

中国科学院高能物理研究所
Institute of High Energy Physics
Chinese Academy of Sciences

用于高通粉末衍射谱仪的 位置灵敏型中子探测器

核探测与核电子学国家重点实验室
中国科学院高能物理研究所

报告人:唐彬

2012年8月



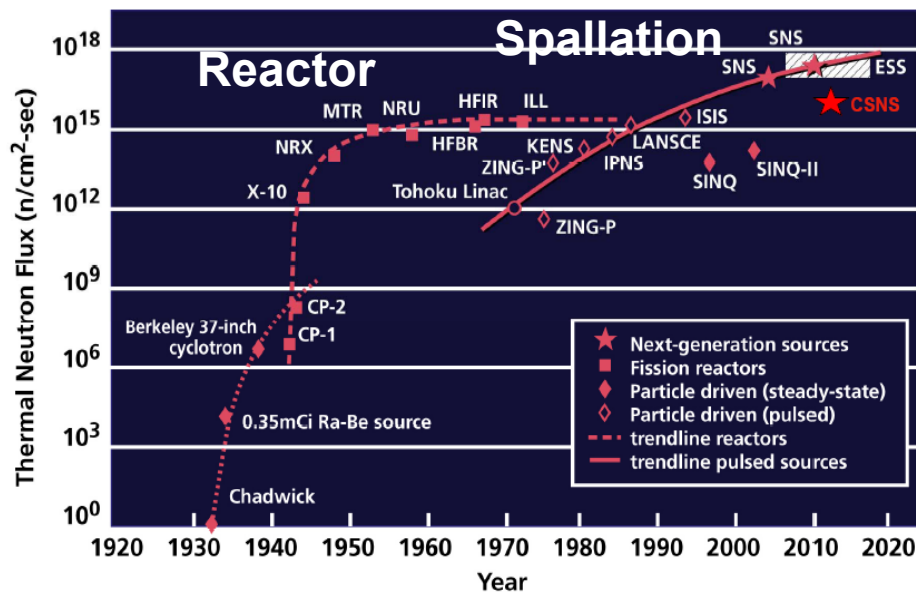
outline

- ◆ 物理背景
- ◆ 探测器物理设计
- ◆ 闪烁屏性能研究
 - ◆ 中子探测效率
 - ◆ 出射光产额
 - ◆ n/γ 抑制能力
- ◆ 其他关键器件性能研究
- ◆ 结论

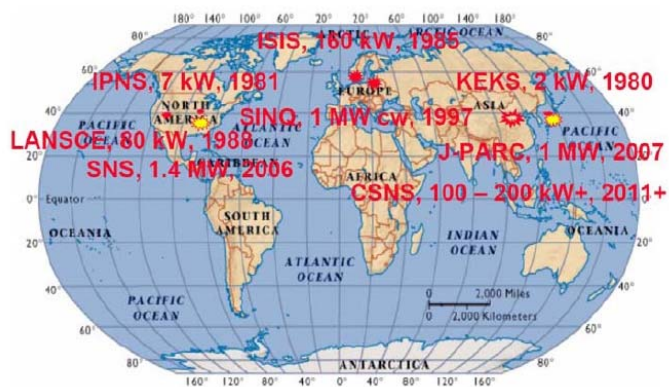
1 物理背景--- 散裂中子源

三种典型中子源特点比较

项目	放射性核素中子源	反应堆中子源	散裂中子源
中子产生	(α, n)反应 (g, n)反应 自发裂变	核裂变 链式反应	高能质子轰击重核的散裂反应
反应方式	连续	连续	脉冲
时间结构	无	无	有
中子能谱	窄	较宽	宽
中子通量	$\sim 10^7 n/cm^2 \cdot s$	$\sim 10^{15} n/cm^2 \cdot s$	$\sim 10^{17} n/cm^2 \cdot s$
每产生一中子靶内能量沉积	0.1~6MeV	180MeV	20~45MeV
本底	高	高	低



(Updated from *Neutron Scattering*, K. Skold and D. L. Price: eds., Academic Press, 1986)

