

微型液闪探测器的性能研究

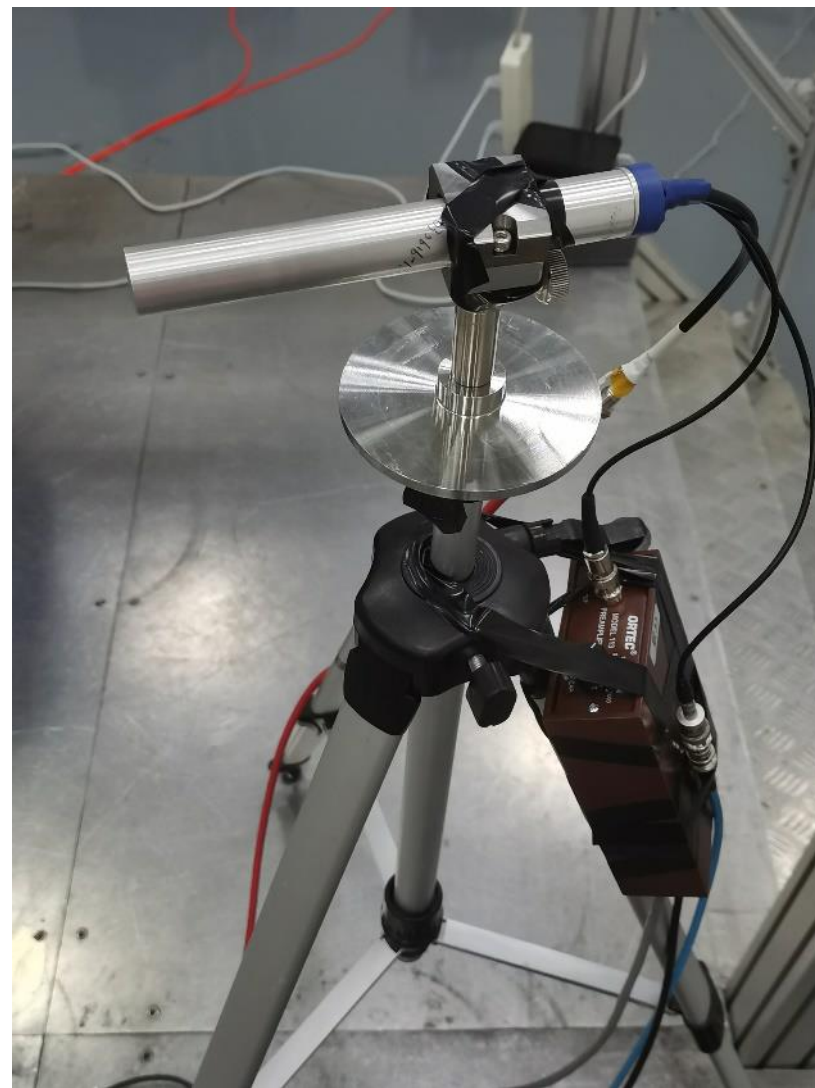


核物理与化学研究所
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS AND CHEMISTRY

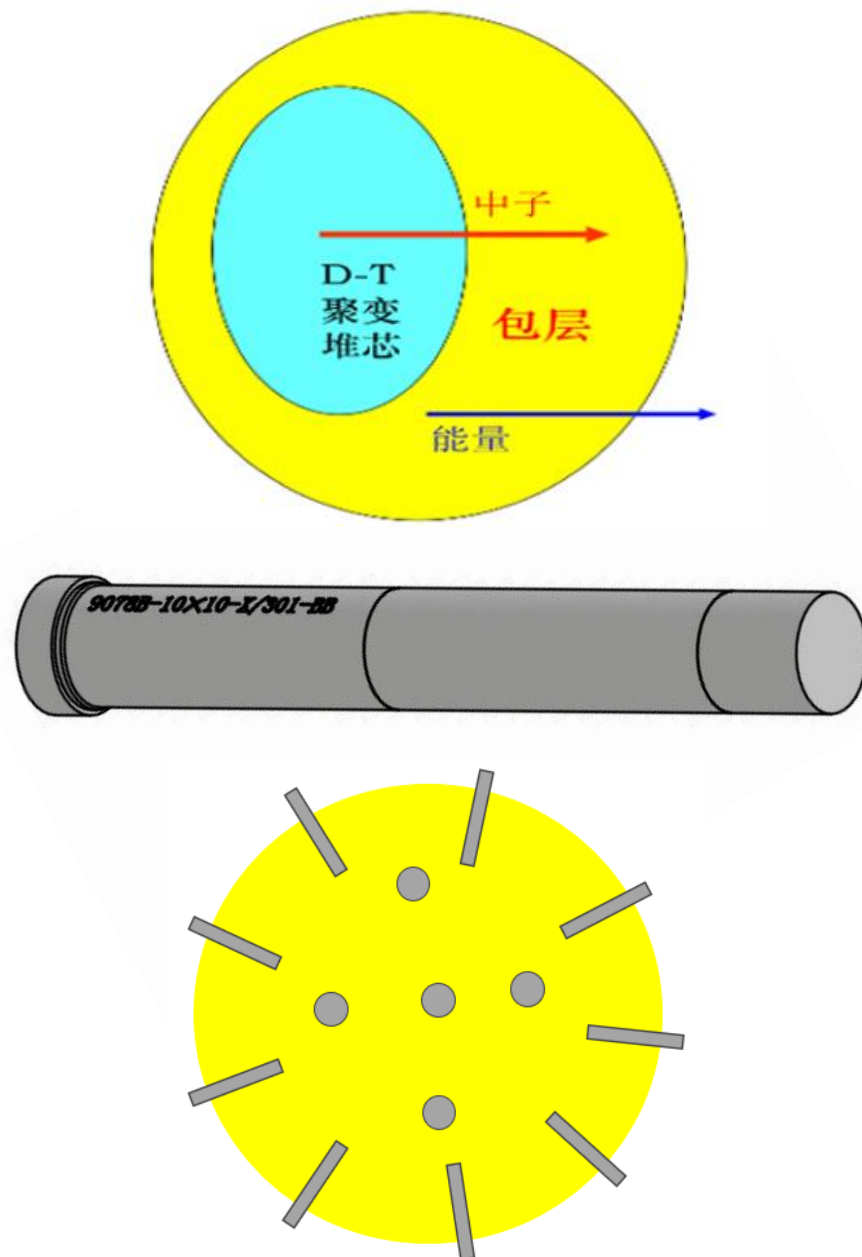
报告人：张翔宇 指导老师：朱通华

目录

- 01 研究背景与现状
- 02 微型液闪探测器简介
- 03 主要性能测试及结果
- 04 总结与改进方向

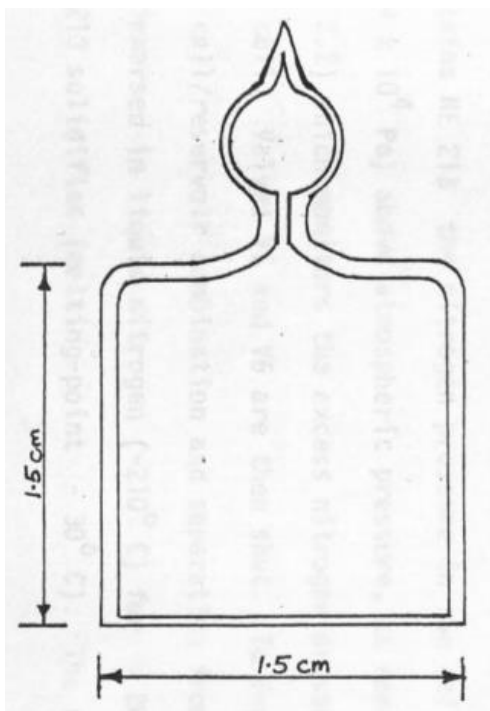


- 1. 对聚变堆**模块内部**的中子谱需要进行比较确切的测量
- 2. 已有测量的方法：
 - (1) 箔活化法
 - (2) 飞行时间法
- 3. 选择在模块中**插入液闪探测器**来测量模块中的中子能谱
- 4. 为了降低插入探测器对中子场产生的扰动，探测器需要做到**微型化**



