

实验2-1 盖革-弥勒计数管的特性及放射性衰变的统计规律

实验背景



盖革 (1882.9.30~
1945.9.24 德国物
理学家)

盖革的名字同一种在1913年发明的探测高能亚原子粒子的仪器联系在一起，就是所谓的“盖革计数器”。盖革计数器是一个装有气体的圆筒，上面加有很高的电势，但是还没有高到能克服气体的电阻将它击穿的地步。如果有一个高能亚原子粒子进入圆筒，它将使其中气体的一个分子电离。新产生的这个离子以很高的能量向阴极运动，途中通过碰撞，再使另外一些原子电离；这些电离的原子本身又开始运动，再进一步电离其他原子。这就是说，圆筒内的气体发生了一次“雪崩”电离过程。由于这个过程，圆筒内的气体会通过一个瞬时电流，它可以被记录下来而发出一次咔嗒声。这种咔嗒声记录的就是粒子进入圆筒的事件。本实验中用来测量 β 射线和 γ 射线的强度。

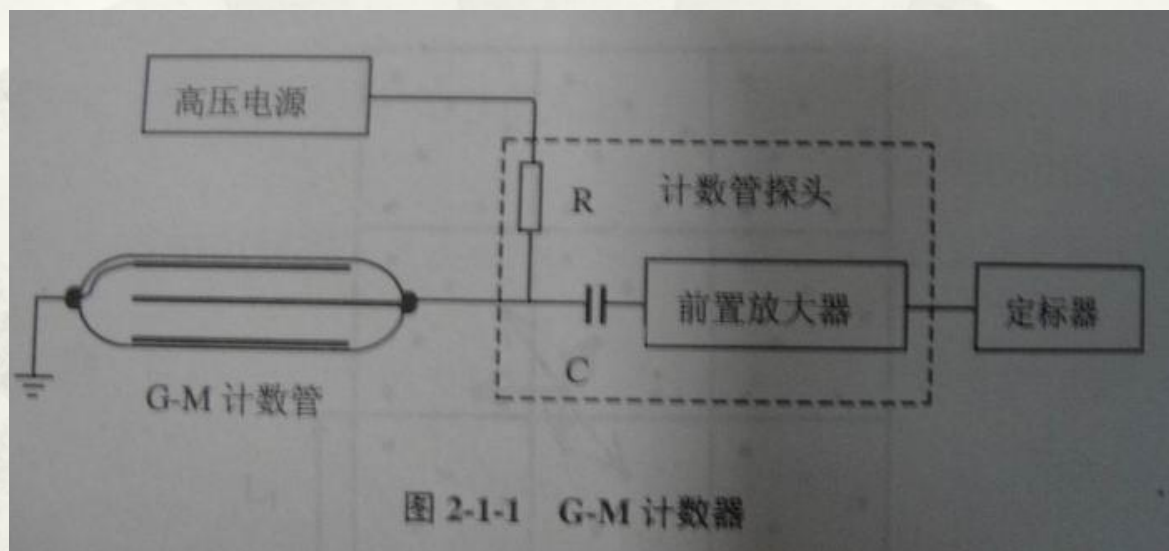
一、实验目的

- (1) 了解盖革-弥勒计数器 (G-M计数器) 的结构, 工作原理
- (2) 学会测量盖革-弥勒计数器坪曲线
- (3) 掌握盖革-弥勒计数器工作电压的选取及分辨时间的测量方法
- (4) 验证核衰变的统计规律, 了解放射性测量中统计误差的性质, 掌握其表示方法。

