



# 裂变截面和全截面实验进展

报告人：刘荣

单位：中物院核物理与化学研究所

第六届CSNS白光中子源用户研讨会

2022年8月20日



- ◆ 2021-2022年实验及成果情况
- ◆ 裂变截面实验进展
- ◆ 全截面实验进展
- ◆ 未来工作展望

# 2021-2022年实验及成果情况——陈永浩



## 2021-2022实验情况

时间	实验名称	负责人	获批机时 (小时)	实验机时 (小时)
2021/10/28-11/18	相对n-p散射的 $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ 裂变截面测量	陈永浩 (高能所)	350	419
2022/01/04-09	铋中子全截面实验测量	冯松 (南华大学)	80	83
2022/04/28-05/06	天然铅的中子全截面测量	冯松 (南华大学)	150	166
2022/05/06-12	Cr共振区的中子全截面测量	肖敏 (南华大学)	100	154



# 2021-2022成果情况

## 论文

作者	内容	状态
张江林, 姜炳, 陈永浩等	$^{nat}\text{Li}$ 全截面测量	物理学报, 正式发表
邱亦嘉, 兰长林, 陈永浩等	$^{239}\text{Pu}$ 裂变截面测量	投稿至Physical Review C
任智洲, 羊奕伟, 刘荣等	$^{236, 238}\text{U}$ 裂变截面测量	投稿至European Physical Journal A
陈永浩, 羊奕伟, 任智洲等	$^{232}\text{Th}$ 裂变截面测量	投稿至Physics Letter B

## 参加ND2022 (国际核数据大会)

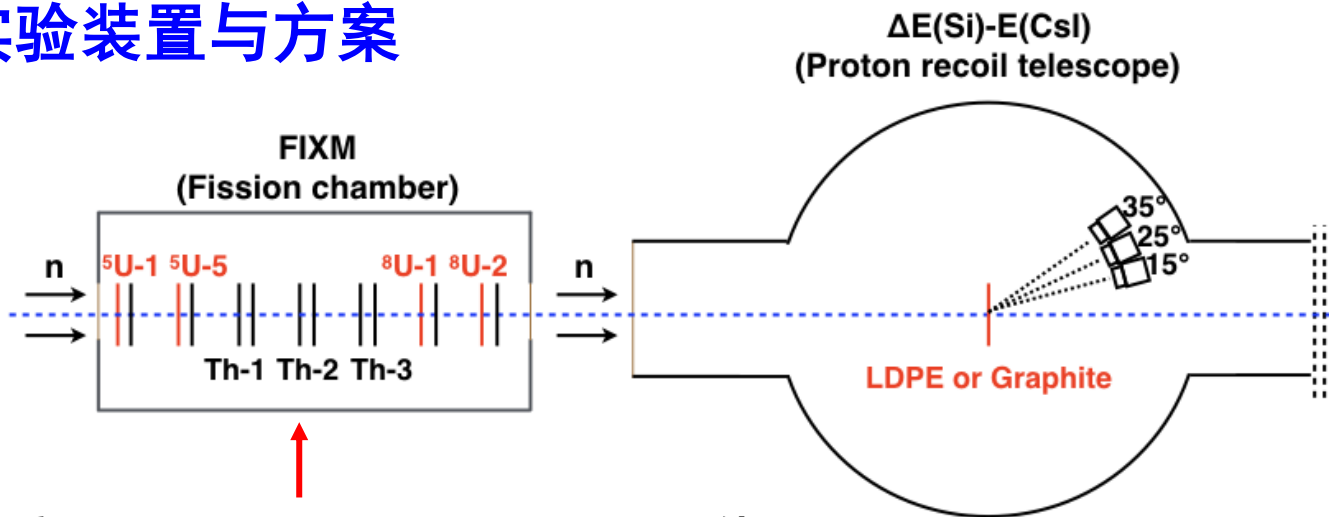
报告人	内容	报告类型
陈永浩	相对n-p散射的 $^{235, 238}\text{U}$ 裂变截面测量	口头报告
任智洲	$^{232}\text{Th}/^{235}\text{U}$ 裂变截面比测量	口头报告
白江博	$^9\text{Be}$ 中子全截面测量	口头报告
冯 松	$^{209}\text{Bi}$ 中子全截面测量	口头报告

## 裂变截面实验进展

- ▶ 基于裂变截面测量谱仪FIXM，开展了相对 $^{235}\text{U}(n,f)$ 反应的 $^{236,238}\text{U}$ 、 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{239}\text{Pu}$ 等核素裂变截面实验
- ▶ 基于FIXM和LPDA，开展了相对 $\text{H}(n,p)$ 反应的 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{235,238}\text{U}$ 裂变截面实验

