

基于白光中子源的 ^{93}Nb 中子辐射俘获截面测量

罗湔天

中国原子能科学研究院 核数据重点实验室

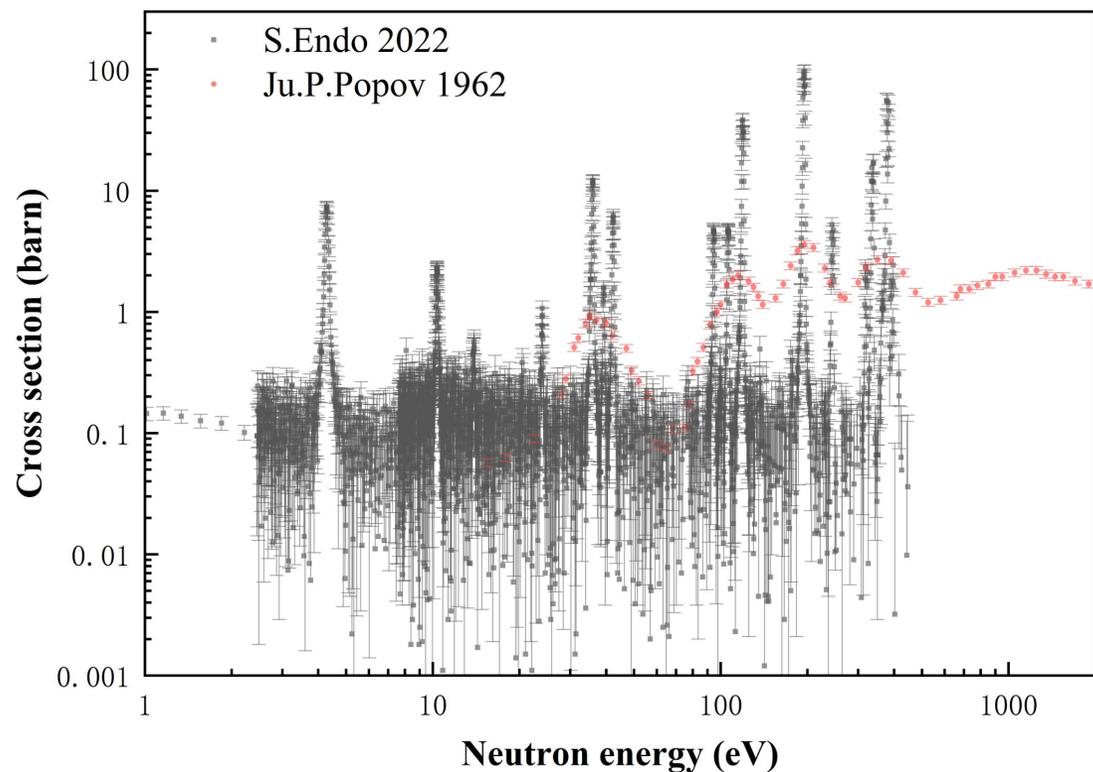
2025. 07. 24



Contents
目
录

- 01 背景介绍
- 02 ^{93}Nb 中子辐射俘获反应截面实验测量
- 03 实验数据处理
- 04 共振参数分析
- 05 总结与展望

中子辐射俘获反应是重要的中子反应之一，在核天体物理、核能利用、核装置设计方面均有应用。



EXFOR数据库中2 keV以内现有的实验数据

· 铌 (Nb) 是一种耐高温、耐腐蚀的稳定材料，对快速裂变反应堆和聚变反应堆十分重要。

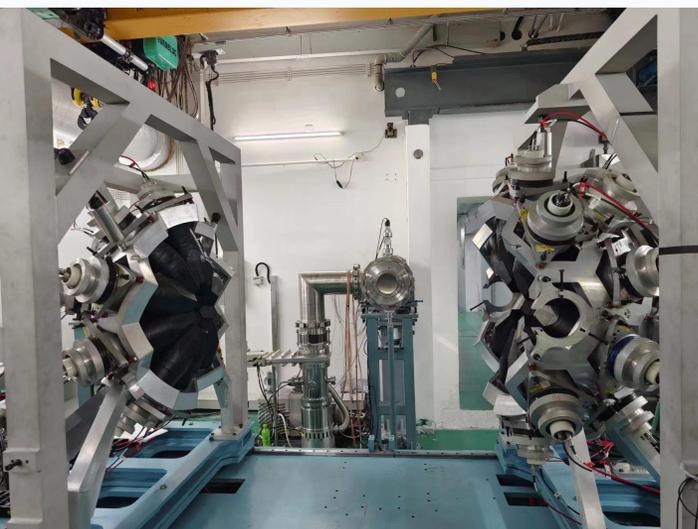
· Nb_3Sn 和 NbTi 合金是高能加速器使用的超导磁线圈的重要材料。

共振能区现有实验数据：测量数据少，不确定性高。

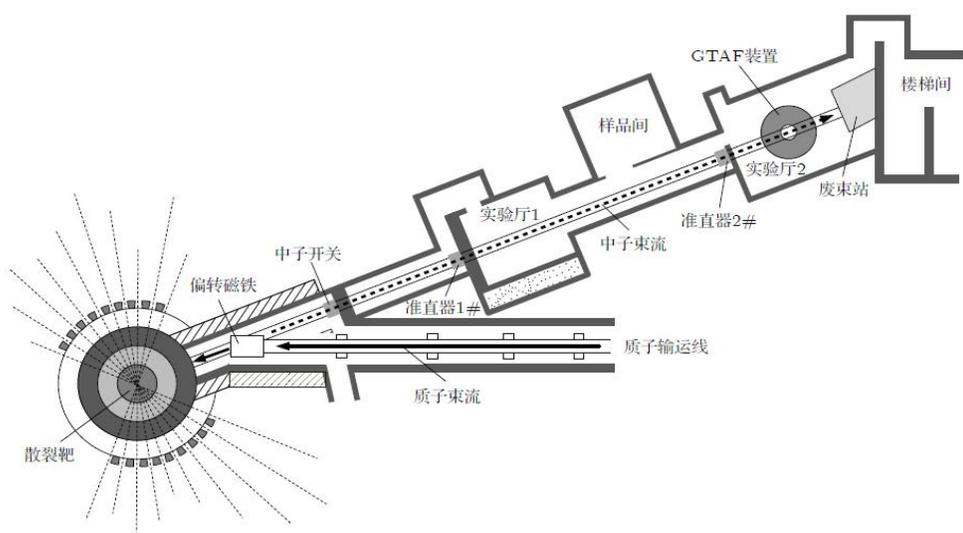


