

白光源下裂变瞬发中子谱测量实验

报告人：黄翰雄

2023年9月20日



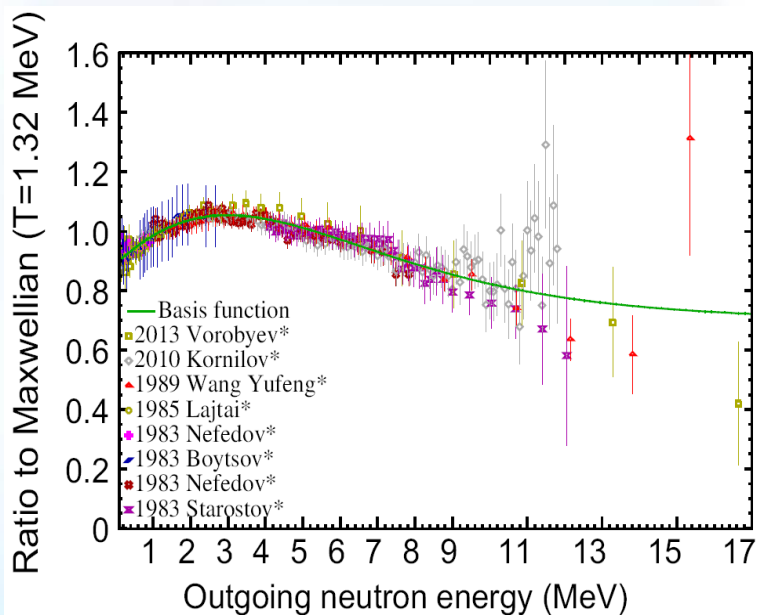
内容大纲

1. 裂变瞬发中子谱简介
2. 裂变瞬发中子谱测量初步结果
3. 后续工作计划

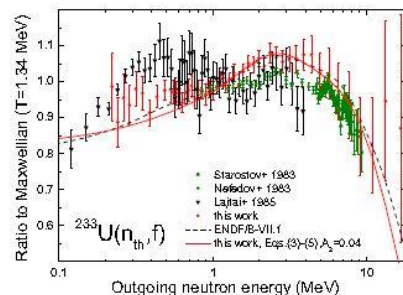


1. 裂变瞬发中子谱简介

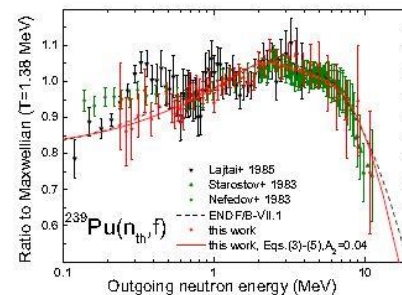
- a) 裂变瞬发中子和缓发中子 (β 衰变之前, 10^{-14} s内完成; 缓发占比2%)
- b) 意义: 裂变瞬发中子能谱 (PFNS) 在GF、核结构理论模型、反应堆设计等方面都有应用价值。
- c) 数据现状: 当前实验测量数据与理论结果之间存在明显的分歧。
- d) 裂变瞬发中子谱测量的难点: 高能区、低能区、样品量



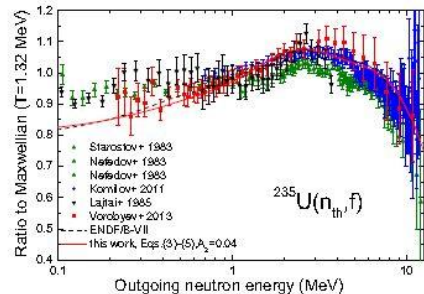
热中子诱发 ^{235}U 裂变的瞬发中子谱的比较



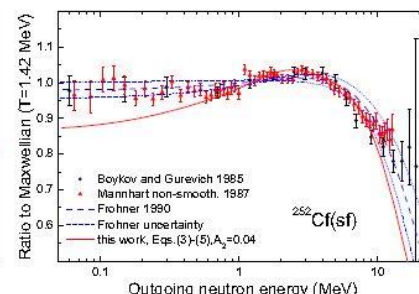
(a) Measured PFNS of $^{233}\text{U}(n_{\text{th}},f)$ vs. ENDF/B-VII evaluation. All data are normalized to $\bar{\nu} = 2.49$.



(b) Measured PFNS of $^{239}\text{Pu}(n_{\text{th}},f)$ vs. ENDF/B-VII evaluation. All data are normalized to $\bar{\nu} = 2.89$.



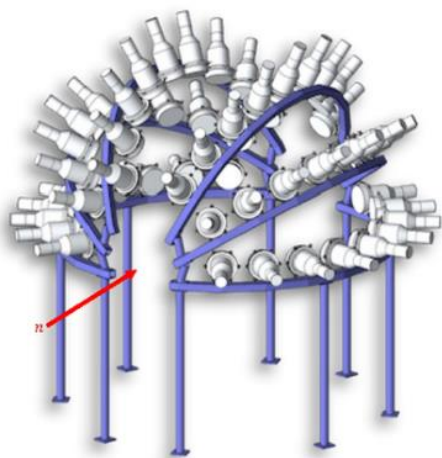
(c) Measured PFNS of $^{235}\text{U}(n_{\text{th}},f)$ vs. ENDF/B-VII evaluation. All data are normalized to $\bar{\nu} = 2.42$.



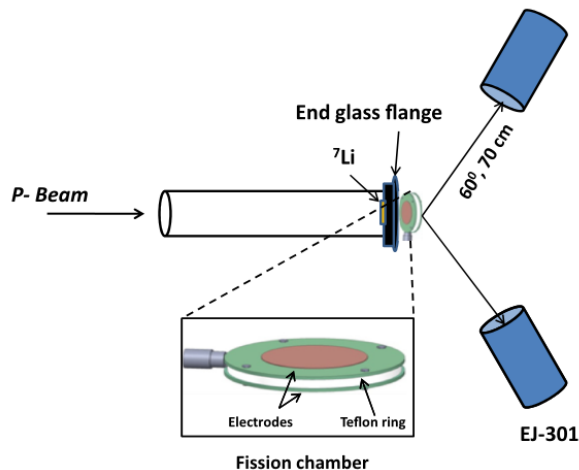
(d) Evaluated PFNS of $^{252}\text{Cf}(sf)$ [36, 125, 126]. All data are normalized to $\bar{\nu} = 3.759$.