# 相对n-p散射的 $^{232}\text{Th}$ 、 $^{235}\text{U}$ 、 $^{238}\text{U}$ 裂变截面测量

## 实验装置与方案



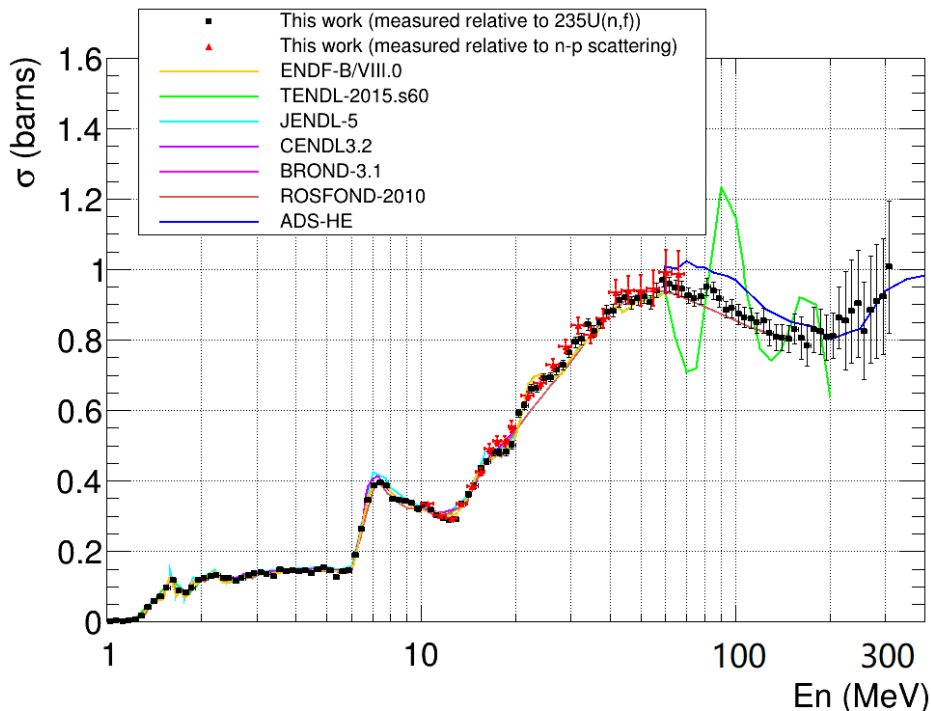
多层裂变室 (FIXM) 测量 $^{232}\text{Th}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ 的裂变事件

质子望远镜 (PRT) 通过测量n-p散射确定中子能谱

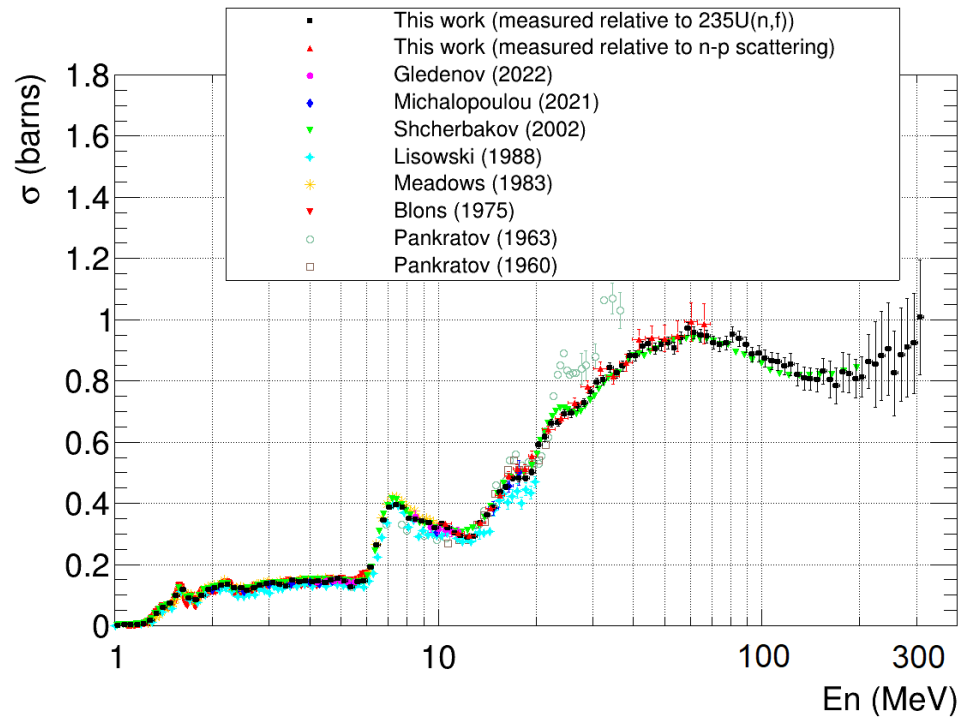
- $^{232}\text{Th}(n, f)$ 截面
  - 方法1: 相对n-p散射测量
  - 方法2: 相对 $^{235}\text{U}(n, f)$ 测量
- $^{235}, ^{238}\text{U}(n, f)$ 截面: 相对n-p测量

