

# KEYS 参考答案 (听课手册)

## 专题一 力与运动

### 第1讲 力与物体的平衡

#### 题型1

##### 真题再现

1. A 【解析】由弹簧测力计的示数为 4.9 N 可知细绳对物体的拉力大小也为 4.9 N, 刚好等于物体的重力沿斜面向下的分力, 因此物体在重力、绳子的拉力和斜面的支持力下能够保持平衡状态, 斜面对物体的摩擦力为零, 故选项 A 正确, 选项 B 错误; 由平衡条件, 斜面对物体的支持力  $F_N = mg \cos 30^\circ = 4.9\sqrt{3}$  N, 方向垂直于斜面向上, 故选项 C、D 错误。
2. BD 【解析】对物块 a, 由二力平衡知, 绳的拉力等于物块 a 的重力, 大小保持一定, 轻滑轮两侧绳子拉力大小方向一定, 对结点 O', 由三力平衡可得绳 OO' 的张力一定, 选项 A、C 错误; 设 F 与水平方向的夹角为  $\alpha$ , 连接物块 b 的绳子拉力 T 与水平方向夹角为  $\beta$ , 对物块 b, 由平衡条件, 有  $T \sin \beta + F \sin \alpha + N = mg$  和  $T \cos \beta - F \cos \alpha + f = 0$ , 物块 b 所受到的支持力和物块与桌面间的摩擦力随 F 变化而变化, 选项 B、D 正确。

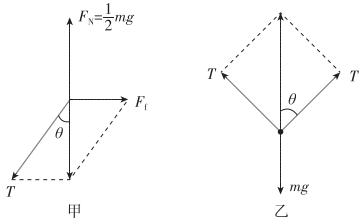
##### 模拟精选

1. A 【解析】设球的质量为 m, 当球以 AB 沿水平方向放置时, 可知  $F = \frac{1}{2}mg$ , 当球以 AB 沿竖直方向放置时, 隔离右半球受力分析, 可得  $F' = \frac{mg}{2} \tan \theta$ , 根据支架间的距离为 AB 长度的一半, 可得  $\theta = 30^\circ$ , 则  $\frac{F'}{F} = \frac{1}{\tan \theta} = \sqrt{3}$ , A 正确。
2. ABD 【解析】设悬挂小滑轮的细线中的张力为  $T_1$ , O'a 细线的拉力为 T, 则有  $2T \cos 30^\circ - T_1 = 0$ , 解得  $T = 20$  N, 又有  $T = m_A g$ , 可得  $m_A = 2$  kg, 故 B 正确; 以结点 O' 为研究对象, 受力如图所示, 根据平衡条件可知, 弹簧的弹力为  $F_1 = T \cos 60^\circ = 10$  N, 故 A 正确; 细线 O'b 的拉力为  $F_2 = T \sin 60^\circ = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2}$  N =  $10\sqrt{3}$  N, 因为拉力  $F_2$  与摩擦力大小相等, 所以桌面对 B 物体的摩擦力为  $10\sqrt{3}$  N, 故 C 错误; 由于小滑轮两侧细线的拉力大小相等, 根据对称性可知, 细线 OP 与水平方向的夹角为  $60^\circ$ , 故 D 正确。
3. D 【解析】细绳的拉力  $T = m_A g \sin \alpha$ , 仅增大角  $\alpha$ , 细绳的拉力变大, 但因开始时 B 所受的摩擦力方向不能确定, 则不能断定物块 B 所受的摩擦力增大, 选项 A 错误; 仅增大角  $\alpha$ , 物块 B 对三棱柱体的压力仍等于  $m_B g \cos \beta$ , 不变, 选项 B 错误; 仅增大角  $\beta$ , 绳子的拉力仍为  $T = m_A g \sin \alpha$ , 不变, 选项 C 错误; 对 A、B 两物块以及三棱柱体整体而言, 地面对三棱柱体的支持力等于整体的重力, 则仅增大角  $\beta$ , 地面对三棱柱体的支持力不变, 选项 D 正确。

#### 题型2

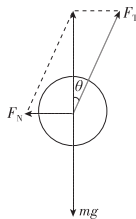
##### 真题再现

1. AB 【解析】绳的右端上下移动及改变绳子两端高度差都不会改变两部分绳间的夹角, A 正确, C 错误; 两绳间的夹角与衣服的质量大小无关, D 错误; 将杆 N' 向右移一些, 两部分绳间的夹角变大, 绳子拉力变大, B 正确。
2. B 【解析】将 A、B 两个轻环、绳和书本视为整体, 整体受到竖直向下的重力和竖直向上的支持力作用, 两个支持力大小之和等于重力大小,  $F_N = \frac{1}{2}mg$ , 大小保持不变, A 错误; 对 B 环进行受力分析, 如图甲所示,  $F_1 = F_N \tan \theta = \frac{1}{2}mg \tan \theta$ , 两环距离变小,  $\tan \theta$  减小,  $F_1$  变小, B 正确; A 环受力与 B 环类似, 杆对环的力为支持力  $F_N$  和摩擦力  $F_1$  的合力, 该合力与 T 等大反向,  $T = \frac{F_N}{\cos \theta}$ , 当  $\theta$  发生变化时, T 发生变化, C 错误; 对书本进行受力分析, 如图乙所示,  $T \cos \theta = \frac{1}{2}mg$ , 两环距离变小,  $\cos \theta$  变大, 细绳的拉力变小, D 错误。



##### 模拟精选

1. D 【解析】球的受力如图所示, 可知绳子的拉力与球的重力不是一对平衡力, 选项 A 错误; 墙对球的支持力和球对墙的压力为一对作用力与反作用力, 选项 B 错误; 根据平衡条件可知,  $F_T = \frac{mg}{\cos \theta}$ ,  $F_N = mg \tan \theta$ , 若增加悬绳的长度, 则  $\theta$  变小, 可知拉力  $F_T$  将会减小, 支持力  $F_N$  将会减小, C 错误, D 正确。



2. C 【解析】先对 B 分析, 其受重力、墙的支持力和 A 的支持力, 根据平衡条件, 三个力可以构成首尾相连的矢量三角形, 如图所示, 加上 C 物体, 相当于 B 的重力增大了, 故墙对 B 的作用力  $F_1$  增大, A 对 B 的支持力  $F_2$  增大, 根据牛顿第三定律, B 对 A 的作用力  $F_2$  增大, 对 A、B、C 整体受力分析, 其受重力、地面的支持力和静摩擦力、墙的支持力, 根据平衡条件, 地面的支持力等于整体的重力, 故加上 C 物体后, 地面的支持力  $F_3$  变大, 故 A、B、D 错误, C 正确。
3. D 【解析】小球受到重力、斜面的支持力、挡板的弹力, 在挡板旋转的过程中, 重力的大小、方向都不变, 支持力的大小发生变化, 方向不变, 因此可以用矢量三角形进行求解, 如图所示, 在矢量三角形中, 三角形边长的大小代表了力的大小, 因此通过图可以看到在挡板旋转过程中, 斜面的支持力  $F_1$  变小, 挡板的弹力  $F_2$  先变小后变大, A、B、C 错误, D 正确。

#### 题型3

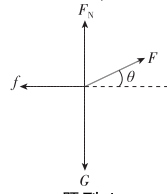
##### 典例精析

例 题 A 【解析】对结点 O 受力分析, 其受三根绳的拉力, 根据平衡条件得, 水平和竖直两绳拉力的合力与 OA 绳的拉力等大反向, 由平行四边形定则可知, 三根绳中 OA 绳的拉力最大, 在水平拉力逐渐增大的过程中, OA 绳先断, 选项 A 正确。

变式 1 C 【解析】开始时斜面对物块 B 恰无弹力, 由对称性知外力  $F = mg = 10$  N, 对物块 B 运用平衡条件知  $m_0 g = 2F \cos \theta$ , 故  $m_0 = \sqrt{3}$  kg, A 错误; 保持外力 F 大小不变, 将它沿顺时针方向转至与斜面平行的过程中, 它沿斜面向上的分量增大, 垂直于斜面的分量减小, 而轻绳的拉力一定, 因此斜面的支持力增大, 此时斜面对物块 B 还会产生一个沿斜面向下的摩擦力, 且摩擦力随角  $\theta$  的增大而增大, B 错误, C 正确; 当外力转至与斜面平行时, 由平衡条件知  $F_N + mg = m_0 g \cos \theta$ ,  $m_0 g \sin \theta + \mu F_N \geq F$ , 联立解得  $\mu \geq 0.268$ , D 错误。

变式 2 BCD 【解析】对小球受力分析, 小球受到重力 G、绳子的拉力 T 和拉力 F 三个力作用处于平衡状态, 由平衡条件可得, F 与 T 的合力跟 G 等大反向, 由几何关系可得, 要使 F 最小, F 应与绳垂直, 此时  $\theta = 60^\circ$ , 拉力 F 的最小值  $F_{\min} = mg \cos 60^\circ = \frac{1}{2}mg = 2.5$  N, 绳子的拉力  $T = mg \sin 60^\circ = \frac{5\sqrt{3}}{2}$  N, 故 A 错误, B 正确; 若使力 F 顺时针转动, 绳的拉力一定变大, 故 C 正确; 若使力 F 逆时针转动, 拉力 F 最大值等于小球的重力, 为 5 N, 故 D 正确。

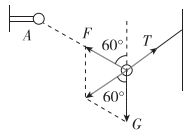
变式 3 D 【解析】对旅行箱受力分析, 如图所示, 根据平衡条件, 水平方向, 有  $F \cos \theta - f = 0$ , 竖直方向, 有  $F_N + F \sin \theta - G = 0$ , 其中  $f = \mu F_N$ , 故  $F = \frac{\mu G}{\cos \theta + \mu \sin \theta}$ , 令  $\mu = \tan \alpha$ , 则  $F = \frac{G \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta)}$ , 当  $\alpha - \theta = 0^\circ$  时, F 有最小值,  $F_{\min} = G \sin \alpha = 90$  N, 此时  $\alpha = 37^\circ$ , 则  $\mu = \tan 37^\circ = 0.75$ ,  $\theta = 37^\circ$ , 故 D 正确。



#### 题型4

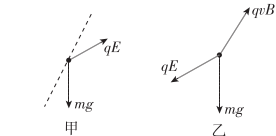
##### 真题再现

1. B 【解析】A 对 B 的库仑力  $F = k \frac{Q_A Q_B}{r^2} = 2$  N, B 的重力  $G = mg = 2$  N, 因 F 与 G 大小相等, 两力方向的夹角为  $120^\circ$ , 所以 F 与 G 的合力方向与 G 方向的夹角为  $60^\circ$ , 由受力平衡可知, 细线与竖直方向的夹角为  $60^\circ$ , 故选项 B 正确。
2. D 【解析】两细绳都与天花板垂直, 表明两小球整体在水平方向上受力平衡, 两小球带等量异种电荷, 两小球之间的库仑力是引力, 由于正电荷受电场力方向与匀强电场方向相同, 负电荷受电场力方向与匀强电场方向相反, 故 Q 带正电荷, P 带负电荷, D 正确。

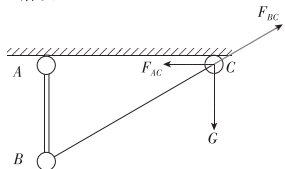


### ● 模拟精选

- C **【解析】** 设两球的电荷量均为  $Q$ , 弹簧的劲度系数为  $k_0$ , 由平衡条件可得  $\frac{kQ^2}{(L_0+\Delta L)^2}=k_0\Delta L$ , 当两球的电荷量均增为原来的两倍时, 设弹簧伸长量为  $\Delta L'$ , 有  $\frac{4kQ^2}{(L_0+\Delta L')^2}=k_0\Delta L'$ , 联立可得  $\frac{\Delta L'}{\Delta L}=\frac{4(L_0+\Delta L)^2}{(L_0+\Delta L')^2}$ , 因增大电荷量时距离增大, 有  $(L_0+\Delta L)^2<(L_0+\Delta L')^2$ , 故有  $\frac{\Delta L'}{\Delta L}<\frac{4(L_0+\Delta L)^2}{(L_0+\Delta L')^2}=4$ , 即  $\Delta L'<4\Delta L$ , 故 C 正确.
- C **【解析】** 小球做匀速直线运动, 受到的合力为零, 假设小球带正电, 则小球的受力情况如图甲所示, 小球受到的洛伦兹力沿虚线但方向未知, 小球受到的重力和电场力的合力与洛伦兹力不可能平衡, 小球不可能做匀速直线运动, 假设不成立, 故小球一定带负电, 选项 B 错误; 小球的受力情况如图乙所示, 小球受到的洛伦兹力一定斜向右上, 根据左手定则, 匀强磁场的方向一定垂直于纸面向里, 选项 A 错误; 根据几何关系, 电场力大小  $qE=mg$ , 洛伦兹力大小  $qvB=\sqrt{3}mg$ , 解得  $E=\frac{mg}{q}$ ,  $B=\frac{\sqrt{3}mg}{qv}$ , 选项 C 正确, D 错误.



- C **【解析】** 根据题意可知  $\angle ACB=30^\circ$ , 对 C 球受力分析如图所示, 设  $L_{AB}=L$ , 有  $F_{AC}=k\frac{Q_AQ_C}{(\sqrt{3}L)^2}$ ,  $F_{BC}=k\frac{Q_BQ_C}{(2L)^2}$ , 已知  $\frac{Q_A}{Q_B}=\frac{3\sqrt{3}}{8}$ , 则  $F_{AC}=F_{BC}\cos 30^\circ$ , 因此 C 球恰好不受摩擦力, 选项 A 错误; 由于 A 对 B 的力沿竖直方向, C 对 B 的力是斜向左下的库仑力, 因此杆对 B 球有弹力, 选项 B 错误; 缓慢将 C 球向右移动, 则 B、C 间的库仑斥力减小, 同时  $F_{BC}$  与水平方向的夹角变小, 即竖直方向的分量变小, 且小于重力, 因此小球 C 无法保持静止, 选项 C 正确; 缓慢将 C 球向左移动, 则  $F_{BC}$  在竖直方向的分量变大, 因此 C 球会受到天花板的弹力, 在水平方向会有静摩擦力, 因此 C 球有可能保持平衡, 选项 D 错误.



- B **【解析】** 根据左手定则可知, 当开关闭合后, 线框底边受到的安培力向上, 则弹簧测力计示数减小, 选项 A 错误, B 正确; 开关闭合后, 若向右移动滑动变阻器滑片, 则滑动变阻器接入电路的阻值变大, 电流减小, 安培力减小, 弹簧测力计示数增大, 而若向左移动滑动变阻器滑片, 则弹簧测力计示数减小, 故 C 错误; 电源正、负极调换后, 闭合开关, 安培力方向向下, 弹簧测力计示数增大, D 错误.

## 第 2 讲 匀变速直线运动

### 题型 1

#### ● 真题再现

- C **【解析】** 要使运动时间最短, 应先以最大加速度加速运动到最大速度, 再以最大速度匀速运动, 最后以最大加速度减速运动到速度为 0, 故升降机先加速上升, 加速上升的位移为  $h_1=\frac{v^2}{2a}=32\text{ m}$ , 最后减速上升的位移  $h_3=h_1=32\text{ m}$ , 中间匀速上升的位移  $h_2=h-h_1-h_3=40\text{ m}$ , 所以最短时间  $t=t_1+t_2+t_3=\frac{2h_1}{v}+\frac{h_2}{v}+\frac{2h_3}{v}=21\text{ s}$ , C 正确.
- A **【解析】** 由  $E_k=\frac{1}{2}mv^2$  可知, 速度变为原来的 3 倍. 设加速度为  $a$ , 初速度为  $v$ , 则末速度为  $3v$ . 由速度公式  $v_t=v_0+at$  得  $3v=v+at$ , 解得  $at=2v$ ; 由位移公式  $s=v_0t+\frac{1}{2}at^2$  得  $s=vt+\frac{1}{2}\cdot at\cdot t=vt+\frac{1}{2}\cdot 2v\cdot t=2vt$ , 进一步求得  $v=\frac{s}{2t}$ ; 所以  $a=\frac{2v}{t}=\frac{2}{t}\cdot\frac{s}{2t}=\frac{s}{t^2}$ , A 正确.

#### ● 模拟精选

- C **【解析】** 由匀加速直线运动规律可知, 一段时间内的平均速度等于该段时间中间时刻的瞬时速度, 结合题意可知,  $v_{3.5}-v_{1.5}=6\text{ m/s}$ , 时间间隔  $t=2\text{ s}$ , 因此加速度为  $a=\frac{v_{3.5}-v_{1.5}}{t}=3\text{ m/s}^2$ , 故 C 正确.
- C **【解析】** 设加速度为  $a$ , 由  $\Delta x=at^2$  得  $a=\frac{5-7}{1}\text{ m/s}^2=-2\text{ m/s}^2$ , 根据位移与时间关系可知, 第 1 s 内的位移为  $x_1=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ , 解得  $v_0=8\text{ m/s}$ , 刹车时间为  $t_1=\frac{0-v_0}{a}=\frac{0-8}{-2}\text{ s}=4\text{ s}$ , 刹车后 5 s 时汽车已停止运动, 则汽车的位移  $x=\frac{v_0}{2}t_1=\frac{8}{2}\times 4\text{ m}=16\text{ m}$ , 故 C 正确.

### 题型 2

#### ● 真题再现

- C **【解析】** 月球上没有空气阻力, 羽毛做自由落体运动, 所以  $h=\frac{1}{2}at^2$ ,

其中  $a=\frac{g}{6}$ , 解得  $t=3.5\text{ s}$ , C 正确.

