

偏转电极的电压与示波管图像关系的计算及分析^{*}

曹 猛 黄开智

(江苏省姜堰第二中学 江苏 泰州 225500)

(收稿日期:2016-09-29)

摘 要:在科教版物理教材选修3-1第一章第五节中,提到了示波管原理,并定性给出了偏转电极的电压和示波管呈现的图线之间的关系,逻辑推理上略显不足,除此之外,在课后的发展空间版块也略显薄弱.文章通过预设示波管偏转电极的电压变化情况,定量计算了示波管显示的图像,并在此基础上解释和延伸了教材的结论.

关键词:示波管 偏转电极 带电粒子

1 示波管的结构及其工作原理

示波管实质上是一个阴极射线管,主要由3部分组成,分别是电子枪、偏转电极和荧光屏.与此同时,电子在阴极射线管中的运动可分为3个阶段,分别是电子在电场中直线加速、电子在匀强电场中偏转和电子飞出平行金属板的匀速直线运动.图1所示为示波管的构造图.

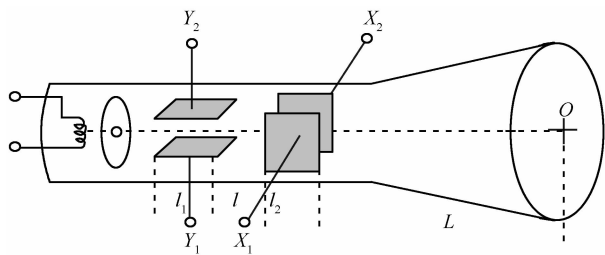


图1 示波管结构图及相关参数

在对示波管的定量研究中^[1],当在水平偏转电极 X_1X_2 和竖直偏转电极 Y_1Y_2 上分别加如图2,3所示的周期性电压时,示波器显示的图形便如图4所示的正弦波形图.对此,教材只是通过一句话进行了说明:当加在 X_1X_2 的电压为图2的周期性电压时,则亮斑将在荧光屏的平面内运动,它可显示出加在 Y_1Y_2 上的电压随时间变化的图形.其言外之意就是无论加在 Y_1Y_2 上的电压随时间是如何变化的,都可呈现出来.不少学生对此似懂非懂,同时由于教学进度和考试要求等因素,教师一般也不会在该处

作过多的解释和说明,这便导致学生难以理解示波器呈现的图形,有囫圇吞枣,一带而过之嫌.

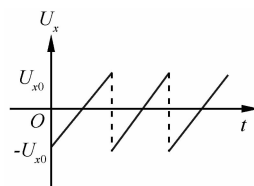


图2 周期为 T 的电压信号

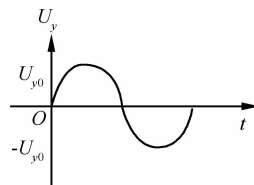


图3 周期为 T 的正弦电压信号

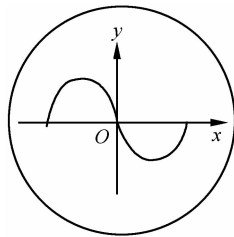


图4 正弦式波形图

2 示波管图像的定量计算与分析

实际上,造成以上困扰的核心就在于荧光屏上亮斑的坐标 (x, y) 为什么是这样的关系.下面,在

^{*} 泰州市教育科学“十二五”规划2015年度课题“泰州市姜堰区高中生的科学素养的调查与研究”阶段研究成果,项目编号:TZJKS-YBLX2015239

图2及图3的电压信号下(分析一个周期 T),来推算亮斑的坐标 x 与 y 之间到底有怎样的关系.

相关参数已在图1中呈现, U_0 表示直线加速电压, U_x 表示水平偏转电压, U_y 表示竖直偏转电压, l_1 和 l_2 分别表示竖直和水平偏转电极的长度, d_1 和 d_2 分别表示竖直和水平偏转电极极板间距,考虑到实际情况,竖直偏转电极 Y_1Y_2 和水平偏转电极 X_1X_2 之间的距离为 l , X_1X_2 电极到荧光屏的距离为 L ,电子质量为 m ,电荷量为 e .

