

$^{\text{nat}}\text{Hf}$ 中子俘获反应截面 实验测量研究

郭晗

指导教师：张苏雅拉吐

内蒙古民族大学 核物理研究所



目录

01 研究背景及意义

02 实验设施

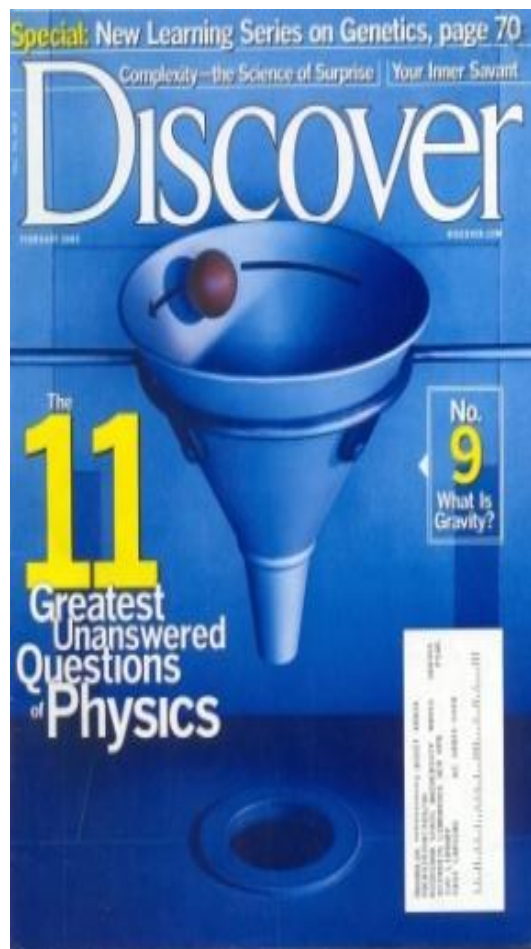
03 数据处理

04 总结与展望

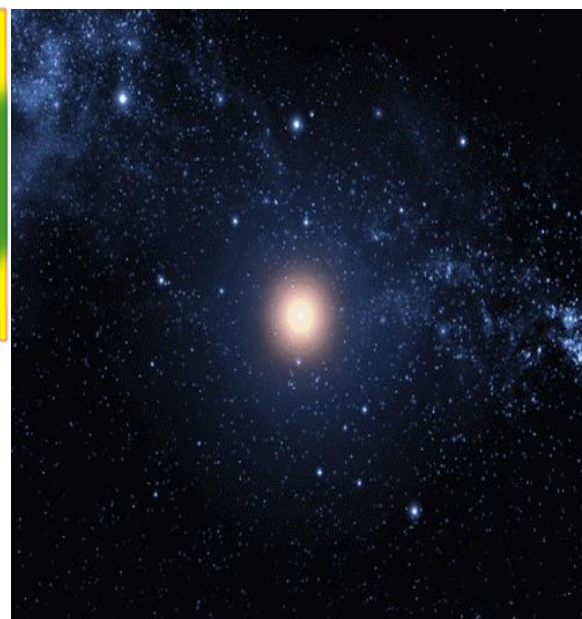
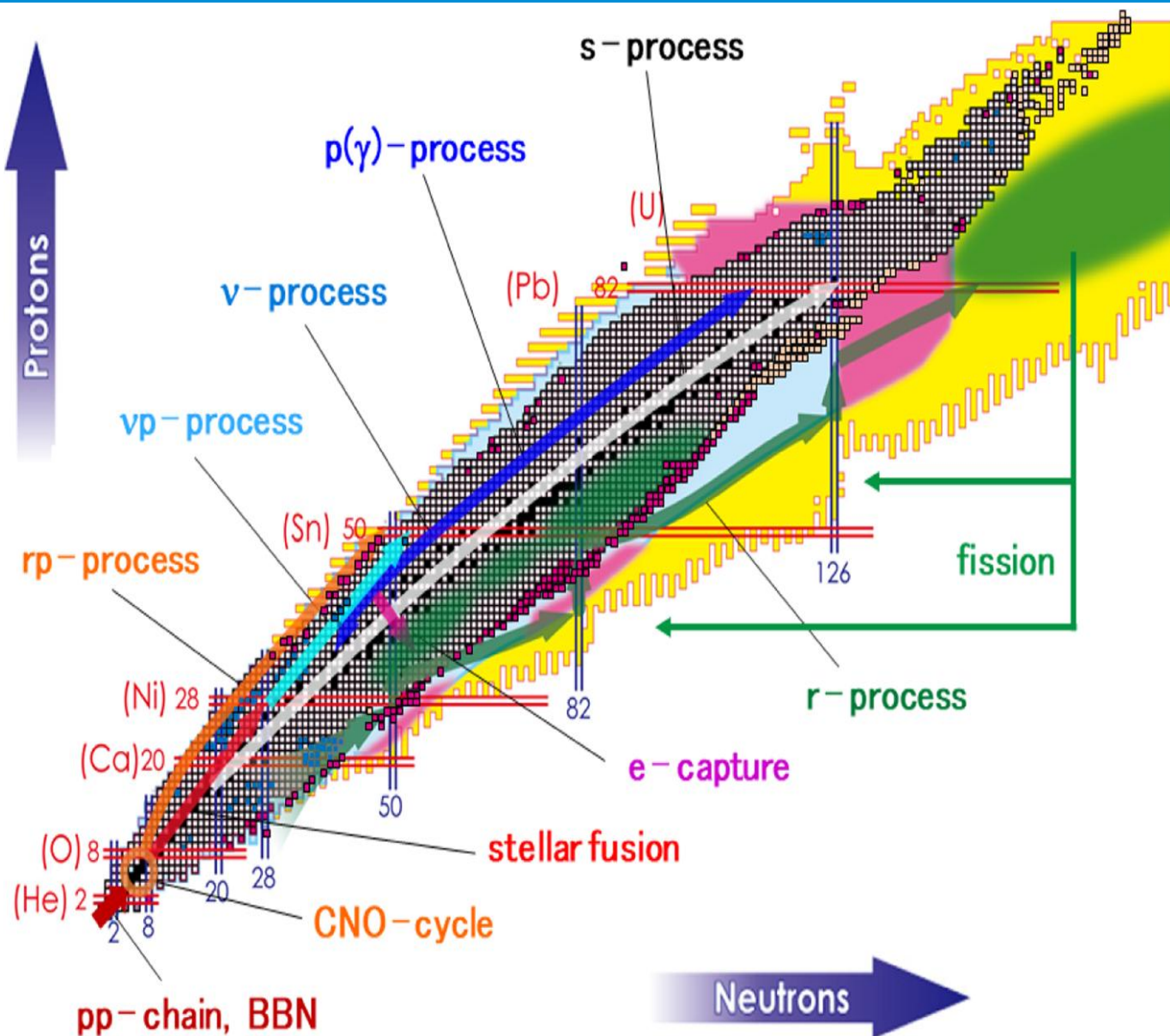
05 团队介绍



1 研究背景及意义



物理学中 11 个最重大的未解之谜



双中子星合并



1 研究背景及意义



铪 (Hafnium, Hf)

作为一种重要的稀有高熔点金属，在核能领域具有不可替代的地位。

天然铪由六种稳定同位素组成：

1	^{174}Hf	0.16%
2	^{176}Hf	5.26%
3	^{177}Hf	18.60%
4	^{178}Hf	27.28%
5	^{179}Hf	13.62%
6	^{180}Hf	35.08%



研究意义



因其优异的抗腐蚀性能和良好的机械性能，使其成为核反应堆控制棒和结构材料的理想选择。



在轻水堆等热中子反应堆中，铪被广泛用于制作控制棒等关键部件；



在聚变堆的概念设计中，铪同样是重要的合金结构材料。

1 研究背景及意义

工程应用

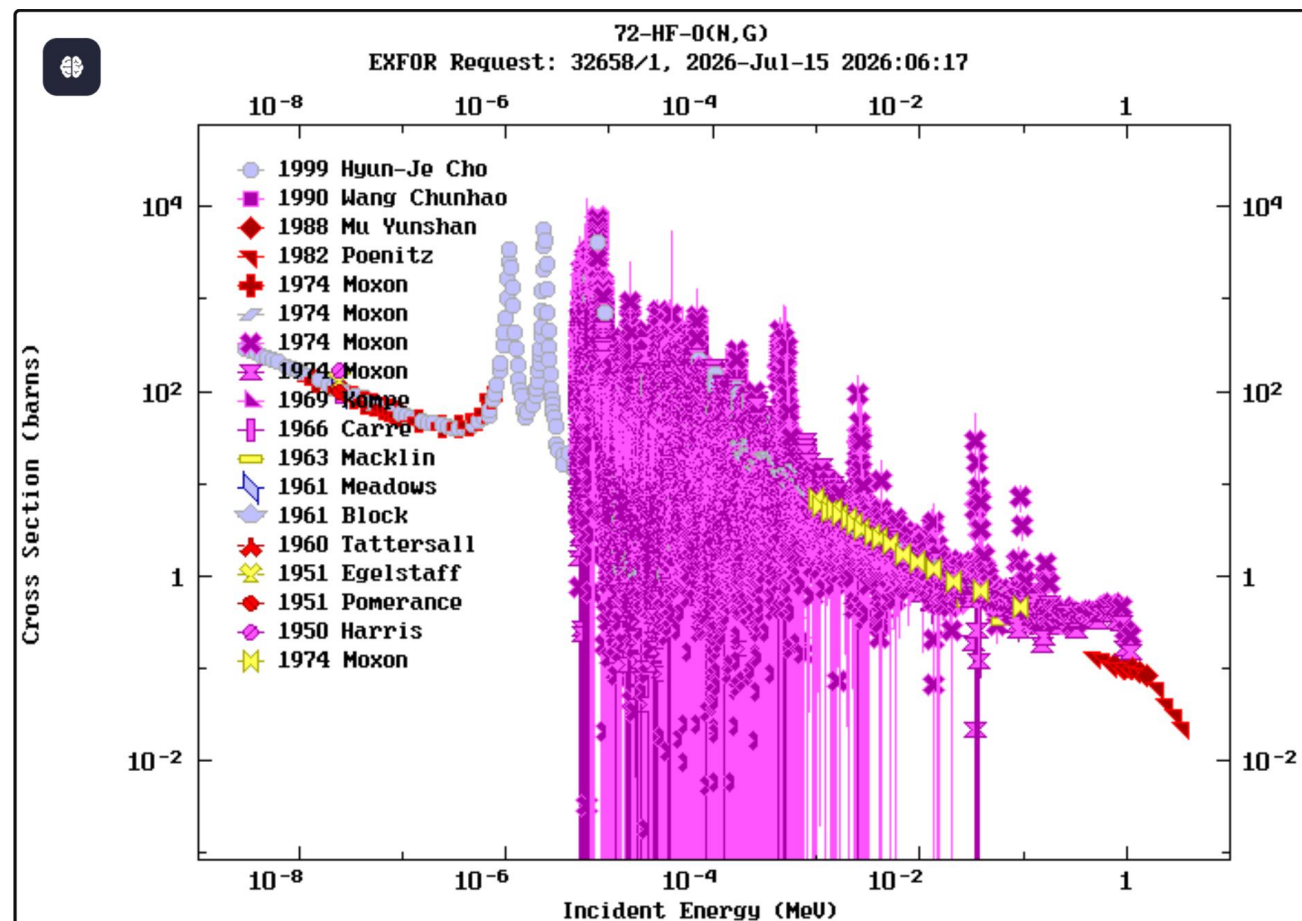
中子俘获反应截面是衡量材料中子吸收能力的关键核参数，直接关系到反应堆物理设计以及放射性核素产生评估等核心问题。