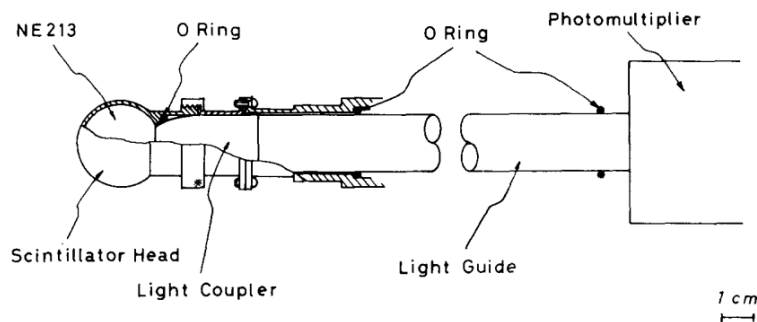
- 1. 伯明翰大学物理系

- $\Phi=15\text{mm}$ $H=15\text{mm}$



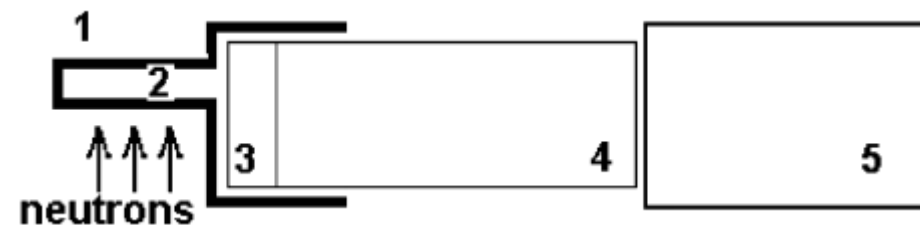
- 2. 东京工业大学核反应堆研究实验室

- $\Phi=25\text{mm}$



- 3. 查尔斯大学粒子与核物理研究所

- $18 \times 26 \times 8 \text{ mm}^3$



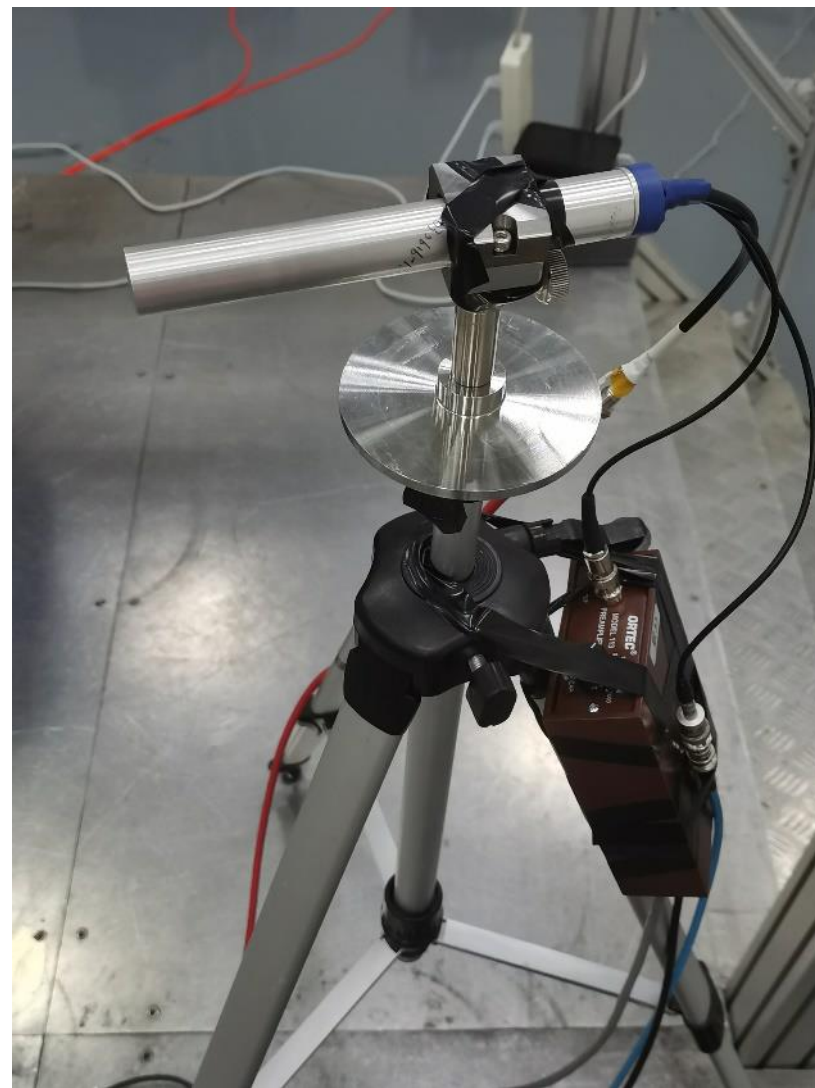
目录

01 研究背景与现状

02 微型液闪探测器简介

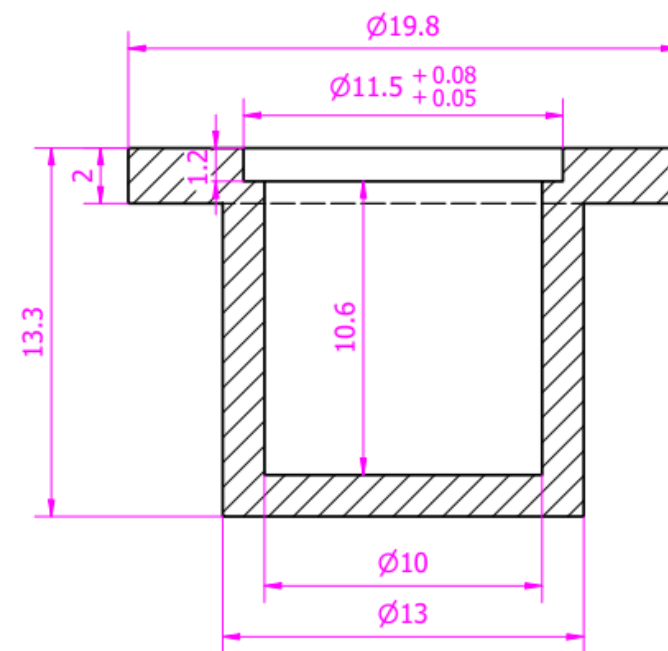
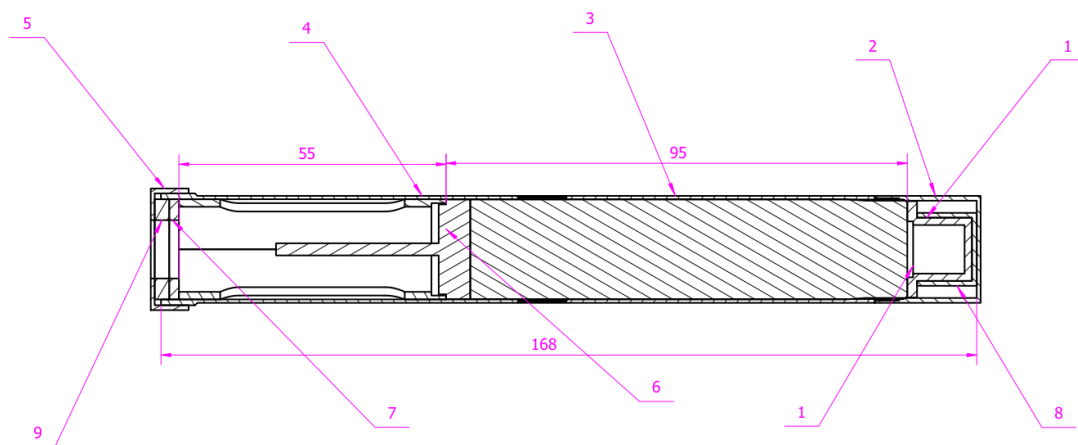
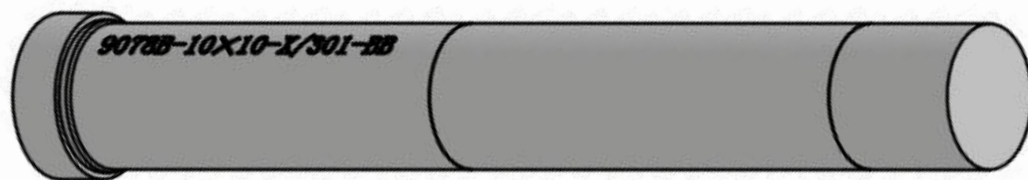
03 主要性能测试及结果

04 总结与改进方向



探头

1. 探测器**自主设计**，探头**体积小**， $\Phi = 10\text{mm}$, $H=10\text{mm}$ ，中子场扰动小。
2. 工艺控制要考虑到容器和液闪的热胀冷缩，避免泄露和氧污染。
3. 漏液对液闪探测器的 $n-\gamma$ 甄别能力以及能量分辨率都有较大影响。



微型液闪探测器简介



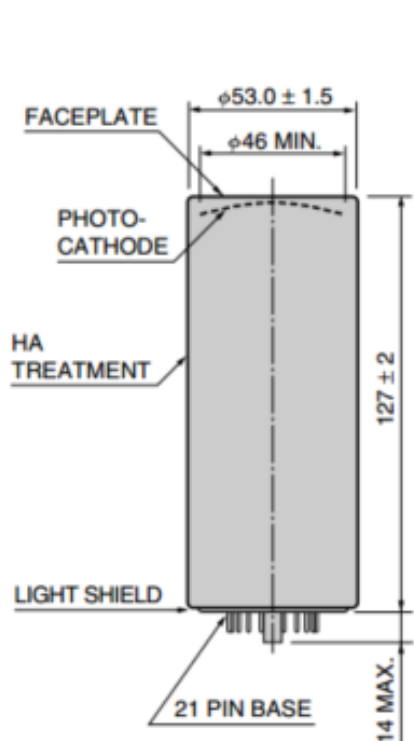
核物理与化学研究所
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS AND CHEMISTRY

PMT

1. PMT体积小，中子场扰动小
2. PMT的增益偏小（比大尺寸的PMT增益偏低37.5%）

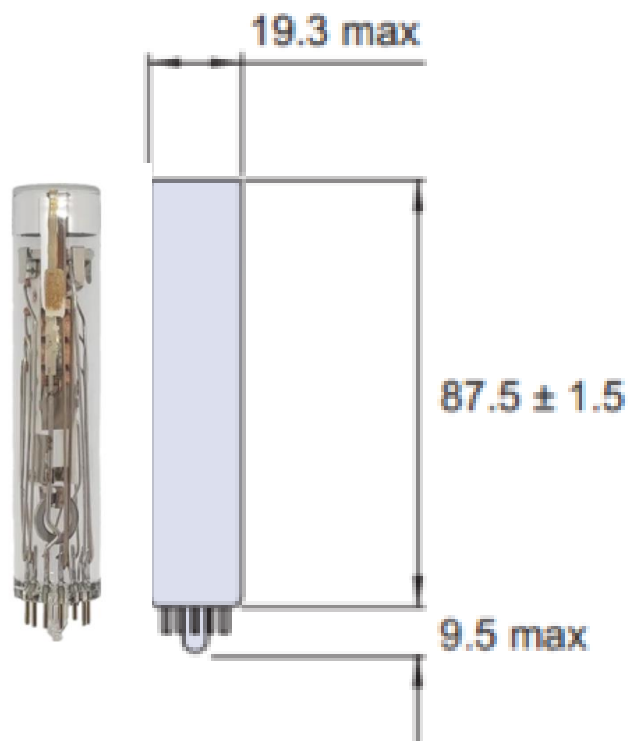
分压电路

1. 分压电路体积小，中子场扰动小
2. **自主设计**，并且要兼顾n- γ 甄别能力以及幅度线性



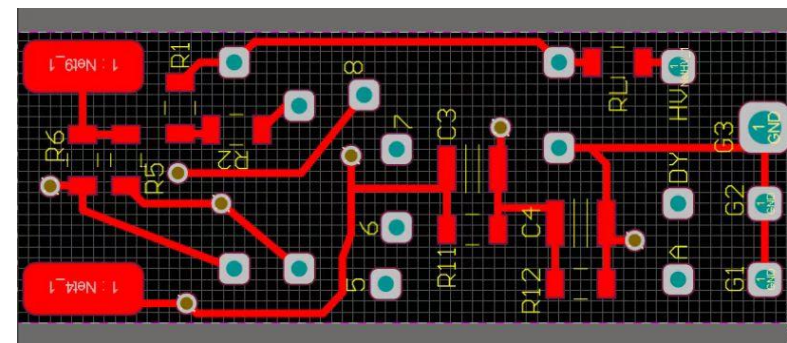
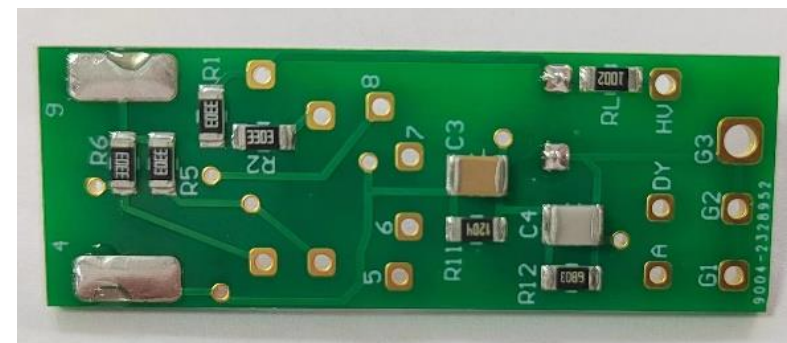
R329-02

