

GM 计数器分辨时间的测量

【摘要】

GM 计数器可用于测定核辐射粒子的数目，是一种被广泛采用的核探测仪器。分辨时间是 GM 计数器最主要的参数之一。本实验通过三种方法：1) 双源法、2) 时间间隔法、3) 示波器法——对 GM 计数器的分辨时间分别作了测量，并对所得测量结果进行了比较与分析。

【关键词】 GM 计数器 分辨时间 双源法 时间间隔法

【引言】

GM 计数器是核辐射探测器的一种，可用于测量包括 α 粒子、 β 粒子、 γ 射线以及 X 射线在内的辐射粒子数。GM 计数器在科学研究、核辐射污染探测、液体污染监测等领域有着广泛的应用。GM 计数管的结构设计与安装有较高的灵活性，不同规格的 GM 计数管可以适合不同使用者的需求。坪特性与分辨时间是 GM 计数器的最主要的两个性能指标。

本实验通过双源法、示波器法以及时间间隔法三种不同的方法对 GM 计数器的分辨时间进行了测量，并对结果进行了比较与分析。

【理论背景】

(一) GM 计数器的结构

盖革—弥勒计数器简称为 GM 计数器，也称作气体放电计数器。由 GM 计数管、高压电源和定标器组成。最常见的有钟罩形 β 计数管和长圆形 γ 计数管两种，两者都是由圆筒状的阴极和装在轴上的阳极丝（通常是钨丝）密封于玻璃管内构成，内部抽空充惰性气体（氩、氦）、及卤素气体。

(二) GM 计数器工作原理

GM 计数管工作时，高压电源经过电阻 R 加在阳极上，管内产生柱状电场。当射线进入计数管之后，引起管内的气体电离，所产生的电子在电场作用下向阳极移动，并进一步与气体分子发生碰撞打出很多次级电子，次级电子在电场作用下产生更多的次级电子，引起“雪崩放电”。雪崩过程中，受激原子退激以及正负离子复合发射大量的光子，这些光子被猝灭气体所吸收，并使雪崩区沿着丝极向两端扩展导致全管放电。最后有大量的电子到达阳极。电子到达阳极之后，由于正离子的质量较大，运动速度慢，因此在阳极周围形成“正离子鞘”，并使得阳极附近的电场减小，新的电子无法增殖，放电终止。由于阳极上的正离子被电子所中和，因此其电位降低，电源电压通过电阻 R 向计数管充电，使电位恢复，从而阳极上得到一个负的电压脉冲。当脉冲高度达到定标器的灵敏度时，便可触发定标器计数。

(三) 分辨时间、死时间、恢复时间

GM 计数管放电后在阳极附近产生一个正离子鞘，并减弱了阳极附近的电场，此时若有粒子进入，不能引起放电，也就不能引起定标计数。随着正离子鞘向阴极移动，阳极附近电场逐渐恢复。当正离子鞘移动到一定距离时，阳极附近的电场刚刚恢复到可以放电，称这段时间 t_d 为死时间，从这一时刻开始到正离子鞘移动到阴极为止的时间则称为恢复时间 t_r ，在 t_r 时间内，由于电场没有完全恢复，因此此时进入的粒子虽然能引起放电，但有可能因为脉冲幅度小于定标器的灵敏度而不能引起计数，如果 τ 时间后出现的脉冲能够被记录下来，则称 τ 为分辨时间。

【实验方法与步骤】

(一) 双源法测量 GM 计数器分辨时间

由于分辨时间的存在，GM 计数器实际测得的计数率 m 小于真实值 n ，且满足

$$n = \frac{m}{1 - m\tau}$$

为了计算得到 τ ，采用双源法，即测量 A、B 两个放射源分别照射下 GM 管的计数率 m_A 和 m_B ，以及同时照射下的计数率 m_{AB} 。分别代入上式，与 $n_{AB} = n_A + n_B$ 联立可得

$$\tau = \frac{m_A + m_B - m_{AB}}{2m_A m_B}$$

由此可计算得到 GM 计数器的分辨时间。

实际测量时，应注意：

1. 分别测量 A、B 放射源以及同时测量 A、B 放射源时应保证 A、B 源的位置保持不变以满足 $n_{AB} = n_A + n_B$ ；
2. 为了减小放射性衰变存在的统计涨落对实验结果的影响， m_A 、 m_B 及 m_{AB} 可以通过多次测量取平均的方法得到；实验中还应扣除本底辐射的计数率以消除其所带来的影响。
3. 测量过程中应注意防止 GM 计数管上的高压过高引起连续放电损坏 GM 计数管。

(二) 时间间隔法测量 GM 计数器分辨时间

时间间隔法的测量原理较为简单：利用实验软件所提供的功能，记录下一定数量的脉冲信号所出现的时间间隔，并将时间间隔的最小值作为 GM 计数器的分辨时间。实验中要注意所测量的计数次数要足够多以保证所测得的分辨时间与真实值较为接近。

(三) 示波器法测量 GM 计数器的分辨时间

图 1、图 2 分别给出了实验电路图、以及放大器部分的电路图

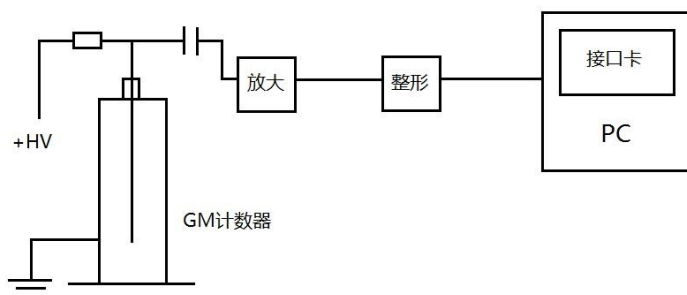


图 1

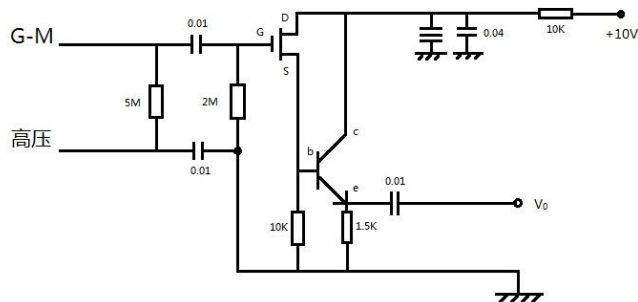


图 2

实验中，将探针接于放大电路三极管的集电极（c 极）处，并将此信号输入示波器，便可在示波器上观察到脉冲信号。

实际测量时，应注意：

1. 将探针接于集电极上时，应同时将探针的另一极接地，以防烧坏示波器；
2. 为了在示波器上同时观察到较多的脉冲信号，应适当增大放射源的放射强度。

【结果与讨论】

(一) 双源法测量分辨时间

用两块 ^{22}Na 作为放射源，分别用 A、B 来表示，双源法测量 GM 计数器分辨时间所得实验数据如下表所示

测量时间 $t=200\text{s}$

源	GM 计数器读数
A	14342
B	26608
AB	13340
无源（本底）	61

表格 1

计算得到分辨时间为

$$\tau = 0.000203\text{s}$$

不确定度的估算

对双源法测得分辨时间作不确定度估算。由于核衰变计数存在统计涨落，在计算不确定度时，认为所测得的计数服从泊松分布且该次测量所得的值即为平均值，进而一次不确定度可表示为^①

