



南華大學

UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

全能区^{nat}Lu中子全截面测量与分析

黄文鑫¹, 肖友淳¹, 陈永浩^{2,3}, 肖敏¹, 郑波¹, 程品晶¹, 栾鹏¹, 刘静¹, 唐诗琦¹, 冯松^{1,*}

1.南华大学核科学技术学院

2.中国科学院高能物理研究所

3.散裂中子源科学中心



目录



01

研究背景及意义

02

实验内容

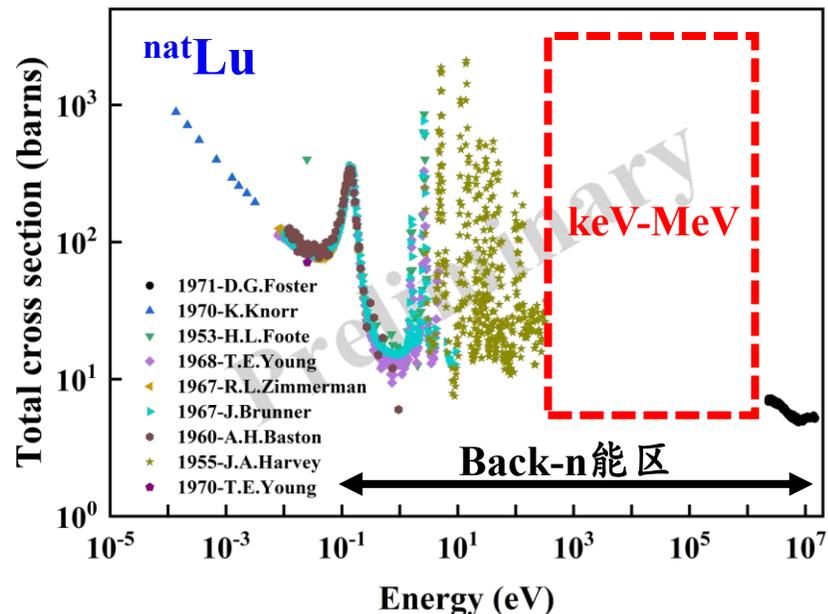
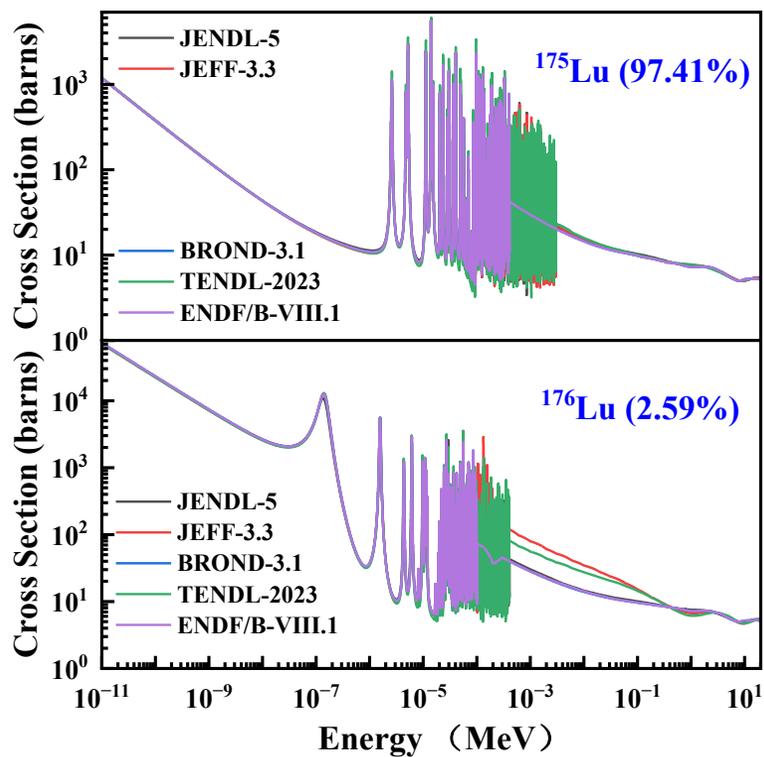
03

实验初步结果

04

小结

- 在基础物理方面， ^{176}Lu 及其衰变产物 ^{176}Hf 都是纯s过程起源的核素；
- 在核技术应用方面， ^{177}Lu 是肿瘤 RNT 药物中最常用的 β -衰变治疗型核素；
- EXFOR中 $^{\text{nat}}\text{Lu}$ 中子全截面实验数据较少，覆盖能区有限；
- 评价方面，不同主流评价数据库中的 ^{175}Lu 和 ^{176}Lu 中子全截面存在较大差异；
- $^{\text{nat}}\text{Lu}$ 中子全截面评价数据只有CENDL-2，但在CENDL-3.2中没有镱相关的中子全截面评价数据。



Request #10691

ENDF Data Selection

Retrieve Plot Selected Unselected All Reset

Plotting options: Quick plot (cross-sections only: σ) MF3-Plot Universal plot ($\sigma \pm \Delta\sigma$, $d\sigma/d\Omega$, $d\sigma/dE$, $d^2\sigma/dE/d\Omega$) beta version

Sorted by: [Reactions] Reorder by: [Libraries] View: basic extended

1) LU-0 (N, TOT), SIG MT=1 MF=3 NSUB=10

MF3: [SIG] Cross sections MF1: [N, TOT] Neutron total cross sections.

1 ENDF-6 Interpreted σ js Plot CENDL-2 Lab=SHT.UNI. Date=940924

*Plotting options:

Plot cross sections with reconstructed resonances and applied Doppler broadening at the temperature

MF3-Plot cross section from file MF3 as is (sometimes presents only "background" data without resonance)

Other plots

- $d\sigma/d\Omega$ - angular distributions,
- $d\sigma/dE$ - energy distributions,
- $d^2\sigma/dE/d\Omega$ - double differential cross sections,
- $\sigma \pm \Delta\sigma$ - cross sections with uncertainties (if given)

[Glossary]: meaning of abbreviations and variables
[About]: a few words on ENDF-6 format

Date generated: 2025-07-20 14:38:13 by FdsSearch2 on localhost [fudwww.ncds.issg.com]

