

2025年CSNS反角白光用户研讨会

基于GTAF装置的(n, γ)反应 截面在线测量研究进展

GTAF项目组成员 张奇玮

中国原子能科学研究院 核数据重点实验室

2025.7.23



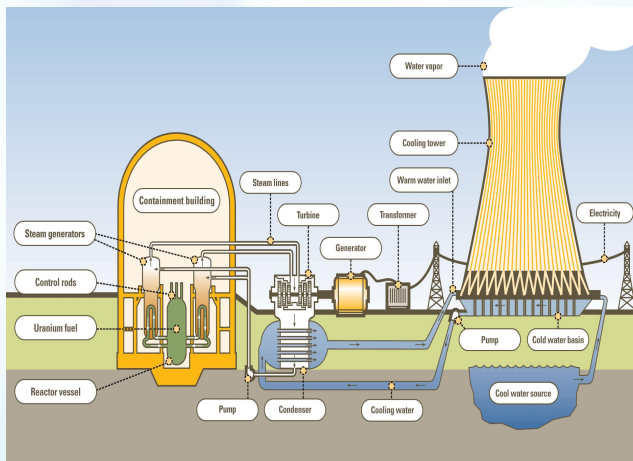
报告内容

- 1、测量 (n, γ) 反应截面的意义
- 2、 γ 全吸收型 BaF_2 探测装置(GTAF)
- 3、基于Back-n的 (n, γ) 截面测量实验
- 4、2024~2025年在线测量实验进展
- 5、总结与展望

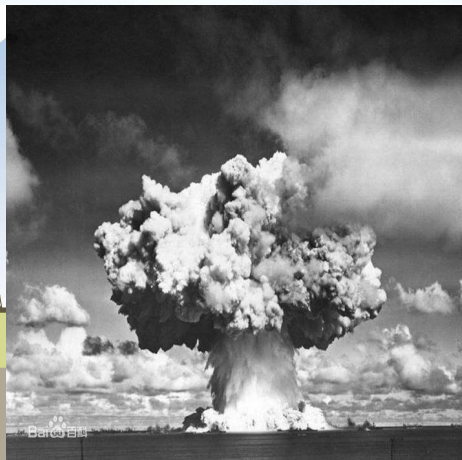


1、测量 (n, γ) 反应截面的意义

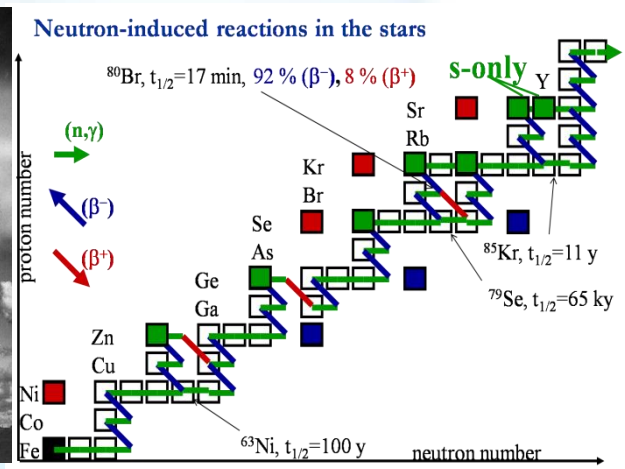
- 中子辐射俘获反应--- (n, γ) 的截面在先进核能研究、反应堆与核装置、基础核物理等领域具有重要的应用价值；
- 能区：**keV能区（共振区）**
- 核素：裂变核、串级反应核、裂变产物核（稳定核素→**不稳定核素，本身放射性，样品量低，小截面核素**）
- 国内目前缺少共振区的不稳定核素的 (n, γ) 反应实验测量技术和数据分析方法。



先进核能研究

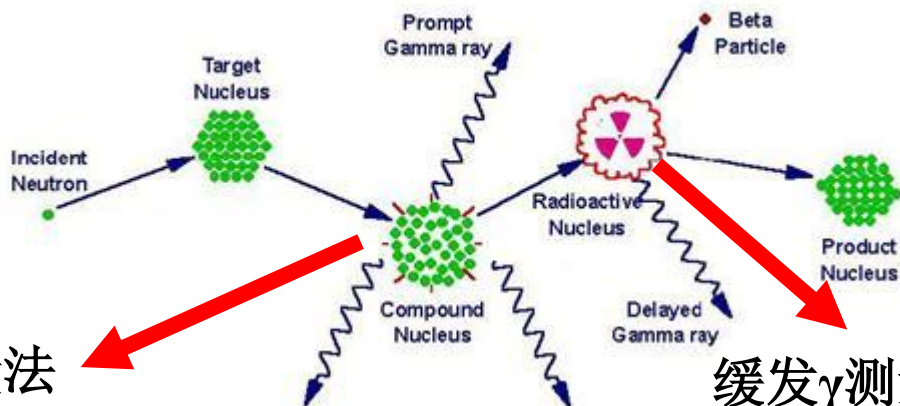


反应堆与核装置



核天体物理-s过程

1、测量(n, γ)反应截面的意义



瞬发γ测量法

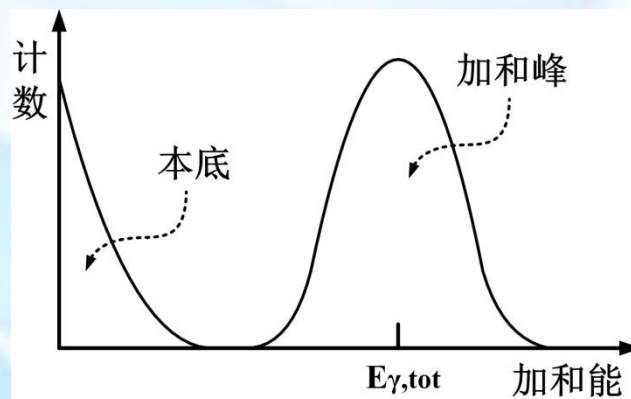
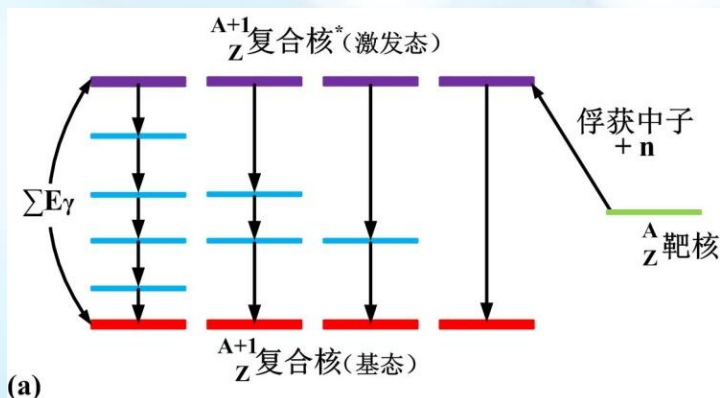
缓发γ测量法

优点：普适性 微分截面

局限性：

- 基态核具有放射性，半衰期必须合适
- 平均截面，不区分反应道和能量

$$E_{\gamma, tot} = E^* = S_n + E_n$$

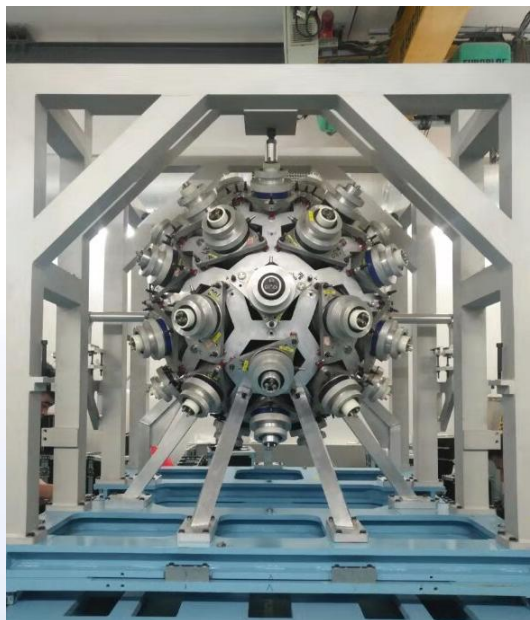


报告内容

- 1、测量 (n, γ) 反应截面的意义
- 2、 γ 全吸收型 BaF_2 探测装置(GTAF)
- 3、基于Back-n的 (n, γ) 截面测量实验
- 4、2024~2025年在线测量实验进展
- 5、总结与展望



2、 γ 全吸收型BaF₂探测装置(GTAF)

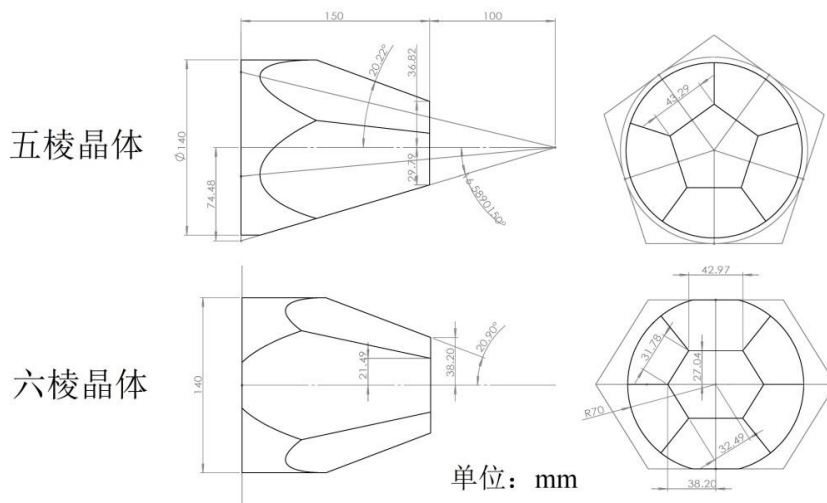


γ 全吸收型BaF₂探测装置 (GTAF) :

