

基于Back-n的 ^{169}Tm 中子全截面测量进展

任杰、王金成、杨皓岚、阮锡超

中国原子能科学研究院，核数据重点实验室

Back-n合作组

目录

研究意义

实验测量

数据分析

总结

目录

研究意义

实验测量

数据分析

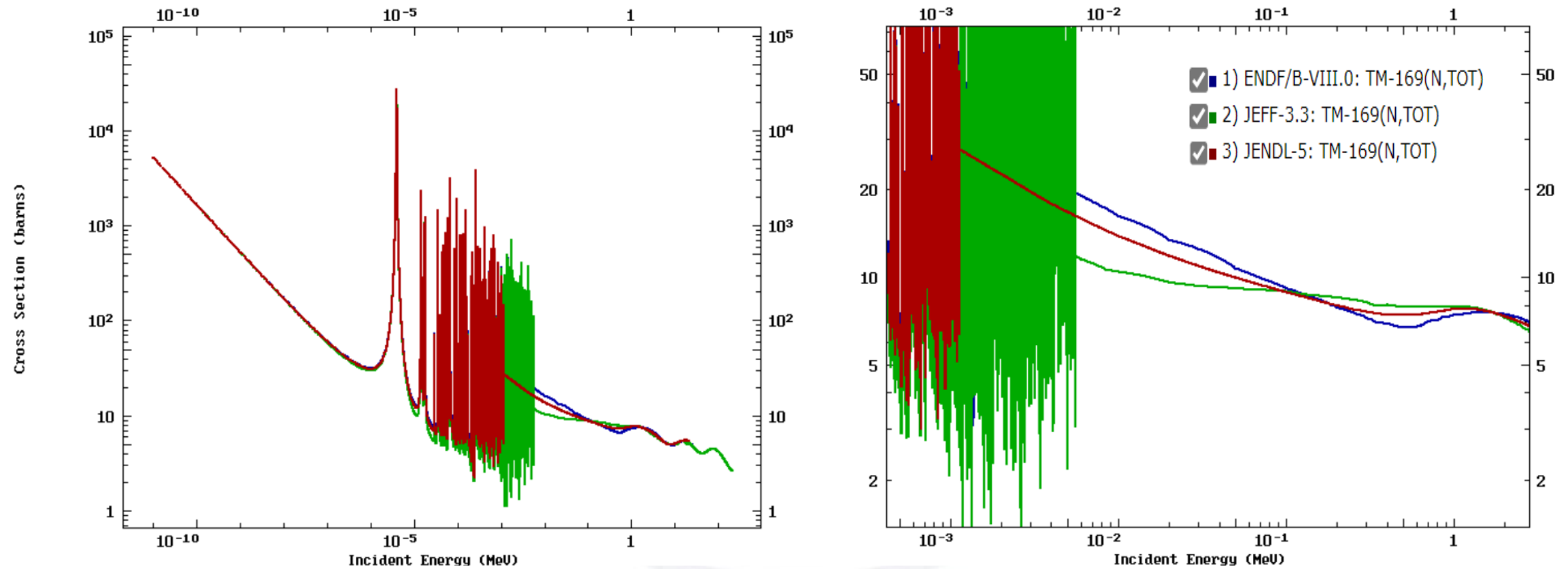
总结

^{169}Tm 是一种稀土元素，是重要的反应堆毒物，同时也是测量中子通量常用的核素。因此， ^{169}Tm 的中子核反应数据在核工程设计等应用中具有重要的价值。中子全截面是最为重要的中子核反应数据之一，对于核反应理论研究、核结构研究、核数据评价、共振参数分析等研究都有重要的意义。

- 可分辨共振区 (RRR) 的共振参数分析;
- 不可分辨共振区 (URR) 平均截面计算。

^{170}Yb	^{171}Yb	^{172}Yb	^{173}Yb	^{174}Yb	^{169}Tm	^{170}Tm	^{171}Tm	^{172}Tm	^{173}Tm
^{169}Ta z: 73	^{170}Ta	^{171}Ta	^{172}Ta	^{173}Ta	Thulium	n 100	z 69		
^{168}Hf	^{169}Hf z: 72	^{170}Hf	^{171}Hf	^{172}Hf	J^π	1/2+			
^{167}Lu	^{168}Lu	^{169}Lu z: 71	^{170}Lu	^{171}Lu	$T_{1/2}$ or Γ	stable			
^{166}Yb	^{167}Yb	^{168}Yb	^{169}Yb z: 70	^{170}Yb	Abundance	100 %			
^{165}Tm	^{166}Tm	^{167}Tm	^{168}Tm	^{169}Tm z: 69	Delta (keV)	-61274.654 7			
^{164}Er	^{165}Er	^{166}Er	^{167}Er	^{168}Er	Bind/A (keV)	8114.4702 4			
^{163}Ho	^{164}Ho	^{165}Ho	^{166}Ho	^{167}Ho	Mass (μAMU)	168934218.956 8			
^{162}Dy	^{163}Dy	^{164}Dy	^{165}Dy	^{166}Dy	Q_α (keV)	1198.4473 10			
					Q_β (keV)	-899.1270 8			
					Q_{ec} (keV)	-353.491 8			
					Sn (keV)	8033.5936 15			
					Sp (keV)	5574.3940 8			
					^{169}Er z: 68	^{170}Er	^{171}Er	^{172}Er	^{173}Er
					^{169}Ho z: 67	^{170}Ho	^{171}Ho	^{172}Ho	^{173}Ho
					^{169}Dy z: 66	^{170}Dy	^{171}Dy	^{172}Dy	^{173}Dy

