

基于Back-n中子源的 ^{19}F 中子全截面测量

汇报人：胡志强

任智洲 严小松 朱通华 张翔宇

中国工程物理研究院核物理与化学研究所
四川大学原子核科学技术研究所

2025年7月24日



目录

CONTENTS

1

研究背景与意义

2

实验设计与测量

3

数据处理与分析

4

小结

01

研究背景与意义



引言

- ❑ 氟盐由于其优良的**导热能力、低熔点、低蒸气压**等性质，在**熔盐反应堆**设计中被用作燃料载体。氟作为其中原子数最多的元素，其中子诱发的相关截面，对反应堆设计相关的性能指标有重要的影响^[1]。
- ❑ 氟化物晶体如 BaF_2 等以其优异的闪烁体性能广泛应用于**中子探测**、 γ 探测领域。 LiF 等在热**中子屏蔽**方面也有着应用.....

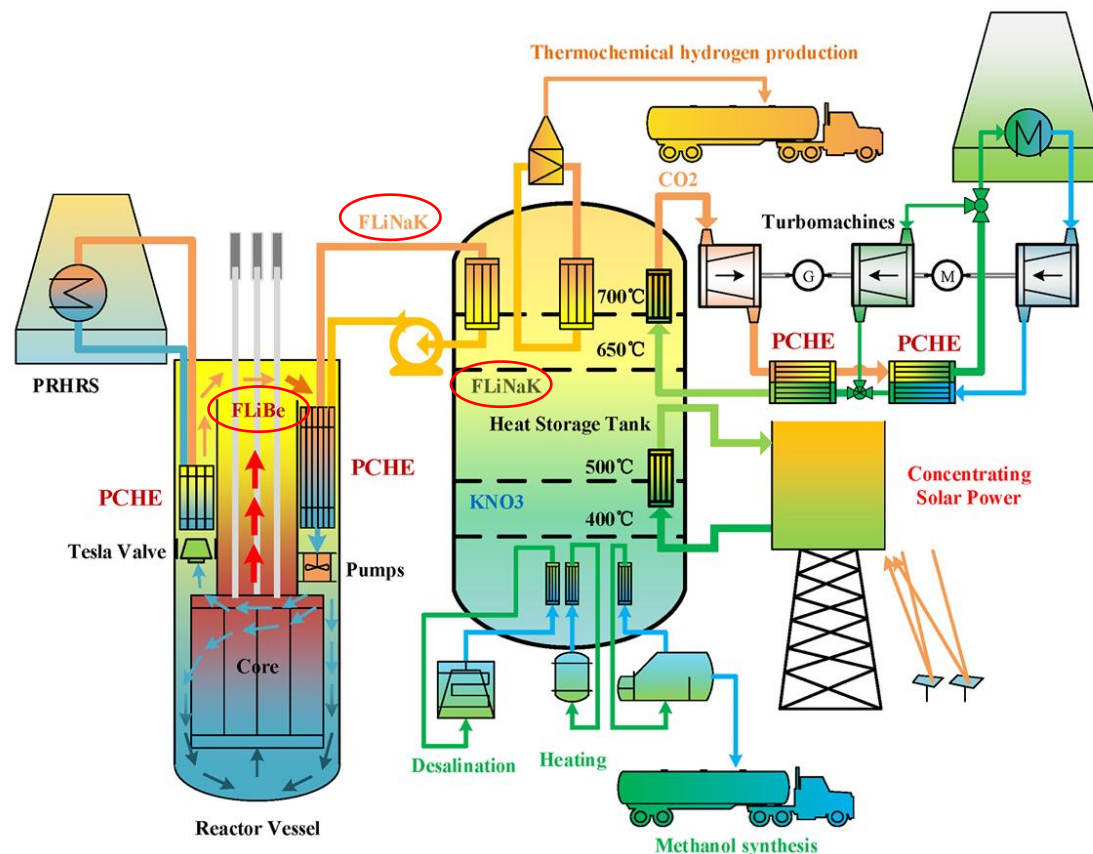


图1 FuSTAR系统示意图^[2]

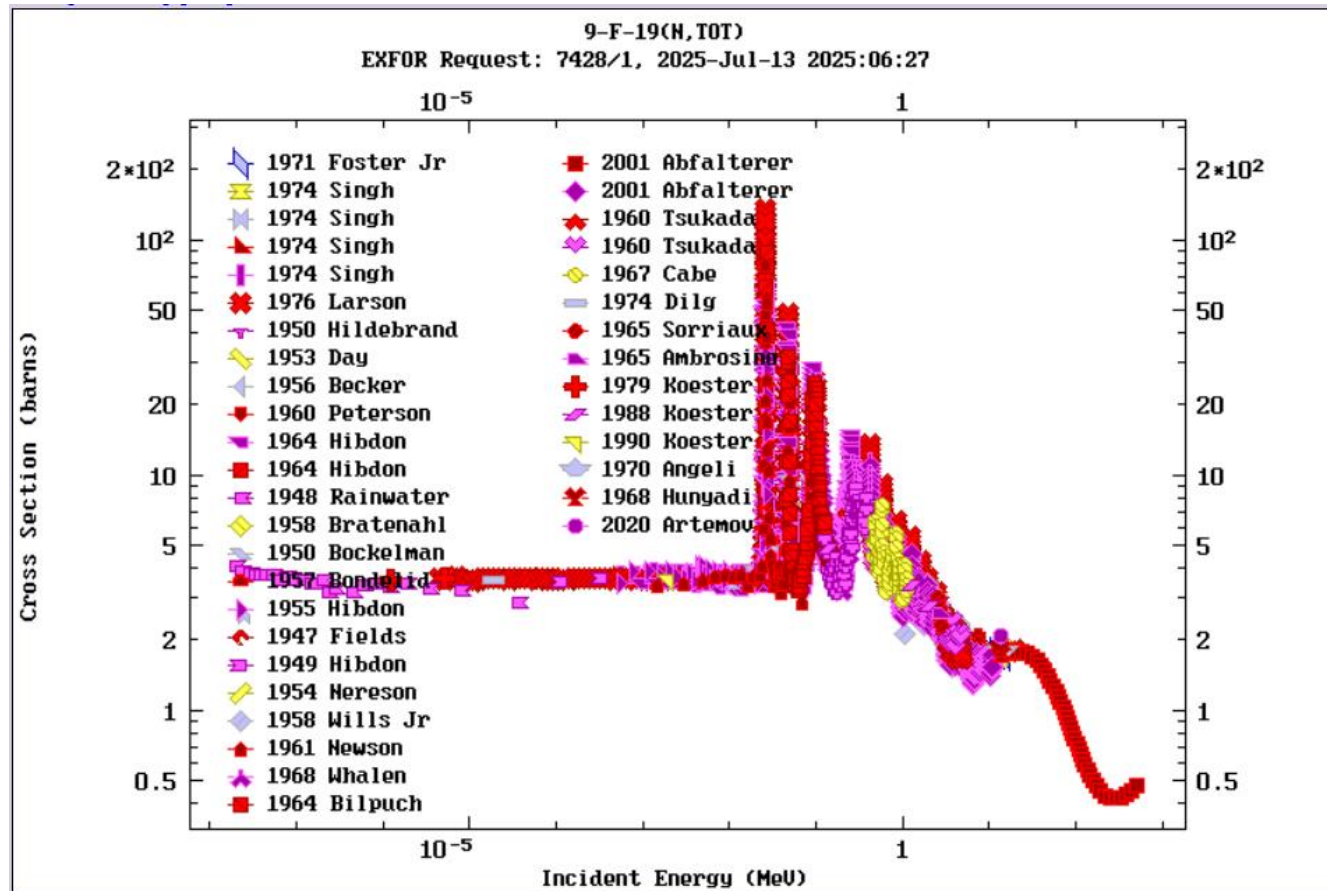
[1]刘龙祥,王宏伟,王小鹤,浮海娟,张桂林,韩建龙,胡继峰.中子反应总截面测量系统关联不确定度的模拟[J].强激光与粒子束,2017,29(12):78-83.

[2] Zhang D , Li X , Jiang D ,et al.Fluoride-Salt-cooled high-Temperature Advanced Reactor (FuSTAR): An integrated nuclear-based energy production and conversion system[J].Energy, 2024, 290(000):24.DOI:10.1016/j.energy.2023.130048.



