

# 2022-2023年Back-n运行情况汇报

樊瑞睿 代表 白光中子实验装置运行组

# 提纲

- 2022-2023年实验情况
- 白光中子实验装置的发展
- 未来实验规划

# 过去一年供束计划和执行情况

- CSNS年继续高效运行，供束效率>90%
- CSNS供束计划按自然年上报科学院
  - Back-n年供束时间：4500小时（并行实验累计）
- 2022年下半年Back-n实验供束情况
  - 10月6日-1月19日
  - 供束：1742小时，开展20项实验
- 2023年上半年Back-n实验供束情况
  - 2月20日-7月15日
  - 供束：2964小时，开展34项实验

实际实验供束：  
4706小时

# 已开展的核数据测量实验

- Neutron capture
  - C<sub>6</sub>D<sub>6</sub>: <sup>169</sup>Tm, <sup>197</sup>Au, <sup>57</sup>Fe, natSe, <sup>89</sup>Y, natEr/<sup>162</sup>Er, <sup>232</sup>Th, <sup>238</sup>U, <sup>93</sup>Nb, natCu, natLu, <sup>113&115</sup>In, <sup>185&187</sup>Re, <sup>181</sup>Ta, <sup>107&109</sup>Ag, <sup>165</sup>Ho, natYb, <sup>127</sup>I, <sup>133</sup>Cs, natDy, <sup>103</sup>Rh
  - GTAF-II: <sup>169</sup>Tm, <sup>93</sup>Nb, natRe, natXe, natSn, <sup>127</sup>I, natLa
- Total cross-section
  - <sup>12</sup>C, <sup>27</sup>Al, <sup>9</sup>Be, <sup>7</sup>Li, natFe, <sup>209</sup>Bi, natPb, natCr, <sup>9</sup>Be, <sup>169</sup>Tm
- Fission cross-section
  - <sup>235</sup>U, <sup>238</sup>U, <sup>236</sup>U, <sup>239</sup>Pu, <sup>232</sup>Th, <sup>239</sup>Pu, <sup>236</sup>U
- Light charged particle emission
  - LPDA: <sup>6</sup>Li(n, x), <sup>10</sup>B(n, x), <sup>63</sup>Ni, (n-d), <sup>17</sup>O, (n-p)弹散, <sup>12</sup>C(n,d), <sup>12</sup>C(n,α) (13C集团结构)
  - TPC样机: <sup>12</sup>C, <sup>14</sup>N, <sup>6</sup>Li
- Inelastic cross-section (in-beam gamma)
  - <sup>56</sup>Fe (n, n'), natMo, <sup>16</sup>O, natRu, natLu, natMo, natTi, <sup>209</sup>Bi, <sup>90</sup>Zr, <sup>55</sup>Cr, <sup>155</sup>Eu, <sup>178</sup>Hf, <sup>232</sup>Th

新增17个核素测量实验

# 探测器标定和测试实验

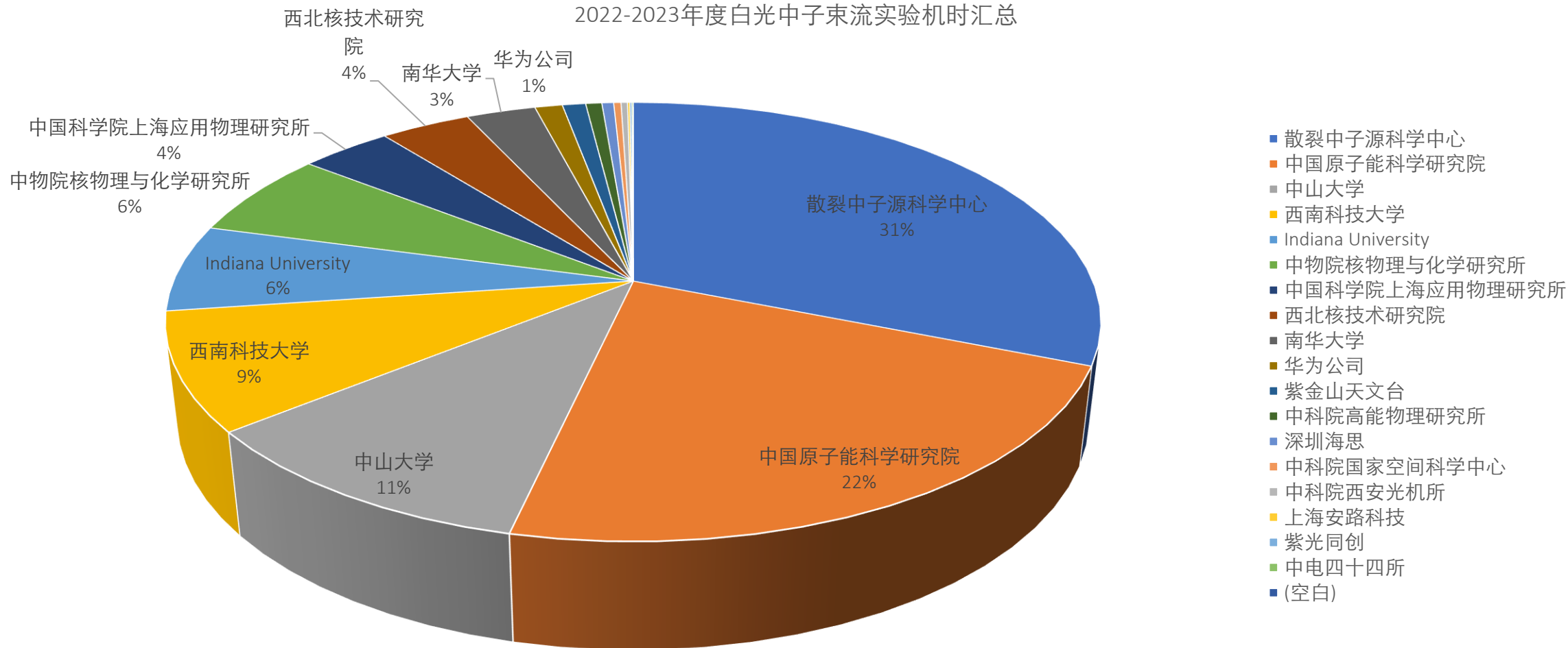
- 用户探测器标定和测试
  - 259小时（双束团）
  - 139小时（单束团） 6天
- 项目组内部实验-机器研究/谱仪发展
  - 实验供束：506小时
  - 谱仪带束测试：GTAF、TPC、瞬发中子谱测量、高纯锗探测器及电子学测试、锂玻璃探测器
  - 束流特征测量：束内gamma谱、热中子测量技术
  - 实验方法研究：溴化镧和碲锌镉探测器

# 其他类型实验

- 中子辐照
  - 芯片单粒子效应：12项实验，供束410小时
  - 实验单位：7家
  - 辐照器件类型：FPGA、SRAM、功率管、SiPM探测器等
  - 长期寄生辐照：多个，没有统计时间
- 中子共振成像和核素成分分析
  - 供束约175小时，2次实验

# 分单位实验机时统计

2022-2023年度白光中子束流实验机时汇总

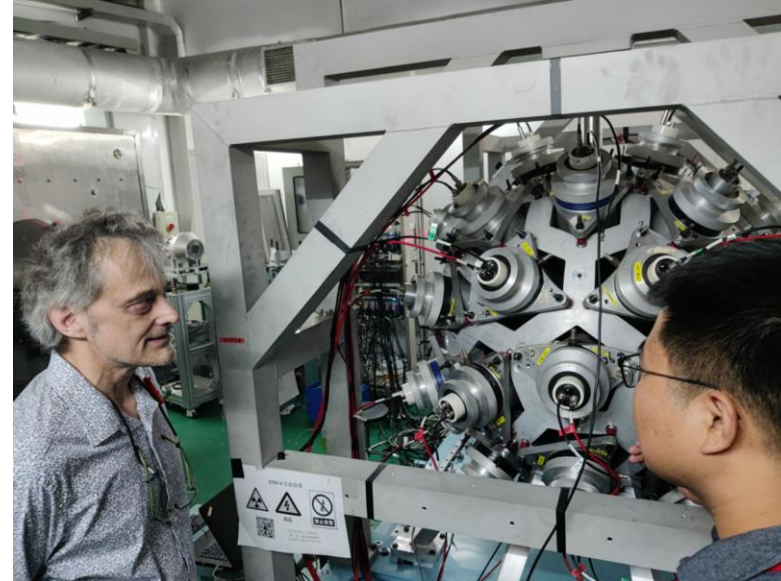


# 积极参与国内、国际合作

- 积极2023珠海核数据大会
- 积极参与ISINN国际会议
- NOPTREX国际合作组研讨会
- 白光中子实验装置第一位国外用户



参与ISINN会议

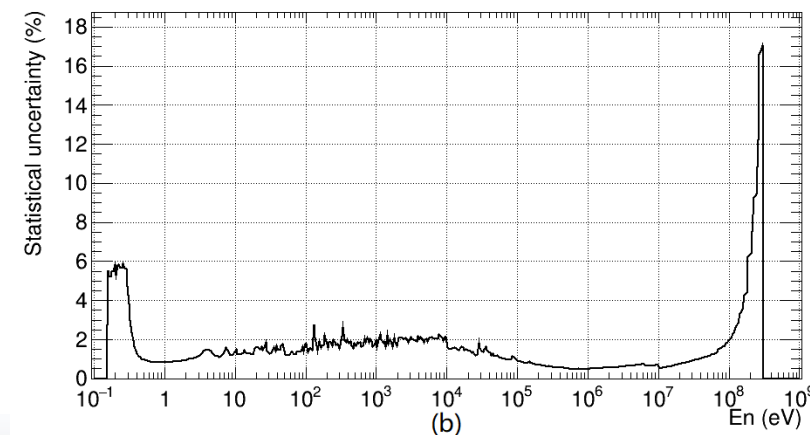
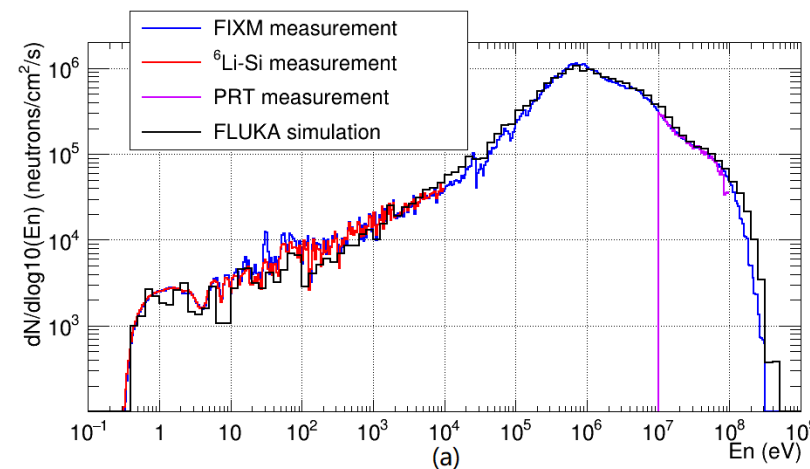
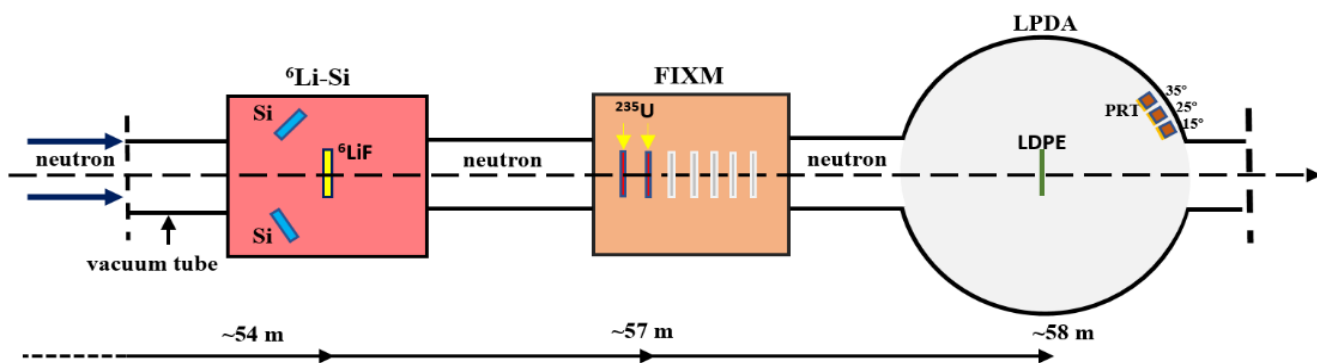


