

# $^{9}\text{C}$ , $^{8}\text{B}$ 质子去除截面测量

中国科学院近代物理研究所  
金仕纶

第十五届全国核结构大会  
2014 10 桂林

# 提纲

- 研究动机
- 实验简介
- 数据分析
- 事件挑选
- 计算截面

# 研究动机

- ${}^9\text{C}$ ,  ${}^8\text{B}$ 位于质子滴线, 是否具有晕结构是研究热点

- ${}^8\text{B}$ : 较多的实验结果支持其有晕结构

如: 在相对论能区相互作用截面增大

在中能及sub-Coulomb下反应截面的增大, 总截面增大

ANC系数推导出来更大的rms半径

在相对论能区3次测量 ${}^7\text{Be}$ 核芯径向动量分布

有一些结果不能证实其是否有晕结构

如: 大的电四极矩也可能是 ${}^7\text{Be}$ 核芯极化引起

中能区 ${}^7\text{Be}$ 核芯径向动量分布受反应机制影响

重靶上的弹散实验角分布

## • ${}^9\text{C}$

Non-Borremean核 双核子晕核实验上的结果总结如下:

- 1 双核子去除截面大于单核子去除截面
- 2 双核子去除产生的碎片动量分布宽度和单核子去除产生的碎片动量分布宽度相当, 大于 $A-1$ 的单核子去除产生的碎片动量分布宽度
- 3 反应截面和半径与去掉一个核子后的单核子晕核相比, 没有统一的结论

### 研究现状

★ 1997年Blank等人用Si叠层望远镜测量了 ${}^8\text{B}$ 和 ${}^9\text{C}$ 在四种不同靶子上的反应截面和 ${}^8\text{B}$ 单质子去除截面,  ${}^9\text{C}$ 的一个质子和两个质子去除截面, 结果支持 ${}^7\text{Be}$ 是 ${}^8\text{B}$ 的很好的核芯, 但有关 ${}^9\text{C}$ 的测量误差较大, 没有得到有意义的物理结论。

★ 2001年王全进等人实验测量中能区 ${}^9\text{C}$ ,  ${}^8\text{B}$ ,  ${}^7\text{Be}$ 和Si靶反应总截面, 结果验证了 ${}^8\text{B}$ 的奇异结构, 同时发现 ${}^9\text{C}$ 的反应总截面有增大迹象, 表明 ${}^9\text{C}$ 也可能是晕核, 但实验误差较大, 不能得出确切结论。

★ 2003年Enders等人测量  $\sigma_{-1p}({}^9\text{C} \rightarrow {}^8\text{B}) = 54(4) \text{ mb}$ , 推出 ${}^9\text{C} \rightarrow {}^8\text{B} + p$ 的核渐进归一化系数为  $1.27(10) \text{ fm}^{-1}$ 。测量得到  $\sigma_{-2p}({}^9\text{C} \rightarrow {}^7\text{Be}) = 98(7) \text{ mb}$ , 明显小于理论计算的166 mb, 文章认为 ${}^8\text{B}$ 的其他碎裂道如 ${}^3\text{He} + {}^5\text{Li}$ 及 ${}^3\text{He} + {}^4\text{He} + p$ 的开放可能是这种偏差的原因。

★ 2004年R. E. Warner测量了 ${}^9\text{C}$ 在Si靶上截面, 结果是 $\sigma_{-2p}$ 约为 $\sigma_{-1p}$ 的两倍, 和 ${}^8\text{B}$ 的 $\sigma_{-1p}$ 大小相当, 因此认为 ${}^9\text{C}$ 可能是晕核, 但需要进一步实验验证。

★ 2005年李志宏等人根据转移反应得出 ${}^9\text{C} \rightarrow {}^8\text{B} + p$ 的核渐进归一化系数, 导出 ${}^9\text{C}$ 价核子的均方根半径, 结果支持 ${}^9\text{C}$ 有晕结构

