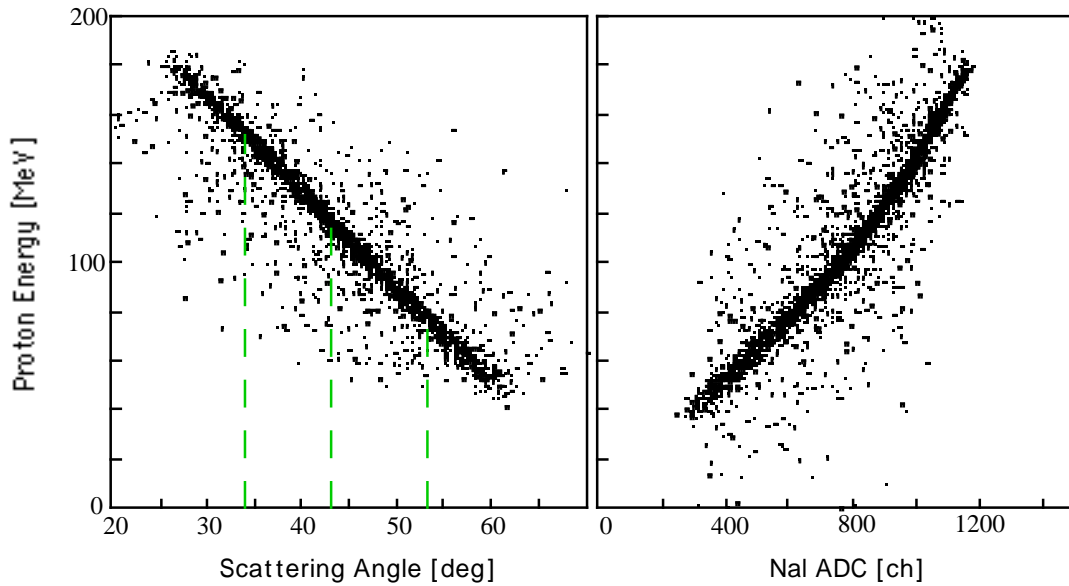
陽子検出器

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

### 「3」解析と結果

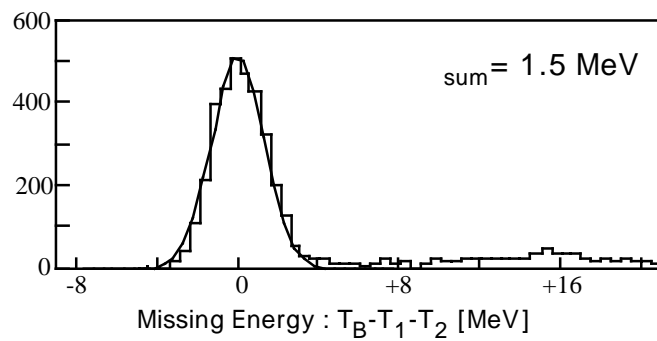
#### 「3-1」p-p散乱によるNaI(Tl)のエネルギー較正

p(p,2p)反応： 230MeV 1次陽子ビーム + 0.2 g/cm<sup>2</sup> CH<sub>2</sub>



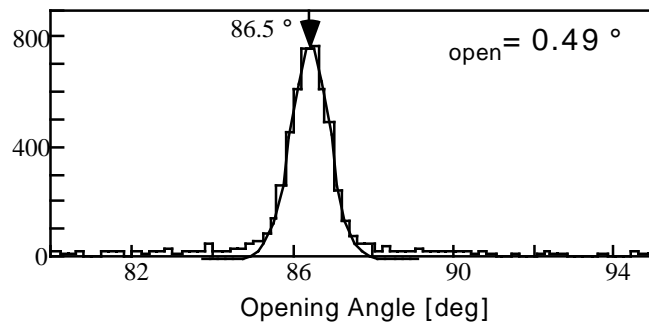
陽子エネルギー分解能：

$$p \sim 1.1 \text{ MeV} @ 120 \text{ MeV}$$



角度分解能：

$$\sim 6 \text{ mrad}$$



Drift Chamber : He 50% + C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> 50%

