

刷原创

1. BC 【解析】两个相同的带电小球接触后,电荷量平均分配,故两个与 B 相同的不带电小球依次与 B 接触后, B 球所带电荷量为 $-\frac{Q}{4}$,此时 x 轴上 $x_1=5\text{ cm}$ 处场强为 0,则 A 和 B 两个

小球在 $x_1=5\text{ cm}$ 处产生电场的场强等大反向,则小球 A 在 $x_1=5\text{ cm}$ 处左侧,又由于 A 球带的电荷量较大,故小球 A 离

关键点: 此时 A 球的电荷量为 Q .

B 球的电荷量为 $-\frac{Q}{4}$

$x_1=5\text{ cm}$ 处较远,则小球 A 位于 x 轴负半轴上,设小球 A 离

原点距离为 x_2 ,则有 $\frac{kQ}{(x_1+x_2)^2} = k \frac{\frac{Q}{4}}{x_1^2}$,解得 $x_2=5\text{ cm}$,即 A 的

位置为 $x=-5\text{ cm}$,A 错误,B 正确;电场强度的方向从正电荷出发,指向负电荷或无穷远处, A 和 B 连线上,场强方向向右,且离点电荷越近,场强越大,则 AB 连线上的场强先减小后增大,C 正确; A 球的电荷量大于 B 球的,且 A 球左侧的点到 A 的距离比到 B 的距离小,故 A 球在其左侧产生的场强大于 B 球产生的场强, A 球左侧不会存在场强为 0 的位置,不

考虑无穷远处,在 x 轴上场强为 0 的位置只有一个,D 错误.

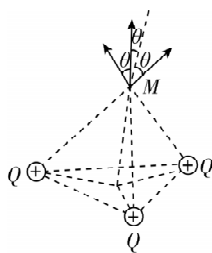
2. C 【解析】由题意,在 M 点放一个试探电荷,试探电荷恰好静止,则 M 点电场强度为 0,即匀强电场的电场强度与三个点电荷在 M 点产生的合场强等大反向,如图所示.三个点电荷在 M 点产生的场强大小均为 $k \frac{Q}{a^2}$,方向由点电荷指向 M

点,与竖直方向夹角设为 θ ,由几何关系可知, $\cos \theta = \frac{\sqrt{6}}{3}$,水平

方向合场强为 0,竖直方向的合场强大小为 $E_{\text{合}} = 3k \frac{Q}{a^2} \cos \theta =$

$\frac{\sqrt{6}kQ}{a^2}$,方向竖直向上,故匀强电场的场强大小为 $\frac{\sqrt{6}kQ}{a^2}$,方向竖

直向下,由于 M 点合场强为 0,则无论试探电荷带正电还是带负电,在 M 点受到的电场力均为 0,都可静止,C 正确.



第十章 静电场中的能量

第 1 节 电势能和电势

刷基础

1. B 【解析】静电力做功与电荷运动路径无关,只与初、末位置有关,电荷从某点出发又回到了该点,静电力做功为零,

突破点: 牢记静电力做功的特点

A 错误,B 正确;正电荷沿电场线方向运动,由于静电力方向与正电荷运动方向相同,故静电力做正功,同理,负电荷逆着电场线方向运动,静电力方向与负电荷运动方向相同,静电力也做正功,C 错误;电荷在电场中运动时虽然静电力可能对其做功,但是电荷的电势能和其他形式的能之间的转化仍满足能量守恒定律,D 错误.

2. C 【解析】 Q 点处点电荷带负电,质子带正电,质子从 M 经 P 到达 N 点的过程中,电场力先做正功,后做负功,所以质子的动能先增大后减小,机械能不守恒,又 $W_{\text{电}} = -\Delta E_{\text{p电}}$,所以电势能先减小后增大,C 正确.

3. A 【解析】由题意知,小球从 a 点运动到 b 点过程中,重力对小球做功 4 J,则小球的重力势能减小了 4 J,所以小球在 a 点的重力势能比在 b 点大 4 J,A 正确;小球从 a 点运动到 b 点过程中,克服空气阻力做功 1 J,电场力对小球做功 2 J,两个力对小球做的总功为 1 J,故小球的机械能增加了 1 J,所以小球在 a 点的机械能比在 b 点小 1 J,B 错误;电场力对小球做功 2 J,则小球的电势能减小了 2 J,小球在 a 点的电势能比在

b 点大 2 J,C 错误;重力对小球做功 4 J,小球克服空气阻力做功 1 J,电场力对小球做功 2 J,三个力对小球做的总功为 5 J,根据动能定理可知小球的动能增大了 5 J,则小球在 a 点的动能比在 b 点少 5 J,D 错误.

4. B 【解析】由于 B 点是等量正点电荷连线上的中点,所以 AB 连线上 B 点的电势最低,电场方向沿 $A \rightarrow B$,负点电荷自 A 沿直线移到 B ,所受静电力方向沿 $B \rightarrow A$,所以静电力做负功,电势能逐渐增大,A 错误,B 正确; BC 连线上 B 点电势最高,电场方向沿 $B \rightarrow C$,负点电荷自 B 沿直线移到 C ,所受静电力方向与运动方向相反,静电力做负功,故电势能逐渐增大,C 错误;由于负点电荷自 A 沿直线移到 B ,再沿直线移到 C ,静电力一直做负功,电势能一直在增大,所以负点电荷在 A 点的电势能小于在 C 点的电势能,D 错误.

方法总结 求静电力做功的几种方法

(1) 由公式 $W = Fl \cos \alpha$ 计算,此公式只适用于匀强电场,可变形为 $W = Eq l \cos \alpha$.

(2) 由电势能的变化计算: $W_{AB} = E_{\text{pA}} - E_{\text{pB}}$.

(3) 由动能定理计算: $W_{\text{静电力}} + W_{\text{其他力}} = \Delta E_k$.

5. D 【解析】电场中某点的电势有正负,但是电势是标量,A 错误;电场中某点的电势具有相对性,与零电势点的选取有关,B 错误;同一正点电荷处于电场中的不同位置时,具有的电势能越大,说明那一点的电势越高,负点电荷则相反,C 错

误;由 $W = -\Delta E_p$ 可知,只要静电力做的功相同,那么点电荷在两点间的电势能变化量就相等, **D 正确**。

- 6. C** 【解析】电场线密集的地方场强大,所以 b 点场强大于 c 点场强, **A 正确**;沿着电场线方向电势逐渐降低,则 a 点电势高于 b 点电势, **B 正确**;由题图可知,该电场不是匀强电场, a 、 b 所在电场线是曲线,说明电场的方向是不断变化的,所以若将一试探电荷 $+q$ 由 a 点静止释放,它不可能沿电场线运动到 b 点, **C 错误**;若不加点电荷 $-Q$,将一试探电荷 $+q$ 由 a 点移至 b 点,电势降低,则静电力做正功,因此电势能减少,若只考虑在 d 点固定一点电荷 $-Q$, a 点距 $-Q$ 比 b 点距 $-Q$ 远一些,所以在 $-Q$ 产生的电场中, a 点的电势高于 b 点的电势,将一试探电荷 $+q$ 由 a 点移至 b 点,电势能减少,故若在 d 点再固定一点电荷 $-Q$,将一试探电荷 $+q$ 由 a 移至 b 的过程中,电势能减少, **D 正确**。本题选说法错误的,故选 **C**。

易错分析 本题易混淆电场强度与电势,电场强度与电势没有必然的联系,电场强度大,电势不一定高,电势高,电场强度不一定大;电场线越密集,电场强度越大,电场强度的方向沿电场线的切线方向,沿电场线方向电势越来越低。

- 7. D** 【解析】由电场线分布情况可知, A 、 B 带不等量异种电荷,故 **A 错误**;电场线的疏密表示电场的强弱,由题图可知, a 点的电场强度小于 b 点的电场强度,粒子在 a 点的加速度一定小于在 b 点的加速度,由于 A 、 B 所带电性未知,无法判断电场线方向,也无法判断 φ_a 、 φ_b 的关系,故 **B**、**C 错误**;粒子受力指向运动轨迹凹侧,若带电粒子从 a 运动到 b ,电场力方向与速度方向之间的夹角小于 90° ,电场力做正功,电势能减小, $E_{pa} > E_{pb}$;若带电粒子从 b 运动到 a ,电场力方向与速度方向之间的夹角大于 90° ,电场力做负功,电势能增大, $E_{pa} > E_{pb}$,故 **D 正确**。
- 8. D** 【解析】由题图可知, O 点电势最高,电势能 $E_p = \varphi q$,由于试探电荷电性未知,电势能大小无法判断,故 **A 错误**; B 点电势高于 C 点,但由于不清楚电荷的电性,故无法比较同一个电荷在 B 、 C 两点的电势能的大小,故 **B**、**C 错误**;正试探电荷沿 x 轴从 B 移到 C 的过程中,电势先升高后降低,故电势能先增大后减小,故 **D 正确**。
- 9. B** 【解析】在 $E_p - x$ 图像中,图线切线斜率的绝对值表示电场力的大小,可知质子在 x_1 处受到的电场力为零,即 x_1 处电场强度为零,故 **A 错误**;由题图可知,质子从 O 到 x_1 的过程中,电势能减少,电场力做正功,电场力所做的功等于电势能的减少量,即 $W = -\Delta E_p = 2 \text{ eV}$,根据动能定理可得 $W = E_{kx1} - E_{k0}$,代入数据解得 $E_{kx1} = 6 \text{ eV}$,故 **B 正确**;由题图可知,质子在 O 、 x_1 、 x_2 、 x_3 处的电势能关系为 $E_{px3} > E_{px2} = E_{px0} > E_{px1}$,因此 O 、 x_1 、 x_2 、 x_3 处的电势关系为 $\varphi_3 > \varphi_2 = \varphi_0 > \varphi_1$,故 **C 错误**;由题可知,质子在电场中的总能量为 $E = E_{k0} + E_{p0} = 7 \text{ eV}$,由于质子在 x_3 处的电势能为 7 eV ,根据能量守恒定律可知,此时质子的动能为零,但由于质子在 x_3 位置受到的电场力不为零,故质子不会停在 x_3 处,故 **D 错误**。

关键点拨 解答本题的关键在于理解图像并从中提取相关物理量。 $E_p - x$ 图像中图线切线斜率的绝对值表示电场力大小,又 $E_p = q\varphi$,质子带正电,则 $\varphi - x$ 具有与 $E_p - x$ 相同的变化情况。

- 10. C** 【解析】因为不知道带电粒子的电性,所以无法判断 A 、 B 、 C 三点电势的关系, **A 错误**; $v - t$ 图像的切线斜率表示加速度,由题图可知,加速度先增大后减小, B 点的加速度最大,根据 $Eq = ma$ 可知, B 点电场强度最大, **B 错误**;由题图可知,带电粒子的速度先减小到零后反向增大,所以动能先减小后增大,仅受静电力作用,由动能定理得,静电力先做负功后做正功,带电粒子的电势能先增大后减小, **C 正确**, **D 错误**。

刷易错

★易错点 1 不能正确理解一条电场线上场强、电势能与电势的关系

- 11. B** 【解析】由题图乙可知,粒子从 a 运动到 b 做加速运动,故粒子所受静电力向右,带负电的粒子受到的静电力与场强方向相反,则场强向左,沿电场线方向电势逐渐降低,故 b 点电势较高,即 $\varphi_a < \varphi_b$,故 **A 错误**;题图乙中图线的切线斜率不断变小,故从 a 到 b 粒子的加速度变小,根据 $F = Eq = ma$ 可知粒子所受静电力变小,电场强度变小,即 $E_a > E_b$,故 **B 正确**, **C 错误**; $\varphi_a < \varphi_b$,根据带负电的粒子在电势低处电势能大,有 $E_{pa} > E_{pb}$,故 **D 错误**。

易错分析 本题易混淆电场强度、电势能与电势的决定因素。电场强度只由电场本身决定,大小可由电场线的疏密判断,电场线越密,场强越大,方向沿电场线的切线方向;电势由电场和零电势点共同决定,沿电场线方向电势越来越低,但电势降低的方向不一定是场强方向,场强方向是电势降低最快的方向;电势能由电场、放入电场中的电荷及零势能点共同决定,正电荷沿电场线方向移动,电势能减小,负电荷沿电场线方向移动,电势能增大。

★易错点 2 忽略正负电荷在同一电场的电势能变化不同

- 12. D** 【解析】电势能与电势的关系为 $E_p = q\varphi$,电势能是标量,通过该式计算时,电荷量 q 要带正负号,负电荷在电势越高的位置,其电势能越小, **A 错误**;在电势一定的位置,放入某点电荷的电荷量越大,该点电荷的电势能不一定越大,如在电势小于零的位置,放入正点电荷的电荷量越大,电势能越小, **B 错误**;如果电场中某点电势为负,则正电荷在该点的电势能小于负电荷在该点的电势能, **C 错误**;根据静电力做功与电势能变化的关系可知,在电场中移动一点电荷,若静电力对其做负功,其电势能一定增大, **D 正确**。

易错分析 本题容易忽略电荷的正负,注意电势能与电势和电荷的正负相关,负电荷在电势高的地方电势能小。

刷提升

1. B 【解析】试探电荷受力指向运动轨迹的凹侧,试探电荷带正电,可知场源点电荷带正电, A 错误;点电荷带正电,离点电荷越近电势越高,可知 O 点的电势高于 N 点的电势, B 正确;带正电的试探电荷从 O 点运动到 N 点,静电力先做负功后做正功,电势能先增大后减小,动能先减小后增大, C、D 错误。

2. C 【解析】由题意可知,等量正、负点电荷位于正六边形的六个顶点,根据点电荷的电场强度 $E = \frac{kQ}{r^2}$,结合电场强度的叠加原理可知, P、Q、M 各点的场强大小相等,但 P、Q 两点场强方向向右, M 点场强方向由 A 指向 F,故 A 错误;若取无穷远处电势为零,则等量异种点电荷连线的中垂线上的电势为零,再由对称性可知, P、Q、M、O 各点电势均为零,故 B 错误;根据题图可知, O 点场强由三个负点电荷与三个正点电荷在该处产生的场强叠加而成,且各个点电荷电荷量大小均相同,则 O 点电场强度为零,故 C 正确;将一负试探电荷从 P 点沿直线 PM 移到 M 点的过程中,电势先由零升高,后又降为零,则电势能先减小后增大,故 D 错误。

关键点拨 解答本题的关键是等量异种点电荷的电场线对称性的应用. 注意关于两点电荷连线的对称点,电场强度大小相等、方向不同(除去连线的中垂线上的对称点),电势相等;关于连线的中垂线对称的点,电场强度大小相等、方向不同(除去两点电荷连线上的对称点)。

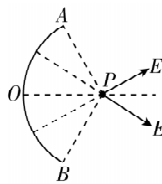
方法总结 电势高低判断的方法:(1)沿电场线方向电势逐渐降低;(2)正电荷从静止开始只在静电力作用下,从电势高处向电势低处移动,负电荷则相反;(3)正电荷在电势高的地方电势能大,负电荷在电势低的地方电势能大。

3. C 【解析】A'点距离正点电荷较近, C 点距离负点电荷较近,则 A'点电势高于 C 点电势, A 错误;由等量异种点电荷的电场分布以及电场的叠加可知, B'点的电场强度与 D 点的电场强度大小相等,方向相同, B 错误;由几何关系可知, GH 连线在等量异种点电荷连线的中垂面上,结合等量异种点电荷的电场分布情况可知 GH 连线上的电势均相等且为零,则带正电的试探电荷从 G 点沿直线到 H 点的过程中,电势能不变, C 正确; E 点距离正点电荷较近, F 点距离负点电荷较近,则 E 点电势高于 F 点电势,从 E 点沿直线到 F 点电势一直降低,由电势能公式 $E_p = q\varphi$,可知带正电的试探电荷从 E 点沿直线到 F 点电势能一直减小,由静电力做功与电势能变化关系可知,静电力一直做正功, D 错误。

关键点拨 等量异种点电荷连线的中垂面上电势为零,中垂面两侧,靠近正点电荷的地方电势为正,靠近负点电荷的地方电势为负;等量异种点电荷产生的电场中,关于两点电荷连线中点对称的点电场强度的大小和方向都相同。

4. D 【解析】如图所示,对圆弧 AOB 分析,根据对称性可知, AO 产生的场强和 OB 产生的场强大小相等,夹角为 60° ,则

AOB 在圆心 P 处产生的场强大小为 $E_1 = 2E \cos 30^\circ = \sqrt{3}E$,同理可知,圆弧 COD 在圆心 P 处产生的场强大小为 $E_2 = \sqrt{3}E$,则 P 点的合场强大小为 $E_0 = 2\sqrt{3}E$,即 $E = \frac{\sqrt{3}}{6}E_0$,根



据对称性及电势叠加原理可知, $\varphi = \frac{\varphi_0}{4}$,若两圆弧带等量异种

易错点: 电势为标量

电荷,由对称性及叠加原理可知, x 轴上各点场强为零,电势为零,故 D 正确, A、B 错误;将质子(比荷 $\frac{e}{m}$)从 P 点无初速度释放,质子一直加速到无穷远处,由动能定理有 $\frac{1}{2}mv^2 =$

$e\varphi_0$,解得 $v = \sqrt{\frac{2e\varphi_0}{m}}$,故 C 错误。

易错分析 不能正确分析圆弧状带电体在 P 点产生的电场强度导致错解;在分析两圆弧产生的电势时,容易错误进行矢量叠加计算,影响对 A、B 选项中电势关系的判断,电势是标量,直接代数求和。

刷素养

5. C 【解析】设在 $x = 0$ 右侧 x_0 处的 P 点场强为零,有

$$k \frac{4Q}{(x_0 + r)^2} = k \frac{Q}{x_0^2}, \text{解得 } x_0 = r, \text{则在 } 0 < x < r \text{ 范围内,场强沿 } x \text{ 轴}$$

关键点: 根据场强叠加求解场强为零的特殊点位置,明确场强方向

负方向,在 $x > r$ 范围内,场强沿 x 轴正方向,沿电场线方向电势逐渐降低,取无穷远处电势为零,可知 P 点电势最高且大于零,当电荷量为 $-q$ 的点电荷 c,在 +x 轴上从靠近 $x = 0$ 处由静止释放时,先受到沿 x 轴正方向逐渐减小的电场力,即做加速度减小的加速运动,电场力做正功,电势能减小,在 $x = r$ 处加速度为零,速度最大,电势能最小;在 $x > r$ 范围内电场力

突破点: 根据特殊点,结合图像进行排除

沿 x 轴负方向,因无穷远处的场强也为零,可知点电荷 c 所受电场力先增大后减小,即加速度先增大后减小,则点电荷 c 做加速度先增大后减小的变减速运动,电场力做负功,电势能增加,则场强为零的 P 点电势最高且大于零,电势能最小且小于零,故 C 正确, A、B、D 错误。

第2节 电势差

刷基础

1. B 【解析】电场中某两点间的电势差是由电场及两点的位置决定的,与移动电荷的电荷量、零电势面的选取以及静电力做功均无关, A、B 两点间的电势差是恒定的,但有正负之分, $U_{AB} = -U_{BA}$, A 错误, B 正确;把负电荷从 A 点移动到 B 点,静电力做正功,则 A 点电势较低,有 $U_{AB} < 0$, C 错误;电场中 A、B 两点间的电势差 U_{AB} 在数值上等于把单位正电荷 q 从 A 点移动到 B 点时静电力所做的功, D 错误。

易错分析 本题可能存在两个易错点:一是对电势差的理解, $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ 是电势差的定义式,不是决定式,电势差由电场及初、末位置决定,与在电场中移动电荷时静电力做的功及移动电荷所带电荷量无关;二是易忽略电荷的正负,电场中A、B两点间的电势差 U_{AB} 在数值上等于把单位正电荷 q 从A点移动到B点时静电力所做的功。

2. C 【解析】由题意知, $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 75 \text{ V}$,则 $\varphi_A > \varphi_B$, $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = -200 \text{ V}$,则 $\varphi_B < \varphi_C$, $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = (75 - 200) \text{ V} = -125 \text{ V}$,则 $\varphi_A < \varphi_C$,故 $\varphi_C > \varphi_A > \varphi_B$,A、B、D错误,C正确。

3. B 【解析】电子从B点出发时,初速度方向未知,其运动轨迹由初速度方向和电场力方向共同决定,故电子可能还没到达A点所在等势线,电子沿电场线方向的速度就变成零了,故电子不一定能经过A点所在等势线,A错误;相邻等差等势线间的电势差为20 V,电子能经过C点,由B到C,电场力做功 $W_{BC} = -eU_{BC} = -20 \text{ eV}$,由动能定理知, $W_{BC} = E_{kC} - E_{kB}$,解得 $E_{kC} = 40 \text{ eV}$,故B正确,D错误;电场线疏密表示电场强度大小,电场线越密,场强越大,加速度 $a = \frac{eE}{m}$ 越大,由题图可知,A点电场线比B点密集,故 $E_A > E_B$, $a_A > a_B$,C错误。

4. B 【解析】 $W_{AB} = qU_{AB} = q(\varphi_A - \varphi_B) = 1.5 \times 10^{-7} \text{ J}$, $W_{BC} = qU_{BC} = q(\varphi_B - \varphi_C) = -4 \times 10^{-7} \text{ J}$,解得 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 75 \text{ V}$, $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = -200 \text{ V}$,设 $\varphi_B = 0$,则 $\varphi_A = 75 \text{ V}$, $\varphi_C = 200 \text{ V}$,所以C点电势最高,A、C、D错误; $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = 75 \text{ V} - 200 \text{ V} = -125 \text{ V}$,若将带电荷量为 $-1.5 \times 10^{-9} \text{ C}$ 的点电荷从A点移到C点,静电力做功为 $W'_{AC} = q'U_{AC} = -1.5 \times 10^{-9} \times (-125) \text{ J} = 1.875 \times 10^{-7} \text{ J}$,B正确。

