

第 6.4 节 带电粒子在电场中运动的综合问题

要点一 示波管的工作原理

[典例] 如图 6-4-2 所示，真空中水平放置的两个相同极板 Y 和 Y' 长为 L ，相距为 d ，足够大的竖直屏与两板右侧相距为 b 。在两板间加上可调偏转电压 U ，一束质量为 m 、带电荷量为 $+q$ 的粒子(不计重力)从两板左侧中点 A 以初速度 v_0 沿水平方向射入电场且能穿出。

{INCLUDEPICTURE"15WL6-99.TIF"}

图 6-4-2

- (1)证明粒子飞出电场后的速度方向的反向延长线交于两板间的中心 O 点；
- (2)求两板间所加偏转电压 U 的范围；
- (3)求粒子可能到达屏上区域的长度。

[针对训练]

1. (多选)如图 6-4-3 所示, A 板发出的电子经加速后, 水平射入水平放置的两平行金属板间, 金属板间所加的电压为 U_2 , 电子最终打在荧光屏 P 上, 关于电子的运动, 则下列说法中正确的是()

{INCLUDEPICTURE"15WL6-102.TIF"}

图 6-4-3

- A. 滑动触头向右移动时, 其他不变, 则电子打在荧光屏上的位置上升
- B. 滑动触头向左移动时, 其他不变, 则电子打在荧光屏上的位置上升
- C. 电压 U_2 增大时, 其他不变, 则电子从发出到打在荧光屏上的时间不变
- D. 电压 U_2 增大时, 其他不变, 则电子打在荧光屏上的速度大小不变

2. 如图 6-4-4 所示, 在两条平行的虚线内存在着宽度为 L 、电场强度为 E 的匀强电场, 在与右侧虚线相距也为 L 处有一与电场平行的屏。现有一电荷量为 $+q$ 、质量为 m 的带电粒子(重力不计), 以垂直于电场线方向的初速度 v_0 射入电场中, v_0 方向的延长线与屏的交点为 O 。试求:

{INCLUDEPICTURE"15WL6-101.TIF"}

图 6-4-4

- (1)粒子从射入电场到打到屏上所用的时间;
- (2)粒子刚射出电场时的速度方向与初速度方向间夹角的正切值 $\tan \alpha$;
- (3)粒子打到屏上的点 P 到 O 点的距离 x 。

要点二 带电粒子在交变电场中的运动

(一)粒子做单向直线运动

[典例 1] 如图 6-4-5 甲所示,在真空中足够大的绝缘水平地面上,一个质量为 $m=0.2\text{ kg}$,带电荷量为 $q=2.0\times 10^{-6}\text{ C}$ 的小物块处于静止状态,小物块与地面间的动摩擦因数 $\mu=0.1$ 。从 $t=0$ 时刻开始,空间加上一个如图乙所示的场强大小和方向呈周期性变化的电场(取水平向右为正方向, g 取 10 m/s^2),求:

{INCLUDEPICTURE"15WL6-91.TIF"}

图 6-4-5

- (1)23 s 内小物块的位移大小。
- (2)23 s 内电场力对小物块所做的功。

(二)粒子做往返运动

[典例 2] 如图 6-4-6(a)所示,两平行正对的金属板 A 、 B 间加有如图(b)所示的交变电压,一重力可忽略不计的带正电粒子被固定在两板的正中间 P 处。若在 t_0 时刻释放该粒子,粒子会时而向 A 板运动,时而向 B 板运动,并最终打在 A 板上。则 t_0 可能属于的时间段是()

{INCLUDEPICTURE"15WL6-142.TIF"}

图 6-4-6

- A. $0 < t_0 < \frac{T}{4}$ B. $\frac{T}{2} < t_0 < \frac{3T}{4}$ C. $\frac{3T}{4} < t_0 < T$
D. $T < t_0 < \frac{9T}{8}$

(三)粒子做偏转运动

[典例 3] 如图 6-4-7 甲所示,热电子由阴极飞出时的初速度忽略不计,电子发射装置的加速电压为 U_0 , 电容器板长和板间距离均为 $L=10\text{ cm}$, 下极板接地, 电容器右端到荧光屏的距离也是 $L=10\text{ cm}$, 在电容器两极板间接一交变电压, 上极板的电势随时间变化的图像如图乙所示。(每个电子穿过平行板的时间都极短, 可以认为电压是不变的)求:

{INCLUDEPICTURE"15WL6-105.tif"}

{INCLUDEPICTURE"15WL6-106.tif"}

图 6-4-7

(1)在 $t=0.06\text{ s}$ 时刻, 电子打在荧光屏上的何处。

(2)荧光屏上有电子打到的区间有多长?