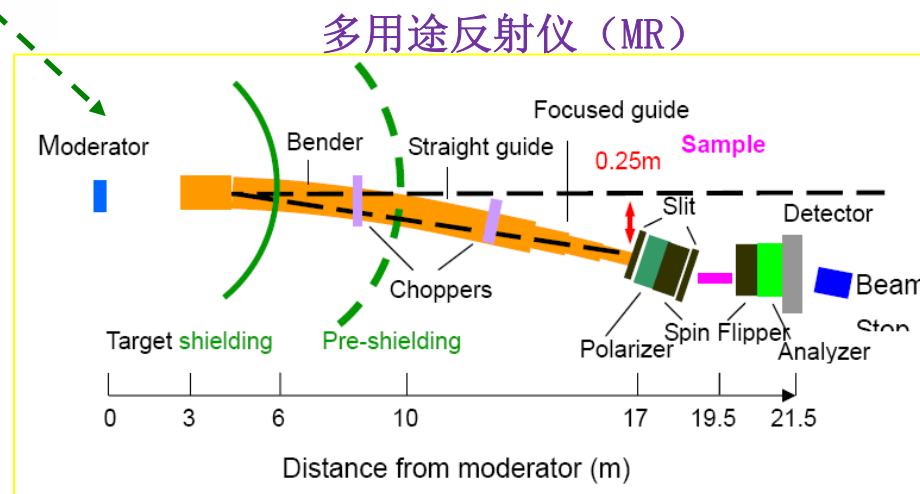
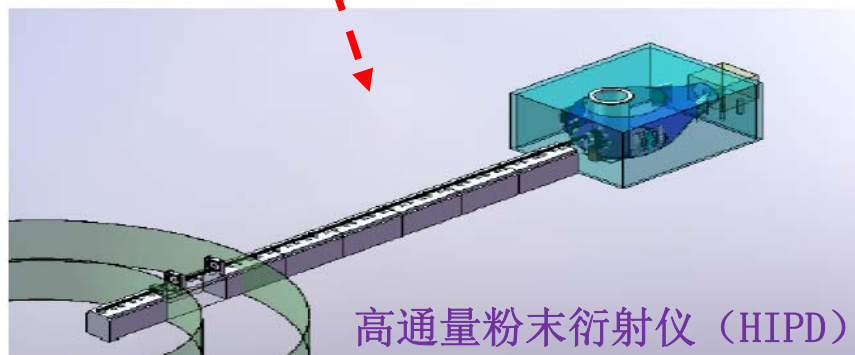
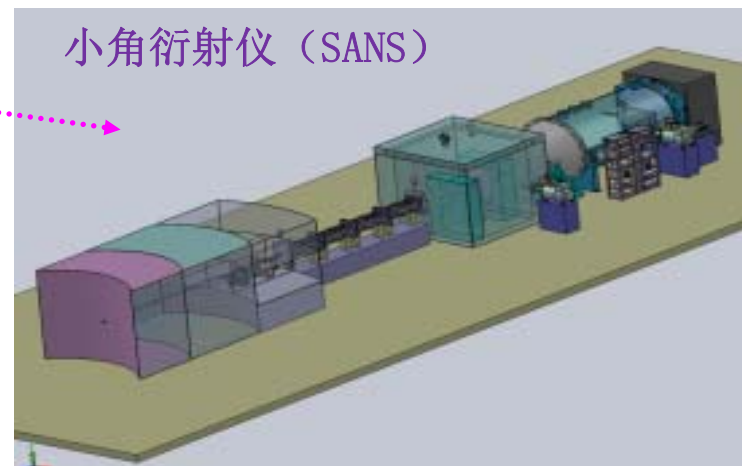
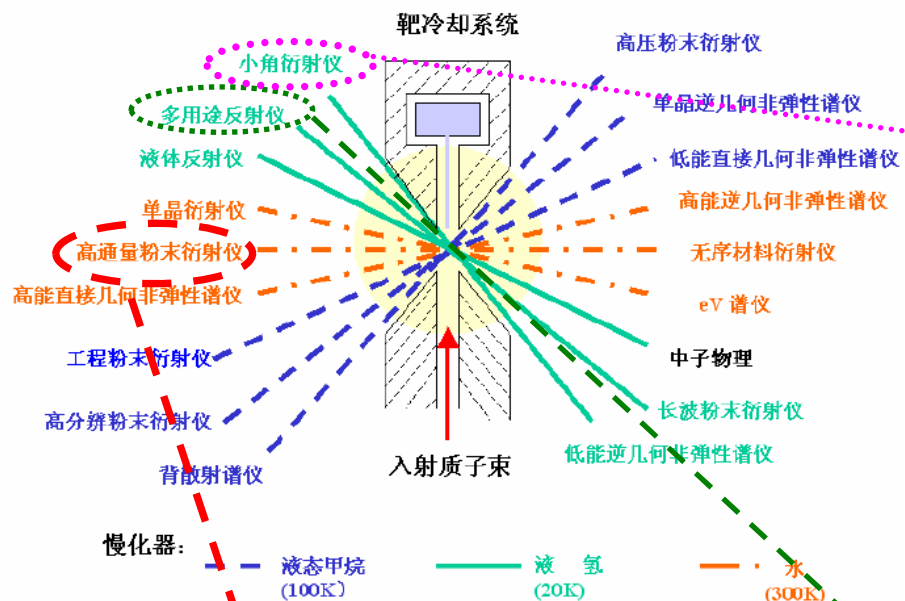


散裂中子源世界分布图

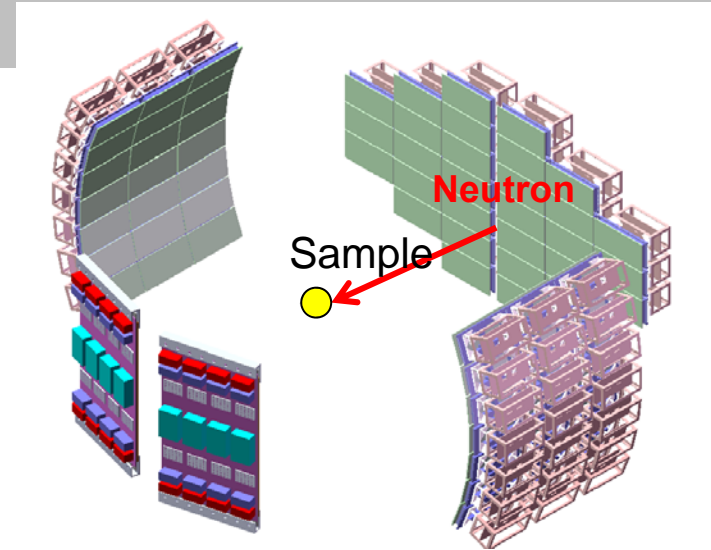
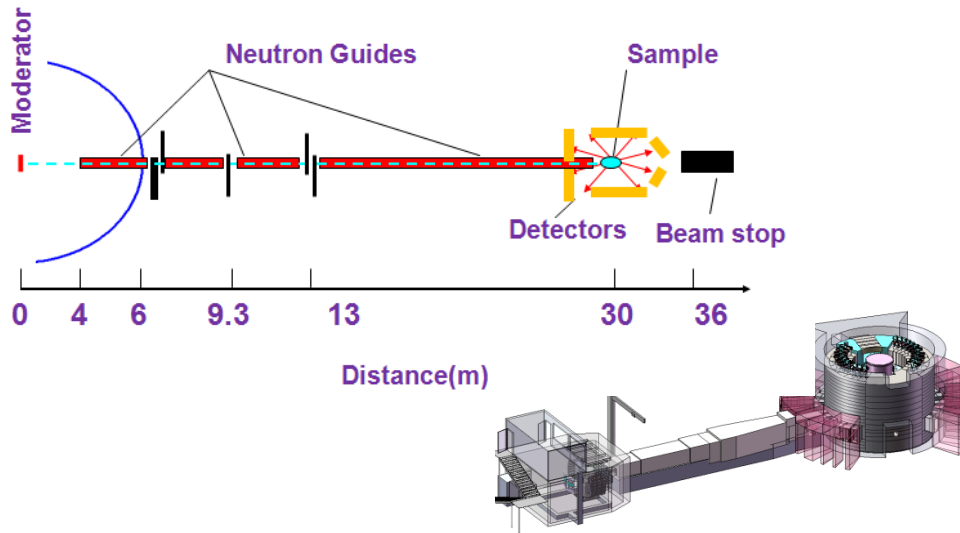