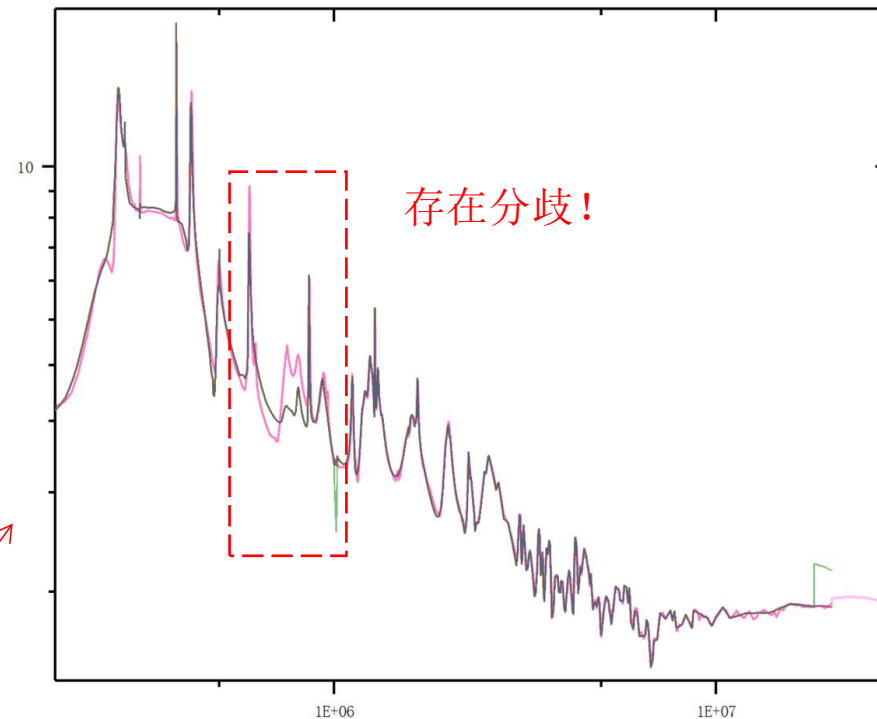
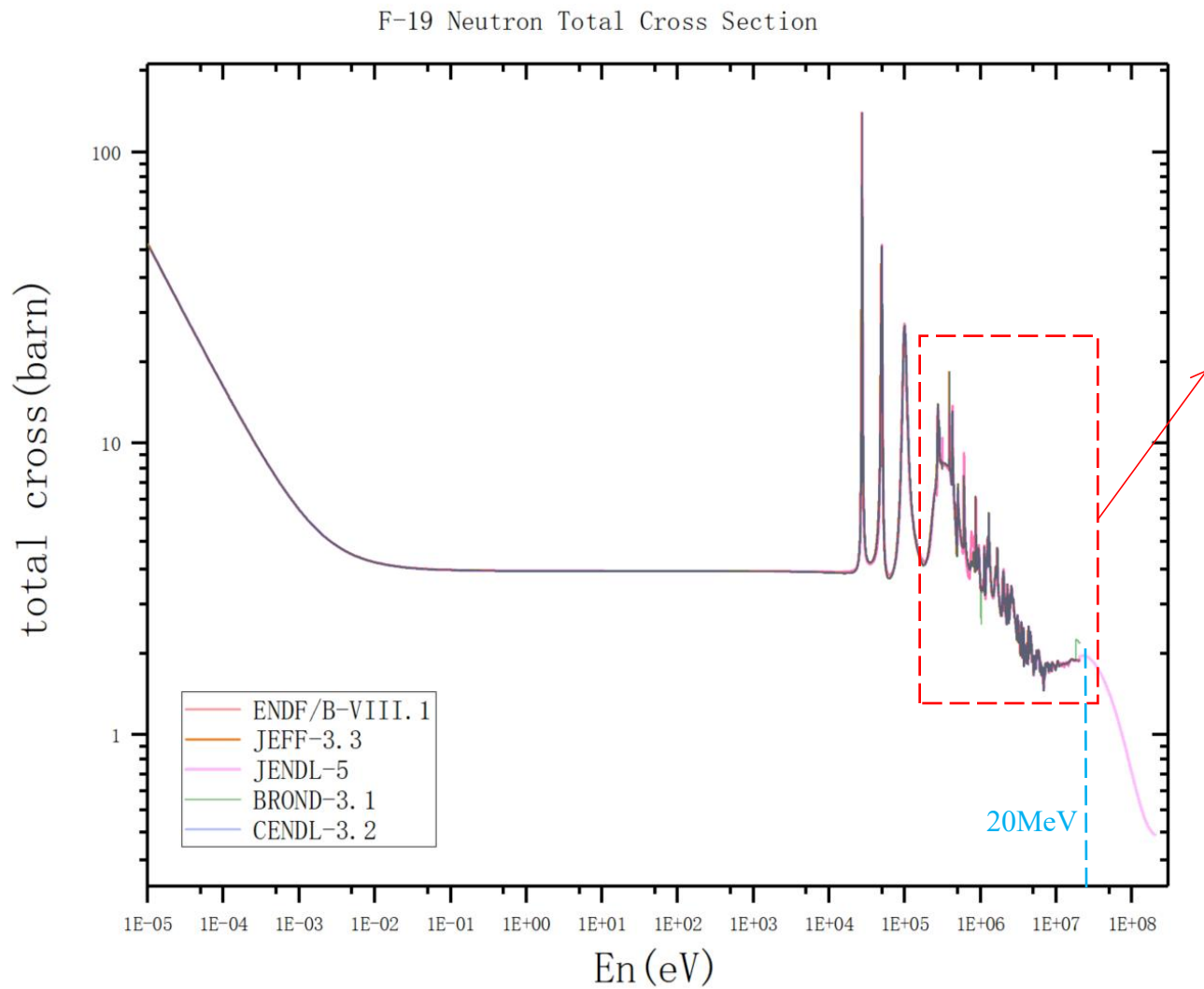
国内外研究现状

- EXFOR数据库收录1950年至今的44篇有关 ^{19}F 中子全截面实验测量的数据，大多来源于上世纪五十、七十年代。
- 国内关于 $^{19}\text{F}(\text{n,tot})$ 的实验测量很少，EXFOR数据库尚未收录国内实验测量的相关数据。





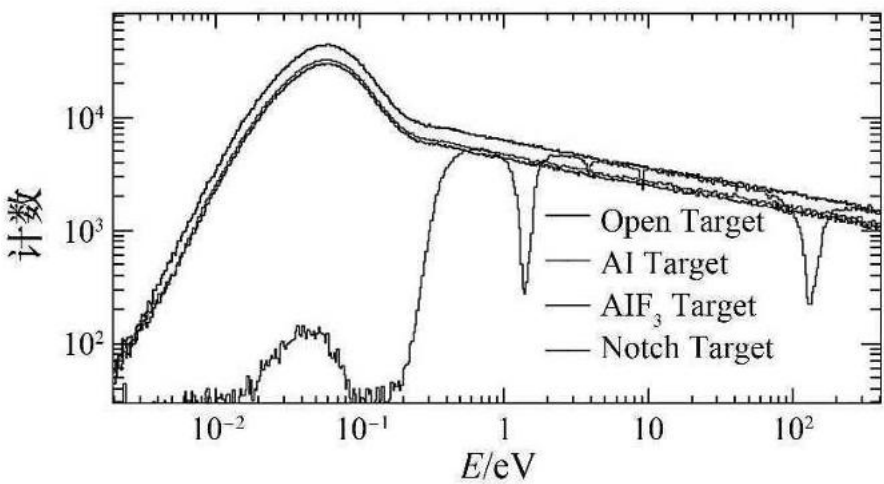
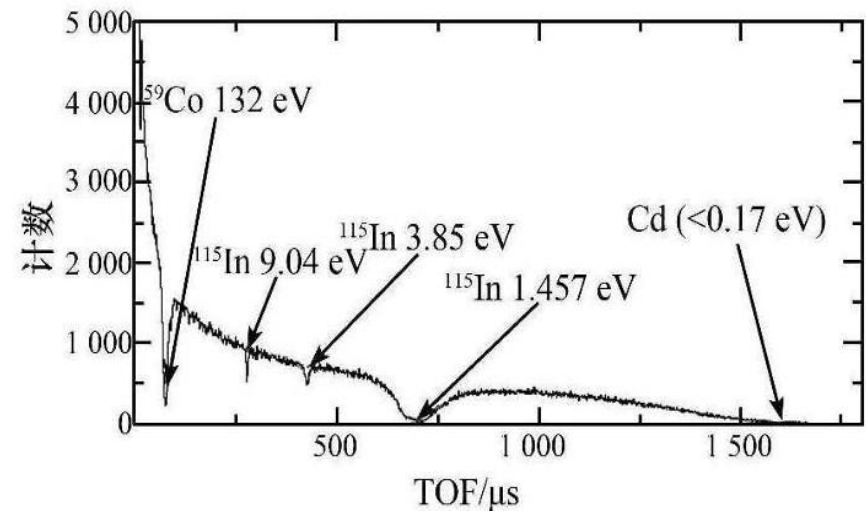
国内外研究现状



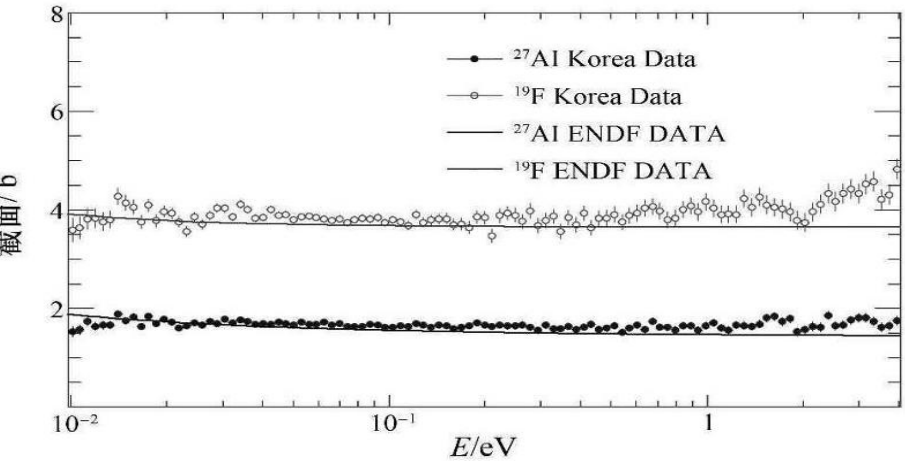
评价数据库中目前只有JENDL-5有20MeV以上的截面数据，且各评价核数据库在共振能区仍存在分歧。



国内外研究现状



参数	数值/mm
AlF ₃ 厚度	2
Al厚度	3



- 在PNF设施测量¹⁹F在0.01eV到4eV中子能量的全截面
- 测量结果误差在2%以内

[1]刘龙祥,王宏伟,王小鹤,浮海娟,张桂林,韩建龙,胡继峰.中子反应总截面测量系统关联不确定度的模拟[J].强激光与粒子束,2017,29(12):78-83.