关键点拨 解答本题的关键是对电势差、静电力做功的理解及应用。注意求电势差或静电力做功时需要带符号计算。

5. A 【解析】在等势面上移动电荷,电荷的电势能不变,静电力总是不做功,选项A正确;电荷从A点移动到B点,静电力做功为零,则电荷在A、B两点时的电势能相同,A、B两点的电势相等,但电荷不一定是沿等势面移动的,选项B错误;在同一个等势面上的各点,电场强度的大小不一定是相等的,例如在等量异种点电荷连线的中垂面上各点电势均相等,但是电场强度大小不一定相等,选项C错误;电场线的方向总是从电势高的等势面指向电势低的等势面,但电场力的方向还与电荷正负有关,选项D错误。

6. C 【解析】电场线从高电势指向低电势,避雷针尖端附近电场线从尖端出发,说明尖端带正电,故A错误;电场线疏密表示场强大小,a点电场线比c点稀疏,故a点场强小于c点,故B错误;电子带负电,由 $E_p = \varphi q$,得 $E_{pa} = 5 \text{ keV}$, $E_{pb} = 3 \text{ keV}$,电子在a点的电势能大于在b点的电势能,故C正确;电子仅在电场力作用下从a点运动至d点,电场力做功为 $W_{ad} = -eU_{ad} = -e(\varphi_a - \varphi_d) = 4 \text{ keV}$,电场力做正功,由动能定理可知动能增加4 keV,故D错误。

易错分析 混淆等势面与电荷性质的关系,错误认为等势面电势为负,则尖端电荷为负;计算电子电势能时,忽略电子电荷量 $q < 0$,错误认为电势越低电势能越小。

7. C 【解析】粒子仅受电场力,加速度 $a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m}$,由a-t图像

可知,加速度大小随时间先增大后减小,说明电场强度E先增大后减小,等差等势面越密电场强度越大。题图A为等量同种电荷等差等势面分布,MN为等量同种电荷连线中垂线,由题图A可知从M到N,电场强度先增大后减小再增大后减小,故A错误;题图B为等量异种电荷等差等势面分布,MN为等量异种电荷连线,从M到N,电场强度先减小后增大,B错误;题图C中从M到N,等差等势面先密后疏,电场强度先增大后减小,粒子的加速度先增大后减小,符合条件,C正确;题图D中等差等势面均匀分布,电场强度不变,D错误。

8. C 【解析】根据等差等势线越密集的地方场强越大,可知M点处的电场强度大于N点处的电场强度,故A错误;根据曲线运动的合力方向指向轨迹的凹侧,且电场方向与等势线垂直,粒子又带负电,可知粒子在电场中

→ **突破点:** 曲线运动与电场力相结合分析场强方向

的受力和场强方向如图所示,根据沿电场方向电势降低可知,四条等势线的电势关系为 $\varphi_a < \varphi_b < \varphi_c < \varphi_d$,故D错误;根据 $E_p = q\varphi$,由于N点的电势小于M点的电势,且粒子带负电,所以带电粒子在N点处的电势能比在M点处的电势能大,C正确;由于粒子只受电场力作用,电势能和动能之和保持不变,则带电粒子在N点处的动能比在M点处小,带电粒子在N点处的速度比在M点处的速度小,故B错误。

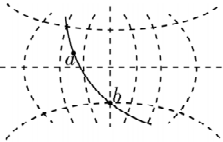
方法总结 电势能大小的判断

判断角度	判断方法
做功判断法	电场力做正功,电势能减小 电场力做负功,电势能增加
电荷电势法	正电荷在电势高的地方电势能大 负电荷在电势低的地方电势能大
公式法	将电荷量、电势连同正负号一起代入公式 $E_p = q\varphi$ 来判断
能量守恒法	在电场中,若只有电场力做功时,电荷的动能和电势能相互转化,动能增加,电势能减小,反之,动能减小,电势能增加

9. C 【解析】根据题意,质子由a到c过程动能减小,静电力做负功,质子带正电,所以匀强电场场强的方向水平向左,A错误;质子两次经过同一等势面的动能相等,因为是匀强电场,所以经过相邻等差等势面静电力所做负功相同,动能变化量相同,即 $E_{ka} - E_{kb} = E_{kb} - E_{kc}$,解得 $E_{kb} = 12 \text{ eV}$,所以质子经过等势面b时的动能是12 eV,D错误;若质子做匀变速直线运动,由功能关系可知,质子刚好可以到达等势面d,若质子做匀变速曲线运动,由功能关系可知质子不能到达等势面d,

→ **易错点:** 只有质子垂直等势面向d运动,才能到达等势面d

B错误;若取等势面b为零电势面,根据 $E_p = q\varphi$ 可知,质子在等势面b的电势能为0,所以质子运动过程中的总能量 $E = E_{kb} + 0 = 12 \text{ eV}$,根据能量守恒定律可知 $E = E_{kc} + E_{pc}$,解得 $E_{pc} = 6 \text{ eV}$,由 $E_{pc} = \varphi_c q$ 可得等势面c的电势为 $\varphi_c = 6 \text{ V}$,C正确。

10. B 【解析】根据等势面和电场线的关系,画出电场线,如图所示,由电场线的分布可知,电子透镜的电场不可能是两个等量异种点电荷产生的,故 A 正确;根据物体做曲线运动时,合外力指向运动轨迹的凹侧,可知电子所受电场力大致指向右侧,故电场线方向大致指向左侧,沿着电场线的方向电势逐渐降低,所以 a 点的电势低于 b 点的电势,故 B 错误;根据公式 $E_p = \varphi q$ 可知,电子在 a 点的电势能大于在 b 点的电势能,若该电子从 a 向 b 运动,电势能减小,电场力做正功,电子的动能增加,则电子在 a 点的动能小于在 b 点的动能,故 C、D 正确。本题选择说法错误的,故选 B。

刷易错

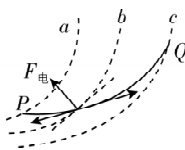
★易错点 1 对等势面的空间认识不足引起的错误

11. D 【解析】a 点和 b 点到正、负点电荷的距离不同,则 a 点和 b 点的电势不相同, A 正确; a 点和 b 点关于正、负点电荷连线的中点对称,则 a 点和 b 点的电场强度相同, B 正确; 正方体前表面面心和左侧面面心到正点电荷的距离相同,到负点电荷的距离也相同,则两面心电势相同,电场强度大小相等,但方向不同, C 正确, D 错误。本题选择说法错误的,故选 D。

易错分析 本题容易由于空间建模不足而错误判断是否关于等量异种点电荷连线的中点对称。解答本题应先找出等量异种点电荷的等势面,然后判断选项正误。

★易错点 2 分析轨迹问题易混淆电场线和等势面

12. C 【解析】质点做曲线运动,其轨迹夹在速度方向与所受合外力方向之间,且合外力指向运动轨迹的凹侧,根据轨迹的弯曲方向可知,质点所受的电场力方向大致向上,而正电荷在电场中所受电场力的方向与电场线切线(电场强度)的方向相同,负电荷在电场中所受电场力的方向与电场线切线(电场强度)的方向相反,由于质点的电性未知,则不能确定电场线的方向,从而不能确定等势面的电势高低,故 A 错误;等差等势面越密集的地方电场强度越大, P 点的等差等势面较 Q 点密集,则 P 点场强较大,



易错点: 注意是等差等势面,如果不满足等差,该结论不成立。

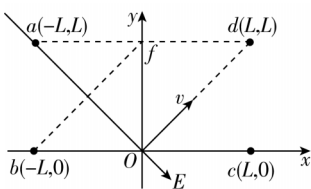
故 B 错误;作出质点运动过程某位置的速度方向、等势线的切线以及电场力的方向,如图所示,可知若质点从 Q 到 P,电场力与速度方向的夹角为锐角,电场力做正功,动能增加,电势能减小,若质点从 P 到 Q,电场力与速度方向的夹角为钝角,电场力做负功,动能减小,电势能增加,可知无论质点从 P 到 Q 还是从 Q 到 P,带电质点在 P 点具有的电势能均比在 Q 点具有的电势能小,在 P 点具有的动能均大于在 Q 点具有的动能,即带电质点在 P 点处的速率比在 Q 点处大,故 C 正确, D 错误。

易错分析 本题易把等势线当作电场线而出错。电场线与等势面垂直,电场力方向沿电场线的切线方向或电场线切线的反方向,而不是沿等势面的切线方向,此类题可根据电场线与等势面垂直,作出电场线,再根据电场力沿电场线切线方向或电场线切线的反方向且指向运动轨迹凹侧判断质点所受电场力的方向,且等差等势面密集的区域场强大。

刷提升

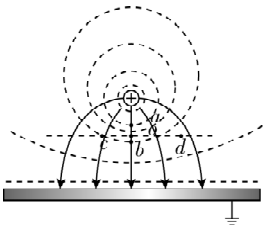
1. D 【解析】根据等势面的分布情况可知两点电荷是同种电荷,根据电子在该电场中的运动轨迹可判断电子一直受到斥力,故可知两点电荷为负电荷,故 A 错误;因为两点电荷是负电荷,电场线由无穷远处指向负电荷,沿电场线方向电势降低,故 A 点的电势高于 B 点的电势,故 B 错误;根据电子的运动轨迹和电场线的方向可知由 M 到 P 静电力做负功,由 P 到 N 静电力做正功,则电子沿虚线运动的过程中机械能先减少后增加,故 C 错误;电子从 M 到 P 电势能增加,从 P 到 N 电势能减少,故电子运动到 P 点时电势能最大,故 D 正确。

2. B 【解析】已知 $\varphi_a = 6 \text{ V}$ 、 $\varphi_b = 4 \text{ V}$ 、 $\varphi_d = 2 \text{ V}$, 则 ad 中点 f(0, L) 的电势为 $\varphi_f = \frac{\varphi_a + \varphi_d}{2} = 4 \text{ V} = \varphi_b$, 可知 b、f 连线为等势线,场强与等势线垂直,即沿着 aO 方向斜向下,电子以某一初速度从 O 点沿 Od 方向射入,电子的初速度方向与电场力方向垂直,电子做类平抛运动,则题图乙中 abcd 区域内能大致反映电子运动轨迹的是 ②。故选 B。



易错分析 本题的易错点:一是对电场强度方向的判断,首先要找到一条等势线,再根据电场线与等势线关系作出电场线,这是解题突破口;二是对①②两条轨迹不清楚应该选哪条,需要牢记“合外力指向轨迹凹侧”,可以看到对于①轨迹电场大致方向是沿着水平方向。

3. D 【解析】由于金属板位于正点电荷所形成的电场中,因此将发生静电感应,达到静电平衡后金属板的表面将是一个等势面,则金属板上方的电场线垂直金属板向下,其等差等势面的分布如图



所示,由图可知 c 点的等差等势面比 d 点的更密集,因此 c 点的场强比 d 点场强大,故 A 错误; a、o、b 三点共线且所在直线垂直金属板,则 a、o、b 三点所在直线为电场中的一条电场线,且方向由 a 指向 b,而沿着电场线的方向电势降低,由此可知 o 点的电势低于 a 点的电势, b 点的电势低于 a 点的电势,而带负电的电荷在电势低的地方电势能大,则电荷量为 q 的负电荷在 a 点的电势能小于在 b 点的电势能,故 B、C 错误;由于 c 点的电势高于 d 点的电势,则将电荷量为 q 的正电荷从 c 点移到 d 点,电势能减少,电场力做正功,故 D 正确。

关键点拨 等势面与电场线垂直,即跟场强的方向垂直;电场线总是从电势高的等势面指向电势低的等势面;在同一等势面上移动电荷,电场力不做功;场强大的地方,等差等势面间的距离小,场强小的地方,等差等势面间的距离大。

4. A 【解析】v-t 图线的切线斜率表示加速度,由题图(b)可知从 M 点运动到 N 点电子做加速度减小的加速运动,电子在 M、N 两点的加速度大小关系为 $a_M > a_N$, 电子仅受电场力的作用,则 $qE_M = ma_M$, $qE_N = ma_N$, 得 $E_M > E_N$, 故 A 正确;由题图(b)可知电子的速度在增大,根据动能定理可知从 M 点到

N 点电场力对电子做正功, 即 $W_{MN} = -qU_{MN} > 0$, 则 $U_{MN} = \varphi_M - \varphi_N < 0$, 得 $\varphi_M < \varphi_N$, 故 **B、C 错误**; 电子在电势低的地方电势能大, 可知电子在 M 点的电势能大于在 N 点的电势能, 故 **D 错误**.

5. C 【解析】 P 、 C 两点到两点电荷的距离相等, 根据场强的叠加可知, P 点与 C 点电场强度大小相等, 方向不同, 故 **A 错误**;

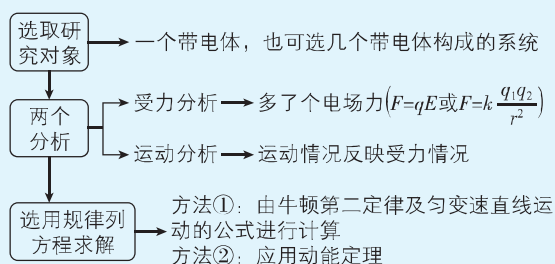
易错点: 电场强度是矢量, 既有大小, 又有方向

等量同种正点电荷连线的中垂线上沿中点向两边电势逐渐降低, 由几何知识知 OC 与 AB 垂直, OP 与 AB 垂直, $OC = OP$, 所以 C 点与 P 点电势相同, P 、 C 两点的电势差为零, **B 错误**; 将带负电的试探电荷 q 从 P 点沿着 PC 移动到 C 点, 先靠近 O 点, 然后再远离 O 点, 电势先升高后降低, 根据负电荷在电势高的地方电势能小, 可知试探电荷的电势能先减小后增大, **C 正确**; 将带正电的试探电荷 q 从 O 点沿着 OC 移动到 C 点, 电势逐渐降低, 根据正电荷在电势低的地方电势能小, 可知试探电荷的电势能逐渐减小, **D 错误**.

关键点拨 等量同种正点电荷连线的中垂线上, 沿中点向两边电势逐渐降低, 离中点距离相同的点电势相同.

6. D 【解析】根据等量同种点电荷电场线分布的规律, 结合对称性可知, a 、 b 两点电场强度大小相等, 方向相反, 故 **A 错误**; 小物块从 c 到 d 过程, 根据动能定理有 $qU_{cd} = \frac{1}{2}mv_d^2 - \frac{1}{2}mv_c^2$, 解得 $U_{cd} = 100$ V, 故 **B 错误**; 由于带正电的小物块从 c 点由静止释放, 能够运动到 d , 表明场源电荷均为正点电荷, 沿电场线电势降低, 根据等量同种正点电荷电场线分布可知 $\varphi_a > \varphi_d$, 根据 $E_p = q\varphi$ 可知, 负电荷在高电势点的电势能小于在低电势点的电势能, 即同一负电荷在 a 点时的电势能小于它在 d 点时的电势能, 故 **C 错误**; $v-t$ 图像的切线斜率表示加速度, c 点切线斜率最大, 加速度最大, 电场力最大, 则 c 点为中垂线上电场强度最大的点, 且有 $qE = ma$, 其中 $a = \frac{4}{7-5} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$, 解得 $E = 20 \text{ V/m}$, 故 **D 正确**.

方法总结 带电体在电场中的直线运动



$$7. (1) (1-\sqrt{2})\frac{kQ}{L} \quad (1-\sqrt{2})\frac{kQ^2}{L} \quad (2) \frac{2\sqrt{2}-1}{2}mgL - \frac{kQ^2}{3L}$$

$$(3) E_k > \frac{kQ^2}{3L} - \frac{2\sqrt{2}-1}{2}mgL$$

【解析】(1) 小球从 M 点运动到 O 点的过程中, MO 间的电势差 $U_{MO} = \varphi_M - \varphi_O = \frac{kQ}{L} - \frac{\sqrt{2}kQ}{L} = (1-\sqrt{2})\frac{kQ}{L}$, 电场力做的功 $W = U_{MO}Q = (1-\sqrt{2})\frac{kQ^2}{L}$.

(2) 小球从 M 点运动到 $x = \frac{L}{2}$ 处, 根据动能定理有

$$mg\left(\sqrt{2}L - \frac{L}{2}\right) + UQ = \Delta E_k, \text{ 其中 } U = \frac{kQ}{L} - \frac{4kQ}{3L} = -\frac{kQ}{3L},$$

$$\text{解得 } \Delta E_k = \frac{2\sqrt{2}-1}{2}mgL - \frac{kQ^2}{3L}.$$

(3) 根据对称性可知, M 点与 N 点的电势相等, 结合题图两可知, 为保证小球能运动到 N 点, 小球从 M 点下落时能通过 $x = \frac{L}{2}$ 处即可, 根据动能定理有 $mg\left(\sqrt{2}L - \frac{L}{2}\right) + UQ > 0 - E_k$, 结

$$\text{合上述分析, 解得 } E_k > \frac{kQ^2}{3L} - \frac{2\sqrt{2}-1}{2}mgL.$$

刷素养

8. D 【解析】该瞬时电势分布图可等效为等量异种点电荷产生的, a 、 b 为两电荷连线上关于两电荷中点对称的两点, 根据等量异种点电荷的电场分布, 结合对称性可知, a 、 b 两点的电场强度大小相等, 方向相同, 故 **A 错误**; c 、 d 为两电荷连线中垂线上关于两电荷中点对称的两点, 根据等量异种点电荷的电场分布, 结合对称性可知, c 、 d 两点的电场强度大小相等, 方向相同, 故 **B 错误**; a 、 b 两点的电势差 $U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = 3.0 \text{ mV}$, 故 **C 错误**; 根据等差等势线的疏密程度可判断出从 c 到 d 的直线上电场强度先变大后变小, 故 **D 正确**.

9. A 【解析】由对称性可得静电力做功 $W_{AO} = -W_{OD}$, $W_{AO} + W_{OD} = 0$, 小滑环从 A 到 D , 由动能定理可得 $mg \cdot 8l \cdot \sin 37^\circ + W_{AO} + W_{OD} = \frac{1}{2}mv_D^2$, 解得 $v_D = 4\sqrt{\frac{3}{5}gl}$, 故 **A 错误**; 由题可知 $OB = 8l \times \frac{1}{4} = 2l$, 圆环上电荷均匀分布, 取环上一小段, 设其电荷量为 Q_1 , 该小段到 B 点的距离为 $r = \sqrt{(2l)^2 + (2l)^2} = 2\sqrt{2}l$, Q_1 在 B 点产生的场强大小为 $E_1 = k\frac{Q_1}{r^2} = k\frac{Q_1}{8l^2}$, 该场强沿 OA 方向的分量为 $E_{1x} = E_1 \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}kQ_1}{16l^2}$, 所以大圆环上

的电荷在 B 点产生的场强大小为 $E = \sum_{i=1}^n E_{ix} = \frac{\sqrt{2}kQ}{16l^2}$, 故 **B 正确**; 由对称性可知 B 、 C 两点电势相等, 所以 $U_{BC} = 0$, 小滑环从 B 到 C 的过程中静电力做的功 $W_{BC} = qU_{BC} = 0$, 故 **C 正确**; 小滑环在 B 点时, 根据牛顿第二定律, 有 $qE + mg \sin 37^\circ = ma$, 解得小滑环在 B 点的加速度大小为 $a = \frac{\sqrt{2}kQq}{16ml^2} + \frac{3}{5}g$, 故 **D 正确**.

本题选择说法不正确的, 故选 **A**.

第3节 电势差与电场强度的关系

刷基础

1. D 【解析】公式 $U_{AB} = Ed$ 只适用于计算匀强电场中 A 、 B 两点间的电势差, 故 **A 错误**; 由 $U_{AB} = Ed$ 知, 当 E 一定时, A 点和 B 点间沿电场线方向距离越大, 则这两点间的电势差越大, 故 **B 错误**; 匀强电场场强处处相同, 与两点沿电场线的距离无关, 故 **C 错误**; 由 $E = \frac{U_{AB}}{d}$ 可知, 匀强电场中电场强度的方向就是电场中电势降低最快的方向, 故 **D 正确**.