$$\sigma = \sqrt{M}$$

其中， M 表示单次测量的读数。

进一步通过不确定度传递公式计算可得

$$\sigma(\tau) = 0.01\text{ms}$$

双源法测得分辨时间为

$$\tau = (0.20 \pm 0.01)\text{ms}$$

^①可参考《近代物理实验》.吴思成, 王祖铨主编

(二) 时间间隔法测量分辨时间

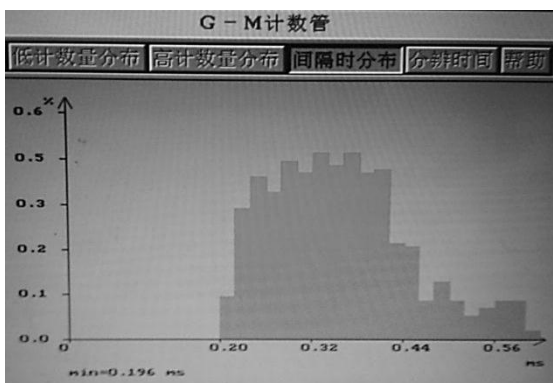


图 3

取测量计数点为 10000 个，时间间隔频率分布直方图如图 3 所示，所测得分辨时间为

$$\tau = \Delta t_{\min} = 0.196ms$$

(三) 示波器法测量分辨时间

接好电路之后，可在示波器上观察到如图 4 所示图像

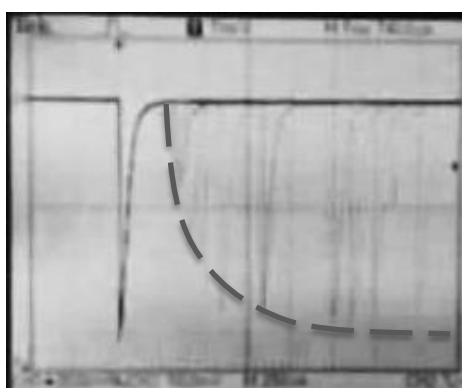


图 4-1

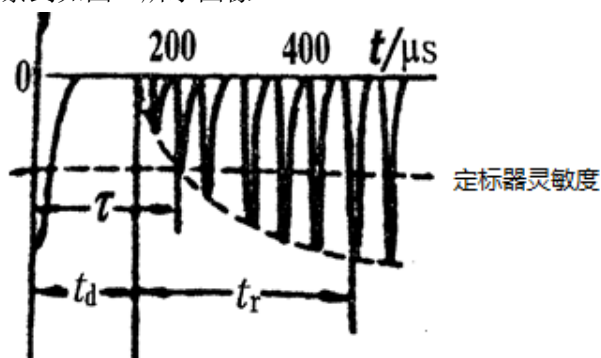


图 4-2

从示波器上可观察到，在出现了一次脉冲信号之后（最左边的峰，调节示波器使之位置固定），其右侧出现了大小不一的脉冲信号，且右侧这些脉冲信号快速地变化并交替出现，其峰值形成了图 4-1 中虚线所表示的包络线。分辨时间 τ 、死时间 t_d 、恢复时间 t_r 的读法如图 4-2 所示。

实际测量中，由于 GM 计数器定标器的灵敏度未知因此无法读出分辨时间 τ 的值。

然而在定标器灵敏度足够高的情况下， $\tau \approx t_d$ ，可以用死时间 t_d 来作为分辨时间的近似。

从示波器上直接读出分辨时间为

$$\tau \approx t_d = 0.20ms$$

不确定度分析：数显示波器的仪器不确定度 μ_{B2} 以及测量不确定度 μ_{B1} 均会对测量结果造成影响。由于脉冲信号并不稳定， $\mu_{B1} > \mu_{B2}$ ，将 μ_{B1} 作为 μ_{τ} 的近似值。取 μ_{B1}

为仪器最小分度^②，则 $\mu_{\tau} \approx \mu_{B1} = d = 0.02\text{ms}$ ，最终分辨时间可表示为

$$\tau = (0.20 \pm 0.02)\text{ms}$$

(四) 测量 GM 计数器分辨时间的三种方法的比较

双源法、时间间隔法、示波器法测量所得到的 τ 的值较为接近，数量级都在 0.1ms ，三种方法均可有效地测量得到 GM 计数管的分辨时间。

双源法测量分辨时间需对多个放射源组合进行测量，所用的实验时间较长，且对放射源位置的摆放有较高要求，分辨时间需由测量值间接计算得到；时间间隔法则较为简便，可直接得到分辨时间的值，但其较多依赖于电子计算机，且其测量精度与计数次数有关；示波器法则可直观地在示波器上观察到脉冲信号的波形；

误差分析。1) 双源法：核衰变计数的统计涨落是影响测量结果不确定度的主要因素。通过延长单次测量时间以及多次测量取平均的方法可以减小不确定度；2) 时间间隔法：在计数次数足够大的情况下， Δt_{\min} 的值可与 τ 非常接近；3) 示波器法：示波器上所得到的脉冲信号不断地变化，并不稳定，给读数带来了困难。由于示波器本身的仪器不确定度以及测量人判断分辨时间所带来的 B_1 类不确定度的影响，其综合不确定度大于双源法。且由于示波器法测量时将死时间作为了分辨时间的近似，也会造成与真实值产生一定的偏差。

综上所述，示波器法可以较为方便、直观地得到 GM 计数器的脉冲波形，并读出分辨时间的值，但是其不确定度要大于双源法与时间间隔法。时间间隔法可在计数次数足够大的条件下得到较为精确地的分辨时间的值。

【小结】

本实验通过双源法、时间间隔法和示波器法三种方法测量得到了 GM 计数管的分辨时间，分别为 $\tau_{\text{双源}} = (0.20 \pm 0.01)\text{ms}$ ， $\tau_{\Delta t_{\min}} = 0.196\text{ms}$ ， $\tau_{\text{示波器}} = (0.20 \pm 0.02)\text{ms}$ 。由于分辨时间在 0.1ms 的数量级，因此测量所得的计数率 m 与真实的计数率 n 相差不大（小于 1%），在一般情况下均可用 m 来代替 n 。此外比较了三种方法的优缺点：示波器法较为直观和简便，但由于波形的变化以及忽略了定标器灵敏度的影响，其测量不确定度较大；时间间隔法测量精度较高，但其依赖于电子计算机；双源法测量精度介于两者之间，其测量所用时间较长，过程也相对繁琐。

【致谢】

感谢实验中心姚红英老师的悉心指导以及实验搭档刘仲麟同学的合作！

【参考文献】

- 1、吴思成，王祖全. 近代物理实验. 北京：北京大学出版社，2001.
- 2、沈元华，陆申龙. 基础物理实验. 北京：高等教育出版社，2006

^② 可参考《基础物理实验》.沈元华、陆申龙 主编