

大会总结报告

樊瑞睿

会议情况介绍

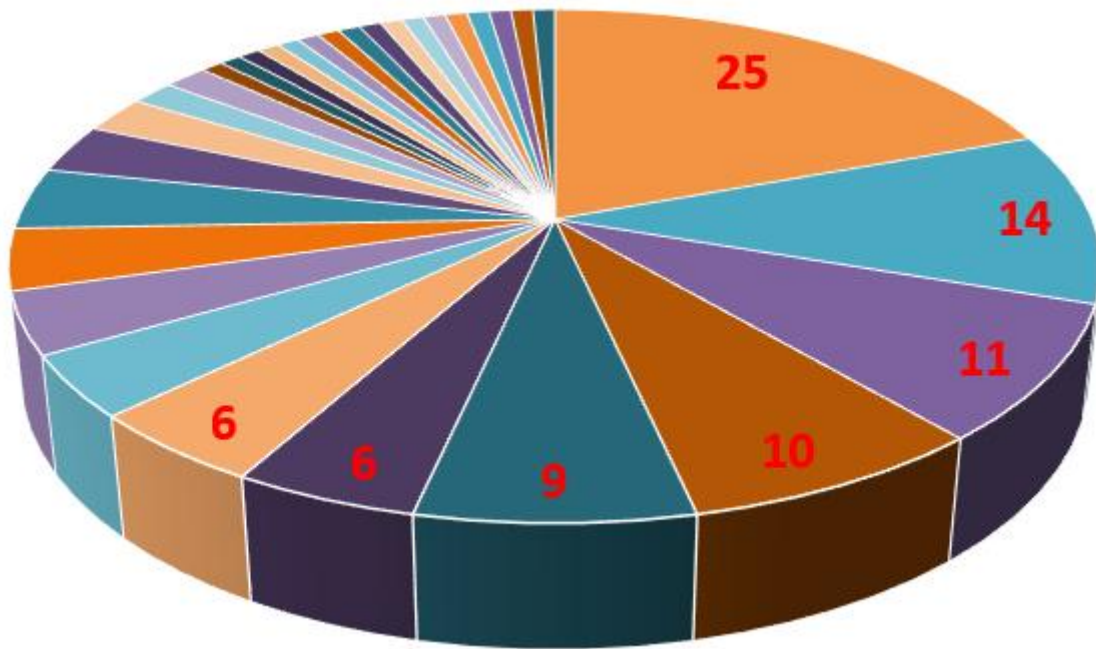
第九届CSNS反角白光中子源用户研讨会

六安 7月23日



会议情况介绍

实际参会130人左右，涉及41家单位。



参会单位分布	参会人员
中国原子能科学研究院	25
中国科学技术大学	14
南华大学	11
中国科学院高能物理研究所	10
散裂中子源科学中心	9
西北核技术研究院	6
合肥中科采象科技有限公司	6
.....	

主会场：大会邀请报告

主持人：葛志刚、唐靖宇

素材整理：孙康

主会场：大会邀请报告

7月23日上午

09:00	开场欢迎词	靖宇 唐
		09:00 - 09:10
	中国科学技术大学核学院简介	骏马
		09:10 - 09:40
	加速器驱动的先进核能系统	欢 贾
10:00		09:40 - 10:10
	茶歇&合影	10:10 - 10:30
	聚变堆中子诊断技术及其挑战	铁栓 樊
		10:30 - 11:00
11:00	中子深度剖面分析技术及应用研究进展	才锦 肖
		11:00 - 11:30
	μ XI：一种全新的软件定义数据读出技术	平 曹
		11:30 - 12:00
12:00	Back-n实验年度总结	瑞睿 樊
		12:00 - 12:20

主会场：大会邀请报告

会议现场：



主会场：大会邀请报告

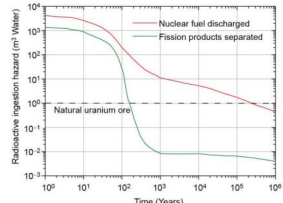


先进核能系统 - ADANES

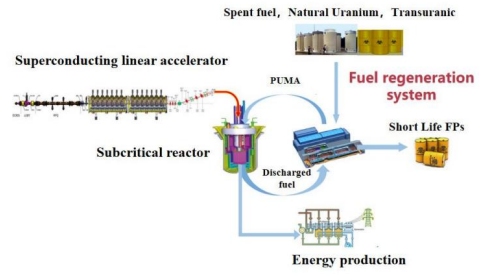


加速器驱动的先先进核能系统

- PUMA混合燃料 = Pu+U+MA : 不需要对铀、钚和微量锕系元素进行精细分离
- 从乏燃料中去除部分裂变产物
- 先进燃烧器——外中子驱动次临界反应堆
- 增殖、嬗变和能源生产

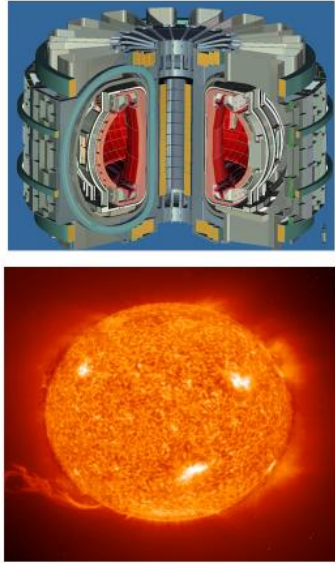


YANG Lei, ZHAN WenLong, A closed nuclear energy system by accelerator-driven ceramic reactor and extend AROX reprocessing, SCIENCE CHINA, Technological Sciences



□ 环境友好的创新闭式燃料循环

- 自然资源利用
- 燃烧乏燃料库存
- 充分利用核能资源>95%
- 废物最小化<400年



聚变堆中子诊断技术及其挑战

樊铁栓

北京大学物理学院

中国科学院等离子体物理研究所

2025年CSNS反角白光中子源第九届用户研讨会
2025.07.22-27, 安徽, 六安

- 报告围绕国家核能战略、聚变能源、先进核能系统、深空探测、半导体与锂电池等关键领域，解决“卡脖子”问题，支撑国家科技自立自强。
- 中子作为共性技术载体，在核能、材料分析、考古溯源、环境监测、锂电池、半导体等多个场景中发挥关键作用，体现出中子技术的通用性、前沿性与战略价值。

