

天体rp过程中关键核反应 截面及共振态性质的研究

何建军

核天体物理组
中科院近代物理研究所

2010. 8. 13
北京昌平温都水城

主要内容

- 兰州实验情况
- 日本实验情况
- 未来研究展望

兰州实验情况

实验题目： $^{17}\text{F}+\text{p}$ 共振弹性散射

实验时间：2009年11月份已完成

合作单位：

近物所，原子能院，上海应物所，北京大学

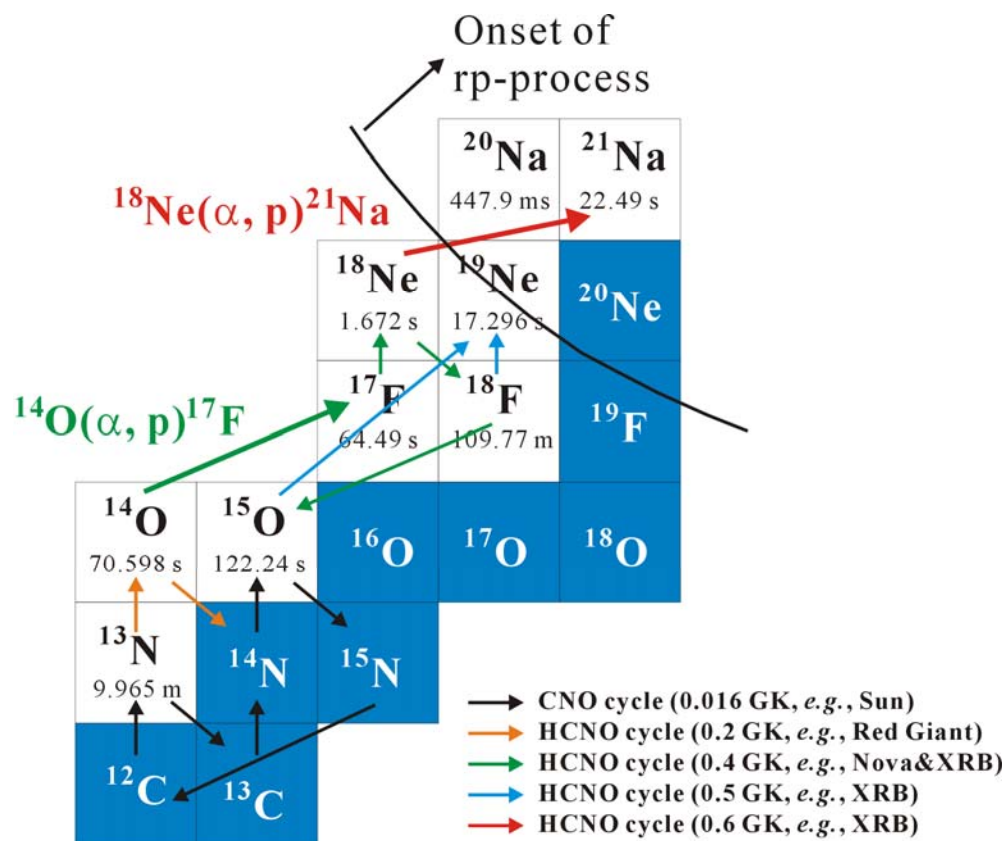
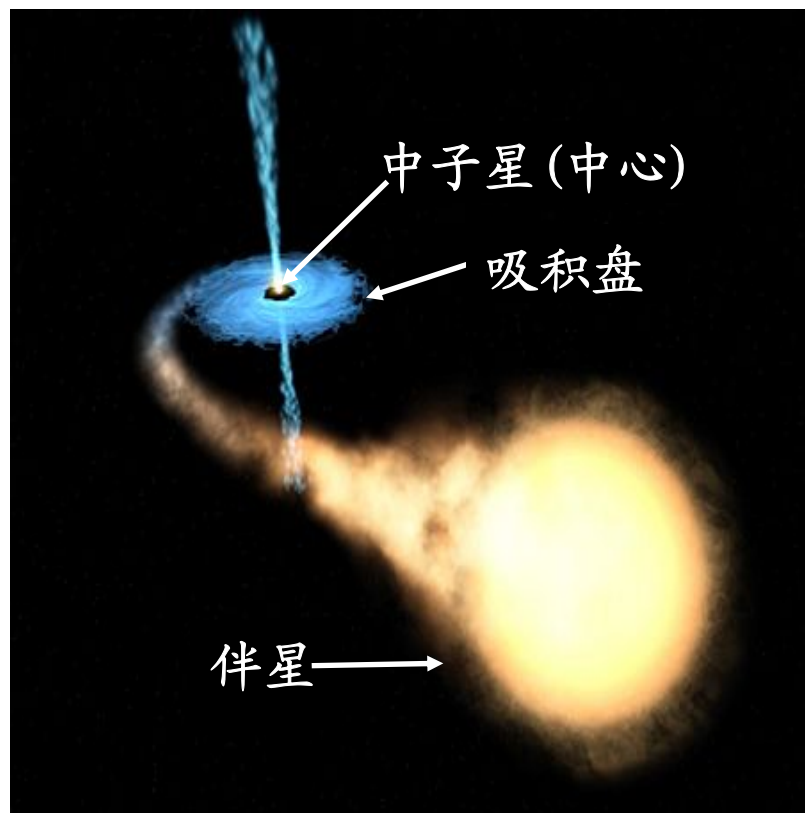
兰州实验一物理目标

天体场所:

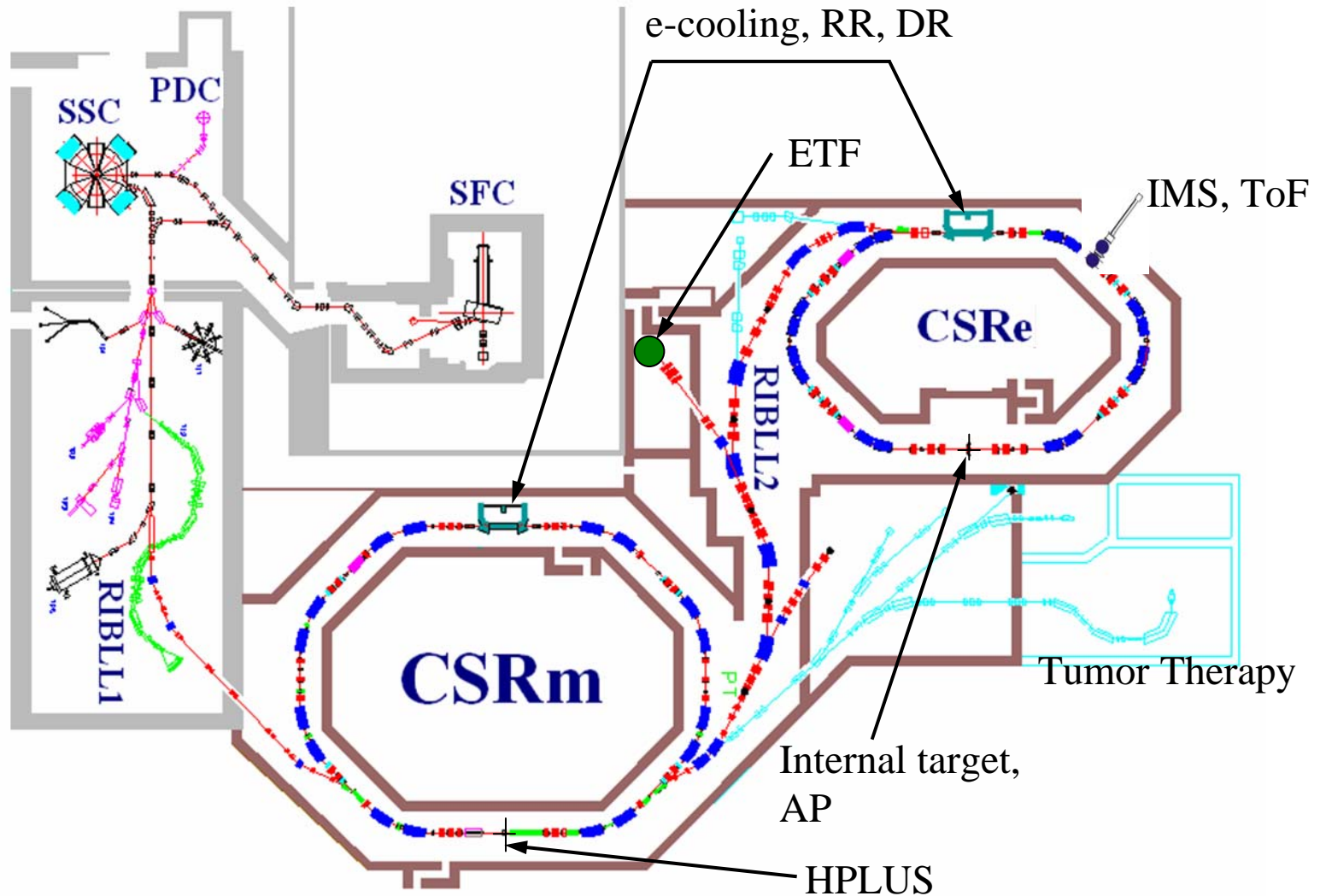
X射线暴

研究目标:

突破热CNO循环进入到rp过程的关键反应: $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$



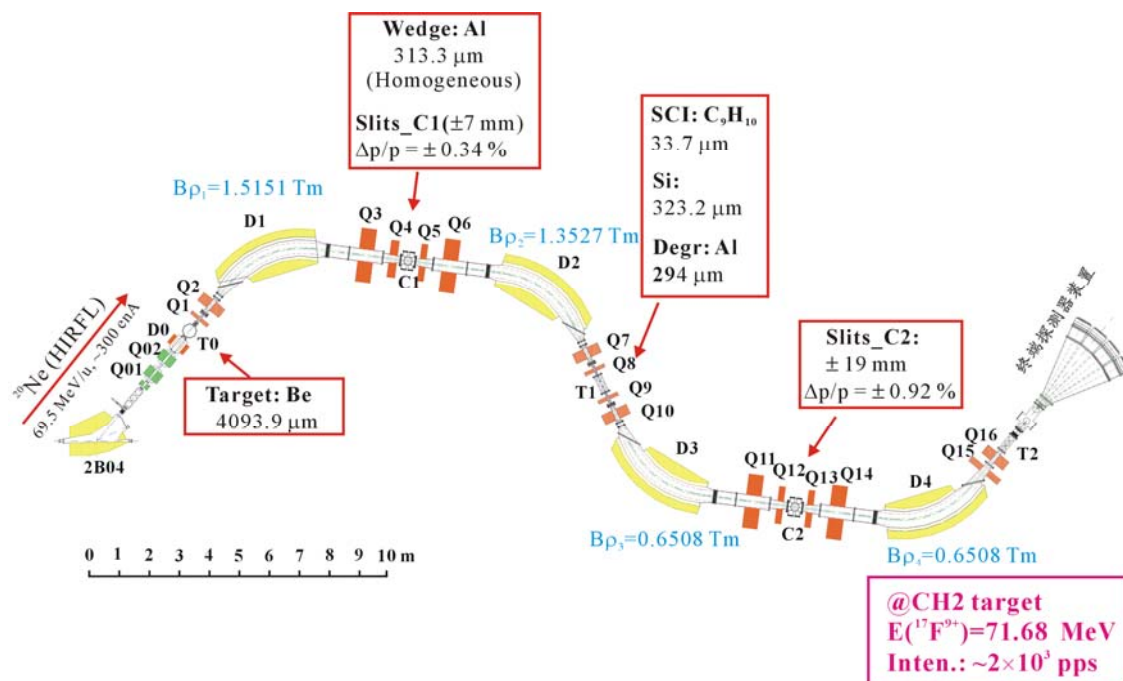
兰州实验一实验装置



兰州重离子国家实验室设施图

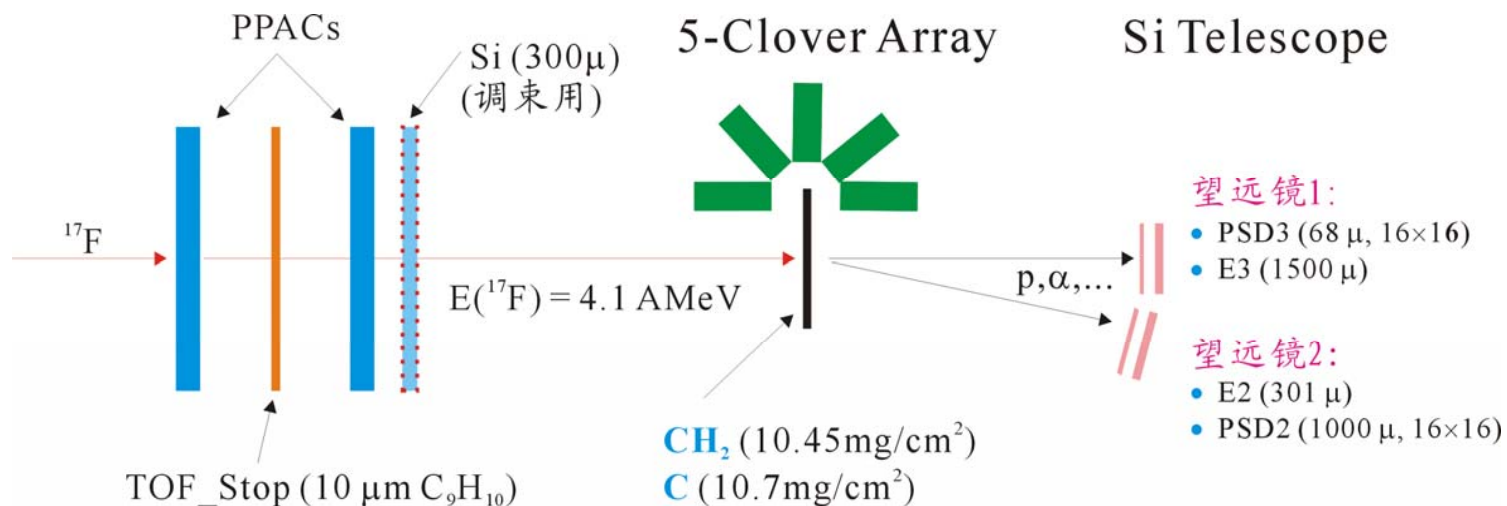
兰州实验一实验概况

- 实验终端：兰州放射性束装置RIBLL1
- 供束时间：共约13.5天(打靶10天)
- 束流情况：
 - ✓ 初级束： ^{20}Ne (70 MeV/u, 200 ~ 400 enA)
 - ✓ 次级束： ^{17}F (靶上: 4.2 MeV/u, 1~2kcps)