# 以质子去除截面为探针

- $^8\text{B}$ 单质子去除截面很重要，因为对核表面单粒子波函数很敏感。而相互作用截面与反应截面来自于整个核的多体波函数，对于晕的区域不是那么敏感
- $^9\text{C}$ 的双质子分离能1.43 MeV，只比确定的双质子晕 $^{17}\text{Ne}$ 的0.94 MeV大一点。 $^9\text{C}$ 在去掉一个质子以后剩下一个弱束缚的 $^8\text{B}$ ，而与 $^{17}\text{Ne}$ 去掉一个质子以后剩下一个非束缚的 $^{16}\text{F}$ ，因而 $^9\text{C}$ 单双质子去除截面对了解其结构十分重要。
- 对中子晕，如 $^6\text{He}$ 有这样的关系：
$$\sigma_{2n}(^6\text{He}) \approx \sigma_1(^6\text{He}) - \sigma_1(^4\text{He}),$$
对 $^9\text{C}$ ， $^8\text{B}$ 之前的实验结果，比较好的说明了 $^7\text{Be}$ 是 $^8\text{B}$ 的核芯，因为误差大不好说 $^8\text{B}$ 是 $^9\text{C}$ 的芯。也不能很支持 $^7\text{Be}$ 是 $^9\text{C}$ 的芯。

|  |              |
|--|--------------|
| $\sigma_{\text{tot}}(^8\text{B}) - \sigma_{\text{tot}}(^7\text{Be})$ | $80 \pm 7$   |
| $\sigma_{1p}(^8\text{B})$  | $89 \pm 2$   |
| $\sigma_{\text{tot}}(^9\text{C}) - \sigma_{\text{tot}}(^8\text{B})$  | $48 \pm 34$  |
| $\sigma_{1p}(^9\text{C})$  | $48 \pm 8$   |
| $\sigma_{\text{tot}}(^9\text{C}) - \sigma_{\text{tot}}(^7\text{Be})$ | $128 \pm 34$ |
| $\sigma_{1p}(^9\text{C}) + \sigma_{2p}(^9\text{C})$                  | $175 \pm 20$ |

# 实验简介

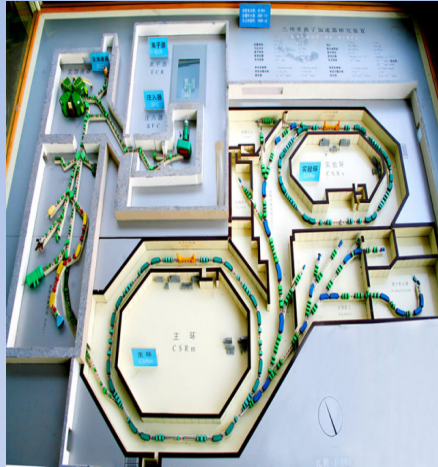
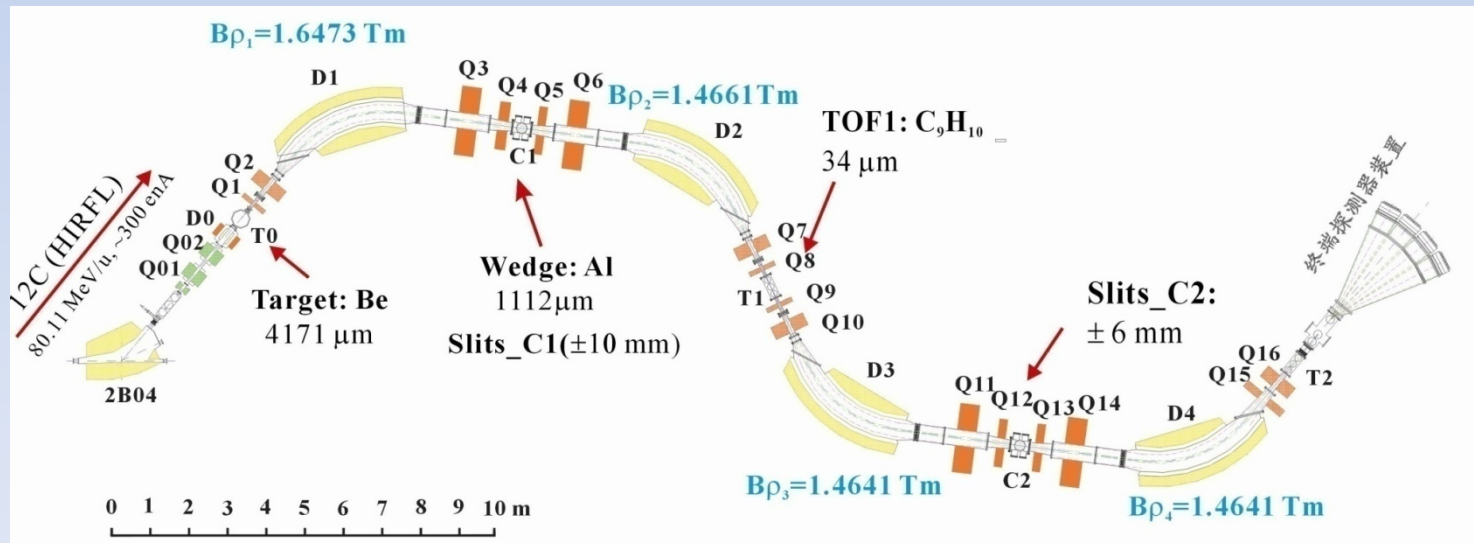