国内外研究现状

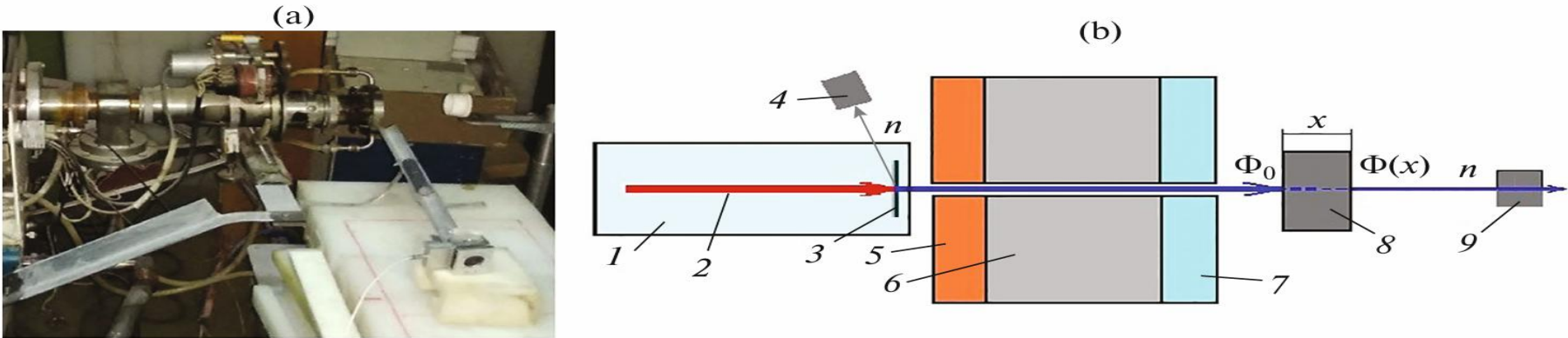


Fig. 2. (a) Photography of the setup without neutron collimator and (b) layout of the total cross-section measuring system: (1) neutron generator NG-150; (2) deuteron beam; (3) TiT neutron target; (4) monitor detector; (5, 6, 7) iron, neutron-stop and lead sections of the neutron collimator, (8) investigated target, (9) main detector.

元素	样品厚度 mm	样品密度 (g/cm ³)	σ_t/b	σ_t 文献 ^[2] /b
¹⁹ F	148	1.7	1.43 ± 0.1	1.30 ± 0.06

➤ 使用Si半导体探测器测量了中子能量为14.1MeV的¹⁹F中子全截面

[1] Artemov S V , Ergashev F K , Kajumov M A ,et al.Total Neutron Cross Section Measurements at the Energy 14.1 MeV for 12C, 19F, 32S, 115In 128Te, 208Pb[J].Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics, 2020, 84(8):894-897.DOI:10.3103/S1062873820080079.

[2] Abfalterer W P , Bateman F B , Dietrich F S ,et al.Measurement of neutron total cross sections up to 560 MeV[J].Physical Review C, 2001, 63(4):392-396.DOI:10.1103/PhysRevC.63.044608.



研究意义

- 为反应堆运行的模拟计算提供**更加精确**的截面数据支持
- 澄清各评价核数据库在**共振能区的分歧**
- 补充**20MeV以上** ^{19}F 中子全截面数据，与现有数据进行对照

研究内容与目标

- 基于 ^{19}F 中子全截面测量的重要意义，我们决定在CSNS Back-n开展 ^{19}F 在**1eV到40MeV**中子全截面测量，预计实验能区的中子计数的统计不确定度约为**2%**。

02

实验设计与测量



实验方案设计

实验原理

飞行时间法

$$E_n = m_n c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L}{c \times \text{Tof}} \right)^2}} - 1 \right)$$
$$\text{Tof} = T_f - \left(T_\gamma - \frac{L}{c} \right)$$

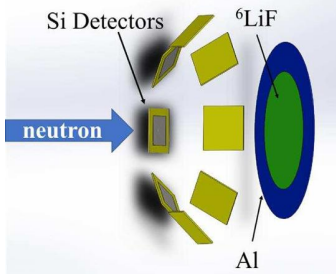
源

n

γ

Li-Si探测器

FIC



U5

Th

透射法

$$T_{(Ei)} = \frac{C_{I(Ei)} - B_{I(Ei)}}{C_{O(Ei)} - B_{O(Ei)}} \times \frac{P_O}{P_I}$$

P_O

P_I

$(CF_2)_n$

$C_O(E_i)$

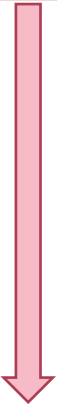
$C_I(E_i)$

$$\sigma_{(Ei)} = -\frac{1}{nl} \ln T_{(Ei)}$$



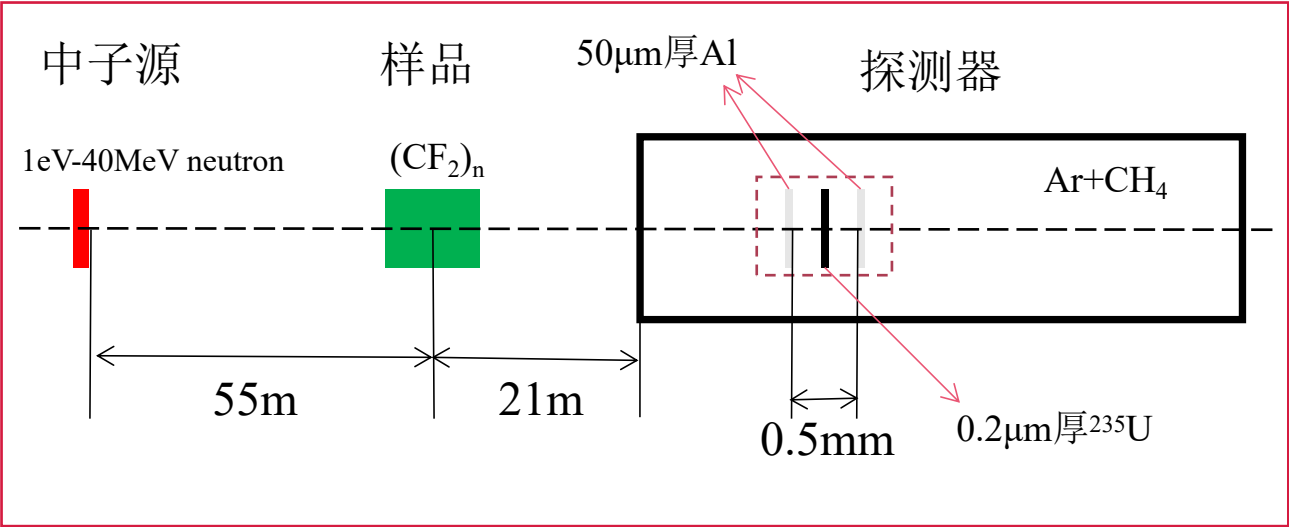
实验方案设计

模拟计算



模拟结果

MCNP5建模

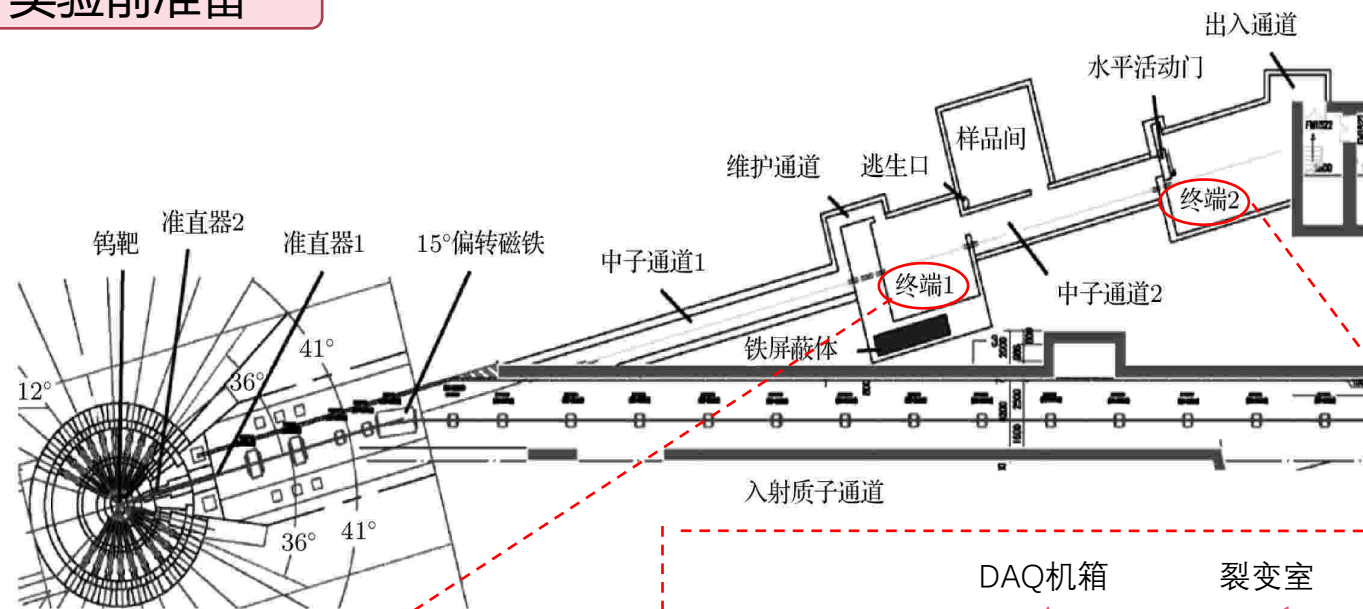


参数	数值/mm
样品厚度	100
样品直径	70

样品厚度/cm	中子通量 /cm ⁻² s ⁻¹	²³⁵ U靶核数	反应率	探测效率	总计数/cps
0.00	7.24E+05	1.38E+19	1.79E-25	0.95	12
10.00	7.24E+05	1.38E+19	7.43E-26	0.95	5