# $^{232}\text{Th}(n, f)$ 截面测量结果

## 本工作与评价库的比较



## 本工作与其他测量的比较

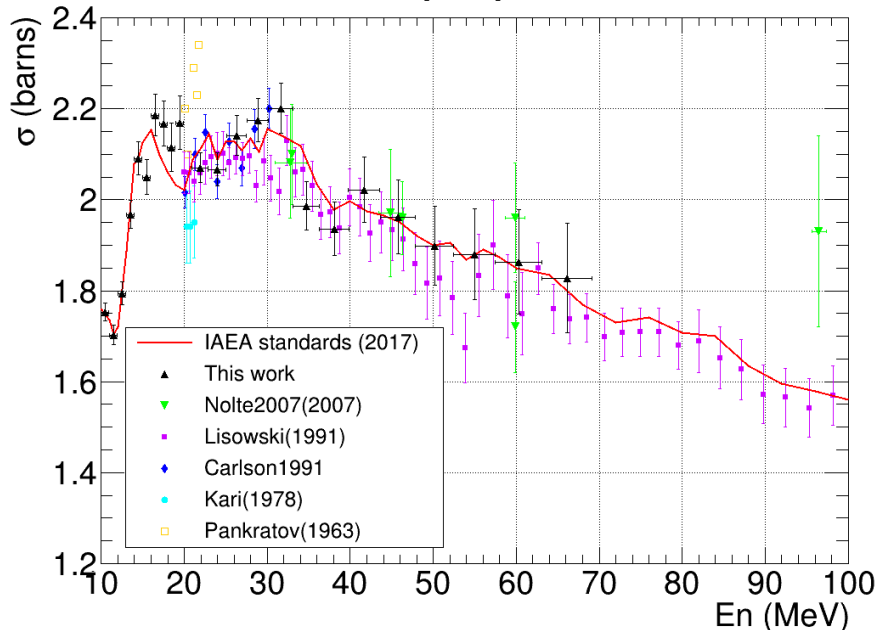


1. 本工作测量到了1-300 MeV能区 $^{232}\text{Th}$ 的裂变截面，是目前公开发表(EXFOR收录)的最高能量
2. 200-300 MeV范围的测量结果是该能区目前唯一的实验数据(EXFOR收录)
3. 60 MeV以上不同评价数据偏差很大，本实验数据为未来的评价提供参考和支撑

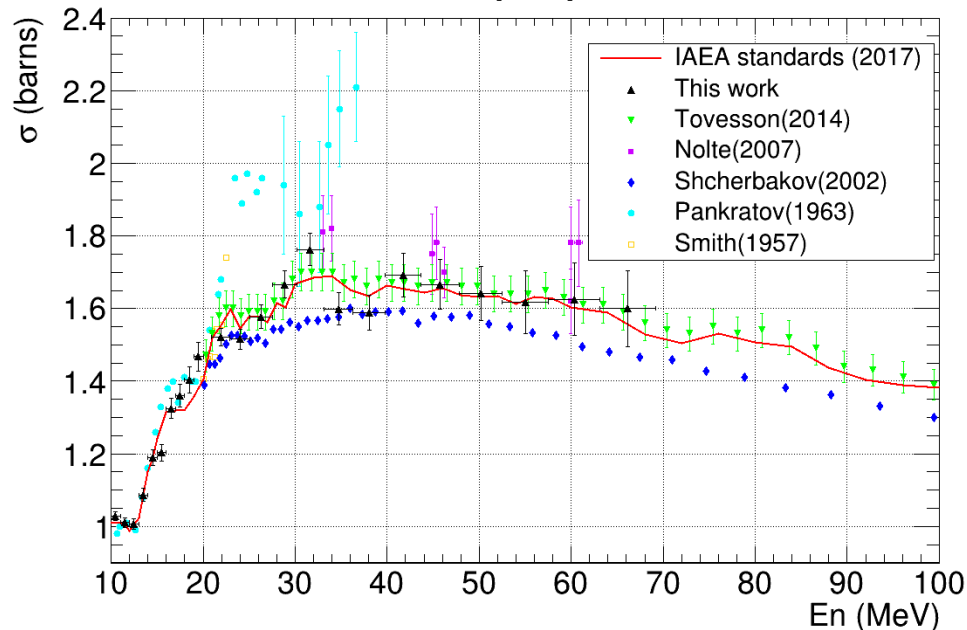
详见分会第2小组(裂变截面和全截面) 陈永浩报告

# 235, 238U(n, f)截面初步结果

## 235U(n, f)截面



## 238U(n, f)截面



1. 测量得到了10-66 MeV能区内<sup>235</sup>U和<sup>238</sup>U的裂变截面
2. 高能区(20MeV以上)实验数据很少且不同实验偏差较大, 本实验数据将提供参考
3. 测量结果整体与IAEA标准截面符合较好, 但在特定能区存在偏差



