



中国工程物理研究院
CHINA ACADEMY OF ENGINEERING PHYSICS



核物理与化学研究所
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS AND CHEMISTRY

公开

基于白光中子源的裂变靶室系统 中子灵敏度实验研究

核物理与化学研究所 203室

杨彪

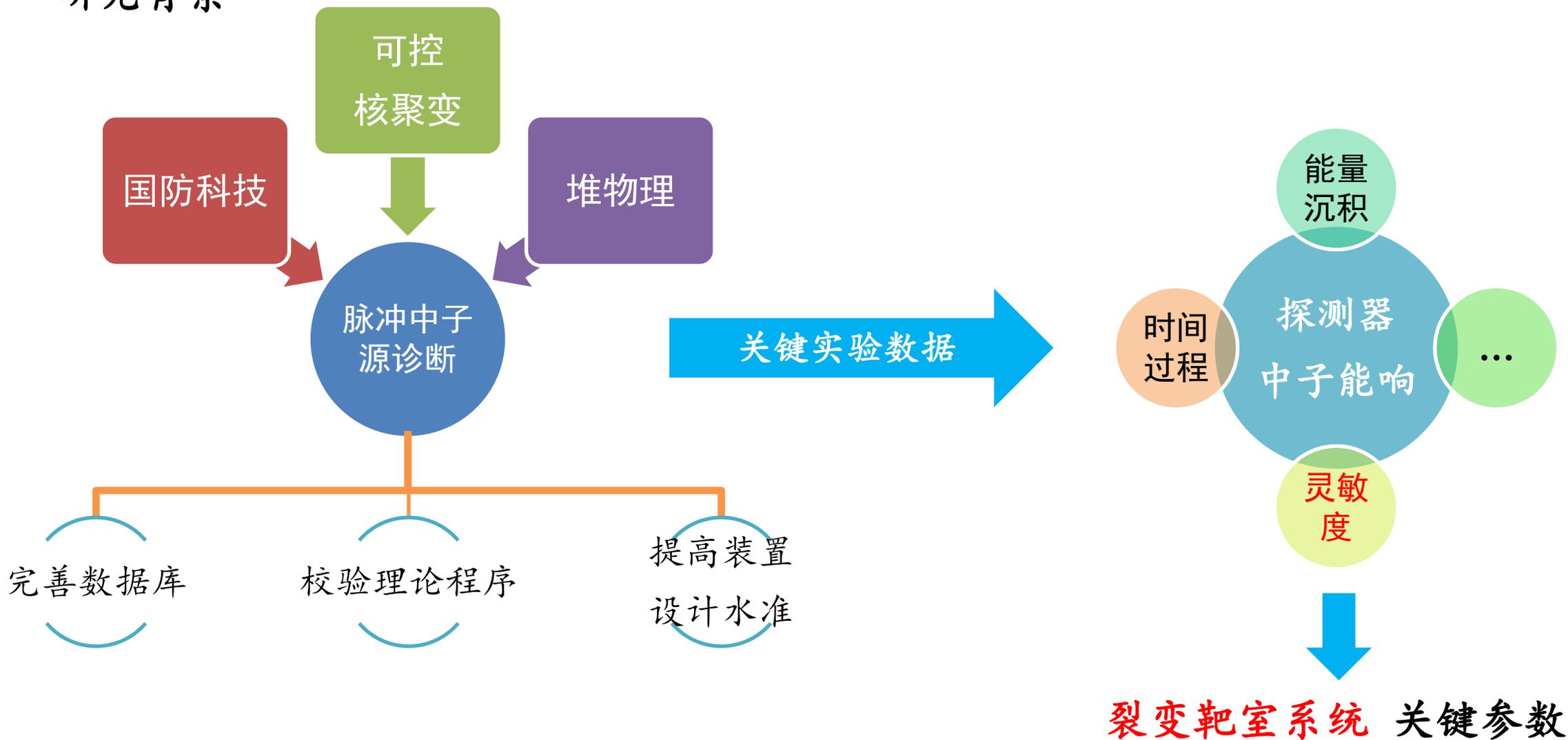
2020-8-11

责任执行 创新卓越
自主创新 军民融合 三元发展
建成在核科技领域有重要影响力的研究所

- 一. 研究背景与意义
- 二. 上年度实验成果
- 三. 本年度实验计划
- 四. 束流申请

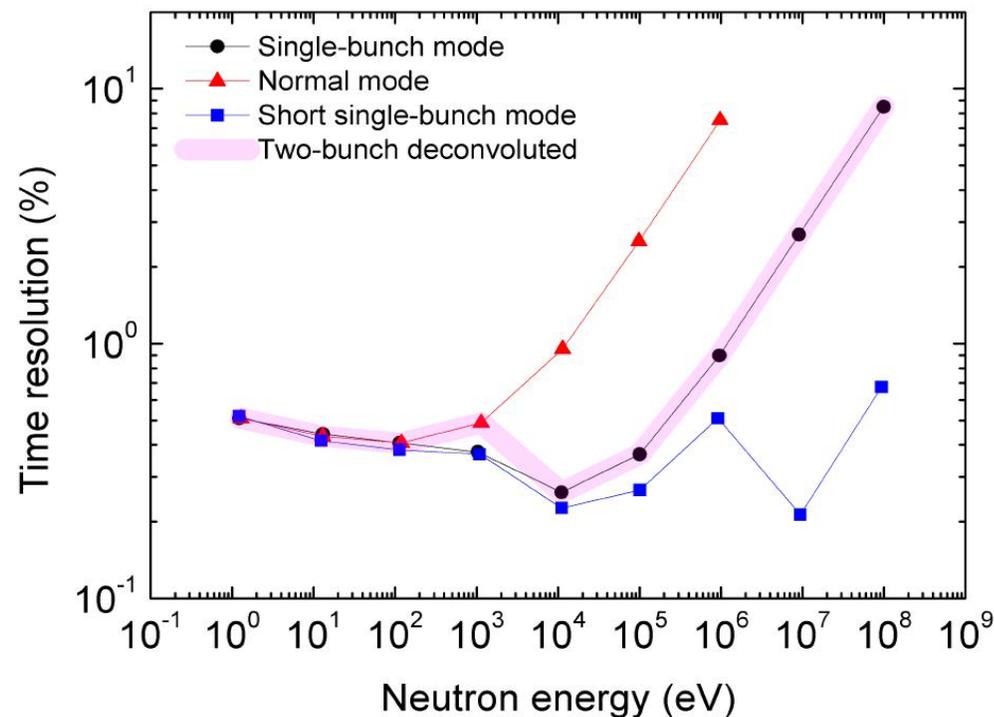
一、研究背景与意义

研究背景



裂变靶室系统

- 绝对灵敏度 \leftrightarrow 脉冲源强度
- 能响范围宽：0.2MeV~20MeV
 - 加速器仅限于：2.5MeV、14Me
 - 缺少全能段绝对中子能响直接标定



白光中子源

- 能量范围宽：eV~MeV
- 中子注量率高： $\sim 10^6/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$
- 能量分辨率高： $\sim 1\%$
- 中子/伽马比高：飞行时间长

