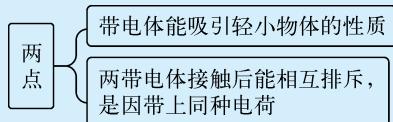


## 第九章 静电场及其应用

## 限时小练 1 电荷

1. B A、B 相互吸引,又 A 带正电,说明 B 可能带负电,也可能不带电,而 B、C 相互吸引,因此,若 B 不带电,则 C 一定带电;若 B 带负电,则 C 可能带正电,也可能不带电,但 C 和 A 间是相互吸引,因此 C 不可能带正电,所以 B、C 球中必有一个带负电,而另一个不带电,故 B 正确.

## 规律总结 带电体特点



2. B 摩擦起电的实质是由于两个物体的原子核对核外电子的束缚能力不相同,因而电子可以在物体间转移,而不是产生电子和质子.若一个物体失去电子,其质子数就会比电子数多,我们说它带正电;若一个物体得到电子,其质子数就会比电子数少,我们说它带负电,故 B 正确.

## 常用结论

两个电中性的物体摩擦后,若一个物体带正电,则另一个物体带负电,且电荷量大小相等.

3. B 两金属小球所带电荷量分别为  $+3Q$  和  $-Q$ ,将两小球接触后,根据电荷守恒定律,可知总带电荷量为  $Q_{\text{总}} = (+3Q) + (-Q) = +2Q$ ,故 B 正确.

4. A 任何带电微粒所带的电荷量都是元电荷  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  的整数倍,则不可能是  $2.4 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,故 A 正确.

## 易错警示 元电荷的理解

- (1) 元电荷是电荷量的最小值,没有正、负,不是物质,而电子、质子是实实在在的粒子,不是元电荷,虽然其带电荷量为一个元电荷.
- (2) 元电荷是自然界中最小的电荷量,电荷量是不能连续变化的物理量,任何带电体的电荷量都是元电荷的整数倍.

5. D 带正电的金属球 A 靠近验电器上的金属小球 B,由于静电感应,B 球带负电,验电器的金属箔带正电,故两片金属箔因带同种电荷相互排斥而张开,D 正确.

6. B 导电平板靠近带正电的绝缘板并接地时,产生静电感应,使导电平板带上负电荷,故 A、C、D 错误,B 正确.

7. D 由题意可知,由于静电感应现象,使得 A 带正电,B 带负电,导体原来不带电,只是在 C 的电荷的作用下,导体中的自由电子向 B 部分移动,使 B 部分多了电子而带负电,A 部分少了电子而带正电.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是相同的,因此无论从哪一条虚线切开,两部分的电荷量大小总是相等的,故 D 正确,A、B、C 错误.

8. D 将带电体 C 移近导体 A 和 B 时,由静电感应现象可知,A 端是近端,会感应出异种电荷,B 端是远端,会感应出同种电荷;再把 A 和 B 分开,移去 C 后,A 和 B 仍带不同种的电荷,故 A、B 端的金属箔仍会张开,故 D 正确.

9. A 导体 B 在靠近带正电荷的导体 A 时,导体 B 上的自由电子会向 P 端运动,导体 B 的 P 端因有了多余的电子而带负电,Q 端因失去电子而带正电,用接地导线接导体 B 的任何部位,大地的负电荷都会中和导体 B 的 Q 端的正电荷,因此断开导线,再取走导体 A,导体 B 将带负电,故 A 正确,B、C、D 错误.

规律总结 在发生静电感应现象时,近端感应出异种电荷,远端感应出同种电荷.若导体接地,则导体与地球组成一个新导体,近端不变,远端为地球.

10. C 根据电荷守恒定律,电荷不能消灭,也不能创造,只会发生转移,故 A 错误;该现象是潮湿的空气将电子导走了,是由电子的转移引起的,仍遵守电荷守恒定律,故 C 正确,B、D 错误.

11. D

A	笔套与头发摩擦后,由于摩擦起电使笔套带电	✓
B	带电的笔套靠近圆环的时候,圆环发生静电感应,上、下部分感应出等量的异种电荷	✓
C	圆环被吸引到笔套的过程中,圆环加速度向上,由牛顿第二定律可知,圆环所受吸引力大于圆环重力	✓
D	笔套碰到圆环后,圆环上原感应的电荷中和,后接触带电,可知最终笔套仍带有部分电荷	✗

**易错点拨** 摩擦起电和感应起电的区别

摩擦起电的实质是物体对电子的束缚能力不同,在摩擦中一个物体得到电子,带负电;另一物体失去电子,带正电,故两物体带异种电荷.而感应起电是根据同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引的原理产生的,两者都不是产生电荷.

12. (1) 设 A、B 带电荷量均为  $q$ , 则 A、C 接触后, A、C 带电荷量为

$$q_{A1} = q_{C1} = \frac{1}{2}q,$$

C 与 B 接触后, B、C 带电荷量为

$$q_{B1} = q_{C2} = \frac{q + \frac{1}{2}q}{2} = \frac{3}{4}q,$$

故 A、B 带电荷量的大小之比为  $\frac{q_{A1}}{q_{B1}} = \frac{\frac{1}{2}q}{\frac{3}{4}q} = \frac{2}{3}$ .

(2) 设 A 带正电荷, B 带负电荷, 且所带电荷量大小均为  $Q$ , 则 C 与 A 接触后, A、C 带电荷量为

$$Q_A' = Q_C' = +\frac{1}{2}Q,$$

C 与 B 接触后, B、C 带电荷量为

$$Q_B' = Q_C'' = \frac{\frac{1}{2}Q - Q}{2} = -\frac{1}{4}Q,$$

故 A、B 带电荷量的大小之比为  $\left| \frac{Q_A'}{Q_B'} \right| = \frac{\frac{1}{2}Q}{\frac{1}{4}Q} = \frac{2}{1}$ .

**限时小练 2 库仑定律(课时 1)**

1. B 根据库仑定律  $F = \frac{kq_1q_2}{r^2}$ , 可知静电力常量的单位为  $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ , 静电力常量大小为  $9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ , 故 B 正确.

2. A

A	库仑扭秤能研究微小的库仑力, 它在设计时最主要的物理思想方法是微小量放大法	✓
B	库仑定律的适用条件是真空中静止的点电荷, 当带电体的形状、大小以及电荷分布可以忽略不计时, 可以将带电体看成点电荷	✗
C	当 $r \rightarrow 0$ 时, 两个带电体不能看成点电荷, 因此, 库仑定律不再适用	✗
D	电荷量分别为 $Q$ 和 $2Q$ 的点电荷 A、B 相互作用时, A 受到的库仑力和 B 受到的库仑力是一对相互作用力, 所以大小相等	✗

**易错警示**

有人根据  $F = k \frac{q_1q_2}{r^2}$  推出, 当  $r \rightarrow 0$  时,  $F \rightarrow \infty$ , 从数学角度分析似乎正确, 但从物理意义上分析, 这种看法是错误的. 因为当  $r \rightarrow 0$  时, 两带电体已不能看成点电荷, 库仑定律及其公式也就不再适用.

3. D A、C 带电球之间的力为库仑力, 大小为  $F = \frac{kq_Aq_C}{r^2}$ , 若用一个电荷量是小球 C 的五倍、其他完全一样的小球 D 与 C 完全接触后分开, 根据电荷守恒定律可知, 两个小球的带电荷量都是 C 开始时的 3 倍, 则库仑力的大小也变成原来的 3 倍, 转动的角度与力 F 的大小成正比, 所以转动的角度为原来的 3 倍, 故 D 正确.

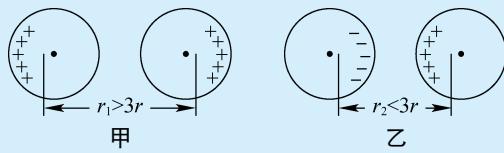
4. D 两个下夸克带同种电荷, 故两者之间的库仑力为

斥力, 大小为  $F = \frac{k \cdot \frac{e}{3} \cdot \frac{e}{3}}{r^2} = \frac{ke^2}{9r^2}$ , 故 A、B 错误; 下夸克和上夸克带异种电荷, 故两者之间的库仑力为引力,

大小为  $F = \frac{k \cdot \frac{2e}{3} \cdot \frac{e}{3}}{r^2} = \frac{2ke^2}{9r^2}$ , 故 C 错误, D 正确.

5. C 根据同种电荷相互排斥可知, 若两金属球带同种电荷, 两金属球间的静电力为斥力, 由于同种电荷相互排斥, 则所带电荷量集中在两球的外侧, 两球上电荷间的平均距离大于  $3r$ , 根据库仑定律可知两球间的静电力满足  $F < \frac{kQ^2}{(3r)^2} = \frac{kQ^2}{9r^2}$ , 故 A、B 错误; 根据异种电荷相互吸引可知, 若两金属球带异种电荷, 两金属球间的静电力为引力, 由于异种电荷相互吸引, 则所带电荷量集中在两球的内侧, 两球上电荷间的平均距离小于  $3r$ , 根据库仑定律可知两球间的静电力满足  $F > \frac{kQ^2}{(3r)^2} = \frac{kQ^2}{9r^2}$ , 故 C 正确, D 错误.

**易错点拨** 两个规则的带电球体相距比较近时, 不能被看作点电荷, 此时必须考虑电荷在球上的实际分布. 若带同种电荷时, 如图甲所示, 由于排斥, 电荷分布于最远的两侧, 电荷中心距离大于  $3r$ , 此时  $F < k \frac{Q^2}{9r^2}$ ; 若带异种电荷时, 如图乙所示, 由于吸引, 电荷分布于最近的两侧, 电荷中心距离小于  $3r$ , 此时  $F > k \frac{Q^2}{9r^2}$ .



6. B 根据小球受力平衡可知, 绳子拉力大小等于库仑力大小, 则有  $F = k \frac{q^2}{l^2}$ , B 正确.

7. B 在 A 处放一电荷量为  $+q$  的点电荷时, B 处点电荷所受静电力大小为  $F = \frac{kQq}{r_{AB}^2}$ ; 在 C 处放一电荷量为

当  $-2q$  的点电荷时,  $B$  处点电荷所受静电力大小为  $F' = \frac{kQ \cdot 2q}{r_{BC}^2} = \frac{2kQq}{(2r_{AB})^2} = \frac{kQq}{2r_{AB}^2} = \frac{F}{2}$ , 且不管  $B$  处点电荷是正电荷还是负电荷, 两种情况下,  $B$  处点电荷受到的静电力的方向都与  $F$  相同, 故 B 正确.

8. D 根据题意,设 A、B 带电荷量均为  $Q$ ,由库仑定律可知,两球之间的相互作用力大小为  $F = k \frac{Q \cdot Q}{r^2} = k \frac{Q^2}{r^2}$ ,第三个不带电的金属小球 C 与 A 接触后,A 和 C

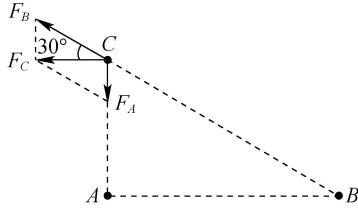
的电荷量都为  $q_1 = \frac{Q}{2}$ , C 与 B 接触再分开后电荷量相

等,均为  $q_2 = \frac{\frac{Q}{2} + Q}{2} = \frac{3}{4}Q$ , 则 A、B 两球之间的相互作

用力大小为  $F = k \frac{\frac{3}{4}Q \cdot \frac{Q}{2}}{r^2} = \frac{3}{8} \cdot \frac{kQ^2}{r^2} = \frac{3}{8} F$ , 故 D 正确

9. B 要使 C 处的正点电荷所受静电力方向平行于 AB 向左, 该正点电荷所受力的情况应如图所示, 所以 A 带负电, B 带正电. 设 A、C 间的距离为  $L$ , 则 B、C 间的距离为  $2L$ , 由几何关系, 有  $F_B \sin 30^\circ = F_A$ , 即  $k \frac{Q_B Q_C}{(2L)^2} \cdot$

$\sin 30^\circ = k \frac{Q_A Q_C}{L^2}$ , 解得  $\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{1}{8}$ , 故 B 正确.



10. D 对小球 A 受力分析,受重力、两球之间的库仑力和悬线的拉力,三力平衡,重力和库仑力的合力沿着悬线伸长的方向. 同时使两悬线长度减半,若角度  $\theta$  不变,球间距减半,根据库仑定律  $F = k \frac{Qq}{r^2}$ , 可知库仑力增大为原来的 4 倍,故重力和库仑力的合力方向一定改变,即  $\theta$  改变,故 A 错误; 同理,若同时使两球的质量减半或同时使两球的电荷量减半,则重力和库仑力的合力方向一定改变,即  $\theta$  改变,故 B、C 错误; 若同时使两悬线长度和两球的电荷量都减半,根据库仑定律  $F = k \frac{Qq}{r^2}$ , 可知库仑力不变,则  $\theta$  不变,故 D 正确.

11. 根据题意,假设第四个点电荷放在四个顶点中的某点,则对角线上的点电荷给它的库仑斥力为

$$F_1 = k \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2},$$

相邻两顶点的点电荷给它的库仑斥力大小均为

$$F_2 = F_3 = k \frac{q^2}{a^2},$$

根据平行四边形定则,可知点电荷所受其他三个点电荷静电力的合力大小为  $F = k \frac{q^2}{(\sqrt{2}a)^2} + 2k \frac{q^2}{a^2} \cos 45^\circ = \left(\frac{1}{2} + \sqrt{2}\right)k \frac{q^2}{a^2}$ .

## 一、常用结论

点电荷所受静电力等于各个部分单独对该电荷的静电力的矢量和。

## 限时小练 2 库仑定律(课时 2)

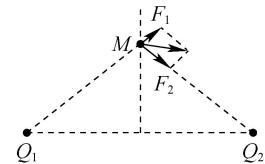
1. C  $a$  球能处于静止状态,则所受合力为 0,由题图可知  $a$  球受重力、绳的拉力和库仑力,这三个力组成封闭三角形时合力为 0,或者三力在同一直线上时合力为 0,故 C 正确.

2. B 当A球悬挂在天花板上时,对B球,由平衡条件,有 $mg = k \frac{q_A q_B}{L^2}$ ,若将B球悬挂在天花板上,则对A球,

由平衡条件,有  $2mg = k \frac{q_A q_B}{(L')^2}$ , 联立解得  $L' = \frac{\sqrt{2}}{2} L$ , 故 B 正确.

3. A 小球A静止时,根据平衡条件,小球A受到小球B的斥力,故小球A带正电;由平衡条件得 $\frac{kqq_A}{(\sqrt{2}l)^2} \cdot \cos 45^\circ = mg$ ,解得 $q_A = \frac{2\sqrt{2}mgl^2}{kq}$ ,A正确.

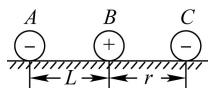
4. C 根据电子在M点的受力情况,结合平行四边形定则可知,电子与 $Q_1$ 间为斥力,电子与 $Q_2$ 间为引力,且电子与 $Q_2$ 间的引力 $F_2$ 大于电子与 $Q_1$ 间的斥力 $F_1$ ,如图所示,则 $Q_1$ 为负电荷, $Q_2$ 为正电荷,A、B错误;根据库仑定律 $F=k\frac{Qq}{r^2}$ ,可知 $Q_1$ 小于 $Q_2$ ,C正确,D错误.



5. A 对三个小球组成的整体进行分析,根据牛顿第二定律得  $F=3ma$ ,对 A、B 组成的整体分析,根据牛顿第二定律得  $F_1=2ma$ ,解得  $F_1=\frac{2}{3}F$ ,即 C 对 A、B 的库仑力的合力为  $\frac{2}{3}F$ ,根据库仑定律得  $\frac{F_{BC}}{F_{AC}}=k \frac{3q \cdot 8q}{L^2}$ :  $k \frac{6q \cdot 8q}{4L^2}=\frac{2}{1}$ ,分析库仑力的方向后可知  $F_{BC}-F_{AC}= \frac{2}{3}F$ ,解得  $F_{BC}=\frac{4}{3}F$ ,故 A 正确,B、C、D 错误.

6. C A、B、C 三个点电荷要平衡,三个点电荷必须共线且外侧两点电荷相排斥,中间点电荷吸引外侧两点电荷,而且外侧点电荷的电荷量大,所以 C 必须带负电,且放在 B 右侧. 根据库仑定律,对 C 有  $k \frac{Qq_C}{r^2} = k \frac{4Q \cdot q_C}{(L+r)^2}$ ,

解得  $r=L$ , 对  $B$  有  $k \frac{Q|q_c|}{r^2} = k \frac{4Q \cdot Q}{L^2}$ , 解得  $|q_c| = 4Q$ ,  $C$  带负电, 则  $q_c = -4Q$ , 故 C 正确.



### 方法总结 三个点电荷的平衡问题

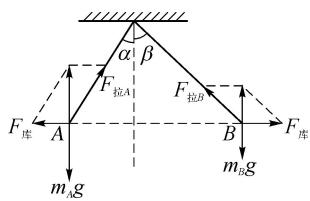
两个电荷固定, 第三个电荷平衡问题, 只需要确定第三个电荷位置即可, 对其电性和所带电荷量没有要求; 三个自由电荷的平衡问题, 同一直线上的三个自由点电荷都处于平衡状态时, 每个电荷受到的合力均为 0. 根据平衡条件可得, 电荷间的关系为: “三点共线”——三个点电荷分布在同一条直线上; “两同夹异”——正、负电荷相互间隔; “两大夹小”——中间电荷的电荷量最小; “近小远大”——中间电荷靠近电荷量较小的电荷. 对于三个自由电荷的平衡问题, 只需对其中两个电荷列平衡方程, 不必再对第三个电荷列平衡方程.

7. D A 球受到的库仑力  $F_{\text{库}} = \Delta F_{\text{弹}} = k \cdot \Delta x = 15 \times 4 \times 10^{-2} \text{ N} = 0.6 \text{ N}$ , A、B 错误; 弹簧伸长, 说明 A 和 B 相互吸引, 带电性不同, 故 B 球带负电, 根据库仑定律有  $F_{\text{库}} = k \frac{q_A q_B}{r^2}$ , 解得  $q_B = 4.8 \times 10^{-6} \text{ C}$ , C 错误, D 正确.

8. A 小球甲、乙之间的库仑力  $F = k \frac{q^2}{l^2} = 0.4 \text{ N}$ , 设细线 M、N 的拉力大小均为  $T$ , 对小球甲受力分析, 根据平衡条件有  $2T \cos 30^\circ + F = mg$ , 解得  $T = \frac{\sqrt{3}}{5} \text{ N}$ , A 正确.

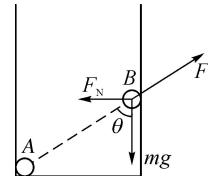
9. D 由牛顿第三定律得, A 球对 B 球的库仑力等于 B 球对 A 球的库仑力, 无论两球电荷量是否相等, 所受库仑力都相等, 故无法比较哪个电荷量较大, A 错误; 如图所示, 对小球 A、B 进行受力分析, 根据平衡条件, 对 A 有  $F_{\text{库}} = m_A g \tan \alpha$ , 对 B 有  $F_{\text{库}} = m_B g \tan \beta$ , 又  $\alpha < \beta$ , 所以  $m_A > m_B$ , B 错误; 根据平衡条件有  $F_{\text{拉A}} = \frac{F_{\text{库}}}{\sin \alpha}$ ,

$F_{\text{拉B}} = \frac{F_{\text{库}}}{\sin \beta}$ , 因为  $\alpha < \beta$ , 所以  $F_{\text{拉A}} > F_{\text{拉B}}$ , C 错误; 两球接触后, 再静止下来, 两绝缘细线与竖直方向的夹角变为  $\alpha'$ 、 $\beta'$ , 对小球 A、B 受力分析, 根据平衡条件有  $m_A g = \frac{F'_{\text{库}}}{\tan \alpha'}$ ,  $m_B g = \frac{F'_{\text{库}}}{\tan \beta'}$ , 因为  $m_A > m_B$ , 所以  $\alpha' < \beta'$ , D 正确.



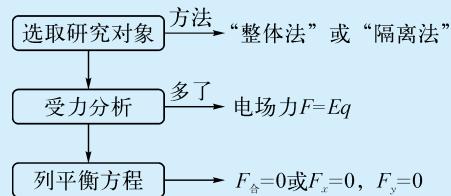
10. B 以整体为研究对象可知, 圆筒底部对 A 球的支持力大小等于 A、B 两球的重力, 由牛顿第三定律可知 A 对筒底的压力也等于 A、B 两球的重力, 故小球 A 对

筒底的压力不变, A 错误; 对 B 球受力分析如图所示, 根据受力平衡有  $F_N = mg \tan \theta$ , B 球由于漏电而下降少许重新平衡,  $\theta$  角变大, 则筒壁给 B 球的支持力  $F_N$  增大, 根据牛顿第三定律可知, B 球对筒壁的压力变大, B 正确; 小球 A、B 间的库仑力为  $F = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,  $\theta$  角变大,  $\cos \theta$  变小, 库仑力 F 变大, C、D 错误.



### 模型构建 静态平衡模型

带电体处于静止状态, 其所受合力为零, 符合共点力平衡的条件, 只是在分析物体受力时多了一个电场力而已, 解题步骤如图所示.



11. D P 静止且受斜面体的摩擦力为 0, 对 P 由平衡条件可得  $k \frac{q^2}{r^2} = mg \tan \theta$ , 解得 P、Q 所带电荷量为  $q = \sqrt{\frac{m g r^2 \tan \theta}{k}}$ , A 错误; 斜面对 P 的支持力为  $N = \frac{mg}{\cos \theta}$ , 由牛顿第三定律可知, P 对斜面体的压力为  $N' = N = \frac{mg}{\cos \theta}$ , B 错误; 斜面体在水平方向由平衡条件可得, 斜面体受到地面的摩擦力为  $f = N' \sin \theta = mg \tan \theta$ , C 错误; 斜面体在竖直方向由平衡条件可得  $N_{\text{地}} = Mg + N' \cos \theta = (M+m)g$ , 由牛顿第三定律可知, 斜面体对地面的压力大小为  $(M+m)g$ , D 正确.

### 限时小练 3 电场 电场强度(课时 1)

1. C 电场中某点场强的大小和方向由电场本身决定, 与试探电荷的受力情况及电荷性质无关, A、D 错误, C 正确; 电场强度的方向与正电荷所受电场力方向相同, 与负电荷所受电场力方向相反, 但场强方向与放入试探电荷的正负无关, B 错误.

**易错警示** 公式  $E = \frac{F}{q}$  是电场强度的比值定义式, 该式给出了测量电场中某一点电场强度的方法. 应当注意, 电场中某一点的电场强度由电场本身决定, 与是否测量及如何测量无关.

2. C 由电场强度的定义式, 有  $E = \frac{F}{q}$ , 其中  $F = \frac{kQq}{r^2}$ , 联立解得  $E = 3 \times 10^{10} \text{ N/C}$ , 电场强度的方向与正电荷所

受电场力的方向相同,与负电荷所受电场力的方向相反,所以电场强度方向向西,故C正确.

3. D 由题图可知,  $r_b = \sqrt{3} r_a$ , 再由点电荷电场强度的公式  $E = \frac{kQ}{r^2}$ , 可知  $\frac{E_a}{E_b} = \frac{r_b^2}{r_a^2} = 3$ , 故  $E_a = 3E_b$ , D正确.

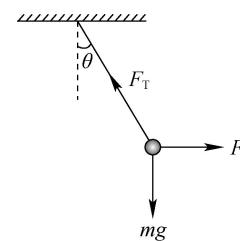
4. B 试探电荷会引起金属球上电荷的重新分布. 同种电荷相互排斥,使得金属球上的电荷远离放置的点电荷,导致点电荷位置处的电场强度变小,则该点原来的电场强度应满足  $E > E' = \frac{F}{\frac{Q}{2}} = \frac{2F}{Q}$ , 故B正确.

5. D 根据电场力公式  $F = Eq$ , 可知A点的电场强度大小为  $E_A = \frac{F_A}{q} = \frac{4 \times 10^{-4}}{1 \times 10^{-9}} \text{ N/C} = 4 \times 10^5 \text{ N/C}$ , A错误; 正电荷受到的电场力方向与电场强度方向相同,故A点的电场强度的方向沿x轴正方向,负电荷受到的电场力方向与电场强度方向相反,故B点的电场强度的方向沿x轴负方向,根据点电荷电场强度分布,可知点电荷Q是负电荷,且放置于A、B两点之间的某位置,C错误; B点的电场强度大小为  $E_B = \frac{F_B}{q} = \frac{1 \times 10^{-4}}{4 \times 10^{-9}} \text{ N/C} = 2.5 \times 10^4 \text{ N/C}$ , 设点电荷Q的位置坐标为  $x_0$ , 可得  $E_A = k \frac{Q}{(x_0 - 0.2)^2}$ ,  $E_B = k \frac{Q}{(0.7 - x_0)^2}$ , 解得  $x_0 = 0.3 \text{ m}$ , A、B两点与电荷Q位置间距之比为  $r_A : r_B = (0.3 - 0.2) : (0.7 - 0.3) = 1 : 4$ , B错误, D正确.

6. C 电荷量为 $-q$ 的试探电荷在a点受到的库仑力方向指向Q,则电场强度方向背离Q,故Q带正电,A错误;根据  $E = k \frac{Q}{r^2}$  知, b、c两点电场强度大小相同,但方向不同,B错误;根据  $E = k \frac{Q}{r^2}$ , 可知  $\frac{E_a}{E_b} = \frac{r_b^2}{r_a^2} = \frac{4}{1}$ , C正确;场强由电场本身决定,与试探电荷无关,所以将a处的试探电荷电荷量变为 $+2q$ ,该处场强不变,D错误.

7. A 场强  $E$  与  $\frac{1}{r^2}$  函数关系如题图所示,结合点电荷电场强度公式  $E = \frac{kQ}{r^2}$ , 可知, 图像的斜率为  $kQ$ , 那么点电荷在b状态的电荷量为a状态电荷量的  $\frac{1}{3}$ , A正确, B错误;由图像可知,在同一位置,a状态的电场与b状态电场方向相同,C错误;由A分析可知,在同一位置,a状态的场强为b状态场强的3倍,D错误.

8. D A为带正电的金属板,不能将其看成点电荷,故不能使用库仑定律求小球受到的库仑力,也不能使用点电荷场强公式求该点场强,故A、B错误;小球受到的电场力方向向右、重力竖直向下,小球的受力情况如图所示,由平衡条件得  $F = qE = mg \tan \theta$ , 则小球所在处的场强大小为  $E = \frac{mg \tan \theta}{q}$ , 故C错误,D正确.



9. C 在A处放一个 $-q$ 的点电荷与在A处同时放一个 $+q$ 和 $-2q$ 的点电荷的效果相当,因此可以认为圆心O处的电场是由五个 $+q$ 和一个 $-2q$ 的点电荷产生的电场的叠加,五个 $+q$ 处于对称位置上,在圆心O处产生的合场强为0,所以O点的场强相当于 $-2q$ 在O处产生的场强,故C正确.

10. B 处于O点的正点电荷在G点处产生的电场强度大小  $E_1 = k \frac{Q}{a^2}$ , 方向沿y轴负方向. 因为G点处电场强度为零,所以M、N处两负点电荷在G点产生的合电场强度大小  $E_2 = E_1 = k \frac{Q}{a^2}$ , 方向沿y轴正方向;根据对称性可知,M、N处两负点电荷在H点产生的合电场强度大小  $E_3 = E_2 = k \frac{Q}{a^2}$ , 方向沿y轴负方向. 将该正点电荷移到G处,正点电荷在H点产生的电场强度大小  $E_4 = k \frac{Q}{(2a)^2}$ , 方向沿y轴正方向,所以H点处的电场强度大小  $E = E_3 - E_4 = \frac{3kQ}{4a^2}$ , 方向沿y轴负方向, B正确.

#### 方法技巧 电场叠加问题的分析思路

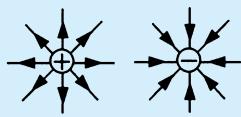
- (1) 确定研究点的空间位置.
- (2) 分析该处有几个分电场,先计算出各个分电场在该点的电场强度的大小和方向.
- (3) 同一直线上的电场强度的叠加可简化为代数运算;不在同一直线上的两个电场强度的叠加,用平行四边形定则求合电场强度.

#### 限时小练3 电场 电场强度(课时2)

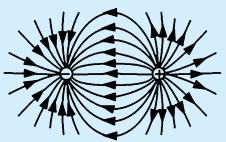
##### 1. C

A	甲图中与点电荷等距的a、b两点,电场强度大小相同,方向不相反	<input checked="" type="checkbox"/>
B	乙图中根据电场线的疏密及对称性可判断,a、b两点的电场强度大小相等,方向相同	<input checked="" type="checkbox"/>
C	丙图中两等量同种点电荷连线的中垂线上与连线等距的a、b两点,电场强度大小相同,方向相反	<input checked="" type="checkbox"/>
D	丁图中根据电场线的疏密可判断,b点的电场强度大于a点的电场强度	<input checked="" type="checkbox"/>

## 技巧点拨 几种常见电场的电场线分布特点



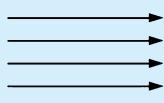
孤立点电荷周围的电场



等量异种点电荷的电场



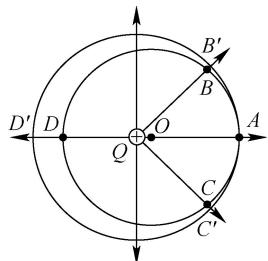
等量同种点电荷的电场



匀强电场

- (1) 始于正电荷或无穷远,止于无穷远或负电荷;
- (2) 任何两条电场线都不能相交;
- (3) 同一电场中电场线的疏密反映场强的相对强弱;
- (4) 匀强电场中各点场强大小相等,方向相同,电场线是一些平行等间距的直线.

2. A 正点电荷  $Q$  放在  $O$  点的左边,以正点电荷到  $A$  为半径作圆,如图所示.由正点电荷电场线分布规律,可知越靠近正点电荷电场线分布越密,电场强度越大,则  $D$  点电场强度最大,  $A$  点电场强度最小,  $B$ 、 $C$  两点对称,电场强度大小相等,则  $E_A < E_B, E_B = E_C, E_C < E_D, E_A < E_D$ , 故 A 正确.



3. D 根据电场线起始于正电荷(或无穷远处)终止于无穷远处(或负电荷),且电场线关于虚线对称知,  $A$ 、 $B$  带等量的正电荷, A、B 错误;由等量同种正电荷电场分布规律,且  $a$ 、 $b$  为其连线的中垂线上关于  $O$  点对称的两点可知,  $a$ 、 $b$  两点处电场强度不为 0, C 错误;由对称性可知,  $a$ 、 $b$  两点处场强大小相等,方向相反,则同一试探电荷在  $a$ 、 $b$  两点处所受电场力大小相等,方向相反, D 正确.

4. C 由  $v-t$  图像可知负电荷在电场中做加速度越来越大的加速运动,故电场线应由  $B$  指向  $A$ ,且从  $A$  到  $B$  场强变大,电场线变密, C 正确.

5. A 由于圆环所带电荷量均匀分布,所以长度为  $\Delta L$  的小圆弧所带电荷量  $q = \frac{Q \Delta L}{2\pi R}$ , 没有取走电荷时圆心  $O$  点的电场强度为 0, 取走电荷后, 圆环剩余电荷在  $O$  点产生的电场强度大小等于  $A$ 、 $B$  处弧长为  $\Delta L$  的小圆弧所带正电荷在  $O$  点产生的电场强度的叠加,方向相反, 即有  $E_{剩} = \frac{2kq}{R^2} \cos 60^\circ$ , 解得  $E_{剩} = \frac{kQ \Delta L}{2\pi R^3}$ , 方向沿  $CO$ , 故 A 正确.

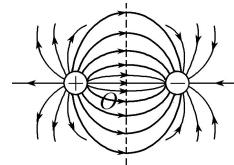
**关键点拨** 电荷分布均匀的圆环中心处的场强为零,去掉小圆弧的电荷等效为点电荷,由点电荷场强公式  $E = k \frac{Q}{R^2}$  及场强叠加原理进行求解.

6. A 点电荷  $+q$  受到的电场力  $F = Eq = 1 \times 10^{-3}$  N, A 正确;点电荷  $+q$  受到的电场力与电场强度方向相同, B 错误;根据  $F = Eq$ , 匀强电场场强不变,电荷量不变,电场力不变, C、D 错误.

7. D 根据题图可知,  $P$  点场强方向与  $Q$  点场强方向不同,所以  $P$ 、 $Q$  两点的电场强度不相同,故 A 错误;电场线的疏密表示电场强度的大小,  $M$  点的电场强度大于  $N$  点的电场强度,可知把同一试探电荷放在  $M$  点所受的电场力大于放在  $N$  点所受的电场力,故 B、C 错误;依据点电荷的电场强度公式  $E = k \frac{Q}{r^2}$ , 以及电场强度叠加原理,可知两点电荷连线的中点处的电场强度大小为  $E_{合} = 2k \frac{q}{r^2} + k \frac{q}{r^2} = 3k \frac{q}{r^2}$ , 故 D 正确.

8. B 电场线从正电荷出发,由电场线分布可知,电荷  $P$  带正电, A 错误, B 正确;  $a$  点的电场线较  $b$  点更稀疏,则  $a$  点的电场强度小于  $b$  点的电场强度, C 错误;因  $c$  点的电场线较  $d$  点密集,  $c$ 、 $d$  两点的电场强度大小不同,电场线的切线方向表示电场强度的方向,  $c$ 、 $d$  两点切线方向不同,所以  $c$ 、 $d$  两点的电场强度方向不同, D 错误.

9. A 两等量异种点电荷电场的电场线如图所示,在它们连线的中垂线上,从连线上的中点  $O$  到无穷远处的电场强度逐渐减小, A 正确.



10. A 正点电荷  $Q$  在  $A$  点的电场强度大小  $E' = \frac{kQ}{r^2}$ , 而匀强电场在  $A$  点的电场强度大小为  $E$ , 因方向相互垂直,根据矢量的合成法则,则  $A$  点的场强大小为  $E_A = \sqrt{E^2 + k^2 \frac{Q^2}{r^4}}$ , A 正确;同理,点电荷  $Q$  在  $B$  点的电场强度的方向与匀强电场方向相同,因此  $B$  点的场强大小为  $E_B = E + k \frac{Q}{r^2}$ , B 错误;当点电荷  $Q$  在  $D$  点的电场强度与匀强电场大小相等时,则  $D$  点的电场强度大小可以为零, C 错误;根据矢量的合成法则,可知  $A$ 、 $C$  两点的电场强度大小相等,而方向不同, D 错误.

## 限时小练 4 静电的防止与利用

## 1. B

A	甲图中,该同学接触带电的金属球,与金属球带同种性质的电荷	<input checked="" type="checkbox"/>
---	------------------------------	-------------------------------------

续表

B	乙图中,线状电离器B带负电,极板A带正电,带负电的尘埃被收集在极板A上	×
C	丙图中,燃气灶中电子点火器点火应用了尖端放电的原理	√
D	丁图中,油罐车车尾下方拖着一根落地的铁链是为了把产生的静电及时导入到大地	√

2. B 处于静电平衡的导体内部场强处处为零,所以没有电场线,空心金属球内表面感应出负电荷,外表面感应出正电荷,B正确.

3. C 题图甲中金属网达到静电平衡,内部电场强度为0,金属箔不会张开,金属网屏蔽了外电场,故A、D错误;题图乙中金属网未接地,网内的带电体在金属网内侧感应出负电荷,金属网外侧感应出等量的正电荷,正电荷在金属网外侧有电场,对外界产生影响,所以金属箔会张开,故B错误;题图丙中金属网已接地,金属网外侧的感应电荷与大地的负电荷中和,外部电场消失,金属箔不会张开,故C正确.

### 规律总结 静电屏蔽的两个总结

- (1) 封闭导体壳不论接地与否,内部电场都不受壳外电荷或电场影响.
- (2) 接地封闭导体壳外部电场不受壳内电荷或电场的影响.

4. D 因为金属壳接地,金属壳内表面是近端,感应出异种电荷,地球是远端,感应出同种电荷,所以外表面没有感应电荷,只有内表面有感应电荷分布,由于A带正电,因此B的内表面带负电,D正确,B、C错误;B的空腔内有带正电的小球A产生的电场和金属壳内表面感应电荷产生的电场,所以空腔内电场强度不为零,A错误.

### 方法技巧 判断导体上电荷分布的三个技巧

- (1) 处于静电平衡状态的导体,电荷只分布在其表面.
- (2) 不规则的孤立导体表面电荷分布不均匀.
- (3) 导体弯曲程度大(尖端)的位置电荷密集,弯曲程度小(平滑端)的位置电荷稀少.

5. A 静电平衡的金属球内的合场强处处为零,金属球上感应电荷产生的附加电场与带电的细杆MN产生的场强大小相等,方向相反,相互抵消,a点离带电的细杆MN最近,带电的细杆MN在a点处产生的场强最大,则金属球上感应电荷在a点处产生的场强最大,A正确.

### 方法技巧 静电平衡

静电平衡状态下的导体,其内部的场强处处为零,也就是外加电场与感应电荷的电场叠加为零,即感应电荷产生的场强与外加的场强大小相等,方向相反,只要分析外加电场的场强在导体内的分布情况,就可以判断感应电荷在导体内的场强的情况.

6. B 处于静电平衡状态的导体,其内部合场强处处为零,则感应电荷产生的电场在导体内的电场线一定与点电荷产生的电场在导体内的电场线反向,B正确.

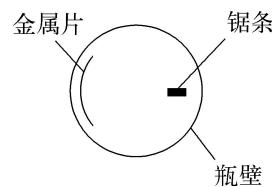
7. A 由题意可知,熔喷布是一种用绝缘材料做成的带有静电的超细纤维布,所以当几微米的粉尘、飞沫靠近时,由于静电感应而带电,从而被熔喷布吸附,则其原理为静电感应和静电吸附,故A正确,B、C、D错误.