2.1 电子在竖直方向的位置坐标

电子经过直线加速电场后,获得的速度为 v_0 ,其中 $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$,此后进入竖直偏转电极 Y_1Y_2 .电子在电极 Y_1Y_2 发生的偏转位移为 y_1 ,有

$$y_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{eU_y}{md_1} \left(\frac{l_1}{v_0}\right)^2 = \frac{1}{4} \frac{U_y l_1^2}{U_0 d_1}$$

电子离开电极 Y_1Y_2 ,依次进入空间 l ,水平偏转电极 X_1X_2 和自由空间 L ,竖直方向发生的位移分别为 y_2, y_3 和 y_4 ,且都做的是匀速直线运动,故而有

$$y_2 + y_3 + y_4 = v_y t = \frac{eU_y}{md_1} \frac{l_1}{v_0} \frac{l + l_2 + L}{v_0} = \frac{1}{2} \frac{U_y l_1 (l + l_2 + L)}{U_0 d_1}$$

因此,电子最终的 y 坐标为

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + y_4 = \frac{1}{4} \frac{U_y l_1^2}{U_0 d_1} + \frac{1}{2} \frac{U_y l_1 (l + l_2 + L)}{U_0 d_1}$$

整理后有

$$y = \left[\frac{1}{4} \frac{l_1^2}{U_0 d_1} + \frac{1}{2} \frac{l_1 (l + l_2 + L)}{U_0 d_1} \right] U_y = PU_y \quad (1)$$

2.2 电子在水平方向的位置坐标

电子进入水平偏转电极 X_1X_2 发生的偏转位移为 x_1 ,有

$$x_1 = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \frac{eU_x}{md_2} \left(\frac{l_2}{v_0}\right)^2 = \frac{1}{4} \frac{U_x l_2^2}{U_0 d_2}$$

进入自由空间 L 发生的偏转位移为 x_2 ,有

$$x_2 = v_x t = \frac{eU_x}{md_2} \frac{l_2}{v_0} \frac{L}{v_0} = \frac{1}{2} \frac{U_x l_2 L}{U_0 d_2}$$

因此,电子最终的 x 坐标为

$$x = x_1 + x_2 = \frac{1}{4} \frac{U_x l_2^2}{U_0 d_2} + \frac{1}{2} \frac{U_x l_2 L}{U_0 d_2}$$

整理后有

$$x = \left(\frac{1}{4} \frac{l_2^2}{U_0 d_2} + \frac{1}{2} \frac{l_2 L}{U_0 d_2} \right) U_x = QU_x \quad (2)$$

2.3 x 与 y 的关系式

鉴于

$$U_x = -U_{x0} + \frac{2U_{x0}}{T}t$$

$$U_y = U_{y0} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right)$$

将其代入 x, y 坐标关系式中,可得

$$\begin{cases} y = PU_{y0} \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right) \\ x = Q\left(-U_{x0} + \frac{2U_{x0}}{T}t\right) \end{cases} \quad (3)$$

联立式(3)中的两式,将时间 t 消除,故而有

$$y = PU_{y0} \sin\left(\frac{\pi}{QU_{x0}}x + \pi\right)$$

不难看出,亮斑的坐标 x 与 y 确实是成正弦关系,故而图像为正弦式图线.

2.4 示波器图像形成的定性分析及启示

由式(1)、(2)可得,当偏转电极的长度 l_1, l_2 及电极之间的距离 l 忽略不计,舍去小项时,结果表达式回归教材所提.

荧光屏上的波形图是带电粒子在空间的位置坐标随时间变化的客观呈现.当 X_1X_2 电压随时间呈现周期性线性变化时,那么就可以用示波器上的波形图去反映 Y_1Y_2 电压随时间变化的规律,例如当 Y_1Y_2 电压信号是方形波时,那么示波器呈现的应为方形波.由此,这也直接印证了示波器的一个重要作用——鉴别信号类型.

学习过程中,学生应充分重视所遇到的困难,要多维度去求证研究,求证研究的过程往往涉及建模、推理、计算、分析等步骤,同时这也是提升自主学习能力的关键环节.对于教师,除了按照考纲要求讲解相应知识点外,也要在适当的时机引导学生发现问题,解决问题到感悟问题,注重差异化和个性化学生的培养,做到因材施教、科学授教.

参考文献

- 1 科学教育出版社.普通高中课程标准实验教科书物理选修3-1.北京:科学教育出版社,2006.24~28