研究裂变
靶室系统

- 全能段绝对中子能响直接标定
- 验证比对理论模型
- 验证裂变靶室系统中子能响计算程序

CSNS单束团模式的反角白光中子源是目前国内完成该项工作最为适宜的中子源。

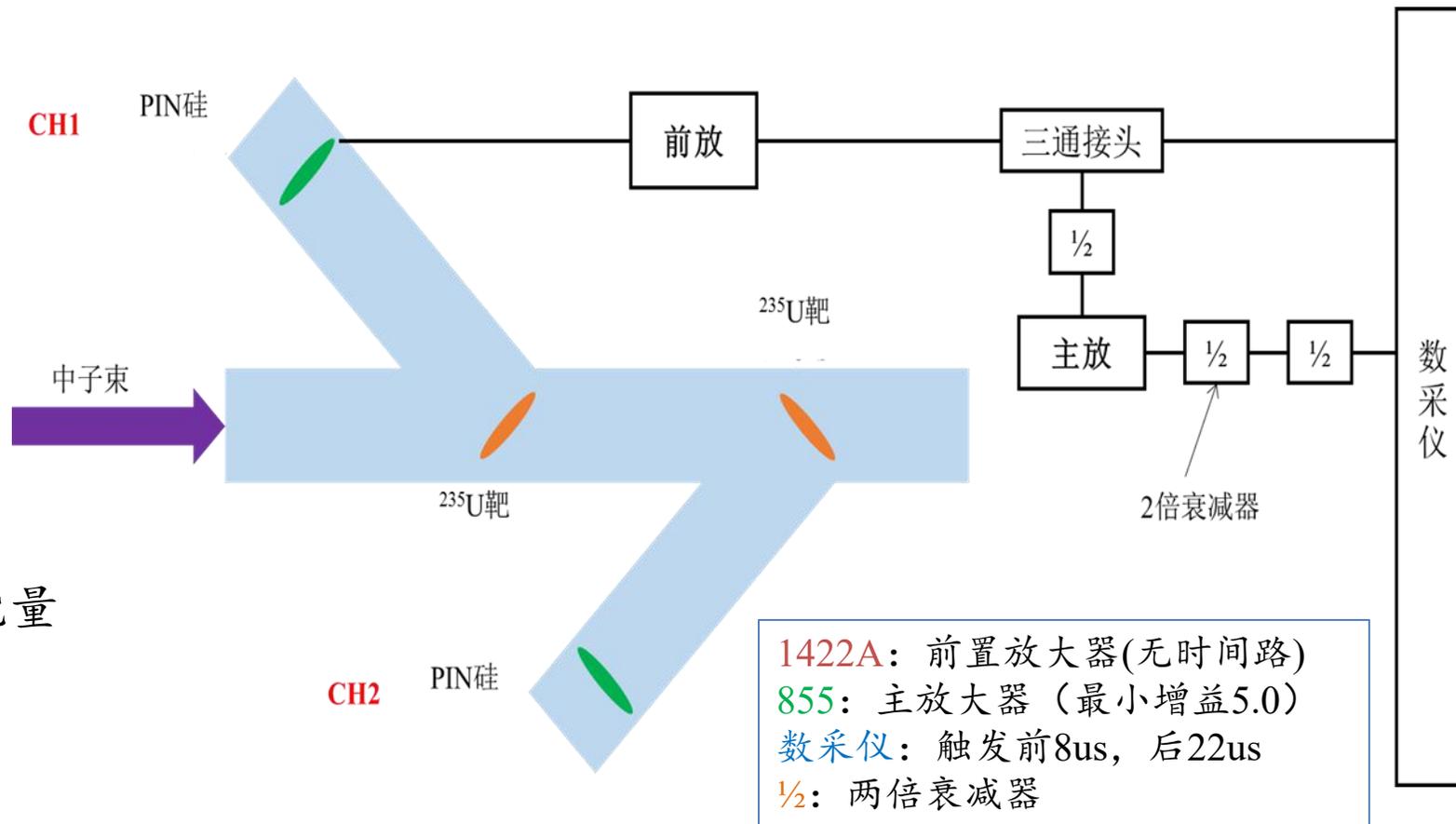
二、上年度实验成果：实验概述

束流概况

- 束流模式：单束团
- 束流时间：48h
- 测试厅：ES1

实验设置

- 两个信道：2路时间+2路能量
- 探测器：PIN-Si
- 物理靶： ^{235}U
- 记录方式：数采仪-波形采集

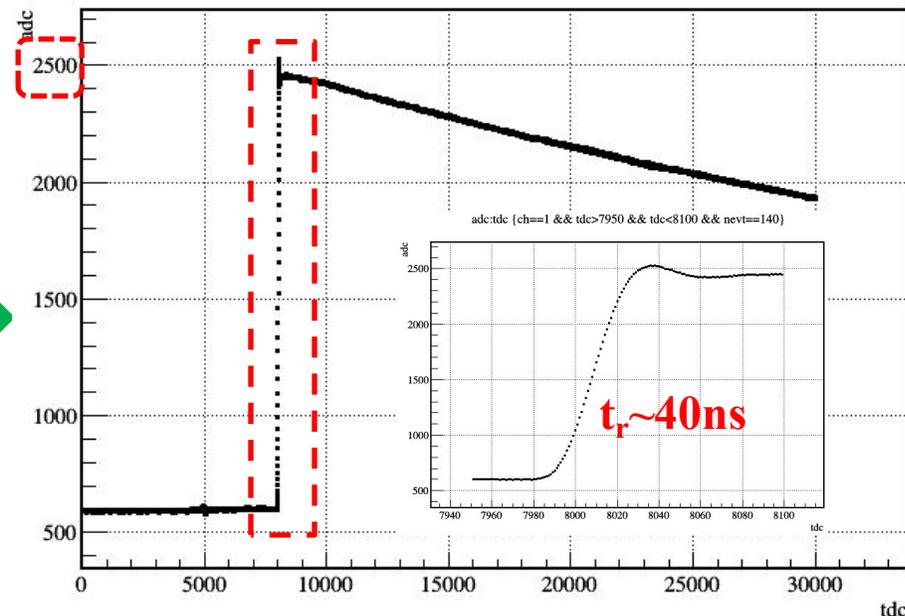


二、上年度实验成果：事件与波形

前放波形：

- PIN-Si探测器+1422A前放
- 上升时间~40ns
- 两类事件信号：裂变碎片/ γ 爆

裂变碎片事件 →