核数据

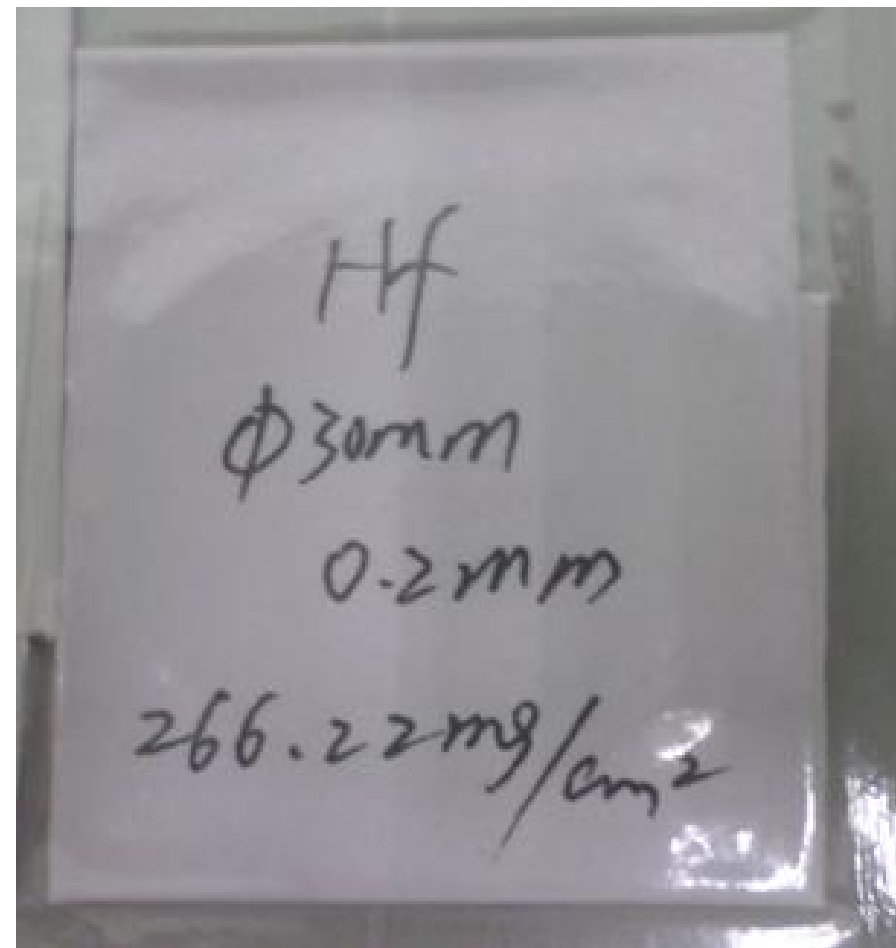
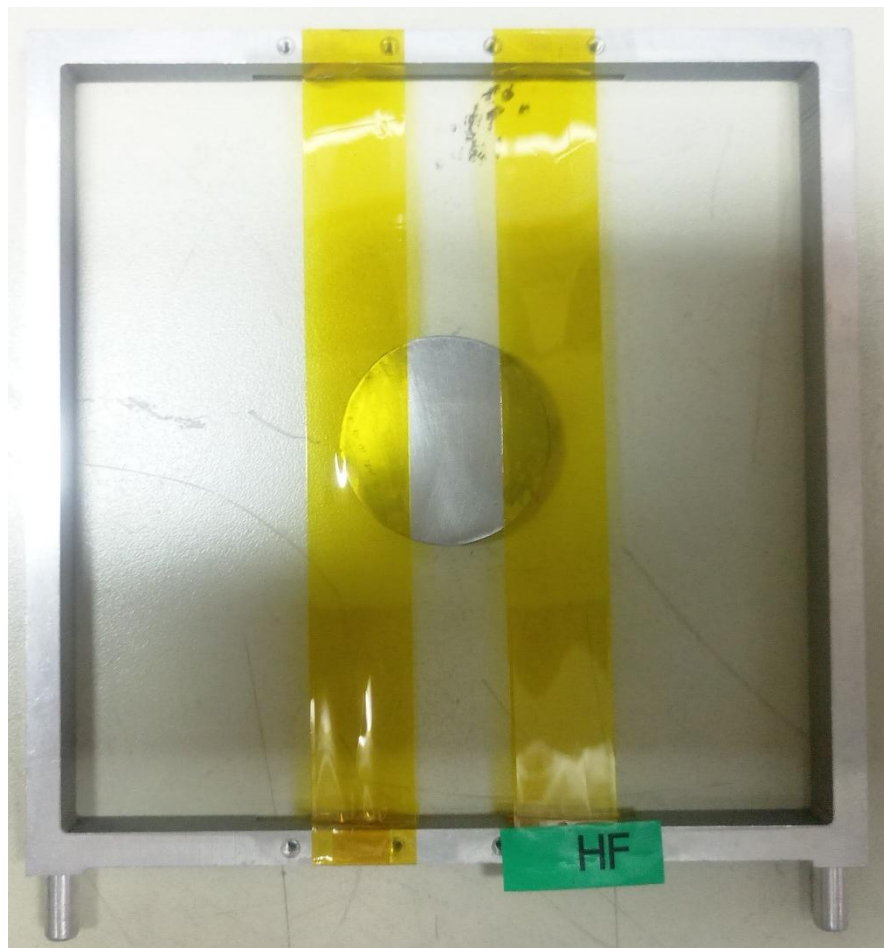
对于天然铅及其各同位素而言， (n,γ) 反应截面数据不仅是核反应堆设计与安全分析的必要输入参数，也在核天体物理研究具有重要价值——快中子俘获过程是恒星中重核素合成的主要机制之一。

1 研究背景及意义

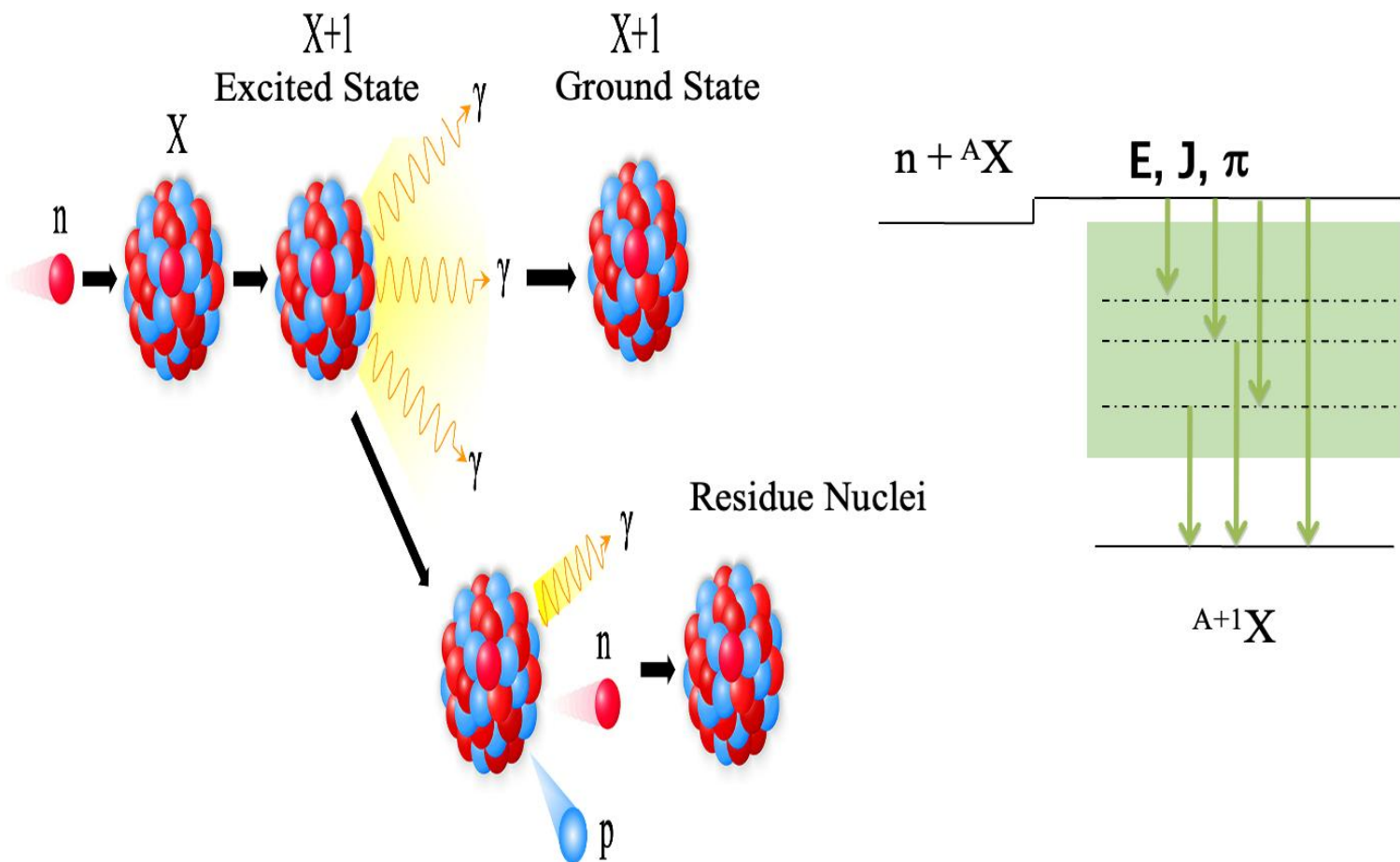
现有天然钆中子俘获截面实验数据在多个能区仍存在显著不足与分歧。这些现状充分说明，开展高精度的天然钆中子俘获反应截面实验测量，对于澄清数据分歧、完善核数据评价具有重要的科学意义和实际价值。