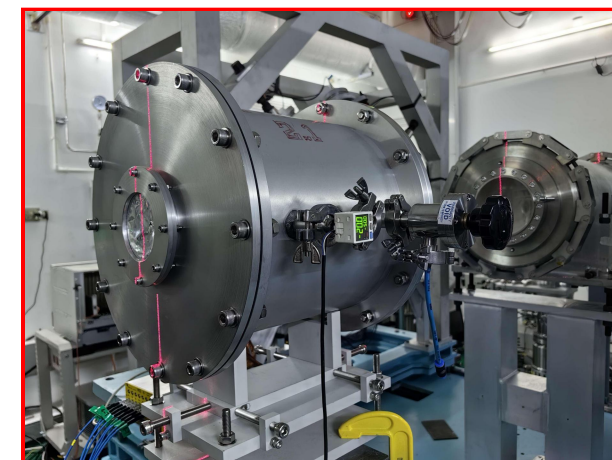
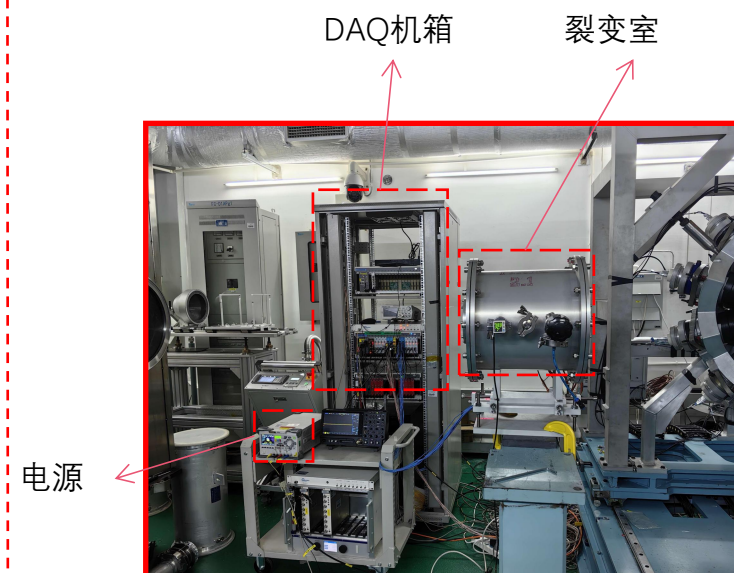
实验前准备



Li-Si探测器



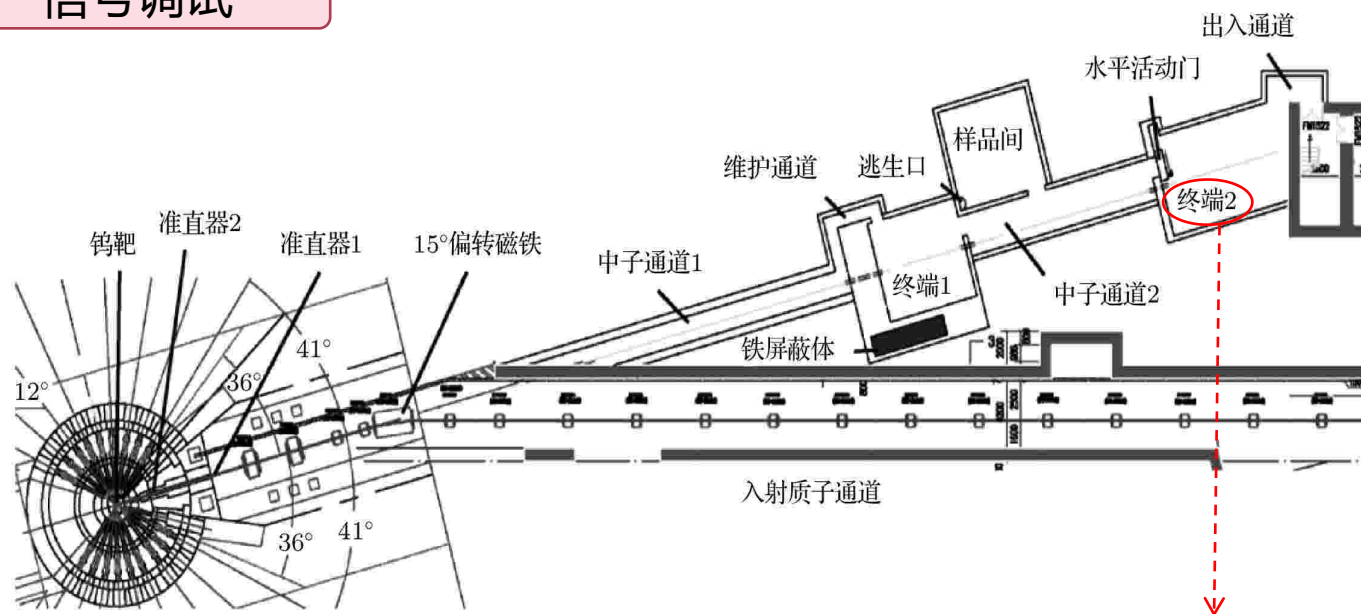
样品定位



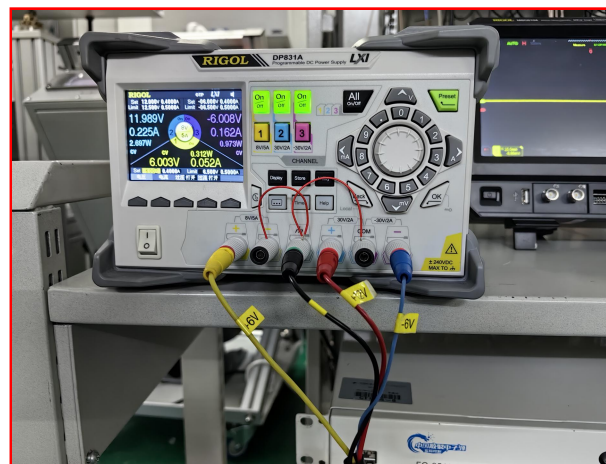
裂变室



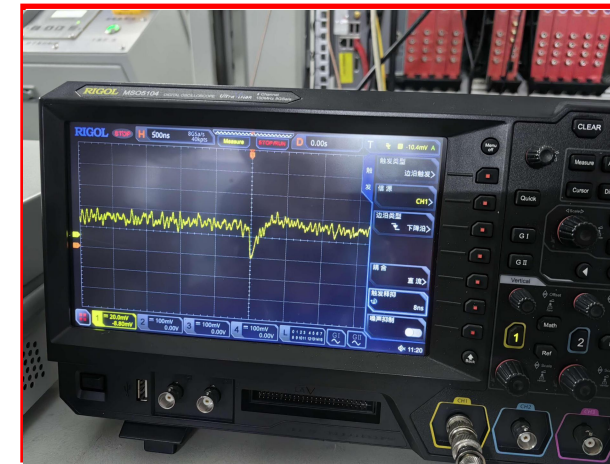
信号调试



裂变室气压



低压电源

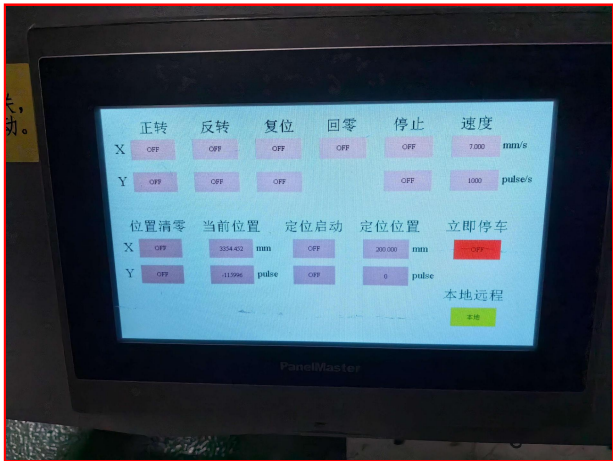


α信号

实验测量



控制室



放样架样品定位

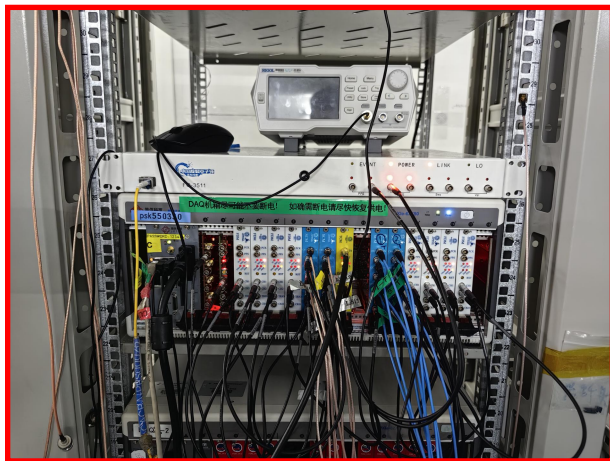
日期	样品状态	持续时间
2025.5.6-5.8	有样品	68h
2025.5.8-5.10	无样品	28h