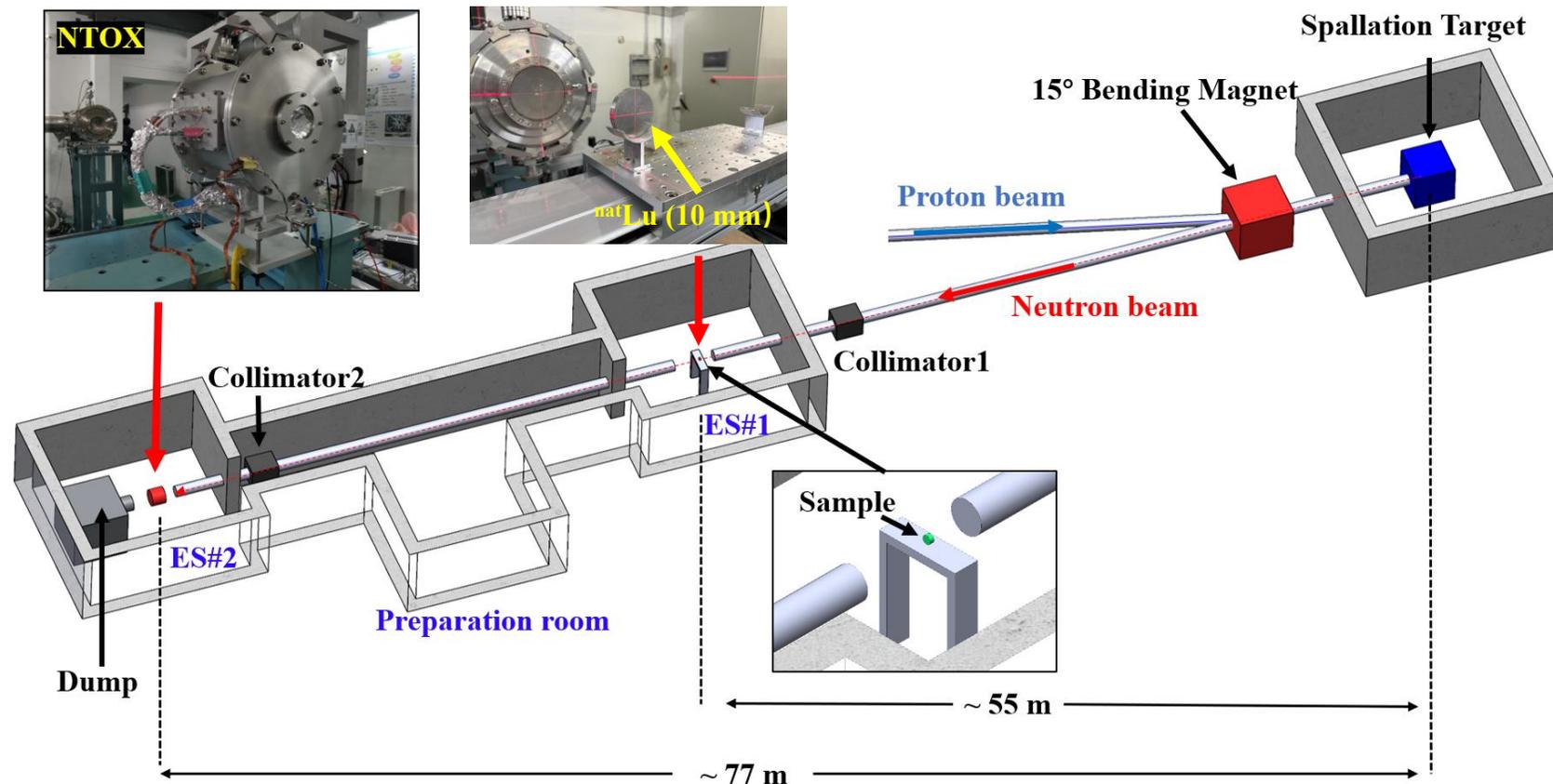
实验安排

实验时间：2025年4月 (80 h束流)

模式：双束团模式

质子打靶功率：170 kW

频率：25 Hz



裂变片

^{235}U -1 (厚)

^{235}U -9 (厚)

^{235}U -4 (薄)

^{235}U -5 (薄)

束斑尺寸	样品	实验时间
$\Phi 50 \times 50 \times 40 \text{ mm}$	无	32 h
$\Phi 50 \times 50 \times 40 \text{ mm}$	10 mm $^{\text{nat}}\text{Lu}$	48 h

➤ 实验方法

透射法

$$d\Phi(E) = -\Phi(E) \times N \times \sigma_{total} dx$$



$$T(E_i) = \frac{[N_I(E_i) - B_I(E_i)]/P_I}{[N_0(E_i) - B_0(E_i)]/P_0} = e^{-Nd \cdot \sigma_{total}}$$

$$\Rightarrow \sigma_{total} = \frac{-\ln(T(E))}{N \cdot d}$$



- $N_I(E_i)$ 和 $N_0(E_i)$ 分别为有/无样品质量时的中子计数；
- $B_I(E_i)$ 和 $B_0(E_i)$ 分别为有/无样品时的本底；
- P_I 和 P_0 分别为有/无样品时的打靶质子数，用来做中子数归一。

