



廣西師範大學
GUANGXI NORMAL UNIVERSITY

Nal(Tl)单晶 γ 闪烁谱仪和 γ 能谱的测量



注意事项!

- 1、实验使用到放射源，需**认真做好防护工作**；
- 2、放射源和探头由起屏蔽射线作用的铅玻璃罩住，**实验室不能拿开铅玻璃**；
- 3、**放射源置于起屏蔽射线的铅罐中，使用时，先把铅玻璃右边的盖子打开，然后再打开放射源的盖子，使用结束后必须盖上放射源的盖子。绝对不能把放射源拿出铅玻璃罩外，更不能把放射源拿出来打开盖对着人。**
- 4、进入该实验室后必须先打开 **γ 个人剂量仪**，用以测量实验过程中的累积剂量，选择剂量仪中以 **μsv** 为单位的模式，剂量仪检测到剂量每增加 **$0.1\mu\text{sv}$** 就会响一短声报警，一般整个实验过程测到的剂量约为 **$1\mu\text{sv}$** ，是符合安全标准的（**安全限值为 $\leq 5\text{msv}$** ）。
- 5、连接好实验仪器，把高压调节开关逆时针调到零后接通电源，开机预热**30**分钟左右；



实验背景

- **γ 射线**，又称 γ 粒子流，是**原子核能级跃迁退激时**释放出的射线，是波长短于0.01埃的电磁波。 γ 射线有**很强的穿透力**，工业中可用来**探伤**或**流水线的自动控制**。 γ 射线对细胞有杀伤力，医疗上用来**治疗肿瘤**。
- γ 射线首先由**法国科学家P. V. 维拉德**发现，是继 α 、 β 射线后发现的第三种原子核射线。
- 利用 **γ 射线和物质相互作用的规律**，人们设计和制造了多种类型的**探测器**。**闪射探测器**就是其中之一。它是利用某些物质在射线作用下发光的特性来探测射线的仪器，既能测量射线的强度，也能测量射线的能量，在核物理研究和放射性同位素测量中得到广泛的应用，“**嫦娥一号**”卫星有多项探测功能，其中 γ 射线谱仪通过采集月球表面发射出的 γ 射线光子，得用反符合技术抑制本底，根据**能谱中的特征峰线**来辨别月球表面**元素的种类和丰度**。



一、实验目的

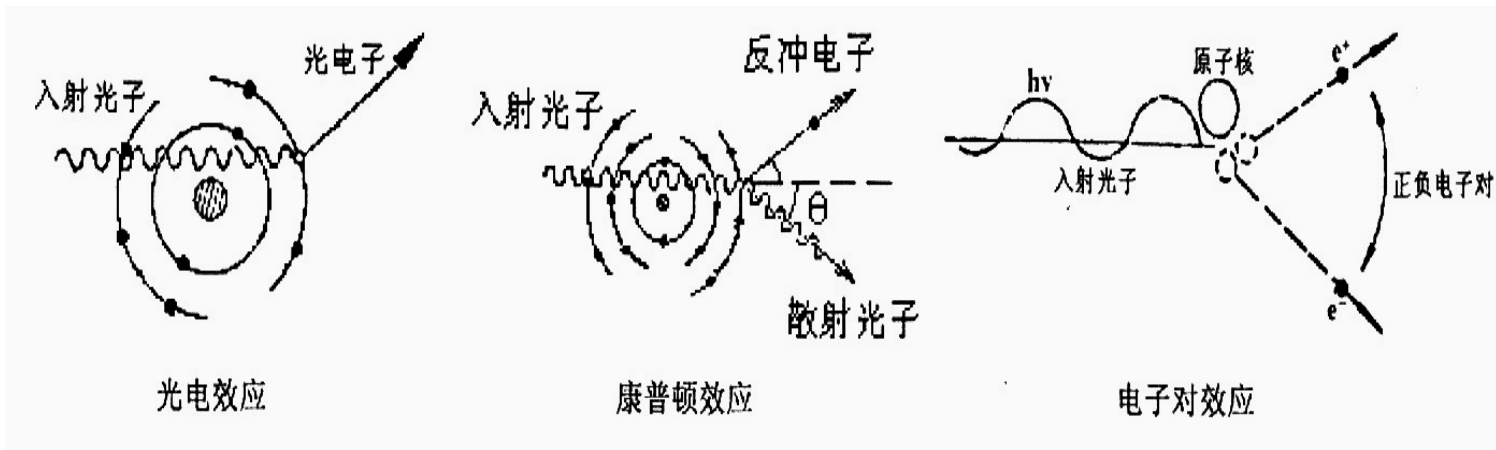
- (1) 了解 γ 闪烁谱仪的原理和结构，掌握用谱仪测 γ 能谱的方法；
- (2) 鉴定谱仪的基本性能，如能量分辨率、线性等。
- (3) 了解核电子学仪器的数据采集、记录方法和数据处理原理。