兰州实验一测量装置

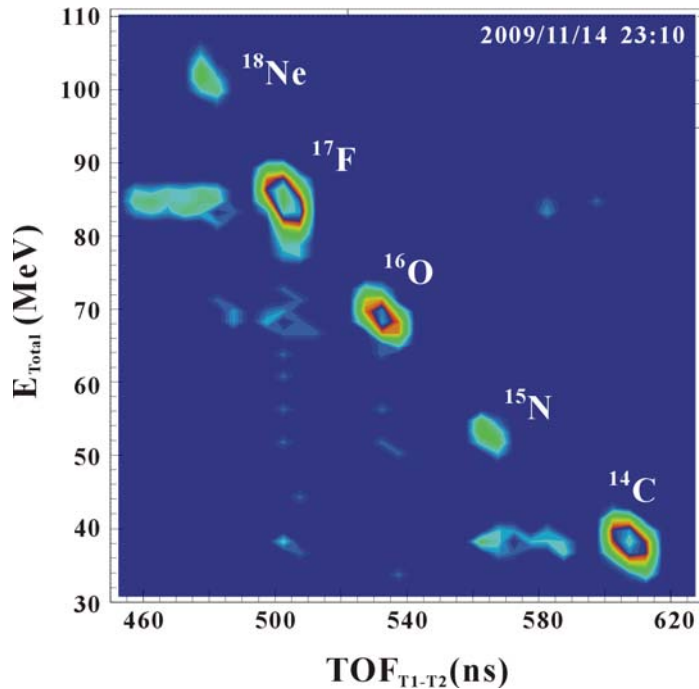
实验终端布局图



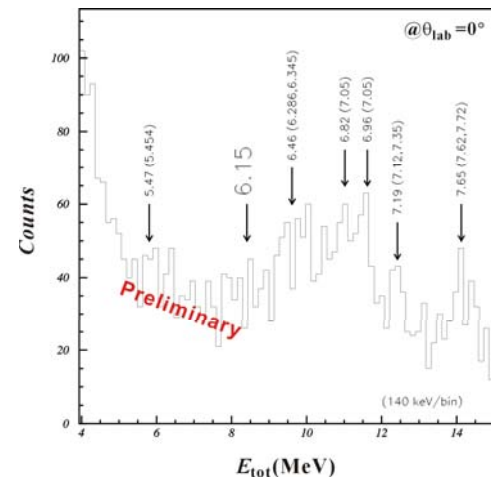
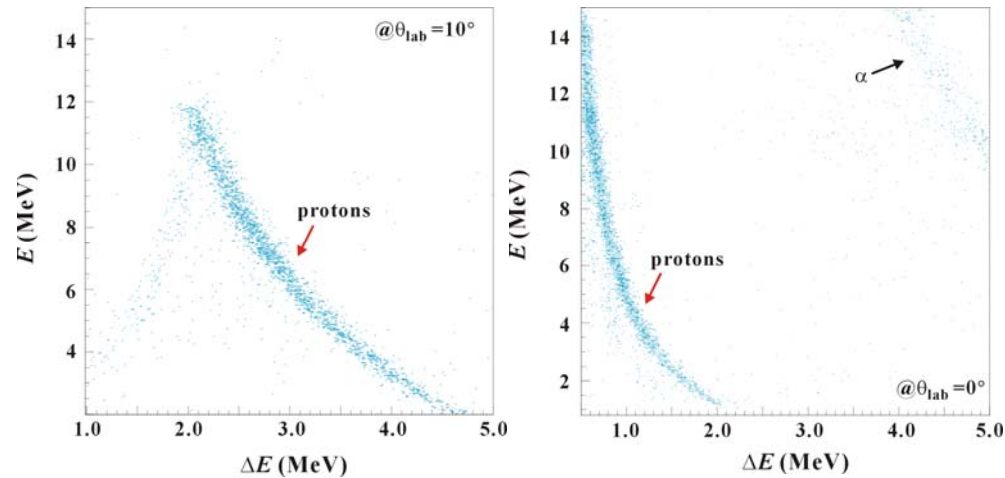
兰州实验一初步结果

次级束鉴别:

TOF技术完全可以清楚地鉴别出 ^{17}F !



反冲粒子鉴别 (ΔE - E):



数据分析中，年底有望发表...

日本实验

实验题目： $p(^{21}\text{Na}, p\gamma)$, $p(^{21}\text{Na}, \alpha\gamma)$

实验预定：2011年2月28日 - 3月9日 (9天)

合作单位：

中国：近物所，原子能院，上海应物所

日本：东京、九州、东北、筑波、山形

英国：爱丁堡大学

日本实验—物理目标

- Wiescher等人预言:

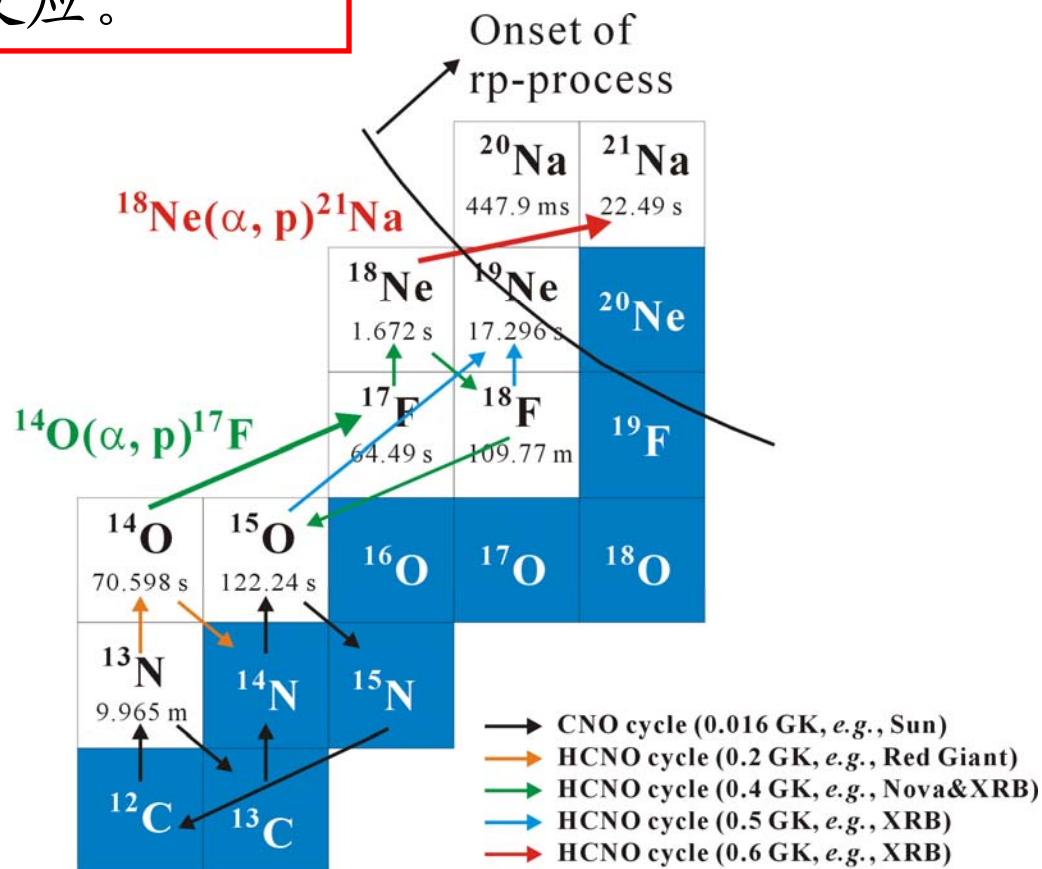
X射线暴环境下, $^{18}\text{Ne}(\alpha, p)^{21}\text{Na}$ 反应很可能是从热CNO循环中突破出来进入到rp过程的一个关键核反应。

