

2025年CSNS反角白光中子源(第九届)用户研讨会



南華大學

UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

基于Back-n中子源的氫中子全截面实验研究

肖敏¹, 肖友淳¹, 陈永浩^{2,3}, 黄文鑫¹, 易晗^{2,3}, 樊瑞睿^{2,3}, 郑波¹, 程品晶¹, 栾鹏¹, 刘静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

安徽·六安 2025年7月23-25日



目录



01

研究背景及意义

02

实验过程

03

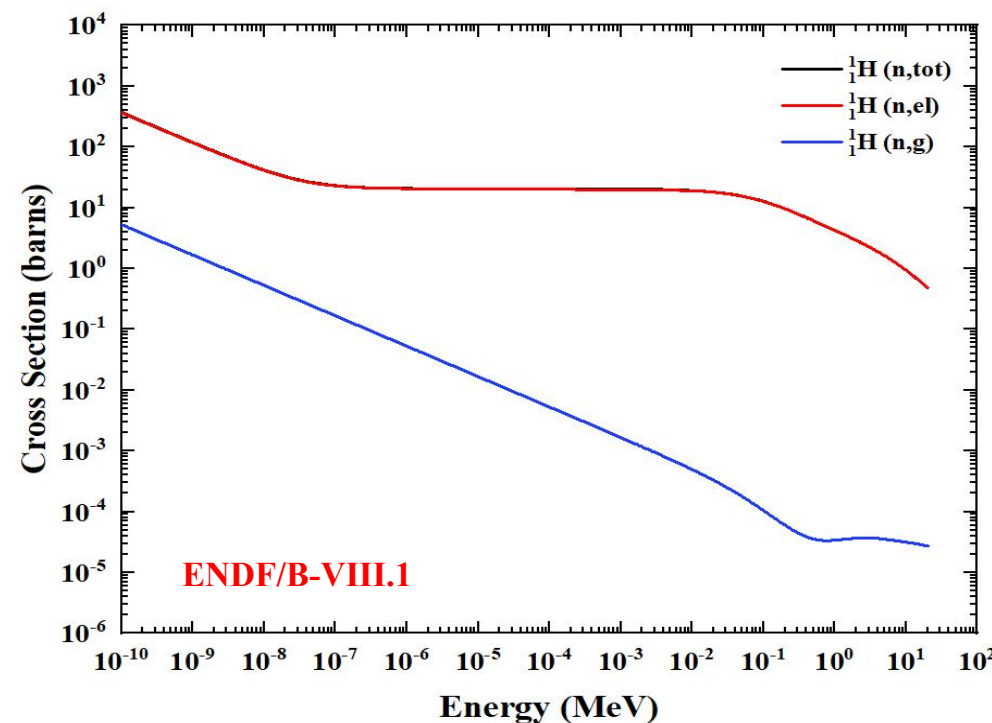
实验数据初步分析

04

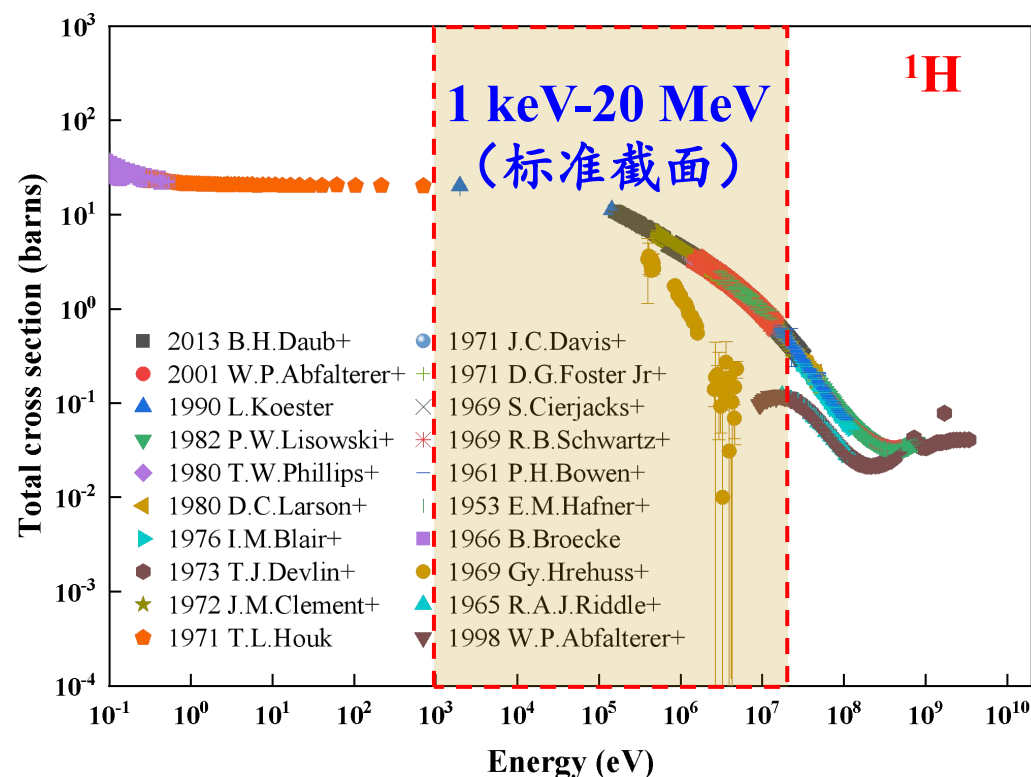
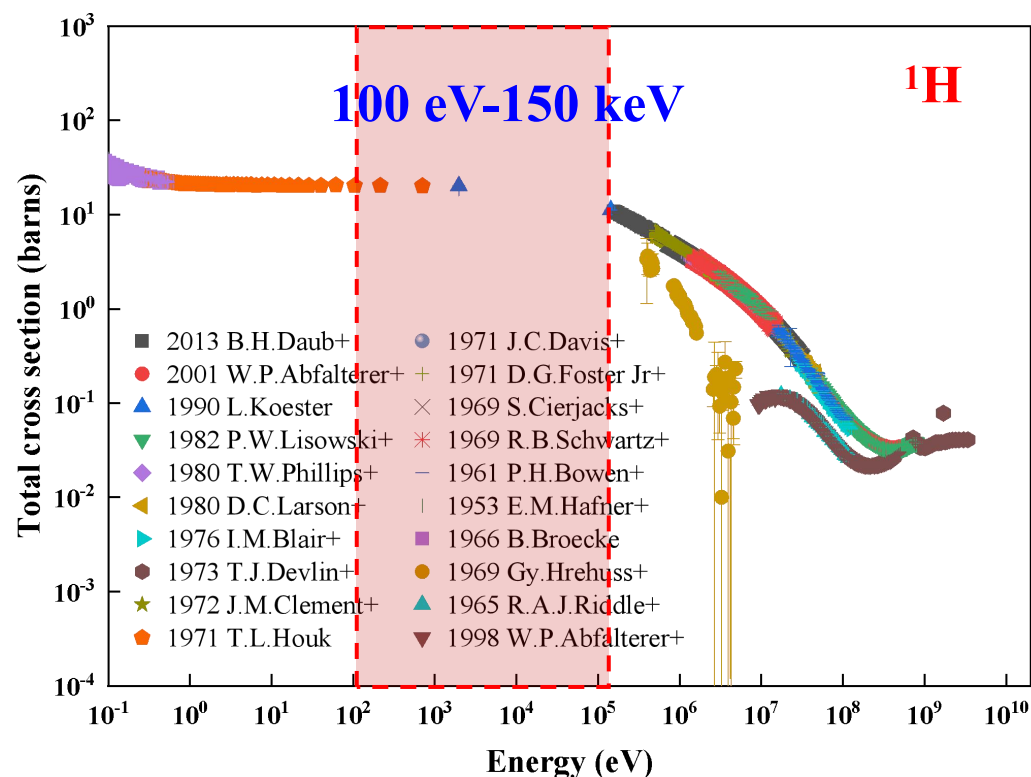
总结与展望