2. D 【解析】公式①是电场强度的定义式,适用于任何电场;公式②只适用于真空中点电荷形成的电场;公式③只适用于匀强电场;公式①和③在真空中和介质中都适用, **D** 正确。

3. C 【解析】 D 、 P 两点沿电场线方向的距离等于 DC 的长度,则 D 、 P 两点间的电势差 $U_{DP} = U_{DC} = Ed_{DC} = 2 \times 10^4 \times 4 \times 10^{-2} \text{ V} = 800 \text{ V}$, **C** 正确。

教材变式 本题目由教材 P37 第 2 题演变而来。教材考查了电子从 C 点移动到 P 点,再从 P 点移动到 D 点过程中静电力做功的情况,本题则考查了 D 、 P 两点间的电势差。

4. D 【解析】到达 A 点的电子的动能最小,即电场力做负功最多,说明圆上 A 点电势最低,且等势面在 A 点与圆相切,即电场线沿 OA 方向,如图所示。 SA 间的电势差为 $U_{SA} = -\frac{W}{e} = -\frac{\Delta E_k}{e} = 128 \text{ V}$,由几何关系可知 $\angle OSA = \angle OAS = 37^\circ$, $SA = 2r \cos 37^\circ = 1.6r$,由匀强电场的电势差与场强关系有 $U_{SA} = E \cdot SA \cos 37^\circ$,解得 $E = 200 \text{ V/m}$,故选 **D**。

关键点拨 解答本题的关键在于根据电子到达 A 点动能最小这一条件找到电场线方向与 A 点切线垂直这一条件,从而根据几何关系确定 SA 沿电场线方向的长度。

5. C 【解析】匀强电场中,平行等间距的两条线段对应的电势差相等,则有 $\varphi_A - \varphi_D = \varphi_B - \varphi_C$,解得 $\varphi_D = 0$,故 **A**、**B** 错误;令 AB 连线上 O 点的电势为 16 V ,则有 $\frac{U_{BO}}{U_{OA}} = \frac{\varphi_B - \varphi_O}{\varphi_O - \varphi_A} = \frac{9}{7} = \frac{x_{BO}}{x_{AB} - x_{BO}}$,解得 $x_{BO} = 4.5 \text{ cm}$,则 OC 连线为一条等势线,根据电场线垂直于等势线且由高电势点指向低电势点,作出电场方向如图所示,根据几何关系有 $\tan \theta = \frac{x_{BO}}{x_{BC}} = \frac{3}{4}$,解得 $\theta = 37^\circ$,则电场强度大小 $E = \frac{U_{BO}}{x_{BO} \cos \theta}$,解得 $E = 250 \text{ V/m}$,两平行板的距离为 30 cm ,则两平行板间的电势差为 $U = Ed = 75 \text{ V}$,故 **C** 正确, **D** 错误。

6. A 【解析】设 AB 中点为 F ,则有 $\varphi_F = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} = 4 \text{ V}$,则 FC 为等势线, FC 连线过 O 点,则 O 点电势为 4 V ,故 **A** 错误;等势线 FC 垂直于 DE ,则电场线平行于 DE ,由 D 指向 E ,由题图可知 E 点的电势最低,故 **B** 正确;电子带负电,将其由 D 点移到 E 点,电子的电势能增加,故 **C** 正确; AB 平行于 DE ,则电场方向平行于 AB ,匀强电场的场强大小为 $E = \frac{\varphi_B - \varphi_A}{BA} = 150 \text{ V/m}$,方向由 B 指向 A ,故 **D** 正确。本题选择说法不正确的,故选 **A**。

方法总结 此类问题可以通过等分法找等势点,然后作出等势面,根据电场线和等势面垂直找出电场强度的方向,再进一步求电场强度的大小。如果用上述方法,计算比较复杂,可以选两个垂直的方向,分别找出两个方向上的场强,再进行合成。

7. D 【解析】由带电体电荷分布的特征可知越尖锐的地方电荷的密度越大,电场强度越大,电场线分布越密,等差等势面也越密。画

出题中带电体周围电场线和等差等势面的剖面图,如图所示,可知 $U_{ab} > U_{bc}$, $U_{ef} > U_{ab}$,则 $U_{bc} < 50 \text{ V}$, $U_{ef} > 50 \text{ V}$,故 **D** 正确。

8. B 【解析】根据点电荷电场线的分布特征可知,该场源电荷为负电荷,故 **A** 错误;点电荷的等势线是以点电荷为圆心的一簇同心圆,由于沿电场线电势降低,可知电势 $\varphi_A > \varphi_B$,故 **B** 正确;根据 $U = Ed$,由于 ED 之间的电场强度均小于 DB 之间的电场强度,可知 $U_{ED} < U_{DB}$,故 **C** 错误;题图中沿着电场线方

突破点: 同一电场中,电场线越密集电场强度越大,非匀强电场中,沿电场方向移动相同的距离,电场强度越大,电势差越大。

向电场线分布逐渐变密集,则电场强度逐渐增大,故 **D** 错误。

9. C 【解析】 $\varphi-x$ 图像的斜率表示该方向上的场强大小,可得 $E_x = \frac{45}{15 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 300 \text{ V/m}$, $E_y = \frac{40}{10 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 400 \text{ V/m}$,故场强大小为 $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 500 \text{ V/m}$,沿着电场线方向电势降低,

突破点: 先根据题图求出 E_x 、 E_y ,再求 E 。

结合图像可知 x 轴方向分场强沿 x 轴负方向, y 轴方向分场强沿 y 轴负方向,根据场强的叠加法则可知电场强度的方向指向第三象限,故 **A**、**B** 错误, **C** 正确;沿电场线方向是电势降低最快的方向,根据前面分析可知电场方向不是沿 $-y$ 的方向,故沿 $-y$ 方向不是电势降低最快的方向,故 **D** 错误。

关键点拨 本题考查匀强电场中电场强度与电势差的关系,以及电场强度的矢量合成法则,考查理解能力和推理论证能力。利用 $\varphi-x$ 图线和 $\varphi-y$ 图线,先求出 x 轴和 y 轴的分电场强度,再由矢量合成,求出电场强度。

10. C 【解析】由题图可知, x 轴的正半轴场强为正,电场线指向 x 轴正方向, x 轴的负半轴场强为负,电场线指向 x 轴负方向,沿电场线方向电势逐渐降低,故 O 点的电势最高, **A** 错误;一正电荷沿 x 轴从 x_1 点移动到 $-x_1$ 点,电势先增大后减小,正电荷的电势能先增大后减小, **B** 错误; $E-x$ 图线与 x 轴围成图形的面积表示电势差,故 x_1 和 $-x_1$ 两点与 O 点间电势差相等, O 点电势最高,则 x_1 和 $-x_1$ 两点电势相等, **C** 正确;一负电荷沿 x 轴从 x_1 点移动到 x_3 点,一直沿着电场线方向移动,负电荷所受静电力始终与运动方向相反,静电力一直做负功, **D** 错误。

刷易错

★易错点 不理解公式 $E = \frac{U_{ab}}{d}$ 中 d 是匀强电场中沿着电场线方向的距离。

11. B 【解析】由 $W = qU$ 可知, $U_{ad} = \frac{W}{q} = \frac{6.4 \times 10^{-3}}{1.6 \times 10^{-3}} \text{ V} = -4 \text{ V}$,因为 $\varphi_a = 4 \text{ V}$,所以 $\varphi_d = 8 \text{ V}$,如图所示,过 b 点作 $be \parallel ad$ 交 cd 于 e ,有 $U_{ab} = U_{de}$,解得 $\varphi_e = 4 \text{ V}$,又因为 $cd = 2ab$,则 e 点是 dc 的中点,所以 $\varphi_c = \frac{\varphi_d + \varphi_e}{2} = 4 \text{ V}$,解得 $\varphi_c = 0 \text{ V}$,所以 b 、 c 在同一等势面上,由几何关系知, $eb \perp bc$,由电场线与等势面垂直知,电场强度方向垂直 bc 斜向上,大小为 $E = \frac{U_{eb}}{ec \sin 30^\circ} = \frac{4}{2 \times 10^{-2} \times \frac{1}{2}} \text{ V/m} = 400 \text{ V/m}$, **B** 正确, **A**、**C**、**D** 错误。

易错分析 有些同学很容易把电势差理解成电场强度与两点间的距离的乘积,导致错解.对于电场强度及电势差,应该从以下几个方面来理解记忆:

(1) 电场强度的大小取决于电场本身, $E = \frac{F}{q}$ 是一个比值定义式,与试探电荷有无及所带电荷量的多少没有关系.

(2) 电场强度的方向与正电荷在该点受到的静电力的方向相同,与负电荷在该点受到的静电力的方向相反.

(3) 电场强度的方向沿着电势降落最快的方向,不能认为是沿着电势降落的方向.

(4) 公式 $E = \frac{U_{AB}}{d}$ 中, d 是匀强电场中沿着电场线方向的距离,所以匀强电场中两点间的电势差等于电场强度与这两点沿电场线方向上距离的乘积.

刷提升

1. B 【解析】由题意及匀强电场的特点可知, b 点右侧格点电势为 6 V , 则 c 点与该点的连线为等势线, 则电场线方向为沿 ca 连线且由 c 指向 a , 由几何关系可知 $ca = 4\sqrt{2}\text{ cm}$, 由 $E = \frac{U}{d}$

可知 $E = 50\sqrt{2}\text{ V/m}$, 故 **A 错误**; 根据匀强电场中沿着同一方向距离相等的线段两端的电势差相等, 可知十六宫格 25 个格点中电势最高为 12 V , 电势最低为 -4 V , 十六宫格中央格点电势为 4 V , **B 正确, C、D 错误**.

2. A 【解析】将 bc 线段平分, 连接

突破点: 在 bc 上找出 a 点的等势点

ae , 作 ae 的垂线 bf , 如图所示, 则

$\varphi_e = \frac{\varphi_b + \varphi_c}{2} = 3\text{ V} = \varphi_a$, ae 为等势线, $fb \perp ae$, 则 fb 为电场线, 方向由 f 指向 b , 由几何知识可知 $fb = 2\text{ cm}$, fb (即电场强度的方向) 与 bc 夹角为 45° , 电场强度大小为 $E = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{fb} = 2\text{ V/cm}$, 故

A 正确, B 错误; 电子从 a 点移到 b 点, 电场力对电子做功为 $W_{ab} = -e(\varphi_a - \varphi_b) = -4\text{ eV}$, 故 **C 错误**; 电子从 a 点移到 c 点, 电场力对电子做功为 $W_{ac} = -e(\varphi_a - \varphi_c) = 4\text{ eV} > 0$, 故电场力对电子做正功, 电势能减少了 4 eV , 故 **D 错误**.

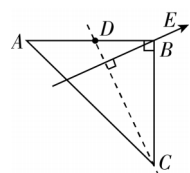
方法总结 匀强电场中找等势点的方法

(1) 在匀强电场中, 电势沿直线是均匀变化的, 即直线上距离相等的线段两端的电势差值相等.

(2) 等分线段找等势点法: 将电势最高点和电势最低点连接后根据需要平分成若干段, 必能找到与第三个电势相等的点, 它们的连线为等势线, 与其垂直的线即为电场线.

3. D 【解析】在 $d \sim 2d$ 间, 沿 x 轴正方向电势逐渐降低, 则电场强度方向沿 x 轴正方向, 大小为 $\frac{\varphi_0}{d}$, **A 错误**; $\varphi-x$ 图线的切线斜率表示场强, 在 $0 \sim d$ 间与 $4d \sim 6d$ 间 $\varphi-x$ 图线的斜率相同, 电场强度相同, **B 错误**; 带负电小球沿 x 轴正方向运动过程, 静电力在 $d \sim 4d$ 间做负功, 则只要带电小球恰好能运动到 $4d$ 处, 小球就能运动到 $6d$ 处, $0 \sim 4d$ 过程, 由动能定理有 $-q \cdot 2\varphi_0 =$

$0 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = 2\sqrt{\frac{q\varphi_0}{m}}$, 即只要 $v_0 \geq 2\sqrt{\frac{q\varphi_0}{m}}$, 带电小球就能通过 $4d$ 处, 也能到达 $6d$ 处, **C 错误, D 正确**.

4. B 【解析】由题意, 根据公式 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$, 

$U_{BC} = \frac{W_{BC}}{q}$, 有 $U_{AB} = \frac{-2.4 \times 10^{-5}}{-6 \times 10^{-6}}\text{ V} = 4\text{ V}$, $U_{BC} =$

$\frac{1.2 \times 10^{-5}}{-6 \times 10^{-6}}\text{ V} = -2\text{ V}$, B 点的电势为 0 , 则 $\varphi_A =$

4 V , $\varphi_C = 2\text{ V}$, 在匀强电场中沿着同一方向距离相等的任何两点间电势差相等, 则 $\varphi_A - \varphi_D = \varphi_D - \varphi_B$, 可得 $\varphi_D = 2\text{ V}$, 故点电荷 q 在 D 点具有的电势能为 $E_p = q\varphi_D = -1.2 \times 10^{-5}\text{ J}$, 故 **A 错误, B 正确**; 因为 $\varphi_D = \varphi_C$, 连接 CD , 则 CD 为等势线, 过 B 点作 CD 的垂线即为一条电场线, 如图所示, 由几何关系得

$\sin \angle BCD = \frac{1}{\sqrt{1^2 + 2^2}} = \frac{\sqrt{5}}{5}$, 则 $E = \frac{U_{CB}}{BC \sin \angle BCD} = 10\sqrt{5}\text{ V/m}$, 根

据沿着电场线方向电势逐渐降低可知, 电场方向垂直于 CD 连线指向 B 点, 故 **C 错误**; 将 $\triangle ABC$ 绕 B 点顺时针旋转, 当转到 AC 与电场线垂直时, 此时 A 、 C 两点电势相等, 故 **D 错误**.

刷素养

5. D 【解析】由题图乙可知 $\varphi_A = 2\text{ V}$, 当 $\theta = \frac{\pi}{3}$

时, P 点位于图中的 E 点处, 此时可得 $\varphi_E =$

1 V , 当 $\theta = \frac{4}{3}\pi$ 时, P 点位于图中的 F 点处,

$\varphi_F = 5\text{ V}$, 由几何知识可知 E 、 F 、 O 三点共线,

可得 $\varphi_O = \frac{\varphi_E + \varphi_F}{2} = 3\text{ V}$, 过 A 点作 OE 的垂线交于 M 点, 由几

何知识得, M 点为 EO 中点, 则 M 点的电势为 $\varphi_M = \frac{\varphi_E + \varphi_O}{2} =$

$2\text{ V} = \varphi_A$, 故直线 AM 为等势线, 由于电场线与等势线垂直, 可知电场线沿 FOE 方向, 过 B 点作电场线 OE 的垂线交于 N

突破点: E 点电势最低, F 点电势最高, 则 FE 为一条电场线

点, 则有 $\varphi_A = \varphi_M > \varphi_N = \varphi_B$, 电场强度的大小为 $E = \frac{\varphi_O - \varphi_M}{R \cos \frac{\pi}{3}} =$

$\frac{3-2}{0.2 \times 0.5}\text{ V/m} = 10\text{ V/m}$, 故 **A、B 错误**; 根据沿电场线电势逐

渐降低, 可知 B 点的电势比 C 点的电势低, 则电子在 B 点的电势能大于在 C 点的电势能, 故 **C 错误**; 电子从 C 点沿圆弧顺时针移动到 D 点, 电势先降低再升高, 电子的电势能先增大后减小, 则电场力先做负功后做正功, 故 **D 正确**.

专题2 静电场中的图像问题

刷题型

1. C 【解析】 $x_1 \sim x_4$ 段场强方向沿 x 轴正方向, 沿着电场方向电势降低, 可知 x_1 处电势最高, 且从 x_1 处到 x_4 处电势逐渐降低, 所以 x_2 和 x_4 处电势不相等, 故 **A、B 错误**; 根据 $U = Ex$ 可知, $E-x$ 图线与 x 轴所围的面积表示电势差, 则 x_1 、 x_4 两点之间的电势差可以用 S 表示, 根据动能定理可得该正点电荷由 x_1 处静止释放, 仅在电场力作用下运动到 x_4 时的动能

$E_k = qU = q\varphi$, 故 **C 正确**; 该正点电荷由 x_1 处静止释放, 仅在电场力作用下运动到 x_4 的过程中电场力始终做正功, 所以电势能一直减小, 故 **D 错误**.

方法总结 $E-x$ 图像的纵坐标代表电场强度, 其正负表示电场强度的方向; 图像与 x 轴所围成的面积表示电势差.

2. D 【解析】 $E-x$ 图线与 x 轴所围图形的面积表示两点间的电势差大小, 场强沿 x 轴正方向, 则 O 到 A 电势降低, 因此

$$U_{OA} = \varphi_O - \varphi_A = \frac{1}{2} E_0 d, \text{ 若 } \varphi_O = 0, \text{ 则 } \varphi_A = -\frac{1}{2} E_0 d, \text{ A 错误; 粒子}$$

由 A 到 B 过程静电力与运动方向相同, 则带电粒子做加速运动, 由题图可知, 该过程电场强度不变, 故带电粒子做匀加速直线运动, **B 错误**; 由题图可知, OA 段的平均电场强度大于 BC 段的平均电场强度, 则粒子在 OA 段所受的平均静电力大于在 BC 段所受的平均静电力, 则在 OA 段静电力做功大于在 BC 段静电力做功, 由功能关系知, 粒子在 OA 段电势能的减少量大于在 BC 段电势能的减少量, **C 错误**; 粒子从 O 点到

B 点的过程, 有 $W_{\text{电}} = qU_{OB} = E_{kB} - 0$, 而 $U_{OB} = \frac{1}{2} E_0 (d + 2d)$, 联

$$\text{立解得 } E_{kB} = \frac{3qE_0 d}{2}, \text{ D 正确.}$$

一题多解 分析 OA 段和 BC 段 $E-x$ 图线与 x 轴所围图形的面积可知 $U_{OA} > U_{BC}$, 根据静电力做功公式 $W = qU$ 和 $W = -\Delta E_p$, 可得出粒子在 OA 段电势能的减少量大于在 BC 段电势能的减少量.

3. C

思路导引 $E-x$ 图像与 x 轴围成的面积代表电势差; 由于静电力与场强成正比, 故 $E-x$ 图像与 x 轴围成的面积与电荷量 q 的乘积代表静电力做的功.

【解析】由图像可知, 在 O 点右侧的电场强度方向水平向右, 在 O 点左侧的电场强度方向水平向左, 假设粒子带正电, 则粒子在 O 点右侧向右运动或在 O 点左侧向左运动时一直做加速运动, 不会做往复运动, 因此粒子不可能带正电, 当粒子带负电时在 O 点右侧向右运动或在 O 点左侧向左运动时做减速运动, 减速到零反向加速, 过 O 点后继续做减速运动, 做的是往复运动, 因此粒子带负电, **A 错误**; 由图像可知, 原点 O 两侧的电场均不是匀强电场, 粒子的受力会发生变化, 因此粒子在原点 O 两侧不做匀变速直线运动, **B 错误**; $E-x$ 图像中图线与 x 轴所围的面积表示电势差, 沿着电场线方向电势降低, 有 $\varphi_O - \varphi_{x_0} = \frac{1}{2} E_0 x_0$, 解得 $\varphi_{x_0} = -\frac{1}{2} E_0 x_0$, **C 正确**; 粒子的电势能和动能的总和为 A , 且粒子在 O 点的电势能为零, 则 O 点的动能为 A , 粒子向 x 轴正方向运动到最远距离时速度为零, 动能转化为该点的电势能, 由能量守恒定律可知 $A = \frac{1}{2} q \cdot \frac{E_0}{x_0} \cdot x$, 得 $x =$

$$\sqrt{\frac{2Ax_0}{qE_0}}, \text{ 则粒子运动区间为 } \left[-\sqrt{\frac{2Ax_0}{qE_0}}, \sqrt{\frac{2Ax_0}{qE_0}} \right], \text{ D 错误.}$$

4. B 【解析】 $\varphi-x$ 图像切线斜率的绝对值表示电场强度大小, 由题图可知, x_1 处的切线斜率大于 x_3 处的切线斜率的绝对值, 故 x_1 处的电场强度大于 x_3 处的电场强度, 且方向相反,

故 **A 错误**; 带电粒子到达 x_2 时速度达到最大, 则带电粒子从原点 O 到 x_2 过程中电场力做正功, 电势能减小, 则带电粒子到达 x_2 时电势能最小, 由题图可知 x_2 处的电势最大, 故该带电粒子带负电, 故 **B 正确**; x_1 处的电势等于 x_3 处的电势, 则带电粒子在 x_1 处的电势能等于其在 x_3 处的电势能, 根据能量守恒定律可知, 该带电粒子在 x_1 处的动能等于在 x_3 处的动能, 故 **C 错误**; 该带电粒子从原点 O 到 x_3 过程中, 电势先增大后减小, 电势能先减小后增大, 故电场力先做正功再做负功, 故 **D 错误**.

5. B 【解析】根据题图可知, q_B 附近电势为负, 则 q_B 为负电荷, 故 **A 错误**; $\varphi-x$ 图像的切线斜率表示电场强度, 可知在 $x=d$ 的位置, 电场强度为零, 根据点电荷电场强度公式有 $\frac{kq_A}{(2d)^2} = \frac{k|q_B|}{d^2}$, 解得 $q_A = 4|q_B|$, 故 **B 正确**; 在 C 点由静止释放一个负点电荷, 点电荷在此处的电势能和动能均为零, 故电荷先加速后减速, 无穷远处电势能为零, 动能同样为零, 故电荷会一直运动到无穷远处, 不会做往复运动, 故 **C 错误**; 在 q_A 右侧附近由静止释放一个正点电荷, 由于 q_A 到 q_B 间电势不断降低, 所以场强方向沿 x 轴正方向, 则正点电荷所受电场力方向沿 x 轴正方向, 则正点电荷在碰到 q_B 之前一直加速, 故 **D 错误**.

6. D 【解析】 $\varphi-x$ 图像切线斜率表示电场强度. 由题图乙可知两点电荷均带正电, 在 $x=0$ 处的场强为零, 则有 $\frac{kQ}{(2l)^2} =$

$$\frac{kQ'}{(4l)^2}, \text{ 可得 } Q' = 4Q, \text{ 即 } x=4l \text{ 处的电荷的电荷量为 } 4Q, \text{ A 错}$$

误; 由题图乙可知, $x=-l$ 和 $x=2l$ 处图线切线斜率绝对值不相等, 则场强大小不等, 故 **B 错误**; 由于 O 点左右两侧图线不对称, 可知物块不会以 O 点为中心往返运动, 故 **C 错误**; 若带电物体从 O 点向右出发刚好到达 $x=2l$ 处, 由动能定理有

$$W_{\text{电}} - \mu mg \cdot 2l = 0 - \frac{1}{2} mv_0^2, \text{ 又 } W_{\text{电}} = -\frac{1}{2} q\varphi_0, \text{ 解得 } v_0 = \sqrt{\frac{6q\varphi_0}{5m}},$$

D 正确.