增益: 1.1×10^6



9078B Series Photomultiplier

增益: 0.8×10^6



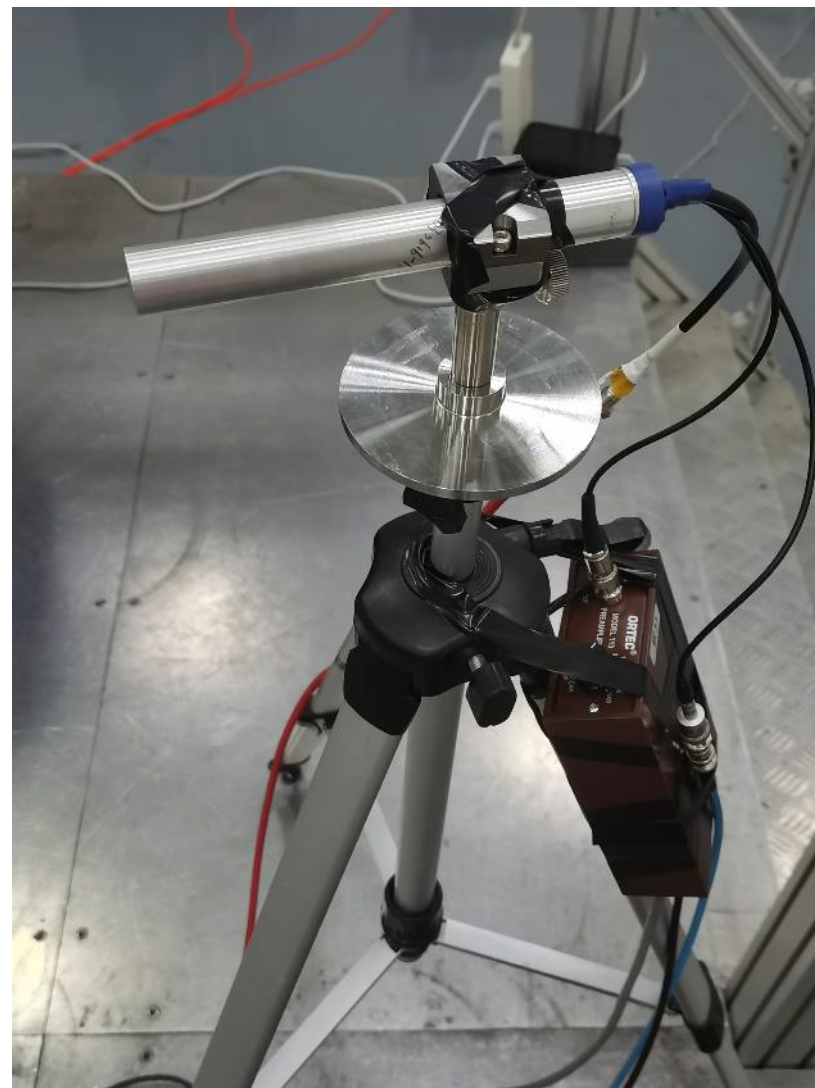
目录

01 研究背景与现状

02 微型液闪探测器简介

03 主要性能测试及结果

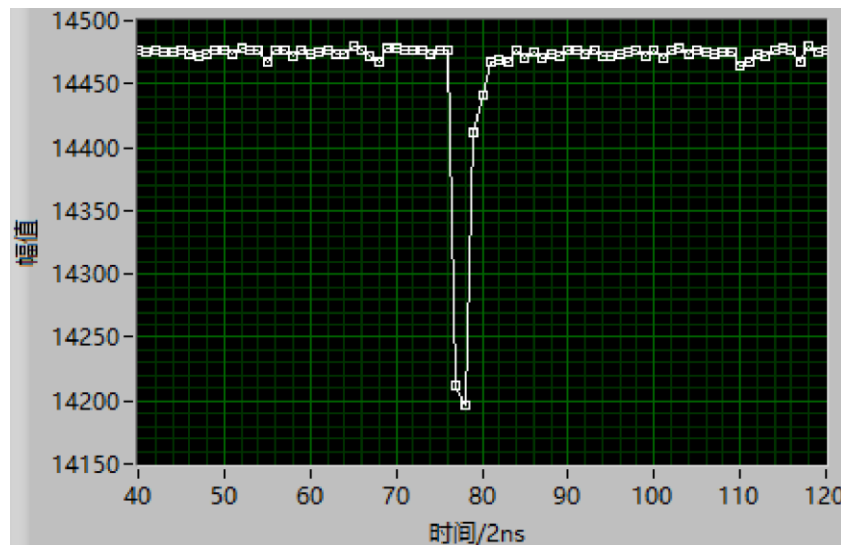
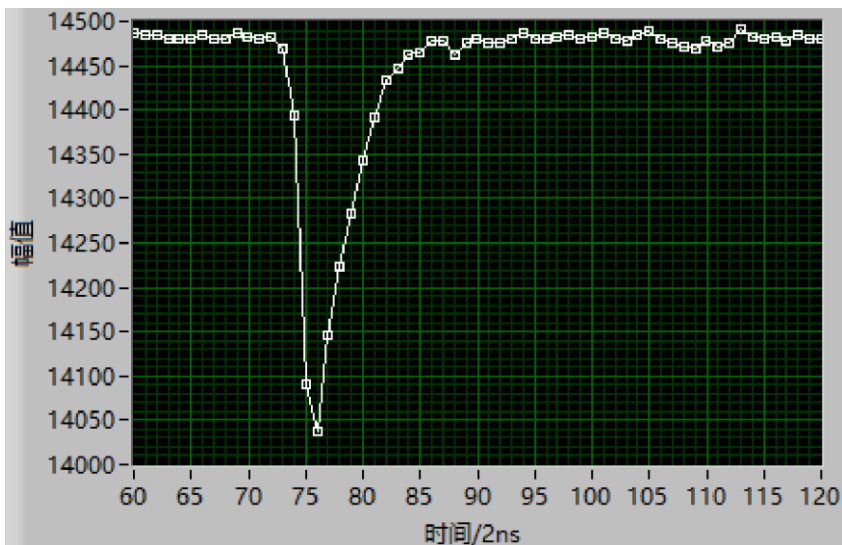
04 总结与改进方向



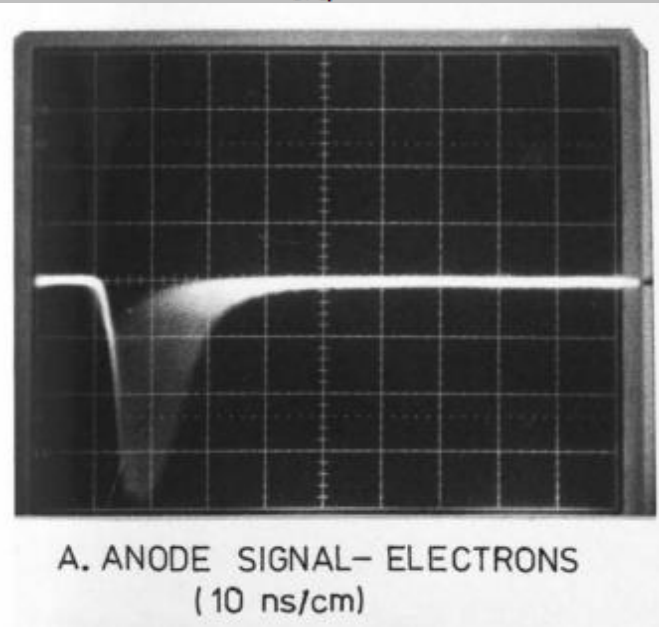
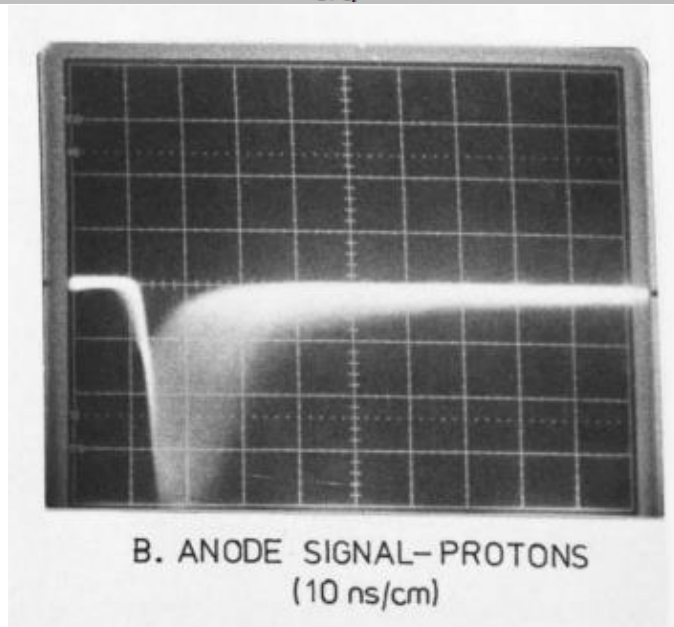
性能——脉冲波形