2 样品信息



2.1 中子俘获反应检测原理



□ 中子活化

□ 飞行时间法和高能量分辨率探测器

欧洲核子研究中心 (CERN)

GELINA (比利时),

Karlsruhe, DANCE(美国), KURRI,

CSNS Back-n...

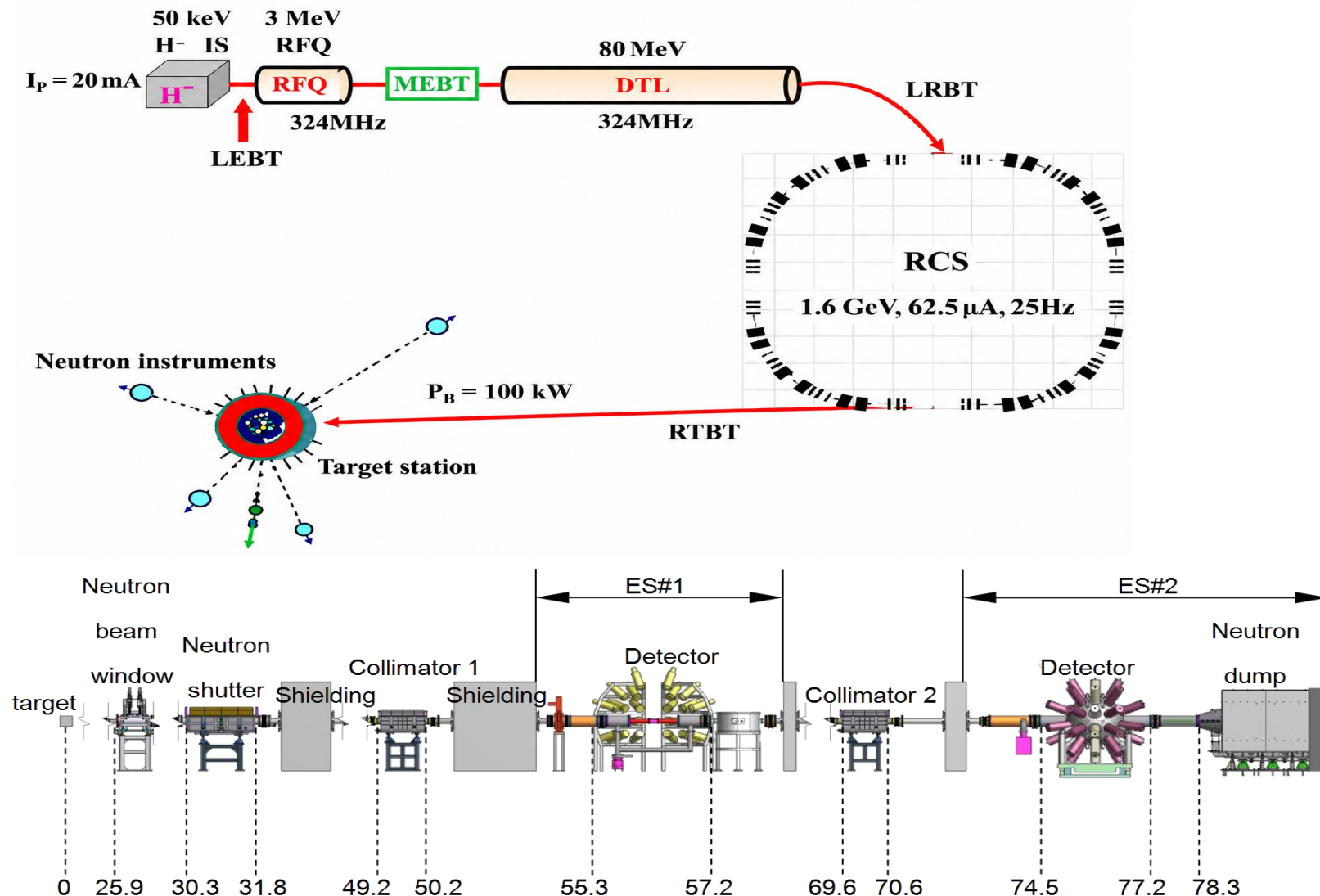
■ **高能量分辨率**: HPGe, LaBr₃,
Energy level, Transition

■ **总伽马吸收**: BaF₂, NaI(Tl),
BGO, Sum energy

■ **总能量检测**: C₆D₆, Low
efficiency, Excitation energy

2.2 实验设施

CSNS Back-n facility

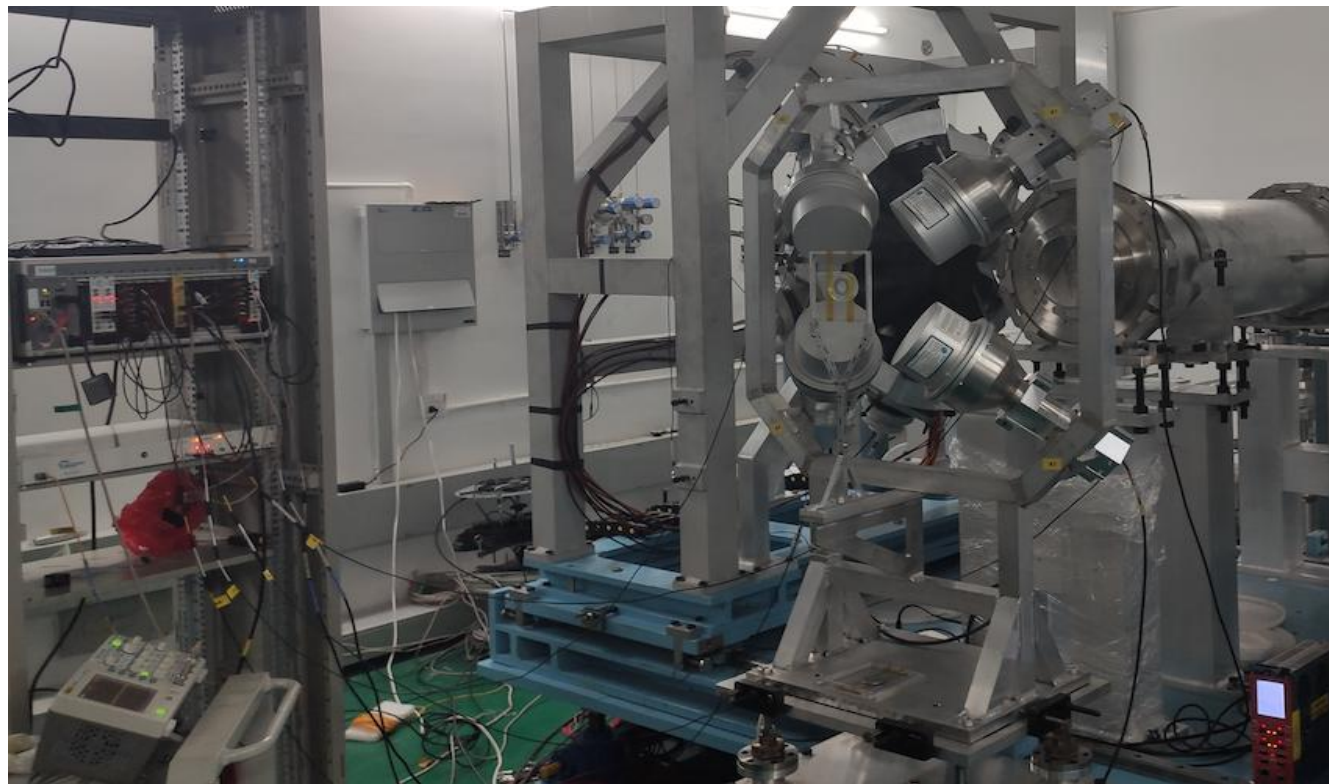


From Fan Rui-Rui et al.