China Spallation Neutron Source (CSNS)

1 物理背景--- CSNS谱仪



1 物理背景--- 高通粉末衍射仪

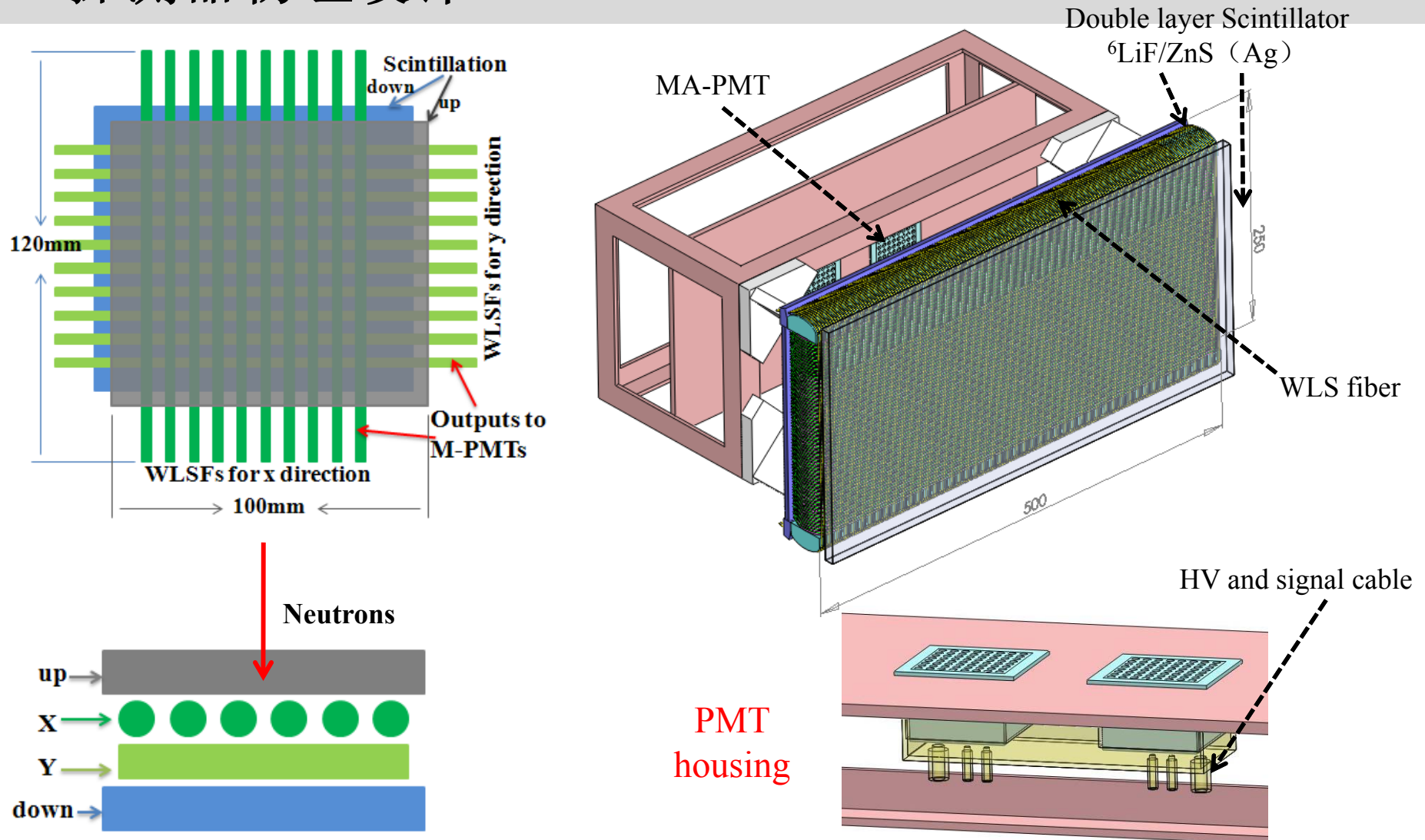


探测器阵列

Moderator	Decoupled water moderator (300 K)	
Bandwidth($\Delta\lambda$)	4.5 Å	
Max. Beam Size	40(h) × 20(w) mm ²	
Flux at sample position	~10 ⁷ n/cm ² /s	
Best Resolution($\Delta d/d$)	0.2 % at $2\theta=150^\circ$	
Guide	Taper focus, m=3	
Source to sample distance L1	30 m	
Sample-detector distance L₂	$2\theta=150^\circ$	1.5 m
	$2\theta=90^\circ$	2.0 m
	$2\theta=15^\circ$	3.8 m