8. A 作业人员被铜丝纺织的衣服所包裹,起到静电屏蔽作用,使人体内电场强度保持为0,对人体起保护作用,与铜丝的厚度没有关系,A正确,D错误;直升机由金属制成,由于静电屏蔽,内部场强为0,B错误;小鸟停在单根高压输电线上,小鸟的两只脚之间的距离很小,所以两脚间的电压也很小,小鸟不会被电死,C错误.

9. C 避雷针安装在高大建筑物顶部,能将云层中积累的电荷导入大地,因此必须接地,A、B正确;当带电云层靠近建筑物时,避雷针上产生的感应电荷会通过针尖放电,逐渐中和云中的电荷,使建筑物免遭雷击,其原理为尖端放电,D正确,C错误.

10. C 喷枪喷出的油漆微粒带正电,因相互排斥而散开,形成雾状,被喷涂的物体带负电,对雾状油漆产生引力,把油漆吸到表面,从而减少了浪费,C正确.

11. A 当静电除尘装置接通电压时,锯条和金属片之间存在电场,它使空气电离而产生负离子和正离子,负离子在静电力的作用下,向正极移动时,碰到烟尘微粒使它带负电,带电烟尘在静电力的作用下,向正极移动,烟尘最终被吸附到金属片上,这样消除了烟尘中的尘粒.瓶内俯视图如图,尖端附近的电场线密集,所以在锯条附近的电场强度大于金属片附近的电场强度,A正确,B错误.根据俯视图可以看出塑料瓶内存在的辐射状的电场,不是匀强电场,C、D错误.



## 阶段提优 1 电场的力的性质综合应用

1. D 点电荷做曲线运动,静电力与速度方向不在同一直线上,应指向轨迹弯曲的内侧,不可能沿轨迹的切线方向,则电场强度方向也不可能沿轨迹的切线方向,故A错误;负点电荷所受的静电力方向与电场强度方向相反,题图B中静电力方向与速度方向的夹角为锐角,静电力做正功,点电荷的速率增大,与题意不符,故B错误;题图C中电场强度方向指向轨迹的内侧,则静电力指向轨迹的外侧,点电荷的轨迹应向上弯曲,不可能沿题图C所示的轨迹运动,故C错误;题图D中电场强度方向指向轨迹的外侧,则静电力指向轨迹的内侧,而且静电力方向与点电荷的速度方向成钝角,静电力做负

功,点电荷的速率减小,符合题意,故 D 正确.

**2. B** 设两圆弧棒均带正电,左侧四分之一圆弧产生的电场强度方向斜向右下方,与  $x$  轴正方向的夹角为  $45^\circ$ ,右侧四分之一圆弧产生的电场强度方向斜向左下方,与  $x$  轴负方向的夹角为  $45^\circ$ ,它们的大小均为  $E_1$ ,由电场强度叠加原理,有  $E^2 = E_1^2 + E_1^2$ ,解得  $E_1 = \frac{\sqrt{2}}{2} E$ ,撤去其中一棒后,  $O$  点的电场强度大小变为  $\frac{\sqrt{2}}{2} E$ ,故 B 正确.

**3. C** 将圆环等分为  $n$  个小段,当  $n$  相当时,每一小段都可以看作点电荷,其所带电荷量为  $q = \frac{Q_1}{n}$ ,每一点电荷在  $A$  处的场强为  $E_0 = k \frac{q}{R^2 + R^2} = \frac{kQ_1}{2nR^2}$ ,由对称性知,每一点电荷在  $A$  处的场强在垂直于轴线方向上的分量相抵消,而沿轴线方向分量之和即为带电环在  $A$  处的场强  $E = nE_0 \cos 45^\circ = \frac{\sqrt{2}kQ_1}{4R^2}$ ,现将圆环撤去,在圆环的圆心处放置一个电荷量为  $Q_2$  的点电荷,使得  $A$  点的场强仍为  $E$ ,则  $E = \frac{kQ_2}{R^2} = \frac{\sqrt{2}kQ_1}{4R^2}$ ,解得  $Q_2 = \frac{\sqrt{2}}{4} Q_1$ ,故 C 正确.

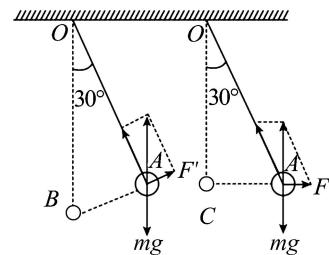
**4. B** 图甲中,点电荷  $+Q$  对点电荷  $-q$  的库仑力用来提供向心力,从而做半径为  $r$  的匀速圆周运动,则有  $F_{\text{向}} = F_{\text{库}} = \frac{kQq}{r^2} = mr\omega_1^2$ ,解得  $\omega_1 = \sqrt{\frac{kQq}{mr^3}}$ ,图乙中,两个固定点电荷  $+Q$  对  $-q$  的库仑力的合力  $F'_{\text{库}}$  来提供向心力,则有  $F'_{\text{向}} = F'_{\text{库}} = mr'\omega_2^2$ ,又  $F'_{\text{库}} = \frac{2kQq}{r^2} \sin 30^\circ$ , $r' = r \sin 30^\circ$ ,联立解得  $\omega_2 = \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{kQq}{mr^3}}$ ,故  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ,故 B 正确.

**5. D** 对小球  $a$  进行受力分析可知,要使小球  $a$  处于平衡状态,  $a$ 、 $c$  小球之间的库仑力一定为引力,故  $a$ 、 $c$  小球带异种电荷,B 错误;对小球  $c$  进行受力分析,根据 B 选项的结论可得,小球  $a$  对  $c$  的库仑力为引力,方向斜向左下,小球  $c$  位于圆环最高点,则支持力方向竖直向上,重力方向竖直向下,小球  $c$  处于平衡状态,则小球  $b$  对小球  $c$  的库仑力方向斜向右下,为引力,所以  $a$ 、 $b$  小球带同种电荷,A 错误;因为  $a$ 、 $c$  连线与  $b$ 、 $c$  连线的夹角为  $90^\circ$ ,根据几何关系可知,  $a$ 、 $b$  连线过圆心,则  $ac = 2R \sin 30^\circ = R$ ,  $bc = 2R \cos 30^\circ = \sqrt{3}R$ ,小球  $c$  处于平衡状态,则  $F_{ac} \sin 60^\circ = F_{bc} \sin 30^\circ$ ,  $F_{ac} = \frac{kq_a q_c}{R^2}$ ,  $F_{bc} = \frac{kq_c q_b}{(\sqrt{3}R)^2}$ ,可得  $\frac{q_a}{q_b} = \frac{\sqrt{3}}{9}$ ,C 错误,D 正确.

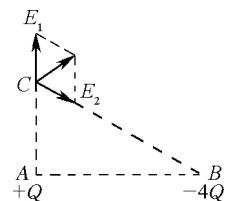
**6. C** 两点电荷间的相互作用力大小相等、方向相反,由于开始时  $p$  的加速度为  $a$ ,  $q$  的加速度为  $4a$ ,由  $F = ma$  可知  $p$ 、 $q$  两个点电荷的质量之比为  $4:1$ ,因此当  $q$

的加速度为  $a$  时,  $p$  的加速度为  $\frac{1}{4}a$ . 设  $q$  点电荷的质量为  $m$ ,当  $p$  的加速度为  $a$  时,  $p$ 、 $q$  间的库仑力为  $k \frac{Qq}{r^2} = 4ma$ ,而当  $q$  的加速度为  $a$  时,  $p$ 、 $q$  间的库仑力为  $k \frac{Qq}{(r')^2} = ma$ ,联立解得  $r' = 2r$ ,C 正确.

**7. C** 对两种情况进行受力分析,如图所示. 依据矢量的合成法则,结合三角形知识,及平衡条件,则有  $F' = mg \sin 30^\circ$ ,  $F = mg \tan 30^\circ$ ,根据库仑定律有  $F' = \frac{kQq_1}{l_{BA}^2}$ ,  $F = \frac{kQq_2}{l_{CA}^2}$ ,根据三角形知识,则有  $l_{BA} = L \tan 30^\circ$ ,  $l_{CA} = L \sin 30^\circ$ ,综上所得  $\frac{q_1}{q_2} = \frac{2}{\sqrt{3}} = \frac{2\sqrt{3}}{3}$ ,故选 C.



**8. B** 两个点电荷在  $C$  点产生的电场强度的方向如图所示,其中正点电荷在  $C$  点产生的场强大小为  $E_1 = \frac{kQ}{d^2}$ ,负点电荷在  $C$  点产生的场强大小为  $E_2 = \frac{k \cdot 4Q}{(2d)^2} = \frac{kQ}{d^2}$ ,两点电荷在  $C$  点产生的电场的方向夹角为  $120^\circ$ ,由平行四边形定则知,合场强的大小为  $\frac{kQ}{d^2}$ ,B 正确.



**9. A**  $C$  处粒子受到  $A$  处粒子的库仑引力为  $F_{AC} = \frac{kq^2}{l^2}$ , $C$  处粒子受到  $B$  处粒子的库仑引力为  $F_{BC} = \frac{4kq^2}{(2l)^2} = \frac{kq^2}{l^2}$ ,且两力的夹角为  $60^\circ$ ,则合力为  $F = 2 \frac{kq^2}{l^2} \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}kq^2}{l^2}$ ,则加速度大小为  $a = \frac{F}{m} = \frac{\sqrt{3}kq^2}{ml^2}$ ,A 正确.

**10. C** 根据题意,圆环  $a$  能保持静止,故受到库仑斥力,则圆环  $a$  带正电,A 错误;对圆环  $a$ ,库仑力的大小为  $\frac{mg}{\sin \theta}$ ,根据牛顿第三定律,滑块  $b$  受到的库仑力大小等于圆环  $a$  受到的库仑力大小,B 错误;对  $a$ 、 $b$  组成的系统整体进行受力分析,竖直方向上受力平衡,故滑块  $b$  受到地面的支持力大小为  $(M+m)g$ ,C 正确;滑块  $b$  静止,根据受力分析可知,滑块  $b$  受到地面的静摩擦力大小为

$$F_t = \frac{mg}{\tan \theta}, D \text{ 错误.}$$

11. (1) 由牛顿第二定律可知

$$mg \sin \alpha - F = ma,$$

$$\text{根据库仑定律, 有 } F = k \frac{qQ}{r^2},$$

$$\text{又 } r = \frac{H}{\sin \alpha},$$

$$\text{解得 } a = g \sin \alpha - \frac{kqQ \sin^2 \alpha}{mH^2}.$$

(2) 当 A 球受到合力为零, 即加速度为零时, 动能最大.

设此时 A 球与 B 点间的距离为  $d$ , 则

$$mg \sin \alpha = k \frac{qQ}{d^2},$$

$$\text{解得 } d = \sqrt{\frac{kqQ}{mg \sin \alpha}}.$$

## 章末提优 1

1. D 通过类比万有引力定律, 卡文迪什和普里斯特等人确信“平方反比”规律, 但最终是库仑通过扭秤实验发现了电荷之间的相互作用规律, A 错误, D 正确; 密立根通过油滴实验测得了元电荷  $e$  的值, B 错误; 法拉第提出了电场的概念, 并用电场线描述电场, C 错误.

2. A 取甲、乙整体为研究对象, 整体受到重力、静电力和细线 1 的拉力, 因为两个静电力的矢量和为  $F_{\text{电}} = qE + (-qE) = 0$ , 所以细线 1 对小球的拉力与总重力平衡, 即细线 1 的拉力与整体的重力等大反向, 所以细线 1 应保持竖直; 再对乙球进行分析可知, 乙球受到的静电力水平向右, 所以细线 2 向右倾斜, 故 A 正确.

3. A 根据题意, 由库仑定律可得  $F_1 = k \frac{3Q \cdot 7Q}{r^2} = k \frac{21Q^2}{r^2}$ . 当两带电小球接触后正、负电荷中和, 电荷平均分配, 可知两小球分开后所带电荷量均为  $+2Q$ , 则由库仑定律可得  $F_2 = k \frac{2Q \cdot 2Q}{(2r)^2} = k \frac{Q^2}{r^2}$ , 故  $F_1 : F_2 = 21 : 1$ , A 正确.

4. C A 点电场强度为零, 说明两点电荷在 A 点的电场强度与匀强电场的电场强度等大反向, 即竖直向上, 大小为  $E$ , 根据对称性, 两点电荷在 B 点产生的电场强度竖直向下, 大小为  $E$ . 所以 B 点的电场强度大小为  $2E$ , 方向竖直向下, C 正确.

5. C 对金属滑块 B 受力分析, 库仑力等于弹簧弹力, 两滑块电荷量均减少一半时, 若不考虑两滑块距离的变化对库仑力的影响, 由库仑定律, 有  $F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ , 可知库仑力减为原来的  $\frac{1}{4}$ , 则弹簧的伸长量  $x_2 = \frac{1}{4} x_1$ , 实际距离减小后库仑力又会增大, 故  $x_2 > \frac{1}{4} x_1$ , 故 C 正确.

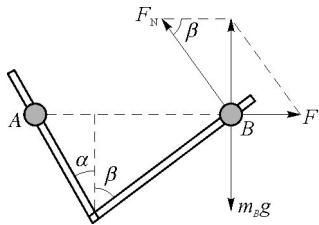
6. A 空心金属球处于静电平衡状态, 可知金属球内的合场强处处为零, A 正确; 静电感应导致金属球的电荷重新分布, 左侧带正电荷, 右侧带负电荷, B 错误; 金属球可以感应带电, 电荷不是创造出来的, 而是从物体的一个部分转移到另一个部分, C 错误; 感应电荷在金属球球心处产生的电场强度与  $+Q$  的点电荷在此处的电场强度大小相等, 方向相反, 合电场强度为零, 因此感应电荷在金属球球心处产生的电场强度大小为  $E = k \frac{Q}{9r^2}$ , D 错误.

7. D 点电荷在  $a$  点的电场强度为  $E_1 = k \frac{q}{d^2}$ , 方向水平向右, 根据场强的叠加原理, 由于该点的场强为 0, 所以可知带电薄板在  $a$  点的场强大小为  $E_2 = E_1 = k \frac{q}{d^2}$ , 方向水平向左, 根据对称性可知, 带电薄板在  $b$  点产生的电场强度与  $a$  点的对称, 大小也为  $E_3 = E_2 = k \frac{q}{d^2}$ , 方向水平向右, 点电荷在  $b$  点的电场强度为  $E_4 = k \frac{q}{(3d)^2} = \frac{kq}{9d^2}$ , 方向水平向右, 根据场强的叠加原理, 可知  $b$  点的电场强度为  $E = E_3 + E_4 = \frac{10kq}{9d^2}$ , 方向垂直薄板向右, 故 D 正确.

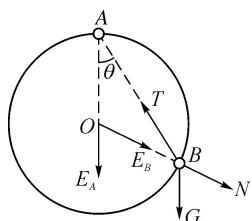
8. B 以小球为研究对象, 受到重力  $mg$ 、线的拉力  $F_1$  和静电力  $F_2$  三个力作用, 根据平衡条件可知, 拉力  $F_1$  与静电力  $F_2$  的合力必与重力  $mg$  等大反向. 当静电力  $F_2$  垂直于细线时,  $F_2$  最小, 故场强  $E$  也最小, 此时有  $qE = mg \sin 60^\circ$ , 则电场强度  $E = \frac{mg \sin 60^\circ}{q} = \frac{\sqrt{3}mg}{2q}$ , B 正确.

9. B 根据粒子运动轨迹弯曲的情况, 粒子所受电场力应指向轨迹的凹侧, 又粒子所受电场力的方向沿电场线切线方向, 可知此粒子带正电, A 正确; 电场线越密处, 场强越大, 粒子所受电场力越大, 根据牛顿第二定律可知加速度也越大, 因此粒子在  $N$  点的加速度大于它在  $M$  点的加速度, B 错误, C 正确; 粒子从  $M$  点到  $N$  点, 仅有电场力做正功, 动能增大, 可知此粒子在  $N$  点的动能大于它在  $M$  点的动能, D 正确.

10. D A、B 间的库仑力大小相等, 设为  $F$ , 根据库仑定律有  $F = k \frac{q_A q_B}{r^2}$ , 则不能判断电荷量的大小关系, A 错误; 对 B 进行受力分析, 如图所示, 根据平衡条件有  $F = \frac{m_B g}{\tan \beta}$ , 同理对 A 有  $F = \frac{m_A g}{\tan \alpha}$ , 已知  $\alpha < \beta$ , 则  $m_A < m_B$ , B 错误; 若因漏电 A 球的电荷量逐渐减小, 重新平衡后, 由于 A、B 受到的重力和杆对 A、B 的弹力也不变, 库仑力也不变, 则 A、B 连线仍水平, C 错误, D 正确.



11. C 因小球 B 处于静止状态,对其进行受力分析,如图所示,由于 A 球带正电,则小球 B 一定带负电,A 错误;因两球带等量异种电荷,O 点位于两者连线的中垂线上,故 O 点电场强度方向与 AB 方向平行指向右下角,大小为  $E = 2k \frac{q}{r^2} \cos 30^\circ = \sqrt{3} k \frac{q}{r^2}$ , B、D 错误, C 正确.



12. (1) 根据库仑定律,可知点电荷 q 在 M 点受到的库仑力大小

$$F = k \frac{Qq}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-9} \times 10^{-10}}{0.3^2} \text{ N} = 1.0 \times 10^{-8} \text{ N}.$$

- (2) 根据点电荷的电场强度公式,可知 M 点的电场强度的大小

$$E = k \frac{Q}{r^2} = 9 \times 10^9 \times \frac{10^{-9}}{0.3^2} \text{ N/C} = 100 \text{ N/C}.$$

- (3) 电场强度的大小和方向只与电场本身有关,与放入的点电荷无关,因此,拿走 q 后 M 点的电场强度的大小仍为 100 N/C.

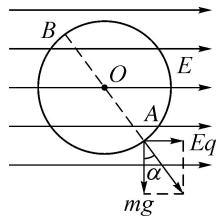
13. (1) 对小球受力分析,由平衡条件有  $qE = mg$ ,

$$\text{解得 } E = \frac{mg}{q}.$$

- (2) 当小球所受电场力垂直细线斜向右上方,保持小球静止时的电场力最小,即电场强度最小,由于小球带正电,故此时电场方向也垂直细线斜向右上方,此时由平衡条件得  $qE_{\min} = mg \cos 30^\circ$ ,

$$\text{解得 } E_{\min} = \frac{\sqrt{3}mg}{2q}.$$

14. 设静电力与重力的合力和竖直方向的夹角为  $\alpha$ ,如图所示.



$$\text{有 } \tan \alpha = \frac{qE}{mg} = 0.75,$$

$$\text{解得 } \alpha = 37^\circ.$$

小球恰能沿环形轨道做圆周运动,速度最小的位置应该

在“等效最高点”,即图中的 B 点,根据牛顿第二定律,有

$$\frac{mg}{\cos \alpha} = m \frac{v_{\min}^2}{R},$$

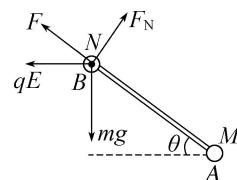
小球动能的最小值为

$$E_{\min} = \frac{1}{2} mv_{\min}^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{mgR}{\cos \alpha} = \frac{1}{2} \times \frac{0.4 \times 10 \times 2}{0.8} \text{ J} = 5 \text{ J}.$$

15. (1) 对小球 B 受力分析,如图所示,开始运动时小球 B 受重力、库仑力、杆的弹力和静电力,沿杆方向运动,

$$\text{由牛顿第二定律得 } mg \sin \theta - \frac{kQq}{L^2} - qE \cos \theta = ma,$$

解得  $a = 3.2 \text{ m/s}^2$ .



- (2) 小球 B 速度最大时所受合力为零,有

$$mg \sin \theta - \frac{kQq}{r^2} - qE \cos \theta = 0,$$

解得  $r = 0.9 \text{ m}$ .

### 真题小练

1. C 根据库仑定律,可知接触前两个点电荷之间的库仑力大小为  $F = k \frac{Q \cdot 3Q}{r^2}$ , 两球分开后各自带电荷量为

$+Q$ , 距离又变为原来的  $\frac{1}{2}$ , 则库仑力为  $F' = k \frac{Q \cdot Q}{(\frac{r}{2})^2} =$

$k \frac{4Q \cdot Q}{r^2} = \frac{4}{3} F$ , 所以两球间库仑力的大小为  $\frac{4}{3} F$ , 故 C 正确.

2. C 引入一个试探电荷 q, 根据库仑定律, 可知它在 A、B 两点受到的电场力分别为  $F_A = \frac{kQq}{r^2}$ ,  $F_B = \frac{kQq}{(3r)^2} =$

$\frac{kQq}{9r^2}$ , 联立解得  $F_A = 9F_B$ , 根据电场强度的定义式  $E = \frac{F}{q}$ , 可得  $\frac{E_A}{E_B} = \frac{F_A}{F_B} = \frac{9}{1}$ , 故 C 正确.

3. B 由于电荷均匀分布,则各  $\frac{1}{4}$  圆环上的电荷等效集

于  $\frac{1}{4}$  圆环的中心, 设圆的半径为 r, 则 A 图中 O 点处

的场强大小为  $E_A = \frac{kq}{r^2}$ ; 将 B 图中正、负电荷产生的场强进行叠加, 等效两电荷场强方向间的夹角为  $90^\circ$ , 则在 O 点的合场强  $E_B = \frac{\sqrt{2}kq}{r^2}$ , 方向沿 x 轴负方向; C 图中两正电荷在 O 点的合场强为 0, 则 C 图中 O 点处的场强大小

为  $E_C = \frac{kq}{r^2}$ ; D 图由于完全对称, 易得合场强  $E_D = 0$ , 故 O 处电场强度最大的是图 B, 故选 B.

4. D 设  $F-q$  图像的横轴单位长度的电荷量为  $q_0$ , 纵轴单位长度的力大小为  $F_0$ , 根据电场强度的定义式

$$E = \frac{F}{q}, \text{ 知 } F-q \text{ 图像斜率表示电场强度, 由题图知 } E_a =$$

$$\frac{4F_0}{q_0} = 4 \frac{F_0}{q_0}, E_b = \frac{4F_0}{4q_0} = \frac{F_0}{q_0}, \text{ 可得 } \frac{E_a}{E_b} = 4 : 1, \text{ 故 D 正确.}$$

## 第十章 静电场中的能量

### 限时小练 5 电势能和电势

1. C 因为电场力做功只与初、末位置有关, 而与电荷运动路径无关, 故沿三条路径将电荷由 A 移动到 B 的过程中, 电场力做的功相同, 故 C 正确.

#### 常用结论

在静电场中移动电荷时, 静电力做的功只与电荷的起始位置和终止位置有关, 与电荷经过的路径无关.

2. C 沿电场方向场强可能增加、可能减小、可能不变, 也可能先增后减, 故 A、B 错误; 正电荷所受电场力的方向沿电场线切线方向, 沿电场线方向移动正电荷, 电场力做正功, 所以电势能减小, 故 C 正确, D 错误.

3. C

A	电势高低与场强大小无必然联系	×
B	$b$ 点电势高于 $a$ 点, 但 $a$ 、 $b$ 可能不在同一条电场线上	×
C	电场力做负功, 该电荷电势能增加, 正电荷在电势高处电势能较大	✓
D	电场力做负功的同时电荷可能还受其他力作用, 总功不一定为负, 由动能定理可知, 动能不一定减小	×

4. A 由于是负点电荷形成的电场, 所以负点电荷离  $c$  点最近, 有  $E_a < E_b < E_c$ ; 沿着电场线方向电势逐渐降低, 有  $\varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$ , 故 A 正确, B、C、D 错误.

5. D 将正电荷从  $a$  移到  $b$  的过程中, 静电力做负功, 电势能增大, 即  $W < 0, E_{pa} < E_{pb}$ , 故 D 正确.

6. D 沿着电场线的方向电势逐渐降低, 由题图可知  $a$  点电势高于  $b$  点电势, 故 A 错误; 电场线密集的地方电场强度大, 故 B 错误;  $+q$  由  $a$  点移至  $b$  点, 则静电力做正功, 其电势能减小, 故 C 错误; 对同一负电荷, 电势越高, 电势能越小, 故 D 正确.

7. B 在  $A$ 、 $B$  两点分别放等量同种电荷后, 设三角形中心  $O$  点的电场强度为  $E$ , 有  $2E_1 \sin 30^\circ = E$ , 解得  $E_1 = E$ , 则再在  $C$  点放一等量异种电荷后  $O$  点的电场强度大小为  $E_O = E + E_1 = 2E$ ; 三角形中心  $O$  点的电势为  $\varphi$ , 则  $A$ 、 $B$  在  $O$  点的电势是相等的, 都为  $\frac{\varphi}{2}$ ,  $C$  处放一等量异

种电荷, 则该电荷在  $O$  点的电势为  $-\frac{\varphi}{2}$ , 则  $O$  点电势为  $\frac{\varphi}{2}$ , 故 B 正确.

8. D 根据  $v-t$  图像可知, 从  $A$  运动到  $B$  的过程中, 速度逐渐变大, 即动能逐渐变大, 由于仅受静电力, 则电场力做正功, 根据电场力做功与电势能的关系, 则电势能降低, 即点电荷在  $A$  点的电势能比在  $B$  点的大, 故 C 错误, D 正确; 根据电势与电势能的关系  $\varphi = \frac{E_p}{q}$ , 由于不知道点电荷的电性, 故无法判断电势的高低, 故 A、B 错误.

#### 关键点拨 计算电势大小的两种方法

(1) 电势大小等于把某电荷从该处移动到无穷远处电场力做的功与该电荷的电荷量之比, 即  $\varphi = \frac{W}{q}$ .

(2) 已知某电荷在该处具有的电势能大小的情况下, 该处电势大小可由公式  $\varphi = \frac{E_p}{q}$  计算.

【注意】以上所有公式中各量都需代入符号一并运算.

9. C 从  $M$  点到  $N$  点, 由速度—时间图像可知微粒的加速度先增大后减小, 微粒仅受静电力作用, 根据牛顿第二定律和电场强度的定义式可得, 电场强度先增大后减小, A 错误; 从  $M$  点到  $N$  点, 微粒速度一直增大, 故静电力一直做正功, 带负电的微粒逆着电场线方向运动, 故电场强度沿  $NM$  方向, B、D 错误; 从  $M$  点到  $N$  点, 静电力一直对微粒做正功, 电势能减小, 故微粒在  $M$  点的电势能大于在  $N$  点的电势能, C 正确.

10. (1) 静电力做功与电势能的关系为  $W_1 = E_{pa} - E_{pb}$ , 规定  $a$  点的电势为 0, 即  $E_{pa} = 0$ ,

则电荷在  $b$  点的电势能为  $E_{pb} = -W_1 = -1.2 \times 10^{-7}$  J.

(2) 正电荷从  $a$  移动到  $b$ , 静电力做的功可表示为  $W_1 = qE \cdot l_{ab}$ ,

代入数据解得  $E = 60$  V/m.

(3) 该电荷从  $b$  到  $c$ , 静电力做的功为

$$W_2 = F \cdot l_{bc} \cdot \cos 60^\circ = qE \cdot l_{bc} \cdot \cos 60^\circ,$$

代入数据解得  $W_2 = 1.44 \times 10^{-7}$  J,

所以该过程电荷的电势能减少  $1.44 \times 10^{-7}$  J.

11. (1) 将一电荷量也为  $+q$  的点电荷  $Q_1$  从无穷远处 (电势为 0) 移到  $C$  点, 此过程中电场力做的功为  $-W$ , 则有  $-W = 0 - q\varphi$ ,

$$\text{解得 } C \text{ 点的电势为 } \varphi = \frac{W}{q}.$$

(2)  $+q$  移到  $C$  点之前  $B$  点电势也为  $\varphi$ , 故将  $+q$  移到  $C$  点后,  $B$  点电势变为  $2\varphi$ , 则将一电荷量为  $-2q$  的点电荷  $Q_2$  从无穷远处移到  $B$  点后, 电场力做的功为

$$W_2 = 2q \cdot 2\varphi = 4W,$$

因电场力做的功等于电势能的减小量, 则此时系统具有的电势能为  $E_p = -(-W + 4W) = -3W$ .

## 限时小练 6 电势差

## 1. B

A	若两个不同的等势面相交,则在交点处存在两个不同电势数值,与事实不符	×
B	电场线一定与等势面垂直	√
C	同一等势面上的电势相同,但电场强度不一定相同	×
D	将一负电荷从电势较高的等势面移至电势较低的等势面,电场力做负功	×

2. A 设此过程中,电场力对点电荷做的功为  $W_{ab}$ ,由动能定理可知  $W_{\text{外}} + W_{ab} = \Delta E_k$ , 即  $W_{ab} = qU_{ab} = \Delta E_k - W_{\text{外}} = 2 \times 10^{-5} \text{ J}$ , 则  $a, b$  两点间的电势差  $U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} = \frac{2 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-9}} \text{ V} = 1 \times 10^4 \text{ V}$ , A 正确.

3. B 电子带负电荷,电子由  $M$  点分别运动到  $N$  点和  $P$  点的过程中,电场力所做的负功相等,有  $W_{MN} = W_{MP} < 0$ , 而  $W_{MN} = qU_{MN}$ ,  $W_{MP} = qU_{MP}$ ,  $q < 0$ , 所以有  $U_{MN} = U_{MP} > 0$ , 即  $\varphi_M > \varphi_N = \varphi_P$ , 所以  $NP$  和  $MQ$  分别是两条等势线,有  $\varphi_M = \varphi_Q$ , 故电场方向沿直线  $a$  (或  $b$ ) 向下, A 错误, B 正确; 电子由  $M$  点到  $Q$  点的过程中,  $W_{MQ} = q(\varphi_M - \varphi_Q) = 0$ , 电子由  $P$  点到  $Q$  点的过程中,  $W_{PQ} = q(\varphi_P - \varphi_Q) > 0$ , C、D 错误.

4. C 根据等差等势面越密集处电场强度越大可知,  $A$  点的电场强度比  $C$  点的大, A 错误; 因为  $A$  点的电势较高, 所以负电荷在  $A$  点电势能比  $C$  点电势能小, B 错误; 电荷沿等势面  $AB$  移动过程中, 电场力始终不做功, C 正确; 正电荷由  $A$  移到  $C$ , 电场力做正功, D 错误.

5. D 根据电场线与等势面垂直关系,可判断  $P$  点处为负电荷,无穷远处电势为 0,  $e$  点在  $PQ$  连线的中垂线上,则  $\varphi_e = 0$ , A 错误;  $a, b$  两点电场强度大小相同,方向不同,则  $a, b$  两点电场强度不同, B 错误; 从  $Q$  到  $P$  电势逐渐降低,则  $\varphi_b > \varphi_a$ , C 错误; 由  $\varphi_a > \varphi_c$ , 负电荷从  $a$  到  $c$  电场力做负功, 电势能增加, D 正确.

6. B 由题意可知  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 75 \text{ V}$ , 可得  $\varphi_A > \varphi_B$ ,  $U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C = -100 \text{ V}$ , 可得  $\varphi_B < \varphi_C$ , 又  $U_{AC} = U_{AB} + U_{BC} = (75 - 100) \text{ V} = -25 \text{ V}$ , 可得  $\varphi_A < \varphi_C$ , 故有  $\varphi_C > \varphi_A > \varphi_B$ , 故 B 正确.

## 常用结论

若某点的电势为正值表示该点的电势高于零电势,若某点的电势为负值表示该点的电势低于零电势. 电势的正负只表示大小,不表示方向.

7. C 根据带电体周围的等势面分布图,可知  $\varphi_A > \varphi_B$ , 故 A 错误; 等差等势面越密的地方, 电场强度越大, 可知  $E_A > E_B$ , 故 B 错误; 负电荷在电势越低的地方电势能越

大,  $A$  点的电势比  $B$  点的大, 所以带负电的试探电荷在  $A$  点的电势能比在  $B$  点的小, 故 C 正确;  $A$  点的电势比  $B$  点的大, 将带正电的试探电荷由  $A$  移动至  $B$ , 试探电荷的电势能减小, 电场力做正功, 故 D 错误.

8. B  $A$  与  $D$  之间的电势差为  $U_{AD} = -40 \text{ V} - (-10 \text{ V}) = -30 \text{ V}$ , 则  $W_{AD} = qU_{AD} = -4.8 \times 10^{-8} \text{ J}$ , B 正确.

9. A 设  $a, b$  间和  $b, c$  间电势差的绝对值为  $U$ , 粒子电荷量为  $q$ , 根据动能定理可得  $2qU = 10 \text{ J}$ , 粒子运动到等势面  $b$  时的动能为  $E_{kb} = 10 \text{ J} - qU = 5 \text{ J}$ , 因为等势面  $b$  的电势为 0, 所以粒子的能量为  $E = E_{kb} = 5 \text{ J}$ , 根据能量守恒定律可知, 当这个粒子的动能为 6 J 时, 其电势能为  $-1 \text{ J}$ , A 正确.

10. B 在匀强电场中, 有  $U_{AB} = -U_{CD}$ ,  $U_{BC} = -U_{DA}$ , 根据电势差的定义, 有  $U = \frac{W}{q}$ , 可知由  $C$  到  $D$  电场力做的功为  $-W$ , 由  $D$  到  $A$  电场力做的功为  $2W$ , 故 A 错误, B 正确; 取  $BC$  的中点为  $E$ , 根据题意可知, 从  $A$  点到  $E$  点电场力做的功为 0, 则  $A, E$  两点的电势相等, 电场的方向垂直  $AE$ , 故 C、D 错误.

11. A 沿电场线方向电势降低, 由于电场线方向向左, 则  $B$  点电势高于  $A$  点电势, 点电荷在  $A$  点电势能高于  $B$  点电势能, 根据电势能  $E_p = q\varphi$  可以判断, 该点电荷为负电荷, A 正确, B 错误; 该点电荷从  $A$  移到  $B$ , 电势能减小  $\Delta E_p = 1.2 \times 10^{-8} \text{ J} - 0.80 \times 10^{-8} \text{ J} = 4.0 \times 10^{-9} \text{ J}$ , 所以电场力做功为  $W_{AB} = 4.0 \times 10^{-9} \text{ J}$ , A、B 两点的电势差  $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$ , 由于点电荷电荷量未知, 故无法得出 A、B 两点的电势差, C、D 错误.

12. (1) 小球由  $A$  到  $B$  过程, 根据动能定理, 有

$$mg \cdot \frac{3}{2}R - qU_{AB} = \frac{1}{2}m(2\sqrt{gR})^2,$$

小球由  $A$  到  $C$  过程, 根据动能定理, 有

$$mg \cdot 3R - qU_{AC} = \frac{1}{2}mv_C^2, \text{ 其中 } U_{AB} = U_{AC},$$

联立解得小球滑至  $C$  点时的速度大小为  $v_C = \sqrt{7gR}$ .

(2) 由  $mg \cdot \frac{3}{2}R - qU_{AB} = \frac{1}{2}m(2\sqrt{gR})^2$ , 解得 A、B 两点间的电势差  $U_{AB} = -\frac{mgR}{2q}$ .

## 限时小练 7 电势差和电场强度的关系

1. C 电场线与等势面(线)垂直, 且由电势高的一端指向电势低的一端, 可知电场方向水平向左, 两个相邻等势面的电势差为  $U = 2 \text{ V}$ , 则电场强度大小为  $E = \frac{U}{d} = \frac{2}{2 \times 10^{-2}} \text{ V/m} = 100 \text{ V/m}$ , 故 C 正确.

2. C 由  $U = Ed$  知, 此圆周上各点与  $A$  点间电势差最

大的点应是沿场强方向与 A 点相距最远的点,  $d_{\max} = r + r \cos \theta$ , 所以  $U_{\max} = Er(\cos \theta + 1)$ , C 正确.

3. C 在匀强电场中, 任意一组平行线上等距离的两点的电势差相等, 所以  $U_{ab} = U_{dc}$ , 即  $\varphi_a - \varphi_b = \varphi_d - \varphi_c$ , 代入数据得  $\varphi_c = 8$  V, C 正确.

4. B 在电势随距离变化的  $\varphi - x$  图像中  $k = \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} = \frac{U}{d}$ ,  $k$

反映了电场强度的大小, 由于沿电场线方向电势降低, 故场强方向沿 x 轴负方向, 且大小不变, A 错误; 粒子在电场中受到恒定电场力的作用, 所以粒子做匀变速直线运动, B 正确, C 错误; 由功能关系知, 只有电场力做功时, 粒子在运动过程中, 动能与电势能之和不变, D 错误.

#### 技巧点拨 图像问题中的两个重要思想方法

(1) 图像的斜率: 即纵轴物理量随横轴物理量的变化率, 如  $v - t$  图像的斜率  $k = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ , 反映物体的加速度. 同

理电势随距离变化的  $\varphi - x$  图像中  $k = \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} = \frac{U}{d}$ , 反映电场强度的大小.

(2) 图像的面积反映纵轴物理量与横轴物理量的乘积, 由如  $v - t$  图像中  $x = vt$  对应匀速直线运动的位移, 可类推  $v - t$  图像下的面积可表示变速直线运动的位移, 同理推广  $E - x$  图像下面积即反映电势差  $U$ .

5. B 根据点电荷场强公式可知,  $E_A > E_B > E_C$ , 又  $AB = BC$ , 由  $U = Ed$  可以判断  $U_{AB} > U_{BC}$ , 所以  $\varphi_B < 6$  V, B 正确.