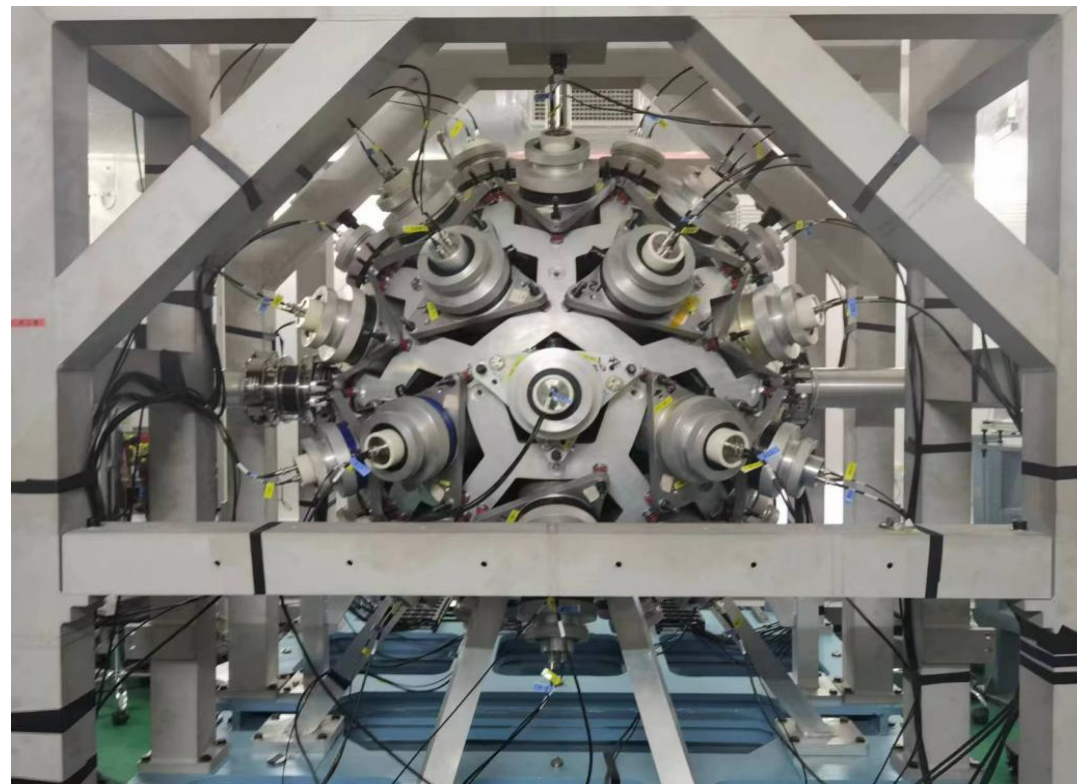
- ^{165}Ho : Zhang S, et al. NST, 2025, 36(9): 168.
- $^{147,149}\text{Sm}$: Li X X, et al. NST, 2025, 36(10): 178.
- ^{168}Yb : Chen Y J, et al. PRC, 2025, 111(5): 054607.
- ^{159}Tb : Wang D X, et al. NST, 2025, 36(3): 43.
- ^{91}Zr : Gan L, et al. PRC, 2024, 110(2): 025802.
- ^{103}Rh : Yang G, et al. PRR, 2024, 6(1): 013225.
- ^{181}Ta : An Z, et al. 2023, SR, 13(1): 12657.
- ^{141}Pr : Li X, et al. 2023, PRC, 108(3): 035802.
- ^{232}Th : Wang J, et al. 2023, EPJA, 59(10): 224.
- ^{159}Tb : Zhang S, et al. 2023, PRC, 107(4): 045809.
- ^{nat}Se : Hu X R, et al. 2023, CPB, 31(8): 080101.
- ^{232}Th : Jiang B, et al. 2023, CPB, 31(6): 060101.
- ^{nat}Eu : Li X, et al. 2023, EPJA, 58(12): 251.
- ^{162}Er : Li X X, et al. 2023, PRC, 106(6): 065804.
- ^{107}Ag : Li X X, et al. 2023, CPB, 31(3): 038204.
- ^{169}Tm : Ren J, et al. 2023, CPC, 46(4): 044002.
- ^{nat}Lu : Wang D X, et al. 2023, APS, 71(7): 072901.
- ^{nat}Er : Li X X, et al. 2021, PRC, 104(5): 054302.

2.3 实验装置

A four C_6D_6 detector array



4π BaF_2 detector array



3 C₆D₆ 探测器分析方法

□ 脉冲高度加权技术

$$1) \quad \varepsilon^\gamma \ll 1$$

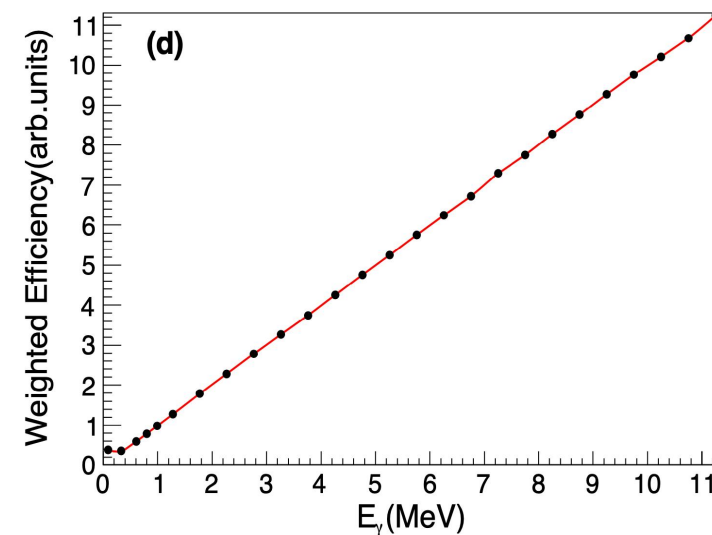
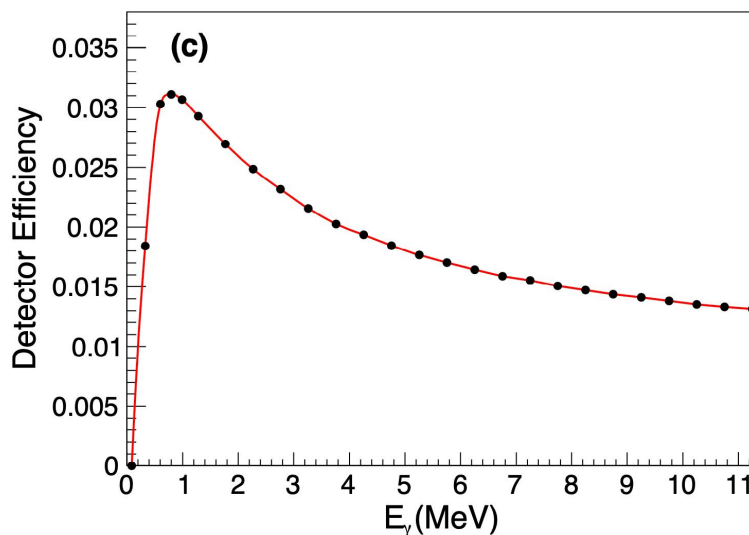
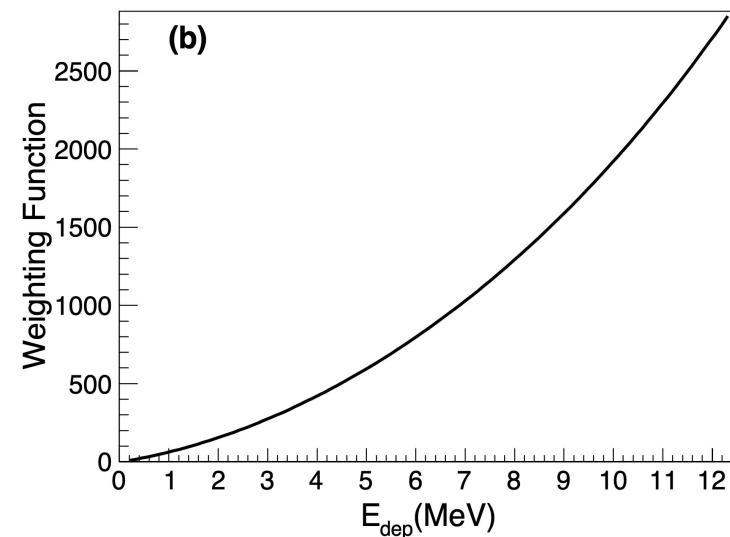
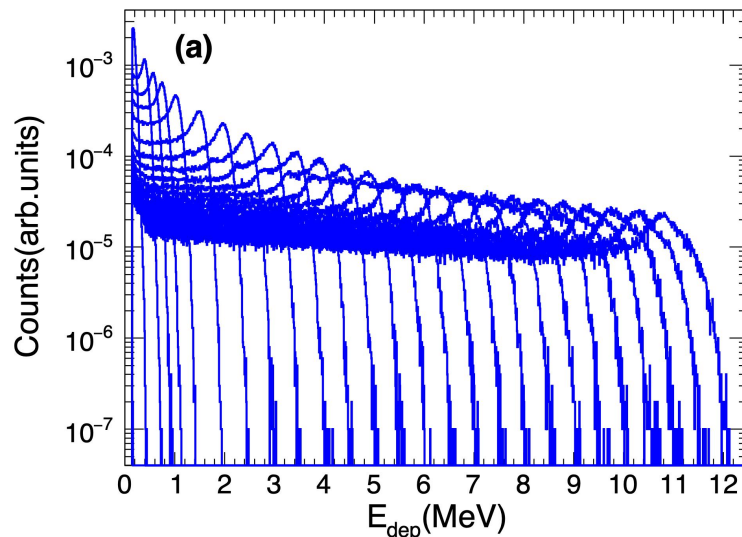
$$2) \quad \varepsilon^\gamma = \alpha E^\gamma$$

$$3) \quad \sum_{i=1}^n W_i R_i^\gamma = E^\gamma$$

$$4) \quad \varepsilon^c \approx \sum_{j=1}^N \varepsilon_j^\gamma = \alpha \sum_{j=1}^N E_j^\gamma = \alpha E_c$$

