



便携式多模式中子相机多通道高速采样电子学系统

蔡佳乐* 王冕 张译文 郭静 胡选侯

caijl@ihep.ac.cn

中国科学院高能物理研究所

主要内容

1 背景介绍

2 便携式编码孔径中子相机

3 多通道高速采样电子学系统

4 成像实验结果

主要内容

1 背景介绍

2 便携式编码孔径中子相机

3 多通道高速采样电子学系统

4 成像实验结果

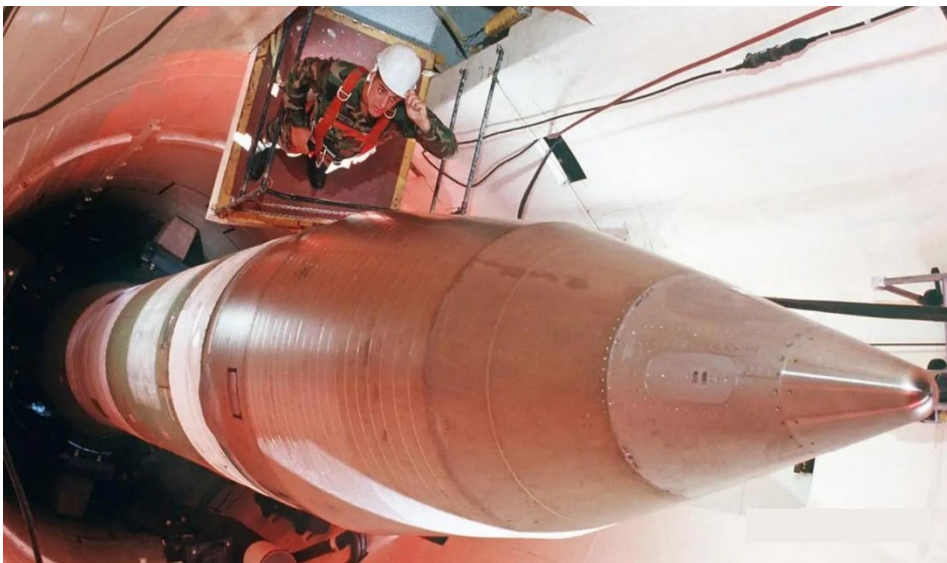
中子成像应用领域



□ 核反恐应急



□ 核燃料生产与处理



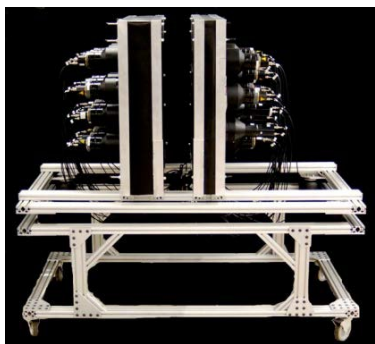
□ 核武器监测



□ 核电站安全保障

中子成像技术概述

- 根据不同的成像原理可以分为中子散射、小孔、时间编码、孔径编码等中子成像方式



□ 中子散射成像



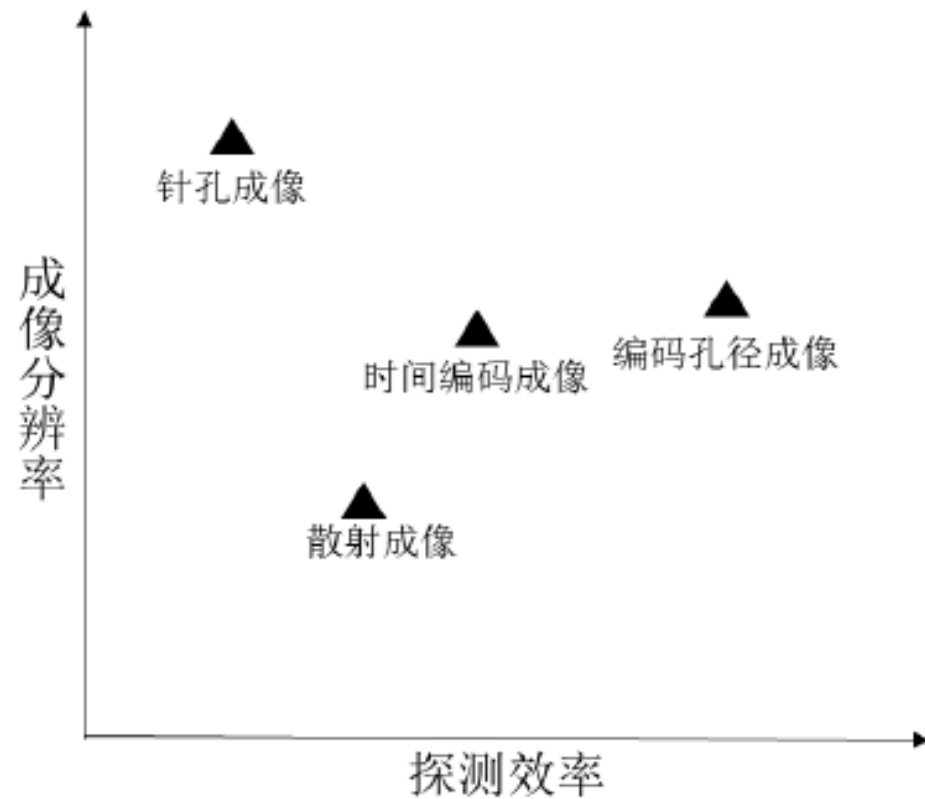
□ 中子小孔成像



□ 中子时间编码成像



□ 中子孔径编码成像



➤ 不同成像方式的特性比较优势

高能所中子和伽马辐射成像研究成果

- 高能所在辐射成像领域取得了一系列研究成果，多款设备是国内首台，达到世界先进水平



车载式 便携式 高本底 无人机载 巡检机器人 通道式 便携式