主会场： Back-n进展报告

主持人： 罗文、樊铁栓

素材整理： 孙康

主会场：Back-n进展报告

7月23日下午

14:00	铍-9和天然铁的中子全截面实验研究	江博 白
		14:00 - 14:25
15:00	共振分辨区 ^{197}Au 中子俘获截面测量	伟 蒋
		14:25 - 14:45
	基于MTPC的 ^{235}U 中子诱发裂变截面测量	杰 刘
16:00		14:45 - 15:05
	$^{14}\text{N}(n,p)$ 反应的角度积分截面与R矩阵拟合	秋月 罗
		15:05 - 15:25
17:00	白光中子能谱系统性测量研究	永浩 陈
		15:25 - 15:45
	茶歇	
18:00		15:45 - 16:10
	基于GTAF装置的 (n,γ) 反应截面在线测量研究进展	奇玮 张
		16:10 - 16:35
19:00	基于微结构气体探测器的中子探测	志永 张
		16:35 - 17:00
	数字信号处理在核物理实验中的应用	鸿毅 吴
20:00		17:00 - 17:20
	Back-n装置的科学数据管理与服务平台	鹏 胡
		17:20 - 17:40
21:00	MTPC探测器实验技术与实验测量研究进展	晗 易
		17:40 - 18:00

主会场：Back-n进展报告

会议现场：



主会场：Back-n进展报告

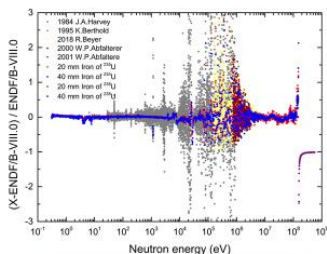
报告内容分布	报告数量
核数据 (全截面、裂变截面、俘获截面等)	5
束流特征 (能谱)	1
探测器技术	2
数字信号分析技术	1
数据管理与服务平台	1

报告单位分布	报告数量
九院二所	1
散裂中子源科学中心	5
北京大学	1
原子能院	2
中国科学技术大学	1

主会场：Back-n进展报告

截面测量

04 | ^{nat}Fe中子全截面实验研究 ——全截面结果比较



The quantitative comparison of relative deviations (X-ENDF/B-VIII.0)/ENDF/B-VIII.0 versus neutron energy.

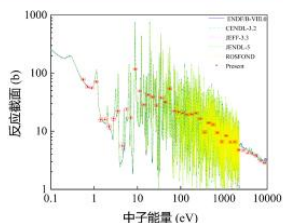
The Mean Relative Percentage Deviations (MRPD (%)) of experimental data vs ENDF/B-VIII.0 in defined energy bins.

Energy Range (eV)	1984 J.A. Harvey (6.4 eV-2.3 MeV)	1995 K. Berthod (0.75-2.2 MeV)	2018 R. Berthod (0.15-8 MeV)	2000 W.P. Abfalterer (0.75-3 MeV)	2001 W.P. Abfalterer (5.29-556 MeV)	This ²³⁵ U (0.3 eV-150 MeV)	This ²³⁸ U (1-150 MeV)
0.3-10 ²	10.2	/	/	/	/	2.9	/
10 ² -10 ⁴	21.9	/	/	/	/	6.0	/
10 ⁴ -10 ⁶	117.4	9.7	48.8	72.8	/	60.1	/
10 ⁶ -10 ⁸	49.0	4.0	24.4	29.9	122.7	18.5	19.1

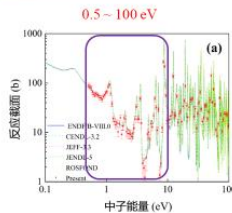
- 全截面结果比起1984年J. A. Harvey的实验结果与评价数据符合得更好，偏差更小。
- 结果证明俄罗斯的评价库在0.3eV-50eV能区对^{nat}Fe的评价结果应略有偏大，中国的评价库在0.4eV-100eV能区对^{nat}Fe的评价结果应略有偏小。

白江博-Be-9和天然铁的中子全截面实验研究

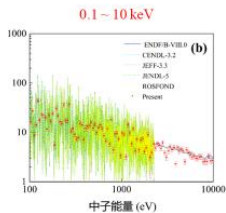
3. 结果分析与讨论



每个能量量级分成10个能bin的截面结果



每个能量量级分成50个能bin的截面结果

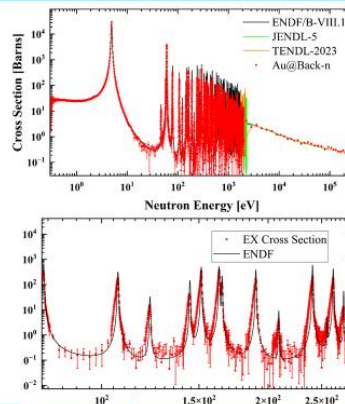


- 本工作建立了基于MTPC探测器和白光中子源的裂变反应截面测量方法，测量结果与已有评价结果吻合，初步证实了本方法的可靠性^[1]
- 本测量结果为基于白光中子源，采用MTPC探测器首次测量得到核反应截面

[1] Han Yi, Haofan Bai (Equal Contributions), et al., Cross section measurement for the ²³⁵U(n, f) reaction using MTPC at CSNS Back-n white neutron source, submitted to Chin. Phys. C

刘杰-基于MTPC的²³⁵U(n, f)反应截面测量

俘获截面



结合ENDF/B-VIII.1给出的¹⁹⁷Au(n, tot)截面值，初步计算了从0.3 eV到300 keV能区的截面值：

$$Y = [1 - \exp(-N_V \sigma_{nt} d)] \frac{\sigma_{ny}}{\sigma_{nt}}$$

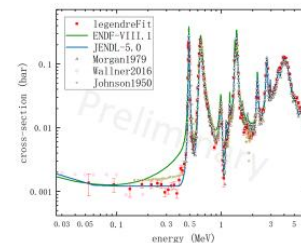
$$\sigma_{ny} = Y \frac{\sigma_{nt}}{1 - \exp(-N_V \sigma_{nt} d)}$$

可见在共振峰谷有较好的截面结果

蒋伟-共振分辨率¹⁹⁷Au中子俘获截面测量

结论

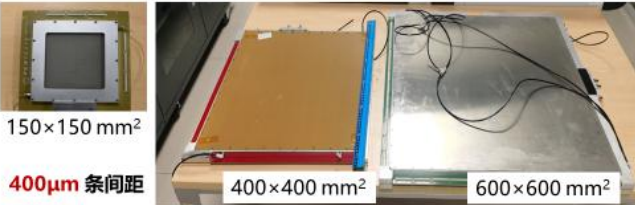
- 在CSNS反角白光中子实验装置上开展了¹⁴N(n, p)及⁶Li(n, t)反应微分截面测量实验，并首次得到了¹⁴N(n, p)反应微分截面测量结果；
- 分析所得角度积分截面与评价数据非常一致；
- 在0.05-4 MeV，截面测量结果与JENDL-5.0符合更好；
- 0.4911 MeV共振处截面低于评价数据，0.6344 MeV处截面与评价数据一致。