其它核素分歧也一样明显

2. 国内外研究现状



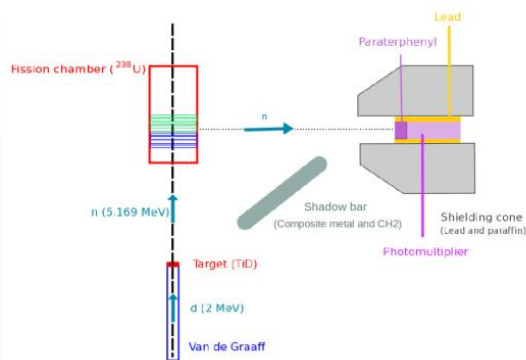
Kelly的液闪探测器阵列



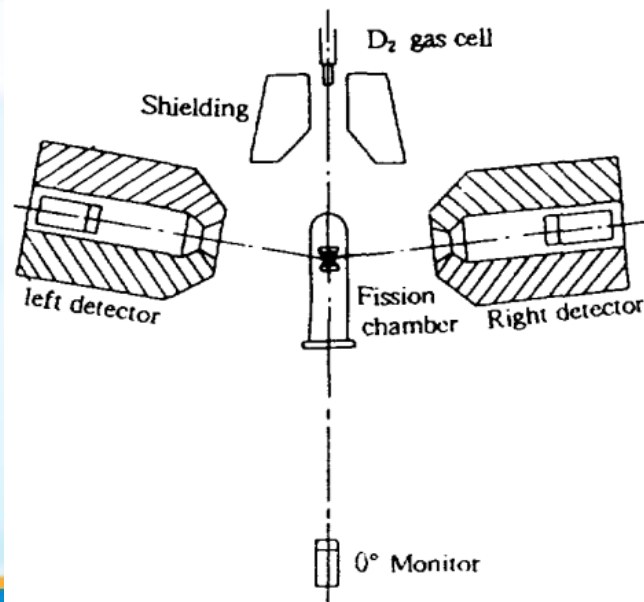
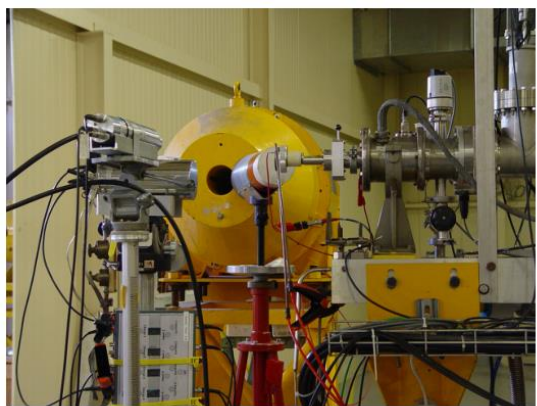
Desai的实验布局

国内外开展的裂变瞬发中子谱相关研究很多，大部分都是单能点的实验测量。

Los alamos设计了一套由54个液闪组成的探测器阵列，测量了1MeV-20MeV入射中子能量区间的裂变瞬发中子谱，并确认了裂变前预平衡发射中子的角分布（PRL）。



Sardet的实验布局



李安利等人的实验几何4

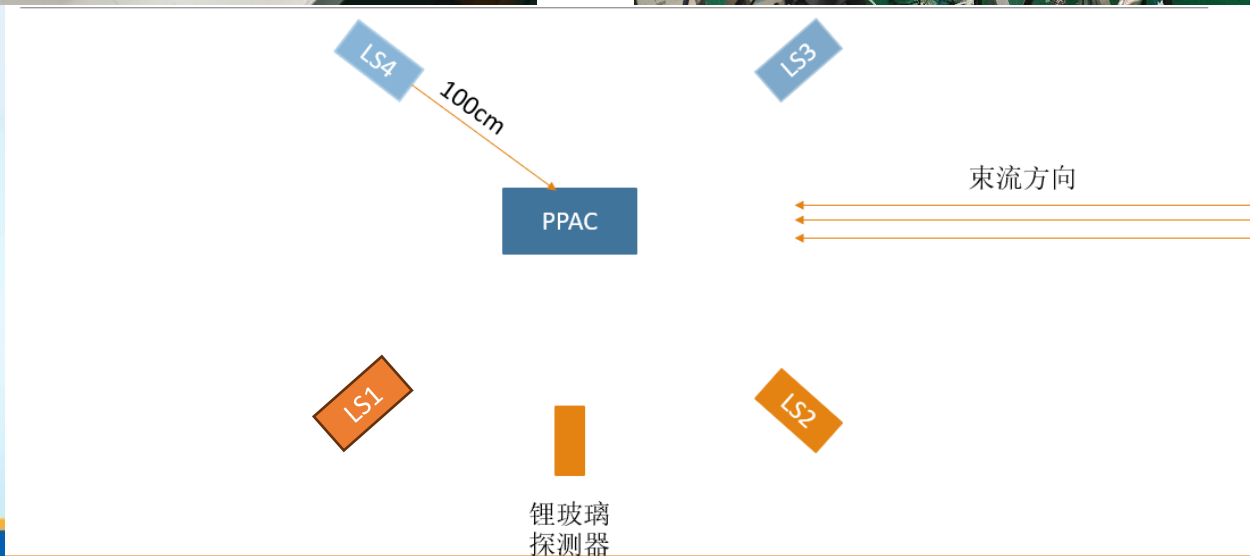
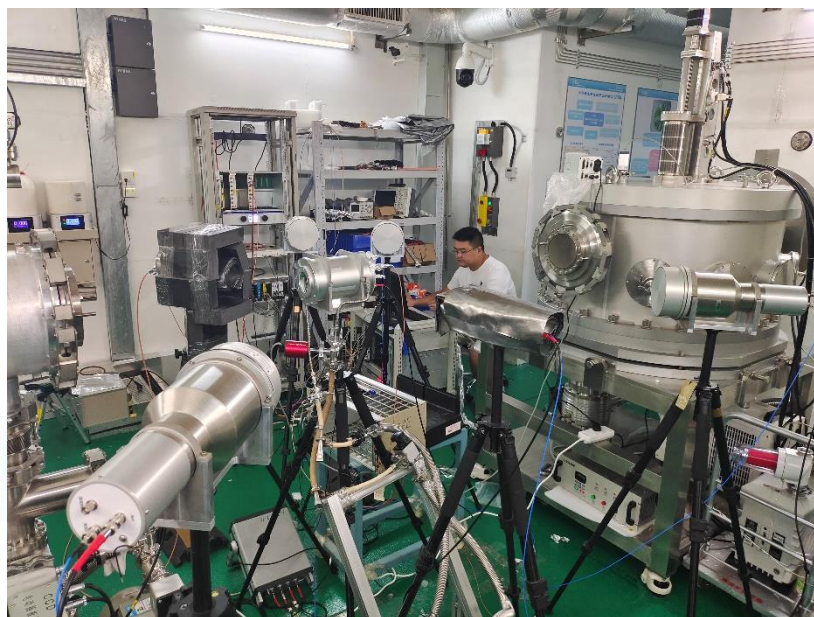
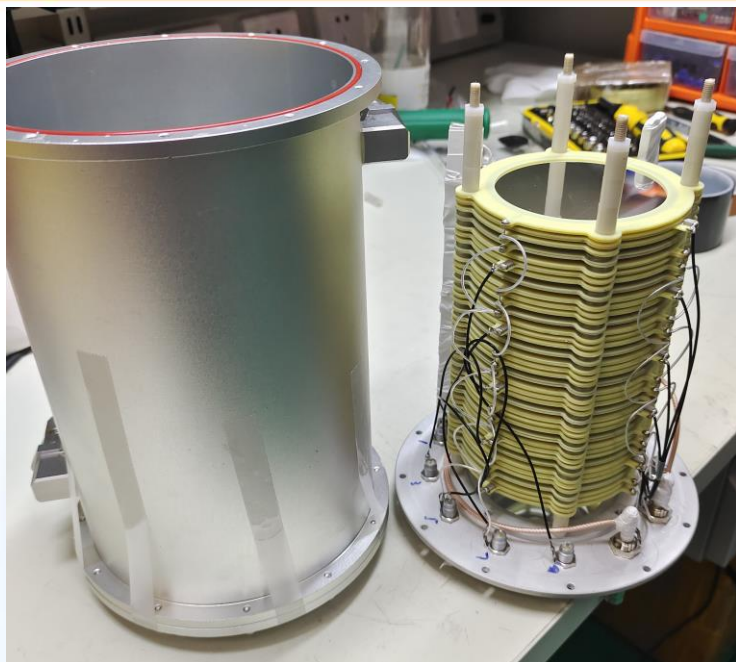
国内外PFNS实验装置的比较