·GTAF装置由40个探测单元组成，其中包含12块五棱锥台形晶体和28块六棱锥台形晶体。该探测器能够覆盖**95.2%的立体角**。对**50 keV到9 MeV**的探测效率可以达到**85%以上**。

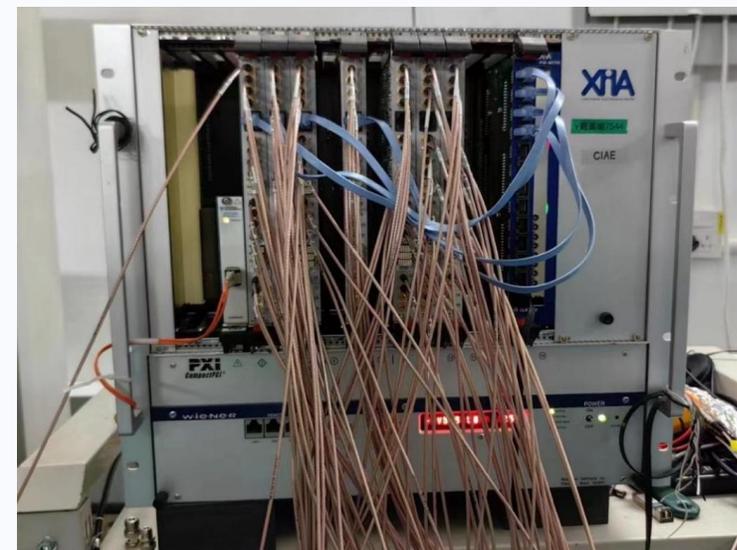
·Back-n束线能量**热中子能区到MeV能区**，适合开展中子辐射俘获反应截面测量工作。



GTAF装置照片



Back-n束线示意图



实验使用的电子学 XIA

实验中使用的样品:

厚度0.96mm的 ^{197}Au 样品

厚度0.52mm的 ^{93}Nb 样品

厚度1mm的 $^{\text{nat}}\text{C}$ 样品



样品	测量时间 (h)
^{197}Au (Cd吸收片)	8
^{197}Au (Cd、Ag、Co吸收片)	4
^{93}Nb (Cd吸收片)	10
^{93}Nb (Cd、Ag、Co吸收片)	2
C (Cd吸收片)	18
空样品 (Cd吸收片)	14
空样品(Cd、Ag、Co吸收片)	6