易错分析 分析光滑物块运动时, 易忽略电场力的方向和大小变化, 错选 **C** 项, 实际需结合电场强度分布来判断.

7. D 【解析】 E_p-x 图线的斜率表示电场力, 可知粒子运动过程中所受的电场力逐渐减小, 又 $E = \frac{F}{q}$, 则场强 E 随 x 逐渐减小, $a = \frac{F}{m}$, 可知加速度 a 随位移 x 逐渐减小, 故 **A 错误, D 正确**; 根据动能定理有 $E_k = Fx$, 可知粒子的 E_k-x 图像的斜率逐渐减小, **B 错误**; 根据动能定理有 $\frac{1}{2} mv^2 = Fx$, 可知 $v-x$ 图像不是直线, **C 错误**.

8. D 【解析】带负电的试探电荷在 $x_2 \sim x_4$ 之间电势能增大, 说明试探电荷受到的电场力对试探电荷做负功, 所以试探电荷所受电场力沿 x 轴负方向, 电场强度的方向沿 x 轴正方向, 故 **B、C 错误**; 由电场的分布特点可知, $0 \sim x_4$ 场强方向沿 x 轴正方向, x_4 右侧场强沿 x 轴负方向, 说明点电荷 Q_1 带正电, 点电荷 Q_2 带负电, 故 **A 错误**; E_p-x 图线的切线斜率绝对值表

示电场力大小,则 x_4 处的电场力为零,电场强度为零,有

$$k \frac{Q_2}{(x_1+x_4)^2} = k \frac{Q_1}{x_4^2}, \text{解得 } \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{x_4^2}{(x_1+x_4)^2}, \text{故 D 正确.}$$

关键点拨 本题考查两个点电荷形成的电场的叠加,根据电场的分布、试探电荷电势能的变化以及点电荷场强为零的位置分析题目,难点在于提取图像信息.根据电场分布可以确定点电荷带电性质,根据试探电荷电势能的变化可以分析电场力做功情况,从而判断电场强度方向,最后根据场强为零的位置求出点电荷电荷量大小的比值.

方法总结 解决此类问题,可以通过“离正电荷越近,电势趋向于正无穷;离负电荷越近,电势趋向于负无穷”来判断点电荷 Q_1 的电性.带负电的试探电荷接近 O 点时电势能为负且趋向于无穷,则接近 O 点的电势为正且趋向于无穷.

9. D 【解析】 E_p-x 图线切线斜率的绝对值表示电场力大小,由题图可知 $0 \sim 2$ m 内, E_p-x 图线切线斜率的绝对值一直在变化,则质子做非匀变速运动,故 A 错误;由题图可知,在 $x=5.4$ m 处, E_p-x 图线的斜率绝对值为 $k = \left| \frac{-14-0}{5.4-4} \right|$ eV/m = eE , 解得 $E=10$ V/m, 故 B 错误;根据题意,由题图可知,质子在 $x=2$ m 处的电势能为 $E_{p1}=14$ eV, 由公式 $E_{p1}=\varphi q$ 可得, $x=2$ m 处的电势为 $\varphi=14$ V, 故 C 错误;质子在 $x=2$ m 处运动到 $x=5.4$ m 处过程中,设质子在 $x=2$ m 处时的动能为 E_{k1} , 电势能为 E_{p1} , 质子在 $x=5.4$ m 处时的动能为 E_{k2} , 电势能为 E_{p2} , 由能量守恒定律可得 $E_{k1}+E_{p1}=E_{k2}+E_{p2}$, 代入数据解得 $E_{k1}=2$ eV, 故 D 正确.

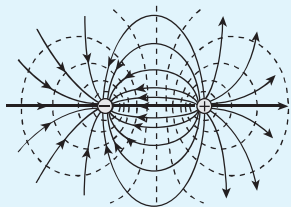
第 1~3 节综合训练

刷综合

1. C 【解析】沿电场线方向电势逐渐降低,由对称性可知, B 、 C 两点场强相同,但是由于 B 点距离正点电荷较近,则 B 点电势较高, A 错误;同理, A 、 D 两点场强相同,但是 A 点电势较高, B 错误;由对称性可知, E 、 F 两点场强相同, F 点距离正点电荷较近,则 F 点电势较高, C 正确;根据等量异种点电荷电场分布特点可知, B 、 O 、 C 三点中, O 点场强最小, C 点电势最低, D 错误.

方法总结 一对等量异种点电荷的电场线和等势面

离正点电荷越近的等势面电势越高,离负点电荷越近的等势面电势越低.



2. D 【解析】正点电荷产生的电场,离正点电荷越近,电势越高,根据题意 $\varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$, 可知该场源电荷 A 带正电, A 错误;由动能定理可知,点电荷 B 到达等势面 b 的过程中有 $qU_{ab} = \frac{1}{2}mv^2 - 0$, 点电荷 B 从等势面 b 到达等势面 c 的过程中有 $qU_{bc} = \frac{1}{2}mv_c^2 - \frac{1}{2}mv^2$, 联立解得 $v_c = \sqrt{2}v$, B 错误;由题意可知点电荷 B 从 a 到 b

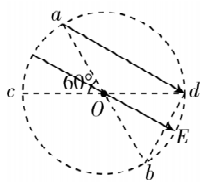
的过程中速度增加到 v , 则静电力对点电荷 B 做正功,点电荷 B 的动能增加,电势能减少, C 错误, D 正确.

关键点拨 点电荷周围的电场线是以点电荷为中心的射线,放在其中的电荷从静止开始运动时,沿着电场线运动,静电力做正功,动能增加,电势能减少.

3. A 【解析】 $\varphi-x$ 图像中图线斜率的绝对值等于电场强度的大小,则沿 BC 方向的电场强度大小 $E_{BC} = \frac{3-1}{2 \times 10^{-2}}$ V/m = 100 V/m, 沿 AC 方向的电场强度大小 $E_{AC} = \frac{4-3}{2 \times 10^{-2}}$ V/m = 50 V/m, 设该匀强电场的电场强度大小为 E , 根据矢量合成可知匀强电场的电场强度大小 $E = \sqrt{E_{AC}^2 + E_{BC}^2} = 50\sqrt{5}$ V/m, A 正确.

4. A 【解析】粒子从圆周上不同点离开,从 b 、 d 点离开时动能均为 $3E_k$, 可知 b 、 d 点电势相等,电场方向与圆平面平行,可知 b 、 d 点在同一等势面上,电场线与等势面垂直,则电场线

必垂直于直线 bd , 由几何关系可知,该匀强电场的场强方向与 ad 平行,故 A 正确;由动能定理有 $U_{ad}q = 3E_k - E_k$, 解得 ad 间的电势差为 $U_{ad} = \frac{2E_k}{q}$, 故 B 错误;电场强度大小为 $E = \frac{U_{ad}}{2R \cos 30^\circ} = \frac{2\sqrt{3}E_k}{3Rq}$, 粒子由 a 点到 O 点由动能定理有 $EqR \cos 30^\circ = E_{kO} - E_k$, 解得粒子经过 O 点时的动能为 $E_{kO} = 2E_k$, 故 C 错误;圆处于匀强电场中, b 、 d 点在同一等势面上,电场线垂直于直线 bd 也必垂直于直线 ac , 即 a 、 c 在同一等势面上,所以 a 点的电势等于 c 点的电势,故 D 错误.

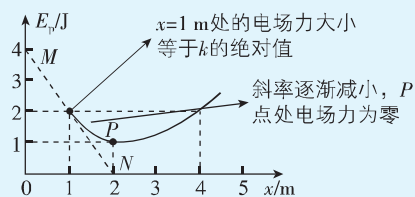


5. A 【解析】粒子由坐标原点 O 运动到位置 x_3 过程中, 电场方向一直为正方向, 静电力方向与速度方向相同, 静电力对粒子做正功, 粒子速度一直增大, 电势能一直减小, 粒子动能的增加量等于电势能的减少量, A 错误, B、D 正确;坐标原点 O 和位置 x_2 间的电势差为 $E-x$ 图线与 x 轴所围成图形的面积, 且从 O 到 x_2 电势一直降低, 则 $U_{Ox_2} = \frac{E_0 x_2}{2}$, C 正确. 本题选择说法不正确的, 故选 A.

6. B 【解析】由于 E 、 F 、 G 、 H 为棱 AB 、 AC 、 AD 、 BC 的中点, 根据匀强电场电势的特点, 有 $\varphi_E = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2}$, $\varphi_F = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2}$, $\varphi_G = \frac{\varphi_A + \varphi_D}{2}$, $\varphi_H = \frac{\varphi_B + \varphi_C}{2}$, 解得 $\varphi_A = 0$, $\varphi_B = 4\varphi$, $\varphi_C = 8\varphi$, $\varphi_D = 4\varphi$, 故 A 正确, B 错误;由于 B 、 D 、 F 三点的电势均为 4φ , 可知 BDF 所在的平面为等势面, 故 C 正确;根据几何关系, 可知 AF 垂直于 BDF 所在的平面, 则 AF 与电场线平行, 根据电场强度与电势差的关系, 有 $E = \frac{U_{CA}}{L} = \frac{\varphi_C - \varphi_A}{L} = \frac{8\varphi}{L}$, D 正确. 本题选说法不正确的, 故选 B.

关键点拨 解答本题的关键在于利用匀强电场中“直线上中点电势为两端点电势的平均值”这一特性, 通过中点电势建立方程求解顶点电势, 再结合等势面定义(电势相同的点构成的面)和电场强度与电势差的关系进行判断与计算.

思路导引 信息提取: E_p-x 图像的切线斜率的绝对值表示 $F_{\text{电}}$ 的大小.



【解析】在 E_p-x 图中, 图线切线斜率绝对值表示 $F_{\text{电}}$ 的大小, 所以在 $x=1 \text{ m}$ 处的电场力大小为 $F_{\text{电}} = |k| = \frac{4-0}{2-0} \text{ N} = 2 \text{ N}$, 又

$F_{\text{电}} = E|q|$, 解得 $E = \frac{F_{\text{电}}}{|q|} = \frac{2}{0.1} \text{ V/m} = 20 \text{ V/m}$, **A 错误**; 开始时

$F_{\text{电}} > f = \mu mg = 1 \text{ N}$, 故开始时小滑块向右加速, $1 \sim 2 \text{ m}$ 电场力向右逐渐减小到零, 故小滑块先向右做加速度减小的加速运动, 后做加速度增大的减速运动, 当电场力大小等于摩擦力大小时, 速度最大, 而 $x=2 \text{ m}$ 处的电场力为 0, 该处的速度不是最大, **B 错误**; $2 \sim 3 \text{ m}$, 电场力向左逐渐增大, 小滑块做加速度增大的减速运动, $3 \sim 4 \text{ m}$, 摩擦力为零, 电场力向左逐渐增大, 故小滑块做加速度增大的减速运动, 故小滑块先加速后减速, **C 错误**; 若滑块第一次返回时恰能到 $x=1 \text{ m}$ 处, 克服摩擦力做的功等于 $W_f = fs = \mu mgs = 4 \text{ J}$, 而一开始滑块的动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = 4 \text{ J}$, 因为 $E_k = W_f$, 所以滑块第一次返回时恰能到 $x=1 \text{ m}$ 处, **D 正确**.

8. B 【解析】小球从 A 点运动到 B 点, 动能不变, 重力势能增加, 则电势能减少, 小球在 B 点的电势能一定小于在 A 点的电势能, 故 **A 错误**. 小球带正电, 则 B 点的电势低于 A 点的电势, 根据动能定理得 $qU_{AB} - mgL \sin \theta = \frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 可得

$U_{AB} = \frac{mgL}{2q}$, 故 **B 正确**. 若静电力与重力、支持力的合力为零,

小球做匀速直线运动, 到达 B 点时小球的速度仍为 v_0 . 小球的重力沿斜面向下的分力 $mg \sin \theta$ 一定, 则当静电力沿斜面向上, 且大小为 $F = mg \sin \theta$ 时, 静电力最小, 场强最小, 若电场强度与运动方向不共线, 且静电力沿斜面向上的分力与重力沿斜面向下的分力相等, 根据矢量的合成法则可知, 电场强度可能大于 $\frac{mg}{q}$, 故 **C 错误**. 若该电场是 AC 边中点处的点电荷 Q 产生的, Q 到 A 点的距离小于到 B 点的距离, 由于 B 点的电势低于 A 点的电势, 则 Q 一定是正电荷, 故 **D 错误**.

9. (1) 300 V/m (2) 120 V 30 V (3) 能 $6 \times 10^{-5} \text{ J}$

【解析】(1) 由粒子做匀速运动可得 $F = |q|E$,

解得 $E = \frac{F}{|q|} = \frac{1.5 \times 10^{-4}}{5 \times 10^{-7}} \text{ N/C} = 300 \text{ N/C} = 300 \text{ V/m}$.

(2) 分析可知场强方向与 F 方向相同, A、B 两点电势差为 $U_{AB} = EL \cos \alpha = 300 \times 0.5 \times 0.8 \text{ V} = 120 \text{ V}$,

而 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$,

所以 $\varphi_B = \varphi_A - U_{AB} = (150 - 120) \text{ V} = 30 \text{ V}$.

(3) 由于粒子所受电场力与等势面垂直且指向 A 所在的等势面, 所以撤去 F 后粒子一定能回到 A 所在的等势面, 从 B 到

回到 A 所在的等势面电场力做功为 $W_{BA} = qU_{BA} = -5 \times 10^{-7} \times (-120) \text{ J} = 6 \times 10^{-5} \text{ J}$,

由动能定理可得, 回来过程动能增加量为 $\Delta E_k = W_{BA} = 6 \times 10^{-5} \text{ J}$.

第 4 节 电容器的电容

课时 1 电容器的电容

刷基础

1. B 【解析】电容器可以储存电荷, 电容器的电容是由其本身的性质决定的, 与电荷量无关, **A 错误**; 这个电容器的电容为 $C = 220 \mu\text{F}$, 两端电压变化 10 V , 它储存的电荷量的变化量 $\Delta Q = C \Delta U = 220 \times 10^{-6} \times 10 \text{ C} = 2.2 \times 10^{-3} \text{ C}$, **B 正确**; 电容器的电容与加在它两端的电压无关, **C 错误**; 加在这个电容器两端的电压低于 500 V 时它仍能工作, **D 错误**.

关键点: 电容器的耐压值是指加在其上的电压最大值

2. B 【解析】由公式 $E = \frac{1}{2}CU^2$ 代入数据解得 $U = 5 \times 10^3 \text{ V}$, 故

A 正确; 电容器的电容与所带电荷量无关, 由其本身决定, 故 **B 错误**; 当除颤器的能量最大时, 其电压也最大, 由题意可知, 除颤器的最大能量为 400 J , 由公式 $E = \frac{1}{2}CU^2$, 解得

$U_{\text{max}} \approx 7 \times 10^3 \text{ V}$, 故 **C 正确**; 由前面的分析可知, 此次治疗, 电

容器的电压为 $5 \times 10^3 \text{ V}$, 由公式 $C = \frac{Q}{U}$, 解得电容器极板上带

的电荷量 $Q = 0.08 \text{ C}$, 由电流的定义有 $\bar{I} = \frac{Q}{t} = 40 \text{ A}$, 故 **D 正**

确. 本题选说法不正确的, 故选 B.

教材变式 本题目由教材 P43 第 4 题演变而来. 教材考查了放电过程中通过人体组织的电荷量, 本题延伸考查了电容器的电压和治疗过程中平均放电电流.

3. D 【解析】手指挤压锁表面的过程中, 指纹与小极板的间距减小, 根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, 电容变大, **A 错误**; 电压不变, 根据 $Q = CU$ 可知, 电容器所带电荷量变大, 处于充电状态, **B 错误**, **D 正确**; 根据 $E = \frac{U}{d}$, 因 U 不变, d 变小, 可知内部场强变大, **C 错误**.

4. D 【解析】开关 S 闭合, 两板间的电势差不变, 所以将 A 板竖直向上平移, 静电计指针张角不变, **A 错误**; 若 S 断开后, 仅将 A 板缓慢水平向左平移, 板间距离 d 增大, 根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$, 可得电容 C 减小, 而电容器的电荷量 Q 不变, 由电容

的定义式 $C = \frac{Q}{U}$, 可得板间电势差 U 增大, 则静电计指针张

角增大, **B 错误**; 若 S 断开后, 仅在 A、B 板间插入玻璃板, 相

对介电常数增大, 根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$, 可得电容 C 增大, 而电容器

的电荷量 Q 不变, 由电容的定义式 $C = \frac{Q}{U}$, 可得板间电势差 U

减小, 则静电计指针张角减小, **C 错误**; 断开开关 S, 仅将 A 板缓慢竖直向上平移, A、B 正对面积变小, 根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$, 可得

电容 C 减小,而电容器的电荷量 Q 不变,由电容的定义式 $C = \frac{Q}{U}$ 得,板间电势差 U 增大,则静电计指针张角增大, **D 正确**.

关键点拨 用静电计可测量电容器极板间的电势差,电势差越大,指针张角越大;电容器不接电源,电荷量 Q 不变,电容器接电源,两极板间电势差 U 不变.

- 5. B** 【解析】让上极板转过 90° ,则两极板正对面积减小为原来的一半,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,电容器的电容减小为原来的一半,故 **A 错误**;开关 S 闭合,两极板间电势差不变,故 **C、D 错误**;根据 $Q = CU$ 可知,极板上所带电荷量减少为原来的一半,故 **B 正确**.

- 6. C** 【解析】根据 $C = \frac{Q}{U}$ 、 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 、 $E = \frac{U}{d}$,可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$,由于

注意: 在电荷量不变时,只改变板间距不影响电容器的板间场强

两平行板带电荷量一定,因此将 M 板稍向右、稍向左平移一些,板间的电场强度大小不变,因此小球受到的电场力不变, θ 不变,故 **A、B 错误**;将 M 板稍向上、向下平移一些,两板的正对面积减小,结合上述分析可知,两极板间的电场强度增大,小球受到的电场力增大, θ 变大,故 **C 正确, D 错误**.

- 7. B** 【解析】加热器不加热时, R_1 的滑片向右滑动, R_1 连入电路的阻值增大,回路中电流变小, R_2 两端的电压变小,根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可知,电容器极板上的电荷量减少,故 **A 错误**;加热器加热

时,待测材料向上膨胀,电容器两板间距减小,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,

电容增大,由于电容器两板间电势差不变,根据 $C = \frac{Q}{U}$ 可知极板所带电荷量增加,电流计中有从 a 到 b 的电流通过,由 $E = \frac{U}{d}$ 可知电容器两极板间电场强度增大,故 **B 正确, C 错误**;断开

开关,电容器通过 R_2 放电,极板上电荷量减少,故 **D 错误**.

刷易错

★易错点 1 没有准确理解电容的概念,不清楚电容器所带电荷量为一个极板的带电荷量

- 8. D** 【解析】电容是电容器本身的一种性质,与电容器充放电无关,电容器在充电后的电容为 $15 \mu\text{F}$,放电后的电容仍为 $15 \mu\text{F}$, **A 错误**;电容器在放电过程中,两极板所带的电荷量逐渐减小,两极板间电势差逐渐减小为 0,产生的电流大小逐渐减小为 0, **B 错误**;电容器所带的电荷量是一个极板的电荷量的绝对值,电容器在放电过程中,共释放了 $Q = CU = 4\ 000 \times 15 \times 10^{-6} \text{ C} = 0.06 \text{ C}$ 的电荷,则电容器充电后,单个极板所携带的电荷量为 0.06 C , **C 错误**;根据 $C = \frac{Q}{U}$,可得电容器两极板之间电势差与电荷量成正比, **D 正确**.

易错分析 本题易误认为电容器所带电荷量为两个极板的电荷量之和,而求得电容器充电后单个极板所带的电荷量为 0.03 C ,导致错选 C .

★易错点 2 混淆电容器的充电和放电的特征

- 9. D** 【解析】由题图乙可知, $t_1 \sim t_2$ 时间内电流增大,是因为压

电薄膜受到汽车压力,压力增大,电压增大,所以电容器正在充电,因为取顺时针方向的电流为正值, $t_1 \sim t_2$ 时间内电流为正,所以电容器上极板带正电,故 **A、B 错误**;车轮停在压电薄膜上时,压力不变,则电容器两端电压不变,但不为 0,故 **C 错误**;若汽车前轮越过停止线,又退回到线内,则前轮两次压线,仍形成两个脉冲电流,符合拍照条件,电子眼仍会拍照,故 **D 正确**.

易错分析 本题易错之处在于不能正确理解电容器的充电和放电的特征. 充电时电容器所带电荷量增大,电流方向由电源的正极流向电源的负极;放电时电容器所带电荷量减小,电流方向由正极板流向负极板.

★易错点 3 不清楚电容器动态分析过程中电势能的变化情况

- 10. B** 【解析】带电油滴 P 正好静止在极板正中间,则所受的电场力 qE 与重力 mg 二力平衡,油滴所受电场力竖直向上,而电场方向竖直向下,因此油滴带负电,故 **A 错误**;将 B 极板向下移动到虚线位置时,电容器极板间距 d 增大,由 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,电容 C 减小,而极板间电压 U 不变,由 $E = \frac{U}{d}$ 可知,极板间的电场强度减小,此时油滴受到的电场力小于重力,油滴向下做加速运动,由 $Q = CU$ 可知,电容器所带电荷量减小,开始放电,上极板带正电,则电流计中电流由 a 流向 b ,故 **B 正确, C 错误**;油滴受到的电场力方向向上,而运动的方向向下,电场力做负功,所以油滴的电势能增大, **D 错误**.