罗秋月-¹⁴N(n,p)反应截面测量

主会场：Back-n进展报告

探测器技术



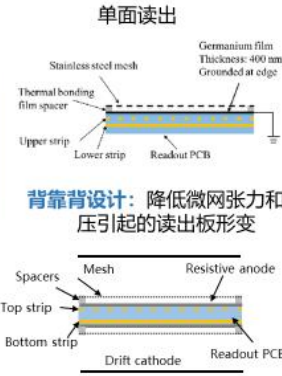
150×150 mm²
400μm 条间距
400×400 mm²
600×600 mm²

热压接Micromegas探测器

大面积高分辨探测器

尺寸 (mm ²)	读出方式	位置分辨	MIP探测效率
150×150	单面	< 100μm	>95%
400×400	单面	~130μm	>95%
600×600	背靠背	~150μm	>95%

Jianxin Feng et al., NIM-A 989 (2021) 164958.



单面读出

Germanium film Thickness: 400 nm Grounded at edge

Stainless steel mesh

Thermal bonding film spacer

Upper strip

Lower strip

Readout PCB

背靠背设计：降低微网张力和气压引起的读出板形变

Spacers

Mesh

Resistive anode

Top strip

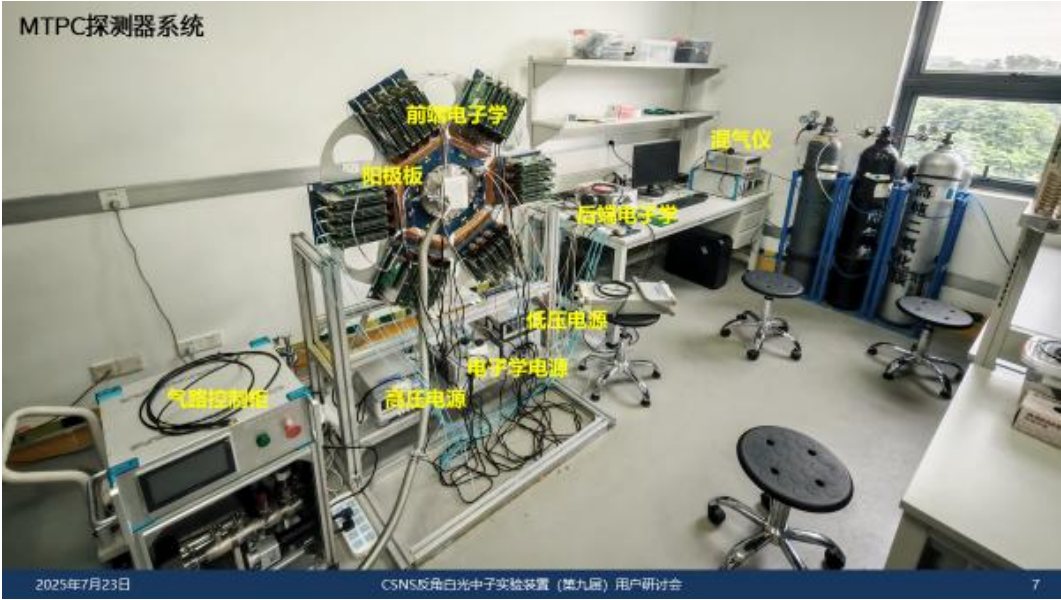
Bottom strip

Drift cathode

Readout PCB

张志永-基于微结构气体探测器的中子探测技术

MTPC探测器系统



前端电子学

阳极板

读气仪

后端电子学

高压电源

电子学电源

气路控制柜

2025年7月23日

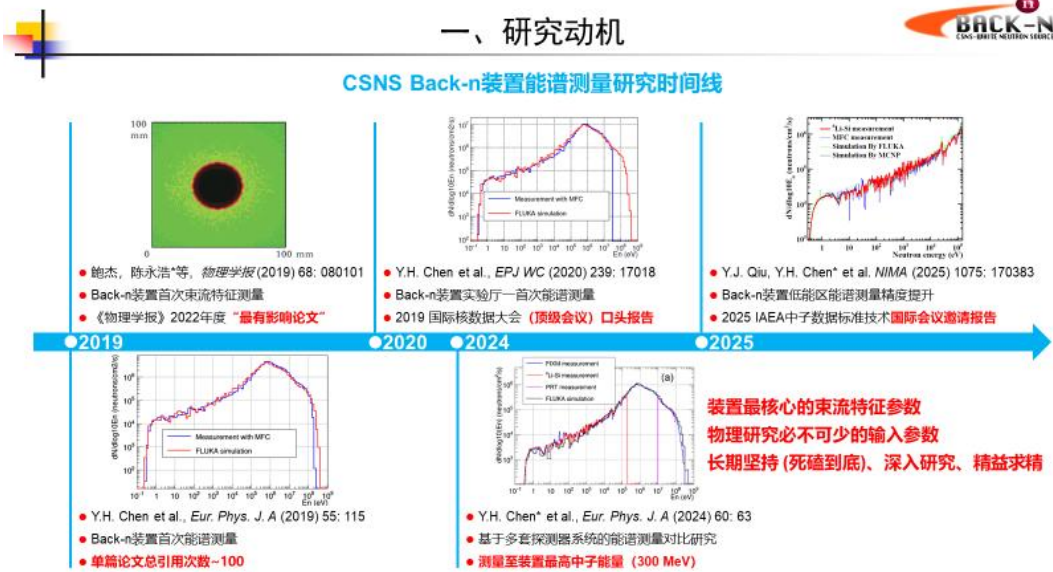
CSNS极角白光中子实验装置 (第九届) 用户研讨会

7

易晗-MTPC探测器实验技术与实验测量研究进展

主会场：Back-n进展报告

实验支持



陈永浩-白光中子能谱系统性测量研究

数据服务平台 <https://wnsdata.csns.ihep.ac.cn>



- 已接入高能所统一认证系统
- 接入存储系统、控制系统、用户系统、镭速客户端下载系统
- 不同角色的页面设计与开发
- 云平台分析管理与分析数据管理
- 其他定制化功能...