12个五棱锥台、28个六棱锥台

内半径10cm、厚度15cm,

覆盖立体角95.2%



快成分 0.6ns 225nm 最短

慢成分 620ns 325nm

优点:

- 中子灵敏度低;
- 对 γ 射线的探测效率高(> 90%);
- 好的时间分辨;
- 折射率接近于玻璃, 不潮解;

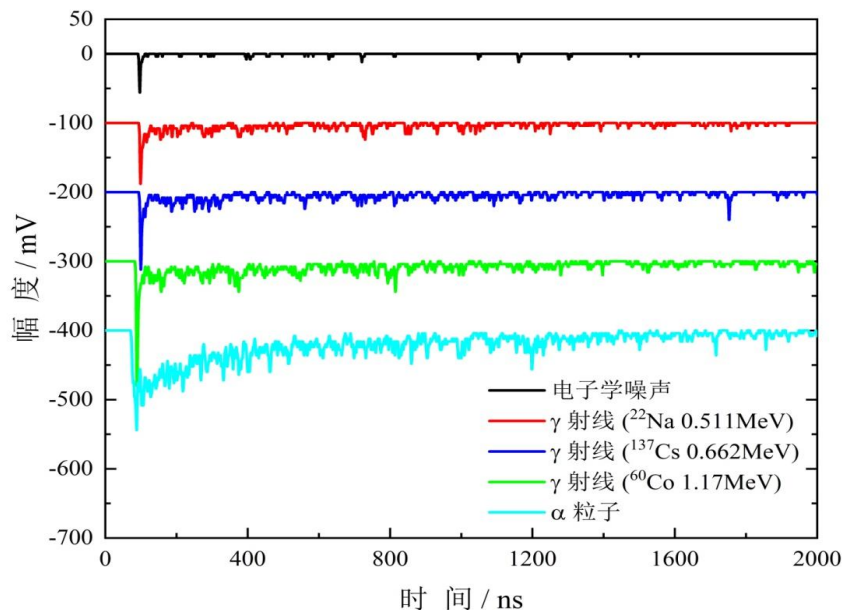
缺点:

- 能量分辨率不高;
- 自身的 α 本底 (Ra);



2、 γ 全吸收型BaF₂探测装置(GTAF)

α / γ 粒子鉴别

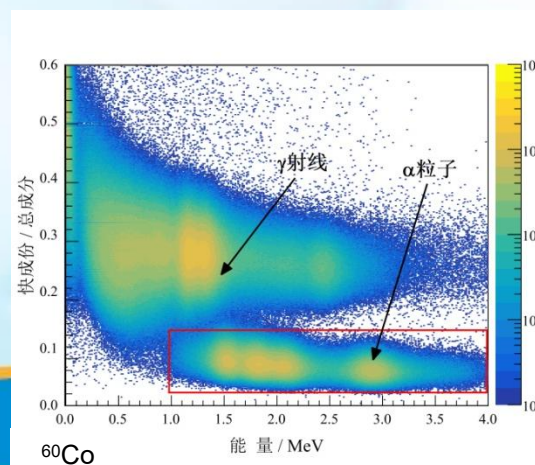
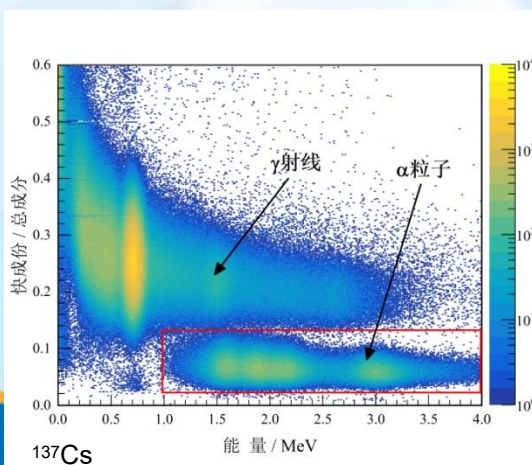
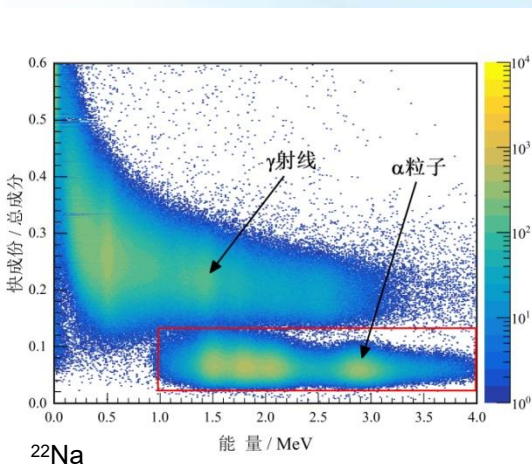


• γ 射线是有效信号，有明显的快成分和慢成分；

• 晶体自身的 α 粒子，来源于与Ba共生存在的Ra元素的衰变， α 粒子几乎没有快成分，只有慢成分，需要剔除；

• 电子学噪声，来源于光电倍增管的暗电流和其它电子学电路，电子学噪声正好相反，几乎没有慢成分，需要剔除；

$$\text{快成分/总成分} = \frac{\text{0~5ns的脉冲幅度积分值}}{\text{0~200ns的脉冲幅度积分值}}$$

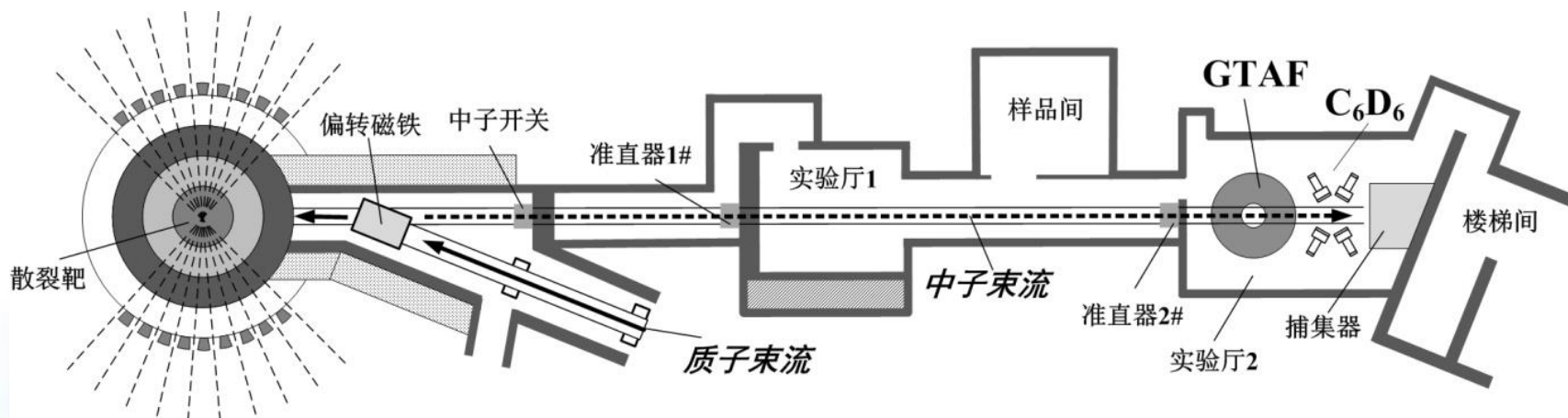


报告内容

- 1、测量 (n, γ) 反应截面的意义
- 2、 γ 全吸收型 BaF_2 探测装置(GTAF)
- 3、基于Back-n的 (n, γ) 截面测量实验
- 4、2024~2025年在线测量实验进展
- 5、总结与展望



3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验



中子束斑尺寸/mm	中子开关孔径/mm	准直器1#孔径/mm	准直器2#孔径/mm	中子注量率 /s ⁻¹ cm ⁻²
φ30	φ12	φ15	φ40	7.81 × 10 ⁵
φ60	φ50	φ50	φ58	6.85 × 10 ⁶
90 × 90	78 × 62	76 × 76	90 × 90	2.18 × 10 ⁷

GTAF装置位于实验厅2，样品处的中子飞行距离为**76.09m**



3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

2019 – 2021 开展的实验

GTAF装置实验条件的探索:

1、单个BaF₂探测器单元的重新包裹

GTAF装置的组装, 探测器性能的测量

时间分辨率 FWHM < 24 ns

能量分辨率 ~ 20%

γ 射线探测效率 > 85%

2、公用电子学和数据获取系统的调试

单个波形采样长度 2000 ns

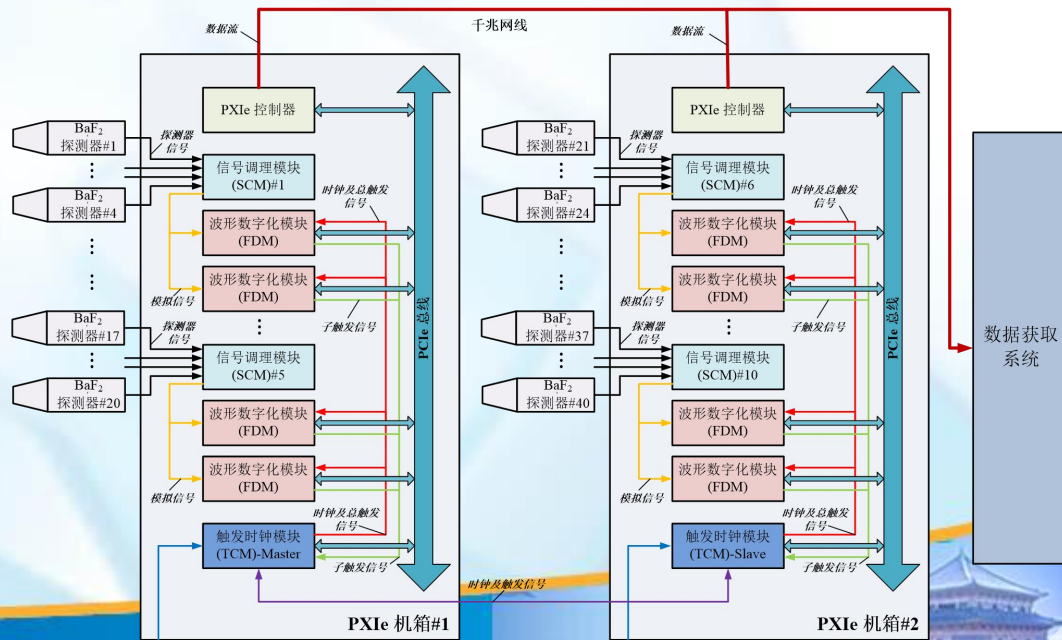
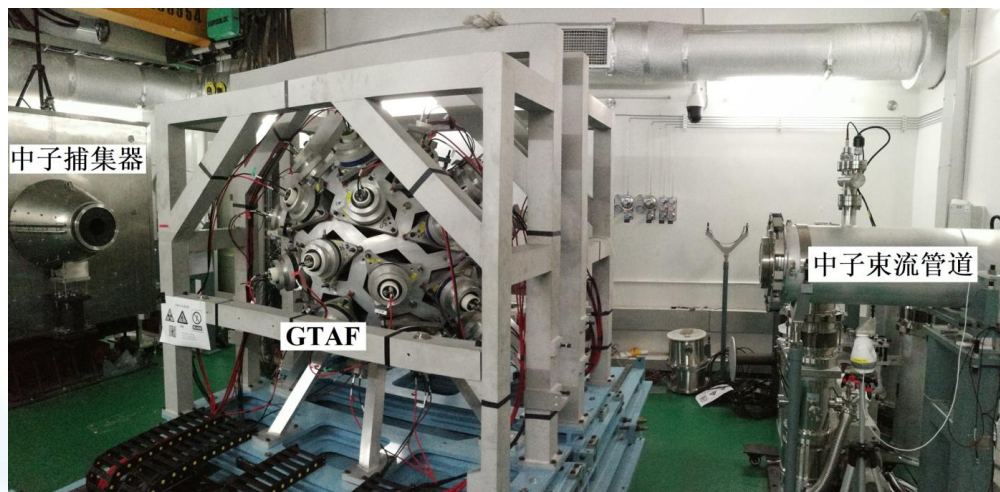
单通道触发阈值 25 mV

单通道触发宽度 8 ns

符合测量的时间窗 64 ns

触发方式的选择

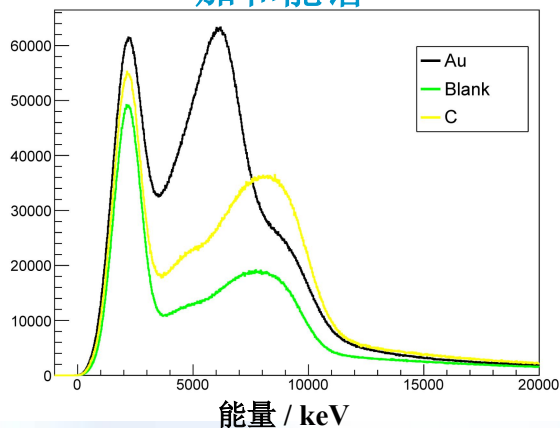
- 单通道自触发
- 符合触发



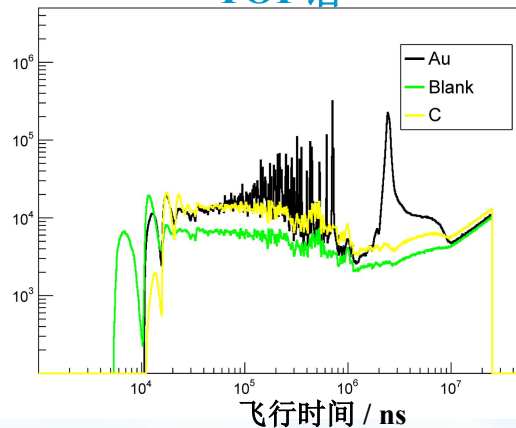
3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