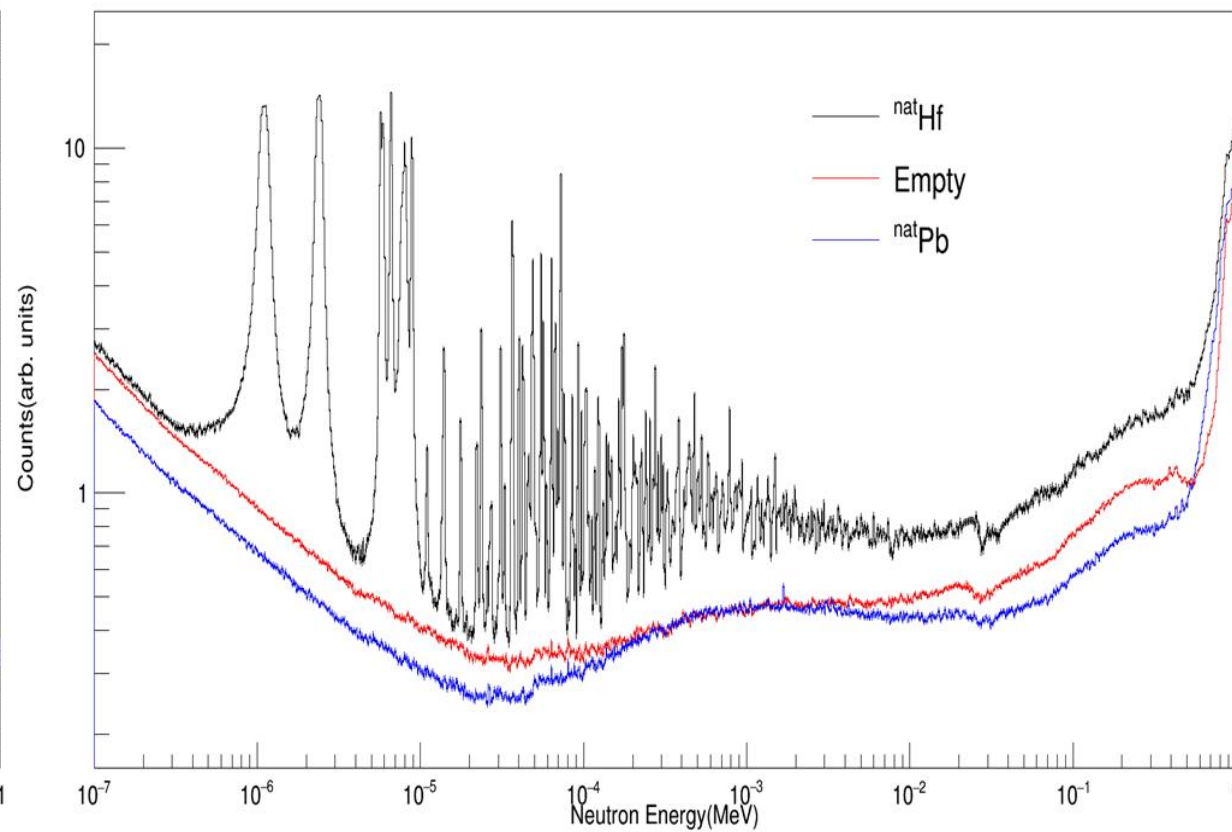
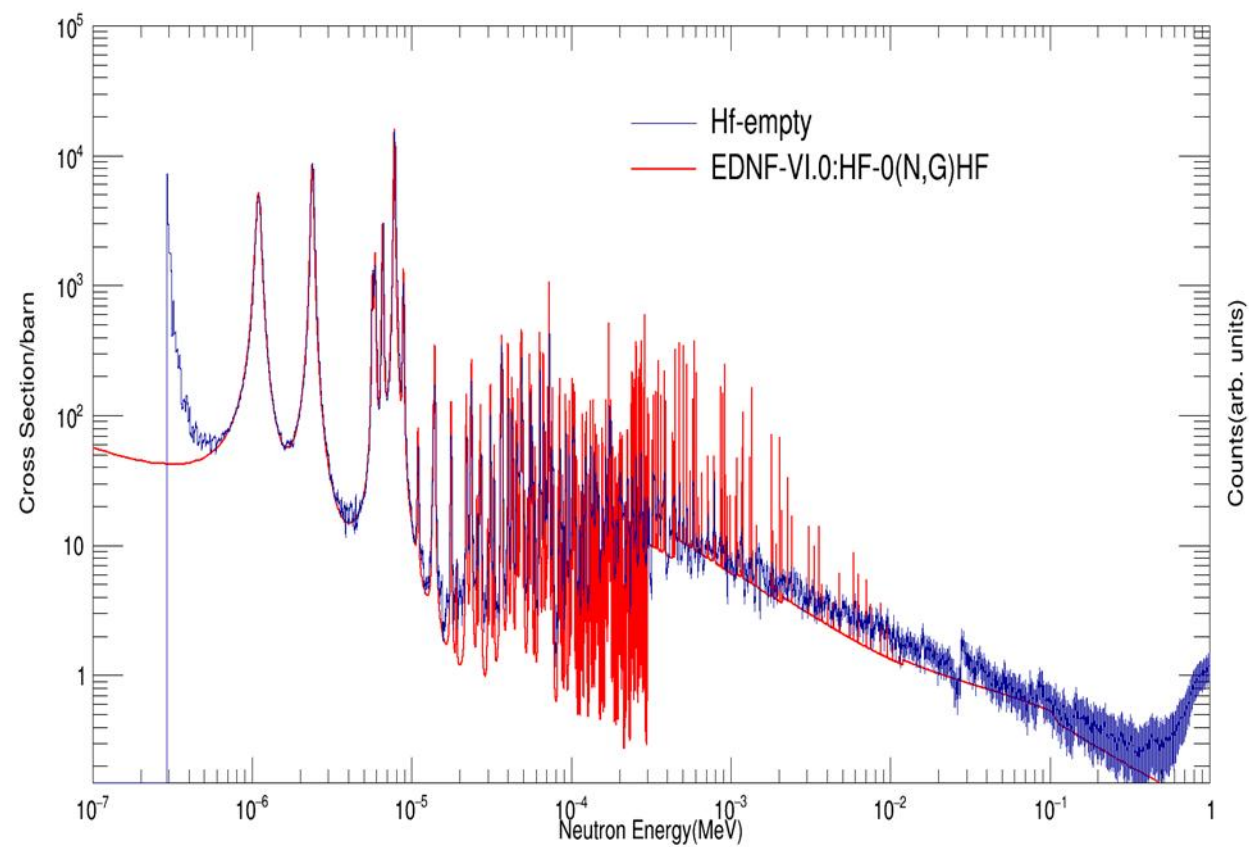


$$Y_{\text{exp}}(E_n) = \frac{1}{f} \frac{C^w(E_n) - B^w(E_n)}{\Phi(E_n) \times E_c}$$