实验室或 主要完成人	中子探 测器 个数	PPAC 层数	中子飞 行距离	样品名称	样品量	年份
CIAE/Li Anli	2	103	2.5	^{238}U	$\sim 5\text{g}$	1996
France/A. Sardet	1	几十片		$^{235}\text{U}, ^{238}\text{U}, ^{237}\text{Np}$		2013
Japan/Miura	1	24 for ^{233}U	2	$^{233}\text{U}, ^{238}\text{U},$ ^{232}Th	2.28g for ^{233}U , $\phi 20\text{mm} * 50\text{mm}$ for the others	2002
Los Alamos/Noda	60	10	1	$^{235}\text{U}, ^{239}\text{Pu}, \dots$	100mg	2019
India/Desai	2	1	0.7	^{238}U	$2.1\text{mg}/\text{cm}^2$	2015
FINDA/China	48	10	1		100mg	

基于白光中子源的裂变瞬发中子谱测量意义？



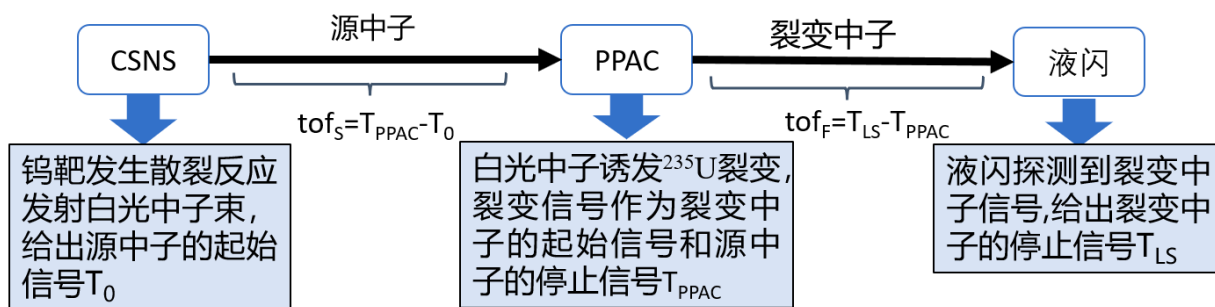
3. 裂变瞬发中子谱测量初步结果



测量方法

双飞行时间法（**不考虑相对论条件下**）：

$$\left. \begin{aligned} t &= \frac{L}{v} \\ E &= \frac{1}{2}mv^2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow t = \frac{72.3L}{\sqrt{E}}$$



其中：

t 为中子飞行时间, ns;

L 为中子飞行距离, m;

E 为中子能量。MeV。

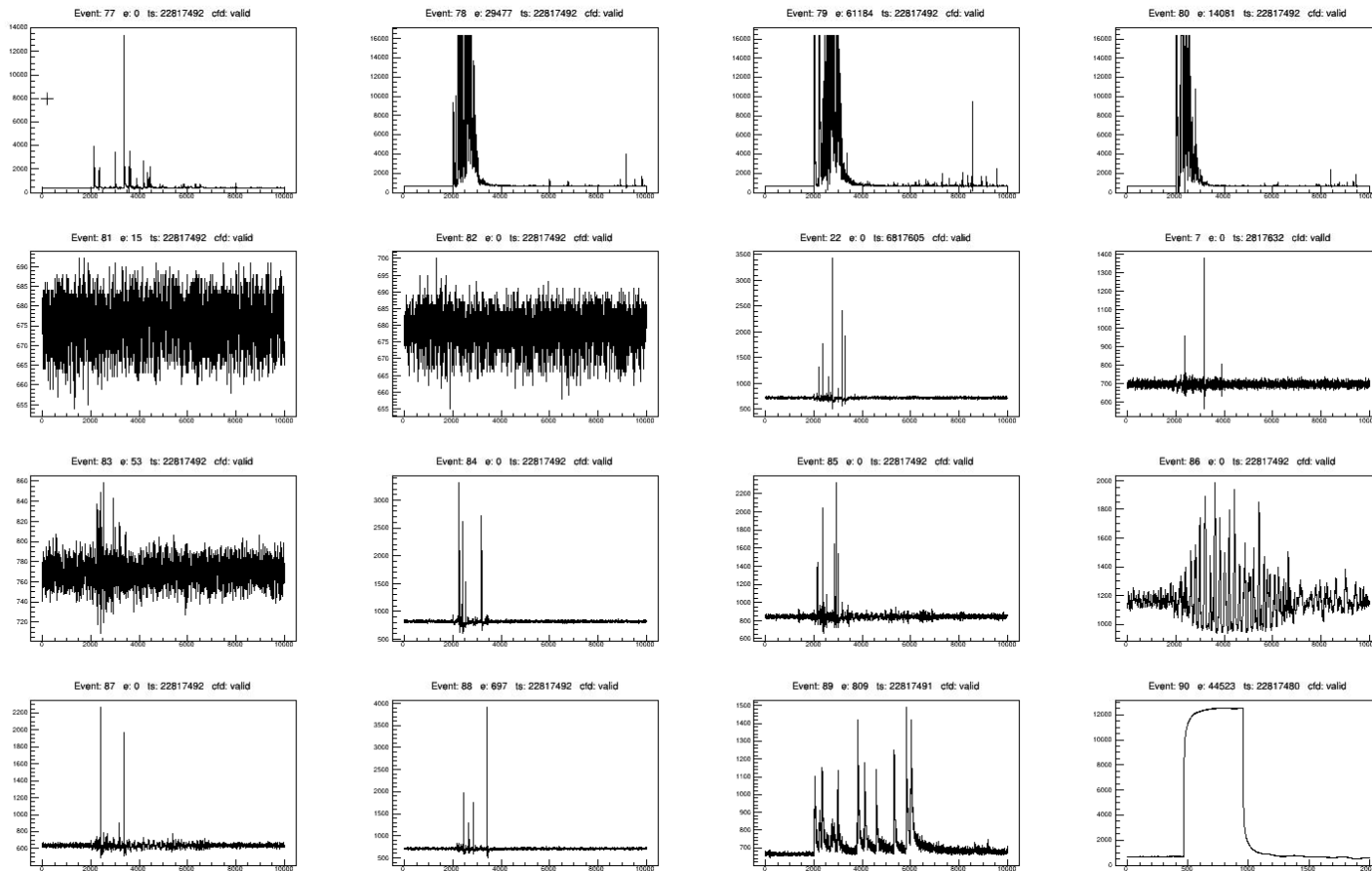


2022年1月的实验

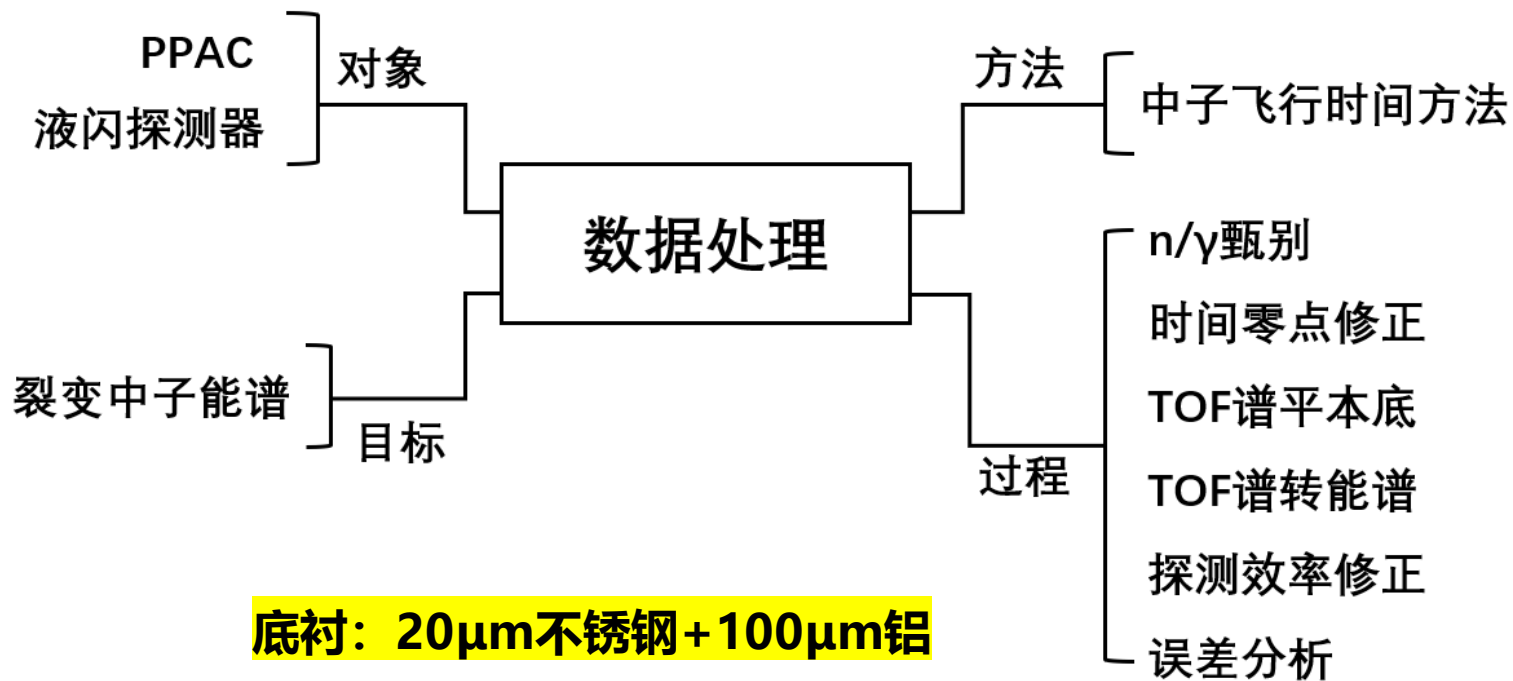
时间	状态
2022/01/18/08: 00——2022/01/19/2: 42	设备安装及调试，到19号凌晨2点没看到有效的PPAC信号；
2022/01/19/8: 30——2022/01/20/00: 00	发现PPAC计数率过小，拆开PPAC找原因未果，装上后发现PPAC漏气，加装一片前挡窗后解决漏气问题，但是PPAC信号还是少得可怜；
2022/01/20/08: 08——2022/01/21/00: 00	挡束，更换PPAC前窗，重新彻底洗气，晚上11点所有探测器工作正常，开始测量无束与在束本底；
2022/01/21/00: 00——2022/01/22/00: 00	测量不同孔径束斑条件下的双飞行时间谱，总体而言 $\phi 50$ 束斑下中子探测器堆积非常严重，而小束斑则PPAC计数率不明显
2022/01/22/00: 00——2022/01/22/09: 33	结束实验。

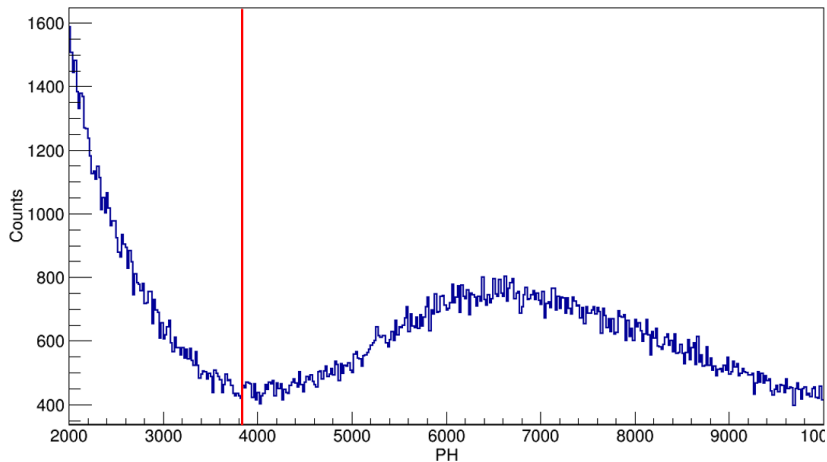


50mm束斑下信号堆积严重

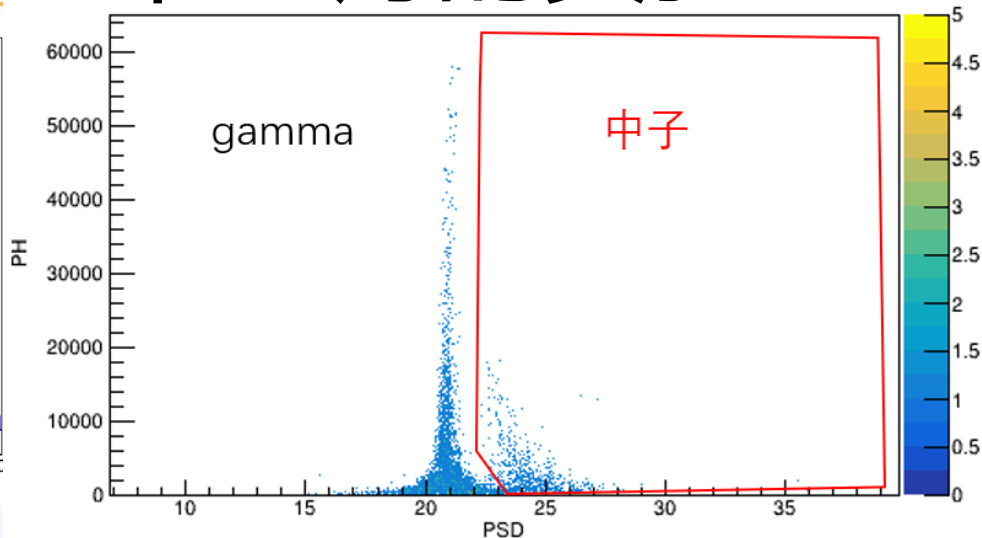


Shutter (mm)	Coll#1 (mm)	Coll#2 (mm)	ES#1 spot (mm)	ES#1 flux (n/cm ² /s)	ES#2 spot (mm)	ES#2 flux (n/cm ² /s)
Φ3	Φ15	Φ40	Φ15	1.27E5	Φ20	4.58E4
Φ12	Φ15	Φ40	Φ20	2.20E6	Φ30	7.81E5
Φ50	Φ50	Φ58	Φ50	4.33E7	Φ60	1.36E7
78×62	76×76	90×90	75×50	5.98E7	90×90	2.18E7

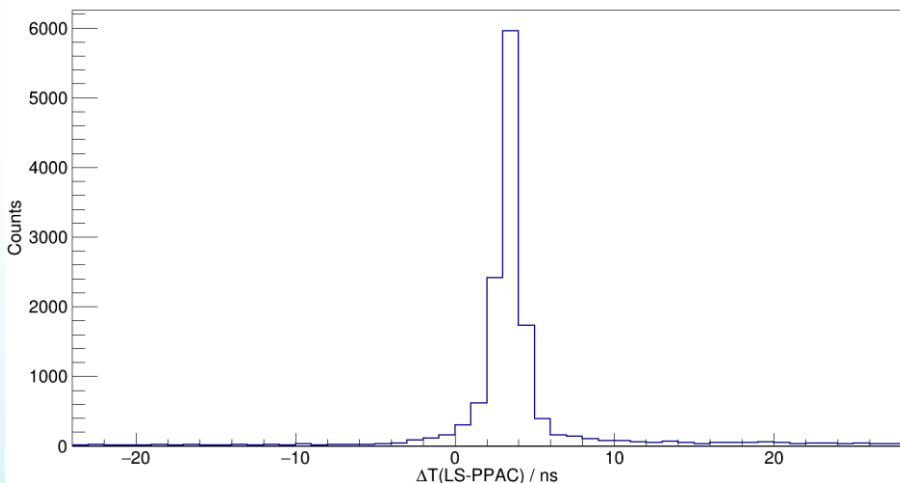




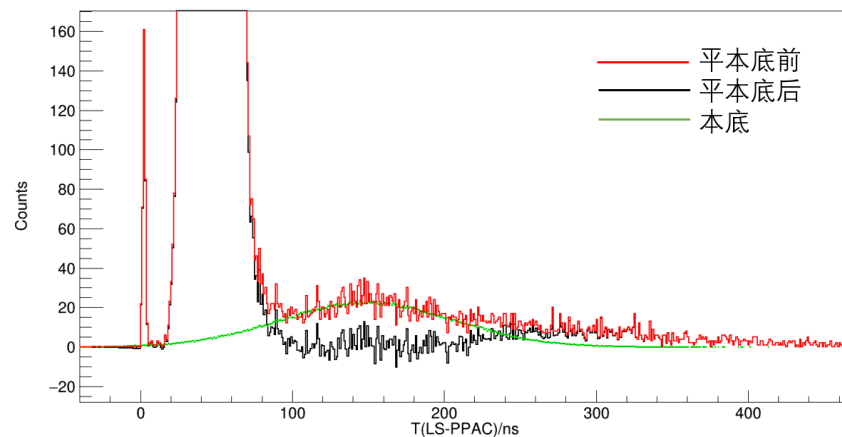
PPAC软件阈（红色线是阈值）



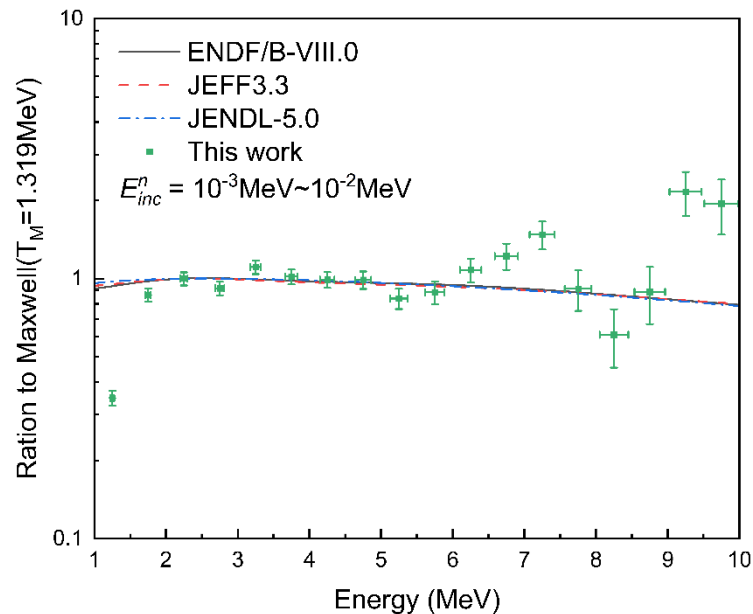
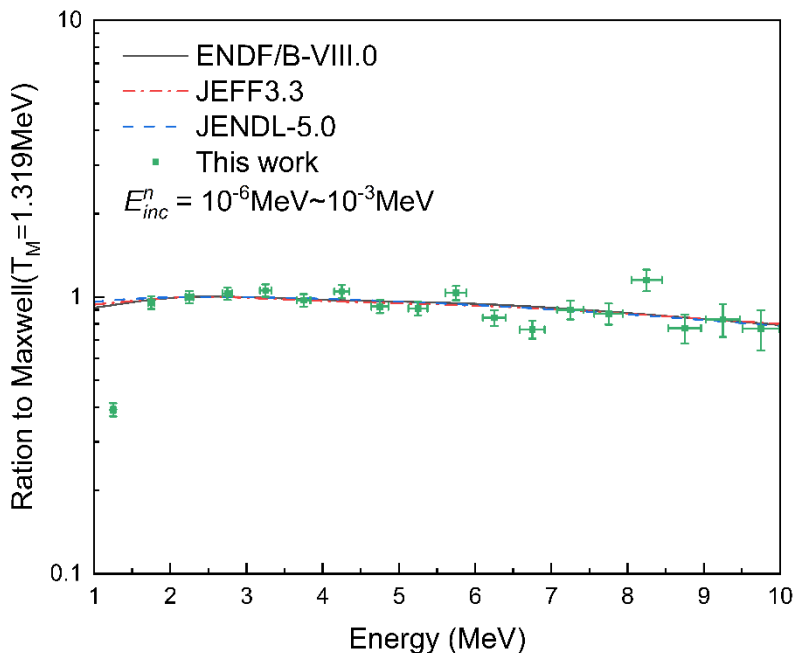
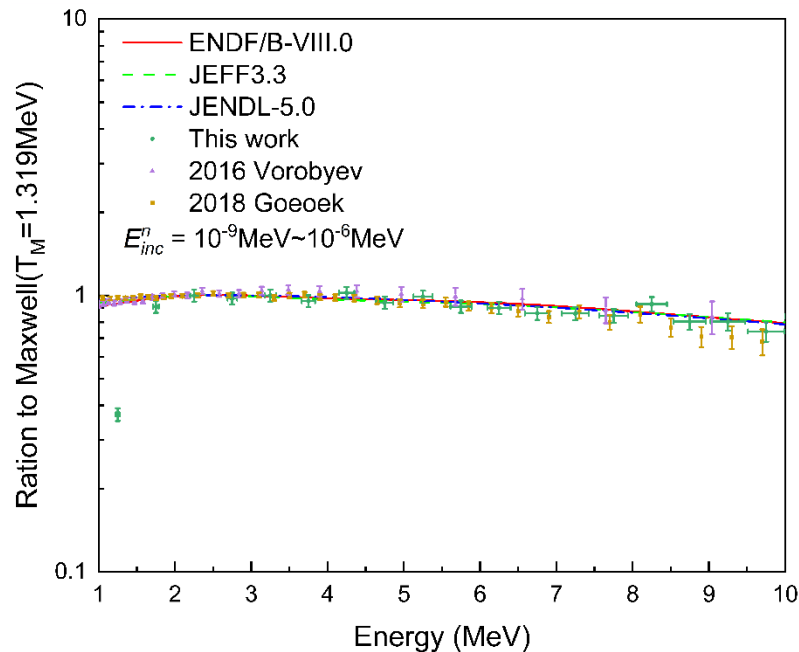
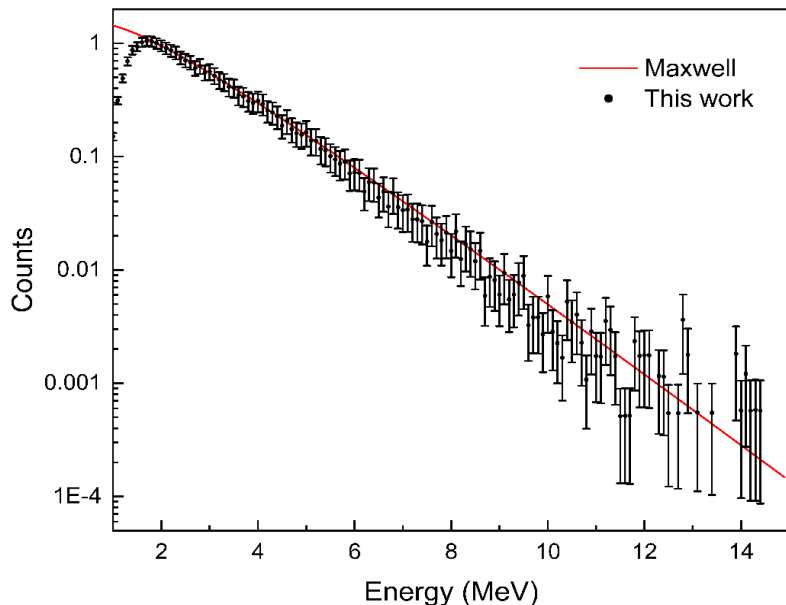
液闪的PSD



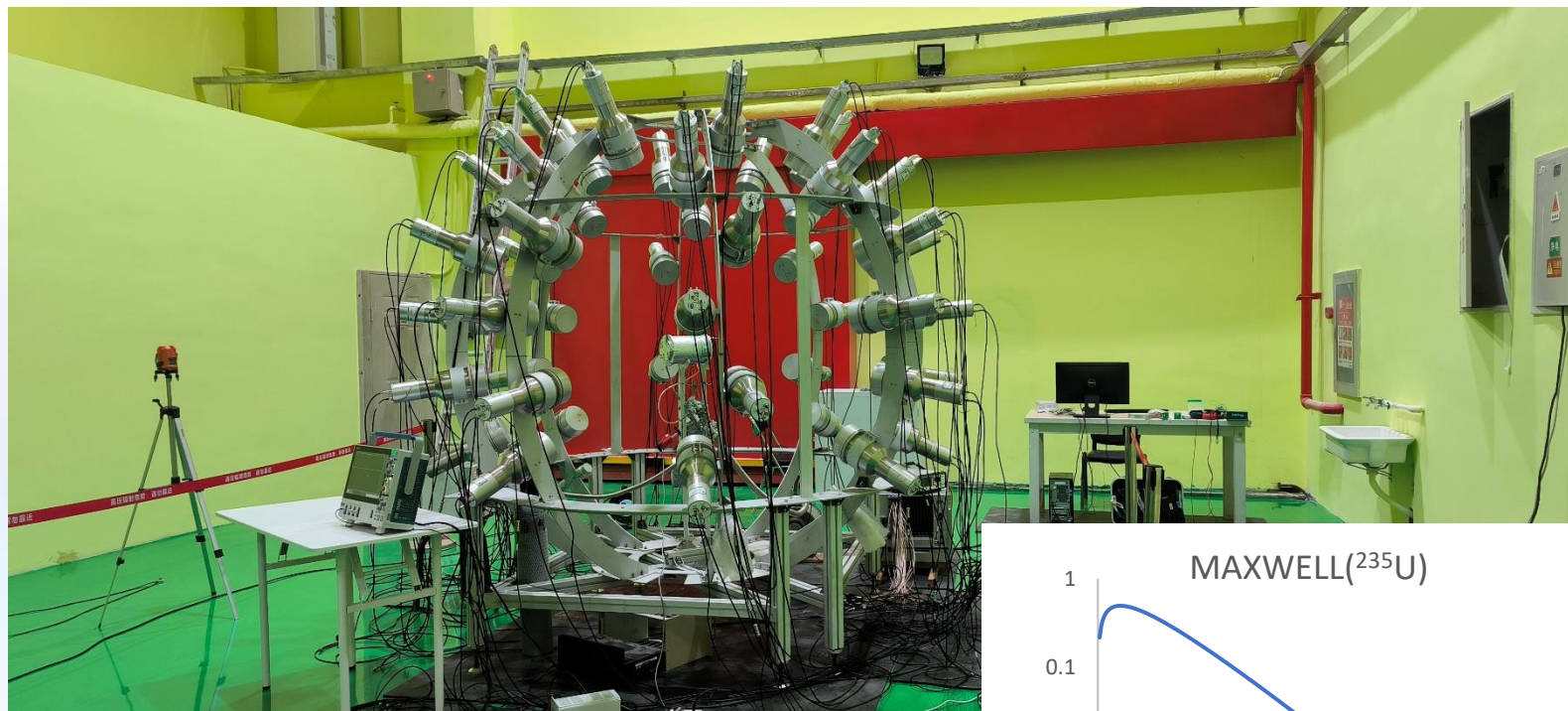
飞行时间谱的时间零点校正



时间谱平本底

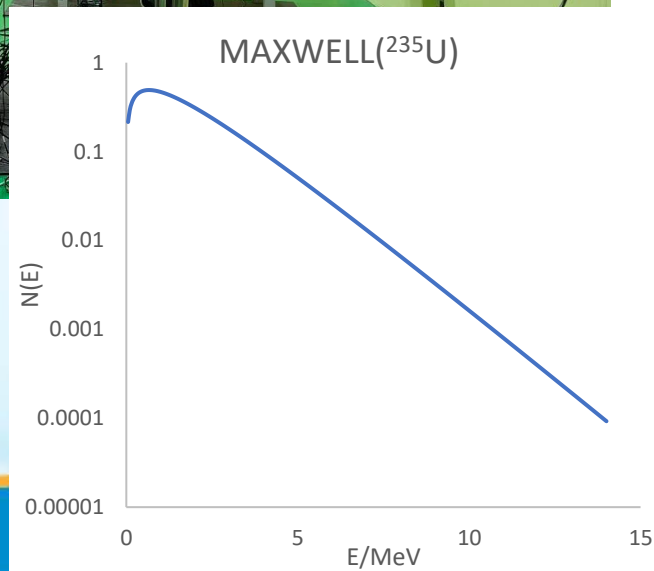


通过测量铀源完成探测器的效率刻度 (黄翰雄, 吴鸿毅, 康梦霄, 张时宇)

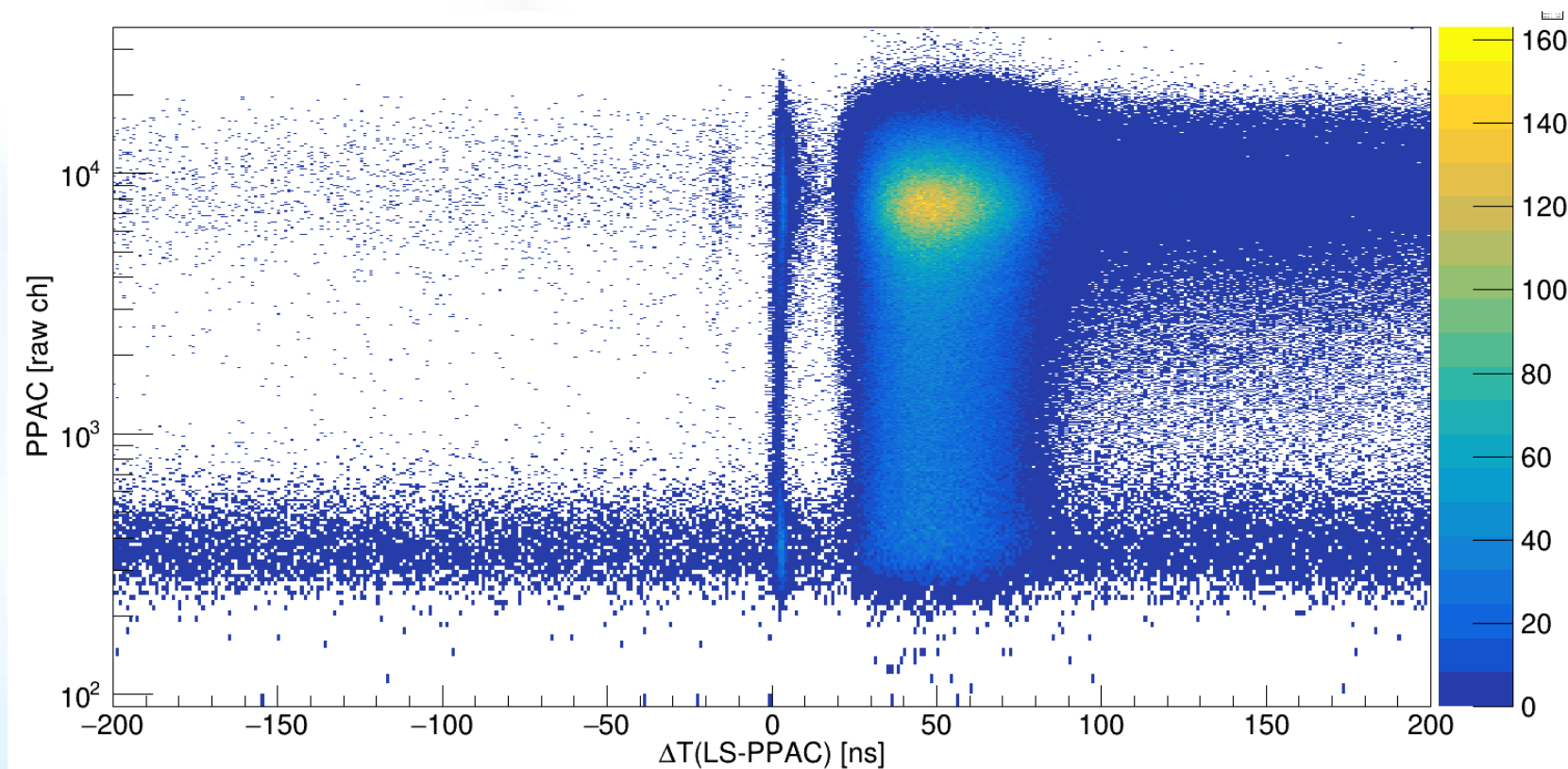


$$N(E) \propto \sqrt{E} \exp(-E/T_M)$$

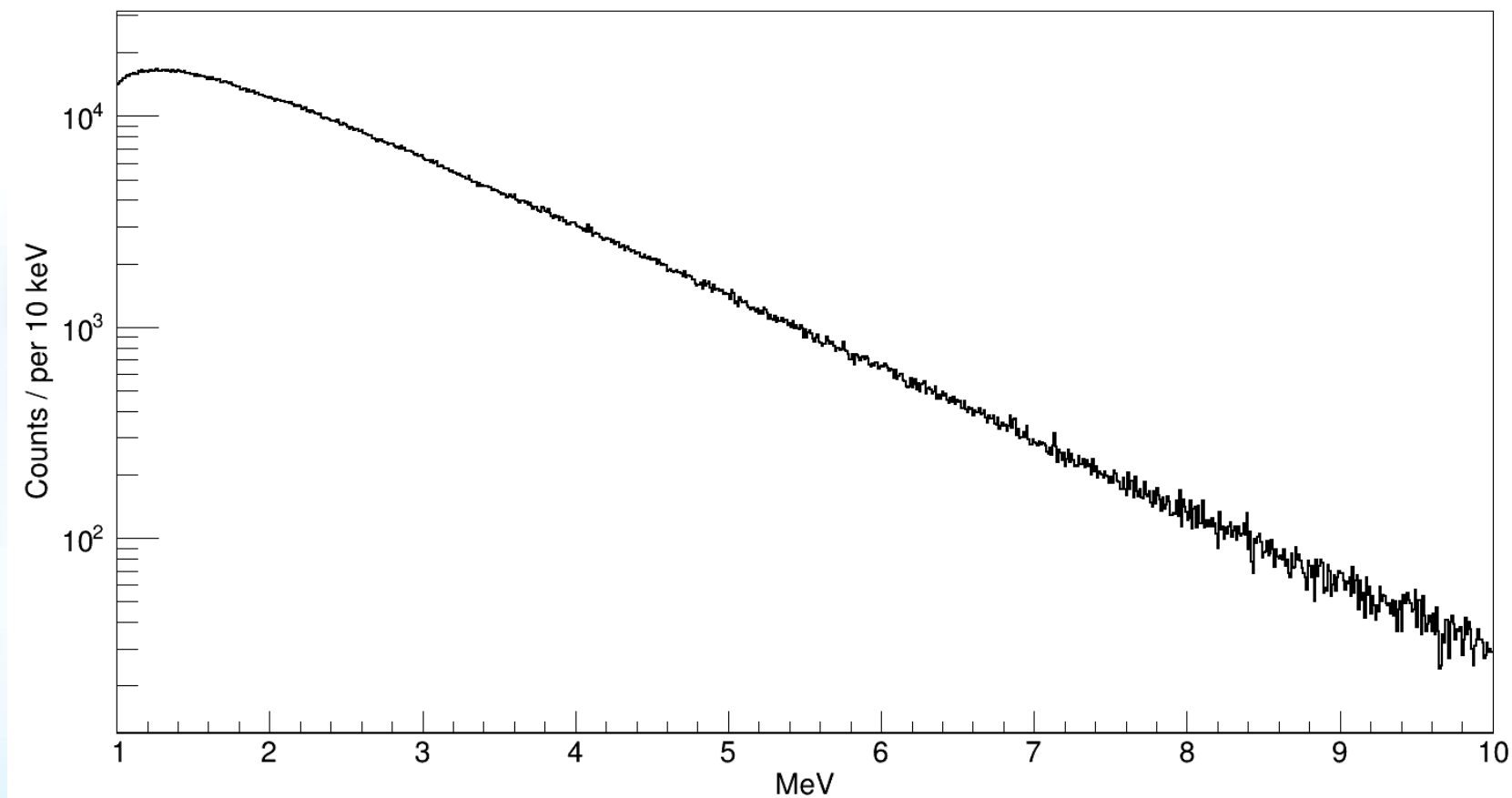
$$\bar{E} = \frac{\int_0^{\infty} EN(E)dE}{\int_0^{\infty} N(E)dE} = \frac{3}{2} T_M$$



PPAC幅度与裂变中子飞行时间二维关联谱 (加PSD后)



14小时钢源的测量能谱





3. 后续工作计划

- 增加探测器，提高统计精度
- 降低本底：支架改进，移走带电粒子靶室、追加薄底衬靶等
- 测量低能出射中子的裂变瞬发中子谱
- 测量其它裂变核素的裂变瞬发中子谱
- 尝试测量出射中子的角分布





感谢 PFNS 小组的辛勤劳作和散裂白光小组的大力支持!

