

带电粒子在电场中的偏转

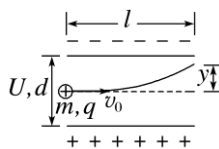
【目标要求】 1.掌握带电粒子在电场中的偏转规律.2.会分析带电粒子在电场中偏转的功能关系.

考点一 带电粒子在匀强电场中的偏转

■ 基础梳理 夯实必备知识

带电粒子在匀强电场中偏转的两个分运动

(1)沿初速度方向做匀速直线运动, $t = \frac{l}{v_0}$ (如图).



(2)沿静电力方向做匀加速直线运动

①加速度: $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md}$

②离开电场时的偏移量: $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUl^2}{2mdv_0^2}$

③离开电场时的偏转角: $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qUl}{mdv_0^2}$

■ 方法技巧 提升关键能力

1. 两个重要结论

(1)不同的带电粒子从静止开始经过同一电场加速后再从同一偏转电场射出时, 偏移量和偏转角总是相同的.

证明: 在加速电场中有 $qU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$

在偏转电场偏移量 $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU_1}{md} \cdot \left(\frac{l}{v_0}\right)^2$

偏转角 θ , $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qU_1 l}{mdv_0^2}$

得: $y = \frac{U_1 l^2}{4U_0 d}$, $\tan \theta = \frac{U_1 l}{2U_0 d}$

y 、 θ 均与 m 、 q 无关.

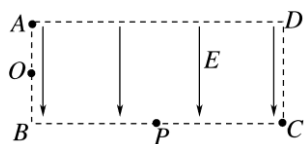
(2)粒子经电场偏转后射出,速度的反向延长线与初速度延长线的交点 O 为粒子水平位移的中点,即 O 到偏转电场边缘的距离为偏转极板长度的一半.

2. 功能关系

当讨论带电粒子的末速度 v 时也可以从能量的角度进行求解: $qU_y = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 其中 $U_y = \frac{U}{d}y$, 指初、末位置间的电势差.

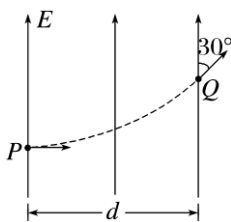
考向 1 带电粒子在匀强电场中的偏转

【例 1】 如图所示, 矩形区域 $ABCD$ 内存在竖直向下的匀强电场, 两个带正电的粒子 a 和 b 以相同的水平速度射入电场, 粒子 a 由顶点 A 射入, 从 BC 的中点 P 射出, 粒子 b 由 AB 的中点 O 射入, 从顶点 C 射出. 若不计重力, 则 a 和 b 的比荷(带电荷量与质量的比值)之比是()



- A. 1:2 B. 2:1 C. 1:8 D. 8:1

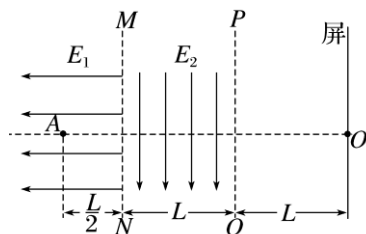
【例 2】 如图所示, 一电荷量为 q 的带电粒子以一定的初速度由 P 点射入匀强电场, 入射方向与电场线垂直. 粒子从 Q 点射出电场时, 其速度方向与电场线成 30° 角. 已知匀强电场的宽度为 d , 方向竖直向上, P 、 Q 两点间的电势差为 $U(U>0)$, 不计粒子重力, P 点的电势为零. 则下列说法正确的是()



- A. 粒子带负电
 B. 带电粒子在 Q 点的电势能为 qU
 C. P 、 Q 两点间的竖直距离为 $\frac{d}{2}$
 D. 此匀强电场的电场强度为 $\frac{2\sqrt{3}U}{3d}$

考向2 带电粒子在组合场中的运动

【例3】 如图所示，虚线左侧有一场强为 $E_1=E$ 的匀强电场，在两条平行的虚线 MN 和 PQ 之间存在着宽为 L ，电场强度为 $E_2=2E$ 的匀强电场，在虚线 PQ 右侧相距为 L 处有一与电场 E_2 平行的屏。现将一电子(电荷量 e ，质量为 m)无初速度放入电场 E_1 中的 A 点，最后打在右侧的屏上， AO 连线与屏垂直，垂足为 O ，求：