编码X/γ成像系列装备



中子成像装备

中子源编码 时间编码 中子编码

康普顿成像装备

主要内容

1 背景介绍

2 便携式编码孔径中子相机

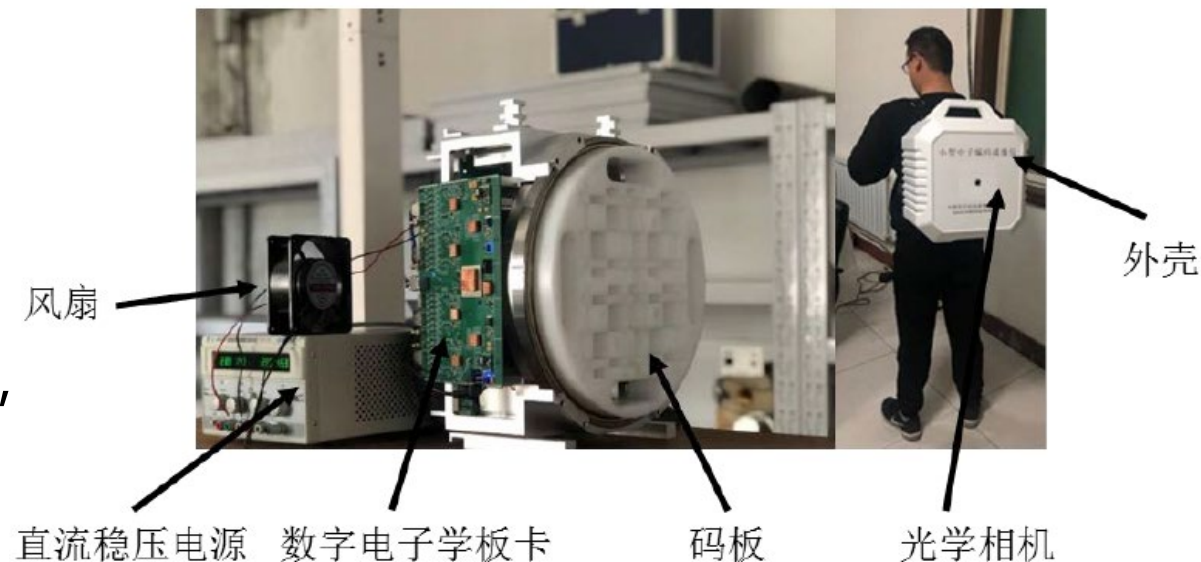
3 多通道高速采样电子学系统

4 实验成像结果

便携式编码孔径中子相机

■ 设备特点与性能参数:

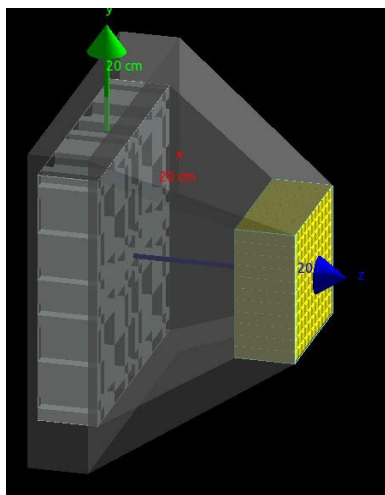
- ✓ 体积小, 重量约15 KG, 可单人携带
- ✓ 功耗低, 最大峰值功耗小于20W, 工作时间大于2小时
- ✓ 3种成像模式, 具备中子-伽马波形甄别能力, 可以实现中子、伽马、中子-伽马混合成像
- ✓ 成像视野 40° , 角分辨 3.6°
- ✓ 成像时间快, 中子有效计数大于300即可准确定位放射源位置



- 设备主要由**编码板**、**探测器**和**电子学系统**三部分组成

便携式编码孔径中子相机

■ 中子探测系统结构

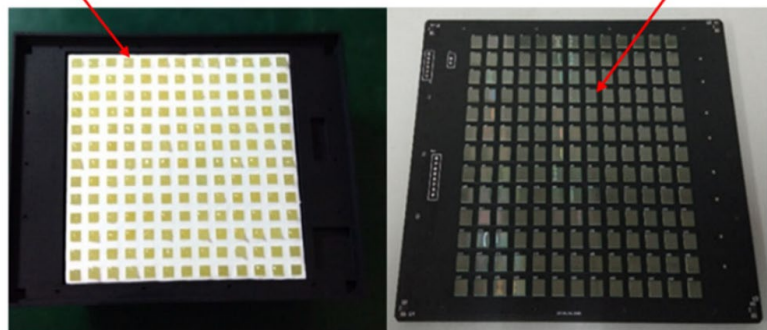


- ✓ 11×11修正均匀冗余阵列编码 (MURA)
- ✓ 13×13 EJ276塑料闪烁体阵列
- ✓ 13×13 SiPM阵列, 与探测单元一对一耦合
- ✓ 采用SCD读出电路减少读出通道数

