

专题 9 静电场

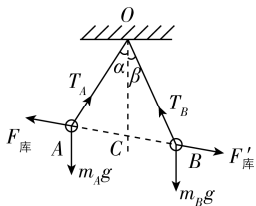
考点 36 点电荷与库仑定律

1. C

选项	解析	正误
A	电场是电荷在其周围产生的一种客观存在的物质	×
B	点电荷是理想化模型,与带电体自身的大小、形状无直接关系,与带电体的大小、形状对带电体之间相互作用力的影响是否可忽略有关	×
C	迄今为止,科学实验发现的最小电荷量就是电子所带的电荷量,这个最小电荷量叫元电荷	√
D	库仑定律的适用条件是点电荷之间、真空或空气中	×

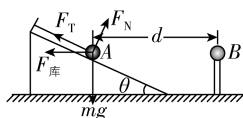
2. AD 【解析】设开始时两球间距离为 x , 两球所带电荷量分别为 q_1 、 q_2 , 若两小球带的是同种电荷, 当电荷量各减小一半时, 根据库仑定律 $F = \frac{kq_1q_2}{x^2}$ 知, 若两个球之间的距离保持不变, 库仑力将减小为原来的 $\frac{1}{4}$, 又因为库仑力减小, 弹簧的弹力减小, 弹簧的伸长量减小, 两球间的距离减小, 所以实际的情况是小球之间的库仑力会大于原来的 $\frac{1}{4}$, 则 $F_2 > \frac{1}{4}F_1$, A 正确, B 错误; 若两小球带的是异种电荷, 当电荷量各减小一半时, 根据库仑定律 $F = \frac{kq_1q_2}{x^2}$ 知, 若两个球之间的距离保持不变, 库仑力减小为原来的 $\frac{1}{4}$, 此时库仑力减小, 弹簧的弹力减小, 弹簧的压缩量减小, 两球间的距离增大, 所以实际的情况是小球之间的库仑力会小于原来的 $\frac{1}{4}$, 则 $F_2 < \frac{1}{4}F_1$, C 错误, D 正确.

3. B 【解析】连接 AB , 与过 O 点的竖直线相交于 C 点, 设 $AC = x_1$, $BC = x_2$, 作出两球的受力图像, 两球受重力、库仑力和绳的拉力, 根据库仑定律可知库仑力大小相等, 则由力的平行四边形定则和三角形相似法可得到 $\frac{m_A g}{OC} = \frac{F_{\text{库}}}{x_1}$, $\frac{m_B g}{OC} = \frac{F'_{\text{库}}}{x_2}$, $\frac{m_A}{m_B} = \frac{x_2}{x_1} = \frac{1}{2}$, 又根据正弦定理有 $\frac{\sin \beta}{x_2} = \frac{\sin \angle OCB}{l}$, $\frac{\sin \alpha}{x_1} = \frac{\sin \angle OCA}{l}$, 又 $\angle OCA + \angle OCB = 180^\circ$, 可得 $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{x_1}{x_2} = \frac{2}{1}$, 当 A 球的电荷量变化并重新达到平衡态时, 仍然会有类似的关系, 即 $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{2}{1}$, 故 B 正确.



4. AC 【解析】根据库仑定律, 可得小球 A

与 B 之间库仑力的大小为 $F_{\text{库}} = k \frac{q^2}{d^2}$, 故



A 正确; 以小球 A 为研究对象, 受力分析如图所示, 根据物体的

平衡条件可知当 mg 、 $F_{\text{库}}$ 、 F_N 三力的合力等于零时, 即 $F_{\text{库}} = k \frac{q^2}{d^2} = mg \tan \theta$ 时, 细线上的拉力为 0, 解得 $\frac{q}{d} = \sqrt{\frac{mg \tan \theta}{k}}$, 故 B 错误, C 正确; 由平衡条件可知, 斜面对小球 A 的支持力不可能为零, 故 D 错误.

5. AC 【解析】设 A、B 之间的距离为 r_1 , B、C 之间的距离为 r_2 , 三

个点电荷保持静止, 则对于 A 有 $k \frac{q_1 q_2}{r_1^2} = k \frac{q_1 q_3}{(r_1 + r_2)^2}$, 对于 C 有

$$k \frac{q_1 q_3}{(r_1 + r_2)^2} = k \frac{q_2 q_3}{r_2^2}, \text{整理后得} \frac{1}{\sqrt{q_3}} = \frac{r_1}{r_2 + r_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{q_2}}, \frac{1}{\sqrt{q_1}} = \frac{r_2}{r_2 + r_1} \cdot \frac{1}{\sqrt{q_2}},$$

故 $q_1 > q_2$, $q_3 > q_2$, $\frac{1}{\sqrt{q_1}} + \frac{1}{\sqrt{q_3}} = \frac{1}{\sqrt{q_2}}$, A、C 正确, B、D 错误.

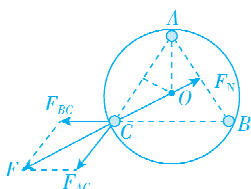
6. A 【解析】设绳的全长为 L , 三个球一起接触之前, 对 A 有

$$k \frac{Q \cdot 2Q}{\left(\frac{L}{2}\right)^2} = 2T_1, \text{三个球一起接触后, 每个小球带电量相同, 对 A 分析}$$

$$\text{有 } 2k \frac{\frac{Q+2Q}{3} \cdot \frac{Q+2Q}{3}}{\left(\frac{L}{3}\right)^2} \cdot \cos 30^\circ = 2T_2 \cos 30^\circ, \text{解得 } \frac{T_1}{T_2} = \frac{4}{9}, \text{故选 A.}$$

7. CD 【解析】由小球受力分析可知, 三

个小球受到球壳的作用力都应沿半径指向圆心, 则三个小球对称分布, 如图所示. 三个小球之间的距离均等于 $L =$



$2R \cos 30^\circ = \sqrt{3}R$, 故 A 错误; 由小球的平衡可知, 三个小球所在平面可以是任一通过球壳球心的平面, 故 B 错误, C 正确; 由库仑定律可知 $F_{AC} = F_{BC} = k \frac{Q^2}{(\sqrt{3}R)^2} = \frac{kQ^2}{3R^2}$, 其

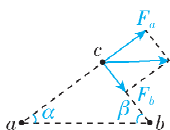
合力为 $F = 2F_{AC} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}kQ^2}{3R^2}$, 由平衡条件可知, 小球受到球壳

内壁的作用力大小为 $\frac{\sqrt{3}kQ^2}{3R^2}$, 由牛顿第三定律知, 每个小球对球

壳内壁的作用力大小均为 $\frac{\sqrt{3}kQ^2}{3R^2}$, 故 D 正确.