数据服务平台支持角色管理、数据检索、查看、下载、授权、可视化、在线分析等服务

胡鹏-Back-n装置的科学数据管理与服务平台

主会场：Back-n进展报告

要点总结：

- 核数据测量实验获得了较为精确的结果
- 针对靶体和束窗变化的情况，及时更新了最新能谱数据
- 新型探测器技术未来可期，已有了初步的实验结果
- 新的软硬件系统、管理平台为白光实验提供了强有力的支持

“核数据与核物理”分会简单纪要（素材整理—陈永浩）

分会总计20个口头报告，分类如下

测量类型	报告数量
中子全截面	7
中子俘获截面	6
带电粒子出射截面	3
弹性散射/非弹性散射	2
准积分实验	1
寿命测量	1

报告单位	数量
南华大学	5
原子能院	4
中山大学	3
散裂中子源科学中心	2
上海应物所	2
北京大学	1
九院二所	1
近物所	1
内蒙古民族大学	1

四大Session主持人

北京大学张国辉教授



九院二所刘荣研究员



原子能院阮锡超研究员



兰州大学兰长林教授



积极提问的青年科学家和认真听讲的专家学者



部分要点总结：

- 新测量实验结果与先前结果比较时应区分实验数据和评价数据，与实验数据的对比优先——葛智刚
- 实验厅2小束斑能谱存在一定结构，可能对准积分实验产生影响，需要进一步分析——丁琰琰
- 基于目前Back-n束斑分布测量结果（见袁昕宇报告），束流剖面（束斑大小）与样品几何之间的关系会对测量结果产生显著影响，今后测量务必结合实际情况确定实验方案（束线配置、样品尺寸）：**束包靶？靶包束？**——陈永浩
- 固化在中子能谱中的结构（由散裂靶体和束线内材料吸收造成）对共振测量有明显影响——安振东
- 解决能谱结构最有效和直接的方法是散裂靶体表面加层水，但是实际操作起来有较大困难。可尝试从实验测量端出发，寻找解决问题的方法和手段——陈永浩

分会场：中子测量和应用

主持人：贾文宝、韩纪峰

分会场：中子测量和应用



参会人数：40-50人
报告：11个报告

分会场：中子测量和应用

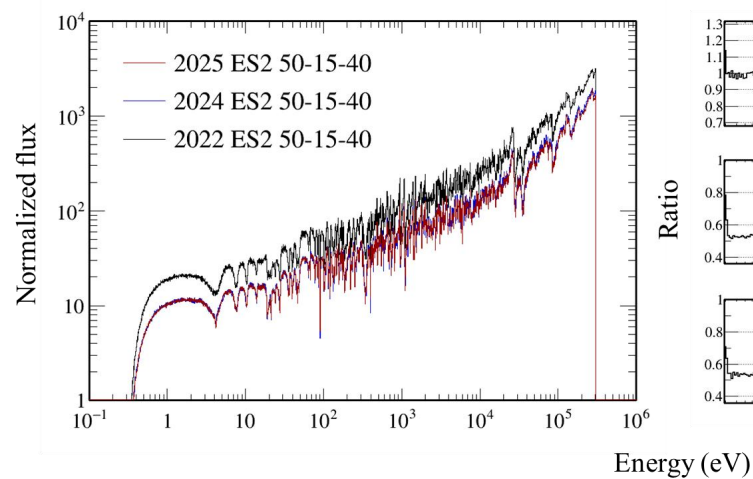
“中子测量和应用” 小组报告（7月24日 开元二厅）					主持人
9:00	9:15	解立坤	中国科学技术大学	共用电子学系统升级方案	贾文宝
9:15	9:30	邱奕嘉	散裂中子源科学中心	基于掺硼MCP的中子共振成像实验研究进展	
9:30	9:45	张天	东北师范大学	基于深度学习技术的中子成像图像清晰化	
9:45	10:00	崔耀轩	中国科学院近代物理研究所	乏燃料中子无损检测技术	
10:00	10:15	程璨	南京工业大学	基于单像素探测技术的瞬发伽马活化元素成像研究	
10:15	10:45	茶歇&海报			
10:45	11:00	李玮	中国原子能科学研究院	70-100MeV准单能中子标准场参数测量	韩纪峰
11:00	11:15	普能	中国科学院近代物理研究所	ADS次临界反应堆中子学计算中的核数据问题	
11:15	11:30	杨高乐	散裂中子源科学中心	于 $^{197}\text{Au}(n, \gamma)$ 实验开展的Back-n能量分辨率函数研	
11:30	11:45	孔誉谦	中国科学院高能物理研究所	2022-2025年Back-n厅二150keV以内能谱研究	
11:45	12:00	袁昕宇	散裂中子源科学中心	CSNS白光中子源束斑测量	
12:00	12:15	白灿	散裂中子源科学中心	基于多用途时间投影室的白光中子束斑测量	

主题：中子测量，核分析技术及相关需求

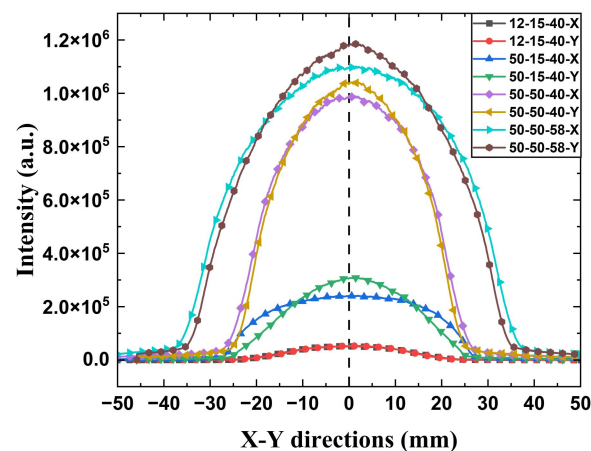
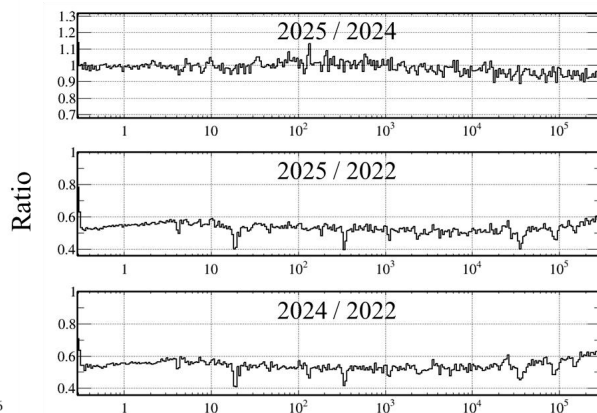
分会场：中子测量和应用