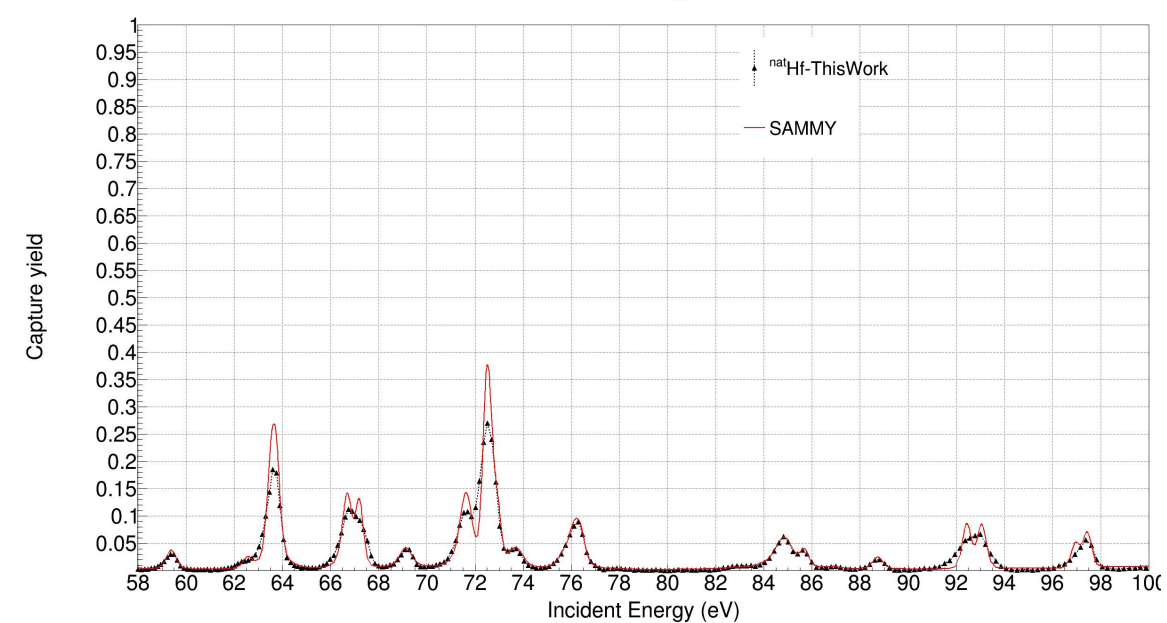
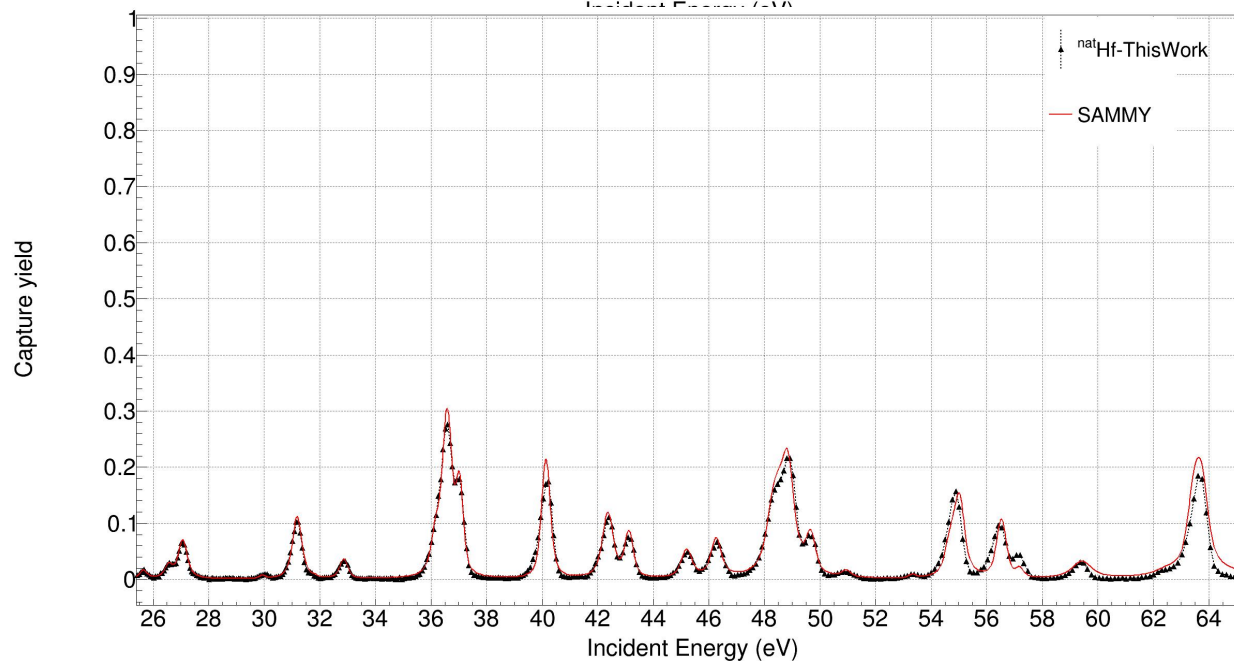
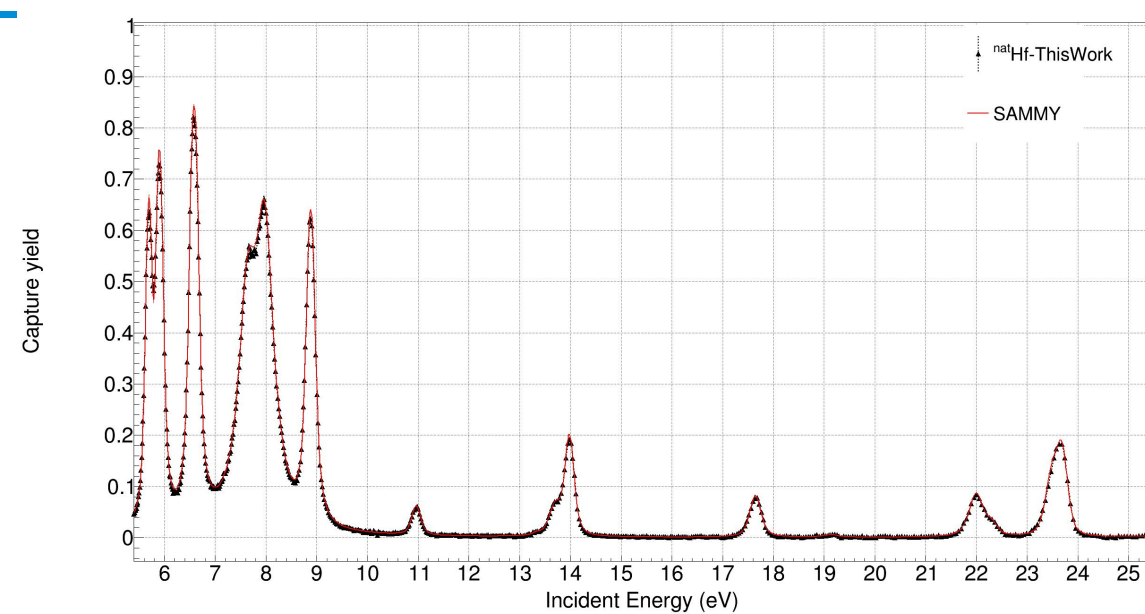
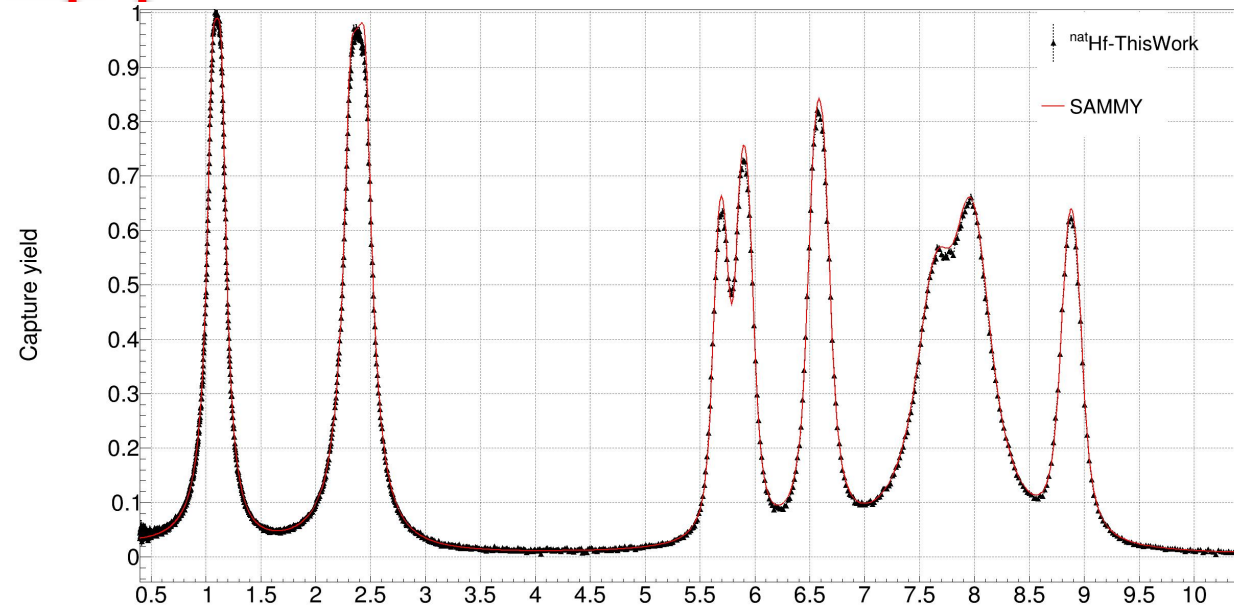


To make the detection efficiency independent of the de-excitation paths, multiplicity, energy of cascade gamma rays.

3 数据处理



3 共振分析与参数提取





4 总结与展望

目前依托中国散裂中子源反角白光，测量了天然镓的中子俘获截面，与他人的实验数据进行了对比。利用SAMMY拟合出天然镓的共振参数到100eV能区，获得了六种稳定同位素的共振参数。

之后需将共振参数解析推广到更为高的能区，天然镓中子俘获截面的实验研究虽已取得重要进展，但仍需在多能区、多同位素、多反应道层面持续深入，最终实现高精度、自洽的核数据评价。