- 氫是重要的**中子慢化和屏蔽材料**，其中子全截面数据质量直接影响相关反应堆物理设计的可靠性和**中子防护**的有效性；
- 氫核的中子散射是研究**核子间相互作用（NN相互作用）**和**核力性质**的重要途径，精确的氫核中子散射截面数据对于理解核子间的双体相互作用具有重要参考价值；
- 氫中子弹性散射截面为**标准截面**，**氫的中子全截面可等效为弹性散射截面**，测量中子全截面能够很好地评估氫核的中子弹性散射截面。

IAEA.org International Atomic Energy Agency				
IAEA NEUTRON DATA STANDARDS (2017)				
A.D. Carlson, et al., <i>Nuclear Data Sheets 148 (2018) 143-188</i>				
#	Reaction	Energy Range	ENDF-6 formatted data	Free text format
1	H(n,n)	1e-5 eV to 20 MeV (Standard range: 1 keV - 20 MeV)	std17-001_H_001.endf	std17-001_H_001.txt
2	³ He(n,p)	1e-5 eV to 20 MeV (Standard range: Thermal - 50 keV)	std17-002_He_003.endf	not available
3	⁶ Li(n,t)	1e-5 eV to 4 MeV (Standard range: Thermal - 1 MeV)	std17-003_Li_006.endf	std17-003_Li_006.txt
4	¹⁰ B(n,α);(¹⁰ B,n,α)γ	1e-5 eV to 1 MeV (Standard range: Thermal - 1 MeV)	std17-005_B_010.endf	std17-005_B_010.txt
5	^{nat} C(n,n)	up to 6.45 MeV (Standard range: 1keV - 1.8 MeV, angular distribution standard)	std17-006_C_000.endf	std17-006_C_000.txt
6	¹⁹⁷ Au(n,γ)	2.5 keV to 2.8 MeV (Standard range: 200keV - 2.5MeV)	std17-079_Au_197.endf	std17-079_Au_197.txt
7	²³⁵ U(n,f)	150 eV to 200 MeV (Standard range: 150keV - 200MeV)	std17-092_U_235.endf	std17-092_U_235.txt
8	²³⁸ U(n,f)	0.5 to 200 MeV (Standard range: 2 - 200MeV)	std17-092_U_238.endf	std17-092_U_238.txt
9	Thermal Neutron Constants (17): Total nubar, (n _{th} f), (n _{th} el), (n _{th} γ) cross sections for fissile targets ²³⁵ U, ²³⁵ U, ²³⁹ Pu, ²⁴¹ Pu. Total nubar ²⁵² Cf(sf).	0.0253 eV (2200 m/s)		Standards2017_TNC.txt
10	¹⁹⁷ Au(n,γ)	Thermal: 98.66(0.14) b MACS (30 keV)= 620(11) mb		
11	²³⁵ U(n,f)	Integral from 7.8 eV to 11 eV = 247.5(3.3) b*eV		



- 现有1 keV以下和20 MeV以上能区的部分实验数据不确定度较大，为非标准数据，且**100eV-150keV**能区可参考的**实验数据偏少**，不利于全能区的数据评价。
- 目前，中子弹性散射截面主要采用n-p方法测量，中子能量测量范围基本在**MeV以上**。
- 依托CSNS白光中子源，利用氢中子全截面可等效为氢中子弹性散射截面的特点，基于**透射法和中子飞行时间法**获取高精度的氢中子弹性散射截面，**为标准截面做出Back-n的贡献**。