核物理与化学研究所
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS AND CHEMISTRY



中子脉冲
上升时间8ns, 下降时间20ns
伽马脉冲
上升时间2ns, 下降时间6ns



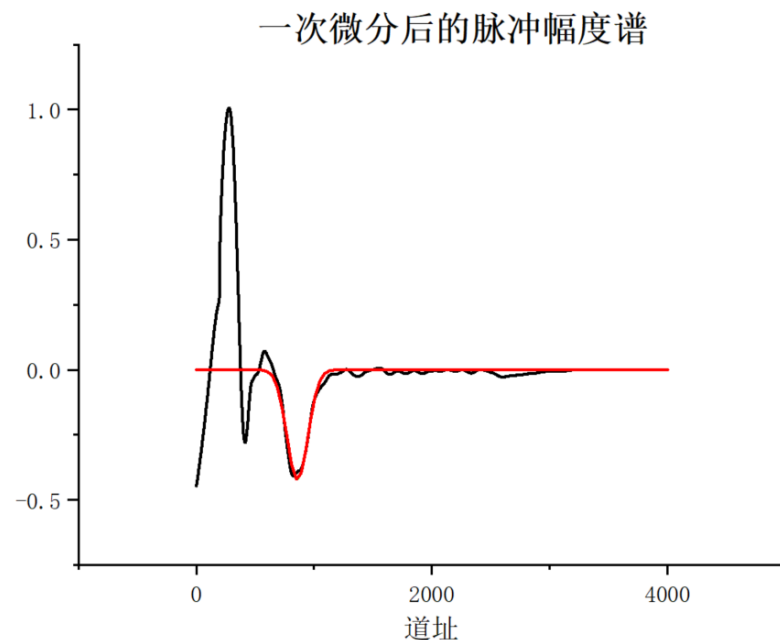
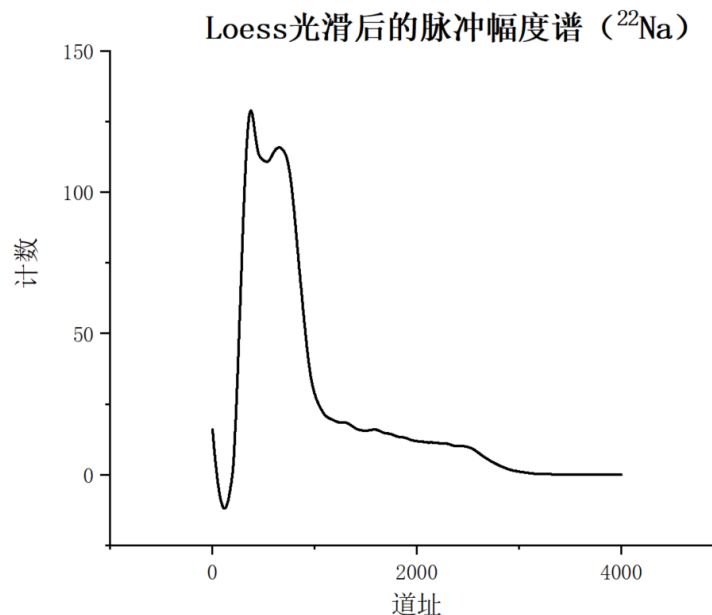
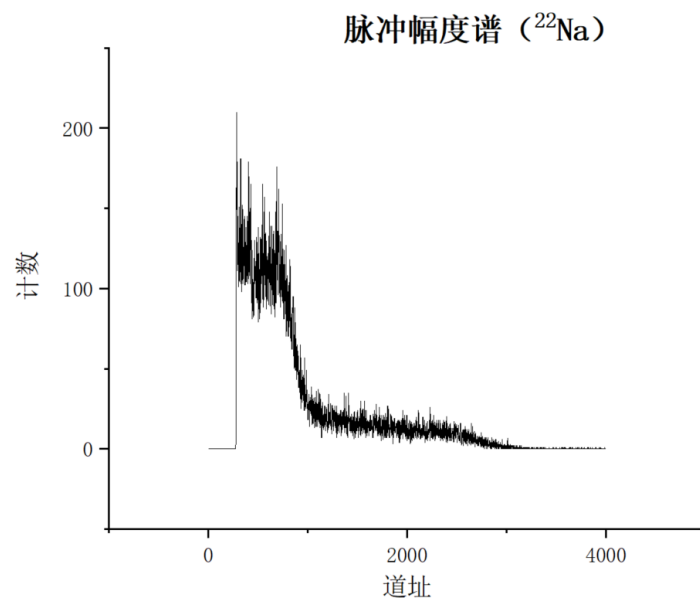
Bicron 公司 型号	NE 公司 相应型号	相对于意 的光输出 (%) [*]	峰值 波长 (nm)	光衰减 时间 (ns)
BC-501A	NE-213	78	425	3.2 [△]

Bicron公司的BC-501A型液体闪烁体探测器的光衰减时间

测量条件

1. 高压电源：030616-1通-950V电压、030616-2通-1110V电压、030728-1通-890V电压、030728-2通-990V电压。
2. 放射源的选择与放置：选择 ^{22}Na 作为待测放射源，将其放置在距离探测器端面3-4mm处，测量时间：两小时。

计算方法



能量分辨率

030616-1	32.00%
030616-2	31.87%
030728-1	27.16%
030728-2	33.97%

0.340MeVee处的能量分辨率

在0.5562MeVee附近，能量分辨率约为15%

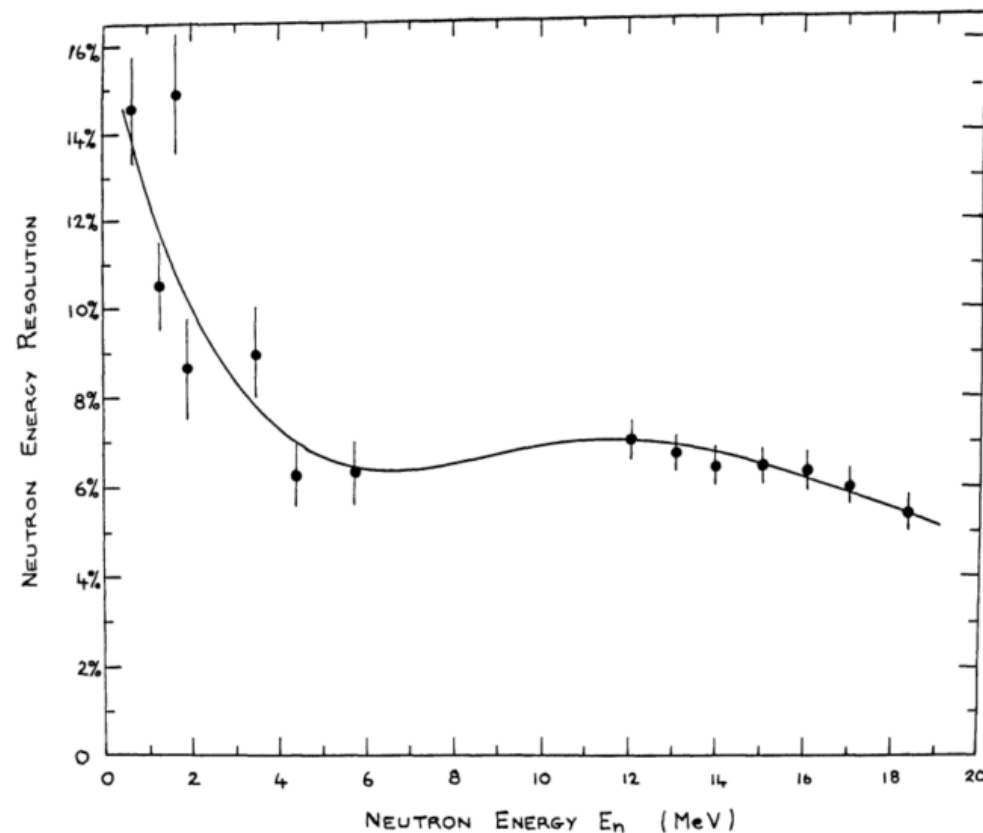
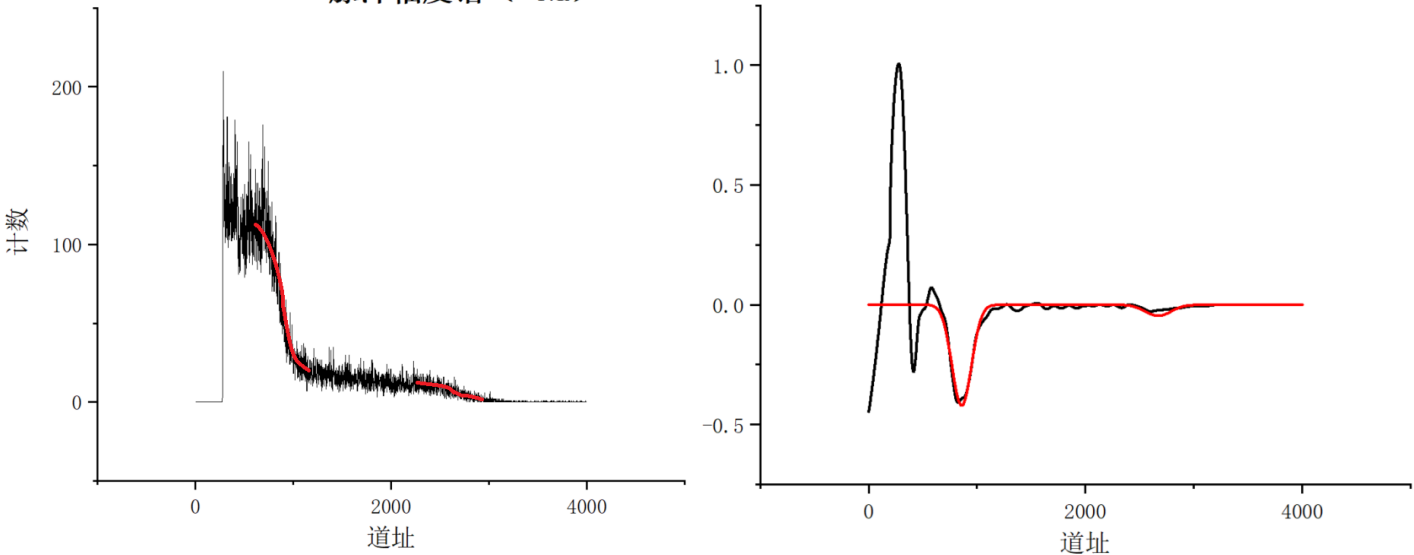


FIG 3.18 THE NEUTRON ENERGY RESOLUTION OF THE MINIATURE SPECTROMETER-CELL 2

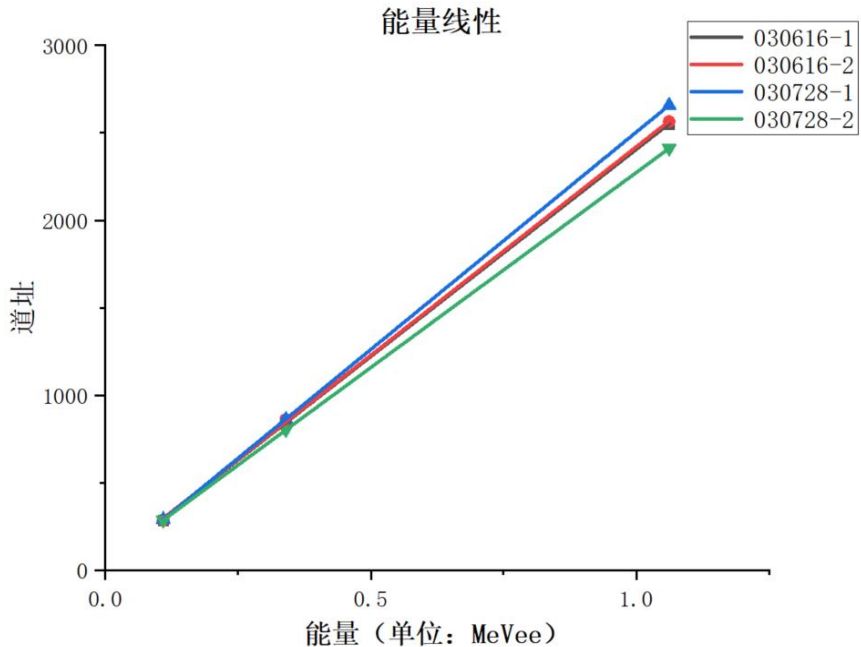


能量线性的测量方法

脉冲幅度谱 (²²Na)



