

## 第九章 静电场及其应用

### 第1节 电荷

#### 刷基础

1. B 【解析】根据电荷守恒定律,电荷既不会凭空产生也不会凭空消失,只会从一个物体转移到另一个物体或从物体的一部分转移到另一部分,在转移的过程中,电荷总量保持不变,所以两种不同材料的绝缘体互相摩擦后,它们必定带上等量异种电荷,故 B 正确, A、C 错误;物体所带电荷量一定是元电荷的整数倍,故 D 错误。

2. D 【解析】用丝绸摩擦过的玻璃棒带正电,玻璃棒和验电器接触后二者都带正电,故 A、B 错误;摩擦起电的实质是电荷的转移,并没有创造电荷,故 C 错误;验电器的两金属箔都带正电,同种电荷相互排斥,故金属箔张开,故 D 正确。

3. D 【解析】枕形体 A、B 不可以采用绝缘材料制作,否则无法

**突破点:** 感应起电的前提是物体能导电,这样电荷才能在物体内移动

发生感应起电,故 A 错误;根据感应起电可知,枕形体 A 带负电, B 带正电,则 A、B 下端的金属箔片均会张开,故 B 错误;金属导体中能自由移动的是电子,正电荷不能移动,故 C 错误;分开 A、B,再拿走 C,则枕形体 A 仍带负电, B 仍带正电, A 和 B 下端的金属箔片仍张开,故 D 正确。

**教材变式** 本题目由教材 P3 实验演变而来,考查了带电小球靠近枕形体 A、B 后金属箔片的变化及电荷移动情况。

4. D 【解析】仅甲或者乙伸入球内后,由于静电感应,验电器箔片一直张开,故 A 错误;甲、乙先后伸入球内,验电器箔片先张开、后闭合,故 B 错误;甲、乙同时伸入球内,感应电荷为零,验电器箔片闭合,甲或乙撤出后箔片张开,故 C 错误;甲、乙先后伸入球内,验电器箔片先张开再闭合,甲或乙撤出后箔片又张开,故 D 正确。

5. A 【解析】根据电荷守恒定律,电荷在转移的过程中,电荷的总量是不变的, A 正确;自然界只有两种电荷,正电荷和负电荷, B 错误;物体通常呈现电中性,是因为物体内正、负电荷数量相等, C 错误;摩擦起电、接触带电、感应起电的带电实质是电子发生转移,电荷不会创生或消灭, D 错误。

6. B 【解析】根据电荷守恒定律可知,电荷既不会创生,也不会消灭,在转移过程中,电荷的总量保持不变,所以在电极放电过程中,电极 A 得到的电荷数等于电极 B 失去的电荷数, B 正确, A、C、D 错误。

7. A 【解析】由于 A、B 都是金属导体,可移动的电荷是自由电子, B 带上负电荷的原因是电子由 A 移动到 B,转移的电子数为  $n = \frac{1 \times 10^{-8} \text{ C}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ C}} = 6.25 \times 10^{10}$  (个),故选 A。

8. A 【解析】元电荷是自然界中电荷量的最小单元,大小约为  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,故 A 正确, D 错误;物体所带电荷量为元电荷的

整数倍,电荷量不能连续取值,质子和电子是实物粒子,所带电荷量的大小为元电荷,但其本身不是元电荷,故 B、C 错误。

**注意说明** (1) 元电荷是最小的电荷量,它不是带电体;(2) 所有带电体的电荷量都是元电荷的整数倍。

9. D 【解析】带电体所带电荷量一定等于元电荷  $e$  的整数倍,只有 D 项为元电荷的整数倍,即  $4.8 \times 10^{-19} \text{ C} = 3e$ ,故 D 正确。

**关键点拨** 元电荷又称为基本电荷量,迄今为止,实验发现的最小电荷量就是电子所带的电荷量,人们把最小电荷量叫作元电荷,用符号  $e$  表示,任何带电体所带的电荷量都是元电荷的整数倍。

10. B 【解析】M 和 N 摩擦后 M 带正电荷,说明 M 失去电子,摩擦过程中电子从 M 转移到 N,故 A 错误;根据电荷守恒定律, M 和 N 这个与外界没有电荷交换的系统原来电荷量的代数和为 0,摩擦后电荷量的代数和应仍为 0,所以 N 在摩擦后一定带负电荷且所带电荷量为  $1.6 \times 10^{-10} \text{ C}$ ,故 B 正确;元电荷的值为  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,摩擦后 M 带正电荷且所带电荷量为  $1.6 \times 10^{-10} \text{ C}$ ,所以 M 在摩擦过程中失去  $10^9$  个电子,故 C 错误;电子所带的电荷量等于元电荷,但元电荷不是电子,元电荷数值是由美国物理学家密立根测得的,故 D 错误。

**关键点拨** 两个不带电的绝缘体经过摩擦后如果带电,则一定带上异种电荷,且电荷量大小相等。

11. B 【解析】三个金属球完全相同,所以两两接触后会进行电荷均分或电荷先中和后均分。第一次接触,甲球与乙球,甲、乙的电荷量均变为  $q_1 = \frac{-0.12}{2} \text{ C} = -0.06 \text{ C}$ ,即有  $-0.06 \text{ C}$  的电荷从甲转移到乙,故 B 正确;第二次接触,乙球与丙球,

乙、丙的电荷先中和后均分,为  $q_2 = \frac{-0.06+0.1}{2} \text{ C} = 0.02 \text{ C}$ ,

**突破点:** 先中和后均分实质为先求代数和再求平均值

可知乙球与丙球接触的过程,有  $-0.08 \text{ C}$  的电荷从乙转移到丙,故 C 错误;第三次接触,丙球与甲球,甲、丙的电荷先中和后均分,为  $q_3 = \frac{-0.06+0.02}{2} \text{ C} = -0.02 \text{ C}$ ,可知丙球与甲

球接触的过程,有  $-0.04 \text{ C}$  的电荷从甲转移到丙,最终甲球带  $-0.02 \text{ C}$  的电荷,故 A、D 错误。

#### 刷易错

★易错点 误认为相互吸引必带异种电荷

12. B 【解析】毛皮摩擦过的橡胶棒带负电荷,接触前,如果小球带电,根据异种电荷相互吸引可知,小球带正电;由于小球的质量较小,根据带电体能吸引轻小物体的性质可知,接触前,小球可能不带电;接触后又相互排斥,故接触后橡胶棒 B 和小球 A 一定带同种电荷,故 B 正确。

**易错分析** 本题容易出现的错误是只考虑相互吸引的两个物体都带电的情况,而忽略了其中一个物体可能不带电的情况,从而错选 A. 在分析电荷间的相互作用问题时,要知道相互吸引有两种情况:(1)两物体带异种电荷;(2)一个物体带电,另一个物体不带电.

### 刷提升

**1. B** 【解析】根据静电感应可知,易拉罐靠近气球一侧与气球带异种电荷,远离气球一侧与气球带同种电荷,故 **B 正确, A 错误**;气球对易拉罐远侧为斥力,对近侧为吸引力,并且对近侧的作用力大于对远侧的作用力,故 **C、D 错误**.

**2. B**

**思路导引** 遇到接地问题时,将导体与地球看成一个整体,则该导体为近端,带电体靠近时,与带电体带异种电荷,地球为远端,与带电体带同种电荷.

**【解析】**将带负电荷的绝缘棒移近两球,由于静电感应,甲球带正电荷,乙球带负电荷,用绝缘工具把两球分开后,它们带上了等量异种电荷,再移走棒并不影响两球带电情况,此时两球都带电, **A 错误**;若先将棒移走,则两球感应出的等量异种电荷立即全部中和,再用绝缘工具把两球分开,两球不会带上电荷, **B 正确**;使棒与其中一个球接触,则两球会因接触而带上负电荷, **C 错误**;若使乙球瞬时接地,则大地为远端,甲球为近端,由于静电感应,甲球带正电,再将棒移走,由于甲、乙两球是接触的,所以甲球上的电荷会重新分布在甲、乙两球上,则两球都带上正电荷, **D 错误**.

**3. D** 【解析】根据静电感应原理可知,若带负电的云接近避雷针顶端,则避雷针顶端带正电,故 **A 错误**;金属内的正电荷不会移动,故 **B 错误**;由 A 项分析可知,验电器 D 下端带负电,小球 C 在验电器 D 下端的吸引下撞击 A,然后和 A 带同种电荷(负电),相互排斥,和 B 接触,此时电子通过 B 导入大地,

**关键点:** C 和 B 接触时会将电荷转移给 B

然后 C 不带电,如此反复,验电器下端两小球始终带负电,所以两小球相互排斥,故 **D 正确, C 错误**.

**4. B** 【解析】用毛皮摩擦过的橡胶棒带负电,操作①中,将橡胶棒靠近不带电验电器的金属球时,由于静电感应,验电器的金属球带正电,则金属箔带负电,从而张开,随着橡胶棒靠近验电器金属球,金属箔张开的角度越来越大,是因为产生的感应电荷越来越多,则金属箔上聚集的负电荷也越来越多, **A 错误, B 正确**;操作②中,手接触验电器,金属箔中的负电荷经手流入大地,使得金属箔闭合,但金属球依旧属于近端,带正电, **C 错误**;操作③中,若先把手移开,再把橡胶棒移开,金属球上的电荷重新分布,金属箔与金属球均带正电荷,导致金属箔又张开,根据电荷守恒定律,电荷不会凭空产生, **D 错误**.

### 刷素养

**5. D** 【解析】导体原来不带电,由于静电感应,导体中的自由电子向 B 部分移动,使 B 部分带负电, A 部分带正电. 根据电荷守恒定律可知, A 部分减少的电子数目和 B 部分增加的电子数目相同,所以沿任意一条虚线切开时,都有 A 带正电, B

带负电,且  $Q_A = Q_B$ ,故 **D 正确**.

**教材变式** 本题目由教材 P5 第 3 题演变而来,考查了将导体沿不同位置分割后所带电荷量的关系,解题的关键是掌握电荷守恒定律.

## 第 2 节 库仑定律

### 课时 1 库仑定律

#### 刷基础

**1. D** 【解析】点电荷是一种理想化模型,实际是不存在的, **A 错误**;带电体能否被看成点电荷,主要看其形状和大小对所研究问题的影响是否可以忽略不计,与带电体的体积大小和

**突破点:** 点电荷的概念可类比质点的概念

电荷量多少没有关系, **B 错误, D 正确**;库仑力公式  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$

适用于点电荷模型,当  $r \rightarrow 0$  时,两电荷不能被看作点电荷,此时公式不适用, **C 错误**.

**2. C** 【解析】实验中将 A、C 球接触,使两球所带的电荷量相同,实验前 A、C 球带电荷量不需要相等,故 **A 错误**;在库仑那个时代,没有电荷量的单位,不可能准确测出每个小球的电荷量,故 **B 错误**;悬丝扭转的角度越大,说明 A、C 球间的库仑力越大,通过悬丝扭转的角度比较力的大小,故 **C 正确**;该实验探究出库仑力与距离的二次方成反比,故 **D 错误**.

**3. C** 【解析】由库仑定律可得  $F = \frac{k \cdot 3q \cdot 5q}{L^2} = \frac{15kq^2}{L^2}$ ,将 A 和 B 接触后分开,此时 A、B 的电荷量均为  $q$ ,再使 A、B 之间距离增大为原来的 2 倍,则它们之间的静电力大小为  $F' = \frac{kq \cdot q}{(2L)^2} = \frac{kq^2}{4L^2} = \frac{1}{60}F$ ,故选 C.

**关键点拨** (1)两导体接触后,电荷分配和导体的材料、形状、大小等有关,只有两导体完全相同时,电荷才平均分配. (2)电荷分配的原则:两个完全相同的金属球,若带同种电荷,接触后平分原来所带电荷量的总和;若带异种电荷,接触后先中和后平分.

(3)计算静电力时,电荷量只代入绝对值,力的方向单独判断,电荷中和时必须带电荷的正负号计算.

**4. A** 【解析】将 C 球先后与 A、B 球接触后, A、B、C 球带电荷量分别为  $+2Q$ 、 $+Q$ 、 $+Q$ ,对 B 球受力分析可得 B 球所受 A 球的静电力大小为  $F_1 = k \frac{2Q^2}{L^2}$ ,方向沿 AB 方向, B 球所受 C 球的静电力大小为  $F_2 = k \frac{Q^2}{(L \tan 60^\circ)^2} = \frac{kQ^2}{3L^2}$ ,方向沿 CB 方向,由力的合成可知 B 球所受静电力大小为  $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \frac{\sqrt{37}kQ^2}{3L^2}$ ,故选 A.

#### 刷易错

**★易错点 1 带电体看成点电荷的条件理解不到位**

**5. B** 【解析】若带电金属球 A、B 能看成点电荷,设两球心间距为  $r$ ,根据库仑定律,有  $F_1 = k \frac{4Q \cdot Q}{r^2}$ ,不带电的同样的金属球

C 先与 A 接触,再与 B 接触,然后移开 C,则 A、B 两金属球所带电荷量变为  $Q_A = -2Q$ 、 $Q_B = -\frac{Q}{2}$ ,则它们间的静电力大小变为

$$F_2 = k \frac{2Q \times \frac{Q}{2}}{r^2} = \frac{F_1}{4}, \text{由题意可知,两球半径相比两球间距不能忽略,原来带异种电荷,由于相互吸引,电荷主要集中在内侧,电荷间实际距离小于 } r, \text{故实际两球间静电力大小 } F > F_1, \text{后来带同种电荷,由于相互排斥,电荷主要集中在外侧,电荷间实际距离大于 } r, \text{故实际两球间静电力大小 } F' < F_2, \text{联立可得 } F' < \frac{1}{4} F, \text{B 正确.}$$

**易错分析** 由于题中带电金属球的半径与它们之间的距离相比不能忽略,因此不能看成点电荷,不能直接利用库仑定律计算静电力的大小,只能根据库仑定律定性判断静电力的大小.注意:库仑定律的适用条件是真空和静止点电荷.本题易错选 A,是由于没有正确理解库仑定律的适用条件,乱套公式.