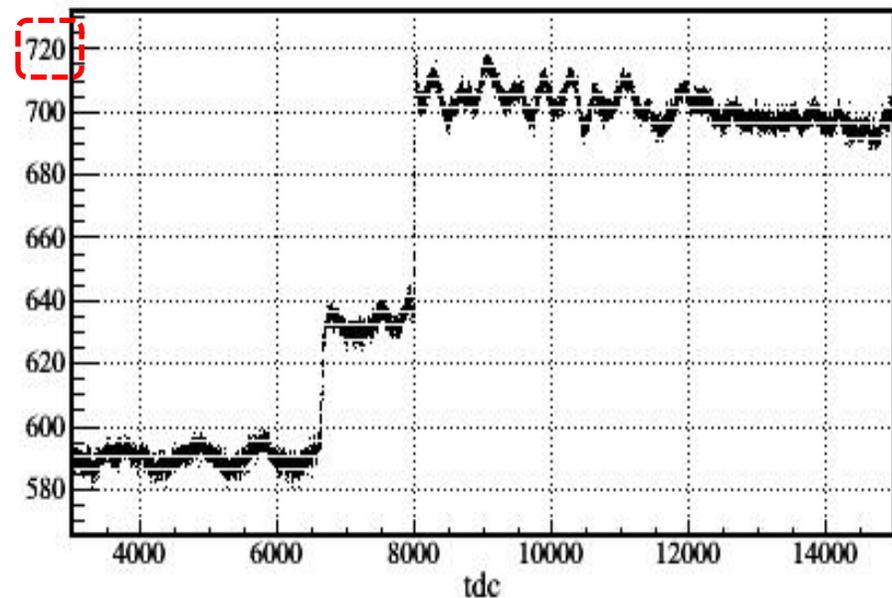
➤ 裂变碎片：

中子轰击U靶 => 诱发裂变碎片 => 幅值大，
无信号堆积

➤ γ 爆事件：

γ 轰击U靶 => 散射光子、电子 => 幅值小，
信号堆积严重

γ 爆事件 →



二、上年度实验成果：中子飞行时间

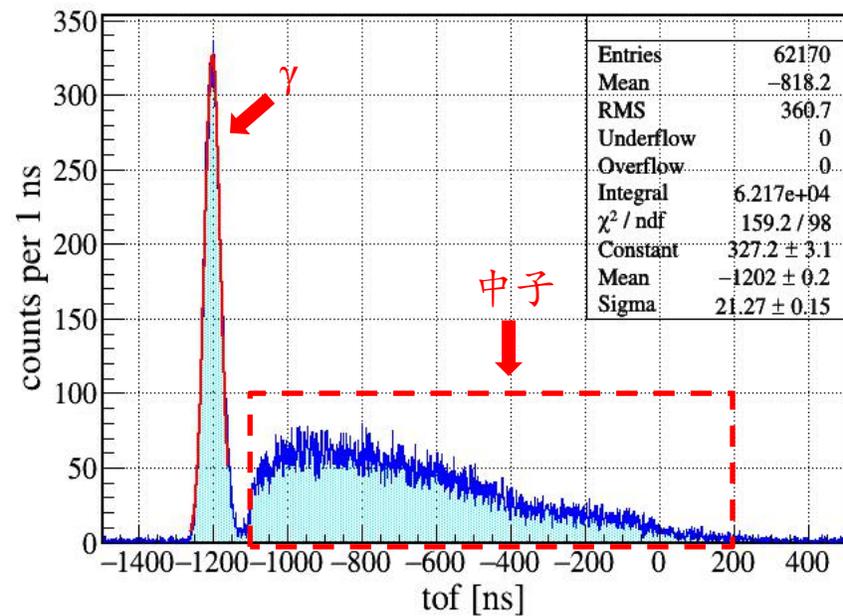
事件时间谱



中子飞行时间



裂变能谱 v.s. 中子能谱



事件波形起跳点 \uparrow

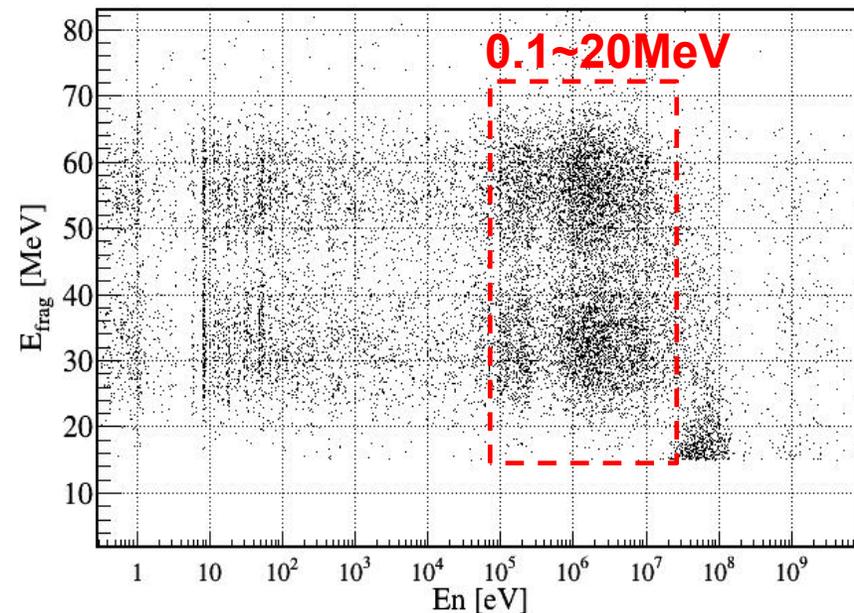
$T_{n\text{-tof}} = (T_{\text{signal}} - T_{\text{ion}}) - (T_{\gamma} - T_{\gamma\text{-tof}})$