射线能量 (单位: MeV)	030616-1 对应的道址	030616-2 对应的道址	030728-1 对应的道址	030728-2 对应的道址
0.109	287	286	291	286
0.34	855	861	863	803
1.062	2549	2564	2658	2411



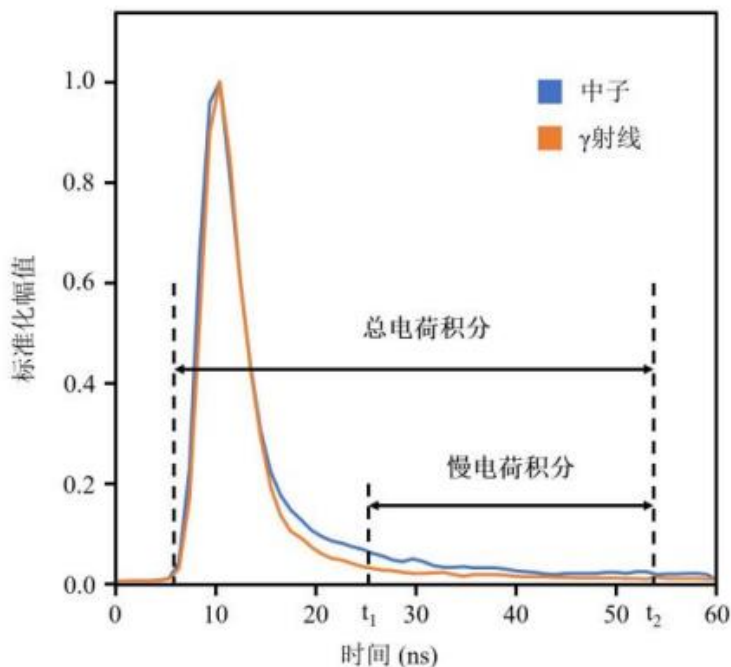
测量条件

- 1. 选择²²Na的0.340MeVee、1.062MeVee以及²⁵²Cf的0.109MeVee进行测量。
- 2. 将²²Na和²⁵²Cf放置在离探测器端面3-4mm处进行测量。
- 3. 测量时间：两小时。

方程	y = a + b*x			
绘图	030616-1	030616-2	030728-1	030728-2
权重	不加权			
截距	38.13851 ± 14	36.86969 ± 16	19.40118 ± 1.	43.90996 ± 1.
斜率	2367.03141 ±	2382.78684 ±	2484.31268 ±	2229.16619 ±
残差平	237.89498	319.22701	1.86055	2.24855
Pearson	0.99996	0.99994	1	1
R平方(C	0.99991	0.99989	1	1
调整后R	0.99983	0.99977	1	1

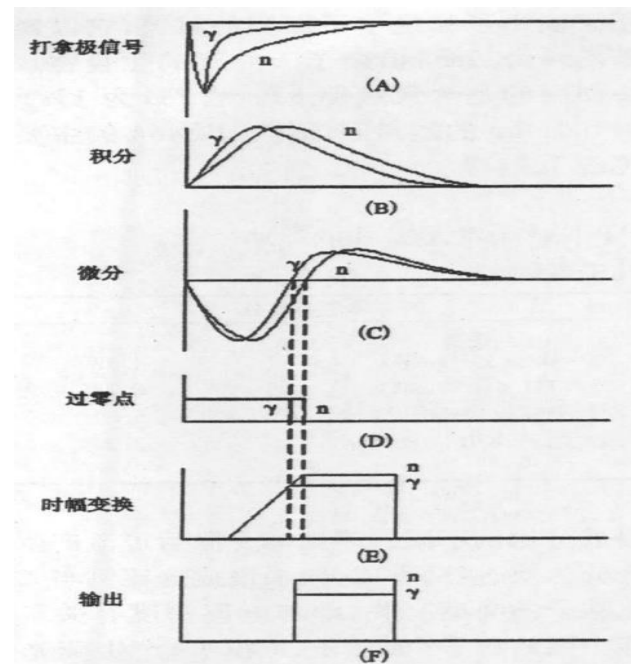
电荷比较法

电荷比较法 (CCM) 是 n/γ 甄别的传统方法。其基本原理是：利用慢电荷积分与总电荷积分的比值作为脉冲甄别的依据，通过比值的差异从而甄别中子和 γ 射线。



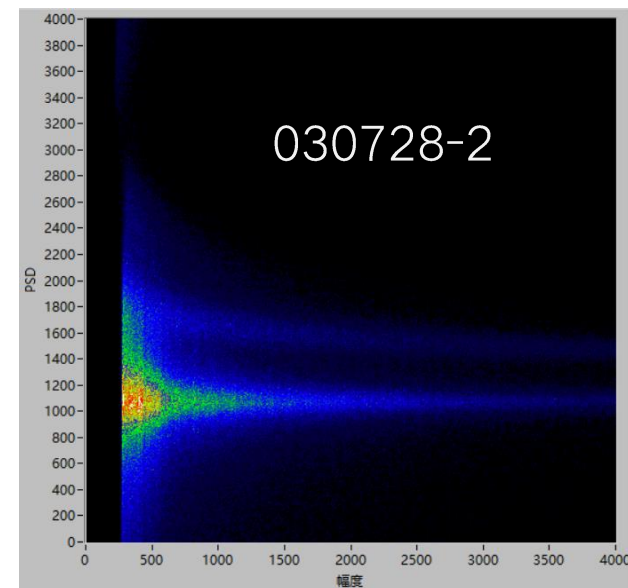
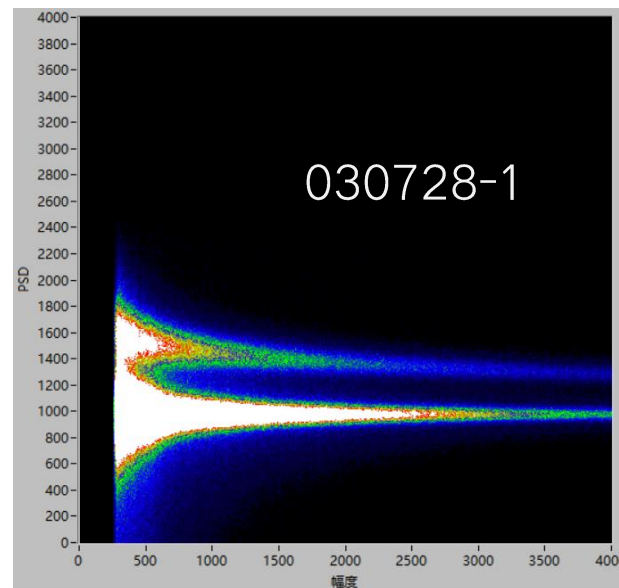
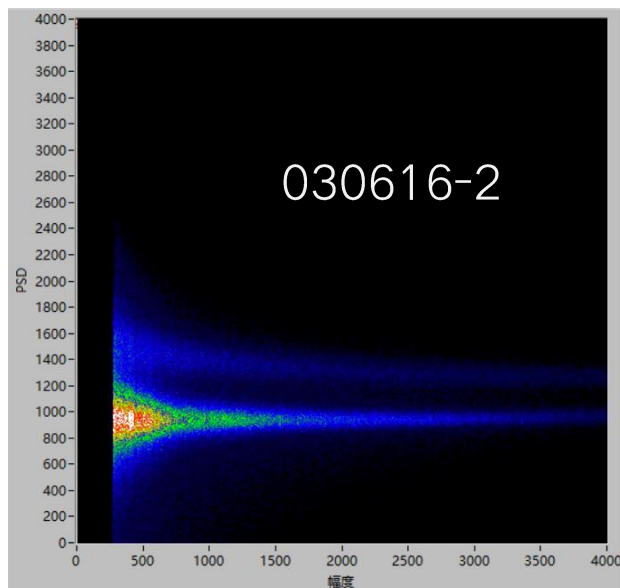
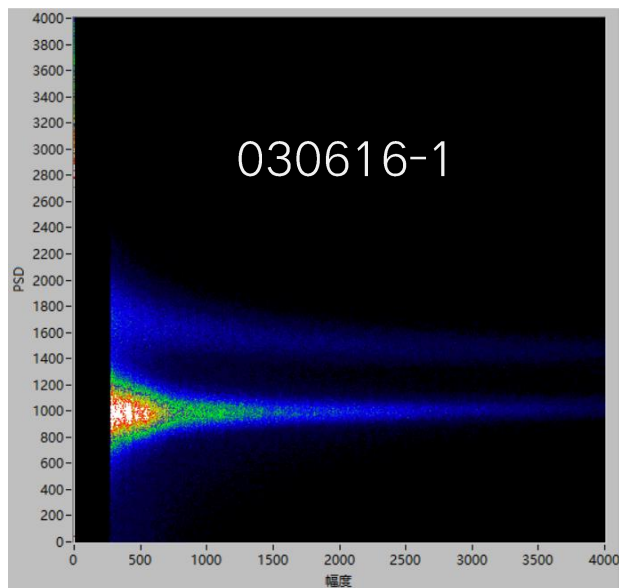
过零时间法

过零时间法的基本原理是：如果将光电倍增管输出的电压进行一次微分，则微分后的脉冲与基线的交叉点（即过零点）的位置与电压脉冲的幅度无关，只与电压脉冲的上升时间有关，也即只与脉冲形状有关。