- (1)  $\frac{50}{11}\text{ m}$  (2)  $0-\frac{10}{11}\text{ J}$  (3)  $\frac{10}{11}\text{ s}$   $\frac{10\sqrt{11}}{33}\text{ s}$

**【解析】** (1) 在上升过程中, 有  $mg+F_t=ma_1$

解得  $a_1=11\text{ m/s}^2$

上升的高度  $h=\frac{v_0^2}{2a_1}=\frac{50}{11}\text{ m}$

(2) 重力做功  $W_G=0$

空气阻力做功  $W_f=-F_t\cdot 2h=-\frac{10}{11}\text{ J}$

(3) 上升的时间  $t_1=\frac{v_0}{a_1}=\frac{10}{11}\text{ s}$

在下降过程中, 有  $mg-F_t=ma_2$

解得  $a_2=9\text{ m/s}^2$

由  $h=\frac{1}{2}a_2t_2^2$

解得  $t_2=\frac{10\sqrt{11}}{33}\text{ s}$

#### ● 模拟精选

- C **【解析】** 任意两水滴之间的距离  $\Delta h=\frac{1}{2}g(t+1)^2-\frac{1}{2}gt^2=gt+\frac{1}{2}g$ , 则任意两水滴间距随时间的增加而增大, 即先下落的水滴间距更大, 故 C 正确.
- BC **【解析】** 螺钉松脱时具有与升降机相同的速度, 故螺钉脱落后做竖直上抛运动, A 错误; 由运动学公式可得, 螺钉自脱落到到达井底的位移为  $h_1=-v_0t+\frac{1}{2}gt^2$ , 升降机在这段时间的位移为  $h_2=v_0t$ , 故矿井的深度为  $h=h_1+h_2=45\text{ m}$ , B 正确; 螺钉落到井底时的速度大小为  $v=-v_0+gt=25\text{ m/s}$ , C 正确; 螺钉松脱前运动的过程, 有  $h_1=v_0t'$ , 解得  $t'=6\text{ s}$ , 所以螺钉运动的总时间为  $t+t'=9\text{ s}$ , D 错误.
- (1)  $0.8\text{ m}$  (2)  $5$

**【解析】** (1) 圆柱下端离地的高度  $h_1=\frac{1}{2}gt^2=0.8\text{ m}$

(2) 圆柱落地时圆环的速度  $v_1=gt_1=4\text{ m/s}$

由  $v_1^2=2a(L-L_1)$

解得  $a=40\text{ m/s}^2$

对圆环, 根据牛顿第二定律得  $f-mg=ma$

解得  $f:mg=5$

### 题型 3

#### ● 真题再现

- B **【解析】** 在  $x-t$  图像中, 斜率表示速度, 由图可知在  $t_1$  时刻, 乙的速度大于甲的速度, A 错误; 在  $0\sim t_1$  时间内, 甲、乙初始位置相同, 末位置相同, 二者位移相同, B 正确; 甲、乙从同一点向同一方向做直线运动, 路程相等, C 错误; 甲的  $x-t$  图像斜率不变, 甲做匀速运动, D 错误.
- CD **【解析】**  $x-t$  图像中图线的斜率表示速度,  $t_1$  时刻两图线的斜率不同, 即两车速度不相等, A 错误; 甲、乙两车起点不同,  $t_1$  时刻所处的位置相同, 故  $0\sim t_1$  时间内路程不同, B 错误;  $t_1$ 、 $t_2$  时刻甲、乙位置均相同, 且都做单向向上的直线运动, 所以  $t_1\sim t_2$  时间内路程相等, C 正确;  $t_1\sim t_2$  时间内甲的图线的斜率先小于乙后大于乙, 所以中间存在斜率与乙相等的时刻, 故 D 正确.
- BD **【解析】** 可根据速度—时间图像与时间轴所围面积大小判断位移大小, 在  $t_1\sim t_2$  时间内, 甲车位移大于乙车位移, 又题中已知  $t_2$  时刻两车相遇, 因此在  $t_1$  时刻甲车在后, 乙车在前, 选项 A 错误, 选项 B 正确; 速度—时间图像的斜率的绝对值表示加速度大小, 根据图像可知, 甲、乙的斜率的绝对值均先减小后增大, 因此甲、乙的加速度大小均先减小后增大, 选项 C 错误, 选项 D 正确.

#### ● 模拟精选

- D **【解析】**  $x-t$  图像的斜率表示速度, 由图像可知,  $a$  车的速度不变, 做匀速直线运动, 速度为  $v_a=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{8-2}{3}\text{ m/s}=2\text{ m/s}$ , 故 A 错误.  $t=3\text{ s}$  时, 位置坐标相同, 两车相遇, 直线和曲线刚好相切, 斜率相等, 此时两车的速度相等, 故 B 错误.  $t=3\text{ s}$  时,  $b$  车的速度为  $v_b=v_a=2\text{ m/s}$ , 设  $b$  车的初速度为  $v_0$ , 对  $b$  车, 由  $v_0+at=v_b$ , 解得  $v_0=8\text{ m/s}$ , 则  $t=1\text{ s}$  时  $b$  车的速度为  $v'_b=8\text{ m/s}-2\times 1\text{ m/s}=6\text{ m/s}$ , 故 C 错误.  $t=3\text{ s}$  时,  $a$  车的位移为  $x_a=v_at=6\text{ m}$ ,  $b$  车的位移为  $x_b=\frac{v_0+v_b}{2}t=\frac{8+2}{2}\times 3\text{ m}=15\text{ m}$ ,  $t=3\text{ s}$  时,  $a$  车和  $b$  车到达同一位置, 得  $x_0=x_b-x_a=9\text{ m}$ , 故 D 正确.
- D **【解析】** 下落过程中的加速度为  $a_1=\frac{\Delta v_1}{\Delta t_1}=\frac{4.90-0}{0.5}\text{ m/s}^2=9.8\text{ m/s}^2$ , 上升过程的加速度为  $a_2=\frac{\Delta v_2}{\Delta t_2}=\frac{0-(-2.94)}{0.3}\text{ m/s}^2=9.8\text{ m/s}^2$ , 方向相同, 故 A 错误; 小球下落的高度等于小球的  $v-t$  图像与时间轴围成的面积, 故下落的高度为  $H=\frac{1}{2}\times 4.9\times 0.5\text{ m}=1.225\text{ m}$ , 故 B 错误; 规定竖直向下为正方向, 小球与地面撞击前后速度的变化量为  $\Delta v=v_t-v_0=9.8\text{ m/s}-(-2.94\text{ m/s})=4.90\text{ m/s}$ , 故 C 错误; 小球弹起的高度等于  $0.5\text{ s}$  后小球的图像与时间轴围成的面积, 故上升的高度为  $h=\frac{1}{2}\times 2.94\times 0.3\text{ m}=0.441\text{ m}$ ,  $H$  和  $h$  的差值是  $\Delta h=H-h=0.784\text{ m}$ , 故 D 正确.

### 题型 4

#### ● 真题再现

- 【步骤规范】**  
(1)  $16\text{ m}$  (2) 先是  $8\text{ m/s}^2$ , 后是  $4\text{ m/s}^2$

(3)  $2\sqrt{34}$  m/s(或 11.7 m/s)

- 【解析】(1)“奔跑”过程的位移  $x = \frac{1}{2}at^2 = 16$  m (1分)  
 (2)上滑过程的加速度大小  $a_1 = g\sin\theta + \mu g\cos\theta = 8$  m/s<sup>2</sup> (1分)  
 下滑过程的加速度大小  $a_2 = g\sin\theta - \mu g\cos\theta = 4$  m/s<sup>2</sup> (1分)  
 (3)上滑过程的位移  $x_1 = \frac{(at)^2}{2a_1} = 1$  m (1分)  
 设退滑到出发点的速度为  $v$ , 则  $v^2 = 2a_2(x + x_1)$  (2分)  
 联立①③④⑤解得  $v = 2\sqrt{34}$  m/s  $\approx 11.7$  m/s. (2分)

### 模拟精选

1. (1) 2.4 m/s<sup>2</sup> 2 m/s<sup>2</sup> (2) 7.5 s 18 m/s (3) 148.5 m  
 【解析】(1)匀加速直线运动的加速度大小  $a_1 = \frac{\Delta v_1}{\Delta t_1} = \frac{14.4}{6}$  m/s<sup>2</sup> = 2.4 m/s<sup>2</sup>, 匀减速直线运动的加速度大小  $a_2 = \left| \frac{\Delta v_2}{\Delta t_2} \right| = \left| \frac{1-9}{16-12} \right|$  m/s<sup>2</sup> = 2 m/s<sup>2</sup>.  
 (2)设匀加速直线运动的时间为  $t$ , 则有  $a_1t - a_2(16-s-t) = 1$  m/s, 解得  $t = 7.5$  s, 故  $v_m = a_1t = 2.4 \times 7.5$  m/s = 18 m/s.  
 (3)匀加速直线运动的位移  $x_1 = \frac{v_m t}{2} = \frac{18}{2} \times 7.5$  m = 67.5 m,  
 匀减速直线运动的位移  $x_2 = \frac{v_m^2}{2a_2} = \frac{18^2}{2 \times 2}$  m = 81 m,  
 故  $x = x_1 + x_2 = 148.5$  m.

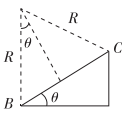
2. (1)  $\frac{v_m^2}{2g_0}$  (2)  $\frac{q}{p}$   $2\sqrt{2pq(H - \frac{v_m^2}{2g_0})}$   
 【解析】(1)探测器自由下落到月球表面的过程中, 由  $v_m^2 = 2g_0h_m$ ,  
 解得  $h_m = \frac{v_m^2}{2g_0}$ .  
 (2)探测器从高为  $H$  处匀减速竖直下降到高为  $h_m$  处悬停位置的过程中,  
 由运动学公式得  $H - h_m = \frac{1}{2}at^2$ ,  
 解得  $t = \sqrt{\frac{2(H-h_m)}{a}}$ ,  
 消耗燃料的质量  $m = \Delta mt = (pa + q)\sqrt{\frac{2(H-h_m)}{a}} =$   
 $(p\sqrt{a} + \frac{q}{\sqrt{a}})\sqrt{2(H-h_m)}$   
 由上式可知, 当  $p\sqrt{a} = \frac{q}{\sqrt{a}}$ , 即  $a = \frac{q}{p}$  时, 所消耗的燃料最少.  
 最低消耗燃料的质量  $m = (p\sqrt{a} + \frac{q}{\sqrt{a}})\sqrt{2(H-h_m)} = 2\sqrt{pq}\sqrt{2(H-h_m)} =$   
 $2\sqrt{2pq(H - \frac{v_m^2}{2g_0})}$ .

## 第3讲 牛顿运动定律的应用

### 题型1

#### 真题再现

1. D 【解析】将挂吊篮的绳子剪断瞬间, 装水的杯子做自由落体运动, 水处于完全失重状态, 即可以认为水和球之间没有相互作用力, 以杯子作为参考系, A 受到向上的弹力作用, B 受到向下的弹力作用, C 不受到弹力作用, 所以 A 球将向上运动, B 球将向下运动, C 球不动.  
 2. A 【解析】小车从 A 运动到 B 的加速度大小为  $a = \frac{f}{m} = 2$  m/s<sup>2</sup>, 由  $L_{AB} = v_0t_1 - \frac{1}{2}at_1^2$ , 解得  $t_1 = 3$  s ( $t_1 = 7$  s 舍去); 从 B 运动到 C 的加速度大小为  $a_1 = g\sin\theta$ , 由几何关系得  $L_{BC} = 2R\sin\theta$ , 由  $L_{BC} = \frac{1}{2}a_1t_2^2$ , 解得  $t_2 = 2$  s, 所以从 A 到 C 的时间为  $t = t_1 + t_2 = 5$  s, A 正确.



#### 模拟精选

1. 【步骤规范】  
 (1) 2 m/s<sup>2</sup> (2) 3000 kg (3) 2 m/s  
 【解析】(1)根据速度公式, 有  $v_1 = v_0 - a_1t$  (1分)  
 解得  $a_1 = 2$  m/s<sup>2</sup> (2分)  
 (2)根据牛顿第二定律, 有  $f - mg = ma_1$  (1分)  
 解得  $m = 3000$  kg (1分)  
 (3)返回舱在着陆过程中, 根据牛顿第二定律, 有  $F - mg = ma_2$  (1分)  
 解得  $a_2 = 30$  m/s<sup>2</sup> (1分)  
 在速度从 8 m/s 减小为某一速度过程中, 根据速度与位移关系式, 有  $v_1^2 - v_2^2 = 2a_2h$  (1分)  
 解得  $v_2 = 2$  m/s  
 (1) 8 s (2) 3 m/s<sup>2</sup> (3)  $2 \times 10^5$  N  
 【解析】(1)舰载机在水平跑道上运动时, 水平方向上受到推力与阻力作用, 设加速度大小为  $a_1$ , 运动时间为  $t_1$ , 有  $F - f = ma_1$   
 解得  $a_1 = 5$  m/s<sup>2</sup>  
 由  $L_1 = \frac{1}{2}a_1t_1^2$   
 解得  $t_1 = 8$  s  
 (2)舰载机在倾斜跑道上运动时, 受到推力、阻力与重力作用, 设沿跑道方向的加速度大小为  $a_2$ , 有  
 $F - f - mg\sin\theta = ma_2$   
 $\sin\theta = \frac{h}{L_2}$   
 解得  $a_2 = 3$  m/s<sup>2</sup>

(3)舰载机在水平跑道上运动时, 有

$$F_{\text{推}} + F - f = ma$$

$$v_1^2 = 2a_1L_1$$

舰载机在倾斜跑道上运动时, 有  $v_2^2 - v_1^2 = 2a_2L_2$

$$\text{解得 } F_{\text{推}} = 2 \times 10^5 \text{ N}$$

3. (1) 1 m/s<sup>2</sup> (2) 11 s (3)  $\arctan\mu_1$  变小

【解析】(1)加速阶段传送带速度大于谷粒速度, 滑动摩擦力为动力, 根据牛顿第二定律有

$$\mu mg\cos 30^\circ - mg\sin 30^\circ = ma$$

$$\text{解得 } a = 1 \text{ m/s}^2$$

(2)谷粒在传送带上先做匀加速直线运动, 后随传送带做匀速直线运动, 设加速阶段所用时间为  $t_1$ , 位移为  $x_1$ , 匀速阶段所用时间为  $t_2$ , 位移为  $x_2$ , 则

$$t_1 = \frac{v}{a} = 2 \text{ s}$$

$$x_1 = \frac{v^2}{2a} = 2 \text{ m}$$

$$x_2 = L - x_1 = 18 \text{ m}$$

$$t_2 = \frac{x_2}{v} = 9 \text{ s}$$

所以谷粒在传送带上运动的时间  $t = t_1 + t_2 = 11$  s

(3)大量谷粒自然形成的谷堆锥面最大倾角  $\alpha$  将是恒定值, 有

$$mg\sin\alpha = \mu_1 mg\cos\alpha$$

$$\text{解得 } \tan\alpha = \mu_1, \text{ 即 } \alpha = \arctan\mu_1$$

有电场时, 则有  $mg\sin\beta = \mu_1 mg\cos\beta - \mu_1 Eq$

可得  $\beta < \alpha$ , 即电场的存在会使谷堆锥面最大倾角变小

### 题型2

#### 真题再现

1. C 【解析】下蹲时先加速下降, 后减速下降, 故先处于失重状态, 后处于超重状态,  $F$  先小于重力, 后大于重力, C 正确.

#### 模拟精选

1. AD 【解析】由速度—时间图像可知, 图线与横坐标轴围成的面积表示位移, 即在 0~4 s 内物体的位移为 5 m, A 正确; 由图像得, 在 2~4 s 内物体的加速度  $a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = 0.5$  m/s<sup>2</sup>, B 错误; 在 0~2 s 内物体做匀速直线运动, 重力沿斜面向下的分力等于  $F_1 = 5$  N, 在 2~4 s 内, 由牛顿第二定律有  $F_2 - F_1 = ma$ , 解得  $m = 1$  kg, C 错误; 设斜面与水平面的夹角为  $\alpha$ , 则  $F_1 = mg\sin\alpha$ , 解得  $\alpha = 30^\circ$ , D 正确.

### 题型3

#### 真题再现

1. A 【解析】设物块 P 静止时弹簧的压缩量为  $L$ , 则  $kL = mg$ , 当物块 P 位移为  $x$  时, 弹簧弹力为  $k(L-x)$ , 根据牛顿第二定律有  $F + k(L-x) - mg = ma$ , 即  $F = kx + ma + mg - kL = kx + ma$ , 可见,  $F$  与  $x$  是一次函数关系, A 正确.