图1 RIBLL全景照片

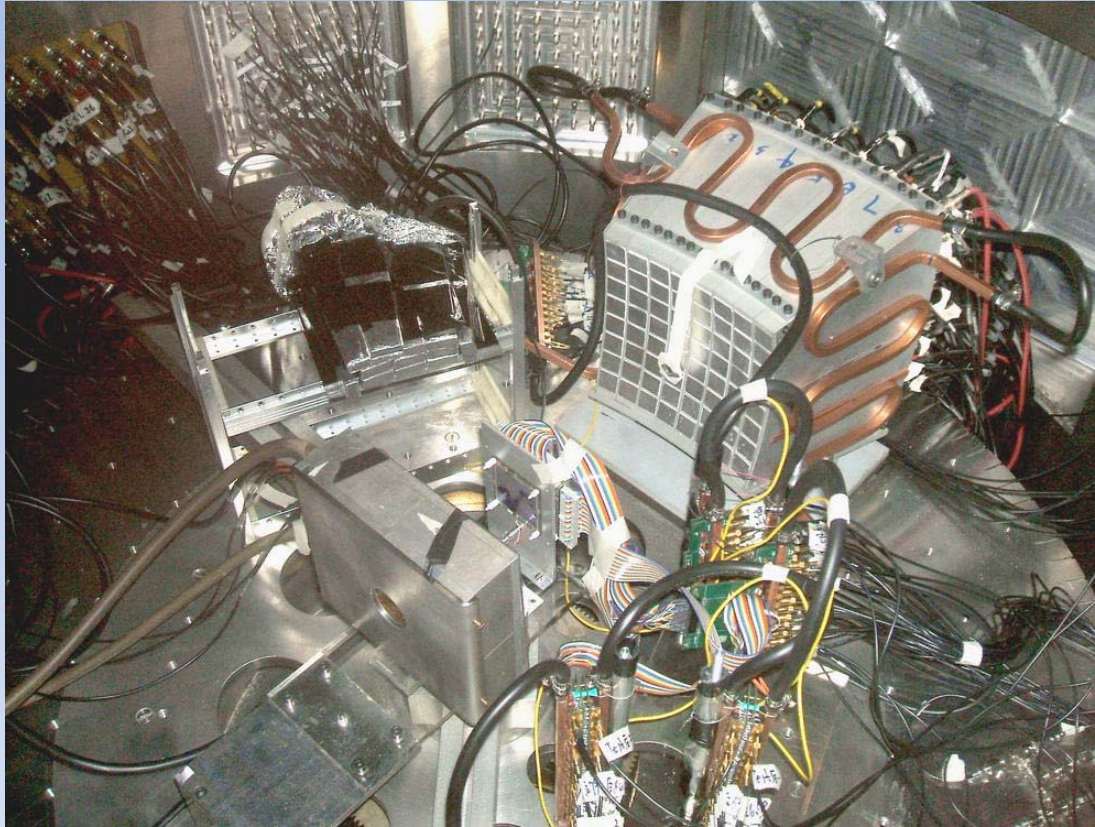
- 主束 :  $^{12}\text{C}$  80.115 MeV/A
- T0靶 : Be 4171微米
- 狭缝 : C1  $\pm 10\text{mm}$
- C2  $\pm 6\text{mm}$
- 次级束:  $^9\text{C}$  41.2 MeV/u
- $^8\text{B}$  36.4 MeV/u
- $^7\text{Be}$  30.6 MeV/u
- T2靶 : C 45mg/cm<sup>3</sup>

## Radioactive Ion Beam Line in Lanzhou





# 探测装置



$\Delta E$ 探测器

double sided silicon strip  
detector(DSSD)