Back-n首位国际用户



# Back-n 能谱和注量测量实验

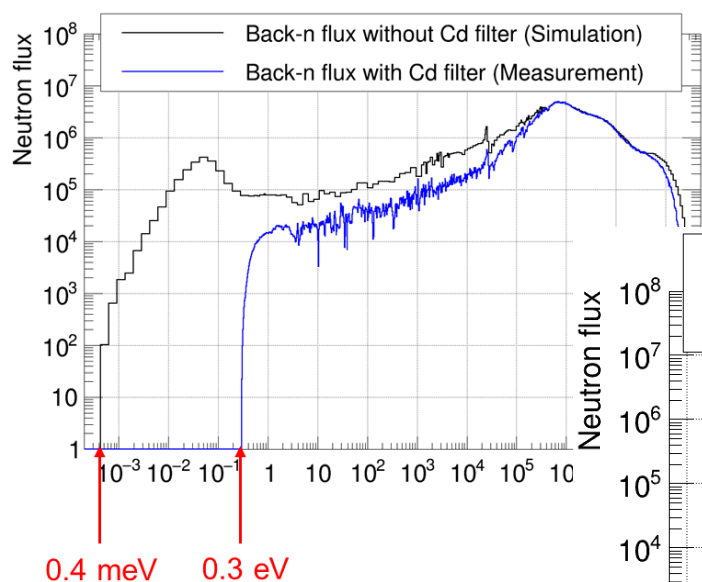
- 0.5 eV – 300 MeV能区Back-n ES#1小束斑能谱测量
- 三套探测器 (FIXM、 $^6\text{Li-Si}$ 、PRT) 同时在线测量
- 质量精确已知的 $^{235}\text{U}$ 样品确定绝对中子通量



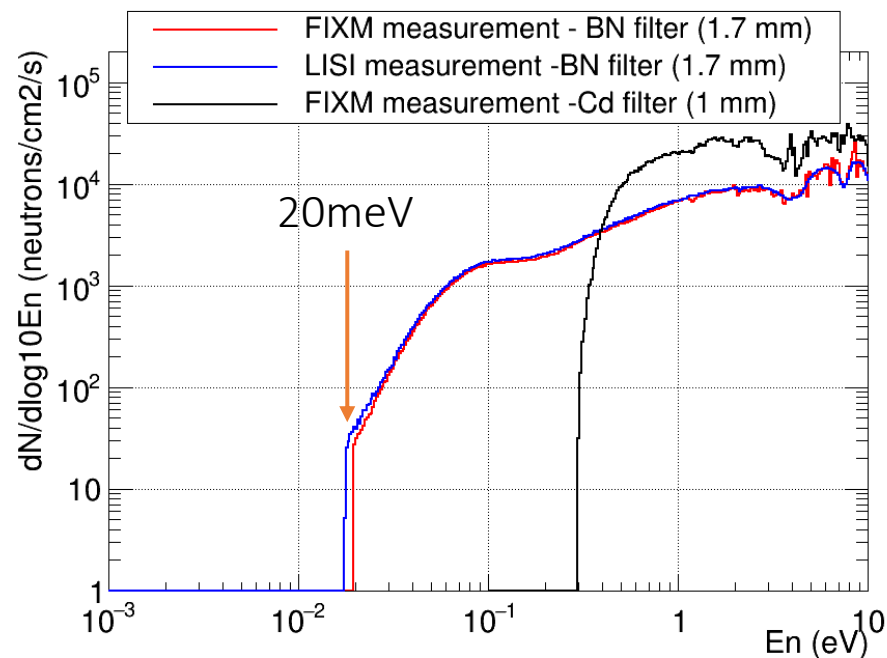
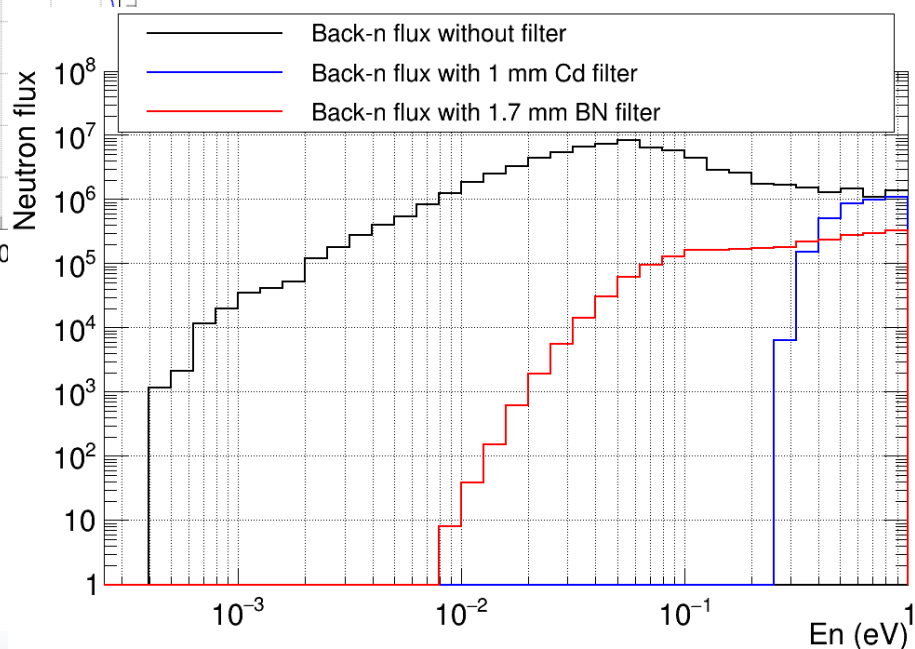
Detectors	Samples and reactions	Energy range
$^6\text{Li-Si}$	$^6\text{LiF}/^6\text{Li}(n, t)$	0.5 eV-10 keV
FIXM	$^{235}\text{U}/^{235}\text{U}(n, f)$	10 keV-300 MeV
PRT	LDPE/ $^1\text{H}(n, n)$	10 MeV-70 MeV

# 白光束线能区的拓展

- 热中子有诸多应用：核数据测量、成像、基础物理研究等。
- 使用1.7mm的BN可以将白光中子束线能区扩展到20meV以下。

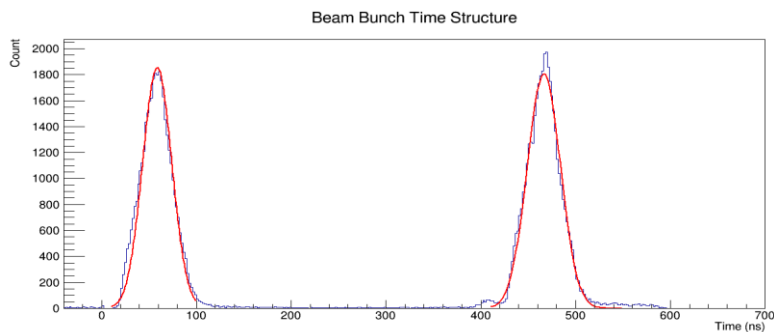


1.7 mm BN吸收片

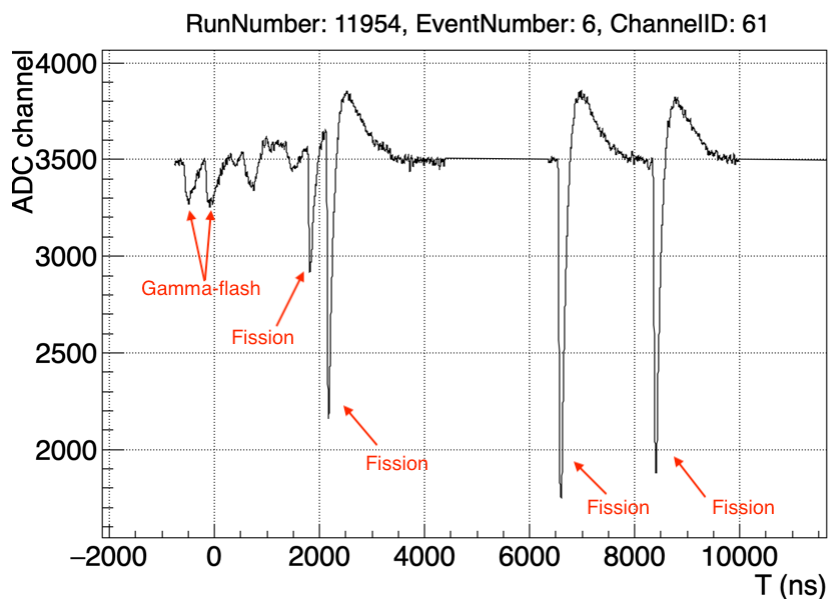


实验初步结果

# Back-n中子特征及信号时间结构



质子打靶的双束团结构



一个周期内探测器的典型波形

- 束团时间间隔:  $409.0 \pm 2.0$  ns
- 束团半高宽:  $41.6 \pm 2.0$  ns

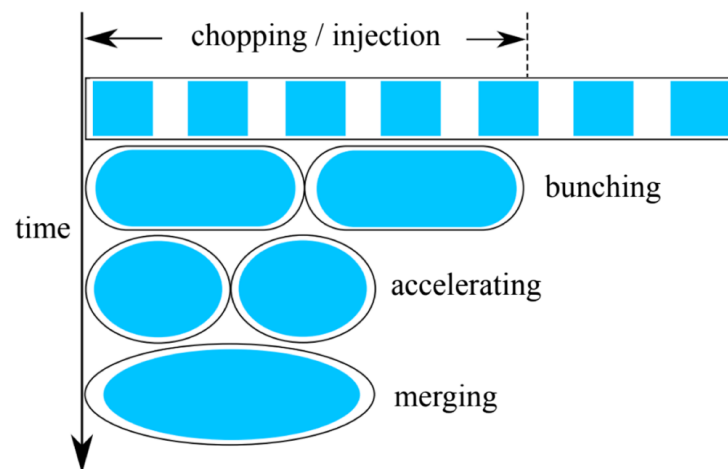


FIG. 1. Proposed scheme of the longitudinal proton beam manipulations in one beam cycle for the upcoming CSNS-II. The injected beams are bunched into two buckets with the initial harmonic number  $h_i = 2$ . Afterward, the two bunches are accelerated via increasing rf voltage. Finally, the two bunches are merged into one single bunch before extraction under the dual rf system with the initial harmonic  $h_i = 2$  and the final harmonic  $h_f = 1$ .