#### 模拟精选

1. C 【解析】根据  $v-t$  图像的斜率表示加速度可知, 在 0.1~0.2 s 内滑块的加速度  $a = -8$  m/s<sup>2</sup>, 故 A 错误; 由图像知, 滑块在 0.1~0.2 s 时间内沿斜面向上做减速运动, 故 B 错误; 在 0.1~0.2 s 时间内, 根据牛顿第二定律可得  $-mg\sin\theta - \mu mg\cos\theta = ma$ , 解得  $\mu = 0.25$ , 故 C 正确; 在滑块与弹簧脱离之前, 当弹力小于重力沿斜面向下的分力与摩擦力的合力时, 滑块做减速运动, 故 D 错误.  
 2. (1) 5 N/m (2) 2 m/s<sup>2</sup> 0.36 N  
 【解析】(1)根据共点力平衡条件和胡克定律得  
 $(m_1 + m_2)g = kx_0$   
 解得  $k = 5$  N/m.  
 (2)设经过时间  $t$ , 小球 A、B 分离, 此时弹簧的压缩量为  $x$ ,  
 对小球 A, 有  
 $kx - m_1g = m_1a$   
 $x_0 - x = \frac{1}{2}at^2$   
 对小球 B, 有  
 $x_0 = \frac{1}{2}a(2t)^2$   
 当 B 与 A 相互作用力为零时,  $F$  最大, 设为  $F_m$   
 对小球 B, 有  $F_m - m_2g = m_2a$   
 解得  $a = 2$  m/s<sup>2</sup>,  $F_m = 0.36$  N.

### 题型4

#### 典例精析

例题 (1) 4 m/s (2)  $h \leq 3$  m (3)  $x = \sqrt{4h-12}$ , 且  $h \geq 3.6$  m

【解析】(1)从 A 点到 B 点, 由动能定理得  $mgh - \mu mg\cos\theta \cdot \frac{h}{\sin\theta} =$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - 0$$

$$\text{解得 } v_B = 4 \text{ m/s}$$

(2)若小物块落到传送带左侧地面, 则小物块到达 D 点之前速度减为 0, 从 A 点到 D 点, 由动能定理得  $mgh - \mu mg\cos\theta \cdot \frac{h}{\sin\theta} - \mu mgL \leq 0$

$$\text{解得 } h \leq 3 \text{ m.}$$

即当  $h \leq 3$  m 时, 小物块会落到传送带左侧地面

(3)小物块从 D 点飞出后做平抛运动, 有

$$H + 2R = \frac{1}{2}gt^2$$

$$x = v_D t$$

$$mgh - \mu mg\cos\theta \cdot \frac{h}{\sin\theta} - \mu mgL = \frac{1}{2}mv_D^2 - 0$$

解得  $x = \sqrt{4h-12} (h>3\text{ m})$

为使小物块能从  $D$  点水平抛出, 则  $mg \leq \frac{mv_D^2}{R}$

解得  $h \geq 3.6\text{ m}$

故  $x = \sqrt{4h-12}$ , 且  $h \geq 3.6\text{ m}$

**变式 1** A **【解析】** 对物块受力分析可知, 物块在传送带上运动的情况有三种: ①一直匀加速运动; ②先匀加速运动到与传送带共速后再以更小的加速度加速运动; ③先匀加速运动到与传送带共速后再匀速运动。重力势能与时间在两个阶段不可能都是线性关系, 故 A 错误。情况③对应的摩擦力先为滑动摩擦力, 后为静摩擦力, 故 B 正确; 情况②对应的摩擦力的功率为  $P = fv = fat$ , C 正确; 情况③对应的速度—时间图像即为 D, 故 D 正确。

**变式 2** (1)  $4\text{ m/s}^2$  (2)  $2\sqrt{6}\text{ m/s}$  (3) 能

**【解析】** (1) 物块沿斜面加速下滑, 有

$$mgsin\theta - \mu_1 mgcos\theta = ma_1$$

$$\text{解得 } a_1 = 4\text{ m/s}^2$$

$$(2) \text{ 由 } v_B^2 = 2a_1 s \text{ 解得 } v_B = 2\sqrt{6}\text{ m/s}$$

$$(3) \text{ 物块在传送带上做匀减速运动, 有 } a_2 = \mu_2 g = 3\text{ m/s}^2$$

$$\text{物块在传送带上能滑行的最大距离 } x_m = \frac{v_B^2}{2a_2} = 4\text{ m} > L$$

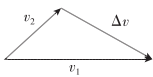
故物块能滑离传送带

## 第 4 讲 曲线运动

### 题型 1

#### 真题再现

1. D **【解析】** 小球向上运动过程中, 竖直方向的速度逐渐减小, 受到的水平向西的“力”逐渐减小, 水平向西的速度逐渐增大; 小球到达最高点时, 竖直方向速度为 0, 受到水平向西的“力”为 0, 水平方向的加速度为 0, 但此时水平方向的速度不为 0, 故 A、B 错误。小球下落过程中, 竖直方向的速度逐渐增大, 受到水平向东的“力”逐渐增大, 水平向西的速度逐渐减小, 根据运动的对称性, 可知小球落地前一直有向西的速度, 小球的落地点在抛出点西侧, 故 C 错误, D 正确。
2. B **【解析】** 本题以万有引力与航天为素材, 实际考查的是运动的合成与分解, 点火后, 附加速度与飞经赤道上空的速度合速度应该沿同步轨道切线方向, 如图所示, 根据三角形定理及数学知识得  $\Delta v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2} - 2v_1 v_2 \cos 30^\circ = 1.9 \times 10^3\text{ m/s}$ , 方向为东偏南方向, 故 B 正确。



#### 模拟精选

1. D **【解析】** 小球被竖直抛出时, 水平方向有与列车相同的速度, 则在最高点时对地速度不为零, 选项 A 错误; 在最高点时, 小球的竖直速度为零, 则对地的速度不是最大的, 选项 B 错误; 小球抛出后在水平方向上做匀速直线运动, 而乘客随车厢做匀加速直线运动, 在水平方向上乘客相对小球做初速度为零的匀加速直线运动, 小球落点位置与乘客的距离由车厢的加速度和运动时间(取决于上抛速度)决定, 而与抛出时车厢的速度无关, 选项 C 错误; 从抛出到落地的时间只与竖直上抛的速度有关, 与车厢的速度大小无关, 选项 D 正确。
2. B **【解析】** 将小车速度分解为沿细绳和垂直于细绳方向的速度, 可知此时  $P$  的速率为  $v \cos \theta_2$ , A 错误, B 正确; 小车向右做匀速直线运动, 拉小车的细绳与水平方向的夹角减小,  $P$  的速率增大,  $P$  具有沿斜面向上的加速度, 故细绳的拉力大于  $mg \sin \theta_1$ , C、D 错误。

### 题型 2

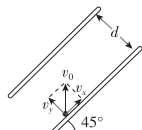
#### 真题再现

1. D **【解析】** 卡车与路旁障碍物相撞后, 车顶上的零件平抛出去。根据平抛运动知识可知  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,  $x = vt$ , 因此只要知道车顶到地面的高度, 即可求出运动时间, 再测量出零件脱落点与陷落点的水平距离, 即可求出事故发生时卡车的瞬时速度, D 正确。
2. A **【解析】** 两个小球都落在斜面上, 则小球位移的偏转角恒定(设为  $\theta$ ), 设速度的偏转角为  $\alpha$ , 由于  $\tan \alpha = 2 \tan \theta$ , 所以  $\alpha$  也为定值, 由于  $v_y = \frac{v_x}{\cos \alpha}$ , 故  $\frac{v_{y1}}{v_{y2}} = \frac{v_{x1}}{v_{x2}} = 2$ , 选项 A 正确。
3. D **【解析】** 根据频闪照片可知, 做自由落体运动的小球相邻位置间的位移越来越大, 选项 A、C 错误; 平抛运动在竖直方向上是自由落体运动, 在水平方向上是匀速直线运动, 因此做平抛运动的小球相邻位置间的距离也是越来越大, 选项 B 错误。根据自由落体运动规律  $h = \frac{1}{2}gt^2$  可知,  $t \approx 0.44\text{ s}$ , 由照片可知  $\Delta t \approx 0.044\text{ s}$ , 测量最上面与最下面小球位置间的水平距离按比例计算约为  $1.4\text{ m}$ , 根据平抛运动规律  $x = v_0 t$  可求出水平速度  $v_0 \approx 3.2\text{ m/s}$ , 所以在频闪时间间隔内水平位移  $\Delta x = v_0 \Delta t \approx 0.14\text{ m}$ , 选项 D 正确。

#### 模拟精选

1. B **【解析】** 采用逆向思维, 小球的斜抛运动可视为平抛运动的逆运动, 将抛出速度沿水平和竖直方向分解, 有  $v_x = v \cos \theta = 0.8v$ ,  $v_y = v \sin \theta = 0.6v$ , 小球撞墙前瞬间的速度等于  $0.8v$ , 反弹速度大小为  $v'_x = \frac{3}{4} \times 0.8v = 0.6v$ , 反弹后小球做平抛运动, 当小球的速度大小再次为  $v$  时, 竖直速度为  $v'_y = \sqrt{v^2 - v'^2_x} = \sqrt{v^2 - (0.6v)^2} = 0.8v$ , 速度方向与水平方向夹角的正切值为  $\tan \theta' = \frac{v'_y}{v'_x} = \frac{0.8v}{0.6v} = \frac{4}{3}$ , 故 B 正确, A、C、D 错误。
2. B **【解析】** 当电场强度足够大时, 粒子打到上极板的极限情况为粒子到达上极板时速度恰好与上极板平行, 粒子的运动为类斜抛运动。将粒子初速度  $v_0$  分解为垂直于极板的  $v_y$  和平行于极板的  $v_x$ , 根据运动的合成与分解, 当粒子到达上极板处垂直于极板的速度为 0 时, 根据运动学公式有

$$v_y^2 = \frac{2Eqd}{m}, v_y = v_0 \cos 45^\circ, E_{k0} = \frac{1}{2}mv_0^2, \text{联立得 } E = \frac{E_{k0}}{2qd}, \text{故选项 B 正确。}$$



3. B **【解析】** 飞镖做平抛运动, 将平抛运动进行分解, 在水平方向上做匀速直线运动, 在竖直方向上做自由落体运动。打在标靶上时, 水平位移相同, 落点越靠下, 运动时间越长, 说明投出飞镖时的初速度越小。根据  $h = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g\left(\frac{x}{v_0}\right)^2$  可知, 为了能把飞镖打在标靶中心  $O$  点, 应调整初速度或调整抛出点高度, 由上式分析可知, 投出飞镖的初速度比  $v_A$  小些, 或投出飞镖的初速度比  $v_B$  大些, 或保持初速度  $v_A$  不变同时降低抛出点  $C$  的高度, 或保持初速度  $v_B$  不变同时升高抛出点  $C$  的高度, 这四种方法都能使飞镖打在标靶中心  $O$  点, 只有选项 B 正确。

### 题型 3

#### 真题再现

1. C **【解析】** 从释放到最低点过程中, 由动能定理得  $mgl = \frac{1}{2}mv^2 - 0$ , 可得  $v = \sqrt{2gl}$ , 因  $l_P < l_Q$ , 则  $v_P < v_Q$ , 故选项 A 错误; 由  $E_{kQ} = m_Q gl_Q$ ,  $E_{kP} = m_P gl_P$ , 而  $m_P > m_Q$ , 故两球动能大小无法比较, 选项 B 错误; 在最低点时对两球进行受力分析, 根据牛顿第二定律及向心力公式可知  $T - mg = m \frac{v^2}{l} = ma_n$ , 得  $T = 3mg$ ,  $a_n = 2g$ , 则  $T_P > T_Q$ ,  $a_P = a_Q$ , C 正确, D 错误。
2. D **【解析】** 汽车转弯时所受的力有重力、弹力、摩擦力, 向心力是由摩擦力提供的, A 错误; 当汽车转弯速度为  $20\text{ m/s}$  时, 根据  $F_n = m \frac{v^2}{R}$  得所需的向心力为  $1 \times 10^4\text{ N}$ , 没有超过最大静摩擦力, 所以汽车不会侧滑, B、C 错误; 汽车能安全转弯的最大向心加速度为  $a_m = \frac{f_m}{m} = 7.0\text{ m/s}^2$ , D 正确。

#### 模拟精选

1. C **【解析】** 小球在水平面内运动, 圆管对小球水平方向的支持力对小球不做功, 小球的线速度不变, 故 A 错误; 由  $v = \omega r$  可知,  $\omega = \frac{v}{r}$ , 线速度不变, 运动半径增大, 所以小球的角速度变小, 故 B 错误; 由  $a_n = \frac{v^2}{r}$  可知, 线速度不变, 运动半径增大, 所以小球的向心加速度变小, 故 C 正确; 由  $F_n = ma_n$  可知, 小球需要的向心力减小, 则圆管对小球沿水平方向的支持力减小, 圆管对小球竖直方向的支持力不变, 所以圆管对小球的支持力的合力减小, 根据牛顿第三定律可知, 小球对管壁的压力变小, 故 D 错误。
2. D **【解析】** 当摩擦力指向圆心且达到最大时, 角速度达到最大, 根据  $F + \mu mg = m\omega_1^2 r$ , 可得最大角速度  $\omega_1 = \sqrt{\frac{F + \mu mg}{mr}}$ ; 当摩擦力背离圆心且达到最大时, 角速度达到最小, 根据  $F - \mu mg = m\omega_2^2 r$ , 可得最小角速度  $\omega_2 = \sqrt{\frac{F - \mu mg}{mr}}$ , 所以角速度  $\omega$  满足  $\sqrt{\frac{F - \mu mg}{mr}} \leq \omega \leq \sqrt{\frac{F + \mu mg}{mr}}$ , 故 D 正确。

### 题型 4

#### 真题再现

1. C **【解析】** 小孩从最高点运动至最低点, 根据动能定理有  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ , 设到最低点时秋千板对小孩的支持力为  $F$ , 则根据牛顿第二定律可知  $F - mg = m \frac{v^2}{R}$ , 可得  $F = 600\text{ N}$ , 由于小孩对秋千板的压力与秋千板对小孩的支持力是一对相互作用力, 所以小孩对秋千板的压力也是  $600\text{ N}$ , 方向向下, 选项 C 正确。
2. **【步骤规范】**  
(1)  $0.1\text{ m}$  (2) 8 次 (3)  $81.25\text{ N}$   
**【解析】** (1) 推动一次, 有  
 $W = mgh$  ①(1 分)  
解得  $h = 0.1\text{ m}$  ②(1 分)  
(2) 推动  $n$  次后, 回到最低点, 由动能定理得  
 $nW = \frac{1}{2}mv^2$  ③(1 分)  
解得  $n = 8$  ④(1 分)  
(3) 小饰物下落过程, 有  
 $H - l_2 = \frac{1}{2}gt^2$  ⑤  
解得  $t = \frac{3\sqrt{10}}{25}\text{ s}$  ⑥(1 分)  
飞出时的速度  
 $v_2 = \frac{x}{t} = \frac{4\sqrt{10}}{5}\text{ m/s}$  ⑦(1 分)  
设小猴经过最低点时速度为  $v_1$ , 有  
 $\frac{v_2}{v_1} = \frac{l_2}{l_1}$  ⑧  
解得  $v_1 = \sqrt{10}\text{ m/s}$  ⑨(1 分)  
对小猴受力分析, 有  
 $F - mg = \frac{mv_1^2}{l_1}$  ⑩  
解得  $F = 81.25\text{ N}$  ⑪(1 分)  
由牛顿第三定律得, 小猴对秋千的作用力为  $81.25\text{ N}$  (1 分)

● 模拟精选

- BC 【解析】铅球与小车原来有共同速度,当小车遇到障碍物突然停止后,铅球由于惯性会继续运动,有两种可能:①速度较小,滑到某处时速度为0,由机械能守恒定律得  $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ ,解得最大高度  $h = \frac{v^2}{2g}$ ;②速度较大,铅球做完整的圆周运动,或没有到达最高点就离开弧面而做斜抛运动,则在最高点还有水平速度,由机械能守恒定律可知,铅球所能达到的最大高度要小于  $\frac{v^2}{2g}$ ,故 A 错误,B 正确.要使铅球在圆桶内做完整的圆周运动,在最高点由重力完全充当向心力时,有  $mg = m\frac{v'^2}{R}$ ,此时小球在最高点的速度最小,为  $v' = \sqrt{gR}$ ,从最低点到最高点,由机械能守恒定律得  $mg \cdot 2R = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv'^2$ ,解得  $v = \sqrt{5gR}$ ,即要使铅球在圆桶内做完整的圆周运动,  $v$  最小为  $\sqrt{5gR}$ ,故 C 正确.由上面的分析知,若铅球能到达圆桶最高点,则铅球在最高点的速度最小为  $\sqrt{gR}$ ,故 D 错误.
- (1)4 m/s (2)1.6 m (3)3.2 J 2 m (4)不能 原因见解析  
【解析】(1)物块 2 飞离桌面后由 P 点沿切线落入圆弧轨道,物块 2 在 P 点时的速度与水平方向的夹角为  $45^\circ$ ,则  $v_y = \sqrt{2gR} = 4$  m/s  
 $v_D = v_x = v_y = 4$  m/s  
(2)物块 2 在空中飞行时间为  $t = \sqrt{\frac{2R}{g}} = 0.4$  s  
故  $L = v_D t = 1.6$  m  
(3)对物块 1,有  $W - \mu m_1 g s = 0$   
对物块 2,有  $W - \mu m_2 g s = \frac{1}{2}m_2 v_D^2$   
解得  $W = 3.2$  J,  $s = 2$  m  
(4)假设物块 2 能到达最高点 M,此时速度大小为  $v_M$ ,受到的弹力为  $F_M$ .从 D 点到 M 点,有  
 $\frac{1}{2}m_2 v_M^2 + m_2 g R \cos 45^\circ = \frac{1}{2}m_2 v_D^2$   
 $F_M + m_2 g = m_2 \frac{v_M^2}{R}$   
解得  $F_M = (1 - \sqrt{2})m_2 g < 0$   
故物块 2 不能沿圆弧轨道到达 M 点.