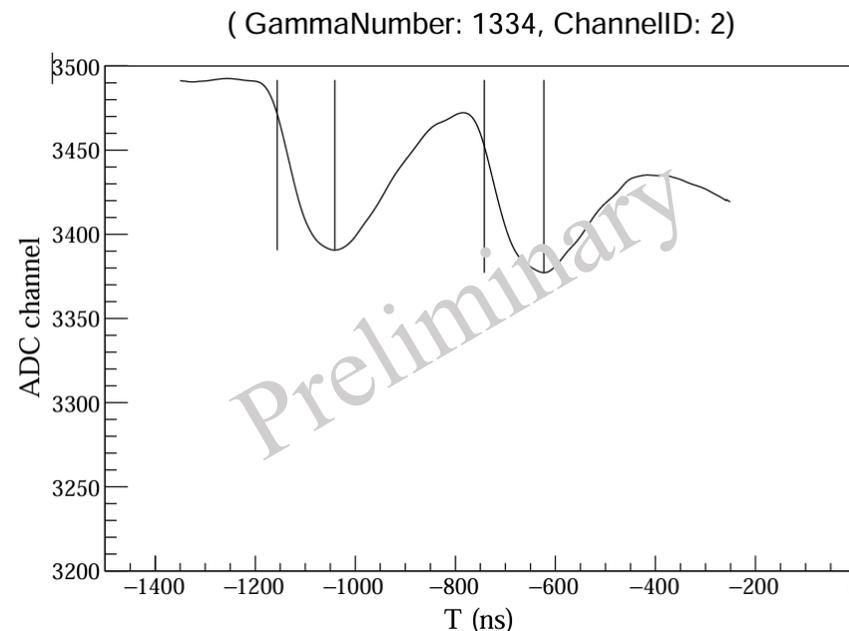
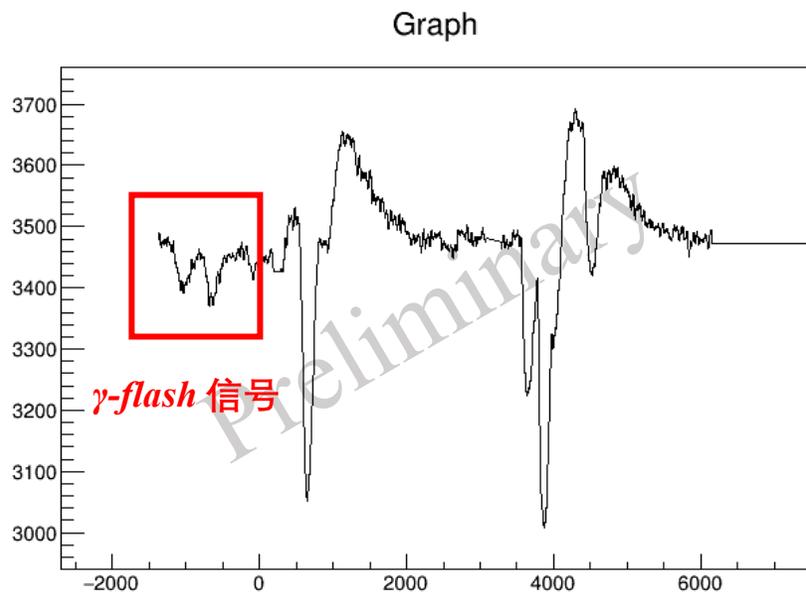
中子飞行时间法

$$E = m_n c^2 \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{L}{TOF_n \cdot c} \right)^2}} - 1 \right]$$

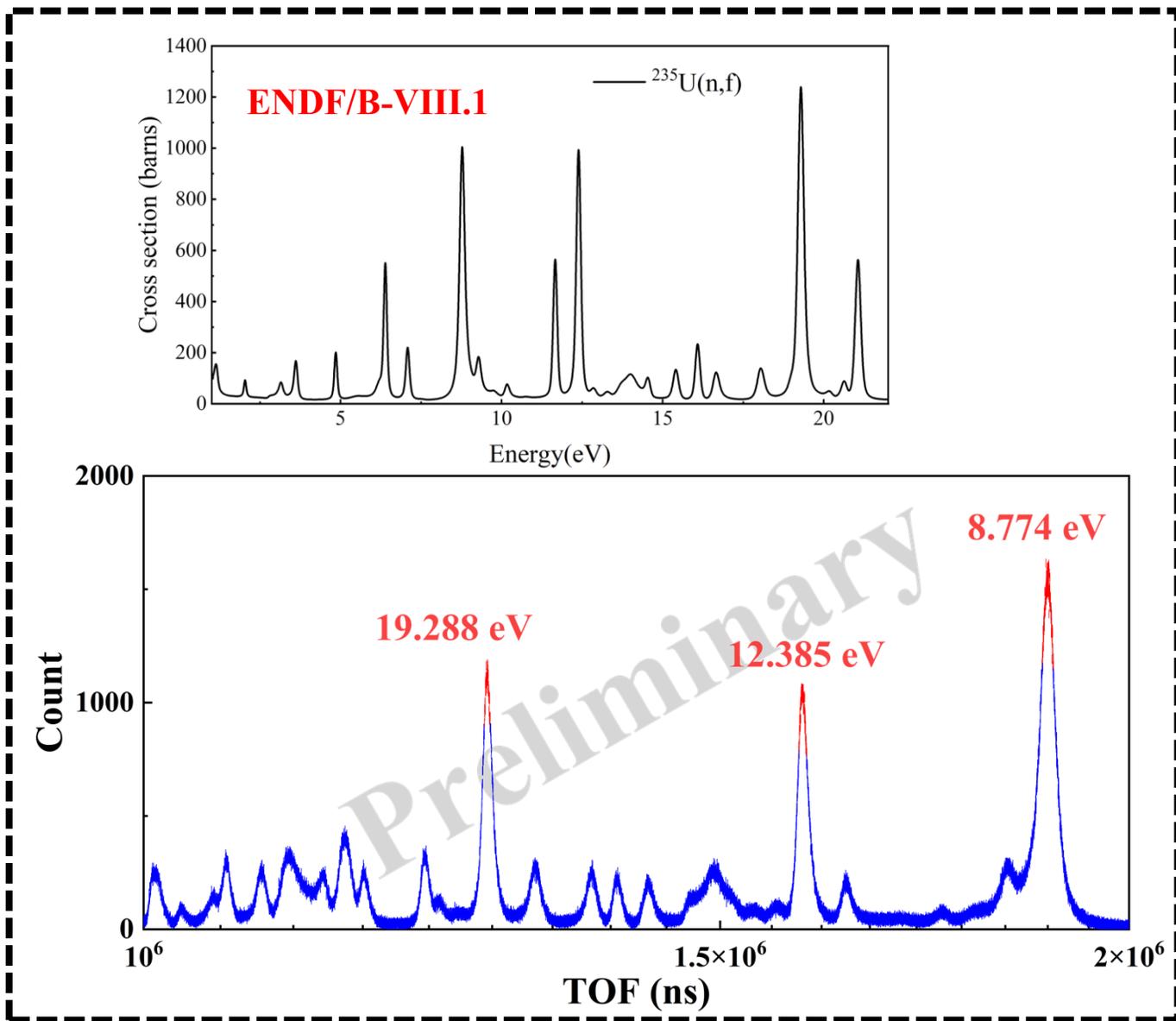
➤ 利用 γ -flash 确定中子飞行时间

- 质子打靶的瞬间，除了会产生中子，靶核退激还会产生高强度的能量为 1~2MeV 的 γ 射线，称为 γ -flash；
- 裂变室对 γ -flash 有响应，因此可利用 γ -flash 来标定中子飞行时间；
- 对多个 γ 信号进行叠加，获取 T_γ 时间。