面当りの位置分解能  $\sim 100 \mu\text{m}$  (rms)

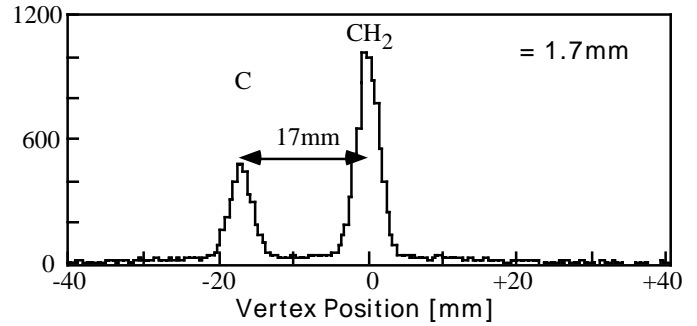
「3-2」  $p(^4\text{He}, 2p)^3\text{H}$ による分離エネルギーの較正

230 A MeV 1次 $^4\text{He}$ ビーム + 0.2g/cm $^2$  CH $_2$  / C stack target

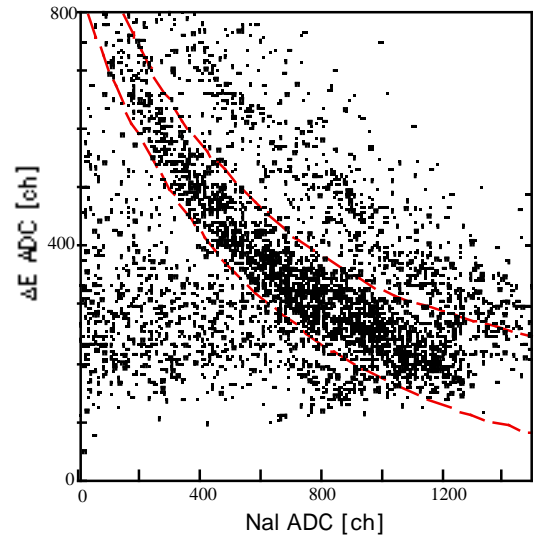
ビーム角度分散:  $\theta_h = 1.6$  mrad,  $\theta_v = 4.0$  mrad      ビームは測定しない