第 5 讲 万有引力与天体运动

题型 1

● 真题再现

- B 【解析】对组合体,根据万有引力提供向心力可知  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$ ,得  $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$ ,代入数据可得  $M = 5 \times 10^{26}$  kg.
- D 【解析】根据牛顿第二定律可知  $F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ,所以  $m = \frac{F \Delta t}{\Delta v}$ ;飞船做圆周运动的周期  $T = \frac{2\pi r}{v}$ ,则轨道半径  $r = \frac{Tv}{2\pi}$ ,根据万有引力提供向心力可得  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,所以  $M = \frac{v^2 r}{G} = \frac{v^3 T}{2\pi G}$ ,D 正确.

● 模拟精选

- A 【解析】对组合体,根据万有引力提供向心力,有  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,可知  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,而第一宇宙速度  $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ,因  $r > R$ ,故组合体的速度小于第一宇宙速度,选项 A 正确;组合体的速度  $v = \frac{2\pi r}{T}$ ,选项 B 错误;如果近地卫星的运动周期为  $T_1$ ,则由  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R$ ,  $M = \rho \cdot \frac{4\pi R^3}{3}$ ,可得  $\rho = \frac{3\pi}{GT_1^3}$ ,因  $T_1 < T$ ,故  $\rho > \frac{3\pi}{GT^3}$ ,选项 C 错误;“天舟一号”到达“天宫二号”轨道后,继续加速则会做离心运动而离开该轨道,选项 D 错误.
- B 【解析】根据  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$ ,由于月球的半径  $R$  未知,故不能求解月球的质量  $M$ ,选项 A 错误; $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ ,解得  $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$ ,选项 B 正确;根据  $a = \frac{4\pi^2}{T^2} R$  可知,不能求解该探测器的加速度,选项 C 错误;根据  $v = \frac{2\pi R}{T}$  可知,不能求解该探测器的运行速率,选项 D 错误.

题型 2

● 真题再现

- C 【解析】月球绕地球运行的周期大约是 27.3 天,卫星绕地球运行的周期约为 1.8 h,根据万有引力提供向心力得  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r = ma$ ,可知  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,故  $r_{\text{卫}} < r_{\text{月}}$ ,同时可以推断出  $v_{\text{卫}} > v_{\text{月}}$ ,  $\omega_{\text{卫}} > \omega_{\text{月}}$ ,  $a_{\text{卫}} > a_{\text{月}}$ .
- C 【解析】根据万有引力提供向心力,有  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,轨道半径大,则线速度小,此卫星轨道半径大于地球半径,线速度小于第一宇

宙速度,A 错误;此卫星相对于地面静止,周期应等于同步卫星的周期,B 错误; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ,此卫星的周期为 24 h,小于月球绕地球转动周期,所以此卫星的角速度大于月球绕地球运行的角速度,C 正确;根据  $G \frac{Mm}{r^2} = ma$ ,得  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,此卫星轨道半径大于地球半径,向心加速度小于地面的重力加速度,D 错误.

3. D 【解析】由图无法确定卫星在 a 轨道运行的周期,选项 A 错误;b 轨道上的卫星的速度方向不断变化,所以速度在变化,选项 B 错误;地球在 c 轨道的其中一个焦点上,因此在近地点时卫星速度快,在远地点时速度慢,选项 C 错误;在 c 轨道上,卫星与地球的距离变化,所以根据  $F = G \frac{Mm}{r^2}$  可以看出地球的引力大小不断变化,选项 D 正确.

● 模拟精选

- B 【解析】静止轨道卫星轨道半径相同,但质量不一定相同.根据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = ma$ ,得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,因转动半径相同,故线速度、角速度、向心加速度大小均相同,但线速度和向心加速度方向时刻在变,A、C 错误,B 正确;由于质量不一定相等,故所受向心力不一定相同,D 错误.
- D 【解析】地球静止轨道卫星与地球自转同步,即周期、角速度与地球自转的相同,选项 B、C 错误;绕地球飞行的线速度最大为 7.9 km/s,所以“风云四号 A 星”的线速度小于该值,选项 A 错误;地球静止轨道卫星应该在赤道正上方轨道上,选项 D 正确.

题型 3

● 真题再现

- C 【解析】由天体知识可知  $T = 2\pi R \sqrt{\frac{R}{GM}}$ ,  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ,  $a = \frac{GM}{R^2}$ ,轨道半径不变,则周期  $T$ 、速率  $v$ 、加速度  $a$  的大小均不变,故 A、B、D 错误.速率  $v$  不变,组合体质量  $m$  变大,故动能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  变大,C 正确.

● 模拟精选

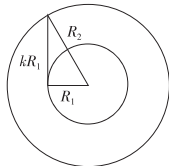
- D 【解析】为成功实施近月制动,使“嫦娥四号”进入更靠近月球的预定圆轨道,发动机应向前喷气减速,使“嫦娥四号”做近心运动,进入低轨道,在靠近月球的预定圆轨道上运动时,轨道半径变小,根据万有引力提供向心力,有  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,其中  $r$  为轨道半径,所以运行速度增大,即  $v_1 < v_2$ ,故 D 正确.
- CD 【解析】根据万有引力提供向心力,有  $G \frac{Mm}{r^2} = ma$ ,可得  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,可知“嫦娥四号”探测器沿轨道 II 运行时,在 P 点的加速度小于在 Q 点的加速度,故 A 错误;根据开普勒第三定律可知,卫星在轨道 II 上运动轨道的半长轴小于在轨道 I 上的轨道半径,所以卫星在轨道 II 上运行的周期小于在轨道 I 上运行的周期,故 B 错误;月球的第一宇宙速度是卫星贴近月球表面做匀速圆周运动的速度,轨道 I 的半径大于月球半径,根据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,可得线速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,可知“嫦娥四号”在轨道 I 上的运行速度比月球的第一宇宙速度小,故 C 正确;“嫦娥四号”在地月转移轨道上经过 M 点若要进入轨道 I,需减速,所以在地月转移轨道上经过 M 点的速度比在轨道 I 上经过 M 点时的速度大,故 D 正确.
- D 【解析】5 颗同步轨道卫星均在赤道正上方,速度大小相同,但方向不同,A 错误;系统中卫星速度均小于第一宇宙速度 7.9 km/s,B 错误;由  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ,得  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ ,同步轨道卫星的轨道半径较大,周期  $T$  较长,C 错误;要把低轨卫星转移到更高轨道,需要先对其加速,使其先进行离心运动,D 正确.

题型 4

● 典例精析

例 B 【解析】当地球卫星的信号刚好覆盖赤道的  $\frac{1}{3}$  圆周时,卫星的轨道半径  $r = \frac{R}{\cos 60^\circ} = 2R$ ;对同步卫星,分别有  $\frac{GMm}{(6.6R)^2} = m \left( \frac{2\pi}{T_0} \right)^2 \cdot 6.6R$  和  $\frac{GMm}{(2R)^2} = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 \cdot 2R$ ,即  $\left( \frac{T}{T_0} \right)^2 = \left( \frac{2R}{6.6R} \right)^3$ ,解得  $T = 4$  h,选项 B 正确.

变式 A 【解析】本题中太阳、地球、木星的位置关系如图所示,设地球的公转半径为  $R_1$ ,木星的公转半径为  $R_2$ ,测得地球与木星的距离是地球与太阳距离的  $k$  倍,则有  $R_2^2 = R_1^2 + (kR_1)^2 = (1+k^2)R_1^2$ ,由开普勒第三定律得  $\frac{R_2^3}{T_1^2} = \frac{R_1^3}{T_2^2}$ ,解得  $T_2^2 = \frac{R_2^3}{R_1^3} \cdot T_1^2 = (1+k^2)^{\frac{3}{2}} \cdot T_1^2$ ,由于地球公转周期为 1 年,则有  $T_2 = (1+k^2)^{\frac{3}{4}}$  年,故 A 正确.



## 专题二 功和能、动量

### 第6讲 功、功率、动能定理

#### 题型1

##### 真题再现

- C 【解析】根据力做功的公式  $W = Fl \cos \theta$ , 其中  $\theta$  为力与位移的夹角, 所以拉力做功为  $W = Fl \sin \alpha$ , 选项 A 错误; 支持力、重力不做功, 选项 B、D 错误; 阻力做功  $W_f = -fl$ , 选项 C 正确.
- B 【解析】根据相似三角形, 每次俯卧撑中, 重心变化的高度  $\frac{h}{0.4 \text{ m}} = \frac{0.9}{0.9+0.6}$ , 即  $h = 0.24 \text{ m}$ . 一次俯卧撑中, 克服重力做功  $W = mgh = 60 \times 10 \times 0.24 \text{ J} = 144 \text{ J}$ , 所以一分钟内克服重力做功为  $W_{\text{总}} = NW = 4320 \text{ J}$ , 功率  $P = \frac{W_{\text{总}}}{t} = 72 \text{ W}$ , 故 B 正确.
- C 【解析】快艇在匀速行驶时, 发动机的牵引力等于阻力, 所以功率为  $P = Fv = F_f v = kv^3$ , 行驶距离为  $x$  时所需的时间为  $t = \frac{x}{v}$ , 20 L 燃油能提供的能量为  $W = Pt = kv^2 x$ , 所以当行驶的速度增大一倍时, 能行驶的位移就变为原来的  $\frac{1}{4}$ , 即 10 km, 选项 C 正确.

##### 模拟精选

- C 【解析】其速度方向恰好改变了  $90^\circ$ , 可以判断恒力方向应向右下方, 与初速度方向的夹角要大于  $90^\circ$ 、小于  $180^\circ$ , 因此恒力先做负功后做正功, 动能先减小后增大, 故 C 正确.
- A 【解析】列车从北京到上海的时间为  $t = \frac{s}{v} = \frac{1300 \text{ km}}{350 \text{ km/h}} \approx 3.71 \text{ h}$ , 在动力上耗电约为  $W = Pt = 9000 \text{ kW} \times 3.71 \text{ h} = 33\,390 \text{ kW} \cdot \text{h} \approx 3.3 \times 10^4 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 故 A 正确.
- C 【解析】该老师起跳时, 由于位置没有变化, 所以地面对老师不做功, 选项 A 错误. 每次落地时竖直方向的速度  $v_y = \sqrt{2gh} = 2 \text{ m/s}$ , 在上升过程中的时间为 0.2 s, 所以克服重力做功的功率为  $P = \frac{mgh}{t} = 600 \text{ W}$ , 选项 B 错误; 假设老师连续不断地跳跃, 每次起跳到落地时间为  $0.2 \times 2 \text{ s} = 0.4 \text{ s}$ , 连续跳跃 10 次, 即总时间为 4 s, 但考虑到落地到起跳的时间, 以及人中间暂停时间, 所以从起点到终点的时间应该大于 4 s, 选项 C 正确.

#### 题型2

##### 真题再现

- C 【解析】运动员做的是匀速圆周运动, 具有向心加速度, 所以其所受的合外力不为零, A 错误; 运动员在匀速下滑的过程中, 所受的摩擦力始终与重力沿滑道切线方向的分力大小相等, 由于该分力大小一直在改变, 所以摩擦力大小也一直在改变, B 错误; 运动员的动能没有改变, 根据动能定理, 合外力做功为零, C 正确; 整个过程中存在摩擦力做功, 所以机械能不守恒, D 错误.
- C 【解析】小物块上滑过程, 由动能定理得  $-(mgsin \theta + \mu mgcos \theta)x = E_k - E_0$ , 整理得  $E_k = E_0 - (mgsin \theta + \mu mgcos \theta)x$ . 设小物块上滑的最大位移大小为  $s$ , 小物块下滑过程, 由动能定理得  $(mgsin \theta - \mu mgcos \theta)(s - x) = E_k - 0$ , 整理得  $E_k = (mgsin \theta - \mu mgcos \theta)s - (mgsin \theta - \mu mgcos \theta)x$ , 所以选项 C 正确.

##### 模拟精选

- A 【解析】根据动能定理得  $0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\mu mg(x_{AC} + x_{CB})$ , 由于不知道 BC 或者 AB 长度, 因此无法求解动摩擦因数, 选项 A 错误; 设  $BC = L$ , 由上式可知  $\mu mgL = 0.1mv_0^2$ , 从 A 到 D, 有  $0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -mgh_{CD} - \mu mg \cdot 4L$ , 所以  $mgh_{CD} = \mu mgL = 0.1mv_0^2$ , 由此可知,  $h_{CD} = 0.16 \text{ m}$ , 则  $\cos \angle DOM = \frac{0.4-0.16}{0.4}$ , 故可以求出 DC 与水平面的夹角, 选项 B 正确; 由于  $h_{CD} = 0.16 \text{ m}$ , 木板倾角可求, 故木板长度可求, 利用匀变速直线运动规律可以求出在 CD 上运动时间, 因此滑块在 CD 上下滑时重力的平均功率可求, 选项 C 正确; 整个过程中, 动能全部转化为摩擦产生的热量, 选项 D 正确.
- D 【解析】根据题意, 竖直向上为正方向, 故在  $t_3 \sim t_4$  时间内, 小球竖直向上做匀减速直线运动, 故选项 A 错误;  $t_0 \sim t_2$  时间内, 小球速度一直增大, 根据动能定理可知, 合力对小球一直做正功, 故选项 B 错误;  $0 \sim t_2$  时间内, 小球的平均速度等于位移与时间的比值, 不一定为  $\frac{v_2}{2}$ , 故选项 C 错误; 根据动能定理, 在  $t_3 \sim t_4$  时间内:  $W_F - mg \frac{v_3+v_4}{2} \cdot (t_4 - t_3) = \frac{1}{2}mv_4^2 - \frac{1}{2}mv_3^2$ , 整理可得:  $W_F = m \frac{v_3+v_4}{2} [(v_4 - v_3) + g(t_4 - t_3)]$ , 故选项 D 正确.
- B 【解析】对滑车运动的全过程, 由动能定理得  $mgh - \mu mgcos \theta_1 \cdot AB - \mu mgcos \theta_2 \cdot BC = 0$ , 即  $mgh - \mu mg \cdot x_{AC} = 0$ , 现改变 AB 和 BC 的倾角, 但 A、C 位置不变, 则  $x_{AC}$  不变, 滑车仍恰好到达滑道的底端 C 点停下, 选项 A、C 错误, B 正确; 若适当增大滑车与草地之间的动摩擦因数, 则滑车滑到底端 C 点前停下, 选项 D 错误.

#### 题型3

##### 真题再现

##### 1. [步骤规范]

- (1)  $3\sqrt{10} \text{ m/s}$  (2)  $-7.5 \times 10^4 \text{ J}$  (3)  $6 \times 10^3 \text{ N}$

【解析】(1) 在 F 点的向心力  $F_{\text{向}} = mg - 0.25mg = m \frac{v_F^2}{r}$ , ①(1分)

代入已知数据可知

$$v_F = 3\sqrt{10} \text{ m/s}$$

(2) 根据动能定理, 从 B 点到 F 点, 有

$$\frac{1}{2}mv_F^2 - 0 = mgh_{BF} + W_f$$

$$\text{解得 } W_f = -7.5 \times 10^4 \text{ J} \quad \text{②(2分)}$$

(3) 触发制动后能恰好到达 E 点对应的摩擦力为  $f_1$

$$-f_1 L \cos \theta - mgr \cos \theta = 0 - \frac{1}{2}mv_D^2 \quad \text{③(1分)}$$

未触发制动时, 对 D 点到 F 点的过程, 有

$$-\mu mgcos \theta L \cos \theta - mgr = \frac{1}{2}mv_F^2 - \frac{1}{2}mv_D^2 \quad \text{④(2分)}$$

$$\text{联立得 } f_1 = \frac{73}{16} \times 10^3 \text{ N} = 4.6 \times 10^3 \text{ N} \quad \text{⑤(1分)}$$

要使过山车在倾斜轨道上, 摩擦力为  $f_2$

$$f_2 = mg \sin \theta = 6 \times 10^3 \text{ N} \quad \text{⑥(1分)}$$

$$\text{故 } f_m = 6 \times 10^3 \text{ N} \quad \text{⑦(1分)}$$

##### 模拟精选

- C 【解析】若  $H = R$ , 假设小球从最高点能到 C 点, 根据动能定理得  $mg(H+R) - qER = \frac{1}{2}mv_C^2 - 0$ , 又知  $E = \frac{2mg}{q}$ , 解得  $v_C = 0$ , 故在 C 点需要的向心力为零, 但电场力和重力的合力向上, 大于需要的向心力, 不能沿着轨道过 C 点, 说明球到达 C 点前已经离开了轨道, 故 A 错误; 小球能到 B 点时, 由弹力提供向心力, 则过 B 点的速度满足  $v_B \geq 0$ , 从最高点到 B 的过程, 由动能定理得  $mgh - qER = \frac{1}{2}mv_B^2 - 0$ , 又知  $E = \frac{2mg}{q}$ , 可得  $H \geq 2R$ , 故 B 错误; 过 C 点时对轨道的压力为  $6mg$ , 由牛顿第三定律知, 轨道的支持力为  $6mg$ , 对 C 点的小球受力分析, 有  $F_N + qE - mg = m \frac{v_C^2}{R}$ , 从最高点到 C 的过程, 由动能定理得  $mg(H+R) - qER = \frac{1}{2}mv_C^2 - 0$ , 解得  $H = \frac{9}{2}R$ , 故 C 正确; 若  $H = 3R$ , 对球从最高点到 C 的过程, 由动能定理得  $mg(H+R) - qER = \frac{1}{2}mv_C^2 - 0$ , 解得  $v_C = 2\sqrt{gR}$ , 在 C 点时, 由合力提供向心力, 有  $F_N + qE - mg = m \frac{v_C^2}{R}$ , 解得  $F_N = 3mg$ , 根据牛顿第三定律, 小球对轨道的压力为  $3mg$ , 故 D 错误.
- (1)  $F = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$  (2) 5600 J (3) 见解析  
【解析】(1) 最有可能被抛出的位置为 F, 若要安全通过 F 点, 设其通过 F 点的最大速度为  $v_F$ , 则  $mg = m \frac{v_F^2}{R}$   
解得  $v_F = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$   
(2) 通过 C 点的速度大小  $v_C = 108 \text{ km/h} = 30 \text{ m/s}$   
由动能定理得  $mgh - W_f = \frac{1}{2}mv_C^2$   
解得  $W_f = 5600 \text{ J}$   
(3) C 与 F 之间的高度差  $h_{CF} = 2(R - R \cos 30^\circ) + L_{DE} \sin 30^\circ = (50 - 20\sqrt{3}) \text{ m}$   
从 C 到 F 过程, 由动能定理得  $-mgh_{CF} - \mu mgL_{DE} \cos 30^\circ = \frac{1}{2}mv_F^2 - \frac{1}{2}mv_C^2$   
解得  $v_F^2 = 248.5 \text{ m}^2/\text{s}^2 > v_F^2 = 200 \text{ m}^2/\text{s}^2$   
所以不能安全通过.