^{169}Tm 的中子全截面的评价数据在1keV-1MeV能区还存在较大的分歧。



目录

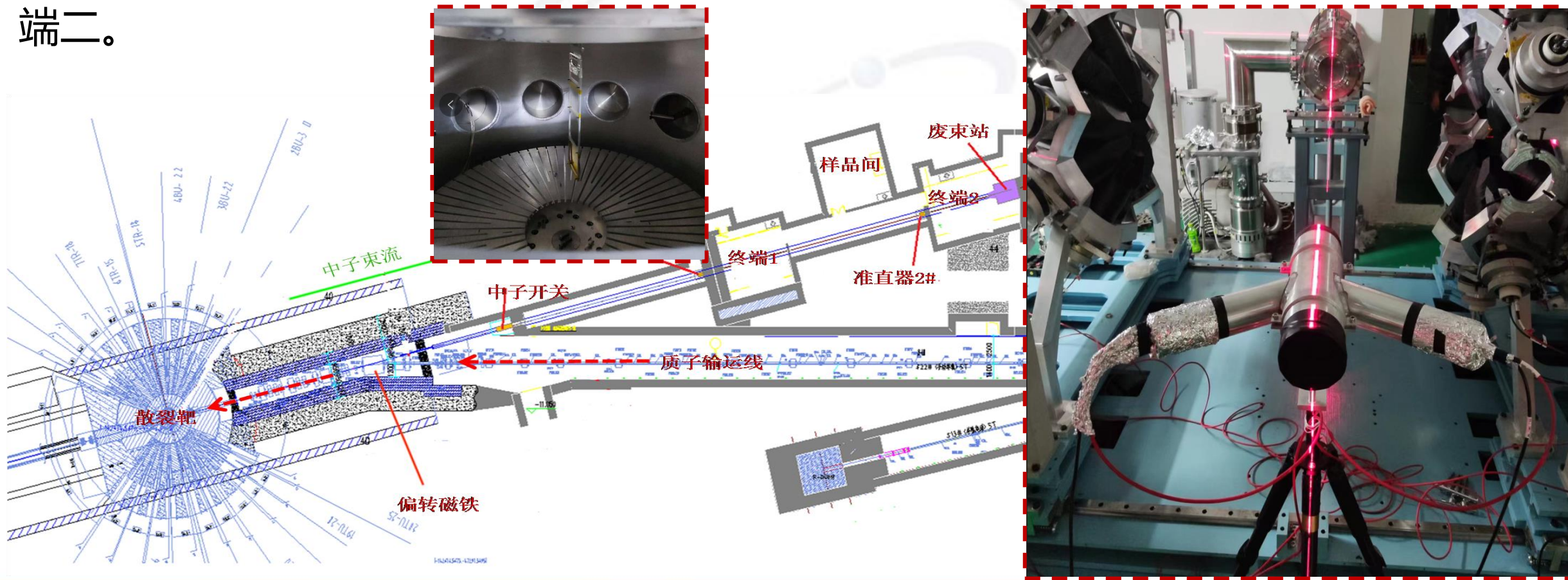
研究意义

实验测量

数据分析

总结

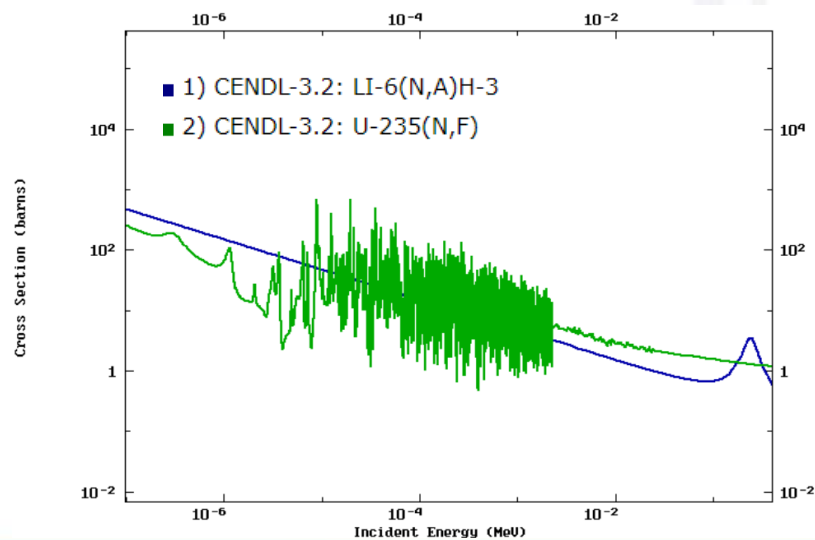
2023年6月在反角白光中子束线（Back-n）开展了 ^{169}Tm 中子全截面测量，使用了自研的翼型锂玻璃探测器。其中样品放置于终端一的带电粒子靶室内，探测器放置于终端二。



翼型锂玻璃探测器

为了开展共振区中子全截面测量，研制了翼型锂玻璃探测器，具有以下优点：

- ${}^6\text{Li}$ 共振区反应截面平滑，便于共振区数据分析；
- 探测效率高；
- 受 γ -flash影响较小，测量能区100keV以上；
- 可定量测量伽马本底.....