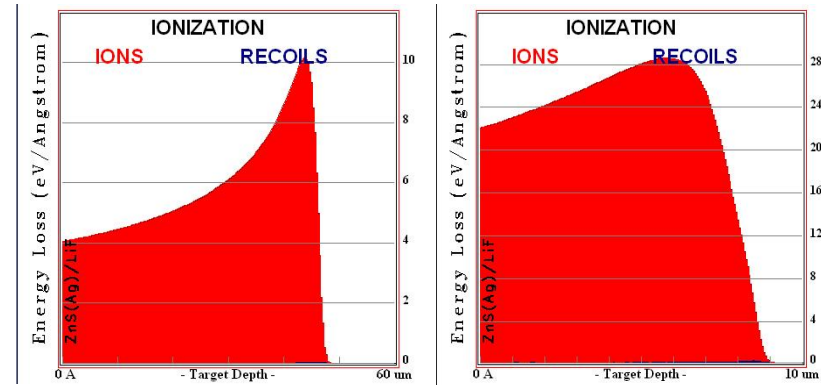
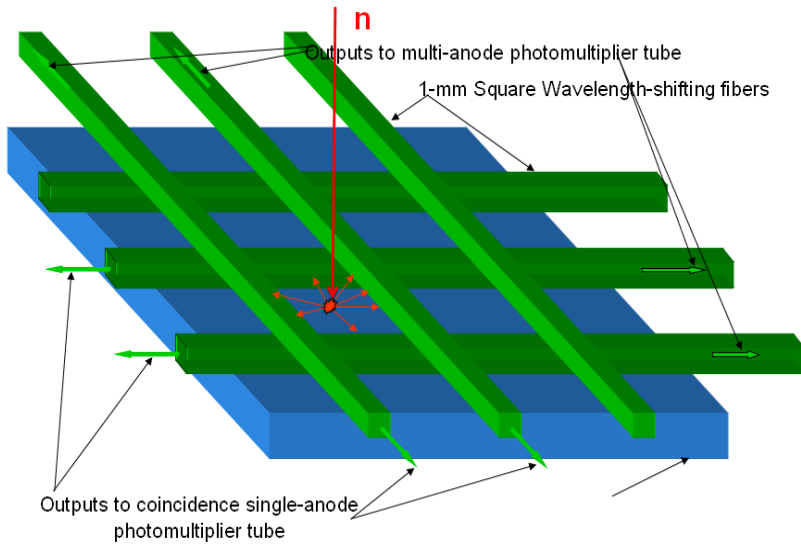
- **Detection efficiency: >50% @ 1.8Å**
- **Position Resolution:**
5mm(H) × 50mm(V)
- **Time Resolution : <1μs**
- **Count Rate: 30KHz/m²**
- **Active area: 6m²**

2 探测器物理设计

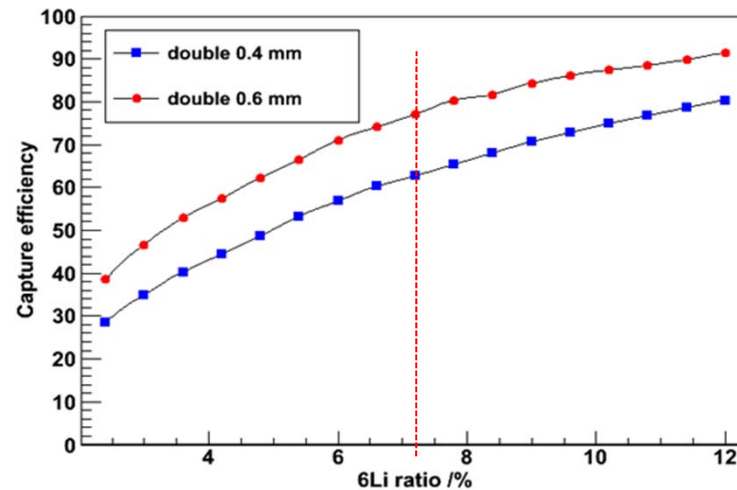
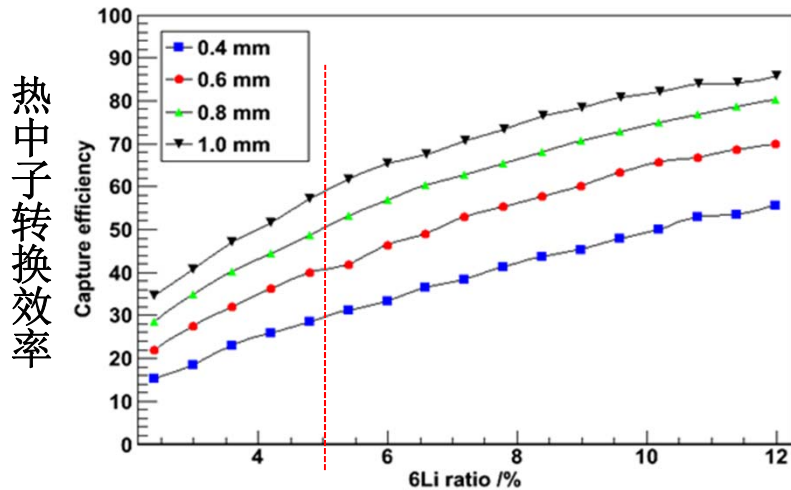


${}^6\text{LiF/ZnS(Ag)} + \text{WLSF} + \text{MA-PMT}$

3 闪烁屏性能研究



次级粒子射程

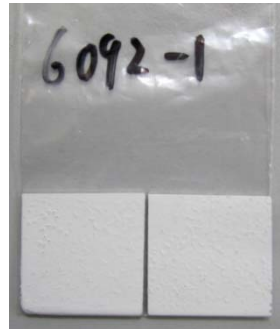


${}^6\text{LiF}:\text{ZnS}(\text{Ag})$ 1:4
厚度 400 μm
单层~30% @ 1.8 \AA
双层~50% @ 1.8 \AA