### 第7讲 能量守恒、功能关系

#### 题型1

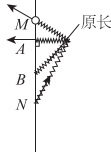
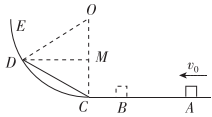
##### 真题再现

- B 【解析】加速助跑过程中, 运动员的速度增大, 动能增加, A 正确; 起跳上升过程中, 竿的形变量减小, 故弹性势能减少, B 错误; 起跳上升过程中, 运动员升高, 重力势能增加, C 正确; 越过横竿后下落过程中, 运动员的重力势能减少, 动能增加, D 正确.
- BCD 【解析】小球在 M 点时弹簧处于压缩状态, 在 N 点时弹簧处于伸长状态, 则在由 M 到 N 过程中有一点弹簧处于原长状态, 设该点为 B 点, 另设小球在 A 点时对应的弹簧最短, 如图所示. 从 M 点到 A 点, 弹簧压缩量变大, 弹力做负功, 从 A 点到 B 点弹簧从压缩逐渐恢复至原长, 弹力做正功, 从 B 点到 N 点弹簧从原长逐渐伸长, 弹力做负功, 选项 A 错误. 小球在 A 点时, 水平方向上弹簧的弹力与杆的弹力相平衡, 小球受到的合外力  $F_{\text{合}} = mg$ , 故加速度  $a = g$ ; 小球在 B 点时, 弹簧处于原长, 杆对小球没有作用力, 小球受到的合外力  $F_{\text{合}} = mg$ , 故加速度  $a = g$ , B 正确. 在 A 点时, 弹簧的弹力  $F_{\text{弹}}$  垂直于杆, 小球的速度沿杆向下, 则  $P_{\text{弹}} = F_{\text{弹}} v \cos \alpha = 0$ , C 正确. 从 M 点到 N 点, 小球与弹簧所组成的系统机械能守恒, 则  $E_{\text{弹M}} = E_{\text{弹N}}$ , 即  $E_{\text{弹M}} - 0 = E_{\text{弹N}} - E_{\text{弹N}} + E_{\text{弹M}} - E_{\text{弹M}}$ , 由于在 M、N 两点弹簧弹力大小相同, 由胡克定律可知, 弹簧形变量相同, 则弹性势能  $E_{\text{弹M}} = E_{\text{弹N}}$ , 故  $E_{\text{弹M}} = E_{\text{弹N}} - E_{\text{弹M}}$ , D 正确.

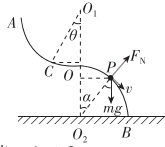
##### 模拟精选

##### 1. AD

- C 【解析】若  $\theta = 0$ , 则 C 与 O 点重合, 设人离开圆弧 OB 的点和 O<sub>2</sub> 点连



线与  $OO_2$  的夹角为  $\alpha$ , 有  $mg \cos \alpha - F_N = m \frac{v^2}{R}$ ,  $mg(R - R \cos \alpha) = \frac{1}{2} m v^2$ , 当  $F_N = 0$  时, 解得  $\cos \alpha = \frac{2}{3}$ , 说明从  $O$  点由静止下滑, 将会在某处离开轨道, 当不了  $B$  点, 选项 A 错误. 若  $\theta = 60^\circ$ , 则  $\frac{1}{2} m v_0^2 = mg(R - R \cos 60^\circ)$ , 即下滑到  $O$  点的速度  $v_0 = \sqrt{gR}$ , 因为  $mg = m \frac{v_0^2}{R}$ , 所以人所受支持力为零, 故人在  $O$  点脱离轨道, 离开轨道后做平抛运动, 有  $R = \frac{1}{2} g t^2$ , 则水平位移  $x = v_0 t = \sqrt{2} R$ , 所以人落水点到起点的水平距离  $x' = \frac{\sqrt{3}}{2} R + \sqrt{2} R \approx 2.28 R$ , 选项 B 错误. 若  $\theta = 37^\circ$ , 假设人从  $C$  点由静止下滑到  $P$  处离开轨道时的速度为  $v$ , 则在  $P$  处时, 有  $mg \cos \alpha - F_N = m \frac{v^2}{R}$ , 根据机械能守恒定律得  $mg(R - R \cos 37^\circ + R - R \cos \alpha) = \frac{1}{2} m v^2$ , 当  $F_N = 0$  时, 解得  $\cos \alpha = 0.8$ , 即  $\alpha$  为  $37^\circ$  时, 人离开轨道, 选项 C 正确. 人从  $A$  点由静止下滑, 根据机械能守恒定律得  $v_0 = \sqrt{2gR}$ , 在  $O$  点处, 有  $F_N - mg = m \frac{v_0^2}{R}$ , 解得  $F_N = 3mg$ , 由牛顿第三定律知, 选项 D 错误.



3. (1) 4 m/s (2) 20 N (3) 能 2.4 J

【解析】(1)物块恰能从  $P$  点沿切线落入圆弧轨道,则  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_c}$

C、P 两点的高度差为  $h = H - (R - R \cos \theta) = 2.4 \text{ m}$

从 C 抛出后,物块做平抛运动,到达 P 点时竖直方向的速度  $v_y = \sqrt{2gh} = 4\sqrt{3}$  m/s  
故  $v_C = 4$  m/s

(2)物块经过  $P$  点时的速度  $v_P = \frac{v_C}{\cos 60^\circ} = 8 \text{ m/s}$

在光滑轨道上只有重力做功,因此从  $P$  到  $N$  过程中,由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_P^2 + mg(R - R\cos 60^\circ) = \frac{1}{2}mv_N^2$$

在  $N$  点时, 有  $F_N - mg = m \frac{v_N^2}{R}$

联立解得  $F_N = 20 \text{ N}$

根据牛顿第三定律,对轨道的压力为 20 N,方向竖直向下

(3) 在光滑竖直轨道上, 由于只有重力做功, 则从  $P$  到  $M$  的过程中, 由机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_P^2 = \frac{1}{2}mv_M^2 + mg(R + R\cos 60^\circ)$$

解得  $v_M = 2\sqrt{10} \text{ m/s}$ 

因经过最高点时的最小速度  $v'_M = \sqrt{gR} = \sqrt{8} \text{ m/s}$

故物块可以经过最高点  $M$ .

根据能量守恒定律,弹簧的弹性势能转化为从 A 到 C 过程中摩擦产生的热量以及在 C 处的动能,即

$$E_p = \frac{1}{2}mv_c^2 + \mu mgL_{AC} = 2.4 \text{ J}$$

### 题型 2

### ▼ 真题再现

1. B 【解析】登高平台克服重力做功的功率  $P = \frac{mgh}{t} = \frac{400 \times 10 \times 60}{5 \times 60} \text{ W} = 800 \text{ W}$ , 而伸缩臂具有一定质量, 升高了一定高度, D 错误; 在 1 秒钟内, 喷出去水的质量为  $m' = \rho V = 10^3 \times \frac{1}{20} \text{ kg} = 50 \text{ kg}$ , 喷出去水的重力势能为  $W_G = m'gh = 50 \times 10 \times 60 \text{ J} = 3 \times 10^4 \text{ J}$ , 水的动能为  $\frac{1}{2}m'v^2 = 1 \times 10^4 \text{ J}$ , 所以 1 秒钟内水增加的能量为  $4 \times 10^4 \text{ J}$ , 所以功率为  $4 \times 10^4 \text{ W}$ , B 正确, A、C 错误。
2. (1) 15.5 m/s (2) 12.6 m/s (3)  $v_2$  理由见解析

【解析】(1)若滑梯光滑,则根据机械能守恒定律得  $mgh = \frac{1}{2}mv_1^2$

解得  $v_1 = \sqrt{2gh} \approx 15.5 \text{ m/s}$ .

(2) 若动摩擦因数为 0.25, 根据动能定理得  $mgh - \mu mg \frac{\sqrt{L^2 - h^2}}{L} \cdot L = \frac{1}{2}mv_2^2 - 0$

解得  $v_2 \approx 12.6 \text{ m/s}$ .

(3) 由于是螺旋轨道, 因此在下滑过程中, 需要考虑向心力, 即支持力要大于重力, 因此沿螺旋轨道下滑时的滑动摩擦力要大于沿倾斜直轨道向下运动的滑动摩擦力.

根据滑动摩擦力做的总功  $W_f = -fs_{\text{路}}$  可知, 沿着螺旋轨道运动的滑动摩擦力做功要多, 根据能量守恒定律可知, 沿着螺旋轨道下滑到底端时的动能要小, 即  $v_b < v_c$ .

▼ 模拟精选

1. C [解析] 书房每升高  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  需要吸收热量为  $Q=1000\times 1.29\times 30\text{ J}=3.87\times 10^4\text{ J}$ ,  $1\text{ h}$  内取暖器产生的热量是  $W=Pt=500\times 3600\text{ J}=1.8\times$

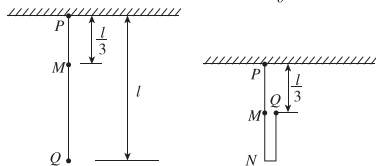
$10^6 \text{ J}$ , 所以  $1 \text{ h}$  能够升高的温度  $T = \frac{Pt\eta}{Q} \approx 23^\circ\text{C}$ , 选项 A、B 错误, 选项 C 正确; 每小时耗电为  $0.5 \text{ kW} \cdot \text{h}$ , 所以需付电费  $0.25 \text{ 元}$ , 选项 D 错误。

2. A 【解析】棒受重力  $G$ 、拉力  $F$  和安培力  $F_A$  的作用,由动能定理得  $W_F + W_G + W_{安} = \Delta E_k$ , 则  $W_F + W_{安} = \Delta E_k + mgh$ , 即力  $F$  做的功与安培力做的功的代数和等于棒机械能的增加量, 选项 A 正确。
3. C 【解析】铅球从开始到经过轨道上某一点时, 受重力、支持力和阻力, 根据动能定理得  $-mgl(\sin 30^\circ - f)l = E_k - E_{k0} = -72 \text{ J}$ , 机械能的减少量等于克服摩擦力做的功, 即  $f l = \Delta E = 12 \text{ J}$ , 立求解得  $l = 1 \text{ m}$ ,  $f = 12 \text{ N}$ , 根据牛顿第二定律得  $-mgsin 30^\circ - f = ma$ , 解得  $a = -6 \text{ m/s}^2$ , 故 B 错误; 当铅球经过轨道上某一点时, 动能减少了  $72 \text{ J}$ , 机械能减少了  $12 \text{ J}$ , 当铅球到达最高点时, 动能减少了  $216 \text{ J}$ , 机械能减少了  $36 \text{ J}$ , 所以铅球上升过程中克服摩擦力做功  $36 \text{ J}$ , 全过程摩擦力做功为  $W = -72 \text{ J}$ , 从发出到返回底端, 重力不做功, 设回到出发点的动能为  $E'_k$ , 由动能定理得  $W = E'_k - E_{k0}$ , 解得  $E'_k = 144 \text{ J}$ , 故 C 正确; 铅球上滑过程中减少的动能全部转化为重力势能和内能, 故 A 错误; 根据能量守恒定律可知, 运动员每推一次消耗的能量至少为  $216 \text{ J}$ , 故 D 错误。

### 题型 3

### ▼ 真题再现

1. D 【解析】匀速下降阶段,火箭所受的阻力等于重力,除了重力做功外,还有阻力做功,所以机械能不守恒,选项 A 错误;在减速阶段,加速度向上,所以处于超重状态,选项 B 错误;火箭着地时,地面对火箭的作用力大于火箭的重力,选项 D 正确;合外力做功等于动能改变量,选项 C 错误。
2. A 【解析】由题可知,缓慢提升绳子,在整个过程中,动能不变,则外力做功  $W_F$  等于重力势能的增加量  $\Delta E_p$ ,将  $Q$  端提升至  $M$  位置处,过程如图所示,由图可知:全程重力势能增加量  $\Delta E_p$  可视为  $NQ$  段上升增加的重力势能,取  $NQ$  段为研究对象,此段质量大小为  $m' = \frac{1}{3}m$ ,其重心位置上升高度为  $h = \frac{1}{2}l$ ,则外力做功为  $W_F = \Delta E_p = m'gh = \frac{1}{6}mgl$ ,A 正确。



▼ 模拟精选

1. BD 【解析】物体在斜面上上升的最大高度为  $h$ , 克服重力做功为  $mgh$ , 故重力势能增加了  $mgh$ , 故 A 错误; 合外力对物体做功为  $W_{\text{合}} = -ma \cdot 2h = -\frac{3}{2}mgh$ , 根据动能定理得, 物体动能损失  $\frac{3}{2}mgh$ , 故 B 正确; 根据牛顿第二定律得  $mg \sin 30^\circ + f = ma$ , 则摩擦力大小为  $f = \frac{1}{4}mg$ , 物体克服摩擦力做功为  $W_f = f \cdot 2h = \frac{1}{2}mgh$ , 所以物体的机械能损失了  $\frac{1}{2}mgh$ , 故 C 错误; 对物体下滑过程, 由动能定理得  $mgh - W_f = E'_k - 0$ , 则  $E'_k = \frac{1}{2}mgh$ , 故 D 正确。
2. CD 【解析】在下滑过程中金属块克服电场力做功为  $0.5 \text{ J}$ , 电势能增加了  $0.5 \text{ J}$ , 故金属块带负电, 故 A、B 错误; 在金属块下滑的过程中, 动能增加了  $0.3 \text{ J}$ , 重力势能减少了  $1.5 \text{ J}$ , 故重力做功为  $1.5 \text{ J}$ , 电场力做功为  $-0.5 \text{ J}$ , 根据动能定理得  $W_G + W_{\text{电}} + W_f = \Delta E_k$ , 解得  $W_f = -0.7 \text{ J}$ , 故 C 正确; 外力做功为  $W_{\text{外}} = W_{\text{电}} + W_f = -1.2 \text{ J}$ , 故机械能减少  $1.2 \text{ J}$ , 故 D 正确。
3. BD 【解析】金属杆开始运动时速度最大, 产生的感应电动势和感应电流最大, 所受的安培力最大, 由  $E = Bdv$ 、 $I = \frac{E}{2R}$ 、 $F_{\text{max}} = BId$  可得最大安培力为  $F_{\text{max}} = \frac{B^2 d^2 v}{2R}$ , 故选项 A 错误; 根据能量守恒定律可知, 上滑过程中电流做功产生的热量为  $Q = \frac{1}{2}mv^2 - mgx(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ , 由功能关系可知, 金属杆克服安培力做的功为  $W_{\text{安}} = Q = \frac{1}{2}mv^2 - mgx(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ , 故选项 B 正确; 由于整个电路所产生的热量为  $\frac{1}{2}mv^2 - mgx(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ , 则定值电阻产生的热量为  $Q_R = \frac{Q}{2} = \frac{1}{4}mv^2 - \frac{1}{2}mgx(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)$ , 故选项 C 错误; 上滑的过程中金属杆的动能减少  $\frac{1}{2}mv^2$ , 重力势能增加  $mgx \sin \alpha$ , 所以金属杆损失的机械能为  $\frac{1}{2}mv^2 - mgx \sin \alpha$ , 故选项 D 正确。

## 第 8 讲 动量定理、动量守恒定律

### 题型 1

### ▼ 真题再现

1. B 【解析】根据动量定理得  $Ft = \Delta mv$ , 则  $\Delta m = \frac{Ft}{v} = \frac{4.8 \times 10^6 \times 1}{3 \times 10^3} \text{ kg} = 1.6 \times 10^3 \text{ kg}$ , B 正确。
2. C 【解析】鸡蛋从一居民楼的 25 层坠下过程只受重力作用, 机械能守恒, 所以有  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ , 每层楼高约 3 m, 所以  $h = 24 \times 3 \text{ m} = 72 \text{ m}$ , 鸡蛋在与地面碰撞过程中受重力和地面的冲击力作用, 设向下为正, 根据动量定理可得  $(mg - F_N)t = 0 - mv$ , 代入数据联立解得  $F_N \approx 10^3 \text{ N}$ , 根据牛顿第三定律, 该鸡蛋对地面产生的冲击力  $F = F_N \approx 10^3 \text{ N}$ 。

● 模拟精选

1. B 【解析】设  $t$  时间内吹到建筑物上的空气质量为  $m$ , 则  $m = \rho S v t$ , 根据动量定理得  $-F t = 0 - m v = 0 - \rho S v^2 t$ , 解得  $F = \rho S v^2$ , 故 B 正确.
2. B 【解析】足球自由下落时, 有  $h = \frac{1}{2} g t^2$ , 解得下落时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.8}{10}} \text{ s} = 0.4 \text{ s}$ , 竖直上抛运动的总时间为自由落体的 2 倍, 则  $t_{\text{总}} = 2t = 0.8 \text{ s}$ ; 以竖直向上为正方向, 由动量定理得  $(F_N - mg) \Delta t = m v - (-m v)$ , 其中  $v = g t = 10 \times 0.4 \text{ m/s} = 4 \text{ m/s}$ , 联立解得  $F_N = 36 \text{ N}$ , 故 B 正确.