二、实验原理

(一)、G-M计数器简介：

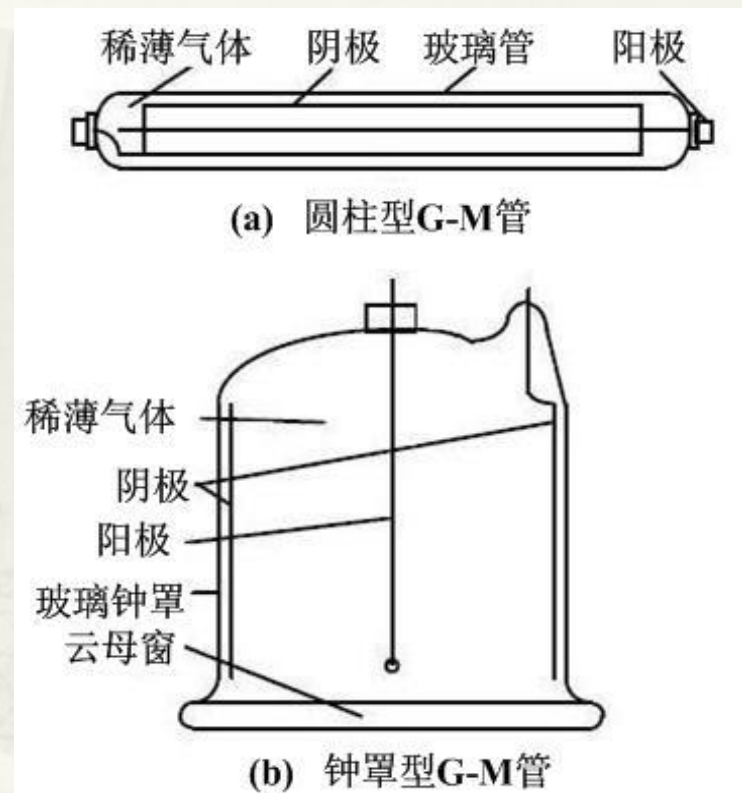
G-M计数器由G-M计数管，高压电源和定标器三部分组成



用高压电源提供G-M计数管的工作电压，计数管在射线作用下可以产生电脉冲，而定标器则用来记录计数管所输出的脉冲数。

(二)、G-M管的结构和工作原理

- 1.工作时，柱状对称电场。
2. 初电离：带电粒子进入计数管，与管内气体分子发生碰撞，使气体分子电离即初电离（粒子不能直接使气体分子电离，但它在阴极上打出的光电子可使气体分子发生电离）
- 3.次级电离
4. “电子雪崩”
5. 在阳极上便发生放电而产生一个电脉冲输出。
- 6.形成“正离子鞘”：使一个粒子入射只能引起一次雪崩即只形成一个电脉冲



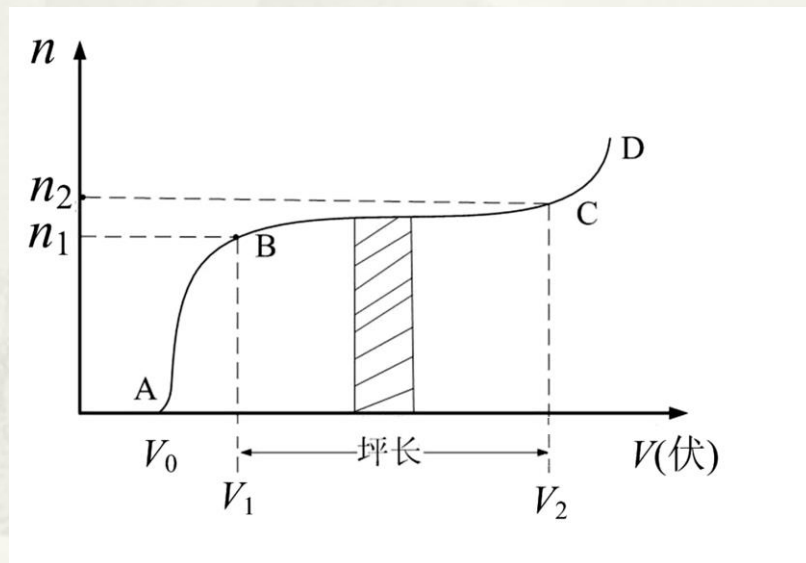
(三)、G-M计数管的性能：

1、坪曲线. 在强度不变的放射源照射下，G-M管的计数率 n 随外加电压变化的曲线

起始电压 V_0 ，坪长即坪区的长度 $V_2 - V_1$ ，坪斜即坪区的坡度 T ，通常用坪区内电压每增加100V时计数率增长的百分比表示。

$$T = \frac{n_2 - n_1}{\frac{1}{2}(n_1 + n_2)(V_2 - V_1)} \times 10^4$$

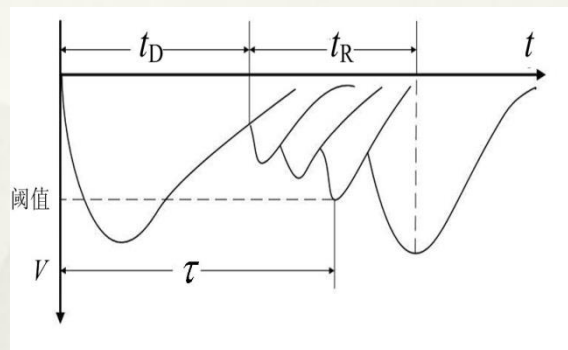
[单位：%/ (100V)]



2. 死时间、恢复时间、分辨时间 τ

入射粒子进入G-M管引起雪崩放电后在阳极周围形成的正离子鞘削弱了阳极附近的电场，这时再有粒子进入也不能引起放电，即没有脉冲输出，直到正离子鞘移出强场区，场强恢复到刚刚可以重新引起放电的这段时间称为**死时间**

从这之后到正离子到达阴极的时间称为**恢复时间**，在恢复时间内，粒子进入计数管所产生的脉冲幅度低于正常值。



$$t_D + t_R > \tau > t_D$$

因为任何电子线路总有一定的触发阈，脉冲幅度必须超过触发阈时才能触动记录电路。因此，从第一个脉冲开始到第二个脉冲的幅度恢复到触发阈的这段时间内，进入计数管的粒子均无法记录下来，这段时间称为系统的**分辨时间**。

3、双源法没分辨时间

由于分辨时间的存在，实测计数率 m 会小于真计数率 n ，需要进行修正

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

双源法是利用两个独立源 I 和 II，在完全相同的条件下，分别测量各个源的计数率 m_1 、 m_2 及源 I、II 同时存在的计数率 m_{12} ，若忽略本底，其真计数率分别为

$$n_1 = \frac{m_1}{1 - m_1\tau}, \quad n_2 = \frac{m_2}{1 - m_2\tau}, \quad n_{12} = \frac{m_{12}}{1 - m_{12}\tau}$$

由于实验条件完全相同，则有 $\frac{m_{12}}{1 - m_{12}\tau} = \frac{m_1}{1 - m_1\tau} + \frac{m_2}{1 - m_2\tau}$

当 $m_{12}\tau \ll 1$ 将上式展开，略去高次项，即得

$$\tau \approx \frac{m_1 + m_2 - m_{12}}{2m_1m_2}$$

四、核衰变的统计规律与放射性测量的统计误差：

1、核衰变的统计规律

衰变遵从统计规律： $N(t)=N_0e^{-\lambda t}$ ， λ 为衰变常数。
半衰期 T 与衰变常数的关系 $T=\ln 2/\lambda=0.693/\lambda$ 。

2、泊松分布与高斯分布

围绕各次测量的平均值构成一定分布。设 N 为尚未衰变的放射性核数， n 为某时间 t 内衰变的核数， $\bar{n}$ 为多次测量 t 时间内平均衰变的核数；又假设这种放射性核的半衰期很长，即 $n \ll N$ ，在测量过程中可认为 N 不变，可以推出 t 时间内有 n 个核衰变而其余的核不衰变的几率为：

$$P(n) = \frac{(\bar{n})^n}{n!} e^{-\bar{n}}$$

此为泊松分布公式，当平均数较大时，泊松分布公式化为高斯分布公式：

$$P(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(\bar{n}-n)^2}{2\bar{n}}}$$

3、标准误差的几率含义，如书中表格，指 n 落在 $\bar{n} \pm \sigma$ 之外的几率。

4、放射性测量中统计误差的表示

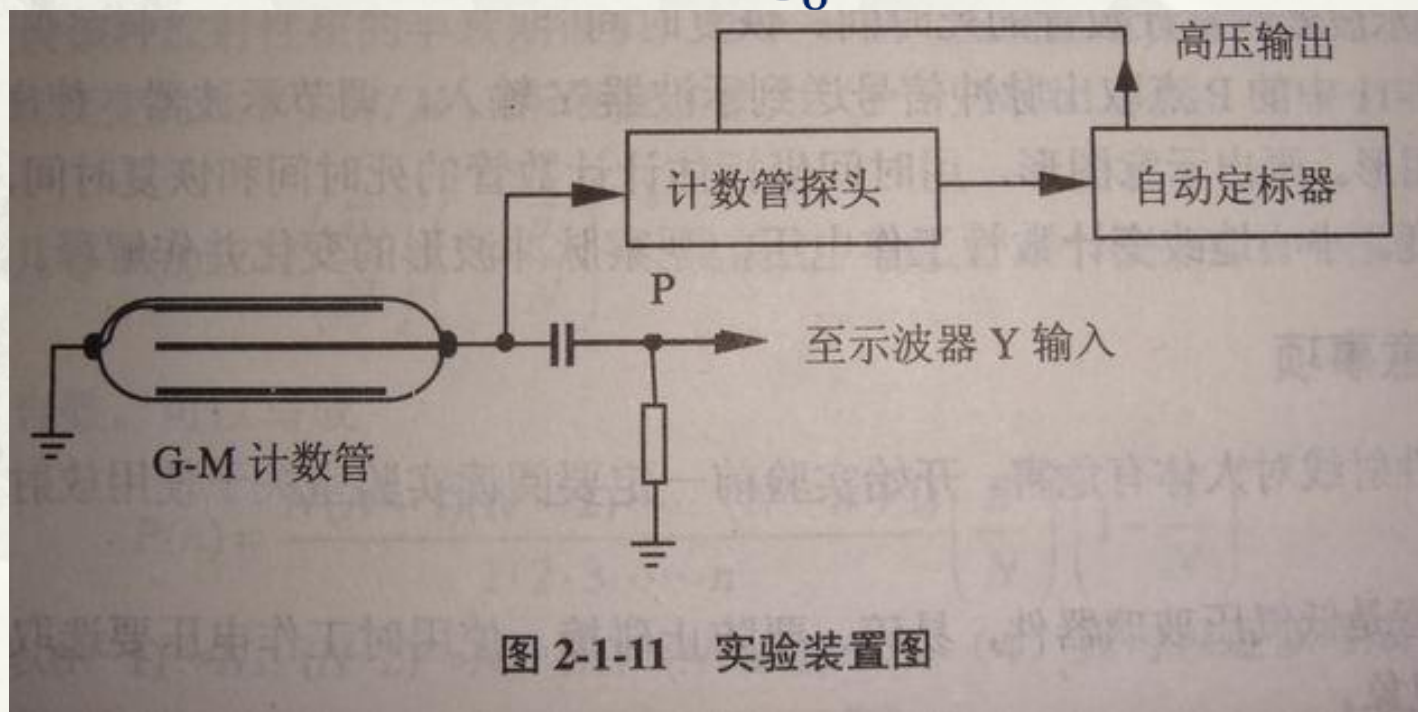
通常把 $\bar{n}$ 看成测量结果的最可几值，把起伏带来的误差称为统计误差，其大小用标准误差表示。实验时进行有限次测量，标准误差 $\sigma = \sqrt{\bar{n}} = \sqrt{(\bar{n} - n) + n} \approx \sqrt{n}$

5、标准误差传递公式

$$\sigma_y = \left[\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \right)^2 \sigma_{x_1}^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \right)^2 \sigma_{x_2}^2 + \dots + \left(\frac{\partial f}{\partial x_n} \right)^2 \sigma_{x_n}^2 \right]^{1/2}$$

三、实验装置

*实验装置为圆管形计数管各一支，FJ365计数管探头一个，自动定标器一台（带高压电源），示波器一台， ^{60}Co 放射源两个。



四、实验内容

- (一) 测量G-M计数管的坪特性
- (二) 双源法测分辨时间
- (三) 验证核衰变的统计规律

五、思考题

1. 计数管在什么情况下出现连续放电？出现连续放电时应怎样处理？如何延长计数管的使用寿命？
2. G-M 计数管的计数与哪些因素有关？能否用它来测量能量和区分射线种类？
3. 分辨时间的存在对计数有什么影响？能否克服？
4. 放射性测量中的统计误差由什么决定？有哪些途径可以减小统计误差？
5. 测量 β 射线的吸收系数时，为什么选用钟罩形 G-M 计数管？计算 u 值时，为什么不用知道计数管入射窗的厚度？

六、注意事项：

- 1.放射性射线对人体有危害，开始实验前一定要阅读实验室关于使用放射源的规定，并严格遵守；
- 2.计数管是低气压玻璃器件，易碎，要防止碰撞。使用时工作电压要选取适当，严防出现连续放电现象。