•单通道自触发

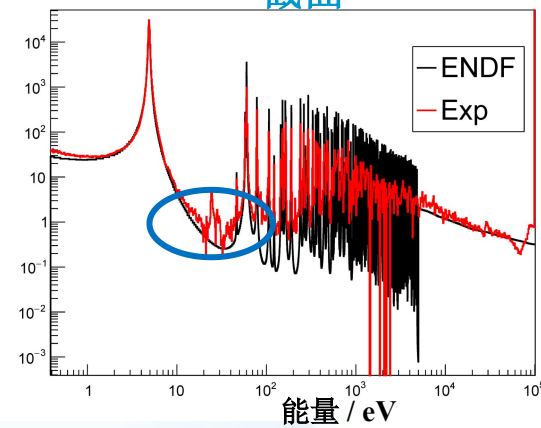
加和能谱



TOF谱



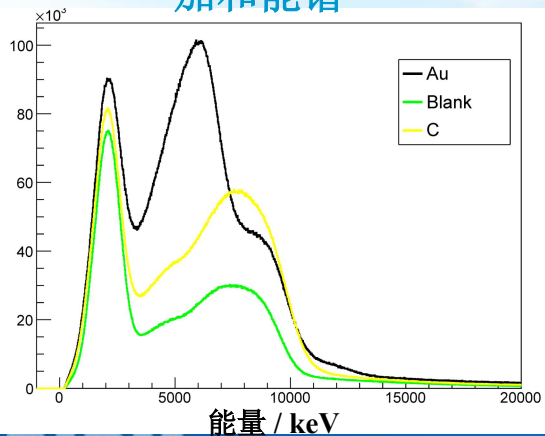
截面



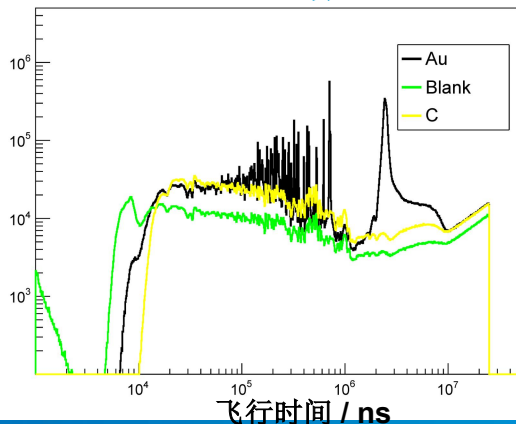
•64ns时间窗内的符合触发

两种触发方式的实验结果一致，
采用符合触发的方式节省存储空间。

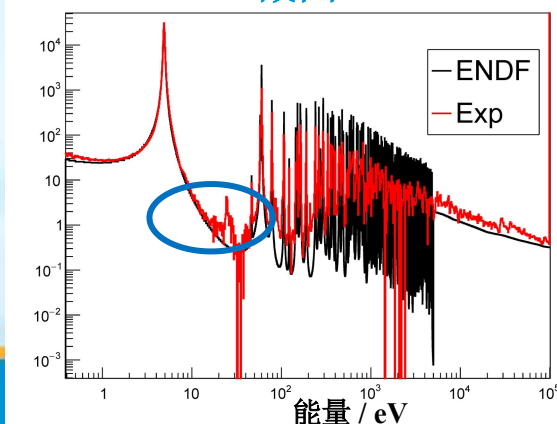
加和能谱



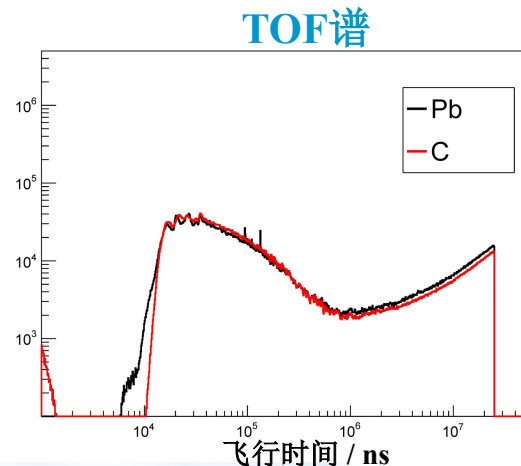
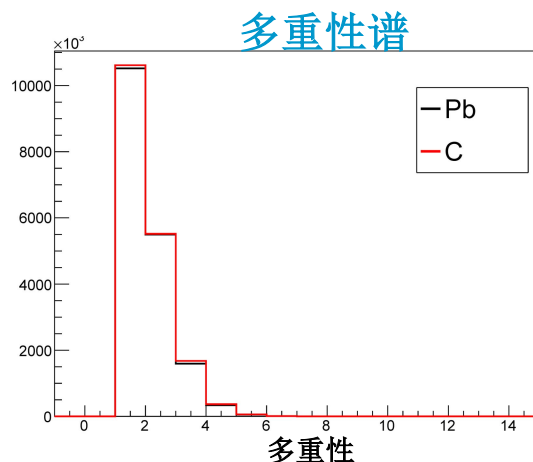
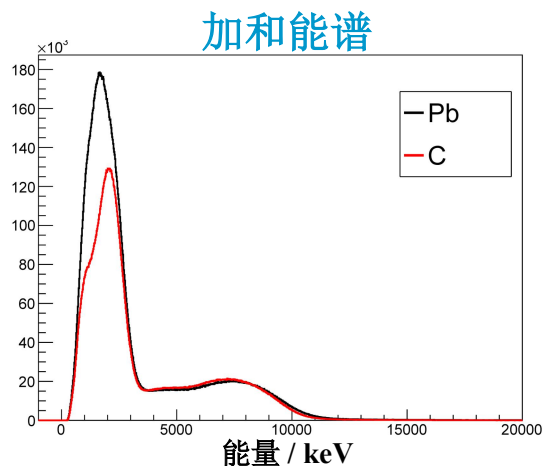
TOF谱



截面



C与Pb样品的实验数据比较

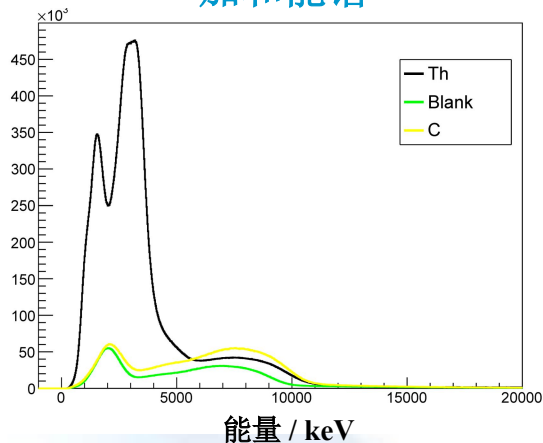


在多重性 ≥ 2 , $3\text{MeV} \leq \text{加和能量} \leq 11\text{MeV}$ 的条件下, C与Pb样品的TOF谱在 $30\mu\text{s} \sim 25\text{ms}$ 范围内趋势是相同的, 说明束内 γ 射线本底对GTAF实验数据的影响较小, 扣除散射中子本底可以采用C或Pb样品的数据。

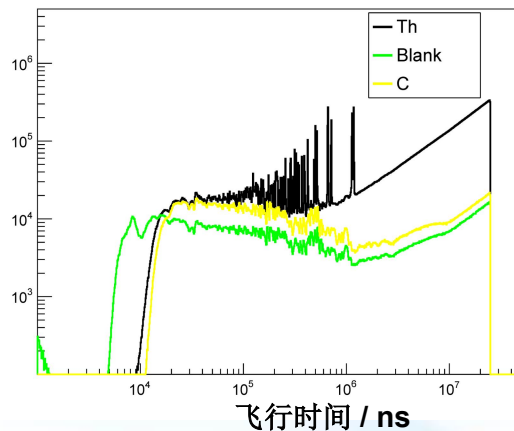
3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

^{232}Th 的实验结果

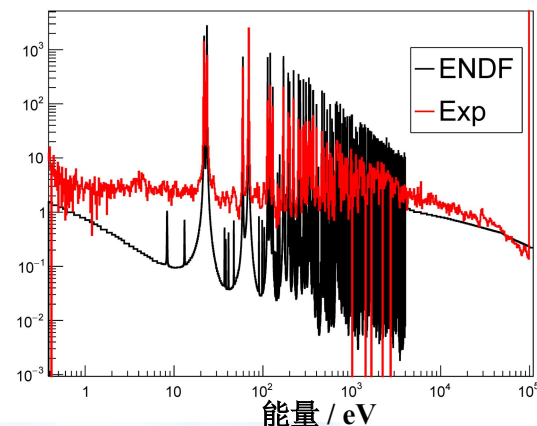
加和能谱



TOF谱

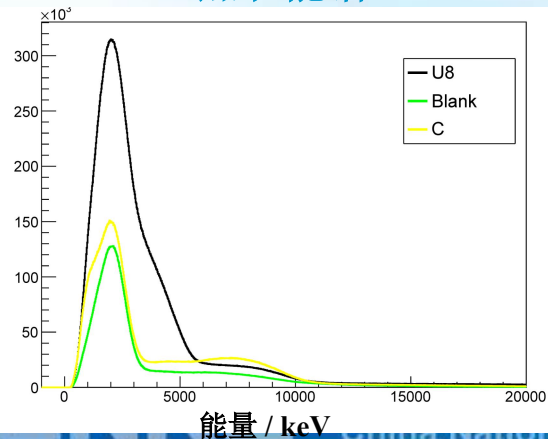


截面

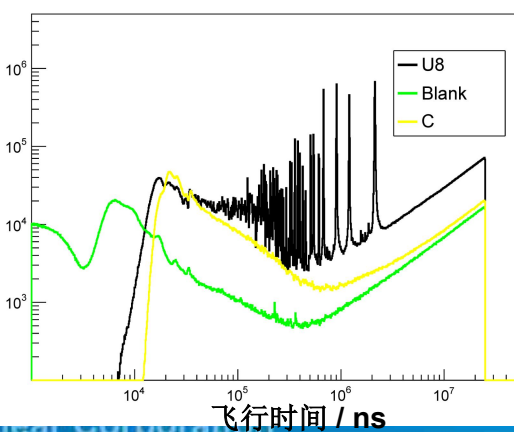


^{238}U 的实验结果

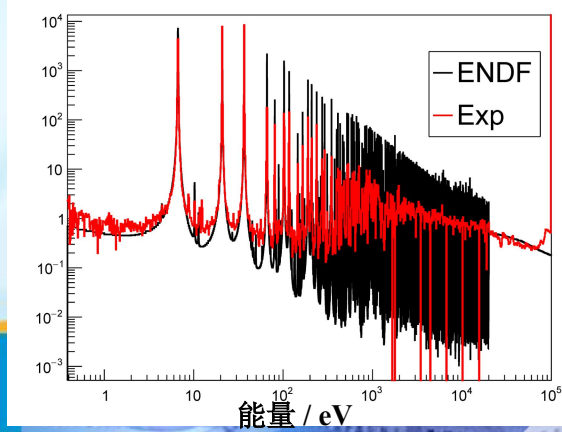
加和能谱



TOF谱



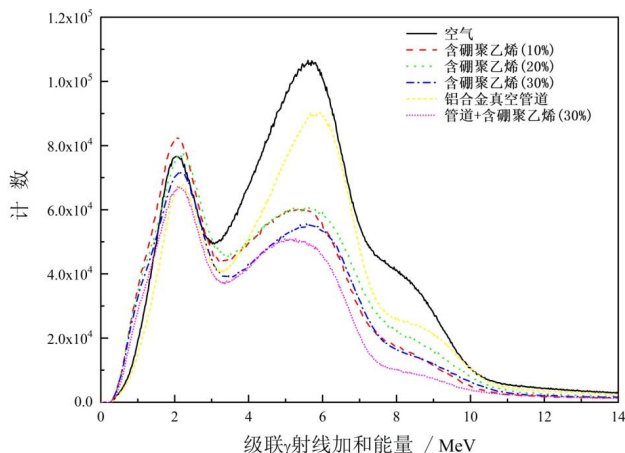
截面



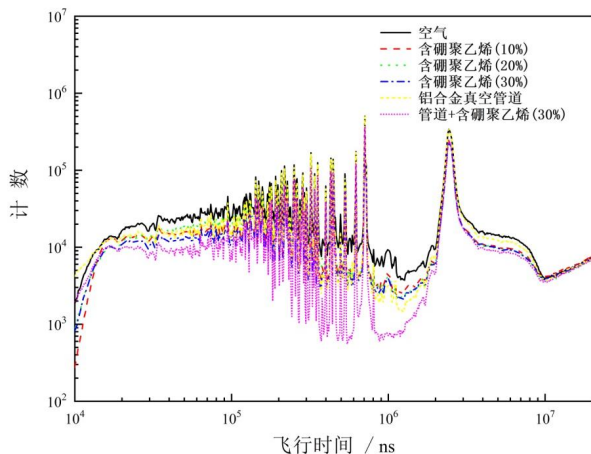
3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