中子测量：

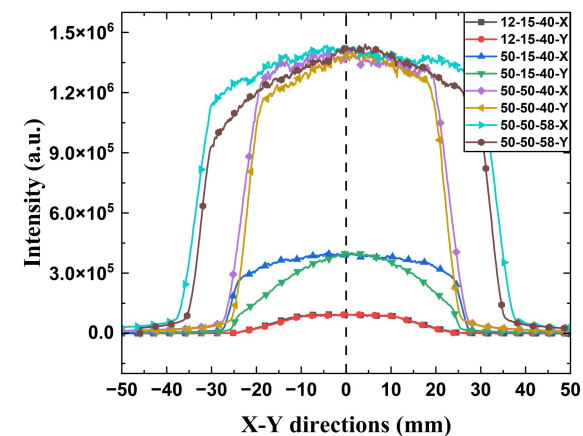
准单能中子场参数测量，使用创新的方法开展了中子能量等参数测量；
Back-n的束斑测量，厅二能谱测量，实验中提取出的能量分辨率及验证，对于在Back-n开展实验获得更高精度的反应截面而言，会发挥重要的作用。



2022-2025厅二150keV以内能谱流强变化



厅二部分束斑投影

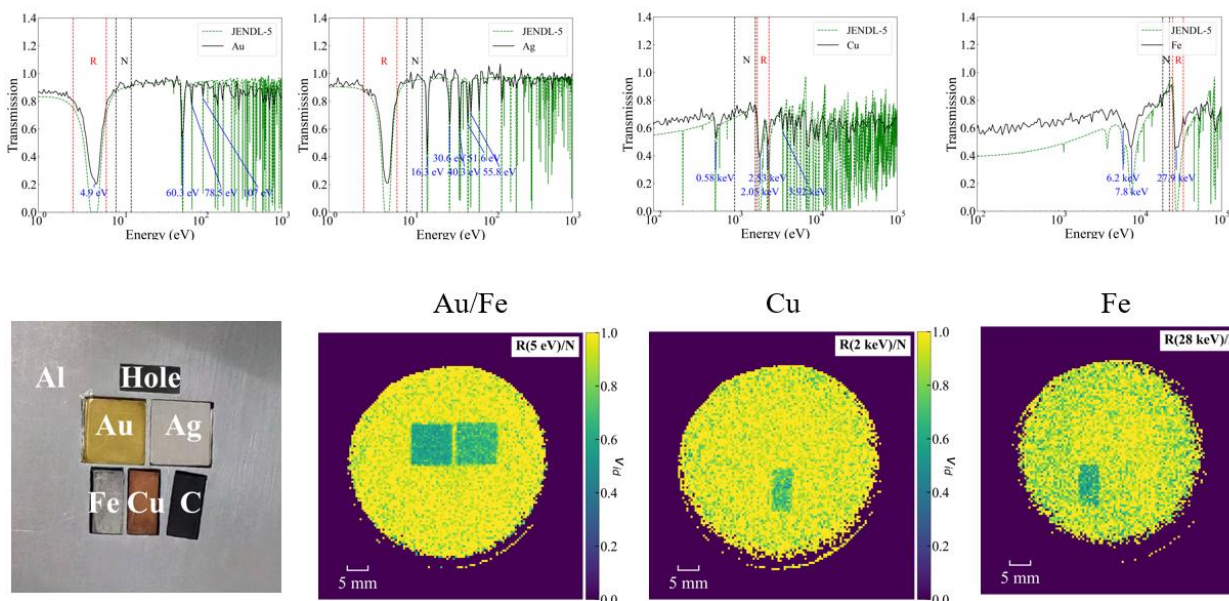


厅二部分束斑剖面

分会场：中子测量和应用

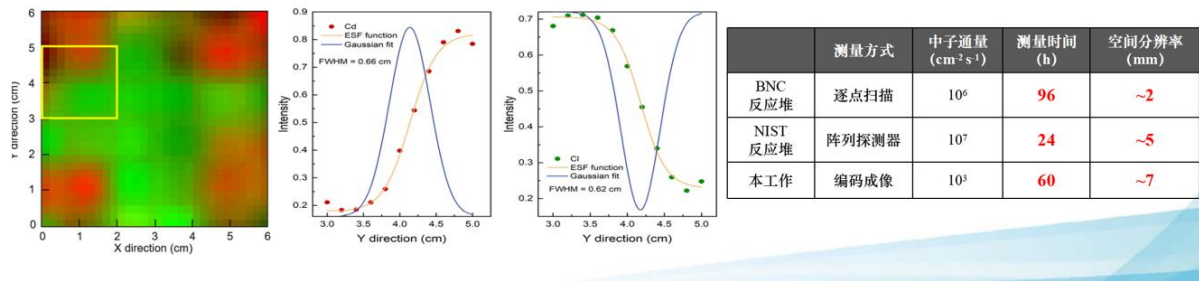
核分析技术：

基于白光中子源的中子共振成像，中子成像清晰化算法，瞬发伽马活化元素成像以及乏燃料无损检测的需求。探索如何利用中子分析方法得到更优的元素分析和成像结果。



基于白光中子源的中子共振成像

对测量结果的空间分辨率采用边缘扩散函数 (Edge spread function) 进行计算，选取Cd和Cl分布的边界区域，对像素点的变化速率进行高斯拟合，得到的半高宽作为空间分辨率，结果显示Cd为0.66 cm，Cl为0.62 cm。



