

CsI(Tl) 闪烁体能量分辨率的研究实验报告

姓名*

北京大学物理学院 学号: 2x000xxxxx

(实验日期: 2025 年 12 月 12 日)

I. 理论原理

闪烁体探测器是辐射粒子测量的一种重要仪器, 根据其化学成分可以分为有机闪烁体和无机闪烁体. 无机闪烁晶体具有密度高, 体积小, 物化性能和闪烁性能优良等特点, 因此在闪烁体探测器中占据了重要的地位. CsI(Tl) 闪烁体具有优秀的物理和化学性质, 更适用于学生自己制备探测器的实验.

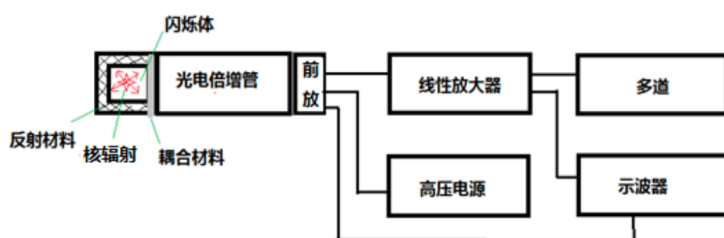


图 1. 典型的实验测试电路图

图 1 给出了实验中典型的测试电路图, 探测器的各部分组成如图所示.

闪烁体

闪烁体探测器是利用某些物质在射线作用下会发光的特性来探测射线的仪器. 无机闪烁体密度大, 含有高原子序数的元素, 对 γ 射线有较高的探测效率; 且发光效率高、能量线性关系也比较好. 本实验使用的 CsI(Tl) 闪烁体是使用铯 (Tl) 作为激发剂的碘化铯 (CsI) 无机闪烁体.

光电倍增管

光电倍增管的作用是将闪烁体发出的微弱光转变成电子, 然后经过多次倍增变成一个可记录的电脉冲信号. 光电转换通过光阴极实现, 当闪烁光子作用在光阴极上时由于光电效应产生出电子; 电子倍增是通过一系列倍增极所构成的倍增系统来完成的 (倍增极由电子脱出功较小的材料构成).

光电倍增管工作时从光阴极到各个倍增极和阳极加上依次递增的电压, 闪烁光子打在光阴极上所产生的光电子经电子光学系统加速和聚焦后打到倍增极上, 倍增极受到电子轰击后发射出更多的电子, 使得倍增不断地进行下去, 最后被阳极收集形成电流脉冲. 从阳极上得到的电子流与入射到光电倍增管光阴极上的闪烁光强度成正比, 因而也与入射到闪烁体的 γ 光子的能量损失成正比.

* email@pku.edu.cn; (86)1*****

本实验中用到的光电倍增管的型号为北京核仪器厂生产的 GDB20，灵敏区域的直径为20 mm.

前置放大器

前置放大器可以起初级放大和阻抗匹配的作用. 本实验用的前置放大器已经内置于光电倍增管的基座上.

线性放大器

从辐射探测器出来的原始信号幅度很小，不便于采集和分析. 为了对原始脉冲信号的幅度进行放大和成形，同时又不破坏原始信号的能量和时间信息，就需要用到线性放大器，它使输出信号幅度与输入信号度成线性正比关系. 总的放大倍数由线性放大器的粗调乘以细调决定.

多道分析器

核辐射探头输出的脉冲高度 V 与射线的能量 E 成正比， V 经模数变换后将电压 V 变换为不同的地址（道数） x ，并使该 x 地址存储器的计数 n 增加一个计数. 道数 x 与射线能量 E 成正比. 探测器的分辨本领越高，能量范围越大，要求的道数越高. 但是，道数增加，为使每一道的统计足够大，需要的采集时间越长.