\uparrow γ 爆打靶时间

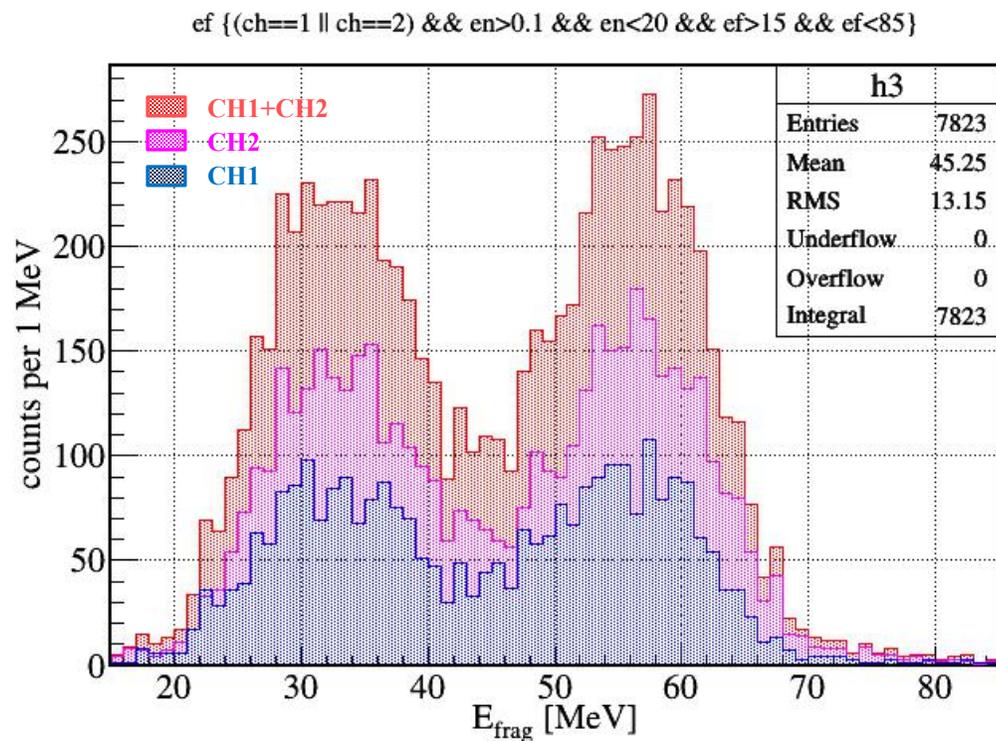
\downarrow 中子飞行时间

\downarrow 裂变碎片飞行时间

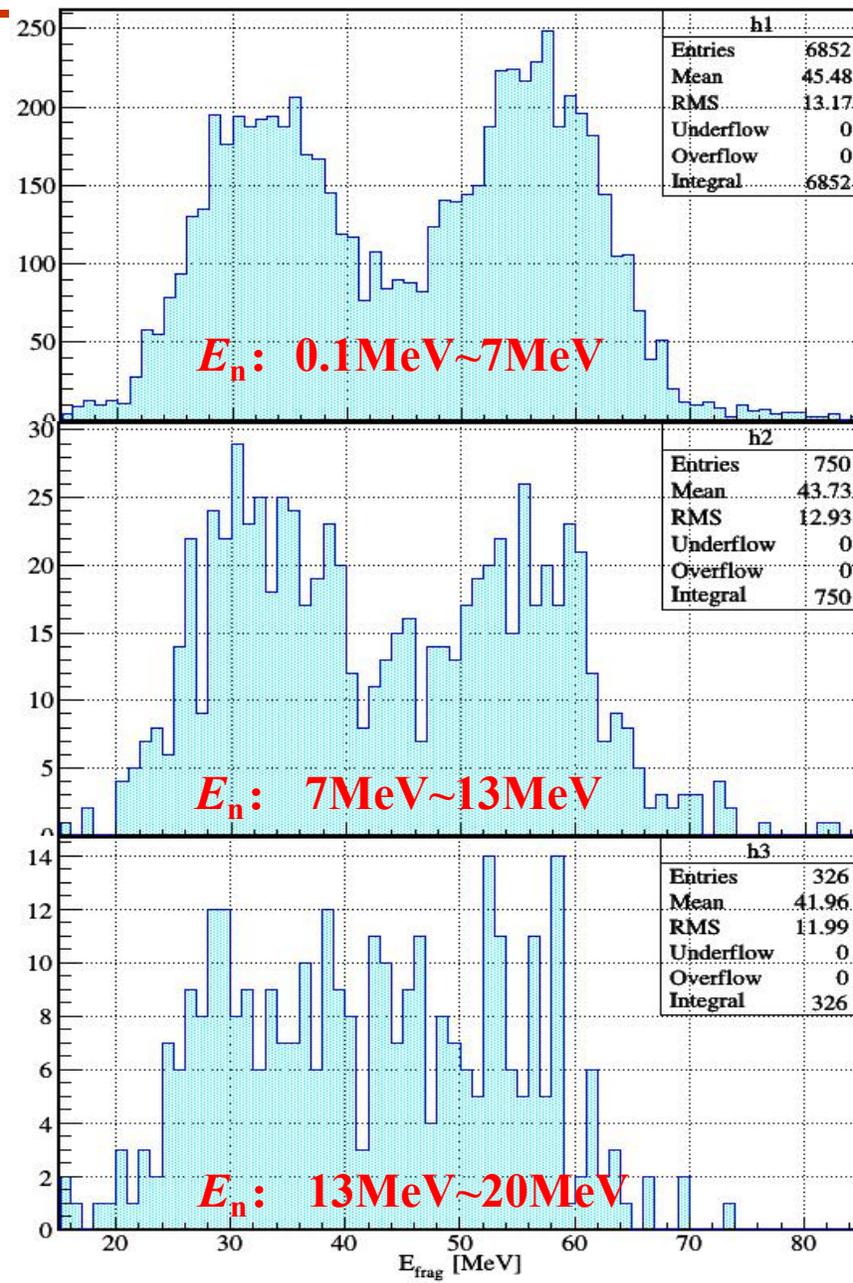
\downarrow γ 真实飞行时间