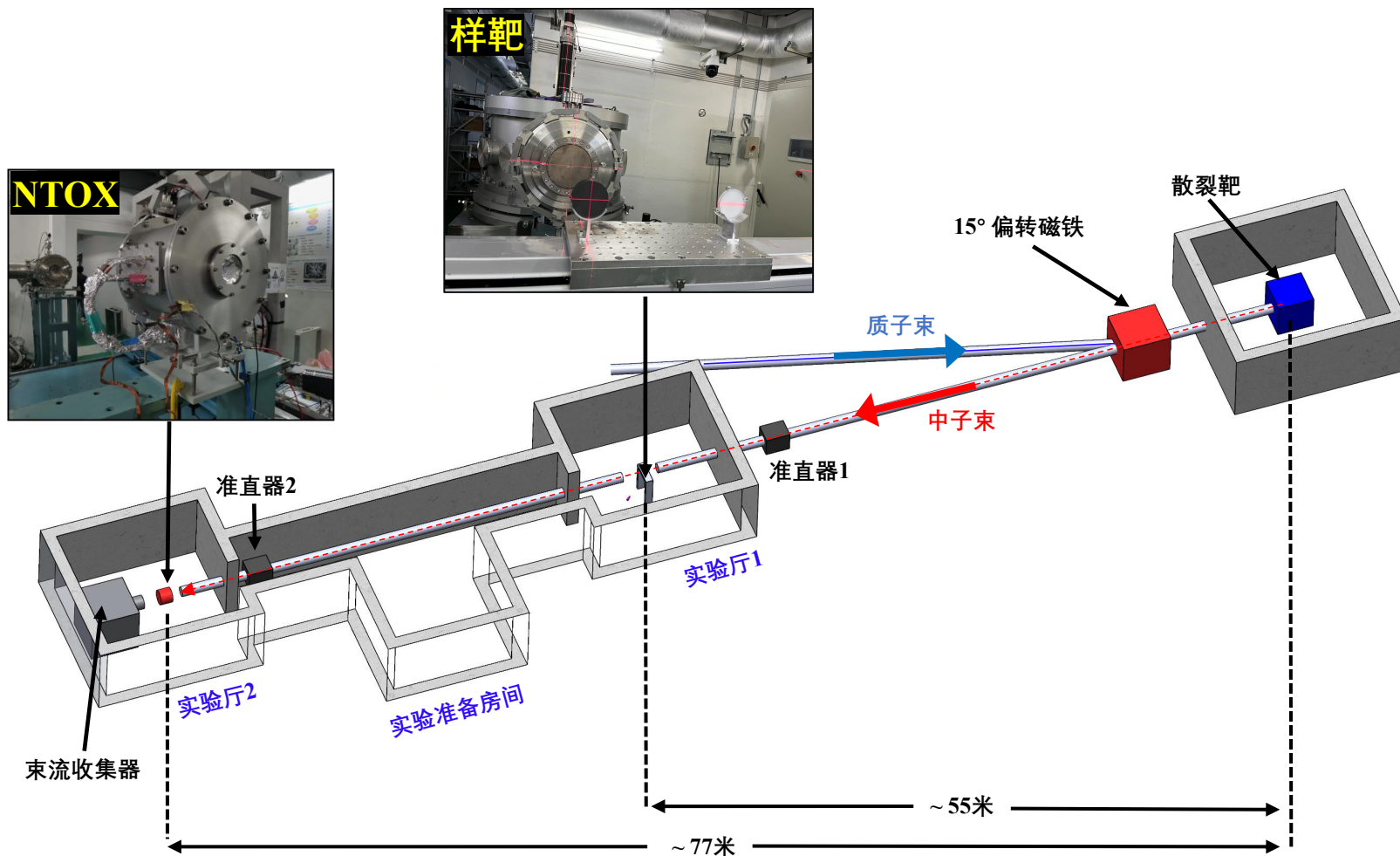
➤ 实验时间：2025年4月

质子打靶功率：171 kW
束团模式：双束团
频率：25 Hz
束团宽度：41 ns

□ 实验安排：

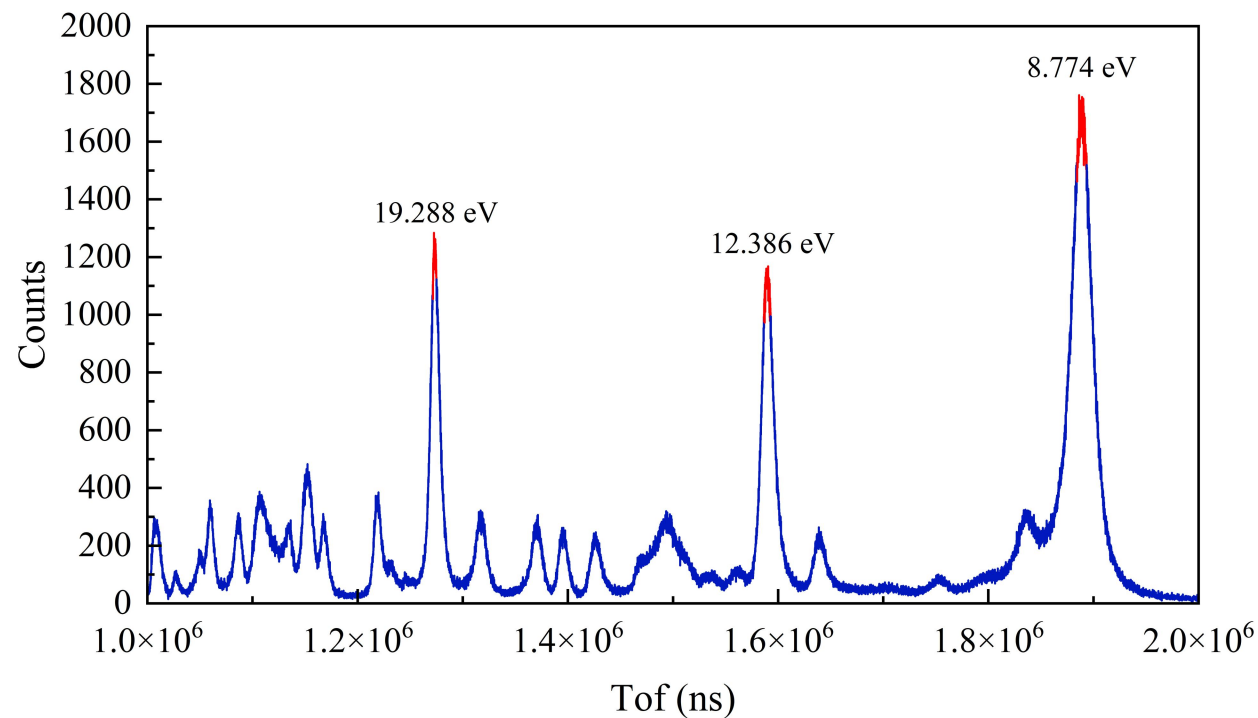
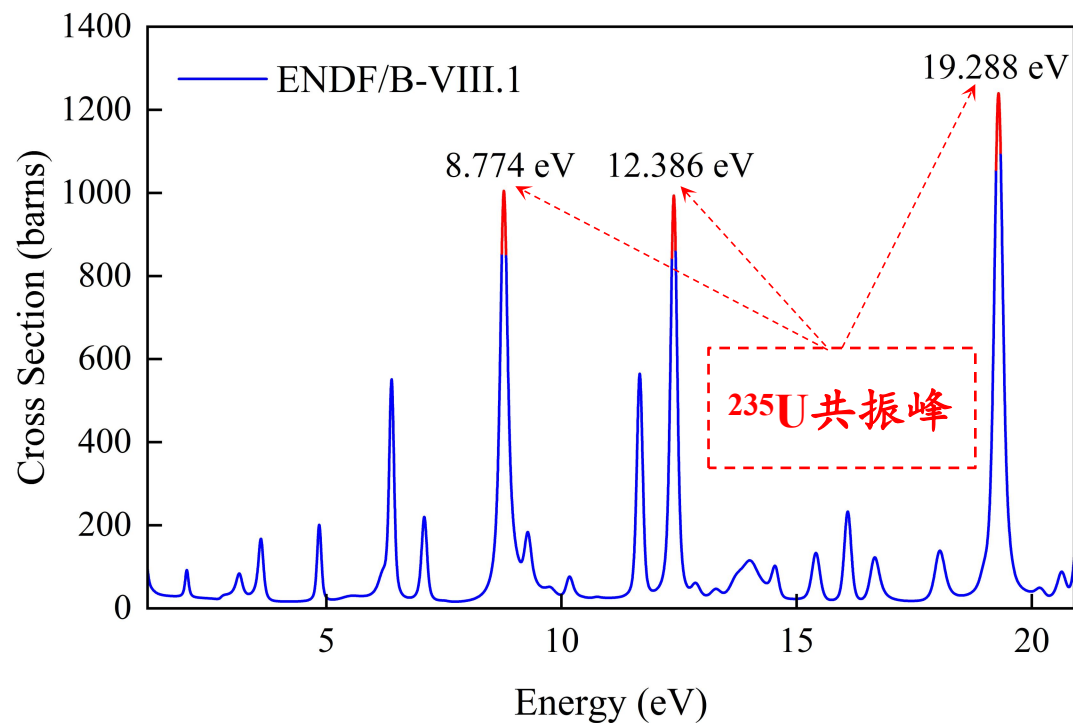
样品靶	束流时间(h)
空靶(无束流)	9
空靶(在束)	36
碳靶(25 mm)	67
聚乙烯靶(3 mm)	56
聚乙烯靶(15 mm)	19
总计	178

□ 实验方法： $\sigma(\text{H}) = \frac{1}{2} [\sigma(\text{CH}_2) - \sigma(\text{C})]$