CH $_2$  / C 選択

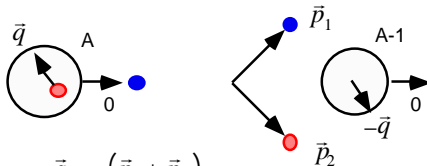
2個の陽子のvertex cut



E-Eによる陽子選択 + NaI中での核反応事象の除去



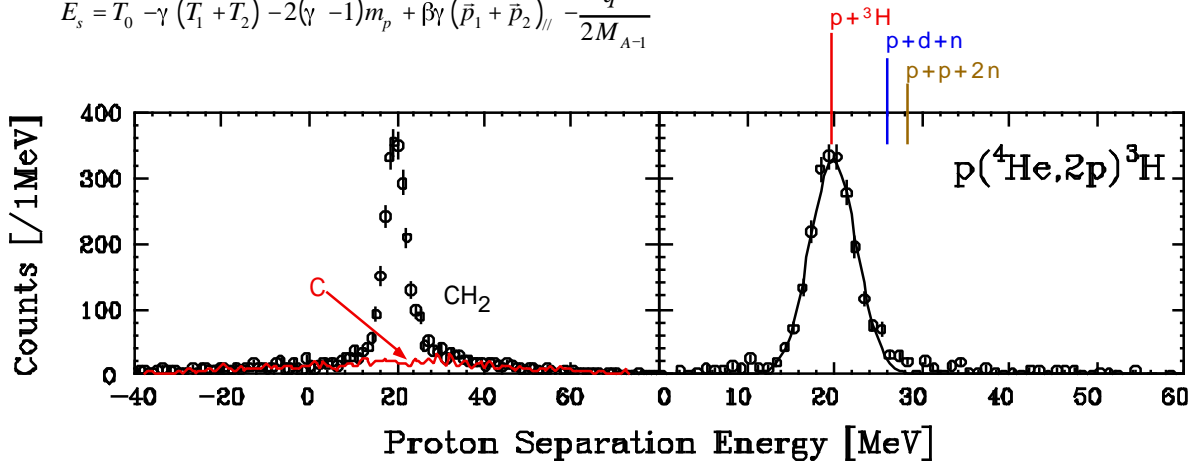
陽子分離エネルギー-S $_p$ 分布



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

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

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



分離エネルギー分解能: = 2.7 MeV

「3-3」  $p(^6\text{He}, 2p)\text{X}$  反応

255 AMeV  $^6\text{He}$  ビーム + 0.2g/cm<sup>2</sup> CH<sub>2</sub> / C stack target

2次ビームのエネルギー測定

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

beam = 2.8 AMeV

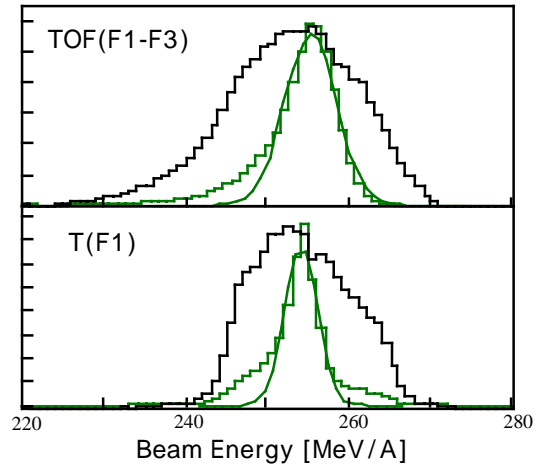
T(F1) X(F1)