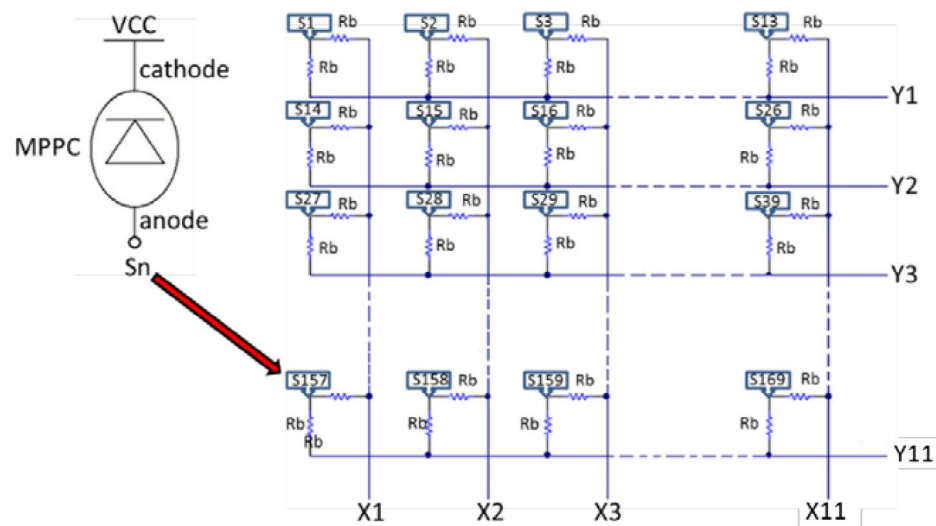
□ 编码板与探测器阵列

10×10×50 mm³ scintillator unit

6×6 mm² MPPC



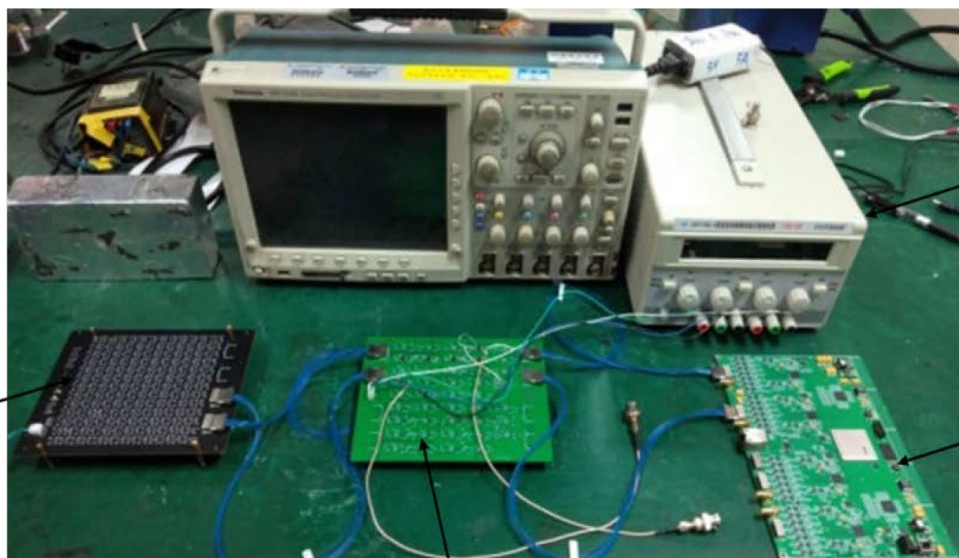
□ 探测器阵列与SiPM



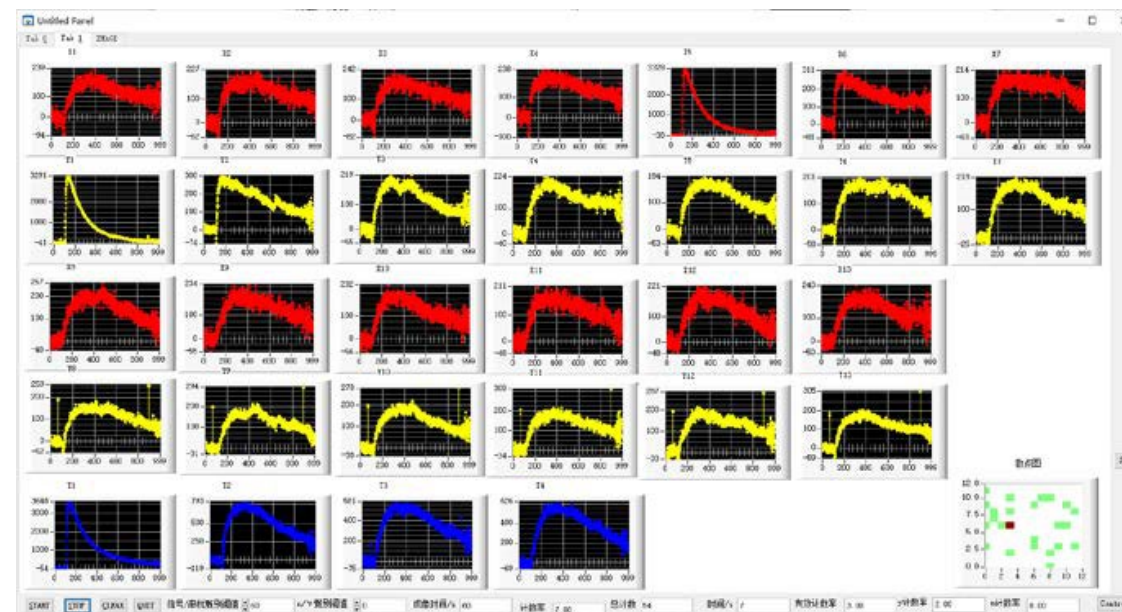
□ SCD读出电路

便携式编码孔径中子相机

32通道电子学系统与探测器信号处理



□ 探测器模块及电子学系统



□ 26路波形信号及4路定时信号

- ✓ SCD电路在X、Y方向产生各13路信号
- ✓ FPGA处理26路X、Y信号进行SiPM定位