- 该核天体反应率尚未精确测定

- 研究方法:

- 测量其反应截面

- 研究 ^{22}Mg 共振态特性



日本实验—研究现状

X射线暴

典型温度: $T = 0.4 - 2.0$ GK

感兴趣的能区: $E_x(^{22}\text{Mg}) = 8.8 - 10.2$ MeV (*i.e.*, $E_{\text{cm}}^\alpha = 0.7 - 2.1$ MeV)

- 比利时LLN (Edinburgh Group, PRC)

$E_{\text{cm}}^\alpha = 1.7 - 3.01$ MeV, ^{18}Ne 束流 + He 气体靶

结论: 所测 ^{22}Mg 的激发能太高, 对天体核合成意义不是很大

- ANL, USA (S. Sinha *et al.*, ANL年报)

$E_{\text{cm}}^\alpha = 1.2 - 2.5$ MeV, ^{21}Na 束流 + CH_2 靶

结论: 结果很好, 但没有正式的文章发表, 只有年报。原因?

- 对复合核 ^{22}Mg 激发能级的其它实验研究 (α -阈能以上)

➤ W.P. Alford *et al.* (1986), $E_x \sim 8.55$ MeV [via $^{20}\text{Ne}(^3\text{He}, n)^{22}\text{Mg}$ @Colorado]

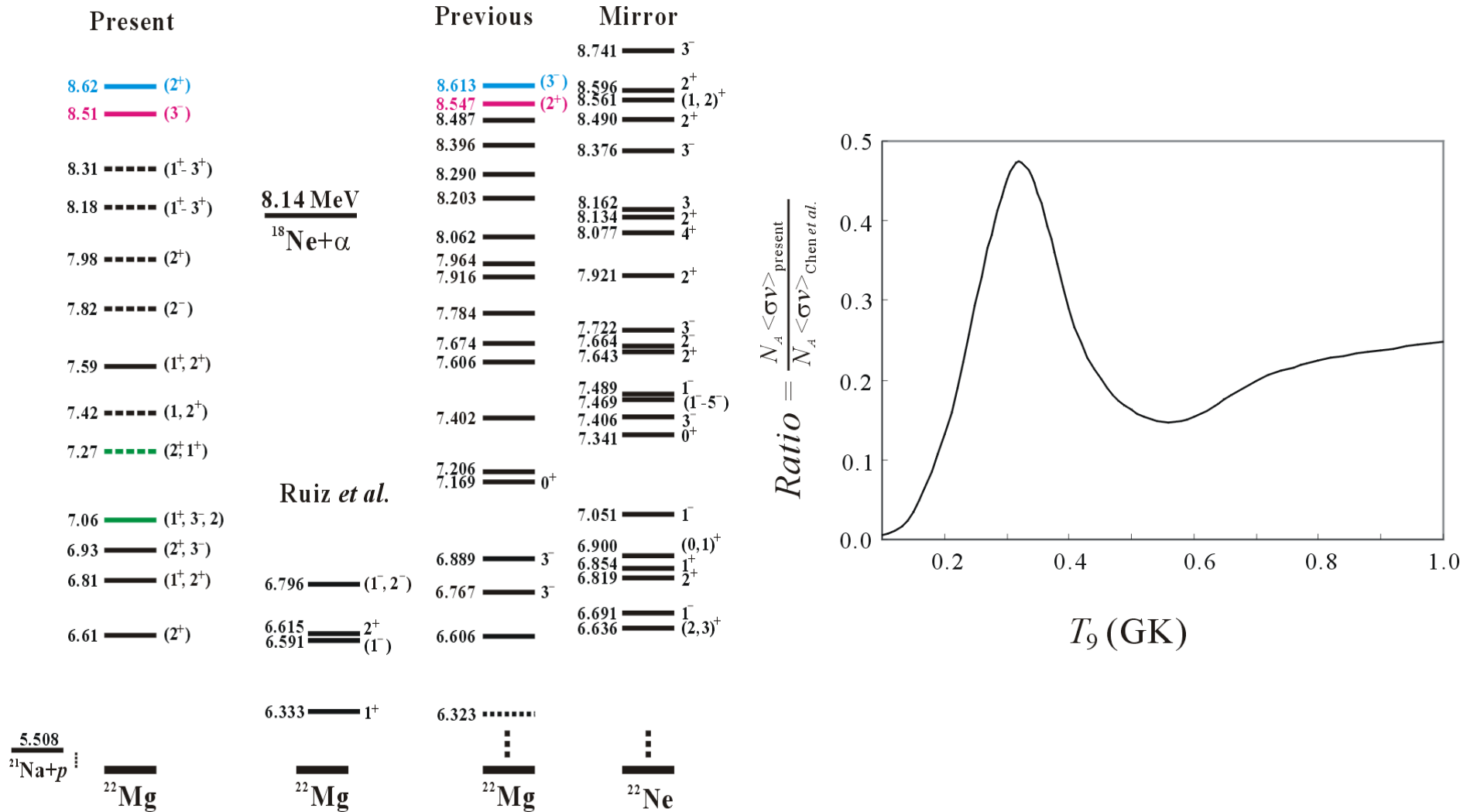
➤ A. Chen *et al.* (2001), $E_x \sim 11.14$ MeV [via $^{12}\text{C}(^{16}\text{O}, ^6\text{He})^{22}\text{Mg}$ @Yale]

➤ J.A. Caggiano *et al.* (2002), $E_x \sim 8.79$ MeV [via $^{25}\text{Mg}(^3\text{He}, ^6\text{He})^{22}\text{Mg}$ @Yale]

➤ G.P.A. Berg *et al.* (2003), $E_x \sim 11.81$ MeV [via $^{24}\text{Mg}(^4\text{He}, ^6\text{He})^{22}\text{Mg}$ @RCNP]

结论: 测得了精确的激发能级的能量 E_x , 部分能级的自旋宇称及谱学S因子

东大CNS的实验结果



J.J. He *et al.*, Phys. Rev. C80 (2009) 015801 & Eur. Phys. J. A36 (2008)1(L).