➤ ^{235}U 共振峰刻度飞行距离



高斯函数拟合 ^{235}U 共振峰得到对应飞行时间

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

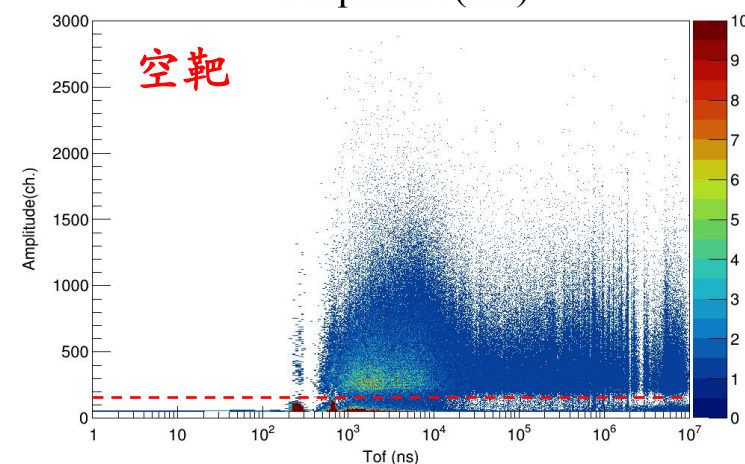
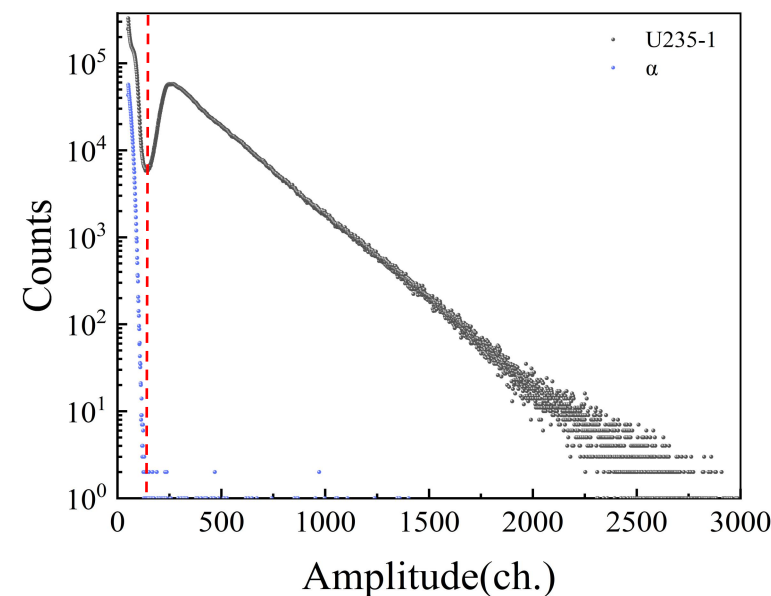
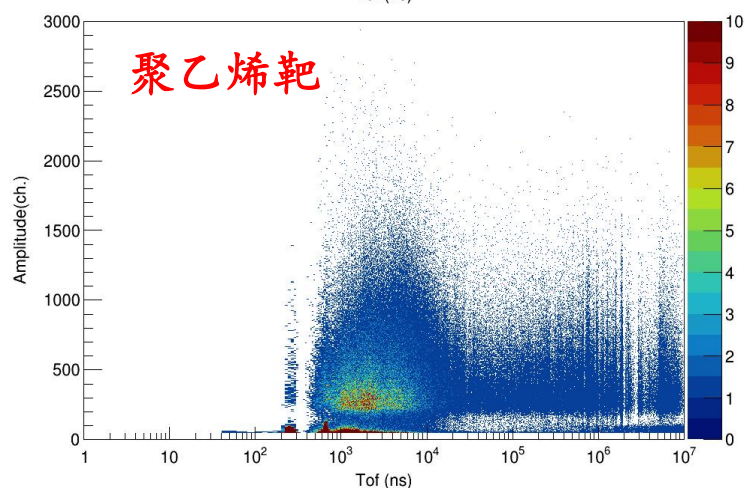
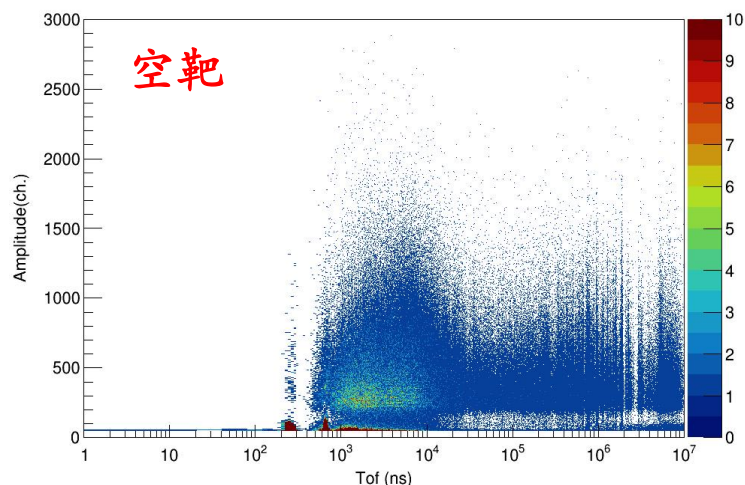


Fission	^{235}U -1	^{235}U -2	^{235}U -3	^{235}U -4
L/m	77.45526	77.47288	77.48815	77.50434