# $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 裂变截面比实验数据分析

➤ 重新分析了首批实验单/双束团下实验数据，FIXM谱仪

✓ 扩展能区：阈能-200MeV

✓ 解谱后双束团下TOF谱与单束团结果吻合

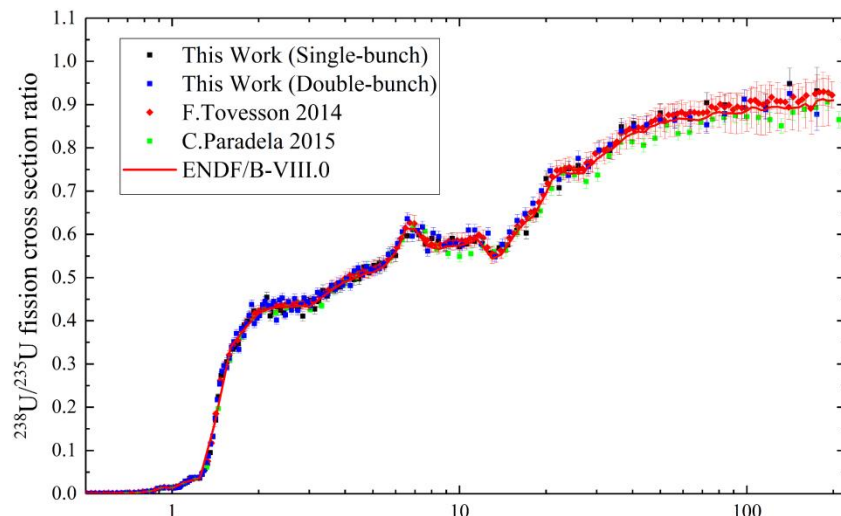
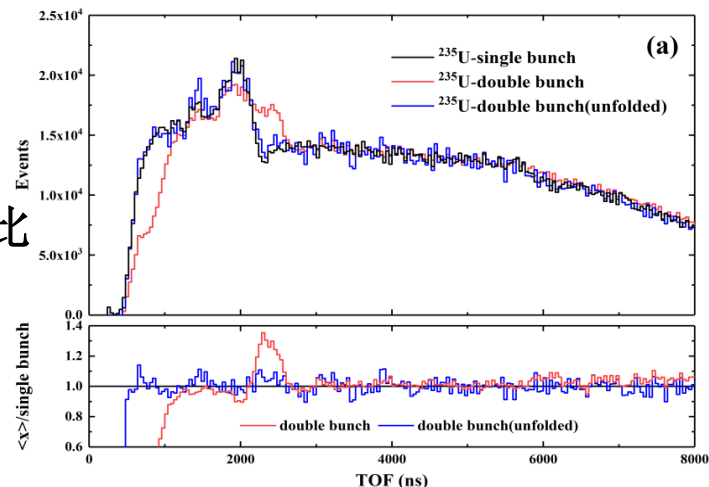
✓ 相对 $^{235}\text{U}(n,f)$ 标准，得到 $^{238}\text{U}/^{235}\text{U}$ 裂变截面比