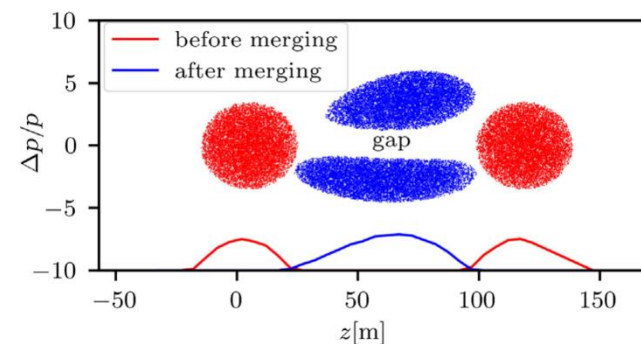
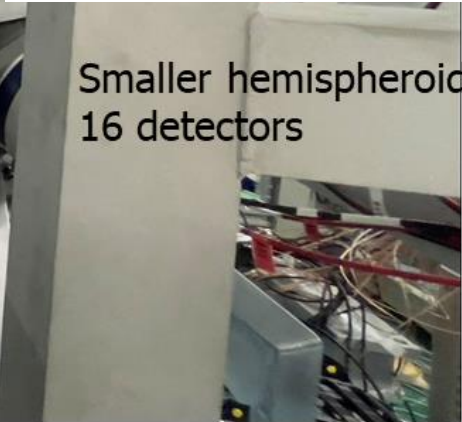
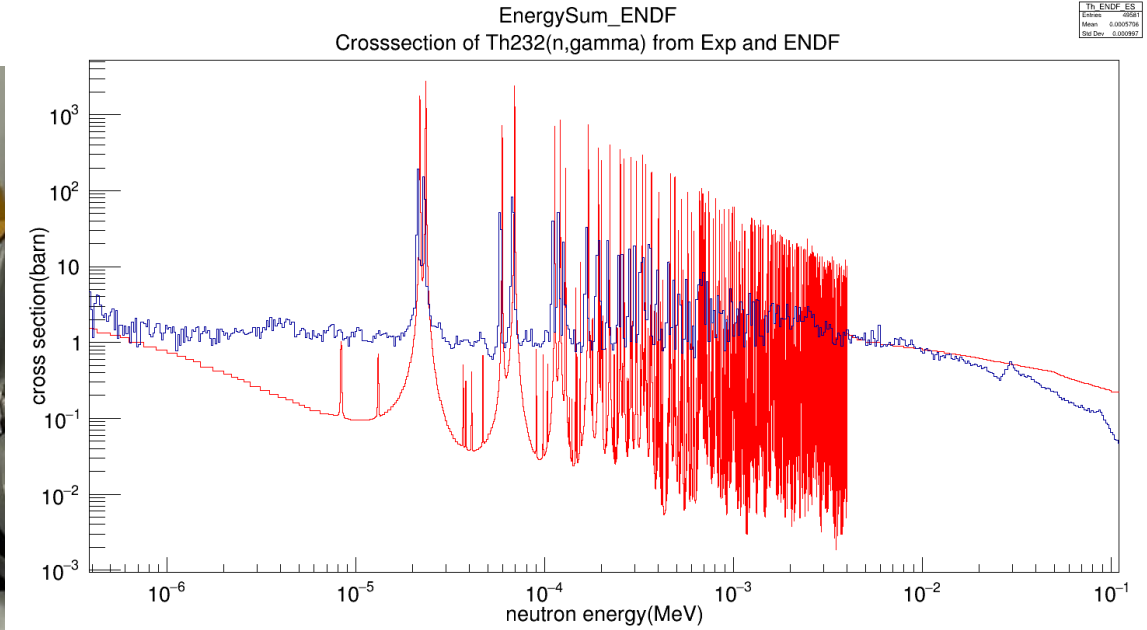
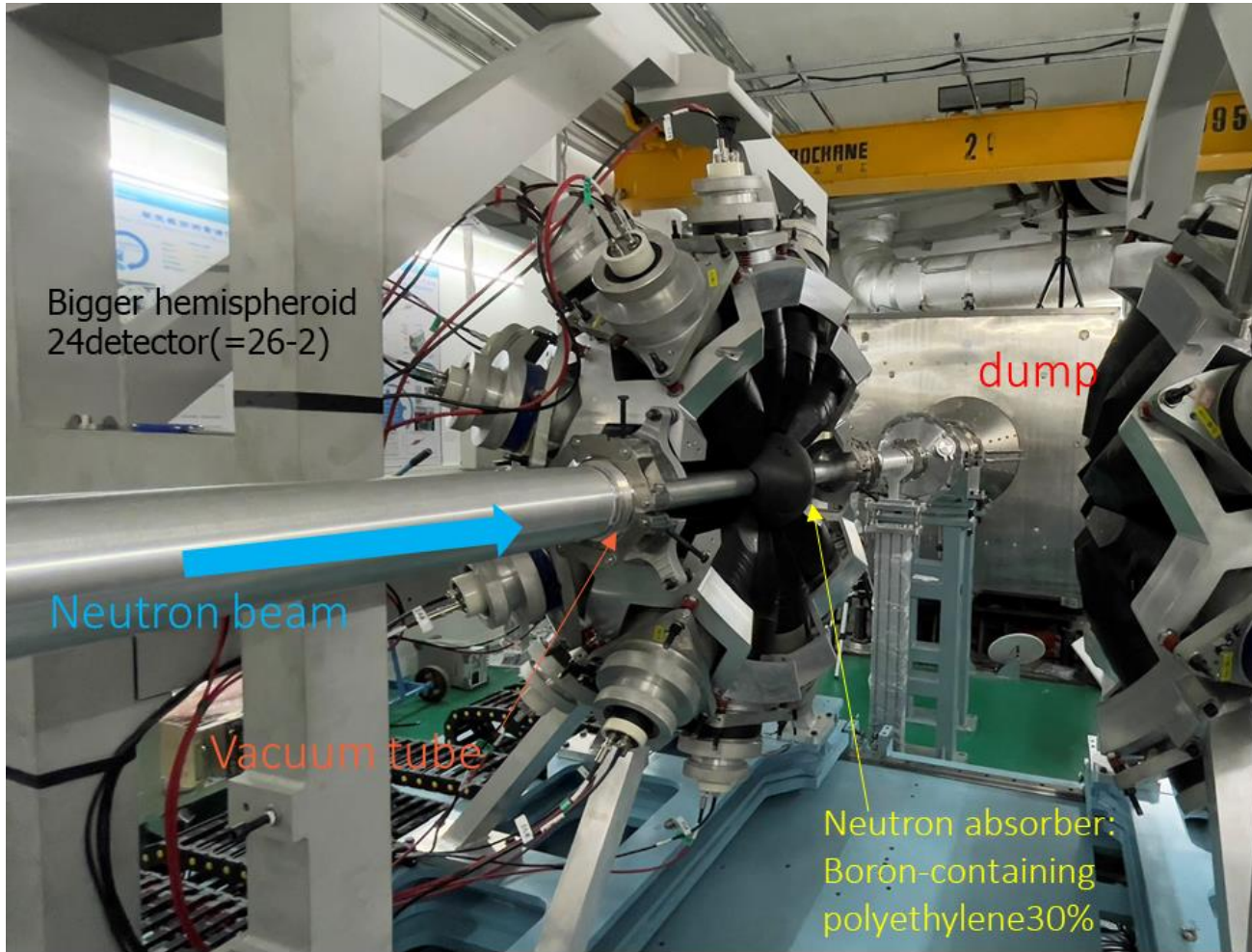


FIG. 14. Proposed proton bunch merging process in CSNS/RCS. The solid lines denote the line density profile.

加速器物理组正在利用CSNSII增加的RF系统将双束团进行融合，从而在未来实现单束团供束。

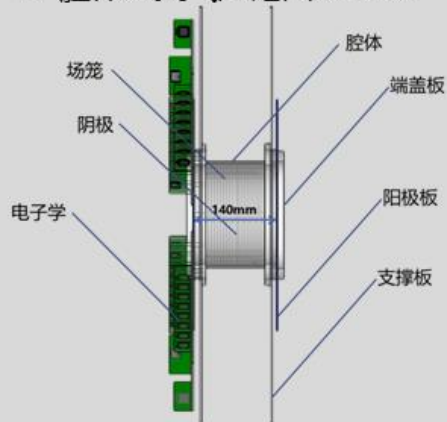
# GTAF探测器



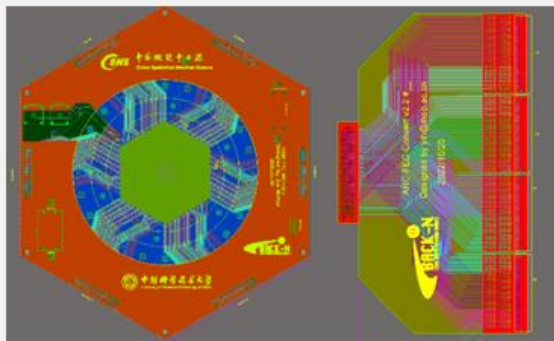
GTAF探测器已经基本完成调试，在今年下半年将投入正式使用。欢迎各位老师联系实验支持人员进行实验。