瞬发伽马活化元素成像结果

分会场：中子测量和应用

共用电子学升级及ADS核数据需求：

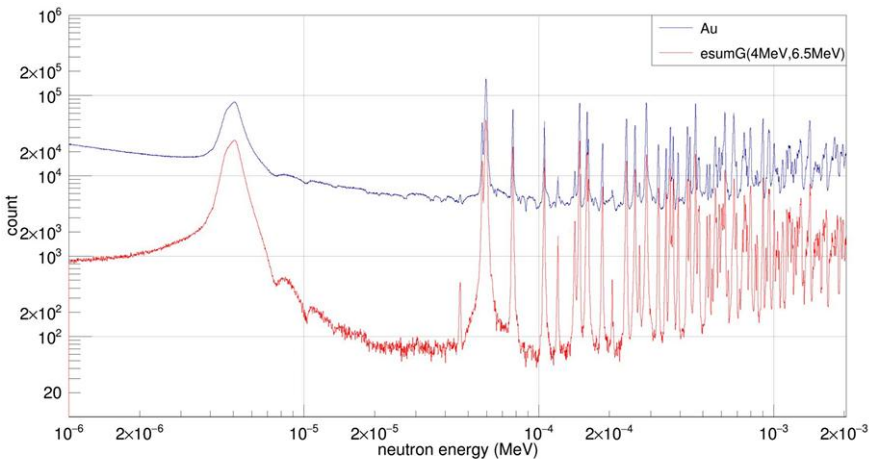
新版共用电子学调试测试及后续计划，ADS工程对部分核素的俘获、裂变等核数据的需求。

■ 升级 FDM = 2x原有FDM + 1x原有SCM

- 性能全面升级
- 在线可调增益
- 在线处理算法



参数名称	原有FDM	升级FDM
采样率	1GSPS	1GSPS
量化精度	12bit	16bit
存储深度	4Gbit	32Gbit
通道数	2	4
量程	适配SCM	1.3Vpp、3.9Vpp在线可调
最大缓存长度	32us/通道	128us/通道 支持升级500ms/通道
Pre-trigger采集长度	16us	32us
在线触发	S1/S2/S3	S1/S2/S3
在线处理	-	CFD、PSD、QDC



实验数据分析结果

- ADS计算中当前评价库缺少大于20MeV的高能核数据，直接影响ADS装置的参数设计。
- ADS以MA为燃料，燃烧中产生大量金属、镧系核素，对于这些核素的核数据（特别是俘获截面和衰变数据）精度有待提高。
- 不同评价核数据库计算ADS的 k_{eff} 差异较大，不满足ADS最基本设计需求。
- 通过核素替换法找出对计算 k_{eff} 影响较大的核数为： ^{56}Fe 、 ^{209}Bi 、 ^{15}N 、 $^{235/8}\text{U}$ 、 $^{241/3}\text{Am}$ 、 ^{244}Cm 等。
- 对 k_{eff} 计算的不确定度量化表明 ^{235}U 的 nu 、 (n,f) 、 (n,g) ， ^{238}U 的 (n,g) 、 $(n,inel)$ ， ^{209}Bi 的 (n,g) 、 (n,el) ，和 ^{56}Fe 的 (n,g) 、 (n,el) 、 $(n,inel)$ ， $^{15}\text{N}(n,el)$ ， ^{237}Np 的 (n,f) 、 (n,g) ， $^{239}\text{Pu}(n,f)$ ， $^{241}\text{Am}(n,g)$ ， $^{243}\text{Am}(n,f)$ 、 (n,g) 、 $(n,inel)$ ， ^{244}Cm 的 nu 、 (n,f) 、 (n,g) 等反应道不确定较大。
- 不同评价库的 ^{56}Fe 和 ^{209}Bi 在ADS主要中子分布能区(10keV至1MeV)截面差异明显；
- $^{235}\text{U}(n,f)(n,g)$ 、 $^{238}\text{U}(n,f)(n,g)$ 、 $^{239}\text{Pu}(n,f)$ 、 $^{241}\text{Pu}(n,f)$ 、 $^{241}\text{Am}(n,f)$ 、 $^{243}\text{Am}(n,f)$ 、 $^{241}\text{Am}(n,g)$ 、 $^{15}\text{N}(n,el)$ 敏感性系数比较显著，应当优先进行高精度测量；
- 针对重要性较大的MA核数中的 ^{234}Am ，基于CSNS反角白光的 ^{234}Am 裂变截面测量的实验准备已经开展.....

分会场：探测器及标定

主持人：宋朝晖，李玮

分会场：探测器及标定



参会人数：约40人
报告：7个报告

“探测器及标定” 小组报告 （7月24日 开元二厅）					主持人
14:00	14:15	韩纪峰	四川大学	基于CLYC的宽能区中子测量研究	宋朝晖
14:15	14:30	邓君	中国疾控中心辐射安全所	DIAMON便携式中子谱仪的刻度与应用	
14:30	14:45	张广鑫	中山大学	快时间探测阵列实验进展	
14:45	15:00	刘明帅	中国科学院上海应用物理研究所	基于溴化镧的反康普顿 γ 探测谱仪系统研制	
15:00	15:30				茶歇
15:30	15:45	王金成	内蒙古工业大学	用于中子共振俘获分析的康普顿成像探测系统研制	李玮
15:45	16:00	陈冠宇	中国科学院紫金山天文台	CE-7中子伽玛谱仪束流标定实验进展	
16:00	16:15	薛洁明	中国原子能科学研究院	翼型锂玻璃探测器研发和应用	
16:15	16:30				讨论

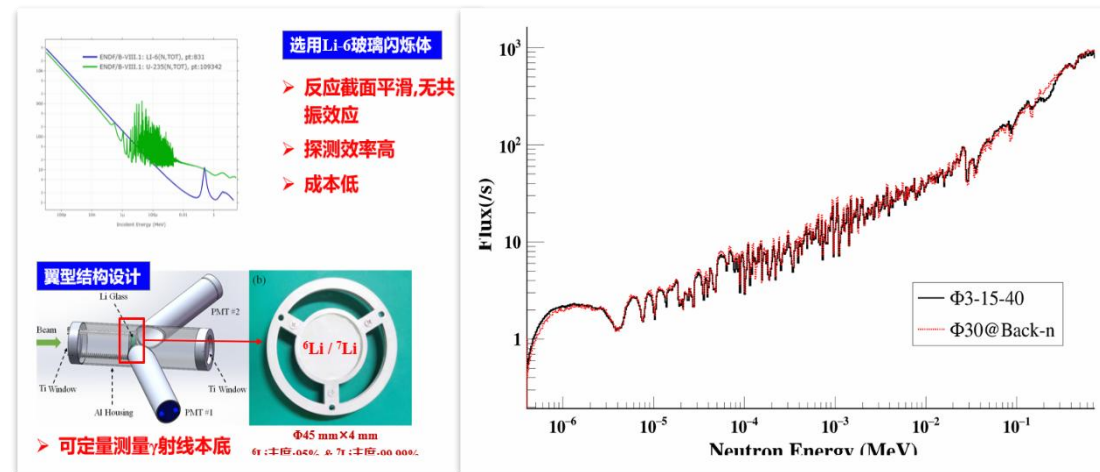
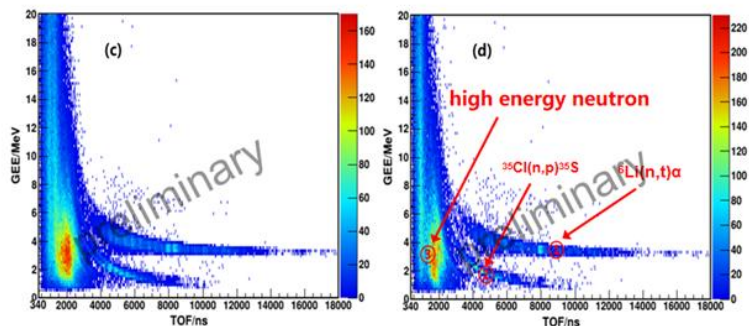
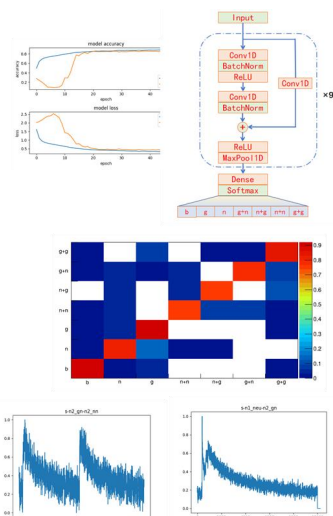
分会场：探测器及标定