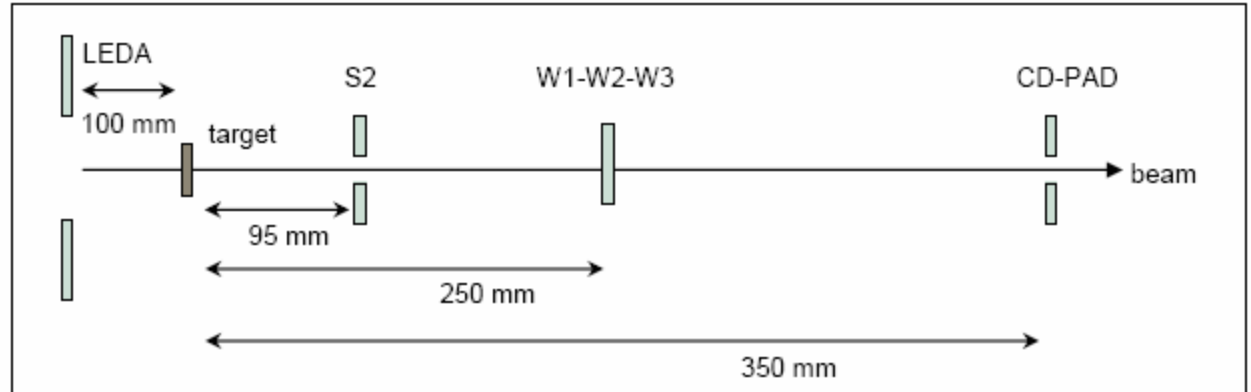
加拿大TRIUMF上的实验1

TUDA Experimental setup at ISAC-II July 2009

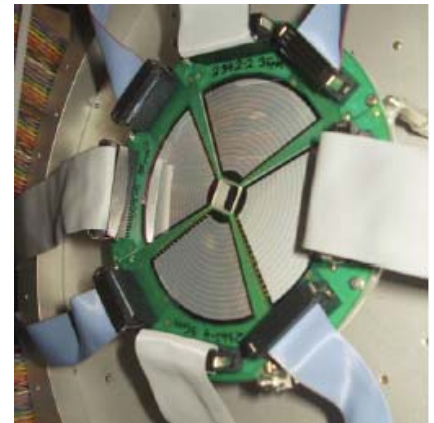
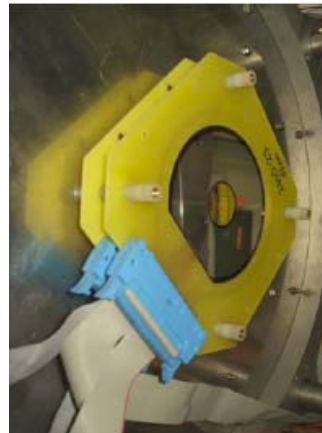
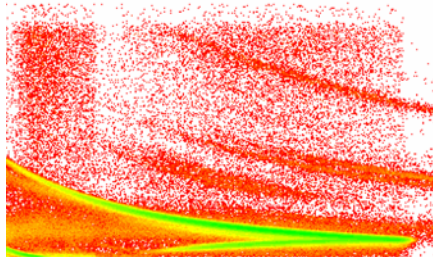
$^{21}\text{Na}^{5+}$ $E = 3.8\text{-}5.5$ MeV/u