热中子转换效率

3 闪烁屏性能研究

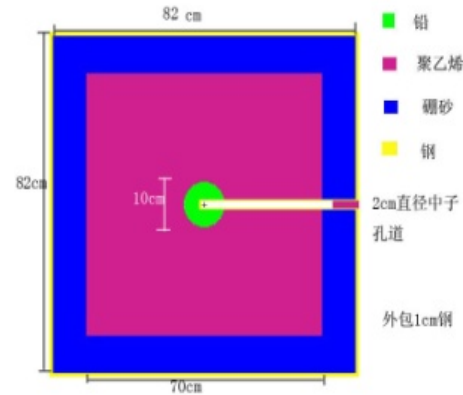
$^6\text{LiF}/\text{ZnS}:\text{Ag}$ 闪烁屏



St. Gobain BC-704
250*250mm²
LiF:ZnS 1:4
400μm/1mmAl

St. Gobain BC-704#
250*250mm²
LiF:ZnS 1:2
400μm/1mmAl

Eljen EJ-426
250*250mm²
LiF:ZnS 1:3
320μm/1mmAl



中子源: Cf-252 活度: $2 \times 10^7 \text{Bq}$

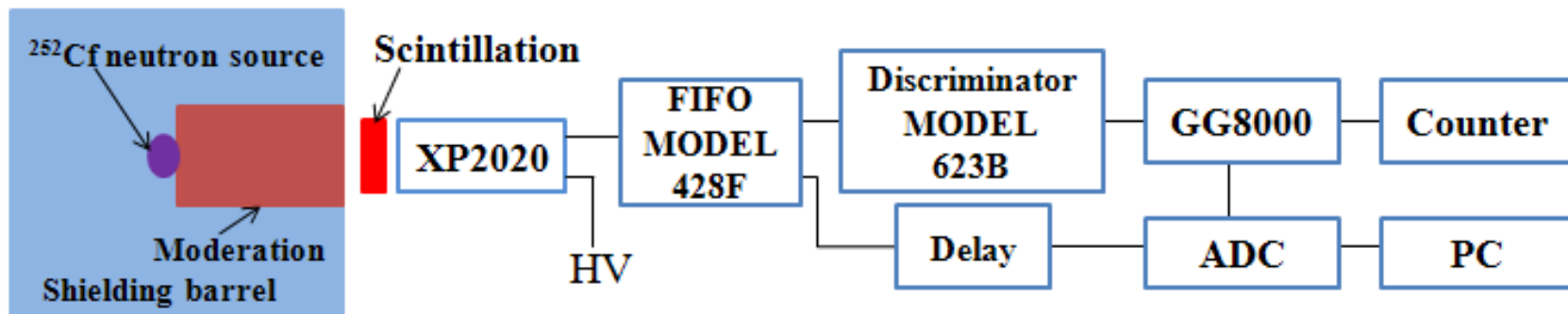
中子能量: 2.13MeV

引出孔直径: 10cm

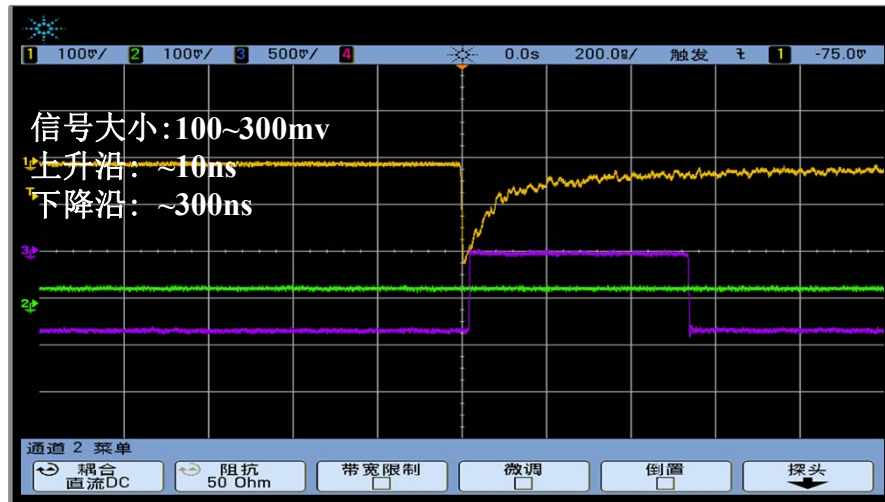
γ 能量: 0.84MeV

估算通量: $\sim 8 \text{n/s}\cdot\text{cm}^2$

慢化体厚度: 10cm

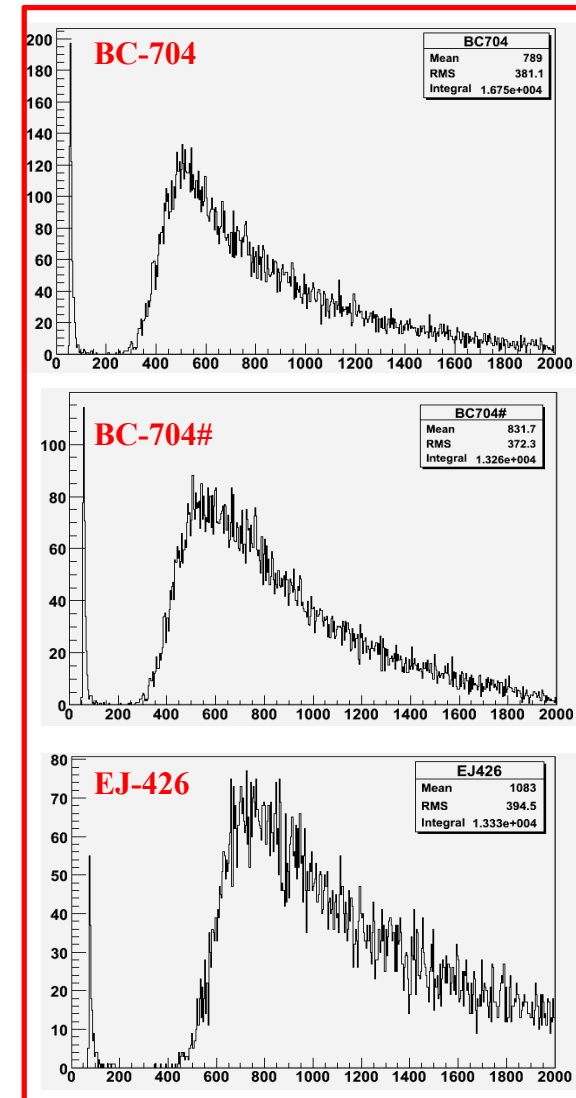


3.1 ⁶LiF/ZnS:Ag闪烁屏---中子探测效率

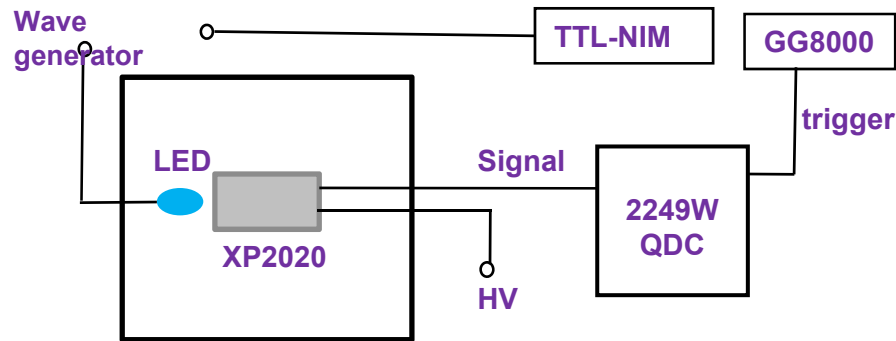


neutron detect efficiency of three scintillation screens

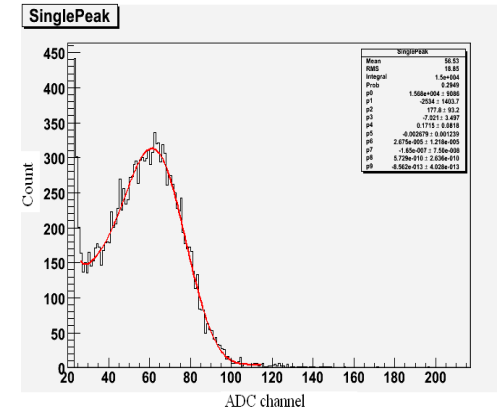