5核物理学科介绍：人才队伍



4人中科院毕业，3人海外经历，1人省杰青。

5核物理学科介绍：“十年”建设经历

1. 聚变中子积分实验

2015

2. 原子核团簇结构
3. 核天体网络计算

2016

4. 激光诱导质谱仪
5. 天体中子俘获反应

2019

6. 环境与食品辐射测量
7. 月球土壤放射性分析

2021

8. 辐射蒙药材诱变育种机理
9. 辐射探测新材料及其应用
10. 激光击穿光谱技术及应用

2023

11. 光中子反应测量
12. 机器学习分析方法

2024

13. 单光子成像系统研制
14. 中子伽马土壤测量仪
15. 相对论重离子核物理

2025

内蒙古自治区重点实验室
核物理与核技术应用重点实验室

十五五

5 核物理学科介绍：具有特色方向

核物理基础研究

重离子碰撞物理研究

超铁重元素起源之谜



核技术应用研究

辐射探测技术及应用

辐射蒙药材诱变机理

5 核物理学科介绍：科研平台

高性能计算机集群



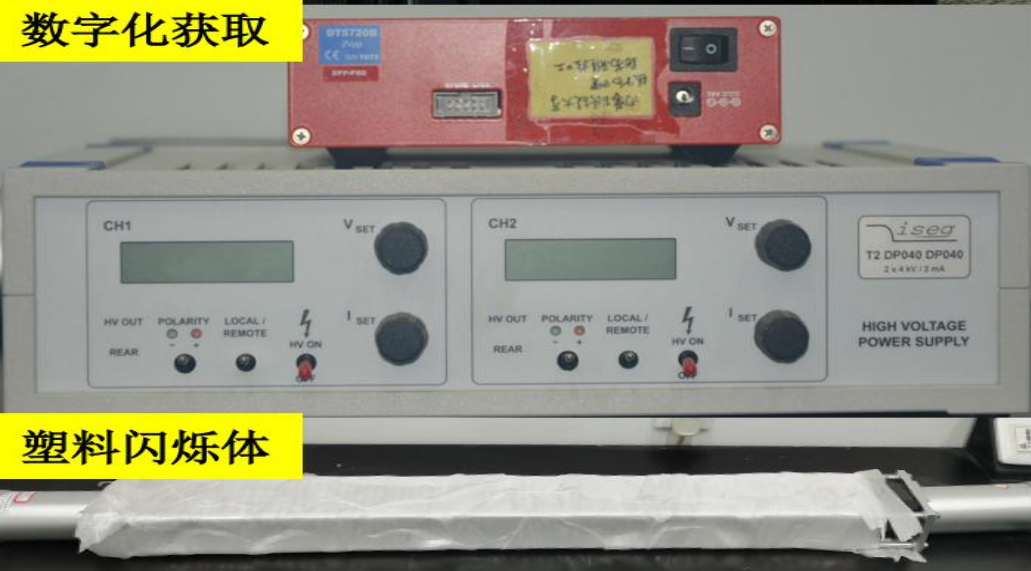
VME数据获取



双面硅条



数字化获取



溴化镭、EJ299探测器



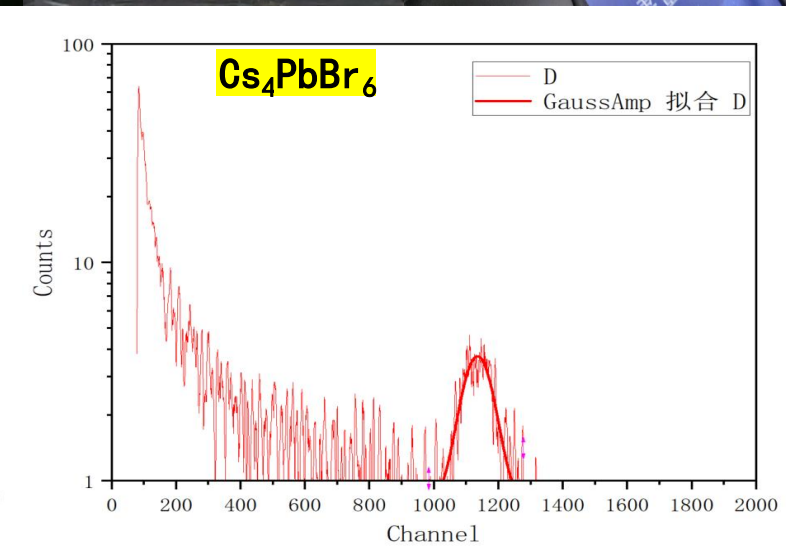
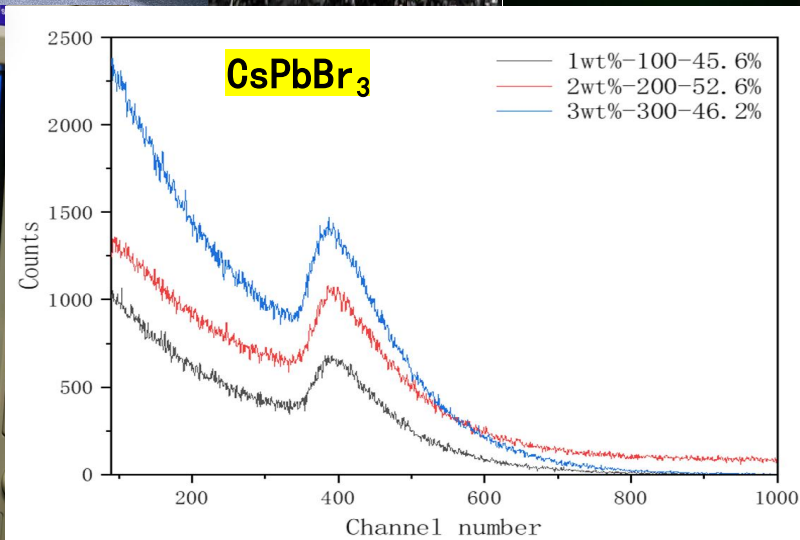
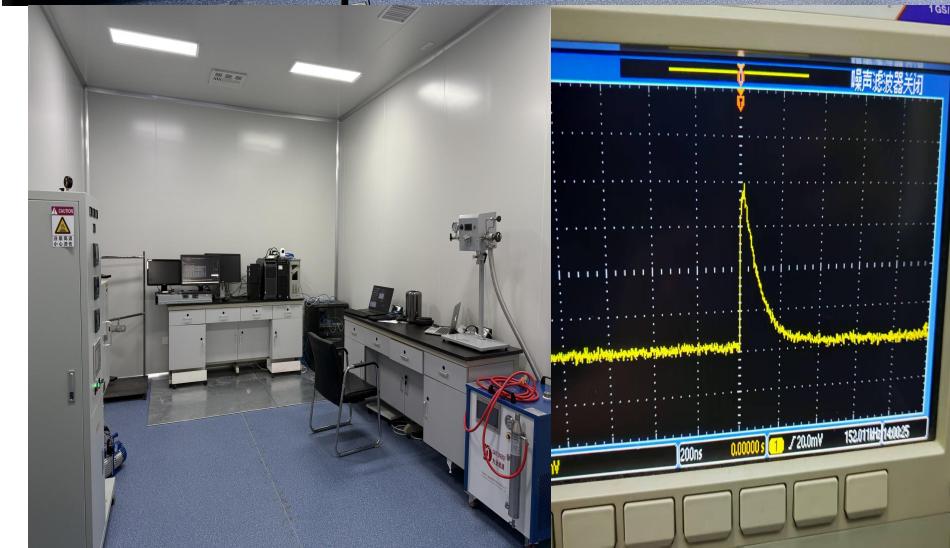
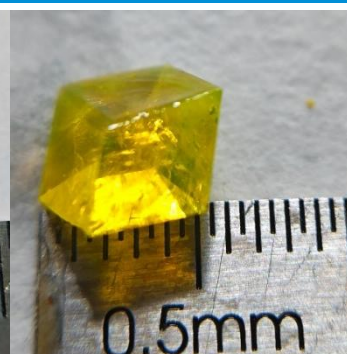
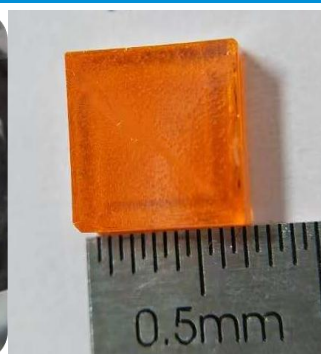
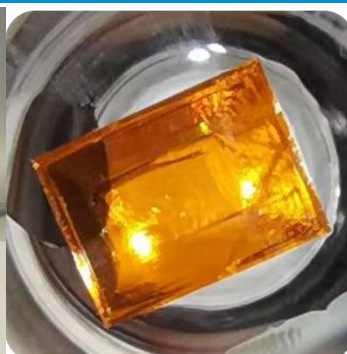
塑料闪烁体



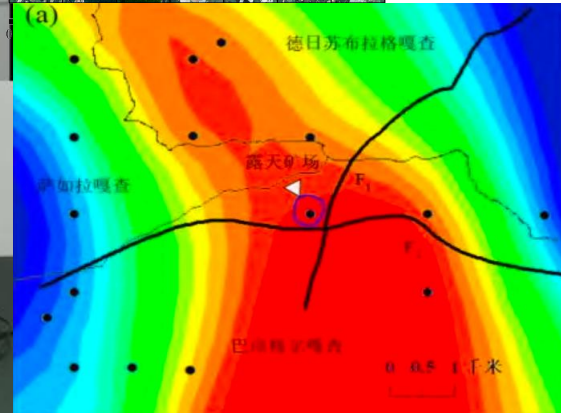
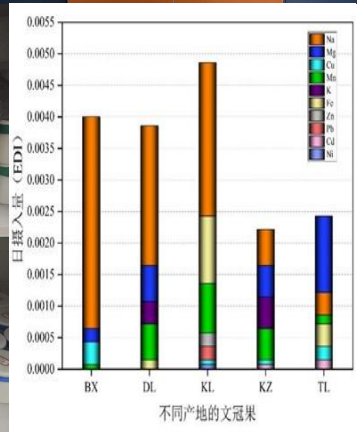
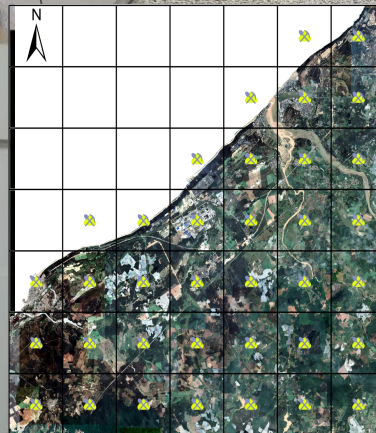
手持式 γ 谱仪