能量分辨率

能量分辨率是表征核辐射探测器性能好坏的一个重要指标. 本实验将仔细研究各个因素的影响. 能量分辨率主要取决于一定能量的辐射所产生的脉冲幅度分布的展宽程度，其定义为

$$R = \Delta V / V \times 100\%. \quad (1)$$

其中， ΔV 代表某全能峰的半高宽； V 代表全能峰的峰位. R 越小，分辨能力越强.

II. 实验条件

对于自制的闪烁体探测器，能量分辨率的影响因素主要包括包装材料的选择及包装方式、闪烁体与光电倍增管光阴极的耦合和电子学插件的性能.

在本实验中，我们使用了 5 cm 长的圆柱形闪烁体和漫反射的 Tyvek 纸进行包装. 为了汇聚闪烁体内产生的向四周随机发射的荧光光子到收集窗口，减少散射及透射到闪烁体外的光子，需要至少包装上两层毛面向内的 Tyvek 纸，并且和闪烁体尽可能贴合紧实，不留下空隙. 然后使用生料带进行固定并且在外侧缠上黑色胶带以屏蔽自然光对辐射产生的微弱光信号的影响.

在本实验中，我们使用了进口硅脂进行闪烁体与光电倍增管光阴极的耦合. 为避免闪烁体的收集窗口和光电倍增管的光阴极直接相连中存在的空气层使得从闪烁体射出的光子到达闪烁体与空气层界面时部分发生全反射，导致光电倍增管光阴极接收到的光子数减少闪烁体的能量分辨能力变差，需要在闪烁体与光电倍增管之间加入耦合材料，并多研磨几次，挤出闪烁体与光电倍增管之间的空气层，最后感觉像粘到 PMT 上一样. 耦合完毕后，使用胶带固定，防止晶体滑脱，并套上外套筒.

搭建测试电路，打开多道，记录 ^{137}Cs 源的全能谱. 调节放大器的参数，使 662 keV 的 γ 的峰道址在 470 道左右，记录 5 分钟，分析 662 keV 的 γ 的全能峰的能量分辨率.

III. 实验结果及讨论

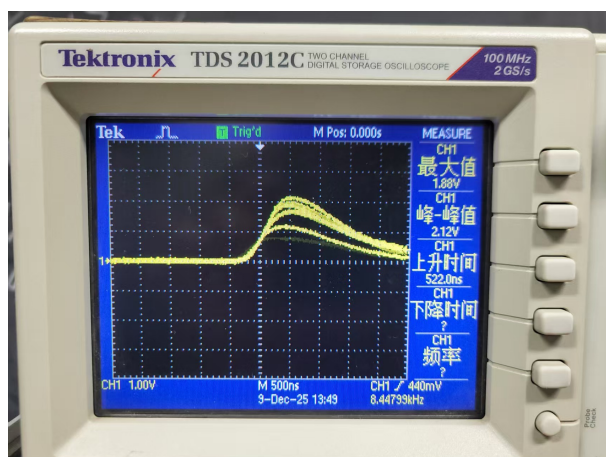


图 2. 示波器观察到的信号

调节放大器参数为 0.9&20，放大倍数为

$$20 \times (0.5 + 0.9 \times 0.1) = 11.8$$

后，先用示波器观察 PMT 主放出来的信号如 图 2 所示，形态良好，可以进行能量分辨率的测试.

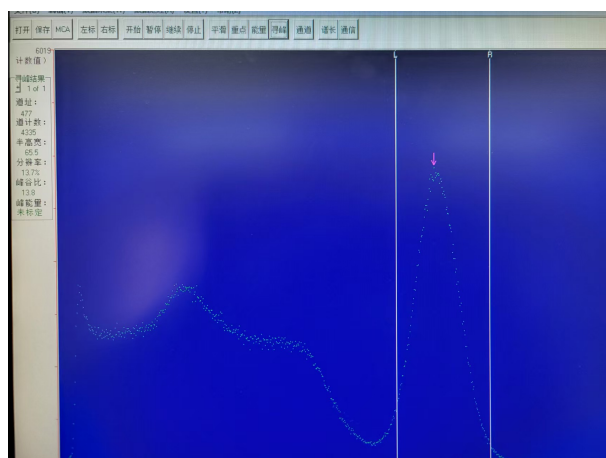


图 3. 能量分辨率测试的结果

记录 5 分钟后，峰道指位于 477 道，峰值计数为 4335，满足测试要求. 半高宽 65.5，分辨率达到了 13.7%，好于 18%，满足实验要求.