n - γ 甄别能力是
我们关注的重要
指标

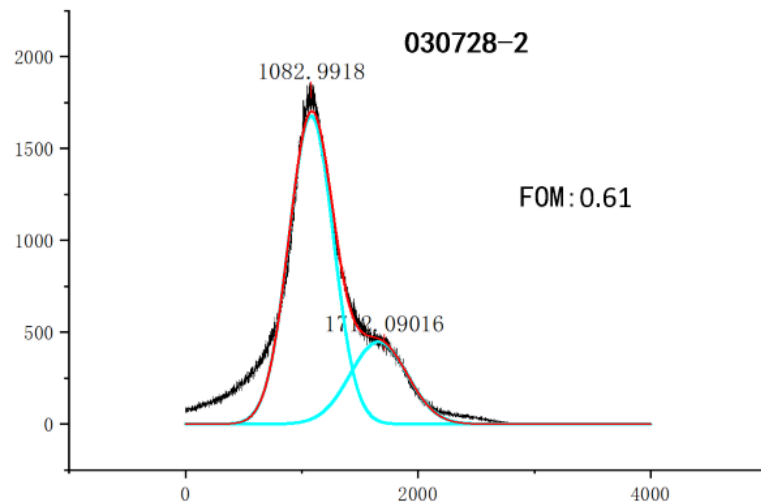
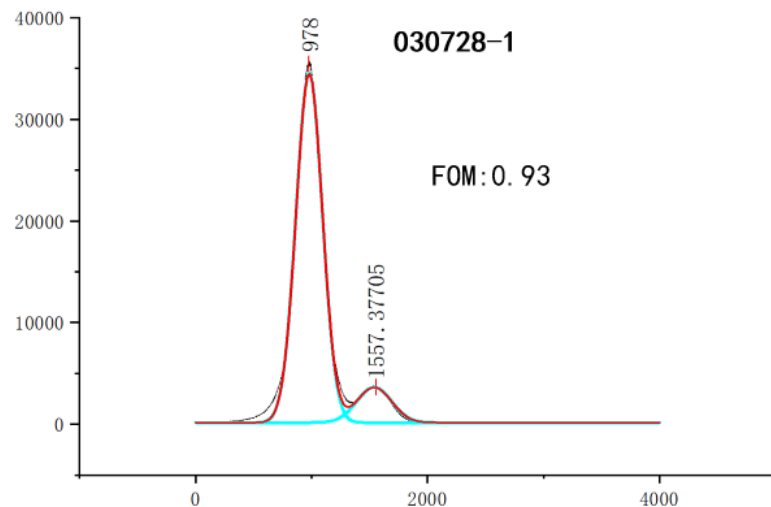
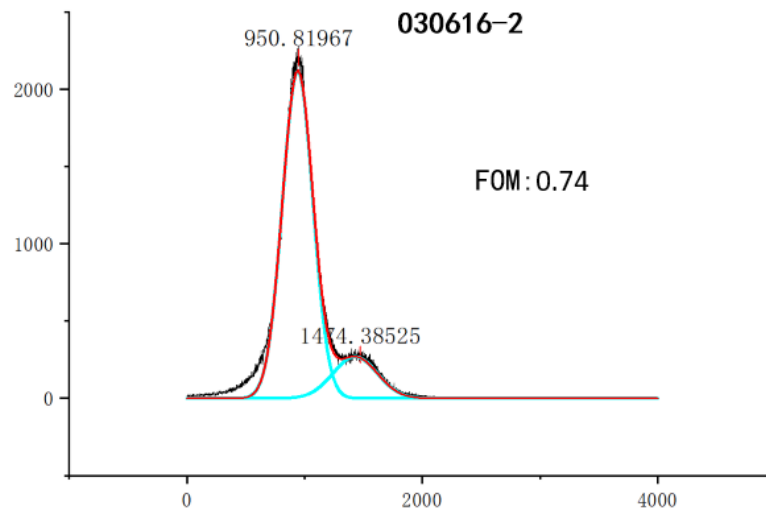
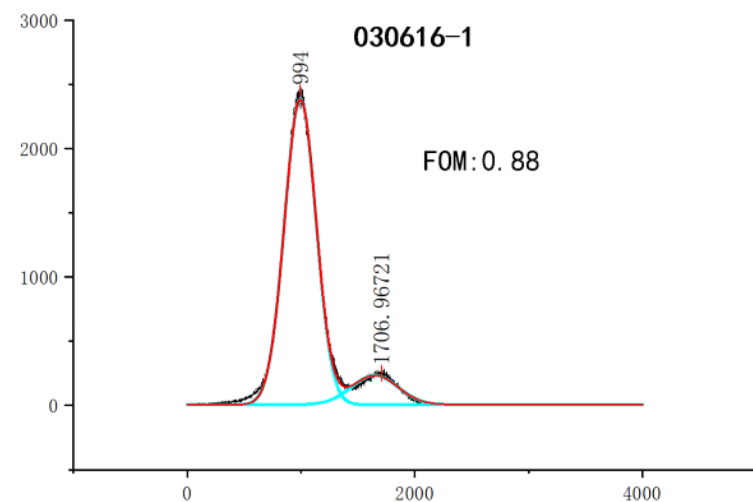
电荷比较法



测量条件

1. 使用 ^{22}Na 对探测器进行能量刻度
2. 使用 ^{252}Cf 作为放射源，将源放置在距离探测器端面约1cm处，测量时间：2小时。

电荷比较法

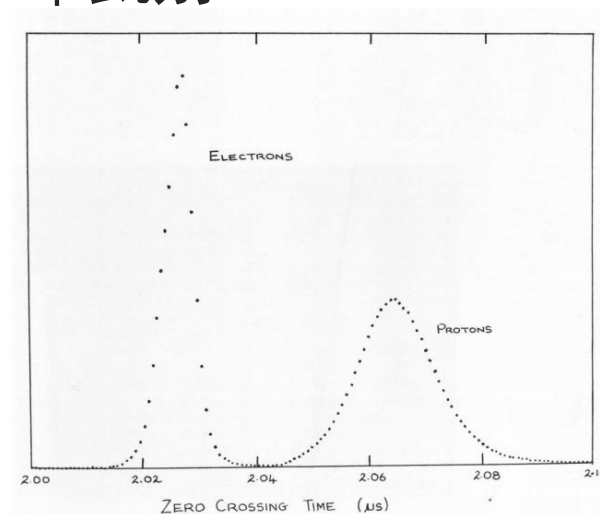
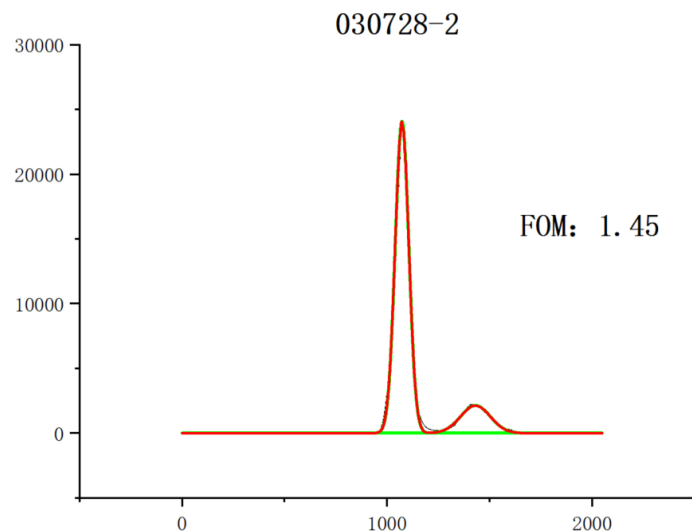
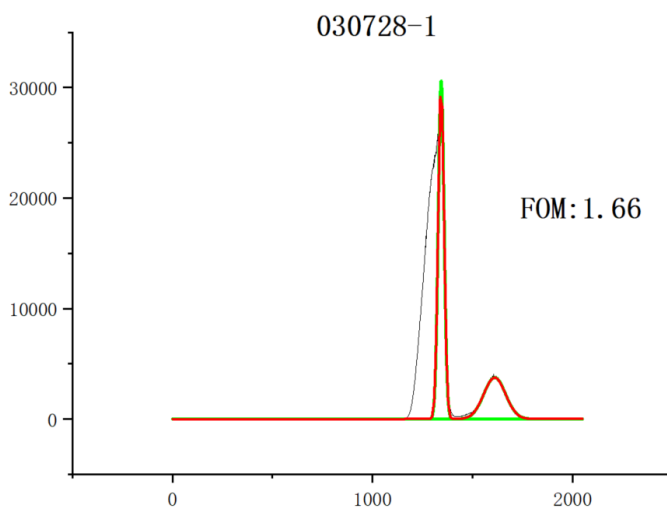
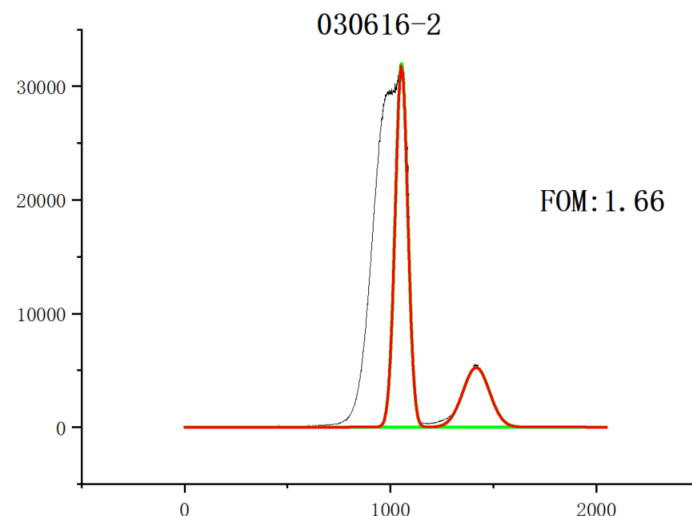
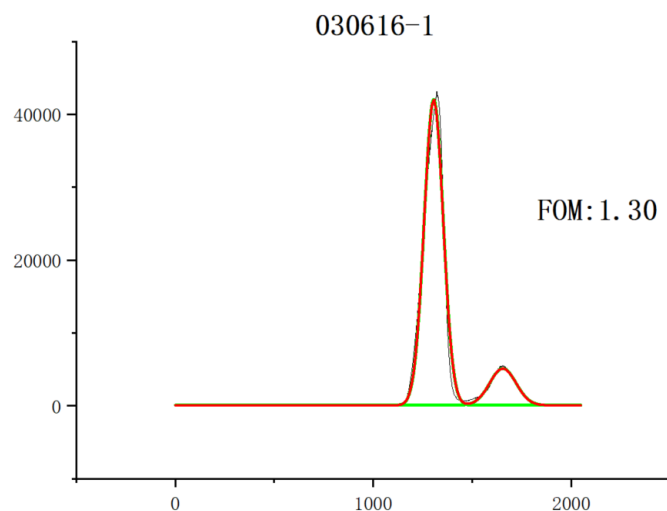