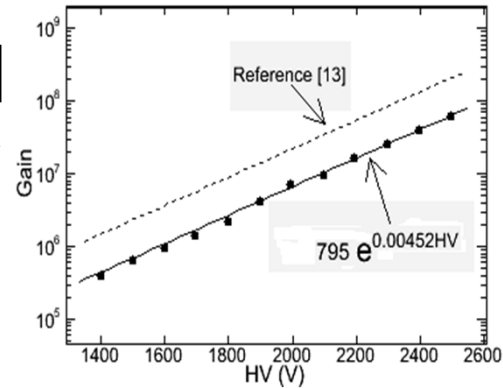
Samples	BC704	BC704#	EJ426
Mass ratio of ⁶ LiF vs ZnS(Ag)	1:4	1:2	1:3
Neutron counter rate (n/s*cm ²)	0.53 ± 0.02	0.69 ± 0.03	0.77 ± 0.03
Neutron detection efficiency (%)	23.2 ± 1.0	30.1 ± 1.1	32.4 ± 1.1
Neutron detection efficiency in manual (%)	26.4	None	36.0
MWPC的热中子计数率~1.6n/s*cm ² , 根据其工作气体的有效厚度, 热中子探测效率约70%			



3.2 ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}:\text{Ag}$ 闪烁屏---出射光子数



PMT单光电子峰刻度



Sample	Number of photons
BC704	$(5.76 \pm 0.03) \times 10^3$
BC704#	$(6.08 \pm 0.03) \times 10^3$
EJ426	$(8.01 \pm 0.03) \times 10^3$

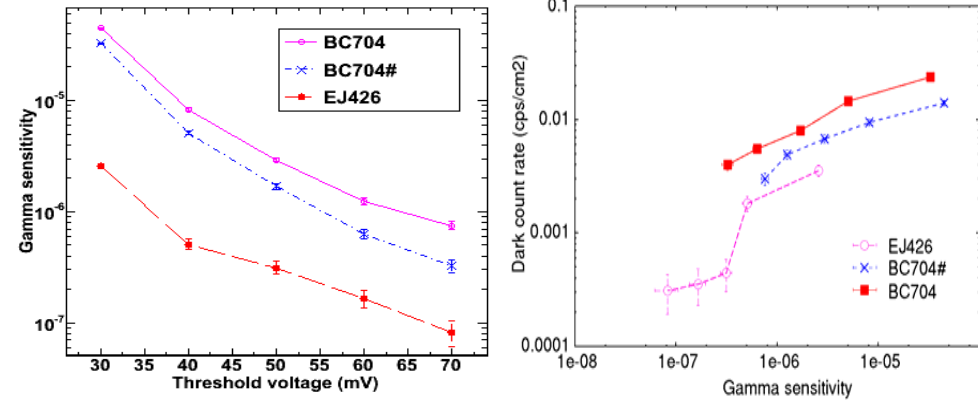
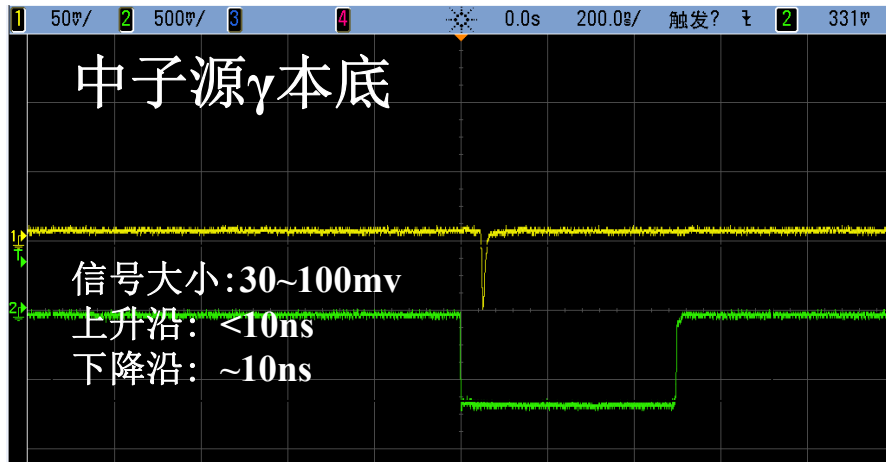
➤ 三种闪烁体样品中, **EJ426**的光产额最大同时热中子探测效率也最高, 是较好的候选闪烁体。