# MTPC发展

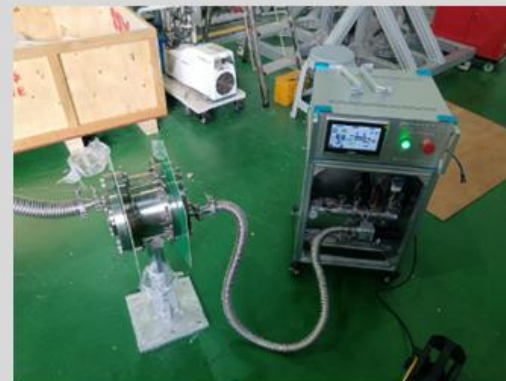
- 气室腔体:
  - 双端读出设计
  - 腔体承受气压范围0~5bar



- 阳极板和转接板:
  - 将pad层设置于inner层
  - v2转接板刚柔结合板

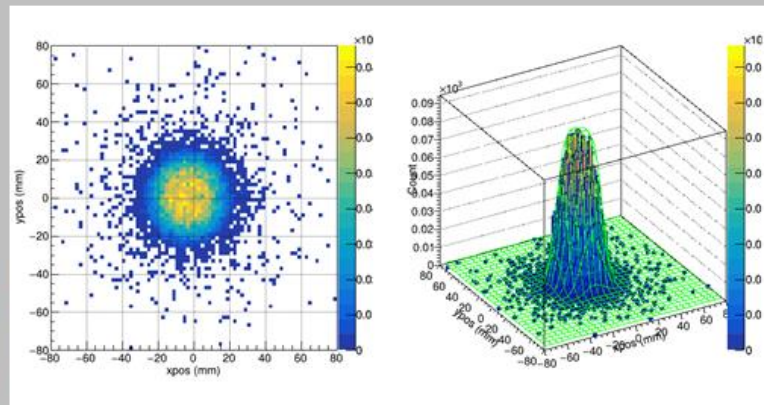


- 气路系统:
  - 可设定气压值,
  - 可远程进行压力调节



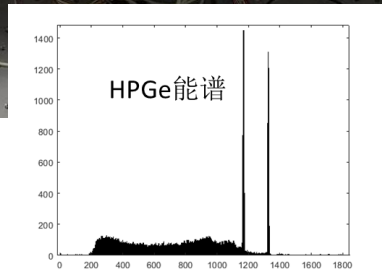
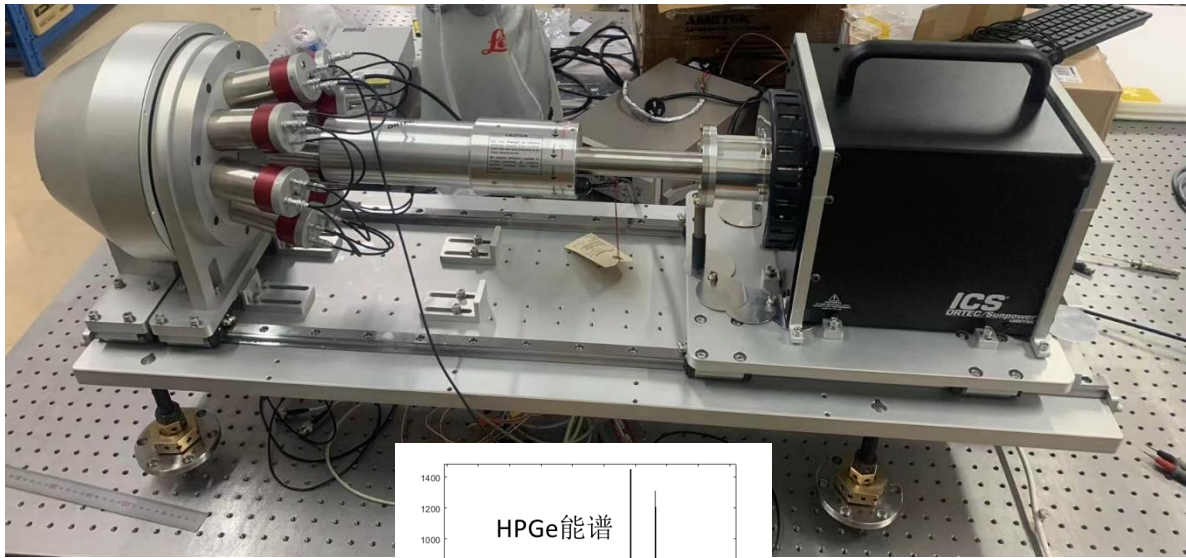
## 束流实验:

MTPC位于厅二, 阳极板距离散裂靶中心77m  
 主要测量目标反应 $6\text{Li}(n,t)4\text{He}$ 、束斑测量  
 束斑: 1mmGd-6cmPb- $\phi 12$ - $\phi 15$ - $\phi 40$ 组合

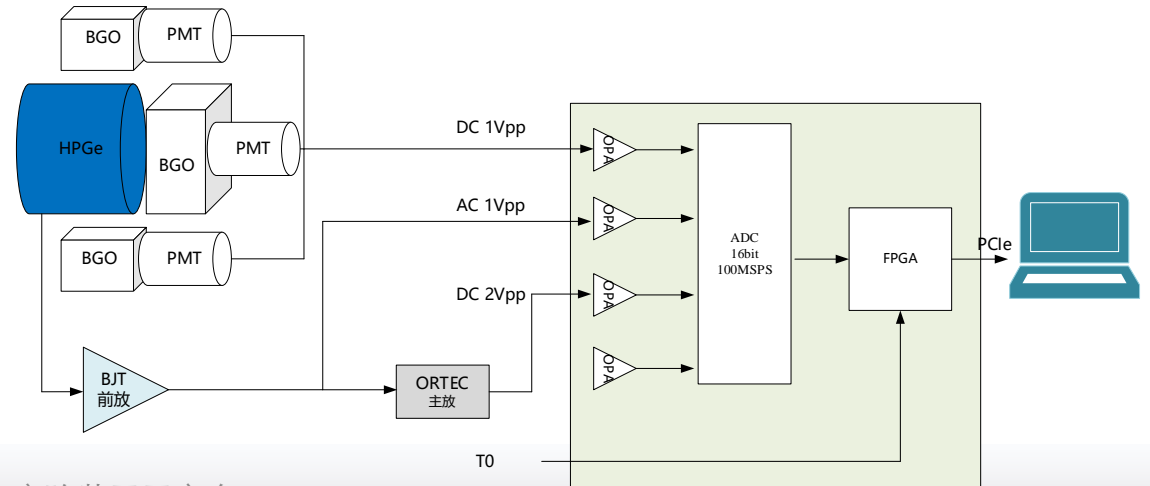


# 高纯锗探测器

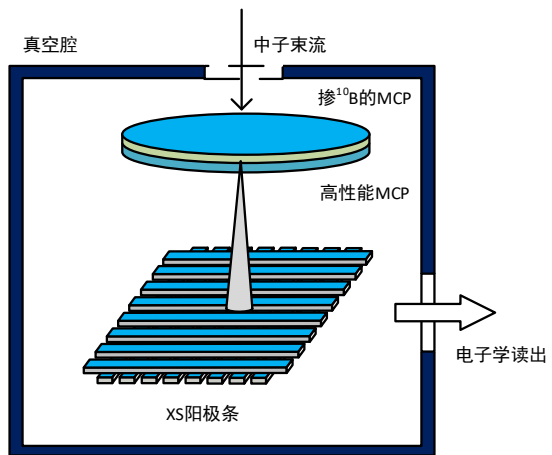
电制冷高纯锗探测器2022年12月到货，2023年2月测试验收40%效率，n型高纯锗，电制冷，晶体管复位型前放(超高计数率前放)；44.5 mm厚度 BGO晶体；8个光电倍增管读出；Scionix公司生产8个PMT高压线串联起来，8个PMT读出线串联读出；提供一个AMP1000-E2前放；读出电子学采用中科大曹平老师团队的基于共用电子学方案。



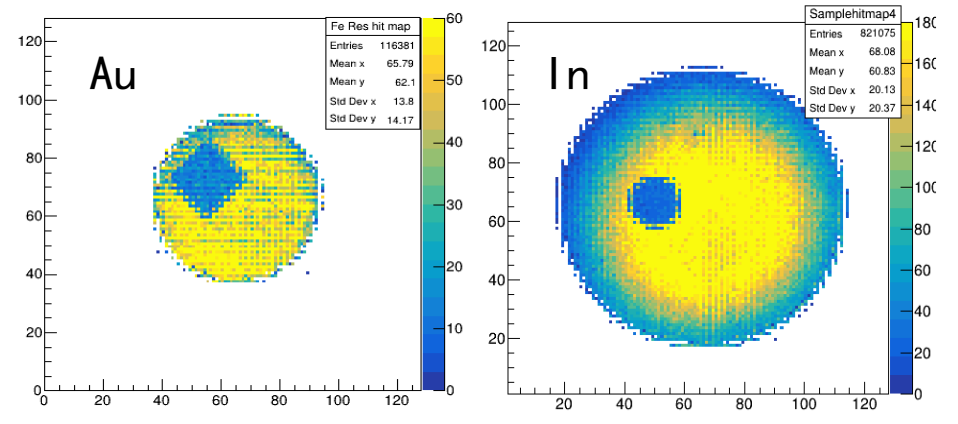
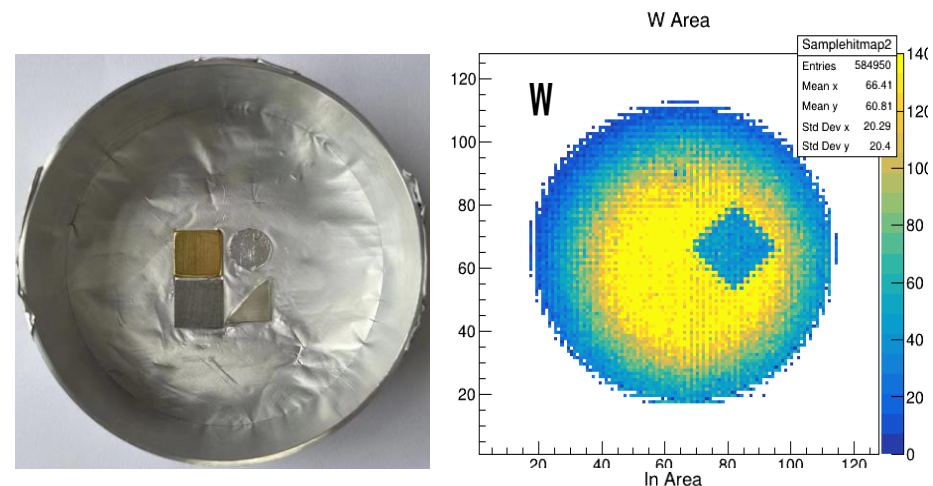
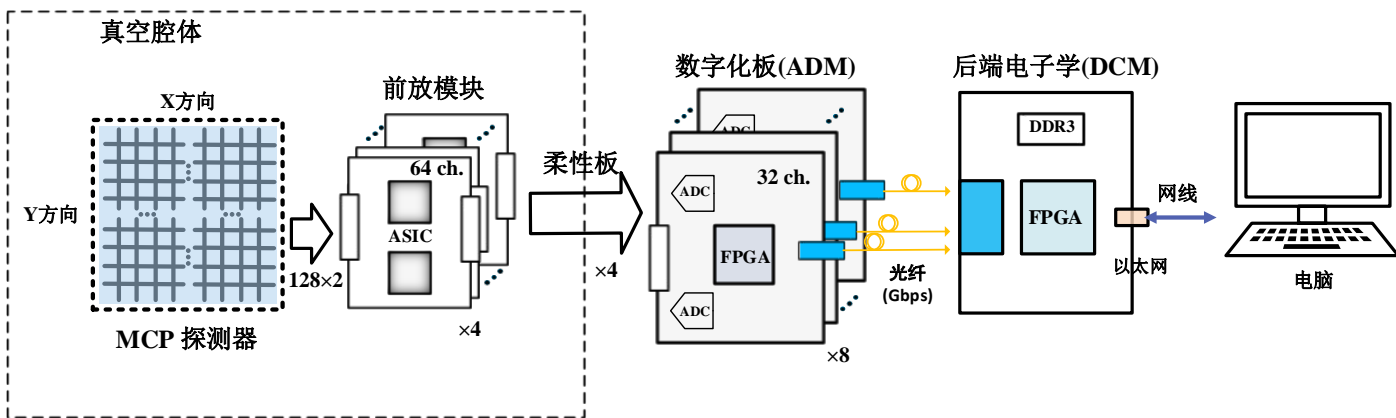
能量分辨为6.3 keV@1332.5 keV