5 核物理学科介绍：科研平台

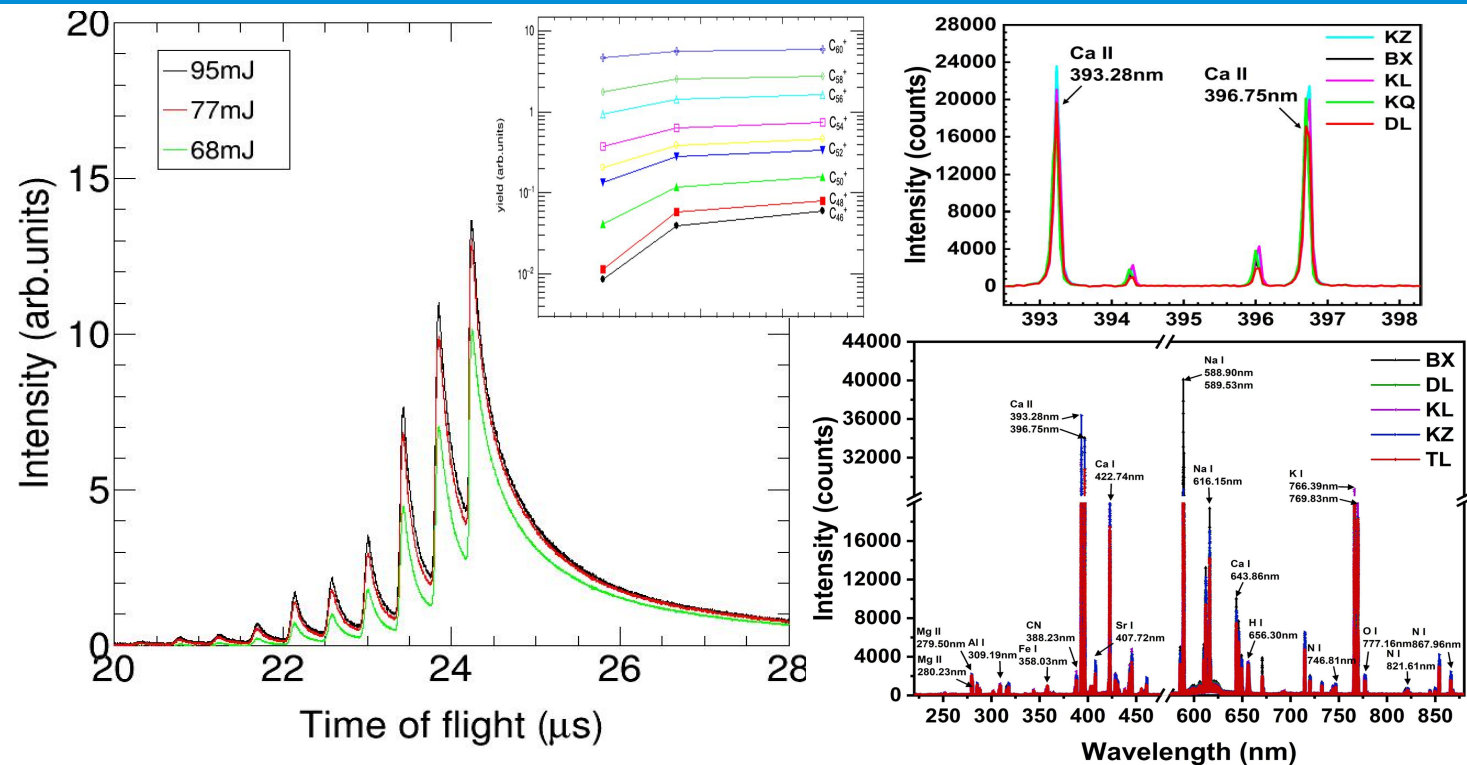


5 核物理学科介绍：科研平台

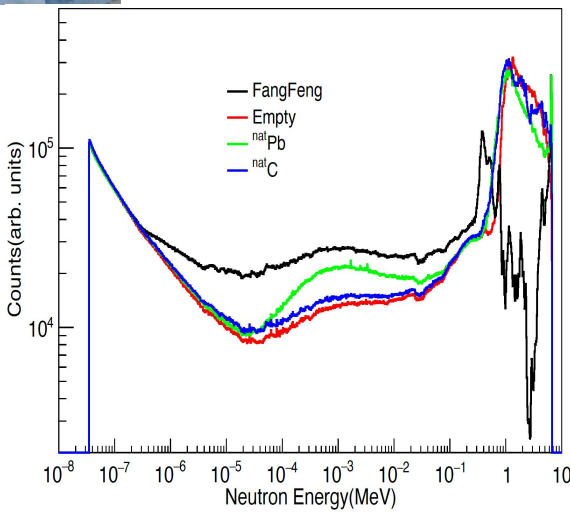


5 核物理学科介绍：科研平台

自主研发的激光诱导生物分子碎裂研究装置



401 氙中子源辐照

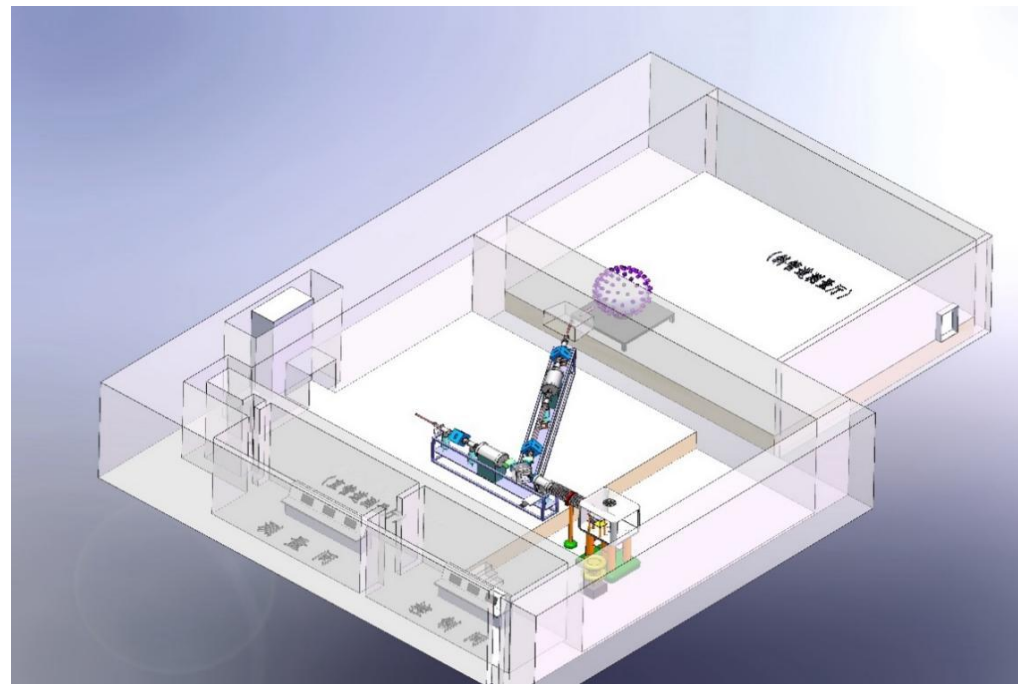
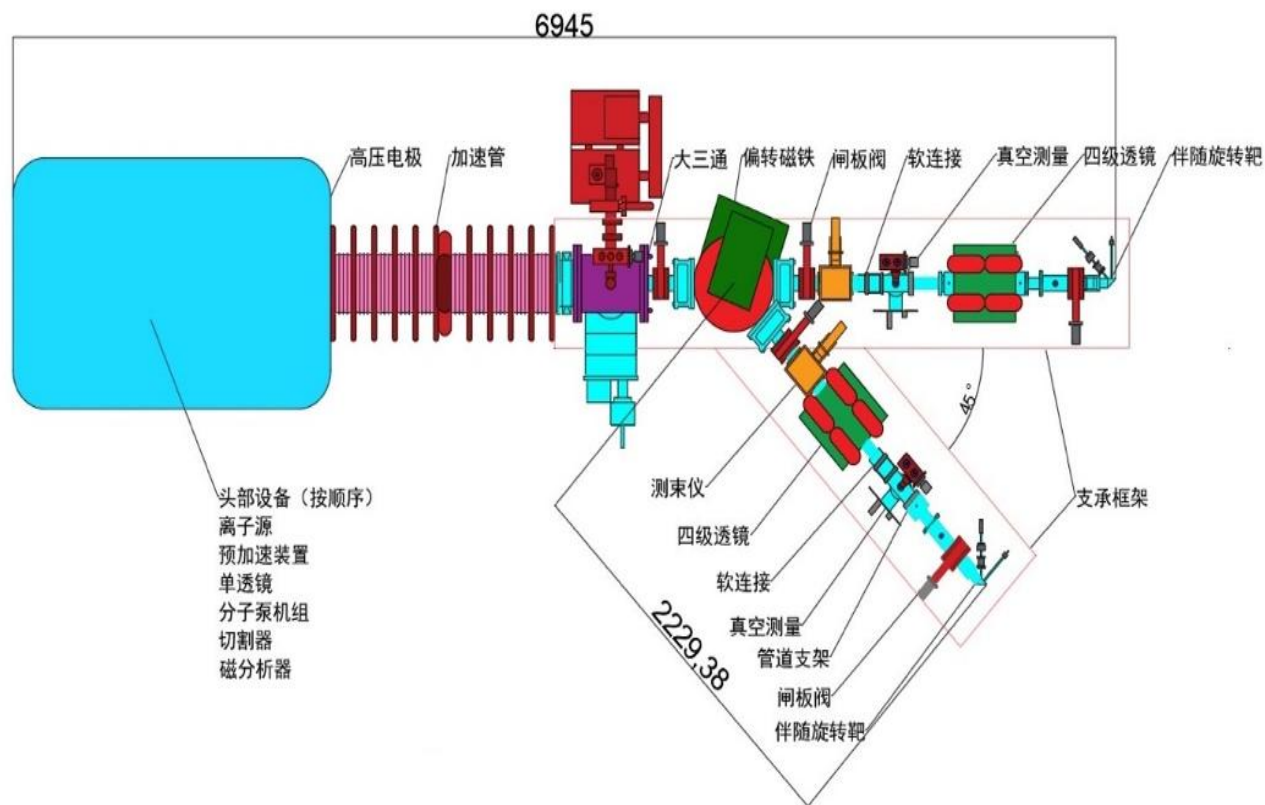


5 核物理学科介绍：科研平台（申请采购）

设计指标：

多用途氘氘聚变反应中子源：401陈洪涛研究员

- D^+ 离子能量300keV，流强1mA；
- 2.5MeV中子产额 $1 \times 10^9/s$ ，14.8MeV中子产额 $1 \times 10^{11}/s$ ；
- 脉冲束频率1.5MHz，脉冲宽度小于2ns；
- 离靶1cm处约 $0.5Gy S^{-1}cm^{-2}$ 的14.8MeV中子辐照剂量。



应用领域：

- 特色作物辐照育种
- 中子活化分析
- 低能核物理实验
- 中子辐照材料
- 中子核数据测量
- 中子照相技术

期待“核”你相聚草原——“第23次RIBLL合作组会议”



Thanks Very Much !