题型 2

● 真题再现

1. AC 【解析】核反应前后质量数守恒, 电荷数守恒, A 正确; 质量亏损产生的能量为新核的动能之和, 不是核 Y 的结合能, B 错误; 核反应前后, 系统动量守恒, 即  $m_Y v_Y = m_a v_a$ , 新核在磁场中运动的半径  $r = \frac{m v}{B q}$ , 半径之比为电荷量的反比,  $\frac{r_Y}{R} = \frac{2}{Z-2}$ , C 正确; 由于  $(m_X - m_Y - m_a) c^2 = \frac{1}{2} m_Y v_Y^2 + \frac{1}{2} m_a v_a^2$ , 又知  $\frac{\frac{1}{2} m_Y v_Y^2}{\frac{1}{2} m_a v_a^2} = \frac{m_Y v_Y}{m_a v_a} \cdot \frac{v_Y}{v_a} = \frac{m_a}{m_Y}$ , 故  $E_{kY} = \frac{1}{2} m_Y v_Y^2 = \frac{m_a}{m_Y + m_a} (m_X - m_Y - m_a) c^2$ , D 错误.

2. 【步骤规范】

$$(1) \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (2) \frac{2E}{mg}$$

【解析】(1) 设烟花弹上升的初速度为  $v_0$ , 由题给条件有

$$E = \frac{1}{2} m v_0^2 \quad (1 \text{ 分})$$

设烟花弹从地面开始上升到火药爆炸所用的时间为  $t$ , 由运动学公式有  $0 - v_0 = -g t$   $(2 \text{ 分})$

$$\text{联立①②式得 } t = \frac{1}{g} \sqrt{\frac{2E}{m}} \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 设爆炸时烟花弹距地面的高度为  $h_1$ , 由机械能守恒定律有  $E = m g h_1$   $(4 \text{ 分})$

火药爆炸后, 烟花弹上、下两部分均沿竖直方向运动, 设炸后瞬间其速度分别为  $v_1$  和  $v_2$ , 由题给条件和动量守恒定律有

$$\frac{1}{4} m v_1^2 + \frac{1}{4} m v_2^2 = E \quad (5 \text{ 分})$$

$$\frac{1}{2} m v_1 + \frac{1}{2} m v_2 = 0 \quad (6 \text{ 分})$$

由⑥式知, 烟花弹两部分的速度方向相反, 向上运动部分做竖直上抛运动. 设爆炸后烟花弹上部分继续上升的高度为  $h_2$ , 由机械能守恒定律有

$$\frac{1}{4} m v_1^2 = \frac{1}{2} m g h_2 \quad (7 \text{ 分})$$

联立④⑤⑥⑦式得, 烟花弹上部分距地面的最大高度为

$$h = h_1 + h_2 = \frac{2E}{mg} \quad (8 \text{ 分})$$

● 模拟精选

1. D 【解析】火箭和卫星组成的系统在分离时在飞行方向上动量守恒, 规定初速度的方向为正方向, 由动量守恒定律有  $(m_1 + m_2) v_0 = m_2 v_2 + m_1 v_1$ , 解得分离后卫星的速率  $v_1 = v_0 + \frac{m_2}{m_1} (v_0 - v_2)$ , 故选项 D 正确.
2. B 【解析】在炸裂过程中, 由于重力远小于内力, 系统的动量守恒. 炸裂后  $a$  块的速度与原来的速度方向相反, 根据动量守恒定律有  $(m_a + m_b) v_0 = m_a (-v_a) + m_b v_b$ , 解得  $v_b = \frac{(m_a + m_b) v_0 + m_a v_a}{m_b} > v_0$ , 由题意可知,  $b$  块的速度方向一定与原来物体的速度方向相同, 故 B 正确, C 错误; 但无法判断  $v_a$  与  $v_0$  的大小关系, A 错误; 由动量守恒可知, 炸裂过程中,  $b$  块的动量变化量大小一定等于  $a$  块的动量变化量大小, 故 D 错误.

题型 3

● 真题再现

1.  $\frac{v}{3} \quad \frac{v^2}{3\mu g}$   
【解析】设滑块的质量为  $m$ , 则盒的质量为  $2m$ . 对整个过程, 由动量守恒定律可得  $m v = 3 m v_{\text{共}}$   
解得  $v_{\text{共}} = \frac{v}{3}$   
由能量关系可知  $\mu m g x = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} \cdot 3 m \cdot \left(\frac{v}{3}\right)^2$   
解得  $x = \frac{v^2}{3\mu g}$
2. (1)  $2.04 \times 10^{-3} \text{ s}^2/\text{m}$  (2) 6%  
【解析】(1) 设物块 A 和 B 碰撞后共同运动的速度为  $v'$ , 由动量守恒定律有  $m_B v = (m_A + m_B) v'$  ①  
在碰后 A 和 B 共同上升的过程中, 由机械能守恒定律有  $\frac{1}{2} (m_A + m_B) v'^2 = (m_A + m_B) g h$  ②  
联立①②式得  $h = \frac{m_B^2}{2g(m_A + m_B)^2} v^2$  ③  
由题意得

$$k_0 = \frac{m_B^2}{2g(m_A + m_B)^2} \quad (4)$$

代入题给数据得  $k_0 = 2.04 \times 10^{-3} \text{ s}^2/\text{m}$  ⑤

(2) 按照定义  $\delta = \frac{|k - k_0|}{k_0} \times 100\%$  ⑥

由⑤⑥式和题给条件得  $\delta = 6\%$  ⑦

● 模拟精选

1. B 【解析】不带电的小球乙与带正电的小球甲发生弹性碰撞, 系统动量守恒、机械能守恒, 规定速度  $v_0$  方向为正方向, 设碰撞后甲球的速度为  $v_1$ , 乙球的速度为  $v_2$ , 则有  $m v_0 = 2 m v_1 + m v_2$ ,  $\frac{1}{2} m v_0^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2$ , 解得  $v_1 = \frac{2}{3} v_0$ ,  $v_2 = -\frac{1}{3} v_0$ , 根据左手定则可知, 甲、乙两小球运动轨迹是外切圆, 根据洛伦兹力提供向心力, 有  $q v B = m \frac{v^2}{R}$ , 可得  $R = \frac{m v}{q B}$ , 半径之比为  $R_{\text{甲}} : R_{\text{乙}} = 4 : 1$ , 故选项 B 正确.
2. BC 【解析】 $a$  球运动到最低点时速度  $v_1 = \sqrt{2 g L}$ , 若  $a$ 、 $b$  两球发生弹性碰撞, 由于两球质量相等, 碰撞瞬间两球交换速度, 即  $b$  球获得的速度  $v'_2 = \sqrt{2 g L}$ , 根据机械能守恒可判断  $b$  球上升的最大高度为  $L$ ; 若  $a$ 、 $b$  两球发生完全非弹性碰撞, 根据动量守恒定律有  $m \sqrt{2 g L} = 2 m v'_2$ , 由能量守恒定律有  $\frac{1}{2} \cdot 2 m v'^2_2 = 2 m g h$ , 计算可得其上升的最大高度为  $\frac{L}{4}$ , 故  $b$  球上升的最大高度  $h$  应满足  $\frac{L}{4} \leq h \leq L$ , 故 B、C 正确, A、D 错误.

第 9 讲 力学三大观点解决复杂多过程问题

题型 1

● 真题再现

1. (1) 100 m (2) 1800 N · s  
(3) 如图所示 3900 N



【解析】(1) 根据匀变速直线运动公式, 有  $L = \frac{v_B^2 - v_A^2}{2a} = 100 \text{ m}$

(2) 根据动量定理, 有  $I = m v_B - m v_A = 1800 \text{ N} \cdot \text{s}$

(3) 运动员经 C 点时的受力分析如图所示, 根据动能定理, 运动员在 BC 段运动的过程中, 有

$$m g h = \frac{1}{2} m v_C^2 - \frac{1}{2} m v_B^2$$

根据牛顿第二定律, 有  $F_N - m g = m \frac{v_C^2}{R}$

解得  $F_N = 3900 \text{ N}$

● 模拟精选

1. (1) 0.12 J (2) 0.10 N, 方向竖直向上 (3) 52 cm

【解析】(1)  $A \rightarrow B$  过程, 由动能定理得

$$m g L \sin \theta - \mu_1 m g L \cos \theta = E_k - 0$$

解得  $E_k = 0.12 \text{ J}$

(2)  $B \rightarrow E$  过程, 由动能定理得

$$-m g R (1 + \cos \theta) = \frac{1}{2} m v_E^2 - E_k$$

在 E 点, 由牛顿第二定律得

$$F'_N + m g = m \frac{v_E^2}{R}$$

解得  $F'_N = 0.10 \text{ N}$

由牛顿第三定律得, 滑块对轨道的压力为 0.10 N, 方向竖直向上

(3) 从 B 点开始, 直到停在 FG 上过程中, 由动能定理得

$$m g R (1 - \cos \theta) - \mu_2 m g x = 0 - E_k$$

解得  $x = 0.52 \text{ m} = 52 \text{ cm}$

2. (1)  $\frac{\sqrt{10}}{10} \text{ s}$  (2) 12 N (3) 0.6 m (4) 4.03 m

【解析】(1) 小球在光滑轨道 PQ 上运动, 由牛顿第二定律得  $m g \sin 45^\circ = m a$

解得加速度  $a = g \sin 45^\circ = 5\sqrt{2} \text{ m/s}^2$

小球恰好能沿 AB 圆弧运动, 在 A 点, 由重力提供向心力, 有

$$m g = m \frac{v_A^2}{R}$$

解得速度  $v_A = \sqrt{g R} = \sqrt{5} \text{ m/s}$

在 PQ 上运动的时间  $t = \frac{v_A}{a} = \frac{\sqrt{10}}{10} \text{ s}$

(2) 小球由 A 运动到 B 的过程, 由动能定理得

$$m g \cdot 2 R = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$$

在 B 点, 由牛顿第二定律及向心力公式得

$$F_N - m g = m \frac{v_B^2}{R}$$

解得  $v_B = 5 \text{ m/s}$ ,  $F_N = 6 m g = 12 \text{ N}$

由牛顿第三定律得,压力  $F'_N = F_N = 12\text{ N}$

(3)小球由  $B$  运动至  $C$  点过程,由动能定理得

$$-0.3mgL_1 = \frac{1}{2}mv_C^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

解得  $v_C = 4\text{ m/s}$

若有小球由  $C$  刚好做平抛运动到  $D$ ,设此时小球从  $C$  点抛出的速度为  $v'_C$ ,则有

$$L_2 \sin 37^\circ = \frac{1}{2}gt_1^2$$

$$L_2 \cos 37^\circ = v'_C t_1$$

解得  $t_1 = 0.3\text{ s}$ ,  $v'_C = 2\text{ m/s}$

可见,从  $C$  点飞出的小球将直接落在  $DE$  水平轨道上

故小球在轨道上的第一次着落点  $M$  与  $D$  点的距离

$$L_{DM} = v_C t_1 - L_2 \cos 37^\circ = 0.6\text{ m}$$

(4)若  $BC$  轨道长度  $L_1$  可调节,小球从  $B$  至  $C$  过程,由动能定理得

$$-0.3mgL'_1 = \frac{1}{2}mv_C'^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

$$\text{解得 } L'_1 = -\frac{1}{6}v_C'^2 + \frac{25}{6}$$

小球从  $C$  至  $M$  做平抛运动,其水平位移

$$x_{CM} = v'_C t_1 = \frac{3}{10}v'_C$$

故第一次着落点  $M$  与  $B$  之间的水平距离

$$L_{MB} = L'_1 + x_{CM} = -\frac{1}{6}v_C'^2 + \frac{3}{10}v'_C + \frac{25}{6}$$

则当  $v'_C = 0.9\text{ m/s}$  时,  $L_{MB}$  有最大值,此时  $L'_1 = 4.03\text{ m}$

题型 2

典例精析

例 题 【步骤规范】

(1)  $4.0\text{ m/s}$  (2)  $0.50\text{ m}$  (3)  $0.91\text{ m}$

【解析】(1)设弹簧释放瞬间  $A$  和  $B$  的速度大小分别为  $v_A$ 、 $v_B$ ,以向右为正,由动量守恒定律和题给条件有

$$0 = m_A v_A - m_B v_B \quad (1)$$

$$E_k = \frac{1}{2}m_A v_A^2 + \frac{1}{2}m_B v_B^2 \quad (2)$$

联立①②式并代入题给数据得

$$v_A = 4.0\text{ m/s}, v_B = 1.0\text{ m/s} \quad (3)$$

(2) $A$ 、 $B$  两物块与地面间的动摩擦因数相等,因而两者滑动时加速度大小相等,设为  $a$ .假设  $A$  和  $B$  发生碰撞前,已经有一个物块停止,此物块应为弹簧释放后速度较小的  $B$ .设从弹簧释放到  $B$  停止所需时间为  $t$ , $B$  向左运动的路程为  $s_B$ ,则有

$$m_B a = \mu m_B g \quad (4)$$

$$s_B = v_B t - \frac{1}{2}at^2 \quad (5)$$

$$v_B - at = 0 \quad (6)$$

在时间  $t$  内,  $A$  可能与墙发生弹性碰撞,碰撞后  $A$  将向左运动,碰撞并不改变  $A$  的速度大小,所以无论此碰撞是否发生,  $A$  在时间  $t$  内的路程  $s_A$  都可表示为

$$s_A = v_A t - \frac{1}{2}at^2 \quad (7)$$

联立③④⑤⑥⑦式并代入题给数据得

$$s_A = 1.75\text{ m}, s_B = 0.25\text{ m} \quad (8)$$

这表明在时间  $t$  内  $A$  已与墙壁发生碰撞,但没有与  $B$  发生碰撞,此时  $A$  位

于出发点右边  $0.25\text{ m}$  处,  $B$  位于出发点左边  $0.25\text{ m}$  处,两物块之间的距离  $s$  为

$$s = 0.25\text{ m} + 0.25\text{ m} = 0.50\text{ m} \quad (9)$$

(3) $t$  时刻后  $A$  将继续向左运动,假设它能与静止的  $B$  碰撞,碰撞时速度的大小为  $v'_A$ ,由动能定理有

$$\frac{1}{2}m_A v_A'^2 - \frac{1}{2}m_A v_A^2 = -\mu m_A g(2l + s_B) \quad (10)$$

联立③⑧⑩式并代入题给数据得

$$v'_A = \sqrt{7}\text{ m/s} \quad (11)$$

故  $A$  与  $B$  将发生碰撞.设碰撞后  $A$ 、 $B$  的速度分别为  $v''_A$  和  $v''_B$ ,由动量守恒定律与机械能守恒定律有

$$m_A(-v'_A) = m_A v''_A + m_B v''_B \quad (12)$$

$$\frac{1}{2}m_A v_A'^2 = \frac{1}{2}m_A v''_A^2 + \frac{1}{2}m_B v''_B^2 \quad (13)$$

联立⑪⑫⑬式并代入题给数据得

$$v''_A = \frac{3\sqrt{7}}{5}\text{ m/s}, v''_B = -\frac{2\sqrt{7}}{5}\text{ m/s} \quad (14)$$

这表明碰撞后  $A$  将向右运动,  $B$  继续向左运动.设碰撞后  $A$  向右运动距离为  $s'_A$  时停止,  $B$  向左运动距离为  $s'_B$  时停止,由运动学公式

$$2as'_A = v''_A^2, 2as'_B = v''_B^2 \quad (15)$$

由⑭⑮式及题给数据得

$$s'_A = 0.63\text{ m}, s'_B = 0.28\text{ m} \quad (16)$$

$s'_A$  小于碰撞处到墙壁的距离,由上式可得两物块停止后的距离

$$s' = s'_A + s'_B = 0.91\text{ m} \quad (17)$$

变式 (1)  $8\text{ m/s}$  (2)  $0.25$  (3)  $7\text{ m}$

【解析】(1)小球从  $a$  到  $b$  做平抛运动,在竖直方向上,有  $H - h = \frac{1}{2}gt^2$

小球到达  $b$  点时速度恰好沿斜面方向,有  $\tan 37^\circ = \frac{gt}{v_0}$

解得  $v_0 = 8\text{ m/s}$ .

$$(2) \text{ 小球到达 } b \text{ 点的速度 } v = \frac{v_0}{\cos 37^\circ} = 10\text{ m/s}$$

小球与滑块发生弹性碰撞,由动量守恒定律得  $mv = mv_1 + Mv_2$

$$\text{由能量守恒定律得 } \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}Mv_2^2$$

解得滑块与小球刚碰后的速度  $v_2 = 2\text{ m/s}$

$$\text{由几何关系知,斜面长 } L = \frac{h}{\sin 37^\circ} = 1\text{ m}$$

$$\text{滑块恰好反弹回到 } b \text{ 点,由能量守恒定律得 } \frac{1}{2}Mv_2^2 = \mu MgL \cos 37^\circ$$

解得  $\mu = 0.25$ .