3.3 ${}^6\text{LiF}/\text{ZnS}:\text{Ag}$ 闪烁屏---n/ γ 抑制能力

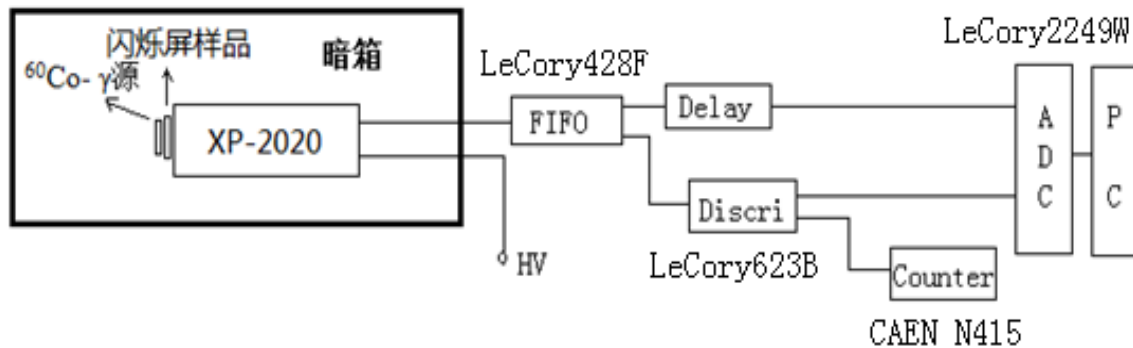
定义 γ 灵敏度:

$$\eta = N_i / N$$

* N_i 为不同阈值下的 γ 计数, N 为理论 γ 入射计数



60Co源测试结果



γ 灵敏度实验装置

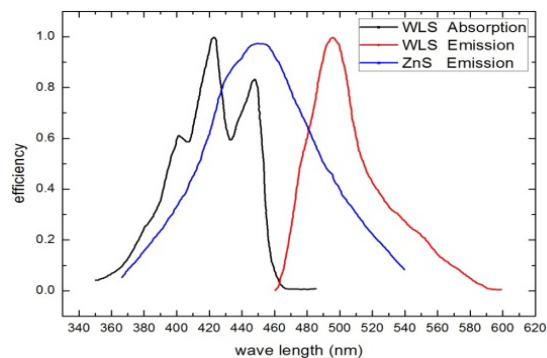
- 三种闪烁体样品中, **EJ426**的 γ 灵敏度最低, 本底计数也较小;
- 三个样品的 γ 灵敏度在 10^{-5} 量级;
- 利用幅度甄别的方法可以很好的区分中子和低能 γ 信号;

4 其他关键器件性能研究

BCF-91A

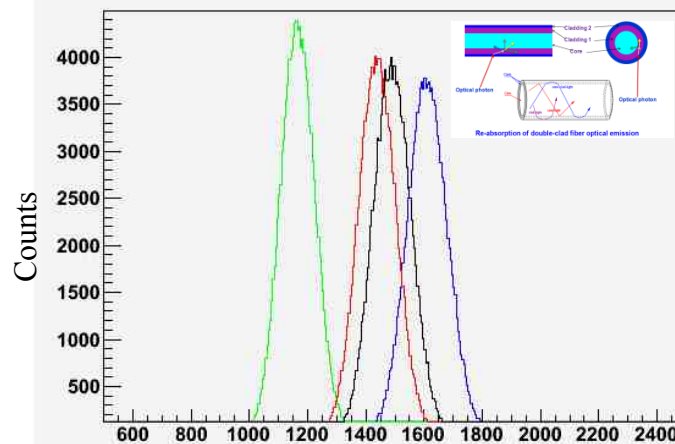


波移光纤



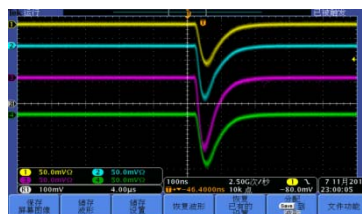
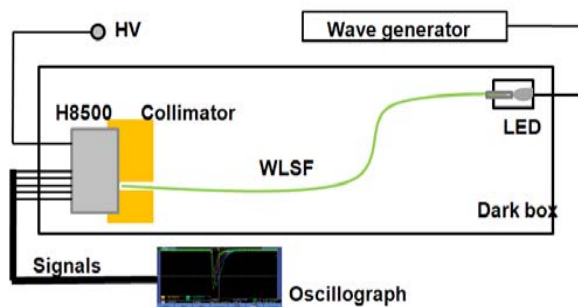
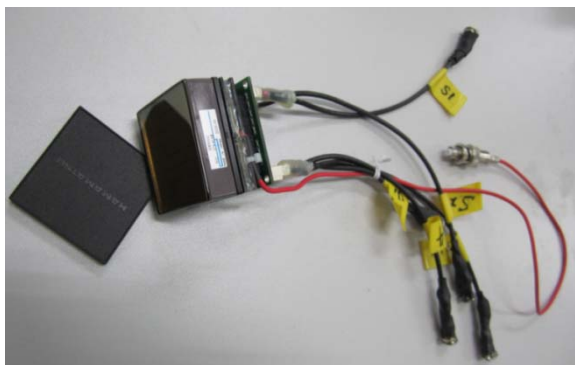
闪烁体发射光谱&波移光纤发射吸收谱

Bend lost

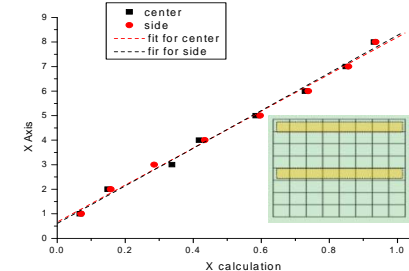
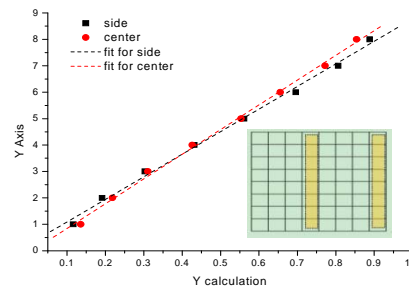