探测器研发:

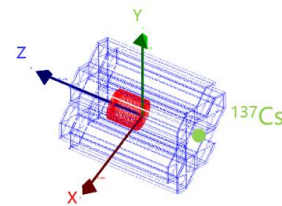
CLYC探测器堆积脉冲甄别算法，及在Back-n开展的白光中子能谱测量；
翼型锂玻璃探测器研发及能谱测量，反康伽马谱仪研制；

CLYC探测器堆积脉冲甄别-ANN

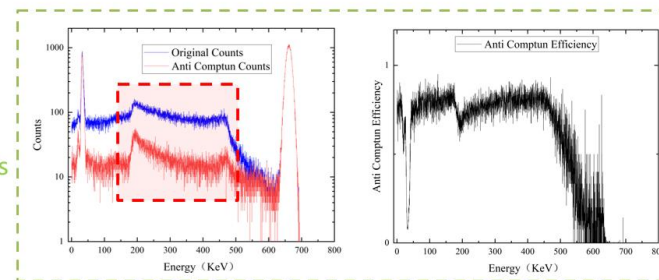
- **监督学习**
 - 标签：基于滤波寻峰算法结果
 - 训练FNN、CNN、ResNet网络
 - 残差网络（ResNet）准确率更好
- **结果**
 - 94.5%准确度
 - ResNet准确度更优
- **识别错误原因**
 - 脉冲幅度小、本底噪声大
 - 脉冲间距太短



研究内容



定量描述反康普顿效果，引入康普顿抑制因子（CSF）中的Peak CSF进行反康普顿前后数据分析对比。



$$Peak\ CSF = (P/C_{suppress}) / (P/C_{unsuppress})$$

在该相对位置下探测器阵列的Peak CSF为4.5

分会场：探测器及标定

探测器系统研制：

快时间探测阵列建设与实验开展，康普顿成像系统研制及实验；

国内快时间gamma探测器阵列：测试实验

中山大学

- 2023年11月，2个2*3 inch²的LaBr₃、塑闪+PMT，数字化获取，离线测量阵列。
- ¹³⁸Ba靶放在中子束流线上辐照活化，然后进行离线测量。
 - ¹³⁸Ba中子俘获后产生¹³⁹Ba，beta-衰变到¹³⁹La，主要布局基态和第一激发态。
 - ¹³⁹La, N=82, Z=57，第一激发态到基态之间的跃迁：L-forbidden M1 transition (g7/2, d5/2)。

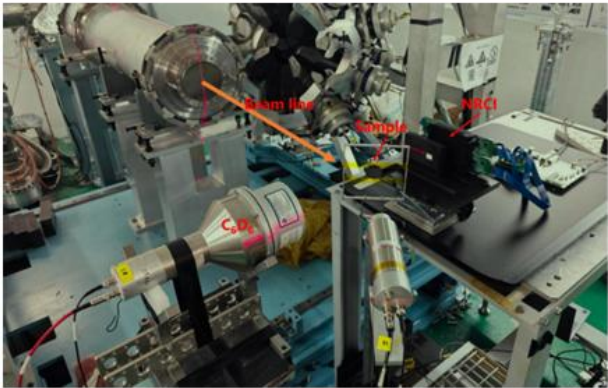
结论：
(1) LaBr₃ + 数字化获取 (500 MHz) + 离线beta-gamma符合测量，足够测量ns量级原子核激发态寿命；
(2) 根据壳模型理论计算，质子-中子跨壳激发对解释L-forbidden M1 transition 强度至关重要！

Wang Zhixuan, Zhang Guangxin*, Jiang wei, et al., NST (2025) 36:179

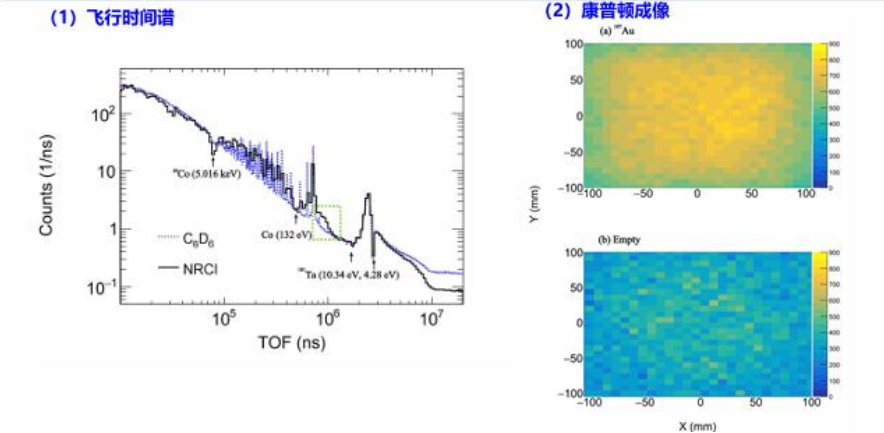
国内快时间gamma探测器阵列：HALIMA@IMP

中山大学

- HALIMA (Hybrid Array for Lifetime MeAsurement)
- 100 uCi ²⁵²Cf source
- Solar detector to stop fission fragment,
- Plastic scintillator to measure beta-ray,
- 8 HPGe + 20 LaBr₃ for gamma-ray,
- Accumulated more than 12 months data (2023.11– now), and the analysis seems promising!