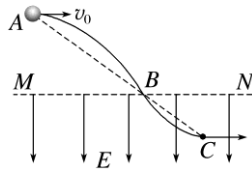
- (1) 电子从释放到打到屏上所用的时间；
- (2) 电子刚射出电场 E_2 时的速度方向与 AO 连线夹角的正切值；
- (3) 电子打到屏上的点 B 到 O 点的距离。

考点二 带电粒子在重力场和电场复合场中的偏转

【例4】 (2019·全国卷III·24) 空间存在一方向竖直向下的匀强电场， O 、 P 是电场中的两点。从 O 点沿水平方向以不同速度先后发射两个质量均为 m 的小球 A 、 B 。 A 不带电， B 的电荷量为 $q(q>0)$ 。 A 从 O 点发射时的速度大小为 v_0 ，到达 P 点所用时间为 t ； B 从 O 点到达 P 点所用时间为 $\frac{t}{2}$ 。重力加速度为 g ，求：

- (1) 电场强度的大小；
- (2) B 运动到 P 点时的动能。

【例 5】 (多选) 在空间中水平面 MN 的下方存在竖直向下的匀强电场, 质量为 m 的带电小球由 MN 上方的 A 点以一定初速度水平抛出, 从 B 点进入电场, 到达 C 点时速度方向恰好水平, A 、 B 、 C 三点在同一直线上, 且 $AB=2BC$, 如图所示. 重力加速度为 g . 由此可见()



- A. 带电小球所受静电力为 $3mg$
- B. 小球带正电
- C. 小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的运动时间相等
- D. 小球从 A 到 B 与从 B 到 C 的速度变化量的大小相等

考点三 带电粒子在交变电场中的偏转

1. 带电粒子在交变电场中的运动, 通常只讨论电压的大小不变、方向做周期性变化(如方波)的情形.

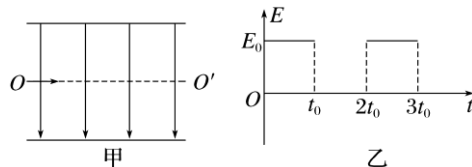
当粒子垂直于交变电场方向射入时, 沿初速度方向的分运动为匀速直线运动, 沿电场方向的分运动具有周期性.

2. 研究带电粒子在交变电场中的运动, 关键是根据电场变化的特点, 利用牛顿第二定律正确地判断粒子的运动情况. 根据电场的变化情况, 分段求解带电粒子运动的末速度、位移等.

3. 注重全面分析(分析受力特点和运动规律): 抓住粒子运动时间上的周期性和空间上的对称性, 求解粒子运动过程中的速度、位移、做功或确定与物理过程相关的临界条件.

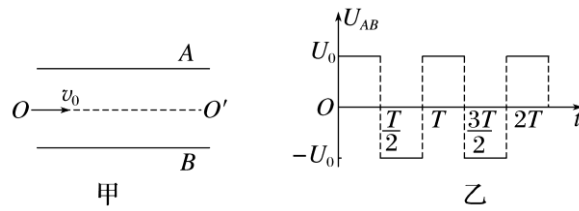
4. 对于锯齿波和正弦波等电压产生的交变电场, 若粒子穿过板间的时间极短, 带电粒子穿过电场时可认为是在匀强电场中运动.

【例 6】 图甲是一对长度为 L 的平行金属板, 板间存在如图乙所示的随时间周期性变化的电场, 电场方向与两板垂直. 在 $t=0$ 时刻, 一带电粒子沿板间的中线 OO' 垂直电场方向射入电场, $2t_0$ 时刻粒子刚好沿下极板右边缘射出电场. 不计粒子重力. 则()



- A. 粒子带负电
- B. 粒子在平行板间一直做曲线运动
- C. 粒子射入电场时的速度大小为 $\frac{L}{2t_0}$
- D. 若粒子射入电场时的速度减为一半, 射出电场时的速度垂直于电场方向

【例 7】 在图甲所示的极板 A 、 B 间加上如图乙所示的大小不变、方向周期性变化的交变电压，其周期为 T ，现有一电子以平行于极板的速度 v_0 从两板中央 OO' 射入。已知电子的质量为 m ，电荷量为 e ，不计电子的重力，问：

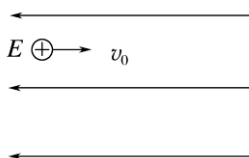


- (1) 若电子从 $t=0$ 时刻射入，在半个周期内恰好能从 A 板的边缘飞出，则电子飞出时速度的大小为多少？
- (2) 若电子从 $t=0$ 时刻射入，恰能平行于极板飞出，则极板至少为多长？
- (3) 若电子恰能从 OO' 平行于极板飞出，电子应从哪一时刻射入？两极板间距至少为多大？