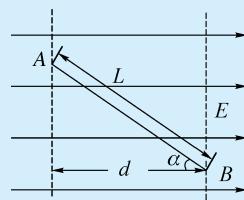
6. A 由于 D 为 AB 的中点, 则 D 点的电势  $\varphi_D = \frac{\varphi_A + \varphi_B}{2} = 8$  V, 电荷从 D 点移到 C 点电场力所做的功为

$W = qU_{DC} = q(\varphi_D - \varphi_C) = 6 \times 10^{-6}$  J, 设 AC 的中点为 F, 有  $\varphi_F = \frac{\varphi_A + \varphi_C}{2} = 6$  V, 连接 BF, BF 为等势线, 电场强

度 E 垂直 BF, 方向斜向左下, AB 的长度为 2 m, 所以 DC 的长度为 1 m, 由于电场强度的方向并不是沿着 DC 方向, 所以 D、C 两点沿电场方向的距离  $d_1 < 1$  m, 匀强电场中两点电势差与两点沿电场方向的距离成正比, 即

$U = Ed$ , 所以  $E = \frac{U_{DC}}{d_1} > 6$  V/m, 故 A 正确.

易错警示 公式  $U_{AB} = Ed$  中 d 是匀强电场中两点沿电场方向的距离, 如图所示,  $d = L \cos \alpha$ .



7. B 根据  $U = Ed$  得,  $E = \frac{U}{d} = \frac{2 \times 10^{10}}{8000}$  V/m =  $2.5 \times$

$10^6$  V/m, B 正确.

8. D A、B、C 三点在同一条电场线上, 根据沿着电场线的方向电势逐渐降落, 故有  $\varphi_A > \varphi_B > \varphi_C$ , A 正确; 由电场线的密集程度可知电场强度大小关系为  $E_C > E_B > E_A$ , B 正确; 电场线密集的地方电势降落较快, 由  $U = Ed$  知  $U_{AB} < U_{BC}$ , C 正确, D 错误.

规律总结 公式  $E = \frac{U}{d}$  在非匀强电场中的三点妙用

判断电势差大小及电势高低	距离相等的两点间的电势差, $E$ 越大, $U$ 越大, 进而判断电势的高低
判断场强变化	$\varphi - x$ 图像的斜率 $k = \frac{\Delta \varphi}{\Delta x} = \frac{U}{d} = E_x$ , 斜率的大小表示场强的大小, 正负表示场强的方向
判断场强大小	等差等势面越密, 场强越大

9. B  $\varphi - x$  图像中, 图像斜率的绝对值表示电场强度, 根据图像可知, 从 O 到 A, 电场线先变稀疏后变密集, 则电场强度先减小后增大, 即  $\varphi - x$  图像的斜率的绝对值应该先减小后增大,  $\varphi - x$  图像为曲线, 故 A 错误; 沿电场线电势降低, 即从 O 到 A, 电势降低, 根据 A 选项分析可知图像斜率的绝对值先减小后增大, 故 B 正确; 设 O 点电势为 0, 根据动能定理有  $qEx = E_k$ , 可知  $E_k - x$  图像中, 图像斜率表示电场力, 由于从 O 到 A, 电场强度先减小后增大, 即电场力先减小后增大, 可知动能  $E_k$  随  $x$  的变化图线的斜率也是先减小后增大, C、D 错误.

10. (1) 将电荷由 A 移到 B, 其电势能增加 0.2 J, 则静电力做功  $W_{AB} = -0.2$  J, 则电荷带负电.

(2)  $q = -2 \times 10^{-5}$  C, 根据静电力做的功与电势差的关系, A、B 两点的电势差

$$U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{-0.2}{-2 \times 10^{-5}} \text{ V} = 1 \times 10^4 \text{ V.}$$

(3) 由几何关系可知 A、B 两点沿电场方向的距离  $d = L_{AB} \cos 60^\circ = 0.01$  m,

该匀强电场的场强大小  $E = \frac{U_{AB}}{d} = 1 \times 10^6$  V/m.

易错警示 公式  $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$  应用的注意点

公式  $U_{AB} = \frac{W_{AB}}{q}$  中各量均有正负, 要带正负号进行运算. 计算中 W 与 U 的角标要对应, 即  $W_{AB} = qU_{AB}$ ,  $W_{BA} = qU_{BA}$ .

#### 限时小练 8 电容器的电容(课时 1)

1. D 电容器所带电荷量为某一极板所带电荷量的绝对值, 所以电容器的带电荷量为 Q, 故 A、B 错误; 电容器的电容为  $C = \frac{Q}{U}$ , 故 D 正确, C 错误.

2. C 电容的大小跟电容器两端的电势差以及电容器所带的电荷量的多少无关,根据公式  $C = \frac{Q}{U}$  可得电容器所带的电荷量增加一倍,两极板间的电势差也增加一倍,C 正确.

### 易错警示 对电容器和电容的三点理解

(1) 电容器是一个仪器,而电容是一个物理量,它表征了电容器容纳电荷的本领,不能说电容器简称为电容.  
(2) 电容器所带的电荷量  $Q = CU$ , 随电压的升高而增大,与电压成正比. 电容器的电荷量是一个极板上所带电荷量的绝对值.

(3) 电容  $C = \frac{Q}{U}$  是用比值定义法定义的,不能说电容  $C$  与  $Q$  成正比、与  $U$  成反比,电容  $C$  由电容器本身的性质决定,与  $Q$ 、 $U$  的大小无关.

3. A 电容器的电容与所带电荷量无关,故 A 正确,B 错误;由公式  $C = \frac{Q}{U}$  得  $Q = CU$ , 则  $Q$  与  $U$  成正比,故 C、D 错误.

4. B 保持开关 S 闭合,电容器两端的电压保持不变,根据  $E = \frac{U}{d}$ , 可得  $E_1 : E_2 = d_2 : d_1 = 3 : 2$ , 故 A 错误,

B 正确;电容器的电容  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 又  $S_1 : S_2 = 1 : \frac{2}{3} = 3 : 2, d_1 : d_2 = 2 : 3$ , 联立解得  $C_1 : C_2 = S_1 d_2 : S_2 d_1 = 9 : 4$ , 故 C、D 错误.

5. A 开关接 1 时,平行板电容器充电,上极板与电源正极相连,故上极板带正电,故 A 正确,B 错误;开关接 2 时,平行板电容器放电,放电结束后上、下极板均不带电,故 C、D 错误.

6. C 电容表征电容器容纳电荷的本领大小,与电压  $U$  和电荷量  $Q$  无关,给定的电容器电容  $C$  一定,A、D 错误;由于电容一定,由  $Q = CU$  可知,电容器两端只要有电压,电容器就能存储电荷,B 错误;由  $Q = CU$  可知,电容器两端电压为 80 V 时存储的电荷量为  $Q = 1000 \times 10^{-6} \times 80 \text{ C} = 0.08 \text{ C}$ ,C 正确.

7. A 电容是由电容器本身决定,与电压和电荷量无关,电容器的电荷量减少  $q$ ,电压减少为原来的  $\frac{1}{3}$ ,即减少了  $\frac{2}{3}$ ,电容不变,由  $C = \frac{\Delta Q}{\Delta U}$  知,  $C = \frac{Q_0}{U_0} = \frac{q}{\frac{2}{3}U_0}$ , 则原来

的电荷量为  $Q_0 = 1.5q$ ,A 正确,B 错误;由于具体数据未知,无法求出原来的电压,C 错误;电容反映电容器本身的特性,电容器放电,电容器的电容不变,D 错误.

8. A 分析电路可知,增大电阻箱的阻值  $R$ ,电容器放电电流的最大值将减小,但因开关接 1 时,电容器的电势差不变,由电容器电容的定义式  $C = \frac{Q}{U}$ , 可知电容器

稳定时电荷量不变,由电流的定义式  $I = \frac{Q}{t}$ , 可知放电时间变长,故 A 正确.

9. D 开关 S 接 1 时,电容器充电,充电完毕,电流为 0,再将开关 S 拨向 2 位置,开始反向放电,放电越来越缓慢,放电完毕后,电流为 0,A、B 错误;开关 S 接 1 时,电容器与电源直接相连,充电结束后,两极板间电压等于电源电压,放电过程中,两极板间电压逐渐减小,电压变化越来越慢,极板的电性不变,C 错误,D 正确.

10. C 由  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  知指纹的凸点处与小极板距离近,电容大,指纹的凹点处与小极板距离远,电容小,A、B 错误;由  $Q = CU, C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  可知手指挤压绝缘表面,电容器两极间的距离减小,电容变大,电容器带电荷量增大,C 正确,D 错误.

### 限时小练 8 电容器的电容(课时 2)

1. B 电容器的电容是由电容器自身的因素决定的,故充电时,电容器的电容不变,A、D 错误;给手机充电时,电容器所带的电荷量减小,存储的电能变小,B 正确;给手机充电时,手机电能增加,电容器上的电荷量一定减小,C 错误.

2. B 两板分别带有等量异种电荷,根据电势差与电场强度的关系式  $U = Ed$ , 又两极板之间电势差一定,而两极板中央的间距大,所以极板中央的电场强度小,电场线稀疏,故 B 正确.

3. B 图甲中的电容器和电源相连,所以电容器两极板间的电压不变,当极板间的距离增大时,根据公式  $E = \frac{U}{d}$  可知,极板间的电场强度减小,电场力减小,所以悬线和竖直方向的夹角将减小. 图乙中电容器充电后断开电源,电容器两极板所带的电荷量不变,根据平行板电容器的电容公式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 极板间的电压  $U = \frac{Q}{C} = \frac{4\pi k d Q}{\epsilon_r S}$ , 极板间的电场强度  $E = \frac{U}{d} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ , 场强与两极板间距离无关,故夹角不变,B 正确.

4. B 由公式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  可知,当压力  $F$  增大时两板间距减小,电容增大,由公式  $C = \frac{Q}{U}$  可知,电容器所带电荷量增大,即直流电源对电容器充电,电阻  $R$  上有从  $b$  到  $a$  的电流,由公式  $E = \frac{U}{d}$  可知,极板间的电场强度增大,故 B 正确.

5. A 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d} = \frac{Q}{U}$  分析,保持开关 S 闭合,U 不变,插入云母片,则两极板间相对介电常数  $\epsilon_r$  增大,则  $C$  增大,所以  $Q$  增加,A 正确,B 错误;两极板间的电场强

度大小为  $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4\pi kQ}{\epsilon_r S}$ , 开关 S 先闭合再断开, 插入金属板, 相当于  $d$  减小,  $Q$  不变, 则  $E$  不变, 微粒所受电场力不变, 将保持不动, C、D 错误.

6. B 断开开关后电容器的电荷量不变, 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ ,  $U = \frac{Q}{C}$  得  $U = Q \cdot \frac{4\pi k d}{\epsilon_r S}$ , 可知当  $Q$  不变, 而塑料壳变厚时  $\epsilon_r$  增大, 两板间电压减小, 静电计指针偏角减小, A、C、D 错误; 根据  $E = \frac{U}{d}$  可知, 两板间距离  $d$  不变, 电压  $U$  减小, 则两板间电场强度减小, B 正确.

7. A 在该传感器中, 液体相当于一个极板, 根据电容器的决定式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ ,  $h$  减小, 液面下降, 相当于电容器的正对面积  $S$  减小, 则电容  $C$  减小, A 正确.

8. C 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  可知, 增大电容器极板间距, 电容器的电容减小, A 错误; 电容器的电容是由电容器本身决定的, 与其两端电压无关, B 错误; 电容器充电时, 通过电流表的电流方向由下到上, 即由  $b$  到  $a$ , C 正确; 保持开关闭合, 电容器相当于断路, 可变电阻  $R$  的阻值增大, 电容器两端电压不变, 为电源电压, D 错误.

9. C 根据电容器电容的决定式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 可知风力越大, 极板之间间距越小, 电容器的电容越大, 故 A 错误; 根据电容器电容的定义式  $C = \frac{Q}{U}$ , 结合 A 选项分析, 有

$E = \frac{U}{d} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ , 极板上电荷量保持不变, 则电场强度不变, 故 B 错误; 左极板接地, 电势为 0, 设  $P$  到左极板间距为  $x$ , 则有  $\varphi_P = U_{P\text{左}} = Ex$ , 结合上述分析可知电场强度不变,  $x$  减小, 则  $P$  点的电势减小, 故 C 正确; 极板间距减小, 电容器的电容增大, 电荷量不变, 则极板之间的电压减小, 则静电计指针张角减小, 故 D 错误.

### 技巧点拨 处理平行板电容器内部 $E$ 、 $U$ 、 $Q$ 变化问题的基本思路

(1) 首先要区分两种基本情况: ① 电容器始终与电源相连时, 电容器两极板电势差  $U$  保持不变; ② 电容器充电后与电源断开时, 电容器所带电荷量  $Q$  保持不变.

(2) 进行讨论的物理依据有三个: ① 平行板电容器电容的决定式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ ; ② 平行板电容器内部为匀强电场,

所以场强  $E = \frac{U}{d}$ ; ③ 电容器所带电荷量  $Q = CU$ .

10. (1) 由电容器电容的定义式, 可知平行板电容器的电容为

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{6 \times 10^{-8}}{60} F = 1 \times 10^{-9} F.$$

(2) 两板之间的电场为匀强电场, 由匀强电场的电场强度公式, 有

$$E = \frac{U}{d} = \frac{60}{3 \times 10^{-2}} V/m = 2 \times 10^3 V/m, \text{ 方向竖直向下.}$$

(3)  $M$  点到  $A$  板的距离为  $d_{AM} = d - d_{BM} = 1$  cm, 则  $A$  板与  $M$  点间的电势差为  $U_{AM} = Ed_{AM} = 20$  V, 又  $U_{AM} = \varphi_A - \varphi_M$ ,  $\varphi_A = 0$ , 解得距  $B$  板 2 cm 的  $M$  点处的电势  $\varphi_M = -20$  V.

### 限时小练 9 带电粒子在电场中的运动(课时 1)

1. C 由动能定理得  $eU = \frac{1}{2}mv^2$ , 当改变两极板间的距离时,  $U$  不变, 则  $v$  不变, A、B 错误, C 正确; 电子在极板间做初速度为零的匀加速直线运动,  $\bar{v} = \frac{d}{t}$ ,  $\frac{v}{2} = \frac{d}{t}$ , 即  $t = \frac{2d}{v}$ , 当  $d$  减小时,  $v$  不变, 电子在两极板间运动的时间变短, D 错误.

2. A 由  $qU = \frac{1}{2}mv^2$ , 得  $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ , 各选项中质子的比荷最大, 则加速后速度最大, A 正确.

3. C 带电粒子沿直线从位置  $a$  运动到位置  $b$ , 说明带电粒子受到的合外力方向与速度方向在一条直线上, 对带电粒子受力分析, 应该受到竖直向下的重力和水平向左的电场力, 电场力方向与电场线方向相反, 所以带电粒子带负电, A、B 错误; 由于带电粒子做直线运动, 所以电场力和重力的合力应该和速度在一条直线上且与速度方向相反, 故带电粒子做匀减速直线运动, C 正确; 电场力做负功, 机械能减小, D 错误.

4. C 两板间距离变大, 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  可知, 金属板  $A$ 、 $B$  组成的平行板电容器的电容  $C$  减小, A 错误; 根据  $Q = CU$ ,  $Q$  不变,  $C$  减小, 则  $U$  变大, B 错误; 根据  $E = \frac{U}{d} = \frac{Q}{Cd} = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ , 可知当  $d$  变大时, 两板间的场强不变, 则甲、乙两电子在板间运动时的加速度相同, C 正确; 根据动能定理有  $e \cdot E \cdot 2d = \frac{1}{2}mv^2$ ,  $e \cdot E \cdot d = \frac{1}{2}mv_0^2$ , 可知乙电子运动到  $O$  点的速率  $v = \sqrt{2}v_0$ , D 错误.

5. D 粒子从射入运动至速度为 0, 由动能定理, 有  $-Eqx_{\max} = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ , 解得最大深度  $x_{\max} = \frac{mv_0^2}{2qE}$ , 由匀变速直线运动规律和牛顿第二定律, 有  $v_0 = at$ ,  $a = \frac{Eq}{m}$ , 解得  $t = \frac{mv_0}{Eq}$ , 由对称性可得粒子在电场中运动的最长时间为  $t_{\max} = 2t = \frac{2mv_0}{Eq}$ , 故 D 正确.

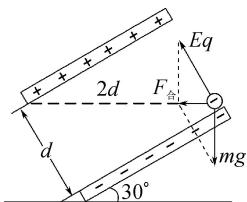
6. D 由于  $A$ 、 $K$  之间不是匀强电场, 故不能用  $\frac{eU}{md}$  来表示加速度, A 错误; 电子由  $K$  极向  $A$  极加速, 所受电场力向上, 则场强向下, 故  $A$  应接高压电源的正极, 由  $K$

沿直线到A电势逐渐升高,B错误,D正确;由动能定理可得,电子到达A极板时的动能等于电场力所做的功 $eU$ ,C错误.

**7. C** 电子在电场中获得的动能等于电场力做的功,即 $W=qU=eU$ ,A正确;由图可知,B、C间没有电势差,所以电子在B、C间做匀速直线运动,则电子的动能不变,B正确;电子以 $eU$ 的动能进入C、D板间电场中,在电场力的阻碍下,电子做减速运动,由于C、D间的电压也为 $U$ ,所以电子到达D板时速度减为零,随后开始反向运动,C错误;电子将会在A板和D板之间加速、匀速再减速,反向加速、匀速再减速,即在A、D板间做往复运动,D正确.

**8. A** 由动能定理 $W=\Delta E_k$ ,则有 $mg \cdot (h+L)-qU_{MN}=0$ ,解得 $U_{MN}=3.0 \times 10^3$  V,则板间电场强度 $E=\frac{U_{MN}}{L}=2.0 \times 10^4$  V/m,方向竖直向下,A正确.

**9. D** 点电荷受力分析如图所示,根据平行四边形定则可知,合力水平向左,大小为 $\frac{\sqrt{3}}{3}mg$ ,即点电荷沿水平方向向左匀加速运动到正极板,所以重力不做功,重力势能不变,A错误;由几何关系可知,点电荷位移为 $2d$ ,根据运动学公式和牛顿第二定律可得 $2d=\frac{1}{2}at^2$ , $\frac{\sqrt{3}}{3}mg=ma$ ,联立解得 $t=2\sqrt{\frac{\sqrt{3}d}{g}}$ ,B错误;电场力做的功为 $W=qEd=\frac{2\sqrt{3}mgd}{3}$ ,C错误;根据动能定理得 $E_k=qEd=\frac{2\sqrt{3}mgd}{3}$ ,D正确.



**10. (1)** 设油滴半径为 $r$ ,密度为 $\rho$ ,则油滴质量

$$m=\frac{4}{3}\pi r^3 \rho,$$

则速率为 $v$ 时受阻力 $f=krv$ ,则当油滴匀速下落时 $mg=f$ ,

$$\text{解得 } r=\sqrt{\frac{3kv}{4\pi\rho g}} \propto \sqrt{v}.$$

$$\text{可知 } \frac{r_a}{r_b}=\sqrt{\frac{v_0}{\frac{1}{4}v_0}}=2,$$

$$\text{则 } \frac{m_a}{m_b}=\frac{r_a^3}{r_b^3}=\frac{8}{1}.$$

(2) 两板间加上电压后(上板为正极),这两个油滴很快达到相同的速率 $\frac{v_0}{2}$ ,可知油滴a做减速运动,油滴b做

加速运动,故油滴a带负电,油滴b带正电.当再次匀速下落时,对a由受力平衡可得 $|q_a|E+f_a=m_ag$ ,

$$\text{其中 } f_a=\frac{\frac{v_0}{2}}{v_0}m_ag=\frac{1}{2}m_ag,$$

对b由受力平衡可得 $f_b-q_bE=m_bg$ ,

$$\text{其中 } f_b=\frac{\frac{v_0}{2}}{\frac{1}{4}v_0}m_bg=2m_bg,$$

$$\text{解得 } \left| \frac{q_a}{q_b} \right|=\frac{m_a}{2m_b}=\frac{4}{1}.$$

### 限时小练9 带电粒子在电场中的运动(课时2)

**1. B** 若为同种离子,所受电场力相同,加速度 $a$ 相同,竖直方向离子都做匀加速运动, $b$ 、 $c$ 偏转距离 $y$ 相同,大于 $a$ 的偏转,由 $y=\frac{1}{2}at^2$ 得到 $t_a < t_b = t_c$ ,而水平方向做匀速直线运动,而且水平方向的位移 $x_a = x_b > x_c$ ,由初速度为 $v_0 = \frac{x}{t}$ ,可知 $v_a > v_b > v_c$ ,A错误,B正确;若初速度相同,根据水平方向都做匀速直线运动,而且 $x_a = x_b > x_c$ ,由 $x = v_0 t$ ,可知 $t_a = t_b > t_c$ ,而竖直方向做匀加速运动, $y_a < y_b = y_c$ ,根据 $a = \frac{2y}{t^2}$ ,可知c的加速度最大,C、D错误.

#### 技巧点拨 类平抛运动

离子垂直进入电场后,都做类平抛运动,若为同种离子,根据竖直方向位移关系判断三个离子在电场中运动的时间关系.若初速度相同,根据水平方向位移关系判断三个离子在电场中运动的时间关系.

**2. D**  $a$ 、 $b$ 两粒子在电场中均做类平抛运动,沿初速度方向,有 $x=v_0 t$ ,垂直于初速度方向,有 $y=\frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} t^2$ ,

$$\text{即 } y=\frac{qE}{2m} \cdot \frac{x^2}{v_0^2}, \text{ 则有 } \frac{q_a}{m_a} : \frac{q_b}{m_b} = \frac{y_a}{x_a^2} : \frac{y_b}{x_b^2} = 8 : 1, \text{ D正确.}$$

**3. B** 由平抛运动规律可知,  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{qU_2 L}{dm v_0^2} = \frac{qU_2 L}{2dqU_1} = \frac{U_2 L}{2U_1 d}$ ,可见 $U_1$ 变小、 $U_2$ 变大,电子的偏转角 $\theta$ 变大,B正确.

**4. A** 设匀强电场的电场强度大小为 $E$ ,电子在电场中的飞行时间为 $t$ ,根据类平抛运动规律,有 $L=v_0 t$ , $L=eEt^2$ , $\frac{1}{2}mv_0^2$ ,联立解得 $E=\frac{2mv_0^2}{eL}$ ,故C、D错误;设电子在B点的竖直分速度大小为 $v_1$ ,根据带电粒子在电场中偏转的推论,可知电子在B点的速度方向的反向延长线一定过DC中点,根据运动的合成与分解,可得 $\frac{v_1}{v_0}=\frac{L}{\frac{L}{2}}=2$ ,所以

电子在 B 点的速率为  $v_B = \sqrt{v_0^2 + v_1^2} = \sqrt{5} v_0$ , 故 A 正确, B 错误.

5. C 粒子进入偏转电场, 水平方向做匀速直线运动, 坚直方向做初速度为零的匀加速直线运动, 设粒子在偏转电场中运动的时间为  $t$ , 则  $t = \frac{L}{v_0}$ , 坚直位移  $y = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{md} \cdot \left(\frac{L}{v_0}\right)^2 = \frac{qUL^2}{2mdv_0^2}$ , 由此可知,  $y$  与  $\frac{q}{m}$  成正比, C 正确.

6. D 粒子在电场中加速, 有  $U_1 q = \frac{1}{2} m v_0^2$ , 在偏转电场

中, 水平方向上  $x = v_0 t$ , 坚直方向上  $y = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_2 q}{dm} t^2$ , 得  $x^2 = \frac{4dU_1 y}{U_2}$ . 设板长为  $L$ , 开始时  $x = \frac{1}{2} L$ , 保持  $U_2$  和平行板间距不变, 减小  $U_1$ , 则  $x$  会减小, A 错误; 保持  $U_1$  和平行板间距不变, 增大  $U_2$ , 则  $x$  减小, B 错误; 保持  $U_1$ 、 $U_2$  和下板位置不变, 向下平移上板, 则  $d$  减小,  $x$  减小, C 错误; 保持  $U_1$ 、 $U_2$  和下板位置不变, 向上平移上板,  $d$  变大, 则  $x$  变大, D 正确.

7. C 增大除尘率即是让离下极板较远的尘埃也能落到下极板上, 带电尘埃在矩形通道内做类平抛运动, 沿电场方向上的位移为  $y = \frac{1}{2} \cdot \frac{qU}{md} \cdot \left(\frac{L}{v_0}\right)^2$ , 为使  $y$  增大, 可增大长度  $L$ , C 正确.

8. B 示波管的电极 YY' 上的偏转电压加的是如题图乙所示的信号电压, XX' 偏转电极上加上如题图丙所示的扫描电压, 当信号电压与扫描电压周期相同时, 就会在荧光屏上显示与信号电压一致的波形即图 B 的波形, 故 B 正确.

9. (1) 电子从静止开始经过加速电场加速, 由动能定理有  $eU_1 = \frac{1}{2} m v_0^2 - 0$ ,

解得电子经加速电场加速后的速度为  $v_0 = \sqrt{\frac{2eU_1}{m}} = 4 \times 10^7 \text{ m/s}$ .

(2) 电子进入偏转电场做类平抛运动, 水平方向做匀速直线运动, 有  $l = v_0 t_1$ ,

竖直方向做匀加速直线运动, 有  $a = \frac{eU_2}{md}$ ,  $v_y = at_1$ ,

离开偏转电场的速度偏转角满足  $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0}$ ,

联立解得  $\tan \alpha = \frac{U_2 l}{2dU_1} = 1$ .

(3) 电子离开偏转电场后做匀速直线运动, 将类平抛的速度反向延长平分水平位移  $l$ , 由几何关系有  $\tan \alpha = \frac{y}{s + \frac{l}{2}}$ ,

解得  $s = 10 \text{ cm}$ .

**方法技巧** 计算粒子打到屏上的位置离屏中心的距离  $Y$  的四种方法

(1)  $Y = y + d \tan \theta$  ( $d$  为屏到偏转电场的水平距离).

(2)  $Y = \left(\frac{L}{2} + d\right) \tan \theta$  ( $L$  为极板长度).

(3)  $Y = y + v_y \cdot \frac{d}{v_0}$ .

(4) 根据三角形相似:  $\frac{Y}{y} = \frac{\frac{L}{2} + d}{\frac{L}{2}}$ .

## 阶段提升 2 带电粒子在复合场和交变电场中的运动

### 1. B

A	由平行四边形定则可知, 重力与电场力的合力方向大致指向右下方, 则小球在此过程中, 速度方向与合力方向的夹角从钝角减小到锐角, 则合力对小球先做负功后做正功, 所以小球的动能先减小后增大	×
B	在此过程中, 小球一直向右运动, 电场力始终对小球做正功, 所以小球的电势能一直减小	✓
C	在此过程中, 小球受到的电场力和重力均为恒力, 则小球受到的合力大小、方向不变, 故小球的加速度恒定, 小球做匀变速曲线运动, 小球的速度均匀变化	✗
D	小球运动到最高点 M 时, 坚直分速度为 0, 但水平分速度不为 0, 所以小球的动能不为 0	✗

2. B 由 A 板电势  $\varphi_A$  随时间  $t$  变化的规律及  $q \frac{\varphi}{d} = ma$  可知,  $a_1 : a_2 = 1 : 3$ ,  $a_1$ 、 $a_2$  方向相反, 在  $v$  随时间  $t$  变化的图像中, 斜率表示加速度, 故 B 正确.

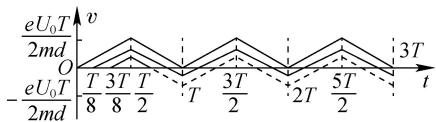
3. B 设两板间距离为  $d$ , 粒子经过  $3t_0$  时间刚好到达 B 板时, 粒子在运动过程中先加速后减速再加速, 根据运动的对称性和动能定理, 可得  $E_{k3} = q \cdot \frac{U_0}{3}$ , 若改变 A、B 两板间距离使粒子在  $5t_0$  时刻刚好到达 B 板, 根据运动的对称性和动能定理, 可得  $E_{k5} = q \cdot \frac{U_0}{5}$ , 故  $\frac{E_{k3}}{E_{k5}} = \frac{5}{3}$ , 故 B 正确.

4. D 金属圆筒中电场为 0, 电子不受电场力, 做匀速直线运动, 故 A、B 错误; 只有电子在每个圆筒中匀速运动时间为  $\frac{T}{2}$  时, 才能保证每次在缝隙中被电场加速, 故 C 错误; 电子进入第  $n$  个圆筒时, 经过  $n$  次加速, 根据动能

定理,有  $neu = \frac{1}{2}mv_n^2$ ,解得  $v_n = \sqrt{\frac{2neu}{m}}$ ,第  $n$  个圆筒长度  $L_n = v_n \cdot \frac{T}{2} = \frac{T}{2} \sqrt{\frac{2neu}{m}}$ ,则各金属筒的长度之比为  $1 : \sqrt{2} : \sqrt{3} : \dots$ ,故 D 正确.

**5. B** 设绳子长度为  $L$ ,小球从  $A$  到  $B$  过程,根据动能定理,有  $mgL - qEL = \frac{1}{2}mv_B^2$ ,解得  $v_B = 0$ ,可知小球运动到  $B$  点时速度刚好为 0,故 A 正确;根据能量守恒定律,可知从  $A$  到  $B$  的过程中小球重力势能的减少量等于电势能的增加量,故 B 错误;由上述分析可知,小球所受的合力与竖直方向的夹角为  $45^\circ$ ,可知小球运动到  $B$  点时,绳子绷紧,从  $B$  到  $A$  的过程中,电场力做的功等于克服重力做的功,且绳绷紧时动能有损失但不会完全损失,可知通过  $A$  点时小球速度不为 0,所以其最终一定能通过  $A$  点并继续运动一段距离,故 C 正确;运动过程中有能量损失,所以机械能和电势能之和不守恒,故 D 正确.

**6. B** 根据电子进入电场后的受力情况和运动情况,作出如图所示的图像.由图可知,当电子在  $t=0$  时刻进入电场时,电子一直向  $B$  板运动,A 错误.若电子在  $\frac{T}{8}$  时刻进入电场,由图知,电子向  $B$  板运动的位移大于向  $A$  板运动的位移,因此最后仍能打在  $B$  板上,B 正确.若电子在  $\frac{3T}{8}$  时刻进入电场,由图知,在第一个周期电子即返回至  $A$  板,C 错误.若电子在  $\frac{T}{2}$  时刻进入电场,则它一靠近小孔便受到排斥力,无法进入电场,D 错误.

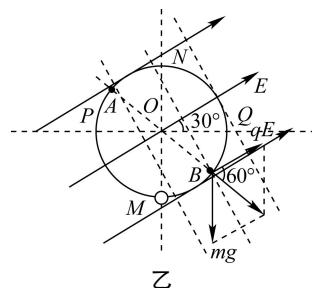
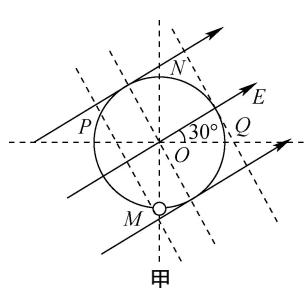


### 方法技巧 用 $v-t$ 图像法分析带电粒子在交变电场中的运动

- (1) 画出粒子在电场方向上的  $v-t$  图像,根据图像判断粒子的运动情况.
- (2) 两条思路:一是力和运动的关系;二是功能关系.
- (3) 两点注意:电场与粒子受力的对称性和周期性.

**7. D** 小圆环带正电,从  $M$  点到  $Q$  点电场力做正功,C 错误;作出等势面如图甲所示,沿电场线方向电势降低,则  $M$  点的电势高于  $N$  点的电势,正电荷在电势高的地方电势能大,所以小圆环在  $M$  点的电势能大于在  $N$  点的电势能,B 错误;小圆环受到的电场力  $F = qE = mg$ ,受力分析如图乙所示,则小圆环运动的“等效最高点”和“等效最低点”分别为  $A$  点和  $B$  点,在  $A$  点速度最小,在  $B$  点速度最大,则从  $M$  点到  $Q$  点动能先增大后减小,A 错误;根据沿电场线方向电势降低,则  $B$  点的电势低于  $A$  点的电势,即动能最大处的电势低于动能最小处的电

势,D 正确.



**8. D** 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  $t = \frac{2d}{v_0}$ ,正好是交变电场的一个周期,粒子在竖直方向先做加速运动后做减速运动,经过一个周期,粒子在竖直方向的速度为 0,故粒子离开电场时的速度大小等于水平速度  $v_0$ ,A 错误;对于  $t=0$  时刻释放的粒子,在竖直方向,粒子在  $\frac{T}{2}$  时间内的位移为  $\frac{d}{2}$ ,则  $\frac{d}{2} = \frac{U_0 q}{2md} \cdot \left(\frac{d}{v_0}\right)^2$ ,得  $q = \frac{mv_0^2}{U_0}$ ,B 错误;在  $t = \frac{T}{8}$  时刻进入电场的粒子,离开电场时在竖直方向上的位移  $y = 2 \times \frac{1}{2} a \left(\frac{3}{8} T\right)^2 - 2 \times \frac{1}{2} a \left(\frac{1}{8} T\right)^2 = \frac{d}{2}$ ,C 错误; $t = \frac{T}{4}$  时刻进入的粒子,在竖直方向先向下加速运动  $\frac{T}{4}$ ,然后向下减速运动  $\frac{T}{4}$ ,再然后向上加速运动  $\frac{T}{4}$ ,最后向上减速运动  $\frac{T}{4}$ ,由对称性可知,此时竖直方向的位移为 0,故粒子从  $P$  板右侧边缘离开电场,D 正确.

**9. (1)** 根据题意,电子加速到  $O$  点的过程,由动能定理,有  $eU_0 = \frac{1}{2}mv_0^2$ ,

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{\frac{2eU_0}{m}},$$

$$\text{则电子加速至 } O \text{ 点所用时间 } t = \frac{d}{\frac{1}{2}v_0} = d \sqrt{\frac{2m}{eU_0}}.$$

**(2)** 设  $M$ 、 $N$  两板间距离为  $d$ ,电子在  $M$ 、 $N$  板间运动时间为  $t_1$ ,加速度大小为  $a$ ,则水平方向上,有  $L = v_0 t_1$ ,

$$\text{竖直方向上,有 } \frac{1}{2}d = \frac{1}{2}a t_1^2,$$

$$\text{由牛顿第二定律,有 } \frac{eU_1}{d} = ma,$$

$$\text{解得 } U_1 = \frac{2}{3}U_0.$$

**(3)** 根据题意可知,电子刚好从  $M$  板的右边缘离开偏转电场时,垂直于中心线  $OO'$  方的速度  $v_y = at_1$ ,

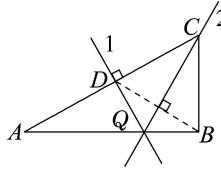
$$\text{速度偏转角度的正切值 } \tan \theta = \frac{v_y}{v_0},$$

由几何关系,有  $b=2\left(\frac{d}{2}+L\tan\theta\right)$ ,

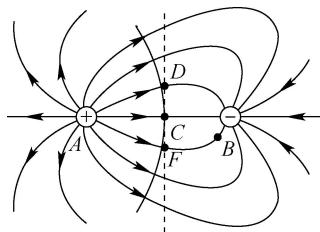
解得  $b=\sqrt{3}L$ .

### 阶段提优3 电场的能的性质综合应用

1. B 因为  $\varphi_A=\varphi_C$ , 所以 AC 中垂线 1 必过点电荷, 同理 BD 中垂线 2 也必过点电荷, 所以 1、2 两线交点即为负点电荷的位置, 如图所示. 沿电场方向电势降低, 所以  $\varphi_A>\varphi_B$ , B 正确.



2. B 根据电场线越密电场强度越大, 由题图可知, A 点附近的电场强度大于 B 点附近的电场强度, C 点的场强大于 D 点的电场强度, 由点电荷场强公式  $E=\frac{kq}{r^2}$ , 可知  $q_1>q_2$ , 故 A 错误; 根据电场线与等势面的关系, 画出过 C 点的等势线, 如图所示, 根据沿电场线方向电势逐渐降低可知, C 点的电势高于 D 点的电势, 由  $E_p=q\varphi$  并结合对称性可知, 负电荷从 F 点沿直线移到 D 点, 负电荷电势能先减小后增大, 则电场力先做正功, 后做负功, 故 B 正确, D 错误; 根据对称性可知, D、F 两点处的电场强度大小相等, 方向不同, 故 C 错误.



3. B b、e 两点到点电荷 O 的距离相等, 根据  $E=k\frac{Q}{r^2}$ , 可知两点处的电场强度大小相等, 但方向不同, 故电场强度不同, A 错误; b、e 两点到点电荷 O 的距离相等, 即两点在同一等势面上, 电势相等, c、d 两点到点电荷 O 的距离相等, 即两点在同一等势面上, 电势相等, 故 b、c 两点间电势差等于 e、d 两点间电势差, B 正确; 在正电荷产生的电场中, 距离点电荷越近, 电势越高, 故 a 点的电势低于 c 点的电势, b 点电势低于 d 点电势, 而负电荷在低电势处电势能大, 故电子在 d 点的电势能小于在 b 点的电势能, C、D 错误.

4. B 根据曲线运动的合力方向指向轨迹的凹侧, 由题图粒子轨迹可知, 粒子受到的电场力与场强方向相同, 则粒子带正电, 故 A 错误; 由题图粒子轨迹可知, 电场力对粒子先做负功后做正功, 则粒子的动能先减小后增大, 粒子先减速后加速, 粒子的电势能先增大后减小, 粒子的机械能先减小后增大, 故 B 正确, C、D 错误.

5. D a、c 两点之间的电势差  $U=4\sqrt{3}$  V  $-(-4\sqrt{3}$  V)  $=8\sqrt{3}$  V, a、c 两点之间沿电场线方向的距离  $d=2R\sin 60^\circ=\sqrt{3}R=\frac{\sqrt{3}}{5}$  m, 则该匀强电场的场强

$E=\frac{U}{d}=40$  V/m, A、B 错误; b、d 之间沿电场线方向的距离  $d'=2R\cos 60^\circ=R=0.2$  m, b、d 之间电势差  $U'=Ed'=8$  V, 由  $\varphi_b-\varphi_d=8$  V 可得 d 点的电势为  $\varphi_d=-4$  V, C 错误, D 正确.