要点三 带电粒子的力电综合问题

[典例] 如图 6-4-8, O 、 A 、 B 为同一竖直平面内的三个点, OB 沿竖直方向, $\angle BOA = 60^\circ$, $OB = \sqrt{3}OA$, 将一质量为 m 的小球以一定的初动能自 O 点水平向右抛出, 小球在运动过程中恰好通过 A 点。使此小球带电, 电荷量为 $q(q > 0)$, 同时加一匀强电场, 场强方向与 $\triangle OAB$ 所在平面平行。现从 O 点以同样的初动能沿某一方向抛出此带电小球, 该小球通过了 A 点, 到达 A 点时的动能是初动能的 3 倍; 若该小球从 O 点以同样的初动能沿另一方向抛出, 恰好通过 B 点, 且到达 B 点时的动能为初动能的 6 倍, 重力加速度大小为 g 。求

{INCLUDEPICTURE"GKJXKB1-13.TIF"}

图 6-4-8

- (1) 无电场时, 小球到达 A 点时的动能与初动能的比值;
- (2) 电场强度的大小和方向。

[针对训练]

1. (多选)如图 6-4-9 所示,光滑的水平轨道 AB 与半径为 R 的光滑的半圆形轨道 BCD 相切于 B 点, AB 水平轨道部分存在水平向右的匀强电场,半圆形轨道在竖直平面内, B 为最低点, D 为最高点。一质量为 m 、带正电的小球从距 B 点 x 的位置在电场力的作用下由静止开始沿 AB 向右运动,恰能通过最高点,则()

{INCLUDEPICTURE"15WL6-107.TIF"}

图 6-4-9

- A. R 越大, x 越大 B. R 越大, 小球经过 B 点后瞬间对轨道的压力越大
C. m 越大, x 越大 D. m 与 R 同时增大, 电场力做功增大

2. (多选)如图 6-4-10 所示,粗糙程度均匀的绝缘斜面下方 O 点处有一正点电荷,带负电的小物体以初速度 v_1 从 M 点沿斜面上滑,到达 N 点时速度为零,然后下滑回到 M 点,此时速度为 $v_2(v_2 < v_1)$ 。若小物体电荷量保持不变, $OM = ON$, 则()

{INCLUDEPICTURE"15WL6-108.TIF"}

图 6-4-10

- A. 小物体上升的最大高度为 $\frac{v_1^2 + v_2^2}{4g}$
B. 从 N 到 M 的过程中, 小物体的电势能逐渐减小
C. 从 M 到 N 的过程中, 电场力对小物体先做负功后做正功
D. 从 N 到 M 的过程中, 小物体受到的摩擦力和电场力均是先增大后减小

3. 如图 6-4-11 所示, 两块平行金属板竖直放置, 两板间的电势差 $U=1.5\times 10^3\text{ V}$ (仅在两板间有电场), 现将一质量 $m=1\times 10^{-2}\text{ kg}$ 、电荷量 $q=4\times 10^{-5}\text{ C}$ 的带正电小球从两板的左上方距两板上端的高度 $h=20\text{ cm}$ 的地方以初速度 $v_0=4\text{ m/s}$ 水平抛出, 小球恰好从左板的上边缘进入电场, 在两板间沿直线运动, 从右板的下边缘飞出电场, g 取 10 m/s^2 , 求:

{INCLUDEPICTURE"15WL6-109.TIF"}

图 6-4-11

(1) 金属板的长度 L 。

(2) 小球飞出电场时的动能 E_k 。

要点四 用等效法解决带电体在电场、重力场中的运动

[典例] 如图 6-4-12 所示, 绝缘光滑轨道 AB 部分为倾角为 30° 的斜面, AC 部分为竖直平面上半径为 R 的圆轨道, 斜面与圆轨道相切。整个装置处于电场强度为 E 、方向水平向右的匀强电场中。现有一个质量为 m 的小球, 带正电荷量为 $q=\{\text{eq \fr(3)mg,3E}\}$, 要使小球能安全通过圆轨道, 在 O 点的初速度应满足什么条件?

{INCLUDEPICTURE"15WL6-110.TIF"}

图 6-4-12

[针对训练]

1. 如图 6-4-13 所示, 一条长为 L 的细线上端固定, 下端拴一个质量为 m 的电荷量为 q 的小球, 将它置于方向水平向右的匀强电场中, 使细线竖直拉直时将小球从 A 点静止释放, 当细线离开竖直位置偏角 $\alpha=60^\circ$ 时, 小球速度为 0。

{INCLUDEPICTURE"15WL6-112.TIF"}

图 6-4-13

(1)求: ①小球带电性质; ②电场强度 E 。

(2)若小球恰好完成竖直圆周运动, 求从 A 点释放小球时应有的初速度 v_A 的大小(可含根式)。

2. 在电场方向水平向右的匀强电场中，一带电小球从 A 点竖直向上抛出，其运动的轨迹如图 6-4-14 所示。小球运动的轨迹上 A 、 B 两点在同一水平线上， M 为轨迹的最高点。小球抛出时的动能为 8.0 J ，在 M 点的动能为 6.0 J ，不计空气的阻力。求：

{INCLUDEPICTURE"15WL6-113.tif"}

图 6-4-14

- (1) 小球水平位移 x_1 与 x_2 的比值；
- (2) 小球落到 B 点时的动能 E_{kB} ；
- (3) 小球从 A 点运动到 B 的过程中最小动能 E_{kmin} 。