★易错点 2 忽视电荷运动过程中位置关系变化对库仑力的影响

6. D 【解析】若 b 远离电荷 a 运动,则 a、b 间的库仑力做负功, b 的速度减小,随着 a、b 间距离增大,由  $F = k \frac{q_a q_b}{r^2}$  可知, a、b 间的库仑力减小,根据  $F = ma$  可知, b 的加速度将减小,即  $v-t$  图像的切线斜率绝对值减小,故 A、B 错误, D 正确;同理可知,若 b 靠近电荷 a 运动, b 的速度增大,随着 a、b 间距离减小, a、b 间的库仑力增大, b 的加速度增大,  $v-t$  图像的切线斜率的绝对值增大,故 C 错误.

**易错分析** 本题的易错点有二:一是对库仑力及运动关系理解不到位,没有正确把握 a 对 b 的库仑力是引力还是斥力,不能将力与运动状态变化进行关联;二是在应用  $F = k \frac{q_a q_b}{r^2}$  时,误认为 F 是恒力,没有正确写出表达式进行分析,从而导致错选 B、C.

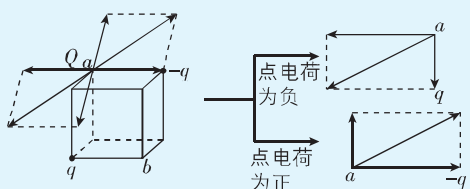
## 课时 2 库仑定律的综合问题

### 刷基础

1. A 【解析】b 处点电荷受到 a、c 两处点电荷的库仑力大小均为  $F = \frac{kq^2}{l^2}$ ,方向分别由 b 指向 a 和由 b 指向 c,又  $\angle abc = 120^\circ$ ,可知两库仑力的合力大小  $F_{\text{合}} = F = \frac{kq^2}{l^2}$ ,故选 A.

### 2. C

**思路导引** 求 a 点的点电荷受到的库仑力,可以化“立体”为“平面”,如图所示.



【解析】a 点的点电荷可能带正电,也可能带负电,根据力的合

成可知,该点电荷受到的库仑力不可能沿 ab 方向,故 A、B 错误;该点电荷受到的库仑力大小为  $F = \sqrt{\left(k \frac{Qq}{l^2}\right)^2 + \left(k \frac{Qq}{2l^2}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}kQq}{2l^2}$ ,故 C 正确, D 错误.

3. D 【解析】三个自由点电荷在同一直线上处于平衡状态,则一定满足“两同夹异,两大夹小,近小远大”,所以 A 与 C 是同种电荷,与 B 是异种电荷,故 A、B 正确;根据库仑定律,对三个点电荷进行受力分析,有  $k \frac{q_1 q_2}{(2r)^2} = k \frac{q_1 q_3}{(3r)^2} = k \frac{q_2 q_3}{r^2}$ ,化简可得

**关键点:** A、B 之间的引力等于 A、C 之间的斥力等于 B、C 之间的引力

$q_1 : q_2 : q_3 = 36 : 4 : 9$ ,故 C 正确, D 错误. 本题选说法不正

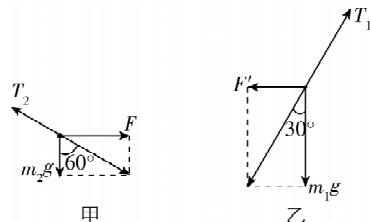
确的,故选 D.

**方法总结** 本题为三个自由点电荷仅在静电力作用下的平衡问题,三个点电荷要平衡必须在一条直线上,外侧两个点电荷相互排斥,中间的点电荷吸引外侧两个点电荷,所以外侧两个点电荷电性相同,中间点电荷与它们电性相反;要平衡中间点电荷的吸引力,必须满足外侧点电荷的电荷量大,中间点电荷的电荷量小,即:三个自由点电荷在同一直线上处于平衡状态时一定满足“两同夹异,两大夹小,近小远大”.

4. B 【解析】小环 C 不能在小球 A、B 间处于平衡状态,因为在小球 A、B 间所受库仑力指向同一个方向,也不能处于小球 A 的左侧,因为在小球 A 的左侧受到小球 A 对它的库仑力大于小球 B 对它的库仑力,不能平衡,所以小环 C 处于小球 B 的右侧,根据平衡条件有  $k \frac{4qQ}{(x+d)^2} = k \frac{qQ}{x^2}$ ,解得  $x = d$ ,由于小球 A、B 固定,小环 C 可能带正电也可能带负电,且带电荷量大小不能

**易错点:** 小球 A、B 固定,不属于三个自由点电荷平衡问题确定,故 A、C 错误, B 正确;小环 C 的电性未知,拉离平衡位置方向未知,若小环 C 带负电且靠近小球 B 拉动,小环 C 会在斥力作用下经过平衡位置再受引力作用,故 D 错误.

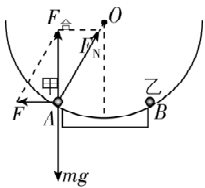
5. B 【解析】以 B 球为研究对象,受力分析如图甲所示,可知 A、B 间库仑力大小为  $F = m_2 g \tan 60^\circ = \sqrt{3} m_2 g$ , A 错误;以 A 球为研究对象,受力分析如图乙所示,可知 A、B 间库仑力大小  $F = F' = m_1 g \tan 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{3} m_1 g$ ,细线 OA 的弹力大小  $T_1 = \frac{m_1 g}{\cos 30^\circ} = \frac{2\sqrt{3}}{3} m_1 g$ , B 正确;由几何关系可知, A、B 之间距离为  $2l$ ,由库仑定律可知,两球间库仑力大小为  $F = \frac{k q_1 q_2}{(2l)^2} = k \frac{q_1 q_2}{4l^2}$ , C 错误;由前面分析可知  $F = \sqrt{3} m_2 g = \frac{\sqrt{3}}{3} m_1 g$ ,可得 A、B 的质量之比为  $m_1 : m_2 = 3 : 1$ , D 错误.



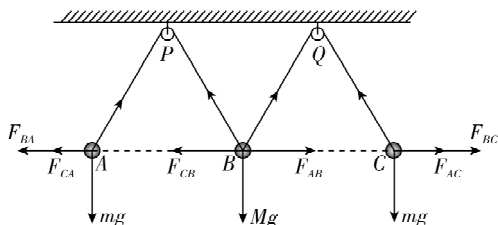
**教材变式** 本题目由教材 P23 第 3 题演变而来,教材考查了两细绳与竖直方向的偏角的大小关系,本题延伸考查了两球间库仑力的大小、细线的弹力大小及两球的质量关系。

**刷提升**

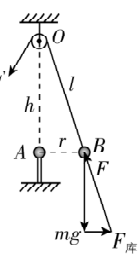
- 1. A** 【解析】对甲球受力分析如图所示,由已知条件可得  $AB=R$ ,由库仑定律可知,甲、乙间的库仑力大小为  $F=\frac{2kq^2}{R^2}$ ,由平衡条件可得  $F_{\text{合}}=mg=\frac{F}{\tan 30^\circ}$ ,解得甲球的质量  $m=\frac{2\sqrt{3}kq^2}{gR^2}$ ,故选 A.



- 2. A** 【解析】若 A、B、C 带同种电荷,相互之间都为斥力,受力如图所示.由于电荷量大小未知,三个小球受力可能平衡, A 正确.由题意可知细绳对 B 球在水平方向上拉力矢量和为 0,可知 B 球受到 A、C 球的库仑力大小相等、方向相反,则 A、C 球带同种电荷且电荷量相等;若 B 球与 A、C 球带异种电荷,由 A 球水平方向上受力平衡可知, B 球对 A 球的库仑力小于 C 球对 A 球的库仑力,则 B 球电荷量最小;若 B 球与 A、C 球带同种电荷, B 球的电荷量大小无法确定, B 错误.由于细绳拉力大小相等,则对 A 球和 B 球在竖直方向上分别有  $T\sin 60^\circ=mg$ ,  $T\sin 60^\circ=\frac{Mg}{2}$ ,联立解得  $M=2m$ , C 错误.若 A、B、C 带同种电荷,由图可知,对 A 球在水平方向上有  $F_{BA}+F_{CA}=T\cos 60^\circ=\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ ,可知 A、B 球之间库仑力大小不可能为  $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ , D 错误.



- 3. D** 【解析】对 B 球受力分析,如图所示,设 A、B 间的距离为  $r$ , O、A 间的距离为  $h$ , O、B 间距离为  $l$ , B 球重力为  $mg$ , A、B 之间的库仑力大小为  $F_{\text{库}}=k\frac{q_Aq_B}{r^2}$ ,根据力的矢量三角形与距离的几何三角形相似可得  $\frac{mg}{h}=\frac{F_{\text{库}}}{r}=\frac{F}{l}$ ,可得



突破点: 利用相似三角形解题

$F=\frac{mgl}{h}$ ,  $r=\sqrt{\frac{kq_Aq_Bh}{mg}}$ ,缓慢拉动细线, B 球移动过程支杆始终静止,且两球的电荷量均不变,可知  $l$  减小,  $h$  不变,所以  $F$  减小,即细线上的拉力一直减小;  $r$  不变,即 B 球的运动轨迹是一段圆弧,并且 B 球受到的库仑力大小不变,方向改变,故 A、B、C 错误.根据平衡条件可知,支杆受到水平面的摩擦力与 B 对 A 的库仑力的水平分量大小相等、方向相反,而 B 对 A 的库仑力大小不变,方向由水平向左变为斜向左下,所以

水平分量变小,则支杆受到水平面向右的摩擦力逐渐减小,故 D 正确.

**4. (1)**  $\frac{kQq}{6L^2}$ , 方向水平向左 (2)  $\frac{6mgL^2-\sqrt{3}kQq}{6mgL^2+\sqrt{3}kQq}$

【解析】(1) 在 B 点对小球受力分析,如图所示,

受到的库仑力大小为  $F_{\text{库}}=\frac{kQq}{(\sqrt{3}L)^2}=\frac{kQq}{3L^2}$ ,

设小球在 B 点的库仑力与竖直细杆的夹角为  $\theta$ ,

由几何关系得  $\cos \theta=\frac{1}{2}$ ,  $\theta=\frac{\pi}{3}$ ,

把  $F_{\text{库}}$  分别沿水平方向、竖直方向分解,水平方向由二力平衡可得在 B 点杆对小球的弹力为  $F_N=F_{\text{库}}\sin \theta$ ,

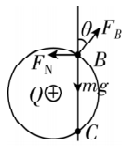
联立可得  $F_N=\frac{kQq}{6L^2}$ , 方向水平向左.

(2) 在 B 点,由牛顿第二定律可得  $mg-F_{\text{库}}\cos \theta=ma_1$ ,

在 C 点,由牛顿第二定律可得  $mg+F_{\text{库}}\cos \theta=ma_2$ ,

由对称性可知  $F_B=F_C$ ,

联立可得  $\frac{a_1}{a_2}=\frac{6mgL^2-\sqrt{3}kQq}{6mgL^2+\sqrt{3}kQq}$ .

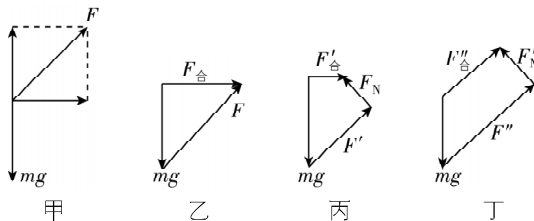


**刷素养**

- 5. D** 【解析】根据题目条件,仅能知道 N 与 M 之间产生了库仑力,二者所带电荷量大小关系无法判断,故 A 错误;对 M 受力分析,如图甲所示,任意位置库仑力与 M 的运动方向垂直,做功为零,故 B 错误; M 在原位置做圆周运动时,重力和库仑力的合力提供向心力,如图乙所示,如果将 M 向下移动,此时库仑力减小,由重力、支持力和库仑力的合力提供向心力,如

突破点: 合力水平,充当向心力,作图定性分析

图丙所示, M 可以在新平面内做匀速圆周运动,如果将 M 向上移动,则库仑力变大,合力必然斜向上,如图丁所示, M 不能在新平面内做匀速圆周运动,故 C 错误, D 正确.



**第 3 节 电场 电场强度**

**课时 1 电场 电场强度及电场强度的叠加**

**刷基础**

- 1. D** 【解析】根据电场强度的定义式有  $E=\frac{F}{q}$ , 该表达式为比值定义式,电场中某点的电场强度由电场自身决定,与试探电荷无关,可知移去试探电荷、改变试探电荷的电性或电荷量大小, P 点的电场强度均不变,故选 D.

**关键点拨** 电场强度是用比值定义法定义的,比值定义法的基本特点是被定义的物理量往往反映物质的最本质属性,它不随定义所用的物理量的变化而变化. 电场强度仅由电场本身决定,与有无试探电荷及试探电荷的电荷量、电性、所受静电力的大小无关.



**2. B** 【解析】在电场中,试探电荷所受电场力  $F=Eq$ ,因此  $F-q$  图像斜率绝对值大小反映电场强度的大小,题图中四个点与  $O$  点连线的斜率不同,说明四个点所在位置的场强不同,且  $E_d > E_c > E_a > E_b$ ,故 **A 错误, B 正确**;电场强度是由电场本身决定的,与试探电荷的电性、电荷量以及所受电场力均无关,即试探电荷不影响原来的电场,故 **C 错误**;  $a$ 、 $c$  两个位置试探电荷电性不同,电场力反向,所以场强方向相同,故 **D 错误**。

**3. C** 【解析】电荷量为  $-q$  的试探电荷在  $a$  点受到的库仑力方向指向  $Q$ ,电场强度方向背离  $Q$ ,则  $Q$  带正电,故 **A 错误**;根据公式  $E=k\frac{Q}{r^2}$  知  $b$ 、 $c$  两点电场强度大小相同,方向不同,故

**易错点:** 易忽略电场强度是矢量,除了比较大小外还需要比较方向

**B 错误**;根据公式  $E=k\frac{Q}{r^2}$ ,可知  $\frac{E_a}{E_b} = \frac{r_b^2}{r_a^2} = \frac{4}{1}$ ,故 **C 正确**;场强由电场本身决定,与试探电荷无关,所以  $a$  处的试探电荷电荷量变为  $+2q$ ,该处场强不变,故 **D 错误**。

**4. A** 【解析】由题图乙可知  $A$ 、 $B$  两点试探电荷的电性相反,在  $A$ 、 $B$  两点的试探电荷所受静电力方向均为正,可知  $A$ 、 $B$  两点的电场强度方向相反,点电荷位于  $A$ 、 $B$  两点之间, **A 正确**;电场强度由场源电荷  $Q$  与距场源电荷的距离共同决定,与试探电荷无关,将试探电荷移走,  $A$ 、 $B$  两点的电场强度不改变, **B 错误**;电场强度的定义式  $E=\frac{F}{q}$  变形得  $F=Eq$ ,可知  $F-q$  图像

中图线斜率的绝对值表示该点电场强度的大小,可得  $E_A = \frac{4 \times 10^{-3} \text{ N}}{2 \times 10^{-6} \text{ C}} = 2 \times 10^3 \text{ N/C}$ ,  $E_B = \frac{2 \times 10^{-3} \text{ N}}{4 \times 10^{-6} \text{ C}} = 500 \text{ N/C}$ ,所以  $A$ 、 $B$  两点的电场强度大小之比为  $E_A : E_B = 4 : 1$ , **C 错误**;点电荷产生的场强  $E=\frac{kQ}{r^2}$ ,点电荷  $Q$  在  $A$ 、 $B$  两点之间,设点电荷  $Q$  的坐标

为  $x$ ,则  $2.0 \text{ m} < x < 5.0 \text{ m}$ ,有  $E_A = \frac{kQ}{(x-2.0 \text{ m})^2}$ ,  $E_B = \frac{kQ}{(5.0 \text{ m}-x)^2}$ ,又  $E_A : E_B = 4 : 1$ ,解得  $x=3.0 \text{ m}$ , **D 错误**。

**教材变式** 本题目由教材 P24 第 6 题演变而来。教材中试探电荷为同种电荷,本题中试探电荷为异种电荷,且延伸考查了点电荷场强与试探电荷的关系。

**5. B** 【解析】在  $0 \sim 6 \text{ cm}$  的范围内,两点电荷产生的场强方向相同,均沿  $x$  轴正方向,故合场强水平向右,因此场强一定不为 0,故 **B 错误**;设合场强为 0 的坐标为  $x(x > 6 \text{ cm})$ ,由

**关键:** 根据三个自由点电荷平衡推论“两同夹异,两大夹小,近小远大”可知合场强为 0 的位置在  $Q_2$  的右侧

$k\frac{Q_1}{x^2} = k\frac{|Q_2|}{(x-6 \text{ cm})^2}$ ,可得  $x=12 \text{ cm}$ ,故 **A 正确**;根据场强的叠加可知,  $6 \text{ cm} < x < 12 \text{ cm}$  区间场强沿  $x$  轴负方向,若在  $x=8 \text{ cm}$  的位置放一正电荷,则其所受电场力方向沿  $x$  轴负方向,故 **C 正确**;根据场强的叠加可知,  $x > 12 \text{ cm}$  区间场强沿  $x$  轴正方向,若在  $x=14 \text{ cm}$  的位置放一负电荷,则其所受电场力方向沿  $x$  轴负方向,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 P17 第 7 题演变而来。教材考查了场强为 0 的位置和不同位置的场强方向,本题延伸考查了电荷在不同位置时所受电场力的方向。

**易错分析** 对于异种点电荷,合场强为零的位置在两点电荷的连线上电荷量少的点电荷外侧;对于同种点电荷,合场强为零的位置在两点电荷的连线上两点电荷之间,靠近电荷量少的点电荷。本题易因对点电荷的场强方向不明确而导致错解。

**6. D** 【解析】由题意可得,点电荷  $B$ 、 $C$  对

$A$  的静电力大小均为  $F=k\frac{q^2}{L^2}$ ,三个带正

电的点电荷构成等边三角形,由几何知识和力的合成可得点电荷  $B$ 、 $C$  对  $A$  的静电力合力大小为  $F_{\text{合}} = 2F\cos 30^\circ =$

$\frac{\sqrt{3}kq^2}{L^2}$ , **A、B 错误**;三个点电荷在  $O$  点产

生的电场强度方向如图所示,根据点电荷场强公式  $E=\frac{kq}{r^2}$ ,

可知点电荷  $B$  和点电荷  $C$  在  $O$  点的电场强度大小相等、方向相反,二者的矢量和为零,点电荷  $A$  在  $O$  点的电场强度即为

$O$  点的合电场强度,大小为  $E_O = \frac{kq}{r_{AO}^2}$ ,又  $r_{AO} = L\sin 60^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ ,

联立可得  $E_O = \frac{4kq}{3L^2}$ , **C 错误, D 正确**。

**7. D** 【解析】 $A$  点的电荷带正电,由于试探电荷带正电,则试探电荷受到  $A$  点的电荷的斥力作用,又由于试探电荷沿着直线从  $A$  向  $B$  运动过程中速度先增大后减小,经过  $C$  点时速度最大,故试探电荷受到  $B$  点的电荷的斥力作用,所以放置在  $B$  点的电荷带正电, **A 错误**;试探电荷沿着直线从  $A$  向  $B$  运动过程中速度先增大后减小,在  $C$  点时速度最大,说明试探电荷先做加速度减小的加速运动,加速度减小到零后反向增大,做加速度增大的减速运动,试探电荷在  $C$  点加速度为零,合外力为零,说明  $C$  点场强为零, **B 错误**;过  $C$  点与  $AB$  垂直的直线上的点,根据场强叠加原理可知,只有  $C$  点场强等于零,其他各点场强不等于零, **C 错误**;  $A$ 、 $B$  两点间的距离为  $L$ ,

$AC=2BC$ ,  $C$  点场强为零,则  $\frac{kQ_A}{(\frac{2}{3}L)^2} - \frac{kQ_B}{(\frac{1}{3}L)^2} = 0$ ,解得  $Q_B =$

$\frac{1}{4}Q_A$ ,即放在  $A$ 、 $B$  两点的电荷所带电荷量绝对值之比为  $4 :$

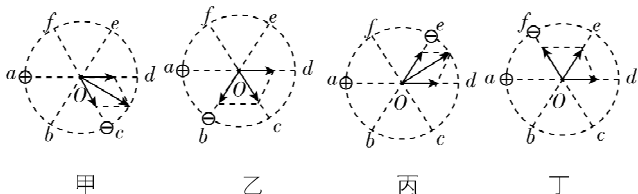
**1, D 正确**。

**8. B** 【解析】设正方形的边长为  $L$ ,则  $+2q$  的点电荷在  $O$  点产生的场强大小为  $E_1 = k\frac{2q}{(\frac{\sqrt{2}}{2}L)^2} = \frac{4kq}{L^2}$ ,方向沿  $OC$  方向;  $+q$

的点电荷和  $-q$  的点电荷在  $O$  点产生的合场强大小为  $E_2 = \frac{kq}{(\frac{\sqrt{2}}{2}L)^2} + \frac{kq}{(\frac{\sqrt{2}}{2}L)^2} = \frac{4kq}{L^2}$ ,方向沿  $OD$  方向;三个点电荷在  $O$

点产生的合场强大小为  $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} = \frac{4\sqrt{2}kq}{L^2}$ , 方向沿  $OM$  方向, 要使  $O$  点的电场强度为零, 点电荷只能放在  $M$ 、 $C$  两点中的  $M$  点, 且该点电荷只能带正电, 由题可知,  $OM = \frac{1}{2}L$ , 由  $E = \frac{kQ}{(\frac{L}{2})^2}$  可得该点电荷的电荷量  $Q = \sqrt{2}q$ , 故选 B.

- 9. B** 【解析】由题意可知, 负点电荷位于  $d$  点时, 两点电荷在圆心  $O$  产生的电场强度大小为  $E$ , 则正、负点电荷在  $O$  处产生的电场强度大小均为  $\frac{E}{2}$ , 方向沿  $Od$  方向, 当负点电荷移至  $c$  点时, 两点电荷在  $O$  点产生的电场强度方向夹角为  $60^\circ$ , 大小不变, 则  $O$  点的合电场强度大小为  $2 \times \frac{E}{2} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}E$ , 方向沿  $\angle cOd$  的角平分线斜向右下方, 如图甲所示, **A 错误**; 当负点电荷移至  $b$  点时, 两点电荷在  $O$  点产生的电场强度方向夹角为  $120^\circ$ , 大小不变, 则  $O$  点的合电场强度大小为  $\frac{E}{2}$ , 方向沿  $Oc$  方向, 如图乙所示, **B 正确**; 当负点电荷移至  $e$  点时, 两点电荷在  $O$  点产生的电场强度方向夹角为  $60^\circ$ , 大小不变, 则  $O$  点的合电场强度大小为  $2 \times \frac{E}{2} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}E$ , 方向沿  $\angle dOe$  的角平分线斜向右上方, 如图丙所示, **C 错误**; 当负点电荷移至  $f$  点时, 两点电荷在  $O$  点产生的电场强度方向夹角为  $120^\circ$ , 大小不变, 则  $O$  点的合电场强度大小为  $\frac{E}{2}$ , 方向沿  $Oe$  方向, 如图丁所示, **D 错误**.

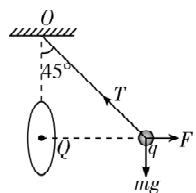


**方法总结** 如果场源电荷是多个点电荷, 则电场中某点的电场强度等于各个点电荷单独在该点产生的电场强度的矢量和, 遵循平行四边形定则.

### 刷易错

★易错点 易忽略点电荷的场强公式的适用条件而出错

- 10. D** 【解析】根据题意, 对小球受力分析, 如图所示, 由平衡条件有  $T \cos 45^\circ = mg$ ,  $T \sin 45^\circ = F$ , 解得  $T = \sqrt{2}mg$ ,  $F = mg$ , 由几何关系可得, 金属环环心到小球的距离为  $d = \frac{\sqrt{2}}{2}L$ , 由于金属环不能看成点电



荷, 则金属环和小球间的静电力大小  $F \neq \frac{kQq}{d^2} = \frac{2kQq}{L^2}$ , **A、B**

**错误**; 根据题意, 由公式  $E = \frac{F}{q}$  可得, 金属环在小球处产生

的电场的电场强度大小为  $E = \frac{mg}{q}$ , 由于金属环不能看成点

电荷, 则金属环在小球处产生的电场的电场强度大小  $E \neq \frac{kQ}{d^2} = \frac{2kQ}{L^2}$ , **C 错误, D 正确**.

**易错分析** 本题易混淆点电荷电场强度公式的适用条件而

出错.  $E = k \frac{Q}{r^2}$  只适用于点电荷所产生的电场, 本题中带电的金属环不能看成点电荷, 因此不能用电荷的电场强度公式求带电金属环在小球处产生的电场强度大小.

### 刷提升

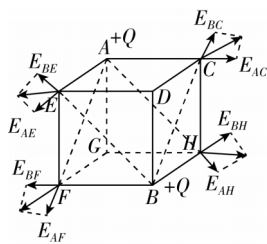
- 1. D** 【解析】设半圆弧的半径为  $R$ , 小球到达  $B$  点时速度大小为  $v$ , 小球的运动方向始终垂直于库仑力, 故库仑力不做功, 小球从  $A$  运动到  $B$  的过程中, 由机械能守恒定律得  $mgR = \frac{1}{2}mv^2$ , 小球经过  $B$  点时, 库仑力竖直向上, 由牛顿第二定律

得  $qE - mg = \frac{mv^2}{R}$ , 联立可得  $E = \frac{3mg}{q}$ , 又小球带负电, 故场强方向竖直向下, **D 正确**.

- 2. A** 【解析】因为  $Q_1 > Q_2$ , 根据电场叠加原理可知, 电场强度为零的位置在  $\frac{x_0}{2} \sim x_0$  之间, 在电场强度为零的位置左侧电场方向沿  $x$  轴正方向, 其右侧电场方向沿  $x$  轴负方向, **A 正确**.

- 3. D** 【解析】假设将负点电荷换成电荷量相等的正点电荷, 则  $O$  处电场强度为 0, 可知题图中四个正点电荷在  $O$  处的合电场强度方向由  $O$  指向负点电荷, 大小为  $E_1 = k \frac{q}{r^2}$ , 而题图中负点电荷在  $O$  处的电场强度方向由  $O$  指向负点电荷, 大小为  $E_2 = k \frac{q}{r^2}$ , 故几何中心  $O$  处电场强度方向沿负点电荷与圆心  $O$  连线指向负点电荷, 大小为  $E = E_1 + E_2 = 2k \frac{q}{r^2}$ , 故选 D.

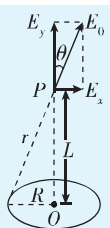
- 4. C** 【解析】如图所示, 由点电荷电场叠加原理可知,  $C$ 、 $E$  两点的电场强度大小相等, 方向不同, 故 **A 错误**; 若仅把  $A$  处的点电荷换成电荷量为  $-Q$  的点电荷, 顶点  $A$  处的电荷在  $E$  点场强方向相反, 顶点  $B$  处的电荷在  $E$  点场强方向不变, 由矢量叠加可知,  $E$  点的电场方向改变但是不相反, 故 **B 错误**;  $A$  处点电荷在  $F$  点的电场强度大小  $E_{AF} = k \frac{Q}{(\sqrt{2}a)^2} = \frac{kQ}{2a^2}$ ,  $B$  处点电荷在  $F$  点的电场强度大小  $E_{BF} = k \frac{Q}{a^2}$ , 所以  $E_F = \sqrt{E_{AF}^2 + E_{BF}^2} = \frac{\sqrt{5}kQ}{2a^2}$ , 故 **C 正确**; 由电场叠加可知,  $F$ 、 $H$  两点的电场强度大小相等, 方向不相反, 故 **D 错误**.



**关键点拨** 本题的难点在于空间思维, 要正确构建立体模型, 找到边、角关系以确定不同点电荷在不同位置所产生的电场强度的大小和方向, 熟练掌握电场强度矢量合成法则.

5. C

**思路导引** 对于带电荷量均匀的圆环或导体棒,求环或棒之外某点的场强,一般使用微元法.从环或棒上选取一“微元”加以分析,对该“微元”运用点电荷的场强公式,利用场强叠加原理可知场强为所有“微元”产生的场强的矢量和.



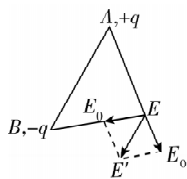
**【解析】**将圆环分为  $n$  等份(每一份可以认为是一个点电荷),则每份带的电荷量为  $q_0 = \frac{Q}{n}$ ,每份在  $P$  点产生的场强大小为  $E_0 = \frac{kq_0}{r^2} = \frac{k \frac{Q}{n}}{\left(\frac{L}{\cos \theta}\right)^2} = \frac{kQ \cos^2 \theta}{nL^2}$ ,根据对称性可知, $P$  点处水平方向的合场强为零,则  $P$  点的电场强度方向竖直向上,大小为  $E = nE_0 \cos \theta = \frac{kQ \cos^3 \theta}{L^2}$ ,故 **A、D 正确, C 错误**;因小球在  $P$  点静止,由二力平衡可得  $mg = qE$ ,解得  $P$  点场强大小  $E = \frac{mg}{q}$ ,故 **B 正确**.由于本题选错误的,故选 **C**.

6. B

**思路导引** 信息提取: $v-t$  图像的切线斜率表示加速度,也可以反映小物块受到的静电力的变化情况,根据功能关系,可判断小物块机械能的变化情况.

**【解析】**小物块带负电,从  $A$  点由静止运动至  $C$  点速度增大,则动能增大,静电力做正功,可知两点电荷是负电荷, **A 错误**;由牛顿第二定律得  $E|q| = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ,结合题图乙可求出中垂线上  $B$  点的电场强度大小为  $E = 1 \times 10^4 \text{ V/m}$ , **B 正确**;  $v-t$  图像与  $t$  轴围成图形的面积表示位移,可知  $AB$  的长度小于  $BC$  的长度,故  $B$  点不是  $A、C$  连线的中点, **C 错误**;小物块从  $A$  点运动到  $C$  点的过程中速度增大,则动能增大,而重力势能不变,可知机械能增大, **D 错误**.

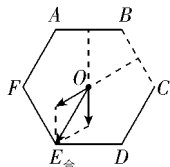
**7. D 【解析】** $B、C、D$  三点处的点电荷在  $O$  点产生的电场强度叠加后为零,故  $O$  点的电场强度等于  $A$  处点电荷在  $O$  点产生的电场强度,方向垂直于正三角形  $BCD$  所在平面向下, **A、B 错误**;根据几何关系可知  $r_{AE} = \frac{\sqrt{3}}{2}L$ ,



根据点电荷的场强公式知  $A$  点的点电荷在  $E$  点产生的电场强度大小为  $E_{AE} = k \frac{q}{r_{AE}^2} = k \frac{4q}{3L^2}$ , **D 正确**;  $C、D$  处两点电荷在  $E$  点产生的电场强度叠加后为零,  $A、B$  两处的点电荷到  $E$  点的距离相等,则在  $E$  点产生的电场强度大小相等,如图所示,根据平行四边形定则可知,合场强的方向平行于  $AB$ , **C 错误**.

**8. D 【解析】**由题意可知,电荷量为  $+Q$  的点电荷在  $O$  点产生的场强大小为  $E = \frac{kQ}{\left(\frac{\sqrt{3}}{2}L\right)^2} = \frac{4kQ}{3L^2}$ ,根据电场的叠加和对称性可

知,每根绝缘细棒在  $O$  点产生的场强大小均为  $E = \frac{4kQ}{3L^2}$ ,因此点电荷及  $AB$  边上的细棒在  $O$  点的合场强大小  $E_{\text{合}} = 2E \cos 30^\circ = \frac{4\sqrt{3}kQ}{3L^2}$ ,方向如图所示.若移走点电荷及



$AB$  边上的细棒,那么其余细棒在  $O$  点的合场强大小为  $E'_{\text{合}} = \frac{4\sqrt{3}kQ}{3L^2}$ ,方向与图中  $E_{\text{合}}$  的方向相反,故 **D 正确**.

**9. D 【解析】**根据几何关系可得  $x_{Ac} = \sqrt{L^2 + (2L)^2} = \sqrt{5}L$ ,  $\cos \angle Oca = \frac{2L}{\sqrt{5}L} = \frac{2\sqrt{5}}{5}$ ,点电荷  $-Q$  在  $c$  点产生的场强沿  $y$  轴的分量大小为  $E_{cy} = \frac{kQ}{x_{Ac}^2} \cos \angle Oca = \frac{2\sqrt{5}kQ}{25L^2}$ ,方向沿  $y$  轴负方向,故 **A 错误**;根据几何关系可得  $x_{Ba} = \sqrt{(4L)^2 + (2L)^2} = 2\sqrt{5}L$ ,  $\cos \angle Oab = \frac{2L}{2\sqrt{5}L} = \frac{\sqrt{5}}{5}$ ,点电荷  $+2Q$  在  $a$  点产生的场强沿  $y$  轴的分量大小为  $E_{ay} = \frac{k \times 2Q}{x_{Ba}^2} \cos \angle Oab = \frac{\sqrt{5}kQ}{50L^2}$ ,方向沿  $y$  轴负方向,故 **B 错误**;由点电荷电场的对称性可知点电荷  $+2Q$  在  $c$  点产生的场强沿  $y$  轴的分量大小  $E'_{cy} = \frac{\sqrt{5}kQ}{50L^2}$ ,方向沿  $y$  轴正方向,点电荷  $-Q$  和点电荷  $+2Q$  在  $c$  点产生的场强沿  $y$  轴的分量大小不相等, $c$  点电场强度的方向不可能水平向左,故 **C 错误**;根据电场强度的叠加原理可知  $b$  点的场强大小为  $E_b = \frac{kQ}{L^2} + \frac{k \times 2Q}{(2L)^2} = \frac{3kQ}{2L^2}$ ,  $d$  点场强大小为  $E_d = \frac{kQ}{(3L)^2} - \frac{k \times 2Q}{(6L)^2} = \frac{kQ}{18L^2}$ ,可知  $\frac{E_b}{E_d} = 27$ ,即  $b$  点场强的大小为  $d$  点场强的大小的 27 倍,故 **D 正确**.

**刷素养**

**10. A 【解析】**将细杆中间断开看成两根细杆,题图甲中  $E_1$  与  $E_2$  的夹角设为  $\theta$ ,则中间点的场强大小为  $E_2 = 2E_1 \cos \theta$ ,可

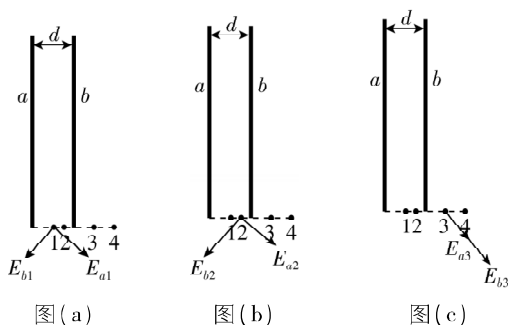
**突破点:** 中间点的场强相当于两个端点场强的叠加

得  $\theta = 45^\circ$ ,即细杆在两端的场强的方向与水平方向的夹角为  $45^\circ$ .两杆在 1 处的场强如图(a)所示,又因为 1 到  $a、b$  两杆的距离均为  $\frac{d}{2}$ ,则  $E_{a1} = E_{b1} = \frac{\sqrt{2}k\lambda}{\frac{d}{2}} = \frac{2\sqrt{2}k\lambda}{d}$ ,则 1 处的合场强

大小为  $E'_1 = \sqrt{2}E_{a1} = \frac{4k\lambda}{d}$ ,故 **A 正确**;两杆在 2 处的场强如图(b)所示,又因为 2 到  $b$  杆的距离小,则  $E_{a2} < E_{b2}$ ,根据平行四边形定则可知,合场强斜向左下,故 **B 错误**;两杆在 3 处的场强如图(c)所示,由题意可知  $E_{a3} = \frac{\sqrt{2}k\lambda}{\frac{3d}{2}} = \frac{2\sqrt{2}k\lambda}{3d}$ ,

$E_{b3} = \frac{\sqrt{2}k\lambda}{\frac{d}{2}} = \frac{2\sqrt{2}k\lambda}{d}$ ,3 处合场强大小为  $E_3 = E_{a3} + E_{b3} =$

$\frac{2\sqrt{2}k\lambda}{3d} + \frac{2\sqrt{2}k\lambda}{d} = \frac{8\sqrt{2}k\lambda}{3d}$ , 根据题意和场强叠加原理, 可知 3、4 处合场强方向相同, 故 C、D 错误.



## 课时 2 电场线

### 刷基础

**1. D** 【解析】电场是客观存在的一种特殊物质, 电场线是为了形象描述电场而假想的线, 电场线实际不存在, 电场线上每点的切线方向表示该点的电场强度方向, 由于空间某位置的电场强度方向一定, 可知, 电场线不能在空间相交, 又由于电场线分布的密集程度可表示电场强度大小, 而电场强度不可能无穷大, 则电场线不能在空间相切, 故 A 错误; 电场线分布的密集程度表示电场强弱, 可知, 在电场中, 电场线通过的点, 场强不为零, 没有电场线的区域内的点场强不一定等于零, 故 B 错误; 电场线分布的密集程度表示电场强弱, 可知, 同一试探电荷在电场线密集的地方所受电场力大, 故 C 错误; 电场看不见、摸不着, 为了形象描述电场, 人为引入电场线, 电场线是人们假想的, 用以形象表示电场的强弱和方向, 客观上并不存在, 故 D 正确.

**2. C** 【解析】负点电荷电场中电场线是从无穷远发出, 到负电荷终止, 电场线是直线, 故 A 错误; 电场线密的地方电场强度大, 电场线疏的地方电场强度小, 由题图可知, A 点比 B 点场强大, 点电荷在 A 点受到的电场力比在 B 点受到的电场力大, 由牛顿第二定律可知, 点电荷仅在电场力的作用下, 在 A 点的加速度比在 B 点的加速度大, 故 C 正确, B 错误; 电场线的切线方向为该点场强的方向, 负电荷在 B 点处受到的电场力的方向与场强的方向相反, D 错误.

**3. B** 【解析】电场强度是矢量, 题图甲、丙、丁中 a、b 两点电场强度大小相等, 方向不同; 题图乙中两等量异种点电荷连线的中垂线上与连线等距离的 a、b 两点电场强度大小相等、方向相同, B 正确.

易错点: 矢量相同需满足大小和方向都相同

**关键点拨** 分析矢量时, 一定要注意矢量既有大小又有方向, 只有大小和方向都相同时, 矢量才相同.

**4. B** 【解析】根据题图和对称性可知, B、C 两点处的电场线疏密程度相同, 则 B、C 两点处的电场强度大小相等, 方向相同, A、D 两点处的电场线疏密程度相同, 则 A、D 两点的电场强度大小相等, 方向相同, A 正确, B 错误; 由题图可以看出, E、O、F 三点中, O 点处的电场线最密, 所以 O 点处的场强最强, B、O、C 三点中, O 点处的电场线最疏, 所以 O 点场强最弱, C、D 正确. 故选 B.

**5. D** 【解析】根据等量同种点电荷的电场分布特点可知, O 点电场强度为零, A、B 两点的电场强度大小相等且不为零, 但方向相反, 即 O 点的电场强度小于 A 点, 故 A、B 错误; 根据  $F=qE$  可知电子经过 O 点时受到的合力为零, 加速度为零, 故 C 错误; 电子从 A 点由静止释放做加速运动, 经过 O 点后做减速运动, 所以电子经过 O 点时的速度最大, 故 D 正确.

关键点: 加速度为零的位置速度最大

**6. C** 【解析】根据题图和点电荷的电场分布可知, 右侧点电荷带正电, 左侧点电荷带负电, 即两点电荷的电性相反, A 错误; 若两点电荷所带的电荷量相等, 则左右电场线的分布关于点电荷连线的中垂线对称, 根据题图可知, 右侧点电荷周围的电场线分布比左侧点电荷周围电场线分布密集一些, 则右侧点电荷的电荷量大于左侧点电荷的电荷量, 即两点电荷所带的电荷量不相等, B 错误; 电场线分布的疏密程度能够表示电场的强弱, 根据题图可知, A 点的电场线分布比 B 点的电场线分布密集, 则 A 点的电场强度比 B 点的电场强度大, C 正确, D 错误.

**7. C** 【解析】做曲线运动的物体, 合力指向运动轨迹的凹侧, 可知带电粒子受到的静电力的方向为沿着电场线向左, 所以粒子带正电, A 错误; 粒子可能是从 a 点沿轨迹运动到 b 点, 也可能是从 b 点沿轨迹运动到 a 点, B 错误; 由电场线的疏密程度可知, c 点处电场线密集, 场强较大, 粒子在 c 点处所受静电力较大, 加速度一定大于在 b 点的加速度, C 正确; 若粒子从 c 点运动到 a 点, 静电力与速度方向成锐角, 所以粒子做加速运动, 若粒子从 a 点运动到 c 点, 静电力与速度方向成钝角, 所以粒子做减速运动, 故粒子在 c 点的速度一定小于在 a 点的速度, D 错误.

### 方法总结 “电场线+运动轨迹”组合模型

模型特点: 当带电体在电场中的运动轨迹是一条与电场线不重合的曲线时, 这种现象简称为“拐弯现象”, 其实质为“运动与力”的关系. 运用牛顿运动定律的知识分析:

(1) “运动与力两线法”——画出“速度线”(运动轨迹在某位置的切线)与“力线”(在同一位置电场线的切线方向, 需指向轨迹的凹侧), 从二者的夹角情况分析带电粒子做曲线运动的情况.

(2) “三不知时要假设”——电荷的正负、电场的方向、电荷运动的方向, 是题目中相互制约的三个因素. 若已知其中一个, 可分析判定各待求量; 若三个都不知(三不知), 则要用“假设法”进行分析.

**8. C** 【解析】带电粒子只在电场力作用下, 由静止开始运动, 由  $E_k = Eq \cdot x$  可得  $E_k-x$  图像的斜率绝对值表示带电粒子所受的电场力的大小, 由题图乙知, 该电场为匀强电场, 设电场强度大小为 E, 则带电粒子由 O 点运动到 A 点的过程中, 根据动能定理有  $qEd = E_{k0}$ , 解得  $E = \frac{E_{k0}}{qd}$ , 故选 C.

**9. A** 【解析】点电荷 a 在 bc 所在直线方向受力平衡, 则点电荷 b、c 对点电荷 a 的库仑力沿 bc 所在直线方向的分力必然等大反向, 因此点电荷 b、c 电性、电荷量必然相同. 若点电荷 a 带正电, 点电荷 b、c 均带负电, 根据正电荷所受的电场力与场



强方向相同,异种电荷间存在引力,可知点电荷  $a$  可以受力平衡,点电荷  $b$  受点电荷  $a$  沿  $ba$  方向的引力、受点电荷  $c$  沿  $cb$  方向的斥力、逆着电场线方向的电场力,可知点电荷  $b$  可以受力平衡,同理,可得点电荷  $c$  可以受力平衡,其他假设三个点电荷均不可能保持平衡,故 **A 正确**;设点电荷  $a$  的电荷量数值为  $q$ ,点电荷  $b$ 、 $c$  的电荷量数值均为  $Q$ ,匀强电场电场强度大小为  $E$ ,对整体受力分析,有  $qE = 2QE$ ,解得  $q = 2Q$ ,点电荷  $a$ 、 $b$ 、 $c$  的电荷量的绝对值之比为  $2 : 1 : 1$ ,故 **B 错误**;设等边三角形边长为  $L$ ,点电荷  $b$ 、 $c$  之间的库仑力大小  $F_0 = k \frac{Q^2}{L^2}$ ,点电荷  $a$ 、 $b$  之间的库仑力大小  $F = k \frac{qQ}{L^2}$ ,可得  $F = 2F_0$ ,故 **C 错误**;对点电荷  $a$ ,由平衡条件有  $qE = 2 \frac{kqQ}{L^2} \cos 30^\circ$ ,解得  $qE = 2\sqrt{3}F_0$ ,故 **D 错误**.

**一题多解** 三个点电荷在外电场作用下恰好平衡,所以整体处于电中性,且三点电荷组成的系统内部电场向上方向与外部电场方向相反,左右方向合场强为零. A 项情况符合前述要求, A 正确. 从定性分析角度看 B、C 项, B 项不符合整体电中性要求, B 错误;  $b$ 、 $c$  间库仑力大小为  $F_0$ ,所以  $a$ 、 $b$  和  $a$ 、 $c$  在  $bc$  所在直线方向库仑力分力大小为  $F_0$ ,所以  $a$ 、 $b$  间库仑力大于  $F_0$ , C 错误.

## 刷易错

### ★易错点 1 不能正确理解电场线的特点

**10. B** 【解析】电子仅在电场力作用下从  $a$  点运动到  $b$  点,速度不断增大,电子所受的电场力一定是由  $a$  指向  $b$ . 因为电子带负电荷,所受的电场力方向与场强方向相反,可知电场线的方向一定是由  $N$  指向  $M$ . 由于不知电子由  $a$  运动到  $b$  的过程中电场力的变化情况,因此无法确定场强大小关系, **A 错误, B 正确**;由于无法判断电子由  $a$  运动到  $b$  的过程中电场力的变化情况,所以无法判断加速度大小, **C 错误**;电场线不是带电粒子在电场中的运动轨迹,而是人们为了形象地描述电场而假想的曲线, **D 错误**.

**易错分析** 本题有两个易错点:一是错误地认为单条电场线是直线的电场为匀强电场或单个点电荷的电场,匀强电场或单个点电荷的电场的电场线都是直线,但单条电场线是直线的电场不一定是匀强电场或单个点电荷的电场,如异种点电荷产生的电场,两点电荷连线上的电场线为直线;二是易混淆电场强度大小与方向的判断方法,电场强度的大小与电场线的疏密有关,电场强度的方向是电场线的切线方向.

### ★易错点 2 电场线和运动轨迹问题

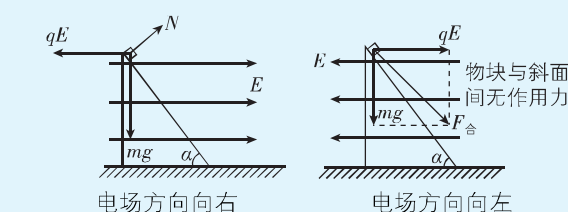
**11. D** 【解析】初速度为零的点电荷的运动轨迹是由静电力决定的,当静电力的方向不变时,其运动轨迹是直线,即与电场线重合;当静电力的方向变化时,其运动轨迹是曲线,不与电场线重合,故 **A 错误**. 电场线的切线方向为正电荷的受力方向(加速度方向),并非速度方向,运动轨迹的切线方向为速度方向,故 **B、C 错误, D 正确**.

**易错分析** 仅受静电力作用的点电荷的运动轨迹由受力和初速度共同决定,若电场线是直线且速度方向和电场线平行,则运动轨迹和电场线重合,若电场线是曲线,仅在静电力的作用下,运动轨迹不能与电场线重合;运动轨迹的切线方向代表速度方向,而电荷的受力方向与电场线的切线方向平行.

### ★易错点 3 点电荷在有轨道的匀强电场中的运动轨迹特征

#### 12. B

**思路导引** 匀强电场向右和向左时分别对物块受力分析:



**【解析】** 设斜面的长度为  $L$ ,若整个装置放在水平向右的匀强电场中,沿斜面方向,由牛顿第二定律可得  $mg \sin 53^\circ - qE \cos 53^\circ = ma_1$ ,根据运动学公式可得  $\frac{1}{2} a_1 t_1^2 = L$ ;若整个装置放在水平向左的匀强电场中,物块所受电场力水平向右,合力与水平方向夹角为  $45^\circ$ ,可知物块将脱离斜面,竖直方向做自由落体运动

向,根据运动学公式有  $\frac{1}{2} g t_2^2 = L \sin 53^\circ$ ,联立可得  $t_1 : t_2 = 5 : 2$ , **B 正确**.

**易错分析** 本题易因为分析不清物块的运动轨迹导致错解. 重力和电场力均为恒力,物块的初速度为零,故物块不能沿斜面下滑,要看重力和电场力的合力方向与水平方向的夹角与斜面倾角的大小关系.

## 刷提升

**1. D** 【解析】根据题图可知,  $P$ 、 $Q$  两点的电场强度大小相等,但是方向不同, **A 错误**;  $M$  点处的电场线比  $N$  点处的电场线密集,则  $M$  点的电场强度大于  $N$  点的电场强度, **B 错误**;由电场线分布可知,在两点电荷连线上,中点处的电场线不是最稀疏的,则电场强度不是最小, **C 错误**;因  $MP$  之间的电场线是曲线,则在  $M$  点由静止释放一个正的试探电荷,电荷不会沿电场线通过  $P$  点, **D 正确**.

**2. C** 【解析】粒子从  $A$  点由静止释放时,所受电场力水平向左,粒子将沿电场线运动到  $B$  点,由电场线分布情况可知,电场力先变大后变小,粒子的加速度先增大后减小,且一直加速. 故选 C.

**3. C** 【解析】电场线方向未知,仅凭粒子受力情况无法确定  $a$ 、 $b$  的电性, **A 错误**;运动轨迹向电场力的方向弯曲,电场力对两个粒子均做正功,两个粒子的动能均增加,两个粒子的速度均增大, **B、D 错误**;电场线越密,电场强度越大,电场力越大,加速度越大,则  $a$  的加速度将减小,  $b$  的加速度将增大, **C 正确**.

**方法总结** 该类题目是电场线与运动轨迹结合问题. 根据粒子所受电场力方向和电场强度方向判断粒子的电性, 两者方向相同则粒子带正电, 方向相反则粒子带负电; 根据电场力指向运动轨迹的凹侧分析电场力的方向; 根据电场线的疏密判断电场强度的大小、粒子所受电场力大小及加速度大小; 根据电场力方向与速度方向的夹角可判断电场力做功情况, 具体方法为: 以电场线与运动轨迹的交点作为分析点, 画出粒子所受电场力方向和速度方向, 根据夹角判断电场力做功情况; 根据动能定理判断粒子速度的变化情况.

4. D 【解析】如果试探电荷在 C 点所受静电力为零, 由平衡条件可知  $k \frac{Q_A q}{r_{AC}^2} = k \frac{Q_B q}{r_{BC}^2}$ , 且  $r_{AC} = r_{BC}$ , 解得  $|Q_A| = |Q_B|$ ,  $Q_A$  和  $Q_B$  对  $q$  的静电力方向相反, 则两个点电荷一定是等量同种电荷, 故 A 错误. 如果  $q$  在 AC 段上的某一点所受静电力为零, 设为 E 点, 由平衡条件可知  $k \frac{Q_A q}{r_{AE}^2} = k \frac{Q_B q}{r_{BE}^2}$ , 且  $r_{AE} < r_{BE}$ , 解得  $|Q_A| < |Q_B|$ ,  $Q_A$  和  $Q_B$  对  $q$  的静电力方向相反, 则  $Q_A$  和  $Q_B$  一定是同种电荷,  $Q_A$  不一定是负电荷, 故 B 错误.  $Q_A$ 、 $Q_B$  带等

**关键点:** 根据受力平衡无法判断  $Q_A$ 、 $Q_B$  的电性

量正电荷时, 由静电力叠加知,  $q$  自 C 点正上方某处沿 AB 的垂直平分线向下移动时所受静电力方向先竖直向上, 再竖直向下,  $Q_A$ 、 $Q_B$  带等量负电荷时,  $q$  自 C 点正上方某处沿 AB 的垂直平分线向下移动时所受静电力方向先竖直向下, 再竖直向上, 故 C 错误. 如果  $q$  在 AB 延长线上离 B 较近的 D 点受力为零, 则  $k \frac{Q_A q}{r_{AD}^2} = k \frac{Q_B q}{r_{BD}^2}$ , 且  $r_{AD} > r_{BD}$ , 可得  $|Q_A| > |Q_B|$ ,  $Q_A$  和  $Q_B$  对  $q$  的静电力方向相反, 则  $Q_A$  和  $Q_B$  一定是异种电荷, 故 D 正确.

5. D 【解析】c 对 a 的电场力与对 b 的电场力在平行于 ab 方向上的分量大小相等方向相反, 即  $\frac{kQ_1 q_a}{L^2} \cos 60^\circ = \frac{kQ_1 q_b}{L^2} \cos 60^\circ$ , 可得  $|q_a| = |q_b|$ , 即 a、b 带等量同种电荷, 由平衡条件可知 a、b 带负电, B 错误; 质点 a、b 带等量负电荷, 质点 c 受到沿 ca、cb 方向等大的库仑力, 所以质点 a、b 对 c 的电场力的合力向左, 可以判定匀强电场对 c 的电场力向右, 又因为质点 c 所带电荷量为 +Q, 可知匀强电场方向垂直于 ab 向右, C 错误; 以质点 a 为研究对象, 则在垂直于 ab 方向上有  $\frac{kQ_1 q_a}{L^2} \sin 60^\circ = E |q_a|$ , 得  $E = \frac{\sqrt{3} k Q}{2 L^2}$ , D 正确; 以 c 为研究对象, 对 c 受力分析有  $EQ = 2 \frac{kQ_1 q_a}{L^2} \cos 30^\circ$ , 解得  $|q_a| = \frac{Q}{2}$ , 结合前面分析可知  $q_a = q_b = -\frac{Q}{2}$ , 则质点 a、b 带电荷总量为 -Q, A 错误.

### 刷素养

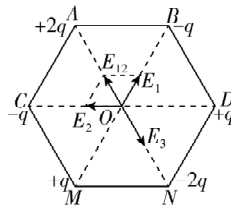
6. B 【解析】由点电荷场强公式  $E = \frac{kQ}{r^2}$  可知, 四个等量同种电荷在正方形中心 O 点产生的合场强为零. 如图所示, 在正方形内部取 A 点, 上方两个点电荷在 A 点产生的合场强竖直向下, 下方两个

点电荷在 A 点产生的合场强竖直向上, 根据等量同种点电荷连线的中垂线上场强特点和场强叠加原理可知, A 点的场强可能为零, 同理 B、C、D 三点的合场强也可能为零, 则正方形内部电场强度为零的点个数是 5 个, B 正确.

## 专题 1 电场强度的求解方法

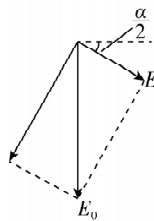
### 刷题型

1. A 【解析】如图所示, 根据题意, O 点的场强可看作三组等量异种点电荷产生的场强的叠加. 由点电荷场强公式  $E = k \frac{Q}{r^2}$  及场强叠加知识可得 M、B 两点的点电荷在 O 点产生的电场强度大小  $E_1 = k \frac{2q}{L^2}$ , D、C 两点的点电荷在 O 点产生的电场强度大小  $E_2 = k \frac{2q}{L^2}$ , A、N 两点的点电荷在 O 点产生的电场强度大小  $E_3 = k \frac{4q}{L^2}$ , 由数学知识及矢量合成知识可得 O 点的电场强度大小  $E_0 = E_3 - E_{12} = k \frac{4q}{L^2} - k \frac{2q}{L^2} = k \frac{2q}{L^2}$ , 故选 A.

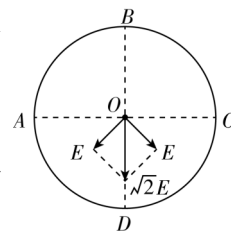


**一题多解** 将 A、N 两点的点电荷分为两组 +q、-q 等量异种点电荷, A(q)、D、M 点的点电荷在 O 点的合场强为零, B、N(-q)、C 点的点电荷在 O 点的合场强为零, 故 O 点场强为余下的一组 A(q)、N(-q) 点的点电荷的合场强, 场强大小为  $E_0 = k \frac{q}{L^2} + k \frac{q}{L^2} = k \frac{2q}{L^2}$ , 故选 A.

2. D 【解析】假设半球面带正电, 由对称性可知, “小瓣”球面在 O 点的电场强度 E 一定沿着  $\alpha$  角的角平分线向右下方, 同理“大瓣”球面在 O 点的电场强度一定沿着  $(\pi - \alpha)$  角的角平分线向左下方, 由几何关系可知这两个电场强度一定垂直, 合场强大小等于  $E_0$ , 由矢量合成知识可得  $E = E_0 \sin \frac{\alpha}{2}$ , D 正确.



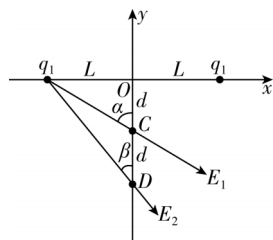
3. A 【解析】当圆环的  $\frac{1}{4}$  均匀带电且电荷量为 +q 时, 圆心 O 处的电场强度大小为 E, 当半圆 ABC 均匀带电且电荷量为 +2q 时, 如图所示, 由矢量合成得, 在圆心 O 处的电场强度大小为  $\sqrt{2}E$ , 方向由 O 指向 D, 当另一半圆 ADC 均匀带电且电荷量为 -2q 时, 根据对称性可知, 在圆心 O 处的电场强度大小也为  $\sqrt{2}E$ , 方向由 O 指向 D, 根据矢量的合成法则, 圆心 O 处的电场强度大小为  $2\sqrt{2}E$ , 方向由 O 指向 D, A 正确, B、C、D 错误.



4. A 【解析】根据场强叠加原理可知, 两个点电荷在 b 点产生的电场强度大小为  $E_{ab} = \frac{kq}{R^2} + \frac{kq}{9R^2} = \frac{10kq}{9R^2}$ , 方向由 a 指向 b. 由题意可知, b 点的合电场强度大小为  $E = \frac{kq}{9R^2}$ , 方向由 b 指向

$\alpha$ , 则圆盘在  $b$  点产生的电场强度大小为  $E = E_{\text{总}b} - E_{\text{点}b}$ , 解得  $E_{\text{总}b} = \frac{kq}{9R^2} + \frac{10kq}{9R^2} = \frac{11kq}{9R^2}$ , 由对称性可知圆盘在  $b, d$  两点的电场强度大小相等, 方向相反, 两个点电荷在  $b, d$  两点产生的电场强度大小相等, 方向相同, 根据电场叠加原理, 可得  $d$  点的电场强度大小为  $E_d = E_{\text{总}d} + E_{\text{点}d} = \frac{11kq}{9R^2} + \frac{10kq}{9R^2} = \frac{21kq}{9R^2} = 21E$ , A 正确.

5. C 【解析】由于  $B$  点的电场强度恰好为零, 则薄板在  $B$  点产生的场强与正点电荷在  $B$  点产生的场强大小相等, 方向相反, 可知薄板带正电, 故 A 错误; 由 A 项分析可知带电薄板在  $B$  点产生的场强大小为  $E_{B1} = k \frac{q}{d^2}$ , 方向沿  $y$  轴正方向, 根据对称性可知带电薄板在  $C$  点产生的场强大小为  $E_{C1} = E_{B1} = k \frac{q}{d^2}$ , 方向沿  $y$  轴负方向, 则  $C$  点电场强度的大小为  $E_c = E_{C1} + k \frac{q}{(3d)^2} = \frac{10kq}{9d^2}$ , 故 B 错误, C 正确; 在带电薄板上取相对于  $O$  点对称的两点电荷, 如图所示, 则有  $E_1 = k \frac{q_1}{L^2 + d^2}$ ,  $E_2 = k \frac{q_1}{L^2 + 4d^2}$ , 可得  $E_2 > \frac{1}{4}E_1$ , 则图中点电荷  $q_1$  在  $C, D$  两点沿  $y$  轴方向分场强大小关系满足  $E_{2y} = E_2 \cos \beta > E_2 \cos \alpha > \frac{1}{4}E_1 \cos \alpha = \frac{1}{4}E_{1y}$ , 由对称性可知  $D$  点处水平方向的合场强为零, 根据场强叠加原理可知, 带电薄板在  $D$  点产生的场强大小满足  $E_{D1} > \frac{1}{4}E_{C1} = k \frac{q}{4d^2}$ , 则  $D$  点电场强度的大小为  $E_D = E_{D1} + k \frac{q}{(4d)^2} > \frac{5kq}{16d^2}$ , 故 D 错误.



6. C 【解析】设原来半径为  $R$  的整个均匀带电球体的电荷量为  $Q$ , 由于均匀带电, 可知被挖的球形空腔部分的电荷量为  $Q' = \frac{V'}{V}Q = \frac{\frac{4}{3}\pi(\frac{R}{2})^3}{\frac{4}{3}\pi R^3}Q = \frac{1}{8}Q$ , 可知以  $OB$  为直径在球内挖

一球形空腔后,  $A, C$  两点的电场强度等于整个均匀带电球体在  $A, C$  两点的电场强度减去被挖的球体在  $A, C$  两点的电场强度, 有

$$E_A = \frac{kQ}{(2R)^2} - \frac{kQ'}{\left(\frac{R}{2} + R\right)^2} = \frac{7kQ}{36R^2}, \quad E_C = \frac{kQ}{(2R)^2} - \frac{kQ'}{\left(\frac{R}{2} + 2R\right)^2} = \frac{23kQ}{100R^2}, \quad \text{可得 } \frac{E_A}{E_C} = \frac{175}{207}, \text{ C 正确.}$$

**方法总结** 将有缺口的带电圆环或球体补全为完整的圆环或球体, 或将半球面补全为球面, 则将求原模型的问题变为求新模型与补充部分的差值问题.

7. C 【解析】 $A, B_1$  部分为  $\frac{1}{3}$  球面, 所带电荷量为  $\frac{1}{2}q$ , 将  $AB$

部分补上, 使球壳变成一个均匀带正电的完整的球壳, 则  $AB$  部分带  $\frac{1}{2}q$  正电荷, 完整球壳带电荷量为  $Q = \frac{3}{2}q$ , 则带正电的完整球壳在  $N$  点产生的场强大小为  $E_N = \frac{kQ}{(2R)^2} = \frac{3kq}{8R^2}$ , 方向水平向右, 根据题意和对称性可知,  $\frac{1}{3}$  球面  $AB$  在  $N$  点的场强大小为  $E$ , 方向水平向左, 根据场强叠加原理可知,  $N$  点的场强大小为  $E' = |E_N - 2E| = \left| \frac{3kq}{8R^2} - 2E \right|$ , 故 C 正确.

8. B 【解析】根据对称性与场强叠加原理, 圆环上所有的电荷在  $O$  点处产生的合电场强度为 0, A 错误; 由几何关系可得圆心  $O$  与  $P$  点之间的距离为  $L = \frac{r}{\tan 37^\circ} = \frac{4}{3}r$ , 由点电荷的场强公式可得圆心  $O$  处的点电荷在  $P$  点产生的电场强度大小为  $E_1 = \frac{kQ}{L^2} = \frac{9kQ}{16r^2}$ , B 正确; 设圆环上某点带电荷量为  $+q$ , 由几何关系可得此点与  $P$  点的距离为  $d = \frac{r}{\sin 37^\circ} = \frac{5}{3}r$ , 由点电荷的场强公式可得  $+q$  在  $P$  点产生的电场强度大小为  $E_2 = \frac{kq}{d^2} = \frac{9kq}{25r^2}$ , 假设圆环上有  $n$  个  $+q$ , 有  $n = \frac{Q}{q}$ , 根据对称性可知, 在  $P$  点垂直  $x$  轴方向上, 合场强为 0, 故圆环在  $P$  处产生的场强大小为  $E_3 = nE_2 \cos 37^\circ = \frac{36kQ}{125r^2}$ , C 错误; 由于  $E_1 = \frac{9kQ}{16r^2}$ , 沿着  $x$  轴的负方向,  $E_3 = \frac{36kQ}{125r^2} < E_1$ , 沿着  $x$  轴的正方向, 可知  $P$  点电场强度的方向沿  $x$  轴的负方向, D 错误.

9. C 【解析】根据题意, 从题图乙可以看出,  $P$  点电场强度方向垂直于金属板向左, 大小为  $E = 2k \frac{q}{r^2} \cos \theta = 2k \frac{q}{r^2} \cdot \frac{d}{r} = \frac{2kqd}{r^3}$ , 故 C 正确, A、B、D 错误.

**关键点拨** 点电荷和无限大的接地金属平板间的电场与等量异种点电荷中某一点电荷到它们连线的中垂面之间的电场分布完全相同.

## 第4节 静电的防止与利用

### 刷基础

1. B 【解析】由于静电平衡, 球壳实体中和球壳空腔内场强处处为 0, 故  $A, B, C$  三点处的场强大小关系为  $E_A > E_B = E_C$ , 故选 B.
2. C 【解析】由静电感应可知, 棒左端感应出负电荷, 右端感应出正电荷, A 错误; 点电荷在棒中心  $O$  处产生的电场方向向右, 棒达到静电平衡, 内部场强为零, 根据场强叠加原理可知, 棒上感应电荷在棒中心  $O$  处产生的电场强度方向向左, 大小为  $E = \frac{kq}{\left(R + \frac{l}{2}\right)^2}$ , C 正确, B 错误; 若用一根导线将  $A, B$  相连, 导体棒和导线构成一个整体, 导体棒中的电荷仍然不受静电力, 电荷不会定向移动, 导线上不会产生电流, D 错误.



**关键点拨** 本题考查了静电感应问题,清楚处于静电平衡状态的导体的特点是解答本题的关键,要注意导体棒内场强为零是指合场强为零,即点电荷与感应电荷产生的场强大小相等,方向相反。

3. C 【解析】由于静电感应,  $B$  左侧带负电,故 A 错误;枕形金属壳  $B$  处于静电平衡状态,内部合场强处处为零,所以  $C$  点的电场强度不变, B 错误;带正电小球  $a$  从  $B$  的左侧缓慢靠近时,小球在枕形金属壳  $B$  内的场强逐渐增大,所以  $B$  两端的感应电荷将会逐渐增多,故 C 正确;因为金属壳整体呈现电中性,正电荷与负电荷数量相等,无论怎样将金属壳分开,分开后两部分的带电荷量大小始终相等,故 D 错误。

**易错分析** 理解静电感应过程中电荷的移动和分布规律是判断各选项的基础。误以为在小球  $a$  靠近过程中,金属壳内部  $C$  点的电场强度会增大,实际上静电平衡时导体内部电场强度始终为零,因为感应电荷产生的电场与小球  $a$  产生的电场相互抵消,若不理解这一点,易误选 B 项。

4. D 【解析】空腔导体  $B$  电荷分布在外表面上,用取电棒  $C$  跟  $B$  的外壁接触,由于空腔导体外壁带电,所以接触后  $C$  带电,会使验电器的金属箔片张开, A 错误;用导线把验电器跟取电棒  $C$  的导体部分相连,再把取电棒与  $B$  的内壁接触,验电器、取电棒  $C$ 、导线和空腔导体  $B$  相当于一个新导体,电荷分布在外表面上,故验电器会带上正电荷,因此验电器金属箔片会张开, B 错误;使验电器  $A$  靠近  $B$ ,再用金属网罩罩住  $B$ ,在金属网内表面感应出负电荷,外表面感应出正电荷,在金属网外仍有电场,由于静电感应现象,会使金属箔片带正电荷,金属箔片会张开,如果用金属网罩罩住  $A$ ,由于静电屏蔽,  $A$  不会有感应电荷,金属箔片不会张开, C 错误, D 正确。
5. B 【解析】电荷在不规则导体表面的分布是不均匀的,根据尖端放电原理可知,在导体外表面越尖锐的位置,单位面积上分布的电荷量越多,所以带电体  $B$  处比  $A$  处电荷密集,故 A 错误, B 正确;验电器的  $C$  处做成球形是为了使更多的电荷分布在比较尖的金属箔片上,故 C、D 错误。
6. C 【解析】在加油站,空气中弥漫着汽油蒸气等易燃物质,人体如果带有静电,在加油过程中可能会引发火灾甚至爆炸,触摸静电释放器可以将人体上的静电导走,避免静电带来的危害,故 A 正确;家用煤气灶点火器的放电电极做成针尖形,根据尖端放电原理,电荷在尖端处容易聚集,从而使尖端附近的电场强度很大,容易击穿空气,产生电火花,达到点火的目的,故 B 正确;野外高压输电塔上,在三条输电线上方还有两条导线,这两条导线是避雷线,它们与大地相连,当有雷电发生时,雷电会首先击中避雷线,避雷线将电荷导入大地,从而保护下方的输电线路,而不是为了增强抗风性能,故 C 错误;给优质信号线套上金属网衣,是利用了金属网的静电屏蔽作用,防止外界的电磁信号干扰信号线上传输的信号,故 D 正确。本题选说法不正确的,故选 C。

### 刷提升

1. D 【解析】达到静电平衡时,导体内部各点场强均为零,可知  $A$  点的电场强度和  $B$  点的电场强度均为零, A、B 错误;根

据静电感应的原理可知,锥形导体的右端感应出异种电荷,应带正电, C 错误;根据静电平衡可知,导体内部合场强为零,有  $E_{\text{感}} + E_{\text{点}} = 0$ ,点电荷在  $A$  点的场强大小为  $E_{\text{点}} = \frac{kQ}{d^2}$ ,方向

由  $A$  指向点电荷,可得  $E_{\text{感}} = -\frac{kQ}{d^2}$ ,即导体表面的感应电荷在  $A$  点产生的电场强度大小为  $\frac{kQ}{d^2}$ , D 正确。

**关键点拨** 静电平衡时,导体内部没有净电荷,电荷只分布在导体的外表面。并且在导体外表面,越尖锐的位置,电荷的密度越大。

2. B 【解析】 $A$  在空心金属球内,由于静电感应,使得  $C$  外表面带正电,  $B$ 、 $C$  相互排斥,所以  $B$  向左偏,且在  $B$  缓慢靠近  $C$  的过程中,  $B$  偏离竖直方向的夹角增大,又由于空心金属球对  $A$  起到静电屏蔽作用,故在  $B$  缓慢靠近  $C$  的过程中,  $A$  的位置不变,根据点电荷的特点可知,  $A$  对  $B$  的静电力向左,  $B$  对  $A$  的静电力向右, A、C、D 错误, B 正确。

3. D 【解析】金属板接地,大地为远端,所以金属板下表面无电荷, A 错误;金属板达到静电平衡时,导体内合场强处处为 0,所以感应电荷在  $B$  点的场强与点电荷在  $B$  点的场强等大反向,大小为  $E = \frac{kQ}{d^2}$ , B、C 错误;金属板上表面的合场强方向垂直于金属板向下,所以带正电的绝缘小球所受静电力竖直向下,水平方向不受力的作用,可在金属板上表面匀速运动, D 正确。

**注意说明** 处于静电平衡状态的导体表面的电场方向垂直于导体表面。

4. C 【解析】由于  $C$  接正极,  $G$  接负极,则  $C$  上会有正电荷,放电针  $G$  周围形成很强的电场,使放电针  $G$  附近的空气电离而产生大量的自由电子和正离子,在电场力作用下,大量的电子被喷射到颗粒上,故分选过程中两种颗粒均带负电, C 正确;导电性好的颗粒在与带正电的滚筒  $C$  接触后,其上的负电荷被滚筒  $C$  上的正电荷中和,然后带上正电,根据同种电荷相互排斥及重力作用下落于  $F$  盘,故  $b$  颗粒具有良好的导电性,绝缘性好的颗粒,其所带负电荷不容易释放,在滚筒  $C$  的静电吸引力作用下,附着于滚筒  $C$  的表面并随滚筒  $C$  转动,最后由刮板将其刮入  $E$  盘中,故  $a$  颗粒具有良好的绝缘性, A、B 错误;对调  $G$ 、 $C$  间的极性,原理不变,分选过程中两颗颗粒均带正电,导电性好的  $b$  颗粒还是落在  $F$  盘中,绝缘性好的  $a$  颗粒被刮入  $E$  盘中,分选器仍能正常工作, D 错误。

### 刷素养

5. D 【解析】当静电除尘装置接通高电压时,钢锯条和金属片之间存在强电场,它使空气电离而产生自由电子和正离子,自由电子在电场力的作用下,向正极移动时,碰到烟尘颗粒使它带负电,带电烟尘颗粒在电场力的作用下,向正极移动,最终到达正极,烟尘颗粒最终被吸附到金属片上,故 A 错误;尖端附近的电场线密集,所以在钢锯条附近的电场强度大于金属片附近的电场强度,不是匀强电场,故 B 错误;尖端附近的电场线密集,所以在钢锯条附近的电场强度大于金属片附



近的电场强度,烟尘颗粒向金属片移动的过程中加速度越来越小,故 **C 错误**;选用钢锯条的目的是利用尖端放电原理,加上高压后,锯条附近产生大量离子,故 **D 正确**.

## 第九章素养检测

## 刷速度

**1. A** 【解析】雷雨将至,几名游客头发直立,说明空气中有很多带电的自由电荷,最有效合理的一种避险方式是找个能屏蔽静电的地方,即躲进汽车里,因为汽车的金属构造,能起到静电屏蔽的作用, **A 正确**.

**2. B** 【解析】对于题图甲,由于是匀强电场,设电场强度大小为  $E$ ,则两个  $+q$  的电荷受到的电场力大小为  $2Eq$ ,方向沿电场线向上,一个  $-2q$  的电荷受到的电场力大小为  $2Eq$ ,方向沿电场线向下,则题图甲整个系统所受合力为 0;同理对于题图乙,由于两个  $+q$  的电荷所在位置的场强更弱且方向斜向上,则题图乙整个系统所受合力不为 0. 故选 **B**.

**3. A** 【解析】把一个带正电的金属小球放入原来不带电的金属空腔球壳内,小球与球壳接触,则金属球壳与金属小球构成一个新的导体,电荷分布在导体外表面,则球壳内表面和小球不带电,球壳外表面带正电,故 **A 正确**,**B、C、D 错误**.

**4. C** 【解析】 $Q_1A$  与  $x$  轴正方向的夹角设为  $\theta_1$ ,  $Q_2A$  与  $x$  轴负方向的夹角设为  $\theta_2$ ,由题意可知,在  $A$  点有  $\frac{kQ_1}{r_1^2} \cos \theta_1 = \frac{kQ_2}{r_2^2} \cos \theta_2$ ,在  $O$  点有  $E_1 = \frac{kQ_1}{(r_1 \cos \theta_1)^2} = \frac{kQ_1}{r_1^2} \cos \theta_1 \cdot \frac{1}{\cos^3 \theta_1}$ ,  $E_2 = \frac{kQ_2}{(r_2 \cos \theta_2)^2} = \frac{kQ_2}{r_2^2} \cos \theta_2 \cdot \frac{1}{\cos^3 \theta_2}$ ,由于  $r_1 < r_2$ ,则  $\theta_1 > \theta_2$ ,故  $E_1 > E_2$ , **B 错误**;根据电场强度的叠加原理可知, $O$  点电场强度方向应指向第四象限,所以在  $O$  点由静止释放一个负电荷,不会沿  $y$  轴负方向移动, **A 错误**;  $A$  点场强为零,说明两点电荷在  $A$  点的合场强与匀强电场的场强等大反向,即沿  $y$  轴正方向,大小为  $E$ ,根据对称性,两点电荷在  $B$  处产生的合场强方向沿  $y$  轴负方向,大小为  $E$ ,所以  $B$  点的场强大小为  $2E$ ,方向沿  $y$  轴负方向, **C 正确**;根据电场强度叠加原理可得,除  $A$  点外,在坐标平面内再没有合场强为零的位置, **D 错误**.

**5. C** 【解析】以试探电荷为研究对象,其做匀速圆周运动,两正点电荷对其静电力的合力提供向心力,则试探电荷做匀速圆周运动所需的向心力大小为  $F = \frac{2kQq \cos 30^\circ}{\left(\frac{h}{\sin 30^\circ}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}kQq}{4h^2}$ , **A 错误**;试探电荷做匀速圆周运动所需的向心力大小为  $F_{\text{向}} = \frac{2kQq \cos \theta}{\left(\frac{h}{\sin \theta}\right)^2} = \frac{2kQq \cos \theta \sin^2 \theta}{h^2}$ ,当  $\theta = 45^\circ$  时,向心力  $F_{\text{向}} = \frac{\sqrt{2}kQq}{2h^2}$ ,大于  $\theta = 30^\circ$  时的向心力, **B 错误**;由  $F = m\omega^2 \frac{h}{\tan 30^\circ}$  可得试探电荷做匀速圆周运动的角速度为  $\omega = \frac{1}{2h\sqrt{3}} \sqrt{\frac{kQq}{mh}}$ , **C 正确**;若在  $A$  点由静止释放负试探电荷,负试探电荷将向右运动,运动过程中, $AO$  之间静电力向右,试探电荷加速,到达  $O$  点时,静电力为零,速度达到最大,接着由  $O$  到  $B$ ,静电力反向,试探

电荷减速,运动过程与  $AO$  段对称,到  $B$  点时速度减为零,即从  $A$  到  $B$  过程试探电荷先加速后减速, **D 错误**.

## 方法总结

等量同种点电荷的中垂线上,当  $\cos \theta = \frac{\sqrt{3}}{3}$  即  $\theta = 54^\circ 44' 8''$  时,场强有最大值. 因此 **B** 选项,试探电荷所需的向心力先变大后变小.

**6. C** 【解析】由等量异种点电荷形成的电场的特点可知,小球受到的库仑力始终沿着水平方向,故小球的合力等于重力,所以小球做匀加速直线运动, **A 错误**;小球受到的重力向下,运动方向向下,所以重力做正功, **B 错误**;小球带正电,受到的库仑力水平向右,运动方向竖直向下,库仑力与运动方向垂直,所以库仑力不做功, **D 错误**;等量异种点电荷连线中垂线上,连线中点处场强最大,则小球在连线中点处所受库仑力最大,大小为  $F = \frac{kQq}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} + \frac{kQq}{\left(\frac{d}{2}\right)^2} = \frac{8kQq}{d^2}$ , **C 正确**.

**7. B** 【解析】加匀强电场前,对小球

$A$ ,由二力平衡有  $F_{\text{库}} = k \frac{Qq}{L^2} = mg$ ,加

上匀强电场后,对小球  $A$  受力分析,

一定有的力为重力、库仑力、电场

力,可能存在细线的拉力. 先合成重力和库仑力,设二力合力大小为  $F'$ ,如图所示,由几何关系和矢量合成可知  $F' = mg$ ,方向与竖直方向成  $60^\circ$  角,  $F'$  恒定不变,由于细线对小球  $A$  的拉力只能沿线收缩的方向(指向左上方),若细线有拉力,由力的合成可知细线的拉力与  $F'$  的合力大小  $F_{\text{合}}$  大于  $F'$ ,可知当细线拉力为零时  $F_{\text{合}}$  最小为  $F'$ ,小球  $A$  处于平衡状态,  $F_{\text{合}}$  与电场力等大反向,可知电场力最小为  $F_{\text{电}} = F'$ ,此时有  $Eq = F' = mg$ ,可得  $E = \frac{F'}{q} = \frac{mg}{q}$ ,故选 **B**.

## 关键点拨

本题的难点在于不能正确得到两小球之间的库仑力大小,初始状态细线无作用力,说明库仑力与重力平衡,若忽略这一条件,无法确定库仑力大小,在后续分析中就无法正确计算出最小电场强度.

**8. D** 【解析】由于不知道小球  $B$  的电性,所以无法判断小球  $A$  的电性,故 **A 错误**;小球  $B$  的受力情况只能是如图所示,由平衡条件结合几何关系可知,  $F = 2mg \cos 30^\circ$ ,小球  $A$  在  $N$  处产生的电场强度大小为  $E = \frac{F}{\sqrt{3}q} = \frac{mg}{q}$ ,故 **B 错误**;由

几何关系得两小球间的距离为  $r = 2R \cos 30^\circ$ ,根据库仑定律得  $F = k \cdot \frac{\sqrt{3}qq_A}{r^2}$ ,解得小球  $A$  所带电荷量的大小为  $q_A = \frac{3mgR^2}{kq}$ ,故 **C 错误**,**D 正确**.

**9. D** 【解析】根据场强叠加原理和对称性可知  $O$  点的电场强度大小为 0,故 **A 错误**;设圆环上各点与  $P$  的连线与  $x$  轴的夹角为  $\theta$ ,由微元法累积求和结合对称性,可得  $P$  点电场强度大小为  $E_P = k \frac{Q}{R^2 + L^2} \cos \theta$ ,其中  $\cos \theta = \frac{L}{\sqrt{R^2 + L^2}}$ ,方向水平向右,

故 **B 错误**；由于  $O$  点和无穷远处的场强为 0，所以从  $O$  点到  $P$  点，电场强度可能一直增大，也可能先增大后减小，故 **C 错误**；结合前面分析可知，若在  $O$  点放置一个带正电的点电荷，给其一个沿  $OP$  方向的初速度，则该点电荷受到的电场力水平向右，大小先增大后减小，根据牛顿第二定律可知，其将做加速运动，故 **D 正确**。

**易错点：**点电荷不是在  $OP$  间运动， $P$  点并非终点

速度先增大后减小的加速运动，故 **D 正确**。

**10. B** 【解析】 $a$ 、 $b$ 、 $c$  三小球所带电荷量相同，要使三个小球做匀速圆周运动，小球  $d$  与  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三小球一定带异种电荷，由于小球  $d$  的电性未知，所以小球  $a$  不一定带正电，**A 错误**；

设  $db$  连线与水平方向的夹角为  $\alpha$ ，则  $\cos \alpha = \frac{R}{\sqrt{R^2+h^2}} = \frac{\sqrt{3}}{3}$ ，

$\sin \alpha = \frac{h}{\sqrt{R^2+h^2}} = \frac{\sqrt{6}}{3}$ ，对小球  $b$ ，根据牛顿第二定律得

$k \frac{6q \cdot q}{h^2+R^2} \cos \alpha - 2k \frac{q^2}{(2R \cos 30^\circ)^2} \cos 30^\circ = mR \frac{4\pi^2}{T^2} = ma$ ，解得

$T = \frac{2\pi R}{q} \sqrt{\frac{\sqrt{3}mR}{k}}$ ， $a = \frac{\sqrt{3}kq^2}{3mR^2}$ ， $a$ 、 $b$ 、 $c$  三个小球的运动情况相同，则小球  $c$  的加速度大小为  $\frac{\sqrt{3}kq^2}{3mR^2}$ ，**B 正确**，**C 错误**；对小球

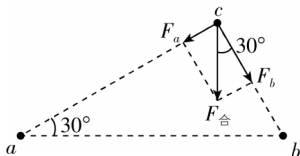
$d$ ，由平衡条件得  $F' = 3k \frac{6q \cdot q}{h^2+R^2} \sin \alpha + mg = mg + \frac{2\sqrt{6}kq^2}{R^2}$ ，方向

竖直向上，**D 错误**。

**11. (1) 带负电 (2)  $\frac{\sqrt{3}}{3}Q$**

【解析】(1)  $c$  处点电荷所受库仑力的合力的方向垂直于  $a$ 、 $b$  的连线向下，可知  $c$  处点电荷受力如图所示，

可知  $c$  处点电荷受到  $a$ 、 $b$  处点电荷的库仑引力，由于  $a$ 、 $b$  处点电荷带正电，所以  $c$  处点电荷带负电。



(2) 由图可得  $\tan 30^\circ = \frac{F_a}{F_b}$ ，

又  $F_a = \frac{kQq_c}{r_{ac}^2}$ ， $F_b = \frac{kq_a q_c}{r_{bc}^2}$ ， $\tan 30^\circ = \frac{r_{bc}}{r_{ac}}$ ，

联立解得  $b$  处点电荷的带电荷量  $q_b = \frac{\sqrt{3}}{3}Q$ 。

**12. (1)  $\frac{kq^2}{9L^2}$   $\frac{4kq^2}{27gL^2}$  (2)  $\frac{39kq}{400L^2}$**

【解析】(1)  $5L \cos 37^\circ = 4L$ ，则甲、乙两球连线水平，甲、乙两球之间的距离为  $d = 5L \sin 37^\circ = 3L$ ，对甲进行受力分析，水平方向由二力平衡可得  $F_{\text{引}} = \frac{kq^2}{(3L)^2} = \frac{kq^2}{9L^2}$ ，对乙进行受力分析，由三力

平衡的矢量三角形可得  $mg \tan 37^\circ = \frac{kq^2}{9L^2}$ ，解得  $m = \frac{4kq^2}{27gL^2}$ 。

(2) 甲在  $O$  点产生的电场强度大小为  $E_{\text{甲}} = \frac{kq}{(4L)^2}$ ，方向竖直

向上，乙在  $O$  点产生的电场强度大小为  $E_{\text{乙}} = \frac{kq}{(5L)^2}$ ，方向斜

向左上方，与  $E_{\text{甲}}$  的夹角为  $37^\circ$ ，由余弦定理有  $E =$

$$\sqrt{E_{\text{甲}}^2 + E_{\text{乙}}^2 + 2E_{\text{甲}} E_{\text{乙}} \cos 37^\circ}$$
，联立可得  $E = \frac{39kq}{400L^2}$ 。

**13. (1)  $2 \times 10^{-5} \text{ C}$ ，带正电 (2)  $2 \text{ m/s}^2$  (3)  $1 \text{ s}$  (4)  $3.01 \text{ N}$**

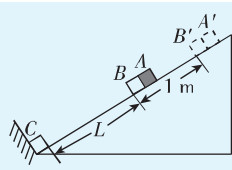
**思路导引** 求  $A$  的加速度的关键

是分析  $B$  的运动情况： $A$  向上运动

$1 \text{ m}$ ，向上的力  $F$  变为恒力，即这个

过程中  $B$  和  $A$  一起向上运动， $B$  运

动的距离也为  $1 \text{ m}$ ，之后  $A$ 、 $B$  分离。



【解析】(1)  $A$ 、 $B$ 、 $C$  静止时，以  $A$ 、 $B$  为研究对象，受力分析

有  $(m_A + m_B)g \sin 30^\circ = k \frac{q_A q_C}{L^2}$ ，代入数据解得  $q_B = 2 \times 10^{-5} \text{ C}$ ，

$B$ 、 $C$  间为斥力， $C$  带正电，则  $B$  带正电。

(2)  $A$  向上运动  $1 \text{ m}$ ，向上的力  $F$  变为恒力，分析可知此时  $A$ 、 $B$  恰好分离，分离时两者之间弹力恰好为零，对  $B$ ，由牛

第二定律得  $k \frac{q_B q_C}{l^2} - m_B g \sin 30^\circ = m_B a$ ，其中  $l = L + 1 \text{ m} = 3 \text{ m}$ ，

解得  $a = 2 \text{ m/s}^2$ 。

(3) 由匀加速运动规律有  $\frac{1}{2} a t^2 = 1 \text{ m}$ ，解得  $t = 1 \text{ s}$ 。

(4)  $F$  变为恒力后，对  $A$ ，根据牛顿第二定律有  $F - m_A g \sin \theta = m_A a$ ，解得  $F = 3.01 \text{ N}$ 。

## 第九章高考强化

### 刷真题

**1. C** 【解析】验电器本来不带电，由于同种电荷相互排斥，异种电荷相互吸引，带正电的金属球靠近不带电验电器金属小球  $a$ ，使得金属小球  $a$  带负电荷，金属箔  $b$  带正电荷，故选 **C**。

**2. D** 【解析】金属球、金属杆及验电器内两片金属箔处于静电平衡状态，导体内部场强处处为零，电荷只分布在导体的外表面，且导体外表面越尖锐的地方，电荷的密度越大，周围的电场强度越大，故  $d$  点电场强度最强，**D 正确**。

**3. B** 【解析】设细绳与

竖直方向的夹角均

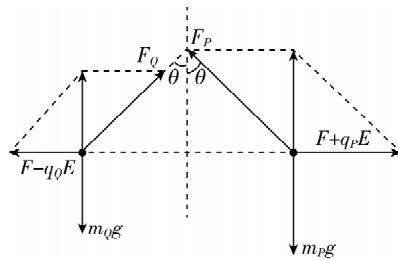
为  $\theta$ ，两球之间的库

仑力大小为  $F$ ，将两

球的库仑力与电场

力合成为一个力，将

四力平衡转化为三



力平衡，如图所示， $F_Q = \frac{F - q_Q E}{\sin \theta}$ ， $F_P = \frac{F + q_P E}{\sin \theta}$ ，则两绳中的张力

大小关系为  $F_Q < F_P$ ，**A 错误**；由  $m_Q g = \frac{F - q_Q E}{\tan \theta}$ ， $m_P g = \frac{F + q_P E}{\tan \theta}$ ，可

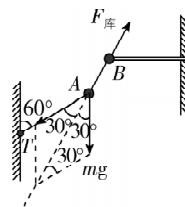
知  $m_P > m_Q$ ，**B 正确**； $F = m_Q g \tan \theta + q_Q E = m_P g \tan \theta - q_P E$ ，只根据  $m_P > m_Q$  无法确定  $q_P$  与  $q_Q$  的大小关系，**C、D 错误**。

**4. C** 【解析】由题意， $A$  球静止时受力分析

如图所示，有  $T = mg$ ， $F_{\text{库}} = \sqrt{3}mg$ ，**A、B 错误**；

**突破点：** $A$  球只受三个力，拉力和重力关于库仑力所在直线对称，故拉力和重力大小相等

剪断轻绳瞬间， $A$  受的库仑力和重力均不



变,所以合力与原来的拉力  $T$  等大反向,  $F_{\text{合}} = T = ma$ , 则  $a = g$ ,  
**C 正确**;剪断轻绳瞬间,  $B$  受的库仑力和重力不变,所以轻杆对  $B$  的作用力不变, **D 错误**.

**5. ABD** 【解析】根据题意对两小球进行受力分析,如图 1 所示,静电力合成后的受力分析如图 2 所示,由图 2 可知  $F_1 = mg \tan \theta$ ,  $F_2 = 2mg \tan \theta$ , 所以  $F_1 = \frac{1}{2}F_2$ , **A 正确**;在图 1 中  $F_1 = k \frac{2q^2}{L^2} - qE$ ,  $F_2 = k \frac{2q^2}{L^2} + 2qE$ , 可得  $k \frac{2q^2}{L^2} - qE = \frac{1}{2}(k \frac{2q^2}{L^2} + 2qE)$ , 即  $k \frac{q^2}{L^2} = 2qE$ ,  $E = \frac{kq}{2L^2}$ , **B 正确**;若将甲、乙互换位置,两小球受到的库仑力大小不变、方向相反,两小球受到的静电力的合力发生变化,小球沿倾斜轨道方向上受到的合力不为零,故二者均不能保持静止, **C 错误**;撤去甲前,对乙

【关键点】: 两小球间的库仑力等大反向,两小球受到的电场力方向均向右

受力正交分解,可知沿倾斜轨道方向上,有  $2mg \sin \theta = (2qE + k \frac{2q^2}{L^2}) \cos \theta$ , 撤去甲后,对乙受力分析如图 3 所示,沿倾斜轨道方向上,有  $2mg \sin \theta - 2qE \cos \theta = 2ma$ , 得  $k \frac{2q^2}{L^2} \cos \theta = 2ma$ ,  $a = k \frac{q^2}{mL^2} \cos \theta$ , 乙滑至倾斜轨道底端的过程中,由  $v^2 = 2a \cdot \frac{L}{2 \cos \theta}$ , 解得  $v = \sqrt{\frac{kq^2}{mL}}$ , **D 正确**.

【关键点】: 题中未给出倾斜轨道的长度,也未给出倾斜轨道的倾角,利用两倾斜轨道倾角相等可知倾斜轨道的长度可表示为  $\frac{L}{2 \cos \theta}$ , 结合加速度表达式可消去  $\theta$

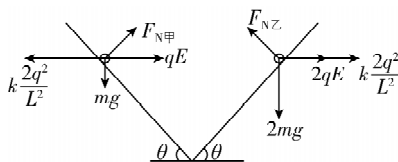


图 1

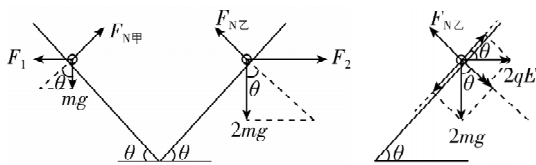


图 2

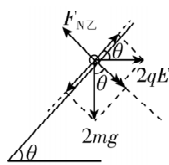


图 3

**一题多解** 先分析 B 选项,根据图 1 直接列式求解. 对甲, 有  $k \frac{2q^2}{L^2} = F_{N\text{甲}} \sin \theta + qE$ ,  $F_{N\text{甲}} \cos \theta = mg$ , 对乙, 有  $F_{N\text{乙}} \sin \theta = k \frac{2q^2}{L^2} + 2qE$ ,  $F_{N\text{乙}} \cos \theta = 2mg$ , 联立四式可得  $E = \frac{kq}{2L^2}$ , B 正确. 代入  $F_1$  和  $F_2$  的表达式, 可得出 A 正确.

**6. (1)**  $\frac{mv_0 \sin \theta}{qE}$  **(2)**  $\frac{2mv_0^2 \sin^2 \theta}{qE}$

【解析】(1) 带电粒子在匀强电场中做类抛体运动, 粒子  $a$  的

运动可分解为水平方向上的匀速直线运动和竖直方向上做速度大小为  $a$  的匀变速直线运动, 在竖直方向上有

$$qE = ma, v_0 \sin \theta = at, \text{ 解得 } t = \frac{mv_0 \sin \theta}{qE}.$$

(2) 水平方向上,  $a, b$  均以  $v_0 \cos \theta$  做匀速直线运动, 竖直方向上, 规定向上为正方向,  $b$  以  $-v_0 \sin \theta$  为初速度, 以  $-a$  为加速度做匀加速直线运动,

$$\text{竖直方向上, 粒子 } a \text{ 的位移 } y_a = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}at^2,$$

$$\text{粒子 } b \text{ 的位移 } y_b = -v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}at^2,$$

$$H = y_a - y_b, \text{ 解得 } H = \frac{2mv_0^2 \sin^2 \theta}{qE}.$$

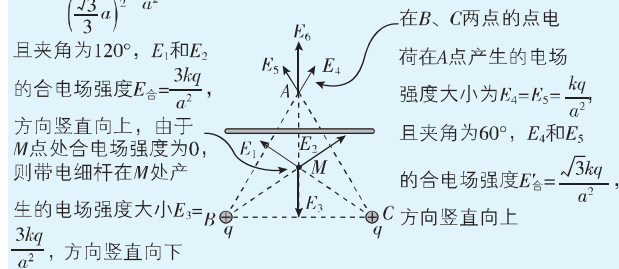
## 7. D

### 思路导引

在  $B, C$  两点的点电荷在  $M$  点产生的电场强度大小为

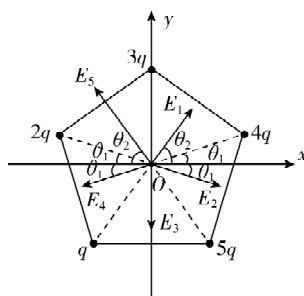
$$E_2 = E_1 = \frac{kq}{(\frac{\sqrt{3}}{3}a)^2} = \frac{3kq}{a^2},$$

且夹角为  $120^\circ$ ,  $E_1$  和  $E_2$  的合电场强度  $E_{\text{合}} = \frac{3kq}{a^2}$ , 方向竖直向上, 由于  $M$  点合电场强度为 0, 则带电细杆在  $M$  处产生的电场强度大小  $E_3 = \frac{3kq}{a^2}$ , 方向竖直向下



【解析】由于  $M$  点与  $A$  点关于带电细杆对称, 故细杆在  $A$  处产生的电场强度大小  $E_6 = E_3 = \frac{3kq}{a^2}$ , 方向竖直向上, 故  $A$  点的电场强度大小  $E = E'_{\text{合}} + E_6 = (\sqrt{3} + 3) \frac{kq}{a^2}$ , **D 正确**.

**8. AD** 【解析】点电荷在  $O$  点产生的场强方向如图所示. 由几何关系可知  $\theta_1 = 18^\circ$ ,  $\theta_2 = 54^\circ$ , 将 5 个场强沿  $x, y$  轴分解可得  $E_x = E_1 \cos 54^\circ + E_2 \cos 18^\circ - E_4 \cos 18^\circ - E_5 \cos 54^\circ = -\frac{2kq}{R^2}(2 \cos 54^\circ + \cos 18^\circ)$ ,  $E_y = E_1 \sin 54^\circ + E_5 \sin 54^\circ - E_4 \sin 18^\circ - E_2 \sin 18^\circ - E_3 = \frac{6kq}{R^2}(\sin 54^\circ - \sin 18^\circ - \frac{1}{2}) = 0$ , 根据场强叠加原理可知  $O$  点电场强度方向沿  $x$  轴负方向, 大小为  $\frac{2kq}{R^2}(2 \cos 54^\circ + \cos 18^\circ)$ , **A, D 正确**.



## 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.

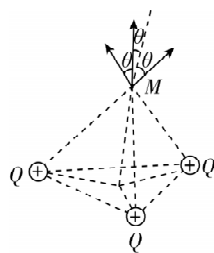
2. C 【解析】由题意,在  $M$  点放一个试探电荷,试探电荷恰好静止,则  $M$  点电场强度为 0,即匀强电场的电场强度与三个点电荷在  $M$  点产生的合场强等大反向,如图所示.三个点电荷在  $M$  点产生的场强大小均为  $k \frac{Q}{a^2}$ ,方向由点电荷指向  $M$

点,与竖直方向夹角设为  $\theta$ ,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