



示波器工作原理及相关问题

■河南 朱辉

示波器是一种高科技检测仪器,它利用被测信号的电场对示波管中电子运动的影响来反映被测信号电压的瞬变过程.由于电子惯性小,荷质比大,因此可以观察变化极快的电压瞬变过程.利用示波器可观察和测量交流信号的电压、周期、频率和相位等.示波器正常工作时,电子先在加速电场中加速,然后进入偏转电场做类平抛运动,最后离开电场匀速飞向显示屏.近年高考中以示波器为背景的试题频频出现,综合考查考生对电学、力学知识理解和掌握情况,同时考查考生应用所学知识解决实际问题的能力.

一、示波器结构和工作原理

示波管是示波器的核心,它是由电子枪、偏转系统和荧光屏三部分组成,并封闭在真空玻璃管内,如图1所示.

偏转系统包括Y偏转板和X偏转板,Y偏转板是竖直方向电场的两块电极,X偏转板是水平方向电场的两块电极.加在两对偏转板上的电压分别控制电子束在X、Y方向的偏转,可使光点在荧光屏上的坐标平面内处于任意一位置.

如果仅在Y偏转板上加上一个随时间作正弦规律变化的信号电压 $U_y = U_m \sin \omega t$,则在荧光屏上仅能看到一条竖直的亮线.为了看到电压波形,必须同时在X偏转板上加上一个与时间成正比的锯齿形电压,锯齿形电压的作用是让光点由荧光屏的左边匀速扫描至右边,然后迅速返回左边,接着又由左边扫描至右边,光点的这种运动称为扫描.

在x轴方向加上锯齿形电压后,会在屏幕上看到正弦曲线,如果锯齿形电压周期等于正弦波电压周期,在荧光屏上将看到一个稳定的正弦波,如果锯齿形电压的周期是正弦波电压周期的n倍,荧光屏上将显示n个完整的正弦波.如果锯齿形电压周期不是正弦波电压周期的整数倍,则第二次所描出的曲线将和第一次的曲线位置不相重合,从而在荧光屏上显示的图形是不稳定的,或者图形较为复杂.

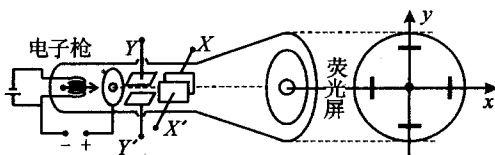


图1



二、示波管例题分析

例题 如图2所示, 真空中电极K发出的电子(初速不计)经过电压为 U_1 的加速电场后, 由小孔S沿水平金属板A、B间的中心线射入两板中. 板长为 L , 相距为 d . 在两板间加上如图3所示的正弦交变电压, 前半个工作日内B板的电势高于A板的电势, 电场全部集中在两板之间, 且分布均匀. 在每个电子通过极板的极短时间内, 电场可看作恒定的. 在两极板右侧且与极板右端相距为 D 处有一个与两板中心线垂直的荧光屏, 中心线正好与屏上坐标原点O相交, 如图4所示. 当第一个电子到达坐标原点O时, 使荧光屏以速度 v 沿 $-x$ 方向运动, 每经过一定的时间后, 在一个极短时间内荧光屏又跳回到初始位置, 然后重新做同样的匀速运动(已知电子的质量为 m , 带电量为 e). 求:

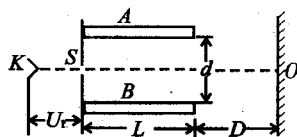


图2

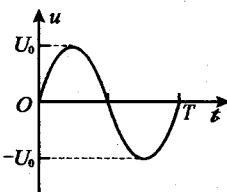


图3

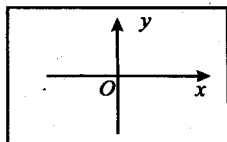


图4

(1) 电子进入A、B板间时的初速度.

(2) 要使所有的电子都能打在荧光屏上, 图3中电压的最大值 U_0 需满足什么条件?

(3) 要使荧光屏上始终显示一个完整的波形, 荧光屏必须每隔多长时间回到初始位置? 计算这个波形的峰值和长度.

(4) 在如图5所示的 $x-y$ 坐标系中画出这个波形.

解析: (1) 设电子进入A、B板间时的初速度为 v_1 , 据动能定理有 $eU_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$, 解得 $v_1 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}}$.

(2) 因为每个电子在板A、B间运动时, 电场可看做恒定的, 故电子在板A、B间做类平抛运动, 运动到两板之外做匀速直线运动打在屏上, 电子运动的轨迹如图6所示. 设电子在A、B两板间运动的时间为 t , 由平抛运动规律知水平方向有 $L = v_1 t$, 竖直方向有 $y = \frac{1}{2}at^2$, 且 $a = \frac{eU}{md}$, 解得 $y = \frac{UL^2}{4U_1 d}$. 设偏转电压最大值为 U_0 , 则有 $\frac{U_0 L^2}{4U_1 d} < \frac{d}{2}$, 得 $U_0 < \frac{2d^2 U_1}{L^2}$.

(3) 要保持一个完整波形, 荧光屏需每隔一个周期 T 回到初始位置.

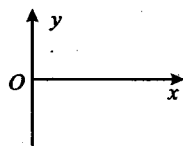


图5

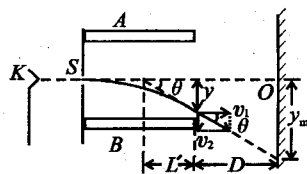


图6





设电子从 A、B 板间飞出时的偏向角为 θ , 有 $\tan \theta = \frac{v_2}{v_1} = \frac{at}{v_1} = \frac{at^2}{v_1 t} = \frac{2y}{L}$, 又 $\tan \theta = \frac{y}{L'}$, 联立得 $L' = \frac{L}{2}$.

设波峰值为 y_m , 由相似三角形的性质得 $\frac{\frac{L}{2} + D}{\frac{L}{2}} = \frac{y_m}{y}$

$\frac{y_m}{y}$, 解得波形的峰值 $y_m = \frac{(L+2D)U_0 L}{4dU_1}$.

这个波形的长度为 $x_1 = vT$.

(4) 波形如图 7 所示.

图 7

在近年高考中多次出现带电粒子在交变电场中运动的试题, 这些试题所涉及的情景基本相同, 但命题者往往拟定不同的题设条件, 多角度提出问题, 多层次考查能力. 解决这类问题要从受力分析入手, 分清各个物理过程, 弄清带电粒子运动情境, 借助图象, 定性分析, 定量讨论, 并注意思维方法和技巧的灵活运用.

巩固练习

如图 8 所示为示波器的部分构造, 真空中电极 K 连续不断地发射的电子(不计初速), 经过电压为 U_0 的加速电场后, 由小孔 O' 沿水平金属板 A、B 间的中心轴线射入板间, 板长为 l , 两板相距为 d , 电子穿过两板后, 打在荧光屏上, 屏到两板右端的距离为 L , 屏的中点为 O , 屏上 a 、 b 两

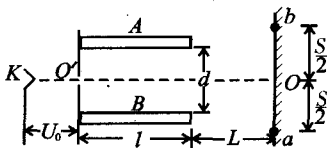


图 8

点到 O 点的距离为 $\frac{s}{2}$, 若在 A、B 两板间加上变化的电压, 在每个电子通过极板的极短时间内, 电场可视为恒定的. 现要求 $t=0$ 时, 进入两板间的电子打在屏上的 a 点, 然后经时间 T , 亮点匀速上移到 b 点, 在屏上形成一条直线亮线, 电子的电量为 e , 质量为 m .

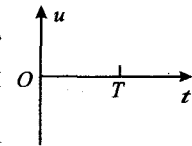


图 9

(1) 求 A、B 间电压的最大值.

(2) 写出在时间 $0 \sim T$ 时间内加在 A、B 两板间的电压 U 与时间 t 的关系式.

(3) 在图 9 中画出 $0 \sim T$ 时间内的 $u-t$ 图象.

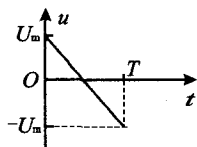


图 10

参考答案: (1) $U_m = \frac{2sdU_0}{(2L+l)l}$

(2) $U = \frac{4dU_0}{(2L+l)l} \left(\frac{s}{2} - \frac{s}{T}t \right)$.

(3) 如图 10 所示.

(责任编辑 李国庆)