6. C 由相邻等势面之间的电势差相等, 从 A 到 B 相邻等势面之间距离变大, 可知电场强度变小, 电场力变小, 加速度减小, A 错误; 粒子所受电场力指向轨迹凹侧, 由于粒子带正电, 因此电场线指向上方, 故粒子从 A 到 B 过程中电场力做负功, 电势能增加, 动能减小, 即粒子在 B 点的电势能大于在 A 点的电势能, 在 A 点的动能大于在 B 点的动能, 在 A 点时的速度大于它在 B 点时的速度, B 错误, C 正确; 正电荷在电势高的地方电势能大, 而粒子在 B 点的电势能大于在 A 点的电势能, 所以 a 等势面的电势最高, D 错误.

7. C 由于电场线方向向右, 粒子带负电, 则受到的电场力向左, 粒子仅在电场力的作用下从 A 沿直线运动到 B, 电场力做负功, 即合外力做负功, 动能减小, 故 B、D 错误; 由于 AB 中间处电场线最密, 电场强度最大, 电场力最大, 从 A 到中间处, 动能减小逐渐变快, 从中间到 B 处, 动能减小逐渐变慢, 即中间位置处, 图像的斜率最大, 故 A 错误, C 正确.

8. C 经过 a、b 点时的动能分别为 20 eV 和 5 eV, 题图中虚线为静电场中的等势面 1、2、3、4, 相邻的等势面之间的电势差相等, 故电荷经过相邻两个等势面时的动能减小量为  $\Delta E_k=\frac{20-5}{3}$  eV=5 eV, 经过等势面 3 时的动

能为 10 eV. 只有电场力做功, 电势能和动能之和守恒, 故有  $0+10$  eV  $=-8$  eV  $+E_k$ , 解得  $E_k=18$  eV, C 正确.

9. C 由图可知,  $0 \sim x_1$  段带负电的粒子电势能增大, 则电势降低, 所以  $0 \sim x_1$  段的电场强度方向沿 x 轴正方向, A 正确;  $0 \sim x_1$  段带电粒子的电势能增大, 电场力做负功, 则动能减小, B 正确;  $E_p-x$  图像切线的斜率为  $\frac{\Delta E_p}{\Delta x}=F$ , 由图像可知,  $0 \sim x_1$  段图像斜率减小, 即电场力减小, 则粒子做变减速运动, C 错误;  $x_1 \sim x_2$  段是平行于 x 轴的直线, 粒子的电势能不变, 所以电场力不做功, D 正确.

10. D  $\varphi-x$  图像的斜率表示电场强度, 由题图可知  $-6 \text{ cm} < x < 0$  区域的电场强度大小为  $E_1=\frac{6}{6 \times 10^{-2}}$  V/m=100 V/m, 方向沿着 x 轴负方向,  $0 <$

$x < 4$  cm 区域的电场强度大小为  $E_2=\frac{6}{4 \times 10^{-2}}$  V/m=150 V/m, 方向沿着 x 轴正方向, 可知  $x=-2$  cm 处的电场强度小于  $x=2$  cm 处的电场强度, 且此静电场不可能由两个负电荷产生, 故 A、B 错误;  $x=0$  处电势最高, 根据  $E_p=q\varphi$ , 可知该带负电粒子在  $x=0$  处的电势能最小, 故 C 错误; 带负电粒子(重力不计)从  $x=3$  cm 处由

静止释放,受到沿  $x$  轴负方向的电场力,当运动到  $x < 0$  区域后,受到沿  $x$  轴正方向的电场力,根据动能定理,有  $qE_2x_2 - qE_1x_1 = 0$ , 可得  $x_1 = 4.5 \text{ cm}$ , 则该粒子将沿  $x$  轴负方向运动,运动到的最远位置为  $x = -x_1 = -4.5 \text{ cm}$ , 故 D 正确.

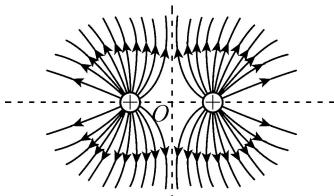
**11. C**  $E_p - x$  图像斜率的绝对值表示滑块所受静电力的大小,所以滑块在  $x = 1 \text{ m}$  处所受静电力大小为  $F = E \cdot |q| = \left| \frac{\Delta E_p}{\Delta x} \right| = 1 \text{ N}$ , 可得  $E = 10 \text{ V/m}$ , A 错误; 滑块向右运动过程中,静电力先减小后增大,则加速度先减小后增大, B 错误; 滑块从  $x = 1 \text{ m}$  的位置运动至  $x = 3 \text{ m}$  处时,根据动能定理有  $\frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W_{\text{电}}$ ,  $W_{\text{电}} = -\Delta E'_p = 1 \text{ J}$ , 解得速度大小为  $v = 2 \text{ m/s}$ , C 正确; 若滑块恰好到达  $x = 5 \text{ m}$  处,则  $0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = W'_{\text{电}} = E_{\text{pl}} - E_{\text{p2}}$ , 其中  $E_{\text{pl}} = 2 \text{ J}$ , 解得滑块的电势能  $E_{\text{p2}} = 5 \text{ J}$ , 该处的电势为  $\varphi = \frac{E_{\text{p2}}}{q} = \frac{5}{-0.1} \text{ V} = -50 \text{ V}$ , D 错误.

## 章末提优 2

### 1. D

A	题图甲中,由于静电屏蔽使得金属网罩内部场强为 0,但静电屏蔽并不是将带电小球的电场遮挡在外,而是感应电荷的电场与带电小球的电场相互抵消	×
B	题图乙的可变电容器的原理是改变铝片之间的正对面积,从而达到改变电容的目的	×
C	题图丙是库仑扭秤,库仑通过它发现了电荷之间的相互作用规律,但他并没有通过实验得出带电小球的电荷量	×
D	题图丁中建筑物顶端的避雷针通过尖端放电中和空气中的电荷达到避免雷击的目的	✓

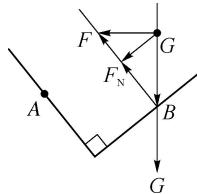
**2. D** 等量正点电荷的电场线分布如图所示. 由对称性可知,  $x$  轴上  $O$  点处的场强为零, 越靠近正电荷电场强度越大, 且每个点电荷两侧的电场强度方向相反, 则每个点电荷两侧的电场强度一定是一侧为正方向, 另一侧为负方向, 故 A、B 错误. 由于两点电荷为等量正点电荷, 可知  $x$  轴上的电势均大于 0; 根据沿电场方向电势降低可知, 离正点电荷越近, 电势越高;  $\varphi - x$  图像中, 图像的斜率表示电场强度, 则离点电荷越近, 图像的切线斜率绝对值越大, 故 C 错误, D 正确.



**3. C** 设负电荷带电荷量的绝对值为  $q$ , 根据电势与电势能的关系  $E_p = -q\varphi$ , 可知当  $\varphi > 0$  时电势能为负值, 随着  $x$  值的增大, 电势在减小, 电势能在增大, 故 C 正确.

**4. C** 由题图可知, 从  $x_1$  到  $x_2$  电势逐渐降低, 说明电场方向水平向右, 粒子从静止开始向右运动, 受力与电场强度方向相同, 带正电, 故 A 错误; 由  $\varphi - x$  图像斜率的绝对值等于电场强度的大小可知, 在  $x_1$  与  $x_3$  处, 切线斜率不同, 则电场强度大小不相等, 加速度不相等, 故 B 错误; 从  $x_1$  到  $x_3$ , 电势先降低后升高, 粒子的电势能先减小后增大, 故 C 正确; 从原点到  $x$  轴正方向任意一点电势差均不为零, 电场力对粒子做正功, 速度方向一直沿  $x$  轴正方向, 故 D 错误.

**5. B** 由带电小球 A 和 B 平衡可知, 库仑力沿连线向外, 所以两球带同种电荷, A 错误; 画出 B 的受力图, 可知库仑力  $F$  逐渐减小, 两球距离逐渐增大, 支架对 B 的弹力一直减小, B 正确, C 错误; 两球间距增大, 库仑力做正功, 即电势能逐渐减小, D 错误.



### 技巧点拨 电场中的动态平衡问题

本题的切入点是三力动态平衡,一般思路是:把“动”化为“静”,“静”中求“动”. 主要方法是图解法,即根据物体的平衡条件作出力的矢量图,如物体只受三个力,则三个力构成封闭矢量三角形,然后根据力的矢量图进行动态分析,确定各力的变化情况. 图解法具有简单、直观的特点,所以在物理解题中有广泛的应用. 用图解法求解动态平衡问题时应注意以下几点:(1) 确定哪个力为恒力(通常为重力,也可以是其他力);(2) 确定哪个力的方向不变;(3) 确定另一个力变化时的角度增、减关系,从而利用三角形定则进行动态分析.

**6. D** 根据电容器电容的决定式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$  可知, 当云层向下靠近地面时,  $d$  减小, 该电容器的电容  $C$  将增大, A 错误; 根据电容器电容的定义式  $C = \frac{Q}{U}$  可知, 当云层向下靠近地面时, 该电容器的电容  $C$  增大, 由于电荷量  $Q$  不变, 则云层和地面上的电势差将减小, B 错误; 根据电场强度与电势差的关系  $E = \frac{U}{d}$ , 再联立上面两式可得

$E = \frac{4\pi k Q}{\epsilon_r S}$ , 则当云层向下靠近地面时, 云层和地面上的电场强度不变, C 错误; 根据电容器电容的定义式可知, 当云层底面积增大时, 正对面积  $S$  增大, 该电容器的电容  $C$  将增大, D 正确.

7. B 根据图乙可知,  $x=2$  m 处的电场强度为 0, 则 A、B 两点电荷电性必定相反, 且 A 带正电, B 带负电, 则在 A、B 之间电场的方向向右, 即 A、B 之间场强始终不可能为 0, 由  $E-x$  图像可知 A 的电荷量较大, A 的左侧电场主要由 A 电荷决定, 即 A 左侧的电场强度也不可能为 0, 故在有限范围内,  $x$  轴上仅有  $x=2$  m 位置一处电场强度为零, A 错误, B 正确. 由于  $x=2$  m 处的电场强度为 0, 则有  $k \frac{q_A}{3^2} = k \frac{q_B}{1^2}$ , 解得  $q_A : q_B = 9 : 1$ , C 错误.

将一正点电荷从  $x=3$  m 处由静止释放, 所受电场力方向始终沿  $x$  轴正方向, 即该电荷将在电场力作用下沿  $x$  轴正方向做加速运动, 不可能回到  $x=3$  m 处, D 错误.

8. A 仅使 M 板向上移动, 两板间正对面积 S 减小, 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 可知电容器电容减小, 由于两极板所带电

荷量不变, 根据  $U = \frac{Q}{C}$ , 可知静电计读数变大, 故 A 正确; 仅使 M 板向下移动, 两板间正对面积 S 减小, 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 可知电容器电容减小, 由于两极板所带电荷

量不变, 根据  $U = \frac{Q}{C}$ , 可知静电计读数变大, 故 B 错误; 仅使 M 板向左移动, 两板间距离 d 增大, 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 可知电容器电容减小, 由于两极板所带电荷量不

变, 根据  $U = \frac{Q}{C}$ , 可知静电计读数变大, 故 C 错误; 仅使 M 板向右移动, 两板间距离 d 减小, 根据  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ , 可知电容器电容增大, 由于两极板所带电荷量不变, 根据  $U = \frac{Q}{C}$ , 可知静电计读数变小, 故 D 错误.

9. B 电容器充电时, 刚开始电流比较大, 充电结束后, 电流为 0; 电压表测量的是电容器两端的电压, 示数逐渐增大, 故图乙符合电流的变化情况, 故 A 错误, B 正确. 充电结束之后, 把开关 S 接 2, 电容器处于放电过程, 电容器带电荷量逐渐减小, 由于放电量不变, 则  $I-t$  图像的“面积”不变, 图丙不符合题意, 故 C 错误. 根据  $C = \frac{Q}{U}$ , 可知电容大, 所带电荷量多, 由于  $I-t$  图像所围“面积”表示电荷量, 则电容大的图像所围成的“面积”较大, 故 D 错误.

10. B 因  $v-t$  图线的斜率等于加速度, 可知 B 点的加速度为零, 则受电场力为零, 电场强度为零, A 错误; 从 A 到 B 动能增加, 则电势能减小, 故粒子在 A 点的电势能大于在 B 点的电势能, 但是由于不能确定粒子的电性, 则不能比较 A、B 两点电势的关系, B 正确, C 错误; 由图可知, 从 A 点运动到 C 点的过程中与从 C 点运动到 D 点的过程中,  $\Delta E_{kAC} = -\Delta E_{kCD}$ , 所以  $W_{AC} = -W_{CD}$ ,

由  $U = \frac{W}{q}$  可得  $U_{AC} = -U_{CD}$ , D 错误.

11. A 在加速电场中, 由动能定理得  $qU_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$ , 在偏转电场中, 粒子做类平抛运动, 水平方向做匀速运动, 竖直方向做初速度为零的匀加速运动, 则水平方向  $L = v_0 t$ , 竖直方向  $y = \frac{1}{2}at^2$ ,  $v_y = at$ ,  $a = \frac{qU_2}{md}$ , 联立得  $y = \frac{U_2 L^2}{4U_1 d}$ ,  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{U_2 L}{2U_1 d}$ , 可见不同粒子进入偏转电场前, 由静止经同一加速电场加速, 则  $y$  和  $\tan \theta$  相同, A 正确; 因  $y = \frac{1}{2}at^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_2 q}{dm} \left(\frac{L}{v_0}\right)^2 = \frac{U_2 q L^2}{2dm v_0^2} = \frac{U_2 q L^2}{4d E_{k0}}$ ,  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{U_2 q L}{2d m v_0^2} = \frac{U_2 q L}{2E_{k0} d}$ , 故不同粒子的比荷  $\frac{q}{m}$  相同, 或者进入偏转电场时速度  $v_0$  或动能相同时, 偏转距离  $y$  和  $\tan \theta$  一定不相同, B、C、D 错误.

12. (1) 左 右 (2) 不变 变短

解析: (1) 将开关 S 接通 1, 电容器的左极板与电源的正极相连, 所以电容器的左极板带正电. 再将 S 接通 2, 电容器通过电阻 R 放电, 电流方向向右.

(2) 电容器所带电荷量  $Q = CU$ , 电容器储存的电荷量 Q 与电阻 R 无关, 如果不改变电路其他参数, 只减小电阻 R, 充电时  $I-t$  曲线与横轴所围成的面积将不变. 如果不改变电路其他参数, 只减小电阻 R, 由于电阻对电流的阻碍作用减小, 充电电流增大, 所以充电时间将变短.

13. (1) 由电容器电容的定义式  $C = \frac{Q}{U}$ ,

解得  $Q = CU = 3.0 \times 10^{-10} \times 12 \text{ C} = 3.6 \times 10^{-9} \text{ C}$ .

(2) 带电微粒恰在极板间静止, 则带电微粒带负电.

根据平衡条件, 有  $qE = mg$ , 而  $E = \frac{U}{d}$ ,

解得  $q = \frac{mgd}{U} = \frac{2.0 \times 10^{-3} \times 10 \times 1.20 \times 10^{-3}}{12} \text{ C} = 2.0 \times 10^{-6} \text{ C}$ .

14. (1) 根据牛顿第二定律, 有  $qE = ma$ ,

代入数据可得加速度为  $a = 1 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$ .

(2) 粒子在电场中做类平抛运动, 落在荧光屏下边缘的粒子运动时间最长, 即落在正方形 CDD'C' 边上的粒子在电场中运动的时间最长, 在竖直方向上, 有

$$\frac{L}{2} = \frac{1}{2}at^2,$$

解得  $t = \sqrt{\frac{L}{a}} = 1 \times 10^{-6} \text{ s}$ .

(3) 粒子在水平方向上满足  $\frac{L}{2} = v_0 t$ ,

解得粒子能打到荧光屏上的最小速度为  $v_0 = 5 \times 10^4 \text{ m/s}$ , 所以不能打到荧光屏上的粒子发射时的速度范围为  $v_0 < 5 \times 10^4 \text{ m/s}$ .

15. (1) 粒子在加速电场中被加速, 由动能定理, 有

$$U_0 q = \frac{1}{2} m v_0^2,$$

解得带电粒子到达B板的速度  $v_0 = \sqrt{\frac{2U_0 q}{m}}$ .

(2) 在静电分析器中,由牛顿第二定律,有

$$E_0 q = m \frac{v_0^2}{R},$$

运动时间为  $t = \frac{1}{4} \cdot \frac{2\pi R}{v_0}$ ,

$$\text{联立解得 } t = \frac{\pi}{E_0} \sqrt{\frac{m U_0}{2q}}.$$

(3) 粒子射入偏转电场后,水平方向做匀速运动,离开偏转电场时速度方向仍水平,则竖直分速度仍为0,在水平方向,有  $L = v_0 \cdot nT$ ,

$$\text{竖直方向,有 } y = 2n \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{Uq}{dm} \left(\frac{T}{2}\right)^2,$$

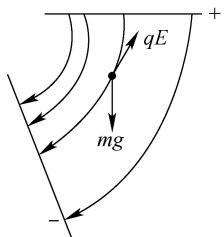
$$\text{联立解得 } y = \frac{UL^2}{8ndU_0} (n=1,2,3,\dots).$$

### 真题小练

1. A 由于带电粒子在电场中做类平抛运动,在电场方向上做匀加速直线运动,加速度为  $\frac{qE}{m}$ , 经过时间  $t$ , 电场方向的分速度为  $\frac{qE}{m}t$ , 功率为  $P = Fv = qE \cdot \frac{qE}{m}t$ , 所以  $P$  与  $t$  成正比, 故 A 正确.

2. B 沿着电场线方向, 电势降低, 所以 A 点电势低于 B 点, A 错误; 由于 O 点的电势为 0, 根据匀强电场的对称性, 可知电势  $\varphi_A = -\varphi_B$ , 又  $q_A = -q_B$ ,  $E_p = q\varphi$ , 所以电势能  $E_{pA} = E_{pB}$ , B 正确; A、B 位置的小球受到的静电力方向分别水平向右、水平向左, 绝缘轻杆顺时针旋转, 两小球受到的静电力对两小球均做正功, 则总电势能减少, C、D 错误.

3. D 两极板平行时带电油滴处于平衡状态, 则重力等于电场力, 当下极板右端向下移动时, 板间距离增大, 场强减小, 电场力小于重力; 由于电场线垂直于金属板表面, 所以油滴处的电场线如图所示, 则重力与电场力的合力偏向右下方, 故油滴向右下方运动, 故 D 正确.



**关键点拨** 本题以带电油滴在平行板电容器电场中的平衡问题为背景考查平行板电容器的电场及油滴受力运动的问题, 解答本题的关键是根据电场线与导体表面相垂直的特点, B 板右端向下, 所以电场线发生弯曲, 电场力方向改变.

### 4. D

A	O 是等量同种点电荷连线的中点, 场强为 0, 将 A 处的正点电荷沿 OA 方向移至无穷远处, O 点场强变大	✗
B	移动过程中, C 点场强变小, 正电荷所受静电力变小	✗
C	A 点电场方向沿 OA 方向, 移动过程中, 移动的电荷所受静电力做正功	✗
D	OA 段的电场方向沿 OA 方向, 沿电场线方向电势降低, 当其移动到无穷远处时, O 点的电势高于 A 点的电势	✓

5. C 由题意可知, C 点的电势为  $\varphi_C = \frac{E_p}{q} = \frac{W}{q}$ , 故 A 正确; 由于 B、C 两点到 A 点 ( $+q$ ) 的距离相等, 所以 B、C 两点的电势相等, 所以  $Q_1$  从 C 点移到 B 点的过程中, 电场力先做负功再做正功, 总功为 0, 故 B 正确; 由于 B、C 两点的电势相等, 所以当在 B 点固定  $Q_1$  后, C 点的电势为  $\frac{2W}{q}$ , 所以  $Q_2$  从无穷远处移到 C 点过程中, 电场力做功为  $W = qU = -2q \cdot \left(0 - \frac{2W}{q}\right) = 4W$ , 故 C 错误; 由于 C 点的电势为  $\frac{2W}{q}$ , 所以电势能为  $E'_p = -4W$ , 故 D 正确.

6. A 由于球壳内部的场强为 0, 补全以后可知左右侧球壳在 C 点的合场强为 0, 因左、右球壳的场强具有对称性, 要想合场强为 0, 只能是两部分球壳在 C 点的场强都沿水平方向, 则可以知道右侧球壳在 C 点的场强水平向左, 同理, OC 上其他点的场强都是水平向左, 因此 OC 是等势线, 故 A 正确; 将题中半球壳补成一个完整的球壳, 且带电均匀, 设左、右半球在 A 点产生的电场强度大小分别为  $E_1$  和  $E_2$ , 由题知, 匀带电球壳内部电场强度处处为 0, 则  $E_1 = E_2$ , 根据对称性, 左、右半球在 B 点产生的电场强度大小分别为  $E_2$  和  $E_1$ , 且  $E_1 = E_2$ , 在题图所示电场中, A 点的电场强度大小为  $E_2$ , 方向向左, B 点的电场强度大小为  $E_1$ , 方向向左, 所以 A 点的电场强度与 B 点的电场强度相同, 沿直线从 A 到 B 电场强度不可能逐渐增大, 故 B、D 错误; 根据电场的叠加原理可知, 在 AB 连线上电场线方向向左, 沿着电场线方向电势逐渐降低, 则沿直线从 A 到 B 电势升高, 故 C 错误.

## 第十一章 电路及其应用

### 限时小练 10 电源和电流

1. C 根据公式  $I = \frac{Q}{t}$  可知通过导体横截面的电荷量越

多,若其所用的时间也较长,则电流不一定大,根据定义式可知单位时间内通过导体横截面的电荷量越多,导体中的电流就越大,A错误,C正确;电流的方向和正电荷定向移动方向相同,与负电荷定向移动方向相反,B错误;电流是标量,没有正负方向,D错误.

### 易错点拨 电流的方向

电流是标量,方向是从正极到负极,电流的方向和正电荷定向移动方向相同,与负电荷定向移动方向相反.

2. D 由  $I = \frac{q}{t}$  可知,  $I = 3.2$  A, D 正确.

3. D 电子定向移动速率:其大小与电流有关,大小约为  $10^{-5}$  m/s,电子热运动速率:任何微观粒子都做无规则运动,其速度与温度有关,通常情况为  $10^5$  m/s,光速为  $3 \times 10^8$  m/s,A、C 错误; $t$  时间内通过导体某一横截面的自由电子数是长度  $vt$  内的自由电子数,其数量为

$nvt$ ,电荷量  $q = nvt e$ ,所以电流  $I = \frac{q}{t} = nev$ ,所以  $v = \frac{I}{ne}$ ,B 错误,D 正确.

4. C 4.35 V 为充电的电压,不是该电池的电动势,故 A 错误;mA·h 为电荷量的单位,所以 4 000 mA·h 表示该电池提供的电荷量,故 B 错误;待机电流  $I = \frac{q}{t} = \frac{4000 \times 10^{-3} \times 3600}{22 \times 24 \times 3600} \text{ A} \approx 0.0076 \text{ A} = 7.6 \text{ mA}$ ,故 C 正确;由  $t = \frac{q}{I}$ ,得  $t = \frac{4000 \times 10^{-3}}{100 \times 10^{-3}} \text{ h} = 40 \text{ h}$ ,故 D 错误.

5. D 正离子定向移动方向就是电流方向,负离子定向移动的反方向也是电流方向;有正、负离子向相反方向经过同一截面时,公式  $I = \frac{q}{t}$  中的  $q$  应是正、负离子电荷量绝对值之和,故  $I = \frac{(n_1 + n_2)e}{t}$ ,电流方向由 A 指向 B,D 正确.

### 方法技巧 不同导体中电流的计算方法

(1) 金属导体中的自由电荷只有自由电子,运用  $I = \frac{q}{t}$  计算时,  $q$  是某一时间内通过金属导体横截面的电子的电荷量.

(2) 电解液中的自由电荷是正、负离子,运用  $I = \frac{q}{t}$  计算时,  $q$  应是同一时间内正、负两种离子通过横截面的电荷量的绝对值之和.

(3) 处于电离状态的气体中的自由电荷既有正、负离子,也有自由电子,利用公式  $I = \frac{q}{t}$  求气体导电电流时,  $q$  应是三种带电粒子通过横截面的电荷量的绝对值之和.

6. A 电容器充电后所带的电荷量为  $Q = CU = 30 \times 10^{-6} \times 6 \times 10^3 \text{ C} = 0.18 \text{ C}$ ,根据电流的定义式,可知放电

过程的平均电流为  $I = \frac{Q}{t} = \frac{0.18}{2 \times 10^{-3}} \text{ A} = 90 \text{ A}$ ,故 A 正确.

7. C 若匀速转动,金属环中的正离子和电子的相对位置不会变化,不会产生电流,故 A、B 错误;若加速转动,金属环中正离子被金属晶格束缚相对金属环静止,而电子由于惯性相对金属环运动,即逆时针运动,根据正电荷的定向移动方向为电流方向,金属环中有顺时针方向电流,故 C 正确,D 错误.

8. D 某次闪电是在云与地之间发生的,在放电时间  $t$  内有  $n$  个电子从地面向云层移动,由电流的定义式得  $I = \frac{Q}{t} = \frac{ne}{t}$ ,规定正电荷定向移动的方向为电流的方向,放电过程,电子从地面向云层移动,由于电子带负电,因此电流的方向从云层指向地面,D 正确.

### 方法技巧 计算等效电流的方法

所谓等效电流,就是把电荷周期性通过圆周上各处形成的电流看作持续不断地通过圆周上各处时所形成的电流.在电荷定向移动的方向上取一个横截面作为研究对象,分析一个周期时间内通过该横截面的电荷量,由公式  $I = \frac{q}{t}$  计算.

9. D 质子被加速时有  $Ue = \frac{1}{2}mv^2$ ,由于  $I = neSv$ ,解得  $n = \frac{I}{eS} \sqrt{\frac{m}{2eU}}$ ,D 正确.

### 限时小练 11 导体的电阻

1. C 电阻率是材料本身的一种电学特性,与导体的长度、横截面积无关,D 错误;大部分金属材料的电阻率随温度升高而增大,部分非金属材料的电阻率随温度升高而减小,B 错误;锰铜合金的电阻率比银材料的电阻率大,电阻率大表明材料的导电性能差,不能表明对电流的阻碍作用一定大,因为电阻才是反映导体对电流阻碍作用大小的物理量,而电阻除与电阻率有关外,还与导体的长度、横截面积有关,A 错误,C 正确.

2. D 导体的电阻率反映材料的导电性能,温度一定时,同种材料的电阻率是不变的.导线拉长后,直径变为原来的一半,则横截面积变为原来的  $\frac{1}{4}$ ,因总体积不变,长度变为原来的 4 倍,由电阻定律计算可知电阻变为原来的 16 倍,D 正确.

3. D 设正方形边长为  $L$ ,厚度为  $d$ ,则  $R = \rho \frac{L}{Ld} = \frac{\rho}{d}$ ,可知  $R_A = R_B$ ,与同一电源相连时,通过 A、B 电流之比为 1:1,A、B 错误;根据  $I = neSv$ ,因  $S_A : S_B = 2 : 1$ ,则  $v_A : v_B = 1 : 2$ ,C 错误,D 正确.

4. A 脂肪不容易导电,说明肥胖的人的电阻大,消瘦的人的电阻小,故 A 正确,B 错误;人在激烈运动之后,

体脂率变小,测量此人体的电阻会变小,激烈运动对脂肪测量仪测量的结果有影响,故C、D错误.

5. B 当在样品两侧面加上相同的电压U,若使样品中电流最大,此时电阻应最小,根据电阻定律 $R=\rho \frac{L}{S}$ ,可知当L最小、S最大时电阻最小,因为 $a>b>c$ ,则题图B中电阻最小,电流最大,故B正确.

6. C 图线上的点与坐标原点连线斜率的倒数表示电阻,由题图可知,随电压增大,灯泡电阻增大,故A错误;对应A点,白炽灯的电阻可表示为 $R=\frac{U_0}{I_0}$ ,故B、D错误;对应A点,白炽灯的电功率可表示为 $P=U_0 I_0$ ,故C正确.

**易错点拨** I-U伏安特性曲线为曲线时要注意图线在某点切线的斜率不表示电阻的倒数;计算导体在图线上某点 $P_n$ 的电阻的两种方法:

(1)可以用该点的坐标 $(U_n, I_n)$ 来计算,即 $R_n=\frac{U_n}{I_n}$ .

(2)用该点与坐标原点连线的斜率的倒数等于该点对应电阻来计算.

7. C 设金属丝的电阻为R,由欧姆定律有 $I=\frac{U}{R}$ ,由电

阻定律 $R=\frac{\rho L}{S}$ ,而将金属丝拉长为原来的2倍,有 $L'=2L$ ,由 $V=LS=L'S'$ ,可知横截面积 $S'=\frac{S}{2}$ ,则电阻 $R'=\frac{\rho L'}{S'}=\frac{\rho \cdot 2L}{\frac{S}{2}}=4R$ ,则加相同的电压U时流过的电

流为 $I'=\frac{U}{R'}=\frac{I}{4}$ ,C正确.

8. B 盐水电阻 $R=\frac{U}{I}=1000\Omega$ ,由电阻定律 $R=\rho \frac{h}{S}$ ,面积 $S=\pi r^2=3.14 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ ,解得 $h=100 \text{ m}$ ,B正确.

9. D

A	甲图中伏安特性曲线为直线,故元件A的阻值不变	×
B	甲图中直线的斜率为 $k=\frac{1}{R}$ ,故 $R_A > R_B$	×
C	图乙中,伏安特性曲线为曲线,故该元件为非线性元件	×
D	由图乙可知,当电压大于0.75 V时,随电压增大,电流迅速增大,故元件的阻值减小	✓

10. A 两段导线上的电流相等,电势差之比为 $\frac{U_A}{U_B}=\frac{\varphi_0 - \frac{2}{3}\varphi_0}{\frac{2}{3}\varphi_0}=\frac{1}{2}$ ,则电阻之比为 $\frac{R_A}{R_B}=\frac{1}{2}$ ,根据 $R=\rho \frac{L}{S} \propto$

$\rho$ 可知A、B导线电阻率的比值是 $\frac{\rho_A}{\rho_B}=\frac{R_A}{R_B}=\frac{1}{2}$ ,A正确.

11. (1)由题图乙可知,图线上各点的 $\frac{U}{I}$ 比值随电流的增大而减小,所以电阻率 $\rho$ 也随着电流的增大而减小.

(2)当 $U=9 \text{ V}$ 时,由欧姆定律,可得电解液的电阻

$$R=\frac{U}{I}=1800 \Omega,$$

由电阻定律,有 $R=\rho \frac{a}{bc}$ ,

$$\text{解得电解液的电阻率 } \rho=\frac{Rbc}{a}=180 \Omega \cdot \text{m}.$$

## 限时小练 12 实验: 导体电阻率的测量

1. 8.00 mm 1.98 mm

解析:圆柱体的长度为 $8 \text{ mm} + 0 \times 0.02 \text{ mm} = 8.00 \text{ mm}$ ,直径为 $1 \text{ mm} + 49 \times 0.02 \text{ mm} = 1.98 \text{ mm}$ .

2. 6.125 10.225

解析:螺旋测微器的读数为 $6 \text{ mm} + 12.5 \times 0.01 \text{ mm} = 6.125 \text{ mm}$ ,金属棒的长度为 $102 \text{ mm} + 5 \times 0.05 \text{ mm} = 102.25 \text{ mm} = 10.225 \text{ cm}$ .

3. 0.996~0.999 0.42 11.3~11.4

### 技巧点拨 物理仪器读数问题

1. 螺旋测微器读数:测量时被测物体长度的整毫米数由固定刻度读出,小数部分由可动刻度读出.测量值 $(\text{mm}) = \text{固定刻度数}(\text{mm})(\text{注意半毫米刻度线是否露出}) + \text{可动刻度数(估读一位)} \times 0.01(\text{mm})$ .

2. 对于电压表和电流表的读数问题,首先要弄清电表量程,即指针指到最大刻度时电表允许通过的最大电压或电流值,然后根据表盘总的刻度数确定精确度,按照指针的实际位置进行读数即可.

(1) 0~3 V的电压表和0~3 A的电流表读数方法相同,此量程下的精确度是0.1 V或0.1 A,看清楚指针的实际位置,读到小数点后面两位.

(2)对于0~15 V量程的电压表,精确度是0.5 V,在读数时只要求读到小数点后面一位,即读到0.1 V.

(3)对于0~0.6 A量程的电流表,精确度是0.02 A,在读数时只要求读到小数点后面两位,这时要求“半格估读”,过半读下一格,不过半格,读前一格.

4. (1) 3.202(3.201~3.203均可) (2) 4.975

(3)偏小

解析:(1)螺旋测微器的读数为 $D = 3 \text{ mm} + 20.2 \times 0.01 \text{ mm} = 3.202 \text{ mm}$ .

(2)游标卡尺的读数为 $L = 49 \text{ mm} + 15 \times 0.05 \text{ mm} = 49.75 \text{ mm} = 4.975 \text{ cm}$ .

(3)由欧姆定律得,金属丝的电阻值 $R=\frac{U}{I}$ ,由于电压表的分流作用使电流的测量值偏大,则电阻的测量值偏小.

5. (1) 10.355 1.196(1.195~1.197 均可)

(2) ①ADE ②丁 偏小

解析: (1) 游标卡尺的固定刻度读数为 10.3 cm, 游标尺读数为  $11 \times 0.05 \text{ mm} = 0.55 \text{ mm} = 0.055 \text{ cm}$ , 所以最终读数为  $10.3 \text{ cm} + 0.055 \text{ cm} = 10.355 \text{ cm}$ . 螺旋测微器的固定刻度读数为 1 mm, 可动刻度读数为  $19.6 \times 0.01 \text{ mm} = 0.196 \text{ mm}$ , 则最终读数为 1 mm + 0.196 mm = 1.196 mm.

(2) ①电源电压为 3 V, 故电压表应选 A; 电路最大电流约为  $I = \frac{E}{R} = \frac{3}{6} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$ , 故电流表选 D; 由于待测电

阻只有约  $6 \Omega$ , 故为了便于调节, 滑动变阻器选择总阻值较小的 E;

②待测电阻阻值约为  $6 \Omega$ , 电压表内阻约为  $2 \text{ k}\Omega$ , 电流表内阻约为  $1 \Omega$ , 待测电阻阻值远小于电压表内阻, 故电流表采用外接法, 应选择题图丁所示实验电路. 由于电压表分流使电流表读数偏大, 则由欧姆定律可知, 电阻的测量值比真实值偏小.

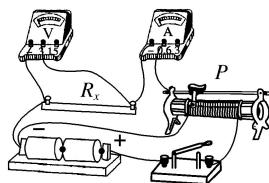
6. (1) 0.398(0.396~0.399 均可) (2) 甲 (3) 见解析图 (4) 见解析图 4.5(4.3~4.7 均可) (5) C (6) CD

解析: (1) 螺旋测微器的读数为  $0 \text{ mm} + 39.8 \times 0.01 \text{ mm} = 0.398 \text{ mm}$ .

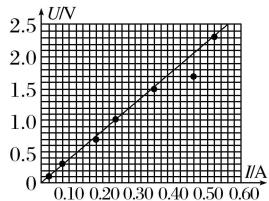
(2) 由实验记录的数据可知  $R_x$  的阻值大约为  $5 \Omega$ . 由题知  $R_x \ll R_V$ , 故电流表外接. 若滑动变阻器接为限流式接

法, 电路中最小电流值  $I_{\min} = \frac{E}{R_1 + R + R_A} = 0.12 \text{ A}$ , 其中  $R_1$  为  $R_x$  与  $R_V$  的并联电阻值, 且  $R_1 \approx R_x$ , 则  $R_x$  两端的电压最小值  $U_{\min} = I_{\min} R_x = 0.6 \text{ V}$ , 而从实验数据可知  $R_x$  两端电压是从 0.10 V 开始的, 因此滑动变阻器应采用分压式接法, 故应选甲图.

(3) 实物连接图如图所示.



(4) 图线应过原点, 选尽可能多的点连成一条直线, 不在直线上的点均匀分布在直线两侧, 明显偏离的点应舍去, 如图所示.



图线的斜率反映了金属丝的电阻, 因此金属丝的电阻值  $R_x = 4.5 \Omega$ .

(5) 根据  $R_x = \rho \frac{l}{S}$  得金属丝的电阻率  $\rho = \frac{R_x S}{l} =$

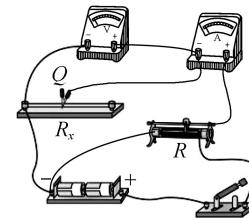
$$\frac{\pi R_x d^2}{4l} \approx 1.1 \times 10^{-6} \Omega \cdot \text{m}, \text{C 正确.}$$

(6) 系统误差是由仪器的某些不完善或实验方法不够完善等产生的, 其测量结果总是偏大或偏小; 偶然误差具有随机性, 可以通过多次测量取平均值来减小偶然误差, 故 C、D 正确, A、B 错误.

7. (1) 见解析 (2)  $R_2$  A (3) 1.850 (4)  $\frac{k\pi d^2}{4}$

(5) 偏小

解析: (1) 根据题图甲中的电路图, 完整的实物连线如图所示.



(2) 由于滑动变阻器  $R_1$  允许通过的最大电流只有 0.1 A, 而滑动变阻器  $R_2$  允许通过的最大电流为 1 A, 则滑动变阻器应该选  $R_2$ ; 为了保证电表安全, 题图甲中开关 S 闭合之前, 应将滑动变阻器的滑片 P 置于 A 端. (3) 螺旋测微器的分度值为 0.01 mm, 由题图丙可知导线的直径为  $d = 1.5 \text{ mm} + 35.0 \times 0.01 \text{ mm} = 1.850 \text{ mm}$ .