- ✓ X方向13路信号经过加法器输出4路触发信号

主要内容

1 背景介绍

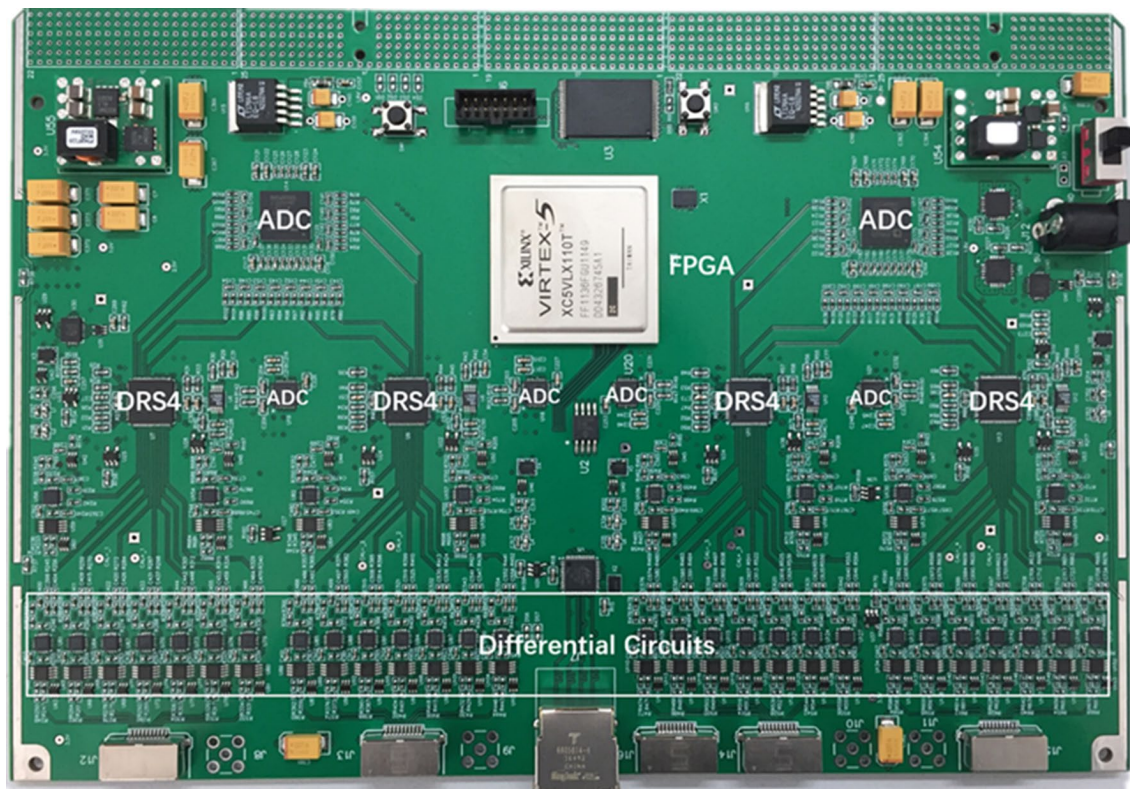
2 便携式编码孔径中子相机

3 多通道高速采样电子学系统

4 成像实验结果

多通道高速采样电子学系统

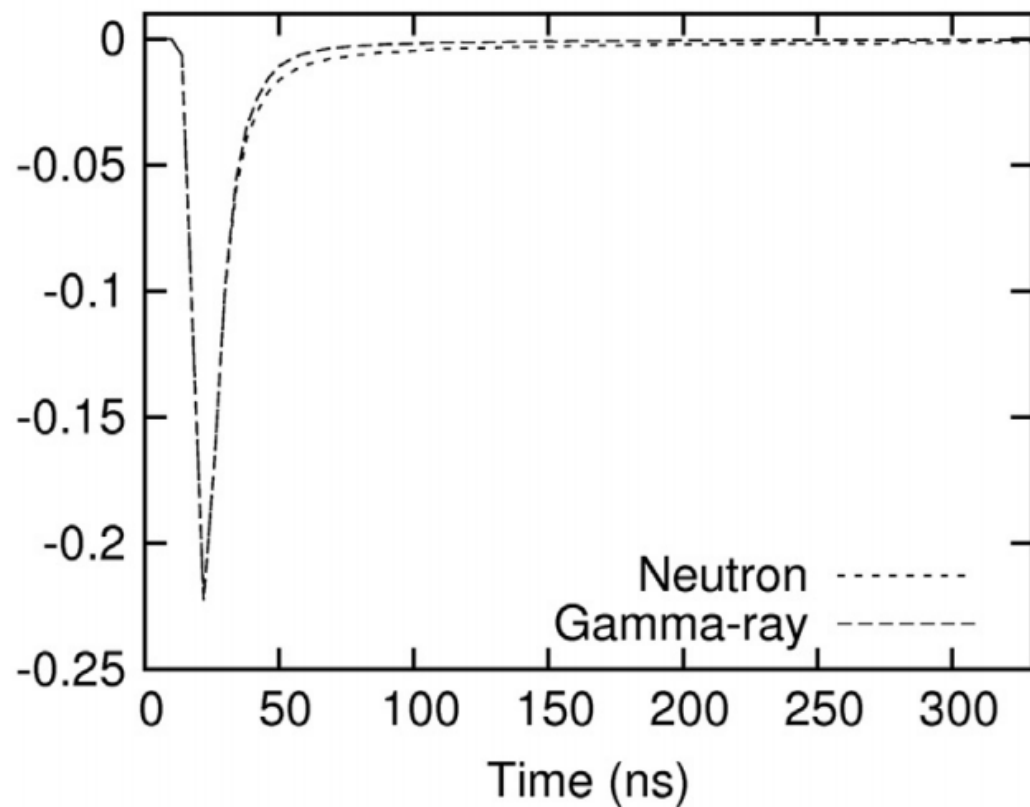
■ 电子学系统性能参数:



- ✓ 32通道, 单端信号输入范围: $1 V_{PP}$
- ✓ 最大峰值功耗: 10W
- ✓ 最大信号采样频率: 5.12 GSPS
- ✓ 采样数据精度: 12-bit
- ✓ 与上位机通信: 1Gbps UDP
- ✓ 实时中子-伽马波形甄别算法
- ✓ 可扩展性: 高精度时间测量等等