# B-MCP照相系统



## B-MCP结构原理与实物对照



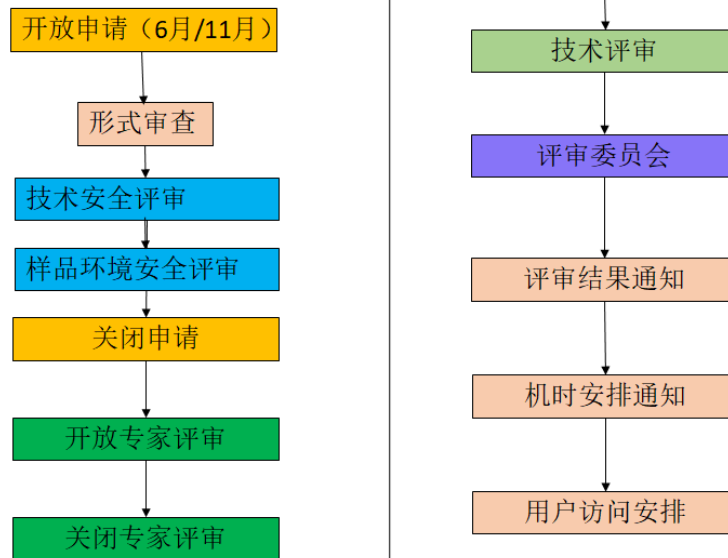
## 金属样品共振成像效果

# CSNS用户管理相关工作



用户只需与用户办联系，一站式服务（科研部门、所计算中心和研究部  
计算机网络系统组、行政办、技安办、资财办的支持）

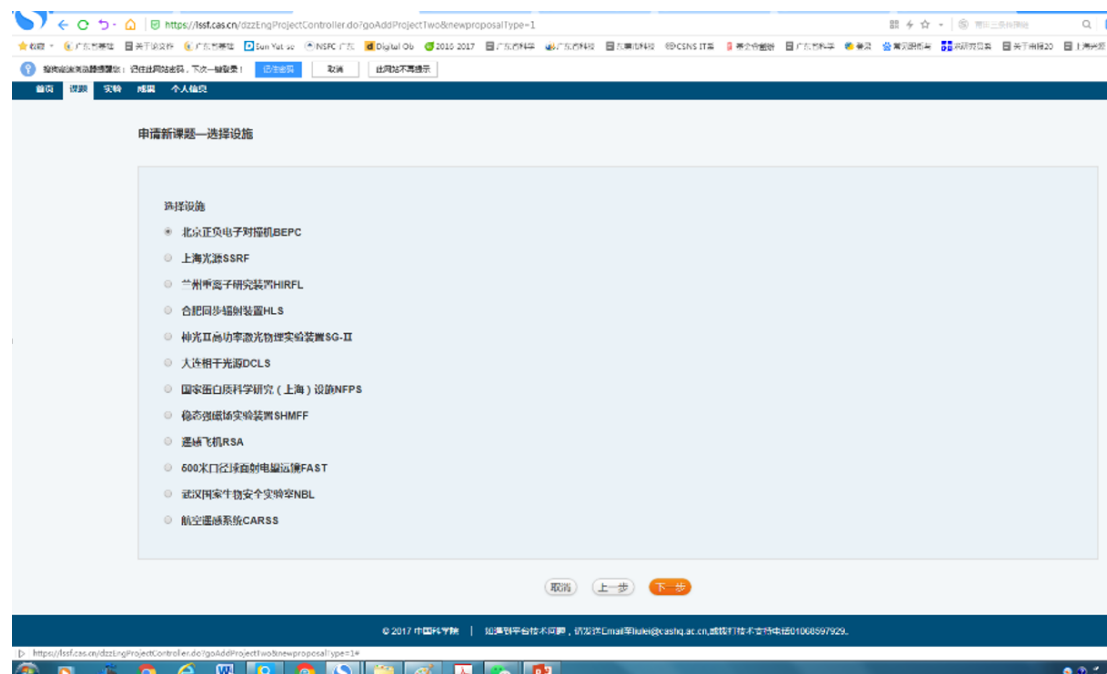
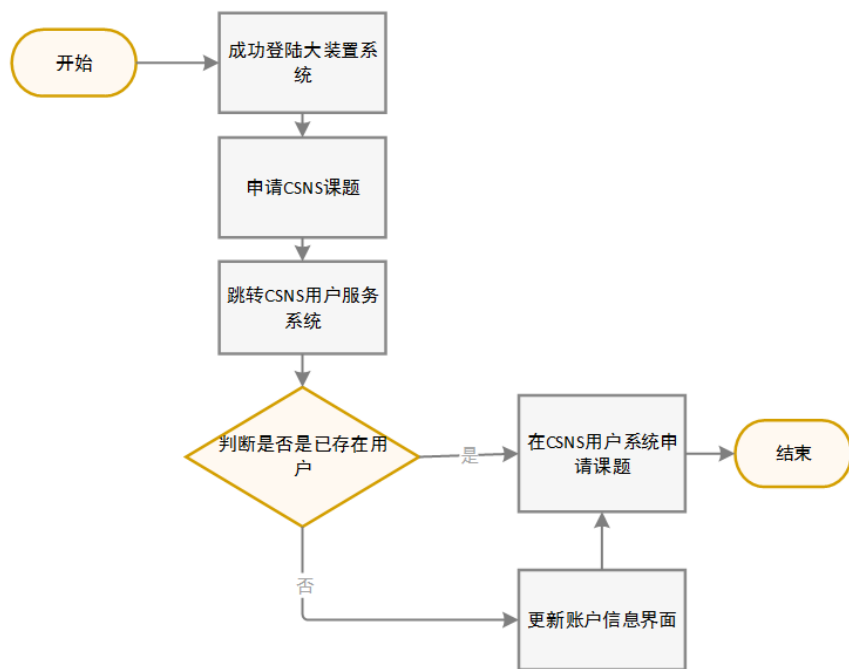
普通课题征集：一年开放两次，征集时间长度为1个月（常规的课题申请方式，整个审核过程完全在线进行）



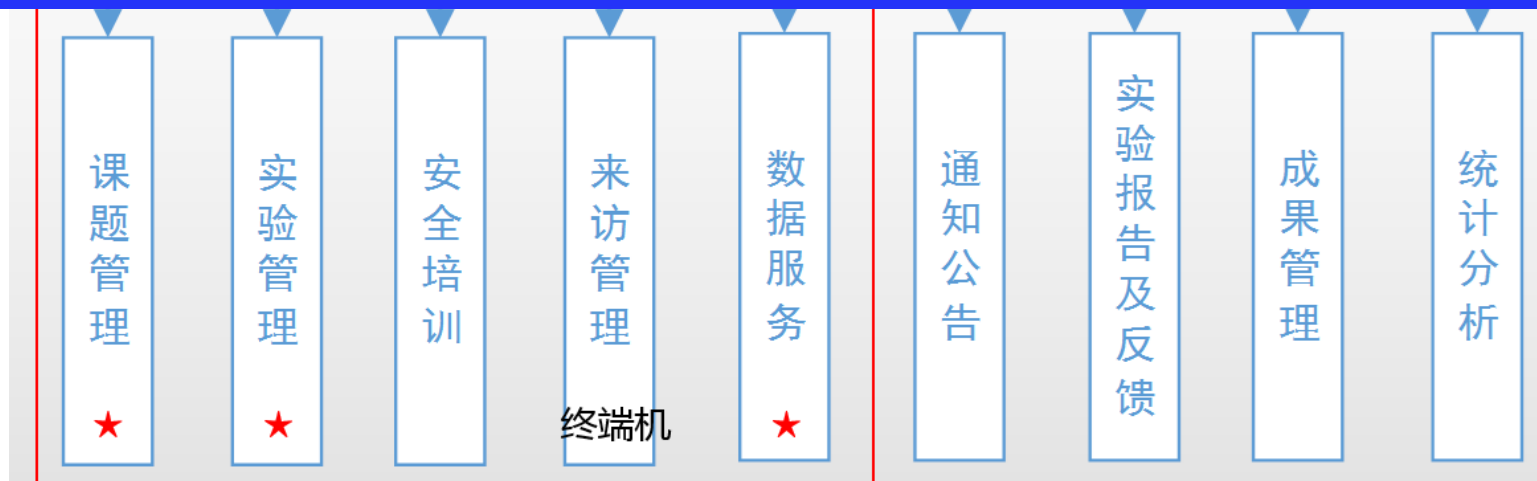


## 用户系统接大装置系统

- 1.实现用户互联互通（已实现）
  - 已登录用户从双方系统都可以跳转到对方系统
- 2.提案申请-所有csns提案申请都会跳转到csns用户系统申请

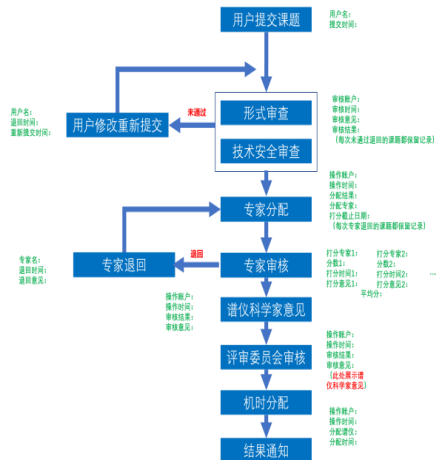
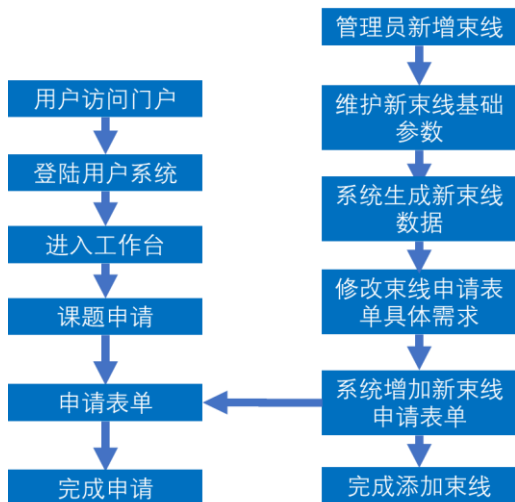