(4) 根据电阻定律, 可得  $R_x = \frac{\rho L}{S} = \frac{4\rho}{\pi d^2} L$ , 可知  $R_x - L$

图像的斜率为  $k = \frac{4\rho}{\pi d^2}$ , 解得该金属材料的电阻率为  $\rho = \frac{k\pi d^2}{4}$ .

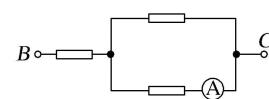
(5) 题图甲电路图中的电流表采用外接法, 由于电压表的分流使得电流表读数大于通过待测电阻的真实电流, 所以待测电阻阻值的测量值偏小; 根据  $\rho = \frac{R_x S}{L}$ , 可知根据实验数据求出的该金属材料的电阻率比真实值偏小.

### 限时小练 13 串联电路和并联电路(课时 1)

1. B 当滑动变阻器  $R_3 = 30 \Omega$  时, A、B 两端的总电阻最大, 为  $R_{\max} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = 10 \Omega + \frac{20 \times 30}{20 + 30} \Omega = 22 \Omega$ ;

当滑动变阻器  $R_3$  接入电路的电阻为 0 时, A、B 两端的总电阻最小, 为  $R_{\min} = R_1 = 10 \Omega$ , B 正确.

2. B 将电路改画成如图所示形式,  $I_{\text{总}} = \frac{U_{\text{总}}}{R_{\text{总}}} = \frac{U_{\text{总}}}{R + \frac{R^2}{R + R}} = \frac{6}{2 + \frac{2^2}{2+2}} \text{ A} = 2 \text{ A}$ , 则每一个支路电流均为 1 A, B 正确.



3. D 将半球形导体材料看成两个相同的电阻并接,则甲可以看成两个电阻并联,乙可以看成两个电阻串联,设每个小电阻阻值为  $R$ ,则甲的总阻值  $R_{\text{甲}} = \frac{R}{2}$ ,乙的总阻值  $R_{\text{乙}} = 2R$ ,因此  $R_{\text{甲}} : R_{\text{乙}} = 1 : 4$ ,D 正确.

4. A 通过电压表的电流  $I_{\text{V}} = \frac{U}{R_{\text{V}}} = \frac{3.50}{1.50 \times 10^3} \Omega = \frac{7}{3} \times 10^{-3} \text{ A}$ ,则  $R_x = \frac{U}{I_x} = \frac{3.50}{(10 - \frac{7}{3}) \times 10^{-3}} \Omega \approx 457 \Omega$ ,

故 A 正确.

5. B 电压表并联在  $R_2$  两端时,并联部分的电阻为  $R_2 R_{\text{V}} = \frac{3 \times 6}{3 + 6} \text{ k}\Omega = 2 \text{ k}\Omega$ ,根据串联电路的分压特点可知,电源电压为 12 V;电压表并联在  $a$ 、 $b$  两端时,测量的是电源的电压,所以其示数为 12 V,B 正确.

6. D 由题可知,  $R_2$  与  $R_3$  并联后与  $R_1$  串联,并联电阻为  $\frac{R_1}{2}$ ,电流表测的是  $R_2$  的电流,为  $I_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{U}{R_1 + \frac{R_1}{2}} =$

1.5 A,D 正确.

7. D 依题意,可得  $A$  的横截面积为  $S_A = (\sqrt{3}L)^2 - (\sqrt{2}L)^2 = L^2$ ,  $B$  的横截面积  $S_B = (\sqrt{2}L)^2 - (L)^2 = L^2$ ,  $C$  的横截面积  $S_C = L^2$ ,故  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的横截面积相等,由电阻定律  $R = \rho \frac{L}{S}$ ,可知  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的电阻相等,由串、并联电路特点和欧姆定律,可知导体  $A$ 、 $B$ 、 $C$  两端的电压之比为  $1 : 1 : 2$ ,流过导体  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的电流之比为  $1 : 1 : 2$ ,故 D 正确.

8. D 当  $S_1$  和  $S_2$  均断开时,  $R_1$  与  $G$  串联,  $R_2$  断路,故改装成的表是电压表,改装后的量程为  $U = I_g(R_g + R_1) = 1 \text{ V}$ ,A、B 错误;  $S_1$  和  $S_2$  均闭合时,  $R_1$  被短接,  $R_2$  与  $G$  并联,故改装成的表是电流表,改装后的量程为  $I = I_g + \frac{I_g R_g}{R_2} = 1 \text{ mA} + \frac{1 \times 100}{\frac{100}{999}} \text{ mA} = 1 \text{ A}$ ,C 错误,D 正确.

9. A 当按照图甲和图乙所示的方式接入电路测量时,电流表的示数变化  $|\Delta I| = 5.55 \text{ mA} - 5.50 \text{ mA} = 0.05 \text{ mA}$ ,电压表的示数变化  $|\Delta U| = 2.75 \text{ V} - 2.22 \text{ V} = 0.53 \text{ V}$ .由此可知,电压表的示数变化大,说明电流表的内阻影响大,采用电流表外接更准确,即用图乙方式测量

更准确,则电阻的真实值接近  $R = \frac{U_2}{I_2} = \frac{2.22}{5.55 \times 10^{-3}} \Omega =$

400  $\Omega$ ,使用外接法测量时,电流表的示数偏大,使得测得的电阻偏小,所以电阻的实际值大于 400  $\Omega$ ,A 正确.

10. D 由于两棒串联,所以通过两棒电流相等,故 A 错误;由电阻定律  $R = \rho \frac{L}{S}$ ,可知细棒的电阻大,由串联分压原理,可知细棒的电压  $U_1$  大于粗棒的电压  $U_2$ ,又由匀强电场的电场强度公式  $E = \frac{U}{L}$ ,可知细棒内场强  $E_1$

大于粗棒内场强  $E_2$ ,故 B 错误,D 正确;由电流的微观表达式  $I = nqSv$ ,可知两棒电流相等,细棒的横截面积小于粗棒的横截面积,所以两棒的自由电子定向移动的平均速率  $v_1 > v_2$ ,故 C 错误.

11. (1) 接通开关 S,断开开关 S' 时,电阻  $R_1$  与  $R_2$  串联,由串联电路的规律知,  $U_1 : U_2 = R_1 : R_2 = 2 : 3$ .

(2) 两个开关都接通时,  $R_2$  与  $R_3$  并联,且  $R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{12}{7} \Omega$ ,  $R_1$  与  $R_{23}$  串联,由串联电路的规律知,  $U'_1 : U'_2 = R_1 : R_{23} = 7 : 6$ .

### 限时小练 13 串联电路和并联电路(课时 2)

1. A 电流表的读数总是比准确值稍大一点,即指针偏转角度稍大一点,说明通过表头 G 的电流稍微大了一点,原因是并联电阻 R 稍微大了一点,为了校准,需要将电阻 R 稍微减小一点,即可以在 R 上并联一个比 R 大得多的电阻,故 A 正确.

2. D 电压表示数从 0 开始,则滑动变阻器采用分压式接法,由于改装后的电流表内阻已知,电流表分压的具体值能够确定,可知为消除系统误差,测量电路应采用电流表内接法,故 D 正确.

3. A 要将电流表改装成量程为 3 V 的电压表,需要串联一个电阻;根据串联电路的分压原理,串联的阻值为  $R_{\text{串}} = \frac{U}{I_g} - R_g = \frac{3}{0.5 \times 10^{-3}} \Omega - 500 \Omega = 5500 \Omega$ ,A 正确.

4. C 由电表的改装可知,电流表应是 G 与 R 并联(题图甲),改装后加在 G 两端的最大电压  $U_g = I_g R_g$ ,不变,所以并联电阻 R 越大,  $I = I_g + \frac{R_g}{R} I_g$  越小,即量程越小;若改装后的电表示数略微偏大,说明所并联电阻的分流偏小,则分流电阻阻值偏大,可将 R 值稍微调小,A 错误,C 正确.电压表应是 G 与 R 串联(题图乙),改装后量程  $U = I_g R_g + I_g R$ ,可知 R 越大,量程越大;若改装后的电表示数略微偏大,说明所串联电阻的分压偏小,则分压电阻阻值偏小,可将 R 值稍微调大,B、D 错误.

#### 常用结论

表头改装成大量程电流表需要并联分流电阻,并联电阻越小,分流越大,量程越大;表头改装成电压表需要串联分压电阻,串联电阻越大,分压越大,量程越大.

5. C 将接线柱 1、2 接入电路时,  $R_1$  为分流电阻,则有  $I_1 = I_g + \frac{I_g r}{R_1} = 2.4 \text{ A}$ ,每一小格表示  $\frac{I_1}{30} = 0.08 \text{ A}$ ,故 A、

B 错误;将接线柱 1、3 接入电路时,  $R_1$  为分流电阻,  $R_2$  为分压电阻,电流表的量程仍为 2.4 A,故每一小格表示 0.08 A,故 C 正确,D 错误.

6. D 电流表是由电流计并联一个电阻改装而成,两电流表并联,两电流计两端电压相等,两电流计相同,则流

过两电流计的电流相等,所以  $A_1$  的指针半偏时,  $A_2$  的指针也半偏,故 A、B 错误;两电流计改装成的两电流表量程之比为 5:1,两电流表的内阻之比为 1:5,两电流表并联,通过两电流表的电流之比为 5:1,当  $A_1$  的读数为 1 A 时,  $A_2$  的读数为 0.2 A,干路的电流为 1.2 A,故 C 错误,D 正确.

**易错警示** 不理解电表改装的原理,容易混淆电表指针的偏角和示数.电表的示数是由通过电表  $A_1$ 、 $A_2$  的电流决定的,而电表指针的偏角是由通过内部电流计的电流决定的.为了避免出现错误,需要理解电表改装的原理.

**7. D** 微安表改装为量程为 20 mA 的电流表要并联分流电阻,由题图乙可知微安表读数为 160  $\mu$ A,即改装后的电流表读数应该为  $\frac{20}{250} \times 160$  mA=12.8 mA,而标准毫安表读数为 16.0 mA,则改装后的量程偏大,可能的原因是实际并联的电阻  $R$  阻值偏小,分流过大,D 正确.

**8. C** 设改装前四个电流表的满偏电流为  $I_g$ ,内阻为  $R_g$ ,改装成电流表时需要并联电阻  $R$ ,其量程为  $I=\frac{I_g R_g}{R}+I_g$ ,由上式可知,改装后的电流表量程越小,  $R$  越大,所以  $A_1$  的内阻大于  $A_2$  的内阻.根据并联分流规律,可知通过  $A_1$  的电流小于通过  $A_2$  的电流,所以  $A_1$  的读数小于  $A_2$  的读数,又因为原始表头为并联关系,所以表头两端电压相等,通过两表头的电流相等,即  $A_1$  指针偏转角度和  $A_2$  指针偏转角度相同,故 A 错误,C 正确.改装成电压表时需要串联电阻  $R$ ,其量程为  $U=I_g(R+R_g)$ ,由上式可知,改装后电压表量程越小,  $R$  越小,所以  $V_1$  的内阻小于  $V_2$  的内阻,根据串联分压规律可知  $V_1$  两端电压小于  $V_2$  两端电压,所以  $V_1$  的读数小于  $V_2$  的读数,又因为原始表头为串联关系,所以通过两表头的电流相等,即  $V_1$  指针偏转角度和  $V_2$  指针偏转角度相同,故 B、D 错误.

**9. (1)** 题图甲中使用 A、B 两个端点时,有  $I_g(R_g+R_1)=3$  V,解得  $I_g=2$  mA.

**(2)** 题图甲中使用 A、C 两个端点时,有  $U_m=I_g(R_g+R_1+R_2)$ ,解得  $U_m=15$  V,

即电压表的量程是 0~15 V.

**(3)** 题图乙中,使用 A、B 两个端点时,有  $I_g(R_g+R_4)=(0.1-I_g)R_3$ ,使用 A、C 两个端点时,有

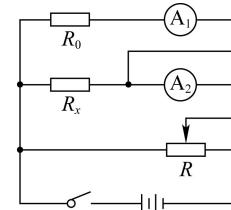
$I_g R_g = (0.01 - I_g)(R_3 + R_4)$ ,联立解得  $R_3 = 5 \Omega$ ,  $R_4 = 45 \Omega$ .

#### 阶段提优 4 电阻的测量

**1. (1) 3 (2) 图见解析 (3)  $\frac{I_1(R_0+r_1)}{I_2-I_1}$**

**解析:**(1) 根据电压表改装原理,可知改装后的电压表量程为  $U = I_g(R_0+r_1)$ ,代入数据解得  $U = 0.03 \times 100$  V=3 V.

(2) 由题意可知,电流表  $A_1$  改装成电压表,且改装后的电压表流过的电流和内阻已知,又要获得较大的电压调节范围,则电流表  $A_2$  应采用外接法,滑动变阻器采用分压式接法,实验电路图如图所示.



(3) 根据电路图,若某次测量中电流表  $A_1$  的示数为  $I_1$ ,电流表  $A_2$  的示数为  $I_2$ ,可知待测电阻阻值为  $R_x = \frac{U_x}{I_x}$ ,可得  $R_x = \frac{I_1(R_0+r_1)}{I_2-I_1}$ .

**2. (1) b (2) 90 °C (4) 0 °C**

**解析:**(1)  $R_2=50 \Omega$  与  $R_1=10 \Omega$  串联,  $R_4$  与  $R_3$  串联,再并联在 36 V 的直流电源两端,因 180 °C 时电压表指针指到 0 刻度线,即  $\varphi_a=\varphi_b$ ,此后 **温度降低,热敏电阻  $R_4$  的阻值变小,其分得的电压变小,b 点的电势升高,电压表显示为正电压**,则电压表的正接线柱应连接 b;根据热敏电阻的阻值随温度变化的函数为  $R_t = (90 + \frac{1}{3}t) \Omega$ ,

则  $t=180$  °C 时,  $R_4=150 \Omega$ ,此时电压表指针指到 0 刻度线,即  $\varphi_a=\varphi_b$ ,有  $\frac{UR_2}{R_2+R_1}=\frac{UR_4}{R_4+R_3}$ ,可得  $\frac{R_2}{R_1}=\frac{R_4}{R_3}$ ,代入电阻值解得  $R_3=30 \Omega$ .

(2) 电源电压为  $U=36$  V 的直流电源(内阻很小可忽略不计),则有  $U_{R2}=\frac{UR_2}{R_2+R_1}=30$  V,  $U_{R1}=\frac{UR_1}{R_2+R_1}=6$  V,

当电压表示数为 1.2 V 时,有  $U_{R4}=\frac{UR_4}{R_4+R_3}=(30-1.2)$  V=28.8 V,解得  $R_4=120 \Omega$ ,代入到函数  $R_t = (90 + \frac{1}{3}t) \Omega$ ,可得温度为  $t=90$  °C.

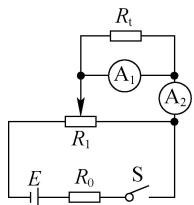
(4) 该测温计测量最低温度时,电压表的示数为 3 V,有  $U_{R4}=\frac{UR_4}{R_4+R_3}=(30-3)$  V=27 V,解得  $R_4=90 \Omega$ ,代入函数  $R_t = (90 + \frac{1}{3}t) \Omega$ ,可得最低温度为  $t=0$  °C.

**3. (1)  $R_1$  (2) 图见解析 (3)  $\frac{I_1 r_1}{I_2 - I_1}$  (4) 减小**

(5) 30

**解析:**(1) 实验时要求电流表的示数从 0 开始调节,则滑动变阻器应采用分压式接法,为了方便调节且使电表示数变化比较明显,滑动变阻器应选择阻值较小的  $R_1$ .

(2) 滑动变阻器采用分压式接法,实验器材有两个电流表,没有电压表,可以采用安培法测电阻的方式测量热敏电阻的阻值.电流表  $A_1$  的内阻已知,所以  $A_1$  可以作为电压表使用,电路图如图所示.



(3) 电流表  $A_1$  两端电压为  $U_1 = I_1 r_1$ , 热敏电阻  $R_t$  与电流表  $A_1$  并联, 所以热敏电阻  $R_t$  两端的电压为  $U_t = U_1 = I_1 r_1$ , 通过热敏电阻  $R_t$  的电流为  $I_t = I_2 - I_1$ , 所以热敏电阻的阻值为  $R_t = \frac{U_t}{I_t} = \frac{I_1 r_1}{I_2 - I_1}$ .

(4) 由题图甲可知,  $\frac{1}{R_t}$  随温度的升高而逐渐增大, 所以  $R_t$  随温度的升高而逐渐减小.

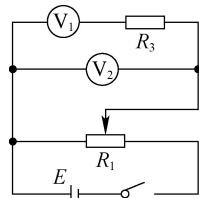
(5) 题图乙中, 电压表示数  $U_4 = 1.2$  V, 所以通过电阻  $R_4$  的电流为  $I_4 = \frac{U_4}{R_4} = 0.4$  A, 通过电阻  $R_3$  的电流为  $I_3 = I - I_4 = 0.4$  A, 电阻  $R_3$  两端的电压为  $U_3 = I_3 R_3 = 2$  V, 热敏电阻  $R_t$  两端的电压为  $U_t = U_3 - U_4 = 0.8$  V, 所以热敏电阻的阻值为  $R_t = \frac{U_t}{I_4} = 2 \Omega$ , 由题图甲可知,

$\frac{1}{R_t}$  与温度  $t$  之间存在的函数关系为  $\frac{1}{R_t} = 0.2 + 0.01t$  (°C), 解得  $t = 30$  °C.

4. (1) D B F (2) 图见解析 (3)  $\frac{R}{k-1}$

解析: (1) 为了精确测量和方便电路调节, 电路控制部分应该采用分压式接法, 因此滑动变阻器选总阻值小的  $R_1$ , 即选择 D; 电流表因为量程太大无法使用, 因此另一个电表应该选择  $V_2$ , 即选择 B; 由于  $V_1$ 、 $V_2$  两者量程差别较大, 为了能够更好使用, 需要给  $V_1$  串联一个分压电阻, 再和  $V_2$  并联, 根据电压分配关系, 分压电阻选择  $R_3$ , 即定值电阻应选择 F.

(2) 根据第(1)问分析, 作出实验电路图如图所示.

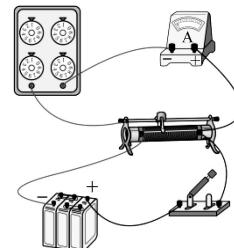


(3) 根据欧姆定律, 有  $\frac{X_2 - U_1}{R} \cdot R_v = U_1$ , 整理得  $X_2 = \frac{R_v + R}{R_v} U_1$ , 可知  $X_2 - U_1$  图像的斜率为  $k = \frac{R_v + R}{R_v}$ , 可得  $R_v = \frac{R}{k-1}$ .

5. (1) 见解析 (2) ①④③② (3) A C (4) 大于

(5) 减小 (6) 并联  $\frac{R_0}{299}$

解析: (1) 实物电路的连接图如图所示.



(2) 该实验为半偏法测电流表内阻, 实验原理与步骤为: 刚开始将电阻箱  $R$  的电阻调到 0, 滑动变阻器  $R_1$  的滑片滑到最右端; 接着闭合开关 S, 调节变阻器  $R_1$  的滑片, 使得电流表达到满偏电流  $I_0$ , 则并联电压为  $U = I_0 r$ , 再保持滑动变阻器的滑片位置不变, 调节电阻箱的电阻, 使得电流表的示数为  $\frac{I_0}{2}$ , 此时  $U = \frac{I_0}{2} (R_x + r)$ , 最后读出电阻箱的电阻值  $R_x$ , 可以认为电流表的内阻  $r = R_x$ , 故正确操作顺序是①④③②.

(3) 本实验滑动变阻器采用分压式接法, 为方便操作, 应选用最大阻值较小的滑动变阻器, 故选 A; 由于电流表内阻较小, 因此电阻箱应选用最大阻值较小、最小测量挡位更小的 C.

(4) 此实验过程中认为电阻箱串联电流表后并联电压不变, 而实际情况是电阻箱串联电流表后电路总电阻变大, 干路电流减小, 并联电压变大, 故所串联的电阻箱分压大于电流表的分压, 其阻值大于电流表的内阻, 故测量值大于真实值.

(5) 若升高电源电压, 电阻箱阻值接入电路后, 对全电路电压分配的影响减小, 因此测量误差减小.

(6) 改装成电流表, 需要并联分流电阻, 并联的分流电阻阻值为  $R_{\text{并}} = \frac{I_0 R_0}{I - I_0} = \frac{R_0}{299}$ .

### 限时小练 14 实验:练习使用多用电表

#### 1. B

A	测量未知直流电源两端电压时, 为保护电表安全, 应先用大量程再逐渐减小到合适的量程	<input checked="" type="checkbox"/>
B	用“ $\times 100 \Omega$ ”挡测电阻时指针如题图所示, 可知待测电阻较小, 则应改用“ $\times 10 \Omega$ ”挡, 欧姆调零后再测	<input checked="" type="checkbox"/>
C	待测电阻若是连接在电路中, 需要把它与其他元件断开后再测量	<input checked="" type="checkbox"/>
D	使用结束时, 应把选择开关置于交流电压最高挡或者“OFF”挡	<input checked="" type="checkbox"/>

**方法技巧** 巧记多用电表电阻挡使用方法

使用电表要看清,机械调整应先行;  
开关打到电阻挡,估计阻值选倍率;  
正负表笔相碰时,转动旋钮调好零;  
接入待测电阻时,金属笔尖手莫碰;  
从右向左读示数,阻值还需乘倍率;  
每次换挡都调零,这条牢记心中;  
用完拔出两表笔,选择开关空挡停。

**2. D** 多用电表使用时,红表笔接触高电势点,黑表笔接触低电势点,A 错误;若  $L_1$  发生了断路故障,则当另一表笔接触  $c$  时,应有示数,若  $L_2$  发生了短路,则当另一表笔接触  $b$ 、 $c$ 、 $d$  时,应有示数,但实际分别与接线柱  $b$ 、 $c$ 、 $d$  接触时,示数均为 0,当接触  $e$ 、 $f$  时,示数均为 3 V,则可知  $L_2$  一定发生了断路故障,B、C 错误,D 正确。

**3. B** 题图甲是用多用电表直流电压挡测量小灯泡两端的电压,红、黑表笔接错,电流应从红表笔流进,黑表笔流出,故 A 错误;题图乙是用多用电表直流电流挡测量电路中的电流,电流从红表笔流入,黑表笔流出,表笔接法正确,故 B 正确;电阻挡的内置电源正极与黑表笔相连,负极与红表笔相连,由题图丙所示电路图可知,黑表笔接二极管正极,红表笔接二极管负极,多用电表测二极管正向电阻,由题图丁所示电路图可知,黑表笔接二极管负极,红表笔接二极管正极,多用电表测二极管反向电阻,故 C、D 错误。

**4. A** 电阻挡内部有电源,所以测电路中某个电阻的阻值时,先要将该电阻与其他元件断开,A 正确;测量电阻时,如果指针偏转过大,说明待测电阻较小,需要更换倍率较小的挡位,B 错误;每次换挡时,才必须重新欧姆调零,C 错误;测量完毕后,应将选择开关旋转到“OFF”挡或交流电压最高挡,D 错误。

**5. B** 如图甲,将红、黑表笔短接,进行欧姆调零,故 A 错误;如图乙,利用所示旋钮进行欧姆调零,故 B 正确;如图丙,用“ $\times 100$ ”挡测量时发现指针偏转角度过小,则所测电阻较大,为了准确测量,应换到“ $\times 1 k$ ”挡,故 C 错误;实验完成后,挡位调至“OFF”挡或交流电压最高挡,故 D 错误。

**6. AB** 根据多用电表原理可知,内部电源的正极应接黑表笔,这样才能保证在测电阻时多用电表中电流“红进黑出”,则 A 端应接红表笔,A 正确;根据多用电表的电阻挡测量原理,表头连接电源和滑动变阻器,根据全电路的欧姆定律由电流的大小换算出待测电阻,故换挡开关旋至 3 处为电阻挡,电阻值为读数乘以倍率,B 正确;换挡开关旋至 1、2 处为表头并联不同的电阻,利用并联分流测大电流,则这两处为电流挡,且并联电阻越小能分流越多,换挡开关旋至 1 处并联的是  $R_1$ ,换挡开

关旋至 2 处并联的是  $R_1+R_2$ ,故接 1 处量程较大,C 错误;换挡开关旋至 4、5 处为表头串联不同的电阻,根据串联分压,则这两处为电压挡,换挡开关旋至 5 处串联的总电阻较大,其量程较大,D 错误。

**7. (2) D (3)  $\times 10$**

**解析:**(2) 在进行电阻测量时,每次调整挡位均应进行欧姆调零,即旋转 D 旋钮。

(3) 由图知测电阻时指针的偏角太大,说明电阻较小,应换“ $\times 10$ ”挡,并需重新欧姆调零。

**技巧点拨** 电阻挡测电阻时的注意事项

在用多用电表测电阻时,选择倍率时,使指针偏转在中央刻度附近为适宜,指针偏转过小换高倍率挡位,指针偏转过大换低倍率挡位;另外每次换挡都要重新欧姆调零,读数为示数乘倍率。

**8. (1)  $1.5 \times 10^3 \times 1 k$  (2) 30.9 154 (3) 6.1**

**解析:**(1) 对应刻度值为 15,倍率为“ $\times 100$ ”,则读数为  $1.5 \times 10^3 \Omega$ ;测  $2.0 \times 10^4 \Omega$  的电阻时应选“ $\times 1 k$ ”的电阻挡。

(2) 选用量程为 50 mA 的直流电流挡测量电流,则每一小格表示 1 mA,应估读到 0.1 mA,表针对应的读数为 30.9 mA;选用量程为 250 mA 的直流电流挡测量电流,则每一小格表示 5 mA,应估读到 1 mA,表针对应的读数为 154 mA。

(3) 选用量程为 10 V 的直流电压挡测量电压,则每一小格表示 0.2 V,应估读到 0.1 V,表针对应的读数为 6.1 V。

**9. (1) ①** $R_1$  **②** $R_1$  和  $R_2$  串联 **③** $R_2$  (或电源) **(2) D**

**解析:**(1) ①当多用电表选择开关尖端对准直流电流挡时,电流表与  $R_1$  串联,此时电流表测得的是通过  $R_1$  的电流。

②切断电路,选择开关尖端对准电阻挡时,测得的是  $R_1$  和  $R_2$  的串联总电阻。

③选择开关尖端对准直流电压挡,闭合开关,并将滑动变阻器的滑片移至最左端,电阻  $R_1$  接入电路的阻值为零,此时多用电表示数等于电阻  $R_2$  两端的电压,也等于电源两端的电压。

(2) 双手捏住两表笔金属杆时,测量值为被测电阻与人体电阻的并联阻值,应偏小,A 错误;测量时指针若向左偏离中央刻度过大,应增大倍率,B 错误;选择开关对应“ $\times 10$ ”倍率,指针位于 20 与 30 正中间时,测量值应小于  $250 \Omega$ ,C 错误;电池使用时间太久,电源电压减小,内电阻变大,虽然完成调零,但测量值将比真实值偏大,D 正确。

**10. (1) 直接接触 欧姆调零旋钮 (2) 1 2.5**

**(3) <**

**解析:**(1) 电阻表使用前需要欧姆调零,方法是将红、黑表笔直接接触,调节欧姆调零旋钮。

(2) 电阻表(也包括任何电表)工作时,电流由红表笔流入、黑表笔流出,所以红表笔接1,黑表笔接2;由电阻表读数规则为“指示数乘倍率”,可见被测电阻阻值为  $2.5 \text{ k}\Omega$ .

(3) 电压表是由小量程电流计串联一个电阻改装而成,由分压规律可知串联电阻  $R = \frac{U}{I_g} - R_g$ ,  $I_g, R_g$  相同, 量程  $U$  越大, 串联电阻越大, 所以  $R_1 < R_2$ .

### 章末提优 3

**1. B** 电子运动一周所需要的时间为  $t = \frac{240}{\frac{1}{10} \times 3 \times 10^8} \text{ s} = 8 \times 10^{-6} \text{ s}$ , 在圆形轨道上任取一横截面, 则在  $t$  时间内通过该横截面的电荷量为  $q = It = 10 \times 10^{-3} \times 8 \times 10^{-6} \text{ C} = 8 \times 10^{-8} \text{ C}$ , 环中运行的电子数  $N = \frac{q}{e} = \frac{8 \times 10^{-8}}{1.6 \times 10^{-19}} = 5 \times 10^{11}$ , B 正确.

**2. C** 灯泡两端的电压为 1 V 时, 通过灯泡的电流为 0.5 A, 可得灯泡的电阻为  $R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{1}{0.5} \Omega = 2 \Omega$ , 灯泡

两端的电压为 3 V 时, 通过灯泡的电流为 1 A, 可得灯泡的电阻为  $R_2 = \frac{U_2}{I_2} = \frac{3}{1} \Omega = 3 \Omega$ , 灯泡两端电压为 2 V

时, 可得通过灯泡的最大电流  $I_{\text{最大}} < \frac{U_3}{R_1} = \frac{2}{2} \text{ A} = 1 \text{ A}$ , 通过灯泡的最小电流  $I_{\text{最小}} > \frac{U_3}{R_2} = \frac{2}{3} \text{ A}$ , 则可知灯泡两端电压为 2 V 时, 通过灯泡的电流可能为 0.8 A, 故 C 正确.

**3. B** 由于大气层带正电, 地球表面带负电, 则电场线由大气层指向地球表面, 根据沿着电场线方向, 电势逐渐降低, 可知离地面越近电势越低, 故 A 错误; 依题意, 可得大气层的平均漏电电流为  $I = \frac{Q}{t}$ , 则大气层的等效

电阻为  $R = \frac{U}{I} = \frac{Ut}{Q}$ , 故 B 正确, C 错误; 根据电阻定律

$R = \rho \frac{L}{S}$ , 可得该大气层的平均电阻率为  $\rho = \frac{RS}{L} = \frac{US}{QH}$ , 故 D 错误.

**4. B** 两保险丝材料与长度相同, 由电阻定律可知,

$R_1 = \rho \frac{l}{\pi \left( \frac{d_1}{2} \right)^2}$ ,  $R_2 = \rho \frac{l}{\pi \left( \frac{d_2}{2} \right)^2}$ , 所以  $R_1 = 4R_2 = 4R$ , 保

险丝允许的最大电压  $U_1 = I_1 R_1 = 8R$ ,  $U_2 = I_2 R_2 = 6R$ ,

两保险丝并联, 两端电压相等, 并联电压应为  $U = 6R$ , 则

$I_2 = 6 \text{ A}$ ,  $I_1 = \frac{U}{R_1} = 1.5 \text{ A}$ , 并联电路允许的最大电流为

$I_m = 6 \text{ A} + 1.5 \text{ A} = 7.5 \text{ A}$ , 故 B 正确.

### 技巧点拨 串、并联电路的最大耐受电流、电压问题

(1) 串联电路中电流都相等. 当额定电流不同的元件串联时, 为使各元件都不被损坏, 该电路允许的最大电流应为各元件额定电流的最小值, 然后求得允许加在该电路两端的最大电压  $U_m$ 、最大功率  $P_m$ .

(2) 并联电路中各支路两端电压相等. 当额定电压不同的元件并联时, 为使各元件都不被损坏, 并联电路允许加的最大电压应为各元件额定电压的最小值, 然后以此求得并联电路的最大电流  $I_m$ 、最大功率  $P_m$ .

**5. D** 由题图乙知, 当  $t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$  时, 热敏电阻的阻值  $R_1 = 4 \text{ k}\Omega$ , 根据欧姆定律  $I_1 = \frac{U}{R_1 + R_g}$ , 可得  $R_g =$

$0.5 \text{ k}\Omega$ , 又  $I_2 = \frac{U}{R_2 + R_g}$ , 可得  $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ , 结合题图乙得  $t_2 = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ , D 正确.

**6. D** 当开关 S 闭合, 甲、乙两表为电压表时, 两电阻串联, 电压表甲测电源的电压, 电压表乙测  $R_2$  两端的电压, 已知  $U_{\text{甲}} : U_{\text{乙}} = 5 : 4$ , 所以  $R_1, R_2$  两端的电压之比

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{U_{\text{甲}} - U_{\text{乙}}}{U_{\text{乙}}} = \frac{1}{4}$ , 两电阻的阻值之比  $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\frac{U_1}{I}}{\frac{U_2}{I}} = \frac{1}{4}$ . 当

开关 S 断开, 甲、乙两表为电流表时, 两电阻并联, 电流表甲测通过  $R_2$  支路的电流, 电流表乙测干路电流,  $R_1$ 、

$R_2$  两支路的电流之比  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{\frac{U}{R_1}}{\frac{U}{R_2}} = \frac{4}{1}$ , 两表示数之比  $\frac{I_{\text{甲}}}{I_{\text{乙}}} =$

$\frac{I_2}{I_1 + I_2} = \frac{1}{5}$ , D 正确.

**7. C** 设左、右两侧的圆柱形导体横截面的面积分别为  $S_1, S_2$ , 半径分别为  $r_1, r_2$ , 根据题意可知, 当  $x \leq l$  时, 由电阻定律, 有  $R = \frac{\rho}{S_2} x$ , 当  $l < x \leq 2l$  时, 由电阻定律, 有

$R = \frac{\rho}{S_1} (x - l) + \frac{\rho l}{S_2} = \frac{\rho}{S_1} x + \rho l \left( \frac{1}{S_2} - \frac{1}{S_1} \right)$ , 结合题图乙可得  $\frac{\rho}{S_2} = \frac{3}{l}$ ,  $\frac{\rho}{S_1} = \frac{9-3}{2l-l}$ , 又  $S = \pi r^2$ , 联立解得  $r_1 : r_2 = 1 : \sqrt{2}$ , 故 C 正确.

**8. A** 电压表的量程  $U = I_g (r_g + R) = 100 \times 10^{-6} \times (100 + 9900) = 1 \text{ V}$ , 由图可知, 此时电压表的读数大小为 0.8 V, A 正确.

**9. D** 根据题意知, 电子受到静电力和碰撞的阻力平衡时, 导体中形成了恒定电流, 即  $F_{\text{阻}} = F_{\text{电}}$ , 又  $F_{\text{阻}} = kv$ ,  $F_{\text{电}} = Eq = \frac{U}{l} e$ , 由欧姆定律知  $U = IR$ , 电流微观表达式

$I = nevS$ , 联立以上式子求得  $R = \frac{kl}{e^2 n S}$ , D 正确.

**10. B** 滑片 P 滑至  $R_1$  的中点时, 变阻器上、下半部分电阻均为  $100 \Omega$ , 下半部分电阻与  $R_2$  并联的阻值为

$R_{\text{并}} = \frac{1}{2} R_2 = 50 \Omega$ , 则 a、b 两端的电压为  $U_{ab} =$

$$\frac{R_{\text{并}}}{R_{\text{并}} + \frac{1}{2} R_1} U = \frac{50}{50 + 100} \times 120 \text{ V} = 40 \text{ V}, \text{B 正确.}$$

**11. D** 把电流表改装成大量程电流表要并联电阻分

流, 所以  $R_1 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.01 \times 120}{0.06 - 0.01} \Omega = 24 \Omega$ , 改装后电

流表内阻为  $R_{\text{并}} = \frac{0.01 \times 120}{0.06} \Omega = 20 \Omega$ , 改装成电压表需

要串联分压电阻, 串联电阻阻值为  $R_2 = \frac{15}{0.06} \Omega - R_{\text{并}} = 230 \Omega$ , 故选 D.

**12. (1) B (2) 15.5 (3) B**

$$(4) \frac{\pi d^2 k}{4l} (5) \text{偏大}$$

**解析:** (1) 根据游标卡尺的使用原理可知, 测量圆柱形导体的外径, 应使用游标卡尺的 B 进行测量. 由题图乙可知, 游标为 20 分度, 且第 5 个小格与主尺对齐, 则读数为  $3 \text{ cm} + 5 \times 0.05 \text{ mm} = 3.025 \text{ cm}$ .

(2) 由题图丙可知, 电流计的最小分度为  $1 \mu\text{A}$ , 读数时估读到最小分度下一位, 则读数为  $15.5 \mu\text{A}$ . 导体两端最大电压  $U = 150 \text{ k}\Omega \times 20 \times 10^{-6} \text{ A} = 3 \text{ V}$ , 故电压表应选  $0 \sim 3 \text{ V}$  的量程, 由题图丁可知, 最小分度为  $0.1 \text{ V}$ , 读数时估读到最小分度下一位, 则读数为  $2.40 \text{ V}$ .

(3) 根据题意, 由于  $R_x = 150 \text{ k}\Omega > \sqrt{R_v R_g} = \sqrt{5} \text{ k}\Omega$ , 则采用电流表内接法, 由于滑动变阻器的最大阻值远小于待测电阻的阻值, 则滑动变阻器采用分压式接法, 故选 B.

(4) 根据题意, 由电阻定律  $R_x = \rho \frac{l}{S}$ , 因  $S = \frac{\pi d^2}{4}$ , 由题

$$\text{图戊可得 } R_x = k, \text{ 联立解得 } \rho = \frac{\pi k d^2}{4l}.$$

(5) 采用电流表内接法, 测得的电压偏大, 则  $R_x$  的测量值偏大, 则电阻率测量值偏大.