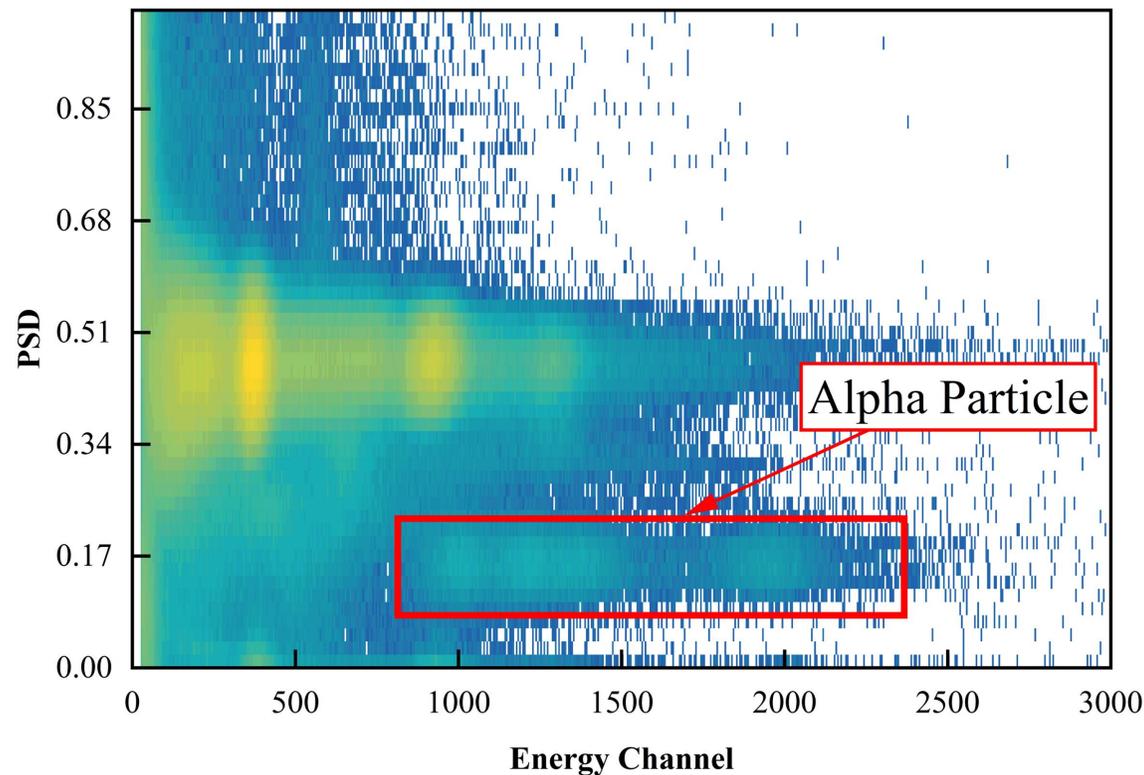
实验初步筛选:

BaF₂晶体中含有难以去除的Ba同族元素Ra, 会放出4种能量的α粒子, 是实验测量的本底。

γ射线引起快成分发光相较于α粒子比例大, 采用PSD方法区分α粒子和γ射线的效应。

PSD的计算方法为:

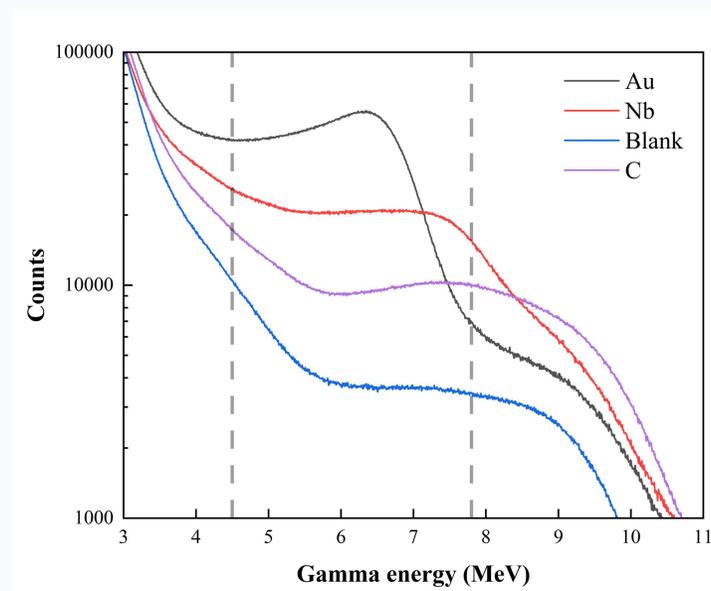
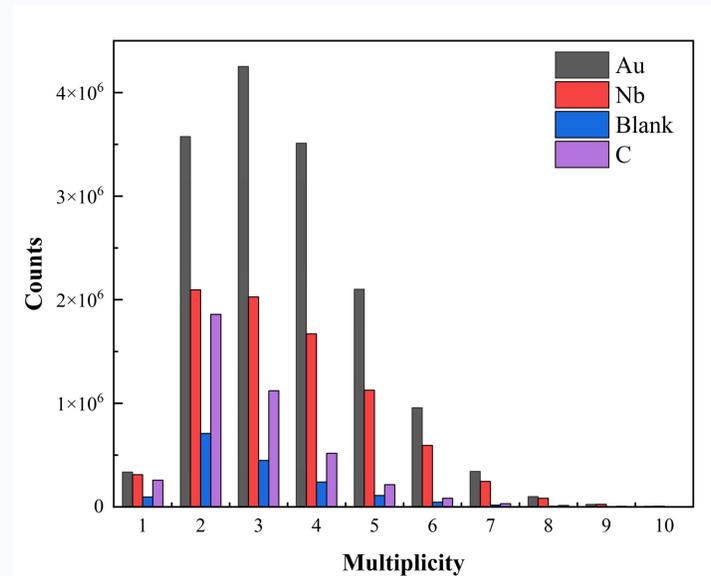
$$PSD = \frac{E_{T_{long}} - E_{T_{short}}}{E_{T_{long}}}$$



PSD示意图 (长门160ns, 短门40ns)

·晶体多重性指的是同一时间窗口内被触发的探测单元数量。**级联射线的晶体多重性大多大于等于2，而环境本底的晶体多重性通常为1。**

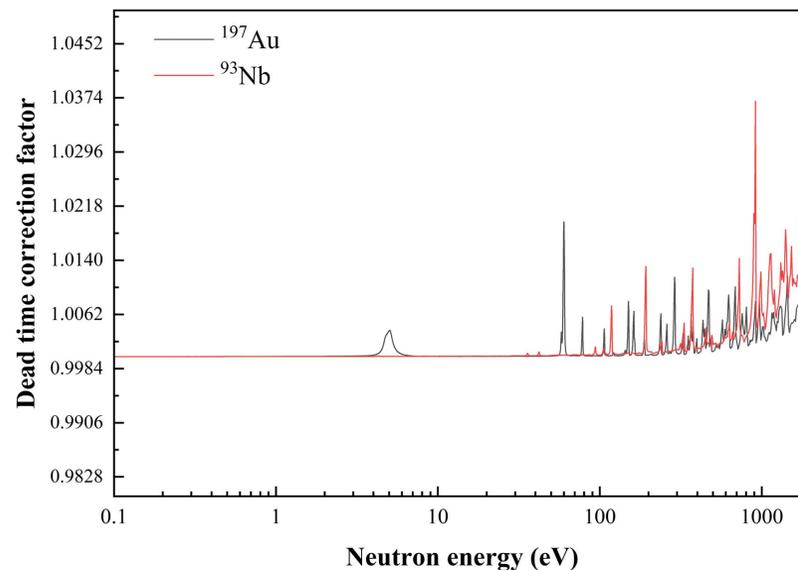
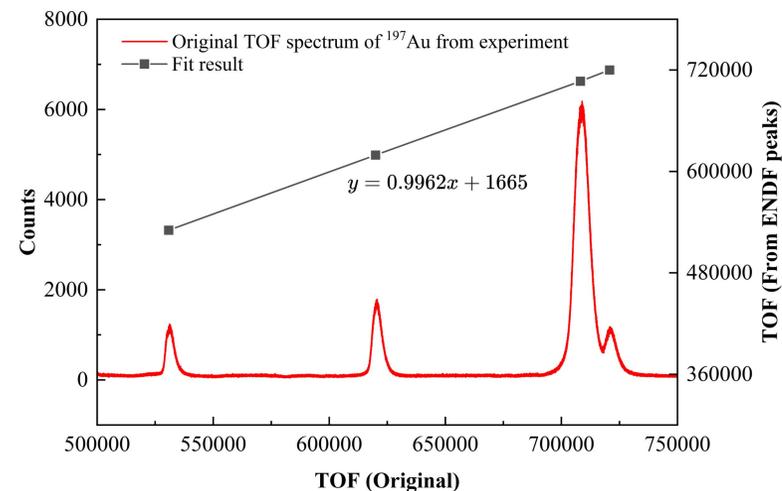
· ^{197}Au 样品的中子结合能为6.5 MeV，而 ^{93}Nb 样品的中子结合能为7.2 MeV。**通过筛选加和能（4.5~7.8 MeV）区分本底。**



飞行距离、测量时间、死时间修正：

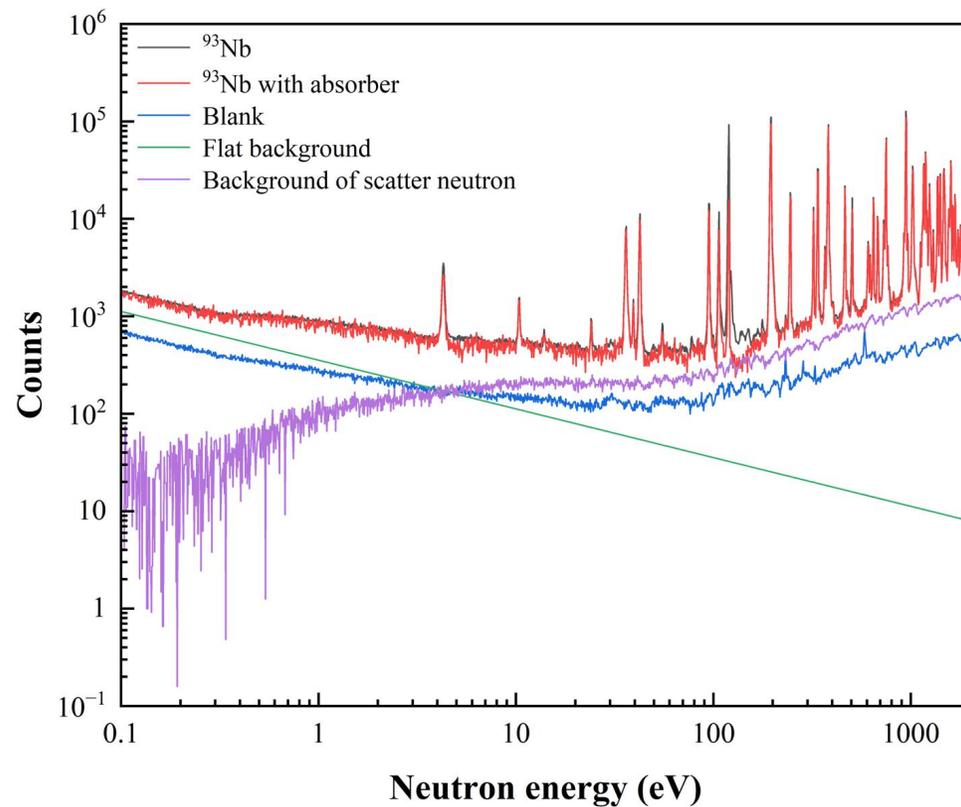
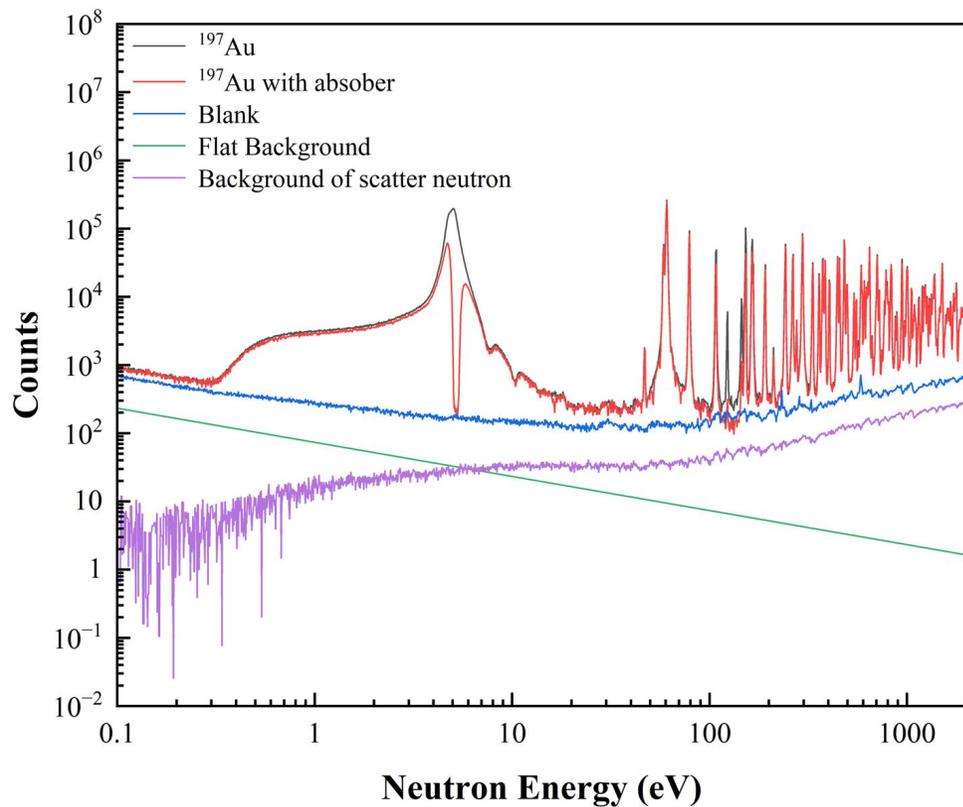
- 使用 ^{197}Au 的共振峰进行飞行时间刻度。
- 使用散裂中子源提供的质子束流文件，可以修正因不同样品测量时间不同带来的影响。
- 死时间修正的计算方法为：

$$f_{dead,sample} = e^{-1 \times R_{sample} \times \tau \#}$$



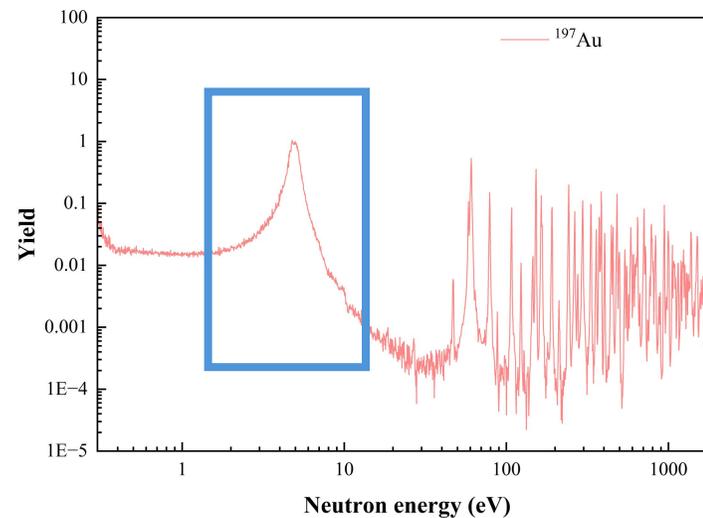
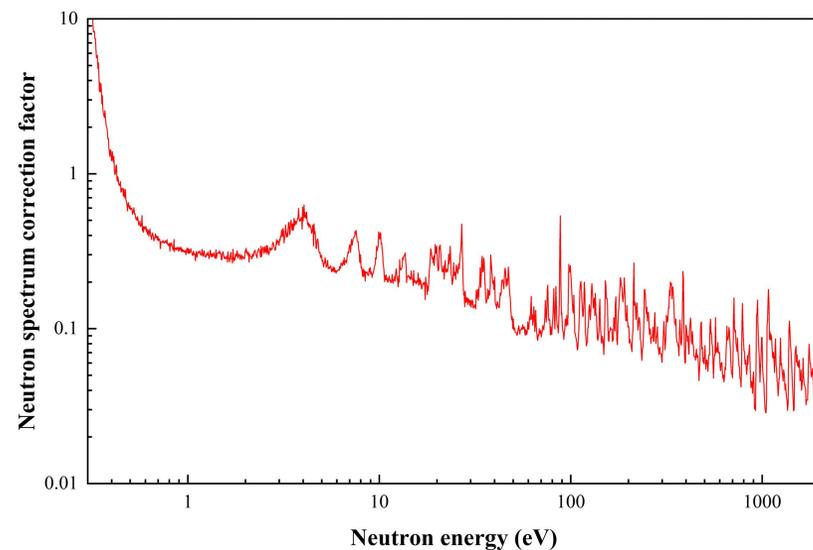
实验数据中仍然存在以下三种本底:

$$B(t_n) = B_{beam}(t_n) + B_{active}(t_n) + B_{scatter}(t_n)$$

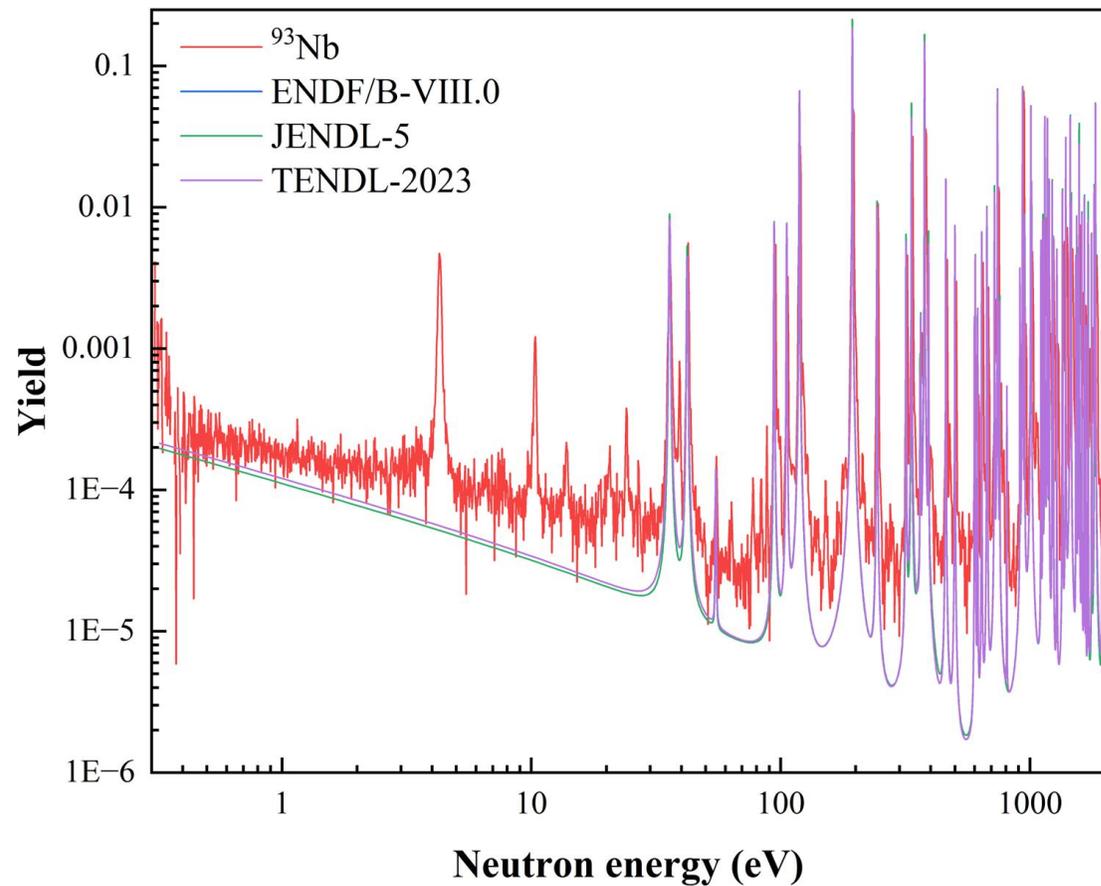
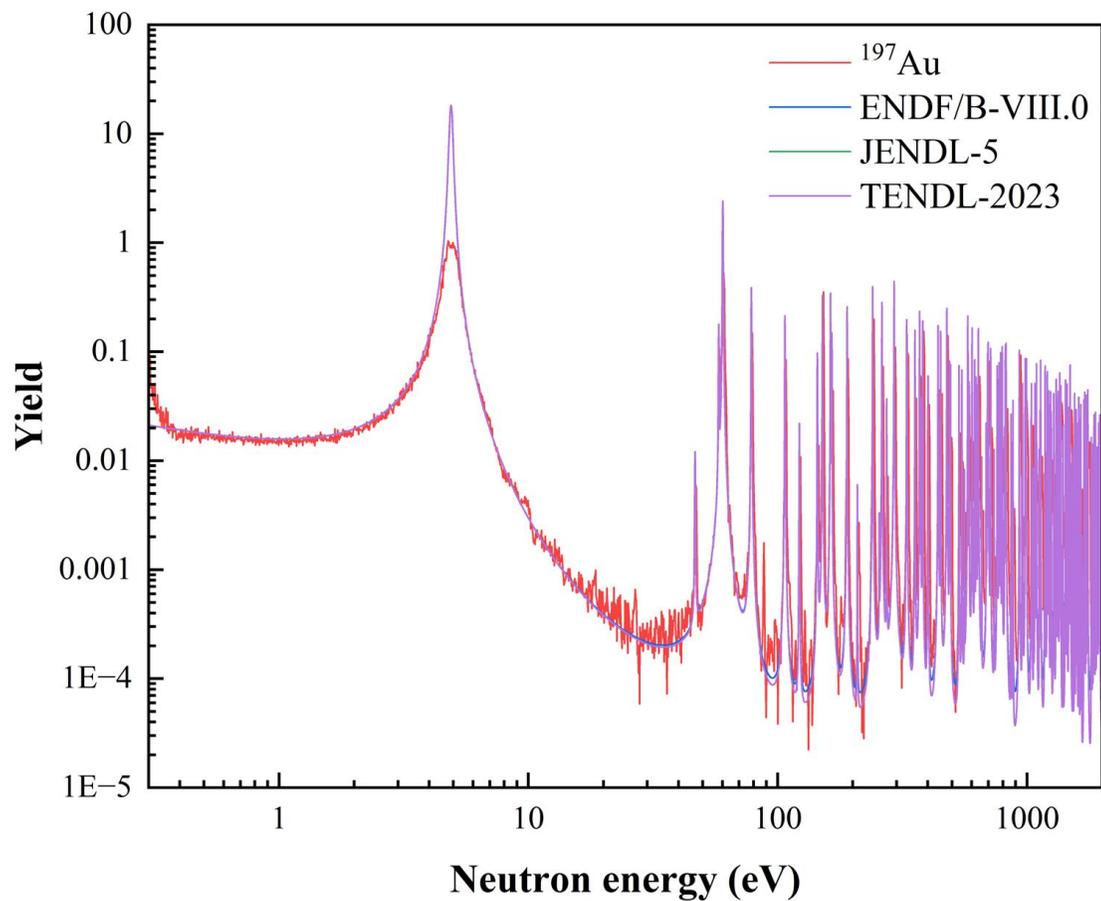


中子在各个能量的注量有所不同，需要进行归一。通过**Li-Si探测器测量得到的中子束流归一系数**如右图所示。

实验中的绝对中子注量难以获得，可以**使用 ^{197}Au 样品的饱和共振峰对实验测量的产额进行归一**（相对测量法）。



实验得到的产额与数据库在归一后的结果比较。



实验测量的不确定度如表所示：

不确定度来源	ε	值 (%)
中子能谱不确定度	ε_{Li-Si}	<10%
实验本底扣除不确定度	$\varepsilon_{statistic}$	<10% (共振峰)
		<100% (其他部分)
样品参数不确定度	ε_{sample}	<0.005%
飞行距离不确定度	ε_{flight}	<0.1%
总不确定度	ε_{total}	<14.14% (共振峰)
		<100% (其他部分)

中子能谱的不确定度主要来源于Li-Si探测器中子能谱测量的统计不确定度。

不确定度来源	ε	值 (%)
中子能谱不确定度	ε_{Li-Si}	<10%
实验本底扣除不确定度	$\varepsilon_{statistic}$	<10% (共振峰)
		<100% (其他部分)
样品参数不确定度	ε_{sample}	<0.005%
飞行距离不确定度	ε_{flight}	<0.1%
总不确定度	ε_{total}	<14.14% (共振峰)
		<100% (其他部分)

考虑实验本底扣除的不确定度，在共振峰处小于10%，在截面较低部分不确定度较高。

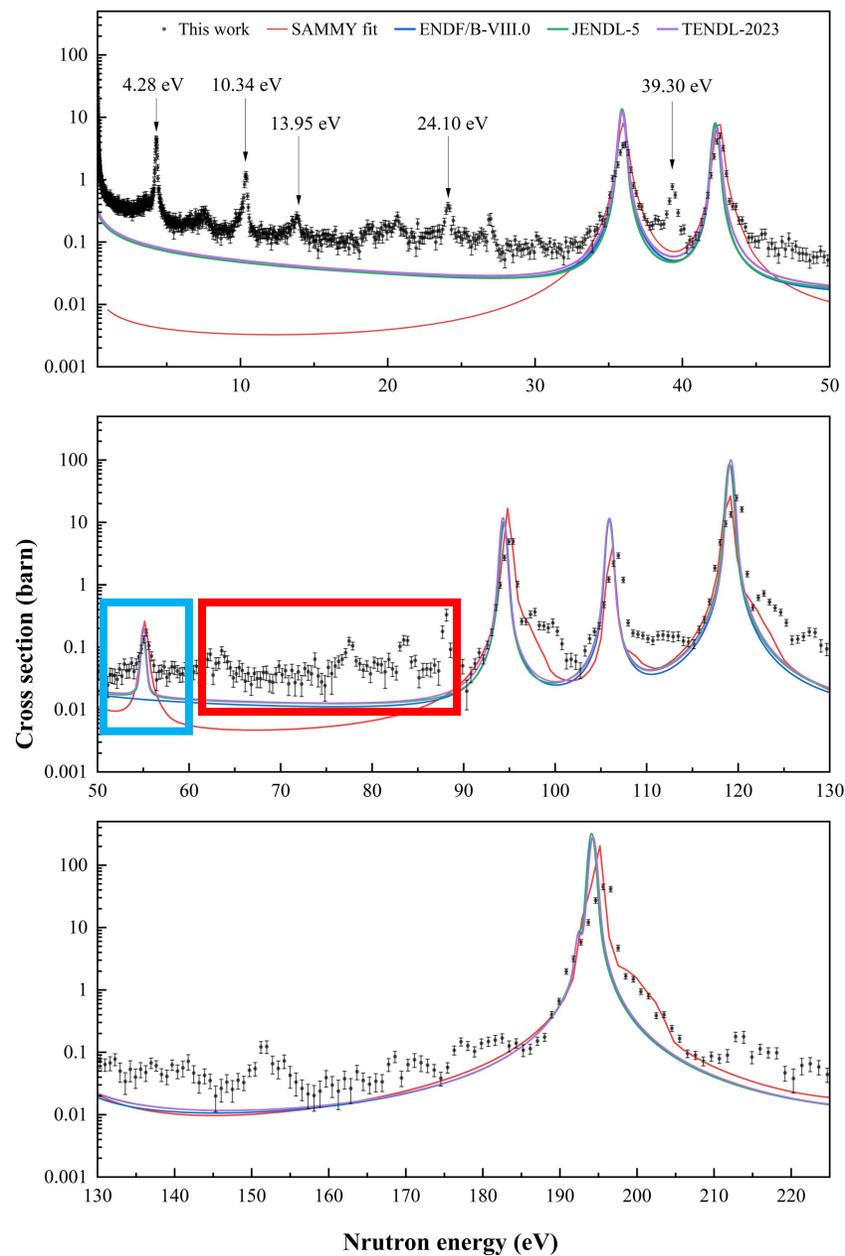
不确定度来源	ε	值 (%)
中子能谱不确定度	ε_{Li-Si}	<10%
实验本底扣除不确定度	$\varepsilon_{statistic}$	<10% (共振峰)
		<100% (其他部分)
样品参数不确定度	ε_{sample}	<0.005%
飞行距离不确定度	ε_{flight}	<0.1%
总不确定度	ε_{total}	<14.14% (共振峰)
		<100% (其他部分)

样品使用精密天平进行称重，天平分度值为0.001g。

不确定度来源	ε	值 (%)
中子能谱不确定度	ε_{Li-Si}	<10%
实验本底扣除不确定度	$\varepsilon_{statistic}$	<10% (共振峰)
		<100% (其他部分)
样品参数不确定度	ε_{sample}	<0.005%
飞行距离不确定度	ε_{flight}	<0.1%
总不确定度	ε_{total}	<14.14% (共振峰)
		<100% (其他部分)

飞行距离刻度拟合的不确定度，小于0.1%。

不确定度来源	ε	值 (%)
中子能谱不确定度	ε_{Li-Si}	<10%
实验本底扣除不确定度	$\varepsilon_{statistic}$	<10% (共振峰)
		<100% (其他部分)
样品参数不确定度	ε_{sample}	<0.005%
飞行距离不确定度	ε_{flight}	<0.1%
总不确定度	ε_{total}	<14.14% (共振峰)
		<100% (其他部分)



· ^{93}Nb 中存在 ^{181}Ta 杂质，可以从实验数据中看到来自杂质的5个共振峰。

· 中子能谱不确定度较高，实验数据上存在一定中子能谱的结构。

· 55eV处的实验结果出现共振峰，符合JENDL-5与TENDL-2023结果，与ENDF/B-VIII.0数据库存在差异。

总结

- 使用GTAF装置在Back-n束线上测量得到了了 ^{93}Nb 的实验产额。
- 使用SAMMY程序重建了实验反应截面。

展望

- 通过延长样品及中子束流的测量时间，减少实验的统计误差并获得更加准确的中子能谱形状。
- 通过蒙特卡罗模拟改善实验本底的扣除方法。
- 提升SAMMY拟合的结果（如改善RPI函数等）。

感谢各位老师，请各位老师批评指正！