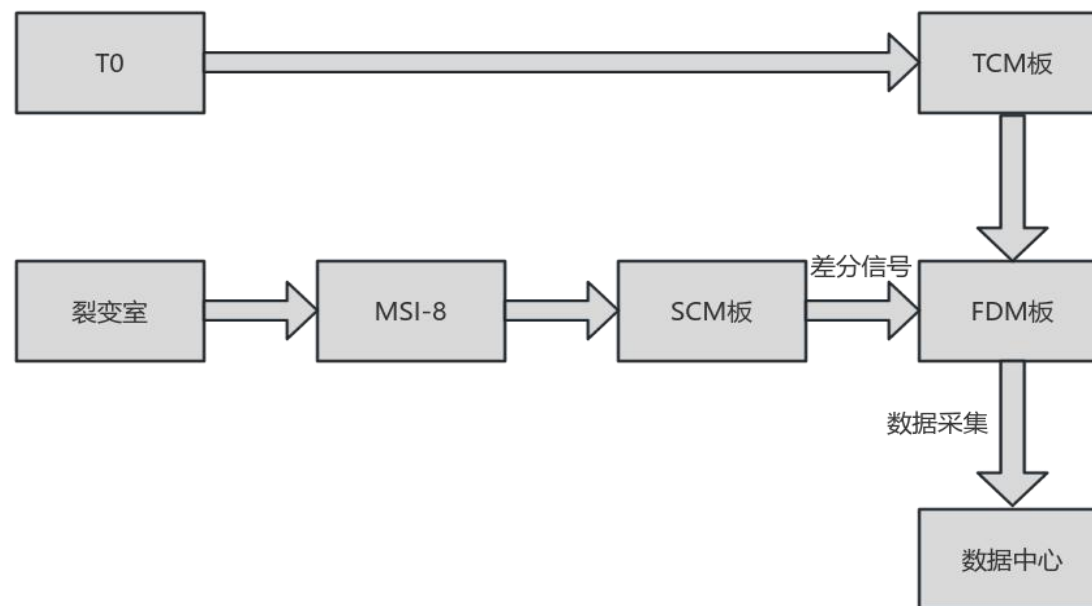
实验测量

实验后

拷贝数据



数据采集系统

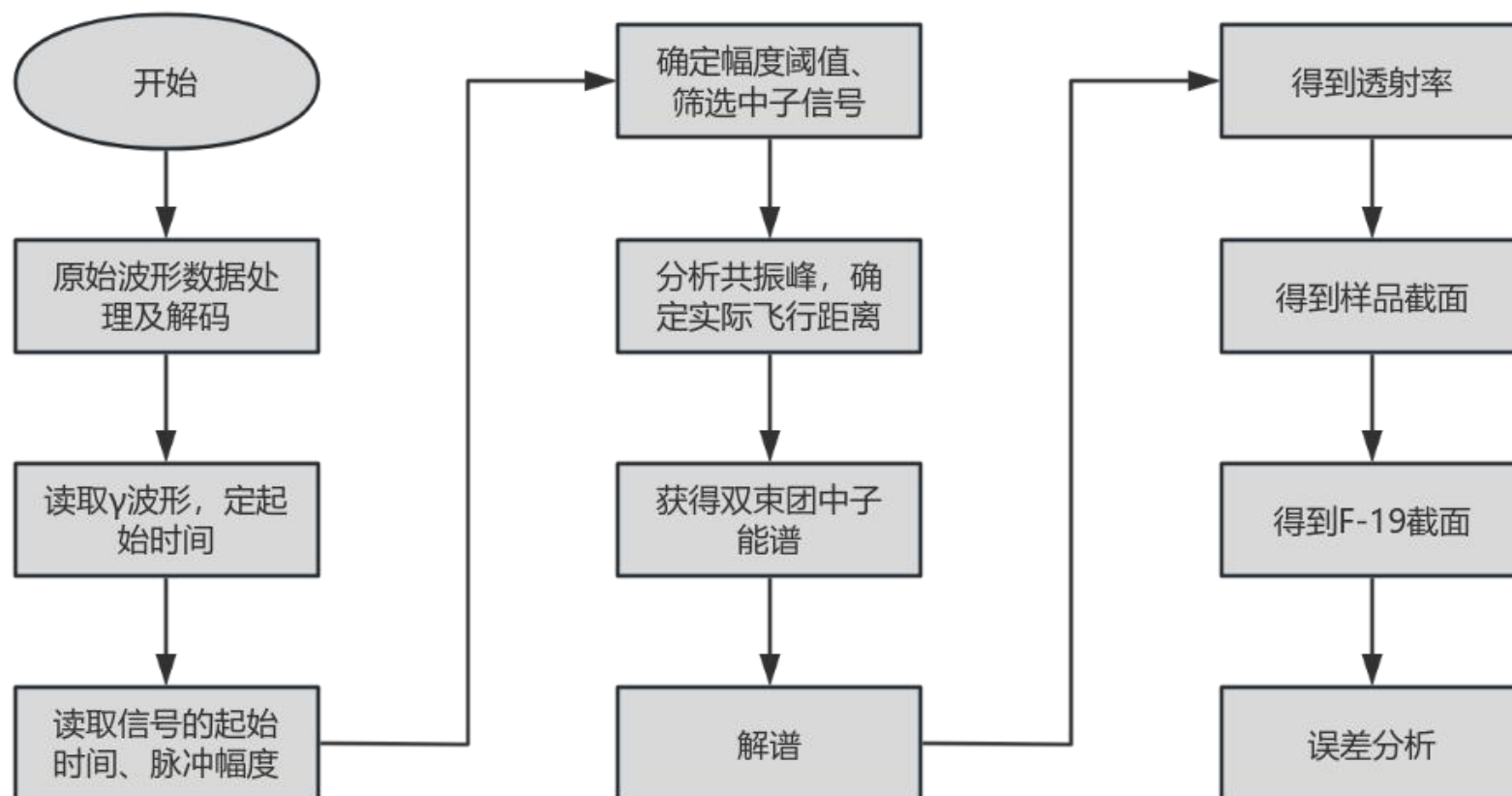


03

数据处理与分析

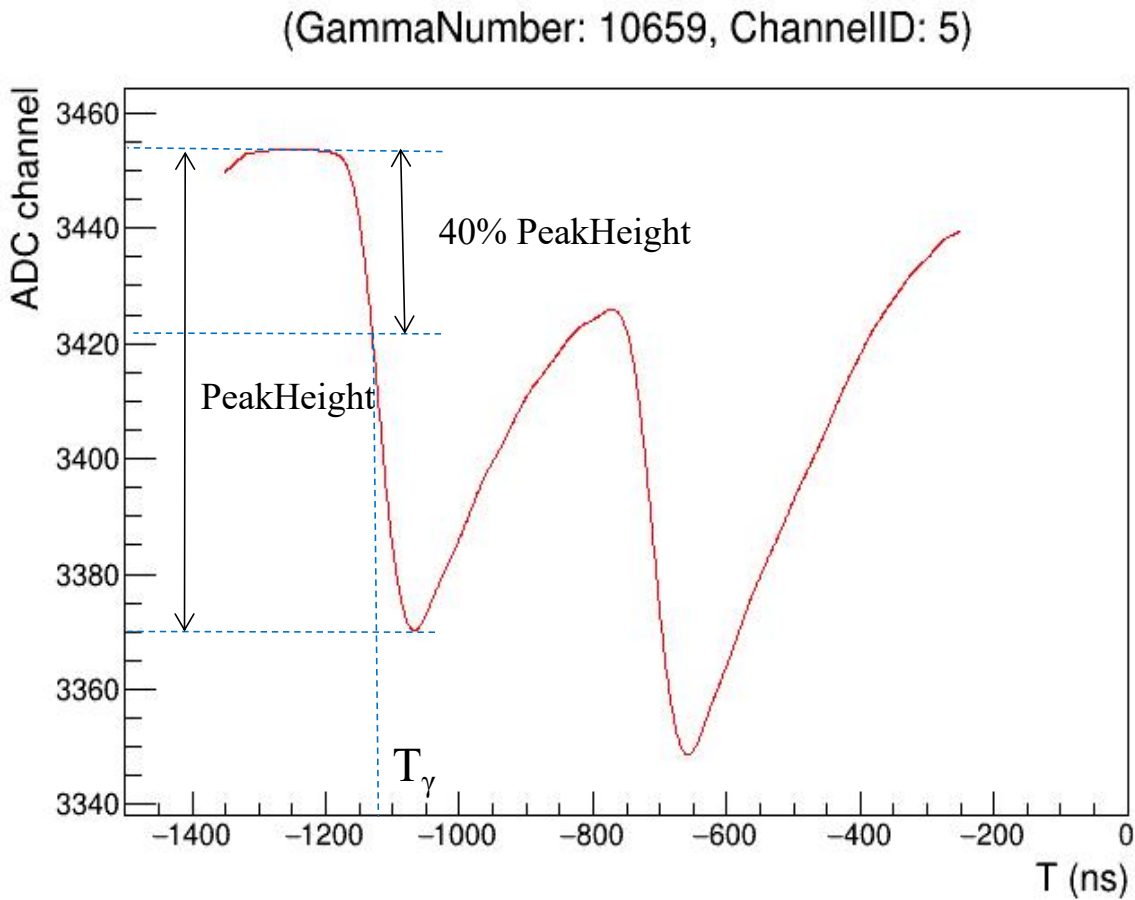


数据处理的总体思路





读取 T_γ



叠加多个GammaFlash得到平滑的波形曲线。
选择第一个gamma信号上升40%时的时间作为起始时间 T_γ 。

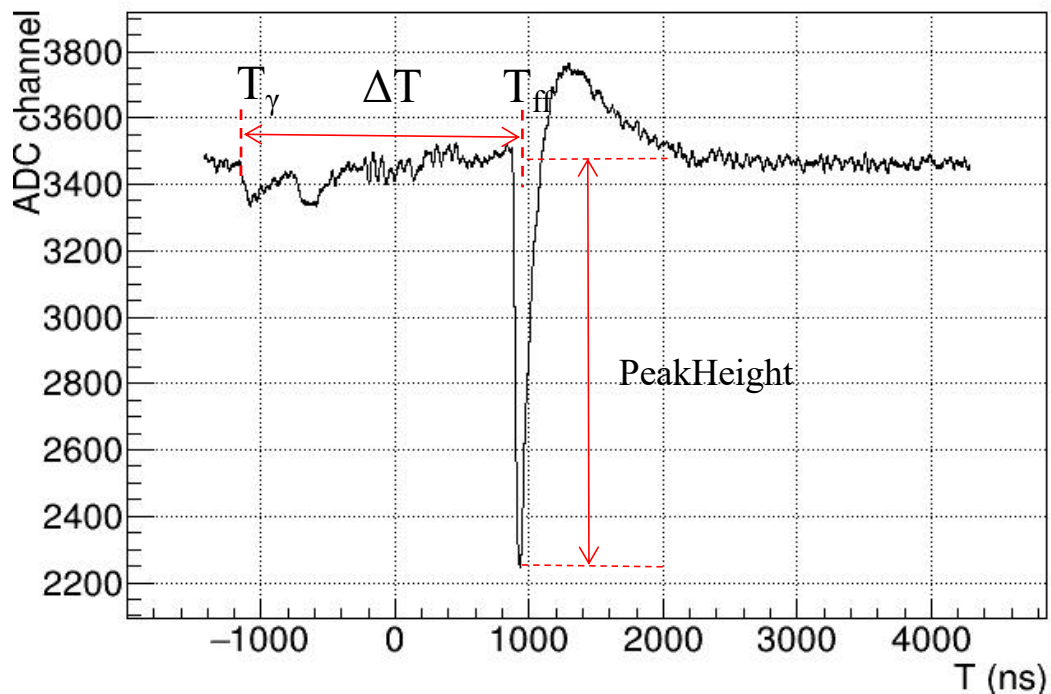
ChannelID	靶材	时间/ns
3	U5-4	-1144
4	U5-5	-1142
5	Th-1	-1129
6	Th-2	-1129
7	Th-3	-1143
8	Th-4	-1144