二、上年度实验成果： ^{235}U 裂变谱



- 明显**马鞍结构**
- 随着中子能量增加，**峰谷比减小**
- **平均能量偏低**
 - 实验值：~45MeV
 - 理论值：~80MeV



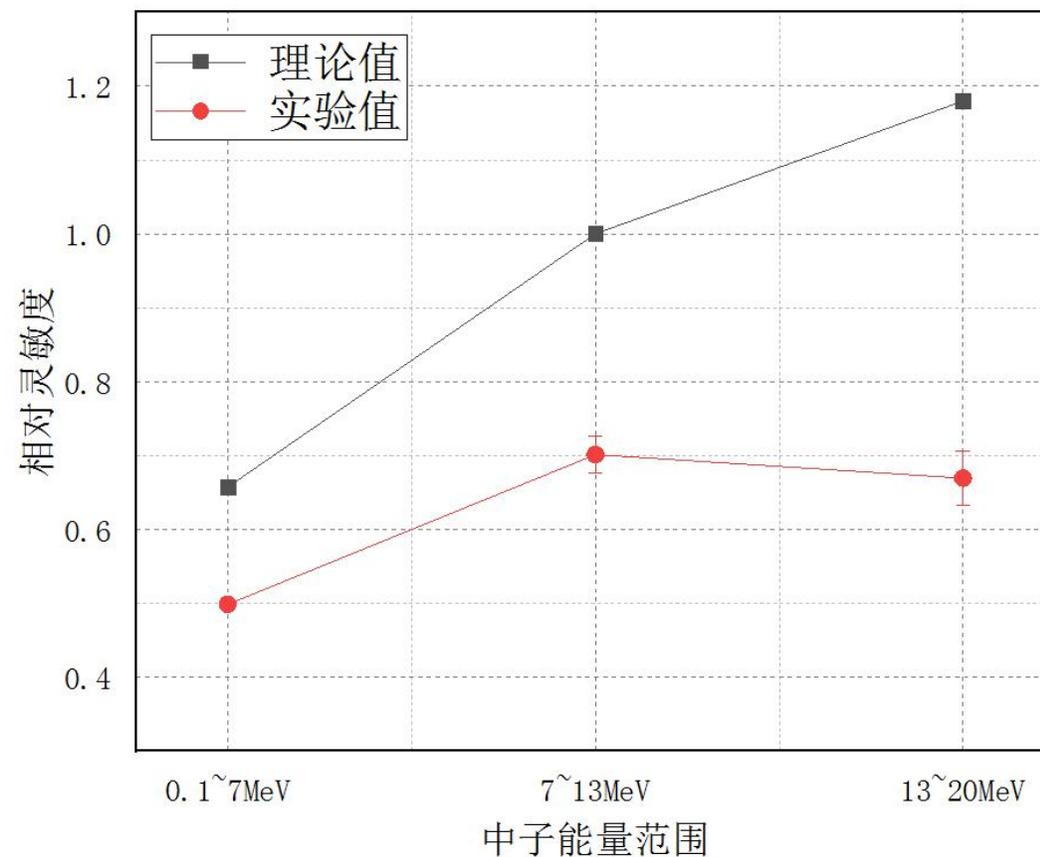