开发了一套康普顿成像探测器。经过完整性性能测试，该系统的时间分辨率为1.6 ns。成像结果显示x轴分辨率为3.83 cm，y轴分辨率为3.75 cm。

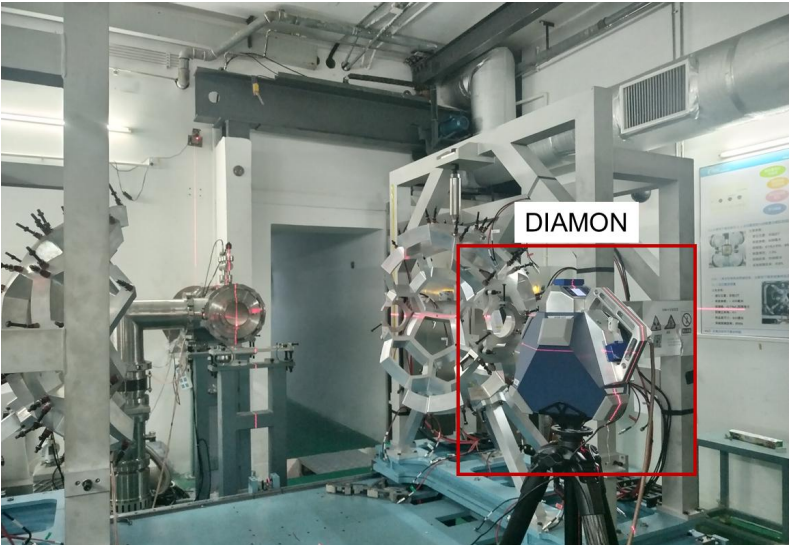


目前在使用LaBr3探测器开展了一系列的实验

分会场：探测器及标定

探测器标定刻度：

嫦娥7号中子伽马谱仪标定； DIAMON中子谱仪刻度；



3.2.2 剂量测量结果

表7 DIAMON测量结果

测量结果	
$\Phi(\text{cm}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	$308.6(\pm 3.6\%)$
$\dot{H}^*(10)(\mu\text{Sv}\cdot\text{h}^{-1})$	$311.8(\pm 5.7\%)$
$H^*(10)(\mu\text{Sv})$	$603.6(\pm 5.7\%)$
$h^*(10)(\text{pSv}\cdot\text{cm}^2)$	$280.7(\pm 4.4\%)$
Thermal(<0.5eV)	1.30%
Epithermal(0.5eV~100keV)	18.06%
Fast(>100keV)	80.64%

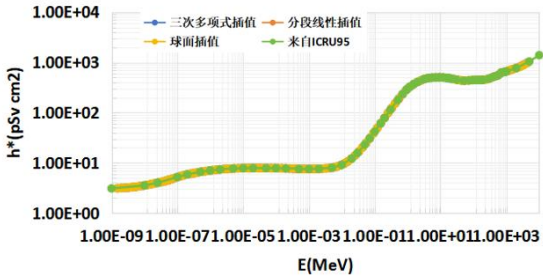
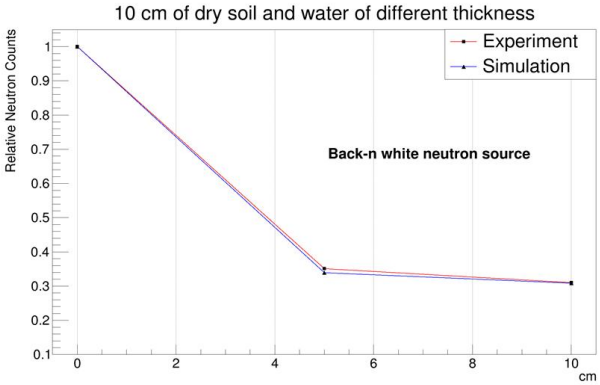
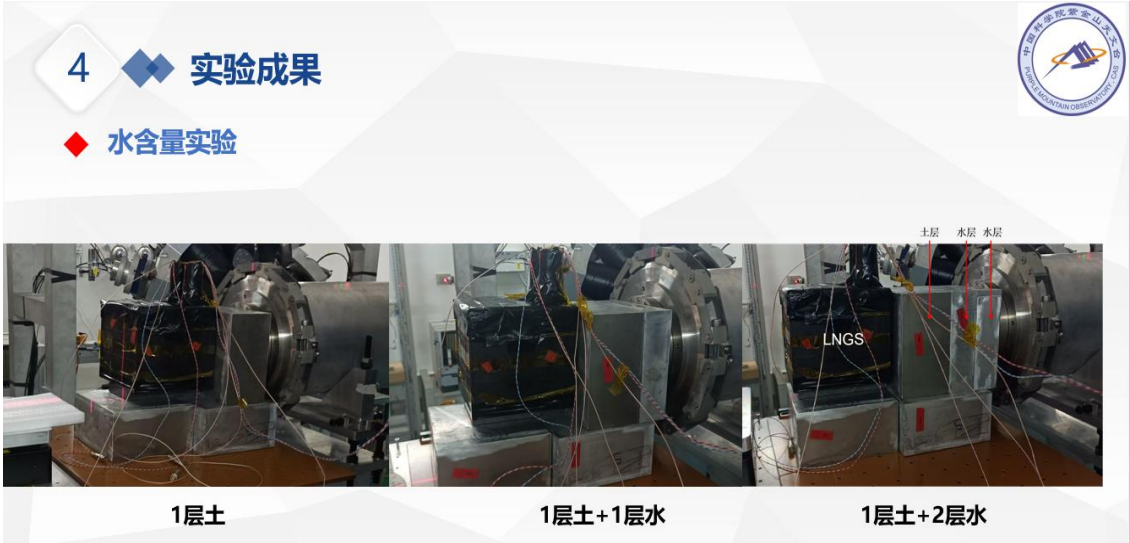


图14 中子注量到周围剂量当量转换系数插值结果



	实验	模拟	能量范围 (keV)
1层土	1	1	12.6-25.1
1层土+1层水	0.3513 ± 0.00466	0.3389	39.8-63.1
1层土+2层水	0.3103 ± 0.00438	0.3086	100-199.5



2026年白光用户会：南华大学