030728-2探测器n- γ 甄别能力较差的原因是液闪容器出现了漏液的情况

可以看出，微型液闪探测器的n- γ 甄别能力最好能够达到品质因子接近1的水平，基本达到了甄别的

过零时间法

将电荷比较法中n- γ 甄别效果不理想的探测器——030616-2和030728-2的探头进行更换，使用过零时间法进行n- γ 甄别。



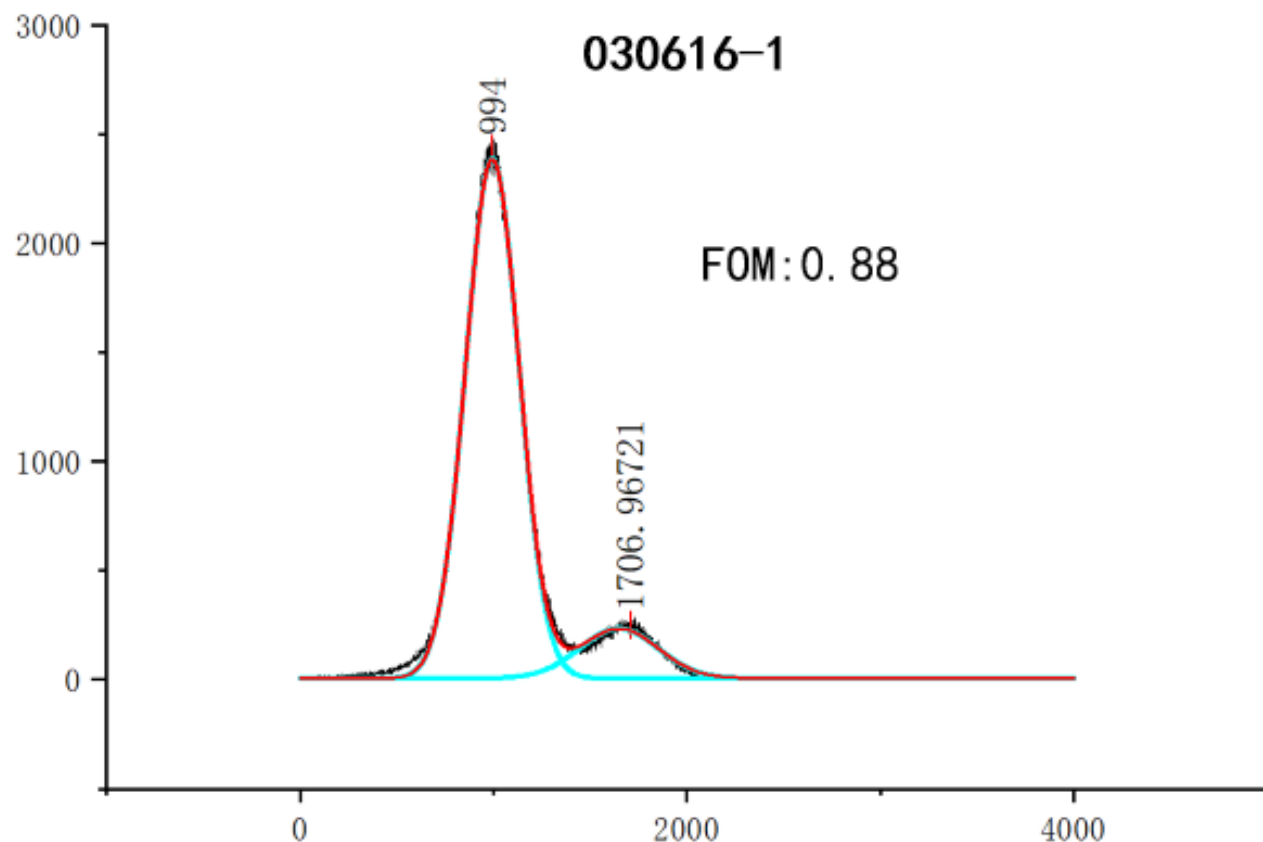
1. 使用过零时间法的n- γ 甄别的品质因子均大于1；
2. 更换探头的探测器的甄别效果得到明显改善。