➤ 实验本底扣除

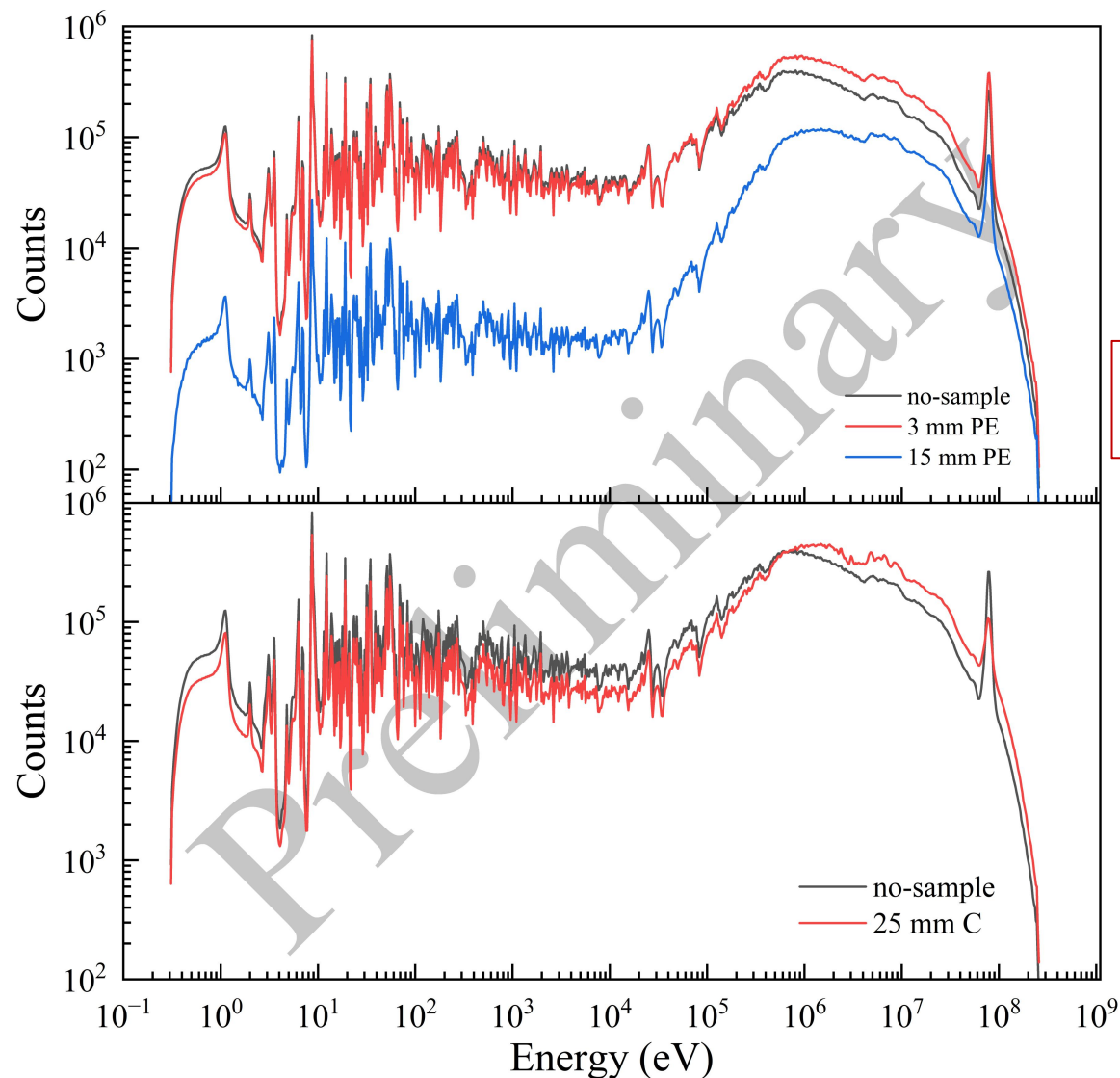
✓ 本底信号：电子学噪声、 α 本底、在束 γ 本底、在束散射中子等。

□ 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。

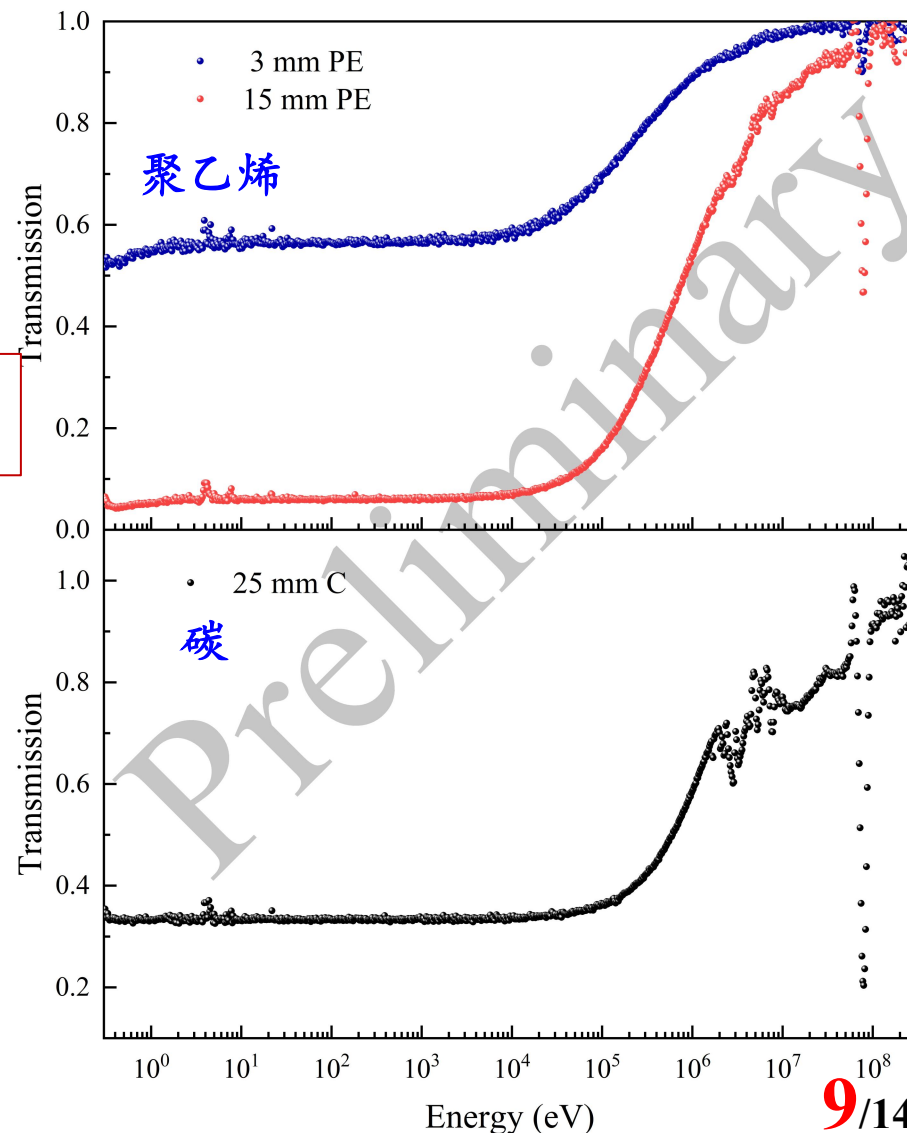


► 裂变计数随中子能量的关系

□ 分别获得空靶、3 mm聚乙烯、15 mm聚乙烯和25 mm碳的4通道总计数，对计数进行质子数归一后得到相应的透射率。



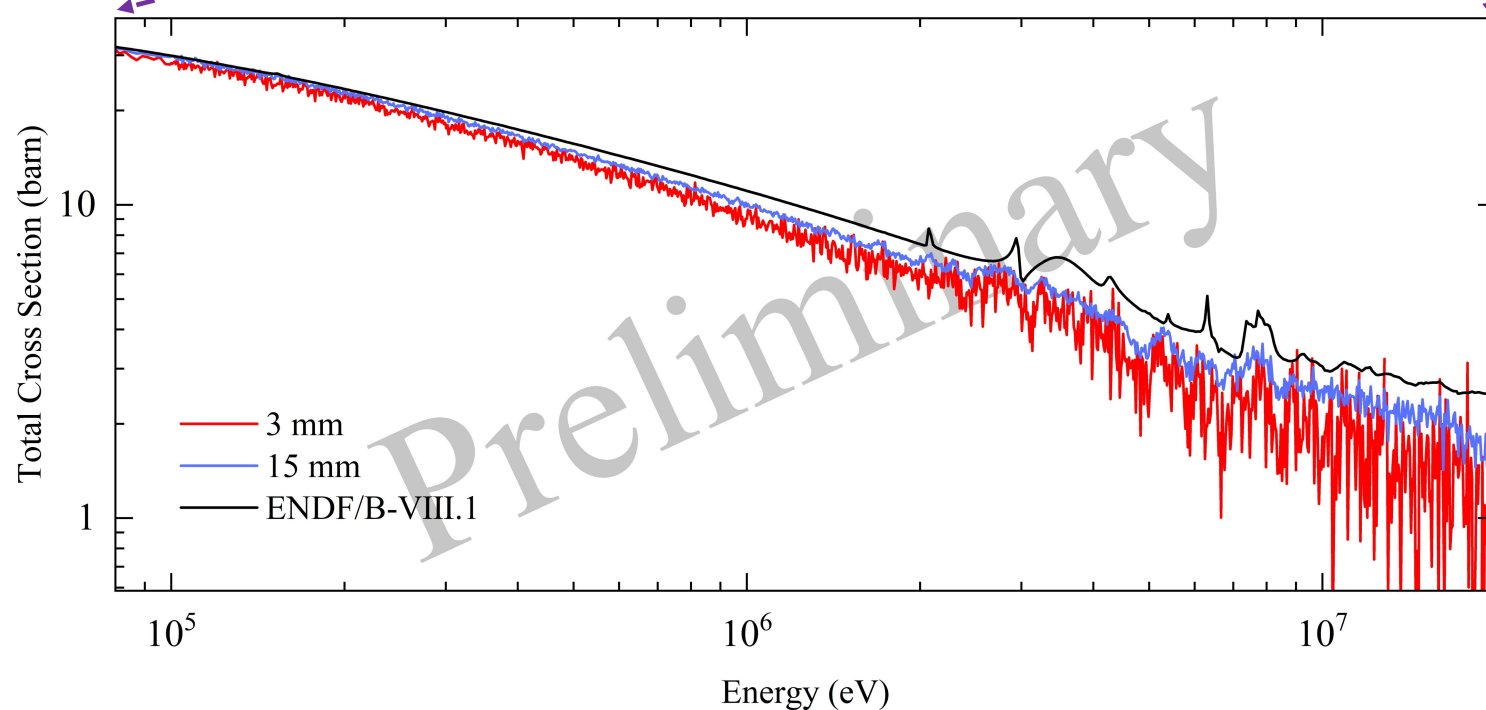
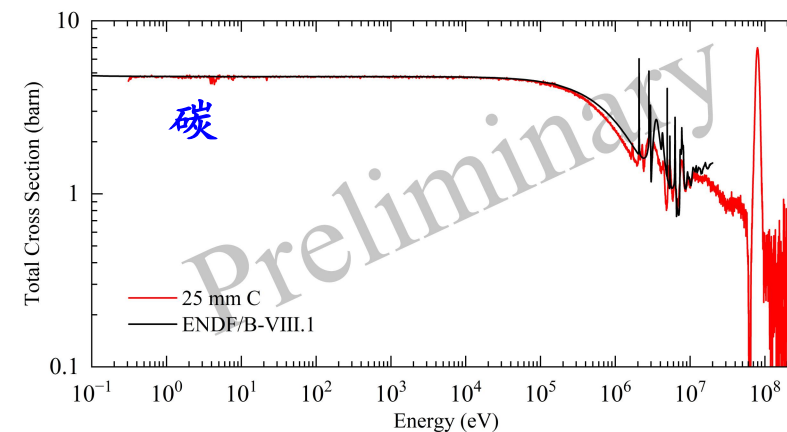
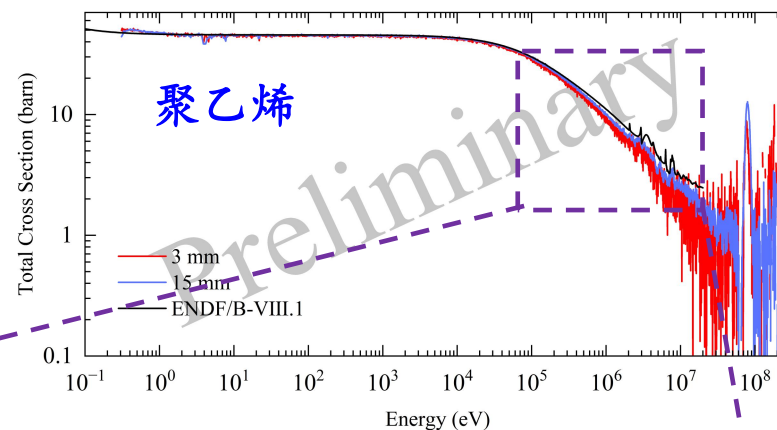
$$T(E_i) = \frac{(N_I(E_i) - B_I(E_i)) / P_I}{(N_O(E_i) - B_O(E_i)) / P_O}$$