✓ 裂变截面比实验不确定度：

- 2.8-20.1%， 0.5-2 MeV；
- 2.1-2.7%， 2-100 MeV；
- 3.1-5.3%， 100-200 MeV。

➤ 实验结果与以往实验(LANL、CERN)、评价数据对比

- 在实验不确定度范围内，大部分能点上结果吻合



# $^{236}\text{U}/^{235}\text{U}$ 裂变截面比实验数据分析

➤ 重新分析了首批实验单/双束团下实验数据，FIXM谱仪

✓ 扩展能区：阈能-200MeV

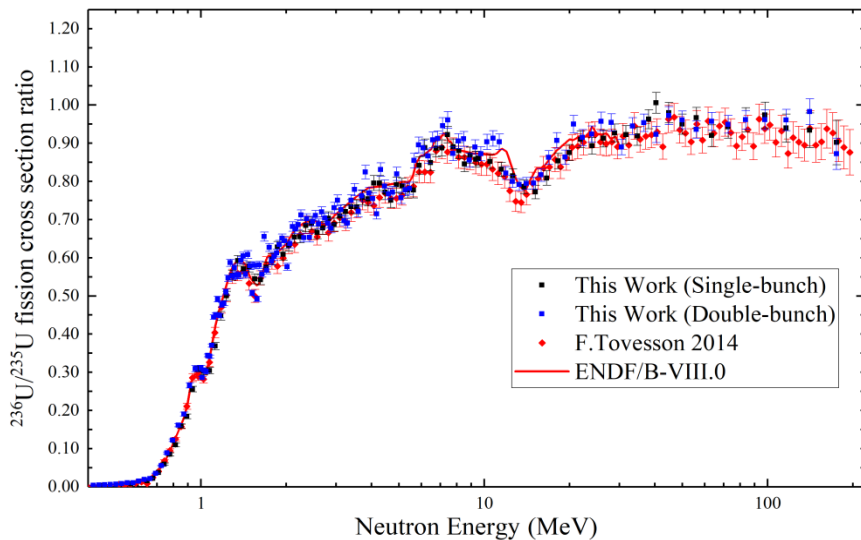
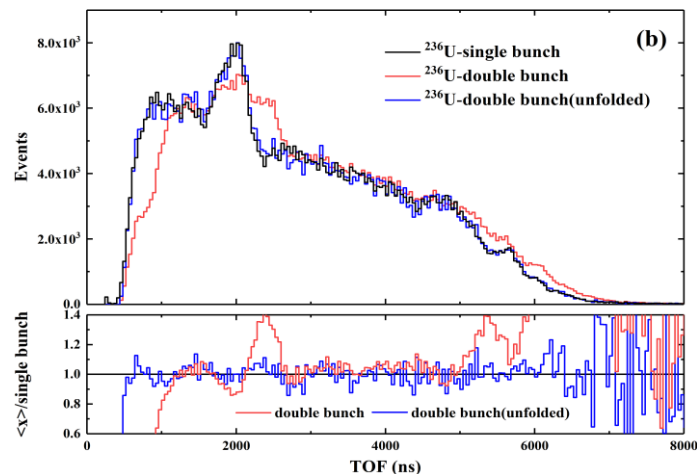
✓ 方法同上，解谱后双束团下飞行时间谱与单束团结果吻合

✓ 裂变截面比实验不确定度：

- 2.3-11.2%， 0.4-2 MeV；
- 2.1-3.5%， 2-100 MeV；
- 3.9-6.4%， 100-200 MeV。

➤ 实验结果与以往实验 (LANL)、评价数据对比

- 在实验不确定度范围内，大部分能点上结果吻合



## 全截面实验进展

- ▶ 基于中子全截面测量谱仪NTOX, 开展了 $^{12}\text{C}$ 、 $^{27}\text{Al}$ 、 $^9\text{Be}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Li}$ 、 $^{56}\text{Fe}$ 、 $^{209}\text{Bi}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Pb}$ 、 $^{\text{nat}}\text{Cr}$ 等核素全截面实验

# 全截面实验方法

测量有样和无样的中子通量之比，即透射率 $T$ ，计算得到全截面

$$\sigma_t = \frac{1}{nt} \ln \frac{1}{T}$$

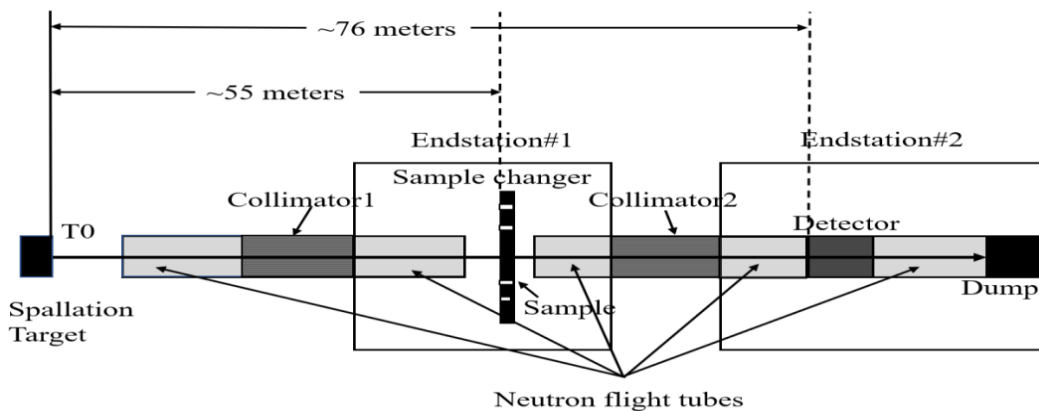
$$T = \frac{(N_I - B_I)/P_I}{(N_O - B_O)/P_O}$$