中子探测技术

■ 中子探测需要中子-伽马波形甄别

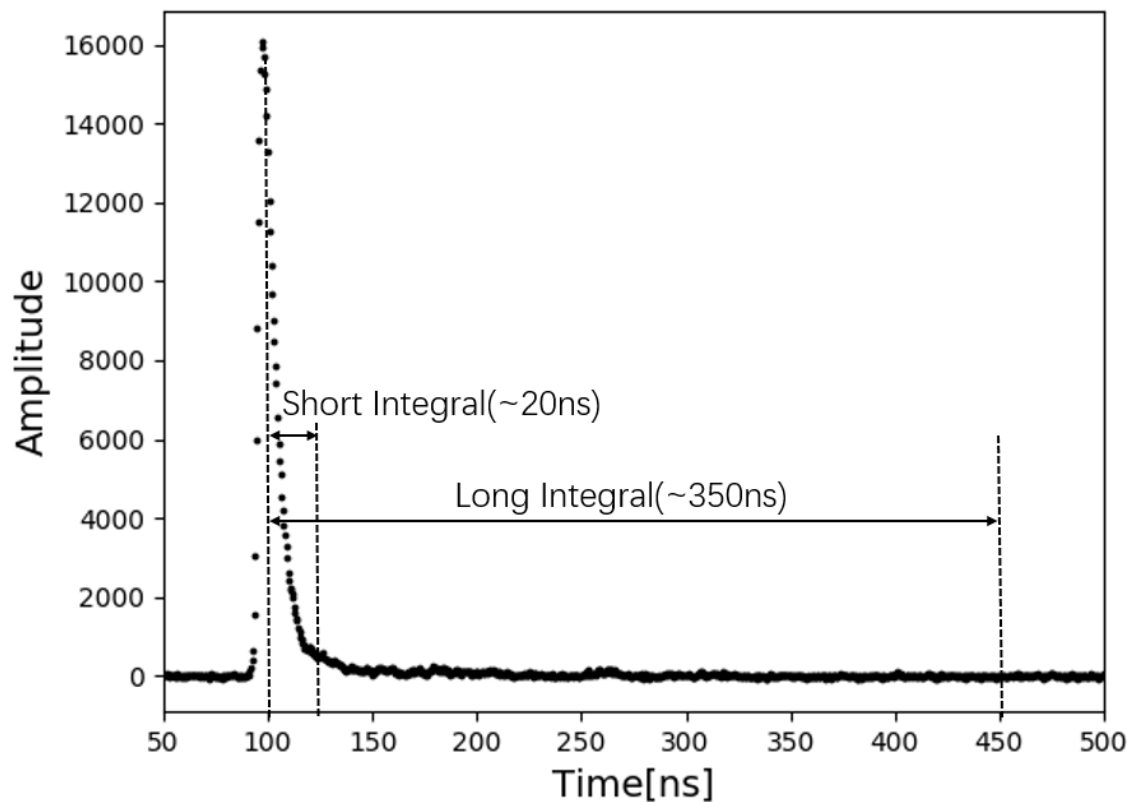


- 中子辐射场中往往伴随着伽马射线产生
- 塑闪探测器输出信号包含快慢两种成分
- 中子信号的尾部往往比伽马信号更慢

$$N(t) = \frac{N_f(\rho)}{\tau_f} e^{-\frac{t}{\tau_f}} + \frac{N_s(\rho)}{\tau_s} e^{-\frac{t}{\tau_s}}$$

电子学系统进行实时波形甄别

■ 基于FPGA的中子-伽马波形甄别算法



□ 采用电荷比较法，慢成分与快成分相比

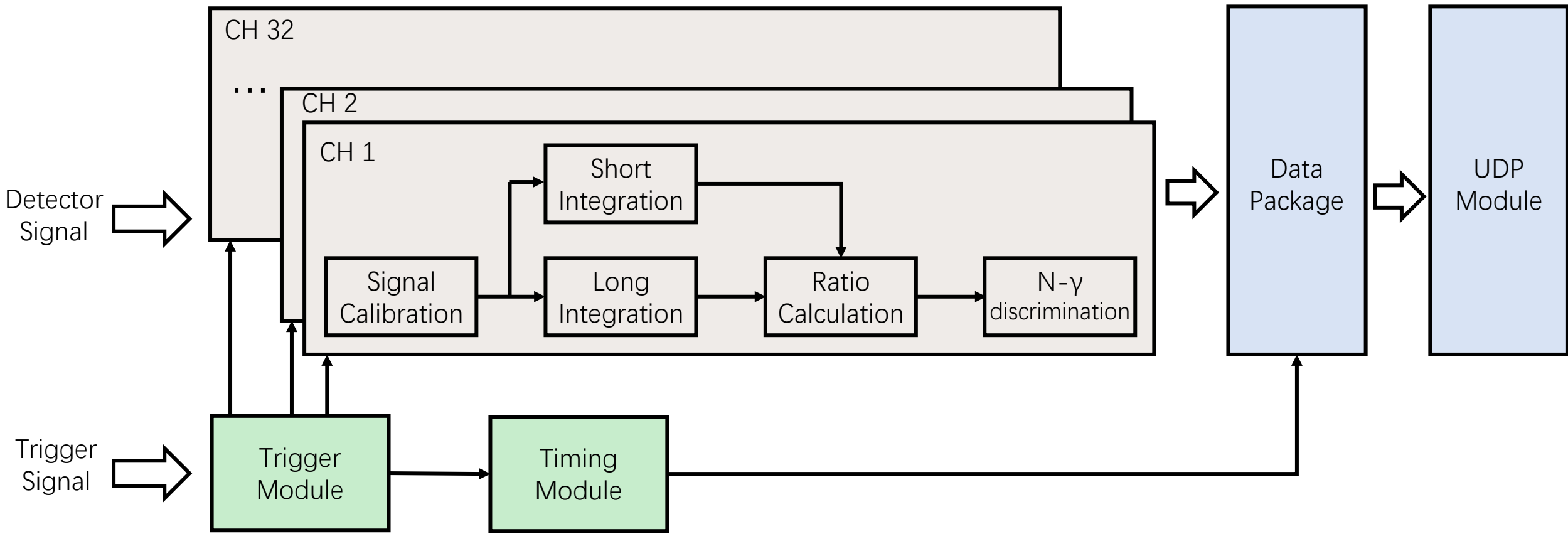
$$PSD = \frac{I_{short}}{I_{long}}$$

□ 在FPGA中，选取两段合适的电荷积分区间，比较它们之间的比值来区分中子-伽马

□ 选取合适的积分区间对于区分结果非常重要

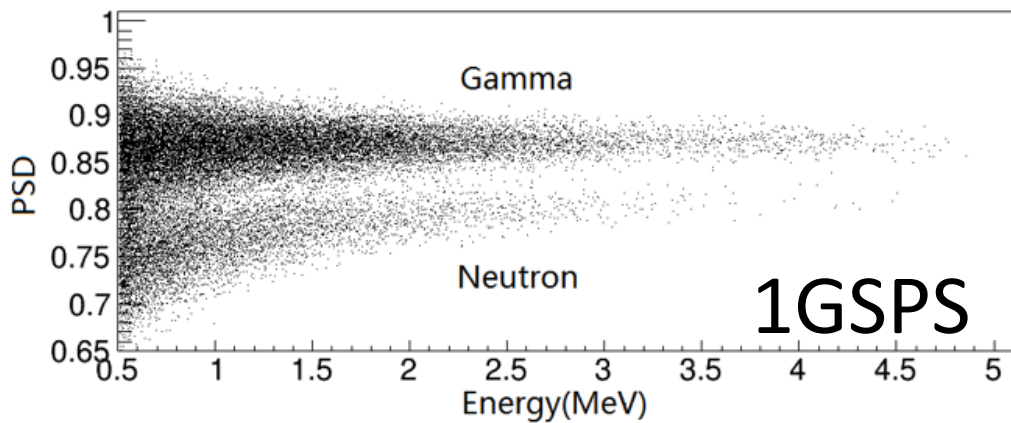
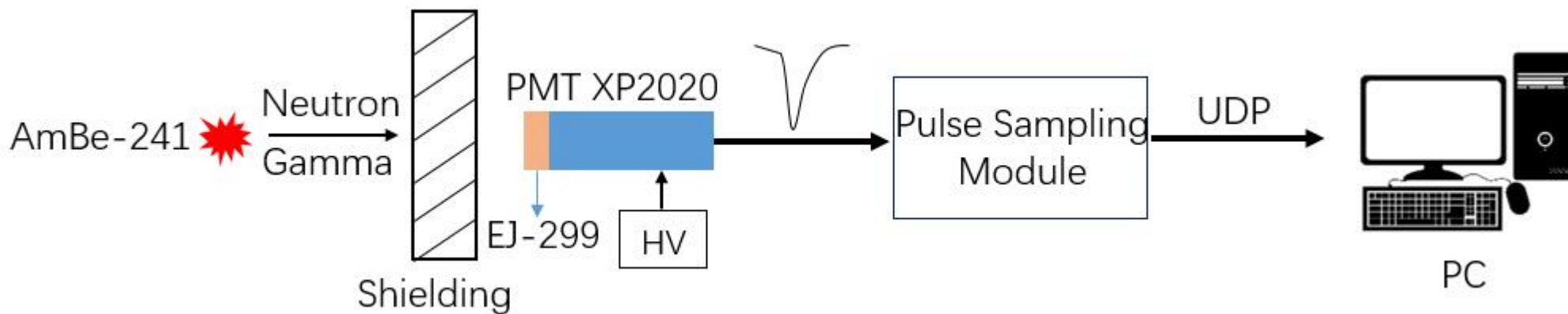
多通道高速采样电子学系统