➤ 透射率求出聚乙烯和碳的截面（解谱前）

$$\sigma_{tot} = -\frac{1}{nd} \ln T$$

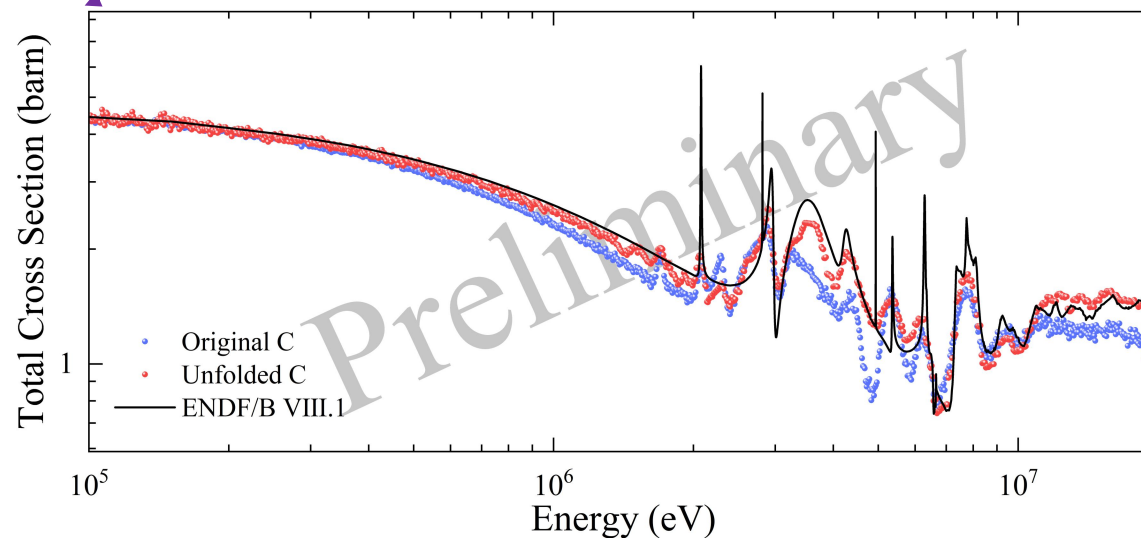
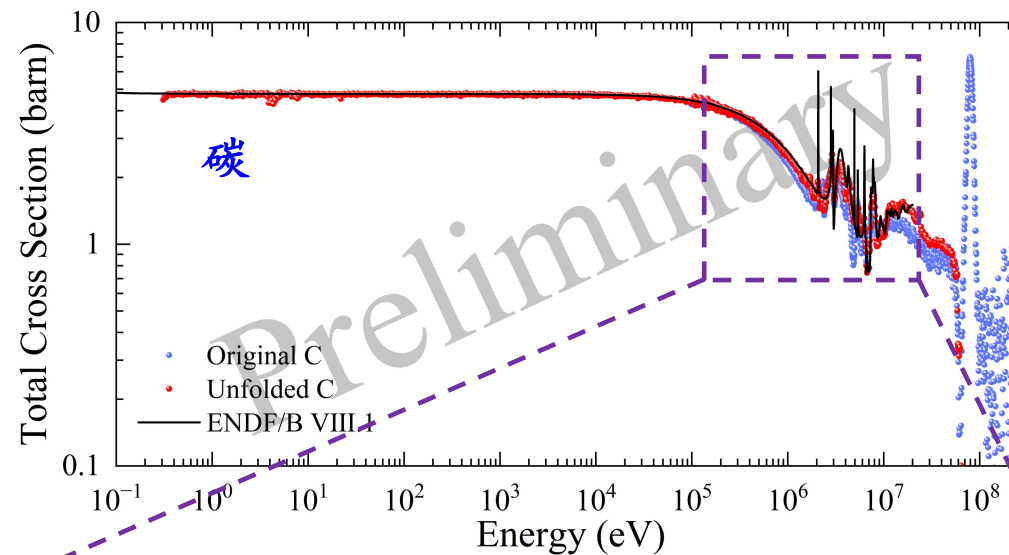
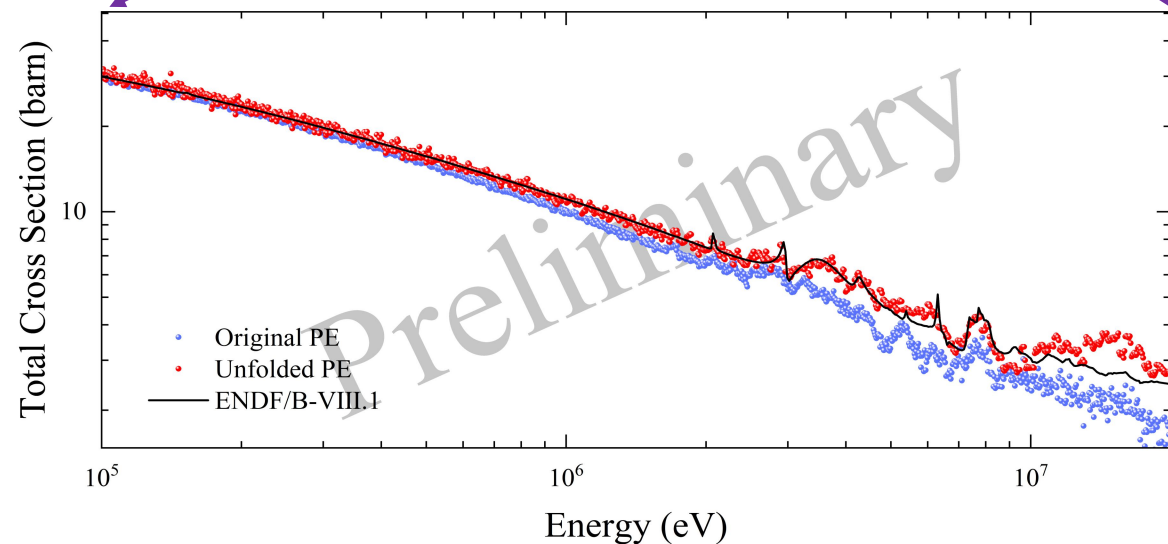
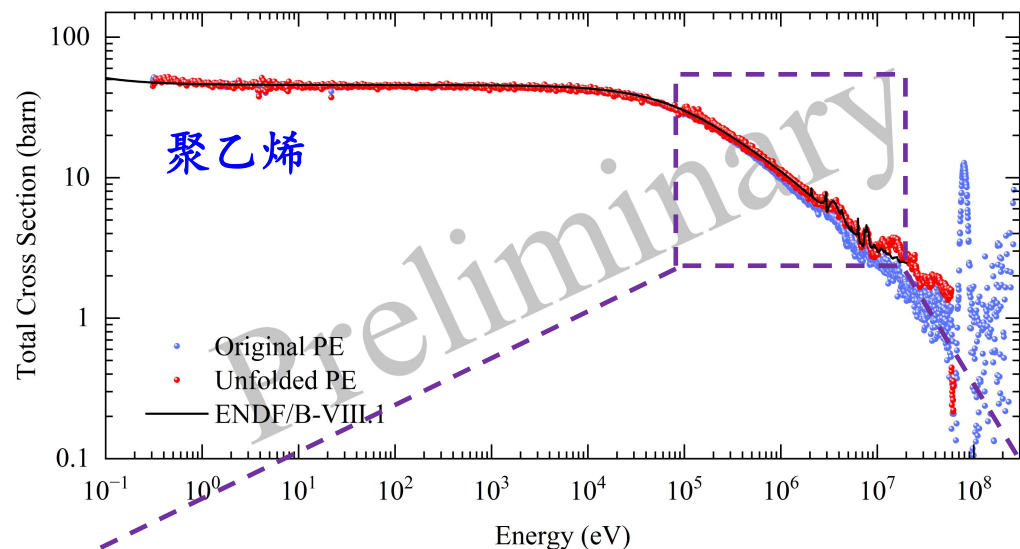