二、上年度实验成果：中子灵敏度

➤ 实验值整体偏小

- 主要源于裂变谱能量偏低
 - ▶ 电子学系统在高能区的非线性
 - ▶ 脉冲幅度亏损现象
 - ▶ U 靶不均匀性

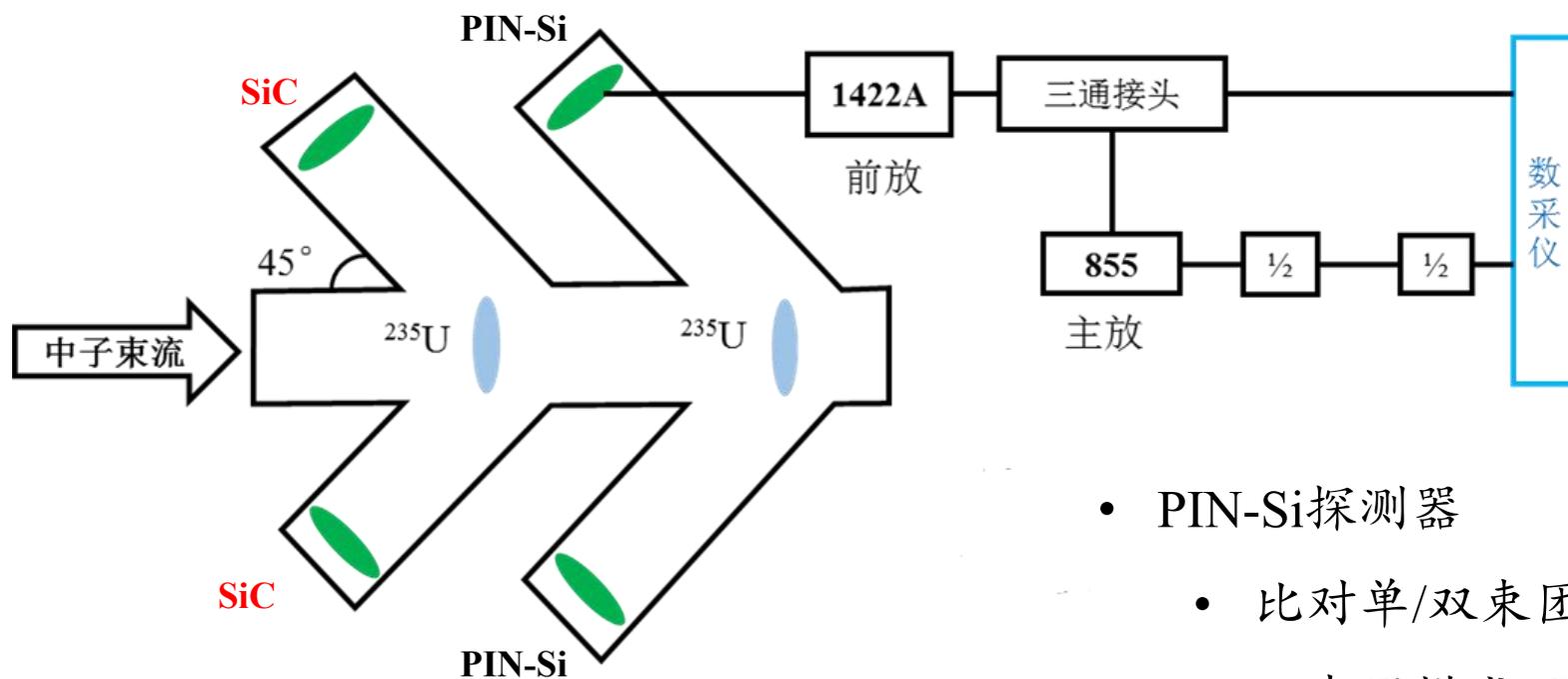