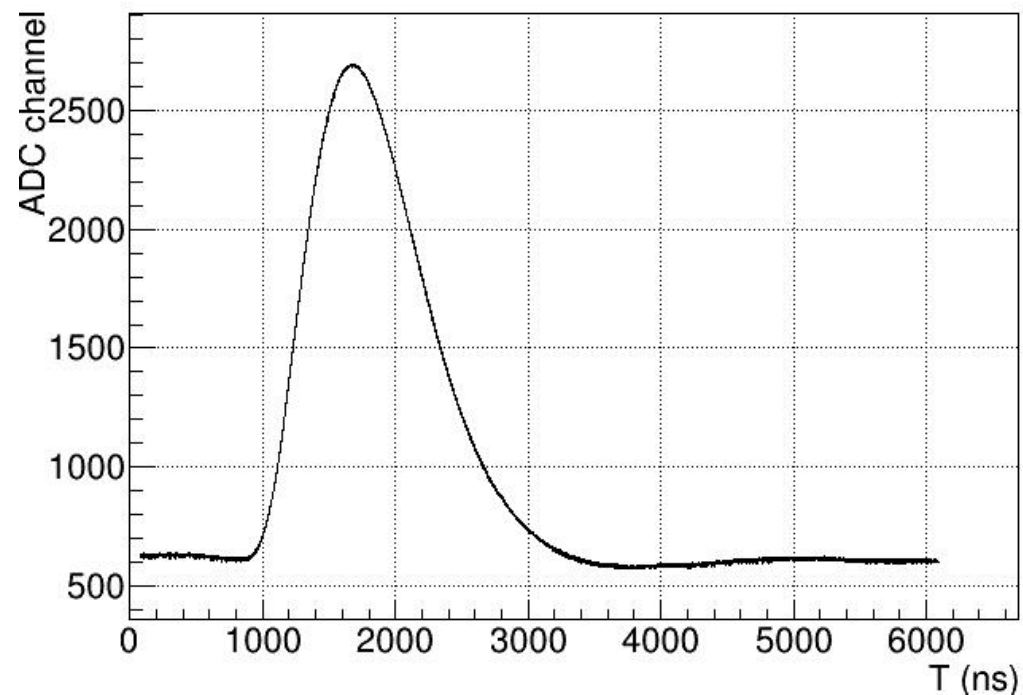
读取Event波形

- 读取3-8通道的多个Event下的波形，发现信号无异常。
- 读取脉冲幅度超过50ch.的信号的发生时间和脉冲幅度值。

RunNumber: 19788, EventNumber: 1195, ChannelID: 7



RunNumber: 19788, EventNumber: 3, ChannelID: 12

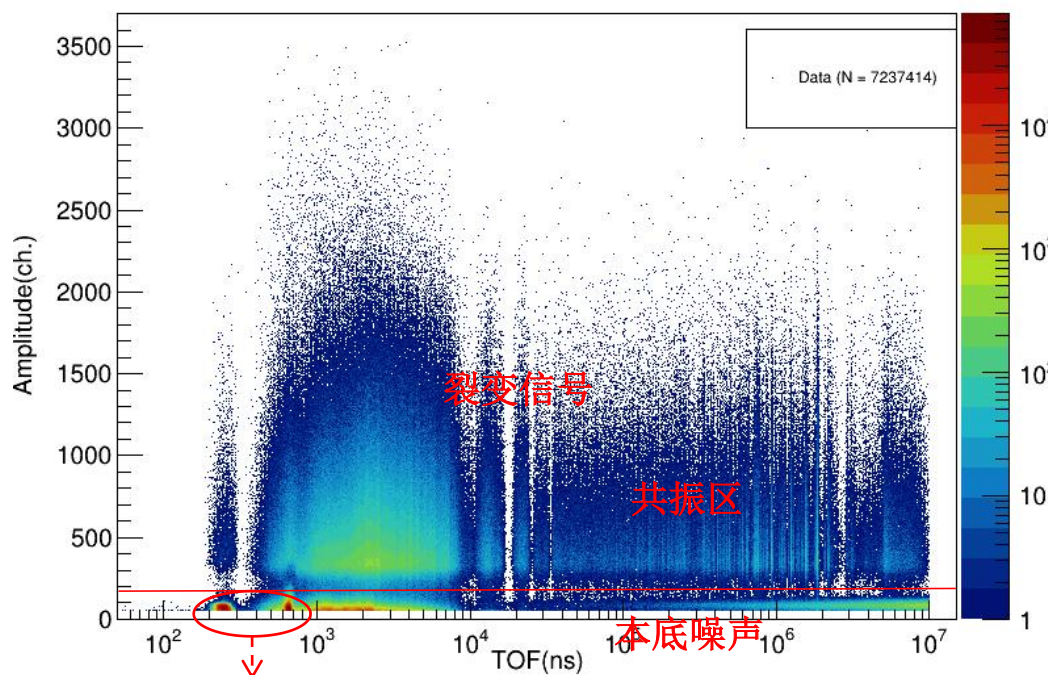




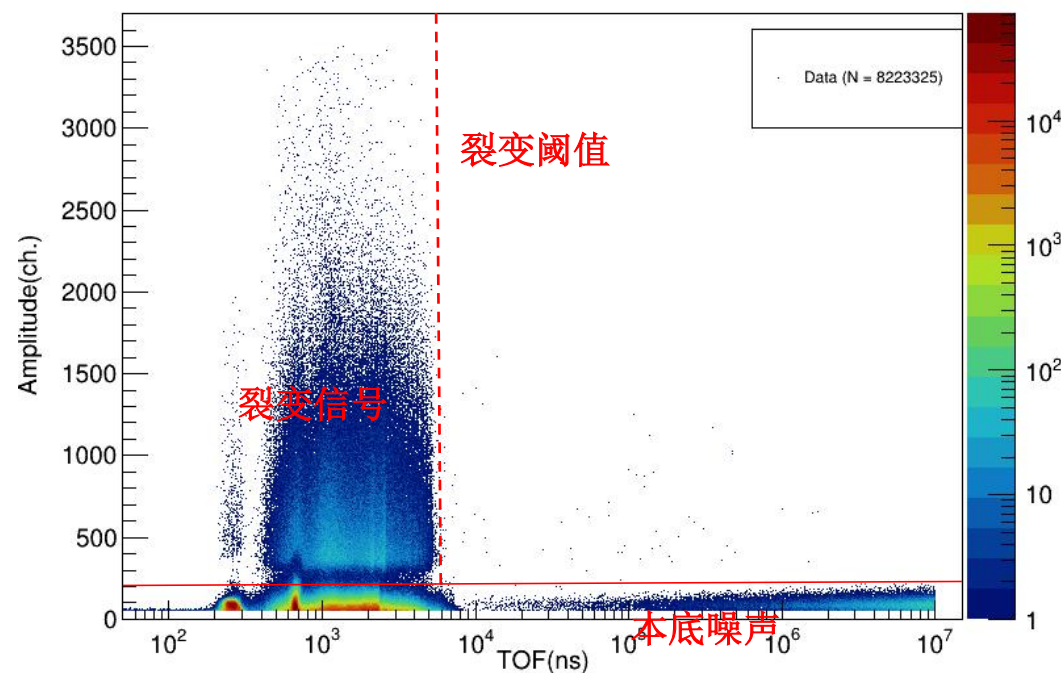
读取Amplitude和 $T_f - T_\gamma$

通过观察 $T_f - T_\gamma$ --Amplitude二维谱可以发现中子诱发的裂变信号与小幅度的本底信号之间存在明显的分界线，可以设置幅度阈值来筛选中子信号。