■ FPGA逻辑结构

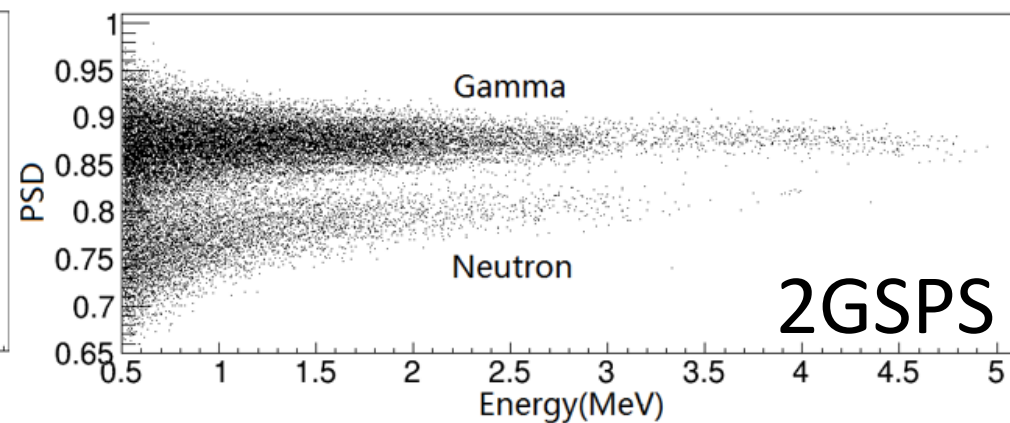


多通道高速采样电子学系统

■ 电子学系统的中子-伽马波形甄别实验



(a)

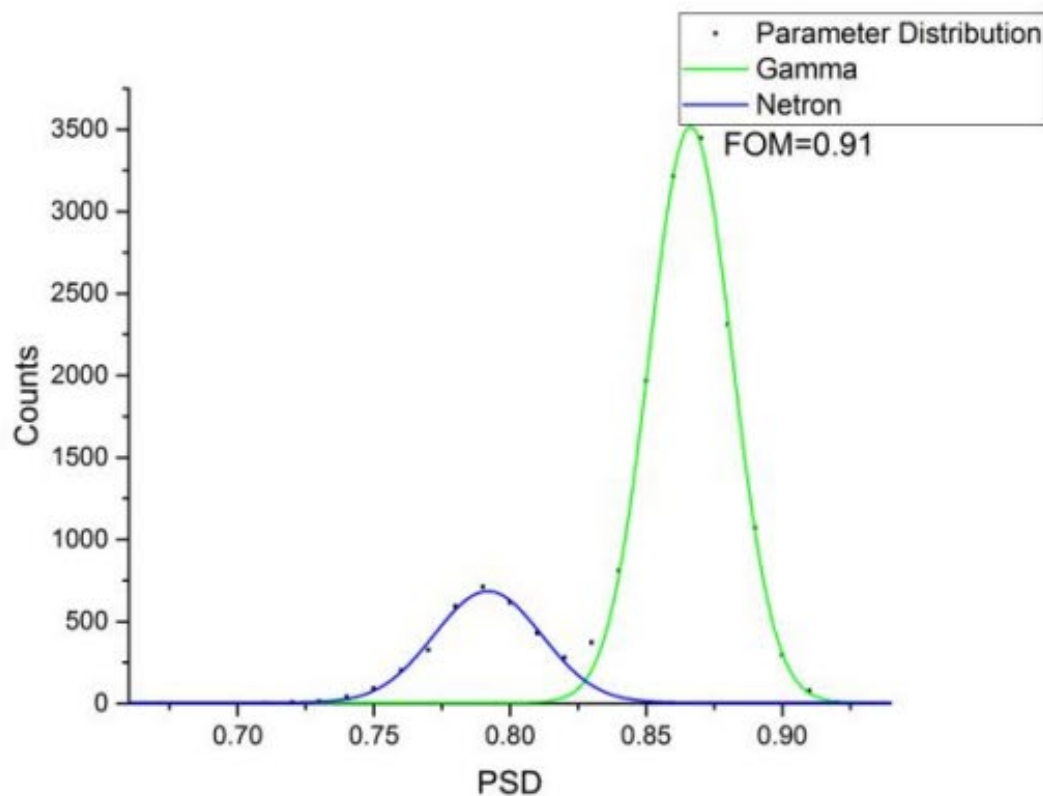


(b)