$$Tof_n = T_{ff} - T_0 = T_{ff} - (T_\gamma - Tof_\gamma)$$



► 利用²³⁵U裂变片的共振峰标定飞行距离

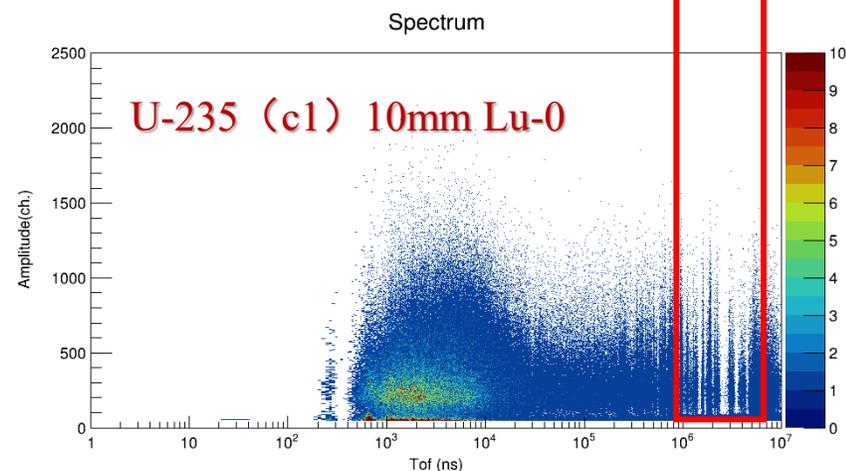
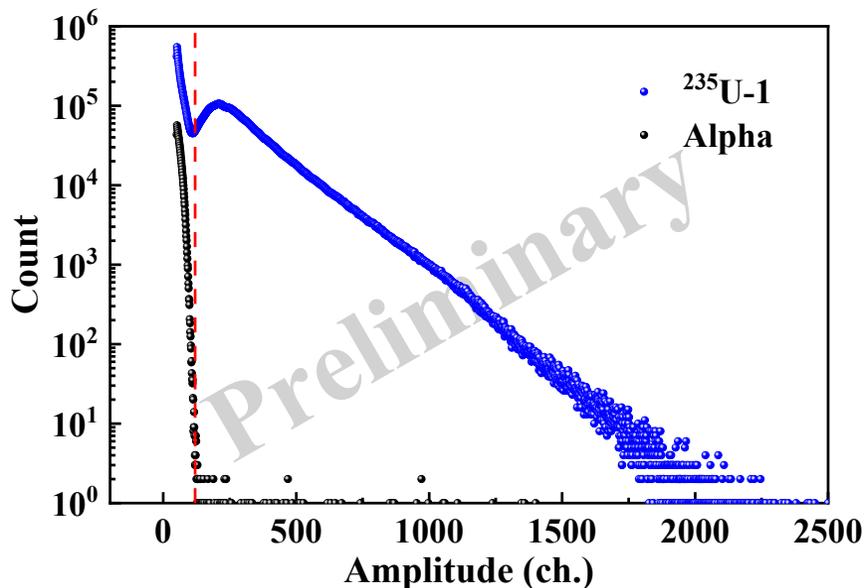
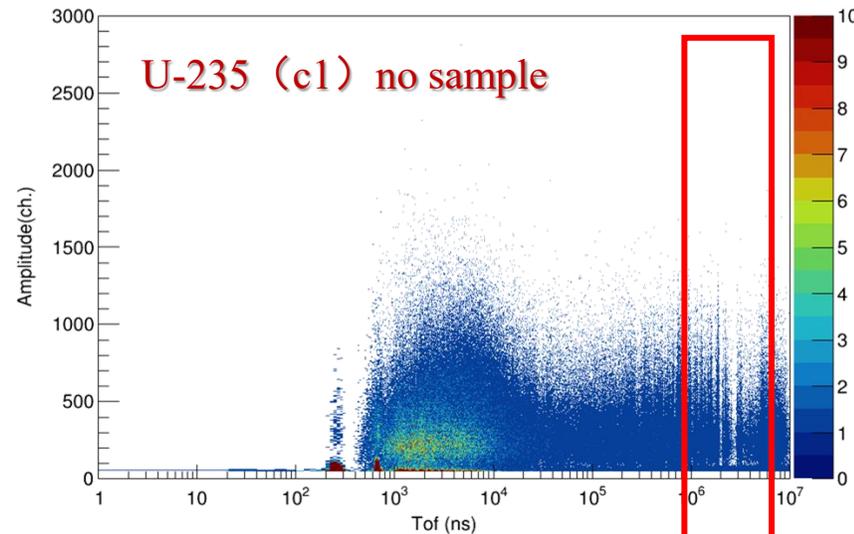
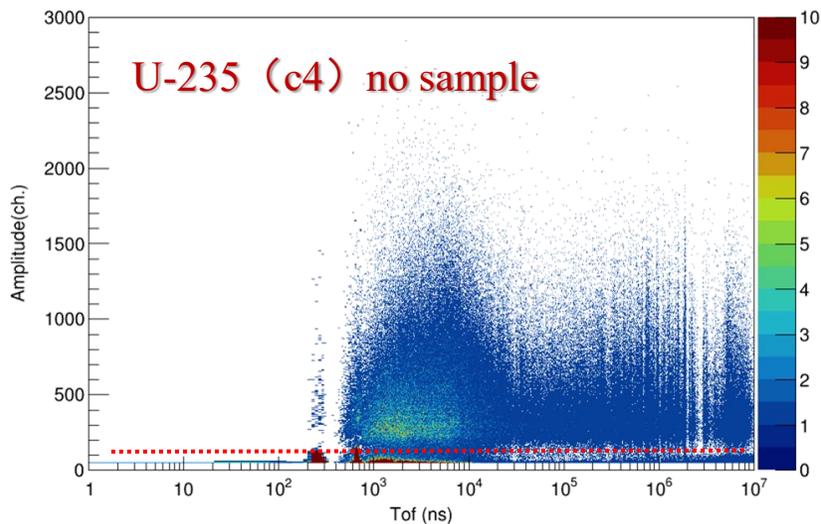


$$T_{ff} - T_{gamma} = \frac{L}{c} \left[\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{1}{\left(\frac{E_n}{m_n c^2} + 1\right)^2}}} - 1 \right]$$