➤ $E_n=13\sim 20\text{MeV}$ 时，实验值趋势反转

- 统计量过低
- 实验平均能量偏低



三、本年度实验计划

多个通道 + 多种探测器测量

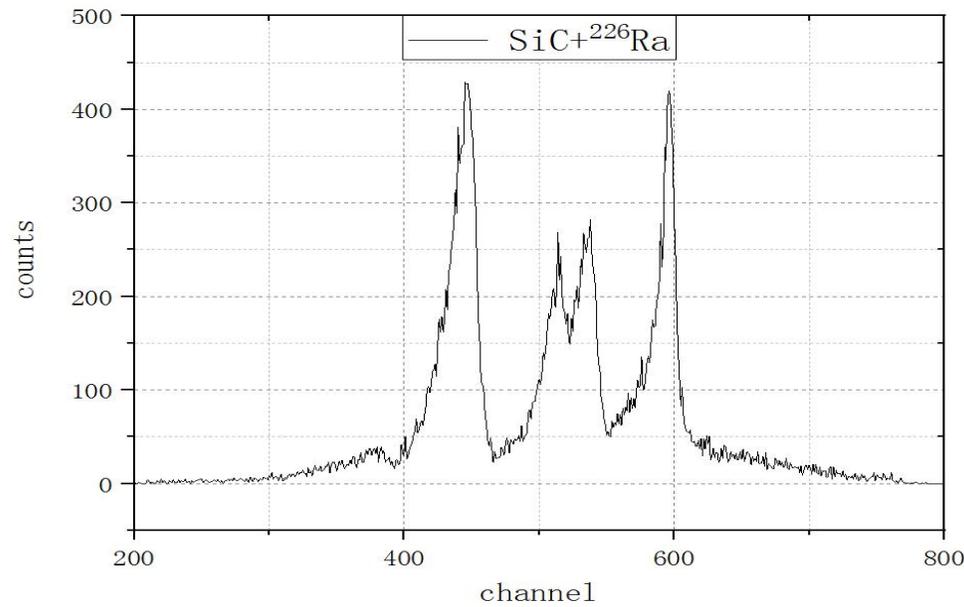
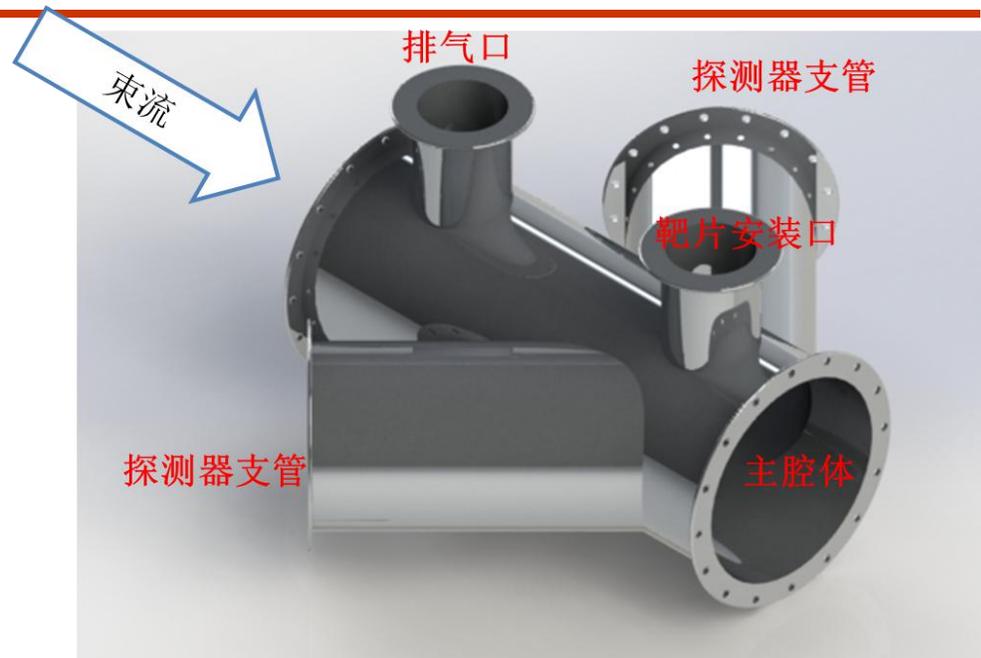