8. D 【解析】如果 a、b 带同种电荷, 则 a、b 两小

球对小球 c 的作用力均为斥力或引力, 此时 c 在垂直于 a、b 连线的方向上的合力一定不为零, 则 a、b 必带异种电荷, A、C 错误; 不妨设 a



对 c 的作用力为斥力, 则 b 对 c 的作用力一定为引力, 受力分析如图所示, 由题意知 c 所受库仑力的合力方向平行于 a、b 的连线, 则 F_a 、 F_b 在垂直于 a、b 连线的方向上的合力为零, 由几何

关系可知 $\frac{F_a}{F_b} = \frac{1}{\tan \alpha} = \frac{4}{3}$, 又由库仑定律得 $\frac{F_a}{F_b} = \left| \frac{q_a}{q_b} \right| \cdot \frac{r_{bc}^2}{r_{ac}^2}$, 联立

解得 $\left| \frac{q_a}{q_b} \right| = \frac{64}{27}$ (关键点: 电性互换后结果相同), B 错误, D

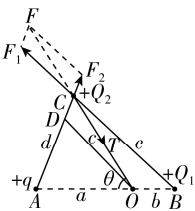
正确.

9. BC 【解析】令 A、C 间的距离为 d , B、C 间的距离为 e , 如图所

示, 根据库仑定律 $F_1 = \frac{kQ_1 Q_2}{e^2}$, $F_2 = \frac{kq Q_2}{d^2}$, 利用三角形 $\triangle FF_2C \sim$

$\triangle ODC$ 可知 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{OD}{DC}$, 利用几何关系可知 $\frac{OD}{e} = \frac{F_1}{F_2}$

$= \frac{a}{a+b}, \frac{d-DC}{d} = \frac{a}{a+b}$, 根据余弦定理可知 $e = \sqrt{b^2 + c^2 + 2bccos\theta}$, $d = \sqrt{a^2 + c^2 - 2accos\theta}$, 联立解得 $q = \frac{b}{a} \left(\frac{c^2 + a^2 - 2accos\theta}{c^2 + b^2 + 2bccos\theta} \right)^{\frac{3}{2}} Q_1$, 因此该



实验装置只需要 $+Q_1$ 及 a, b, c 就可以算出 q , 故选 B、C.

10. C 【解析】设球 O 半径为 R , 带电小球与 O 点的连线与竖直方向的夹角为 θ , 则 $\cos\theta = \frac{mg}{k \frac{Qq}{R^2}}$, 由图中 (图略) θ 大小关系可知, 小

球 A 的质量小于小球 B 的质量, A 错误; 小球 A, B 做圆周运动时受到的库仑力大小相等, 方向不同, B 错误; 根据 $k \frac{Qq}{R^2} \sin\theta = m\omega^2 r$, 又 $\sin\theta = \frac{r}{R}$, 得 $\omega = \sqrt{\frac{kQq}{mR^3}}$, 则小球 A 的角速度大于小球 B 的角速度, C 正确; 根据 $v = \omega r$, 得小球 A 的线速度大于小球 B 的线速度, D 错误.

考点 37 电场强度 电势 电势能

1. D 【解析】 M, N 的距离为 L , M 在 O 点产生的电场强度大小为 $k \frac{q}{(\frac{1}{2}L)^2} = \frac{4kq}{L^2}$, 方向由 O 到 N , N 在 O 点产生的电场强度大小为

$$k \frac{2q}{(\frac{1}{2}L)^2} = \frac{8kq}{L^2}, \text{方向由 } O \text{ 到 } N, \text{ 则 } O \text{ 点的电场强度大小为 } \frac{12kq}{L^2},$$

方向由 O 指向 N , D 正确.

2. C 【解析】由于直线上 a 点的场强最大, 根据点电荷周围电场的特点知, 场源电荷离直线上的 a 点最近, 即场源电荷位置与 a 点的连线与直线 MN 垂直, 设场源电荷与 a 点的距离为 x , 场源电荷的电荷量的绝对值为 Q , 则 $E = \frac{kQ}{x^2}$, $\frac{E}{2} = \frac{kQ}{x^2 + L^2}$, 联立可知 $x = L$, A 错误; 由几何关系知, 场源电荷到 b, c 两点的距离相等, 则 b, c 两点的场强大小相等、方向不同, 电势相等, 故 B 错误, C 正确; 从 a 点无初速度释放带负电的粒子, 粒子所受的电场力与直线 MN 垂直, 故该粒子将沿过 a 点的 MN 的垂线做直线运动, D 错误.