# CSNS用户系统升级改造



感谢所计算中心和研究部计算机网络系统组的支持

## ◆ 搭建动态束线和谱仪课题管理流程 靶站谱仪课题评审流程

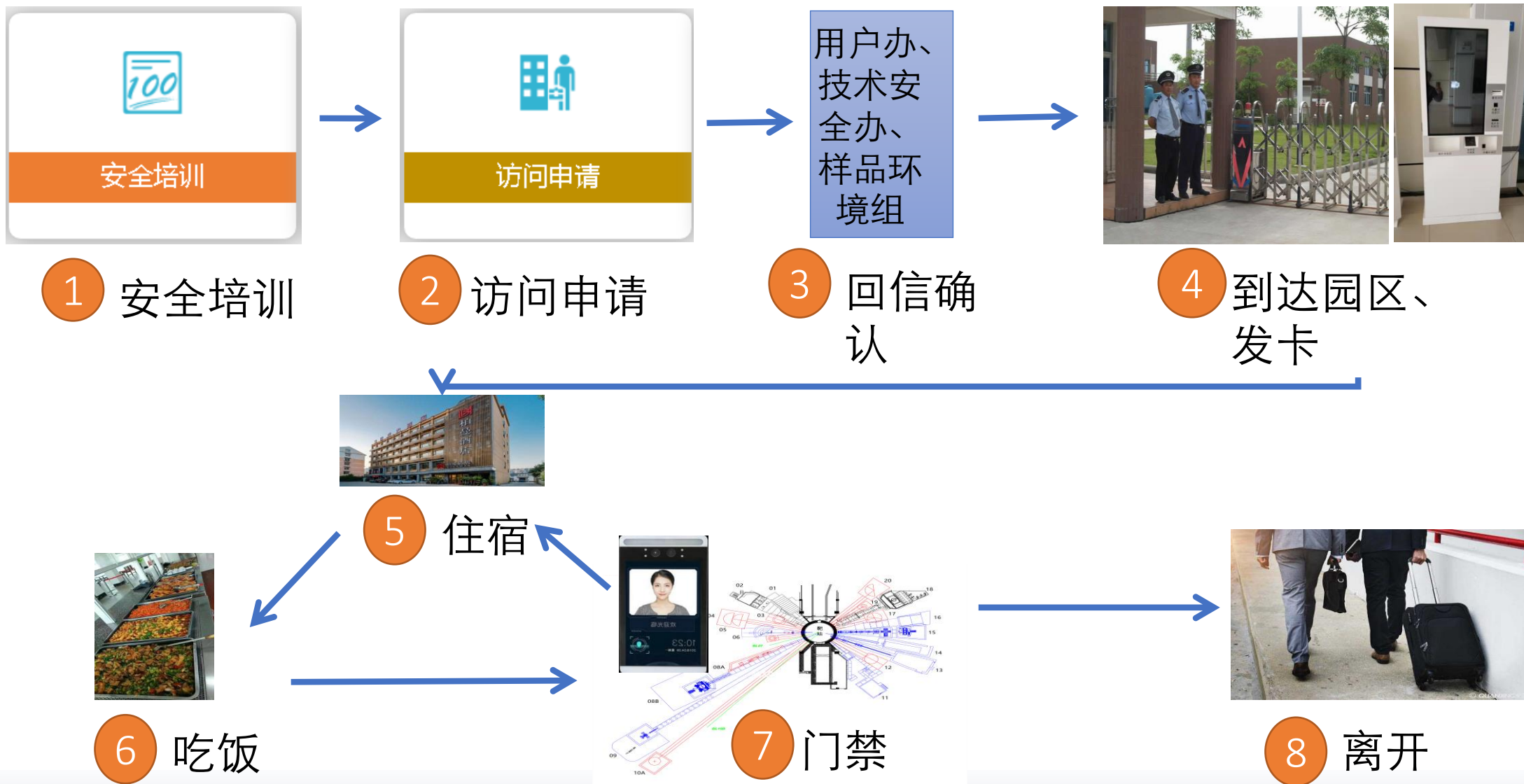


## ◆ 搭建评审流程, 样品与样品环境管理流程 束流扩展应用系统搭建 (白光+中能质子束流)



感谢技术安全办的支持

# 终端机--流程



# CSNS用户系统升级



## 用户机时和到访预约系统定制 调研上海光源，结合CSNS需求

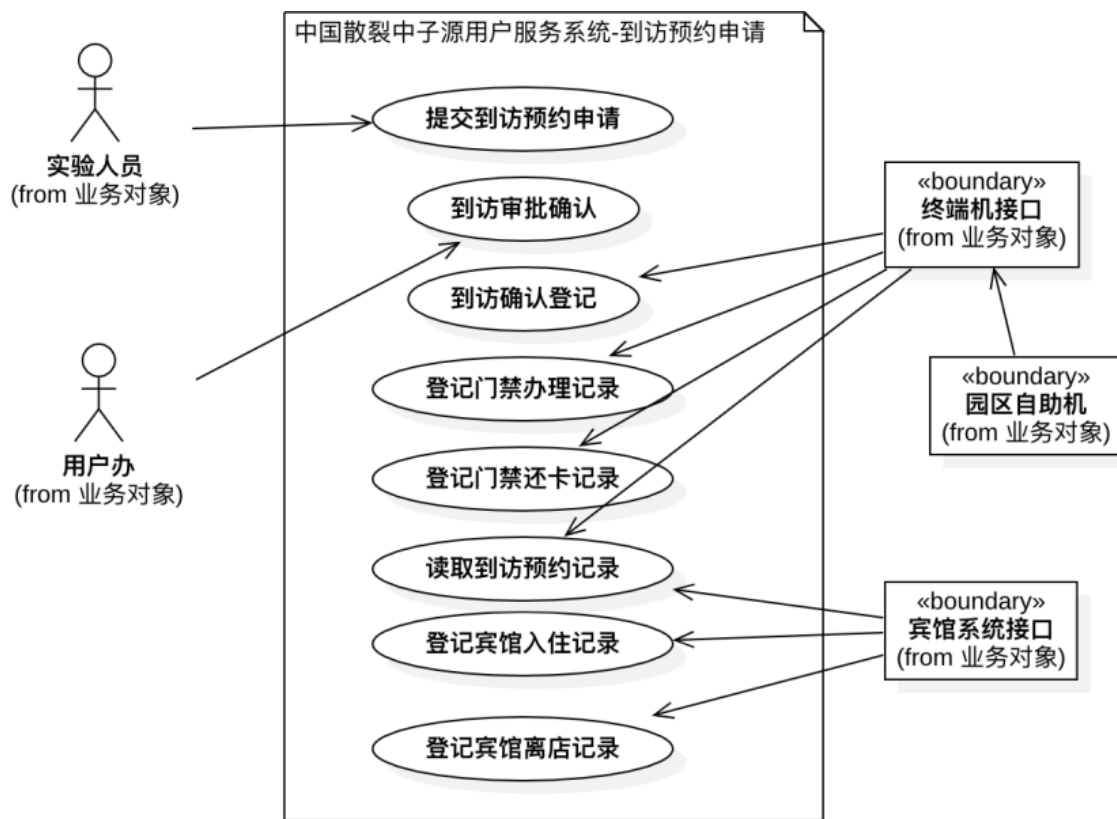


图 37 到访预约申请系统用例图

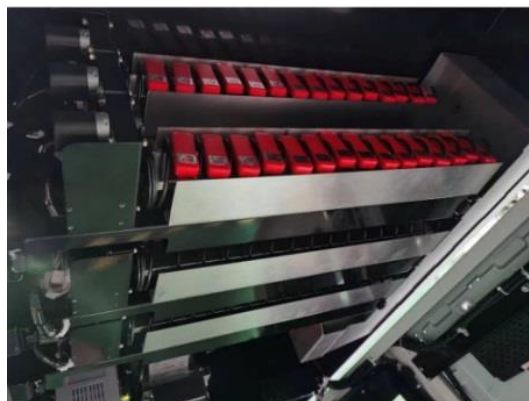
## 用户课题系统与后勤系统的搭建和对接 建立后勤网络管理系统 (行政办支持), 定制柜机



# CSNS用户系统升级

**终端机系统定制**  
调研上海光源，结合CSNS需求

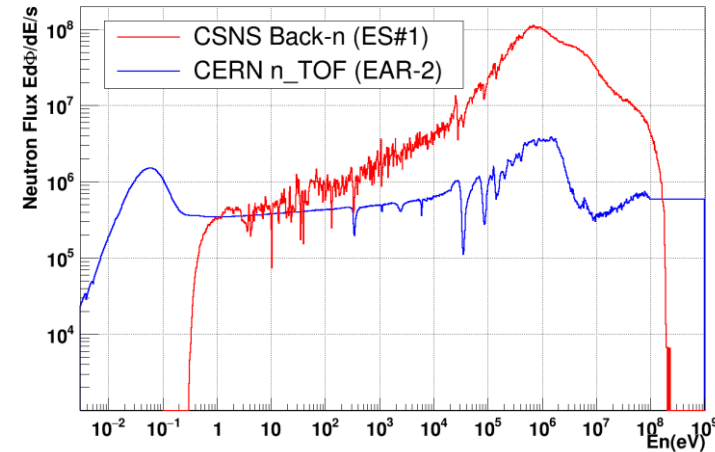
**用户课题系统与后勤系统的搭建和对接**  
建立后勤网络管理系统（行政办支持），定制柜机



# 天体物理方面的重要需求



- 反应截面小 (mb- $\mu$ b)
- 重要的天体截面靶制备困难, 或具有放射性
- 对中子能量需求1-300 keV
- **对中子源的要求: 在共振区具有高通量**



	n_TOF	Back-n
能量范围	2 meV – 1 GeV	0.3 eV- 300 MeV
面积积分通量(n/s)	$1.89 \times 10^7$	$3.66 \times 10^8$

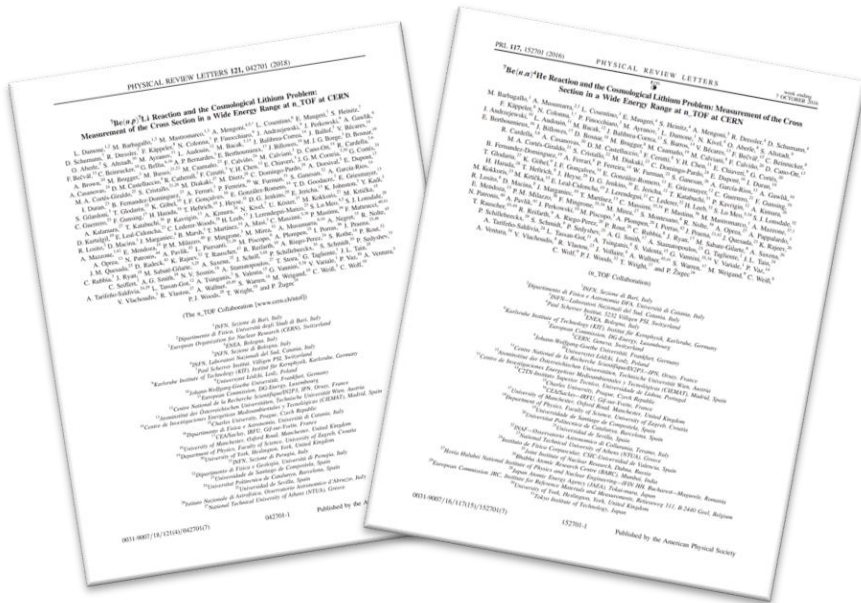


Table 1  
Comparison of facility parameters

Parameter	ORELA	MLNSC	CERN-TOF	SNS			
Flight path length (m)	40	10	8 <sup>a</sup>	20	80	230 <sup>b</sup>	20
Power (kW)	8	50	64	64	45	45	2000
Flux (neutrons/s/eV/cm <sup>2</sup> ) at 30 keV	0.10	10	28	28	8.5	1.0	1200
Integral flux (neutrons/s/cm <sup>2</sup> ) 1–300 keV	$2.0 \times 10^4$	$2.0 \times 10^6$	$4.6 \times 10^6$	$4.6 \times 10^6$	$1.5 \times 10^6$	$1.9 \times 10^5$	$2.1 \times 10^8$
$\Delta t$ ( $\mu$ s) 1–300 keV	82.4	20.6	16.5	41.2	165	474	41.2
Repetition rate (s <sup>-1</sup> )	525	1000	20	20	1.67	1.67	60
FOM (neutrons/s/cm <sup>2</sup> ) 1–300 keV	$4.6 \times 10^5$	$9.7 \times 10^7$	$1.4 \times 10^{10}$	$5.6 \times 10^9$	$5.4 \times 10^9$	$2.4 \times 10^8$	$8.5 \times 10^{10}$
Pulse width (ns)	8	24	125	125	7	7	350
Intrinsic resolution (ns/m)	0.20	2.4	16	6.2	0.088	0.030	18

<sup>a</sup>The flux and FOM for the “as built” 8-m flight path at MLNSC are given in this table. As explained in the text, the flux on this flight path was restricted by collimator limitations.