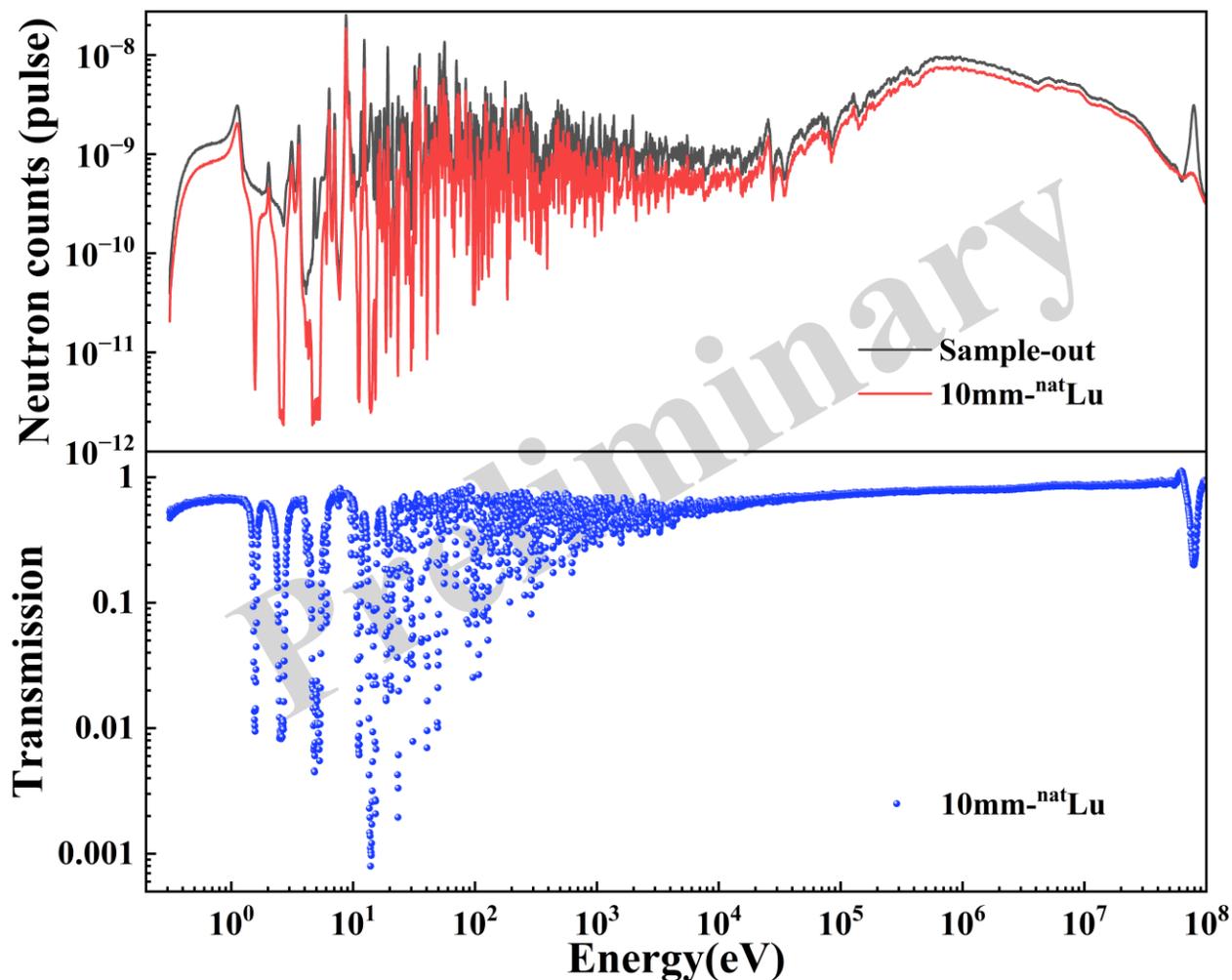


裂变片	拟合 L/m
²³⁵ U-1	77.4499
²³⁵ U-9	77.4692
²³⁵ U-4	77.4881
²³⁵ U-5	77.5088

- 统计所有信号的时间与幅度信息，得到无样和有样时间-幅度二维谱；
- 对实验本底扣除，选择甄别阈值将小幅度的本底信号与大幅度的裂变信号区分开。

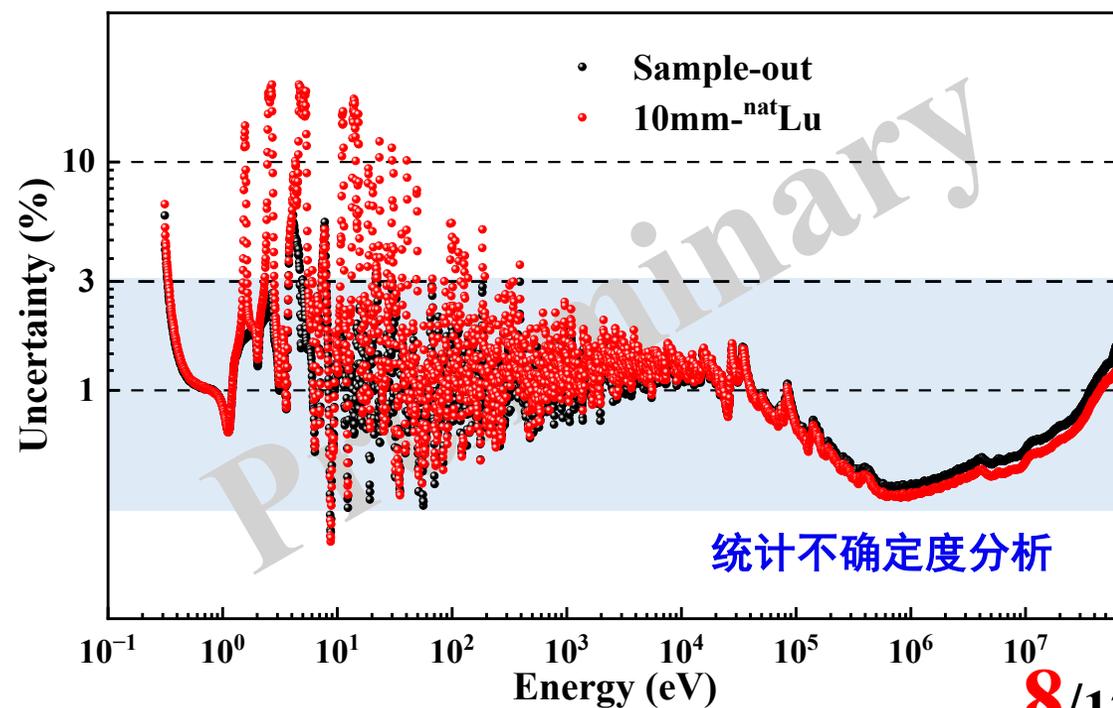


- 统计裂变碎片甄别阈值以上的裂变计数，并分别将U-235的四个通道计数叠加；
- 再利用打靶质子束进行归一，获得归一化中子计数率谱进而得到相应透射率；
- 并对归一化中子计数率谱进行了统计不确定度分析。