$N_I/N_O$ : 有/无样中子计数

$B_I/B_O$ : 有/无样本底

$P_I/P_O$ : 有/无样束流监测

- ✓ NTOX系统由中子探测器（多层快裂变室- $^{235,238}\text{U}$ ，与FIXM谱仪共用）、换样装置、样品等组成
- ✓ 与FIXM谱仪上裂变截面实验相同，一次性实验可获取宽能区的全截面数据
- ✓ Back-n白光源上，全截面测量几何布局，采用样品包束的设计

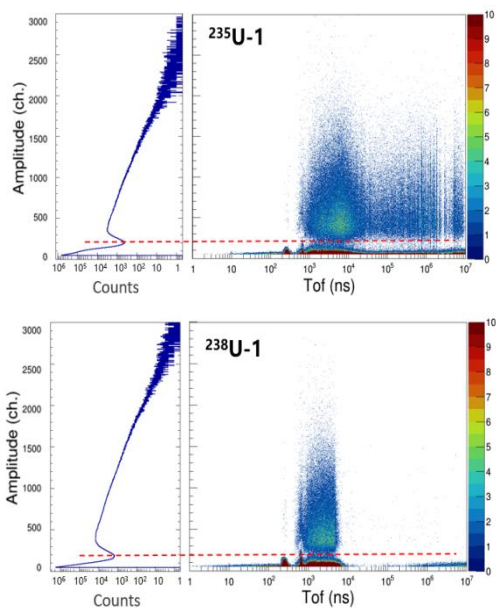


# 基于CSNS反角白光中子源的 $^{209}\text{Bi}$ 中子全截面测量与分析研究

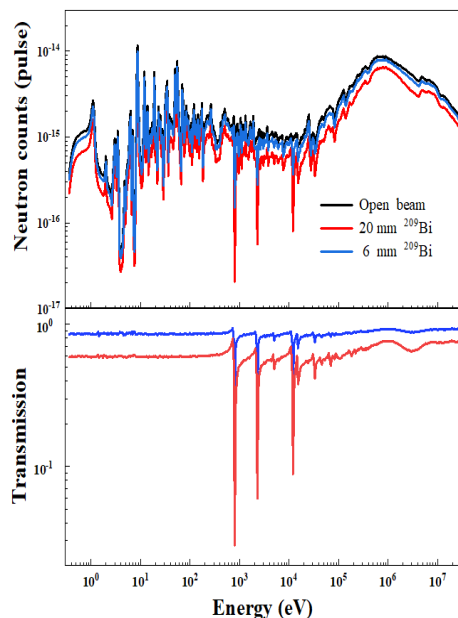
## ——南华大学



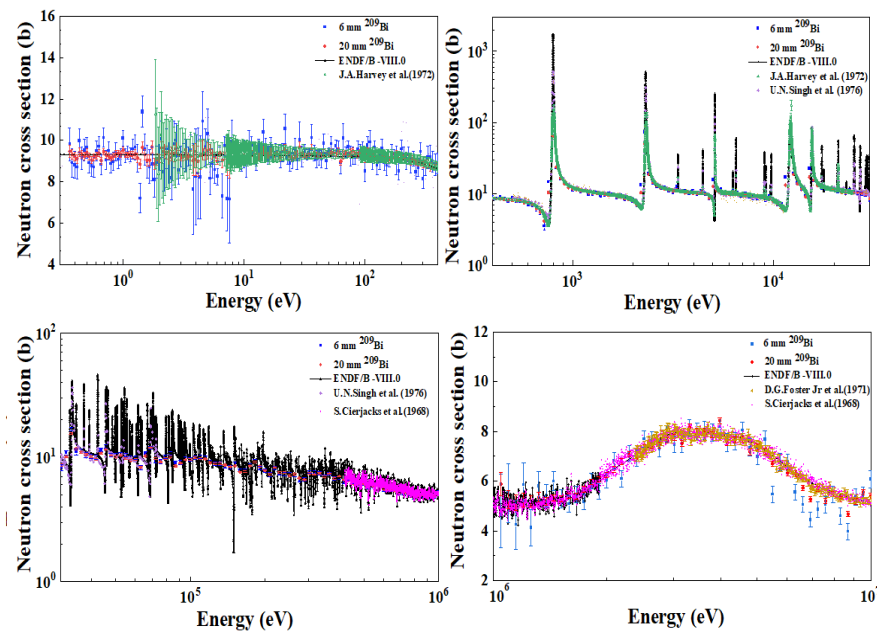
- 实验时间：2022年1月4-8日
- 实验样品：高纯度(99.99%)  $^{209}\text{Bi}$   $\text{Ø}70 \times 6 \text{ mm}$  &  $\text{Ø}70 \times 20 \text{ mm}$
- 测量时长及数据量：约113 h，总数据量约1.3TB