Channel4 TOF-Amplitude 2D Distribution With Sample



Channel5 TOF-Amplitude 2D Distribution With Sample

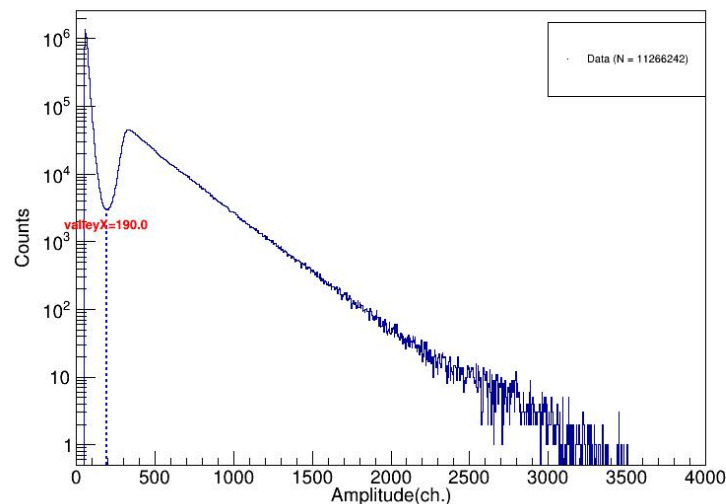


GammaFlash

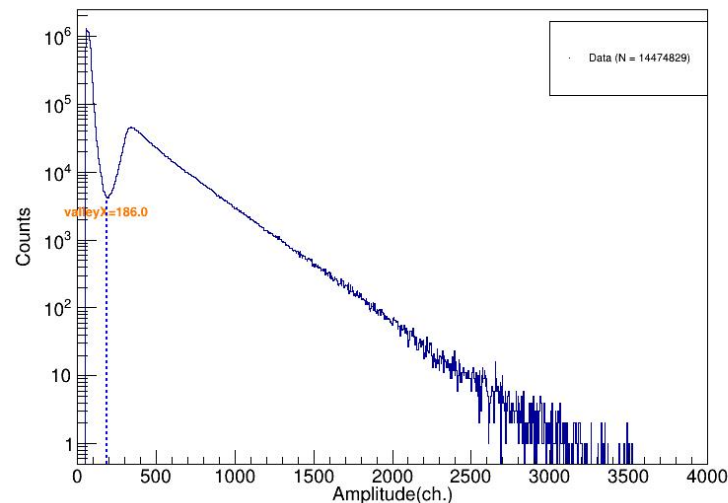


读取脉冲幅度阈值

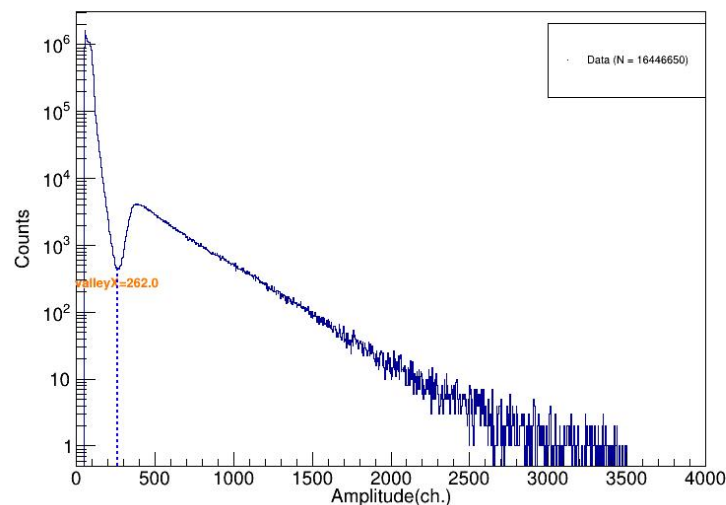
Channel3 Amplitude Distribution With Sample



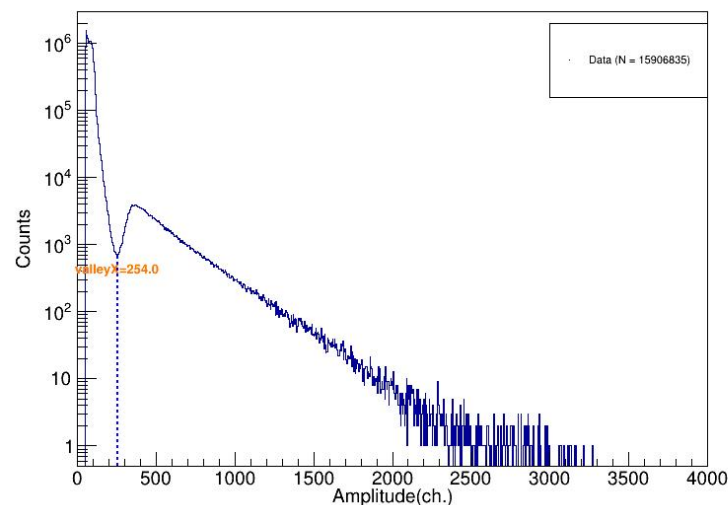
Channel4 Amplitude Distribution With Sample



Channel5 Amplitude Distribution With Sample



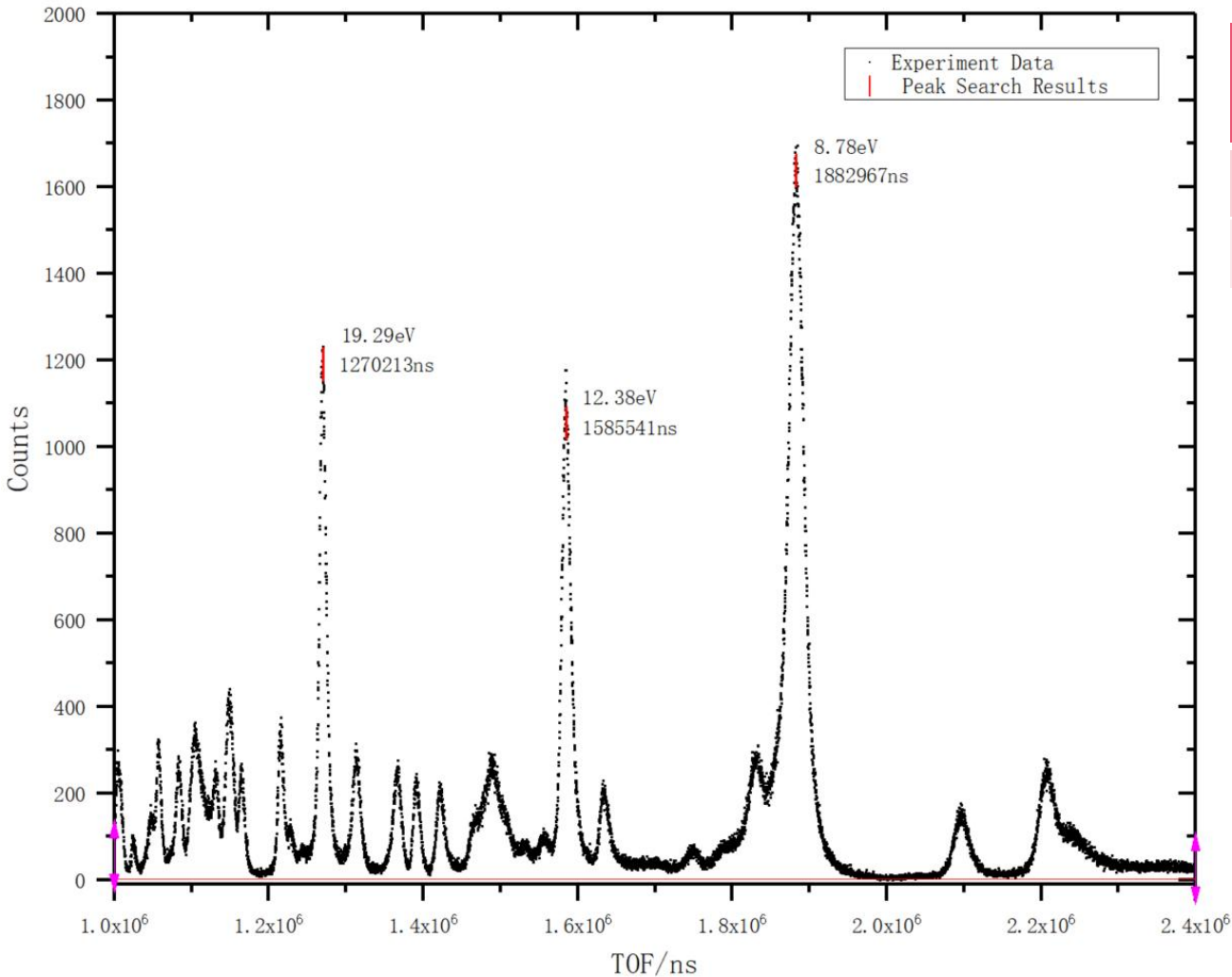
Channel6 Amplitude Distribution With Sample