二、实验原理

(一) γ 射线与物质相互作用的一般特性

γ 射线与物质的作用过程可以看作 γ 光子与物质中原子或分子碰撞而损失能量的过程。光子是不带电的中性粒子，因此它与物质的相互作用与带电粒子有显著的差别。 γ 射线与物质的相互作用主要有三种方式：光电效应，康普顿效应和电子对效应。





二、实验原理

(1) 光电效应.

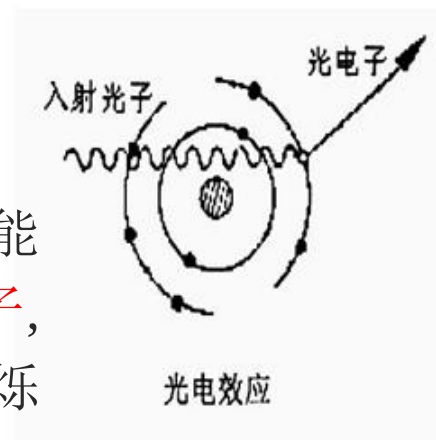
当入射 γ 光子与物质原子中的束缚电子作用时, γ 光子把能量全部转移给某个电子, 使它脱离原子的束缚变成自由电子, 而 γ 光子本身消失掉, 这种过程称为光电效应。 γ 射线与闪烁体发生光电效应时 γ 射线产生的光电子动能为:

$$E_e = E_r - B_i$$

其中 B_i 为 k、L、M 等壳层中电子的结合能。

γ 射线能区, 光电效应主要发生在 K 壳层, 此时 K 壳层留下的空穴将为外层电子所填补, 跃迁时将放出 X 光子, 其能量为 E_x 。这种 X 光子在闪烁晶体内部很容易再产生一次新的光电效应, 将能量又转移给光电子。上述两个过程几乎是同时发生的, 因此闪烁体得到的能量将是两次光电效应产生的光电子能量和:

$$E = (E_\gamma - B_i) + E_x = E_\gamma$$

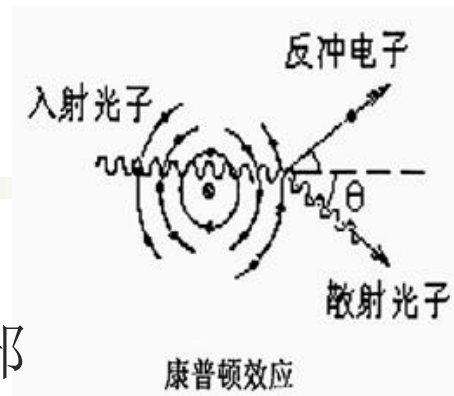




二、实验原理

(2) 康普顿效应

γ 光子与原子的外层电子发生非弹性碰撞,一部分能量转移给电子使它脱离原子成为反冲电子,光子的能量减少了,变成散射光子,这种过程称为康普顿效应。



康普顿反冲电子的动能与散射角的关系为

$$E_k = h\nu - h\nu' = \frac{E_\gamma^2 (1 - \cos \theta)}{m_0 c^2 + E_\gamma (1 - \cos \theta)}$$