$^{235}\text{U} / ^{238}\text{U}$  时间-信号幅度二维谱分布



$^{235}\text{U}$  中子能谱及透射谱



$^{209}\text{Bi}$ 中子全截面实验测量值与数据库数据对比图

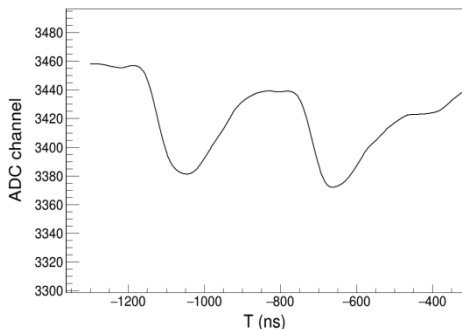
- 本工作由南华大学冯松课题组牵头完成，九院二所、中科院高能所东莞研究部CSNS Back-n合作组协作完成；
- 获得了0.3eV-10MeV能区 $^{209}\text{Bi}$ 中子全截面实验数据，并基于SAMMY程序开展了共振参数提取工作，已在2022年ND22核数据大会上作了口头报告，同时投稿至*Chinese Physics C*期刊，详见分会第2小组薛洁明报告。

# 基于CSNS反角白光中子源的 $^{nat}\text{Cr}$ 和 $^{nat}\text{Pb}$ 中子全截面测量

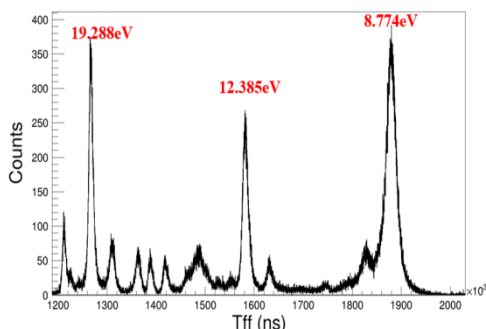
## ——南华大学



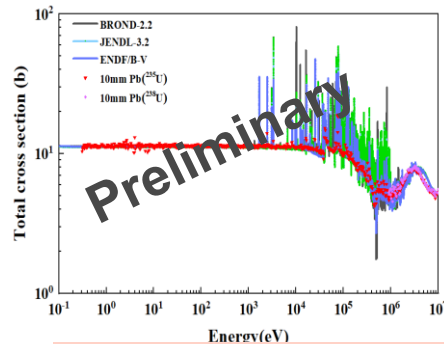
- 实验时间：2022年4月27日-5月13日
- 实验样品：高纯度(99.99%)  $^{nat}\text{Cr}$   $\text{Ø}70 \times 15 \text{ mm}$  & 高纯度(99.99%)  $^{nat}\text{Pb}$   $\text{Ø}70 \times 10 \text{ mm}$
- 测量时长：约 300 h, 总数据量：约2.3TB。



中子飞行时间定时用 $\gamma$ -flash信号分析

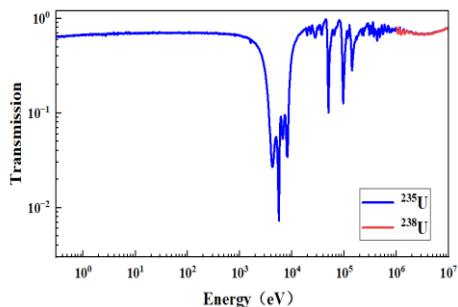


用于中子飞行距离刻度的共振峰分布

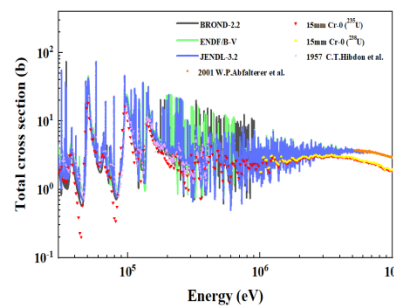
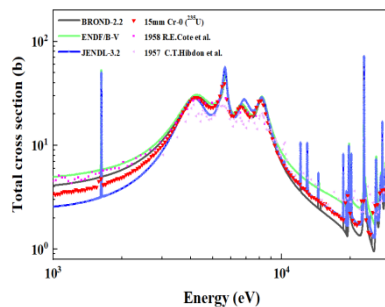
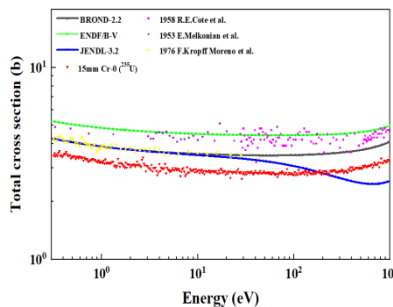