2022 - 2023 开展的实验

Au - 加和能谱

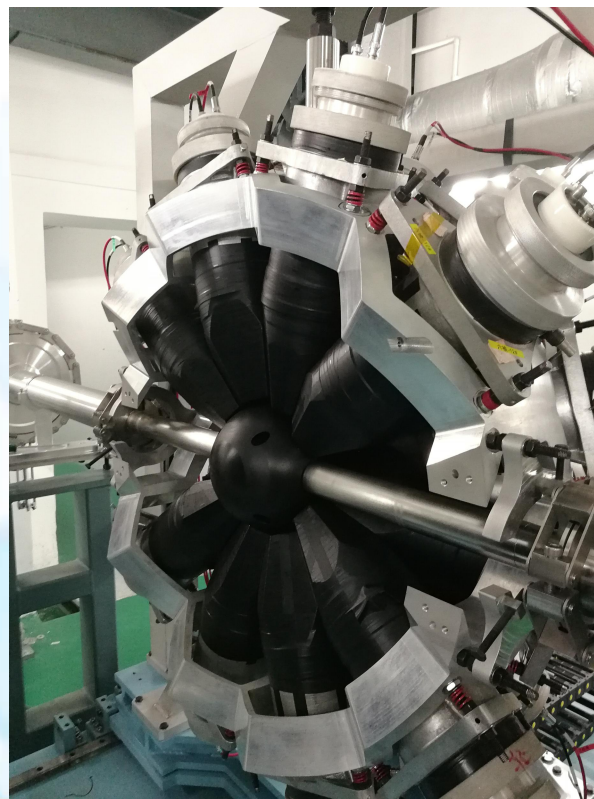


Au - TOF谱



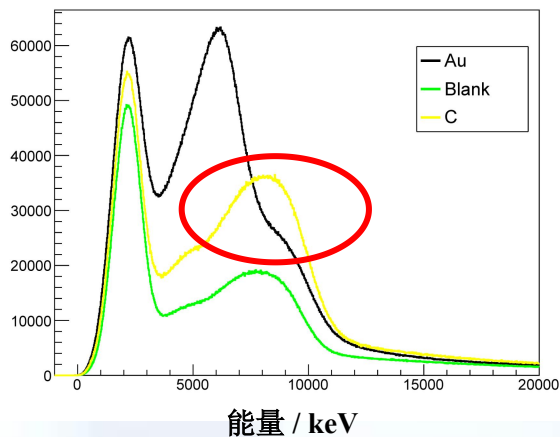
•在样品处增加了真空管道和中子吸收体，经过多次测试实验，确定（BC₄含量30%）的含硼聚乙烯中子吸收体效应本底比最高；

•公用电子学升级

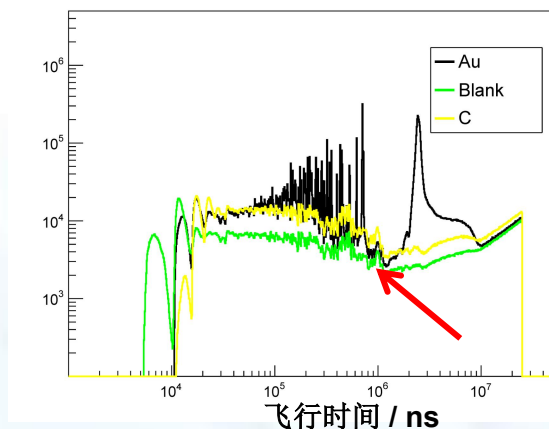


3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

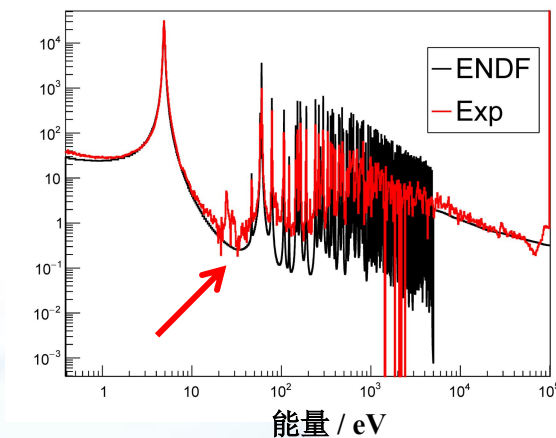
•Au样品在空气中



加和能谱



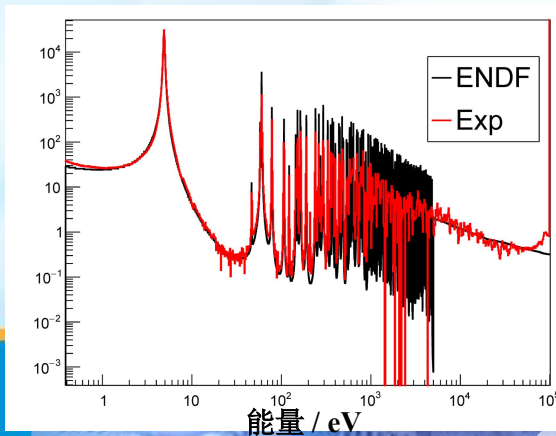
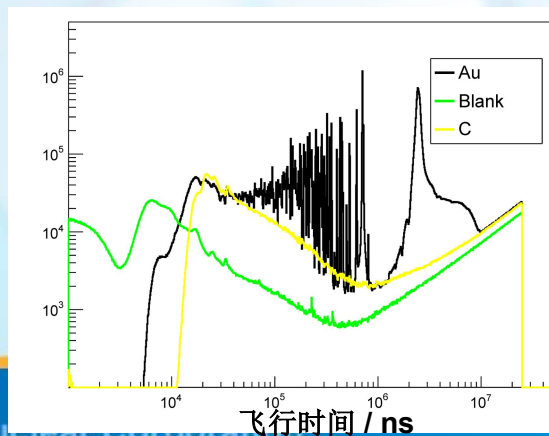
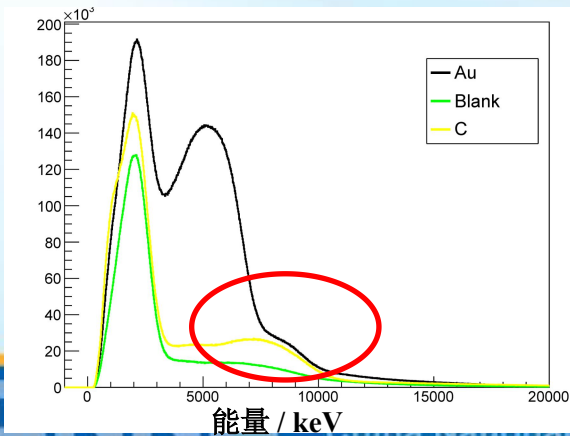
TOF谱



截面

相对于Au的加和能谱和TOF谱，C样品的计数明显降低，Ba的共振峰计数明显降低

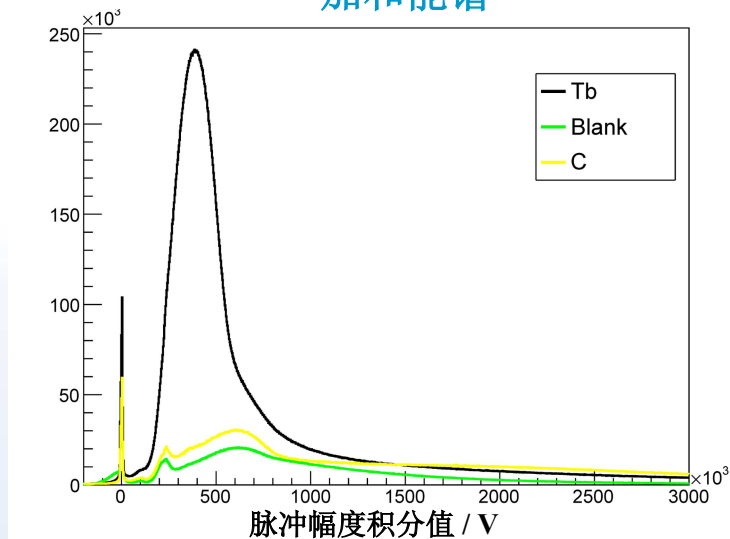
•Au样品真空管道和中子吸收体内



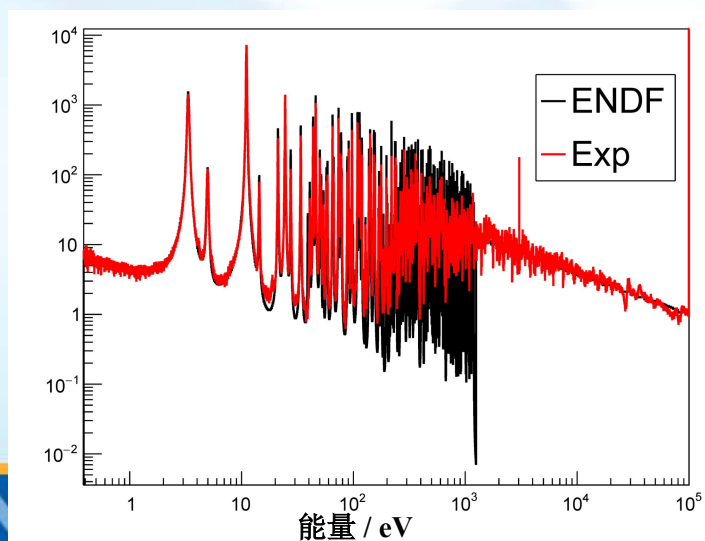
3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