二、实验原理

(2) 康普顿效应

当 $\theta = 0^\circ$ 时, $E_K=0$, 即未发生散射;

当 $\theta = \pi$ 时, 康普顿电子获得最大动能 (这时 γ 光子与电子发生对心散射):

$$(E_k)_{\max} = \frac{2E_\gamma^2}{m_0c^2 + 2E_\gamma}$$

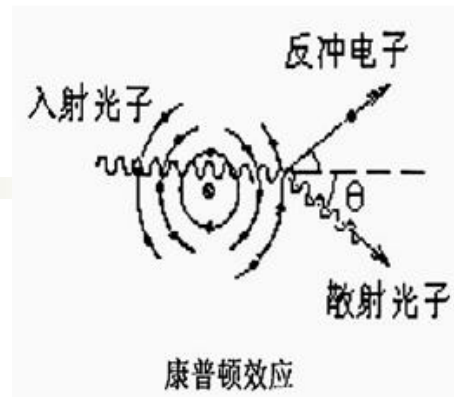
散射光子能量可近似写成:

$$E'_\gamma \approx \frac{E_\gamma}{1 + 2E_\gamma(1 - \cos \theta)}$$

$$E_k = h\nu - h\nu' = \frac{E_\gamma^2(1 - \cos \theta)}{m_0c^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)}$$

当 $\theta = 180^\circ$ 时即光子向后散射, 称为反散射光子, 此时

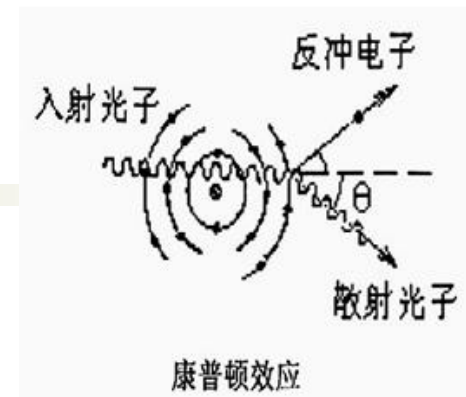
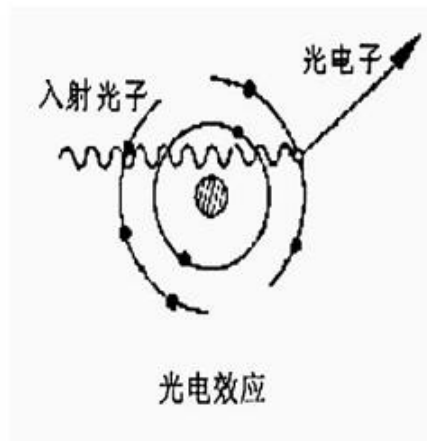
$$E'_\gamma(\theta = 180^\circ) \approx \frac{E_\gamma}{1 + 4E_\gamma}$$





二、实验原理

(2) 康普顿效应



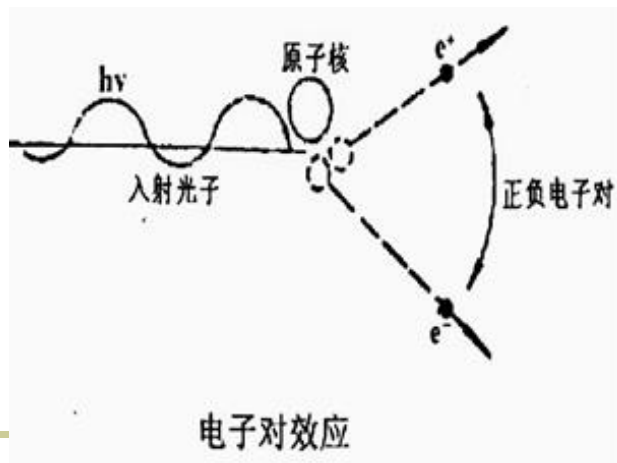
由此可见，康普顿电子的动能可以从0到连续分布，康普顿效应与光电效应不同。光电效应中光子本身消失，能量完全转移给电子；康普顿效应中光子只是损失掉一部分能量。光电效应发生在束缚得较紧的内层电子上；康普顿效应总是发生在束缚得松的外层电子上。



二、实验原理

(3) 电子对效应.

当 γ 光子的能量大于 $2m_0c^2$ ($m_0c^2=0.511\text{MeV}$ 为电子的静止能量), 即大于 1.022MeV 时, γ 光子在原子核的库仑场作用下可能转化为一个正电子和一个负电子, 这个过程称为电子对效应。反过来, 当电子在物质中耗尽动能时, 便与物质中的轨道电子发生正负电子湮没, 同时产生两个能量各为 0.511MeV 的 γ 光子。

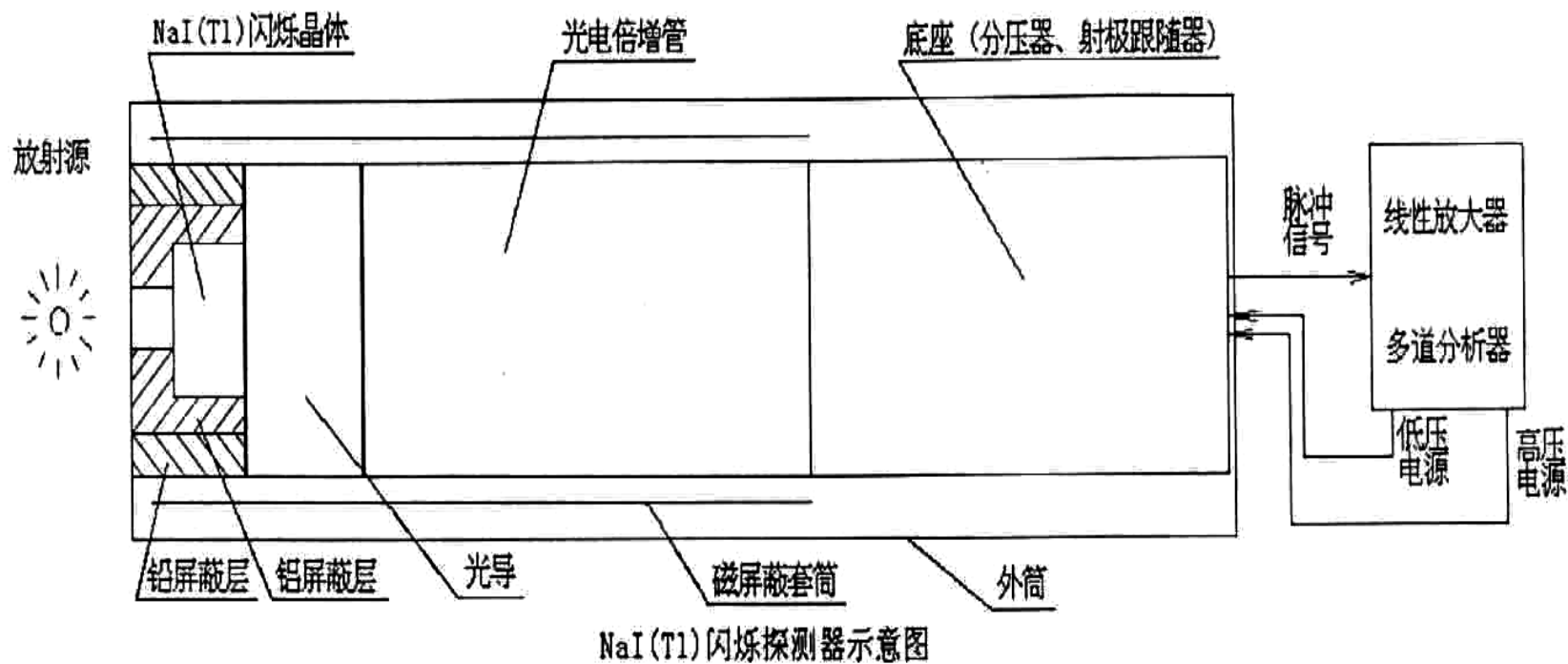


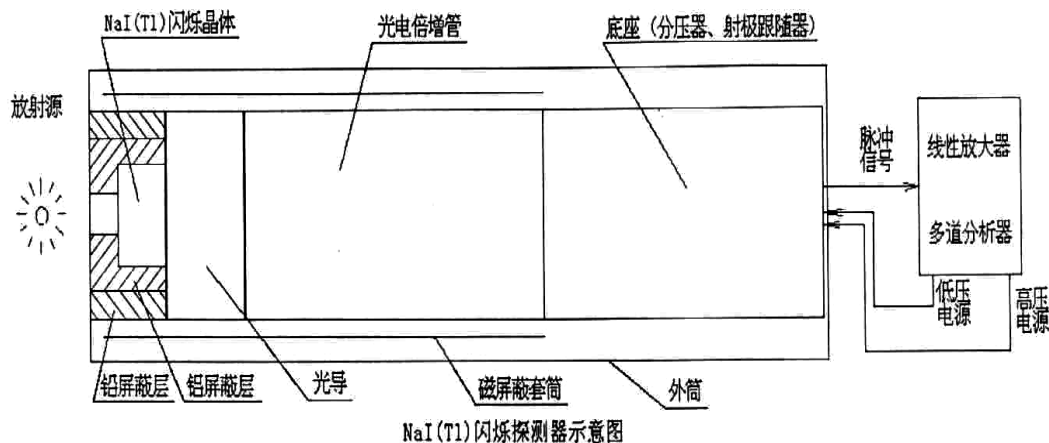


二、实验原理

(二) NaI(Tl)单晶 γ 闪烁谱仪的结构和工作原理

1、NaI (Tl) 闪烁探测器





归结起来，闪烁探测器的工作可分为**五个**相互联系的过程：

- 1) **射线进入闪烁体**，与之发生相互作用，闪烁体吸收带电粒子能量使**原子、分子电离和激发**；
- 2) 受激原子、分子退激时**发射荧光光子**；
- 3) 利用**反射物和光导体**将**闪烁光子**尽可能多地**收集**到**光电倍增管的光阴极**上，由于光电效应，**光子在光阴极上击出光电子**；
- 4) 光电子在光电倍增管中倍增，数量由一个增加到 $10^4 \sim 10^7$ 个。**电子流在阳极负载上产生电信号**；
- 5) 此电信号由电子仪器记录和分析。



二、实验原理

2、单道脉冲幅度分析器和多道脉冲幅度分析器的工作原理

※ 闪烁探测器可将入射粒子的能量转换为电压脉冲信号，而信号幅度大小与入射粒子能量成正比。因此只要测到不同幅度的脉冲数目，也就得到了不同能量的粒子数目。

※ 单道脉冲分析器的功能是把线性脉冲放大器的输出脉冲按高度分类：若线性脉冲放大器的输出是 $0\sim 10\text{V}$ ，如果把它按脉冲高度分成500级，或称为500道；则每道宽度为 0.02V ，也就是输出脉冲的高度按 0.02V 的级差来分类。在实际测量能谱时；我们保持道宽 ΔV 不变，逐点增加 V_0 ，这样就可以测出整个谱形。