- PIN-Si探测器
 - 比对单/双束团模式下的数据差异
 - 双束团模式下，验证解谱提取灵敏度的可行性
- SiC探测器
 - 长时间工作 => 测试辐照损伤情况
 - 较大的平均电离能 => 研究脉冲幅度亏损现象

三、本年度实验计划

实验准备情况:

- 新靶室腔体×2：
 - 计划于11月交货
- 半导体探测器：
 - PIN-Si探测器：Φ30 mm×0.3 mm
 - SiC探测器：尺寸10×10mm²，厚度~30um，
 - 已完成死层、线性电流、时间响应，以及α放射源能谱测量
- 数据处理技术趋于完善



四、束流申请

束流时间计算：

- 单束团模式下，U靶单位时间产生的裂变碎片数量

$$\begin{aligned} N_{frag} &= I_n \times \sigma \times A \times S_t \\ &\approx 2.5 \times 10^6 / (\text{cm}^2 \cdot \text{s}) \times 1.5 \times 10^{-24} \text{cm}^2 \times 8.08 \times 10^{17} / \text{cm}^2 \times 2.25\pi \text{cm}^2 \\ &\approx 21.4 / \text{s} \end{aligned}$$

束流注量率： $2.5 \times 10^6 / (\text{cm}^2 \cdot \text{s})$

平均裂变截面：1.5 b

U靶面密度：0.35mg/cm²

U靶尺寸：φ3cm

- SiC灵敏区尺寸~1cm×1cm，位于10cm处，几何探测效率为

$$\xi = \frac{S_{\text{det}}}{4\pi R^2} = 7.96 \times 10^{-4}$$

- 单束团模式下，单个SiC探测器1小时统计量为

$$N = 21.4 / \text{s} \times 7.96 \times 10^{-4} \times 3600 \text{s} / \text{h} \approx 61.3 / \text{h}$$

- 单束团48h，双束团24h，两个SiC探测器总统计量：

$$N_{\text{tot}} = 2 \times (61.3 / \text{h} \times 48 \text{h} + 2 \times 61.3 / \text{h} \times 24 \text{h}) \approx 12000$$



基本满足裂变能谱统计需求与
能量切片操作

四、束流申请

中子能区范围	样品类型	样品位置	束团和束斑类型	实验准备时间(小时)	用束时间(小时)	希望实验日期(月)
0.2MeV-16MeV	硅探测器	ES1厅	双束团, $\phi 60\text{mm}$	6	24	2021.1
0.2MeV-16MeV	硅探测器	ES1厅	单束团, $\phi 60\text{mm}$	2	48	2021.1

束流时间:

• 双束团模式:

- 时间: 24小时
- 测试厅: ES1
- 束斑尺寸: $\phi 60\text{mm}$

• 单束团模式:

- 时间: 48小时
- 测试厅: ES1
- 束斑尺寸: $\phi 60\text{mm}$

额外需求:

- 数采仪: 8通道 (4路时间+4路能量)
- 高压: 4通道
- 中子能谱数据及其不确定度



谢谢！
请各位专家指正！