(3)设滑块与挡板第二次碰后到达的最高点与  $c$  板的距离为  $x_2$ ,由能量守恒定律得  $Mg(L - x_2) \sin 37^\circ = \mu MgL \cos 37^\circ$

$$\text{解得 } x_2 = \frac{2}{3}L = \frac{2}{3}\text{ m}$$

设滑块与挡板第三次碰后到达的最高点与  $c$  板的距离为  $x_3$ ,由能量守恒定律得  $Mg(x_2 - x_3) \sin 37^\circ = \mu Mg x_2 \cos 37^\circ$

$$\text{解得 } x_3 = \frac{2}{3}x_2 = \left(\frac{2}{3}\right)^2\text{ m}$$

$$\text{以此类推, } x_1 = \frac{2}{3}x_3 = \left(\frac{2}{3}\right)^3\text{ m}$$

所以滑块在斜面上共通过的路程为  $s = 3L + 2x_2 + 2x_3 + \dots + 2x_n = 7\text{ m}$ .

专题三 电场和磁场

第 10 讲 电场和磁场的基本性质

题型 1

真题再现

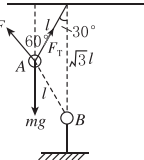
1. C 【解析】沿电场线方向电势降低,  $A$  错误;电场线的疏密表示电场强弱,故  $a$  点的场强大于  $b$  点的场强,但场强方向不同,  $B$  错误;负电荷的受力方向与场强方向相反,所以把一负电荷从  $a$  点移到  $b$  点,电场力做负功,电势能增大,  $C$  正确,  $D$  错误.

2. C 【解析】由图可知,粒子从  $A$  到  $B$  过程中,加速度越来越大,故电场强度  $E_A < E_B$ ,粒子从  $B$  到  $C$  过程中,加速度越来越小,故电场强度  $E_C < E_B$ ,  $B$  错误.粒子从  $A$  经  $B$  到  $C$ ,速率先减小后反向增大,故电场力先做负功后做正功,电势能先增加后减少,  $C$  正确,  $D$  错误.带电粒子的电性不确定,无法判断电势的高低,  $A$  错误.

3. B 【解析】对小球  $A$  受力分析如图所示,由对称性可知,细线拉力等于库仑力,根据平衡条件有  $F \cos 30^\circ = \frac{1}{2}mg$ ,解得  $F = \frac{\sqrt{3}mg}{3}$ ,则细线拉力  $F_T = \frac{\sqrt{3}mg}{3}$ ,而由

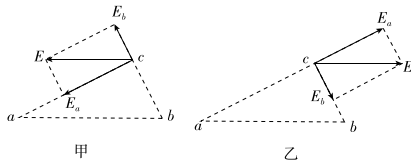
$$\text{库仑定律可得 } A、B \text{ 间库仑力 } F = \frac{kq^2}{r^2}, \text{ 则细线拉力 } F_T$$

$$= \frac{kq^2}{r^2}, \text{ 只有选项 } B \text{ 正确.}$$



模拟精选

1. D 【解析】当  $c$  所受  $a$ 、 $b$  的库仑力的合力与  $a$ 、 $b$  连线平行时,场强如图甲或乙所示.所以  $a$ 、 $b$  的电荷一定异号,  $E_a = \frac{kQ_a}{(ac)^2}$ 、 $E_b = \frac{kQ_b}{(bc)^2}$ ,由图可知  $\frac{E_a}{E_b} = \frac{4}{3}$ ,解得  $\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{64}{27}$ ,  $D$  正确.



2. B 【解析】由位移—时间图像可知,电子的速度越来越小,是减速运动,但不能判断加速度的大小变化情况,所以无法判断电场强度大小变化情况,  $A$ 、 $C$  错误;由于电子减速运动,所以电场力做负功,电势能增加,  $B$  正确;电子的受力方向与电场强度方向相反,所以场强方向由  $A$  指向  $B$ ,  $A$  点电势高于  $B$  点电势,  $D$  错误.

3. B 【解析】由等量异种点电荷间的电场分布情况可知,  $O$  点场强大于  $N$  点场强,  $M$ 、 $N$  两点电场强度大小相等,且方向相同,  $A$  错误,  $B$  正确;  $M$ 、 $O$  两点在等量异种点电荷的对称面上,电势相等,且等于零,故  $M$ 、 $O$  两点及无穷远处的电势都相等,所以在这些点间移动电荷,电场力均做功为零,电势能均不变,  $C$ 、 $D$  错误.

题型 2

真题再现

1. A 【解析】实验前,只用带电玻璃棒与电容器  $a$  板接触,因为  $b$  板接地,所以可使电容器带电,选项  $A$  正确.实验中,只将  $b$  板向上移动,则电容器的电容减小,而电容器带电荷量不变,所以两板间电势差变大,静电计指针的张角变大,故  $B$  错误.实验中,只在极板间插入有机玻璃,则电容器的电容增大,而电容器带电荷量不变,所以两板间电势差减小,静电计指针的张角变小,选项  $C$  错误.实验中,只增加极板带电荷量,则静电计指针的张角变大,但是并没有改变电容器结构,所以电容器的电容保持不变,选项  $D$  错误.

2. A 【解析】粒子  $P$  静止时,有  $\frac{U}{d}q = mg$ ,抽出金属板后,有  $mg - \frac{U}{d}q =$

$ma$ , 联立解得  $a = \frac{l}{d}g$ , 选项 A 正确.

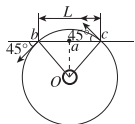
● 模拟精选

1. BC 【解析】由公式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$  可知, 当被测物体带动电介质板向左移动时, 导致两极板间介电常数增大, 则电容  $C$  增大, 由公式  $C = \frac{Q}{U}$  可知, 电荷量  $Q$  不变时,  $U$  减小, 则  $\theta$  减小, 故 A 错误, C 正确; 由公式  $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi kd}$  可知, 当被测物体带动电介质板向右移动时, 导致两极板间介电常数减小, 则电容  $C$  减小, 由公式  $C = \frac{Q}{U}$  可知, 电荷量  $Q$  不变时,  $U$  增大, 则  $\theta$  增大, 故 B 正确, D 错误.
2. ABD 【解析】A、B 两板间的电势差为  $E$ ,  $\varphi_A - \varphi_B = E$ ,  $\varphi_A = 0$ , 所以  $\varphi_B = -E$ , 故 A 正确; 改变滑动变阻器的滑片位置, 则两极板间的电压不变, 极板间的电场强度不变, 粒子所受电场力不变, 所以带电粒子仍处于静止状态, 故 B 正确; 将 B 板向上移动, 则极板间距离减小, 极板间场强变大, A 板与 P 点间的电势差变大, 而 A 板电势不变, 所以 P 点电势变小, 故 C 错误; 将 B 板向左平移, 则极板间的距离和电压不变, 场强不变, P 点电势不变, 所以带电粒子的电势能不变, 故 D 正确.

题型 3

● 真题再现

1. A 【解析】由图可知磁场最强点为  $a$  点, 在导线的正上方, 所以导线平行于  $EF$ , 且深度  $h = \frac{L}{2}$ .



2. A 【解析】装置的构造模型为两个线圈和一个杠杆, 两线圈中通有同向电流时互相吸引, 通有反向电流时互相排斥, 由图知当天平示数为负时表示互相吸引, 此时两线圈中的电流方向相同, A 正确, B 错误; 线圈 I 对线圈 II 的作用力与线圈 II 对线圈 I 的作用力是一对相互作用力, 两者等大反向, C、D 错误.

● 模拟精选

1. A 【解析】电流从中心流向边缘, 磁场向里, 根据左手定则可知铝盘沿逆时针方向转动, A 错误. 只改变磁场方向或只改变电流方向时, 铝盘转动方向改变, B、C 正确. 同时改变磁场方向和电流方向, 则铝盘转动方向不变, D 正确.
2. A 【解析】当磁场在虚线下方时, 通电导线的等效长度为  $\frac{1}{2}l$ , 受到的安培力方向竖直向上, 故  $F_1 + \frac{1}{2}Bil = mg$ , 当磁场在虚线上方时, 通电导线的等效长度为  $\frac{1}{2}l$ , 受到的安培力方向竖直向下, 故  $F_2 = \frac{1}{2}Bil + mg$ , 联立可得  $I = \frac{F_2 - F_1}{Bl}$ , A 正确.

题型 4

● 真题再现

1. C 【解析】粒子在电场力与洛伦兹力的共同作用下做匀速直线运动, 那么电场力大小应该等于洛伦兹力, 即  $Eq = qvB$ , 可得  $E = vB$ , 选项 C 正确.
2. D 【解析】根据  $qvB = \frac{mv^2}{r}$  有  $\frac{B_1}{B_2} = \frac{r_2}{r_1} \cdot \frac{v_1}{v_2}$ , 穿过铝板后粒子动能减半, 则  $\frac{v_1}{v_2} = \sqrt{2}$ , 穿过铝板后粒子运动半径减半, 则  $\frac{r_2}{r_1} = \frac{1}{2}$ , 因此  $\frac{B_1}{B_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$ , D 正确.
3. AC 【解析】电子、正电子和质子垂直进入磁场时, 所受的重力均可忽略, 受到的洛伦兹力的方向与其电性有关, 由左手定则可知 A 正确. 由轨道半径公式  $R = \frac{mv}{Bq}$  知, 若电子与正电子进入磁场时的速度不同, 则其运动的轨迹半径也不相同, 故 B 错误. 由  $R = \frac{mv}{Bq} = \frac{\sqrt{2mE_k}}{Bq}$  知, D 错误. 因质子和正电子均带正电, 且半径大小与速度有关, 故依据粒子运动轨迹无法判断该粒子是质子还是正电子, C 正确.

● 模拟精选

1. A 【解析】通电长直导线产生的磁场的磁感应强度  $B$  方向平行于水平面, 小球因在水平方向上不受力而做匀速直线运动, 选项 A 正确.
2. C 【解析】如果没有磁场, 小球将做竖直上抛运动, 上升的最大高度  $h = \frac{v_0^2}{2g}$ , 当加上磁场后, 小球在运动过程中, 除受重力外, 还要受到洛伦兹力作用, 小球在向上运动的同时会发生偏转, 小球到达最高点时速度不为零, 动能不为零, 因此小球上升的最大高度小于  $\frac{v_0^2}{2g}$ , 故 C 正确.
3. D 【解析】小球在运动过程中受重力、洛伦兹力和轨道的支持力作用, 因洛伦兹力不做功, 支持力始终与小球运动方向垂直, 也不做功, 即只有重力做功, 满足机械能守恒, 因此 Q 点与 A 点等高, 在同一水平线上, 选项 A 错误; 小球向右或向左滑过 B 点时速度等大反向, 即洛伦兹力等大反向, 小球对轨道的压力不相等, 选项 B 错误; 同理, 小球向上或向下滑过 P 点时, 洛伦兹力也等大反向, 选项 C 错误; 因洛伦兹力始终垂直于斜面, 小球在 AB 段和 BQ 段 (设两斜面与水平面的夹角均为  $\theta$ ) 的加速度均由重力沿斜面的分力产生, 大小为  $g \sin \theta$ , 由  $x = \frac{1}{2}at^2$  得小球从 A 到 B 的时间是从 Q 到 P

时间的  $\sqrt{2}$  倍, 选项 D 正确.

第 11 讲 带电粒子在电场和磁场中的运动

题型 1

● 真题再现

1. BD 【解析】电容器两极板间的电压  $U$  不变, 产生的匀强电场的场强为  $E = \frac{U}{d}$ , 两微粒所受的电场力  $F = qE$ , 大小相等, 方向相反,  $t$  时间后, 由动量定理得  $Ft = mv - 0$ , 所以两微粒动量大小相等, D 正确; 因  $t$  时刻两者经过下半区域同一水平面, 所以  $a$  的位移大于  $b$  的位移, 而时间相等, 则  $a$  的平均速度大于  $b$  的平均速度, 所以  $v_a > v_b$ , 故  $m_a < m_b$ , A 错误; 由  $W = qE \cdot x$ ,  $0 \sim t$  时间内电场力对  $a$  做的功大于对  $b$  做的功, 所以  $t$  时刻  $a$  的动能比  $b$  的大, B 正确; 在该电场中, 同一水平面上电势相等, 电势能  $E_e = q\varphi$ ,  $E_a = -q\varphi$ , 所以两者在  $t$  时刻的电势能不相等, C 错误.

2. (1) 3 : 1 (2)  $\frac{1}{3}H$  (3)  $\frac{mg}{\sqrt{2}q}$

【解析】(1) 设小球 M、N 在 A 点水平射出时的初速度大小为  $v_0$ , 则它们进入电场时的水平速度仍然为  $v_0$ . M、N 在电场中运动的时间  $t$  相等, 电场力作用下产生的加速度沿水平方向, 大小均为  $a$ , 在电场中沿水平方向的位移分别为  $s_1$  和  $s_2$ . 由题给条件和运动学公式得

$$v_0 - at = 0 \quad ①$$
$$s_1 = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 \quad ②$$

$$s_2 = v_0 t - \frac{1}{2}at^2 \quad ③$$

联立 ①②③ 式得

$$\frac{s_1}{s_2} = 3 \quad ④$$

(2) 设 A 点距电场上边界的高度为  $h$ , 小球下落  $h$  时在竖直方向的分速度为  $v_y$ , 由运动学公式得

$$v_y^2 = 2gh \quad ⑤$$

$$H = v_y t + \frac{1}{2}gt^2 \quad ⑥$$

M 进入电场后做直线运动, 由几何关系知

$$\frac{v_0}{v_y} = \frac{s_1}{H} \quad ⑦$$

联立 ①②⑤⑥⑦ 式可得

$$h = \frac{1}{3}H \quad ⑧$$

(3) 设电场强度的大小为  $E$ , 小球 M 进入电场后做直线运动, 则

$$\frac{v_0}{v_y} = \frac{qE}{mg} \quad ⑨$$

设 M、N 离开电场时的动能分别为  $E_{k1}$ 、 $E_{k2}$ , 由动能定理得

$$E_{k1} = \frac{1}{2}m(v_0^2 + v_y^2) + mgH + qEs_1 \quad ⑩$$

$$E_{k2} = \frac{1}{2}m(v_0^2 + v_y^2) + mgH - qEs_2 \quad ⑪$$

由已知条件

$$E_{k1} = 1.5E_{k2} \quad ⑫$$

联立 ④⑤⑦⑧⑨⑩⑪⑫ 式得

$$E = \frac{mg}{\sqrt{2}q} \quad ⑬$$

● 模拟精选

1. D 【解析】电子受到的静电力做负功, 有  $-eU_{OA} = 0 - E_k$ ,  $U_{OA} = \frac{U}{d}h$ , 解得  $E_k = \frac{eUh}{d}$ , 选项 D 正确.
2. (1)  $5.0 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$  (2)  $0.625 \text{ cm}$   
(3)  $2.275 \times 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$

【解析】(1) 设金属板 A、B 间的电场强度为  $E$ , 则  $E = \frac{U}{d}$

根据牛顿第二定律有  $Ee = ma$

$$\text{解得 } a = 5.0 \times 10^{14} \text{ m/s}^2$$

(2) 电子以速度  $v_0$  进入金属板 A、B 间, 在垂直于电场方向做匀速直线运动, 沿电场方向做初速度为零的匀加速直线运动.

$$\text{电子在电场中运动的时间为 } t = \frac{l}{v_0}$$

$$\text{电子射出电场时在沿电场线方向上的侧移量 } y = \frac{1}{2}at^2$$

$$\text{解得 } y = 0.625 \text{ cm}$$

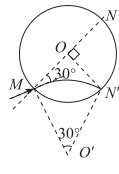
(3) 设电子从进入电场到离开电场的时间内动量的改变量大小为  $\Delta p$ , 根据动量定理有  $\frac{eU}{d}t = \Delta p$

$$\text{解得 } \Delta p = 2.275 \times 10^{-24} \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

题型 2

● 真题再现

1. A 【解析】作出粒子的运动轨迹如图所示, 其中  $O'$  为粒子运动轨迹的圆心, 由几何关系可知  $\angle MO'N' = 30^\circ$ . 由粒子在磁场中做匀速圆周运动的规律可知  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ ,  $T = \frac{2\pi r}{v}$ , 得  $T = \frac{2\pi m}{Bq}$ , 即比荷  $\frac{q}{m} = \frac{2\pi}{BT}$ , 由题意知  $t_{\text{粒子}} = t_{\text{筒}}$ , 即  $30^\circ \cdot T = \frac{90^\circ}{360^\circ} \cdot T_{\text{筒}}$ , 则  $T = 3T_{\text{筒}}$ , 又  $T_{\text{筒}} = \frac{2\pi}{\omega}$ , 故  $\frac{q}{m} =$



$\frac{\omega}{3B}$ , 选项 A 正确.