LEDA: RBS on Au spot



ΔE -E S2: for
alpha particles



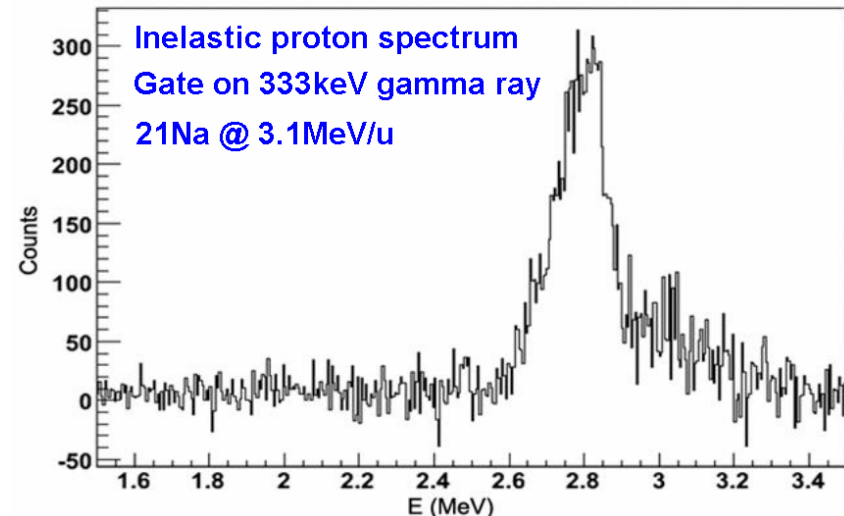
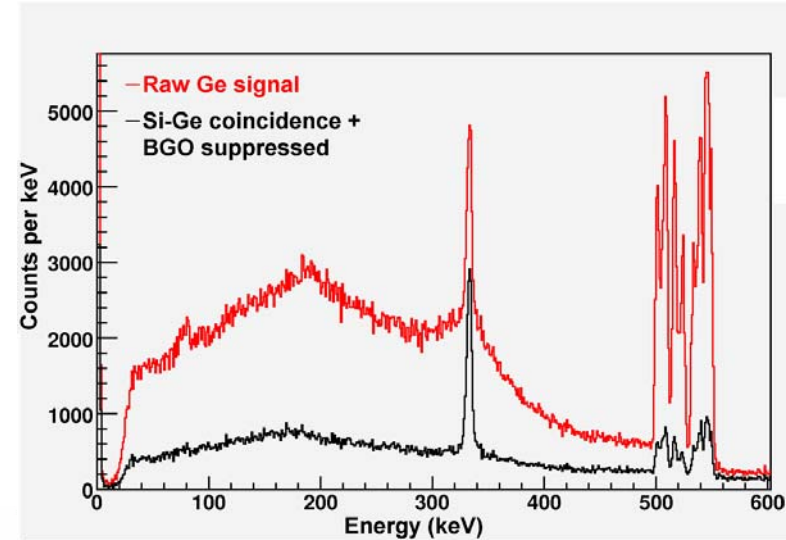
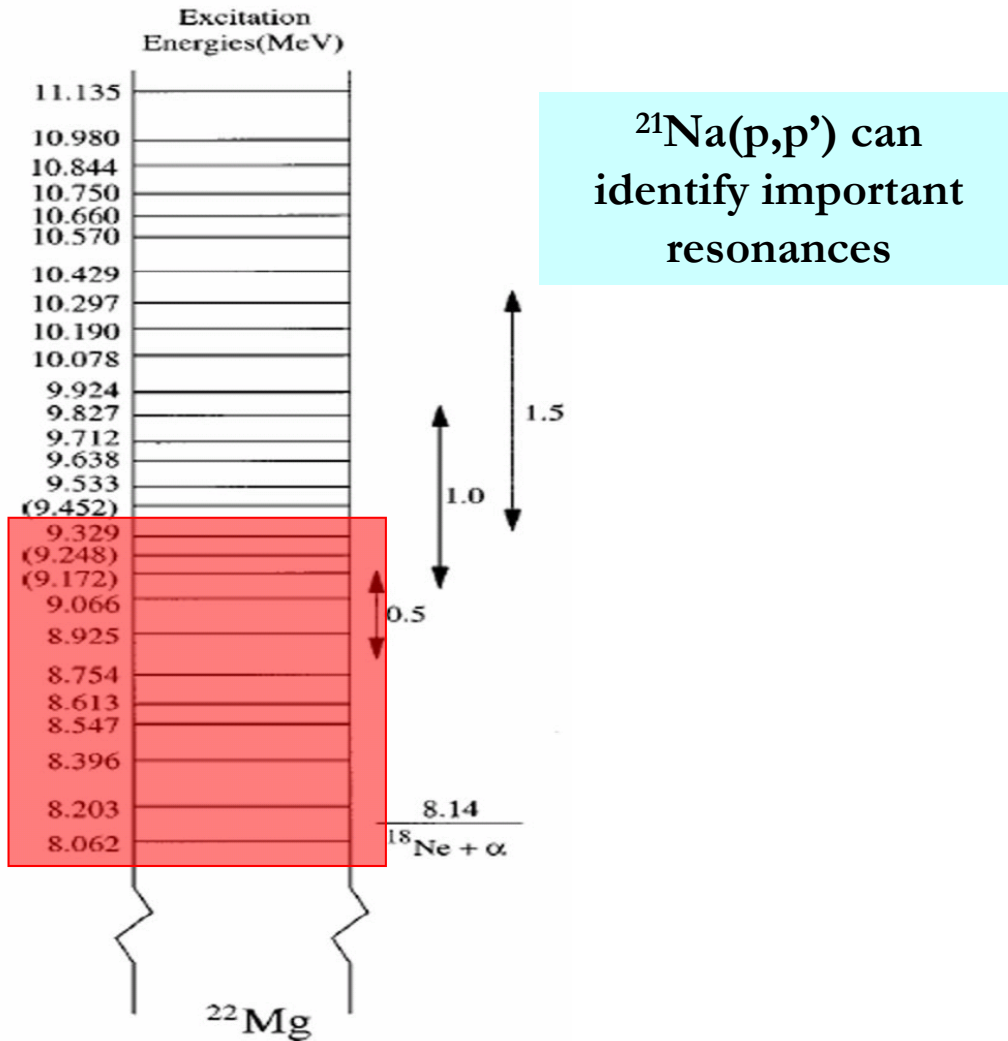
CD PAD: heavy ions
 ^{21}Na ^{18}Ne

Data analysis in progress: M. Aliotta et al

加拿大TRIUMF上的实验2

Inelastic proton scattering of ^{21}Na in Inverse Kinematics

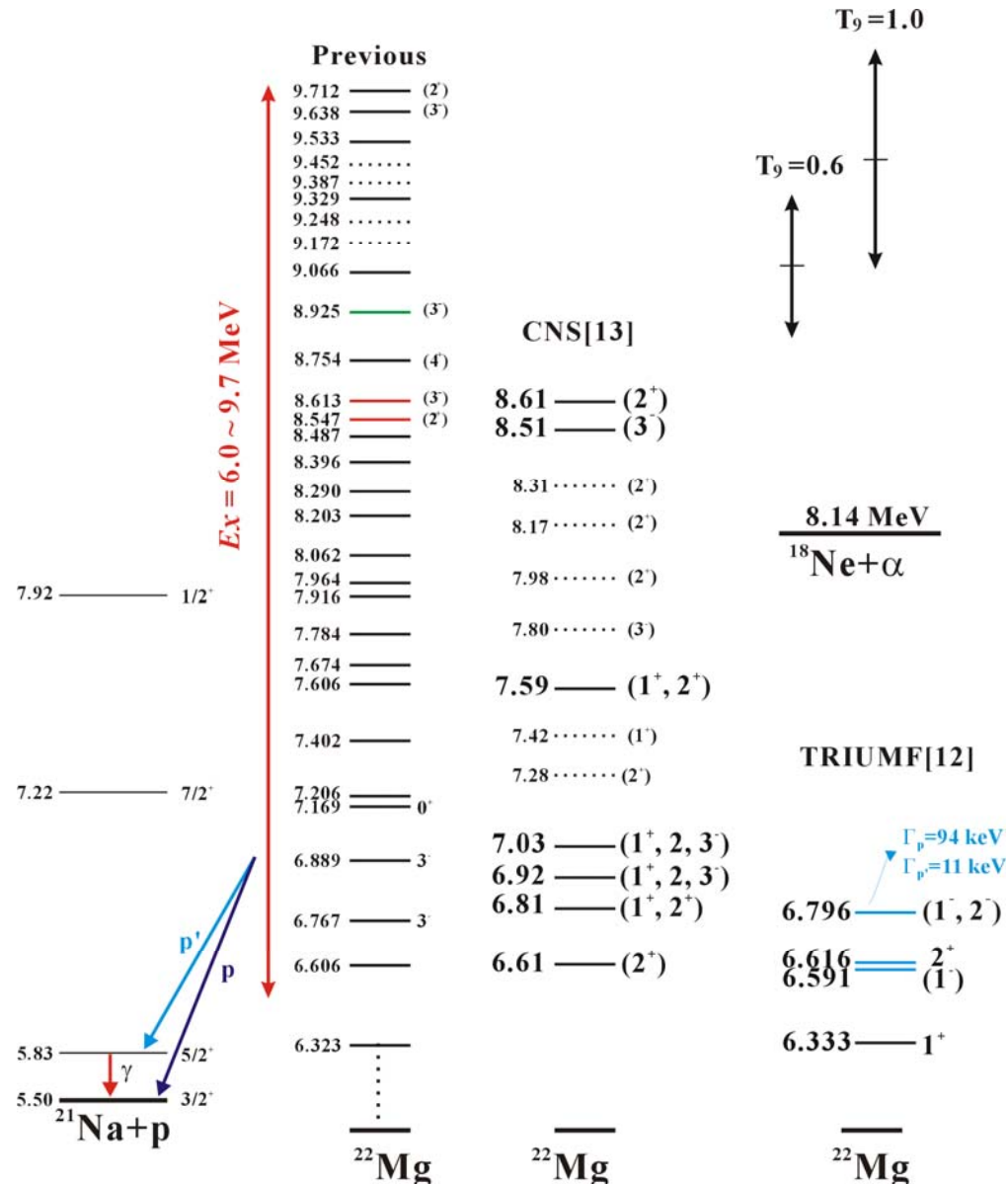
(D. Jenkins, Univ. York, UK, R. Austin, St. Mary's and P. Woods Univ. Edinburgh, UK)