二、实验原理

2、单道脉冲幅度分析器和多道脉冲幅度分析器的工作原理

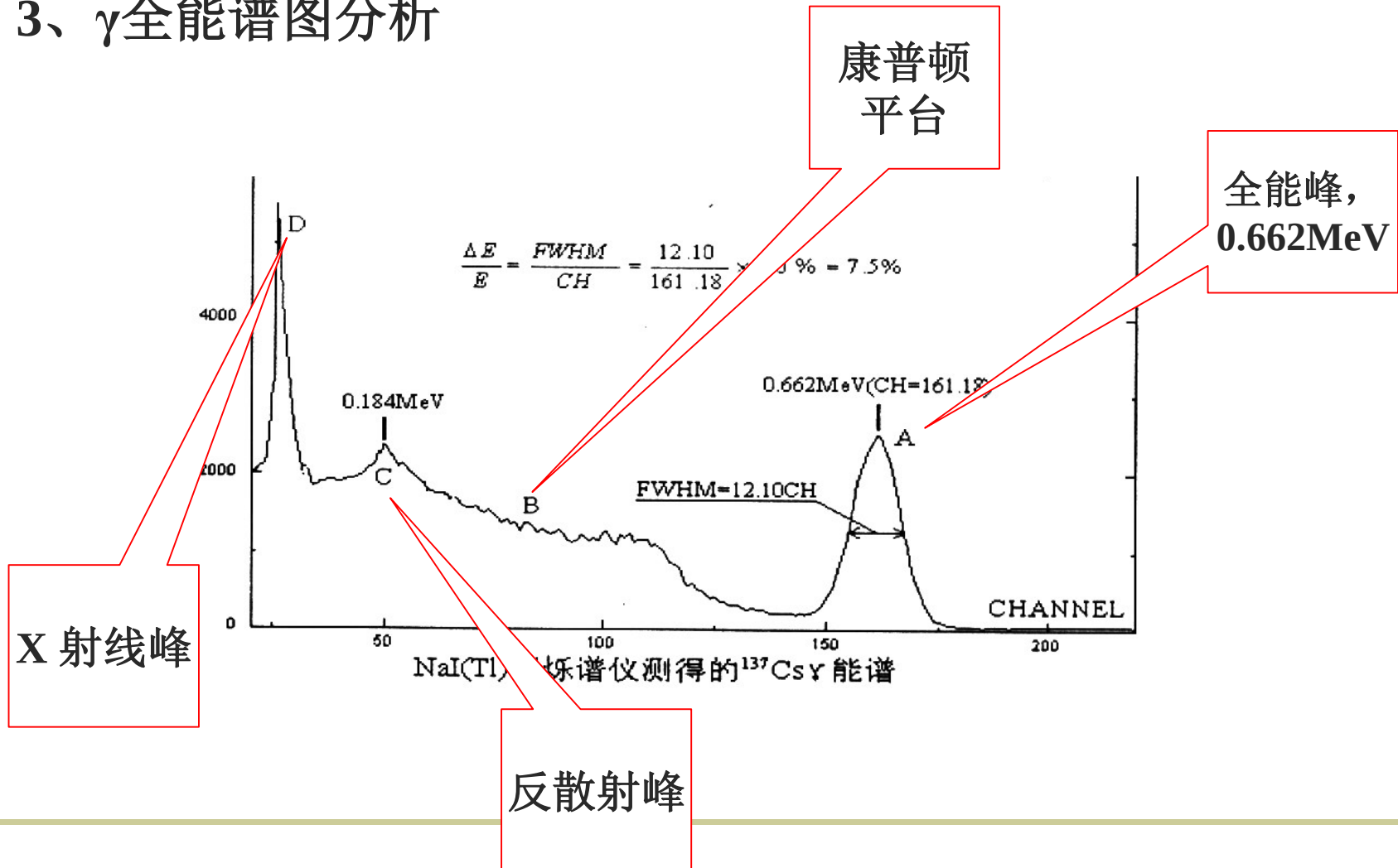
✖ 单道脉冲分析器的功能是把线性脉冲放大器的输出脉冲按高度分类：若线性脉冲放大器的输出是 $0\sim 10\text{V}$ ，如果把它按脉冲高度分成500级，或称为500道；则每道宽度为 0.02V ，也就是输出脉冲的高度按 0.02V 的级差来分类。在实际测量能谱时；我们保持道宽 ΔV 不变，逐点增加 V_0 ，这样就可以测出整个谱形。

✖ 单道是逐点改变甄别电压进行计数，测量不太方便而且费时，因而在本实验装置中采用了多道脉冲分析器。多道脉冲分析器的作用相当于数百个单道分析器与定标器，它主要由 $0\sim 10\text{V}$ 的A/D转换器和存储器组成，脉冲经过A/D转换器后即按高度大小转换成与脉高成正比的数字输出，因此可以同时不同幅度的脉冲进行计数，一次测量可得到整个能谱曲线，既可靠方便又省时。



