

# 基于 $^{197}\text{Au}$ 中子俘获实验开展的对Back-n装置的能量分辨率函数的研究

报告人：杨高乐<sup>1,2</sup>

导师：蒋 伟<sup>2</sup>

1. 中山大学物理与天文学院
2. 散裂中子源科学中心

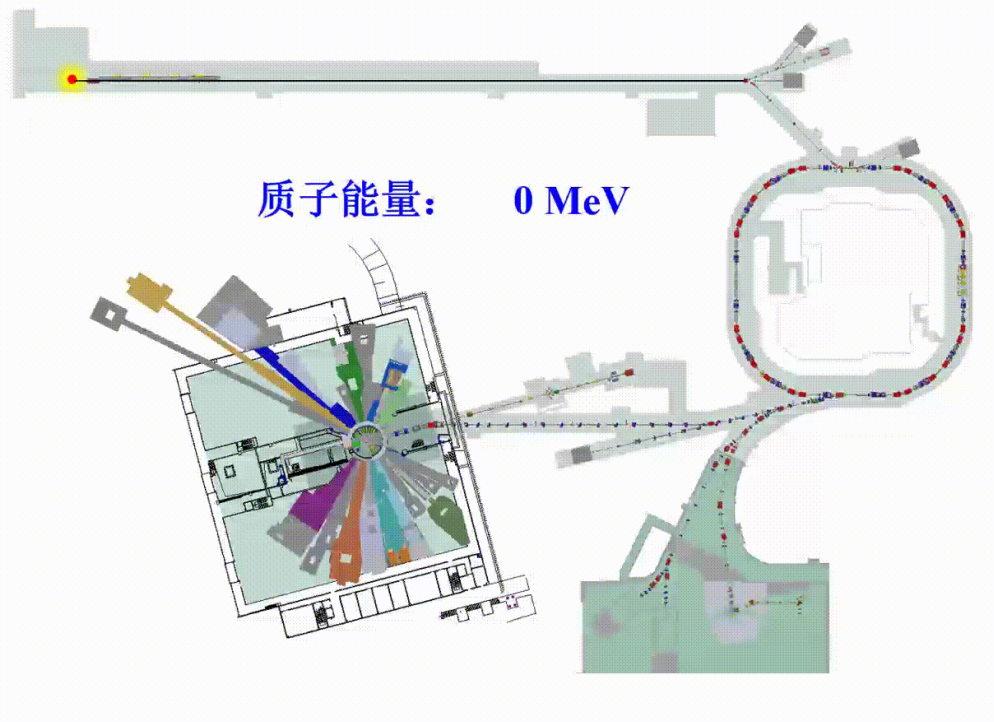
2024.11.16



中山大學  
SUN YAT-SEN UNIVERSITY

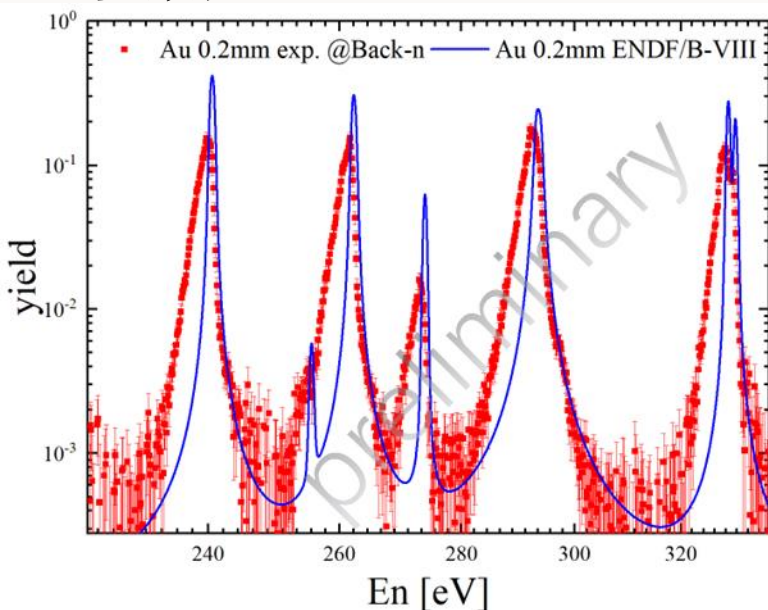
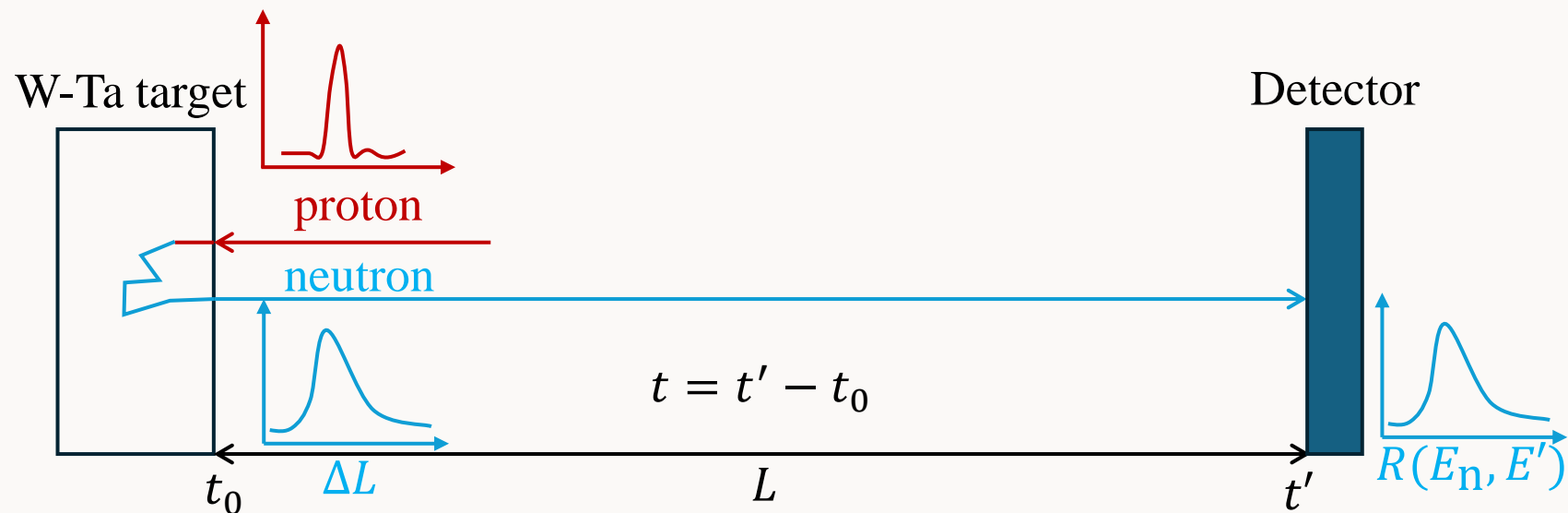
# 研究背景