beam = 1.7 AMeV

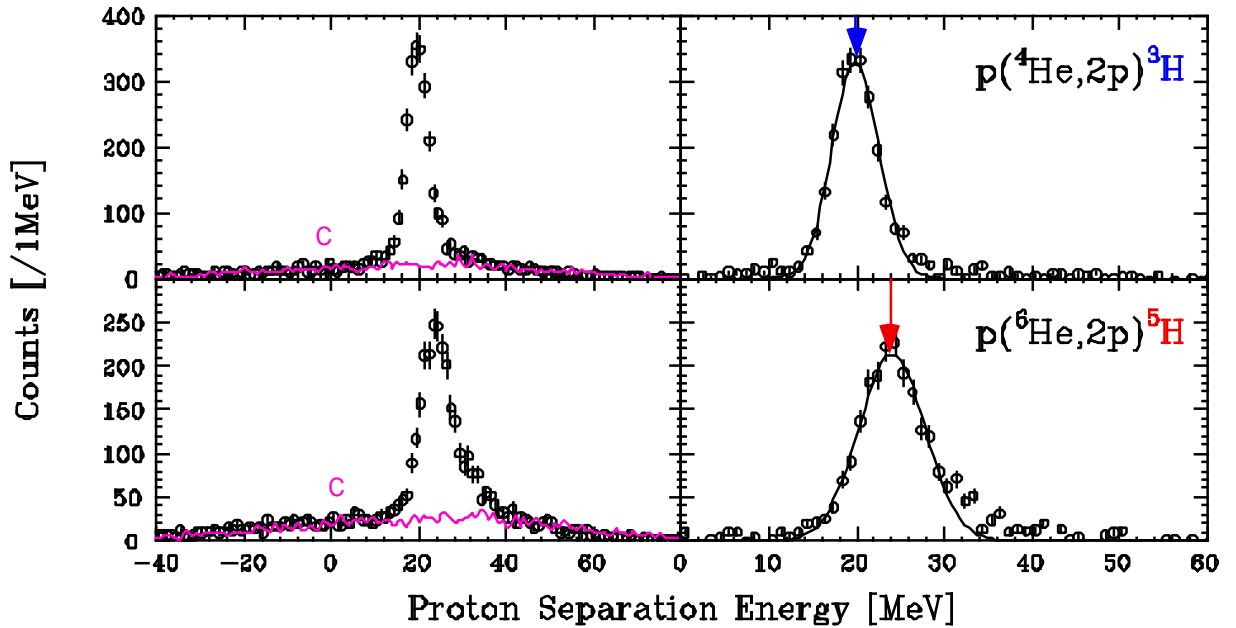
$I_B(\text{F1}) > 1\text{MHz}$

$p/p = \pm 2.7\%$

$p/p = \pm 0.27\%$



陽子分離エネルギー- $S_p$  分布



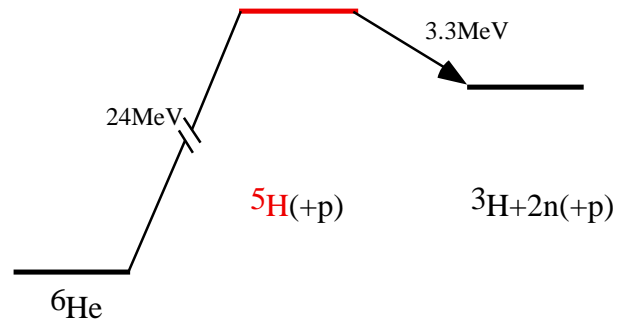
この構造が $^5\text{H}$ によるのであれば、

$$S_p = 24.0 \pm 0.5 \text{ MeV}$$

$$E_r(^3\text{H}+2n) = 3.3 \pm 0.5 \text{ MeV}$$

$$\text{obs} = 3.8 \text{ MeV}$$

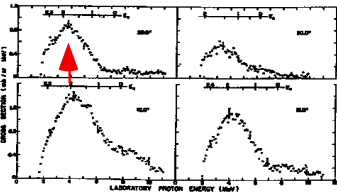
$$[ r = 6.3 \text{ MeV (tentative) } ]$$



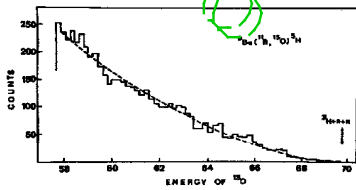
「3-4」過去のデータとの比較

P. Young

$t(t,p)^5\text{H}$  Er=1.8MeV



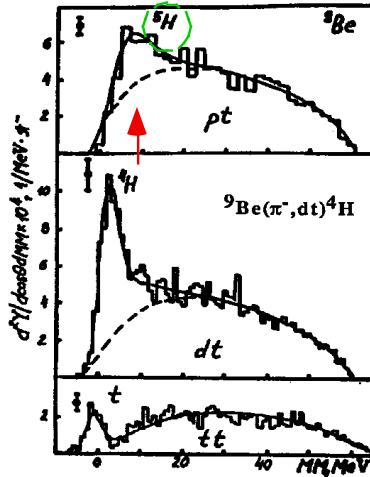
A. Belyaev



A. Amelin

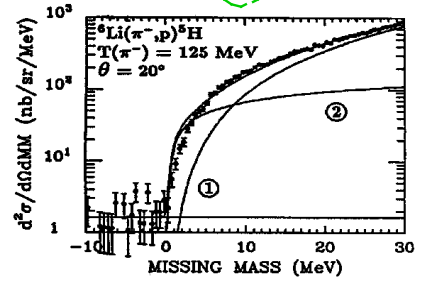
Er=3MeV

$^9\text{Be}(\pi^-,pt)^5\text{H}$  = 5MeV?

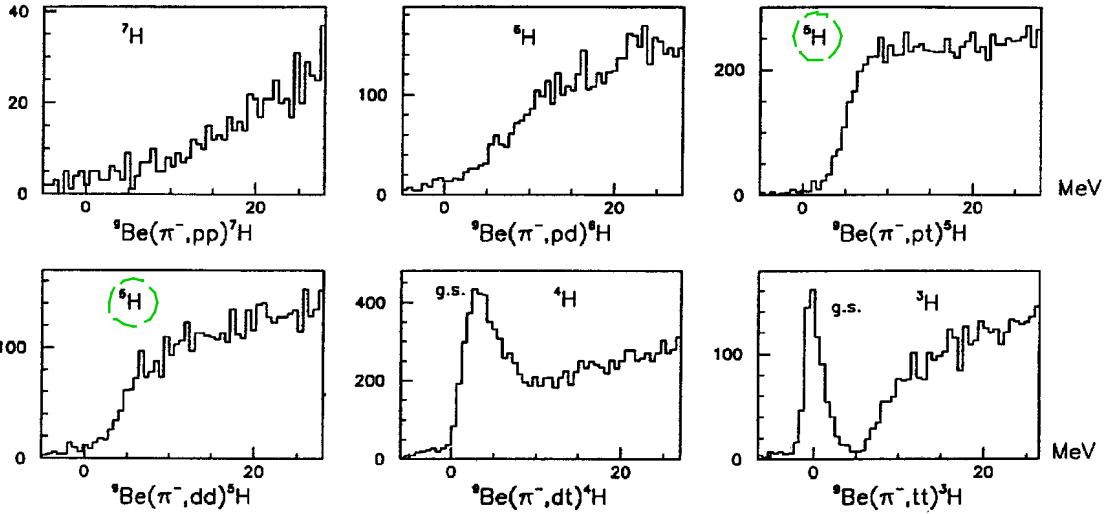


K. Seth

$^6\text{Li}(\pi^-,p)^5\text{H}$

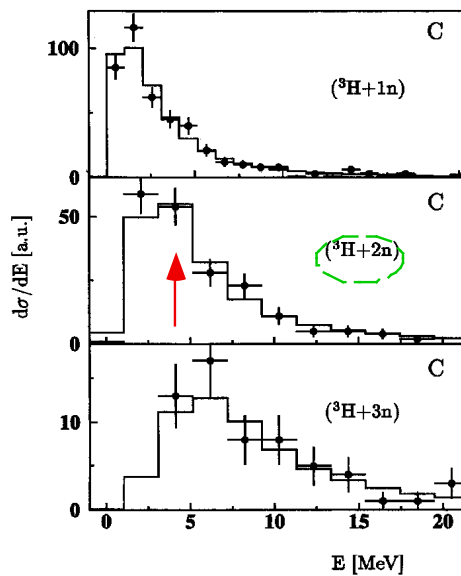


K. Seth



B. Eberlein

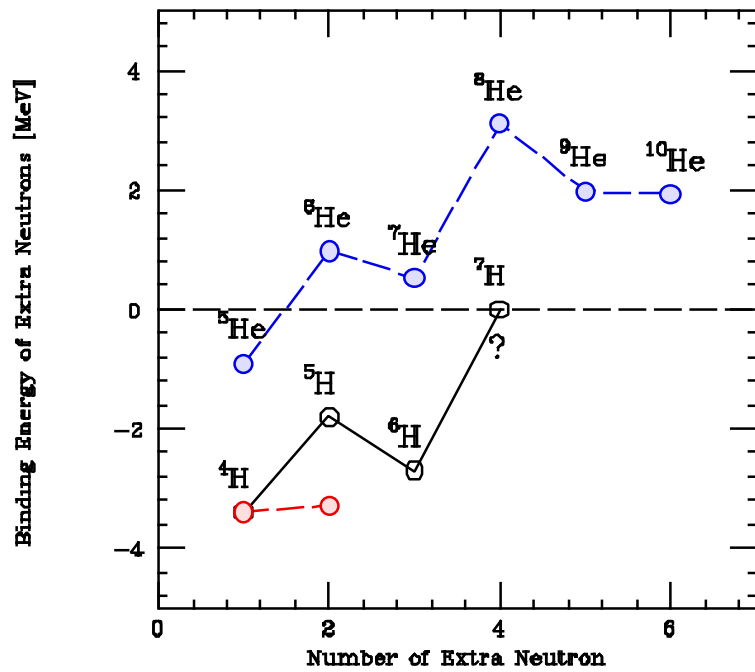
$^8\text{He}+C \rightarrow ^3\text{H}+2n+x$



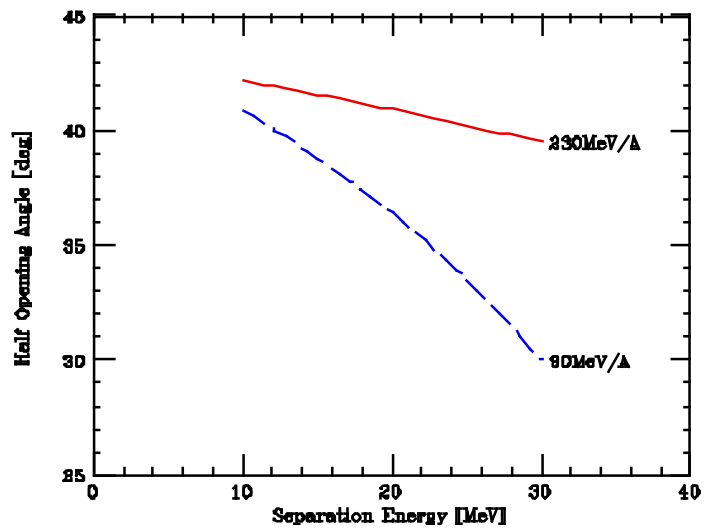


「3-5」その他

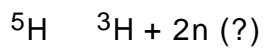
He同位体との類似性？



Opening角の $S_p$ 依存性



共鳴状態の崩壊粒子によるTag



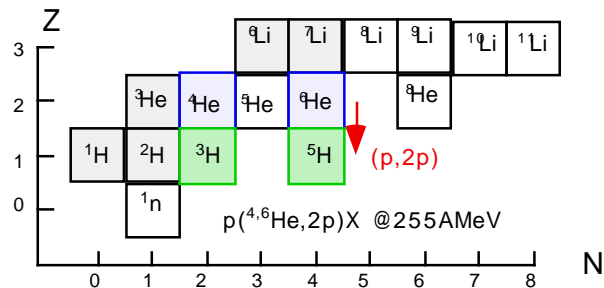
255 A MeVの $^3\text{H}$ のRange = Fe 168 g/cm<sup>2</sup> (21 cm<sup>t</sup>)

前方磁気分析器が必要

# ${}^6\text{He}$ からの陽子Knockout反応による水素同位体 ${}^5\text{H}$ の探索

小林俊雄、大津秀暁、氏家徹、奥田貴志、関口昌嗣、  
大関和貴、田澤信也（東北大理）、  
福田直樹（東大理）、沖花彰（京教大教）、  
松山芳孝（高工研）、高田栄一（放医研）

- 「1」目的・動機
- 「2」実験方法
- 「3」解析・結果
- 「4」まとめ



## 「4」まとめ

HIMAC施設を用い、255 AMeV入射エネルギーで  $p({}^{4,6}\text{He}, 2p)X$ の測定を行った。

分離エネルギー精度 約2.7MeV(rms) for  $p({}^4\text{He}, 2p){}^3\text{H}$  reference

2次ビームエネルギー精度 約1.7 AMeV(rms) @255 AMeV  ${}^6\text{He}$

$p({}^6\text{He}, 2p)X$ では  $E_r \sim 3.3\text{MeV}$ 付近に幅の広い状態 ( ${}^5\text{H}_r$ ?) がありそうである。

巾に値についてはさらにつめる必要有り。

中性子過剰核からの核子knockout反応で共鳴状態を選択的に生成の可能性。

ともかく、もっと分解能を上げる事が必要。

核子knockout反応の残留核の崩壊をtagする前方磁気分析器を準備中