日本实验一 目标1(p, p'γ)

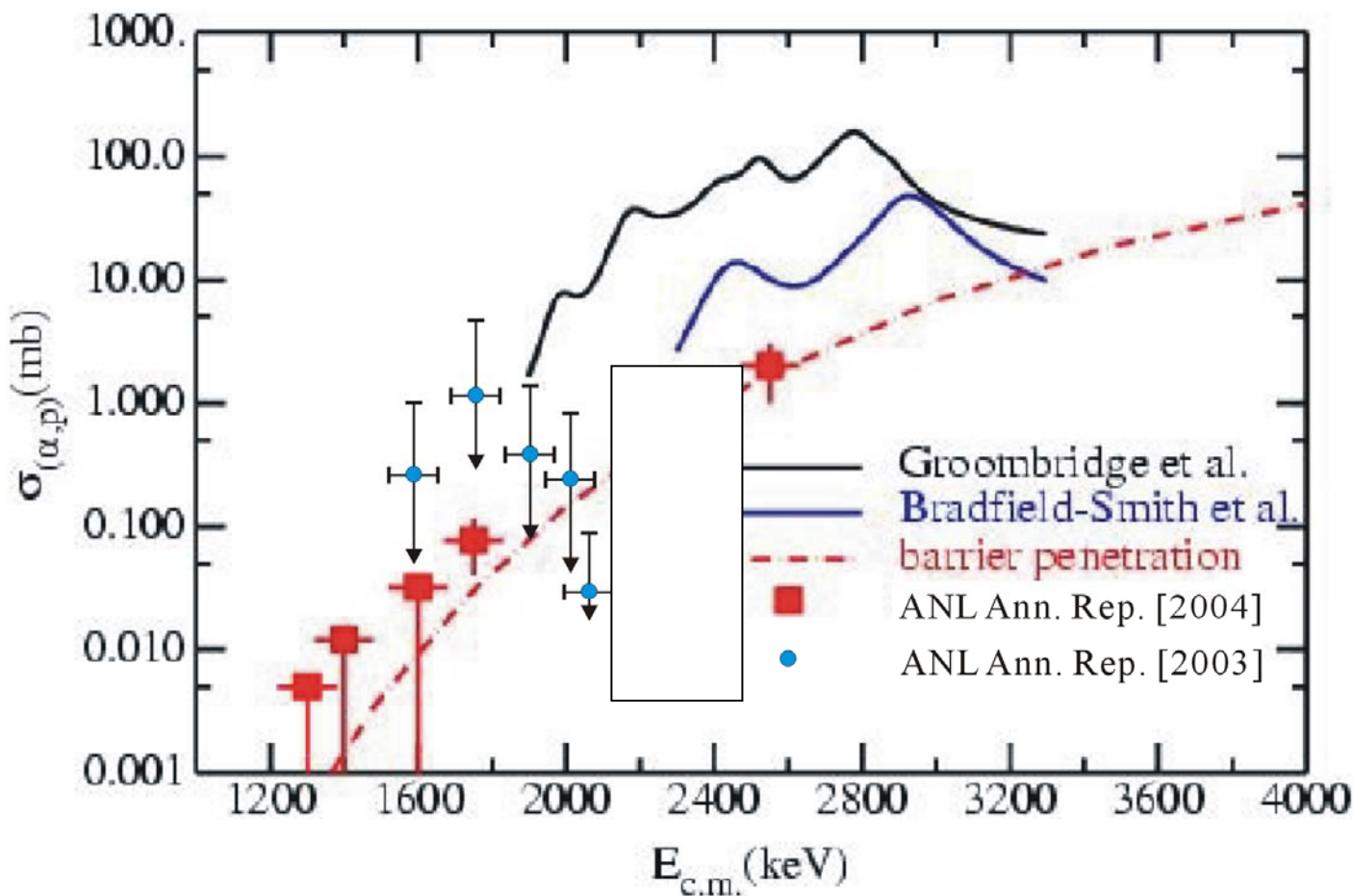
$^{21}\text{Na}(p, p), ^{21}\text{Na}(p, p'\gamma)$ 共振弹性、非弹性散射

- 研究复合核 ^{22}Mg 的共振态特性(E_r, J^π, Γ_p)
- 测定非弹性散射的分支比($\Gamma_p/\Gamma_{p'}$)



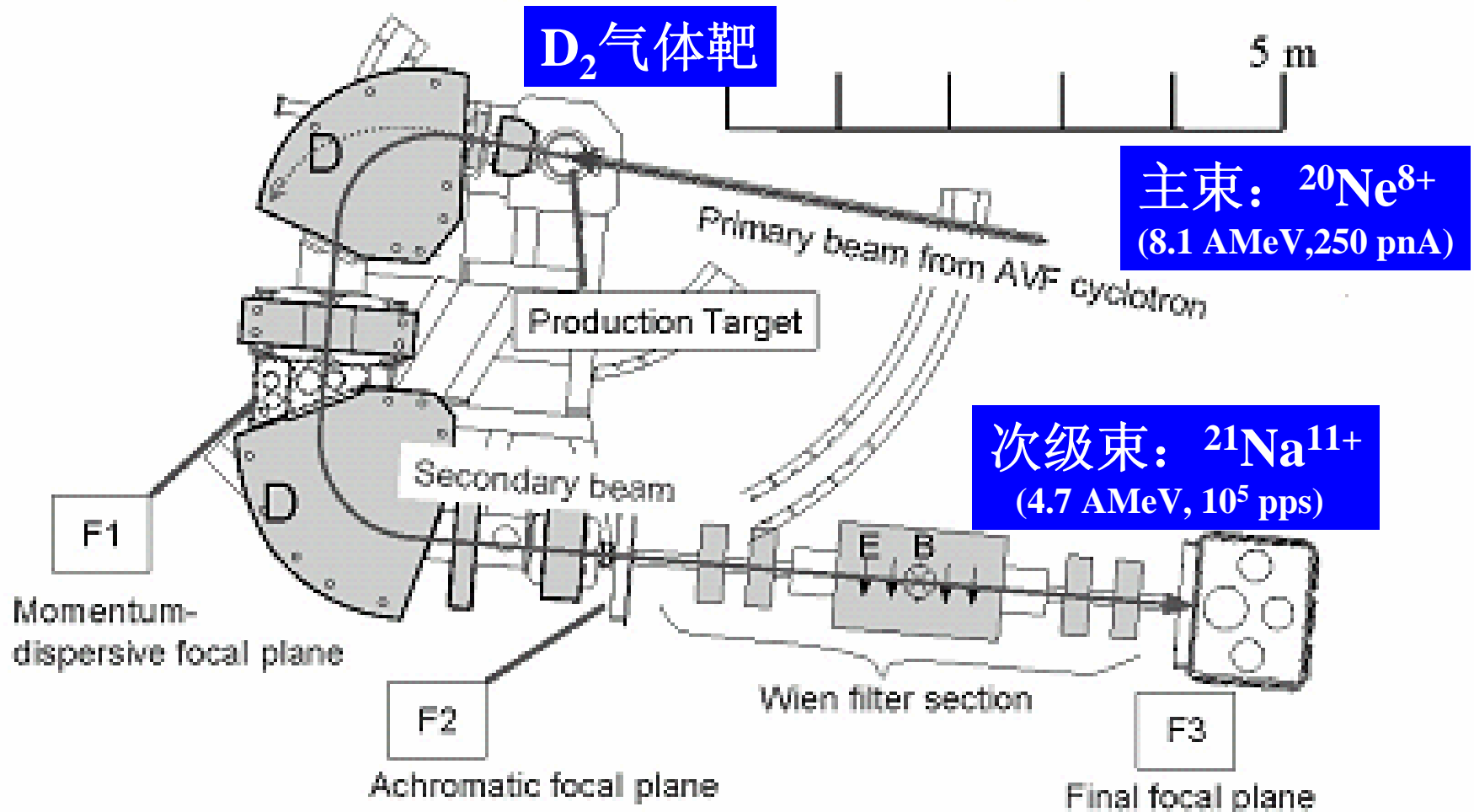
日本实验一目标2(p, $\alpha\gamma$)