性能——n- γ 甄别

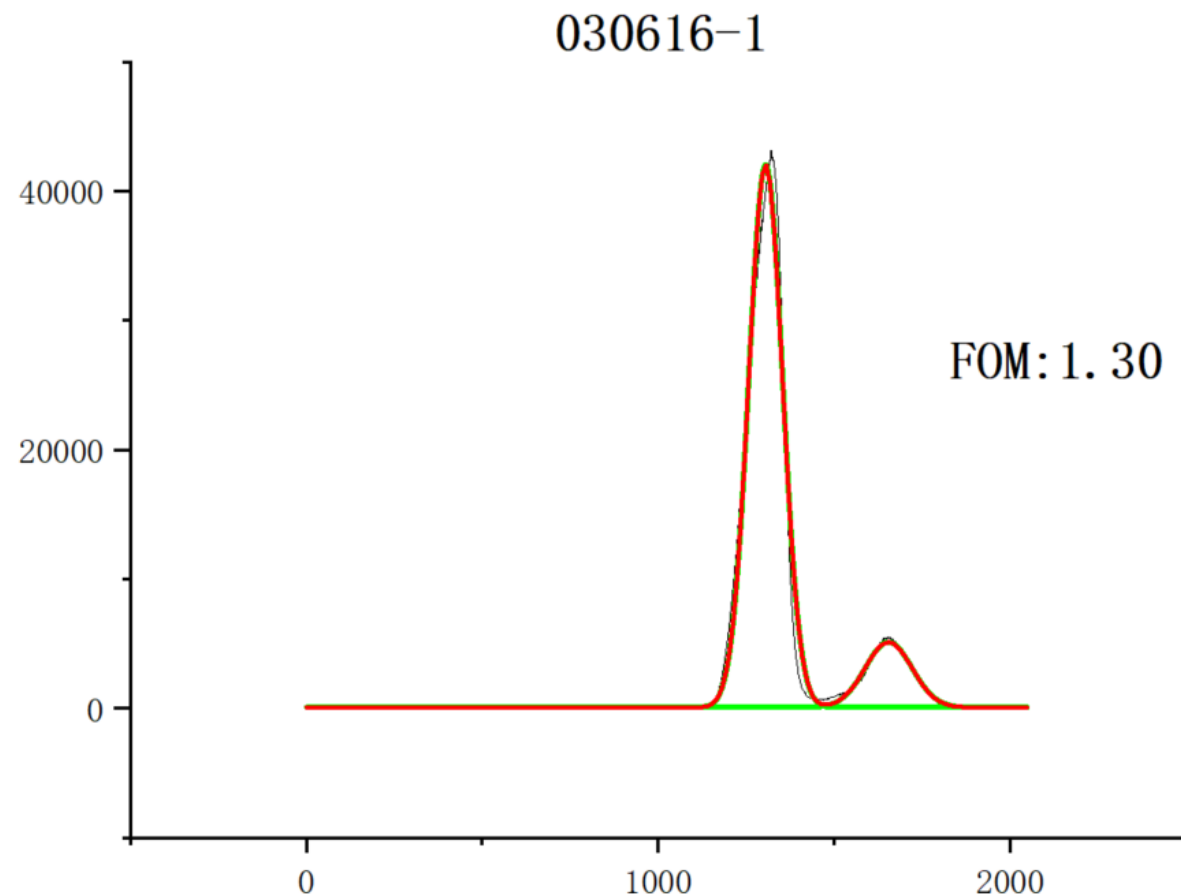


核物理与化学研究所
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS AND CHEMISTRY

电荷比较法

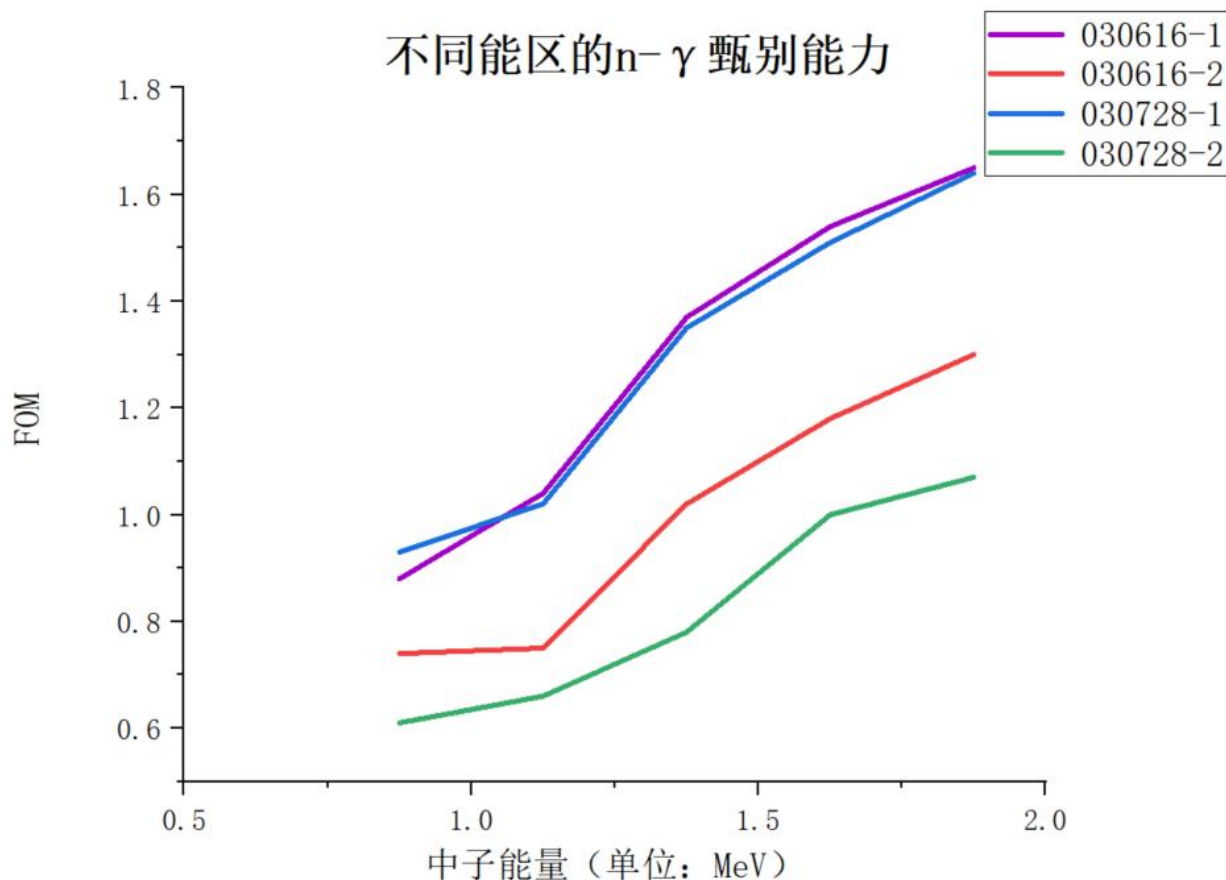


过零时间法



对于我们研制的微型液体闪烁体探测器，选择过零时间法进行n- γ 甄别的效果较好

甄别效果随能区的变化



1. 将采集到的数据按中子能量间隔0.25MeV进行分段；
2. 对每一段n- γ 甄别的FOM值进行计算。

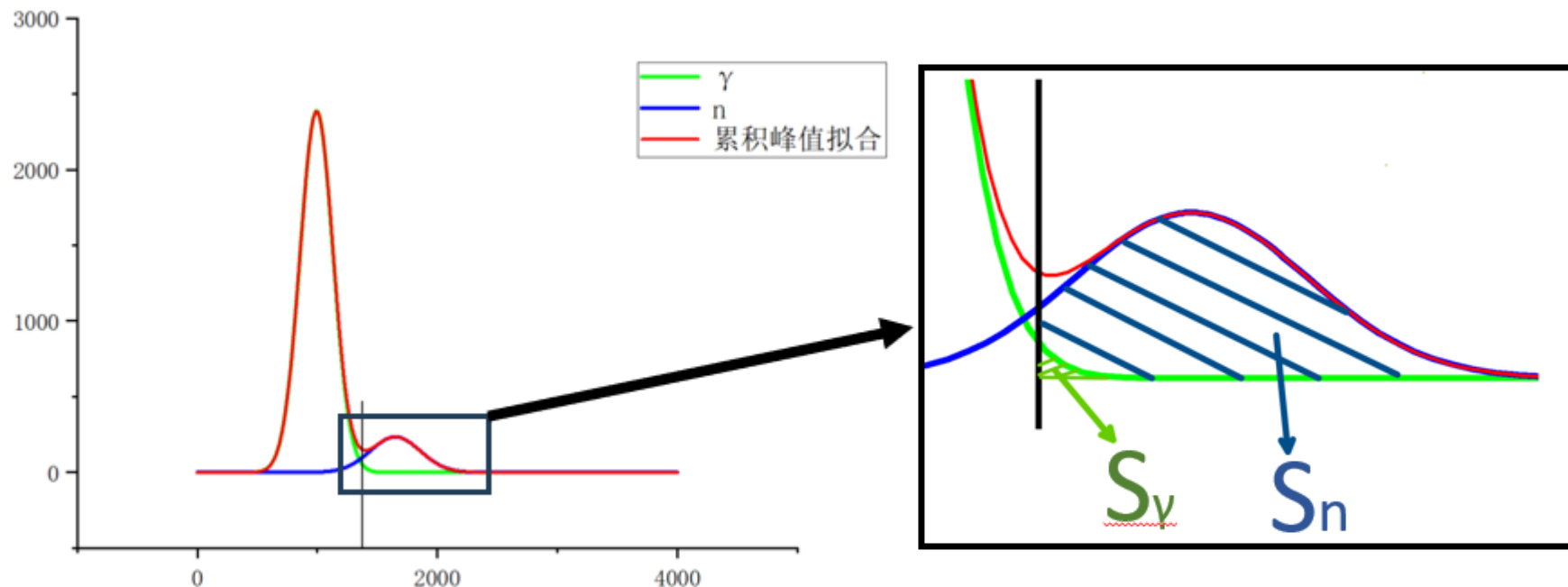
探测器 \ 能量	030616-1	030616-2	030728-1	030728-2
0.875	0.88	0.74	0.93	0.61
1.125	1.04	0.75	1.02	0.66
1.375	1.37	1.02	1.35	0.78
1.625	1.54	1.18	1.51	1
1.875	1.65	1.3	1.64	1.07

随着能量增加，n- γ 甄别的效果越好

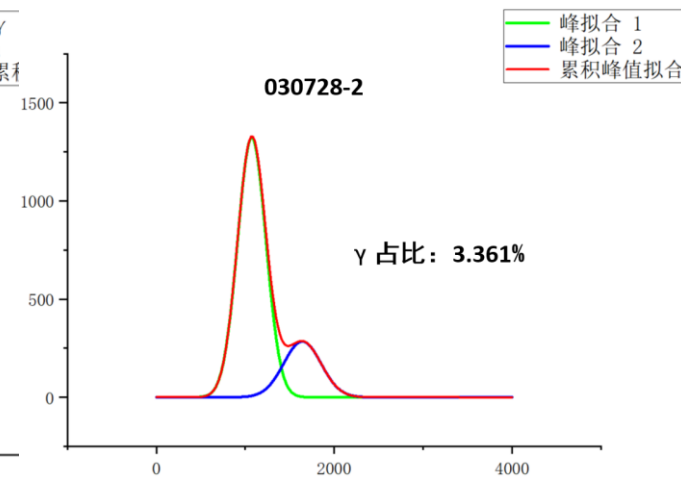
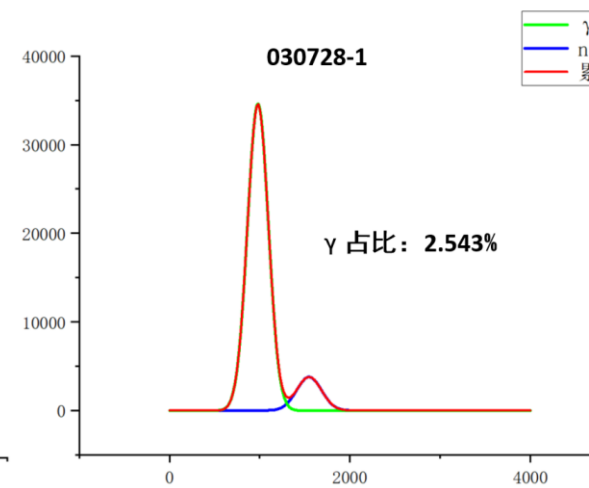
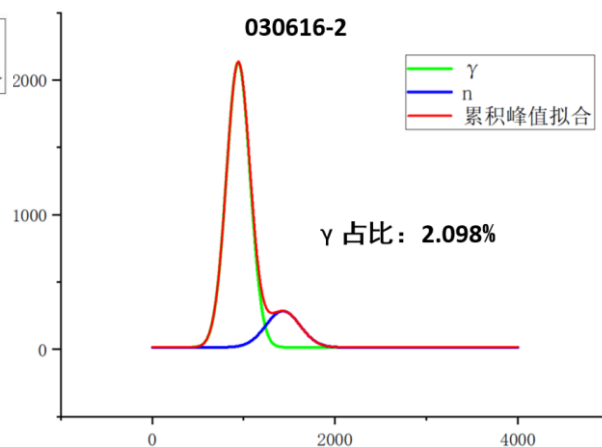
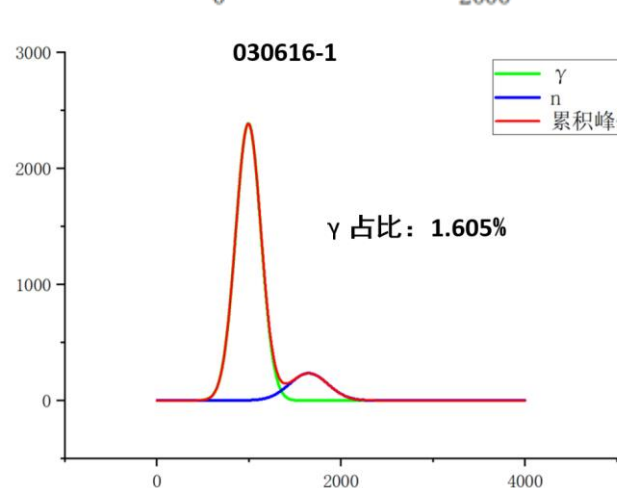
性能——n-γ 甄别 (γ 占比)



核物理与化学研究所
INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS AND CHEMISTRY

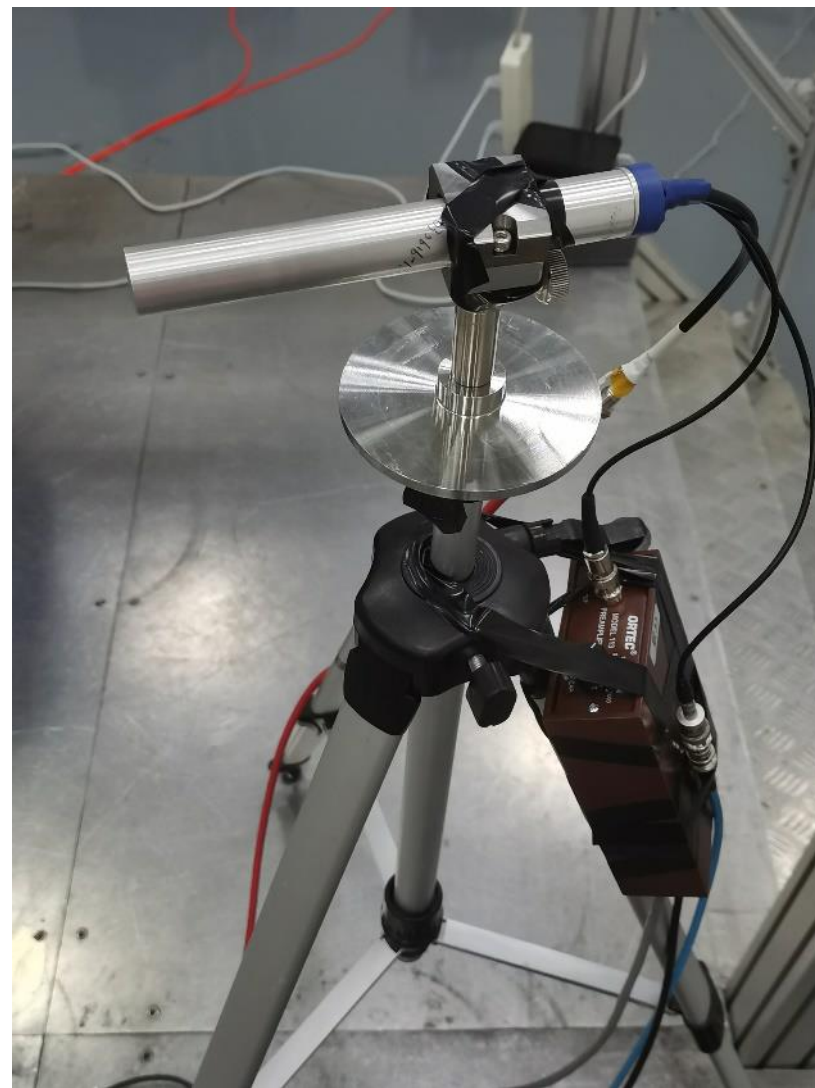


$$\gamma \text{ 占比} = \frac{S_{\gamma}}{S_{\gamma} + S_n}$$



目录

- 01 研究背景与现状
- 02 微型液闪探测器简介
- 03 主要性能测试及结果
- 04 总结与改进方向



尺寸

该微型探测器探头尺寸 $\Phi=10\text{mm}$, $H=10\text{mm}$,
在调研到的已知的液闪探测器中体积**最小**。

波形

探测器能够较好地还原波形;
中子脉冲的上升时间为**8ns**左右;
伽马脉冲的上升时间为**2ns**左右。

能量分辨、线性

能量分辨性能偏差, 在
0.340MeV处大于**20%**;
能量线性方面, 决定系数 R^2 能够
做到大于**0.999**, 线性程度好。

n- γ 甄别

过零时间法甄别效果更好, FOM值大于**1.3**;
n- γ 甄别效果随选择的能区能量增加而变好;
在我们所选择的中子当中, 伽马的占比小于**3.4%**。

我们在做到探测器**微型化**的同时很好地保留了液闪探测器**快的响应速度**和**良好的n- γ 甄别能力**, 能够满足介质内测量的要求, 并且也能运用到一些狭小空间内的测量。

改进方向

- (1) 光电转换部分进一步小型化
- (2) 提升能量分辨率
- (3) 提升工艺
- (4) 优化PSD算法

谢谢大家
恳请批评指正

THANKS