**13. (1) 串联电路中电流处处相等, 由  $U = IR$  可知电压与电阻成正比, 则  $R_1, R_2$  两端的电压分别为**

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U = \frac{12}{12 + 36} \times 15 \text{ V} = 3.75 \text{ V},$$

$$U_2 = U - U_1 = 15 \text{ V} - 3.75 \text{ V} = 11.25 \text{ V}.$$

(2) S 与 C 接触时, 电压表与  $R_1$  并联, 并联电阻为

$$R_{\text{并}1} = \frac{R_1 R_v}{R_1 + R_v} = \frac{12 \times 12}{12 + 12} \text{ k}\Omega = 6 \text{ k}\Omega,$$

则电压表的读数为  $U'_1 = \frac{R_{\text{并}1}}{R_{\text{并}1} + R_2} U = \frac{6}{6 + 36} \times 15 \text{ V} =$

2.1 V;

S 与 D 接触时, 电压表与  $R_2$  并联, 并联电阻为

$$R_{\text{并}2} = \frac{R_v R_2}{R_v + R_2} = \frac{12 \times 36}{12 + 36} \text{ k}\Omega = 9 \text{ k}\Omega,$$

则电压表的读数为  $U'_2 = \frac{R_{\text{并}2}}{R_{\text{并}2} + R_1} U = \frac{9}{9 + 12} \times 15 \text{ V} =$

6.4 V.

**14. (1) 当开关 S 断开时, 电路电流  $I = 0$ , B 与电源负极等势, A 与电源正极等势, 则  $U_{AB} = U = 6 \text{ V}$ .**

(2) 当开关 S 断开时, 电容器  $C_1$  的电压  $U_{C1} = U$ ,

$$\text{当 S 闭合后稳定时 } U'_{C1} = U_{R1}, U_{R1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U,$$

$$\text{电压减小 } \Delta U_{C1} = U_{C1} - U'_{C1},$$

$$\text{电容器 } C_1 \text{ 的电荷量减少 } \Delta Q = C_1 \Delta U_{C1},$$

$$\text{解得 } \Delta Q = 2 \times 10^{-6} \text{ C.}$$

**15. (1) 当电流表 G 上的电流达到最大值  $I_g$  时, 表笔 A 上的电流最大, 设开关 S 接 1 时  $R_1$  上的电流为  $I_1$ , 则**

$$I_1 = \frac{I_g (R_g + R_2)}{R_1},$$

$$I_{\text{max}} = I_1 + I_g,$$

$$\text{解得 } I_{\text{max}} = 6 \times 10^{-3} \text{ A.}$$

(2) 设开关 S 接 3 时, 两表笔间可测电压的最大值为  $U_{\text{max}}$ , 此时通过  $R_3$  上的电流为  $I_2$ , 则

$$I_2 = I_g + \frac{I_g R_g}{R_1 + R_2} = 1 \times 10^{-3} \text{ A},$$

$$U_{\text{max}} = I_2 \left[ \frac{R_g (R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_g} + R_3 \right] = 3 \text{ V},$$

电流表 G 的指针指在表盘刻度“2”上, 则有

$$\frac{U}{2} = \frac{U_{\text{max}}}{3},$$

$$\text{解得 } U = 2 \text{ V.}$$

### 真题小练

**1. D** 根据  $Q = CU$ , 可知  $\Delta Q = C \Delta U = 10^{-8} \times (30 + 70) \times 10^{-3} \text{ C} = 10^{-9} \text{ C}$ , 则该过程中跨膜电流的平均值为  $I = \frac{\Delta Q}{t} = \frac{10^{-9}}{2 \times 10^{-3}} \text{ A} = 5 \times 10^{-7} \text{ A}$ , 故 D 正确.

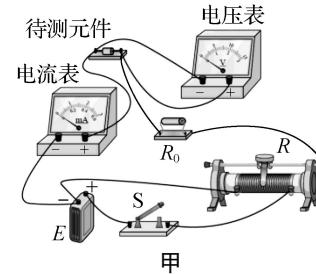
**2. (1) 见解析 (2) 图见解析 (3) 非线性 (4) BC**

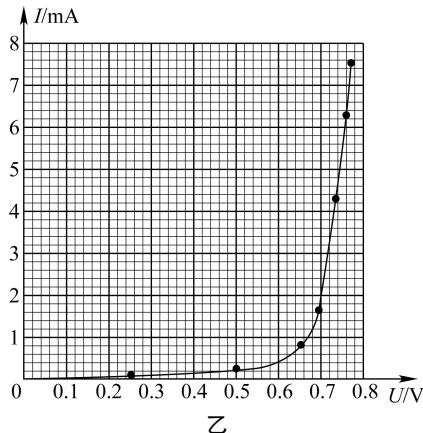
**解析:** (1) 根据题意连接实物电路, 如图甲所示.

(2) 根据表格中数据描点, 并用平滑的曲线连接各点如图乙所示.

(3) 根据图乙可知该元件是非线性元件.

(4)  $I - U$  图线上某点与原点连线的斜率为  $\frac{1}{R}$ , 根据元件的特性可知, 当电压超过一定数值时, 电流会急剧增大, 所以电阻会急剧减小, 若用导线代替  $R_0$ , 电流急剧增大, 可能会烧坏待测元件, 对电流表和电压表的测量误差无影响, A 错误, B 正确; 根据图乙可知待测元件的电压范围小于 1 V, 而电源电压为 6 V, 因为待测元件两端电压非常小, 如果用导线代替  $R_0$ , 会导致滑动变阻器的调节范围变得非常小, 难以调节, C 正确, D 错误.





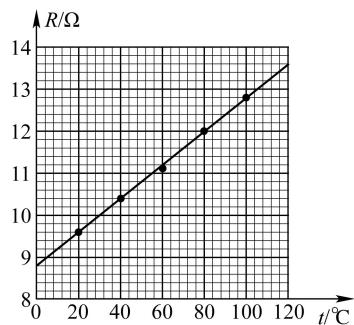
3. (1) A (2) ①②③或①③② (3) 图见解析

$$0.04t + 8.8(\Omega)$$

解析: (1) 已知电源电压为 1.5 V,  $R$  在常温下的阻值约 10  $\Omega$ , 当滑动变阻器的阻值为 0 时, 电路中的最大电流约为  $I_{\max} = \frac{1.5}{10} \text{ A} = 150 \text{ mA}$ , 当滑动变阻器的阻值为 10  $\Omega$  时, 电路中的电流约为  $I = \frac{1.5}{10+10} \text{ A} = 75 \text{ mA}$ , 考虑到准确性原则, 故电流表选择 A.

(2) 先将旋钮 a 由“0”旋转至“1”, 然后将个位数及小数位旋转至 0, 所以正确的顺序为①②③或①③②.

(3) 描点画图, 如图所示. 由图线可求得  $R$  随  $t$  的变化关系为  $R = 0.04t + 8.8(\Omega)$ .



4. (1) 9.940 (2) ⑥ (3)  $\frac{4\rho L}{\pi d D}$

解析: (1) 首先确定游标卡尺的精度为 20 分度, 即为 0.05 mm, 然后以毫米为单位从主尺上读出整毫米数 99.00 mm, 注意小数点后的有效数字要与精度一样, 再从游标尺上找出对齐的一根刻线, 精度  $\times$  格数  $= 0.05 \times 8 \text{ mm} = 0.40 \text{ mm}$ , 最后两者相加, 根据题目单位要求换算为需要的数据, 所以  $d = 99.00 \text{ mm} + 0.40 \text{ mm} = 99.40 \text{ mm} = 9.940 \text{ cm}$ .

(2) 本实验为测定一个几欧姆的电阻, 在用伏安法测量其两端的电压和通过电阻的电流时, 因为  $R < \sqrt{R_A R_V}$ , 为了减小误差, 应用电流表外接法, ⑥导线的连接使用的是电流表内接法, 所以连接不当的导线是⑥.

(3) 根据电阻定律, 可得电阻率为  $\rho$ 、长为  $L$ 、直径分别为  $d$  和  $D$  的圆柱状合金棒的电阻分别为  $R_d = \rho \frac{L}{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}$ ,  $R_D = \rho \frac{L}{\pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}$ , 而电阻  $R$  满足  $R^2 = R_d R_D$ , 解

$$\text{得 } R = \frac{4\rho L}{\pi d D}.$$

5. (1) 3 V (2) D (3) 1.50 (4)  $\frac{ER}{R_1 + R_2}$  (5) 不同

意, 理由见解析

解析: (1) 所用电源为两节干电池, 电源电压约为 3 V, 则所用电压表量程为 3 V.

(2) 闭合开关之前, 滑动变阻器阻值应该调到最大, 则由题图乙可知, 电池盒上的接线柱 A 应该与滑动变阻器的接线柱 D 连接.

(3) 电压表量程为 3 V, 最小刻度为 0.1 V, 则读数为 1.50 V.

(4) 由欧姆定律, 可得  $I = \frac{E}{R_1 + R_2}$ , 当被测电阻阻值为  $R$

$$\text{时电压表读数 } U = IR = \frac{ER}{R_1 + R_2}.$$

(5) 不同意; 当  $R$  较大时, 则电压表内阻不能忽略, 则电

$$\text{路中的电流 } I = \frac{E}{R_1 + (R_2 - R) + \frac{RR_V}{R + R_V}}, \text{ 则电压表读数}$$

$$\text{为 } U = \frac{E}{R_1 + (R_2 - R) + \frac{RR_V}{R + R_V}} \cdot \frac{RR_V}{R + R_V} =$$

$$\frac{E}{(R_1 + R_2 - R)(R + R_V) + RR_V}, \text{ 当 } R = R_2 \text{ 时 } R \text{ 最大, 此时}$$

$$U = \frac{E}{R_1(R_2 + R_V) + RR_V} = \frac{E}{R_1 + \frac{R_1}{R_V} + R_2}, \text{ 因 } R_V \gg R_1, \text{ 则电压}$$

$$\text{表读数接近于 } U = \frac{E}{R_1 + 1} = \frac{ER_2}{R_1 + R_2}.$$

6. (1) 320 (2) F (3) ② (4) 右 (5) 不同意, 测 C、D 间的电阻时, 电流表分压所产生的误差较小, 因此测得的电阻率更准确

解析: (1) 根据欧姆表的读数规律, 该读数为  $3.2 \times 100 \Omega = 320 \Omega$ .

(2) 实验中滑动变阻器采用限流式接法, 为保证移动滑动变阻器的滑片时, 电表示数能有明显变化, 则测 C、D 间的电阻时滑动变阻器应选用阻值较大的  $R_2$ , 即选 F.

(3) 根据实验电路图可知, 电流表采用内接法, 电压表的右接线柱应该连接到电阻的右端, 故②连接错误.

(4) 为保护电路元件, 滑动变阻器的滑片应置于最右端.

(5) 不同意. 测 A、B 间的电阻时,  $A_1$  表分压与  $R_{AB}$  分压之比为  $\frac{U_{A1}}{U_{RAB}} = \frac{1}{4}$ ; 测 C、D 间的电阻时,  $A_2$  表分压与  $R_{CD}$

分压之比为  $\frac{U_{A2}}{U_{RCD}} = \frac{1}{80}$ , 因此测 C、D 间的电阻时, 电流表分压所产生的误差较小, 因此测得的电阻率更准确.

## 第十二章 电能 能量守恒定律

### 限时小练 15 电路中的能量转化

1. B 一块  $8 \text{ m}^2$  的 LED 广告牌发黄光时, 需要供给的电功率大约为  $P = nP_0 = nU_{\text{黄光}} I = 8 \times 10000 \times 1.8 \times 20 \times 10^{-3} \text{ W} = 2880 \text{ W}$ , 故 B 正确.

2. A 调节滑动变阻器的滑片到某一个位置时, 半导体和灯泡消耗的功率恰好相等, 可知此时半导体和灯泡的电流和电压均相等, 对应题图乙中两图线的交点; 此时再将滑动变阻器的滑片向左移一些, 可知滑动变阻器接入电路的阻值变大, 电路中电流变小, 由题图乙可知, 半导体和灯泡的电流和电压均变小, 则半导体和灯泡的功率均变小, 但半导体的电压大于灯泡的电压, 由于电流相等, 所以半导体的功率比灯泡的功率大, 故 A 正确.

3. B 加在住户两端的电压为  $U$ , 进线电流为  $I$ , 所以该住户用电的总功率为  $P = UI$ , 故 B 正确; 洗衣机、电风扇等家用电器为非纯电阻电器, 其电功率不可以用  $P = I^2 R$  或  $P = \frac{U^2}{R}$  计算, 更不能用  $P = I^2 R + \frac{U^2}{R}$  计算, 故 A、C、D 错误.

#### 易错警示 求电功、电热的注意点

不管是纯电阻电路还是非纯电阻电路, 计算电功都可以用  $W = UIt$ , 计算电功率都可以用  $P = UI$ , 计算热量都可以用  $Q = I^2 Rt$ , 计算热功率都可以用  $P = I^2 R$ . 当用变形式时, 就要考虑是不是纯电阻电路.

4. C 根据  $R = \frac{U^2}{P}$ , 可知  $R_A = R_C < R_B = R_D$ , 因  $R_A, R_D$  电流相等, 根据  $P = I^2 R$ , 可知  $P_D > P_A$ , 因  $R_B, R_C$  电压相等, 根据  $P = \frac{U^2}{R}$ , 可知  $P_C > P_B$ , 因  $R_A, R_C$  电阻相等, 又  $I_A > I_C$ , 根据  $P = I^2 R$ , 可知  $P_A > P_C$ , 即  $P_D > P_A > P_C > P_B$ , 故 C 正确.

5. D 根据功率的公式  $P = \frac{U^2}{R}$  可知, 电压一定时, 用电器的电功率跟电阻成反比, 当题图中开关断开时,  $R_1, R_2$  串联接入电路, 阻值较大, 功率较小, 故此时为保温状态, 而开关闭合时, 只有  $R_2$  接入电路, 此时阻值较小, 功率较大, 为加热状态,  $R_2$  为加热电阻丝, A、B 错误; 根据上述分析可知, 加热时  $R_2$  的功率  $P = \frac{U^2}{R_2}$ , 保温时  $R_2$  的功率  $P' = \left(\frac{U}{R_1 + R_2}\right)^2 R_2$ , 结合题意可得  $P' = \frac{1}{2} P$ , 联立解得  $R_1 : R_2 = (\sqrt{2} - 1) : 1$ , C 错误, D 正确.

6. C 灯泡正常发光, 说明电解槽和灯泡均分得  $110 \text{ V}$  电压, 且由于电解槽和灯泡串联, 它们的电流相等, 所以有  $I = I_{\text{灯}} = \frac{6}{11} \text{ A}$ , 则电解槽消耗的电功率  $P = P_{\text{灯}} =$

$60 \text{ W}$ , A 错误, C 正确; 电解槽的发热功率  $P_{\text{热}} = I^2 R_{\text{电}} = 1.3 \text{ W}$ , B 错误; 整个电路消耗的总功率  $P_{\text{总}} = 220 \times \frac{6}{11} \text{ W} = 120 \text{ W}$ , D 错误.

7. C 电动机的输入电压  $U_1 = U - U_{\text{L}} = 8 \text{ V} - 3 \text{ V} = 5 \text{ V}$ , 故 A 错误; 整个电路中的电流  $I = \frac{P_{\text{L}}}{U_{\text{L}}} = \frac{6}{3} \text{ A} = 2 \text{ A}$ , 所以电动机消耗的电功率  $P_{\text{电}} = U_1 I = 5 \times 2 \text{ W} = 10 \text{ W}$ , 电动机发热的功率  $P_{\text{热}} = I^2 R_{\text{M}} = 2^2 \times 0.5 \text{ W} = 2 \text{ W}$ , 则电动机输出的功率  $P_{\text{出}} = P_{\text{电}} - P_{\text{热}} = 10 \text{ W} - 2 \text{ W} = 8 \text{ W}$ ,  $\eta = \frac{P_{\text{出}}}{P_{\text{电}}} \times 100\% = \frac{8}{10} \times 100\% = 80\%$ , 故 B 错误, C 正确; 整个电路消耗的电功率  $P_{\text{总}} = UI = 8 \times 2 \text{ W} = 16 \text{ W}$ , 故 D 错误.

8. B 手机为非纯电阻电路, 不能用  $Q = \frac{U^2}{r} t$  计算产生的焦耳热, 故 A 错误; 手机的输入功率等于充电宝的输出功率, 为  $P = UI$ , 故 B 正确; 充电宝的输出电流为  $I$ , 但其内阻未知, 故无法计算充电宝产生的热功率, 故 C 错误; 充电宝输出的电能一部分转化为手机电池储存的化学能, 一部分转化为手机电池产生的焦耳热, 根据能量守恒定律, 可知手机电池储存的化学能为  $E = UIt - I^2 rt$ , 故 D 错误.

9. B 由电路图可知, 开关  $S_1, S_2$  都闭合时电动机 M 和电热丝同时接入电路, 电吹风吹热风, 故 A 错误; 电吹风吹热风时, 此时电热丝的功率为  $P = P_2 - P_1 = 990 \text{ W} - 110 \text{ W} = 880 \text{ W}$ , 则流过电热丝的电流为  $I = \frac{P}{U} = \frac{880}{220} \text{ A} = 4 \text{ A}$ , 故 B 正确, C 错误; 当只有开关  $S_2$  闭合时, 仅电动机接入电路, 若电动机为纯电阻, 其电阻为  $r = \frac{U^2}{P_1} = 440 \Omega$ , 由于电动机正常工作时为非纯电阻电路, 则电阻不为  $440 \Omega$ , 故 D 错误.

10. (1) 电动机的输入功率为  $P_{\text{入}} = UI = 5 \times 1 \text{ W} = 5 \text{ W}$ , 电动机线圈产生的热功率为  $P_r = I^2 r = 1^2 \times 1 \text{ W} = 1 \text{ W}$ , 则输出功率为  $P_{\text{出}} = P_{\text{入}} - P_r = 5 \text{ W} - 1 \text{ W} = 4 \text{ W}$ .

(2) 当牵引力等于重力时, 速度最大, 则有  $P_{\text{出}} = mgv_m$ ,

$$\text{解得 } v_m = \frac{P_{\text{出}}}{mg} = \frac{4}{20} \text{ m/s} = 0.2 \text{ m/s}.$$

(3) 电动机不转时看作纯电阻元件, 由于电动机两端电压恒为  $5 \text{ V}$ , 根据欧姆定律, 这时通过电动机的电流为

$$I' = \frac{U}{r} = \frac{5}{1} \text{ A} = 5 \text{ A},$$

实际消耗的电功率为  $P' = UI' = 5 \times 5 \text{ W} = 25 \text{ W}$ .

### 限时小练 16 闭合电路的欧姆定律(课时 1)

1. D 电源电动势的大小表征了电源把其他形式的能量转化为电能的本领大小, 电动势在数值上等于将  $1 \text{ C}$  的正电荷在电源内从负极移到正极过程中非静电力做的

功,即一节干电池的电动势为1.5 V,表示该电池将1 C的正电荷在电源内从负极移送到正极的过程中,非静电力做了1.5 J的功,故D正确,A错误;工作状态时两极间的电压为路端电压,小于电源的电动势,故B错误;电动势大说明电源把其他形式的能转化为电能的本领大,但电动势大的电池存储的电能不一定多,故C错误。

2. D 电池板没有接入外电路时,路端电压等于电池板电动势,所以电动势 $E=800$  mV。由闭合电路欧姆定律

得短路电流 $I_{\text{短}}=\frac{E}{r}$ ,所以电池板内阻 $r=\frac{E}{I_{\text{短}}}=\frac{800 \times 10^{-3}}{40 \times 10^{-3}} \Omega=20 \Omega$ ,该电池板与20  $\Omega$ 的电阻连成闭合

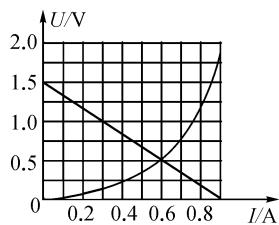
电路时,电路中电流 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{800}{20+20}$  mA=20 mA,所以路端电压 $U=IR=400$  mV=0.4 V,D正确。

3. D S断开时,电压表的示数等于电源的电动势,即 $E=3$  V。S闭合时, $U_{\text{外}}=1.8$  V,所以 $U_{\text{内}}=E-U_{\text{外}}=1.2$  V。因 $U_{\text{外}}=IR$ , $U_{\text{内}}=Ir$ ,所以 $R:r=U_{\text{外}}:U_{\text{内}}=1.8:1.2=3:2$ ,D正确。

4. B 电容器两端电压等于 $R_3$ 两端电压, $R_3$ 两端电压为 $U_{R_3}=\frac{E}{R_1+R_3+r}R_3=6$  V,所以电容器的电荷量 $Q=CU_{R_3}=6.0 \times 10^{-5}$  C,B正确。

5. C 根据闭合电路欧姆定律变形可得 $U=E-Ir$ ,可知图像与纵轴的交点表示电动势,图像斜率的大小表示内阻,根据图甲可知电动势为 $E=1.5$  V,内阻为 $r=\frac{|1.5-1.0|}{0.3} \Omega=\frac{5}{3} \Omega$ ,A错误;根据图乙可知电流越大,

小灯泡功率越大,根据欧姆定律可得 $R=\frac{U}{I}$ ,可知图线乙上某点与原点连线的斜率为电阻,所以小灯泡的电阻随着功率的增大而增大,B错误;把电源和小灯泡组成闭合回路,将甲、乙两图叠加到一起,两 $U-I$ 曲线的交点即小灯泡的电压、电流,根据图像读数 $U=0.5$  V, $I=0.6$  A,所以,小灯泡的功率为 $P=UI=0.5 \times 0.6$  W=0.3 W,C正确;回路中的总功率为 $P_{\text{总}}=EI=1.5 \times 0.6$  W=0.9 W,D错误。



**易错警示** 根据电源路端电压 $U$ 与电流 $I$ 的关系图像求电源的内阻时,要注意纵轴坐标是否从零开始,若不是从零开始,则不能用纵坐标与横坐标之比来求电源的内阻。

6. C 当闭合开关后,由闭合电路的欧姆定律可知 $E=I(R+r)=1 \times (8+1)$  V=9 V,C正确。

7. A 在开关断开时,电压表的读数等于电源的电动势

$E$ ,则 $E=3.0$  V;当开关闭合时,电压表测量路端电压,则有 $U_2=\frac{RE}{R+r}$ ,解得 $r=1.0 \Omega$ ,A正确。

8. B 两个电路中的电池相同,灯泡规格相同,根据并联电路的规律可知,题图乙相对题图甲的外电阻减小,根据闭合电路欧姆定律可知,干路电流增大,内电压增大,路端电压减小,即灯泡两端电压减小,所以灯泡变暗,B、C、D灯并联,电压相同,所以亮度相同,A、C错误,B正确;由上述分析可知,题图乙干路电流大于题图甲干路电流,即A灯通过的电流小于B、C、D灯电流之和,D错误。

9. B 由闭合电路欧姆定律得 $U=E-Ir$ ,当 $I=0$ 时, $E=U$ ,由图线a与纵轴的交点读出电源的电动势为 $E=4$  V,A错误;根据两图线交点处的状态可知,电阻两端的电压为 $U=3$  V,电流为 $I=0.2$  A,B正确,C错误;电池的内阻为 $r=\frac{E-U}{I}=5 \Omega$ ,D错误。

10. B 滑动变阻器的滑动触头P向上滑动时,电阻减小,则总电阻减小,总电流增大,根据 $U=E-Ir$ ,可知电源路端电压减小,故A错误;由于路端电压减小,可知 $R_3$ 的电流减小,又总电流增大,则电流表示数增大,故B正确;流过 $R_1$ 的电流增大,根据 $U=IR$ 可知 $R_1$ 的电压增大,所以电压表 $V_1$ 示数 $U_1$ 增大,因路端电压减小,则电压表 $V_2$ 示数 $U_2$ 减小,故C、D错误。

11. D 由闭合电路欧姆定律可知,满偏时 $E=I_g \cdot (R_g+r+R)$ ,接入 $R_1=400 \Omega$ 的电阻时,表头指针指在3 mA $=\frac{3}{5}I_g$ ,得 $E=\frac{3}{5}I_g(R_g+R+r+R_1)$ ,联立解得 $R+r=580 \Omega$ , $E=3$  V,故A、B错误;当电流刻度为2 mA $=\frac{2}{5}I_g$ 时,接入电阻为 $R_2=\frac{E}{2}-R_g-r-R$ , $=5$   $\Omega$

代入数据解得 $R_2=900 \Omega$ ,故C错误;当电流刻度为4 mA $=\frac{4}{5}I_g$ 时,接入电阻为 $R_3=\frac{E}{4}-R_g-r-R$ , $=150 \Omega$

代入数据解得 $R_3=150 \Omega$ ,故D正确。

12. (1) S闭合时, $R_2$ 两端电压 $U_2=I_2R_2=6$  V,所以 $R_1$ 两端的电压 $U_1=U-U_2=5.4$  V。流过 $R_1$ 的电流 $I_1=\frac{U_1}{R_1}=0.6$  A,流过 $R_3$ 的电流 $I_3=I_1-I_2=0.4$  A,

所以 $R_3=\frac{U_2}{I_3}=\frac{6}{0.4} \Omega=15 \Omega$ 。

(2) 由闭合电路欧姆定律得,当S闭合时 $E=U+I_1r$ ,当S断开时 $E=I(R_1+R_2+r)$ ,联立解得 $E=12$  V, $r=1 \Omega$ 。

## 限时小练 16 闭合电路的欧姆定律(课时2)

1. D 电动机额定机械输出功率为 $P_0=U_0I-I^2R_1$ ,解得 $I=2$  A,根据闭合电路欧姆定律,有 $E=U_0+I(R_2+r)$ ,解得 $R_2$ 接入电路中的阻值为 $R_2=0.5 \Omega$ ,D正确。

2. D 根据直流电源的总功率  $P_{\text{总}}=EI$ , 内部的发热功率  $P_r=I^2r$ , 输出功率  $P_{\text{出}}=EI-I^2r$ , 可知反映  $P_r$  变化的图线是 c, 反映  $P_E$  变化的是图线 a, 反映  $P_R$  变化的是图线 b, A 错误; 图线 a 的斜率等于电源的电动势, 由此可得  $E=\frac{P}{I}=4$  V, B 错误; 由图知, 当  $I=2$  A 时,  $P_r=8$  W, 由公式  $P_r=I^2r$ , 解得  $r=2$  Ω, C 错误; 当电流为 0.5 A 时, 由图读出电源的功率  $P_E=2$  W, 由  $P_E=\frac{E^2}{R+r}$ , 解得  $R=6$  Ω, D 正确.

3. D 根据闭合电路欧姆定律, 有  $U=E-Ir$ , 由题图可知电源电动势  $E_a>E_b$ , 电源内阻  $r_a>r_b$ , 故 A、B 错误; 电源的输出功率  $P=UI$ , 由题图可知小灯泡先后分别与这两电源直接相连组成闭合回路, 路端电压  $U$ 、电流  $I$  相同, 则  $P_a=P_b$ , 故 C 错误; 电源的总功率  $P_{\text{总}}=EI$ , 因为  $E_a>E_b$ , 电流  $I$  相等, 则  $P_{\text{总}a}>P_{\text{总}b}$ , 故 D 正确.

#### 4. B

A	由题图可知, 电阻箱所消耗的功率 $P$ 的最大值为 45 W, 所以电源最大输出功率为 45 W	✗
B	电源输出功率最大时, 外电路电阻的阻值等于电源内阻, 所以电源内阻一定等于 5 Ω	✓
C	由题图可知, 电阻箱所消耗的功率 $P$ 为最大值 45 W 时, 电阻箱读数为 $R=5$ Ω, 电流 $I=\sqrt{\frac{P}{R}}=3$ A, 电源电动势 $E=I(R+r)=30$ V	✗
D	电阻箱所消耗的功率 $P$ 最大时, 电源效率为 50%	✗

5. B 变阻器的阻值  $R_2=0$  时, 电流最大, 故根据  $P=I^2R_1$ , 可知此时电阻  $R_1$  消耗的功率最大, 故 A 错误; 由闭合电路欧姆定律并结合功率公式, 根据等效内阻法, 可知当  $R_2=R_1+r=2$  Ω 时, 变阻器消耗的功率最大, 故 B 正确; 当内、外电阻相等时, 即  $R_1+R_2=r$ , 得  $R_2=r-R_1=1.5$  Ω-0.5 Ω=1 Ω, 电源的输出功率最大, 故 C 错误; 电源的总功率  $P_{\text{总}}=EI$ , 当总电流最大时, 即总电阻最小时  $R_2=0$ , 电源的总功率最大, 故 D 错误.

6. B 当光照减弱时, 光敏电阻的阻值增大, 由闭合电路欧姆定律, 可知电路中的干路电流减小, 电源输出功率  $P_{\text{出}}=I^2R_{\text{外}}=I^2\left(\frac{E}{I}-r\right)=-rI^2+EI$ , 可知  $P_{\text{出}}-I$  图像是开口向下的抛物线, 故 A、C、D 错误, B 正确.

7. C 当电阻  $R$  与电源组成闭合电路时, 电阻  $R$  的  $U-I$  图线与电源的  $U-I$  图线的交点表示电阻的工作状态, 交点的纵坐标表示电压, 横坐标表示电流, 两者乘积表示电源的输出功率, 由题图可知,  $R$  接到电源 a 上, 电压与电流的乘积较小, 电源的输出功率较小, 故 C 正

确, D 错误; 由题图可知,  $R$  接电源 a 和电源 b,  $R$  上分得的电压不相等,  $R$  上流经的电流不相等, 故 A、B 错误.

8. A 汽车启动时, 开关 S 闭合, 电路的外电阻变小, 根据闭合电路欧姆定律, 可知电路中总电流变大, 根据  $\eta=\frac{IU}{IE}=\frac{U}{E}=\frac{R_{\text{外}}}{R_{\text{外}}+r}$ , 可知, 电源的效率减小, 故 A 正确; 汽车启动时, 电路中总电流变大, 则电源内阻上的电压变大, 路端电压减小, 则车灯一定变暗, 故 B 错误; 由能量关系可知, 电动机的输入功率等于电源输出功率减去两灯的功率, 故 C 错误; 若  $L_1$  灯短路, 则  $L_2$  灯也会不亮, 故 D 错误.

9. A 电源的输出功率达到最大时, 设电阻箱的电阻值为  $R$ , 则  $P=I^2R$ , 可得  $R=\frac{P}{I^2}=\frac{9}{1.5^2}\Omega=4\Omega$ , 根据电源的输出功率最大时外电阻与电源的内电阻相等, 可知电源的内电阻也是 4 Ω, A 正确; 电源的电动势  $E=I(R+r)=1.5\times(4+4)$  V=12 V, B 错误; 电源输出功率最大时, 闭合电路的总电阻  $R_{\text{总}}=R+r=8\Omega$ , C 错误; 电源的效率  $\eta=\frac{IU}{IE}=\frac{U}{E}=\frac{IR}{I(R+r)}=\frac{R}{R+r}\times100\%$ , 外电阻越大, 则效率越大, 可以大于 50%, D 错误.

10. (1) 可变电阻  $R_0$  上消耗的热功率

$$P_1=I^2R_0=\left(\frac{E}{R+R_0+r}\right)^2R_0=\frac{25R_0}{(R_0+100)^2}(\text{W})=\frac{25}{\frac{(R_0-100)^2}{R_0}+400}(\text{W}).$$

由上式可得, 当  $R_0=100$  Ω 时,  $P_1$  有最大值  $P_{1\text{max}}=\frac{25}{400}\text{W}=0.0625\text{W}$ .

(2)  $r$  和  $R$  上消耗的热功率之和

$$P_2=I^2(R+r)=\frac{25}{(R_0+100)^2}\times100(\text{W}).$$

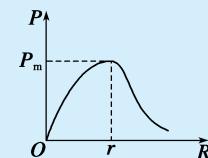
由上式可知,  $R_0$  最大时,  $P_2$  最小, 即当  $R_0=400$  Ω 时,

$$P_2 \text{ 有最小值, } P_{2\text{min}}=\frac{25}{(400+100)^2}\times100\text{W}=0.01\text{W}.$$

**方法总结 电源的输出功率  $P$  与外电阻  $R$  的关系**

$$P_{\text{出}}=UI=I^2R=\left(\frac{E}{R+r}\right)^2R=\frac{E^2R}{(R-r)^2+4Rr}=\frac{E^2}{\frac{(R-r)^2}{R}+4r}$$

且最大值  $P_{\text{m}}=\frac{E^2}{4r}$ . 根据电源的输出功率与外电阻的关系可知, 两者关系如图所示.



## 限时小练 17 实验:电池电动势和内阻的测量

**1. AC** 选用旧的干电池作为被测电源时,作出  $U-I$  图线,内阻  $r=|\frac{\Delta U}{\Delta I}|$ ,其斜率较大,A 正确;选用电表时应选用内阻较大的电压表和内阻较小的电流表,B 错误;移动滑动变阻器的滑片时,从接入电阻较大开始滑动,不能使滑动变阻器短路造成电流表过载,C 正确;滑动变阻器的阻值不能太大,否则会使电流表有效使用范围较小,不方便调节,D 错误.

**2. D** 题图甲的电压表测量电源的路端电压,则其  $U-I$  图线的斜率绝对值表示电源内阻和电压表内阻并联之后的阻值,而题图乙中  $U-I$  图线的斜率绝对值表示电源内阻与电流表内阻之和,所以题图乙对应的图线斜率绝对值大些,故由题图甲电路所描绘的图线是题图丙中的 b,故 A 错误;根据  $U=E-Ir$  可知,  $U-I$  图像中图线与纵坐标的交点表示电源电动势,故有  $E=1.5$  V, 图像的斜率大小表示等效内阻,即电源内阻与电流表内阻之和,故有  $R_{\text{等}}=r+R_A=\left|\frac{1.0-1.5}{0.5}\right| \Omega=1 \Omega$ , 故 B 错误;

在实验中调节滑动变阻器滑片时,发现在某一端附近滑动时,数据变化不明显,可能是因为滑动变阻器的总阻值过大引起的,故 C 错误;考虑电压表和电流表内阻对实验的影响,由题图乙可知,误差来源于电流表有分压作用,故 D 正确.

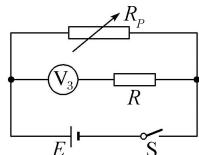
**3. ABD** 变阻器要起到变阻作用,接入电路的两根导线一根应接在上面的金属杆一端,另一根接在下面的接线柱上;电表接入电路,选好量程后,还应注意正、负接线柱,题图中电流表接法不对;在实验中电压表不应并联在电源两端,因为开关断开后,电压表仍有读数,故选 A、B、D.

**4. B** 若不考虑电流表的内阻,由闭合电路欧姆定律,有  $E=I(R+r)$ , 整理可得  $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{r}{E}$ , 若考虑电流表的内阻,由闭合电路欧姆定律,有  $E=I(R+r+R_A)$ , 整理可得  $\frac{1}{I}=\frac{1}{E}R+\frac{r+R_A}{E}$ , 两种情况下图线的斜率相同,截距不同,电流表内阻不可忽略时截距大,则虚线在实线的上方,故 B 正确.

**5. (1)  $V_3$  6 (2) 见解析图 (3) 7.5 10**

**解析:**(1) 根据电压表改装原理,为使读数方便,需要选择电压表  $V_3$  串联一个  $6 \text{ k}\Omega$  的电阻改装成量程为  $9 \text{ V}$  的电压表.

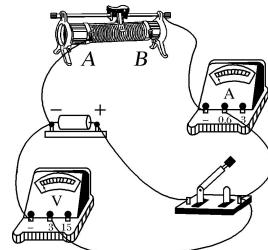
(2) 实验原理电路图如图所示.



(3) 电压表示数为  $1.50 \text{ V}$  时,路端电压为  $U_1=4.50 \text{ V}$ , 电阻箱阻值为  $R_{p1}=15.0 \Omega$ ; 电压表示数为  $2.00 \text{ V}$  时,路端电压为  $U_2=6.00 \text{ V}$ , 电阻箱的阻值为  $R_{p2}=40.0 \Omega$ , 由闭合电路欧姆定律  $E=U+\frac{U_r}{R_p}$ , 联立方程解得  $E=7.5 \text{ V}$ ,  $r=10 \Omega$ .

**6. (1) 甲 (2) B C (3) 如图所示 (4) B**

(5) 1.20 0.26 (6) 1.5 1.0



**解析:**(1) 如果用图乙电路,误差来源于电流表的分压,测量时将电流表内阻当成电源内阻的一部分,而电流表内阻与电源内阻很接近,故电源内阻测量误差大. 用图甲电路,误差来源于电压表的分流,因为电压表的内阻远大于滑动变阻器的电阻,故电压表分流很小,测量引起的误差小,故选择图甲电路.

(2) 干电池电动势为  $1.5 \text{ V}$ ,因此电压表量程选择  $0 \sim 3 \text{ V}$ ,故选 B; 为使电流表指针有较大角度的偏转,需选用总阻值小的滑动变阻器,故选 C.

(4) 闭合开关前,滑动变阻器接入电路中的阻值应最大,故滑片应置于 B 端.

(5) 电压表读数用十分之一估读法,得  $1.20 \text{ V}$ ; 电流表读数用二分之一估读法,得  $0.26 \text{ A}$ .

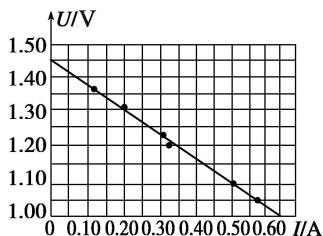
(6) 由题图图像可知,电源电动势为  $1.5 \text{ V}$ ,内阻  $r=\frac{1.5-1.0}{0.5} \Omega=1.0 \Omega$ .

**7. (1) 3 0.6 1 0~10 (2) ①见解析图**

②1.45 0.69 (3) 电压表的分流 < <

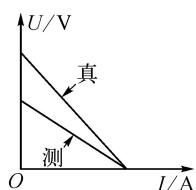
**解析:**(1) 一节干电池的电动势为  $1.5 \text{ V}$ ,所以电压表量程选择  $3 \text{ V}$  即可,一节干电池的允许电流在  $0.6 \text{ A}$  以下,因此电流表量程选择  $0.6 \text{ A}$  即可.  $R_0$  起保护作用,使电路中的电流在  $0.6 \text{ A}$  以下,若选用阻值为  $10 \Omega$  的定值电阻,估算最大电流为  $I_{\text{max}}=\frac{E}{R_0+r}<\frac{E}{R_0}=\frac{1.5}{10} \text{ A}=0.15 \text{ A}$ , 则电流表指针指在半刻度以下,测量误差较大,因此定值电阻应选用  $1 \Omega$ . 若选用  $0 \sim 100 \Omega$  的滑动变阻器,则使用范围太小,不方便操作,因此选用  $0 \sim 10 \Omega$  的滑动变阻器即可.