^{159}Tb 的实验结果

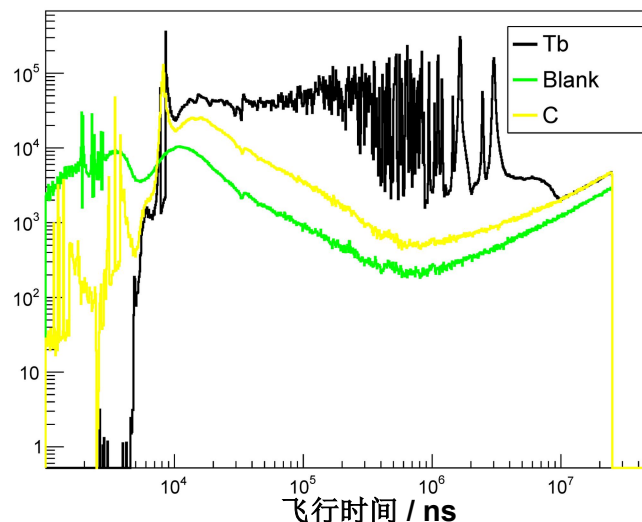
加和能谱



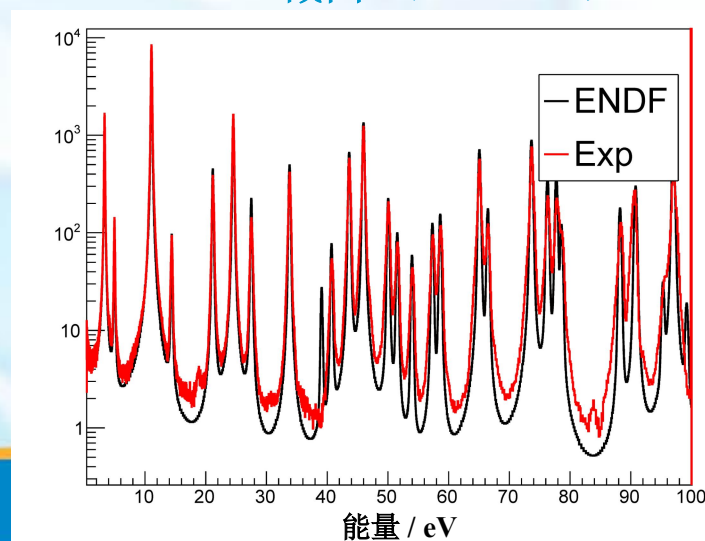
截面



TOF谱

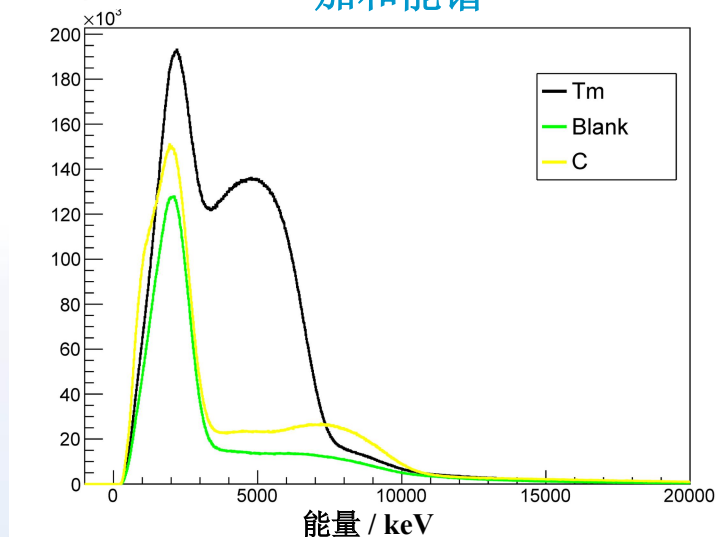


截面 (< 100eV)

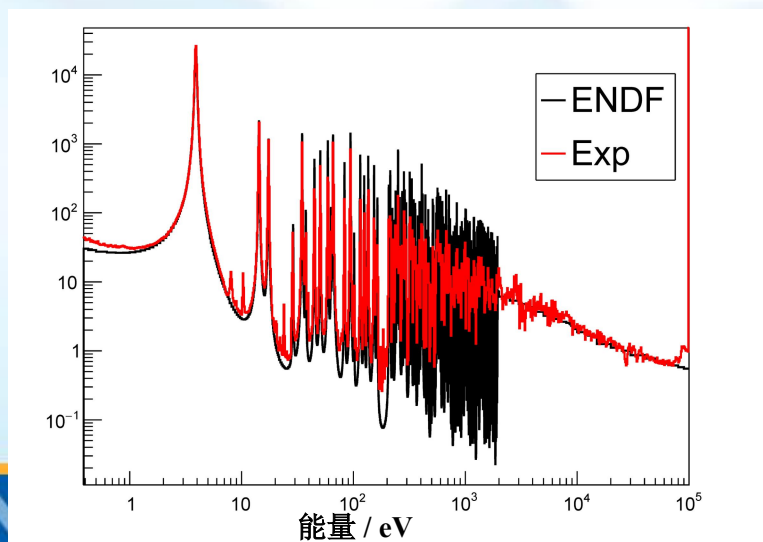


3、基于Back-n的(n, γ)截面测量实验

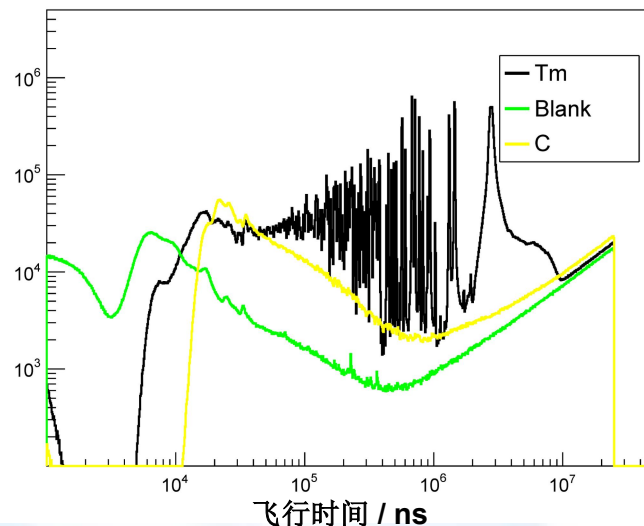
^{169}Tm 的实验结果 加和能谱



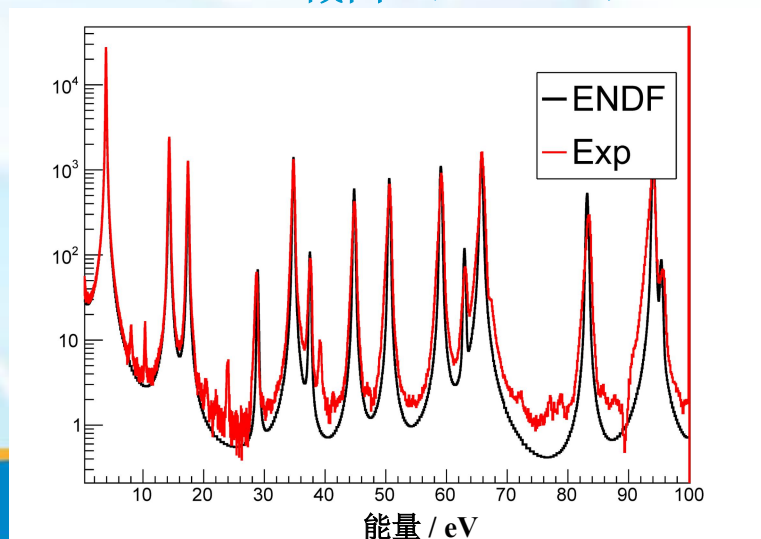
截面



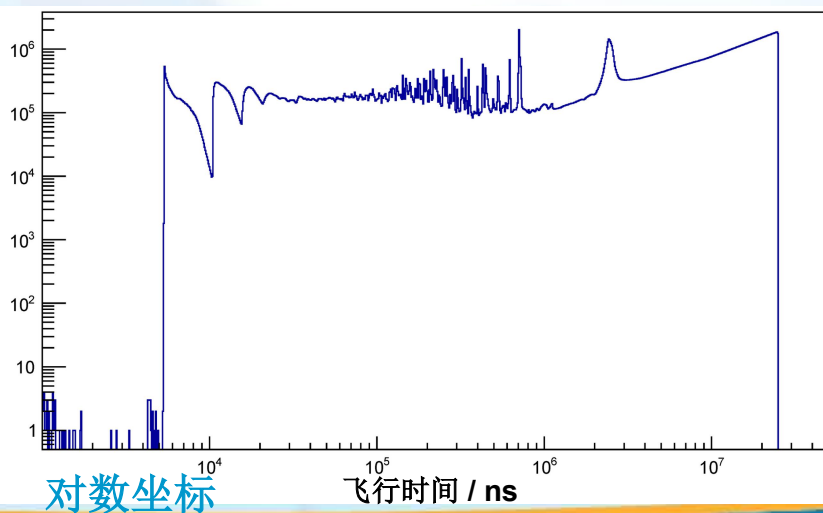
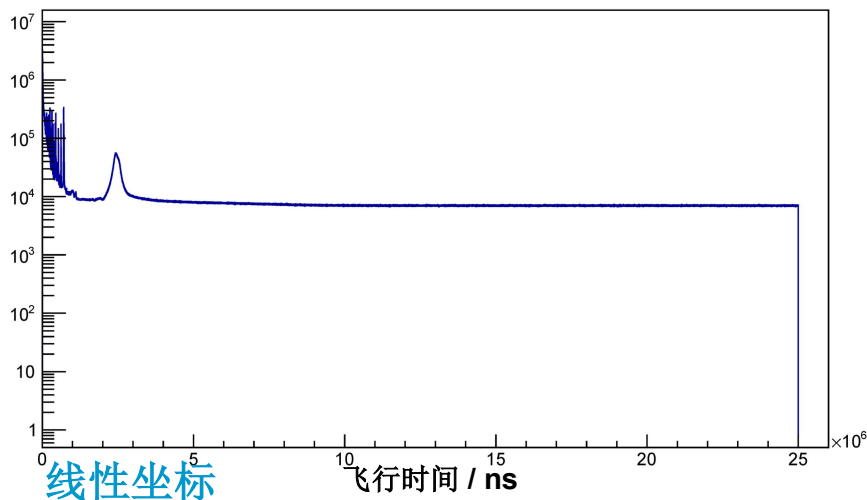
TOF谱