<sup>b</sup>In some reports from CERN, the flight path is listed as 200 m.

n\_TOF近期的两篇PRL均发表于高通量的EAR2上, 解释大爆炸中<sup>7</sup>Li含量异常

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 460 (2001) 352-361

2023年CSNS反角白光中子实验装置用户会

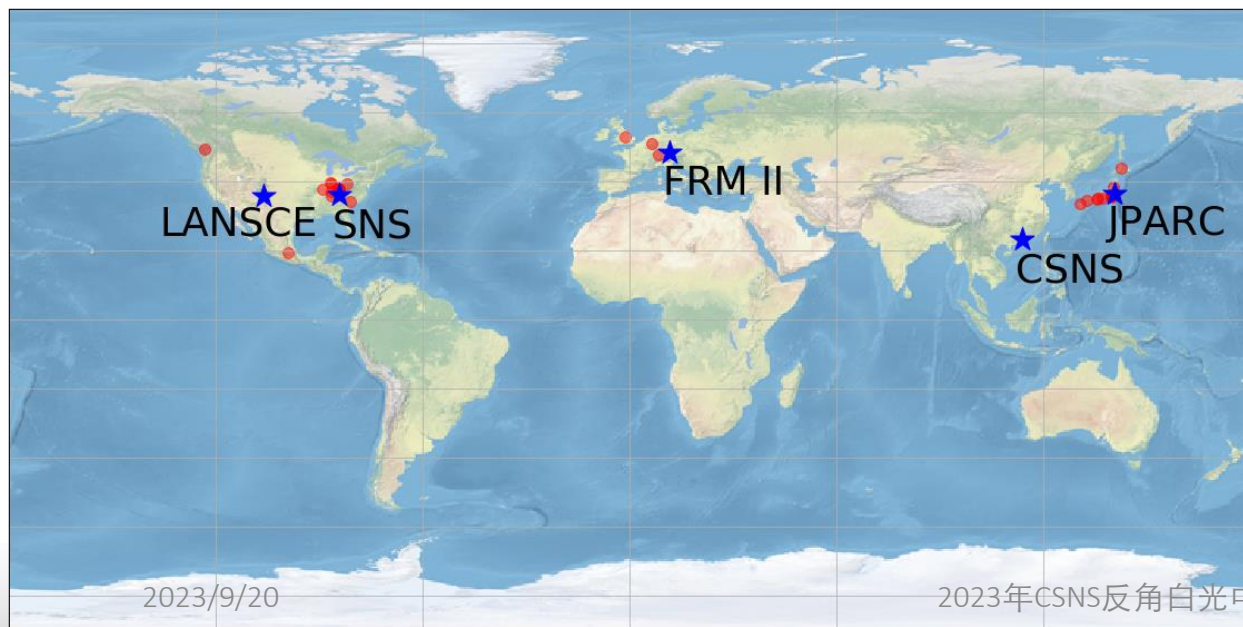
# CSNS上可开展的核天体物理实验

- s-过程核中子俘获反应
  - 几乎所有截面都是可以测量的目标
- 稀有核素的中子诱发核反应
- 决定某核素产生的关键(n, p)、(n,  $\alpha$ )等反应
  - 解决星际物质和AGB星 $^{17}\text{O}$ 丰度异常问题： $^{17}\text{O}(\text{n}, \alpha)^{14}\text{C}$ 关键能区反应截面；
  - 测量 $^{25}\text{Mg}(\text{n}, \alpha)^{22}\text{Ne}$ 反应（其逆反应为大质量AGB星s过程中子源，锦屏二期重要物理目标之一）。

# NOPTREX Collaboration List October 2022

C. Auton<sup>16</sup>, E. Babcock<sup>29</sup>, M. Barlow<sup>30</sup>, L. Barron-Palos<sup>27</sup>, J. D. Bowman<sup>18</sup>, J. Carini<sup>16</sup>, L. E. Charon-Garcia<sup>27</sup>, E. Y. Chekmenev<sup>32</sup>, C. Crawford<sup>19</sup>, J. Curole<sup>16</sup>, K. Dickerson<sup>16</sup>, J. Doskow<sup>16</sup>, D. Eigelbach<sup>20</sup>, S. Endoh<sup>1,3</sup>, R. Fan<sup>15</sup>, J. Fry<sup>24</sup>, H. Fujioka<sup>7</sup>, B. M. Goodson<sup>22</sup>, V. Gudkov<sup>17</sup>, C. Haddock<sup>21</sup>, K. Hagino<sup>11</sup>, H. Harada<sup>3</sup>, P. Hautle<sup>28</sup>, M. Hino<sup>11</sup>, K. Hirota<sup>1</sup>, I. Ide<sup>1</sup>, M. Inuma<sup>6</sup>, H. Ikegami<sup>10</sup>, T. Ino<sup>4</sup>, R. Ishiguro<sup>13</sup>, S. Ishimoto<sup>4</sup>, K. Ishizaki<sup>1</sup>, T. Iwata<sup>9</sup>, C. Jiang<sup>18</sup>, W. Jiang<sup>15</sup>, K. Kameda<sup>7</sup>, G. N. Kim<sup>14</sup>, A. Kimura<sup>3</sup>, P. King<sup>23</sup>, M. Kitaguchi<sup>1</sup>, Y. Kiyonagi<sup>1</sup>, J. Koga<sup>2</sup>, H. Kohri<sup>8</sup>, A. Komives<sup>31</sup>, S. W. Lee<sup>14</sup>, H. Lu<sup>16</sup>, G. Luan<sup>34</sup>, D. Lutes<sup>16</sup>, M. Luxnat<sup>16</sup>, T. Matsushita<sup>1</sup>, M. McCrea<sup>36</sup>, K. Mishima<sup>4</sup>, Y. Miyachi<sup>9</sup>, T. Momose<sup>5</sup>, T. Morishima<sup>1</sup>, Y. Niinomi<sup>1</sup>, I. Novikov<sup>25</sup>, T. Okudaira<sup>1</sup>, K. Ogata<sup>8</sup>, T. Oku<sup>3</sup>, G. Otero<sup>16</sup>, J. Peck<sup>19</sup>, S. Penttila<sup>18</sup>, A. Perez-Martin<sup>27</sup>, B. Plaster<sup>19</sup>, X. Ruan<sup>34</sup>, D. Sahibnazarova<sup>19</sup>, K. Sakai<sup>3</sup>, S. Samiei<sup>16</sup>, D. Schaper<sup>20</sup>, R. Shchepin<sup>33</sup>, T. Shima<sup>8</sup>, H. M. Shimizu<sup>1</sup>, W. M. Snow<sup>16</sup>, D. Spayde<sup>35</sup>, H. Tada<sup>1</sup>, J. Tang<sup>15</sup>, Z. Tang<sup>20</sup>, Y. Tani<sup>7</sup>, S. Takada<sup>2</sup>, Y. I. Takahashi<sup>11</sup>, D. Takahashi<sup>12</sup>, K. Taketani<sup>8</sup>, K. Tateishi<sup>10</sup>, X. Tong<sup>15</sup>, T. Uesaka<sup>10</sup>, J. Vanderwerp<sup>16</sup>, M. Veillette<sup>26</sup>, G. Visser<sup>16</sup>, N. Wada<sup>1</sup>, Y. Wang<sup>19</sup>, T. Yamamoto<sup>1</sup>, Y. Yamagata<sup>10</sup>, X. Yamanaka<sup>1</sup>, H. Yoshikawa<sup>8</sup>, T. Yoshioka<sup>2</sup>, M. Yosoi<sup>8</sup>, M. Zhang<sup>15,16</sup>, Q. Zhang<sup>34</sup>, G. Ziemyte<sup>19</sup>

<sup>1</sup>Nagoya, <sup>2</sup>Kyushu, <sup>3</sup>JAEA, <sup>4</sup>KEK, <sup>5</sup>British Columbia, <sup>6</sup>Hiroshima, <sup>7</sup>Tokyo Inst. Tech., <sup>8</sup>Osaka, <sup>9</sup>Yamagata, <sup>10</sup>RIKEN, <sup>11</sup>Kyoto, <sup>12</sup>Ashikaga, <sup>13</sup>Japan Women's, <sup>14</sup>Kyungpook, <sup>15</sup>CSNS, <sup>16</sup>Indiana, <sup>17</sup>South Carolina, <sup>18</sup>ORNL, <sup>19</sup>Kentucky, <sup>20</sup>LANL, <sup>21</sup>Phase III Physics, <sup>22</sup>Southern Illinois, <sup>23</sup>Ohio, <sup>24</sup>Eastern Kentucky, <sup>25</sup>Western Kentucky, <sup>26</sup>Berea, <sup>27</sup>UNAM, <sup>28</sup>PSI, <sup>29</sup>Juelich, <sup>30</sup>Nottingham, <sup>31</sup>DePauw, <sup>32</sup>Wayne State, <sup>33</sup>SDSM&T, <sup>34</sup>CIAE, <sup>35</sup>Hendrix, <sup>36</sup>Manitoba