$40 \times 40$   $1000 \mu\text{m}$  thickness

E 探测器

$8 \times 8$  CsI(Tl) crystal array

$21 \times 21\text{mm}^2$  active area

50mm length readout by

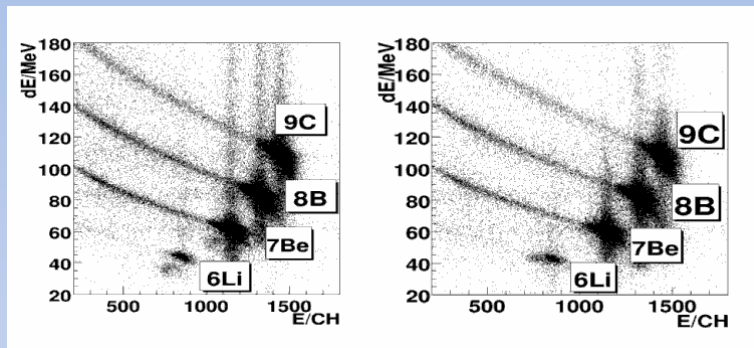
PMT

靶前有2个PPAC用于定位入射束

靶后使用了一套 $\Delta E$ -E 探测器，用于符合测量反应碎片

# 数据分析

## 1 硅信号处理



- 1 使用源刻度
  - 2 脉冲发生器刻度
  - 3 多种束流刻度
- 用次级束检验

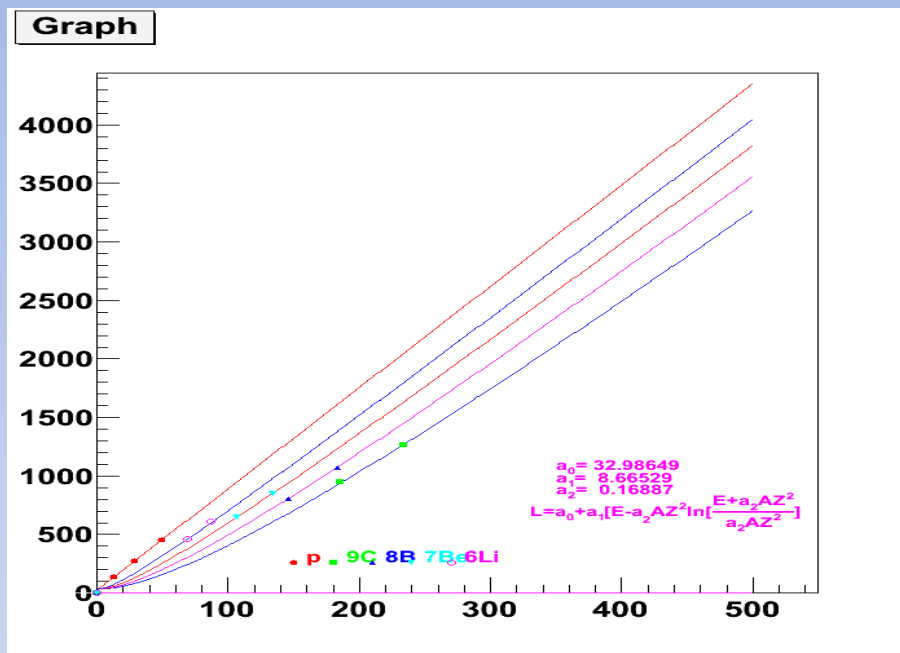
## 2 CsI信号处理

$$L(E, A, Z) = a_0 + a_1 \left( E - a_3 A Z^2 \ln \left( \frac{E + a_2 A Z^2}{a_2 A Z^2} \right) \right)$$