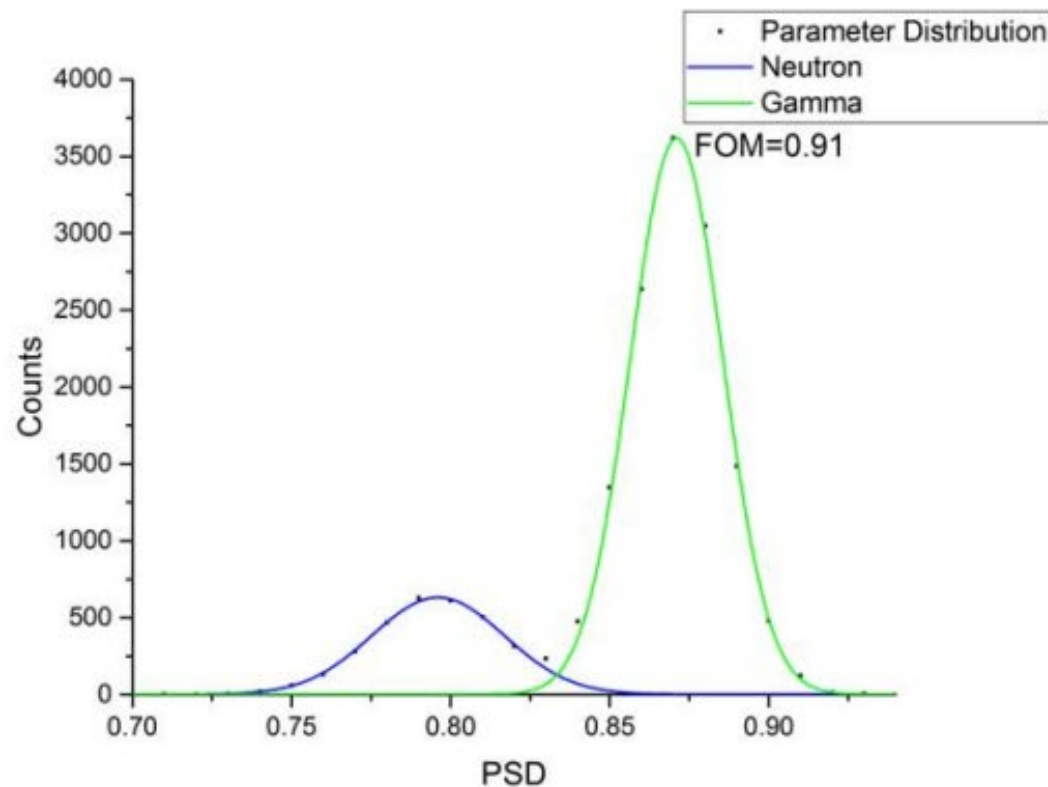
多通道高速采样电子学系统

■ 电子学系统的中子-伽马波形甄别实验

$$FOM = \frac{\Delta X}{\delta_{\text{gamma}} + \delta_{\text{neutron}}}$$



(a)



(b)