$^{21}\text{Na}(p,\alpha)^{18}\text{Ne}$ 核反应截面测量

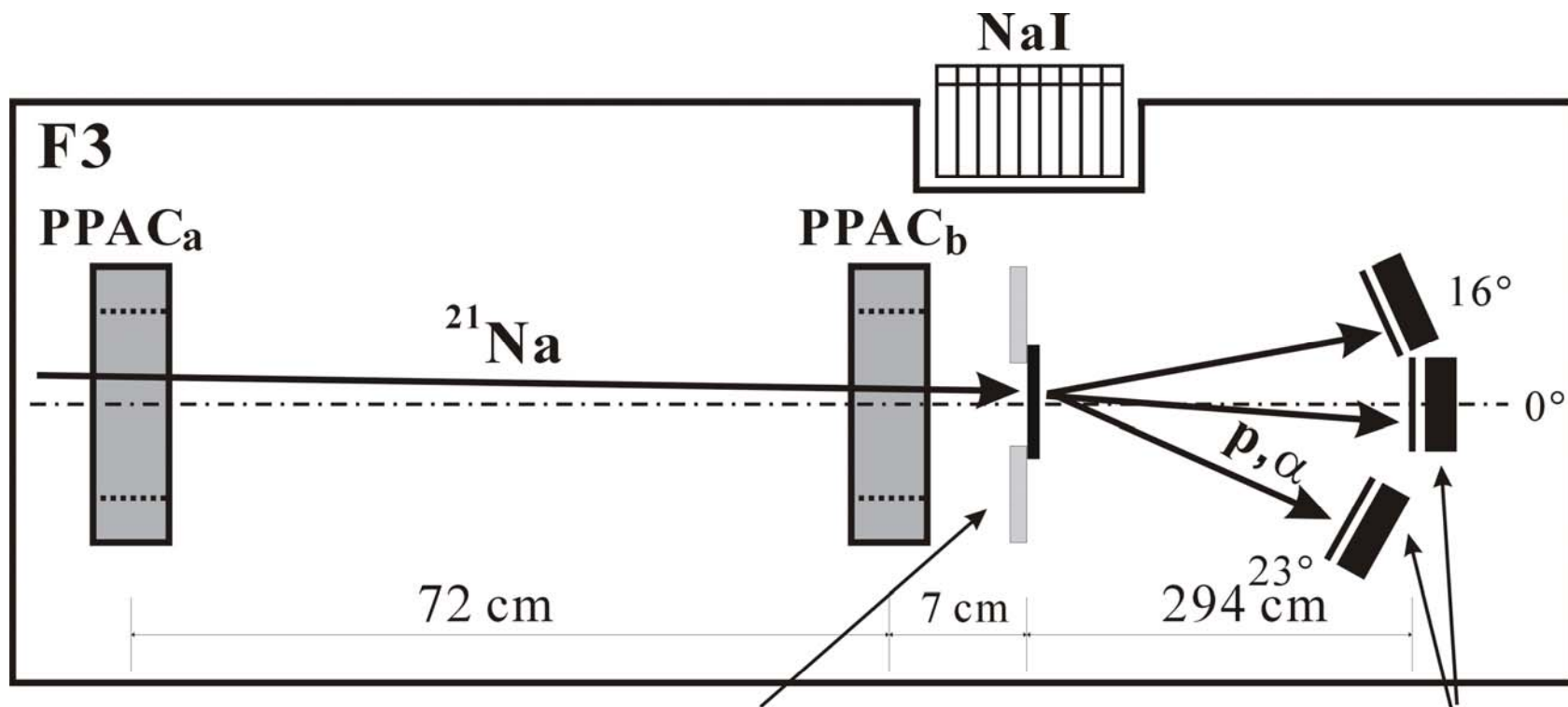


日本实验一实验装置(CRIB)

CRIB (CNS low-energy Radioactive-Ion Beam) separator



日本实验一测量装置



$^{21}\text{Na}^{11+}$ @ Target

Energy: 4.42 MeV/ μ

Intensity: 8.6×10^4 pps

Target Station

1. $\phi 30$, 200 μm CH_2

2. $\phi 30$, 200 μm C

Micron Si

Area: $5 \times 5 \text{ cm}^2$

ΔE : 75 μm (PSD)

E: 1.5 mm (SSD)

兰州实验装置上的研究展望

- 2011年准备在兰州(或北京?)的实验装置上进行一个实验

科学目标:

研究天体核反应 $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$ 的反应率

研究手段:

测量 ^{18}Ne 激发能级的能量、自旋宇称及谱学S因子

实验: $^{20}\text{Ne}(p, t)^{18}\text{Ne}$ 的角分布测量

- 如果在国内无法实现, 可考虑到东大CNS的PA装置上或者到大阪大学RCNP、筑波大学进行实验。

东大CNS装置上的研究展望

- 2011年6月将在日本RIKEN提一个束流申请

科学目标:

研究天体核反应 $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$ 的反应率

研究手段:

$p(^{17}\text{F}, p)$ 共振弹性散射 \rightarrow 研究 ^{18}Ne 共振态特性(特别是6.15 MeV, 1-能级)

$p(^{17}\text{F}, \alpha)$ 截面测量 \rightarrow 推导 $^{14}\text{O}(\alpha, p)^{17}\text{F}$ 的反应截面

- 2011年6月与爱丁堡大学联合在RIKEN提一个束流申请

科学目标:

研究天体核反应 $^{30}\text{P}(p, \gamma)^{31}\text{S}$ 的反应率

研究手段:

测量 ^{31}S 的镜像核 ^{31}P 的谱学S因子 【通过 $^{30}\text{P}(d, p)^{31}\text{P}$ 反应】

谢 谢！