截面 (< 100eV)

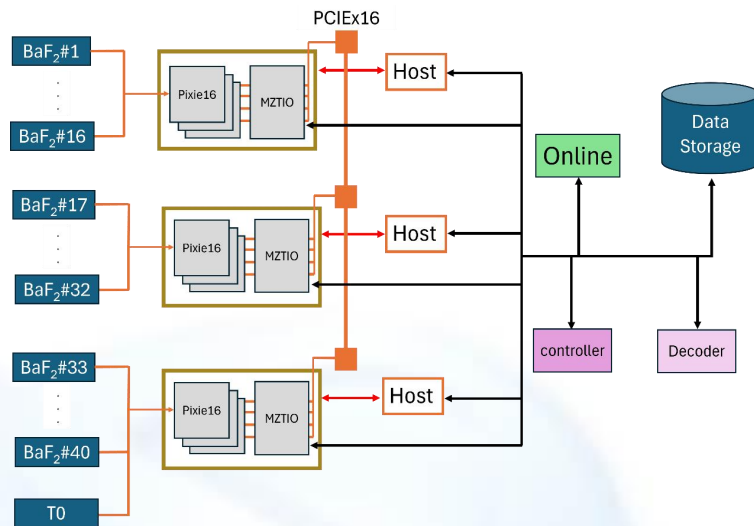
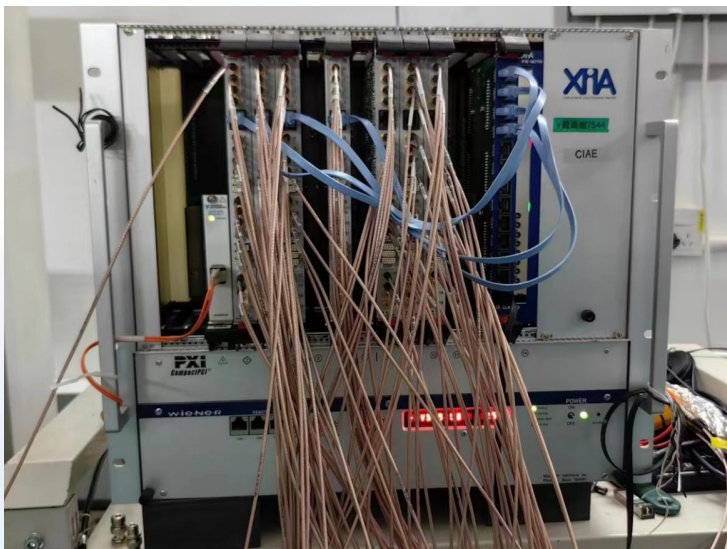


公用电子学采集到的Au样品的触发事件的计数率



单个波形的采样长度是 $2\mu\text{s}$ ，因此在入射中子能量 $>1\text{ keV}$ 的区域，信号明显出现堆积叠加的现象，给获取系统的触发和存储带来了很大的压力，因此连续区截面数据的测量面临很大的挑战。

引入XIA的数据获取系统



XIA数据获取系统采用分段采集的方式，使用3张14bit、500Mhz 的板卡对1keV能区以下的探测器触发信号只采集能量信息和飞行时间信息，不保留原始波形；对1keV能区以上的信号采用不设置触发条件的全波形采集，之后再进行解谱分析处理。

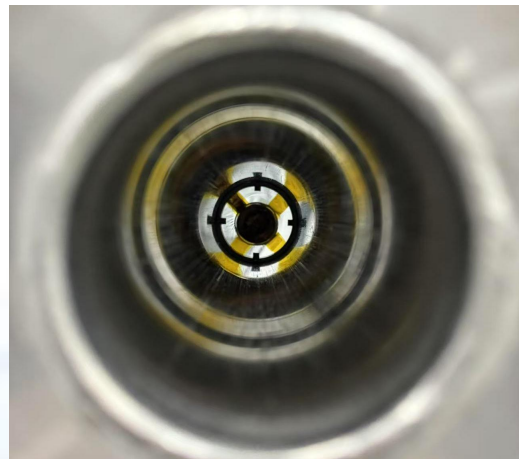
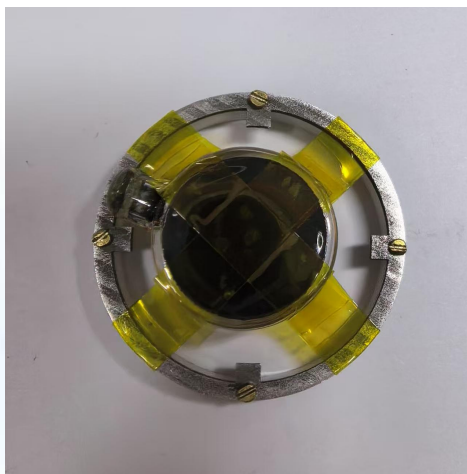
报告内容

- 1、测量 (n, γ) 反应截面的意义
- 2、 γ 全吸收型 BaF_2 探测装置(GTAF)
- 3、基于Back-n的 (n, γ) 截面测量实验
- 4、2024~2025年在线测量实验进展
- 5、总结与展望

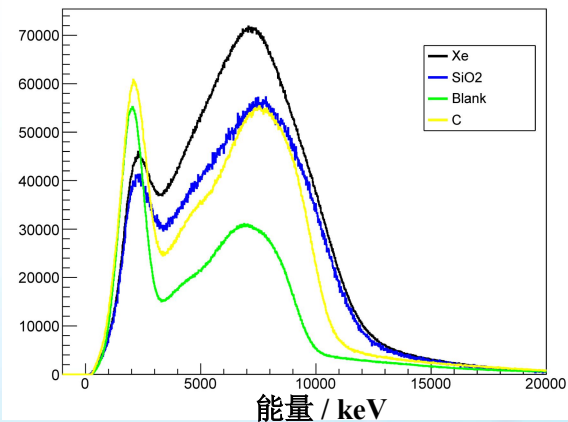


^{124}Xe 的实验结果

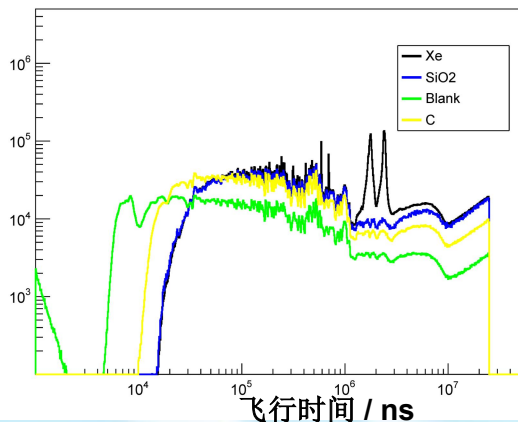
- ^{124}Xe 气体样品被石墨吸附
- 封装在石英玻璃中
- 样品量399mg