□ Energy threshold: 1.5MeV_{ee} ; (a) 1GSPS and (b) 2GSPS

主要内容

1 背景介绍

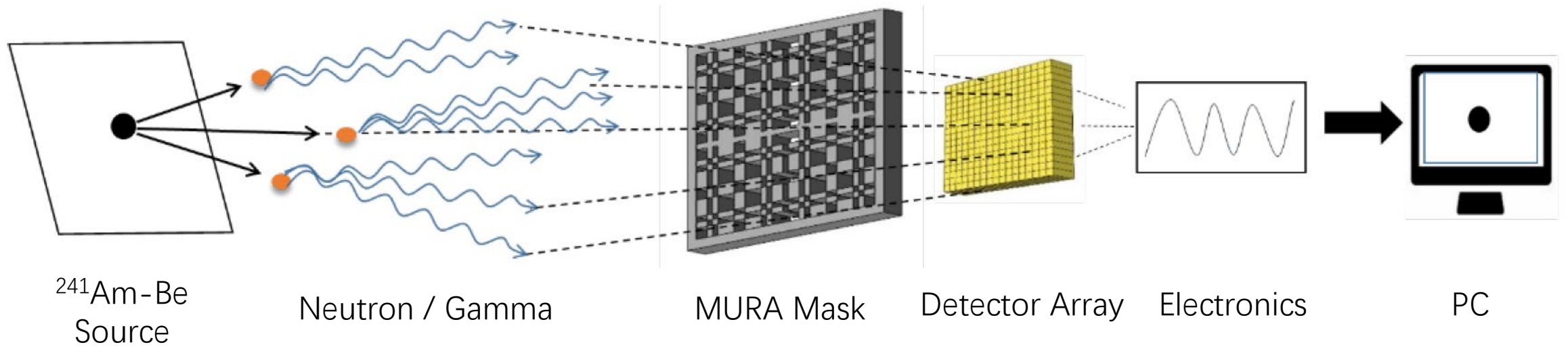
2 便携式编码孔径中子相机

3 多通道高速采样电子学系统

4 成像实验结果

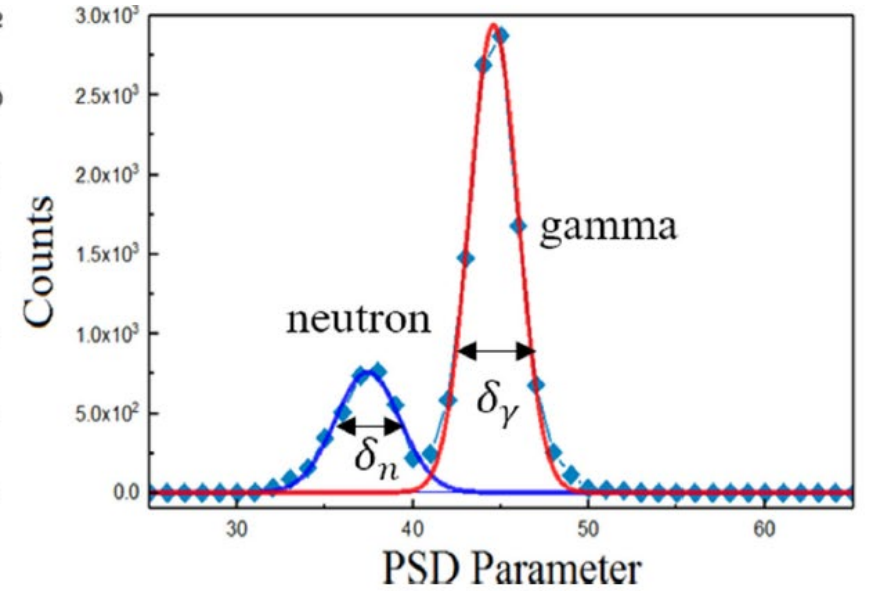
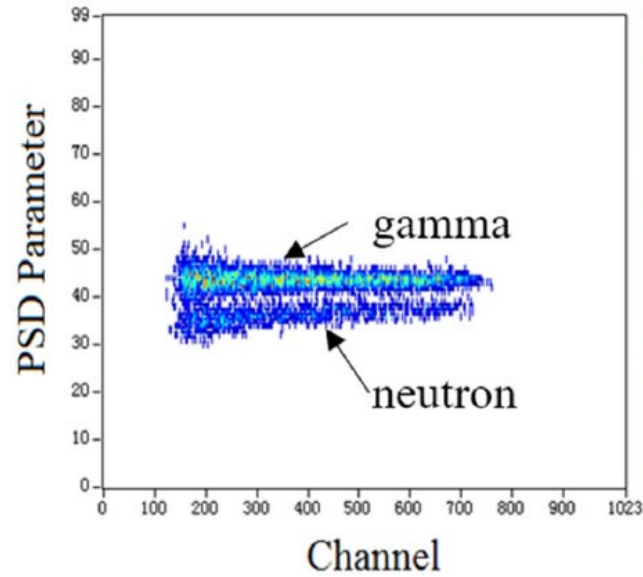
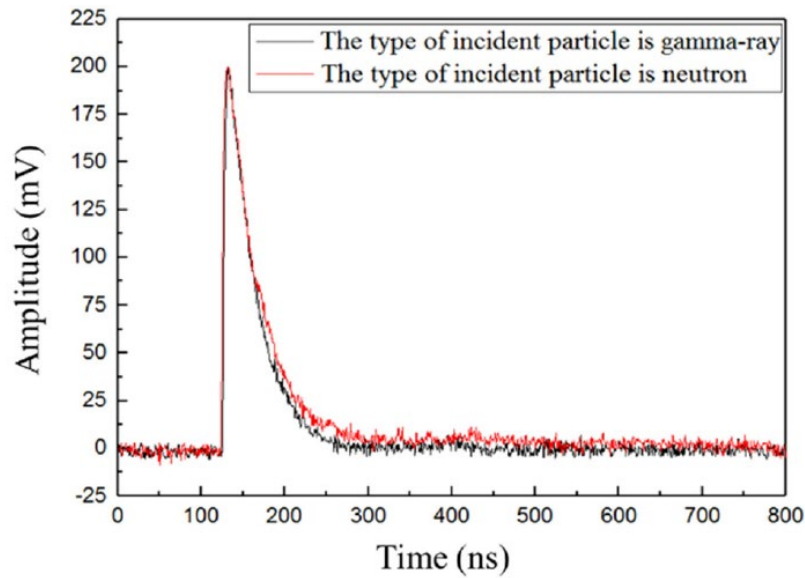
成像实验结果

■ 实验室中子源成像实验



成像实验结果

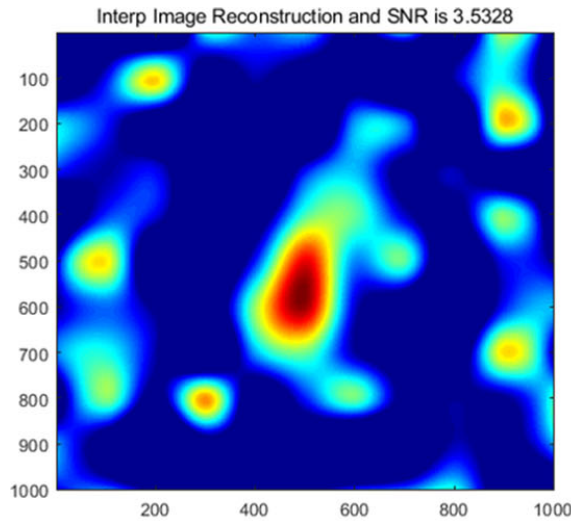
■ 探测器输出信号与波形甄别实验结果



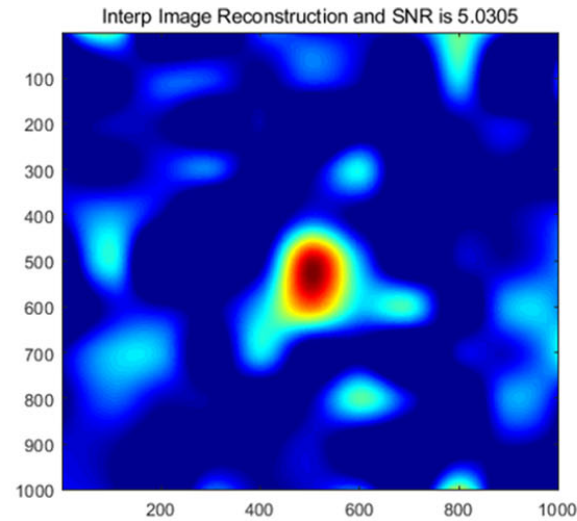
能量阈值	400keVee	500keVee	800keVee	1MeVee	1.5MeVee	2MeVee	2.5MeVee
FOM	0.88	0.89	0.97	1.03	1.17	1.25	1.36

成像实验结果

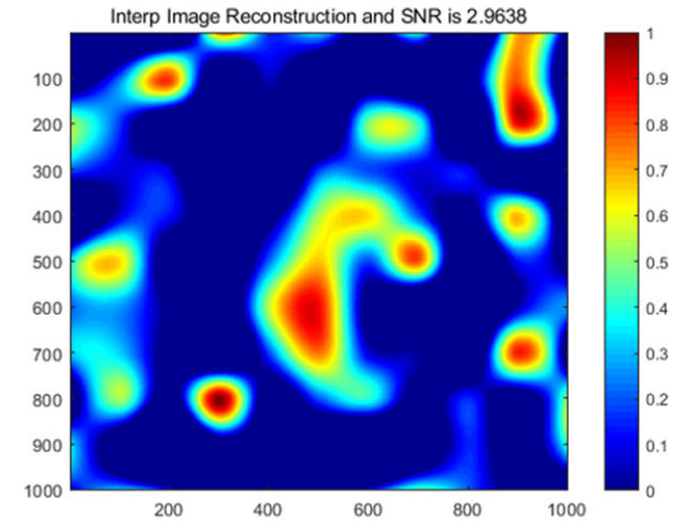
■ 三种成像模式下的成像结果



Hybrid imaging mode



Neutron imaging mode



Gamma imaging mode



□ 与光学相机的融合图像

- ✓ 距离中子源3米，成像时间150秒
- ✓ 垂直和横向视野角度均为 40°

谢谢！