3. D 【解析】两小球分别在 x 轴上下两侧, 电性相同, 根据对称性, 两球在 P 点产生的场强大小相同, 方向不同, 故 A 错误; 大球所带电荷均匀分布整个球体, 它在外部产生的电场可等效为所有电荷集中在球心 O 点在外部产生的电场 (关键点: 带电体外部空间电场强度计算的常用结论), 由点电荷的场强公式有 $E_0 = k \frac{Q}{9r^2}$, 故 B 错误; 大球在 P 点产生的电场沿 x 轴方向, 两小球在 P 点的合场强也沿 x 轴方向, 且小于大球在 P 点的场强, 挖去两小球后, P 点的场强方向不变, 故 C 错误; 设两小球的球心到 P 点的距离为 l , 由几何关系有 $l = \sqrt{r^2 + (3r)^2} = \sqrt{10}r$, 由球的体积公式得 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, 小球的半径是大球的半径的 $\frac{1}{2}$, 故小球的体积

是大球的体积的 $\frac{1}{8}$, 故小球所带电荷量为 $q = \frac{Q}{8}$, 两小球在 P 点

场强大小均为 $E = k \frac{\frac{Q}{8}}{(\sqrt{10}r)^2} = \frac{kQ}{80r^2}$, 合场强大小为 $E_1 =$

$\frac{3 \times 2}{\sqrt{10}} k \frac{Q}{80r^2} = \frac{3\sqrt{10}}{400} k \frac{Q}{r^2}$, 剩余部分在 P 点的场强大小为 $E_2 =$

$k \frac{Q}{9r^2} - \frac{3\sqrt{10}}{400} k \frac{Q}{r^2} = \frac{400 - 27\sqrt{10}}{3600} k \frac{Q}{r^2}$, 故 D 正确.

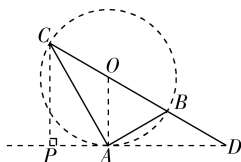
4. CD 【解析】如图所示, 延长 CB 到 D ,

使 $\frac{DB}{BC} = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{\varphi_B - \varphi_C}$, 则 A 、 D 两点的电势均为

2 V; 以 BC 为直径的圆过 A 点, 过 C 点作 AD 的垂线 CP , 可得电场强度大小

$E = \frac{\varphi_C - \varphi_A}{CP}$, 当 AD 与圆相切时 CP 最长, 对应的电场强度最小, 即

$E \geq 6$ V/m, 故 C、D 正确, A、B 错误.



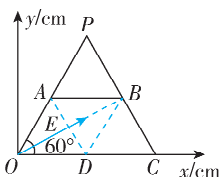
5. BD 【解析】连接 O 、 B , 根据几何关系可知

$OA = AB$, 过点 A 作 OB 的垂线交 OC 于点 D , 可知 AD 平分 OB , 且点 D 为 OC 的中点, 如图所示. 由几何知识可知 $AB \parallel OD$, $AB \parallel DC$, 且 $AB = OD = DC$, 故 $U_{AB} = U_{OD} =$

U_{DC} , 即 $\varphi_A - \varphi_B = \varphi_O - \varphi_D = \varphi_D - \varphi_C$, 故 $\varphi_D = 3$ V, $\varphi_C = 0$, 故 A 错误, B 正确; 由于 $\varphi_A = \varphi_D$, 故 AD 为等势线, 已知电场线和等势线互相垂直且电场线方向由高电势指向低电势, 又 $OB \perp AD$, 且 $\varphi_O > \varphi_B$, 故

电场强度的方向由 O 指向 B , $E = \frac{U_{OB}}{d_{OB}} = \frac{6-0}{2\sqrt{3} \times 10^{-2}}$ V/m =

$100\sqrt{3}$ V/m, 故 C 错误, D 正确.



易错警示

对公式 $E = \frac{U}{d}$ 的理解不到位而出错

$E = \frac{U}{d}$, 该公式只适用于匀强电场, d 为两点沿电场方向的距离, 并不一定是两点之间的实际距离 s , 通常情况下 $s = d \cos \theta$ (θ 为两点连线与电场间夹角). 如在本题中 A 、 B 两点的距离并非沿电场线方向的距离, 所以在计算时不能直接用此距离, 而是要考虑 AB 在电场方向的投影距离.

6. AB 【解析】根据等差等势线的疏密程度判断电场强度的大小,

由题图可知, M 点的电场强度小于 N 点的电场强度, 由 $F = qE$ 可得, 粒子在 M 点受到的电场力比在 N 点受到的电场力小, 故 A 正确; 由题图中运动轨迹可得, 电场力方向指向右下方, 由于粒子带正电, 则电场线方向指向右下方, 由沿着电场线方向电势逐渐降低可知, N 点的电势高于 M 点的电势, 故 B 正确; 假设粒子从 N 点运动到 M 点, 则粒子所受电场力做正功, 粒子在 N 点的电势能比在 M 点的电势能大, 故 C 错误; 电势能转化为动能, 粒子在 M 点的速率大于在 N 点的速率, 故 D 错误.

7. D 【解析】 $\varphi-x$ 图像的斜率表示电场强度, 由图可知, 在 $0 < x < d$

区域内, 沿 x 轴正方向电势越来越低, 由于图像斜率不变, 故场强不变, 故 A 正确, 不满足题意要求; 电荷量为 $-q$ 的带电粒子从

$x=0.5d$ 处由静止释放,此时动能为 0,电势能为 $E_p = -q \cdot 0.5\varphi_0 = -0.5q\varphi_0$,则运动过程中该粒子的动能与电势能之和为 $-0.5q\varphi_0$,故 B 正确,不满足题意要求;电荷量为 $-q$ 的带电粒子从 $x=0.5d$ 处由静止释放后,粒子从 $x=0.5d$ 到 O 点过程中做匀加速运动,从 O 点到 $x=-0.5d$ 过程中做匀减速运动,在 $x=-0.5d$ 处速度刚好减为 0,接着反向做匀加速运动到 O 点,再做匀减速运动到 $x=0.5d$ 处,此时速度减为 0,之后做周期性运动,由此可知粒子在 O 点的速度最大,根据功能关系可得 $\frac{1}{2}mv_m^2 - q\varphi_0 = -0.5q\varphi_0$,解得最大速率为 $v_m = \sqrt{\frac{q\varphi_0}{m}}$,故 C 正确,不满足题意要求;粒子从 $x=0.5d$ 到 O 点的过程中做匀加速运动,设所用时间为 t_1 ,根据运动学公式可得 $0.5d = \frac{0+v_m}{2}t_1$,解得 $t_1 = d\sqrt{\frac{m}{q\varphi_0}}$,根据对称性可知,粒子在电场中做周期性运动的周期为 $T = 4t_1 = 4d\sqrt{\frac{m}{q\varphi_0}}$,故 D 错误,满足题意要求。

考点 38 带电粒子运动轨迹的判断 图像问题

1. C 【解析】水分子在电场力的作用下加速离开,则电场力做正功,由于水分子中负电荷所受电场力大于正电荷所受电场力,可将水分子等效视为带负电,则电势增大,故 $\varphi_D > \varphi_C > \varphi_B$,A 错误;由正、负电荷在电场中的受力特点可知,水分子在 B 处时,上端带负电荷,下端带正电荷,B 错误;水分子在 B 处时,由于带负电荷的一端电场线更密,电场强度更大,故受到的电场力大于带正电荷的一端受到的电场力,C 正确;如果把高压直流电源的正负极反接,产生的电场方向发生反转,但水分子是一端带正电,另一端带等量的负电,故水分子的正负端发生反转,水分子从 A 处开始将向上运动,D 错误。

2. D 【解析】根据电势 φ 与到 O 点距离的图像斜率代表场强可知, $E_x = \frac{\Delta\varphi}{\Delta x} = 100 \text{ V/m}$,其方向沿 x 轴负方向, $E_y = \frac{\Delta\varphi}{\Delta y} = 100\sqrt{3} \text{ V/m}$,其方向沿 y 轴负方向, $E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = 200 \text{ V/m}$,其方向与 y 轴负方向成 θ 角, $\tan \theta = \frac{E_x}{E_y} = \frac{1}{\sqrt{3}}$,所以 $\theta = 30^\circ$,斜向左下,D 正确。

3. AD 【解析】根据电势的变化曲线可以看出,距离点电荷 1 越近电势越低,且电势为负,而距离点电荷 2 越近电势越高,且电势为正,则可知点电荷 1 为负电荷、2 为正电荷,又 M 点的电势为零,则可知点电荷 1 在 M 点的电势与点电荷 2 在 M 点的电势的代数和为零,而根据点电荷在某点产生的电势公式 $\varphi = k \frac{q}{r}$ 可知,由于 M 点离点电荷 1 的距离大于 M 点离点电荷 2 的距离,故点电荷 1 的电荷量大于点电荷 2 的电荷量,故 A 正确; $\varphi-x$ 图像的斜率表示电场强度,根据图像可知, M 点和 N 点处图像的斜率不同,则可知 M 点和 N 点处的电场强度不同,故 B 错误;若 $x = 1 \text{ m}$ 位置到 M 点的距离和到 N 点的距离相等,则点电荷 2 在 M 点和 N 点的电势相等,而 N 点到点电荷 1 的距离大于 M 点到点电荷 1 的距离,因此点电荷 1 在 N 点的电势低于在 M 点的电势,又点电荷 1 与点电荷 2 在 M 点的电势的代数和为零,在 N 点的

电势的代数和同样为零,由此可知, $x=1\text{ m}$ 位置到 M 点的距离与到 N 点的距离一定不相等,故C错误;由两点电荷形成的电场中的电势分布可知,在 x 轴上(除了 $x_1=0$ 、 $x_2=1\text{ m}$ 两点)最多可以找到四个电势相同的位置,分别为 M 、 N 两点及 x 轴正方向与 x 轴负方向无穷远处的两个点,其电势均为零,故D正确。

4. C 【解析】由 $E-x$ 图像可知, x_1 处的电场强度最小, $O\sim x_3$ 段的电场强度方向沿 x 轴正方向,沿 x 轴正方向电势降低,故 x_1 处的电势不是最低,故A错误;若粒子的初速度方向沿 x 轴负方向,则不符合题意,那么粒子在 O 点一定先做加速运动,故B错误;由 $E-x$ 图像可知 $O\sim x_1$ 段和 $x_1\sim x_2$ 段的图像关于 $x=x_1$ 对称,电场强度的变化量大小相同,位移相同,根据 $W_{\text{电}}=Eqx$,则电场力对带电粒子做功相同,故C正确;由 $E-x$ 图像可知 $x_1\sim x_2$ 段和 $x_2\sim x_3$ 段的电场强度的变化量大小不同,因 $E-x$ 图线与 x 轴所围图形的“面积”表示电势差,所以电场力做的功不同,动能的增量不相等,故D错误。

5. ACD 【解析】圆环带负电,则在 Ox 轴上的各点中, O 点的电势最低,故A正确;根据对称性可知在 Ox 轴上的各点中, B 、 B' 两点的电场强度大小相等且最大,小球在 B 、 B' 两点受到的电场力最大,加速度最大,则小球从 A 点运动到 O 点的过程中加速度先增大后减小,故B错误;因为 $E-x$ 图像中图线与 x 轴所包围的面积表示电势差,而 $O\sim B'$ 的“面积”小于 $B'\sim A'$ 的“面积”,即 $U_{AB'}>U_{B'O}$,根据对称性可知 $U_{AB}>U_{BO}$,故C正确;根据动能定理,对小球从 A 点运动到 B 点的过程有 $qU_{AB}=\frac{1}{2}mv^2-0$,对小球从 B 点运动到 O 点的过程有 $qU_{BO}=\frac{1}{2}mv_0^2-\frac{1}{2}mv^2$,解得 $v_0<\sqrt{2}v$,故D正确。

6. A 【解析】设曲线切线的斜率为 k ,由图像可知 $k=\frac{\Delta E_p}{\Delta x}=q\frac{\Delta U}{\Delta x}=qE$,曲线斜率的绝对值可反映场强 E 的大小,由图像可知,在 x_1 处,斜率为零,故此处 E 为零,A正确; $x_2\sim x_3$ 段是直线,斜率是定值, E 不变,B错误; $O\sim x_2$ 段的斜率是变化的, E 是变化的,所以带电粒子受力是变化的,所以加速度是变化的值,C错误;根据 $\varphi=\frac{E_p}{q}$,注意此处的 q 要考虑电性的正负进行计算,带电粒子带负电,故 q 为负值, E_p 大的地方,电势反而低,则有 $\varphi_3<\varphi_2=\varphi_0<\varphi_1$,D错误。

考点 39 电容器

1. C 【解析】若保持开关S闭合,根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,将 A 、 B 两极板靠近些, d 减小,电容增大,由于电容器 A 、 B 两极板间的电势差等于电源电动势,所以电容器带电量增大,二极管正向导通,电容器充电,可得静电计两端的电势差不变,故指针的张开角度将不变,故A错误;若保持开关S闭合,根据 $C=\frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,将 A 、 B 两极板正对面积变小些,电容减小,电容器带电量将减小,由于二极管反向截止,故电路中没有电流,即电容器所带电量不变,根据 $U=\frac{Q}{C}$ 可知,电容器 A 、 B 两极板间的电势差增大,故指针的张开角度将增大,故B错误;断开开关S后,电容器带电量保持

不变,根据 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,将 A 、 B 两极板靠近些, d 减小,电容增大,根据 $U = \frac{Q}{C}$ 可知,电容器 A 、 B 两极板间的电势差减小,故指针的张开角度将变小,故 C 正确;断开开关 S 后,电容器所带电量保持不变,根据 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知,将 A 、 B 两极板正对面积变小些,电容减小,根据 $U = \frac{Q}{C}$ 可知,电容器 A 、 B 两极板间的电势差增大,故指针的张开角度将增大,故 D 错误。

2. B 【解析】将有机玻璃板插入 CD 极板间,则相对介电常数 ε_r 增大,其他条件不变,由 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, CD 平行板电容器的电容增大, A 错误;电容器两极板间的电压 $U = \frac{Q_{\text{总}}}{C_{AB} + C_{CD}}$,断开开关后,两电容器总电荷量不变,由于 CD 电容器的电容增大,电容器两极板间的电势差均变小,由 $E = \frac{U}{d}$ 可知, A 、 B 极板间的电场强度变小,则 P 点与 B 极板间的电势差变小,因为 B 极板接地,故其电势始终为零,则 P 点的电势降低, B 正确, C 错误;由于插入玻璃板的过程中,电容器两极板间的电势差变小,则 AB 电容器放电,电阻 R 中有向左的电流, D 错误。

3. D 【解析】保持开关闭合,将 A 板下移少许,板间距 d 减小,由 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, C 增大,由 $C = \frac{Q}{U}$ 且 U 不变,可知 Q 增大,有电流从下到上通过电源, $E = \frac{U}{d}$, E 增大, A 错误;将 B 板下移少许,板间距 d 增大,由 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, C 减小,由 $C = \frac{Q}{U}$ 可知, U 不变, Q 减小,有电流从上到下通过电源, $E = \frac{U}{d}$, E 减小, B 错误;若断开开关,将 B 板下移少许,由 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, d 增大, C 减小,同理 $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4k\pi Q}{\varepsilon_r S}$, 又 Q 不变,则 E 不变, P 点距 A 板的距离不变, P 点与 A 板间的电势差不变, φ_P 不变,所以 E_P 不变, C 错误;将 A 板下移少许,由 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, d 减小, C 增大, $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4k\pi Q}{\varepsilon_r S}$, 板间场强 E 不变, P 点距 A 板的距离减小, A 板接地,则 $\varphi_A = 0$, P 点与 A 板间的电势差减小, φ_P 升高,负电荷在电势高的地方电势能小,所以 E_P 减小, D 正确。

4. BC 【解析】电路稳定后,电容器所在的支路为断路,向右移动 R_3 的滑片,电容器两端的电压不变,两极板之间的场强不变,因此小球仍静止不动,故 A 错误;向右移动 R_1 的滑片, R_2 两端的电压增大,电容器两端的电压增大,两极板之间的场强增大,小球受到的电场力增大,小球将向上运动,电场力做正功,小球的电势能减小,故 B 正确;向下移动电容器的下极板,电容器极板间的间距 d 增大,根据 $C = \frac{\varepsilon_r S}{4\pi k d}$ 及 $C = \frac{Q}{U}$ 可知,电容 C 减小, Q 将减小,但由于理想二极管反向截止,电容器无法放电,所以 Q 不变,

U 增大,二极管右端的电势高于左端的电势,故 C 正确;断开 S 后,紧贴电容器的上极板附近插入金属板,电容器极板间的间距 d 减小,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 、 $C = \frac{Q}{U}$ 、 $E = \frac{U}{d}$ 可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$,由此可知极板间场强不变,由于 M 点到下极板间距不变,故 M 点与下极板间的电势差不变,因此 M 点的电势不变,故 D 错误.

考点 40 带电粒子(体)在电场中的运动

1. C 【解析】若速率给定,当粒子平行于 A 板射出时,发光面积最大,为圆的面积,在平行 A 板的方向,半径 $R = vt$,在垂直 A 板方向有 $d = \frac{1}{2}at^2$,又 $a = \frac{qU}{md}$,圆的面积 $S = \pi R^2$,联立解得最大速度 $v = \sqrt{\frac{qUS}{2md^2\pi}}$,C 正确.

2. C 【解析】 $v-t$ 图像的斜率表示加速度,题图中 $v-t$ 图线的切线斜率随时间的变化而变化,电子仅受电场力作用,电场不可能为匀强电场,A 错误;若运动轨迹与等势面相切,动能不变,所以速率不变,不符合图像,B 错误;在等差等势面越密集的地方,电场强度越大,电场力越大,加速度越大, $v-t$ 图像的斜率越大, $v-t$ 图像在 t_0 时刻的斜率大于 $2t_0$ 时刻的斜率,则 t_0 时刻电子所在位置的等差等势面比 $2t_0$ 时刻所在位置的等差等势面密集,C 正确;电子运动过程中只存在动能和电势能的相互转化,动能增大,电子的电势能减小,沿电子运动方向的电势增加,可知 t_0 时刻电子所在位置的电势比 $2t_0$ 时刻所在位置的电势低,D 错误.

3. C 【解析】若小球带负电,则从 A 点到 B 点电场力做负功,电势能增加,若小球带正电,则从 A 点到 B 点电场力做正功,电势能减小,C 正确;小球由 A 点运动至 B 点,由动能定理得 $mgH + W_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$,因为重力做功和电场力做功的大小以及电场力做功的正负无法确定,则不能比较 v_1 和 v_2 的大小,A 错误;因电场力做功为 $W_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - mgH$,由电场力做功 $W_{\text{电}} = qU$,解得 A、B 两点间的电势差为 $U = \frac{W_{\text{电}}}{q} = \frac{1}{q} \left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - mgH \right)$,故 B 错误;小球运动到 B 点时所受重力与速度方向之间的夹角是 $90^\circ - \alpha$,则其重力的瞬时功率 $P = mgv_2 \sin \alpha$,故 D 错误.

4. BCD 【解析】由题可知,带电粒子进入电场后,沿 MN 方向做匀速直线运动,沿电场方向做匀加速直线运动,则有 $2L = v_0 t$, $L = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE_0}{m} t^2$,解得 $E_0 = \frac{mv_0^2}{2qL}$,A 错误,B 正确;当场强方向周期性变化时,带电粒子沿电场方向先做初速度为 0 的匀加速直线运动,再做匀减速到 0 的直线运动,此过程重复 n 次, n 取正整数,根据 $2L = nv_0 T_0$,解得 $T_0 = \frac{2L}{nv_0}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),当 $n = 5$ 时, $T_0 = \frac{2L}{5v_0}$,当 $n = 10$ 时, $T_0 = \frac{L}{5v_0}$,C、D 正确.

5. B 【解析】由于匀强电场由 A 指向 B,可知 AD 为等势线,设圆的半径为 R ,小球 P 经过 D 点时的动能是小球在 A 点时的动能的 4 倍,根据动能定理可得 $mg \cdot \frac{3}{2}R = 4E_{k0} - E_{k0}$,整理得 $E_{k0} =$

$\frac{1}{2}mgR$, 小球 Q 从 A 点抛出到 B 点的过程中, 根据动能定理可得

$mgR\cos 60^\circ + qER = E_{kB} - E_{k0}$, 又 $E = \frac{mg}{q}$, 联立解得 $E_{kB} = 4E_{k0}$, 则小

球 Q 经过 B 点时的动能是小球在 A 点时的动能的 4 倍, B 正确.

6. AD 【解析】由图可知粒子的轨迹向上, 则所受的电场力方向向上, 与电场方向相同, 所以该粒子带正电, 故 B 错误; 粒子从 P 点运动到 Q 点, 电场力做了 $W = qU$ 的正功, 则粒子的电势能减少了 qU , 由于 Q 点的电势为零, 即 Q 点的电势能为零, 则带电粒子在 P 点的电势能为 qU , 故 A 正确; 带电粒子在电场中做类平抛运动, 设带电粒子沿电场方向运动的位移为 y , 根据类平抛运动规律可得 $\tan 30^\circ = \frac{d}{2y}$, 解得 $y = \frac{\sqrt{3}d}{2}$, 根据 $E = \frac{U}{y}$ 可得 $E = \frac{2\sqrt{3}U}{3d}$, 故 C 错误, D 正确.

7. (1) $\sqrt{2kU_0}$ (2) $\frac{2U_0}{R}$ (3) $\frac{U_1 l^2}{U_0 d}$

【解析】(1) 设粒子的电荷量为 q , 质量为 m , 由动能定理得 $qU_0 = \frac{1}{2}mv_1^2$, 其中 $\frac{q}{m} = k$, 解得 $v_1 = \sqrt{2kU_0}$.

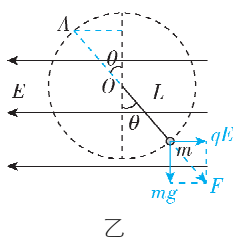
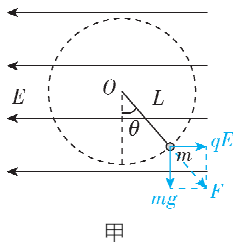
(2) 在辐向电场中粒子做匀速圆周运动, 有 $qE = m \frac{v_1^2}{R}$, 解得 $E = \frac{2U_0}{R}$.

(3) 在第一个偏转电场中, 设粒子的运动时间为 t , 加速度的大小为 $a = \frac{qU_1}{md}$, 在离开电场时, 竖直分速度为 $v_y = at$, 竖直位移为 $y_1 = \frac{1}{2}at^2$, 水平位移为 $l = v_1 t$, 联立解得 $y_1 = \frac{U_1 l^2}{4dU_0}$, 由于两偏转电场的电压大小相等、方向相反, 故粒子在第二个偏转电场中运动的竖直位移也为 y_1 , 且沿水平方向离开第二个偏转电场, 做匀速直线运动打在荧光屏上的 A 点; 粒子在两偏转电场间做匀速直线运动, 经历时间也为 t , 竖直位移为 $y_2 = v_y t = \frac{U_1 l^2}{2dU_0}$, 综上所述, 粒子在竖直方向上的总位移 $y = 2y_1 + y_2$, 解得 $y = \frac{U_1 l^2}{U_0 d}$.

考点 41 带电粒子在等效场中的运动

1. B 【解析】小球静止时细线与竖直方向成 θ 角, 对小球进行受力分析, 如图甲所示, 由平衡条件可知 $\tan \theta = \frac{qE}{mg}$, 解得 $E = \frac{mg \tan \theta}{q}$, 故 A 错误; 小球静止时细线与竖

直方向成 θ 角, 则 A 点为小球绕 O 点在竖直平面内沿逆时针方向做圆周运动的等效最高点, 如图乙所示, 所以 A 点时小球的速度最小, 动能最小, 由向心力公式可知 $\frac{mg}{\cos \theta} = m \frac{v_{\min}^2}{L}$, 动能 $E_{\min} = \frac{1}{2}mv_{\min}^2$, 联立解得 $E_{\min} = \frac{mgL}{2\cos \theta}$, 故 B 正确; 由机械能



U 增大,二极管右端的电势高于左端的电势,故 C 正确;断开 S 后,紧贴电容器的上极板附近插入金属板,电容器极板间的间距 d 减小,根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 、 $C = \frac{Q}{U}$ 、 $E = \frac{U}{d}$ 可得 $E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$,由此可知极板间场强不变,由于 M 点到下极板间距不变,故 M 点与下极板间的电势差不变,因此 M 点的电势不变,故 D 错误.

考点 40 带电粒子(体)在电场中的运动

1. C 【解析】若速率给定,当粒子平行于 A 板射出时,发光面积最大,为圆的面积,在平行 A 板的方向,半径 $R = vt$,在垂直 A 板方向有 $d = \frac{1}{2}at^2$,又 $a = \frac{qU}{md}$,圆的面积 $S = \pi R^2$,联立解得最大速度 $v = \sqrt{\frac{qUS}{2md^2\pi}}$,C 正确.

2. C 【解析】 $v-t$ 图像的斜率表示加速度,题图中 $v-t$ 图线的切线斜率随时间的变化而变化,电子仅受电场力作用,电场不可能为匀强电场,A 错误;若运动轨迹与等势面相切,动能不变,所以速率不变,不符合图像,B 错误;在等差等势面越密集的地方,电场强度越大,电场力越大,加速度越大, $v-t$ 图像的斜率越大, $v-t$ 图像在 t_0 时刻的斜率大于 $2t_0$ 时刻的斜率,则 t_0 时刻电子所在位置的等差等势面比 $2t_0$ 时刻所在位置的等差等势面密集,C 正确;电子运动过程中只存在动能和电势能的相互转化,动能增大,电子的电势能减小,沿电子运动方向的电势增加,可知 t_0 时刻电子所在位置的电势比 $2t_0$ 时刻所在位置的电势低,D 错误.

3. C 【解析】若小球带负电,则从 A 点到 B 点电场力做负功,电势能增加,若小球带正电,则从 A 点到 B 点电场力做正功,电势能减小,C 正确;小球由 A 点运动至 B 点,由动能定理得 $mgH + W_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$,因为重力做功和电场力做功的大小以及电场力做功的正负无法确定,则不能比较 v_1 和 v_2 的大小,A 错误;因电场力做功为 $W_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - mgH$,由电场力做功 $W_{\text{电}} = qU$,解得 $A、B$ 两点间的电势差为 $U = \frac{W_{\text{电}}}{q} = \frac{1}{q} \left(\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 - mgH \right)$,故 B 错误;小球运动到 B 点时所受重力与速度方向之间的夹角是 $90^\circ - \alpha$,则其重力的瞬时功率 $P = mgv_2 \sin \alpha$,故 D 错误.

4. BCD 【解析】由题可知,带电粒子进入电场后,沿 MN 方向做匀速直线运动,沿电场方向做匀加速直线运动,则有 $2L = v_0 t$, $L = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE_0}{m} t^2$,解得 $E_0 = \frac{mv_0^2}{2qL}$,A 错误,B 正确;当场强方向周期性变化时,带电粒子沿电场方向先做初速度为 0 的匀加速直线运动,再做匀减速到 0 的直线运动,此过程重复 n 次, n 取正整数,根据 $2L = nv_0 T_0$,解得 $T_0 = \frac{2L}{nv_0}$ ($n = 1, 2, 3, \dots$),当 $n = 5$ 时, $T_0 = \frac{2L}{5v_0}$,当 $n = 10$ 时, $T_0 = \frac{L}{5v_0}$,C、D 正确.

5. B 【解析】由于匀强电场由 A 指向 B ,可知 AD 为等势线,设圆的半径为 R ,小球 P 经过 D 点时的动能是小球在 A 点时的动能的 4 倍,根据动能定理可得 $mg \cdot \frac{3}{2}R = 4E_{k0} - E_{k0}$,整理得 $E_{k0} =$

$\frac{1}{2}mgR$, 小球 Q 从 A 点抛出到 B 点的过程中, 根据动能定理可得

$mgR\cos 60^\circ + qER = E_{kB} - E_{k0}$, 又 $E = \frac{mg}{q}$, 联立解得 $E_{kB} = 4E_{k0}$, 则小

球 Q 经过 B 点时的动能是小球在 A 点时的动能的 4 倍, B 正确.

6. AD 【解析】由图可知粒子的轨迹向上, 则所受的电场力方向向上, 与电场方向相同, 所以该粒子带正电, 故 B 错误; 粒子从 P 点运动到 Q 点, 电场力做了 $W = qU$ 的正功, 则粒子的电势能减少了 qU , 由于 Q 点的电势为零, 即 Q 点的电势能为零, 则带电粒子在 P 点的电势能为 qU , 故 A 正确; 带电粒子在电场中做类平抛运动, 设带电粒子沿电场方向运动的位移为 y , 根据类平抛运动规律可得 $\tan 30^\circ = \frac{d}{2y}$, 解得 $y = \frac{\sqrt{3}d}{2}$, 根据 $E = \frac{U}{y}$ 可得 $E = \frac{2\sqrt{3}U}{3d}$, 故 C 错误, D 正确.

7. (1) $\sqrt{2kU_0}$ (2) $\frac{2U_0}{R}$ (3) $\frac{U_1 l^2}{U_0 d}$

【解析】(1) 设粒子的电荷量为 q , 质量为 m , 由动能定理得 $qU_0 = \frac{1}{2}mv_1^2$, 其中 $\frac{q}{m} = k$, 解得 $v_1 = \sqrt{2kU_0}$.

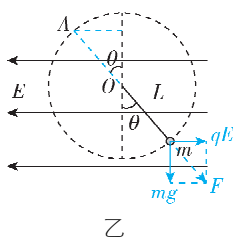
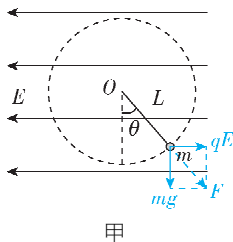
(2) 在辐向电场中粒子做匀速圆周运动, 有 $qE = m \frac{v_1^2}{R}$, 解得 $E = \frac{2U_0}{R}$.

(3) 在第一个偏转电场中, 设粒子的运动时间为 t , 加速度的大小为 $a = \frac{qU_1}{md}$, 在离开电场时, 竖直分速度为 $v_y = at$, 竖直位移为 $y_1 = \frac{1}{2}at^2$, 水平位移为 $l = v_1 t$, 联立解得 $y_1 = \frac{U_1 l^2}{4dU_0}$, 由于两偏转电场的电压大小相等、方向相反, 故粒子在第二个偏转电场中运动的竖直位移也为 y_1 , 且沿水平方向离开第二个偏转电场, 做匀速直线运动打在荧光屏上的 A 点; 粒子在两偏转电场间做匀速直线运动, 经历时间也为 t , 竖直位移为 $y_2 = v_y t = \frac{U_1 l^2}{2dU_0}$, 综上所述, 粒子在竖直方向上的总位移 $y = 2y_1 + y_2$, 解得 $y = \frac{U_1 l^2}{U_0 d}$.

考点 41 带电粒子在等效场中的运动

1. B 【解析】小球静止时细线与竖直方向成 θ 角, 对小球进行受力分析, 如图甲所示, 由平衡条件可知 $\tan \theta = \frac{qE}{mg}$, 解得 $E = \frac{mg \tan \theta}{q}$, 故 A 错误; 小球静止时细线与竖

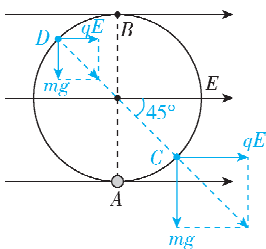
直方向成 θ 角, 则 A 点为小球绕 O 点在竖直平面内沿逆时针方向做圆周运动的等效最高点, 如图乙所示, 所以 A 点时小球的速度最小, 动能最小, 由向心力公式可知 $\frac{mg}{\cos \theta} = m \frac{v_{\min}^2}{L}$, 动能 $E_{\min} = \frac{1}{2}mv_{\min}^2$, 联立解得 $E_{\min} = \frac{mgL}{2\cos \theta}$, 故 B 正确; 由机械能



守恒定律可知,机械能的变化量等于除重力和系统内的弹力之外的其他力做的功,此处即电场力做的功,由题意可知,当小球运动到最左边与 O 点等高时,电场力做负功最多,机械能最小,故 C 错误;小球从初始位置开始,在竖直平面内逆时针运动一周的过程中,电场力先做正功后做负功再做正功,所以电势能先减小后增大再减小,故 D 错误.

2. BC 【解析】

由于匀强电场的电场强度为 $\frac{mg}{q}$,即电场力与重力大小相等,作出小圆环的等效最低点 C 与等效最高点 D ,如图所示.小圆环在等效最低点的速度最大,动能最大,在等效最高点速度最小,动能最小,根据沿

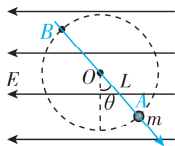


电场线方向电势降低可知 $\varphi_D > \varphi_C$,两位置不在同一等势面上,A 错误;小圆环在运动过程中,只有电势能、动能与重力势能的转化,即只有电势能与机械能的转化,则电势能最小的位置恰是机械能最大的位置,B 正确;小圆环恰好能够沿大圆环做完整的圆周运动,即小圆环通过等效最高点 D 的速度为 0,对小圆环分析有 $-qER\sin 45^\circ - mg(R + R\cos 45^\circ) = 0 - \frac{1}{2}mv_A^2$,解得 $v_A = \sqrt{2(1+\sqrt{2})gR}$,C 正确;小圆环运动到 B 点的过程有 $-mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$,在 B 点有 $N + mg = m\frac{v_B^2}{R}$,解得 $N = (2\sqrt{2} - 3)mg$,小圆环过 B 点受到大圆环的弹力大小为 $(3 - 2\sqrt{2})mg$,D 错误.

3. (1) 小球带负电 $2mg$,与竖直方向夹角 60° 斜向右下 (2) $2g$ 见解析 (3) $12mg$

【解析】(1) 根据平衡条件可知小球所受的电场力方向向右,与电场方向相反,故小球带负电,有 $qE = mg\tan \theta$,小球所受到的等效重力等于电场力和重力的合力,大小为 $F_{\text{等}} = \sqrt{(qE)^2 + (mg)^2} = 2mg$,设小球所受到的等效重力与竖直方向的夹角为 α ,有 $\tan \alpha = \frac{qE}{mg} = \sqrt{3}$,可得 $\alpha = \theta = 60^\circ$.

(2) 等效重力场的重力加速度 $g' = \frac{F_{\text{等}}}{m} = 2g$,等效重力场线、字母 A 、 B 点如图所示.



(3) 在等效重力场的最高点有 $F_{\text{等}} = m\frac{v_B^2}{L}$,小球

做圆周运动过程中速度的最小值为 $v_B = \sqrt{2gL}$,在等效重力场的最

低点有 $F_T - F_{\text{等}} = m\frac{v_A^2}{L}$,从 A 到 B 由动能定理得 $-F_{\text{等}} \cdot 2L =$

$\frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2$,解得 $F_T = 12mg$.