致谢

感谢潘悦同学协力完成了本实验，感谢楼建玲老师在实验中的讲解和指导.

附录 A: 思考题

1. 怎样利用示波器来判断探测器能量分辨率的好坏？

示波器上的脉冲波形高斯波包形状越一致，基线越平直，脉冲越纯净越平滑能量分辨率越好，反之更坏。

2. 反散射峰与哪些因素有关？如何降低反散射峰？请对比 2 cm 和 4 cm 闪烁体的反散射峰的强弱，并解释。

反散射峰与周围物质的性质与距离、闪烁体尺寸、源与探测器的几何布局和屏蔽设计等因素有关，可以通过优化屏蔽设计、增大闪烁体尺寸、调整源位置和增加准直器降低反散射峰，4 cm 闪烁体的反散射峰比 2 cm 闪烁体的更微弱，因为闪烁体体积更大，直接吸收 γ 射线的概率高，逃逸 γ 射线少所以反散射峰更弱。

3. 请查资料比较 CsI(Tl) 晶体和 NaI(Tl) 晶体的异同？本实验为什么采用 CsI(Tl) 晶体，而没有用 NaI(Tl) 晶体？

CsI(Tl) 晶体与 NaI(Tl) 晶体均属无机闪烁体，但 CsI(Tl) 密度更高，对 γ 射线的阻止本领更强，且具有抗机械冲击、不易潮解的特性，在空气中可稳定操作。而 NaI(Tl) 密度较低，能量分辨率略优，但极易潮解，且机械脆性大，操作中易碎裂。

本实验选用 CsI(Tl) 晶体，主要基于教学操作的可行性与安全性，较 NaI(Tl) 而言，CsI(Tl) 抗温度冲击和抗机械冲击的能力要强得多，且不易潮解，更适用于学生自己制备探测器的实验。

4. 假如用自己制作的探头来测量 ^{60}Co 源，能否清楚地区分开能量为 1.17 和 1.33 MeV 的两个 γ 射线？为什么？

不能，分辨率大于 10% 不满足理论上两个峰能够区分的条件，对于这样的两个 γ 射线重叠为一个峰。

5. 画出光电倍增管高压坪曲线测量所需的电子学示意图并简述测量过程。

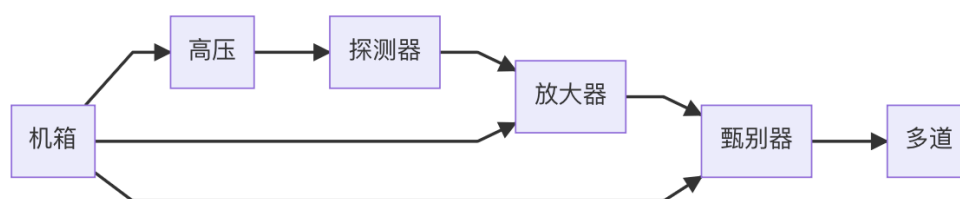


图 4. 电子学示意图

在考核中正确连接并调试了考核电路.

正确设置单道分析器的甄别阈到合适值、道宽调至最小,从推荐工作电压的 80% 开始,以适当步长逐步升高高压至适当位置,计数适当时间,最终绘制计数率随高压变化的曲线,选取计数率变化平缓的区域作为坪区,并取其中点电压作为最佳工作高压.