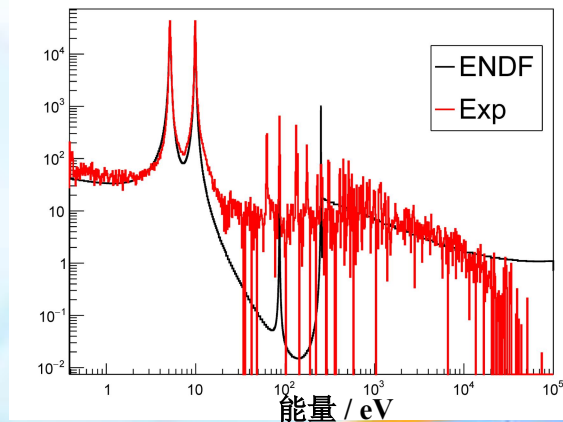
加和能谱



TOF谱

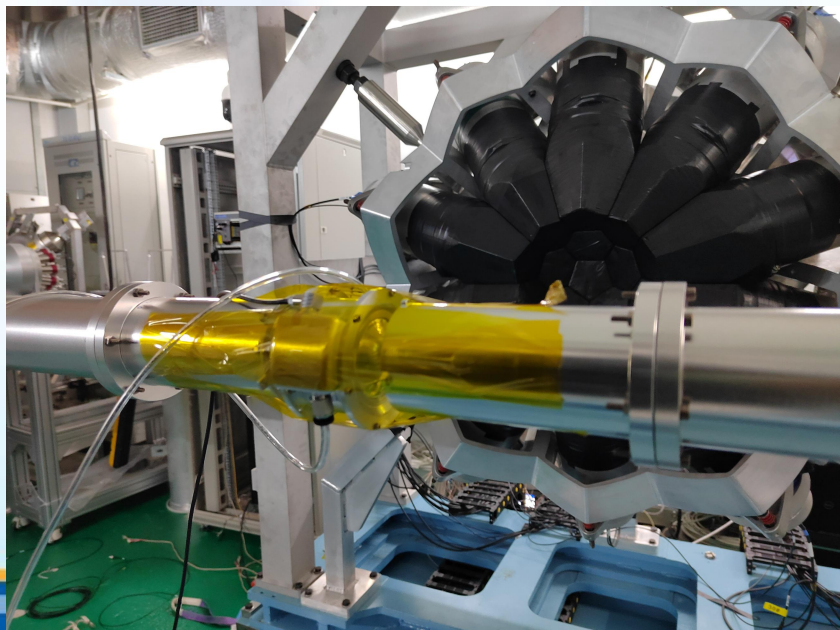


截面

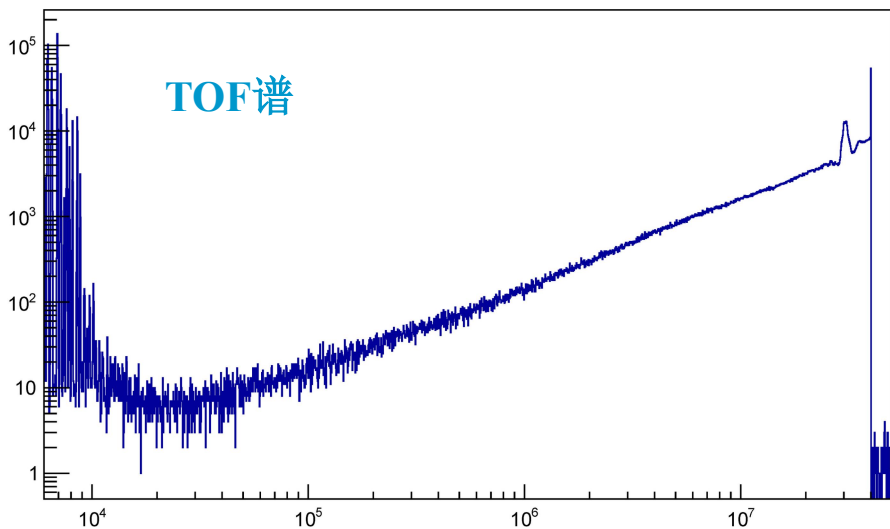


^{235}U 的实验结果

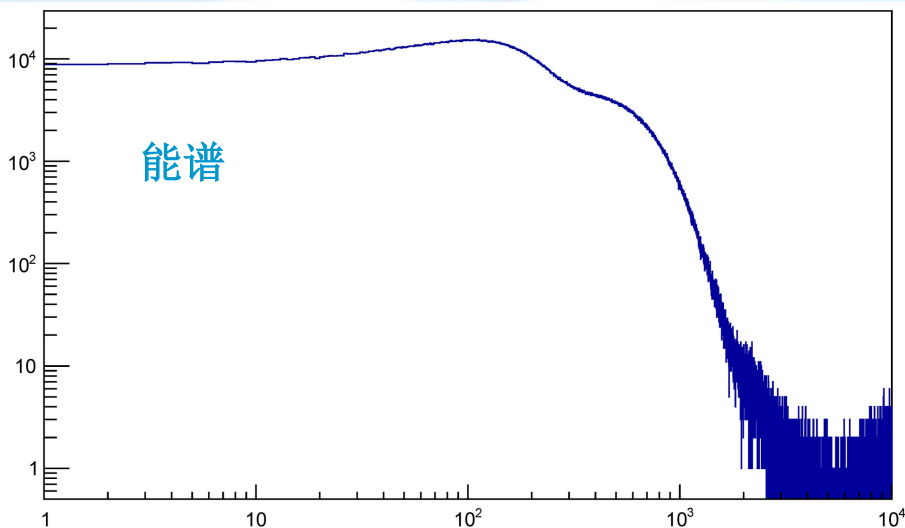
- ^{235}U 镀在镀铝麦拉膜上，装在电离室中，
- 电离室放置在GTAF装置球心处，
- 中子束流通道前后采用真空管道，只在电离室处断开



测量 ^{235}U 样品的电离室实验结果

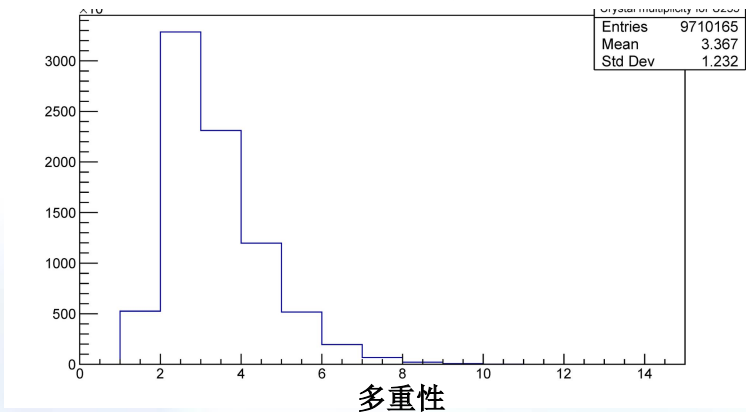


- 电离室的能量信号没有区分出 α 粒子和裂变碎片
- 时间信号没有看到 ^{235}U 的裂变共振峰

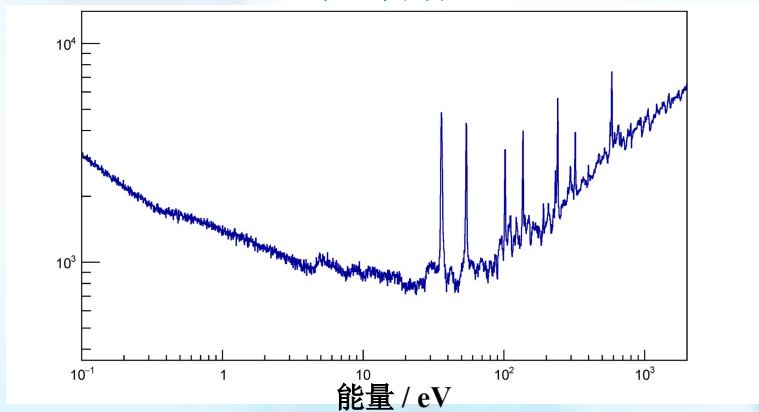


测量 ^{235}U 样品的GTAF装置的实验结果

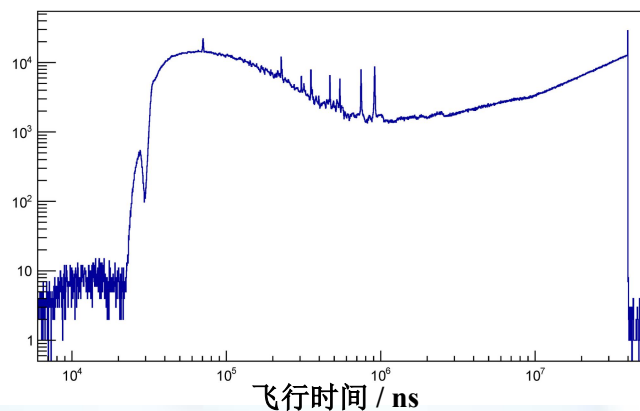
多重性谱



产额谱



TOF谱



- 与电离室信号符合后，GTAF装置的信号非常少；
- 展示的GTAF装置的全部测量结果；
- 可能是靶片底衬或裂变室材料的 (n,γ) 反应的结果。

^{93}Nb 的实验结果见罗湔天的报告

报告内容

- 1、测量 (n, γ) 反应截面的意义
- 2、 γ 全吸收型 BaF_2 探测装置(GTAF)
- 3、基于Back-n的 (n, γ) 截面测量实验
- 4、2024~2025年在线测量实验进展
- 5、总结与展望



- γ 全吸收型BaF₂探测装置(GTAF) 在Back-n上经过了几年的测试和实验，有两套电子学和数据获取系统，具备了较好的实验条件。
- C₆D₆适合用于测量稳定及截面较大核素的(n, γ)反应截面；
- GTAF装置的特点是测量裂变核素和截面较小核素的(n, γ)反应截面，目前能测到几百eV能区的截面数据，1keV以上能区的实验数据处理方法还在研究中，需要解堆积以确定信号的能量和时间。
- 首次结合电离室测²³⁵U的实验结果几乎没有看到裂变信号，原因：1、裂变室性能不满足要求；2、靶片上²³⁵U的量太小。

下一步工作计划：

- GTAF装置探测效率的修正；
- 更高面密度的裂变靶片(需要支持)



谢谢大家聆听！