□ 3 mm聚乙烯靶在100 keV之后统计涨落越来越大，15mm聚乙烯小很多，从100 keV开始采用15 mm聚乙烯数据。



➤ 双束团解谱 (聚乙烯和碳中子全截面)

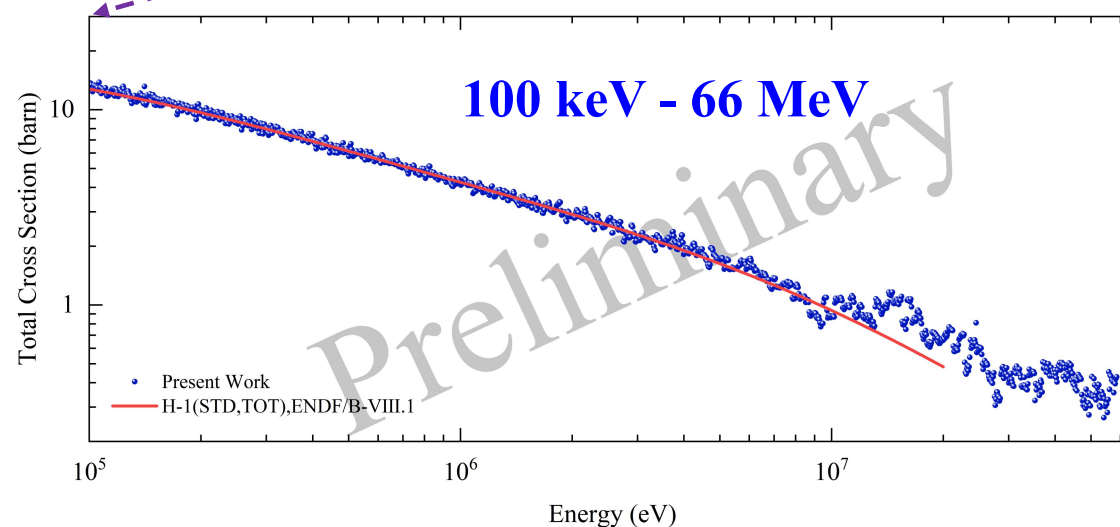
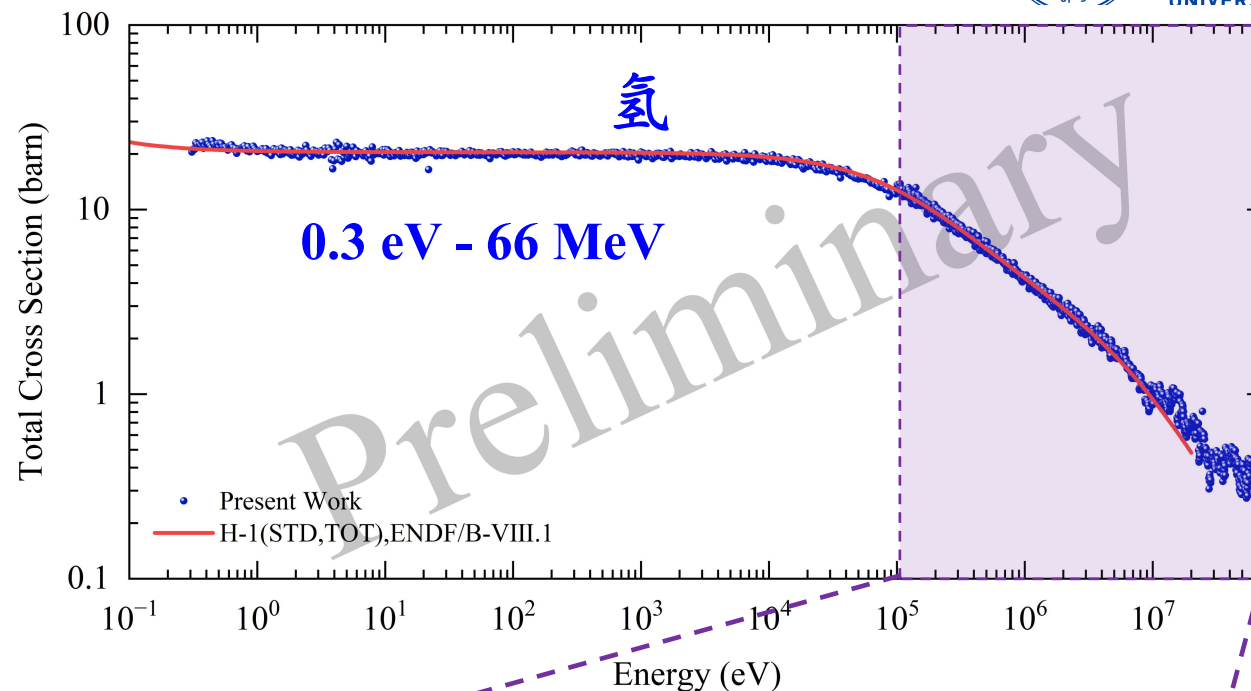
□ 高能区受双束团影响较大, 采用基于贝叶斯算法的解谱程序从100 keV起对结果进行双束团解谱。