(2) 本题考查用作图法处理实验数据的能力. 作图线时应使尽可能多的点落在直线上,个别偏离太大的点应舍去,图线如图所示. 由图线与纵轴的交点可得电动势  $E=1.45 \text{ V}$ ,再读出图线与横轴交点的坐标  $(0.65, 1.00)$ ,由  $E=U+Ir$ ,得  $r=\frac{E-U}{I}=\frac{1.45-1.00}{0.65} \Omega=0.69 \Omega$ .



(3) 电流表应测量通过电源的电流,但由于电压表的分流作用,电流表实际测量的电流值比通过电源的电流小,所以引起该实验误差的主要原因是电压表的分流.

由图像可知,  $E_{\text{测}} < E_{\text{真}}$ ,  $r_{\text{测}} < r_{\text{真}}$ .



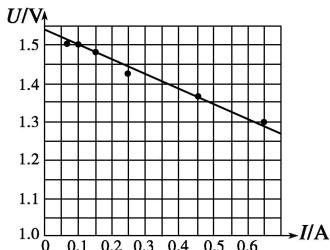
8. (1) 1.53 0.35 (2) 由闭合电路的欧姆定律可知,  $E = U + \frac{U}{R} \cdot r$ , 所以  $U$  与  $R$  为非线性关系, 故利用  $U - R$

图线无法求出  $E$  和  $r$  (3)  $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$   $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R}$

解析: (1) 由记录的六组数据可求出流过电阻箱的电流, 由题表可得下表  $U - I$  值.

$U/V$	1.30	1.36	1.41	1.48	1.49	1.50
$I/A$	0.65	0.45	0.24	0.15	0.10	0.075

纵轴表示  $U$ , 横轴表示电流  $I$ . 用描点法描出  $U - I$  图线(如图所示), 纵坐标上截距为 1.53 V, 所以  $E = 1.53$  V. 由  $E = U_1 + Ir = 1.3$  V + 0.65 A  $\cdot r = 1.53$  V, 得  $r = 0.35$  Ω.



(3) 由闭合电路的欧姆定律可知,  $E = U + \frac{U}{R} \cdot r$ , 变形

可得  $\frac{1}{U} = \frac{1}{E} + \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R}$ , 所以应作  $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$  图线, 图线斜率为

$k = \frac{r}{E}$ , 纵轴截距为  $b = \frac{1}{E}$ .

9. (1)  $IR_0 + \frac{IR_0}{R}r$  (2) 3.00 1.33

解析: (1) 根据电路图, 由闭合电路的欧姆定律得  $E = U + I'r = IR_0 + \frac{IR_0}{R}r$ .

(2) 根据  $E = U + I'r = IR_0 + \frac{IR_0}{R}r$ ,

可得  $\frac{1}{R} = \frac{E}{R_0 r} \cdot \frac{1}{I} - \frac{1}{r}$ .

由图示  $\frac{1}{R} - \frac{1}{I}$  图像可知, 图像的斜率  $k = \frac{E}{R_0 r} = \frac{3.0}{5000 - 1000}$  A/Ω, 纵轴截距的绝对值  $b = \frac{1}{r} = 0.75$  Ω<sup>-1</sup>, 解得电源的电动势  $E = 3.00$  V, 电源内阻  $r = 1.33$  Ω.

## 限时小练 18 能源与可持续发展

### 1. C

A	机械能守恒定律是能量守恒定律的一种特殊形式	×
B	能量耗散表明: 燃料燃烧时一旦把自己的热量释放出去, 就不会再自动聚集起来供人类重新利用, 并不是能量消失	×
C	在利用能源的过程中, 能量在数量上并未减少, 但在可利用的品质上降低了, 从便于利用的变成不便于利用的了	✓
D	人类不断地开发和利用新能源, 能源的品质提升, 但不是创造了能量	×

2. A 电池板将太阳能转化为电能, 小电动机将电能转化为机械能, A 正确.

3. A 在时间  $t$  内, 通过风力发电机的风的质量为  $m = \rho V = \rho v t S$ , 风能为  $E = \frac{1}{2} m v^2$ , 电功率为  $P = \frac{\eta E}{t} = \frac{1}{2} \cdot \eta \rho S v^3$ , 联立解得发电功率为  $P = 5.2 \times 10^4$  W, A 正确.

4. D 能源应用过程并不单纯是将内能转化为机械能的过程, 各种转化形式均可为人类服务, A 错误; 化石能源的能量虽然来自太阳能, 但要经过数亿年的地质演变才能形成, 且储量有限, 为不可再生能源, B 错误; 无论技术先进与否, 煤炭资源不可能取之不尽、用之不竭, C 错误; 在广大农村推广沼气对改善农村环境、节约能源意义重大, 功在当代, 利在千秋, D 正确.

5. A 改善空气质量, 就应该从根本上减少碳排放量, 用新能源代替传统的化石能源, 节能减排, A 正确; 能量是守恒的, 既不能被创造也不可能消失, 但能量品质会下降, 故要节约能源, B 错误; 由于水下落过程以及发电机装置都有摩擦, 故该装置不可能将水库中储存的水的机械能全部转化为电能, C 错误; 核能属于新能源, 是一种清洁能源, D 错误.

6. A 平均水位落差约为 100 m, 单位时间内到达水轮机处水流的机械能为  $E = mgh = 1 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 \times 10 \text{ m/s}^2 \times 100 \text{ m} = 1 \times 10^{10} \text{ J}$ , 机械能有 90% 转化为电能, 所以发电功率  $P = \frac{0.9E}{1 \text{ s}} = 0.9 \times 10^{10} \text{ W}$ , 故 A 正确.

7. B 风力发电是把风的机械能转化为电能, A 错误; 我国风能资源总储量约  $1.6 \times 10^5 \text{ MW} = 1.6 \times 10^{11} \text{ W}$ ,

三峡水电站装机容量为 2 240 万千瓦,合  $2.24 \times 10^{10}$  W,因此我国风能资源总储量约为 7 个三峡水电站的装机容量,B 正确;风力发电是把风的机械能转化为电能,不违反能量守恒定律,C 错误;水能和风能都是清洁能源且都是可再生能源,D 错误.

8. B 石油属于一次能源,石油制品是由一次能源通过加工转化而获得的,属于二次能源,A 正确;煤炭不能从自然界源源不断获得,是不可再生能源,B 错误;煤炭、石油都属于常规能源,C 正确;太阳能、核能属于新能源,D 正确.

9. C 能量耗散是指能量在转化过程中扩散到周围环境中无法再收集起来的,满足能量守恒定律.能量在数量上并未减少,但在可利用的品质上降低了. 能量耗散反映了涉及热运动的宏观过程都具有方向性,C 正确.

10. B 由于无节制地开采化石能源,不但使有限的能源资源难以满足日益增长的需要,而且给环境带来严重的负面影响,A 正确;能量是守恒的,但由于能量耗散,使得能利用的能源越来越少,B 错误;环境保护是每时每刻、人人都要认真做好的,C 正确;不断开发新能源,是缓解能源危机、加强环境保护的主要途径,D 正确.

11. C

A	煤、石油虽然是当人类利用的主要能源,但不能短期内从自然界得到补充,是不可再生能源	✗
B	能量被使用后转化为其他形式的能,并没有消失	✗
C	太阳能和风能,包括水能等都是可再生资源且为清洁能源,应该尽量多开发	✓
D	能量虽然守恒,但有些能量使用以后不可能被再次利用,所以要节约资源,但能量是不会减少,也不会被消灭掉的,只是形式发生转变	✗

12. 在  $t$  时间内作用于风车的气流质量

$$m = \rho V = \rho \cdot \pi r^2 vt,$$

这些气流的动能为  $E_k = \frac{1}{2} mv^2$ ,

转变成的电能  $E = \frac{1}{2} mv^2 \cdot 10\%$ ,

所以风车带动的发电机功率为

$$P = \frac{1}{2} \pi r^2 \rho v^3 \cdot 10\%,$$

代入数据解得  $P = 3391.2$  W.

## 阶段提优 5 电路的分析与计算

1. D 根据闭合电路欧姆定律  $E = I(R+r)$ ,当  $R=2\Omega$  时, $E=I(2+r)$ ;当  $R=6\Omega$  时, $E=\frac{1}{2}(6+r)$ ,解得  $r=2\Omega$ ,D 正确.

2. C 根据电源的路端电压随输出电流的变化的特性图线斜率的绝对值表示电源内阻可知,电源 1 与电源 2 的内阻之比是 11:7,故 A 错误;根据电源的路端电压随输出电流的变化的特性图线在纵轴的截距表示电源电动势可知,电源 1 与电源 2 的电动势之比是 1:1,故 B 错误;曲线交点表示实际工作点,则交点的纵、横坐标的乘积表示电源输出功率,在这两种连接状态下,由  $P=UI$  可知,小灯泡消耗的功率之比是 1:2,故 C 正确;根据曲线交点的纵、横坐标的比值表示小灯泡电阻,在这两种连接状态下,由  $R=\frac{U}{I}$  可知,小灯泡的电阻之比是 18:25,故 D 错误.

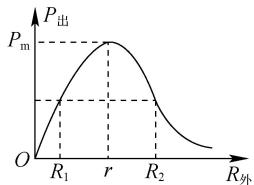
3. A 当滑动变阻器的滑动触头向上端移动时,变阻器接入电路的电阻增大,外电路总电阻  $R$  增大,由闭合电路欧姆定律知总电流  $I$  减小,路端电压  $U=E-Ir$  增大,则电压表的读数增大;电阻  $R_2$  两端的电压  $U_2=E-I(r+R_1)$  增大,流过电阻  $R_2$  的电流  $I_2$  增大,则流过电流表的电流  $I_3=I-I_2$  减小,即电流表的读数减小,A 正确.

4. D 当  $R_1+R_2 > r$  时,随着外电阻阻值增大,电源输出功率减小,所以当  $R_2=0$  时,电源的输出功率最大,A 错误;当滑动变阻器的阻值为 0 时,电路中电流最大,定值电阻  $R_1$  的功率最大,B 错误,D 正确;电源的效率  $\eta=\frac{UI}{EI} \times 100\% = \frac{E-Ir}{E} \times 100\%$ ,当滑动变阻器的阻值为 0 时,电路中电流最大,电源的效率最小,C 错误.

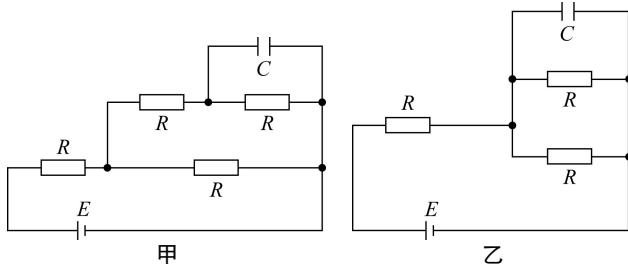
5. B 根据题意,由题图可知,电池的路端电压为  $U_1$ ,电流为  $I_1$ ,则输出功率  $P=U_1 I_1$ ,故 A 错误;由闭合电路欧姆定律,有  $U=E-Ir$ ,当  $I=0$  时  $E=U$ ,图线 a 与纵轴的交点读出电动势为  $E=U_2$ ,根据两图线交点处的状态可知,电阻的电压为  $U_1$ ,则内阻  $r=\frac{E-U_1}{I_1}=\frac{U_2-U_1}{I_1}$ ,故 B 正确;根据题意可知,电池的效率  $\eta=\frac{UI}{EI}=\frac{U_1}{U_2} \times 100\%$ ,故 C 错误;根据题意可知,内阻消耗的功率  $P_r=EI-UI=U_2 I_1 - U_1 I_1$ ,故 D 错误.

6. C 设电压表的示数为  $U$ ,电流表的示数为  $I$ ,当一位酒驾驾驶员对着测试仪吹气时,传感器电阻  $R$  的阻值减小,根据闭合电路欧姆定律可知电流表的示数  $I$  变大,又  $U=E-I(R_0+r)$ ,可知电压表的示数  $U$  变小,故 A 正确;饮酒量越多,传感器电阻  $R$  的阻值越小,而电源效率  $\eta=\frac{R_外}{R_外+r} \times 100\%$  越小,故 B 正确;电源的输出功率关于外电阻  $R_外$  的图像如图所示,由图可知,当  $R_外=r$  时电源的输出功率最大,因为定值电阻  $R_0=r$ ,则开始时有  $R+R_0 > r$ ,则随着  $R$  减小,电源的输出功率增大,故 C 错误;根据闭合电路欧姆定律,有  $E=U_1+I_1 \cdot (r+R_0)$ , $E=U_2+I_2(r+R_0)$ ,整理后有  $\left| \frac{\Delta U}{\Delta I} \right| = r+r_0$

$R_0$ ,则无论  $R$  怎么变,电压表示数变化量与电流表示数变化量的绝对值之比保持不变,故 D 正确.



7. A S 断开时等效电路图如图甲所示,电容器两端的电压为  $U_1 = \frac{E}{R + \frac{2}{3}R} \cdot \frac{2}{3}R \cdot \frac{1}{2} = \frac{1}{5}E$ , S 闭合时等效电路图如图乙所示,电容器两端的电压为  $U_2 = \frac{E}{R + \frac{1}{2}R} \cdot \frac{1}{2}R = \frac{1}{3}E$ , 由电容器电容的定义式,有  $Q = CU$ ,  $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{3}{5}$ , 故 A 正确.



8. A 一氧化碳气体浓度增大时,  $R$  减小, 总电阻减小, 则总电流增大, 内电压增大, 路端电压减小, 则通过  $R_1$  的电流减小, 电压表 V 示数减小, 通过变阻器的电流减小, 则电流表 A 示数增大, A 正确, B 错误; 电源的总功率为  $P = EI$ , 由于  $E$  不变,  $I$  增大, 则电源的总功率增大, C 错误; 电源内阻消耗功率  $P' = I^2r$ , 由于总电流增大, 电源内阻不变, 所以电源内阻消耗功率增大, D 错误.

9. B 电路中电流表的示数为 2.0 A, 所以电动机的电压为  $U = E - U_{\text{内}} - U_{R_0} = E - Ir - IR_0 = 12 \text{ V} - 2 \times 1 \text{ V} - 2 \times 1.5 \text{ V} = 7 \text{ V}$ , 电动机的总功率为  $P_{\text{总}} = UI = 7 \times 2 \text{ W} = 14 \text{ W}$ , 电动机的发热功率为  $P_{\text{热}} = I^2R = 2^2 \times 0.5 \text{ W} = 2 \text{ W}$ , 所以电动机的输出功率为  $P_{\text{出}} = 14 \text{ W} - 2 \text{ W} = 12 \text{ W}$ , B 正确, A、C 错误; 电源输出的功率为  $P_{\text{输出}} = EI - I^2r = 12 \times 2 \text{ W} - 2^2 \times 1 \text{ W} = 20 \text{ W}$ , D 错误.

10. C 将  $R_2$  的滑动触点从  $a$  端向  $b$  端移动,  $R_2$  接入电路的阻值变小, 则电路总电阻变小, 电流  $I$  变大, 因为  $I$  变大, 所以  $R_1$  的电功率变大, 根据闭合电路欧姆定律, 有  $U_2 = E - I(R_1 + r)$ , 所以  $U_2$  变小, 则  $R_3$  的电功率  $P_3 = \frac{U_2^2}{R_3}$  变小, 故 A 错误; 因为  $\frac{U_1}{I} = R_1$  保持不变, 而  $\frac{U_2}{I} = \frac{R_3 R_2}{R_3 + R_2}$ , 即并联阻值, 因为并联阻值减小, 所以  $\frac{U_2}{I}$  减小, 故 B 错误; 由  $U_2 = E - I(R_1 + r)$ , 有  $\Delta U_2 = \Delta I \cdot (R_1 + r)$ , 又  $U_1 = IR_1$ , 则  $\Delta U_1 = \Delta I \cdot R_1$ , 所以  $\Delta U_2 >$

$\Delta U_1$ , 故 C 正确; 根据上述分析, 可知  $\frac{\Delta U_1}{\Delta I} = R_1$ ,  $\frac{\Delta U_2}{\Delta I} = R_1 + r$ , 故  $\frac{\Delta U_1}{\Delta I} < \frac{\Delta U_2}{\Delta I}$ , 故 D 错误.

11. S 断开时的等效电路如图甲所示, 电容器 C 两端电压  $U$  等于电阻  $R_2$  两端电压  $U_2$ , 而  $U_2 = \frac{E}{R_1 + R_2 + r} \cdot R_2 = 3 \text{ V}$ ,

电容器 C 的带电荷量  $Q = CU = CU_2 = 1.2 \times 10^{-5} \text{ C}$ , 且  $a$  板带正电,  $b$  板带负电.

S 闭合时等效电路图如图乙所示, 电容器 C 两端电压  $U'$  等于电阻  $R_1$  两端电压  $U_1'$ , 有  $R_{\text{外}} = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_3 + R_1 + R_2} = 3 \Omega$ .

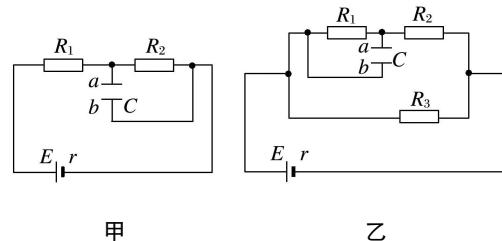
$$\text{干路电流 } I = \frac{E}{R_{\text{外}} + r} = 1.5 \text{ A},$$

$$\text{路端电压 } U_{\text{外}} = E - Ir = 4.5 \text{ V},$$

$$\text{电阻 } R_1 \text{ 两端电压 } U_1' = \frac{2}{5}U_{\text{外}} = 1.8 \text{ V},$$

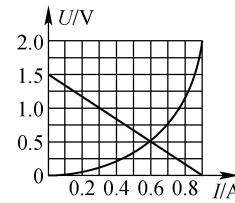
电容器 C 的带电荷量  $Q' = CU' = CU_1' = 7.2 \times 10^{-6} \text{ C}$ , 且  $a$  板带负电,  $b$  板带正电,

$$\text{通过电阻 } R \text{ 的电荷量 } \Delta Q = Q + Q' = 1.92 \times 10^{-5} \text{ C}.$$



#### 章末提升 4

1. B 由闭合电路欧姆定律, 有  $U = E - Ir$ , 结合题图甲可得  $E = 1.5 \text{ V}$ ,  $r = \frac{1.5 - 1.0}{0.3} \Omega = \frac{5}{3} \Omega$ , 故 A 错误; 把电源的  $U - I$  图像移到灯泡的  $U - I$  图像中, 如图所示, 由图可知, 把电源和小灯泡组成闭合回路, 灯泡两端的电压约为 0.5 V, 电流约为 0.6 A, 则小灯泡的功率约为  $P = UI = 0.3 \text{ W}$ , 电路的总功率约为  $P_{\text{总}} = EI = 0.9 \text{ W}$ , 故 D 错误, B 正确; 根据  $U - I$  图像中图线上的点与原点连线的斜率表示电阻的大小, 由题图乙可知, 小灯泡的电阻随着功率的增大而增大, 故 C 错误.



2. C 电动机热功率为  $P_{\text{热}} = I^2R = 0.5^2 \times 0.5 \text{ W} = 0.125 \text{ W}$ , 故 A 错误; 电动机输入功率为  $P_{\text{入}} = UI = 6 \times 0.5 \text{ W} = 3 \text{ W}$ , 故 B 错误; 电动机输出的机械功率为  $P_{\text{机}} = P_{\text{入}} - P_{\text{热}} = 3 \text{ W} - 0.125 \text{ W} = 2.875 \text{ W}$ , 故 C 正确;

电动机持续工作一小时耗电为  $W = P_{\text{总}}t = 0.003 \times 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 0.003 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 故 D 错误.

3. C 设电源的电动势为  $E$ , 内阻为  $r$ , 根据闭合电路欧姆定律, 有  $E = U + Ir$ , 可得  $I = \frac{E - U}{r}$ , 则电源的输出功

率为  $P = UI = U \cdot \frac{E - U}{r} = \frac{-U^2 + EU}{r} = -\frac{1}{r} \left( U - \frac{E}{2} \right)^2 + \frac{E^2}{4r}$ , 可知  $P - U$  图像为开口向下的抛物线, 故 C 正确.

4. D 电流表示数为 2.0 A, 可知内电压  $U_{\text{内}} = Ir = 2 \times 1 \text{ V} = 2.0 \text{ V}$ , 所以电压表的示数  $U = E - U_{\text{内}} = 12.0 \text{ V} - 2.0 \text{ V} = 10.0 \text{ V}$ , A 错误; 由图可知电源的输出功率即为电动机消耗的总功率, 为  $P = UI = 10.0 \times 2.0 \text{ W} = 20.0 \text{ W}$ , B、C 错误; 电动机的热功率  $P_{\text{热}} = I^2 R_{\text{电}} = 2^2 \times 0.5 \text{ W} = 2.0 \text{ W}$ , D 正确.

5. D 闭合开关 S 后, 将照射光强度增强, 光敏电阻  $R_3$  阻值减小, 电路总阻值减小, 总电流增大, 电路的路端电压减小,  $R_1$  两端的电压增大,  $R_2$  两端的电压减小,  $R_2$  上的电流减小, 灯泡 L 中电流增大, 变亮, D 正确.

6. A 当滑片左移时, 滑动变阻器接入电阻减小, 则电路中总电阻减小, 由闭合电路欧姆定律可知, 电路中电流增大; 而  $R_1$  两端的电压增大,  $R_2$  两端的电压减小, 故乙表示  $V_1$  示数的变化, 甲表示  $V_2$  示数的变化; 由图像可知, 定值电阻  $R_1 = \frac{U}{I} = \frac{2}{0.4} \Omega = 5 \Omega$ , A 正确, D 错误. 由图可知, 当只有  $R_1$  接入电路时, 电路中电流为 0.6 A, 电压为 3 V, 则由  $E = U + Ir$  可得  $E = 3 + 0.6r$ , 当滑动变阻器全部接入时, 电路中电流为 0.2 A, 外电路电压为  $1 \text{ V} + 4 \text{ V} = 5 \text{ V}$ , 由闭合电路欧姆定律可得  $E = 5 + 0.2r$ , 解得  $r = 5 \Omega$ ,  $E = 6 \text{ V}$ , B、C 错误.

7. D 若  $R_1$ 、 $R_2$  同时短路, 则 B 灯不亮, 不符合题意, A 错误. 若  $R_1$  短路, 外电阻减小, 干路电流 I 增大, 路端电压 U 减小,  $R_3$  电流  $I_3$  减小, 则通过 A 灯的电流 ( $I_A = I - I_3$ ) 增大,  $U_A$  增大, A 灯变亮; 通过 B 灯的电流减小, 则  $U_B$  减小, B 灯变暗, 不符合题意, B 错误. 若滑动变阻器  $R_3$  断路, 外电路总电阻增大, 路端电压随之增大, A、B 变亮, 不符合题意, C 错误. 若  $R_2$  断路, 外电阻增大, 路端电压 U 增大, 干路电流 I 减小,  $R_3$  电流  $I_3$  增大, 则通过 A 的电流 ( $I_A = I - I_3$ ) 减小, A 灯变暗; B 灯电压  $[U_B = U - I_A(R_A + R_1)]$  增大, B 灯变亮, 符合题意, D 正确.

8. D 脂肪不容易导电, 脂肪含量高者, 人体电阻  $R$  越大, 电流越小,  $R_1$  消耗的功率越小, A 错误; 根据  $\eta = \frac{R_{\text{外}}}{R_{\text{外}} + r} \times 100\% = \frac{1}{1 + \frac{r}{R_{\text{外}}}} \times 100\%$ , 人体电阻  $R$  越大, 外

电阻  $R_{\text{外}}$  越大, 电源的效率越大, B 错误; 根据  $\frac{U}{I} = R$ , 电

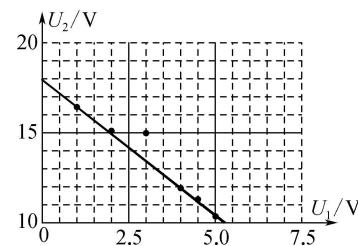
压表示数与电流表示数的比值等于人体电阻  $R$ , 人体电阻  $R$  越大,  $\frac{U}{I}$  越大, C 错误; 电压表示数变化量与电流表示数变化量大小的比值为  $\frac{\Delta U}{\Delta I} = r + R_1 + R_2$ , 可知  $\frac{\Delta U}{\Delta I}$  恒定不变, D 正确.

9. D 由题图可知, 电压表的示数增大,  $R$  和  $R_1$  并联的电阻增大, 故  $R$  增大, 总电阻增大, 总电流减小, 并联电阻两端电压增大, 通过  $R_1$  的电流增大, 故通过可变电阻  $R$  的电流减小, A 错误; 总电流减小, 电阻  $R_2$  两端的电压减小, 路端电压增大, 而电压表示数增加  $\Delta U$ , 所以电阻  $R_2$  两端的电压减少量小于  $\Delta U$ , 由欧姆定律可知, 通过电阻  $R_2$  的电流减少, 减少量小于  $\frac{\Delta U}{R_2}$ , B、C 错误; 由于电阻  $R_2$  两端的电压减小, 所以路端电压的增加量小于  $\Delta U$ , D 正确.

10. A 由图可知, 电源的电动势为 2.0 V, A 正确; 电源的内阻为  $r = \frac{\Delta U}{\Delta I} = \frac{2.0 - 0.5}{0.4} \Omega = 3.75 \Omega$ , 短路电流为  $I = \frac{E}{r} = \frac{2.0}{3.75} \text{ A} = 0.53 \text{ A}$ , B 错误; 电源的功率  $P = IE$ , 当电流最大时功率最大, 最大电流为 0.53 A, 则最大功率为  $P = 2 \times 0.53 \text{ W} = 1.06 \text{ W}$ , C 错误; 电源外电路接一滑动变阻器, 当滑动变阻器的电阻等于电源内阻时电源输出功率最大, 则电源最大输出功率为  $P_{\text{m}} = \frac{E^2}{4r} = \frac{2^2}{4 \times 3.75} \text{ W} = 0.27 \text{ W}$ , D 错误.

11. D 汽车以 90 km/h 的速度行驶, 电路中电流为  $I = \frac{P}{U} = \frac{15000}{300} \text{ A} = 50 \text{ A}$ , A 错误; 电池组的热功率  $P_{\text{热}} = I^2 R = 50^2 \times 0.5 \text{ W} = 1250 \text{ W}$ , B 错误; 直流驱动电机的输出功率  $P_{\text{出}} = Fv = fv = 400 \times 90 \times \frac{1000}{3600} \text{ W} = 10000 \text{ W}$ , 内阻消耗的功率  $P_{\text{内}} = P - P_{\text{出}} = 5000 \text{ W}$ , 直流驱动电机的内阻  $r = \frac{P_{\text{内}}}{I^2} = \frac{5000}{50^2} \Omega = 2 \Omega$ , C 错误; 电池组能量容量为  $E_0 = 7.2 \times 10^7 \text{ J}$ , 电池组总功率为  $P_{\text{总}} = EI = 400 \times 50 \text{ W} = 20000 \text{ W}$ , 电池可用的时间  $t = \frac{E_0}{P_{\text{总}}} = 3.6 \times 10^3 \text{ s} = 1 \text{ h}$ , 汽车以 90 km/h 的速度行驶, 最大行驶路程约为 90 km, D 正确.

12. (1) 如图所示 (2) 18.0(17.9~18.3)  
30.8(29.0~32.0) (3) 小于 大于



解析:(2) 根据  $E=U_2+\frac{U_1}{R_0}r$ , 可得  $U_2=E-\frac{r}{R_0}U_1$ , 由图像知纵轴截距表示电动势  $E=18.0$  V, 图线的斜率大小  $k=\frac{r}{R_0}=\frac{18.0-10.3}{5.0-0}$ , 可得  $r=30.8$  Ω.

(3) 若  $V_2$  表不理想, 可将电压表  $V_2$  与电源等效成一个新电源和理想电表, 故  $r_{\text{测}}=\frac{r_{\text{真}}R_{V2}}{r_{\text{真}}+R_{V2}} < r_{\text{真}}$ ; 若  $V_1$  表不理想,  $V_1$  表与  $R_0$  并联, 由  $E=U_2+\frac{U_1}{R_{\text{并}}}r$  可得  $U_2=E-\frac{r}{R_{\text{并}}}U_1$ , 斜率增大, 可知电源内阻的测量值大于真实值.

13. (1) 根据题意, 由题图甲可知, 当变阻器阻值为 0 时, 两电压表读数相等, 即当电流表读数为 2.0 A 时, 电压表读数均为 6.0 V, 由欧姆定律可得, 定值电阻  $R_0$  的阻值为  $R_0=\frac{U_c}{I_c}=\frac{6}{2}\Omega=3\Omega$ .

(2) 根据题意, 结合第(1)问的分析可知,  $AC$  为  $V_2$  的读数变化图像,  $BC$  为  $V_1$  的读数变化图像, 由闭合电路欧姆定律, 有  $U_1=E-Ir$ ,

代入数据解得  $E=8$  V,  $r=1$  Ω.

(3) 定值电阻  $R_0$  消耗的电功率为  $P=I^2R_0$ , 可知, 电流最大时,  $R_0$  消耗的电功率最大, 由闭合电路欧姆定律, 有  $I=\frac{E}{R+R_0+r}$ ,

可知当  $R=0$  时, 电流最大, 最大值为 2 A, 则定值电阻  $R_0$  消耗的最大电功率为  $P_m=2^2\times 3\text{ W}=12\text{ W}$ .

14. (1) 由题意知, 并联部分电压为  $U=8$  V, 故内电压为  $U_{\text{内}}=E-U=2$  V,

总电流  $I=\frac{U_{\text{内}}}{r}=2$  A,

电源的输出功率  $P_{\text{出}}=UI=16$  W.

(2) 流过灯泡的电流  $I_1=\frac{P_1}{U}=\frac{12}{8}\text{ A}=1.5\text{ A}$ ,

则流过电动机的电流  $I_2=I-I_1=0.5\text{ A}$ ,

电动机的热功率  $P_0=I_2^2R_0=1\text{ W}$ ,

10 s 内电动机产生的热量  $Q=P_0t=10\text{ J}$ .

(3) 电动机的总功率  $P=UI_2=4\text{ W}$ ,

则电动机的机械功率  $P_{\text{机}}=P-P_0=3\text{ W}$ .

15. (1) S 断开时,  $R_2$ 、 $R_3$  串联, 根据闭合电路欧姆定律

可得  $I=\frac{E}{R_2+R_3+r}$ ,

总功率  $P=IE=\frac{E^2}{7.5+r}=2\text{ W}$ ;

S 闭合时,  $R_1$ 、 $R_2$  并联后再与  $R_3$  串联, 总外电阻

$R'=\frac{R_1R_2}{R_1+R_2}+R_3=3.5\Omega$ ,

根据闭合电路欧姆定律可得

$I'=\frac{E}{R'+r}=\frac{E}{3.5+r}$ ,

所以总功率  $P'=EI'=\frac{E^2}{3.5+r}=4\text{ W}$ ,

联立解得  $E=4$  V,  $r=0.5$  Ω.

(2) 闭合 S 时, 总外电阻  $R'=3.5$  Ω,

干路电流为  $I'=\frac{E}{R'+r}=1\text{ A}$ ,

电源的输出功率为

$P_{\text{出}}=EI'-(I')^2r=4\times 1\text{ W}-1^2\times 0.5\text{ W}=3.5\text{ W}$ .

(3) S 断开时,  $C$  两端电压等于电阻  $R_2$  两端电压

$U_2=IR_2=\frac{E}{7.5+r}\cdot R_2=\frac{4}{7.5+0.5}\times 6\text{ V}=3\text{ V}$ ,

可得电荷量  $Q=CU_2=20\times 10^{-6}\times 3\text{ C}=6\times 10^{-5}\text{ C}$ ,

S 闭合时,  $U_C=0$ , 则  $Q'=0$ .

### 真题小练

1. A 开关 S 断开时, 有  $E=3$  V, 开关 S 闭合时, 由闭合电路欧姆定律, 有  $2\text{ V}=\frac{E}{R+r}R$ , 其中  $R=2$  Ω, 解得  $r=1$  Ω, 故 A 正确.

2. A 由题图的电路图可知  $R_3$  与  $R_4$  串联后与  $R_2$  并联, 再与  $R_1$  串联, 并联电路部分的等效电阻为  $R_{\text{并}}=\frac{R_2(R_3+R_4)}{R_2+(R_3+R_4)}=2\Omega$ , 由闭合电路欧姆定律可知, 干路

电流即经过  $R_1$  的电流为  $I_1=I=\frac{E}{R_1+R_{\text{并}}}=3\text{ A}$ , 并联

部分各支路电流大小与电阻成反比, 则  $I_2=\frac{IR_{\text{并}}}{R_2}=2\text{ A}$ ,

$I_3=I_4=\frac{IR_{\text{并}}}{R_3+R_4}=1\text{ A}$ , 四个灯泡的实际功率分别为

$P_1=I_1^2R_1=18\text{ W}$ ,  $P_2=I_2^2R_2=12\text{ W}$ ,  $P_3=I_3^2R_3=2\text{ W}$ ,

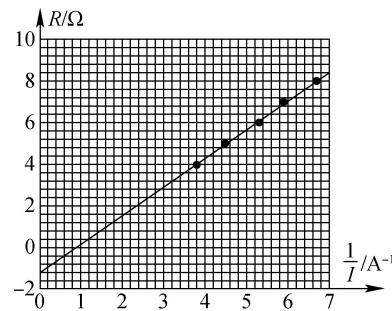
$P_4=I_4^2R_4=4\text{ W}$ , 故四个灯泡中功率最大的是  $R_1$ , A 正确.

3. C 开关闭合时, 车灯变暗, 故流过车灯的电流  $I_{\text{灯}}$  变小, 故 A 正确; 电路的路端电压为  $U_{\text{路}}=U_{\text{灯}}=I_{\text{灯}}R_{\text{灯}}$ ,  $I_{\text{灯}}$  变小, 路端电压变小, 故 B 正确; 总电流即干路电流  $I_{\text{干}}=\frac{U_{\text{内}}}{r}=\frac{E-U_{\text{路}}}{r}$ ,  $U_{\text{路}}$  减小, 干路电流增大, 故 C 错误;

电源总功率为  $P_{\text{总}}=EI_{\text{干}}$ ,  $I_{\text{干}}$  增大, 总功率变大, 故 D 正确.