- 基于中国散裂中子源搭建的反角白光源(Back-n)是我国的首台高性能白光中子源，具有中子能量范围宽、通量高、能量分辨好等特点，主要开展中子核数据精确测量、核物理及核天体物理等领域的研究。
- 每个中子产生装置都具有两个比较重要的两个内禀性质：**中子注量率和中子能量分辨率函数(ERF)**，研究清楚这两个量是利用该装置开展实验研究的前提和基础；



# 中子能量分辨率函数(ERF)

- 我们利用中子束线测量得到的实验数据通常是真实物理值与中子能量分辨率函数(ERF)耦合后的结果。
- ERF是R-matrix分析的重要输入参数；



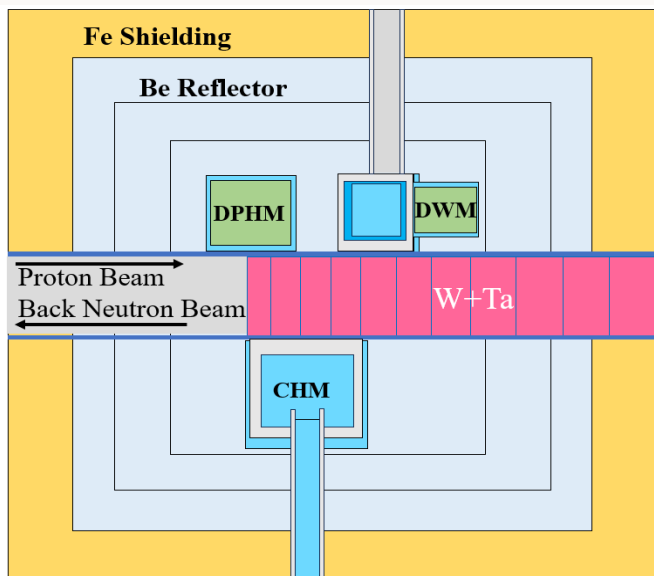
$$E_n = \frac{1}{2} m_n V^2 = \frac{(72.2977 \times L)^2}{t^2}$$

$$E' = \frac{[(72.2977 \times (L + \Delta L))]^2}{t^2}$$

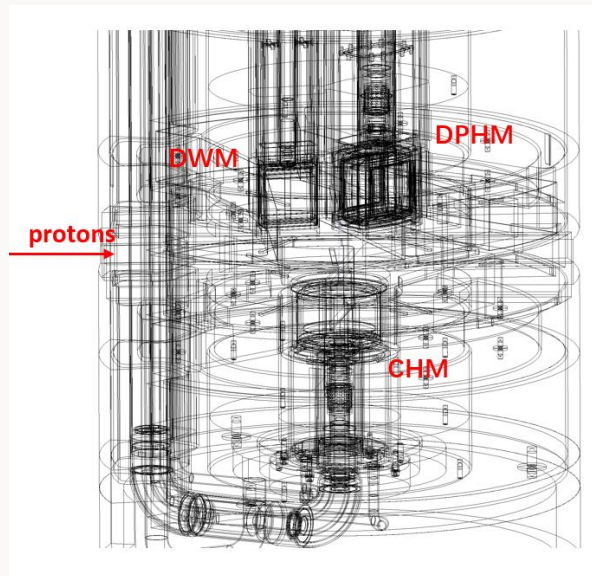
$$\sigma_{\text{exp}}(E_n) = \int R(E_n, E') \sigma_{\text{true}}(E') dE'$$

# Back-n的中子能量分辨率函数(ERF)

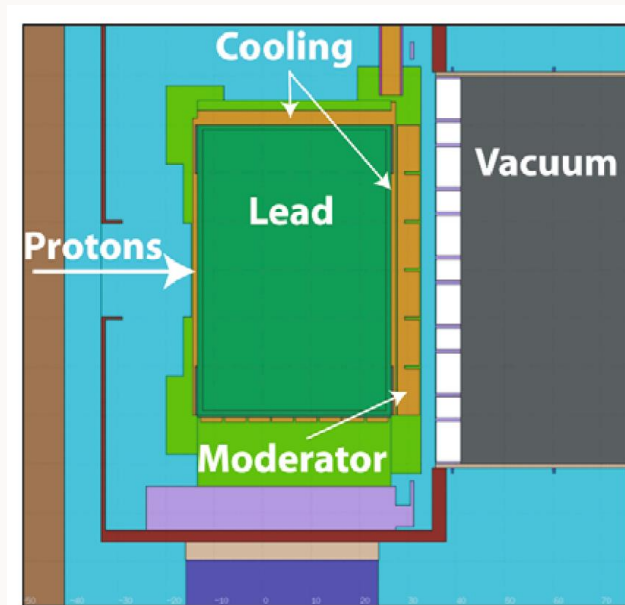
- 一般来说ERF难以通过实验直接测量得到，需要通过Monte Carlo方法对 neutron 产生装置进行模拟获得；
- CSNS的大部分束线主要需求热中子及以下能区的中子，需要大量中子慢化体和反射层，所以CSNS相对其他中子源的散裂靶结构复杂，精确建模模拟的难度较大；



B., Jiang 利用 Geant4 模拟CSNS TMR  
的模型示意图



CSNS TMR结构图



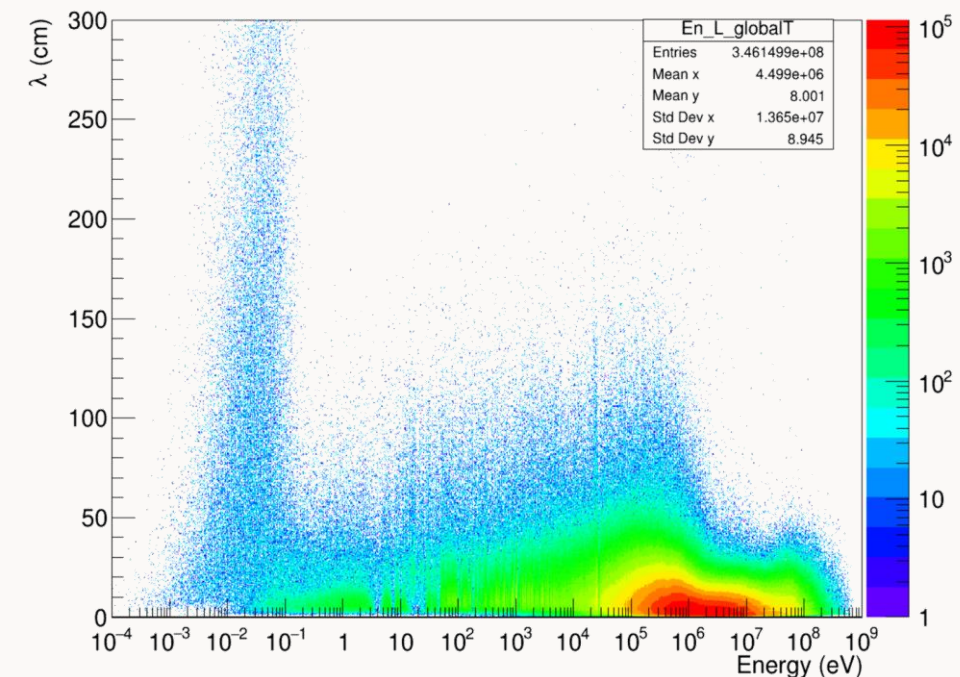
n<sub>t</sub>of 散裂靶的Geant4 模拟  
模型示意图

[1]. B., Jiang *et al.* NIMA, 1013,165677 (2021).

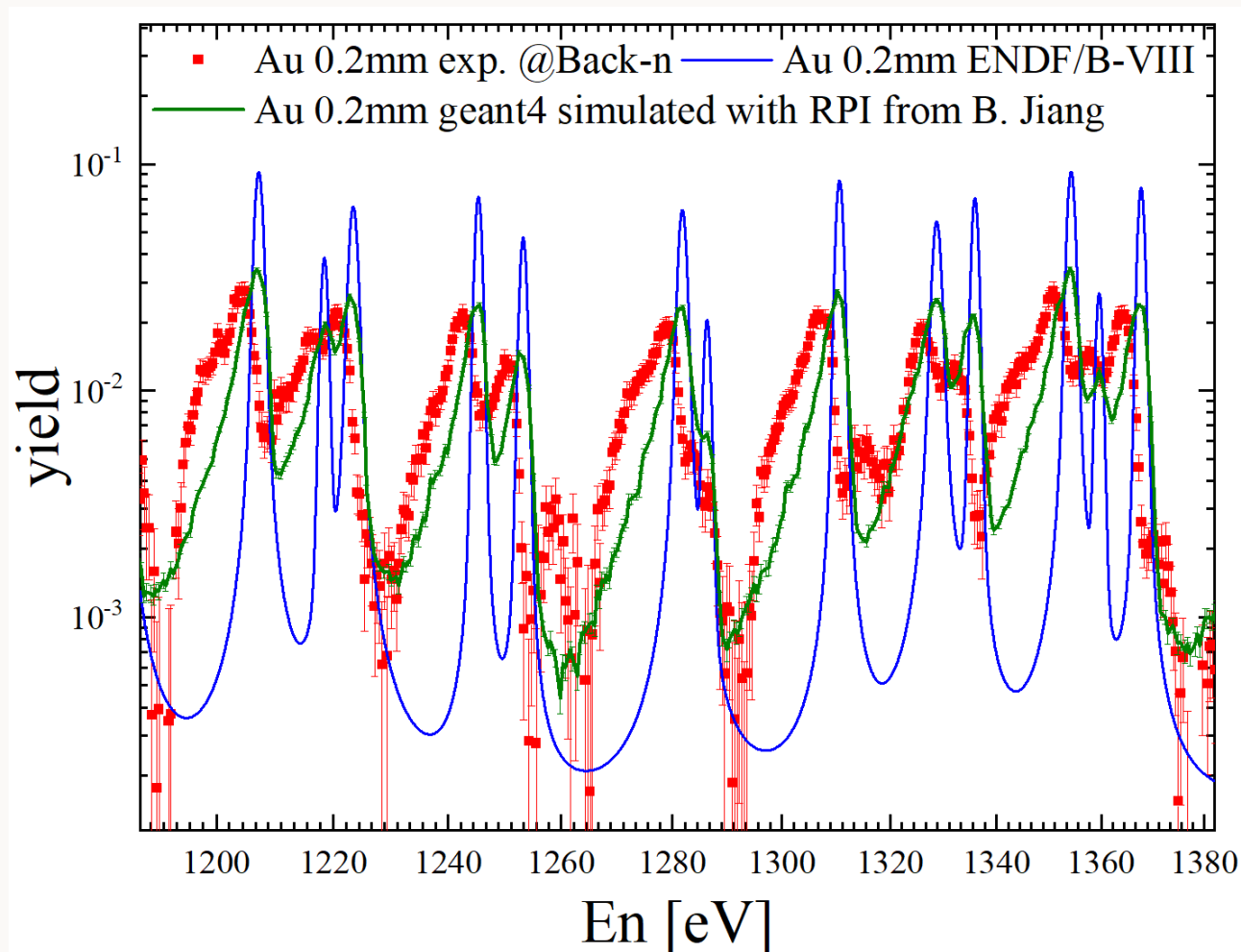


# Back-n的中子能量分辨率函数(ERF)

- B., Jiang *et al.*(2021)和唐生达开展的利用Geant4对CSNS散裂靶模拟结果提取RPI形式的ERF，但与实验结果对比存在差异；



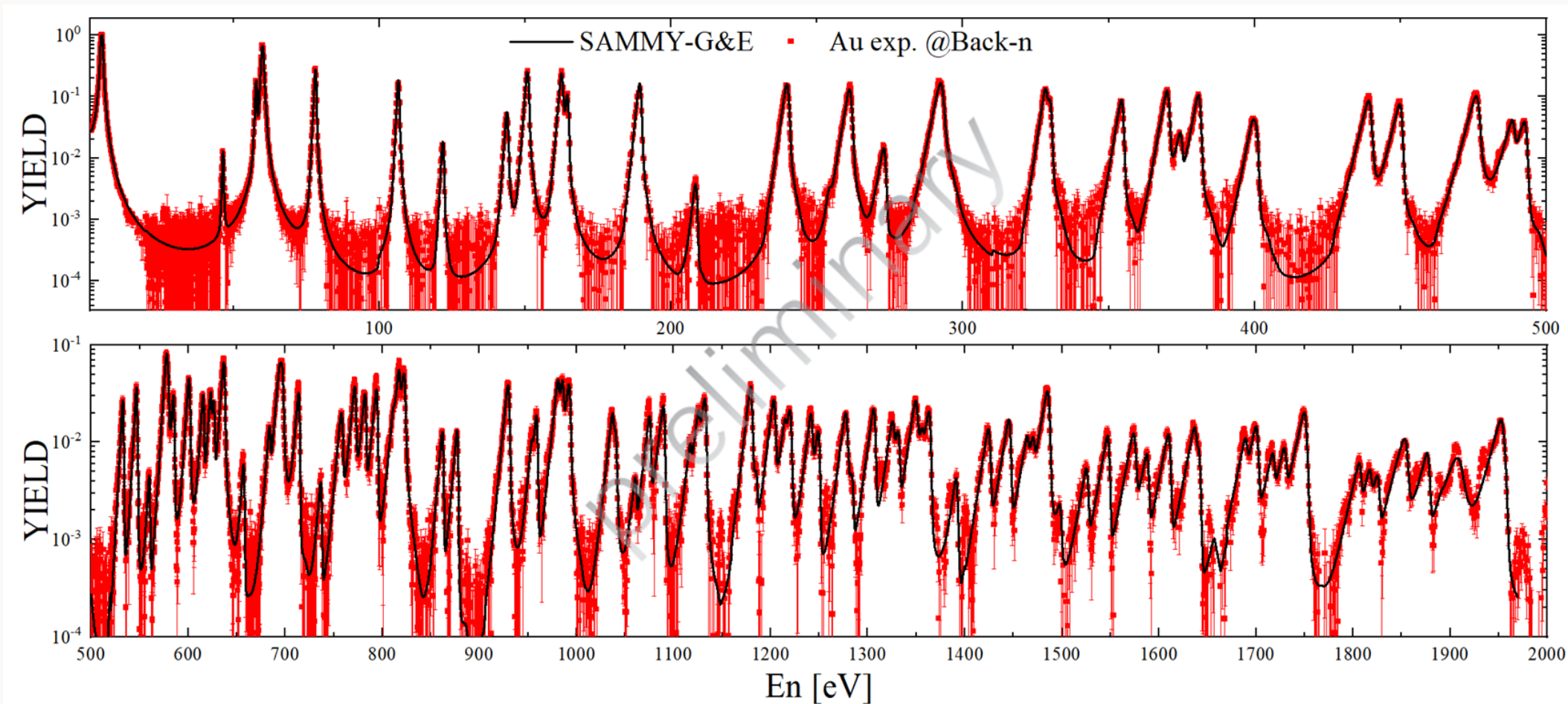
慢化长度随中子能量变化 (74 m处筛选)



}X(t)}

# 基于 $^{197}\text{Au}$ 中子俘获实验开展的ERF研究

- 在对 $^{197}\text{Au}$ 实验数据分析时，偶然发现在R-matrix拟合时，采用Gauss+ Exponential形式的ERF可以获得很好的拟合结果；



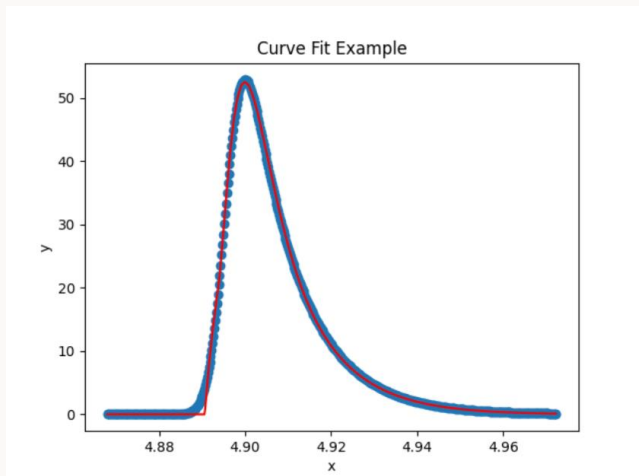
# 基于 $^{197}\text{Au}$ 中子俘获实验开展的ERF研究

- Gauss+ Exponential 形式的ERF，是D. C. Larson *et al.*(1984) 提出用于描述ORELA装置的ERF，仅3个自由参数，但不同能区需要不同的参数。

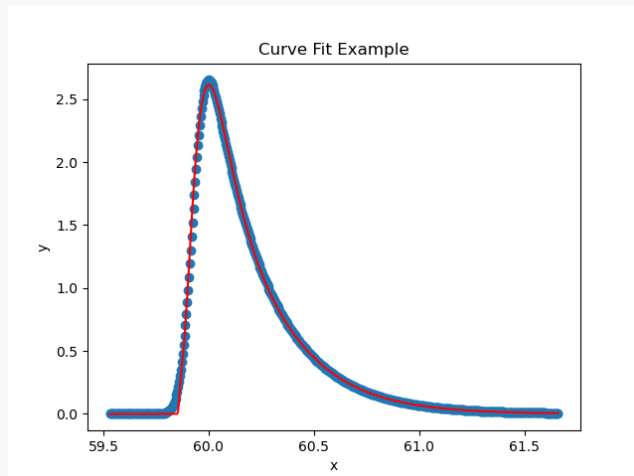
$$f_{GE}(E) = \frac{1}{2\Delta_E} \exp\left\{\frac{\Delta_G^2}{4\Delta_E^2}\right\} \int_{-\infty}^{+\infty} dE' f(E') \exp\left\{-\frac{(E'-E+\Delta E_s)}{\Delta_E}\right\} \\ \times \operatorname{erfc}\left(\frac{\Delta_G}{2\Delta_E} - \frac{(E'-E+\Delta E_s)}{\Delta_G}\right).$$
$$\sigma_{\text{exp}}(E_n) = \int R(E_n, E') \sigma_{\text{true}}(E') dE'$$

Energy range(eV)	$\Delta_L$	$\Delta_G$	$\Delta_E$
1-20	$0.060 \pm 0.012$	$0.812 \pm 0.162$	$1.65 \pm 0.328$
20-100	$0.084 \pm 0.008$	$0.401 \pm 0.04$	$1.59 \pm 0.03$
100-310	$0.126 \pm 0.007$	$0.206 \pm 0.021$	$0.926 \pm 0.008$
310-520	$0.056 \pm 0.005$	$0.112 \pm 0.010$	$0.616 \pm 0.005$
520-850	$0.075 \pm 0.004$	$0.034 \pm 0.003$	$0.502 \pm 0.004$
850-1160	$0.045 \pm 0.004$	$0.059 \pm 0.006$	$0.395 \pm 0.004$
1160-1400	$0.051 \pm 0.005$	$0.078 \pm 0.007$	$0.331 \pm 0.004$
1400-1670	$0.049 \pm 0.004$	$0.068 \pm 0.006$	$0.34 \pm 0.007$
1670-1970	$0.046 \pm 0.008$	$0.066 \pm 0.009$	$0.336 \pm 0.007$

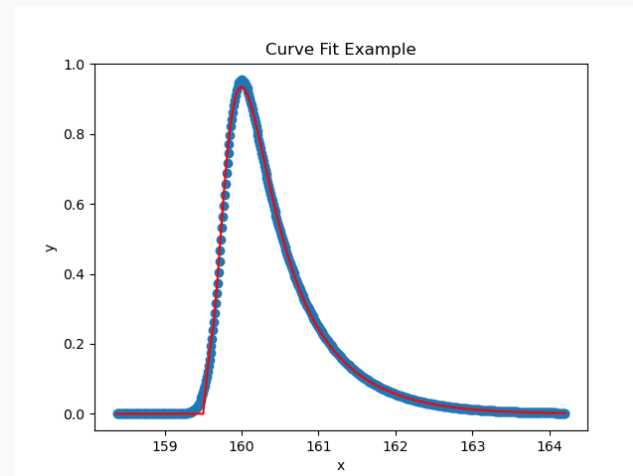
● ERF with G&E      — ERF with RPI



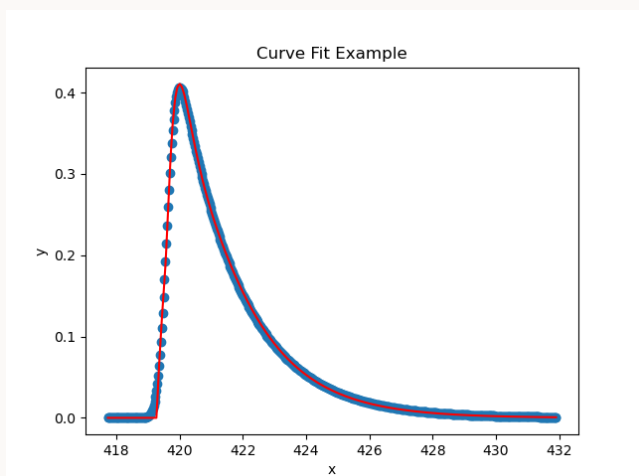
1~20eV



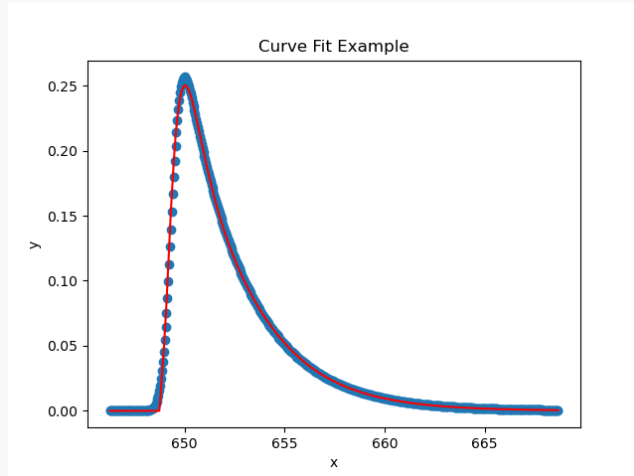
20~100eV



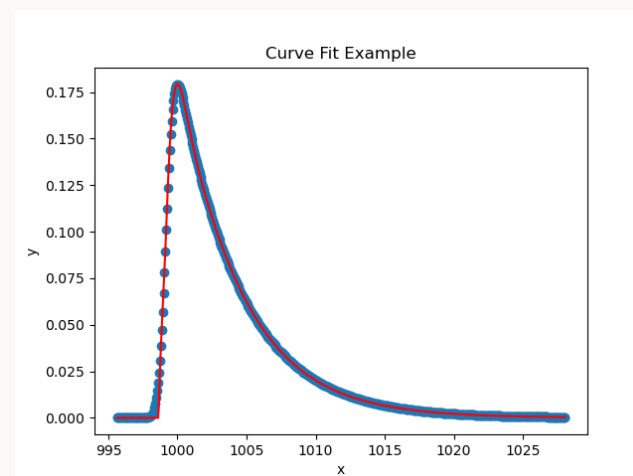
100~310eV



310~520eV



520~850eV

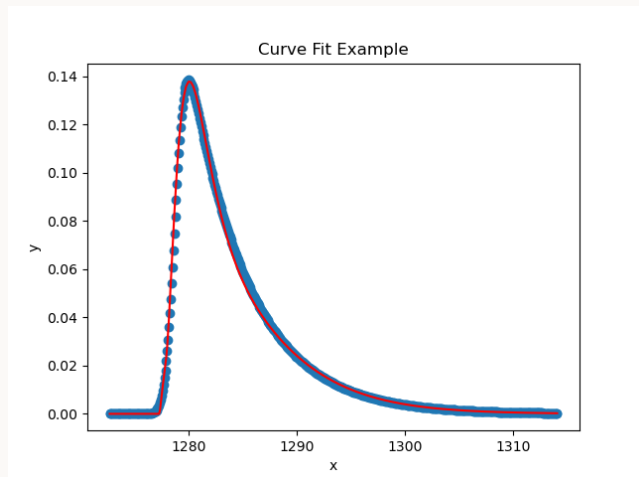


850~1160eV

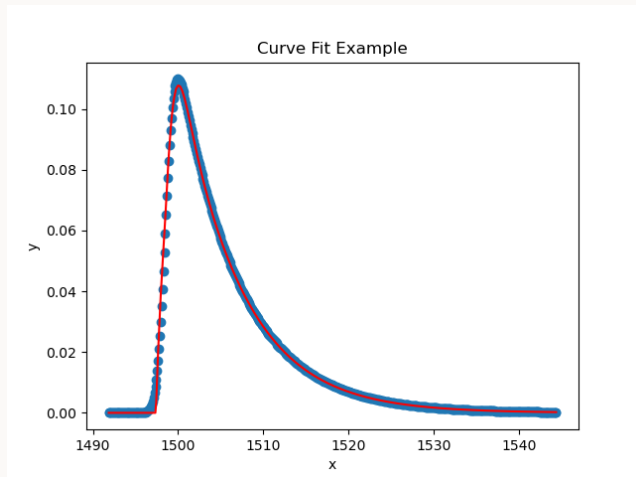


● ERF with G&E

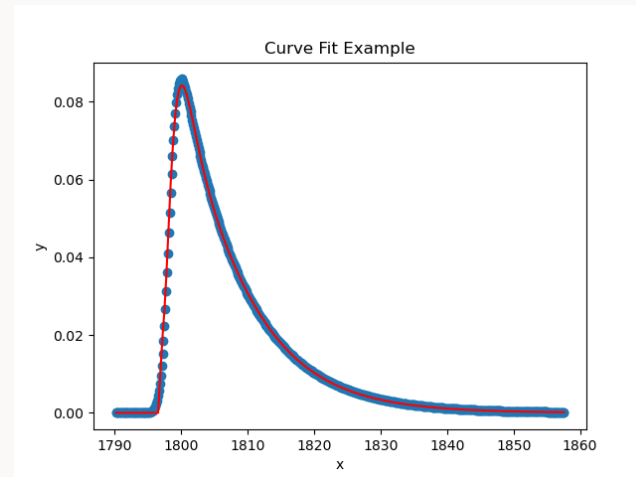
— ERF with RPI



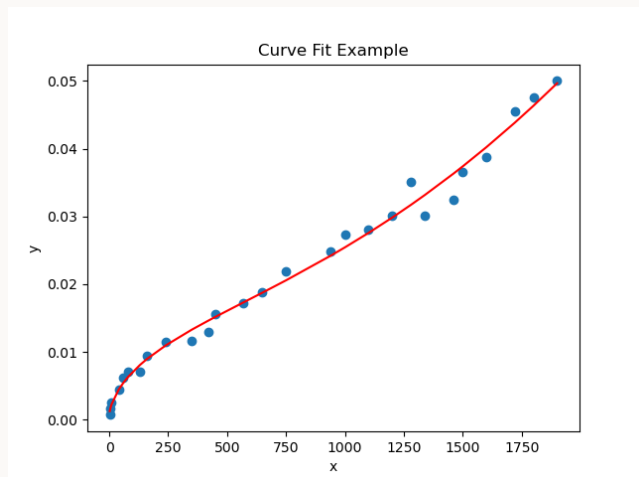
1160~1400eV



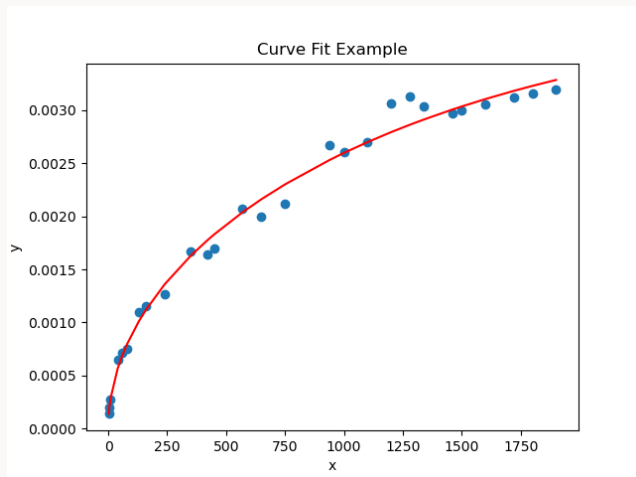
1400~1670eV



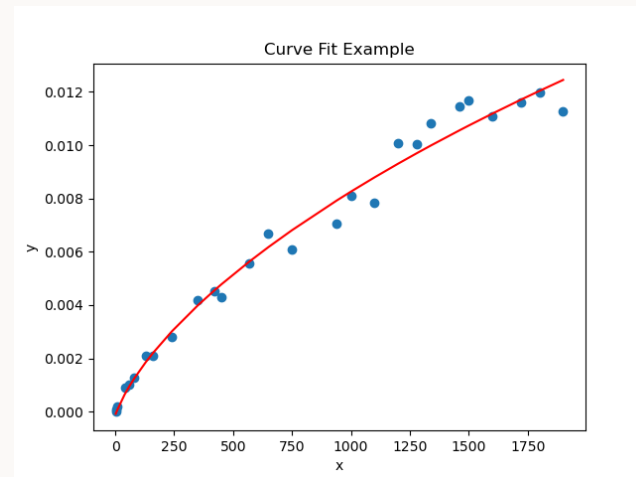
1670~2000eV



$A_1$

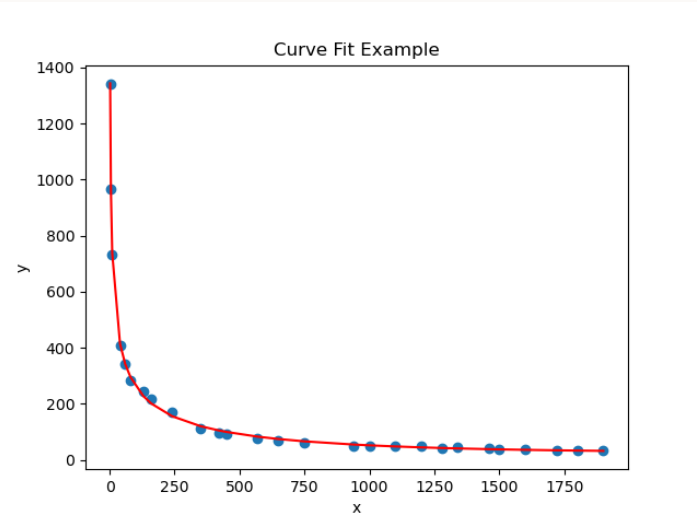


$A_3$

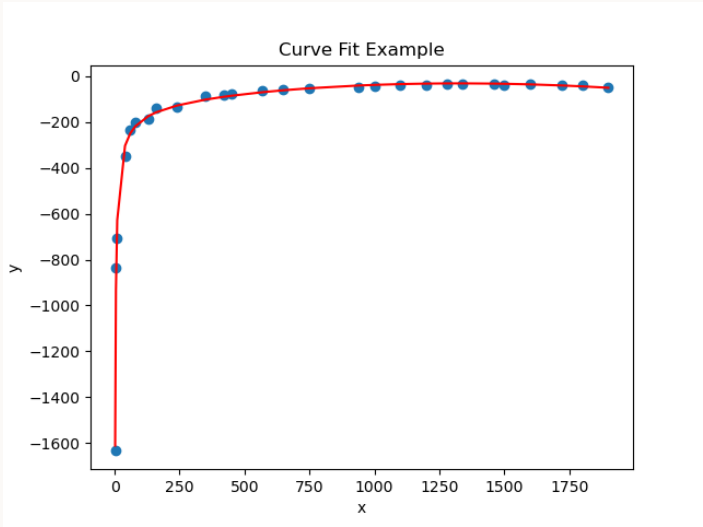


$A_5$

基于<sup>197</sup>Au中子俘获实验开展的ERF研究



$\Lambda$



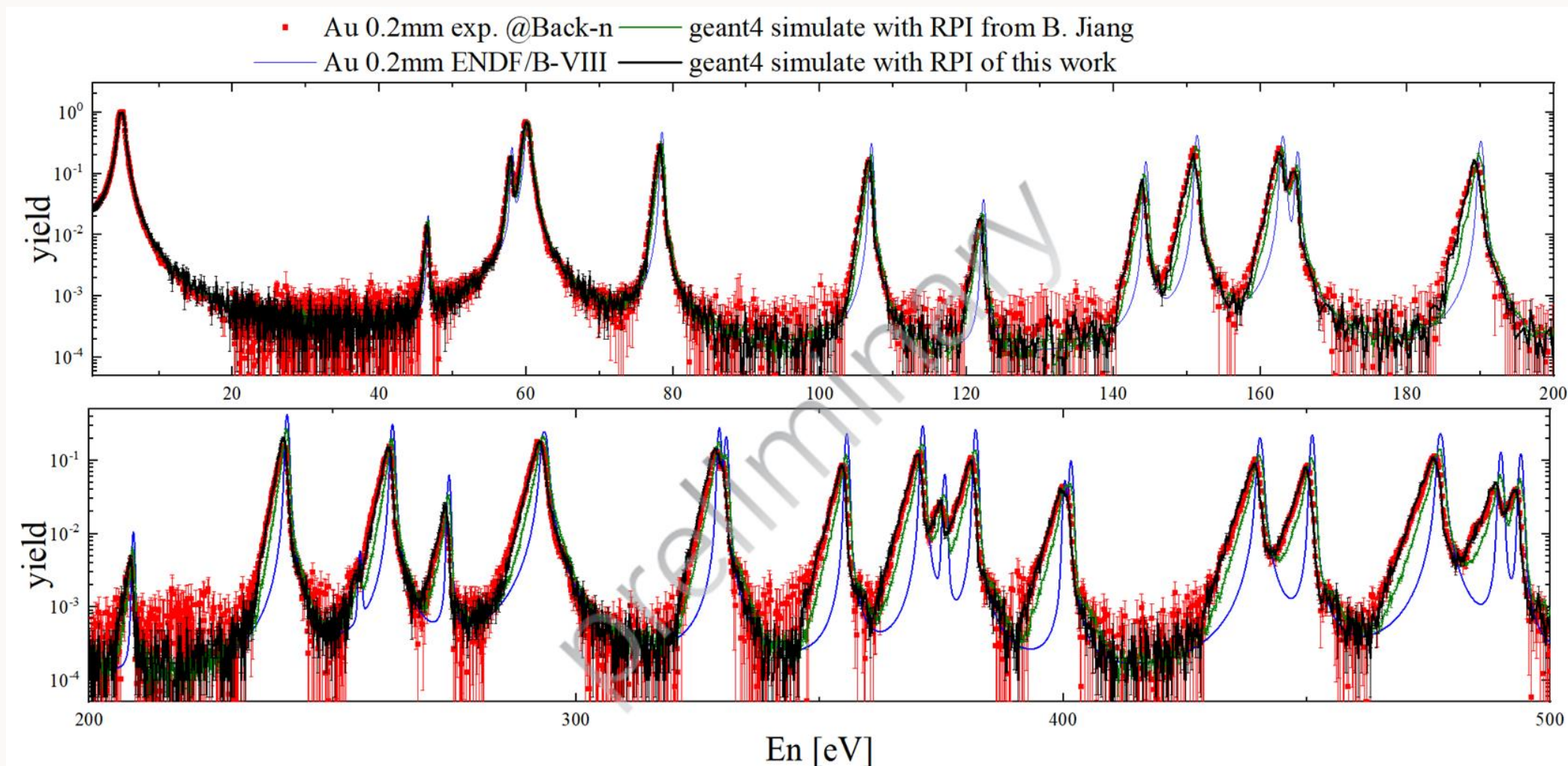
$\tau$

$a_{11}$	-425.767	$a_{31}$	0.000668	$a_{51}$	0.000585	$\Lambda_0$	1220.738	$\tau_1$	305687.1
$a_{12}$	2.03E-06	$a_{32}$	7.57E-06	$a_{52}$	1.77E-09	$\Lambda_1$	-291.666	$\tau_2$	-6.60E-06
$a_{13}$	153.5103	$a_{33}$	0.000671	$a_{53}$	0.003654	$\Lambda_2$	17.76457	$\tau_3$	-57888.5
$a_{14}$	5.54E-06	$a_{34}$	7.69E-06	$a_{54}$	-1.46E-06	$\Lambda_3$	1659.614	$\tau_4$	-3.38E-05
$a_{15}$	271.8245	$a_{35}$	-0.00125	$a_{55}$	-0.00231	$\Lambda_4$	-1.88755	$\tau_5$	-247817
$a_{16}$	0.432395	$a_{36}$	3.76E-05	$a_{56}$	-0.00195			$\tau_6$	-2119.82
$a_{17}$	0.002668	$a_{37}$	-1.1094	$a_{57}$	-0.02199			$\tau_7$	-0.53059