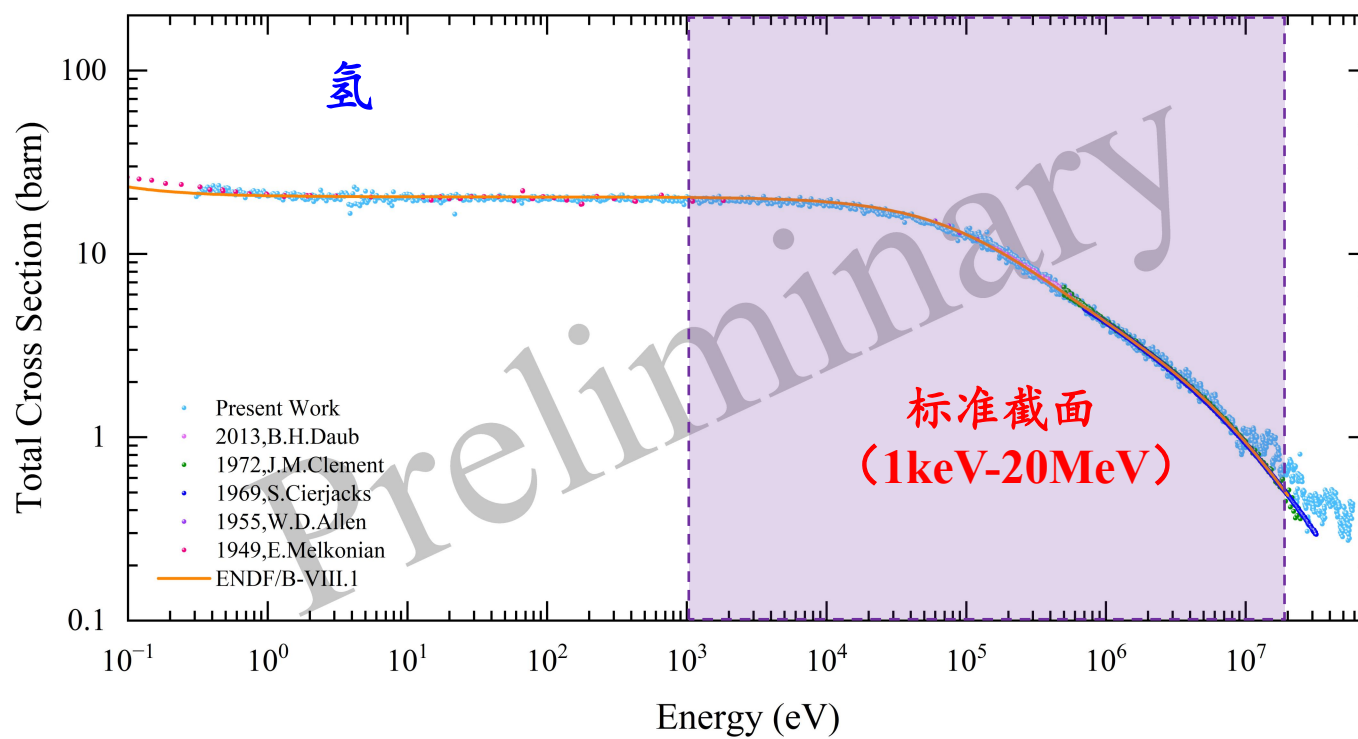
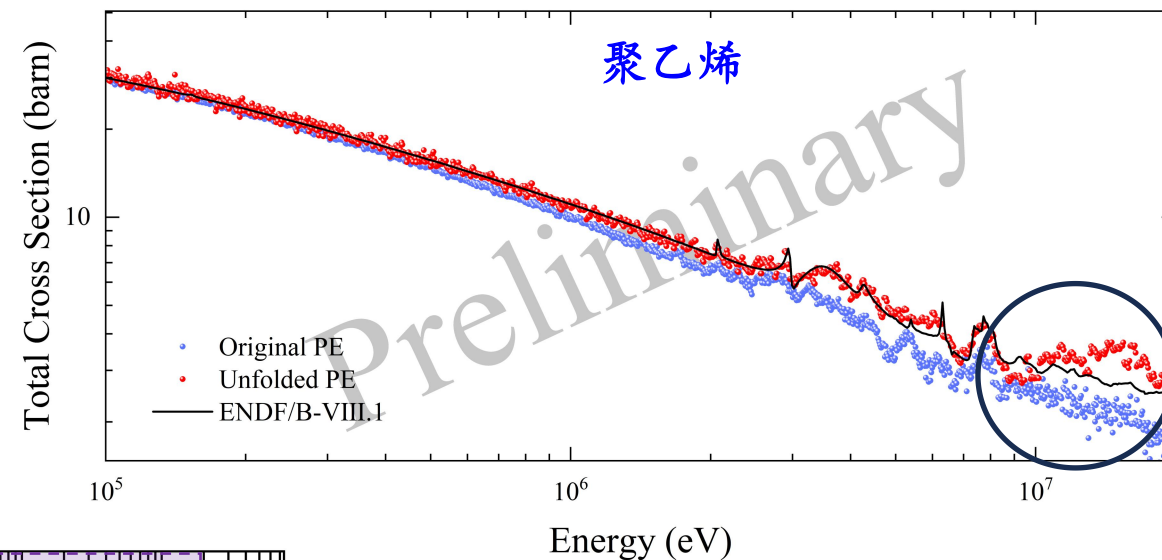
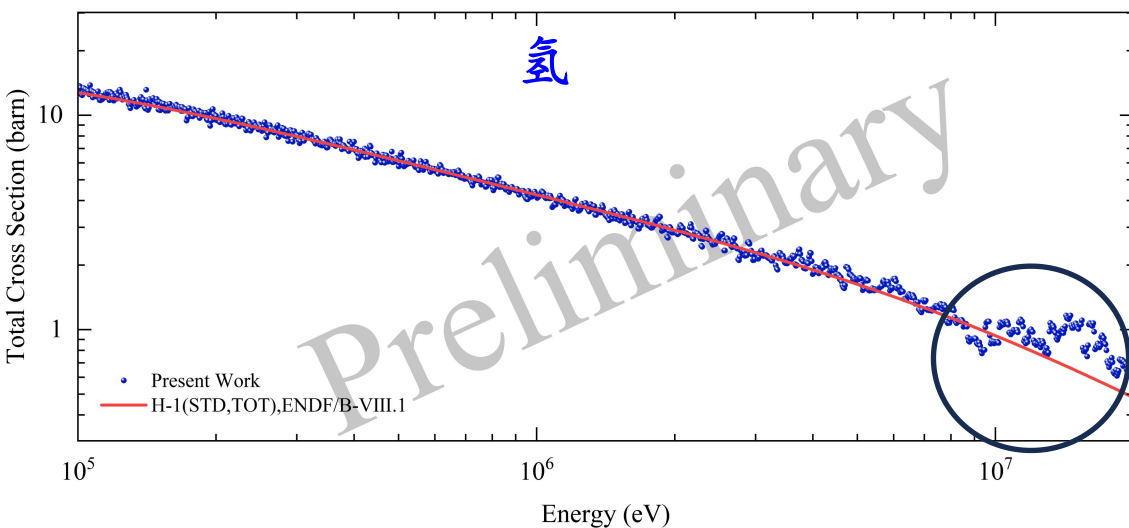
➤ 氢中子全截面（解谱后）

$$\sigma(\text{H}) = \frac{1}{2} [\sigma(\text{CH}_2) - \sigma(\text{C})]$$

- 解谱之后10MeV以下氢中子全截面数据与评价库基本一致，但是大于10MeV实验数据偏离了评价数据。



➤ 氢中子全截面（解谱后）



- ❑ 氢中子全截面受到聚乙烯解谱数据影响较大，后续可进一步优化；
- ❑ 10 MeV之前的能区测量数据与评价数据库和实验数据对比吻合度较好，后续可以进一步优化数据提高精确性。

- 首次获得了**宽能区**的氢中子全截面数据，实验数据与评价数据有良好的一致性；
- 补充了实验数据偏少的**100 eV-150 keV**能区氢中子全截面数据；
- 高能区**解谱**引入误差较大，致使截面数据与评价数据库存在一定差异；
- 希望未来能够申请**单束团**开展实验来避免双束团解谱引入的误差。



下一步设想

能区范围：10-150 MeV

单束团：

	3%-8%	1%-2%
样品靶	测量时长/h	测量时长/h
空靶（在束）	15	46
碳靶（60mm）	32	100
聚乙烯靶（90mm）	28	90
共计	75	236

 IAEA International Atomic Energy Agency				INDC(NDS)-0820 Distr. ST,G
INDC International Nuclear Data Committee				
NEUTRON DATA STANDARDS				
Summary Report of the IAEA Consultants' Meeting				
IAEA Headquarters, Vienna, Austria				
12 – 16 October 2020				
(virtual event)				
4. ACTION LIST				
No.	Action	Participant(s)	Due by	
1	Provide a prescription for users who need H(n,n) cross section data above 20 MeV (possibly the latest Amdt's evaluation).	Hale, Paris	June 2021	
2	Include Komilov's 14.9 MeV data for H(n,n) angular distributions in the analysis if not already there.	Paris	June 2021	
3	Contact CSNS about the possibility of extending H(n,n) measurements above 52 MeV. Can an absolute data be obtained?	Carlson, Capote	May 2021	
4	Suggest that the CSNS group redo ⁶ Li(n,t) and ¹⁰ B(n,α)	Carlson, Capote	June 2021	

Contact CSNS about the possibility of extending H(n,n) measurements above 52 MeV. Can an absolute data be obtained?



南華大學
UNIVERSITY OF SOUTH CHINA

敬請批評指正！

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION!