



核数据重点实验室

PFNS中期检查进展汇报

黄翰雄、阮锡超、任杰

2016年6月



内容概要

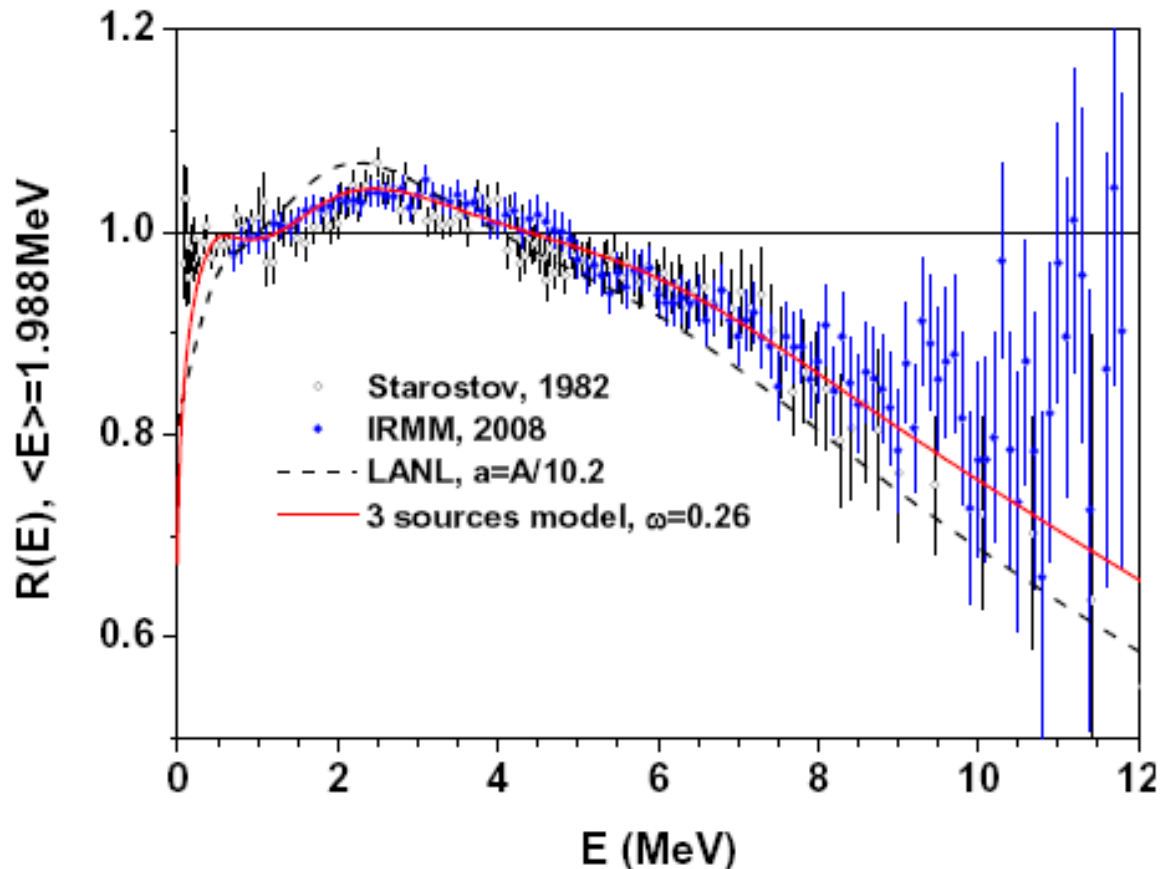
- I. PFNS项目简介
- II. 进展汇报
- III. 后续的工作计划
- IV. 总结



一、裂变瞬发中子谱（PFNS）项目简介

1. 背景介绍：WQ小型化设计需要、新一代反应堆设计需要、理论研究方面的需求
2. 立项依据：由于PFNS高能中子份额少，统计精度差，现有实验数据和理论计算结果存在较大分歧；而在低能区，由于低能中子的干扰，实验与理论也存在较大分歧，需要更高精度的实验数据来检验现有模型。
3. 实验目标：利用CSNS-BNS中子注量率大的优势，测量精确的PFNS数据，澄清现有数据的分歧、为WQ设计、核工程设计及理论研究提供可靠的实验数据，促进裂变物理的研究进展。





< 1 MeV和> 7MeV

实验难点：高能份额很少，难以精确测量



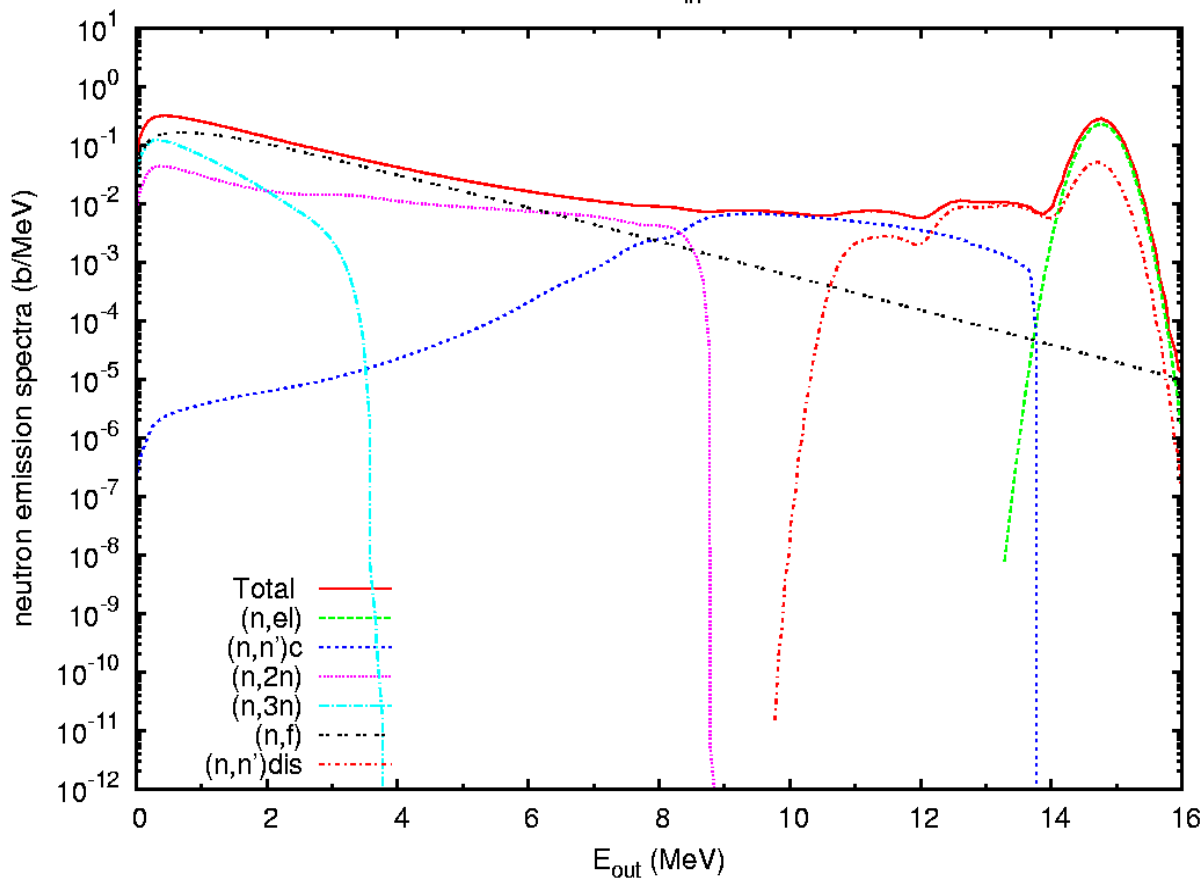
难点

高能中子入射情况:

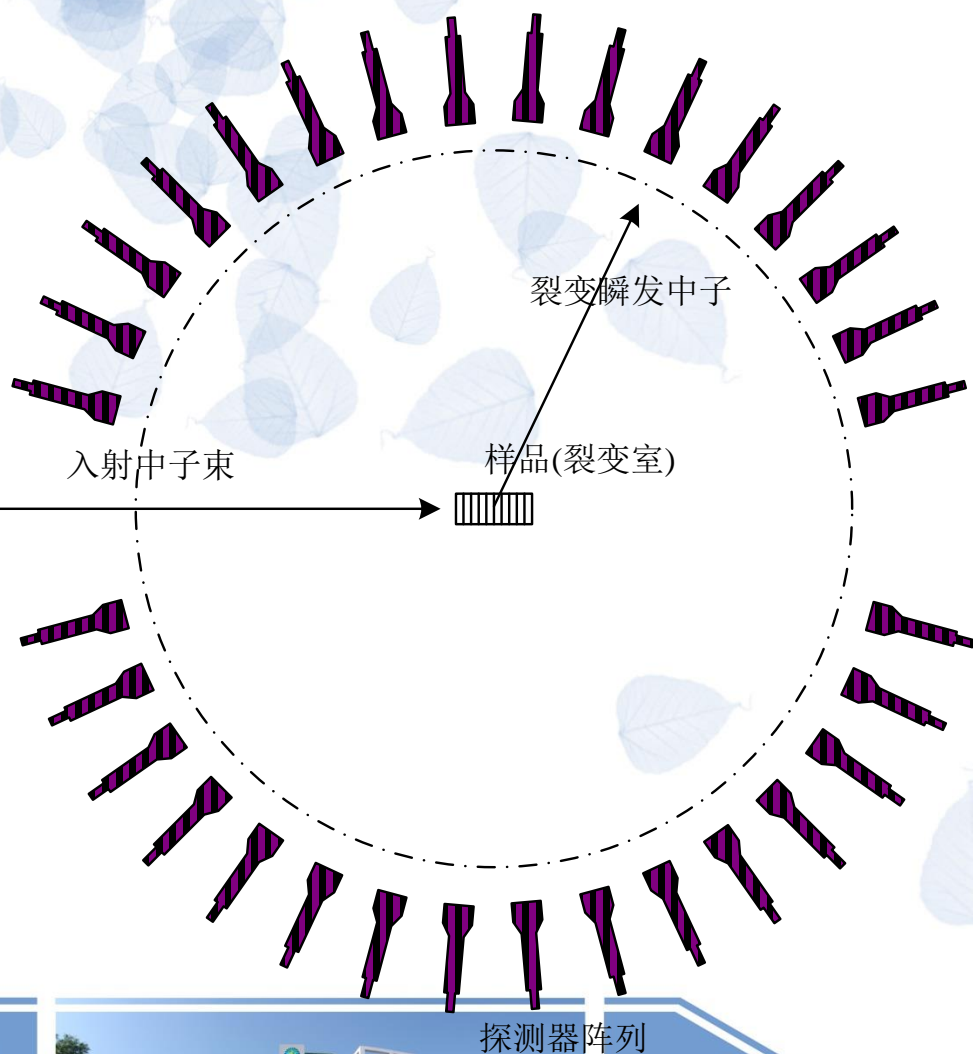
非裂变中子影响严重

既能排除非裂变中子影响，又能提高实验精度是最大的难点！

$n+^{238}\text{U}$ from ENDF/B-VII.0, $E_{in}=14.8$ MeV, by ENDVER



4. 拟采用的实验方案



中子引起裂变核裂变时：

碎片和瞬发中子同时发射出来；

用裂变室标记裂变碎片及裂变时间

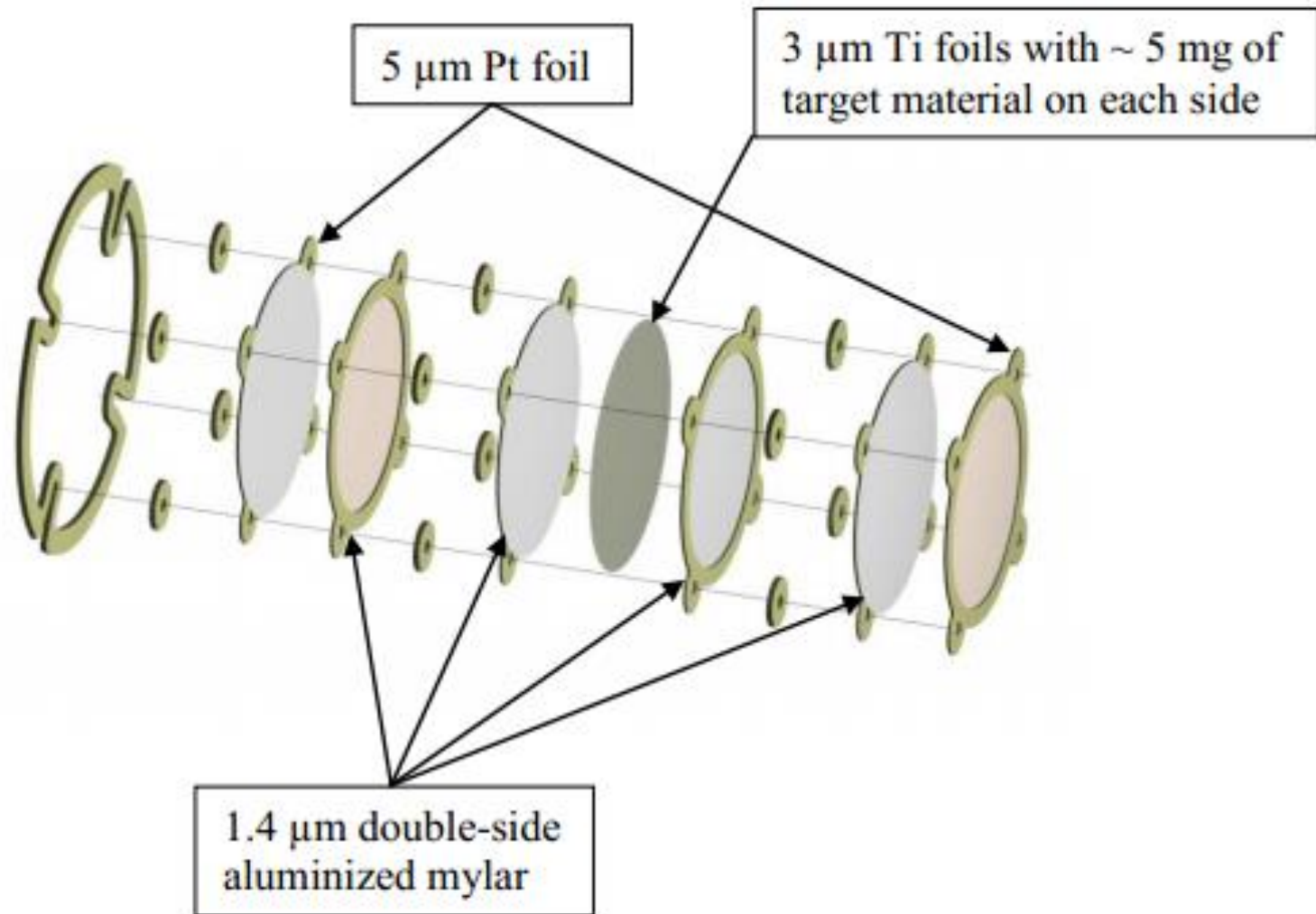
出射的中子及能谱由中子探测器阵列通过飞行时间法探测（出射中子飞行距离1米）

48个液体闪烁体（快中子）

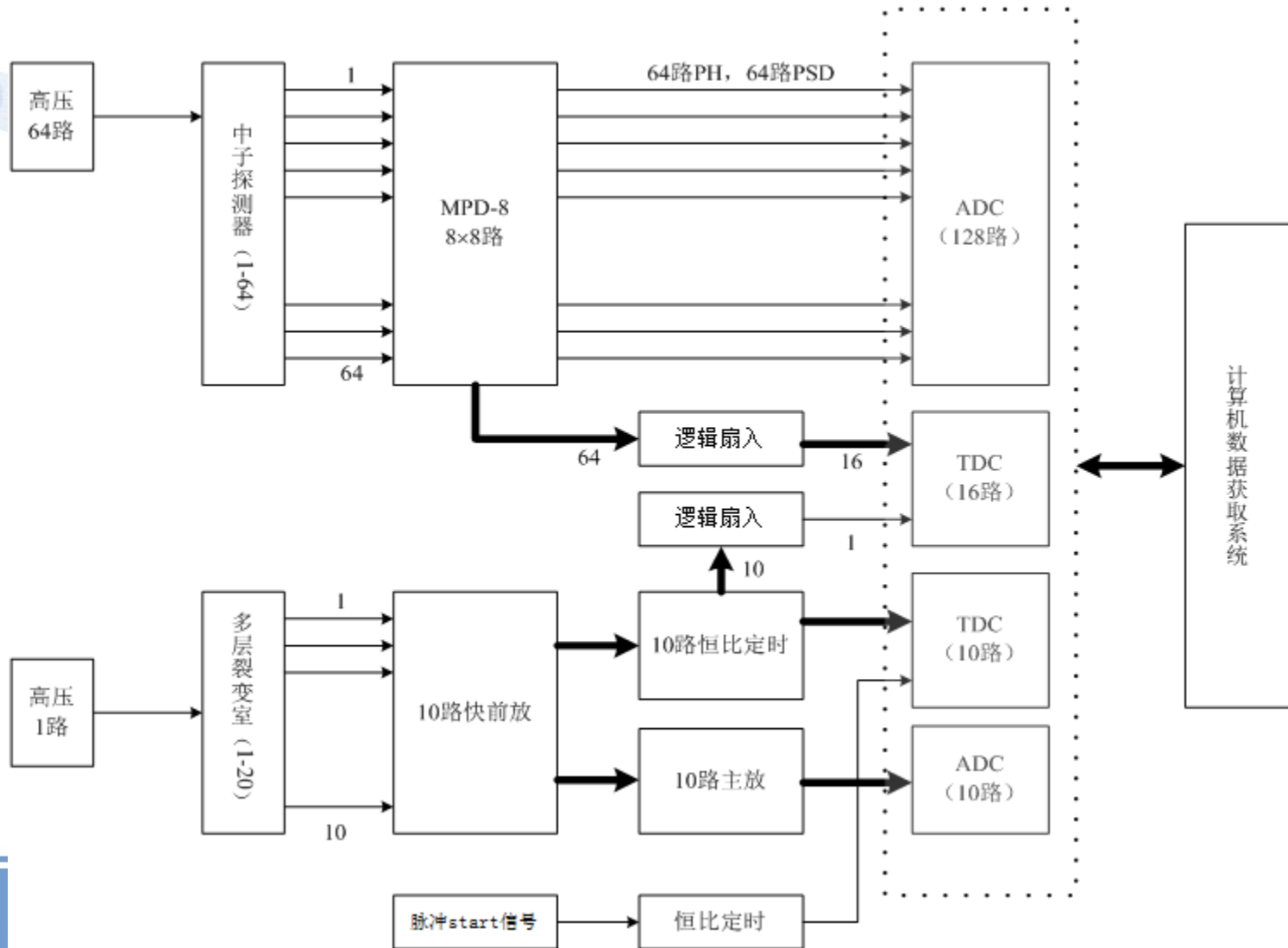
16个 ^6Li 玻璃探测器（1 MeV以下中子）



拟采用的PPAC方案（其中一组裂变片结构图，总共10组）



5. 电子学与数据获取方案



主要指标

- 液闪中子探测器的n/ γ 鉴别能力低于1 MeV，对1-15 MeV中子的探测效率高于10%
- 中子探测器覆盖范围包括前角度和背角（液闪探测器阵列覆盖4.8%的立体角），装置可以尝试测量PFNS出射中子的角度差异
- 多层裂变室可承载的样品量大于100 mg，系统时间分辨好于3 ns



二、进展汇报

(由于经费没有落实, 主要做一些模拟计算及经费较少的测试工作)

1. 完成了 ^{238}U 靶的计数率估算:

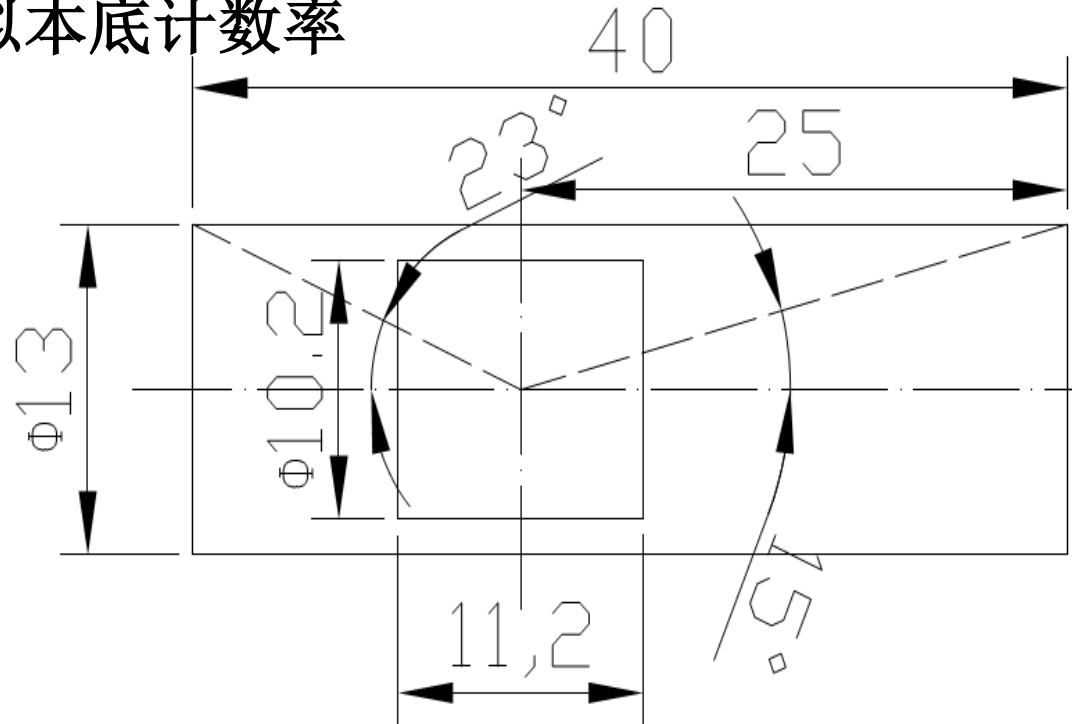
入射中子能量 (MeV)	100h总计数	相对误差 (1m)	相对误差 (1.5m)
1.25-1.5	327596.2464	5.15%	7.73%
1.5-2.0	510709.0352	4.13%	6.19%
2.1-2.5	408117.2131	4.62%	6.92%
2.6-3.0	269105.5928	5.68%	8.53%
3.1-3.5	218745.8424	6.30%	9.46%
3.6-4.0	208725.6371	6.45%	9.68%
4.1-4.5	129492.6391	8.19%	12.29%
4.6-5.0	152068.703	7.56%	11.34%
5.1-5.5	83904.86586	10.18%	15.27%

入射中子能量 (MeV)	100h总计数	相对误差 (1m)	相对误差 (1.5m)
5.6-6.0	105095.2405	9.10%	13.64%
6.1-6.5	76484.83419	10.66%	15.99%
6.6-7.0	70567.73927	11.10%	16.65%
7.1-7.5	69460.63022	11.19%	16.78%
7.6-8.0	43428.62995	14.15%	21.23%
8.1-8.5	62306.63682	11.81%	17.72%
8.6-9.0	39199.53681	14.89%	22.34%
9.1-9.5	38118.41134	15.10%	22.66%
9.6-10.0	48598.03574	13.38%	20.06%



2. Geant4模拟本底计数率

源中子

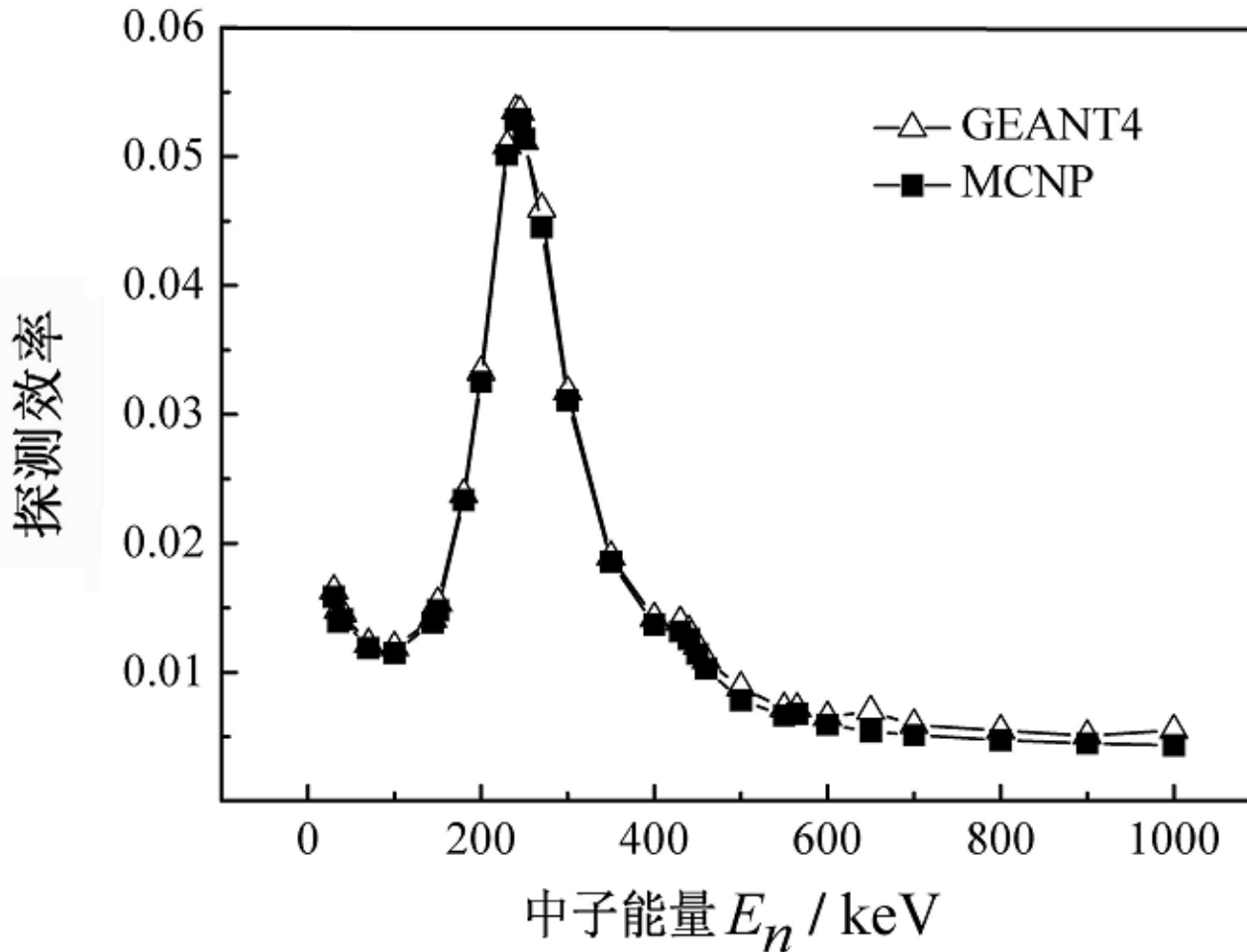


Geant4 模拟的圆柱面探测单元几何

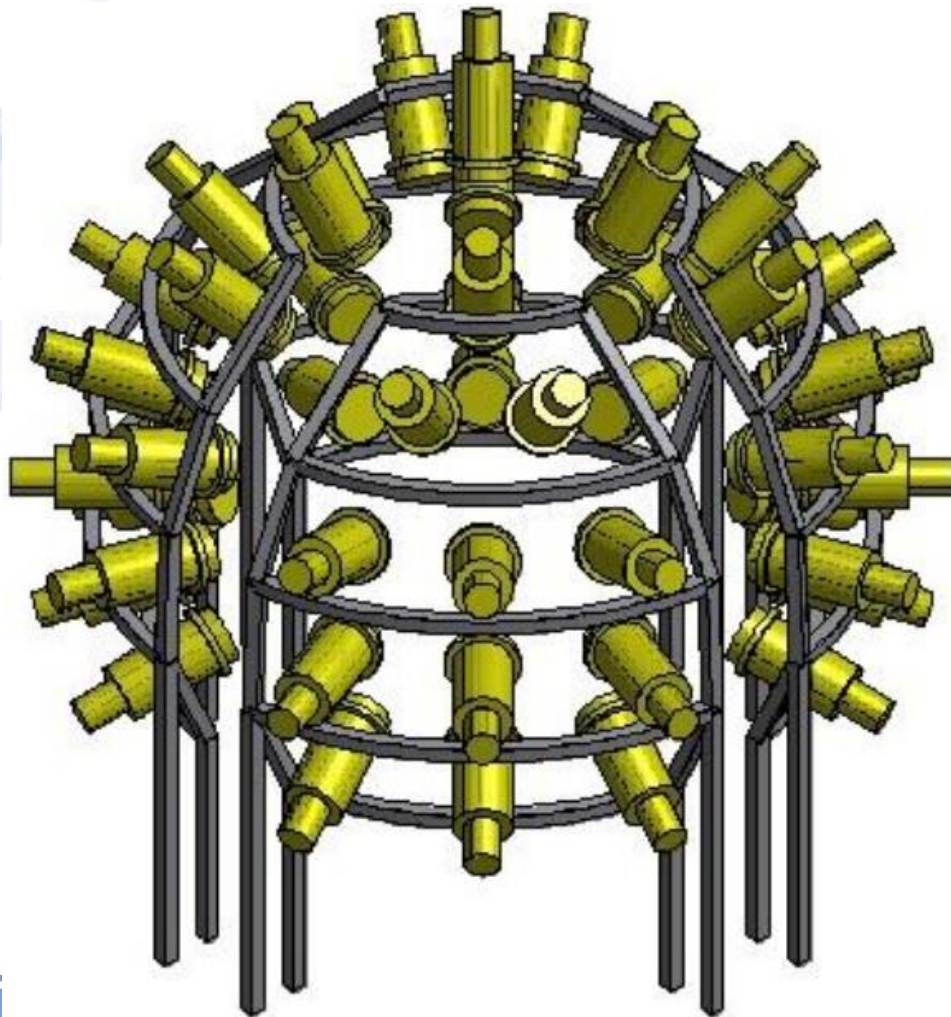
结论：偶然符合事例数约占裂变事例的1.3‰，基本可以忽略不计。



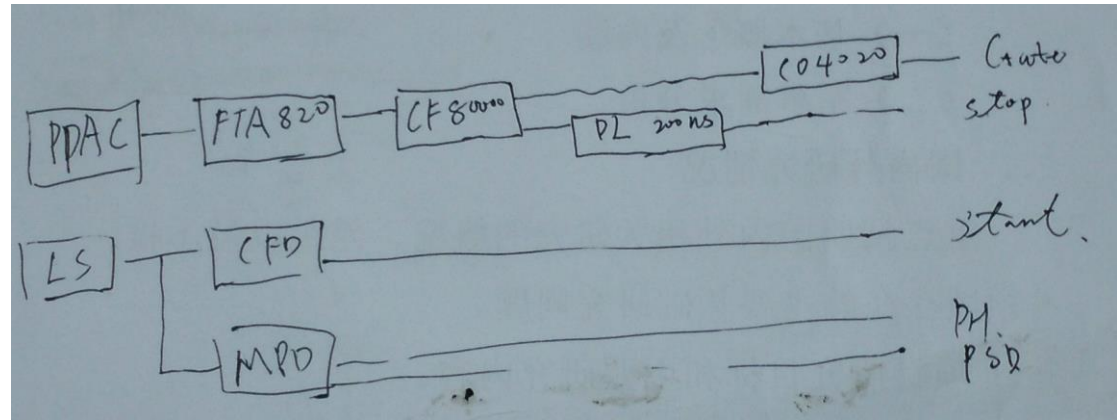
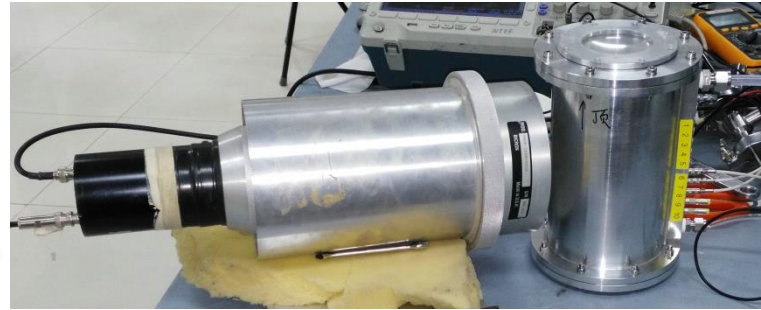
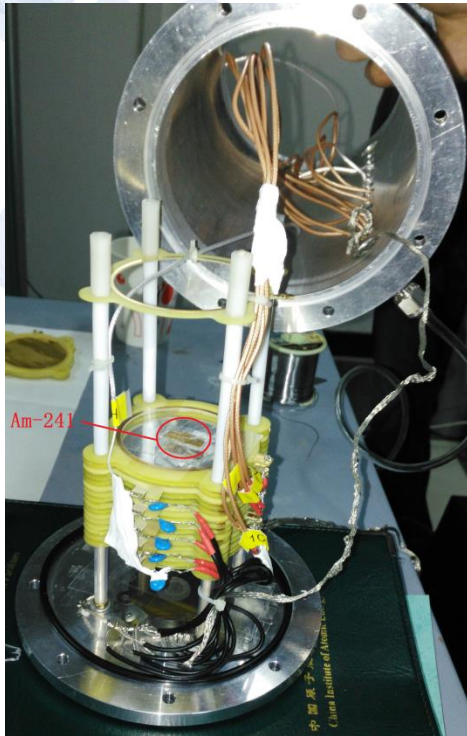
3. 完成了锂玻璃探测器的效率刻度（张奇伟等人）



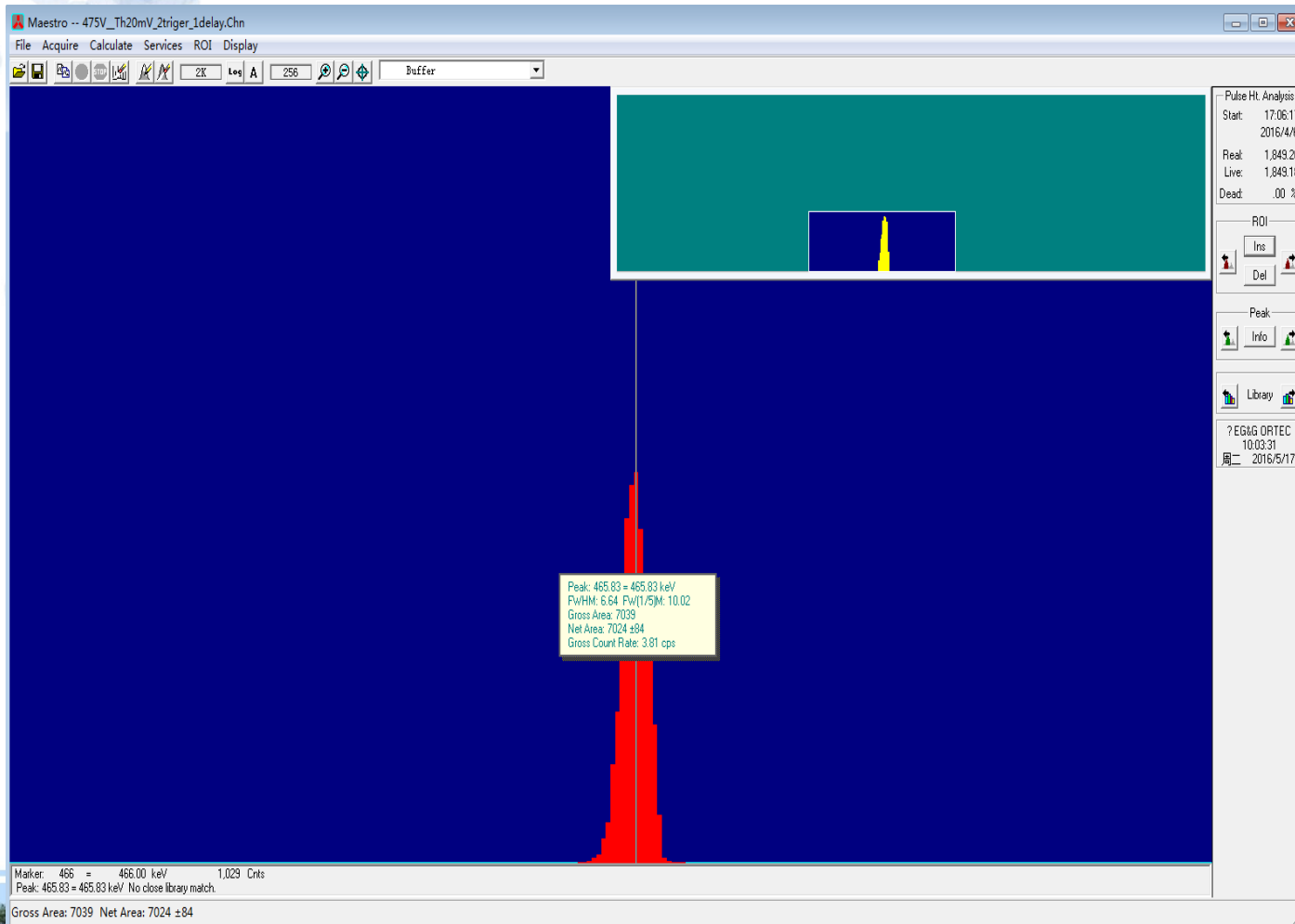
4. 完成了液闪探测器支架设计（高能所）



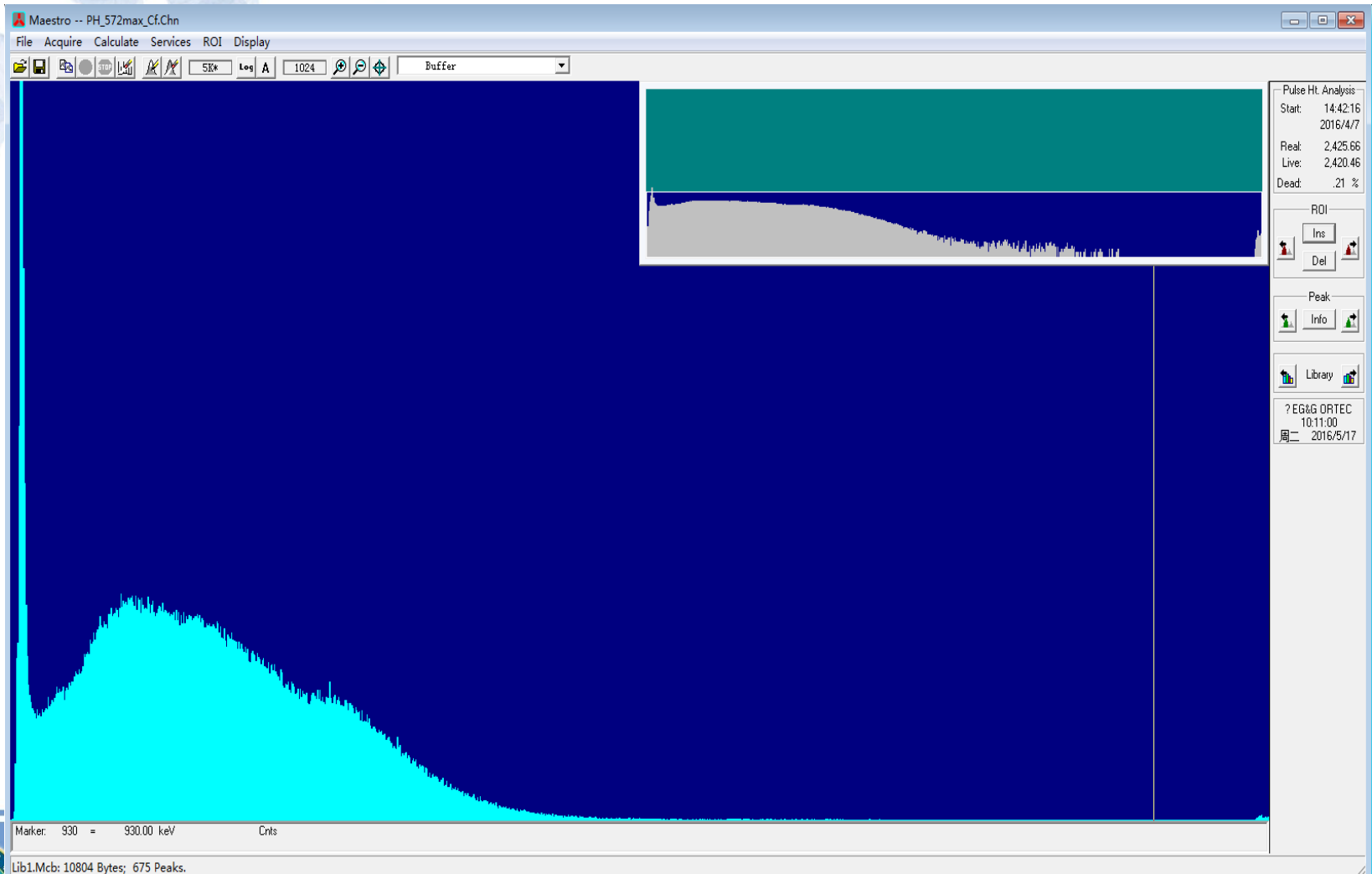
5. 完成了第一个PPAC的测试工作



液闪 (LS) 与PPAC的符合时间分辨: FWHM=3.5ns



PPAC的能量谱：用142B作为前放，没能将碎片和alpha信号区分开。由于真空泵性能下降很厉害，不能做更细条件的摸索，等更换真空泵后再尝试测量。或者有其他什么建议？



LS-PPAC的符合时间分辨为3.5ns，对10MeV的裂变瞬发中子谱来说，其能量不确定度大于3MeV，不能达到PFNS实验的要求，还需要进一步改进。时间分辨的目标应该好于1ns，这样在10MeV附近，出射的瞬发裂变中子能量不确定度才能好于1MeV。

出射中子能量 (MeV)	TOF_1米 (ns)	TOF_1.5米 (ns)
0.001	2286	3429
0.01	723	1084
0.1	229	343
1	72	109
2	51	77
3	42	63
4	36	54
5	32	49
6	30	44

出射中子能量 (MeV)	TOF_1米 (ns)	TOF_1.5米 (ns)
7	27	41
8	26	39
9	24.3	36
10	23.0	35
11	22.0	33
12	21.1	32
13	20.6	30
14	19.5	29
15	18.9	28



三. 后续的工作计划

(改进PPAC的时间分辨和能量分辨)

1. 工作气体（异丁烷，目前纯度为99.9%）的纯度对实验结果影响很大，需要购置更高纯度（99.99%）的工作气体。
2. 异丁烷属于有机气体，真空泵油会吸附异丁烷气体，导致真空泵性能下降，需要更换干泵。
3. 改进电子学或者PPAC的气压，找到合适的条件将碎片和alpha粒子在能谱上区分开来。
4. PPAC的体积可以先增大，摸索到合适的条件再考虑小型化的问题。



四. 总结

总体来说，PFNS的关键点和难点在快电离室。

PPAC原型已经作了初步测试，时间分辨和能量分辨仍有待提高。

经费到位后，确保能得到有意义的物理结果。

计划表：

2016年底完成PPAC离线测试

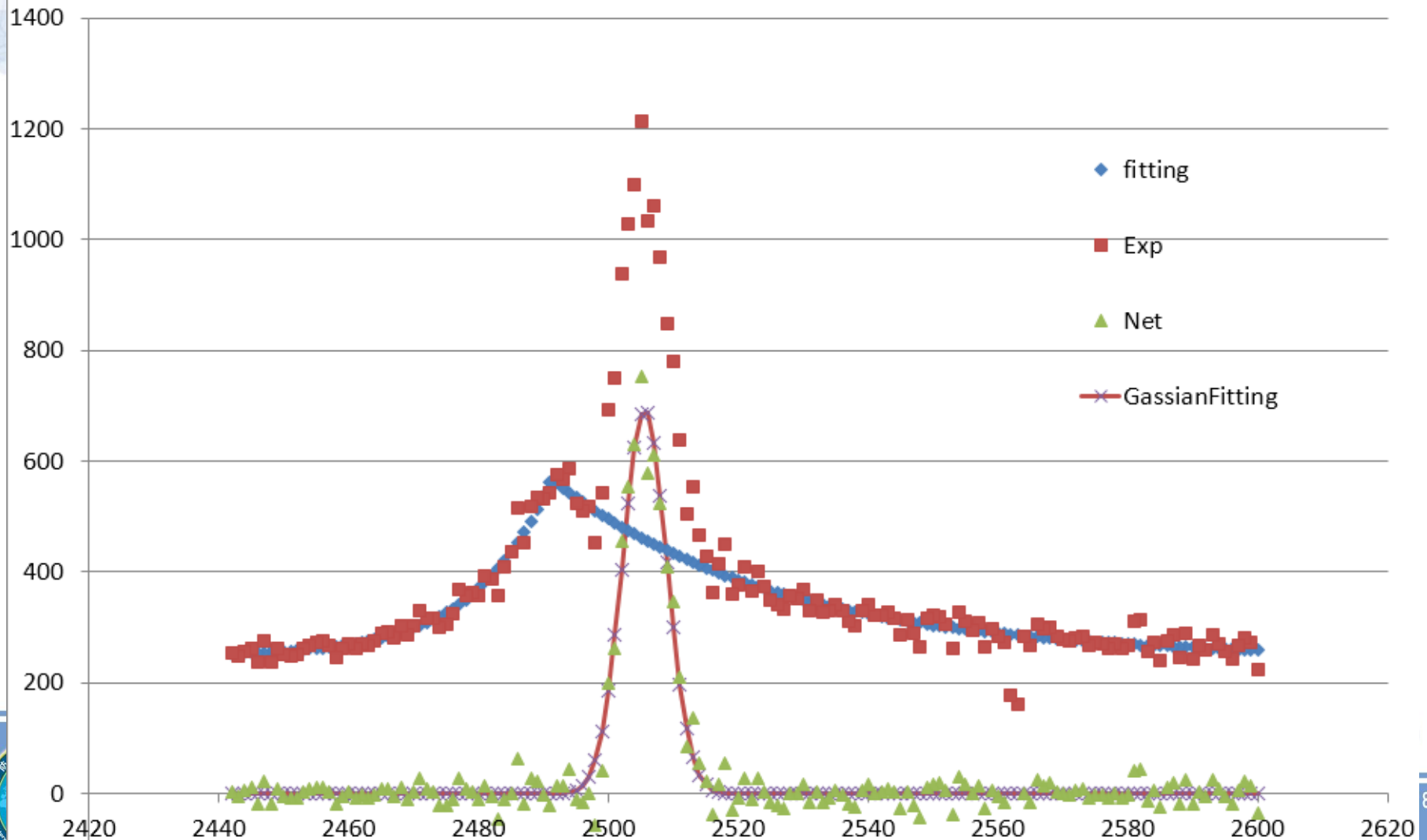
2017年底完成PPAC改进工作，并在原子能院进行束测试工作



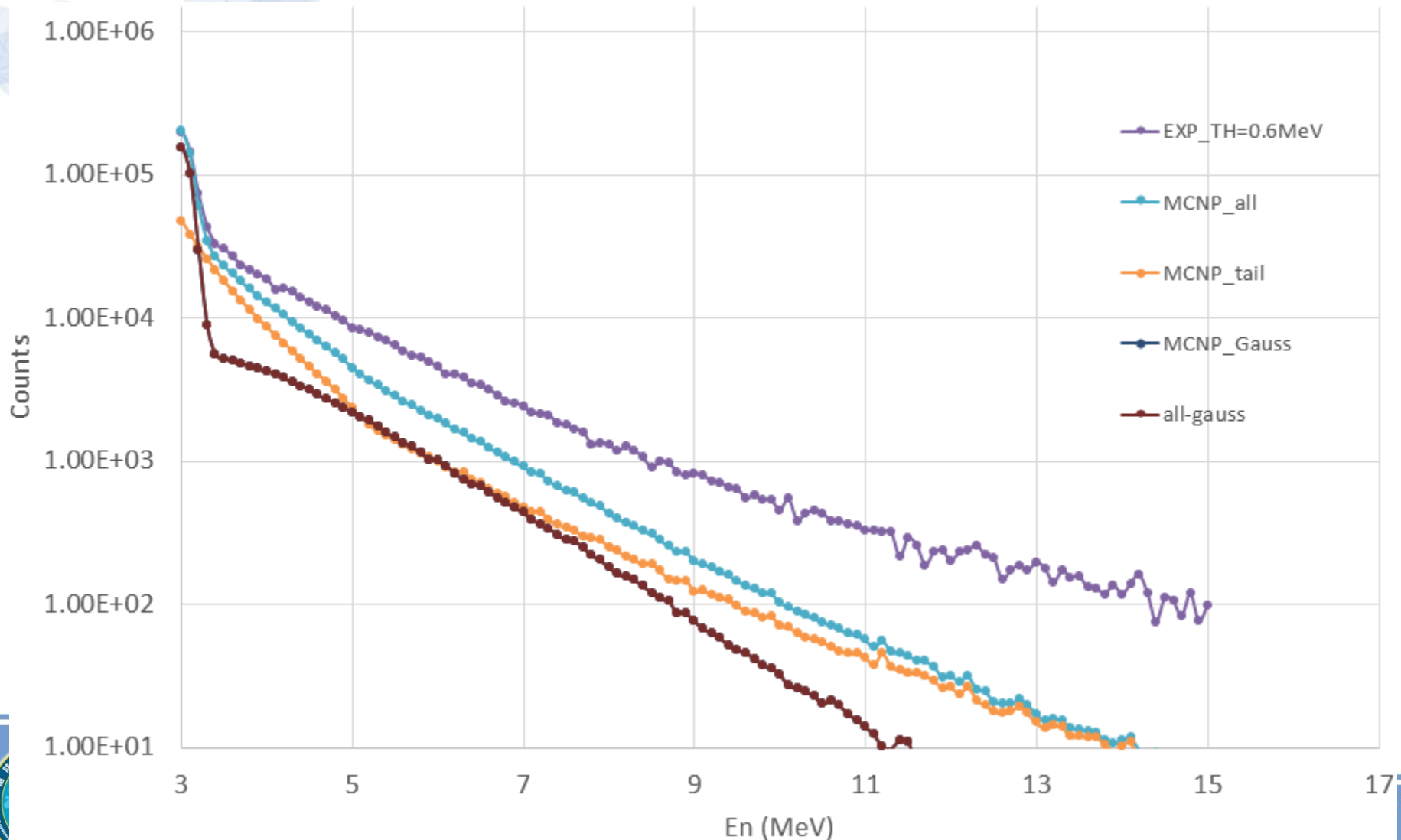
谢谢！
请指正和补充！



倍加器束流的时间结构

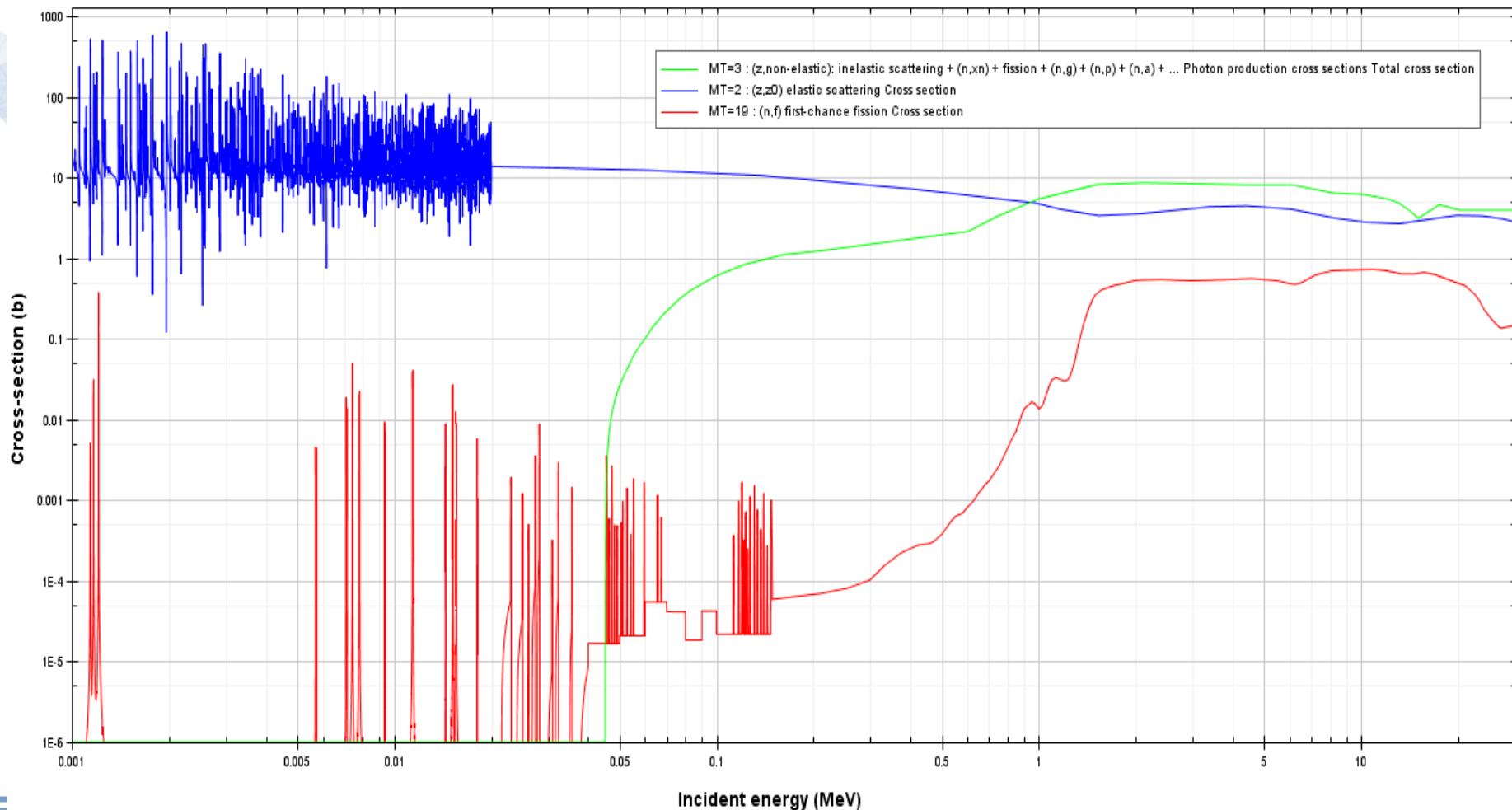


MCNP拟合结果与测量结果的比较



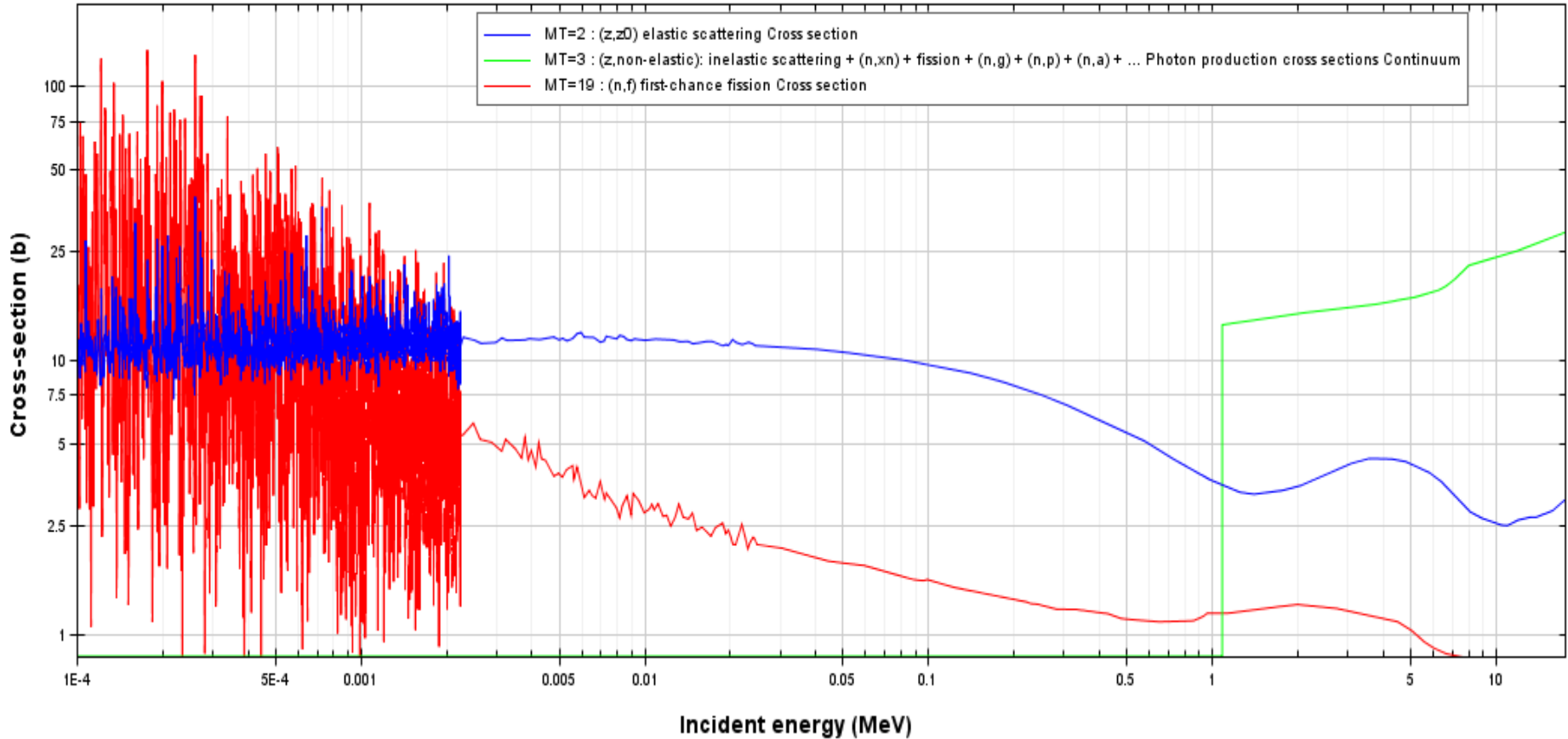
附录： 1. 中子诱发 ^{238}U 反应截面：

Incident neutron data / ENDF/B-VII.1 / U238 //



2. 中子诱发 ^{235}U 反应截面:

Incident neutron data / ENDF/B-VII.1 / U235 //



源中子飞行时间（55米）：

入射中子能量 (MeV)	TOF	
0.5	5626	ns
0.8	4449	ns
1	3980	ns
2	2816	ns
3	2301	ns
4	1995	ns
5	1785	ns
6	1631	ns
7	1511	ns

入射中子能量 (MeV)	TOF	
10	1267	ns
11	1209	ns
12	1159	ns
13	1114	ns
14	1075	ns
15	1039	ns
16	1007	ns
17	977	ns
20	903	ns



出射中子飞行时间（飞行距离**1米**和**1.5米**的比较）：

出射中子能量 (MeV)	TOF_1米 (ns)	TOF_1.5米 (ns)
0.001	2286	3429
0.01	723	1084
0.1	229	343
1	72	109
2	51	77
3	42	63
4	36	54
5	32	49
6	30	44

出射中子能量 (MeV)	TOF_1米 (ns)	TOF_1.5米 (ns)
7	27	41
8	26	39
9	24	36
10	23	35
11	22	33
12	21	32
13	20	30
14	20	29
15	19	28