易错分析 本题易误认为油滴在电容器中加速运动,动能增加,所以电势能减少,而错选 D . 油滴所受的电场力方向和运动的方向相反,电场力做负功,可知油滴的电势能将增大.

刷提升

- 1. D** 【解析】由题可知,电荷量相同时, $U_2 = 2U_1$,根据 $C = \frac{Q}{U}$,可知电容器 C_1 的电容是 C_2 的 2 倍,故 **A、B 错误**; $E_p = \frac{1}{2} CU^2 = \frac{1}{2} QU$,当两电容器所带电荷量相同时,电容器 C_1 两端电压小,则电容器 C_1 储存的电势能小,根据微元法可知,题图中阴影部分代表电容器 C_1 在 U_1 时所储存的电势能,故 **C 错误, D 正确**.

- 2. B** 【解析】根据 $C = \frac{Q}{U}$ 、 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 、 $E = \frac{U}{d}$,整理得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$,由于电容器带电荷量恒定,因此当两极板的距离改变时,板间的电场强度恒定,则 $\frac{U}{d} = \frac{0.6U}{x}$,解得 $x = 0.6d$,根据牛顿第二定律有 $k_0(d-x) = ma$,解得加速度大小 $a = \frac{2k_0 d}{5m}$,故选 B .

方法总结 电容器的两类动态问题的分析方法:若电容器始终与电源相连,则电容器极板间的电势差不变;若电容器与电源断开,则电容器所带电荷量不变;根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 判断电容的变化,根据 $C = \frac{Q}{U}$ 判断电势差或电荷量的变化,根据 $E = \frac{U}{d}$ 判断极板间场强的变化.

3. D 【解析】保持 S 闭合, 两极板间电压不变, 开始时, 油滴受到的重力和电场力平衡, 故 $mg=qE$, 将 A 板上移, 由 $E=\frac{U}{d}$ 可知, E 变小, 故油滴应向下加速运动, 根据 $C=\frac{Q}{U}$ 、 $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ 可知, 电容器电荷量减小, 故 G 中有 $b \rightarrow a$ 的电流, 故 **A 错误**; 保持 S 闭合, 两极板间电压不变, 若将 A 板向左平移一小段位移, 则 E 不变, 油滴仍静止, 但由于 S 减小, 则 C 减小, 电容器电荷量减小, 故 G 中有 $b \rightarrow a$ 的电流, 故 **B 错误**; 若将 S 断开, Q 不变, 将 A 板向左平移一小段位移, S 减小, C 减小, 则 U 增大, E 增大, 油滴受到的电场力大于重力, 油滴向上运动, 故 **C 错误**; 若将 S 断开, Q 不变, 再将 B 板向下平移一小段位移, 根据 $C=\frac{Q}{U}$ 、 $C=\frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$ 、 $E=\frac{U}{d}$ 可得 $E=\frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}$, 可知场强 E 不变, 则油滴仍静止, 故 **D 正确**.

关键点拨 解答本题的关键是判断电容器是电压不变还是电荷量不变, 结合电容的两个表达式、匀强电场的电场强度计算公式、受力分析等找出影响电场强度的因素、电容器充放电过程中电流的流动方向.

4. (1) $\frac{nq}{Cd}$ (2) $\frac{mgCd}{q^2}+1$ (3) $\frac{mgC(h+d)}{q^2}$

【解析】(1) 当有 n 滴油滴落到 b 板上后, 极板上的电荷量 $Q=nq$, 所以极板之间的电势差 $U_0=\frac{Q}{C}=\frac{nq}{C}$, 极板间的电场强度

$$E=\frac{U_0}{d}=\frac{nq}{Cd}.$$

(2) 设第 N 滴油滴在 a 、 b 板间做匀速直线运动, 此时极板上

$$电荷量 Q_1=(N-1)q, 板间电压 U=\frac{Q_1}{C}=\frac{(N-1)q}{C},$$

$$板间电场强度 E_1=\frac{U}{d}=\frac{(N-1)q}{Cd},$$

$$由平衡条件得 qE_1=mg, 解得 N=\frac{mgCd}{q^2}+1.$$

(3) 设能够落到 b 板的油滴不会超过 x 滴, 且第 $(x+1)$ 滴到达 b 板时速度恰好为 0, 然后返回, 极板上的最大电荷量 $Q'=xq$, 极

$$板间最大电压 U'=\frac{Q'}{C}=\frac{xq}{C},$$

对第 $(x+1)$ 滴油滴, 由动能定理得 $mg(h+d)-qU'=0$,

$$解得 x=\frac{mgC(h+d)}{q^2}.$$

课时 2 观察电容器的充、放电现象

刷基础

1. (1) 不变 (2) 430 (3) AD

【解析】(1) 因题图乙中图线与坐标轴所围成的面积等于电容器带的电荷量, 则如果不改变电路其他参数, 只减小电阻的阻值, 则此过程的曲线与坐标轴所围成的面积将不变;

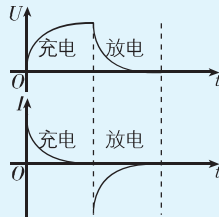
$$(2) 该电容器的电容为 C=\frac{Q}{U}=\frac{3.44 \times 10^{-3}}{8.0} \text{ F}=430 \text{ } \mu\text{F};$$

(3) 电源给电容器充电时, 刚开始电荷量的变化率较大, 后来

变化率减小, 放电时, 电荷量变化率刚开始比较大, 后来变化率减小, **A 正确, B 错误**; 根据 $C=\frac{Q}{U}$, 且 C 不变可知, U 与 Q 的变化情况相同, **C 错误, D 正确**.

教材变式 本题目由教材 P51 第 4 题演变而来. 教材题目以画图像的方式探究电容器放电过程中电压与电流随时间的变化规律, 本题更全面地考查电容定义及图像的含义, 以选择图像的形式分析 Q 与 U 随 t 的变化情况, 提升了综合性.

关键点拨 电容器充电和放电过程中, 电压和电流随时间变化的图像如图所示. 其中, 由微元法可得 $I-t$ 图线与时间轴围成的面积代表电荷量.



2. (1) AC (2) BD

【解析】(1) 电容器充电过程中, 电容器两端的电压 U 逐渐增大, 最后等于电源电压, $U-t$ 图线的切线斜率逐渐减小, 最后为零, 故 **A 正确, B 错误**; 电容器所带的电荷量 $Q=CU$, 与 $U-t$ 图线变化规律相同, 故 **C 正确, D 错误**.

(2) 由 $C=\frac{Q}{U}$ 可得 $U=\frac{1}{C}Q$, 可知 $U-Q$ 图线的斜率为 $k=\frac{U}{Q}=\frac{1}{C}$, 斜率越大, 电容越小, **A 错误**; 类比速度—时间图像的面积代表位移, 则 $U-Q$ 图像的面积代表克服电场力所做的功, 所以搬运 ΔQ 的电荷量, 克服电场力所做的功近似等于 ΔQ 上方小矩形的面积, **B 正确**; 该同学从等效的思想出发, 认为电容器储存的能量等于把电荷从一个极板搬运到另一个极板过程中克服电场力所做的功, 也等于图像与横轴所围的面积 $E=\frac{1}{2}QU$, 又 $C=\frac{Q}{U}$, 解得 $E=\frac{1}{2}CU^2=\frac{Q^2}{2C}$, 即 E 和 U^2 成正比, **C 错误**; 由上述分析可知, 若电容器的电荷量变为 $\frac{Q}{2}$, 则 $E'=\frac{1}{4}E$, **D 正确**.

第 5 节 带电粒子在电场中的运动

课时 1 带电粒子在电场中的加速和偏转

刷基础

1. **A** 【解析】质子在电场中加速, 根据动能定理可得 $qU=\frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v=\sqrt{\frac{2qU}{m}}$, 故选 **A**.

2. **B** 【解析】由题知, 板间电压 U 不变, 由 $E=\frac{U}{d}$ 可知, 两板间距离 d 越大, 场强 E 越小, 静电力 $F=Ee$ 越小, 电子的加速度越小, 由 $eU=\frac{1}{2}mv^2$ 得 $v=\sqrt{\frac{2eU}{m}}$, 板间电压不变, 则电子到达 Q 板时的速率不变, 则两板间距离越大, 加速时间越长, 加

速度越小,由上述分析可知,电子到达 Q 板时的速率与两板间距离无关,仅与板间电压有关, **A、C、D 错误, B 正确**.

方法总结 带电粒子在电场中的加速问题的一般分析方法:(1)根据动能定理求解.若只涉及速度,则优先选用动能定理,对匀强电场和非匀强电场均适用.(2)根据牛顿第二定律和匀变速直线运动规律求解.若涉及时间和加速度,则选用此法,只适用于匀强电场.

3. D 【解析】根据能量守恒定律可知,原子核到达下极板时的

动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 + qU_1$, 其中 U_1 为射入点与下极板的电势差,原子核到达下极板时,静电力做功相同,因三个原子核的质量不同,故三个原子核的初动能不同,则三个原子核刚到达下极板时的动能不相等, **A 错误**;根据 $h = \frac{1}{2} \times \frac{qE}{m} t^2$, $x = v_0 t$, 可得 $x = v_0 \sqrt{\frac{2hm}{qE}}$, 可知质量越大, x 越大,则落在 A 点的原子核是 ${}^3_1\text{H}$, **B 错误**;根据 $a = \frac{qE}{m}$ 可知, ${}^1_1\text{H}$ 、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_1\text{H}$ 的加速度大小满足 $a_1 : a_2 : a_3 = 6 : 3 : 2$, **C 错误**;根据 $E = \frac{U}{d}$, $C =$

$\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$, $C = \frac{Q}{U}$ 可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\varepsilon_r S}$, 因电容器带电荷量不变,若将上极板向上移动较小的距离,两板间场强不变,原子核在电场中的运动不受影响, **D 正确**.

关键点拨 解决此类问题的关键是要掌握类平抛运动的处理方法.垂直于电场力方向,带电粒子做匀速直线运动,沿电场力方向,带电粒子做匀变速直线运动.

4. B 【解析】电子通过偏转电场的时间 $t = \frac{L}{v_0}$, 竖直方向上,电

子的加速度大小 $a = \frac{q \frac{U}{d}}{m} = \frac{qU}{md}$, 电子离开偏转电场时的偏移量 $h = \frac{1}{2}at^2 = \frac{qUL^2}{2mdv_0^2}$, 则灵敏度 $\frac{h}{U} = \frac{qL^2}{2mdv_0^2}$, 故想要提高灵敏度,可以增大板长、减小板间的距离、减小入射速率,故 **B 正确**.

刷提升

1. C 【解析】粒子在垂直两板方向做初速度为零的匀加速直线运动,根据初速度为零的匀加速直线运动在连续相等时间内通过的位移之比为 $1 : 3 : 5 : \dots$, 可知在前 $\frac{t}{2}$ 时间内垂直两板的位移大小为 $\frac{d}{8}$, 则对应的电势差为 $\frac{U}{8}$, 则静电力对粒子做功为 $W_1 = \frac{qU}{8}$, **A 错误**;同理,在后 $\frac{t}{2}$ 时间内垂直两板的位移大小为 $\frac{3d}{8}$, 则对应的电势差为 $\frac{3U}{8}$, 则静电力对粒子做功为 $W_2 = \frac{3qU}{8}$, **B 错误**;粒子的出射速度的反向延长线交于水平

位移的中点,则粒子的出射速度偏转角满足 $\tan \theta = \frac{\frac{d}{2}}{\frac{L}{2}} = \frac{d}{L}$,

C 正确;根据初速度为零的匀加速直线运动通过连续相等位移的时间之比可知,竖直方向上粒子在发生前 $\frac{d}{4}$ 位移和后 $\frac{d}{4}$ 位移的运动时间之比为 $t_1 : t_2 = 1 : (\sqrt{2} - 1)$, **D 错误**.

易错点: 是两段连续的位移,不是第 1 段和第 4 段

2. D 【解析】质子从 O 点沿轴线进入加速器,从金属圆筒 E 射

出时质子经 5 次加速,由动能定理可得 $5eU = \frac{1}{2}mv_k^2$, 解得质子从金属圆筒 E 射出时的速度大小为 $v_k = \sqrt{\frac{10eU}{m}}$, 故 **A 错误**;质子在金属圆筒内做匀速直线运动,所以金属圆筒 E 的长度为 $L_E = v_E \cdot \frac{T}{2} = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{10eU}{m}}$, 故 **B 错误**;同理可知,金属圆筒 A 的长度 $L_A = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{2eU}{m}}$, 金属圆筒 B 的长度 $L_B = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{4eU}{m}}$, 金属圆筒 C 的长度 $L_C = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{6eU}{m}}$, 金属圆筒 D 的长度 $L_D = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{8eU}{m}}$, 则金属圆筒 A 的长度与金属圆筒 B 的长度之比为 $L_A : L_B = 1 : \sqrt{2}$, 金属圆筒 C 的长度与金属圆筒 D 的长度之比为 $L_C : L_D = \sqrt{3} : 2$, 故 **C 错误, D 正确**.

教材变式 本题由教材 P44 例题 1 演变而来.教材题目中探究了圆筒长度与其序号之间的定量关系,本题又对原理加深了考查,增加了考向,培养思维灵活性.

3. D 【解析】粒子在加速电场中,根据动能定理有 $qU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 在偏转电场中的运动可看作类平抛运动的逆过程,则

有 $L = v_0 \cos 37^\circ \cdot t$, $d = \frac{1}{2}at^2$, $a = \frac{U_2 q}{dm}$, $\tan 37^\circ = \frac{at}{v_0 \cos 37^\circ}$, 根据速度偏转角和位移偏转角的关系有 $\tan 37^\circ = \frac{d}{L}$, 可

得 $L : d = 8 : 3$, $U_1 : U_2 = 25 : 9$, **A、B 错误**;仅将电容器的上极板竖直向上移动 $\frac{d}{2}$, 根据 $E = \frac{U_2}{d}$, $C = \frac{Q}{U_2}$, $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$, 可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\varepsilon_r S}$, 可知两极板间场强不变,粒子受力情况不变,则粒子的出射点不变, **C 错误**;根据 $y = \frac{1}{2}at^2$, $x = v_0 t \cos 37^\circ$ 可得 $y = \frac{25U_2 x^2}{64dU_1}$, 可知仅改变粒子的质量或电荷量,粒子在电容器中的运动轨迹不变, **D 正确**.

关键点拨 本题的难点是不能利用逆向思维法将粒子的运动逆向考虑为类平抛运动,从而增大计算难度;对于运动轨迹是否发生改变,需要从加速过程开始推理.

刷素养

4. (1) $\frac{\sqrt{2}L}{v_0}$ (2) $\frac{2mv_0^2}{qL}$ (3) $y = \left(1 - \frac{n}{2}\right)L (n=1, 2, 3, \dots)$

【解析】(1)由题意可知,离子做曲线运动,沿 y 轴负方向做匀速直线运动,则有 $L = v_0 t \cos 45^\circ$, 解得 $t = \frac{\sqrt{2}L}{v_0}$.

(2)离子在II区域,开始时沿 x 轴正方向做匀减速运动,有 $v_0 \sin 45^\circ = a \frac{t}{4}$,由牛顿第二定律可知 $Eq = ma$, 联立解得

关键点: 离子在II区域和I区域各运动 $\frac{t}{2}$ 时间

$$E = \frac{2mv_0^2}{qL}.$$

(3)离子在每个区域运动的过程中,沿 y 轴方向运动的距离都相等,设为 y_1 , 则有 $y_1 = v_0 \frac{t}{2} \cos 45^\circ = \frac{L}{2}$, 离子每次通过 y

突破点: 离子第1次经过 y 轴时的纵坐标为 $\frac{L}{2}$

轴时纵坐标为 $y = L - ny_1 (n = 1, 2, 3, \dots)$, 解得 $y = \left(1 - \frac{n}{2}\right)L (n = 1, 2, 3, \dots)$.

关键点拨 离子初速度方向与受力方向不垂直,故它做的是类平抛运动,需要分方向进行研究,同时有两个电场区域,需注意其运动的周期性.

课时2 带电粒子在电场中加速和偏转的综合

刷基础

1. A 【解析】若扫描电压信号如 B、C、D 选项所示,则在半个周期内,电子沿 XX' 方向偏转距离相同,荧光屏上在 YY' 方向呈现一条直线,无法显示输入电压信号随时间周期性变化的具体情况,若扫描电压信号如 A 选项所示,则电子打在荧光屏上的位置沿 XX' 方向随时间均匀分布,又扫描电压信号周期与输入电压信号周期相同,可得到输入电压信号周期变化的图像,综上, A 项图像正确. 故选 A.

教材变式 本题目由教材 P47 拓展学习演变而来. 教材展示了示波管的原理,本题考查了扫描电压信号的图像.

2. B 【解析】电子射出加速电场时,由动能定理可知 $eU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}}$, 电子在偏转电场中,垂直极板方向有 $v_y = at, a = \frac{eU_2}{dm}$, 平行极板方向有 $L = v_0 t$, 电子的偏转角 θ 的正切值 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{at}{v_0} = \frac{U_2 L}{2dU_1}$, 则一定能使电子的偏转角 θ 变大的是 U_1 变小、 U_2 变大. 故选 B.

3. (1) $\sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$ (2) $\frac{3}{2}L$ (3) $2\sqrt{\frac{eU_0}{m}}$, 方向与水平方向成 45° 角斜向右下

【解析】(1)电子在加速电场中加速,根据动能定理有 $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}}$.

(2)若 $M、N$ 两板之间电压大小 $U = 2U_0$, 电子在偏转电场中做类平抛运动,有 $y = \frac{1}{2}at^2, L = v_0 t$,

根据牛顿第二定律有 $e \frac{2U_0}{L} = ma$,

联立解得 $y = \frac{1}{2}L$, 可知电子从 N 板右边缘射出,之后做匀速直线运动打到 C 点,

根据几何关系有 $\frac{\frac{1}{2}L}{y} = \frac{\frac{1}{2}L + s}{h}$,

解得 $s = \frac{3}{2}L$.

(3)结合(2)问分析有 $L = v_0 t, v_y = at$,

则电子刚出偏转电场区域时的速度大小为 $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$,

电子刚出偏转电场区域时的速度方向与水平方向的夹角的

正切值为 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$,

解得速度大小为 $v = 2\sqrt{\frac{eU_0}{m}}$, 方向与水平方向成 45° 角斜向右下.

关键点拨 解题的关键在于分析清楚电子在各个区域的运动情况,能熟练运用运动的分解处理电子做类平抛运动的过程,分析时要抓住分运动的等时性.

方法总结 分析带电粒子在电场中偏转问题的方法

将带电粒子在电场中的运动分解为垂直电场方向的匀速直线运动和沿电场方向的匀变速直线运动,根据抛体运动的规律解题.

4. C 【解析】电子初速度方向竖直向上,恰好不穿过等势面 B ,则静电力方向垂直于等势面斜向右下,加速度方向与电子速度方向不共线,所以电子做匀变速曲线运动, A 错误;将电子的初速度沿平行于等势面方向(x 方向)和垂直于等势面斜向左上方(y 方向)分解,设初速度大小为 v , 则 $v_x = v_y = v \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2}v$, 电子到达等势面 B 时,只有沿 x 方向的分速度,即 $v_B = v_x = \frac{\sqrt{2}}{2}v$, 由动能公式 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 知,电子到达等势面 B 时的动能是经过等势面 D 时的一半,即 $E_{kB} = \frac{1}{2}E_{kD} = 8 \text{ eV}$, 由静电力做功公式和动能定理得 $W_{DB} = -eU_{DB} = E_{kB} - E_{kD}$, $W_{DC} = -eU_{DC} = E_{kC} - E_{kD}$, $U_{DB} = 2U_{DC}$, 解得 $E_{kC} = 12 \text{ eV}$, $U_{DC} = 4 \text{ V}$, 又 $U_{DC} = E \cdot d_{DC}$, 解得 $E = 100 \text{ V/m}$, C 正确, D 错误;电子在 y 方向上做类竖直上抛运动,从等势面 D 到 B 再返回 D 的时间为 $t = 2 \cdot \frac{d_{DB}}{\frac{v_y}{2}}$, 在 x 方向做匀速直线运动, 则 $d_x = v_x t = 4d_{DB} = 32 \text{ cm}$, B 错误.

刷提升

1. D 【解析】因为该电场在 $x、y、z$ 三个方向的分量大小均为 E_0 , 则由矢量合成法则及数学知识可知 $E = \sqrt{E_0^2 + E_0^2 + E_0^2} = \sqrt{3}E_0$, 方向沿空间对角线,粒子在 O 点时,所受电场力的合

力为 $qE = \sqrt{3} qE_0$, 由牛顿第二定律可得 $qE = ma$, 解得 $a = \frac{\sqrt{3} qE_0}{m}$, 方向沿空间对角线, 则粒子在电场力的作用下, 沿空间对角线方向做初速度为零的匀加速直线运动, 电场力做正功, 则粒子的电势能逐渐减少. 故选 D.