探测器性能模拟与测试

使用Geant4模拟了翼型锂玻璃探测器在Back-n的飞行时间（TOF）谱。

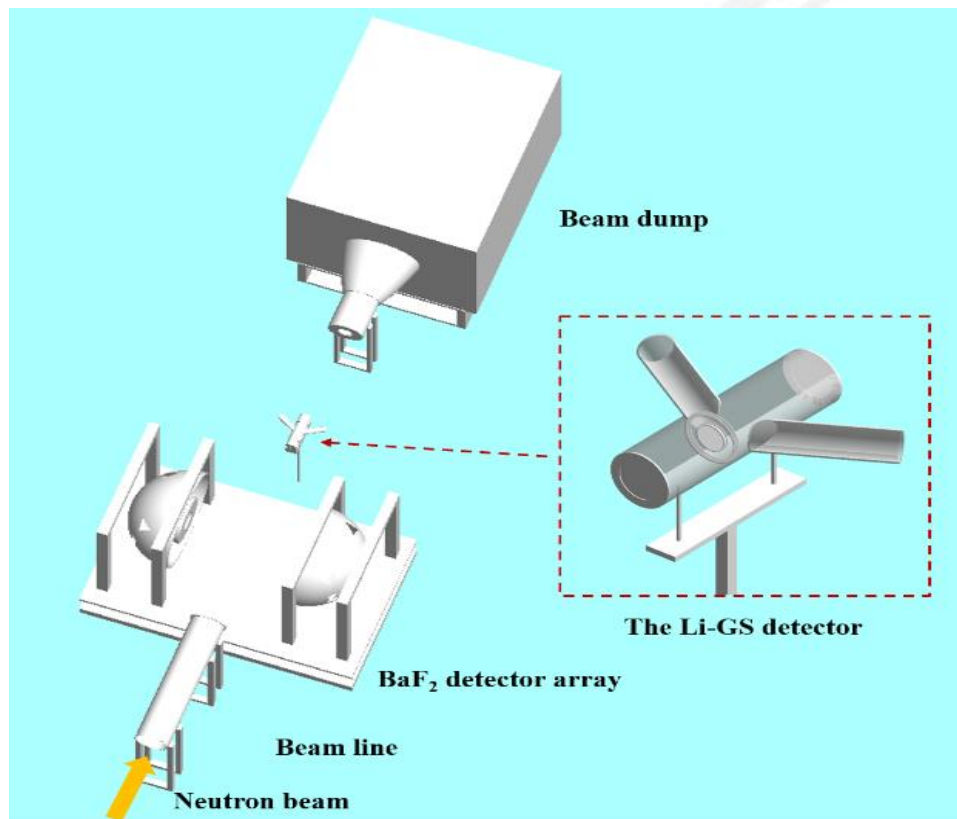


图1: Geant4构建的几何模型

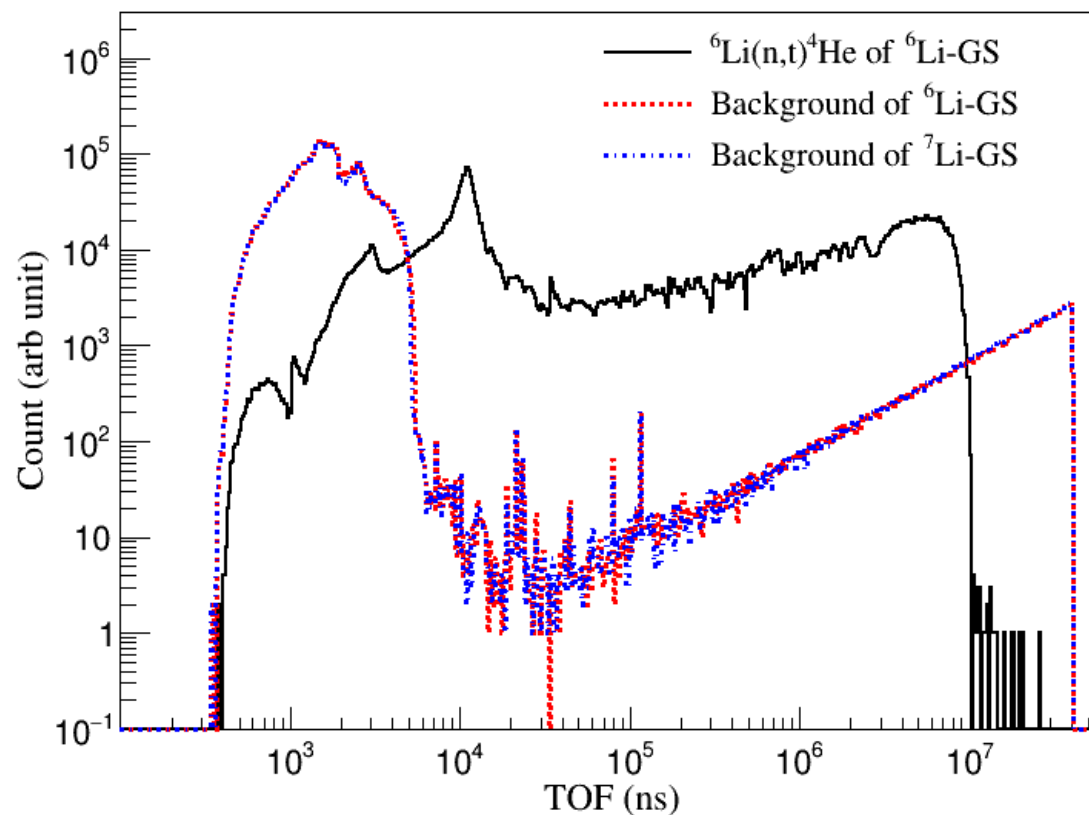


图2: Geant4模拟的飞行时间谱

使用Pu-C中子源测试了探测器性能。

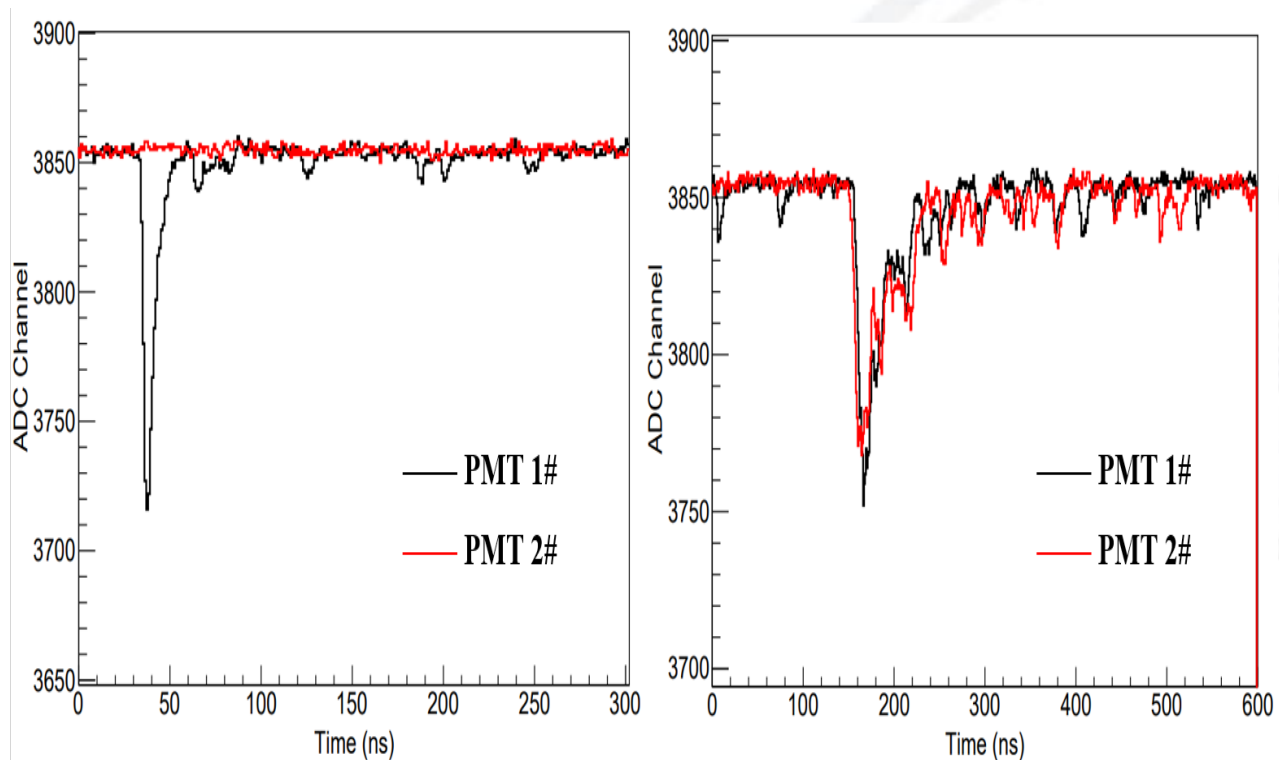


图1：两个PMT符合测量提高信噪比

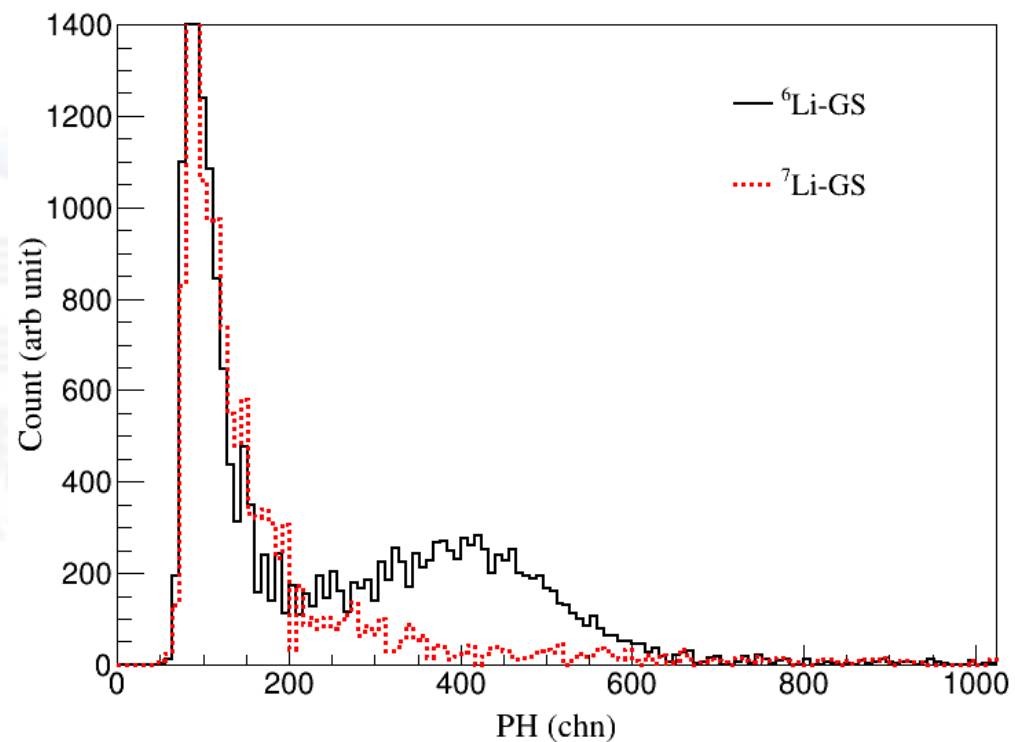


图2： ^6Li 和 ^7Li 闪烁体的能量沉积谱

在Back-n终端二对探测器进行在束测试。

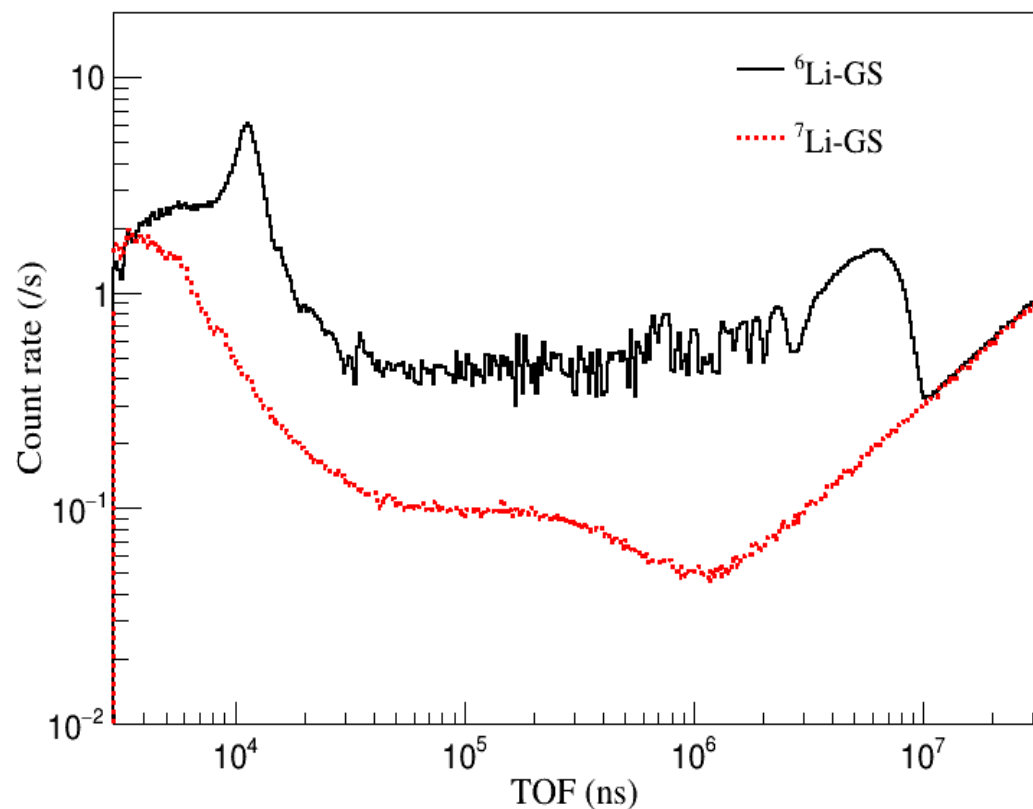


图1： ^6Li 和 ^7Li 闪烁体的飞行时间谱

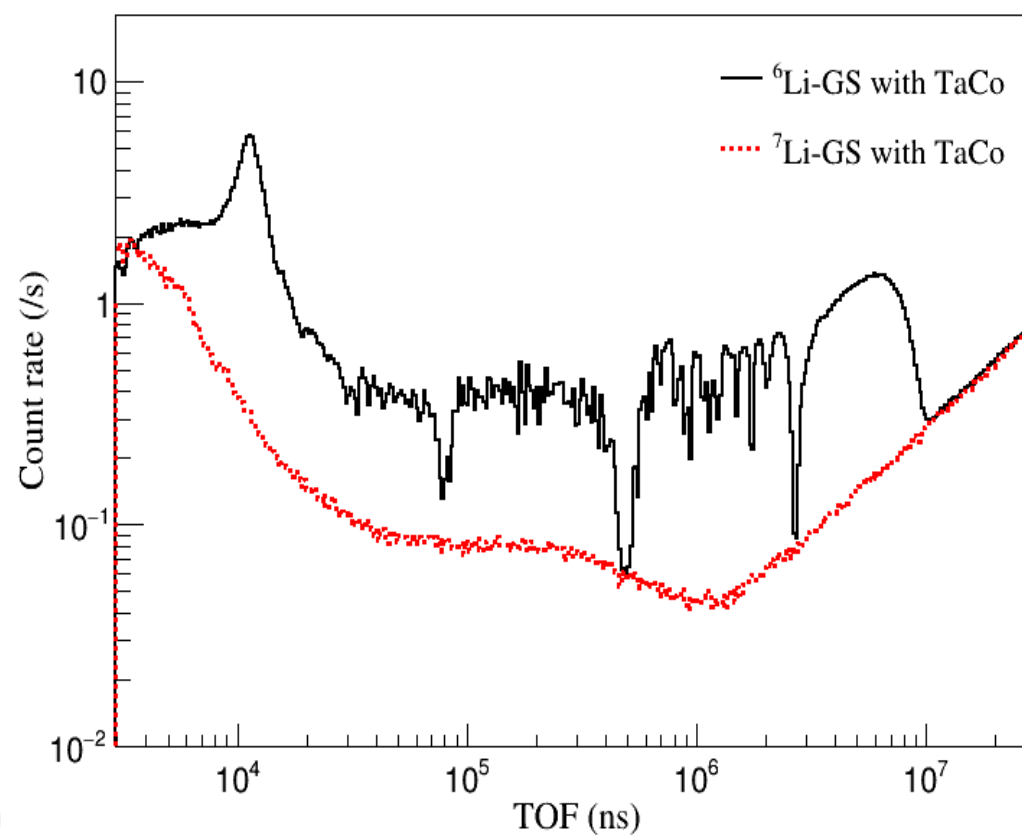


图2：带有吸收片的飞行时间谱

可用于Back-n最小准直孔径（3mm）的低能段能谱测量。

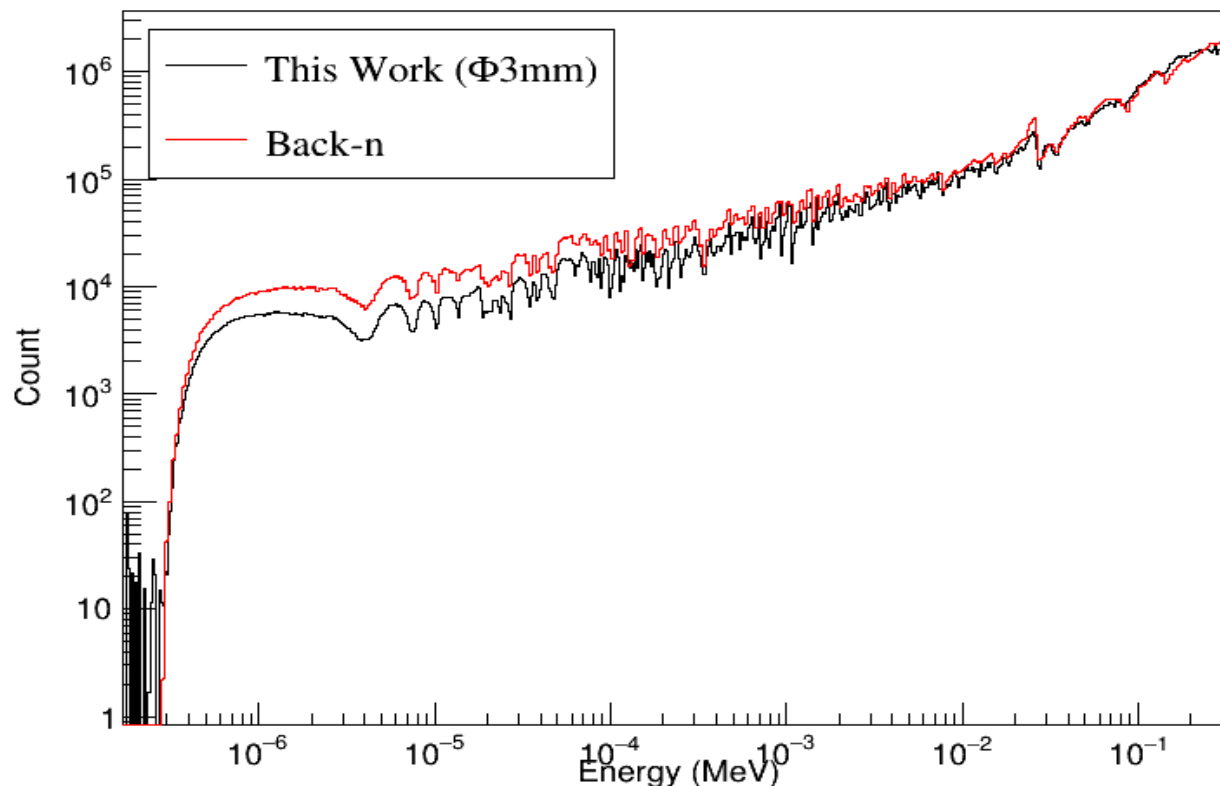


图1： 3-15-40孔径的能谱测量结果，在10keV附近归一到 $\Phi 60$ 能谱（初步结果）

目录

研究意义

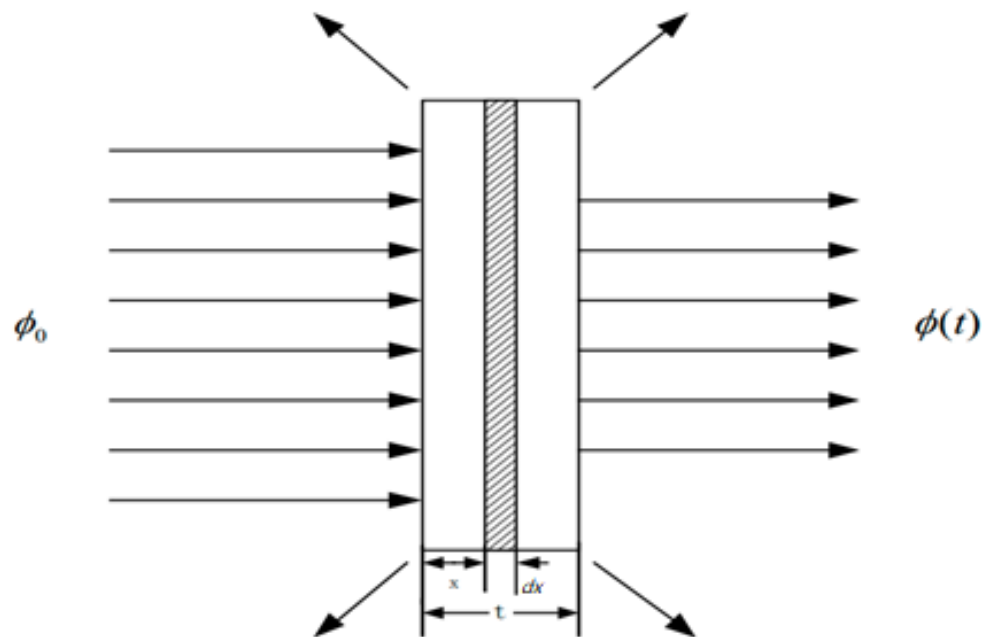
实验测量

数据分析

总结

^{169}Tm 数据分析

使用透射法测量中子全截面，在可分辨共振区（RRR），使用SAMMAY进行共振参数分析，在不可分辨共振区（URR），使用Hauser-Feshbach理论计算平均截面。



$$T = \frac{\phi}{\phi_0} = e^{-N\sigma_t x}$$

$$\sigma_t = -\frac{\ln(T)}{Nx}$$

$$T_{exp} = N_T \frac{C_{in} - B_{in}}{C_{out} - B_{out}}$$

在实验数据处理过程中重点考虑了飞行时间刻度、死时间修正、实验本底扣除、自屏蔽修正，等。

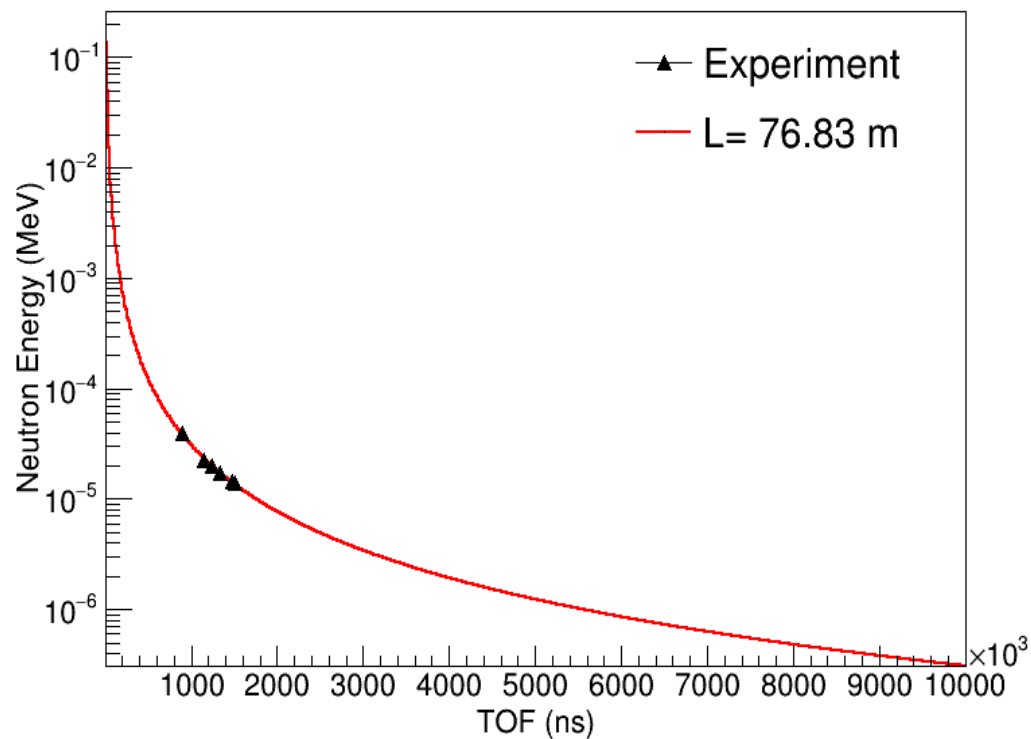


图1：中子飞行距离刻度

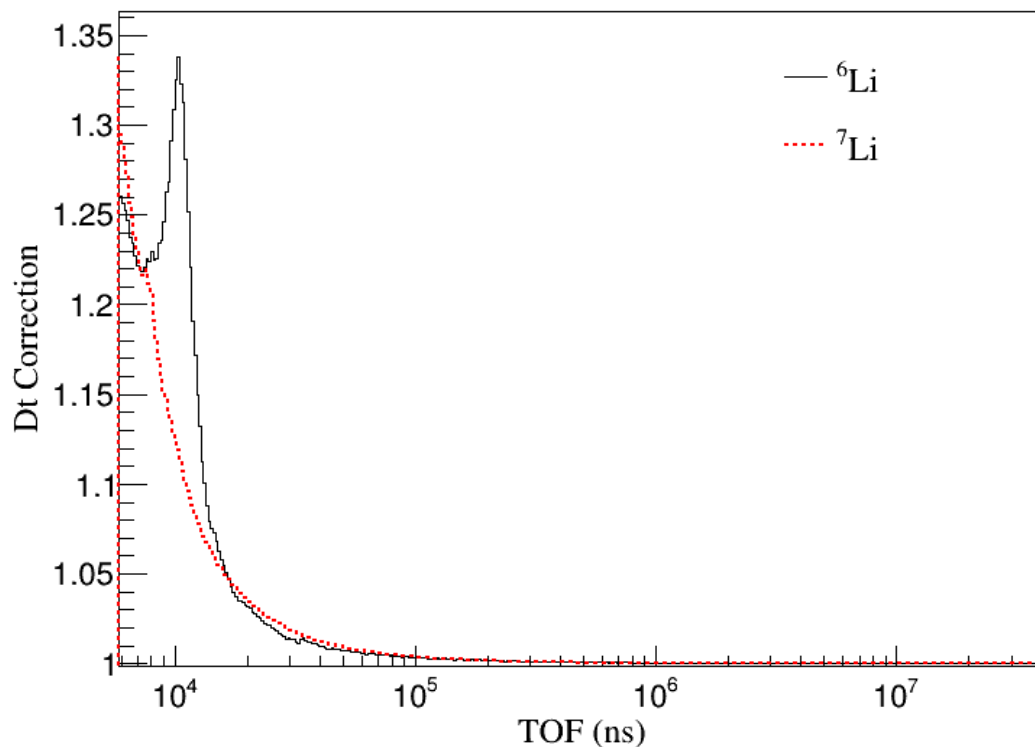


图2：死时间修正因子

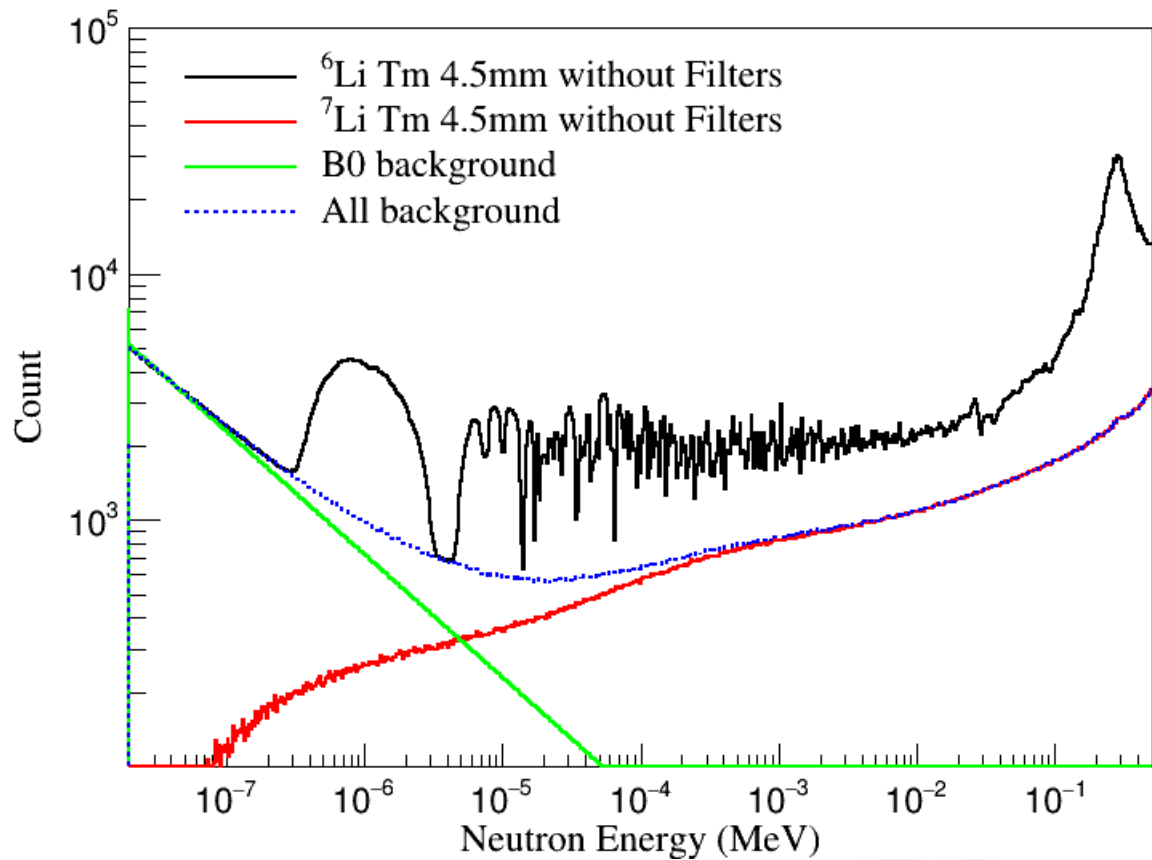


图3：实验本底分析

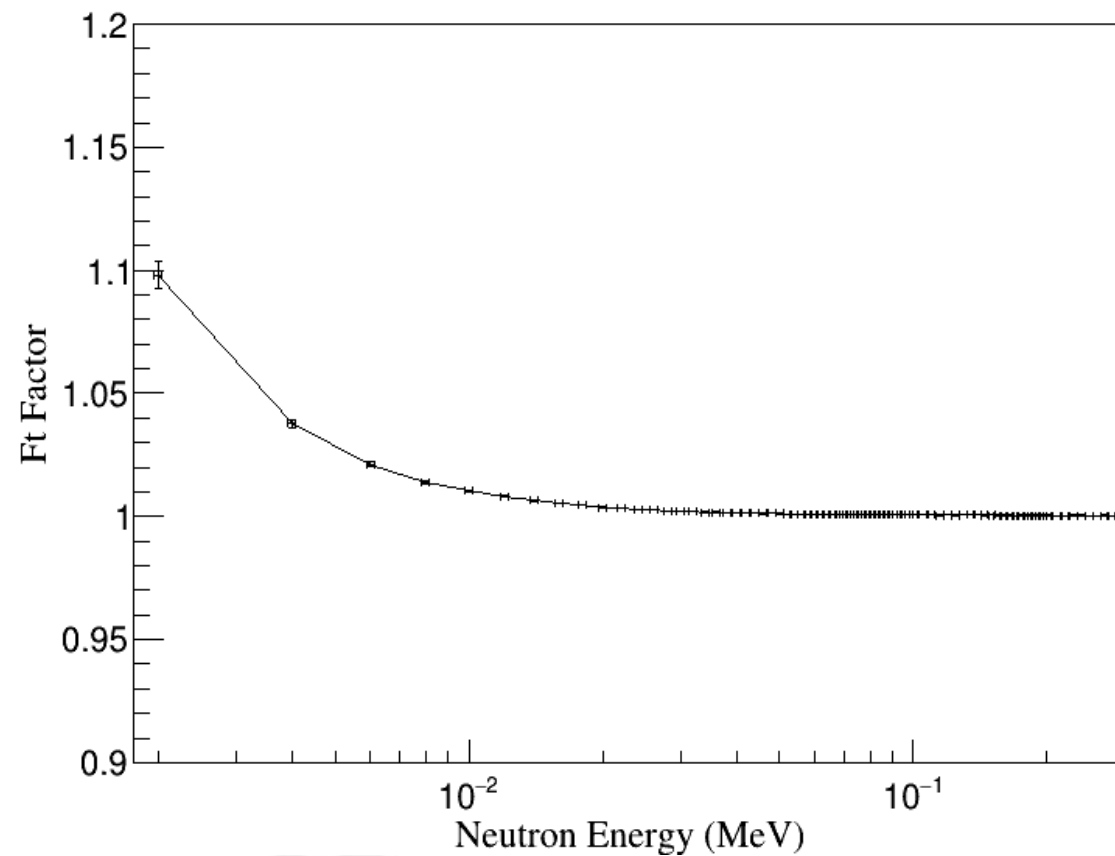


图4：自屏蔽因子

经过本底扣除和修正后，得到透射率，根据透射率分析共振参数和平均截面。

➤ 可分辨共振区 (RRR)

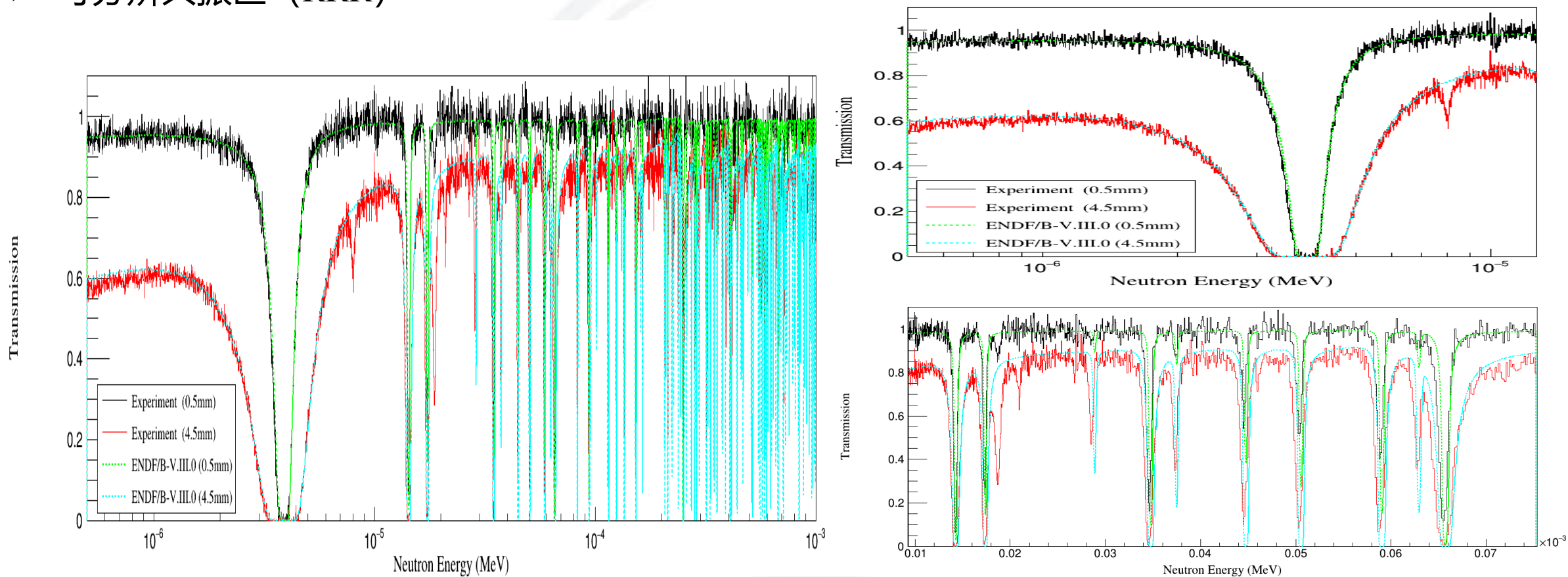
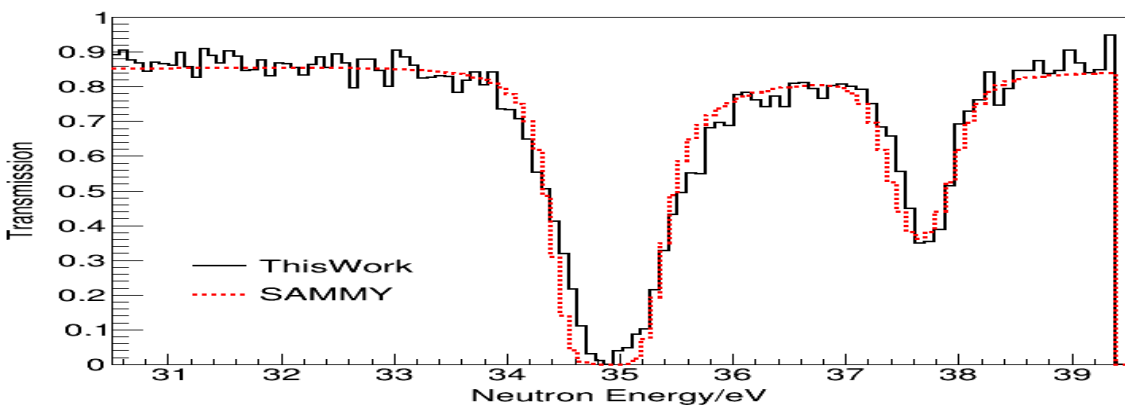
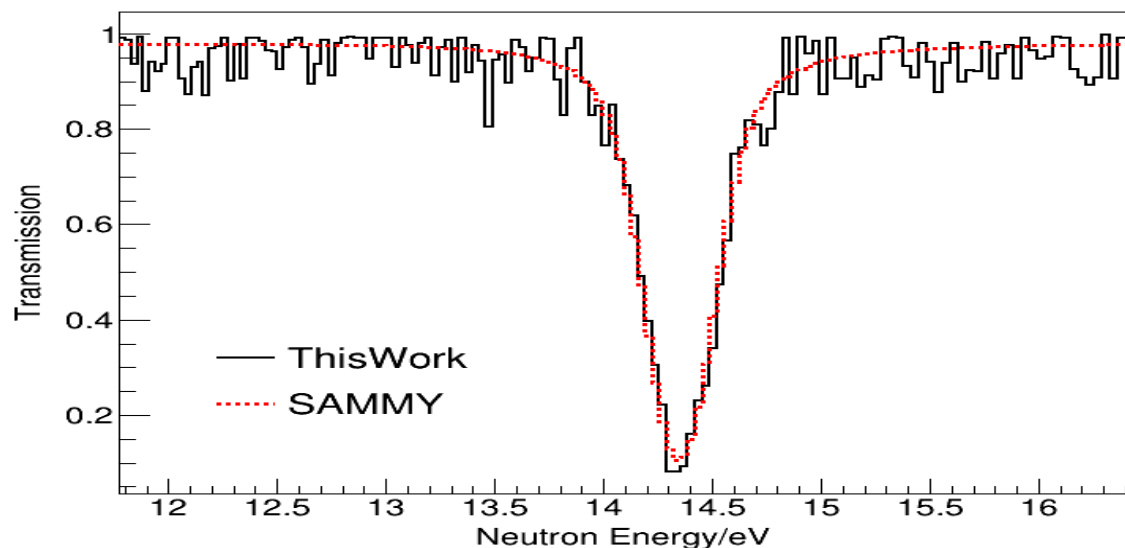


图1： ^{169}Tm 在RRR的透射率

共振参数分析



	共振能量(eV)	Γ_n (meV)	Γ_γ (meV)
This work	14.36±0.1	9.075±0.3	98.80±6.92
ENDF/B-VIII.0	14.32	9.12	97.10
JEFF-3.3	14.32	9.12	97.10

说明： Γ_γ 取自此前 C_6D_6 的测量结果（任杰, 阮锡超, 王金成, 等. 基于白光中子源的 ^{169}Tm 辐射俘获截面测量和共振参数分析, 原子能科学技术, 56, NO.5, 805-815, 2022）。

➤ 不可分辨共振区 (URR)

根据实验数据，利用Hauser-Feshbach理论和平均共振参数等计算平均截面

$$\langle T \rangle \neq e^{-n\langle\sigma_t\rangle}$$

(Ren J, Ruan X, Jiang W, et al. Neutron capture cross section of ^{169}Tm measured at the CSNS Back-n facility in the energy region from 30 to 300 keV[J]. Chinese Physics C, 2022, 46(4): 044002)

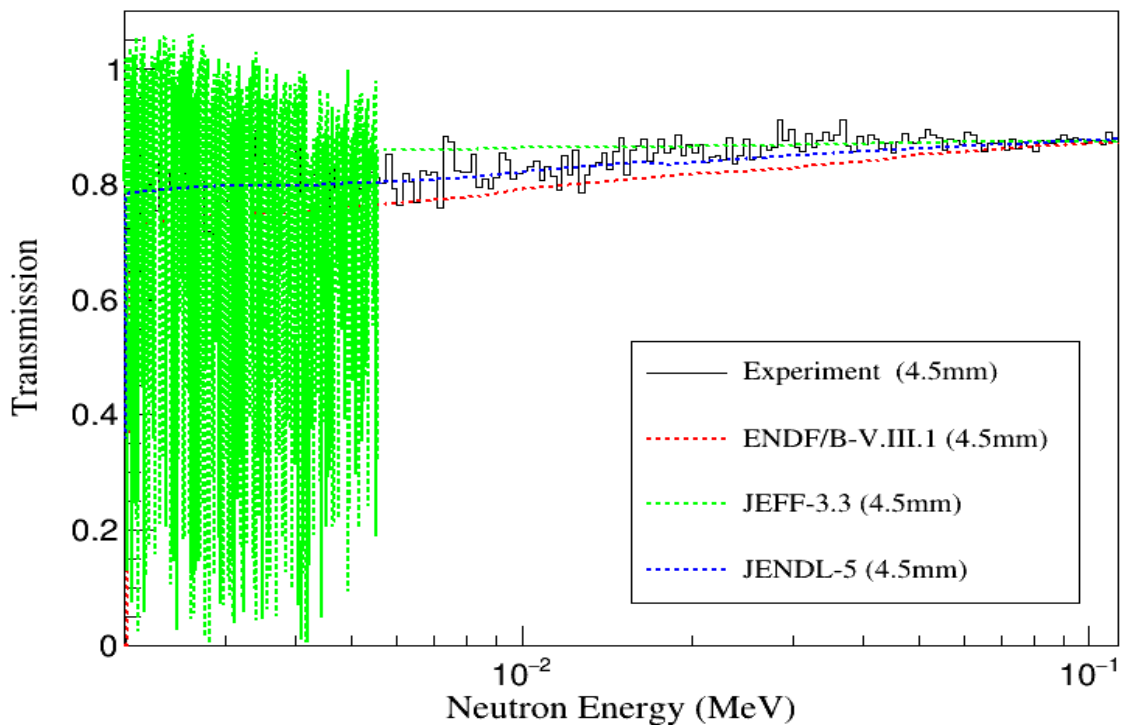


图1: ^{169}Tm 在URR的透射率

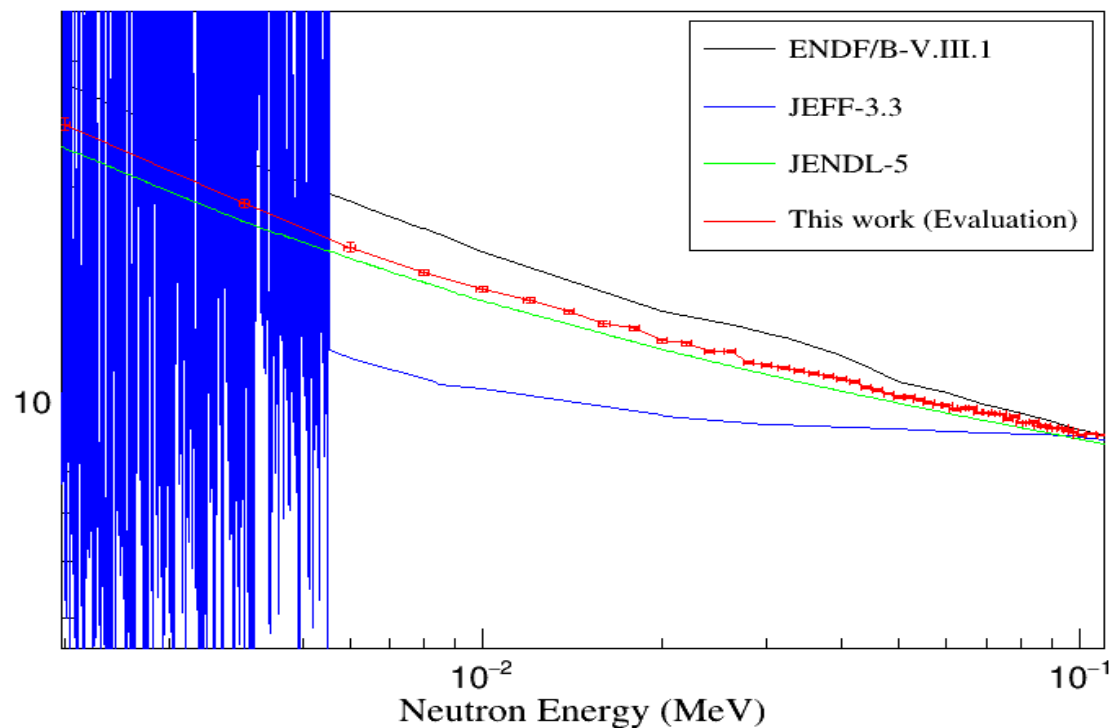


图2: 评价后的 ^{169}Tm 平均全截面

目录

研究意义

实验测量

数据分析

总结

总结:

- 翼型锂玻璃探测器具有探测效率平滑、探测效率高、可定量测量实验本底的优点;
- 利用该翼型锂玻璃探测器可开展透射率实验, 得到共振参数和平均全截面;
- 后续仍需要优化探测器的收光效率并减小死时间, 提高30keV-200keV能区测量精度;
- 后续需要在URR能区引入双束团解谱;
- **希望能将翼型锂玻璃探测器与 C_6D_6 探测器或GTAF探测器联合起来, 系统地开展共振参数测量与评价工作。**

中国核数据中心
CHINA NUCLEAR DATA CENTER

精心做好核数据工作

小规模高水平有特点

跨入国际先进行列

李光亚

谢谢!

请各位专家批评指正!

CHINA NUCLEAR DATA CENTER