课时精练

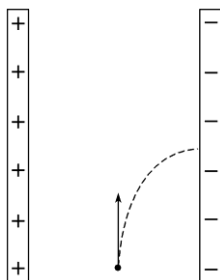
✓ 必备基础练

1.(多选)如图所示,一带正电的小球向右水平抛入范围足够大的匀强电场,电场方向水平向左.不计空气阻力,则小球()



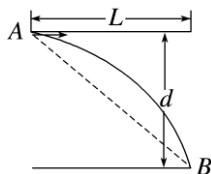
- A. 做直线运动
- B. 做曲线运动
- C. 速率先减小后增大
- D. 速率先增大后减小

2.(多选)如图,竖直放置的平行金属板带等量异种电荷,一不计重力的带电粒子从两板中间以某一初速度平行于两板射入,打在负极板的中点,以下判断正确的是()



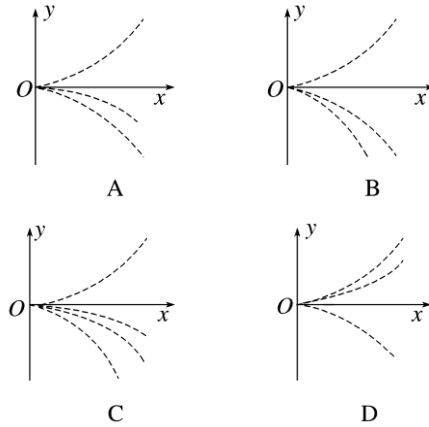
- A. 该带电粒子带正电
- B. 该带电粒子带负电
- C. 若粒子初速度增大到原来的 2 倍,则恰能从负极板边缘射出
- D. 若粒子初动能增大到原来的 2 倍,则恰能从负极板边缘射出

3.如图所示,平行板电容器上极板带正电,从上极板的端点 A 点释放一个带电荷量为 $+Q(Q > 0)$ 的粒子,粒子重力不计,以水平初速度 v_0 向右射出,当它的水平速度与竖直速度的大小之比为 $1:2$ 时,恰好从下端点 B 射出,则 d 与 L 之比为()

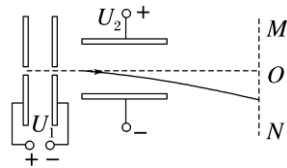


- A. $1:2$
- B. $2:1$
- C. $1:1$
- D. $1:3$

4. (多选)(2021·全国乙卷·20)四个带电粒子的电荷量和质量分别为 $(+q, m)$ 、 $(+q, 2m)$ 、 $(+3q, 3m)$ 、 $(-q, m)$ ，它们先后以相同的速度从坐标原点沿 x 轴正方向射入一匀强电场中，电场方向与 y 轴平行。不计重力，下列描绘这四个粒子运动轨迹的图像中，可能正确的是()

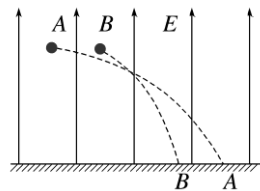


5.(多选)质子和 α 粒子(氦核)分别从静止开始经同一加速电压 U_1 加速后，垂直于电场方向进入同一偏转电场，偏转电场电压为 U_2 。两种粒子都能从偏转电场射出并打在荧光屏 MN 上，粒子进入偏转电场时速度方向正对荧光屏中心 O 点。下列关于两种粒子运动的说法正确的是()



- A. 两种粒子会打在屏 MN 上的同一点
- B. 两种粒子不会打在屏 MN 上的同一点，质子离 O 点较远
- C. 两种粒子离开偏转电场时具有相同的动能
- D. 两种粒子离开偏转电场时具有不同的动能， α 粒子的动能较大

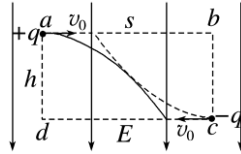
6.(多选)如图所示，在竖直向上的匀强电场中，有两个质量相等、带异种电荷的小球 A 、 B (均可视为质点)处在同一水平面上。现将两球以相同的水平速度 v_0 向右抛出，最后落到水平地面上，运动轨迹如图所示，两球之间的静电力和空气阻力均不考虑，则()