2. D 【解析】粒子在平行金属板 PQ 之间, 根据动能定理有 $qU_1 = \frac{1}{2}mv_F^2$, 可得粒子在 F 点的速度大小为 $v_F = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$, 设 M 、 N 的长度为 L , M 、 N 之间的距离为 d , 则粒子通过偏转电场 MN 的时间为 $t = \frac{L}{v_F}$, 粒子在偏转电场中的加速度大小为 $a = \frac{qU_2}{md}$, 粒子的竖直偏转距离为 $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{U_2 L^2}{4dU_1}$, 所以粒子的竖直偏转距离与 $\frac{U_2}{U_1}$ 成正比, **A 正确**; 滑片向左滑动的过程中, U_1 减小, U_2 增大, 则 $\frac{U_2}{U_1}$ 增大, 粒子的竖直偏转距离逐渐增大, 根据平抛运动的规律可知, 从偏转电场飞出的粒子竖直方向的速度逐渐增大, 水平方向的速度逐渐减小, 则飞出时粒子的速度的偏转角逐渐增大, **B 正确**; 粒子从 M 板右边缘飞出时速率最大, 根据动能定理可得 $qU_1 + qU_2 = E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2$, 其中 $U_1 + U_2 = E$, 联立解得 $E_{km} = Eq$, $v_m = \sqrt{\frac{2qE}{m}}$, **C 正确**, **D 错误**. D 符合题意.

3. B 【解析】设粒子的运动时间为 t , 粒子 1 在电场中做类平抛运动, 则 $\frac{1}{2}L = v_1 t$, $\frac{1}{4}L = \frac{1}{2}at^2$, 粒子 2 在电场中做匀加速直线运动, 则 $\frac{1}{2}L = v_2 t + \frac{1}{2}at^2$, 又 $a = \frac{qE}{m} = \frac{qU}{md} = \frac{2qU}{mL}$, 联立解得 $v_1 = \sqrt{\frac{qU}{m}}$, $v_2 = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{qU}{m}}$, $t = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{mL^2}{qU}}$, 粒子 1 到达 O 点时的速度大小为 $v = \sqrt{v_1^2 + (at)^2} = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$, 故 **A 错误**, **B 正确**; 若将粒子 1 射入电场时的速度变为 $2v_1$, 则粒子 1 到达 O 点正上方所用时间为 $t' = \frac{\frac{1}{2}L}{2v_1} = \frac{1}{4}\sqrt{\frac{mL^2}{qU}}$, 这段时间内粒子 1 沿电场方向通过的位移大小为 $y_1 = \frac{1}{2}at'^2 = \frac{1}{16}L$, 这段时间内粒子 2 沿电场方向通过的位移大小为 $y_2 = v_2 t' + \frac{1}{2}at'^2 = \frac{3}{16}L$, 由于 $y_2 - y_1 = \frac{3}{16}L - \frac{1}{16}L = \frac{1}{8}L \neq \frac{1}{4}L$, 可知两粒子不会相遇, 故 **C**、**D 错误**.

刷素养

4. (1) $\sqrt{\frac{eE_0 R}{m}}$ (2) $\frac{E_0 R}{L}$ (3) $\frac{3eE_0 R}{2}$

【解析】(1) 辐向电场中, 电场力提供电子做匀速圆周运动的向心力, 有 $eE_0 = m \frac{v_0^2}{R}$, 解得 $v_0 = \sqrt{\frac{eE_0 R}{m}}$.

(2) 电子在区域 I 中做类平抛运动, 水平方向有 $L = v_0 t$,

竖直方向有 $\frac{1}{2}L = \frac{1}{2}at^2$,

由牛顿第二定律得 $eE_1 = ma$,

联立解得 $E_1 = \frac{E_0 R}{L}$.

(3) 分析可知电子在两个电场区域中的运动时间相等, 从 P 到 Q 过程, 竖直方向有 $\frac{1}{2}L = -v_y t + \frac{1}{2}a't^2$, 其中 $v_y = at$,

由牛顿第二定律得 $eE_2 = ma'$,

根据电场力做功与电势能的关系可知, 电子电势能减少量

$\Delta E_p = eE_2 \cdot \frac{1}{2}L$,

解得 $\Delta E_p = \frac{3eE_0 R}{2}$.

专题 3 带电体在复合场中的运动

刷题型

1. D 【解析】细绳与竖直方向成 θ 角时小球恰好平衡, 根据平衡条件可得 $Eq = mg \tan \theta$, 解得小球带电荷量为 $q = \frac{mg \tan \theta}{E}$, 故 **A 错误**; 剪断细绳后, 小球所受的合外力大小等于细绳未被剪断时的拉力大小, 方向与细绳未被剪断时的拉力方向相反, 故剪断细绳后小球做初速度为零的匀变速直线运动, 加

速度大小为 $a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = \frac{\frac{mg}{\cos \theta}}{m} = \frac{g}{\cos \theta}$, 故 **B**、**C 错误**; 根据初速度为零的匀变速直线运动规律有 $\frac{b}{\sin \theta} = \frac{1}{2}at^2$, 解得 $t = \sqrt{\frac{2b}{g \tan \theta}}$, 故 **D 正确**.

2. C 【解析】由题意可知, 整个图像在 B 点的切线斜率绝对值最大, $v-t$ 图像的切线斜率表示加速度, 可知小物块在 B 点时的加速度最大, 故 **A 错误**; 由题图乙可知小物块运动到 C 点过程中, 先做加速度减小的减速运动后做加速运动, 若物块带负电, 对其受力分析可知, 由 O 到 A 其加速度逐渐增大, 与题图乙不符, 故物块带正电, **B 错误**; 由题图乙可知, 物块在 A 、 C 两点的加速度为 0, 小物块所受合力为 0, 有 $qE - F_t = 0$, 又 $F_t = \mu mg$, 联立解得 A 、 C 两点的电场强度大小均为 $E = \frac{mg}{2q}$, 故 **C 正确**; $0 \sim t_1$ 时间内, 小物块由 O 运动到 A , 电场力一直做正功, 小物块的电势能一直减小, 故 **D 错误**.

3. B 【解析】 $v-t$ 图像与横轴围成的面积表示位移, 可知 A 、 B 两点间的距离为 $x = \frac{1}{2} \times 10 \times 10 \text{ m} = 50 \text{ m}$, 故 **A 错误**; 对物块受力分析, 根据牛顿第二定律, 沿斜面方向上有 $Eq \cos \alpha - mg \sin \theta - \mu(mg \cos \theta - Eq \sin \alpha) = ma$, $v-t$ 图像斜率的绝对值表示加速度大小, 可知 $a = 1 \text{ m/s}^2$, 解得 $q = 0.01 \text{ C}$, 故 **B 正确**; 在 $t = 10 \text{ s}$ 时, 物块速度为 10 m/s , 故电场力的功率为 $P = Eq \cos \alpha \cdot v = 80 \text{ W}$, 故 **C 错误**; 物块机械能变化量等于除重力

易错点: 力与速度的夹角不要忽略

外其他力做的功, 即电场力做功与摩擦力做功之和, 电场力

做功 $W_{\text{电}} = Eq \cos \alpha \cdot x = 400 \text{ J}$, 摩擦力做功 $W_f = -fx = -\mu(mg \cos \theta - Eq \sin \alpha)x = -50 \text{ J}$, 所以 $\Delta E = 400 \text{ J} - 50 \text{ J} = 350 \text{ J}$, 故 D 错误。

关键点拨 解答本题的关键是利用 $v-t$ 图像确定加速度, 并对物块所受的力进行正交分解, 结合牛顿第二定律列方程, 代入数据可计算出电荷量。解题时需注意电场力在斜面方向和垂直斜面方向的分力对物块受力的影响。

4. C 【解析】小球做类抛体运动, 经过 x 轴上 Q 点时速度大小为 v , 速度方向竖直向下, 则速度方向偏转了 120° , 速度方

向偏转 60° 时, 小球的速度最小, 此时小球的速度与 PQ 平行, 所以 PQ 与竖直方向成 60° 角, 初速度方向与 PQ 成 60° 角, 当速度方向与 PQ 平行时, 小球的速度最小, 最小值为

$v_{\min} = v \cos 60^\circ = \frac{1}{2}v < \frac{\sqrt{3}}{2}v$, 所以小球的速度可以小于 $\frac{\sqrt{3}}{2}v$, B 错误; PQ 与竖直方向成 60° 角, 电场力与重力的合力的方向与 PQ 垂直指向左下方, 与竖直方向成 30° 角, 电场力的方向不确定, 若电场力的方向沿着 QP 方向, 小球从 P 到 Q 的过程中, 电场力始终做负功, 小球的机械能一直减少, A 错误; 当小

球所受的电场力沿着 QP 方向时, 电场力最小, 最小值为

$F_{\min} = mg \sin 30^\circ = \frac{1}{2}mg$, 所以小球所受电场力不小于 $\frac{mg}{2}$, C 正确; PQ 与竖直方向成 60° 角, 与水平方向成 30° 角, 竖直位移与水平位移大小的比值为 $\frac{y}{x} = \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3}$, D 错误。

5. (1) $\frac{2\sqrt{3}}{3} \times 10^5 \text{ V/m}$, 方向水平向左 (2) 3.6 m (3) 1 s

$\frac{11\sqrt{3}}{3} \text{ m}$

【解析】(1) 小球甲做直线运动, 则小球甲所受的合外力与速度共线, 对小球甲受力分析, 可知电场力方向水平向左, 由于小球甲带正电, 故匀强电场的电场强度方向水平向左, 由平衡条件可得 $mg \tan 30^\circ = qE$, 代入数据解得匀强电场的电场强度大小为 $E = \frac{2\sqrt{3}}{3} \times 10^5 \text{ V/m}$ 。

(2) 对小球甲从抛出到最高点, 由动能定理得

$$-qEx - mgh_1 = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2,$$

由几何关系可知 $\tan 30^\circ = \frac{x}{h_1}$,

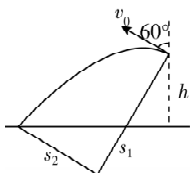
联立解得 $h_1 = 0.6 \text{ m}$, 则小球甲运动过程中的最高点距地面高度 $h_{\text{甲}} = h + h_1 = 3.6 \text{ m}$ 。

(3) 小球乙受力与小球甲相同, 初速度与合外力垂直, 则小球乙做类平抛运动,

沿合外力方向有 $s_1 = \frac{1}{2}at^2$,

由牛顿第二定律得 $\frac{mg}{\cos 30^\circ} = ma$,

沿初速度方向上有 $s_2 = v_0 t$,



由几何关系可知 $s_1 = \frac{h}{\cos 30^\circ} + s_2 \tan 30^\circ$,

落地时的水平位移大小 $x = \frac{s_2}{\cos 30^\circ} + h \tan 30^\circ$,

联立解得 $t = 1 \text{ s}$, $x = \frac{11\sqrt{3}}{3} \text{ m}$ 。

6. C

思路导引 根据小球在平衡位置所受合力为零, 可以求出小球所受的电场力, 从而得出小球的带电荷量; 电势能最大处就是克服电场力做功最多处; 抓住小球的电势能与机械能之和不变, 电势能最小时小球的机械能最大; 根据小球恰好在竖直面内做圆周运动这一临界条件知, 在等效最高点重力和电场力的合力恰好提供小球做圆周运动的向心力, 此时小球速度最小, 从而求出小球速度的最小值。

【解析】小球静止时细线与竖直方向成 37° 角, 对小球受力分析, 受到重力、电场力和拉力, 如图所示, 根据平衡条件, 有 $qE = mg \tan 37^\circ$, 解得 $q = \frac{mg \tan 37^\circ}{E} =$

$3 \times 10^{-5} \text{ C}$, 故 A 正确; 根据功能关系可

知, 电势能最大处即为小球克服电场力做功最多处, 由题意可知, 小球克服电场力做功最大值为 $W_{\text{克电}} = EqL(1 + \sin 37^\circ)$, 代入数据解得 $W_{\text{克电}} = 0.48 \text{ J}$, 即电势能最大值为 0.48 J , 故 B 正确; 由题意知小球恰能绕 O 点在竖直平面内做完整的圆周运动, 则小球的最小速度即为重力与电场力的合力恰好提供向心力时的速度, 则有 $\sqrt{(Eq)^2 + (mg)^2} = m \frac{v^2}{L}$, 解得最小

速度 $v = \frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}$, 故 C 错误; 根据能量守恒定律可知, 小球运动过程中电势能和机械能之和保持不变, 所以机械能最大的位置是电势能最小的位置, 即圆形轨迹的最右端, 故 D 正确。本题选说法错误的, 故选 C。

7. D 【解析】设加速电场电压为 U 时, 粒子垂直 PB 飞入偏转电场后做匀速圆周运动, 有 $qU = \frac{1}{2}mv^2$, $qE = m \frac{v^2}{r}$, 联立两式

得 $U = \frac{Er}{2} = \frac{k \frac{1}{r^2} \cdot r}{2} = \frac{k}{2r}$, A 错误; 带电粒子在加速电场中加速, 有 $qU_1 = \frac{1}{2}mv_1^2$, 粒子在偏转电场中做匀速圆周运动, 由静

电力提供向心力, 可得 $E_2 q = m \frac{v_1^2}{2r_0}$, 又 $E_0 = k \frac{1}{r_0^2}$, $E_2 = k \frac{1}{4r_0^2} = \frac{1}{4}E_0$, 联立解得 $U_1 = \frac{1}{4}E_0 r_0$, B 错误; 若粒子从 B 点垂直于 OP 方向射入, 且恰能从外半圆形边界的 D 点垂直于 OD 方向射出, 其轨迹如题图中轨迹 2 所示, 粒子在轨迹 2 的位置

离 O 的距离为 r 时, 粒子受到的静电力为 $F_{\text{电}} = qE = \frac{qE_0 r_0^2}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$, 对比万有引力表达式 $F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2} \propto \frac{1}{r^2}$, 可知粒子在偏转电场中运动的受力特点与行星绕太阳转动的受力特点相似, 故粒子

在偏转电场中的轨迹为椭圆, C 错误; 若粒子在偏转电场中做圆周运动的半径为 r , 由静电力提供向心力可得 $Eq = m \frac{v^2}{r}$, 又 $E =$

$$\frac{E_0 r_0^2}{r^2}, T = \frac{2\pi r}{v}, \text{联立解得 } T = \sqrt{\frac{4\pi^2 m r^3}{q E_0 r_0^2}}, \text{D 正确.}$$

关键点拨 C 选项, 带电粒子的运动可以类比为行星绕太阳的运动.

8. (1) 12.5 m/s^2 (2) 1.2 m 67.5 N , 方向与竖直方向成 37° 角斜向下 (3) 75 N , 方向与竖直方向成 37° 角斜向左下

【解析】(1) 小球所受静电力水平向右, 对小球受力分析, 垂直轨道方向, 有 $mg \cos \theta = qE \sin \theta$, 可知小球始终沿轨道运动, 根据牛顿第二定律有

$$mg \sin \theta + qE \cos \theta = ma, \text{解得 } a = 12.5 \text{ m/s}^2.$$

(2) 若小球恰好能到达 C 点, 在 C 点, 由牛顿第二定律有

$$mg = m \frac{v_C^2}{R},$$

从释放到到达 C 点, 由动能定理得

$$mg(\sin \theta - R - R \cos \theta) + qE(\cos \theta + R \sin \theta) = \frac{1}{2} m v_C^2,$$

联立解得 $s = 1.2 \text{ m}$,

设小球在 B 点右侧某位置达到最大速度, 该位置和圆心连线与竖直方向成 α 角, 则该位置小球对轨道的压力最大, 由受

关键点: 该点即为等效最低点

力分析得 $\tan \alpha = \frac{qE}{mg}$, 解得 $\alpha = 37^\circ$,

由释放点到该位置的过程, 由动能定理, 有

$$mg(\sin \theta - R \cos \theta + R \cos \alpha) + qE(\cos \theta + R \sin \theta + R \sin \alpha) = \frac{1}{2} m v^2,$$

解得 $v = \sqrt{55} \text{ m/s}$,

对在该位置的小球, 由牛顿第二定律得 $F_N - mg \cos \alpha -$

$$qE \sin \alpha = m \frac{v^2}{R}, \text{解得 } F_N = 67.5 \text{ N},$$

由牛顿第三定律得小球对轨道的最大压力大小为 67.5 N , 方向与竖直方向成 37° 角斜向下.

(3) 设小球在 B 点左侧 D 处达到最大速度, D 与圆心 O 的连线与竖直方向的夹角为 β , 静电力大小不变, 方向反向, 根据对称性可知 $\beta = 37^\circ$,

若小球恰能沿圆弧轨道到达 C 点, 则应恰能通过 E 点(等效最高点), 当小球恰好通过 E 点时, 由牛顿第二定律得

$$\sqrt{(qE)^2 + (mg)^2} = m \frac{v_E^2}{R},$$

$$\text{解得 } v_E = \frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ m/s},$$

小球由 D 到 E 过程, 由动能定理得

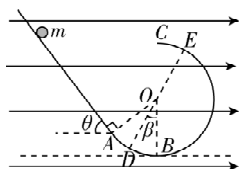
$$-F \cdot 2R = \frac{1}{2} m v_E^2 - \frac{1}{2} m v_D^2,$$

$$\text{其中 } F = \sqrt{(qE)^2 + (mg)^2}, \text{解得 } v_D = \frac{5\sqrt{10}}{2} \text{ m/s},$$

$$\text{小球经过 D 点时, 由牛顿第二定律得 } F_{N1} - F = m \frac{v_D^2}{R},$$

解得 $F_{N1} = 75 \text{ N}$,

由牛顿第三定律得小球运动过程中对轨道的最大压力大小为 75 N , 方向与竖直方向成 37° 角斜向左下.



专题 4 带电粒子在交变电场中的运动

刷难关

1. B **【解析】**粒子在水平方向做匀速直线运动且粒子能飞出电容器, 粒子穿过电容器的时间为 $t_1 = \frac{L}{v} = 2T$, 可知粒子在

$$t_2 = \frac{9}{4}T \text{ 时飞出电容器. } t = \frac{T}{4} \text{ 时, 一带正电的粒子以 } v = \frac{L}{2T} \text{ 的}$$

速度沿虚线方向射入电容器, $\frac{T}{4} \sim \frac{T}{2}$ 内, M 板带负电, 粒子所受

电场力向上, 竖直方向做匀加速直线运动, 轨迹曲线向上弯曲; $\frac{T}{2} \sim T$ 内, 粒子所受电场力向下, 轨迹曲线向下弯曲, 在

竖直方向上先减速到零, 后加速向下, 轨迹先向上后向下;

$T \sim \frac{3T}{2}$ 内, 粒子所受电场力向上, 轨迹曲线向上弯曲, 粒子在

竖直方向先向下减速到零, 后加速向上, 轨迹先向下后向上,

$\frac{3T}{2} \sim 2T$ 粒子的运动情况与 $\frac{T}{2} \sim T$ 粒子运动情况相同, B 选项

轨迹符合题意. 故选 B.

2. D **【解析】**由题图乙可知, 运动过程中带电粒子速度方向未发生改变, 带电粒子在两板间做单向直线运动, A 错误; 速度—时间图像与横轴围成的图形的面积表示位移, 由题图乙

可知两板间距离为 $d = 4 \times \frac{v_m T}{2} = 2v_m T$, B 错误; 设板间电压为

易错点: 注意粒子运动时间为 $4T$

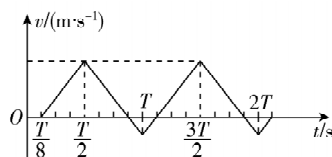
U , 则带电粒子加速度大小为 $a = \frac{qU}{md} = \frac{qU}{2mv_m T}$, 又 $v_m = a \cdot \frac{T}{2} =$

$\frac{qU}{4mv_m}$, 解得 $U = \frac{4mv_m^2}{q}$, C 错误; $t = \frac{T}{8}$ 开始进入电场的带电粒

子, 速度—时间图像如图所示, 由图像可知, 一个周期内带电粒子正向位移大于负向位移, 运动方向时而向右, 时而向左,

关键点: 抓住 $v-t$ 图像与 t 轴围成的面积表示位移, t 轴上方的面积表示正向位移

但最终打在右侧极板上, D 正确.



3. B **【解析】**由题意可知粒子带负电, 由受力分析可知, 竖直方

突破点: $0 \sim T$ 时间内 A 板先带正电后带负电, $t = T$ 时刻带电粒子刚好沿 A 板右边缘射出电场, 则粒子在竖直方向上, 向上先加速后减速, 可知粒子带负电

向上, $t = 0$ 时刻进入电场的粒子, 在 $0 \sim \frac{T}{2}$ 内向上做匀加速运

动, 在 $\frac{T}{2} \sim T$ 内向上做匀减速运动, 根据对称性可知, 在 $t = T$

时刻, 竖直方向的速度刚好减为 0, 则粒子离开电场时速度大

小为 v_0 , 故 A 错误. $t = \frac{T}{2}$ 时刻进入电场的粒子, 竖直方向上,

在 $\frac{T}{2} \sim T$ 内向下做匀加速运动, 在 $T \sim \frac{3T}{2}$ 内向下做匀减速运

动, 根据对称性可知, 在 $t = \frac{3T}{2}$ 时刻, 竖直方向的速度刚好减

为0,则粒子离开电场时速度大小为 v_0 ,故**B正确**. $t=\frac{T}{4}$ 时刻进入电场的粒子,竖直方向上,在 $\frac{T}{4}\sim\frac{T}{2}$ 内向上做匀加速运动,在 $\frac{T}{2}\sim\frac{3T}{4}$ 内向上做匀减速运动,在 $\frac{3T}{4}\sim T$ 内向下做匀加速运动,在 $T\sim\frac{5T}{4}$ 内向下做匀减速运动,然后离开电场,根据对称性可知,粒子在 $t=\frac{T}{2}$ 和 $t=T$ 时刻的速度最大,在 $t=\frac{3T}{4}$ 时刻与A板的距离最小;设粒子在电场中的加速度大小为 a ,对于 $t=0$ 时刻进入电场的粒子,在 $t=T$ 时刻刚好沿A板右边缘射出电场,则有 $d=v_0T$, $\frac{1}{2}d=2\times\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{2}\right)^2$,可得 $a=\frac{2d}{T^2}=\frac{2v_0}{T}$,对于 $t=\frac{T}{4}$ 时刻进入电场的粒子,在 $t=\frac{T}{2}$ 时刻竖直方向的分速度大小为 $v_y=a\frac{T}{4}=\frac{v_0}{2}$,则 $t=\frac{T}{4}$ 时刻进入电场的粒子在两板间运动过程中的最大速度为 $v_m=\sqrt{v_0^2+\left(\frac{1}{2}v_0\right)^2}=\frac{\sqrt{5}}{2}v_0$,在 $\frac{T}{4}\sim\frac{3T}{4}$ 内粒子向上运动的位移大小为 $y=2\times\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{4}\right)^2=\frac{d}{8}$,则 $t=\frac{T}{4}$ 时刻进入电场的粒子在两板间运动过程中离A板的最小距离为 $\Delta x_{\min}=\frac{1}{2}d-\frac{1}{8}d=\frac{3}{8}d$,故**C、D错误**.

