

坐标原点平移法处理带电粒子在交变电场中的运动问题

王 刚

(邯郸市教育科学研究所 河北 邯郸 056008)

张建锋

(邯郸市第一中学 河北 邯郸 056006)

(收稿日期:2016-09-09)

摘 要:利用物理图像以及坐标原点平移法来解决带电粒子在交变电场中的运动问题,使学生对复杂过程一目了然,缩短了解题时间,提高了得分率。

关键词:坐标原点平移 带电粒子 交变电场

如图1(a)所示,真空室中电极K发出的电子(初速不计)经过电势差为 U_1 的加速电场加速后,沿两水平金属板C和D间的中心线射入两板间的偏转电场,最后打在荧光屏上.C、D两板间的电势差 U_{CD} 随时间变化如图1(b)所示,设C、D间的电场可看作是均匀的,且两板外无电场.已知电子的质量为 m ,电荷量为 e (重力不计),C、D极板长为 l ,板间距离为 d ,偏转电压为 U_2 ,荧光屏距C和D右端的距离为 $\frac{l}{6}$,所有电子都能通过偏转电极.求:

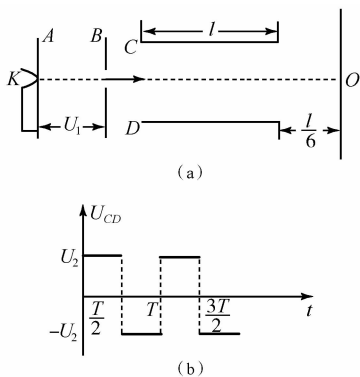


图1 题图

- (1) 电子通过偏转电场的时间 t_0 ;
- (2) 若 U_{CD} 的周期 $T = t_0$, 则零时刻射入偏转电场的电子会打在荧光屏的什么位置;
- (3) 若 U_{CD} 的周期 $T = 2t_0$, 何时射入偏转电场的电子打在荧光屏 O 点.

解析:(1) 设电子在加速过程中获得的速度为

v_0 , 有

$$U_1 e = \frac{1}{2} m v_0^2$$

在偏转电场中运动, 水平方向匀速运动, 则

$$v_0 t_0 = l$$

由以上两式可得

$$t_0 = l \sqrt{\frac{m}{2U_1 e}}$$

(2) 为方便理解, 根据电压图像画出在竖直方向的速度-时间图像, 如图2所示. 则

$$y = \frac{1}{2} \frac{U_2 e}{dm} \left(\frac{t_0}{2} \right)^2 \times 2 = \frac{U_2 l^2}{8dU_1}$$

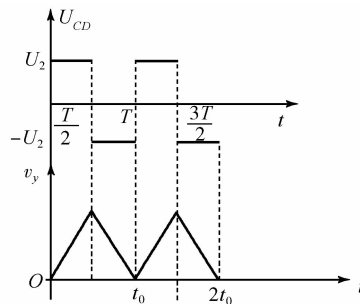


图2 竖直方向的速度-时间图像

(3) 此过程比较复杂, 包括3个匀变速过程, 学生不容易想清楚, 运用物理方程解题时容易出错, 是在图2的基础上将坐标原点 O 平移至 P 点, 如图3所示, 设 $t_{PA} = t$, 则 $t_{AB} = t, t_{BC} = t_0 - 2t$, 根据面积相等, 得

$$at^2 = \frac{a(t_0 - 2t)^2}{2}$$

解得

$$t = \frac{\sqrt{2}t_0}{2}$$

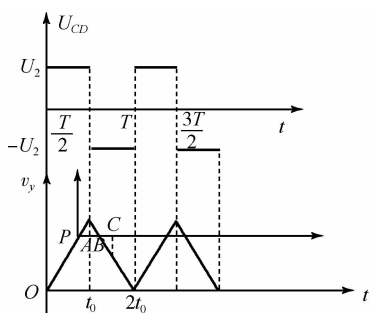


图3 平移坐标原点

从图3我们也可以看出,电子在 y 方向上, t_{PA} 时间内做匀加速运动, t_{AB} 时间内做匀减速运动, B 时刻 y 方向速度为零, t_{BC} 时间内反方向匀加速运动.

带电粒子在交变电场中的运动属于较难的问题,多个物理过程、多个物理量、多个物理方程导致学生在解答这类题目的时候出现很多问题,比如物理过程不清楚,物理方程丢三落四,以及解物理方程组存在的问题等等.本文利用物理图像以及坐标原点平移法来解决此类问题,使学生对复杂过程一目了然,缩短了解题时间,提高了得分率.

(上接第50页)

竖直方向运动则为

$$y(t) = R - R\cos \omega t$$

式中

$$R = \frac{m(v_0 - v_1)}{qB} \quad \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{qB}{m}$$

从表达式来看, y 方向是一简谐运动,运动周期为

$$T = \frac{2\pi m}{qB}$$

y 方向振幅为

$$R = \frac{m(v_0 - v_1)}{qB} = \frac{m\left(v_0 - \frac{E}{B}\right)}{qB}$$

那么 x 方向一个周期 T 内运动的位移为

$$s = v_1(t_1 + T) - x(t_1) = \{v_1(t_1 + T) - R\sin[\omega(t_1 + T)]\} - (v_1 t_1 - R\sin \omega t_1) = v_1 T$$

这样所得结论与原预设条件契合.当然也可参

照例1中深度剖析方法去分析,由于篇幅关系,这里就不再赘述了.2013年高考福建卷也有类似问题,完全可以参考这种方法去深度思考、探究.

从上面思考分析来看,用动能定理分析带电体在某处的速度大小是最为快捷的,但运动速度的方向、位移这些细节则无法确定,而带电体的运动规律则可以用等效法,将带电体运动分解(或构造)为一个匀速运动与一个圆周运动,如果初速度不为零则其中有两个圆周运动,当然也可将两个圆周运动作为一个圆周运动处理,这里涉及到矢量运动,略显复杂.当然还有另一种理解——将粒子运动分解为两个相互垂直的运动:与匀速运动方向垂直的简谐运动,另一方向则是一简谐运动与匀速运动叠加.

而更为严谨的是用微元法与积分法的综合应用,这些对中学生来说可能偏难,但对中学教师以及参加物理竞赛的学生来说是非常有必要掌握的.

Deep Analysis on the Movement Law of a Class of Charged Body in the Compound Field

Diao Hanxin Diao Pinquan

(Furen High School, Wuxi, Jiangsu 214023)

Abstract: When the charged particle moves in the strong magnetic field, if the particle is subjected to gravity or electric field force, the particle moves, and what is implied. This paper analyzes and discusses the common law from multiple angles.

Key words: compound field; charged particles; college entrance examination and competition