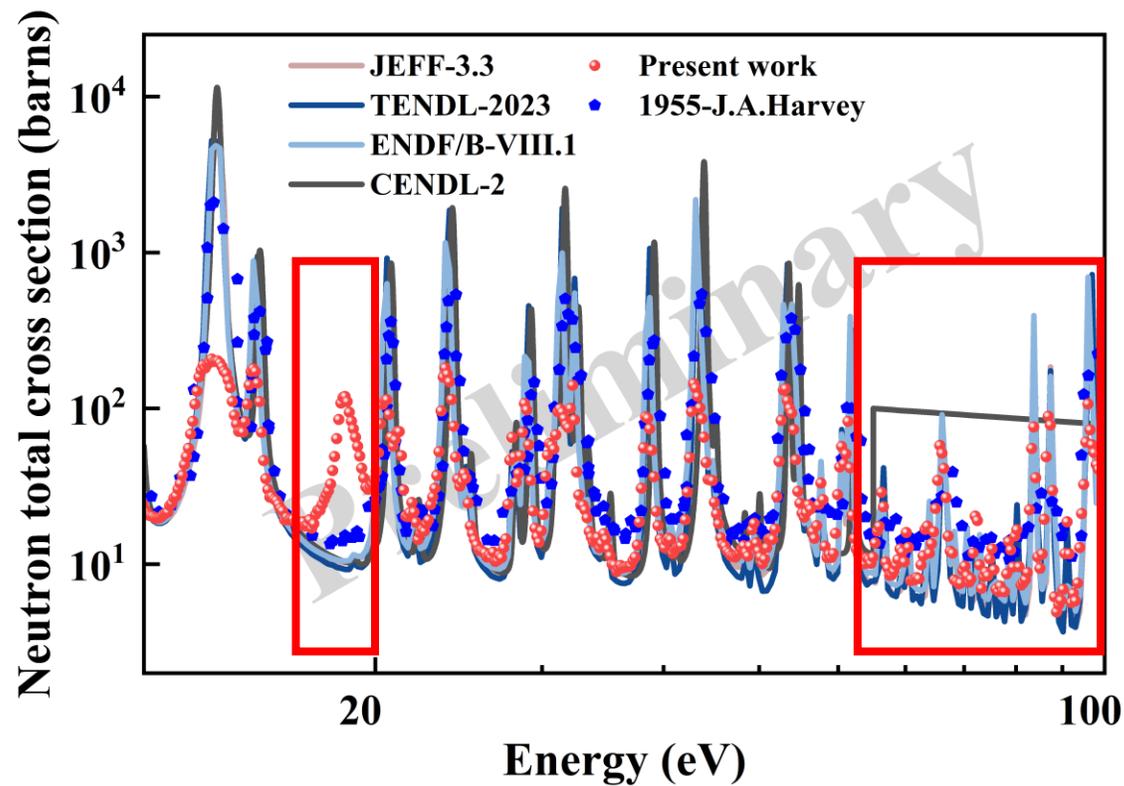
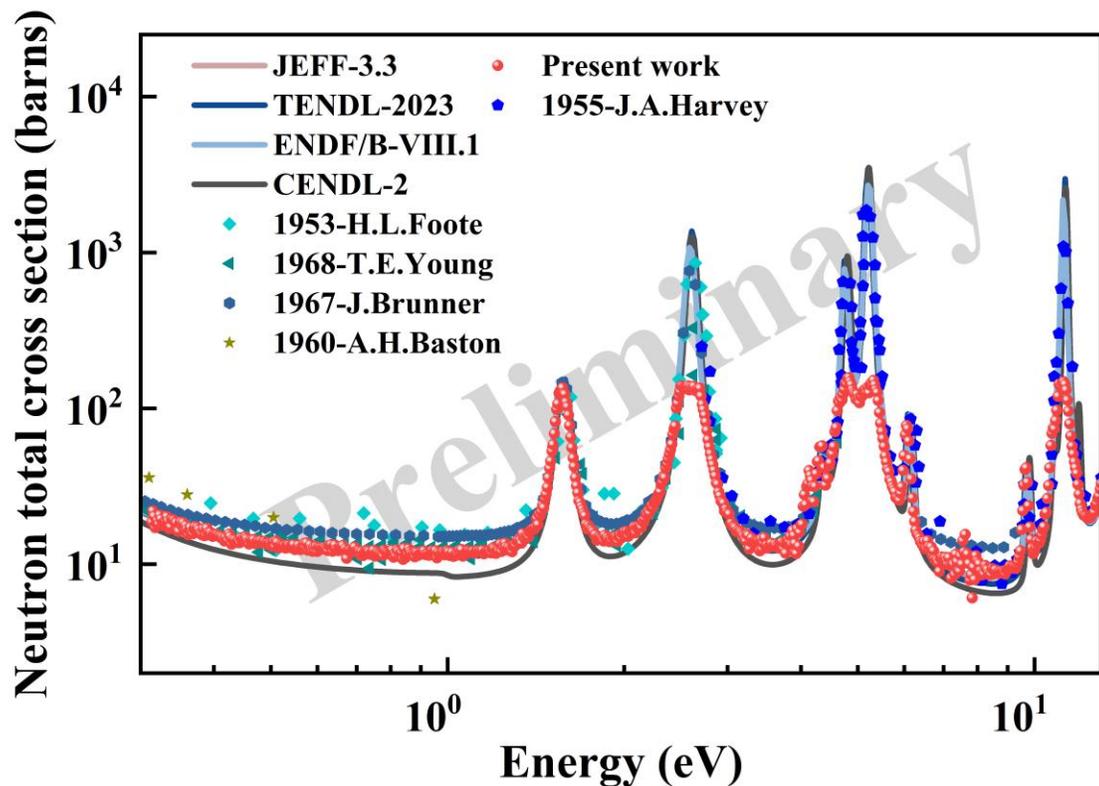