4. C 【解析】粒子进入电场后,水平方向做匀速运动,则 $t=0$ 时刻进入电场的粒子在电场中运动时间 $t=\frac{2d}{v_0}$,此时间正好是交变电场的一个周期,粒子在竖直方向先做匀加速运动后做匀减速运动,经过一个周期,粒子的竖直速度为零,故粒子离开电场时的速度大小等于初速度大小 v_0 ,**A正确**;在竖直方向,粒子在 $\frac{T}{2}$ 时间内的位移大小为 $\frac{d}{2}$,则有 $\frac{d}{2}=\frac{1}{2}a\left(\frac{T}{2}\right)^2=\frac{U_0q}{2dm}\left(\frac{d}{v_0}\right)^2$,解得 $q=\frac{mv_0^2}{U_0}$,**B正确**;分析可知,在 $t=\frac{1}{8}T$ 时刻进入电场的粒子,离开电场时速度大小依然为 v_0 ,动能不变,则电势能不变,**C错误**;在 $t=\frac{1}{4}T$ 时刻进入电场的粒子,在竖直方向先向下匀加速运动 $\frac{T}{4}$,然后向下匀减速运动 $\frac{T}{4}$,再向上匀加速运动 $\frac{T}{4}$,再向上匀减速运动 $\frac{T}{4}$,由对称性可知,粒子离开电场时竖直方向的位移为零,故粒子从P板右边缘离开电场,**D正确**.由于此题选不正确的,故选C.

易错点: $\frac{T}{2}\sim T$ 时间内加速度方向向上,竖直方向的初速度方向向下

5. D 【解析】设粒子恰好从极板边缘射出时的电压为 U_0 ,水平方向有 $l=v_0t$,竖直方向有 $\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$, $a=\frac{qU_0}{md}$,解得 $U_0=\frac{md^2v_0^2}{ql^2}=128\text{ V}$,当 $U>128\text{ V}$ 时粒子打到极板上,当 $U\leq 128\text{ V}$

时粒子打到屏上,可知粒子通过电场时偏移的距离最大为

$\frac{d}{2}$,则 $y=\frac{d}{2}+\frac{qU_0}{md}\cdot\frac{l}{v_0}\cdot\frac{l}{v_0}$,解得 $y=d=4\text{ cm}$,又由对称性知,粒子打在屏上的总长度为 $2y$,由于 $s=b$,则粒子打在屏上的区域面积为 $S=2yb=64\text{ cm}^2$,故**A、B错误**;粒子打在屏上的比例为 $\frac{128}{200}\times 100\%=64\%$,所以在 $0\sim 0.02\text{ s}$ 内,进入电容器内的粒子有64%能够打在屏上,故**C错误**;在前 $0\sim 0.005\text{ s}$ 内,设 $0\sim t_0$ 内出射的粒子能打到屏上,则 $t_0=\frac{128}{200}\times 0.005\text{ s}=0.0032\text{ s}$,又由对称性知,在一个周期($0\sim 0.02\text{ s}$)内,打到屏上的总时间 $t=4t_0=0.0128\text{ s}$,即屏上出现亮线的时间为 0.0128 s ,故**D正确**.

6. (1) $5\times 10^5\text{ m/s}$ **(2)** 200 V **(3)** $\frac{3-2\sqrt{2}}{10}\text{ m}$

【解析】(1)由牛顿第二定律得 $F=ma$,由公式 $E=\frac{U_0}{d}$, $F=Eq$,

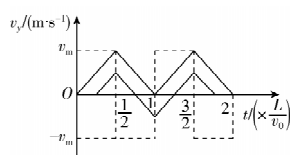
可得粒子竖直方向加速度大小为 $a=\frac{qU_0}{md}$,解得 $a=5\times 10^{10}\text{ m/s}^2$,沿水平方向有 $L=v_0t$,竖直方向有 $\frac{d}{2}=\frac{1}{2}at^2$,解得 $v_0=5\times 10^5\text{ m/s}$.

(2)由于穿过电场的粒子运动时间相同,显然 $t=0$ 时刻射入电场的粒子可以获得最大的速度并在竖直方向上偏离中轴线距离最远,竖直方向速度变化如图甲所示,当粒子偏移距离最大时,竖直位移大小恰好为 $\frac{d}{2}$,则 $\frac{d}{2}=\frac{1}{2}v_m\cdot\frac{L}{v_0}$,竖直方向最大速度 $v_m=\frac{qU}{md}\cdot\frac{L}{2v_0}$,解得 $U=200\text{ V}$.

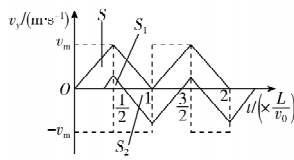
(3)由题意可知,对于某一粒子,在运动过程中可能偏离中轴线正方向有最远距离,也可能偏离中轴线负方向有最远距离.选取 $0\sim\frac{L}{2v_0}$ 时间内进入电场的粒子时,若太早进入电场,偏离中轴线正方向距离更大,太晚进入,会出现开始时偏离中轴线正方向,但后续经历先减速后反向加速过程,偏离中轴线负方向距离将大于偏离中轴线正方向距离.如图乙所示,设 t_0 时刻进入电场的粒子恰好满足过程中偏离中轴线正方向最大距离与负方向最大距离相同,此时粒子偏离中轴线的最远距离最小,即满足 $S_1=S_2-S_1$,解得 $2S_1=S_2$,由数学知识可知,竖直方向上粒子正方向运动时间 $\Delta t_1=\frac{1}{\sqrt{2}+1}\cdot\frac{L}{v_0}$,最大偏移距离 $S_1=$

关键点: 粒子沿正方向运动时间与粒子沿负方向运动时间之比为 $1:\sqrt{2}$,则 $\Delta t_1=\frac{1}{\sqrt{2}+1}T$

$\left(\frac{1}{\sqrt{2}+1}\right)^2\frac{d}{2}$,解得 $S_1=\frac{3-2\sqrt{2}}{10}\text{ m}$.



甲



乙

第十章素养检测

刷速度

1. A 【解析】电势降低的方向不一定是电场的方向,电势降低最快的方向一定是电场的方向,A 错误;无论是正电荷还是负电荷,静电力做负功时,电势能一定增加,B 正确;根据 $W_{AB} = E_{pA} - E_{pB} = q(\varphi_A - \varphi_B)$ 知,电荷移动时,静电力做功与初末位置的电势有关,而与电荷移动的路径无关,C 正确;负电荷在电势低处电势能大,正电荷在电势高处电势能大,由于不知电荷的电性,则将电荷由电势低的地方移到电势高的地方,电势能可能增加,也可能减少,D 正确。A 符合题意。

2. B 【解析】 $\varphi-x$ 图像的切线斜率表示电场强度,由题图可知,从 $-x_0$ 到 x_0 ,电场强度先减小后增大,方向沿 x 轴负方向,电子带负电,受到沿 x 轴正方向先减小后增大的电场力,电子的加速度也先减小后增大,速度一直增大,所以 $v-t$ 图像的切线斜率先减小后增大,故 A 错误,B 正确;由于电子带负电,根据电势能 $E_p = q\varphi$,可知 E_p-x 变化规律与 $\varphi-x$ 变化规律相反,故 C、D 错误。

3. C 【解析】电容器与电源相连,电容器的电压等于电源电压,不变,A 错误。根据 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知向下按键的过程中,两金属片间的距离减小,电容器的电容增大,根据 $Q = CU$ 可知,电压不变,电容增大,电容器的电荷量增多,电容器充电,电流方向从 b 流向 a ,C 正确,B、D 错误。

4. B 【解析】粒子由 a 运动到 d 的轨迹为曲线,所受的电场力指向运动轨迹凹侧,粒子在 a 点所受的电场力向右,粒子一定带负电,故 A 错误;由题图和等量异种点电荷的电势分布可知, a 点的电势低于 d 点的电势,粒子带负电,则粒子在 a 点的电势能大于在 d 点的电势能,由能量守恒定律可知,粒子在 a 点的动能小于在 d 点的动能,故 B 正确,C 错误;由题图可知 ab 段的平均电场强度小于 bc 段的平均电场强度,又 $ab = bc$,由公式 $U = Ed$ 可知 a 、 b 两点电势差的绝对值小于 b 、 c 两点电势差的绝对值,故 D 错误。

5. D 【解析】正一价钠离子在膜内做匀减速直线运动,刚好到达 B 点,即到达 B 点时速度为零,由 $0 - v_0^2 = -2ad$ 解得加速度大小 $a = \frac{v_0^2}{2d}$,故 A 错误;由牛顿第二定律可知 $Ee = ma$,解得 $E = \frac{mv_0^2}{2ed}$,故 B 错误;由动能定理可得 $(\varphi_A - \varphi_B)e = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$,解得 B 点电势为 $\varphi_B = \varphi_A + \frac{mv_0^2}{2e}$,故 C 错误;钠离子在 B 点的电势能为 $E_B = \varphi_B e = \varphi_A e + \frac{mv_0^2}{2}$,故 D 正确。

6. B 【解析】A、B 两点间的电势差 $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = 4 \text{ V}$,B、C 两点间的电势差 $U_{BC} = \frac{W_{BC}}{q} = -2 \text{ V}$ 。因为 $\varphi_A = 0$,且 $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$, $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$,解得 $\varphi_B = -4 \text{ V}$, $\varphi_C = -2 \text{ V}$,故 A 错误,B 正确;由于匀强电场中沿任意直线电势均匀变化,所以 A、B 连线中点 D 的

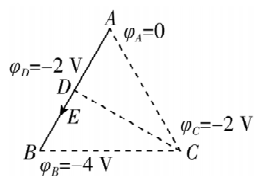
电势为 $\varphi_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} = -2 \text{ V}$,则 DC 连线为等势线,电场线与等

势线垂直且指向电势低的等势线,

因此过 D 点的电场线方向如图所示,可知电场强度方向与 AB 边平

行,故 C 错误;电场强度大小为 $E =$

$\frac{U_{AB}}{d} = 400 \text{ V/m}$,故 D 错误。



7. C 【解析】从电子的运动轨迹可以看出电子与 O 处点电荷相互排斥,故 O 处的点电荷一定带负电,A 错误;电子与 O 处点电荷相互排斥,故电子运动过程中静电力先做负功后做正功,动能先减小后增大,电势能先增大后减小,B 错误; O 处点电荷带负电,结合负点电荷的电场线方向可知, a 、 b 、 c 三个等势面的电势高低关系为 $\varphi_c > \varphi_b > \varphi_a$,C 正确;点电荷产生的电场中,距离点电荷越远,电场强度越小,由于两相邻等势面的间距相等,所以 $U_{23} \neq U_{34}$,静电力做功 $W = qU$,电子从位置 2 到位置 3 与从位置 3 到位置 4 过程中静电力所做的功不相等,D 错误。

8. D 【解析】小球从 M 到 N 的运动过程中,根据动能定理有 $qU_{MN} + mgh = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $U_{MN} = 0$,即 MN 为电场的等势线,在水平方向,小球先向左减速后向右加速,所受电场力的方向水平向右,因小球带正电,故电场强度方向水平向右,故 A 错误;在水平方向小球受向右的电场力,先向左减速后向右加速, MN 为电场的等势线,根据运动的对称性可知,小球回到 N 点时水平方向的速度大小为 v_0 ,根据运动的合成与分解,可知小球到 N 点时竖直方向的速度大小为 v_0 ,小球从 M 到 N 的过程,在水平方向有 $2v_0 = at$, $F_{\text{电}} = ma$,在竖直方向有 $v_0 = gt$,联立解得 $F_{\text{电}} = 2mg$,故 B 错误;电场力与重力的合力 F 斜向右下,小球从 M 到 N 的过程中 F 方向与速度方向先成钝角后成锐角,可知合力 F 对小球先做负功后做正功,小球的速度先减小后增大,故 C 错误;水平方向小球受向右的电场力,从 M 到 N 的过程中,电场力先做负功后做正功,小球的机械能先减小后增大,故 D 正确。

9. B 【解析】电子在加速电场中有 $eU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$,解得飞出加速电场时的速度大小为 $v_0 = \frac{2L}{T}$,故 A 正确;电子在极板 A、B 之间运动时,水平方向做匀速直线运动,所以在偏转电场中飞行的时间为 $t_0 = \frac{2L}{v_0} = T$,所以电子会有 $\frac{T}{2}$ 的时间受到 U_0 电压的影响,有 $\frac{T}{2}$ 的时间受到 $-3U_0$ 电压的影响,在垂直极板方向上的加速度大小为 $a = \frac{eE}{m} = \frac{eU_0}{md}$, d 为 A、B 板间的距离,则在 $t = 0$ 时刻进入的电子,前半个周期内垂直极板的加速度大小为 $a_1 = \frac{2L^2}{dT^2}$,方向指向 A 板,在后半个周期内加速度大小为 $a_2 = \frac{6L^2}{dT^2}$,方向指向 B 板,可以判断,在 T 时间内,电子竖直方

向的分速度大小不为零,分位移大小为零,故 B 错误;若所有电子都能离开偏转电场,则电子在不同时刻进入时,竖直方向偏移量的最大值为 $\frac{d}{2}$, 可知在 $\frac{T}{2}$ 时刻进入时,粒子向 B 板运动最远,在 $\frac{T}{2} \sim T$ 时间内, $y_1 = \frac{1}{2} a_2 \left(\frac{T}{2} \right)^2$, $v_{y1} = \frac{a_2 T}{2}$, 在 $T \sim \frac{3}{2}T$ 时间内, $y_2 = v_{y1} \frac{T}{2} - \frac{1}{2} a_1 \left(\frac{T}{2} \right)^2$, $\frac{d}{2} = y_1 + y_2$, 代入数据可得 $d = 2L$, 故 C 正确;电子射入偏转电场的速度加倍后,在 A、B 板间运动时间变为 $\frac{T}{2}$, 设在 $0 \sim \frac{T}{2}$ 时间内在 t_1 时刻进入 A、B 板间的电子刚好在中线出射, 则有 $y = \frac{1}{2} a_1 \left(\frac{T}{2} - t_1 \right)^2 + a_1 \left(\frac{T}{2} - t_1 \right) t_1 - \frac{1}{2} a_2 t_1^2 = 0$, 解得 $t_1 = \frac{1}{4}T$, 设在 $\frac{T}{2} \sim T$ 时间内在 t_2 时刻进入 A、B 板间的电子刚好从中线射出, 则有 $y' = \frac{1}{2} a_2 (T - t_2)^2 + a_2 (T - t_2) \left(t_2 - \frac{T}{2} \right) - \frac{1}{2} a_1 \left(t_2 - \frac{T}{2} \right)^2 = 0$, 解得 $t_2 = \frac{\sqrt{3}+2}{4}T$, 所以, 在 $0 \sim T$ 时间内从中线下方离开偏转电场的电子射入 A、B 板的时间段为 $t_1 \sim t_2$ 之间, 所以电子数占总数的 $\frac{t_2 - t_1}{T} = \frac{1+\sqrt{3}}{4}$, 故 D 正确。本题选不正确的, 故选 B。

10. (1) 从下到上 (2) 980 (3) C

【解析】(1) 充电完毕, 将开关 S 拨至位置 2, 电容器放电, 电容器上极板带正电, 则流经电阻箱 R 的电流方向为从下到上。

(2) $i-t$ 图像与横轴围成的面积表示电荷量, 电荷量为 $Q = 147 \times 20 \times 10^{-6} \times 1 \text{ C} = 2.94 \times 10^{-3} \text{ C}$, 则电容器电容的测量值为

易错点: 纵轴每刻度表示 $20 \mu\text{A}$, 每小格的面积表示 $2 \times 10^{-5} \text{ C}$

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2.94 \times 10^{-3}}{3} \text{ F} = 9.80 \times 10^{-4} \text{ F} = 980 \mu\text{F}.$$

(3) 由 $q = It$ 知 $q-t$ 图像的斜率的绝对值表示电流大小, 两次实验中电阻箱接入电路的阻值 $R_a < R_b$, 可知曲线 a 的放电电流比曲线 b 的大, 曲线 a 的 $q-t$ 图像的斜率的绝对值大, 电容器带电荷量相同, 所以曲线 a 放电时间短, 故 C 符合要求。

突破点: 电荷量相同, 纵截距相同

11. (1) $\frac{Q}{2Cd}$ (2) $d = L$ (3) 距下极板 $\frac{3}{4}d$ 处 $\frac{1}{2}$

【解析】(1) 电容器极板间电势差 $U = \frac{Q}{C}$,

$$\text{场强 } E = \frac{U}{2d},$$

$$\text{联立解得 } E = \frac{Q}{2Cd}$$

(2) 设粒子射入电场时的速度大小为 v , 水平方向做匀速运动, 有 $2L = v \cos 45^\circ \cdot t$,

竖直方向做匀减速运动, 有 $d = \frac{1}{2} v \sin 45^\circ \cdot t$,

联立解得 $d = L$ 。

(3) 粒子到达轨迹的最高点后在水平方向仍做匀速运动, 水

$$\text{平速度 } v_x = v \cos 45^\circ, L = v_x t_1, t_1 = \frac{L}{v_x},$$

竖直方向粒子到达轨迹最高点过程做末速度为零的匀减速直线运动, 有 $d = \frac{1}{2} a t^2$, 到达轨迹最高点后, 做初速度为零

的匀加速直线运动, 有 $y = \frac{1}{2} a t_1^2 = \frac{d}{4}$,

则粒子穿出电容器时距下极板的距离为 $d - \frac{d}{4} = \frac{3}{4}d$,

粒子射入电场时竖直方向分速度大小 $v \sin 45^\circ = at$, 射出电场时竖直方向分速度大小 $v_y = at_1 = \frac{1}{2} v \sin 45^\circ$,

根据 $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x}$, 得 $\tan \theta = \frac{1}{2}$ 。

12. (1) $2\sqrt{\frac{qEd}{m}}$ (2) (0, 10d) (3) (0, 38d)

【解析】(1) 设离子第一次通过 x 轴时的速度大小为 v_1 , 在第三象限的电场中, 由动能定理得 $2qEd = \frac{1}{2} m v_1^2$, 解得 $v_1 = 2\sqrt{\frac{qEd}{m}}$ 。

(2) 离子在第二象限做类平抛运动, 竖直方向有 $y_1 = v_1 t_1$, 水平方向有 $d = \frac{1}{2} \times \frac{2qE}{m} t_1^2$, 联立解得 $y_1 = 2d$, $t_1 = \sqrt{\frac{md}{qE}}$, 故离子第一次通过 y 轴时的位置坐标为 $(0, 2d)$ 。因第一象限电场强度为第二象限的一半, 因此离子在第一象限的加速度大小为在第二象限的一半, 且方向相反, 因此离子在第一象限内水平方向需要用 $2t_1$ 时间先匀减速到 0, 再需要 $2t_1$ 时间反向匀加速回到 y 轴, 离子在第一象限内运动的时间 $t = 2t_1 + 2t_1 = 4t_1$, 竖直方向的速度不受影响, 一直是 v_1 , 有 $y_2 = v_1 \cdot 4t_1 = 8d$,

易错点: 在第一象限离子运动轨迹为曲线, 水平方向先匀减速后反向匀加速, 竖直方向始终匀速
最后有 $y = y_1 + y_2 = 10d$, 则离子第二次通过 y 轴时的位置坐标为 $(0, 10d)$ 。

(3) 由第(2)问可知, 离子第一次经过 y 轴时的位置坐标为 $(0, 2d)$, $t_1 = \sqrt{\frac{md}{qE}} = \frac{1}{12}T$, 此时离子进入第一象限, 在水平

方向上, 离子在 $0 \sim \frac{T}{6}$ 的时间内减速为 0, $\frac{T}{6} \sim \frac{T}{3}$ 的时间内水平速度为 0, 在 $\frac{T}{3} \sim \frac{T}{2}$ 的时间内在水平方向上向左匀加

速, 再次回到 y 轴, 总时间为 $6t_1$, 有 $y'_2 = v_1 \cdot 6t_1 = 2\sqrt{\frac{qEd}{m}} \times$

$6\sqrt{\frac{md}{qE}} = 12d$, 此时离子离开第一象限进入第二象限, 该时刻为 $\frac{1}{2}T$ 。进入第二象限后, 离子在水平方向上经过 $\frac{1}{12}T$ 的

时间先匀减速至水平速度为 0, 再次反向匀加速 $\frac{1}{12}T$ 时间回到

y 轴。因此有 $y_3 = v_1 \cdot 2t_1 = 2\sqrt{\frac{qEd}{m}} \times 2\sqrt{\frac{md}{qE}} = 4d$, 此时离子第三次经过 y 轴, 该时刻为 $\frac{2}{3}T$ 。在 $\frac{2}{3}T \sim \frac{5}{6}T$ 时间内, 由于此时间内第一象限内不存在电场, 离子在水平方向上匀速向右运

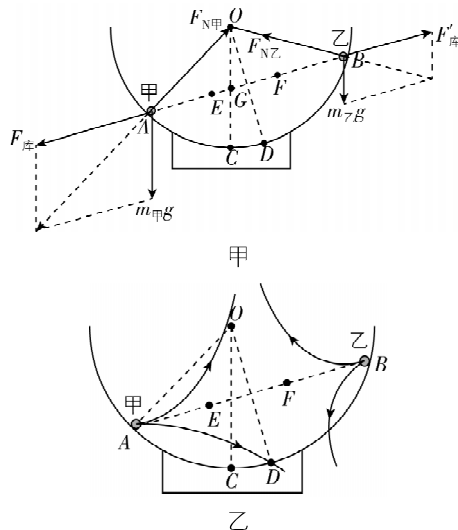
动. 在 $\frac{5T}{6} \sim T$ 时间内出现电场, 离子匀减速至水平速度为 0. 在 $T \sim \frac{7T}{6}$ 的时间内, 第一象限不存在电场, 同时离子在水平方向的速度也为 0, 在水平方向不运动. 在 $\frac{7T}{6} \sim \frac{4}{3}T$ 的时间内, 离子受到向左的电场力, 向左匀加速, 和匀减速的水平位移大小相等. 在 $\frac{4}{3}T \sim \frac{3T}{2}$ 的时间内, 第一象限不存在电场, 离子再次在水平方向上做匀速运动, 与 $\frac{2T}{3} \sim \frac{5T}{6}$ 时间内的水平位移大小相等, 再次回到 y 轴. 此时离子第四次回到 y 轴, 此次所用总时间为 $\frac{3}{2}T - \frac{2}{3}T = \frac{5}{6}T = 10t_1$, 因此有 $y_4 = v_1 \cdot 10t_1 = 20d$, 最后有 $y = y_1 + y_2' + y_3 + y_4 = 38d$, 离子第四次通过 y 轴的位置坐标为 $(0, 38d)$.