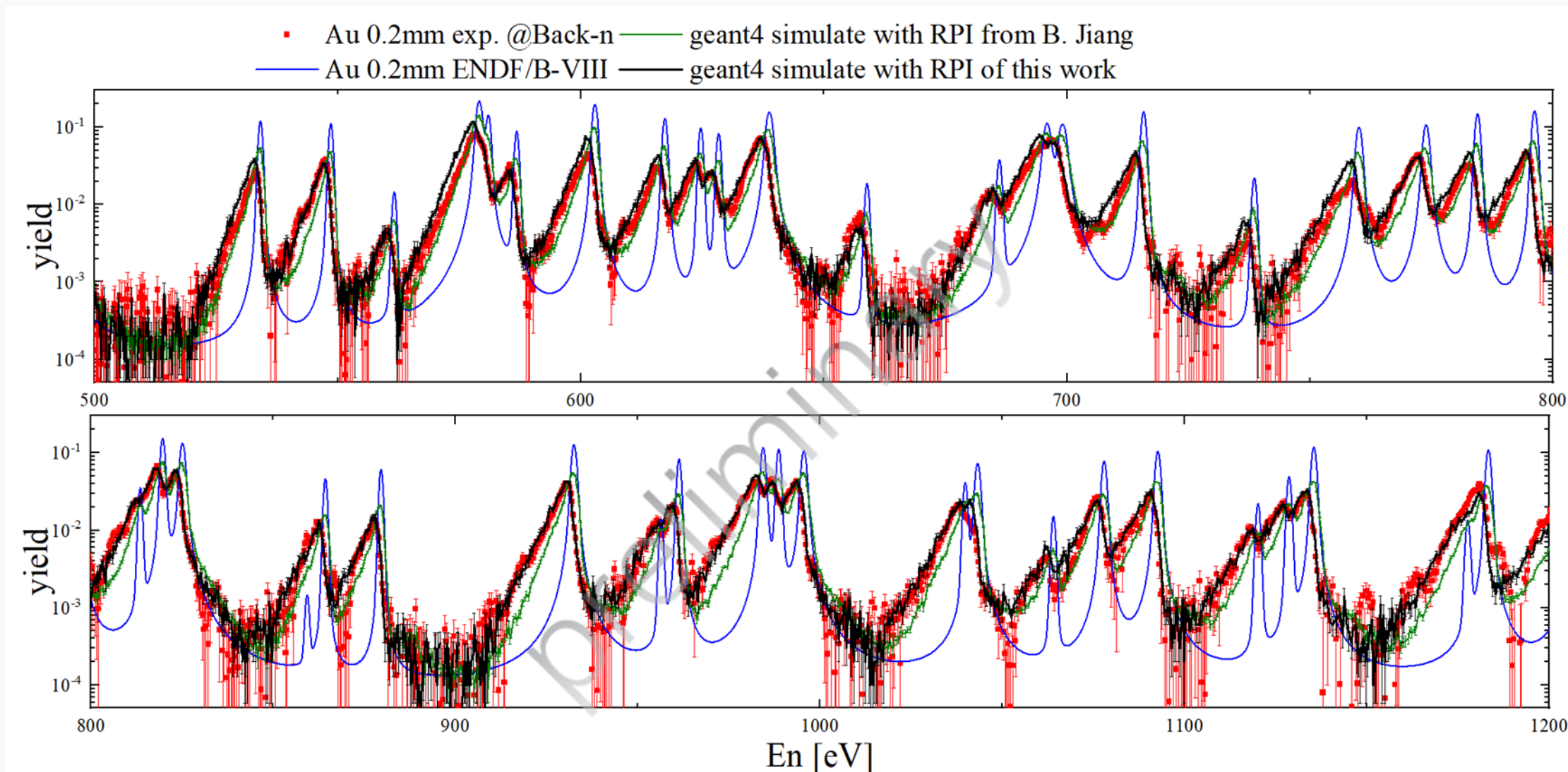
$A_2 = 1$   
 $A_4 = -1$   
 $t_0 = 0$

# 基于 $^{197}\text{Au}$ 中子俘获实验开展的ERF研究

- $^{197}\text{Au}$ 经过我们提取的RPI函数的展宽后的理论值与我们在Back-n装置测量得到的实验值符合很好

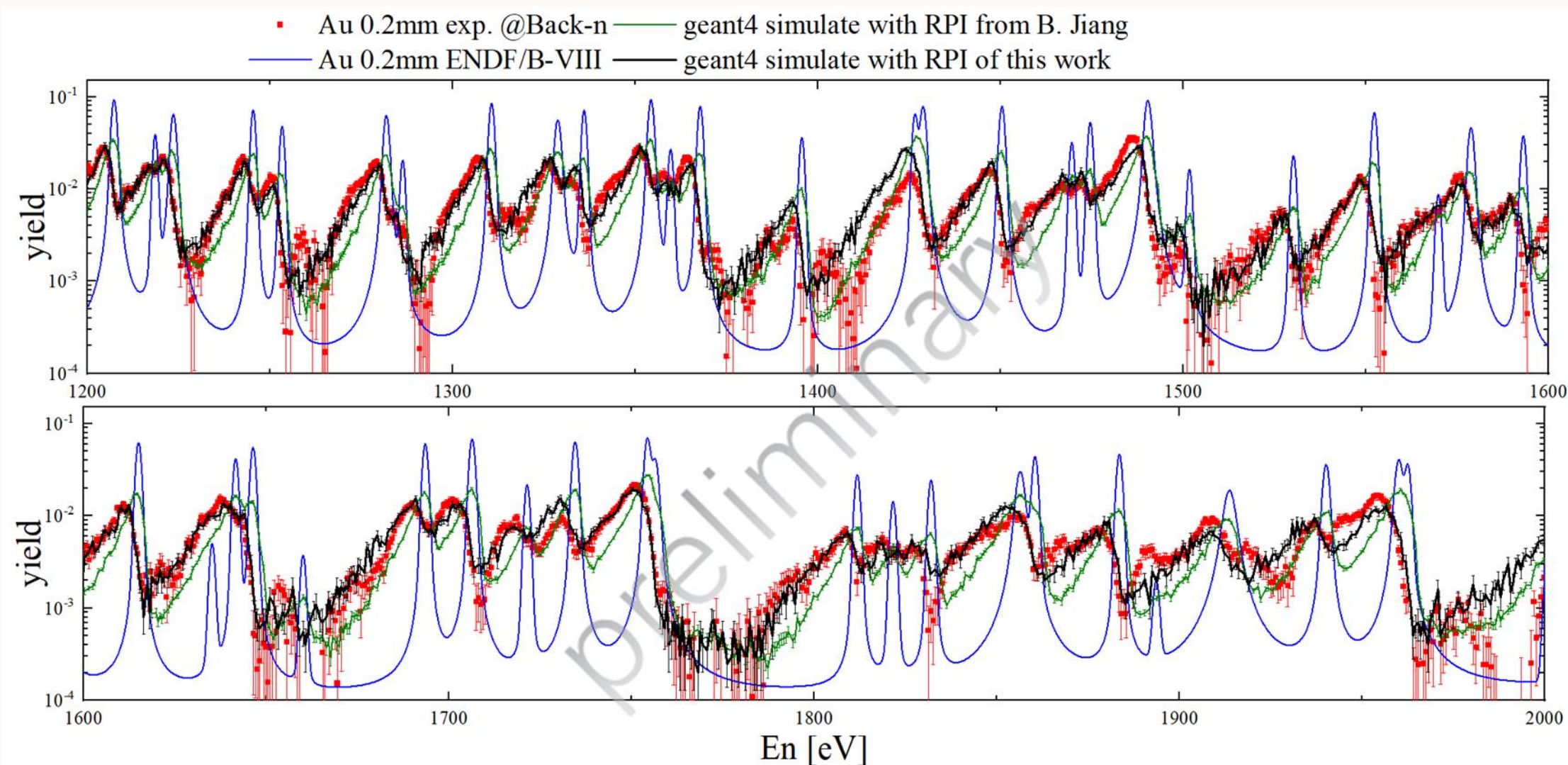


# 基于 $^{197}\text{Au}$ 中子俘获实验开展的ERF研究





# 基于 $^{197}\text{Au}$ 中子俘获实验开展的ERF研究





- 我们提出了一种新的方法，从标准靶 $^{197}\text{Au}$ 的中子俘获实验数据出发，间接从实验数据获得了Back-n装置的ERF；
- 通过与 $^{197}\text{Au}$ 标准靶实验数据的对比，验证了我们获得的RPI形式的ERF的准确性；
- 同时通过这个对比，也证明了我们基于Back-n开展中子核数据测量的可靠性；
- 在ERF提取过程中的误差传递还有待进一步考虑和完善；