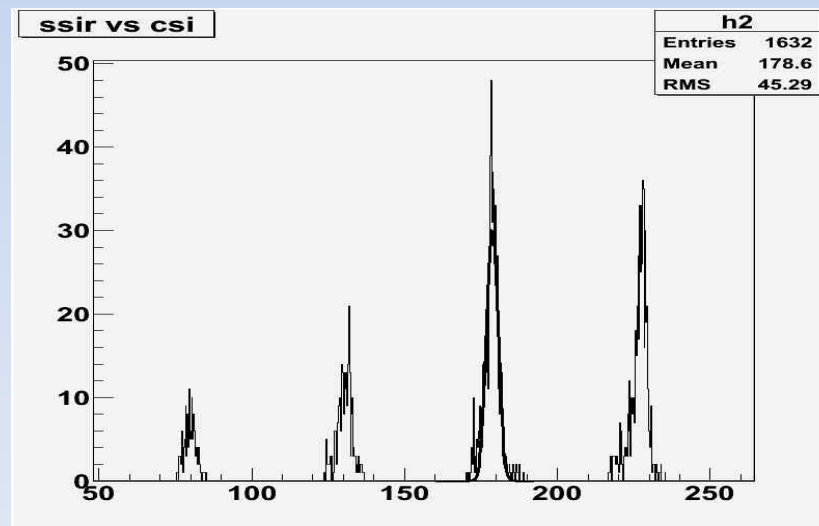
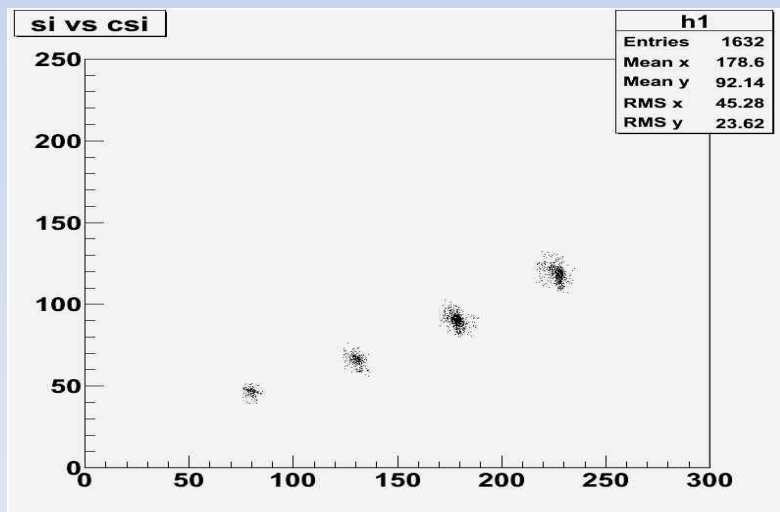
| 粒子种类            | 能量/MeV  | 能量/MeV  | 能量/MeV  | 能量/MeV  | 能量/MeV  |
|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| p               | 14. 81  | 29. 89  | 50. 42  |         |         |
| <sup>6</sup> Li | 89. 31  | 104. 82 | 126. 69 | 193. 54 | 151. 4  |
| <sup>7</sup> Be | 135. 92 | 159. 41 | 192. 51 | 293. 51 | 229. 89 |
| <sup>8</sup> B  | 185. 36 | 271. 71 | 262. 31 | 399. 36 | 316. 06 |
| <sup>9</sup> C  | 236. 72 | 277. 46 | 334. 79 | 509. 17 | 399. 41 |



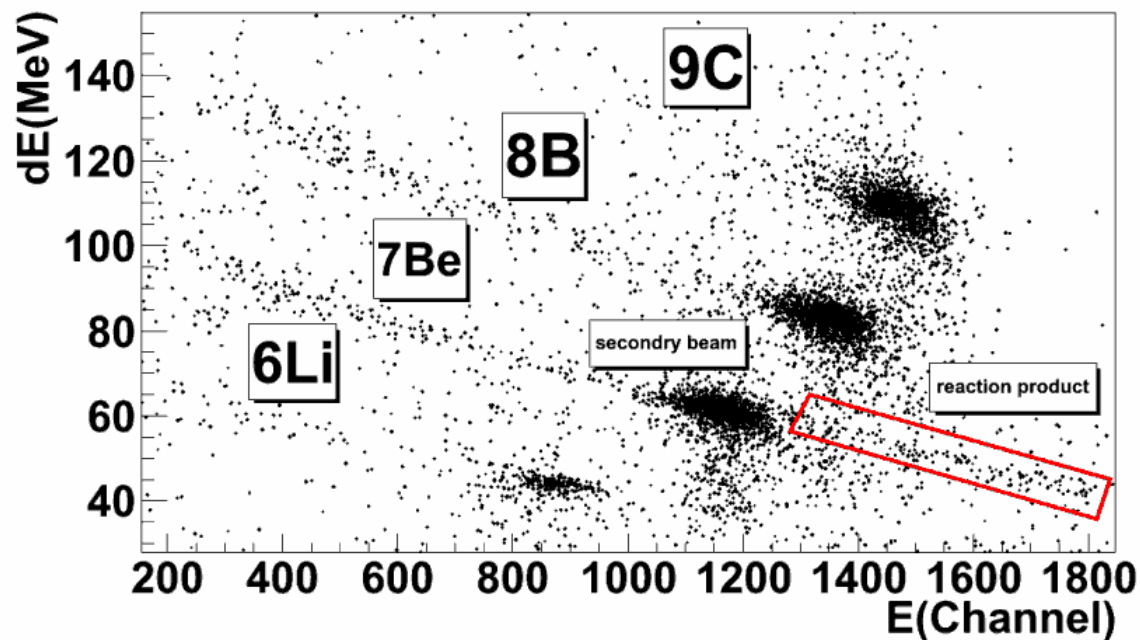
# 对所有晶体逐块刻度用次级束检验



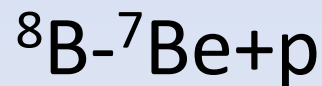
| 粒子  | 沉积能 (MeV) |
|-----|-----------|
| 9C  | 226       |
| 8B  | 181       |
| 7Be | 132       |
| 6Li | 82        |



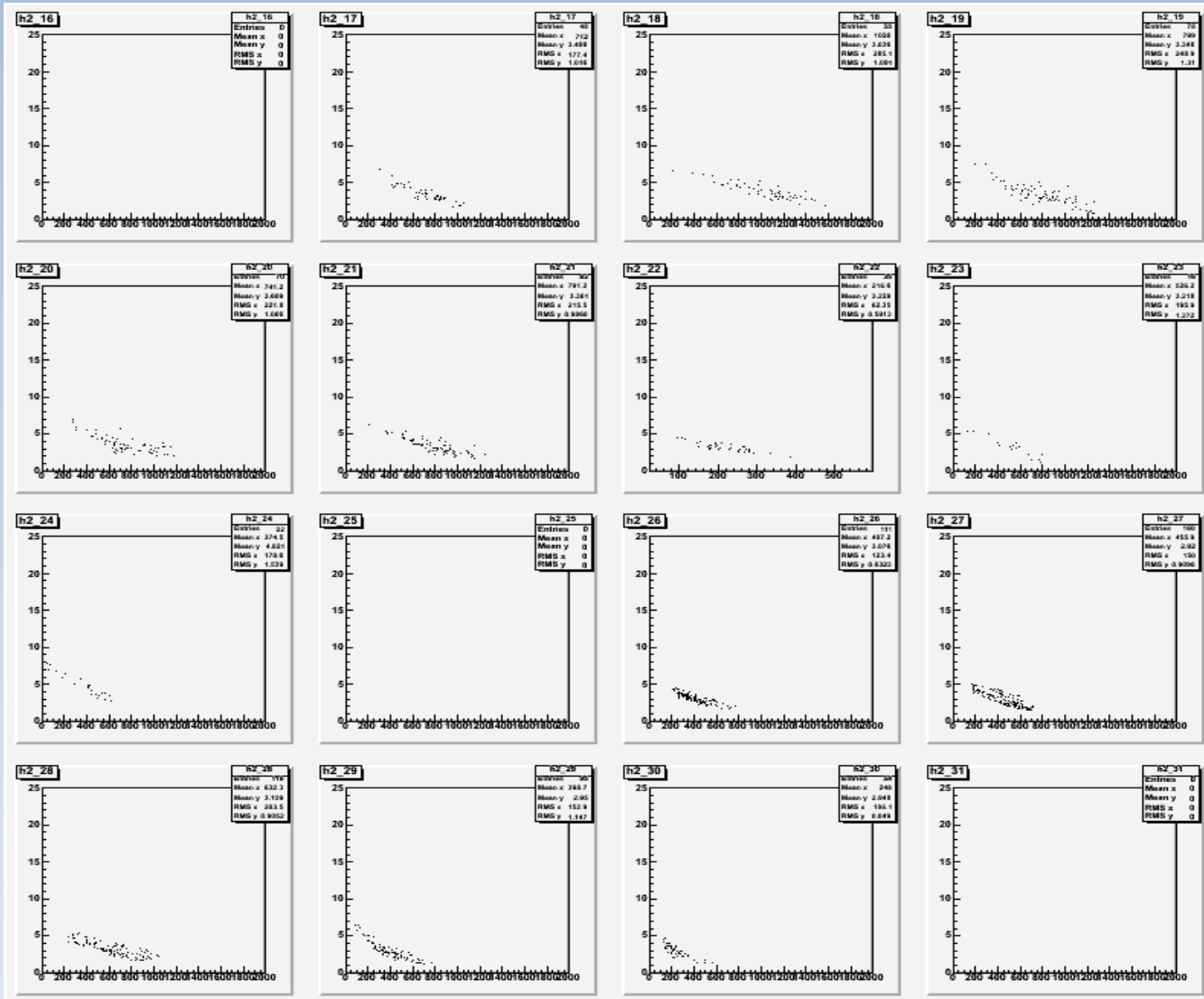
# 事件挑选



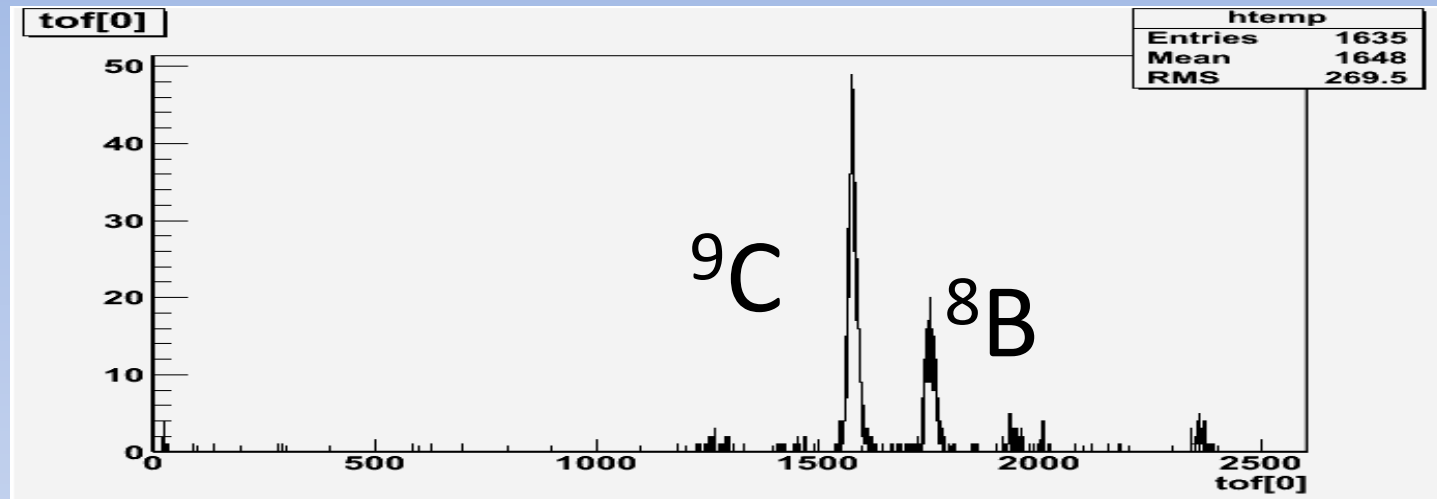
红框内的 ${}^7\text{Be}$ 是反应产生的  
认为来自2个反应道



# 在所有的CsI晶体上寻找符合的质子

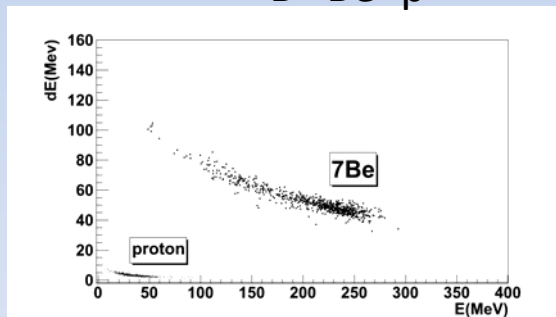


# 通过ToF信息区分入射核

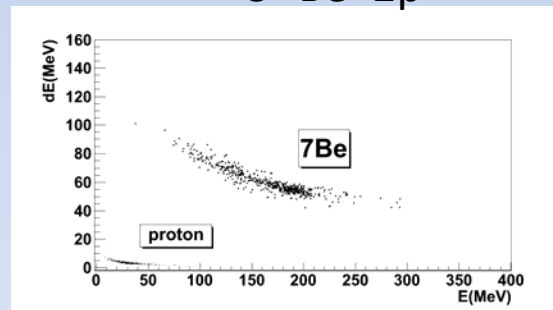


找到了不同反应道的符合事件

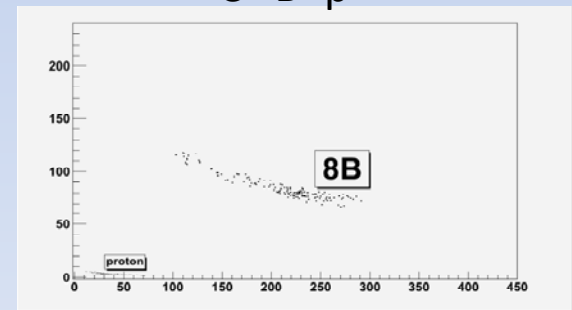
${}^8\text{B}-{}^7\text{Be}+p$



${}^9\text{C}-{}^7\text{Be}+2p$



${}^9\text{C}-{}^8\text{B}+p$



# 计算截面

$$\sigma_{\text{exp}} = \frac{dN}{N_b N_t d\Omega}$$

dN: 反应事件 (符合事件)

Nb: 入射粒子数

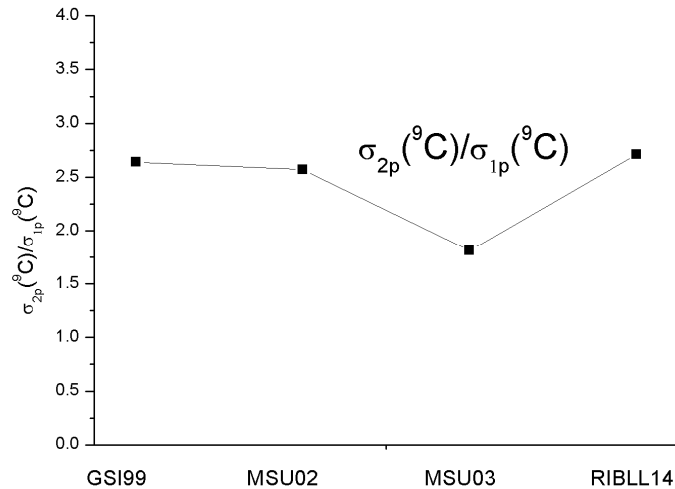
Nt: 靶厚

dΩ: 探测器立体角

Geant4 模拟

| 单双质子去除截面 |         |               | $\sigma_{1p}$ ( $^8\text{B}$ ) | $\sigma_{2p}$ ( $^9\text{C}$ ) | $\sigma_{1p}$ ( $^9\text{C}$ ) |
|----------|---------|---------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| RIBLL    | 2碎片符合截面 |               | 26mb                           | 57mb                           | 21mb                           |
| GANIL    | 1996    | PRC,54,1787   | 222mb(40)                      |                                |                                |
| GSI      | 1997    | NPA,624,242   | 89mb(285)                      | 127mb(285)                     | 48mb(285)                      |
| GSI      | 1999    | PLB,452,1     | 98mb                           |                                |                                |
| MSU      | 2002    | PRC,69,024612 | 218mb                          | 198mb                          | 77mb                           |
| GSI      | 2002    | PLB,529,36    | 94mb                           |                                |                                |
| MSU      | 2003    | PRC,67,064301 | 30mb                           | 98mb                           | 54mb                           |

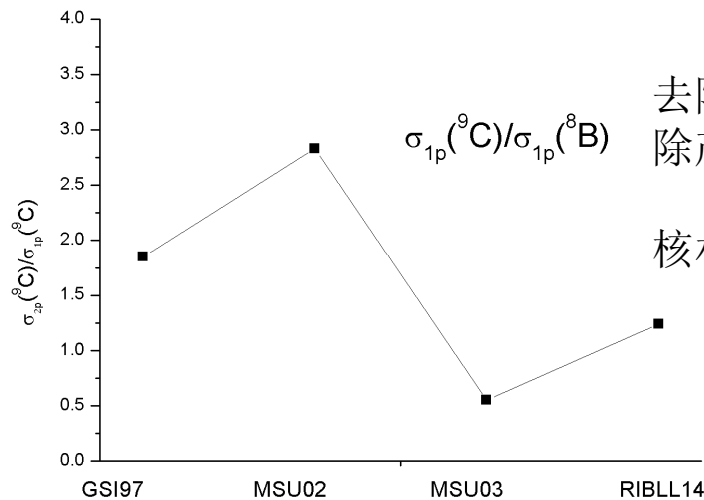
## ${}^9\text{C}$ 的双质子与单质子去除截面之比



上图：有3个实验室的结论给出的 ${}^9\text{C}$ 的双质子与单质子去除截面之比在2.6附近

下图： ${}^9\text{C}$ 的单质子与 ${}^8\text{B}$ 单质子去除截面之比，各实验室给出的值都差异较大。

## ${}^9\text{C}$ 的单质子与 ${}^8\text{B}$ 单质子去除截面之比



### Non-Borremean核

- 1 双核子去除截面大于单核子去除截面
- 2 双核子去除产生的碎片动量分布宽度和单核子去除产生的碎片动量分布宽度相当，大于A-1的单核子去除产生的碎片动量分布宽度
- 3 反应截面和半径与去掉一个核子后的单核子晕核相比，没有统一的结论

我们的实验结果都证实了以上3点（2未报告）  
验证 ${}^9\text{C}$ 是一个 Non-Borremean核



# 谢谢！

向会议主办方及辛勤付出的会务人员致谢

2014年10月27日 桂林 榕湖饭店