$$\sigma_{\text{error}}(E_i) = \frac{\sqrt{N(E_i)}}{N(E_i)}$$

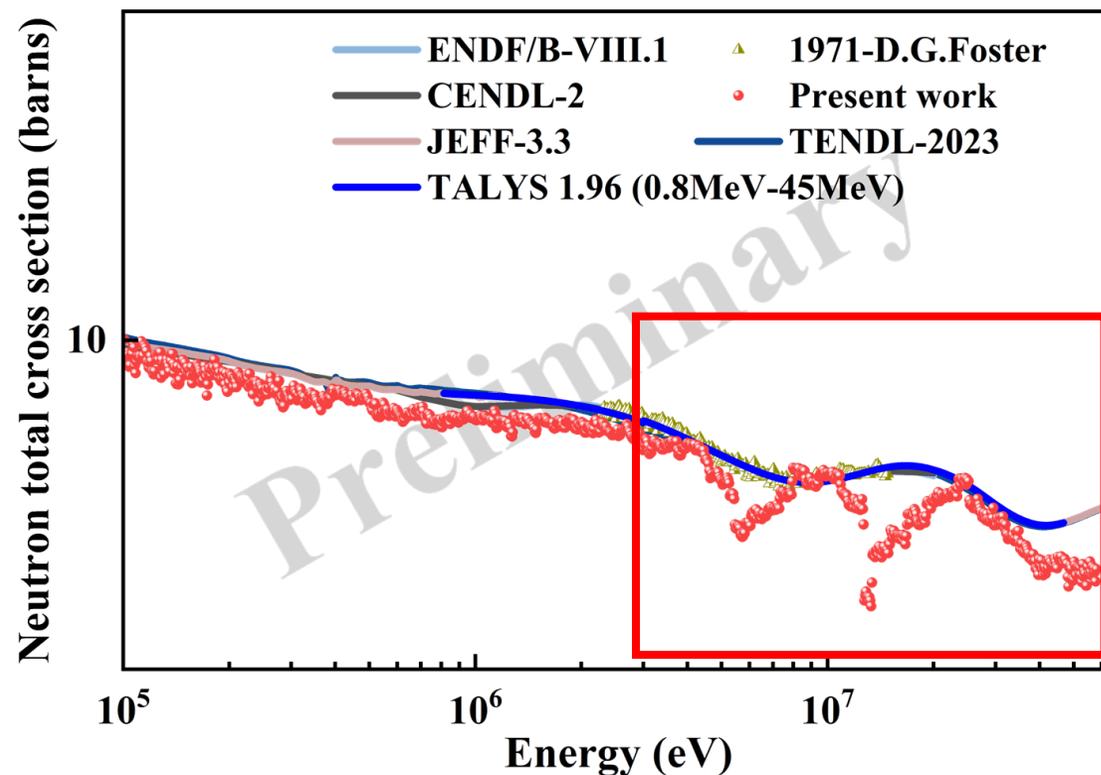
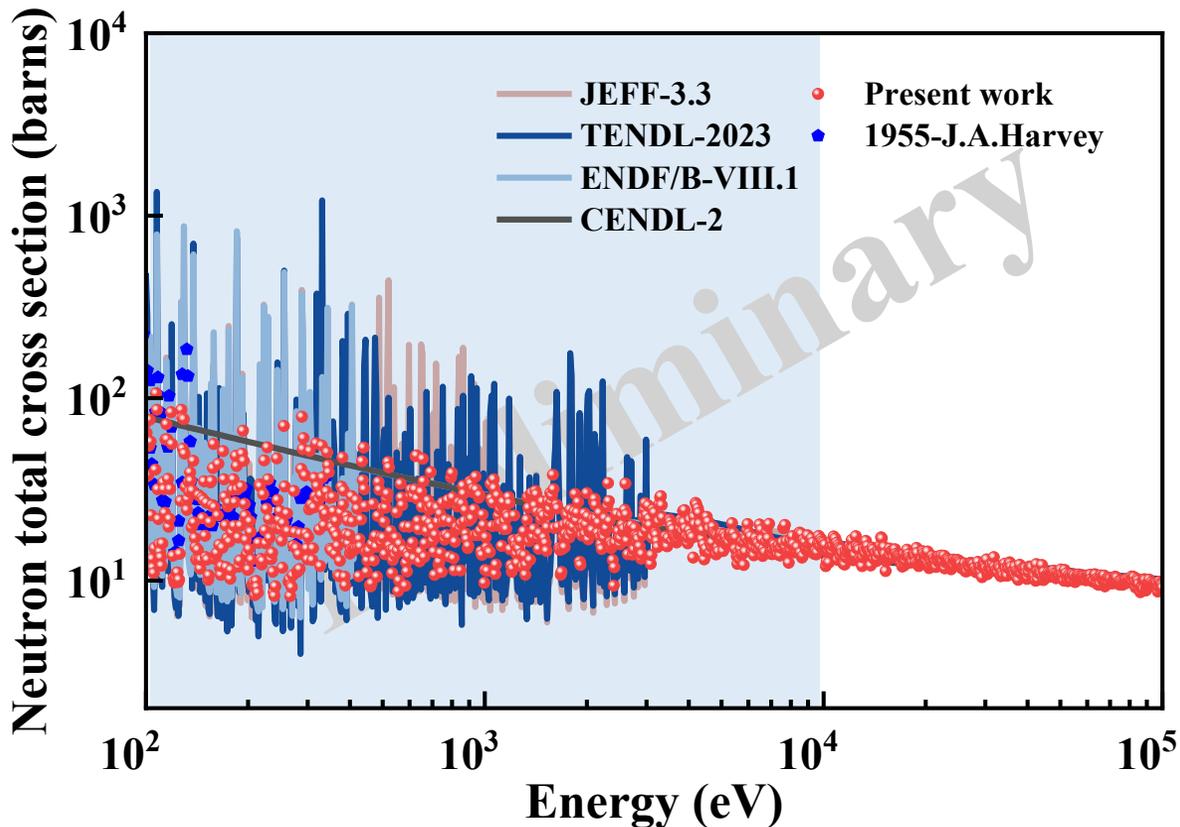
统计不确定度计算公式