第十章高考强化

刷真题

- AC** 【解析】系统与外界没有电荷交换, 系统电荷总量保持不变, **A 正确**; 电场线由电势高的等势面指向电势低的等势面, **B 错误**; 点电荷仅在电场力作用下由静止开始运动, 电场力做正功, 电势能减小, **C 正确**; 正点电荷仅在电场力作用下由静止开始运动, 将从电势高的地方向电势低的地方运动, 负点电荷仅在电场力作用下由静止开始运动, 将从电势低的地方向电势高的地方运动, **D 错误**.
- C** 【解析】在静电场中, 等差等势线的疏密程度反映电场强度的大小. 由题图可知, c 点等差等势线最密集, 故 c 点电场强度最大, **C 正确**.
- D** 【解析】由于电容器的上极板与直流电源的正极相连, 所以电场线方向向下, 沿着电场线方向电势降低, 则有 $\varphi_N > \varphi_P$, 根据题意有 $\varphi_N = \varphi_M$, 则有 $\varphi_M > \varphi_P$, **A 错误**; 根据电场线越密电场强度越大可知 M 点的电场强度比 N 点的大, **B 错误**; 负电荷从 M 点运动到 P 点, 电势能增大, 则电场力做负功, 动能减小, 速度减小, **C 错误, D 正确**.
- B** 【解析】 Q_1 附近的电势为正, 则 $Q_1 > 0$, 设题图中方格边长为 a , 由题图可知, 电势为零的等势线最右侧与 Q_1 之间的距离为 $6a$, 与 Q_2 之间的距离为 $3a$, 则 $\frac{kQ_1}{6a} + \frac{kQ_2}{3a} = 0$, 解得 $\frac{Q_1}{Q_2} = -2$, **B 正确**.
- BD** 【解析】小球甲、乙受力分析如图甲所示, 设 OC 与 EF 的交点为 G , 根据三角形相似得, $\frac{m_{\text{甲}}g}{OG} = \frac{F_{\text{库}}}{AG}$, $\frac{m_{\text{乙}}g}{OG} = \frac{F'_{\text{库}}}{BG}$, $AG < BG$, 由牛顿第三定律知 $F_{\text{库}} = F'_{\text{库}}$, 则 $m_{\text{甲}} > m_{\text{乙}}$, **A 错误**; 设 AB 连线上电场强度为零的点距 A 、 B 两点的距离分别为 $x_{\text{甲}}$ 、 $x_{\text{乙}}$, 由电场叠加知, $k\frac{2q}{x_{\text{甲}}^2} = k\frac{q}{x_{\text{乙}}^2}$, 则 $x_{\text{甲}} : x_{\text{乙}} = \sqrt{2} : 1$, 则电场强度为零的点在 OD 的右侧, 电场线方向如图乙所示, 由沿电场线方向电势降低知, C 点电势高于 D 点电势, **B 正确**; 由电场叠

加得, E 点电场强度大小为 $E_1 = k\frac{2q}{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}R\right)^2} - k\frac{q}{\left(\frac{2\sqrt{3}}{3}R\right)^2} = \frac{21kq}{4R^2}$, 方向由 A 指向 B , F 点电场强度大小为 $E_2 = k\frac{q}{\left(\frac{\sqrt{3}}{3}R\right)^2} - k\frac{2q}{\left(\frac{2\sqrt{3}}{3}R\right)^2} = \frac{3kq}{2R^2}$, 方向由 B 指向 A , **C 错误**; $OD \perp AB$, 则 OD 垂直平分 AB , 沿直线从 O 到 D 电势先升高后降低, **D 正确**.



快解 等量同种电荷连线的中点电场强度为 0, 甲的电荷量大于乙的电荷量, 故连线上场强为零的点离乙较近, 大致画出电场线方向, 由图乙知, B 、 D 正确; E 、 F 两点电场强度方向相反, C 错误.

- D** 【解析】小球的初速度方向沿虚线, 则运动轨迹为直线, 故小球受到的合力方向沿虚线, 由于重力向下, 电场方向水平, 故合力方向只能沿虚线向下, 如图所示, 故初速度垂直于虚线时, 小球做类平抛运动; 从 O 点出发运动到 O 点等高处的过程中, 合力做正功, 动能增大, 电场力与速度方向的夹角始终为锐角, 故电场力做正功, 电势能减小, **D 正确**.
- D** 【解析】真空中点电荷周围某点处的电势 $\varphi = k\frac{Q}{r}$, 设坐标为 x_0 ($x_0 > 0$) 位置处的电势为 0, 则 $k\frac{4q}{1+x_0} + k\frac{-q}{x_0} = 0$, 解得 $x_0 = \frac{1}{3}$, 当 $0 < x < \frac{1}{3}$ 时, 电势 $\varphi < 0$, 当 $x > \frac{1}{3}$ 时, 电势 $\varphi > 0$, **D 正确**.
- D** 【解析】由题图可知在 x 正半轴沿 $+x$ 方向电势降低, 则 P 点电场强度方向沿 x 正方向, 故 **A 错误**; $\varphi-x$ 图像切线斜率表示电场强度, 由题图可知 M 点和 N 点的电场强度大小相等、方向相反, 故 **B 错误**; 电子在电势低处电势能大, 故电子在 P 点的电势能小于在 N 点的电势能, 根据能量守恒定律可知, 电子在 P 点的动能大于在 N 点的动能, 故 **C 错误**; 电子在电势低处电势能大, 故电子在 M 点的电势能大于在 P 点的电势能, 故 **D 正确**.

- 9. AC** 【解析】 M 、 N 在一条电场线上,沿电场线方向电势降低,故 $\varphi_M < \varphi_N$, **A 正确**;电场线疏密程度反映电场强度大小,电场线密的地方电场强度大,故 $E_A < E_P$, **B 错误**;污泥絮体带负电,由 M 点到 N 点电势升高,电场力做正功, **C 正确**; P 点电势等于 M 点电势,则 N 点电势高于 P 点电势,污泥絮体带负电,则污泥絮体在 N 点的电势能比其在 P 点的小, **D 错误**.

- 10. AD** 【解析】根据 $\varphi = \frac{E_p}{q}$ 可得 O 、 A 、 B 三点电势分别为 $\frac{E_p}{q}$ 、 $-\frac{E_p}{q}$ 、 $\frac{E_p}{2q}$,由于匀强电场中沿某方向电势会均匀改变,则 O 、 A 中点 $D\left(\frac{d}{2}, 0\right)$ 的电势 $\varphi_D = \frac{\varphi_O + \varphi_A}{2} = 0$, **A 正确**;同理可知, AB 上靠近 B 点的三等分点 $C\left(d, \frac{d}{2}\right)$ 的电势为 0,故 CD 为等势线,如图所示,场强方向垂直于 CD ,与 x 轴正方向夹角为 45° , **B 错误**;设过 A 点的电场线与 CD 的交点为 M ,则 MA 距离 $l_{MA} = \frac{\sqrt{2}d}{4}$,场强大小 $E = \frac{U_{MA}}{l_{MA}} = \frac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$, **C 错误**, **D 正确**.

一题多解 设电场强度在平行于 x 轴方向的分量为 E_x ,在平行于 y 轴方向的分量为 E_y ,根据匀强电场电势差与场强的关系得 $E_x = \frac{U_{OA}}{l_{OA}} = \frac{2E_p}{qd}$, $E_y = \frac{U_{BA}}{l_{BA}} = \frac{2E_p}{qd}$,故电场强度 $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \frac{2\sqrt{2}E_p}{qd}$,且方向与 x 轴正方向夹角为 45° , **B**、**C** 错误, **D 正确**.

- 11. A** 【解析】两金属板与电源相连,则两板间电势差 U 不变,设两板间距离为 d , a 、 b 两点沿电场方向的距离为 x ,两板移动前将点电荷从 a 移动到 b ,电场力做功 $W = q \cdot \frac{x}{d} U$,当两板间距离增大到原来的 2 倍时,再将该电荷从 a 移动到 b ,电场力做功 $W' = q \cdot \frac{x}{2d} U = \frac{1}{2} W$, **A 正确**.

易错分析 电容器两极板与电源相连,两板间电势差不变,不是电场强度不变. 本题易由于发现是电容器的动态变化,而直接生硬套用电容器电容的两个公式,增大运算量且无法得到正确答案.

- 12. D** 【解析】电容 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd} = \frac{Q}{U}$,解得极板间电势差 $U = \frac{4\pi kdQ}{\varepsilon_r S}$,电容器充电后断开电源,所带电荷量不变,则 Q 不变, F 较小时,随 F 的增大,极板间距 d 减小,且减小得越来越慢,则 U 减小,且减小得越来越慢, F 较大时,极板间距 d 难以减小,则 U 难以减小, **D 正确**.

方法总结 由 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi kd} = \frac{Q}{U}$,结合 $E = \frac{U}{d}$,得 $E = \frac{4\pi kQ}{\varepsilon_r S}$,则平行板电容器所带电荷量不变时,只改变极板间距离,极板间的电场强度不变.

一题多解 Q 不变时,极板间距 d 改变,极板间的电场强度不变,又 $U = Ed$, F 较小时,随 F 的增大,极板间距 d 容易减小,则 U 容易减小, F 较大时,极板间距 d 难以减小,则 U 难以减小, **D 正确**.

13. (1)电压 (2)零 (3)放电 0.32

【解析】(1)由题图甲可知位置②与电容器并联,为测电压仪器.

(2)电压表示数最大时,电容器充电完毕,电流表示数为零.

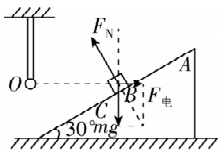
(3)电容器放电时电压和电流都减小,图像逆向分析,该过程为电容器放电过程. 电容器充电完毕后的电压等于电源电动势,大小为 12 V,由题图丙可知 $t = 0.2$ s 时电容器两端电压为 $U = 8$ V,由题图乙可知当 $U = 8$ V 时,电流 $I = 40$ mA,则电阻 R_0 消耗的功率为 $P = 8 \times 4 \times 10^{-2}$ W = 0.32 W.

- 14. B** 【解析】由库仑定律得 $F_b = k \frac{Qq}{R^2}$, $F_c = k \frac{Qq}{R^2 + (2R)^2} = k \frac{Qq}{5R^2}$,则 $F_b > F_c$, **A 错误**;由点电荷周围的电势分布可知,场源电荷带正电,离场源电荷越远电势越低,则 $\varphi_c = \varphi_d > \varphi_e$,由 c 点到 e 点,电势先不变后减小,由 $E_p = q\varphi$ 得,由 c 点到 e 点,小球的电势能先不变后减小, **B 正确**;小球由 d 点到 f 点,库仑力做正功,小球的动能增大,故小球过 f 点的动能大于过 d 点的动能, **C 错误**;小球由 a 点到 b 点,库仑力做负功,小球的动能减小,小球的速度减小,故小球过 b 点的速度小于过 a 点的速度, **D 错误**.

- 15. D** 【解析】由题意知,电子沿 \widehat{ABC} 做圆周运动,由电场力提供向心力,有 $Ee = m \frac{v^2}{r}$,又 $E_k = \frac{mv^2}{2}$,联立解得 $E = \frac{2E_k}{er}$, **A 错误**;另一个电子沿 \widehat{APQ} 运动,可知电子受到电场力的大小发生变化,不符合做圆周运动的条件,即 \widehat{APQ} 不是圆弧的一部分, **B 错误**;轨迹为 \widehat{ABC} 的电子初动能为 E_k ,则轨迹为 \widehat{APQ} 的电子初动能不为 E_k ,故电子到达 P 点的动能不为 $E_k - eU$, **C 错误**;由题意知, $|CQ| = 2|BP|$,且离圆心 O 越远,场强越小,由 $U = Ed$,可得 CQ 之间的电势差小于 $2U$,电子从 A 经 P 到 Q 全程克服电场力做的功小于 $2eU$, **D 正确**.

易错分析 本题中两电子初速度方向相同,但轨迹不同,说明初动能必不相同,不要错误认为另一电子的初动能也为 E_k 而误选 **C**.

- 16. AD** 【解析】小滑块在 B 点时,对小滑块受力分析如图所示,由平衡条件得 $\frac{kq^2}{l^2} = mg \tan 30^\circ$,解得 OB 的距离 $l = \sqrt{\frac{3kq^2}{mg}}$, **A 正确**, **B 错误**;小滑块从 A 运动到 C ,由动能定理得 $mgS \sin 30^\circ + W = 0$,解得静电力对小滑块做功为 $W = -\frac{1}{2} mgS$, **C 错误**; AC 之间的电势差 $U_{AC} = \frac{W}{q} = -\frac{mgS}{2q}$, **D 正确**.



17. (1) $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}$ (2) 0.11 m

思路导引 本题考查带电液滴在电场中的偏转, 先分析第一个过程: 液滴在电场中受到电场力, 沿电场力方向做初速度为零的匀加速直线运动, 垂直于电场力方向做匀速直线运动; 第二个过程, 液滴离开电场后做匀速直线运动, 把速度沿水平和竖直两个方向分解, 利用 $x=vt$ 求解。

【解析】(1) 液滴在电场中做类平抛运动, 由牛顿第二定律得, 液滴在水平方向的加速度大小为

$$a = \frac{F}{m} = \frac{qE}{m} = 100 \text{ m/s}^2,$$

液滴在竖直方向上做匀速直线运动, 通过电场的时间为

$$t_1 = \frac{l}{v} = 1.0 \times 10^{-2} \text{ s},$$

液滴离开电场时在水平方向加速偏转的距离为

$$x_1 = \frac{1}{2}at_1^2 = 5.0 \times 10^{-3} \text{ m}.$$

(2) 液滴离开电场时水平方向上的速度大小

$$v_x = at_1 = 1.0 \text{ m/s},$$

带正、负电荷的液滴离开电场后做匀速直线运动, 分别到达 A、B 收集管, 运动的时间为

$$t_2 = \frac{h}{v} = 0.05 \text{ s},$$

液滴在水平方向上匀速运动的距离为

$$x_2 = v_x t_2 = 5.0 \times 10^{-2} \text{ m},$$

则 A、B 细胞收集器之间的距离为

$$d = 2x_1 + 2x_2 = 0.11 \text{ m}.$$

一题多解 (2) 设带电液滴到达收集管时水平方向偏转

$$\text{距离为 } x, \text{ 由几何关系得 } \frac{x}{x_1} = \frac{h + \frac{l}{2}}{\frac{l}{2}},$$

解得 $x = 0.055 \text{ m}$, 则 A、B 细胞收集管之间的距离为 $d = 2x = 0.11 \text{ m}$ 。

刷原创

1. D **【解析】** 小球在 A、B 两点受到的电场力均为两点电荷电场力的合力, 根据力的合成法则, 电场力的大小均为 $\frac{\sqrt{2}kQq}{2L^2}$, 等量同种点电荷产生的电场关于两点电荷连线对称, 故 A 点

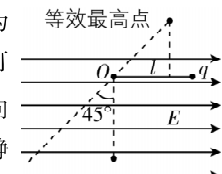
和 B 点的电场强度大小相同, 方向相反, 带电小球在 A 点和 B 点受到的电场力方向不同, **A 错误**; 由对称性可知, 小球从 A 点到 B 点的过程中, 电场力先做正功, 后做负功, 所做的总功为零, 重力做负功, 由动能定理得 $-2mgL = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得

$v_0 = 2\sqrt{gL}$, **B 错误**; 等量同种点电荷中垂线上, 从两点电荷连线中点沿中垂线向外电场强度由零先增大后减小到零, 则从 O

点沿中垂线上的点和一个点电荷的连线与中垂

线的夹角的余弦值为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$ 时, 该点的电场强度最大

点到 A 点或 B 点, 电场强度先增大后减小, 故小球从 A 点到 O 点的过程中, 小球受到的电场力先增大后减小, 若小球在 A 点时, 电场力大于小球的重力, 小球从 A 点到 O 点运动的过程中合力将先向上增大, 再向上减小到零, 后向下增大到 mg , 小球先做加速度增大的加速运动, 再做加速度减小的加速运动, 后做加速度增大的减速运动, **C 错误**; 小球从 O 点运动到 B 点的过程中, 电场力向下且先增大后减小, 重力方向向下, 故小球做减速运动, 且加速度先增大后减小, **D 正确**。

2. CD **【解析】** 小球受到的电场力大小为 $F_{\text{电}} = Eq = mg$, 根据平行四边形定则可等效最高点  得, 小球受到的合力大小为 $\sqrt{2}mg$, 方向沿左下方与竖直方向夹角为 45° , 由静止释放后, 小球先做匀加速直线运动, 小球运动到 O 点正下方时, 绳子伸直, 之后小球做圆周运动, **A 错误**; 绳子伸直的瞬间, 小球沿绳方向的速度减为 0, 只剩垂直于绳方向的速度, 动能有损失, 故小球不会回到初始位置, **B 错误**; 小球运动到 O 点正下方绳子伸直, 此后小球做圆周运动, 小球运动到等效最低点时, 绳子拉力最大, 由 A 项分析可知, 合力方向沿左下方与竖直方向夹角为 45° 时, 小球位于等效最低点, 即小球摆到 O 点左下方与竖直方向夹角为 45° 时, 绳子拉力最大, **C 正确**; 若小球以某一初速度释放后能做完整的圆周运动, 如图所示, 临界情况为在等效最高点时, 绳子拉力为 0, 对小球有 $\sqrt{2}mg = m\frac{v^2}{l}$, 设这种情况下小球释放时的初速度大小为 v_0 , 则有 $-mg\frac{\sqrt{2}}{2}l + Eq\left(l - \frac{\sqrt{2}}{2}l\right) = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{(3\sqrt{2}-2)gl}$, **D 正确**。

第十一章 电路及其应用

第 1 节 电源和电流

刷基础

1. B **【解析】** 在电源内部, 电流从负极到正极, 不是靠库仑力搬运电荷, 故 **A 错误**; 有电源且闭合的回路中才能形成电流, 故 **B 正确**; 与电源相连的导线周围空间的电场是由电源、导线等电路元件所积累的电荷共同形成的, 故 **C 错误**; 电源的作用是保持导体两端的电势差, 使导体内的自由电荷定向移动, 并不是提供自由电荷的装置, 故 **D 错误**。

2. C **【解析】** 只有自由电荷的定向移动才能形成电流, 故 **A 错**

误; 根据 $I = neSv$ 可知, 除了电子定向移动的平均速率 v , 自由电子数密度 n 、横截面积 S 对 I 也有影响, 故 v 越大, 电流不一定越大, 故 **B 错误**; 根据 $I = \frac{q}{t}$ 可知, 电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量, 单位时间内通过导体横截面的电荷量越多, 导体中的电流越大, 故 **C 正确**; 电流虽然有方向, 但电流的运算并不遵循平行四边形定则, 所以电流是标量, 故 **D 错误**。

3. A **【解析】** 在 Δt 时间内, 以速率 v 定向移动的电子在铜导线中通过的距离为 $v\Delta t$, 由于铜导线的横截面积为 S , 则在 Δt 时