	幅度阈值/ch.	
通道	有样品	无样品
3	190	191
4	186	186
5	262	262
6	254	254
7	310	305
8	270	270



共振峰分析

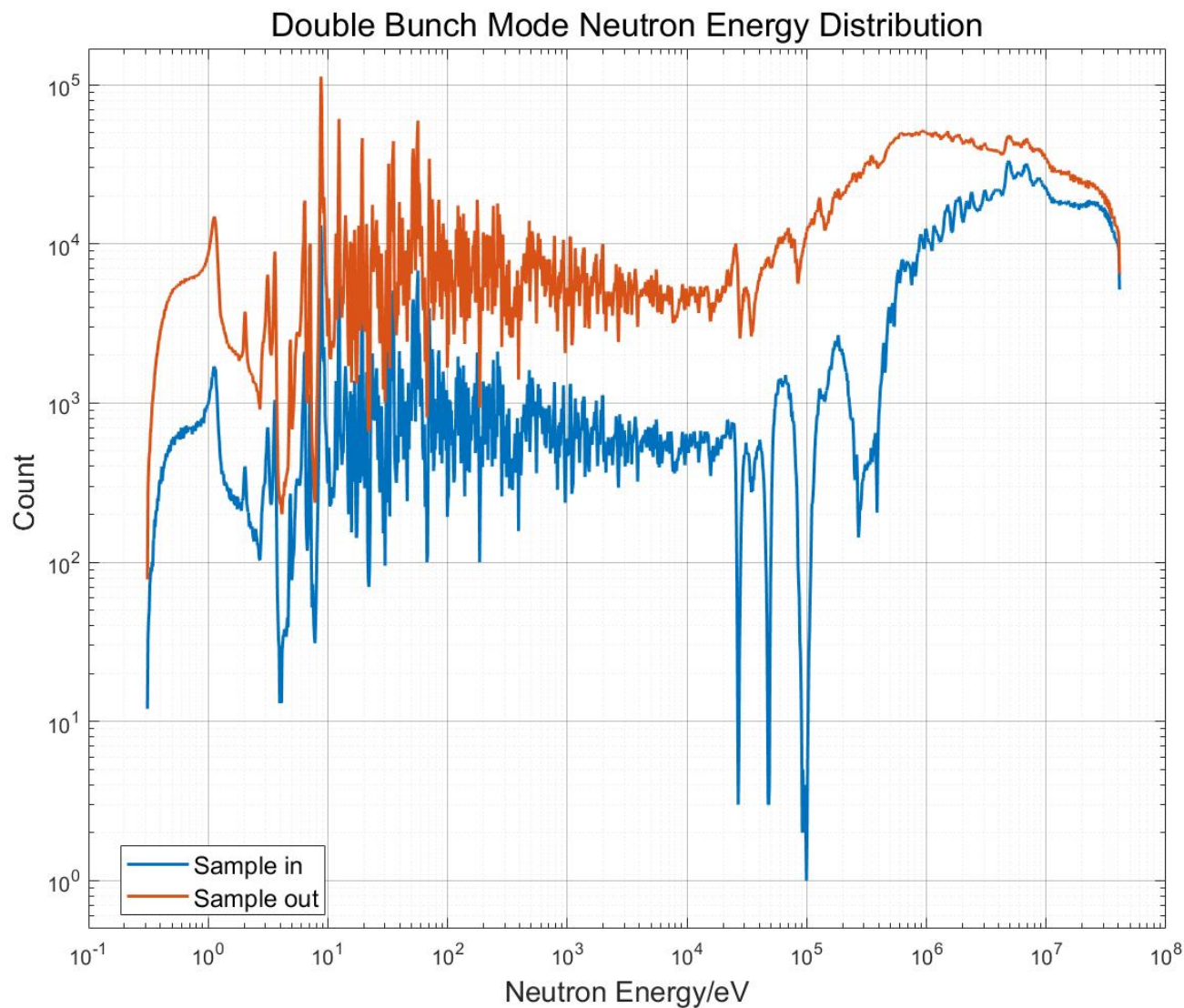


U5-3共振峰能量/eV	19.29	12.38	8.78
$T_{ff}-T_{\gamma}/ns$	1270213	1585541	1882967
实际飞行距离/m	77.1667		

$$E_n = m_n c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L}{c \times ToF} \right)^2}} - 1 \right)$$



双束团下能谱计算



➤ 设置每个数量级下200个bin进行能谱统计

$$E_n = m_n c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L}{c \times Tof} \right)^2}} - 1 \right)$$

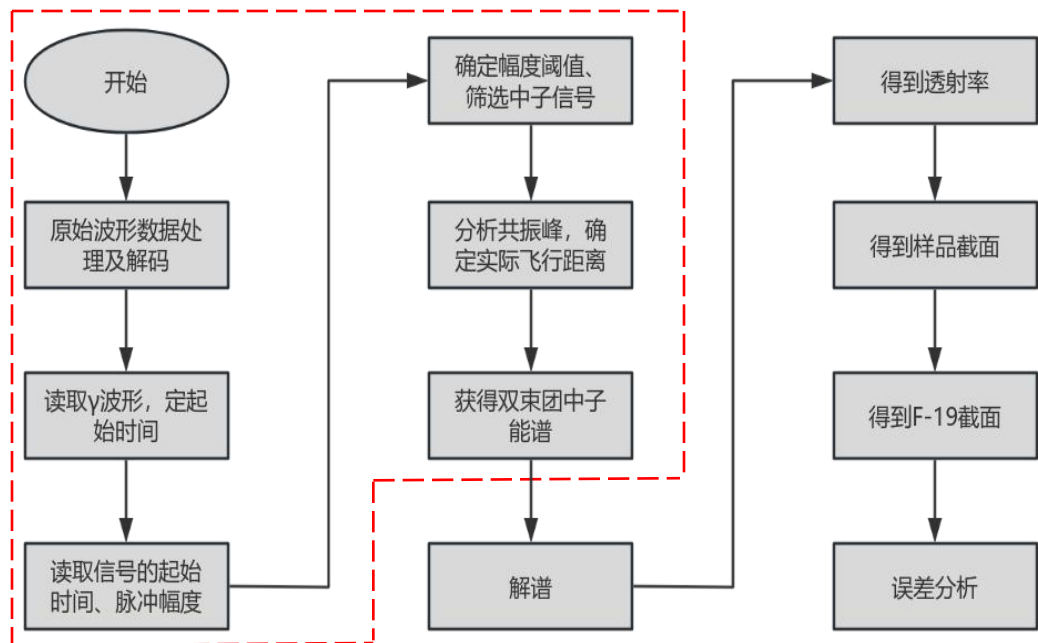
PART

04

总结



前一阶段工作总结

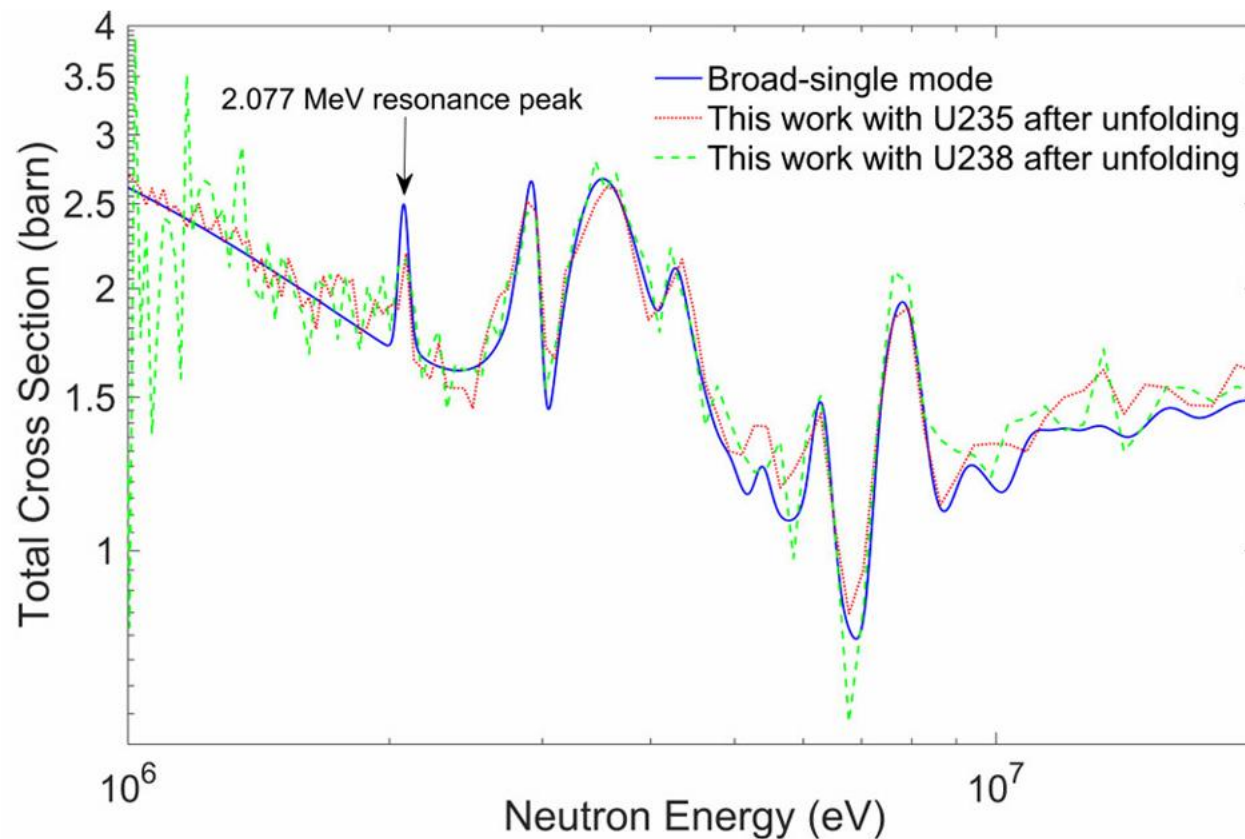


- 本次测量实验在5月10日完成, 6月份开始处理数据, 由于时间原因未得到最终的 ^{19}F 截面数据。目前正在进行双束团下的能谱解谱工作。
- 从前期的时间幅度二维谱、脉冲幅度谱等结果同文献对比发现, 测量结果十分接近文献。前期实验进行的十分成功!



后续工作安排

- 进行双束团能谱解谱，计算透射率得到 $(\text{CF}_2)_n$ 的总截面。
- 对Li-Si探测器测得的中子能谱进行统计和分析。
- 由于前期刘星言已在CSNS Back-n完成了直径70mm，厚度40mm石墨样品的中子全截面实验测量。后续将参考其测量结果对本实验中C的影响进行扣除，最终得到 ^{19}F 的中子全截面，并对测量结果进行不确定度评估。



THANKS

感谢各位老师指导！