不同转弯半径下的PMT信号电荷谱

H8500 光倍管及其后续读出电路



位置线性



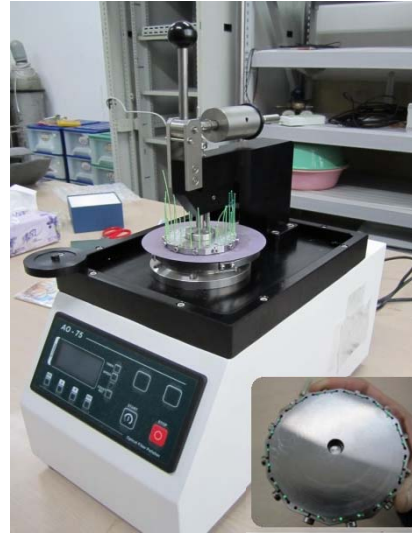
$$X = (A + B) / (A + B + C + D)$$

$$Y = (A + D) / (A + B + C + D)$$

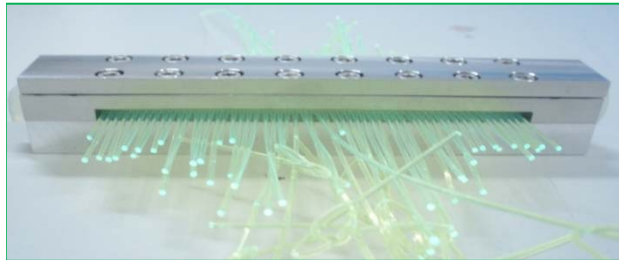
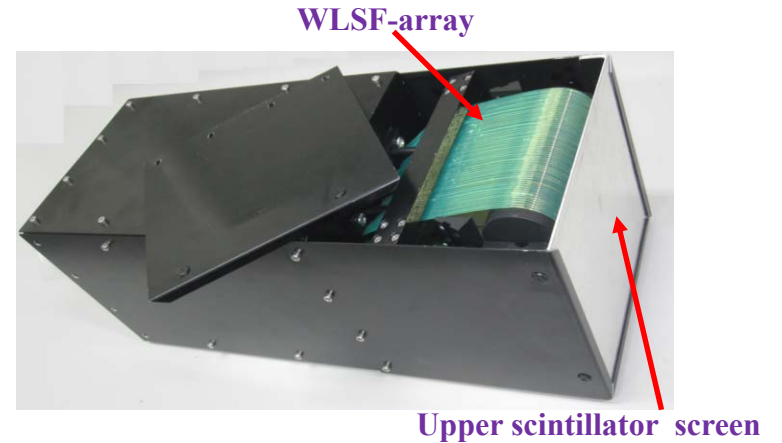
探测器样机研制



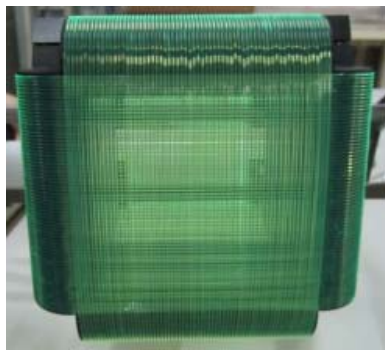
光纤拉力测试



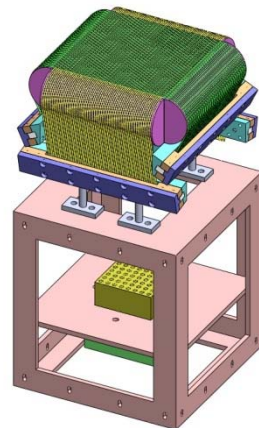
光纤研磨



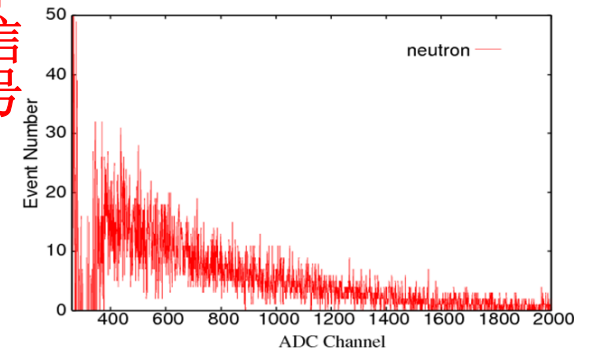
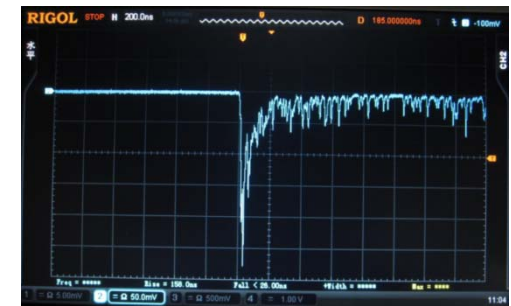
夹具实验



光纤阵列排布



中子信号



5 结论

- ◆ 三种闪烁体样品中, EJ426的光产额最大同时热中子探测效率也最高, 是较好的候选闪烁体;
- ◆ 6LiF:ZnS(Ag) 1:3 闪烁体热中子探测效率为~32%, 双层条件下可以实现>50%的热中子探测效率;
- ◆ 估算中子信号的大小:

Number of Photons Counted from a Scintillation Event:

$$N = Y_{\text{eff}} \times \Omega \times \epsilon_{\text{shift}} \times \epsilon_{\text{reemission}} \times \epsilon_{\text{trap}} \times \epsilon_{\text{transmission}} \times \epsilon_{\text{PMT}}$$

6LiF/ZnS:Ag闪烁体表面的出射光产额约 8,000 photons/neutron, BC-91A 的有效光传输效率 C_{collect} 约5%, 到达MA-PMT的光电子数为50 / neutron, 中子信号约8pC;

- ◆ 基于6LiF/ZnS:Ag + WLS + MA-PTW 结构的二维位置灵敏型闪烁体中子探测器, 能够满足 CSNS-高通量粉末衍射仪的物理需求, 实现探测效率好于50%@1.8Å; 位置分辨好于 5mm(H)×50mm (V)的物理设计;

谢谢!