$^{nat}\text{Pb}$ 中子全截面实验测量结果

测量结果与评价数据库一致。由于Pb共振峰窄，受到探测系统对10keV以上能量分辨所限，因此共振区测量效果不好。



$^{235}\text{U}$  &  $^{238}\text{U}$  的 $^{nat}\text{Cr}$ 中子能谱



$^{nat}\text{Cr}$ 中子全截面实验测量值与数据库数据对比图

- 本工作由南华大学冯松课题组牵头完成，九院二所、中科院高能所东莞研究部CSNS Back-n合作组协作完成；
- 初步获得了0.3eV-1MeV能区 $^{nat}\text{Cr}$ 、 $^{nat}\text{Pb}$ 的中子全截面实验数据，详见分会第2小组冯松报告。

# 未来工作展望

## ▶ 裂变截面测量研究方向

- 根据先进核能研发、核数据评价需求，基于FIXM谱仪，开展更多核素的宽能区裂变截面实验
- 高精度的裂变截面测量技术，如FIXM、FIXM-LPDA、TPC

## ▶ 全截面测量研究方向

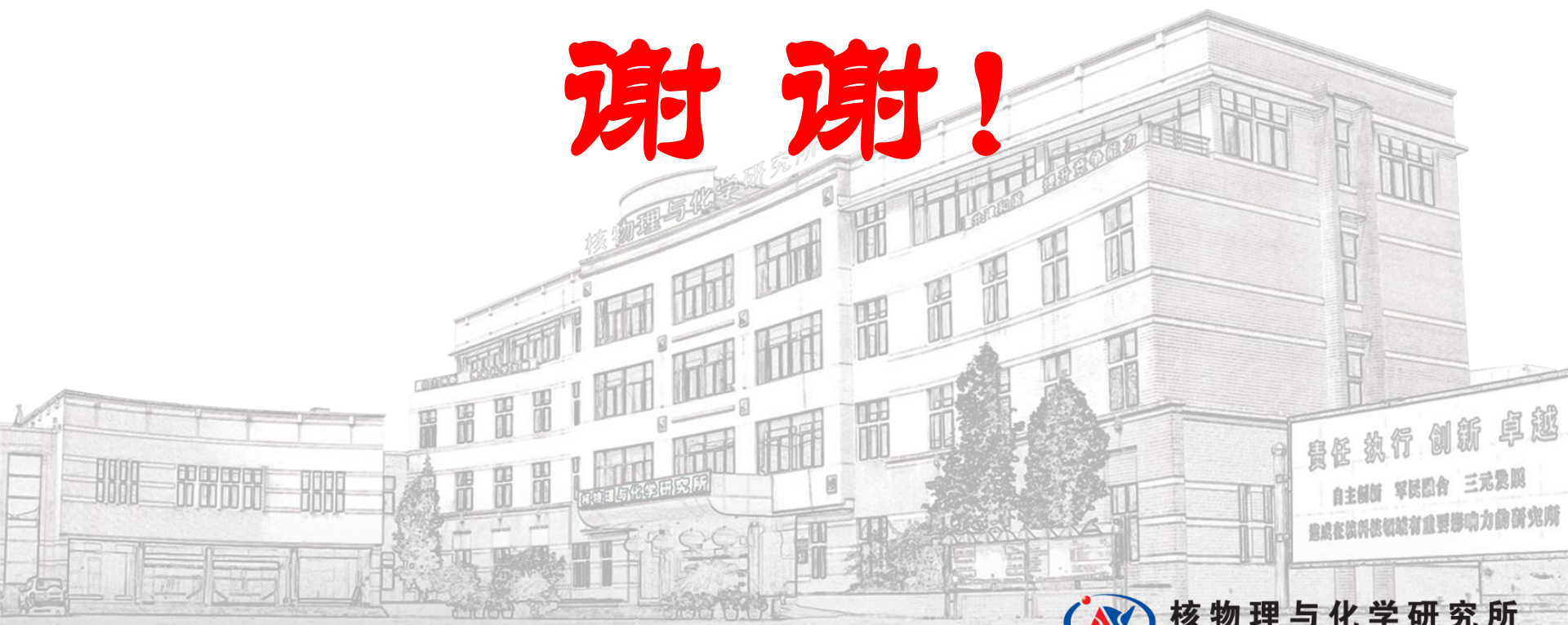
- 开展实验数据与评价数据、理论分析对比研究
- 基于NTOX谱仪，开展更多核素（包括轻核）的全截面实验
- 低能区中子全截面测量技术，如含锂/硼探测器，开展合作研究



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



谢谢!



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