- A. A 球带正电， B 球带负电
- B. A 球比 B 球先落地
- C. 在下落过程中， A 球的电势能减少， B 球的电势能增加
- D. 两球从抛出到各自落地的过程中， A 球的动能变化量比 B 球的小

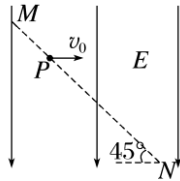
能力综合练

7.如图,场强大小为 E 、方向竖直向下的匀强电场中有一矩形区域 $abcd$, 水平边 ab 长为 s , 竖直边 ad 长为 h .质量均为 m 、带电荷量分别为 $+q$ 和 $-q$ 的两粒子,由 a 、 c 两点先后沿 ab 和 cd 方向以速率 v_0 进入矩形区域(两粒子不同时出现在电场中). 不计重力,若两粒子轨迹恰好相切,则 v_0 等于()



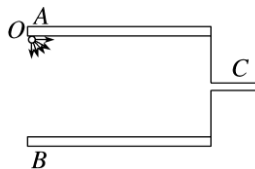
- A. $\frac{s}{2}\sqrt{\frac{2qE}{mh}}$ B. $\frac{s}{2}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$ C. $\frac{s}{4}\sqrt{\frac{2qE}{mh}}$ D. $\frac{s}{4}\sqrt{\frac{qE}{mh}}$

8.(2020·浙江7月选考·6)如图所示,一质量为 m 、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子以速度 v_0 从 MN 连线上的 P 点水平向右射入大小为 E 、方向竖直向下的匀强电场中. 已知 MN 与水平方向成 45° 角,粒子的重力可以忽略,则粒子到达 MN 连线上的某点时()



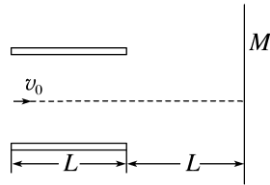
- A. 所用时间为 $\frac{mv_0}{qE}$
 B. 速度大小为 $3v_0$
 C. 与 P 点的距离为 $\frac{2\sqrt{2}mv_0^2}{qE}$
 D. 速度方向与竖直方向的夹角为 30°

9.如图所示,一种 β 射线管由平行金属板 A 、 B 和平行于金属板的细管 C 组成. 放射源 O 在 A 极板左端,可以向各个方向发射不同速度、质量为 m 的 β 粒子(电子). 若极板长为 L , 间距为 d , 当 A 、 B 板加上电压 U 时,只有某一速度的 β 粒子能从细管 C 水平射出,细管 C 离两板等距. 已知元电荷为 e , 则从放射源 O 发射出的 β 粒子的这一速度为()



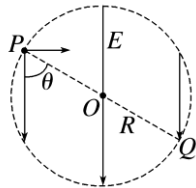
- A. $\sqrt{\frac{2eU}{m}}$ B. $\frac{L}{d}\sqrt{\frac{eU}{m}}$
 C. $\frac{1}{d}\sqrt{\frac{eU(d^2+L^2)}{m}}$ D. $\frac{L}{d}\sqrt{\frac{eU}{2m}}$

10.(多选)如图所示,一充电后与电源断开的平行板电容器的两极板水平放置,板长为 L ,板间距离为 d ,距板右端 L 处有一竖直屏 M .一带电荷量为 q 、质量为 m 的质点以初速度 v_0 沿中线射入两板间,最后垂直打在 M 上,则下列说法中正确的是(已知重力加速度为 g)()



- A. 两极板间电压为 $\frac{mgd}{2q}$
- B. 板间电场强度大小为 $\frac{2mg}{q}$
- C. 整个过程中质点的重力势能增加 $\frac{mg^2L^2}{v_0^2}$
- D. 若仅增大两极板间距,则该质点不可能垂直打在 M 上

11.如图所示,圆心为 O 、半径为 R 的圆形区域内有一个匀强电场,场强大小为 E 、方向与圆所在的面平行. PQ 为圆的一条直径,与场强方向的夹角 $\theta=60^\circ$.质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子从 P 点以某一初速度沿垂直于场强的方向射入电场,不计粒子重力.



- (1)若粒子到达 Q 点,求粒子在 P 点的初速度大小 v_0 .
- (2)若粒子在 P 点的初速度大小在 $0 \sim v_0$ 之间连续可调,则粒子到达圆弧上哪个点电势能变化最大?变化了多少?