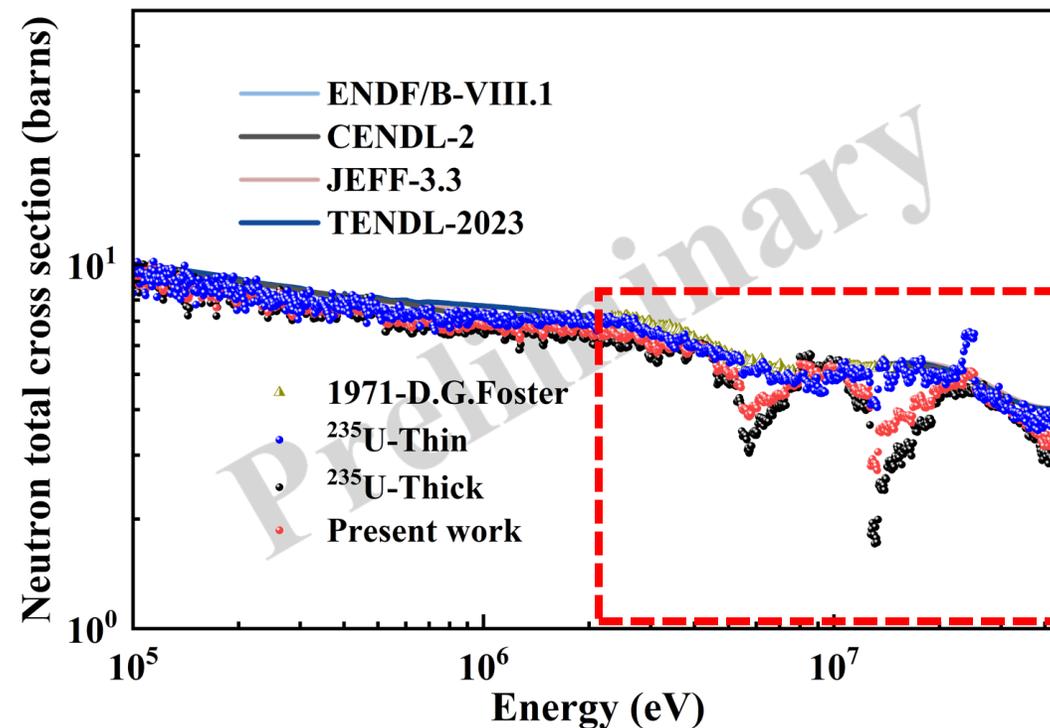
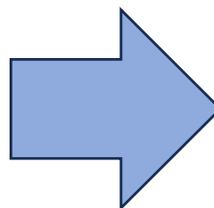
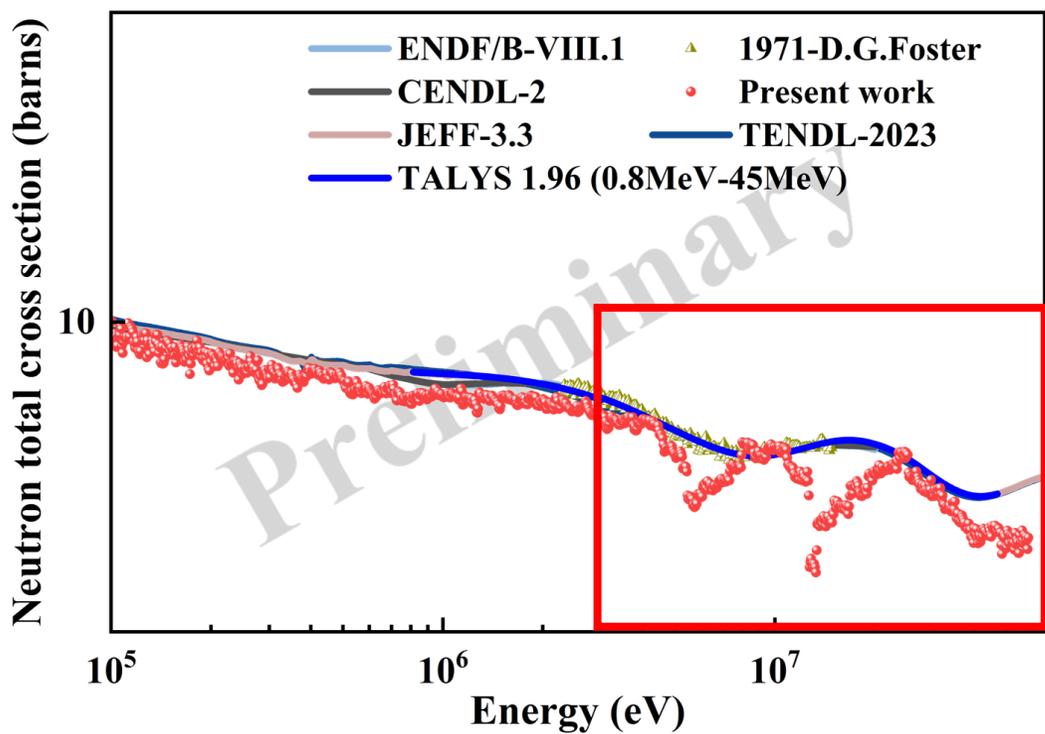
➤ 通过透射率计算得到中子全截面，解谱后与EXFOR实验数据、ENDF/B-VIII.1等主流评价数据库进行对比。



- 通过透射率计算得到中子全截面，解谱后与EXFOR实验数据、ENDF/B-VIII.1等主流评价数据库进行对比；
- 可分辨共振能区 (RRR) 的评价数据建议达到 10^4 eV；
- 解谱后的实验结果在 高能区 存在差异；
- 通过TALYS程序在 0.8 MeV - 45 MeV 能量范围内进行了理论计算。



➤ 通过对两种厚度的U-235裂变片测量结果进行比较，发现两者解谱后的测量结果在**高能区存在差异



- ◆ 初步获得了0.3 eV-45 MeV能量范围的 ^{nat}Lu 的中子全截面实验值，并对中子计数率谱的统计不确定度进行分析；
- ◆ 在2.58 eV、4.8 eV、5.2 eV以及14 eV等能点附近测量的共振峰出现了“被抑制”的现象；
- ◆ 在18.6 eV附近测量得到一个非常明显的新共振峰；
- ◆ 发现厚 U-235 裂变片与薄 U-235 裂变片的测量结果在高能区存在明显差异。

未来展望

- ◆ 进一步补充总不确定度的分析，完善实验分析结果；
- ◆ 进行更精细的解谱工作，解决高能区出现的截面差异；
- ◆ 使用 SAMMY 程序对测量结果的共振参数进行提取。



南華大學

UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

Thanks for your attention!

黄文鑫, 肖友淳, 陈永浩, 肖敏, 郑波, 程晶晶, 栾鹏, 刘静, 唐诗琦, 冯松

songfeng@usc.edu.cn