二、实验原理

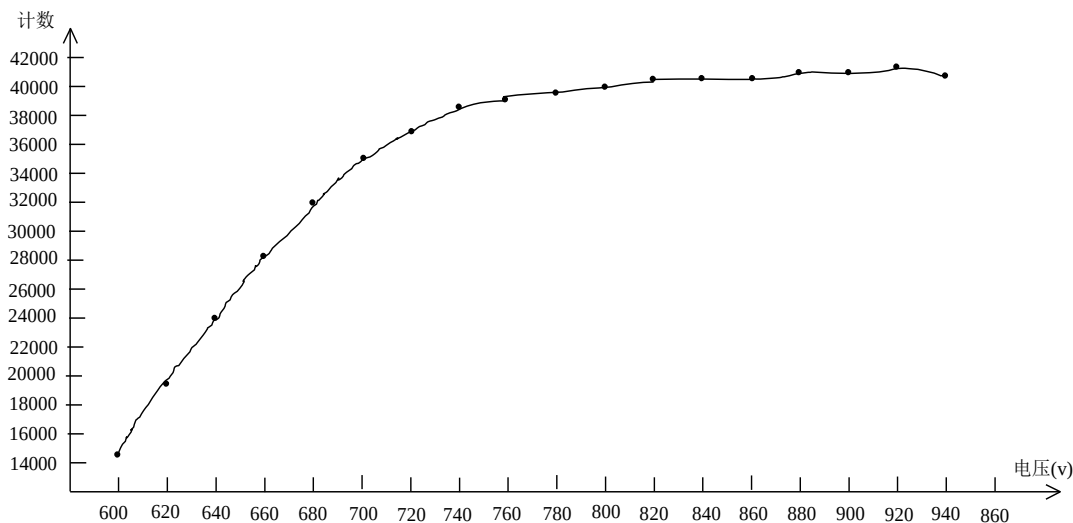
3、 γ 全能谱图分析





二、实验原理

4、闪烁探测器的参数选择



NaI(Tl)闪烁探测器特征曲线

- 可以看出，曲线在电压为820~860V的范围内较平，即计数率变化不大，这一范围称为闪烁计数器的坪区。



三、实验装置图





四. 实验步骤（简略）

1. 开机**预热15分钟**后，用 ^{60}Co 放射源**测坪曲线**，并**选定工作电压**；
2. 分别在相同的工作电压下**采集 ^{137}Cs 和 ^{60}Co 的全能谱**，并分别将全能谱图保存到指定位置，采集时间都设定为10分钟以上。（要求 ^{137}Cs 谱形中0.662MeV峰顶计数达到3000以上）。
3. 关闭放射源，利用多道数据处理软件**对所测得的谱形进行数据处理**，记录 **^{137}Cs 谱的0.662MeV峰位的能量分辨率**和当前的工作电压。分别测量出 ^{137}Cs 谱的0.662MeV、 ^{60}Co 谱的1.17MeV、1.33MeV的电峰位置所对应的道数CH，作E-CH能量定标曲线

能量 E (MeV) ↻	0.184 ^{137}Cs ↻	0.662 ^{137}Cs ↻	1.17 ↻ ^{60}Co ↻	1.33 ↻ ^{60}Co ↻
道数 CH ↻	↻	↻	↻	↻



四. 实验步骤（简略）

4. 对上一步骤所得的结果进行最小二乘拟合，求出定标曲线的具体表达式 $E=a+bCH$ 和回归系数 r 。
5. 定标曲线的应用：测量 ^{137}Cs 谱形，积累一定计数（0.662MeV峰顶计数要求达到3000以上）后，分别寻找康普顿峰和康普顿峰计数一半处（对应 $\theta = 180^\circ$ 的康普顿反散射能量），分别记下道数，利用上一步得到的能量定标曲线求出反散射光子的能量和反冲电子能量，并与理论值相比较，计算百分误差。
6. 给出自己的结论和讨论。



作业布置

- 根据实验要求完成相应的实验报告撰写。