4. (1) 开关未断开 电阻箱阻值为零 (2) 如图所示

1.37 1.20 (3) 1.37 1.00



解析:(1) 连接电路时电源应与电路断开, 所以开关要断

开；另一错误是电阻箱接入电路的电阻为零，这样容易烧坏电流表和电源。

(2) 将数据描点连线，作出一条倾斜的直线。根据闭合

电路欧姆定律，有  $E=I(R+r)$ ，整理得  $R=E \cdot \frac{1}{I} - r$ ，所

以图线的斜率表示电源电动势  $E = \frac{8 - (-1.2)}{6.7 - 0} \text{ V} = 1.37 \text{ V}$ ，纵轴截距绝对值表示内阻  $r = 1.20 \Omega$ 。

(3) 用电压表与电流表并联，可测得电流表的内阻  $R_A = \frac{U_V}{I_A} = \frac{66.0 \times 10^{-3}}{0.33} \Omega = 0.20 \Omega$ ，考虑电表内阻对实验的影

响，则  $E = I(R + R_A + r)$ ，得  $R = E \cdot \frac{1}{I} - (R_A + r)$ ，所以图线的斜率仍表示电动势，电动势的准确值为  $1.37 \text{ V}$ ，图线的纵轴截距表示  $(R_A + r)$ ，所以内阻的准确值为  $r = (1.20 - 0.20) \Omega = 1.00 \Omega$ 。

## 第十三章 电磁感应与电磁波初步

### 限时小练 19 磁场 磁感线

#### 1. A

A	只有赤道上方附近的地磁场的方向与地面平行	✗
B	地理南、北极与地磁场的南、北极不重合，存在地磁偏角	✓
C	磁感线是闭合的，由题图可推知地球内部存在磁场，地磁南极在地理北极附近	✓
D	在赤道位置放置一枚小磁针，静止时小磁针 N 极指向地理的北极附近	✓

#### 常用结论

- (1) 磁感线是封闭的曲线，并且任意两条磁感线不会相交；(2) 磁感线在磁体外部由 N 极指向 S 极，在磁体内部由 S 极指向 N 极。

2. A 因为电子在平行于纸面的平面内沿逆时针方向做匀速圆周运动，所以电流方向应为顺时针方向，根据安培定则可知平面内电流在小磁针处产生的磁场方向为垂直纸面向里，所以小磁针最后静止时 N 极的指向应为垂直纸面向里，故 A 正确。

3. C A 图，通电直导线电流从左向右，根据右手螺旋定则，则小磁针所处的位置磁场方向垂直纸面向里，所以小磁针静止时 N 极背离读者，A 错误；B 图，通电直导线电流竖直向上，根据右手螺旋定则，磁场的方向为逆时针（从上向下看），因此小磁针静止时 N 极背离读者，B 错误；环形导线的电流方向如题图 C 所示，根据右手螺旋定则，则有小磁针所处的位置磁场方向垂直纸面向外，所以小磁针静止时 N 极指向读者，C 正确；D 图，根

据右手螺旋定则，结合电流的方向，则通电螺线管的内部磁场方向由右向左，则小磁针静止时 N 极指向左，D 错误。

4. B 小磁针静止时的 N 极指向为该处的磁感线方向，根据安培定则可知通电螺线管的右端为 N 极，左端为 S 极，内部磁感线方向是从左到右，故只有小磁针 2 的 N、S 极标注正确，B 正确。

5. B 地磁的南极在地理北极的附近，故在用安培定则判定环形电流的方向时右手的拇指必须指向南方；而根据安培定则：拇指与四指垂直，四指弯曲的方向就是电流流动的方向，故四指的方向应该向西，B 正确。

6. C 由磁感线的疏密可知 a 处磁场弱，b 处磁场强，A、B 错误；磁感线上某点的切线方向就是该点的磁场方向，C 正确；磁感线是假想的，并不真实存在，D 错误。

7. D 磁感线的疏密表示磁感应强度大小，磁感线越密的地方磁感应强度越大，A 错误；磁体外部磁感线从 N 极指向 S 极，故 a 位置应该为 S 极，B 错误；磁感线和电场线都不是真实存在的，C 错误；磁体内部磁感线由 S 极指向 N 极，故软磁条内部 ab 之间的磁感线方向应为 a 指向 b，D 正确。

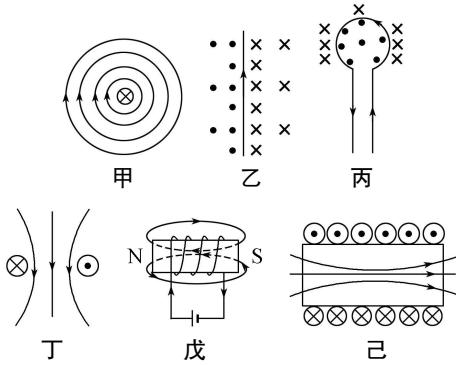
8. B 地磁场由南指向北，导线不通电时，故只在地磁场作用下，小磁针的 N 极指向北方，A 错误；地磁场由南指向北，故只在地磁场作用下，小磁针的 N 极指向北，当通电时导线中的电流方向向右，根据安培定则，在导线下方会产生向里的磁场，俯视情况下，小磁针的 N 极将逆时针转动，在电流磁场和地磁场的作用下，磁针静止后与导线的夹角不等于 90 度，C 错误，B 正确；导线与磁针垂直摆放时，导线通电后，产生的磁场和地磁场平行，小磁针不会偏转，D 错误。

9. D 若 a 接电源正极，b 接负极，螺线管中电流俯视沿逆时针方向，由安培定则判断螺线管的上端相当于条形磁铁的 N 极，故磁铁受到螺线管对它向上的斥力作用，弹簧测力计示数减小，故 A、B 错误；若 b 接电源正极，a 接负极，由安培定则判断螺线管的上端相当于条形磁铁的 S 极，磁铁受到螺线管对它向下的引力作用，弹簧测力计示数变大，故 C 错误，D 正确。

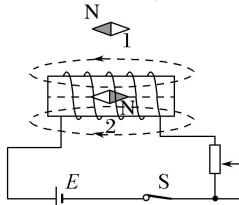
10. A 电子流沿 z 轴正向流动，则电流方向沿 z 轴负向，由安培定则可以判断电流激发的磁场以 z 轴为中心沿顺时针方向（从上往下看），故通过 y 轴 A 点的磁场方向向外，即沿 x 轴正向，A 正确。

11. B 小磁针静止时 N 极方向平行于纸面向下，说明该处的磁场方向向下，因  $I_1$  在该处形成的磁场方向向上，则  $I_2$  在该处形成的磁场方向向下，且大于  $I_1$  在该处形成的磁场，由安培定则可知  $I_2$  方向垂直纸面向外，且  $I_2 > I_1$ ，B 正确。

12. (1) 如图所示。



(2) 如图所示,小磁针1逆时针转动至N极水平向左,小磁针2顺时针转动至N极水平向右.



解析:(1)由安培定则可知:对直导线,大拇指指向电流方向,四指弯曲方向是磁感线方向;对环形电流和通电螺线管,四指弯曲方向为电流方向,大拇指指向内部磁感线方向.

(2)接通电源后,螺线管的磁场为:内部从左指向右,外部从右指向左,如图所示,故小磁针1逆时针转动至N极水平向左,小磁针2顺时针转动至N极水平向右.

#### 易错警示 小磁针在磁场中受力方向的判断

小磁针N极的受力方向(小磁针静止时N极的指向)与磁感线的切线方向一致.“同名磁极相斥,异名磁极相吸”只适用于小磁针处于磁体产生的磁场或环形电流、通电螺线管外部,而在通电螺线管内部不适用.

### 限时小练 20 磁感应强度 磁通量

1. D 磁感应强度是描述磁场强弱和方向的物理量,是磁场本身性质的反映,其大小由磁场以及在磁场中的位置决定,与  $F$ 、 $I$ 、 $L$  都没有关系,  $B = \frac{F}{IL}$  只是磁感应强度的定义式,同一通电导体受到的磁场力的大小由所在处的磁感应强度和放置的方式共同决定,A、B、C 错误;磁感应强度的方向就是该处小磁针 N 极所受磁场力的方向,不是通电导线的受力方向,D 正确.

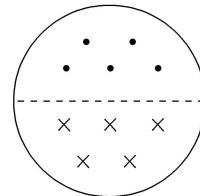
2. C 根据磁感应强度的定义式  $B = \frac{F}{IL}$ ,代入数据解得

$$B = \frac{F}{IL} = \frac{0.015}{20 \times 0.4} T = 1.875 \times 10^{-3} T, \text{故 C 正确.}$$

3. C 由磁通量的定义知  $\Phi = BS$ ,磁感线穿过的面积为  $S = \frac{L^2}{2}$ ,联立可得  $\Phi = \frac{BL^2}{2}$ ,故 C 正确.

4. C 两个线圈的半径虽然不同,但是线圈内的匀强磁场的半径一样,则穿过两线圈的磁感线条数一样,即磁通量相同,磁通量之比为 1:1,A、B 错误;由磁通量的定义式知  $\Phi = BS = \pi Br^2$ ,C 正确,D 错误.

5. C 利用安培定则判断直线电流产生的磁场,作出俯视图如图所示.考虑到磁场具有对称性,可以知道穿入圆面积的磁感线的条数与穿出圆面积的磁感线的条数始终是相等的,C 正确.



#### 技巧点拨 非匀强磁场中磁通量的比较方法

在非匀强磁场中,不能用  $\Phi = BS$  来比较磁通量的大小,但可以用穿过平面的磁感线的条数来判断,但要注意的是,当同一平面内同时有正面穿过及反面穿过的磁感线时,正向与反向相消.

6. C 磁感线的疏密表示磁场的强弱,故 a 点的磁感应强度大于 b 点的磁感应强度,A、B 错误;磁感线的切线方向表示磁感应强度的方向,故 a、b 两点磁感应强度方向不同,C 正确,D 错误.

7. C 根据安培定则可知,通电后小磁针的 N 极向纸面内偏转,故 A 错误;磁感应强度是矢量,通电后,小磁针静止时 N 极所指的方向即为电流在小磁针处产生的磁场与地球的磁场的合磁场的方向,故 B 错误;设电流在  $x_0$  处产生的磁场的磁感应强度大小为  $B_1$ ,则  $\tan \theta = \frac{B_1}{B_0}$ ,解得  $B_1 = \frac{\sqrt{3}}{3} B_0$ ,故 C 正确;由矢量的合成可知,  $x_0$  处合磁场的磁感应强度大小为  $B_{\text{合}} = \sqrt{B_1^2 + B_0^2} = \frac{2\sqrt{3}}{3} B_0$ ,故 D 错误.

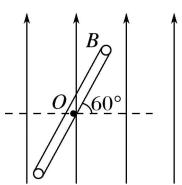
8. C 设金属框在位置 I 时磁通量大小为  $\Phi_1$ ,在位置 II 时磁通量大小为  $\Phi_2$ .第一次将金属框由位置 I 平移到位置 II,穿过线框的磁感线方向没有改变,磁通量变化量大小  $\Delta\Phi_1 = \Phi_1 - \Phi_2$ ,第二次将金属框绕 cd 边翻转到位置 II,穿过线框的磁感线的方向发生改变,磁通量变化量大小  $\Delta\Phi_2 = \Phi_1 + \Phi_2$ ,故  $\Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2$ ,C 正确.

9. C 所有磁感线都会经过磁体内部,内外磁场方向相反,所以线圈面积越大则抵消的磁场越大,即  $\Phi_1 < \Phi_2$ ;线圈 3 在正中间,此处磁场最弱,即抵消的最少,所以  $\Phi_3 > \Phi_2$ ,C 正确.

10. A 通过面积  $S_{MNCD}$  的磁通量为  $\Phi_1 = BS = 0.2 \times 0.4 \times 0.3 \text{ Wb} = 0.024 \text{ Wb}$ ,面积  $S_{NEFC}$  在垂直磁场方向上的投影面积为 0,则  $\Phi_2 = 0$ ,面积  $S_{MEFD}$  在垂直磁场方向上的投影面积等于  $S_{MNCD}$ ,可知  $\Phi_3 = \Phi_1 = 0.024 \text{ Wb}$ ,故 A 正确.

11. B 根据右手螺旋定则,可知 B、D、C 三处的导线在 A 点产生的磁场方向分别为竖直向下、竖直向上、水平向右,大小相等,根据磁场的叠加原理,可知 A 点的磁感应强度的大小为 B,方向向右,故 B 正确.

12. 在题图所示位置时,磁感线与线框平面垂直,  $\Phi = BS$ . 当线框绕  $OO'$  轴转过  $60^\circ$  角时可以将原图改画成从上向下看的俯视图,如图所示.



$$\Phi = BS_{\perp} = BS \cos 60^\circ = \frac{1}{2} BS.$$

转过  $90^\circ$  时,线框由与磁感线垂直变为与磁感线平行,  $\Phi = 0$ .

线框转过  $180^\circ$  时,磁感线仍然垂直穿过线框,只不过穿过的方向改变了,

因而  $\Phi_1 = BS$ ,  $\Phi_2 = -BS$ ,  $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2BS$ , 即磁通量变化了  $2BS$ .

## 限时小练 21 电磁感应现象及应用

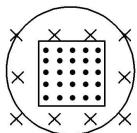
1. A 最先发现电磁感应现象的物理学家是法拉第, A 正确.

2. C 感应电流产生的条件:首先,穿过电路的磁通量必须变化;其次,电路必须闭合, C 正确.

3. C 题图甲中线框绕竖直轴转动时,磁通量发生变化,会产生感应电流,故 A 不符合题意;题图乙中磁感应强度增大时,穿过圆形闭合导线圈的磁通量增大,会产生感应电流,故 B 不符合题意;题图丙中金属棒没有构成闭合回路,所以不会产生感应电流,故 C 符合题意;题图丁中导体棒在水平向右恒力  $F$  作用下紧贴水平固定“U”形金属导轨运动过程中,磁通量发生变化,会产生感应电流,故 D 不符合题意.

4. A 设此时回路面积为  $S$ ,据题意,磁通量  $\Phi = BS \cos \theta$ ,  $S$  增大,  $\theta$  减小,  $\cos \theta$  增大,则  $\Phi$  增大, A 正确;  $B$  减小,  $\theta$  减小,  $\cos \theta$  增大,  $\Phi$  可能不变, B 错误;  $S$  减小,  $B$  增大,  $\Phi$  可能不变, C 错误;  $S$  增大,  $B$  增大,  $\theta$  增大,  $\cos \theta$  减小,  $\Phi$  可能不变, D 错误.

5. C 本题中条形磁铁磁感线的分布如图所示(从上向下看).磁通量是指穿过一个面的磁感线的多少,由于垂直平面向外和垂直平面向里的磁感线要抵消一部分,当弹簧线圈  $P$  的面积扩大时,垂直平面向里的磁感线条数增加,而垂直平面向外的磁感线条数是一定的,故穿过这个面的磁通量将减小,回路中会有感应电流产生, C 正确.



6. D 直导线右侧磁场垂直纸面向里,可知线框内磁感应强度方向垂直纸面向里, A 错误;将线框向右平移,磁

场减弱,则框中磁通量减小, B 错误;电流  $I$  增大过程中,穿过导线框的磁通量增加,则框中有感应电流, C 错误;以导线为轴,顺时针转动线框,穿过导线框的磁通量不变,则框中无感应电流, D 正确.

7. D 闭合线圈中要产生感应电流,则穿过闭合线圈的磁通量要发生改变,分析可知,当线圈由位置 1 运动到位置 2 的过程中,穿过线圈的磁通量增加,从位置 2 运动到位置 3 的过程中,穿过线圈的磁通量不变,从位置 3 运动到位置 4 的过程中,穿过线圈的磁通量减小,因此线圈中能产生感应电流的过程是由位置 1 到位置 2 及由位置 3 到位置 4,故 D 正确.

8. B 由于线圈未闭合,所以不能产生感应电流,故 A 错误;在线圈转动过程中,线圈中的磁通量发生变化,则线圈中会产生感应电流,故 B 正确;线圈向右运动过程中,线圈中磁通量未发生变化,不会产生感应电流,故 C、D 错误.

9. D 将线圈向上平移或者向下平移时,穿过线圈的磁通量不变,没有感应电流产生,故 A、B 错误. 以  $bc$  边为轴转动  $45^\circ$ ,在一段时间内,穿过线圈的磁通量仍为  $\Phi = B \frac{S}{2}$ ,保持不变,没有感应电流产生,故 C 错误. 以  $ad$  边为轴转动  $45^\circ$ ,穿过线圈的磁通量减小,有感应电流产生, D 正确.

10. D 开关断开瞬间,穿过线圈  $B$  的磁通量减少,闭合回路会产生感应电流,电流表指针偏转, A 错误;开关闭合稳定后,由于线圈  $A$  内部的磁感线全部穿过线圈  $B$ ,但是外部的磁感线只有部分穿过线圈  $B$ ,故穿过线圈  $B$  的净磁通量不为 0, B 错误;开关闭合稳定后,向上拔出线圈  $A$  的过程中,穿过线圈  $B$  的磁通量会发生变化,闭合回路会产生感应电流,电流表指针偏转, C 错误;开关闭合稳定后,向右移动滑动变阻器的滑片,线圈  $A$  中的电流发生变化,穿过线圈  $B$  的磁通量会发生变化,闭合回路会产生感应电流,电流表指针偏转, D 正确.

11. B 由条形磁铁磁感线分布可知,线圈在位置 1 有磁感线穿过,在位置 2 线圈平面与磁感线平行即磁通量为 0,在位置 3 有磁感线穿过,线圈从磁铁上方由位置 1 经位置 2 平移到位置 3 的过程中,穿过线圈的磁通量先减小后增大,且在位置 2 时线圈的运动方向与磁感线平行,穿过线圈的磁通量为 0,但感应电流不为 0, B 正确.

12. 要使  $MN$  棒中不产生感应电流,应使穿过线圈平面的磁通量不发生变化,

在  $t=0$  时刻,穿过线圈平面的磁通量

$$\Phi_1 = B_0 S = B_0 l^2,$$

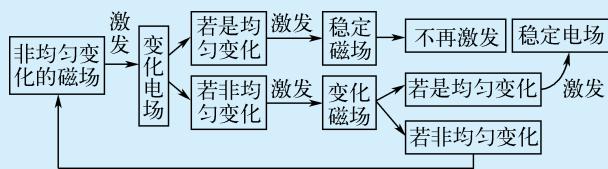
设  $t$  时刻的磁感应强度为  $B$ ,此时穿过线圈平面的磁通量为  $\Phi_2 = Bl(l+vt)$ ,

$$\text{由 } \Phi_1 = \Phi_2 \text{ 得 } B = \frac{B_0 l}{l + vt}.$$

## 限时小练 22 电磁波的发现及应用

1. C 麦克斯韦预言了电磁波的存在,并预言电磁波在真空中的速度为光速,C 正确.

### 知识拓展 电磁波的产生



2. A “神灯”又称红外线灯,主要是用于促进局部血液循环,它利用的是红外线的热效应,使人体局部受热,血液循环加快,A 正确.

3. D 紫外线有很强的荧光效应,能使荧光物质发光,故验钞机发出的是紫外线;而红外线的波长比可见光长,容易绕过障碍物,衍射现象明显,可以很方便地遥控家用电器,D 正确.

4. C 根据  $\lambda = \frac{c}{f}$ , 在真空中传播的电磁波速度相同, 频率越大, 波长越短,A 错误; 机械波在介质中的传播速度由介质决定, 与波的频率无关, 电磁波在介质中的传播速度与介质和波的频率均有关,B 错误; 想要确定雷达和目标的距离需要测出电磁波从发射到被雷达接收的

时间  $t$ , 再根据  $x = c \cdot \frac{t}{2}$  求解距离,C 正确; 电磁波是横波, 电磁波在真空中自由传播时, 其传播方向与电场强度、磁感应强度的方向均垂直,D 错误.

5. C 赫兹首先用实验证实了电磁波的存在, 故 A 错误; 在真空中电磁波的传播速度等于真空中的光速, 故 B 错误; 周期性变化的电场才能形成电磁波, 均匀变化的电场只能产生恒定的磁场, 将不能产生电磁波, 故 C 正确; 电磁波在真空中也能传播, 故 D 错误.

### 6. B

A	无论是电磁波还是声波,都可以传递能量和信息	×
B	手机通话时,打电话人的手机将声波转化成电磁波,接收者的手机再将电磁波转换成声波	√
C	太阳光中的可见光和医院“B 超”中的超声波的传播速度不相同	×
D	遥控器发出的红外线频率和医院“CT”中的 X 射线频率不同,则它们的波长也不相同	×

7. B 由麦克斯韦电磁场理论知, 均匀变化的磁场才能产生稳定的电场,B 正确.

8. A 医院里常用紫外线对病房和手术室进行消毒,A 错误;  $\gamma$  射线具有较强的穿透性, 故工业上利用  $\gamma$  射线检查金属部件内部有无裂缝,B 正确; 因为紫外线波长短,

分辨率高, 所以刑侦上用紫外线拍摄指纹照片,C 正确; 因为红外线的波长较长, 衍射能力较强, 所以卫星利用红外遥感技术拍摄云图照片,D 正确.

9. A 电磁炉是利用电磁感应原理和电流的热效应来工作的, 故 A 错误; 微波是电磁波的一部分, 食物分子在微波的作用下剧烈震动, 内能增大, 温度升高, 达到加热的目的, 故 B 正确; 雷达是利用电磁波的反射来侦测目标的, 故 C 正确; 不同温度的物体发出的红外线特征不同, 夜视仪是利用红外线来帮助人们在夜间看见物体的, 故 D 正确.

10. C 可见光中紫光的频率最大而波长最短, 而紫外线的频率比紫光更大, 故紫外线的波长比紫光更短,A 错误; 电磁波可以在真空中传播,B 错误; 在电磁波谱中, 频率最高的是  $\gamma$  射线,C 正确; 紫外线能使荧光物质发光, 可以用于防伪, 而不是红外线,D 错误.

11. C 电磁波的传播速度是光速, 频率波长速度的关系是  $c = \lambda f$ , 所以  $\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{90 \times 10^6} \text{ m} = 3.33 \text{ m}$ , C 正确.

### 12. 增强 减弱

解析: 因为是隐形飞机, 为了有效避开雷达的探测, 就必须减少反射的电磁波, 因此这种材料必须能够增强对电磁波的吸收作用, 而飞机的表面制成特殊形状以便能够减弱电磁波的反射.

### 13. 麦克斯韦 $5 \times 10^2$

解析: 麦克斯韦提出变化的电场产生磁场, 变化的磁场产生电场, 由此变化的电场和变化的磁场交替产生, 由近及远地传播出去, 形成电磁波, 赫兹用实验证明了电磁波的存在. 电磁波的速度和频率之间的关系是  $c = \lambda f$ , 得  $\lambda = \frac{c}{f} = 5 \times 10^2 \text{ m}$ .

### 14. 60 0.1

解析: 由  $s = c \Delta t = 1.2 \times 10^5 \text{ m} = 120 \text{ km}$ . 这是电磁波往返的路程, 所以目标到雷达的距离为 60 km. 由  $c = \lambda f$  可得  $\lambda = 0.1 \text{ m}$ .

## 限时小练 23 能量量子化

1. A 随温度的升高, 各波长辐射强度都增加, 辐射强度的极大值向波长较短的方向移动,A 正确.

2. A 根据  $E = h\nu$ ,  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  得  $E = h \frac{c}{\lambda}$ , A 正确.

3. C 黑体热辐射的强度与波长有关, 故 A 错误; 任何温度下的物体都会发出一定的热辐射, 故 B 错误; 根据黑体辐射实验规律可得, 一定温度下黑体辐射强度随波长的分布有一个极大值, 黑体热辐射强度的极大值随温度的升高向波长较小的方向移动, 故 C 正确,D 错误.

4. D 两束能量相同的色光, 都垂直地照射到物体表面, 在相同时间内打在物体表面的光子数之比为 5 : 4, 可得两束光光子能量之比为 4 : 5; 由  $\epsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda}$  知, 光

子能量与波长成反比,故两束光波长之比为5:4,D正确.

5. B 由光子的能量公式,即 $E=h\nu$ ,可知频率越大的光子能量越大,光子的能量与光子的强度无关,而根据公

式 $\nu=\frac{c}{\lambda}$ ,可得波长越长,光子的频率越小,B正确.

6. C 每秒内该光源发光的能量 $E_{\text{光源}}=Pt=1\times10^{-3}\text{ J}$ ,而波长为 $\lambda$ 的光子的能量为 $\epsilon=h\nu=\frac{hc}{\lambda}$ ,则每秒钟发射

的光子数为 $n=\frac{E_{\text{光源}}}{\epsilon}=\frac{E_{\text{光源}}\lambda}{hc}$ ,解得 $2.5\times10^{15}\leq n\leq3.0\times10^{15}$ ,故C正确.

7. C 根据量子化的理论,带电微粒辐射和吸收的能量,只能是某一最小能量值的整数倍,A、B正确;带电粒子辐射和吸收的能量不是连续的,是量子化的,C错误,D正确.

### 8. C

A	测温枪能测温度是因为温度不同的人体辐射的红外线存在差异	×
B	用于杀菌消毒的是紫外线,不是红外线	×
C	根据电磁波谱可知,红外线是波长比紫外线长的电磁波	✓
D	普朗克最早提出“热辐射是一份一份的、不连续的”观点	×

9. C 光子能量与频率有关,一个光子能量为 $E=h\nu$ ( $h$ 为普朗克常量),则 $N$ 个光子的能量为 $Nh\nu$ ,C正确.

10. B 每个光子的能量为 $E_0=h\nu$ ,能引起人的眼睛视觉效应的最小能量 $E=10^{-18}\text{ J}$ ,由 $E=nE_0$ 得能引起人眼的感觉时进入人眼的光子数 $n=\frac{E}{E_0}=\frac{E}{h\nu}=\frac{10^{-18}}{6.63\times10^{-34}\times6\times10^{-14}}=3$ (个),B正确.

11. 由 $E=h\nu$ 可知, $E=h\frac{c}{\lambda}=9.945\times10^{-19}\text{ J}=6.22\text{ eV}$ .

12. (1) 频率最高的光子,是氢原子由 $n=4$ 跃迁到 $n=1$ 时发出的,即 $\Delta E=E_4-E_1=-0.85\text{ eV}-(-13.6)\text{ eV}=12.75\text{ eV}$ .

(2) 波长最长的光子,即能量最小的光子,是氢原子由 $n=4$ 跃迁到 $n=3$ 时发出的, $\Delta E'=E_4-E_3=-0.85\text{ eV}-(-1.51)\text{ eV}=0.66\text{ eV}$ , $\Delta E'=0.66\times1.6\times10^{-19}\text{ J}=1.056\times10^{-19}\text{ J}$ .

由能量子可知 $\Delta E'=\frac{hc}{\lambda}$ ,则 $\lambda=\frac{hc}{\Delta E'}=\frac{6.63\times10^{-34}\times3\times10^8}{1.056\times10^{-19}}\text{ m}=1.9\times10^{-6}\text{ m}$ .

## 阶段提优 6 磁场与电磁感应综合应用

1. D 根据磁体外部的磁感线从N极到S极,可知A、B

错误;根据安培定则可知,直导线中电流向下,则磁感线的方向(俯视)沿顺时针方向,C错误;根据安培定则,环形导线的电流方向与磁感线的方向关系如题图所示,D正确.

2. B 由安培定则判断知左、右两个线圈产生磁场,均可等效为上端是N极、下端是S极的磁铁,根据磁感线的特点,磁感线在磁体的外部从N极到S极,由对称性知铁环中心O处的磁场方向向下,B正确.

3. B 由安培定则可知,a导线在c处产生的磁场 $B_1$ 的方向为垂直ac斜向左下;b导线在c处产生的磁场 $B_2$ 的方向为垂直bc斜向右下;磁感应强度大小相等,由几何关系可知, $B_1$ 与 $B_2$ 成 $60^\circ$ 夹角,由平行四边形定则可知, $B_1$ 与 $B_2$ 的合磁感应强度方向向下,B正确.

4. A P、Q中的电流在a点产生的磁感应强度大小相等,设为 $B_1$ ,由几何关系可知, $2B_1\cos 30^\circ=B_0$ ,则 $B_1=\frac{\sqrt{3}}{3}B_0$ .如果让P中的电流反向,其他条件不变,由几何关系可知,a点处磁感应强度的大小 $B=\sqrt{B_0^2+(2B_1\cos 60^\circ)^2}=\sqrt{B_0^2+B_1^2}=\frac{2\sqrt{3}}{3}B_0$ ,A正确.

5. C 当通过闭合回路的磁通量不变时,MN棒中不产生感应电流,有 $B_0l^2=Bl\left(l+\frac{1}{2}at^2\right)$ ,整理得 $B=\frac{2B_0l}{2l+at^2}$ ,故C正确.

6. D 由于直线电流的磁场是垂直导线的同心圆,故只要L与M保持垂直,穿过金属环M的磁通量就为零,保持不变,环中无感应电流产生,D正确.

7. C 根据右手螺旋定则可知, $I_1$ 在M点的磁场垂直 $I_1$ 与M点的连线斜向右下方, $I_2$ 在M点的磁场垂直 $I_2$ 与M点连线斜向左下方,又因 $I_1>I_2$ ,所以 $I_1$ 的磁感应强度大于 $I_2$ 的磁感应强度,所以两电流在M点的磁感应强度的方向应该在b方向的右侧,可能为图中的c方向,C正确.

8. B 由右手螺旋定则可知,右侧金属圆环在A处产生的磁场垂直纸面向外,左侧金属圆环在A处产生的磁场垂直纸面向外,故A点的磁场垂直纸面向外,即小磁针稳定后N极沿垂直纸面向外的方向,而S极应垂直纸面向里,B正确.

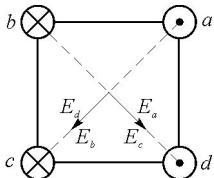
9. C 因为电流恒定,且a、b、c、d四个点与通电直导线的距离相等,所以通电直导线在四个点处产生的磁场磁感应强度大小相等,根据右手定则可判断通电直导线产生的磁场为逆时针方向,根据矢量的叠加法则,在c点产生的磁感应强度和匀强磁场同向,则磁感应强度最大,C正确.

10. D 穿过两个线框的磁通量都先增大后减小,A错误;两个线框闭合且穿过线框的磁通量变化,所以都会产生感应电流,B错误;在条形磁铁内部,磁感线从S极

指向N极,而在磁体外部,磁感线是从N极指向S极,线圈越大,抵消部分越多,故穿过大线框的磁通量小于穿过小线框的磁通量,D正确,C错误.

11. A 导线框向右运动时,ab、dc边分别与左侧导轨构成闭合回路,且磁通量增加,闭合回路中会产生感应电流,因此两电流表G<sub>1</sub>和G<sub>2</sub>中都有电流通过,故A正确,B、C、D错误.

12. C 根据右手螺旋定则,各电流产生的磁场的方向如图,b、d导线电流产生的磁场都沿左下方,a、c导线产生的磁场都沿右下方,由于各电流产生的磁场的大小都是B,所以合磁场的方向向下,大小为 $2\sqrt{2}B$ ,C正确.



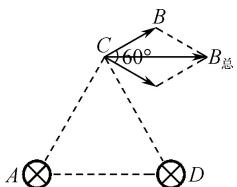
#### 技巧点拨 磁场的叠加

根据导线周围磁场分布可知,与导线等距离的地方磁感应强度大小相等,根据安培定则判断出各导线在中心的磁场方向,磁感应强度B是矢量,根据矢量分解与合成的平行四边形定则求解,因此正确根据安培定则判断导线周围磁场方向是解题的前提.

## 章末提优5

1. C 由题知,与4G相比,5G通信使用的电磁波频率更高,已知电磁波的波长与频率的关系为 $\lambda=\frac{c}{f}$ ,由此可知5G使用的电磁波波长更短,A错误;已知能量子的能量 $\epsilon=h\nu$ ,则与4G相比,5G使用的电磁波能量子的能量更大,C正确,B错误;电磁波的传播速度与光速相等,为 $c=3\times10^8\text{ m/s}$ ,D错误.

2. D 根据安培定则可知,导线A在C处产生的磁场方向垂直于AC斜向右下,导线D在C处产生的磁场方向垂直于CD斜向右上,如图所示,根据平行四边形定则知,C处的合磁感应强度为 $B_{\text{总}}=2B\cos 30^{\circ}=\sqrt{3}B$ ,D正确.



3. C 由安培定则可判断上边环形电流在O点处产生磁场的方向垂直纸面向里,下边环形电流在O点处产生磁场的方向垂直纸面向外,所以两环形支路在O点产生的磁场的方向相反,两环形支路的电流相等,两环形支路关于直径AB对称,所以O点处的磁感应强度为零,故C正确.

4. C 电磁波即为光波,则波长为 $\lambda=\frac{c}{f}=3.0\times$

$10^{-7}\text{ m}=300\text{ nm}$ ,故A错误;波长为300 nm的光属于紫外线,具有化学作用如消毒杀菌,生理作用如适量的紫外线照射能促进钙的吸收,但不具有显著的热效应,且紫外线过强会伤害眼睛和皮肤,故防护头盔的作用不仅为了防止火星溅到头上,且保护眼睛不被紫外线伤害,故B、D错误,C正确.

5. C 量子是不可分割的最小的单元,体现了物质的不连续性,即通常所说的“量子化”,C正确.

6. C 产生感应电流的条件是穿过闭合电路的磁通量发生变化,而穿过a、b圆环的磁通量始终为零,因此当导线中电流增大时,穿过a、b圆环的磁通量没有变化,所以两环中没有感应电流产生,C正确.

7. C 每个光子的能量 $\epsilon=h\nu=h\frac{c}{\lambda}$ ,激光器在每分钟内发出的能量 $E=W=60P$ ,故激光器每分钟发射的光子数为 $n=\frac{E}{\epsilon}=\frac{60P}{h\frac{c}{\lambda}}=\frac{60P\lambda}{hc}$ ,C正确.

8. B 由题意知,该通道在磁针位置所产生的磁场方向垂直于纸面向里,由右手螺旋定则可以判断出电流的方向应该是由A流向B,所以A带的是正电荷,B带的是负电荷,B正确.

9. C 线圈在位置B和位置C时都不与磁场垂直,而当线圈与磁场垂直时,穿过线圈的磁通量最大,所以线圈由位置B到位置C的过程中,穿过线圈的磁通量先变大后变小,C正确.

10. A 若ab、cd均向右运动, $v_1=v_2$ ,穿过回路的磁通量没有变化,不产生感应电流,A符合题意;若ab、cd均向右运动, $v_1>v_2$ ,穿过回路的磁通量增大,将产生感应电流,B不符合题意;若ab、cd均向左运动, $v_1>v_2$ ,穿过回路的磁通量减小,将产生感应电流,C不符合题意;若ab向右运动,cd向左运动,穿过回路的磁通量增大,将产生感应电流,D不符合题意,故应选A.

11. A 设L<sub>1</sub>中的电流在a、b两点产生的磁感应强度大小为B<sub>1</sub>,L<sub>2</sub>中的电流在a、b两点产生的磁感应强度大小为B<sub>2</sub>,由安培定则可知,L<sub>1</sub>中的电流在a点产生的磁场方向垂直于纸面向里,L<sub>2</sub>中的电流在a点产生的磁场方向垂直于纸面向里;L<sub>1</sub>中的电流在b点产生的磁场方向垂直于纸面向里,L<sub>2</sub>中的电流在b点产生的磁场方向垂直于纸面向外,根据已知条件可知 $B_0-(B_1+B_2)=\frac{B_0}{3}$ , $B_0-B_1+B_2=\frac{B_0}{2}$ ,联立解得 $B_1=7B_0$ , $B_2=\frac{B_0}{12}$ ,故A正确.

12. (1) 紫外线 0.3 (2) 有 有 无

解析:高温物体发射紫外线,由 $c=\lambda f$ 可知 $\lambda=\frac{c}{f}=\frac{3\times10^8}{1.0\times10^{15}}\text{ m}=3\times10^{-7}\text{ m}=0.3\text{ }\mu\text{m}$ .

13. 由  $c=\lambda f$  得,

$$f_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3 \times 10^8}{50} \text{ Hz} = 6 \times 10^6 \text{ Hz},$$

$$f_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3 \times 10^8}{100} \text{ Hz} = 3 \times 10^6 \text{ Hz},$$

所以频率范围为  $3 \times 10^6 \sim 6 \times 10^6 \text{ Hz}$ .

$$\text{传播时间 } t = \frac{x}{c} = \frac{1500 \times 10^3}{3 \times 10^8} \text{ s} = 5 \times 10^{-3} \text{ s}.$$

14. 线框穿过磁场的过程可分为三个阶段,进入磁场阶段(只有  $ab$  边在磁场中)、在磁场中运动阶段( $ab, cd$  两边都在磁场中)、离开磁场阶段(只有  $cd$  边在磁场中). 取穿过线框的磁通量以垂直纸面向里为正方向,则:

(1) 线框进入磁场阶段: 在  $0 \sim \frac{L}{v}$  时间内, 线框进入磁场

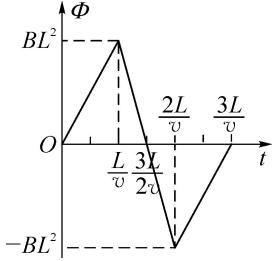
中的面积线性增加,  $S=Lvt$ , 全部进入磁场时穿过线框的磁通量为  $\Phi=BS=BL^2$ .

(2) 线框在磁场中运动阶段: 在  $\frac{L}{v} \sim \frac{3L}{2v}$  时间内, 穿过线框的磁通量逐渐减小为零.

(3) 线框在磁场中运动阶段: 在  $\frac{3L}{2v} \sim \frac{2L}{v}$  时间内, 穿过线框的磁通量反向增加, 最后为  $-BL^2$ .

(4) 线框离开磁场阶段: 在  $\frac{2L}{v} \sim \frac{3L}{v}$  时间内, 穿过线框的磁通量逐渐减小, 最后为零.

$\Phi-t$  图像如图所示.



15. 根据安培定则, 画出三根导线分别在  $O$  点的磁场方向, 如图所示. 设  $L_1$  在  $O$  点产生的磁感应强度大小为

$$B_1 = k \frac{2I}{a} = \frac{2kI}{a}, \text{ 方向沿 } x \text{ 轴负方向.}$$

设  $L_2$  在  $O$  点产生的磁感应强度大小为  $B_2$ , 则有  $B_2 =$

$$k \frac{2I}{\sqrt{2}a} = \frac{\sqrt{2}kI}{a}, \text{ 方向与 } x \text{ 轴负方向成 } 45^\circ \text{ 角.}$$

设  $L_3$  在  $O$  点产生的磁感应强度大小为  $B_3$ , 则有  $B_3 =$

$$k \frac{I}{a}, \text{ 方向沿 } y \text{ 轴正方向.}$$

先将  $B_2$  正交分解, 则沿  $x$  轴负方向的分量大小

$$B_{2x} = \frac{\sqrt{2}kI}{a} \cos 45^\circ = \frac{kI}{a},$$

沿  $y$  轴负方向的分量大小

$$B_{2y} = \frac{\sqrt{2}kI}{a} \sin 45^\circ = \frac{kI}{a}.$$

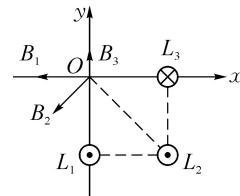
故  $x$  轴方向的合磁感应强度大小

$$B_x = B_1 + B_{2x} = \frac{3kI}{a}, \text{ 方向沿 } x \text{ 轴负方向.}$$

$y$  轴方向的合磁感应强度大小

$$B_y = -B_{2y} + B_3 = 0,$$

故最终的合磁感应强度大小  $B = B_x = \frac{3kI}{a}$ , 方向沿  $x$  轴负方向.



### 真题小练

1. B 微波是电磁波中按波长分类波长较小的一种, 微波是指波长在  $10^{-3} \text{ m}$  到  $10 \text{ m}$  之间的电磁波, 故 A 正确; 电磁波的传播不需要介质, 故 B 错误; 黑体的热辐射属于电磁辐射, 故 C 正确; 普朗克在研究黑体的热辐射问题中提出了能量子假说, 故 D 正确.

2. A 根据磁通量的定义, 当  $B$  垂直于  $S$  时, 穿过线圈的磁通量为  $\Phi=BS$ , 其中  $S$  为有磁感线穿过区域的面积, 所以题图中  $a, b$  两线圈的磁通量相等, 故 A 正确.

3. 电磁波在月壤中的传播速度满足  $v=\lambda f$ ,

根据题意可知

$$2d = v \cdot \Delta t,$$

联立解得月壤层的厚度为  $d = \frac{\lambda f}{2} \Delta t$ .

4. 每个光子的能量为

$$E_0 = h\nu = h \frac{c}{\lambda},$$

每个激光脉冲的能量为  $E$ , 则每个脉冲中的光子个数为

$$N = \frac{E}{E_0},$$

联立解得  $N = 5 \times 10^{16}$  个.