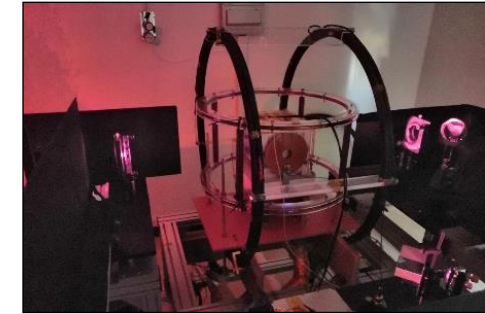
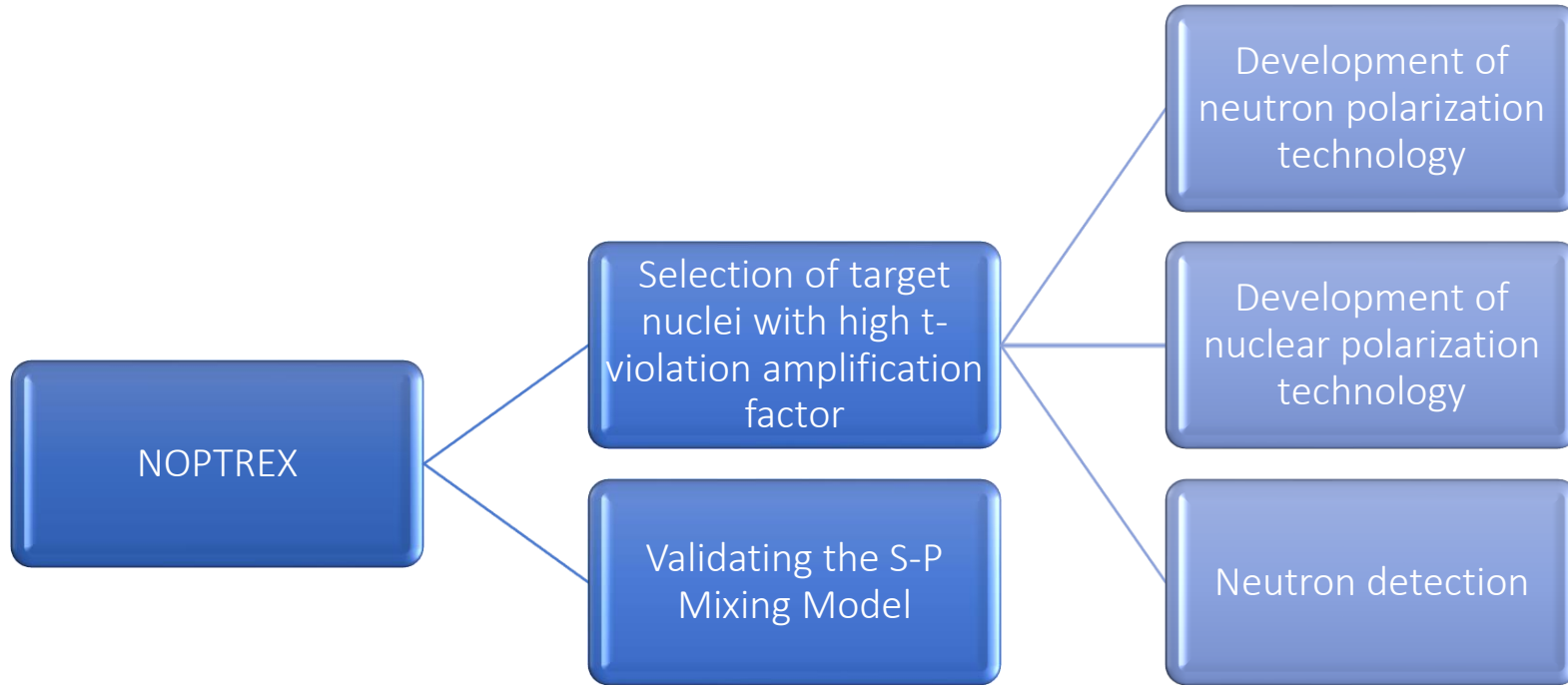


**NOPTREX**  
Neutron Optical Parity and Time-Reversal EXperiment

One experiment:  
Five neutron sources



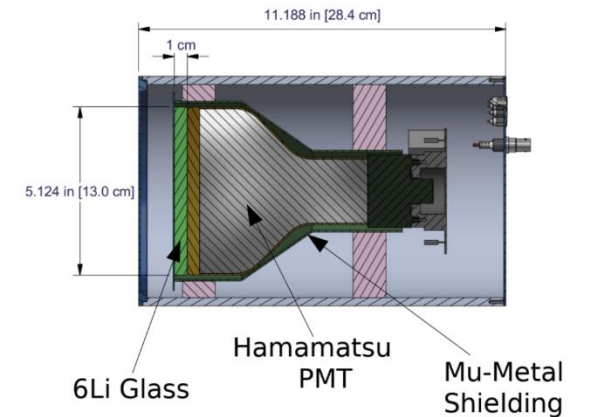
# NOPTREX roadmap



$^3\text{He}$  spin-exchange optical pumping

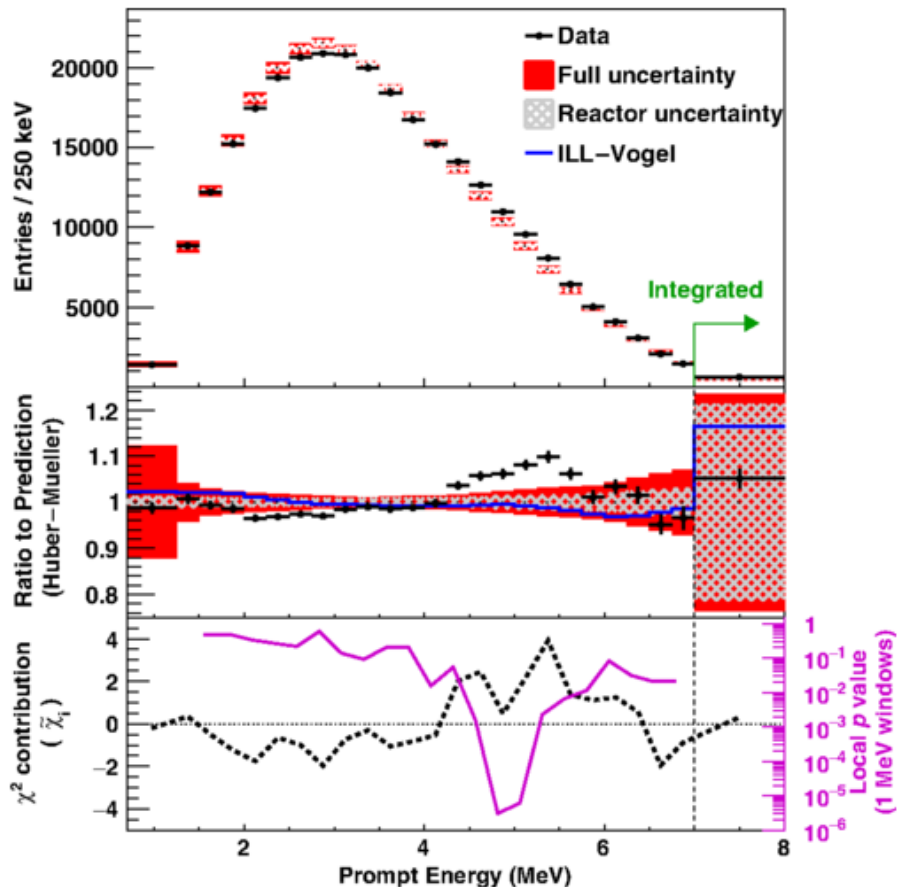


dynamic nuclear polarization

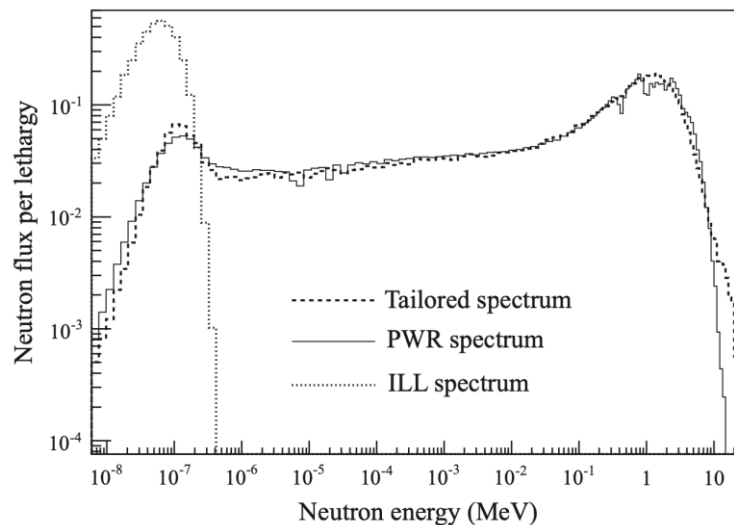


Side view of the detector design

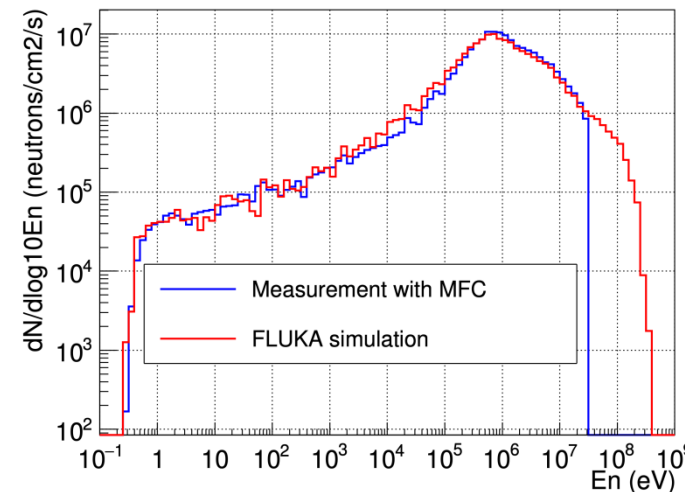
# 反应堆中微子实验测量与理论的能谱偏差



大亚湾测量中微子快信号能谱和模型预期能谱对比, 4~6MeV有明显超出



压水堆堆芯中子能谱和ILL实验反应堆热中子能谱



白光中子源实验厅1处中子能谱

- 所有的基于反应堆的中微子实验均存在测量与理论计算的中微子能谱偏差问题；
- 上世纪80年代法国劳厄-朗之万研究所 (Institute Laue-Langevin, ILL) 利用反应堆测量了反应堆核素裂变 $\beta$ 能谱, 是目前计算反应堆核素预期中微子能谱中广泛采用的实验数据；
- 一些理论提出反应堆中子能量与堆芯中子能量偏差是误差的主要来源。

1. J.K.Ahn et al. (RENO Collaboration), Phys. Rev. Lett. 108:191802, (2012)
2. Q.An et al. Back-n white neutron facility for nuclear data measurements at CSNS, Journal of Instrumentation, 12, (2017)
3. JUNO collaboration, Neutrino Physics with JUNO, JOURNAL OF PHYSICS G-NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS, 2016, 43 (3).
4. Patrick Huber. Reactor antineutrino fluxes – Status and challenges. Nuclear Physics B, 908 (2016) 268–278
5. Asner, D.M. et al. Method of fission product beta spectra measurements for predicting reactor anti-neutrino emission. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2015. 776: p. 75-82.

# 未来规划

## 1. 努力加强用户支持服务工作：

- 用户系统升级提升用户实验申请体验、确保束流申请公平公开
- 并入散裂用户委员会体系，提高束流规划的影响力
- 继续完善谱仪管理制度及支持模式：GTAF、MTPC、B-MCP、PFNS.....

## 2. 继续发展探测器谱仪系统：

- 继续扩大高纯锗阵列
- 持续研究新型gamma探测器阵列：溴化镧、碲锌镉.....
- 研究新型抗辐照半导体探测器：金刚石、SiC、BN、LiXSe.....

## 3. 针对重点实验进行规划拓展：

- 天体核物理相关反应
- NOPTREX国际合作实验
- 裂变 $\beta$ 谱测量.....

# 欢迎成为Back-n用户

群聊: 白光用户群



该二维码 7 天内 (9月25日前) 有效, 重新进入将更新

## 2018年第二届白光中子源用户会议合影



## CSNS反角白光中子源第六届用户研讨会

中山大学珠海校区 2022.8.20