2. [步骤规范]

- (1)  $\frac{v}{B_0 L}$  (2)  $\frac{\pi}{3}$  (3) 见解析

[解析] (1) 洛伦兹力提供向心力, 有  $qvB_0 = m \frac{v^2}{R}$  ① (1 分)

圆周运动的半径  $R = L$

$$\text{解得 } \frac{q}{m} = \frac{v}{B_0 L} \quad \text{② (1 分)}$$

(2) 如图 1 所示, 以最大值  $\theta_m$  入射时, 有  $2R \cos \theta_m = L$  ③ (1 分)

$$\text{解得 } \theta_m = \frac{\pi}{3} \quad \text{④ (1 分)}$$

(3)  $B > B_0$ , 全部收集到离子时的最小半径为  $R_1$ , 如图 2 所示, 有  $2R_1 \cos 37^\circ = L$  ⑤ (1 分)

$$\text{解得 } B_1 = \frac{mv}{qR_1} = 1.6B_0 \quad \text{⑥ (1 分)}$$

当  $B_0 \leq B \leq 1.6B_0$  时, 有  $n_1 = n_0$   
 $B > 1.6B_0$ , 恰好收集不到离子时的半径为  $R_2$ , 有  $R_2 = 0.5L$

$$\text{解得 } B_2 = 2B_0 \quad \text{⑦ (1 分)}$$

当  $1.6B_0 < B \leq 2B_0$  时, 设  $R' = \frac{mv}{qB}$ , 有  $n_2 =$

$$\frac{2R' - L}{2R'(1 - \cos 37^\circ)} n_0 = n_0 \left( 5 - \frac{5B}{2B_0} \right) \quad \text{⑧ (1 分)}$$

当  $2B_0 < B \leq 3B_0$  时, 有  $n_3 = 0$  ⑨ (1 分)

模拟精选

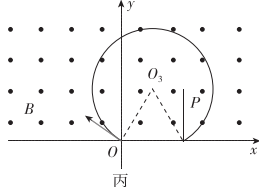
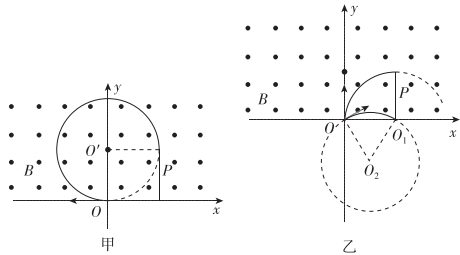
1. A [解析] 粒子先后由 O 点射入磁场, 并在 M 点相遇的两个粒子轨迹恰好组成一个完整的圆, 从 O 点沿 OP 方向入射并通过 M 点的粒子轨迹所对圆心角为  $240^\circ$ , 根据带电粒子在磁场中运动周期  $T = \frac{2\pi m}{Bq}$  可知, 该粒子从进入磁场到通过 M 点运动的时间  $t_1 = \frac{240^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{4\pi m}{3qB}$ , 则另一个粒子轨迹所对圆心角为  $120^\circ$ , 该粒子从进入磁场到通过 M 点运动时间  $t_2 = \frac{120^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{2\pi m}{3qB}$ , 所以两粒子射入磁场的时间差可能为  $\Delta t = \frac{2\pi m}{3qB}$ , 故 A 正确. 射入磁场方向分别与 PQ 成  $30^\circ$  和  $60^\circ$  角的两粒子运动至 M 点的轨迹所对圆心角之和不是  $360^\circ$ , 不可能在 M 点相遇, 故 B 错误. 在磁场中运动的粒子离边界的最大距离为轨迹圆周的直径  $d = \frac{2mv_0}{Bq}$ , 故 C 错误. 沿 OP 方向入射的粒子在磁场中运动的轨迹所对圆心角最大, 运动时间最长, 故 D 错误.

2. (1)  $\frac{mv}{qx_0}$  (2)  $\frac{\pi x_0}{3v}$  (3)  $(2 - \sqrt{3})x_0$

[解析] (1) 由左手定则可以判断, 带电粒子在磁场中沿顺时针方向做圆周运动, 沿 x 轴负方向射入磁场的粒子恰好打在金属板的上方, 如图甲所示,  $R = x_0$

$$qvB = m \frac{v^2}{R}$$

$$\text{联立得 } B = \frac{mv}{qx_0}$$



(2) 粒子做圆周运动的周期为  $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi x_0}{v}$

图乙为带电粒子打在金属板左侧的两个临界情况, 由图可知, 到达薄金属板左侧下端的粒子用时最短, 即  $t_{\min} = \frac{T}{6} = \frac{\pi x_0}{3v}$

图丙为打在金属板右侧下端的临界情况, 由图可知, 到达金属板右侧下端的粒子用时最长, 即  $t_{\max} = \frac{5T}{6} = \frac{5\pi x_0}{3v}$

(3) 由图甲可知挡板左端坐标为  $(0, 2x_0)$

由图丙可知挡板左端纵坐标为  $y_2 = 2x_0 \cos 30^\circ = \sqrt{3}x_0$ , 即下端坐标为  $(0, \sqrt{3}x_0)$

最小长度  $L = 2x_0 - \sqrt{3}x_0 = (2 - \sqrt{3})x_0$

第 12 讲 带电粒子在复合场中的运动

题型 1

真题再现

1. (1) 200 V/m (2)  $5.5 \times 10^{-3}$  T (3)  $B = \frac{2E}{v}$

[解析] (1) 质子在电场中做类平抛运动, 有

$$v_y = at = \frac{qE_{\max} L}{mv}$$

$$\tan \alpha = \frac{v_y}{v} = \frac{E_{\max} q L}{mv^2}$$

质子到达区域 II 右下端时, 有

$$\tan \alpha = \frac{\frac{H}{2}}{L + \frac{L}{2}}$$

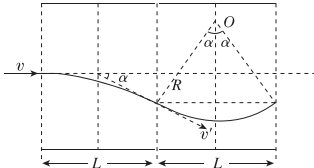
$$\text{解得 } E_{\max} = \frac{Hmv^2}{3qL^2} = 200 \text{ V/m}$$

(2) 质子在磁场中运动, 有  $R = \frac{mv}{qB_{\max}}$

根据几何关系有  $R^2 - \left(R - \frac{H}{2}\right)^2 = L^2$

$$\text{解得 } B_{\max} = \frac{mvH}{q \left(L^2 + \frac{H^2}{4}\right)} = 5.5 \times 10^{-3} \text{ T}$$

(3) 质子运动轨迹如图所示.



设质子进入磁场时的速率为  $v$ ,

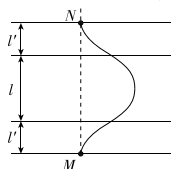
$$\sin \alpha = \frac{v_y}{v} = \frac{at}{v} = \frac{Eq \cdot L}{mvv}$$

由几何关系知

$$\sin \alpha = \frac{\frac{L}{2}}{R} = \frac{\frac{L}{2}}{\frac{mv}{Bq}} = \frac{BqL}{2mv}$$

$$\text{解得 } B = \frac{2E}{v}$$

2. (1) 如图所示 (2)  $\frac{2El'}{Bl}$  (3)  $\frac{4\sqrt{3}El'}{B^2 l^2} \frac{Bl}{E} \left(1 + \frac{\sqrt{3}\pi l}{18l'}\right)$



[解析] (1) 粒子运动的轨迹如图所示. (粒子在电场中的轨迹为抛物线, 在磁场中为圆弧, 上下对称)

(2) 粒子从电场下边界入射后在电场中做类平抛运动. 设粒子从 M 点射入时速度的大小为  $v_0$ , 在下侧电场中运动的时间为  $t$ , 加速度的大小为  $a$ ; 粒子进入磁场的速度大小为  $v$ , 方向与电场方向的夹角为  $\theta$  如图所示, 速度沿电场方向的分量为  $v_1$ . 根据牛顿第二定律有

$$qE = ma$$

式中  $q$  和  $m$  分别为粒子的电荷量和质量. 由运动学公式有

$$v_1 = at$$

$$l' = v_0 t$$

$$v_1 = v \cos \theta$$

粒子在磁场中做匀速圆周运动, 设其运动轨道半径为  $R$ , 由洛伦兹力公式和牛顿第二定律得

$$qvB = \frac{mv^2}{R} \quad \text{①}$$

由几何关系得

$$l = 2R \cos \theta \quad \text{②}$$

联立①②③④⑤⑥式得

$$v_0 = \frac{2El'}{Bl} \quad \text{③}$$

(3) 由运动学公式和题给数据得

$$v_1 = v_0 \cot \frac{\pi}{6} \quad \text{④}$$

联立①②③⑦⑧式得

$$\frac{q}{m} = \frac{4\sqrt{3}El'}{B^2 l^2} \quad \text{⑤}$$

设粒子由 M 点运动到 N 点所用的时间为  $t'$ , 则

$$t' = 2t + \frac{2\left(\frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{6}\right)}{2\pi} T \quad (10)$$

式中  $T$  是粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期,

$$T = \frac{2\pi m}{qB} \quad (11)$$

由③⑦⑨⑩⑪式得

$$t' = \frac{Bl}{E} \left(1 + \frac{\sqrt{3}\pi l}{18l'}\right) \quad (12)$$

### 模拟精选

1. (1) 300 V (2)  $1.7 \times 10^{-3} \text{ T} \leq B \leq 3.75 \times 10^{-3} \text{ T}$

【解析】(1) 带电粒子射出电场时在电场方向上的速度为  $v_y = v_0 \tan 37^\circ$   
 $v_y = at$

在电场中, 由牛顿第二定律可得  $qE = q \frac{U}{d} = ma$

在电场中垂直于电场方向上有  $L = v_0 t$

联立解得 A、B 两板间的电势差为

$$U = 300 \text{ V}.$$

(2) 粒子进入磁场的速度为  $v = \frac{v_0}{\cos 37^\circ}$

带电粒子射出电场时在电场方向上的位移为  $y = \frac{1}{2} at^2$

粒子要打在 CD 上, 当磁感应强度最大时, 运动轨迹如图图中线 1 所示, 设此时的磁感应强度为  $B_1$ , 轨迹半径为  $R_1$ , 由几何关系可得  $y = R_1 + R_1 \cos 37^\circ$

由洛伦兹力提供向心力可得  $qvB_1 = m \frac{v^2}{R_1}$

粒子要打在 CD 上, 当磁感应强度最小时, 假设运动轨迹与右边界相切, 设此时的半径为  $R_2$ , 由几何关系可得  $l = R_2 + R_2 \sin 37^\circ$

解得  $R_2 = 15 \text{ cm}$

又由于  $R_2 \cos 37^\circ = 12 \text{ cm} = y$ , 故粒子圆心恰好落在 CD 上, 且从 D 点射出磁场, 如图中曲线 2 所示, 假设成立, 设此时的磁感应强度为  $B_2$ ,

由洛伦兹力提供向心力可得  $qvB_2 = m \frac{v^2}{R_2}$

联立解得磁感应强度大小  $B$  的取值范围为  $1.7 \times 10^{-3} \text{ T} \leq B \leq 3.75 \times 10^{-3} \text{ T}$ .

2. (1) 0.2 m (2)  $\left(\frac{3\pi}{2} + 4\right) \times 10^{-4} \text{ s}$  (3)  $\frac{\sqrt{2}}{5} \text{ m}$

【解析】(1) 粒子进入磁场后做匀速圆周运动, 由牛顿第二定律得  $qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r}$

解得  $r = 0.2 \text{ m}$

(2) 粒子第一次在磁场中运动的时间为  $t_1 = \frac{3}{4} T = \frac{3}{4} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{3}{2} \pi \times 10^{-4} \text{ s}$

设粒子在电场中运动的时间为  $t_2$ , 有

$$a = \frac{qE}{m}$$

$$\tan 45^\circ = \frac{\frac{1}{2} at_2^2}{v_0 t_2}$$

解得  $t_2 = 4 \times 10^{-4} \text{ s}$

所以总时间为  $t_{\text{总}} = t_1 + t_2 = \left(\frac{3\pi}{2} + 4\right) \times 10^{-4} \text{ s}$

(3) 如图所示, 粒子在电场中做类平抛运动, 设粒子速度偏转角为  $\alpha$ , 粒子第二次进入磁场时的速度大小为  $v$ , 与  $y$  轴负方向的夹角为  $\theta$ .

有  $\tan \alpha = \frac{at_2}{v_0} = 2$

则  $\theta = \alpha - 45^\circ$

$$v = \frac{v_0}{\cos \alpha} = \sqrt{5} v_0$$

根据牛顿第二定律得  $qvB = m \frac{v^2}{R}$

$$\text{解得 } R = \frac{mv}{qB} = \frac{\sqrt{5}}{5} \text{ m}$$

粒子第二次进、出磁场位置间的距离  $L = 2R \sin \theta = 2R \sin (\alpha - 45^\circ) = \frac{\sqrt{2}}{5} \text{ m}$

### 题型 2

### 典例精析

例题 B 【解析】对微粒 a, 洛伦兹力提供其做圆周运动所需向心力, 且  $m_a g = Eq$ , 对微粒 b, 有  $qvB + Eq = m_b g$ , 对微粒 c, 有  $qvB + m_c g = Eq$ , 联立三式可得  $m_b > m_c > m_a$ , 选项 B 正确.

变式 1 CD 【解析】小球在叠加场内受到竖直向下的重力、电场力和洛伦兹力, 其中电场力和重力都是恒力, 若速度变化, 则洛伦兹力变化, 合力变化, 小球一定不能沿直线下降, 所以合力等于 0, 小球做匀速直线运动, 选项 C 正确; 若小球带正电, 则电场力斜向下, 洛伦兹力水平向左, 它们和重力的合力不可能等于 0, 所以小球不可能带正电, 选项 A 错误; 小球带负电, 受到斜向上的电场力和水平向右的洛伦兹力, 根据几何关系及力的合成可得  $qE = \sqrt{2} mg$ , 故电场强度  $E = \frac{\sqrt{2} mg}{q}$ , 选项 B 错误; 洛伦兹力  $qv_0 B = mg$ , 故磁感应强度  $B = \frac{mg}{qv_0}$ , 选项 D 正确.

变式 2 BC 【解析】小球在叠加场中做匀速圆周运动, 则小球受的电场力和重力大小相等, 方向相反, 小球带负电, A 错误; 由牛顿第二定律得  $Bqv = m \frac{v^2}{r}$ , 由动能定理得  $Uq = \frac{1}{2} mv^2$ , 又  $mg = qE$ , 联立可得小球做匀速圆周运动的半径  $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2UE}{g}}$ , 由  $T = \frac{2\pi r}{v}$  可以得出  $T = \frac{2\pi E}{Bg}$ , B、C 正确, D 错误.

### 题型 3

### 典例精析

例题 (1)  $2\sqrt{\frac{qEd}{m}}$   $\frac{2}{B}\sqrt{\frac{mEd}{q}}$  (2)  $B\sqrt{\frac{nqd}{2mE}}$  (3) 见解析

【解析】(1) 粒子在进入第 2 层磁场时, 经过两次电场加速, 中间穿过磁场时洛伦兹力不做功. 由动能定理, 有

$$2qEd = \frac{1}{2} mv_2^2 \quad (1)$$

由①式解得

$$v_2 = 2\sqrt{\frac{qEd}{m}} \quad (2)$$

粒子在第 2 层磁场中受到的洛伦兹力充当向心力, 有

$$qv_2 B = m \frac{v_2^2}{r_2} \quad (3)$$

由②③式解得

$$r_2 = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{mEd}{q}} \quad (4)$$

(2) 设粒子在第  $n$  层磁场中运动的速度为  $v_n$ , 轨迹半径为  $r_n$  (各量的下标均代表粒子所在层数, 下同).

$$nqEd = \frac{1}{2} mv_n^2 \quad (5)$$

$$qv_n B = m \frac{v_n^2}{r_n} \quad (6)$$

粒子进入第  $n$  层磁场时, 速度的方向与水平方向的夹角为  $\alpha_n$ , 从第  $n$  层磁场右侧边界穿出时速度方向与水平方向的夹角为  $\theta_n$ , 粒子在电场中运动时, 垂直于电场线方向的速度分量不变, 有

$$v_{n-1} \sin \theta_{n-1} = v_n \sin \alpha_n \quad (7)$$

由图甲看出

$$r_n \sin \theta_n - r_{n-1} \sin \alpha_n = d \quad (8)$$

由⑦⑧⑨式得

$$r_n \sin \theta_n - r_{n-1} \sin \theta_{n-1} = d \quad (9)$$

由⑨式看出  $r_1 \sin \theta_1, r_2 \sin \theta_2, \dots, r_n \sin \theta_n$  为一等差数列, 公差为  $d$ , 可得

$$r_n \sin \theta_n = r_1 \sin \theta_1 + (n-1)d$$

当  $n=1$  时, 由图乙看出

$$r_1 \sin \theta_1 = d$$

$$\text{由⑤⑥⑨⑩式得 } \sin \theta_n = B \sqrt{\frac{nqd}{2mE}}$$

(3) 若粒子恰好不能从第  $n$  层磁场右侧边界穿出, 则

$$\theta_n = \frac{\pi}{2}$$

在其他条件不变的情况下, 换用比荷更大的粒子, 设其比荷为  $\frac{q'}{m'}$ , 假设能穿出第  $n$  层磁场右侧边界, 粒子穿出时, 速度方向与水平方向的夹角为  $\theta'_n$ , 由于

$$\frac{q'}{m'} > \frac{q}{m}$$

则导致

$$\sin \theta'_n > 1$$

说明  $\theta'_n$  不存在, 即原假设不成立. 所以比荷较该粒子大的粒子不能从该层磁场右侧边界穿出.

变式 (1)  $7.2 \times 10^3 \text{ N/C}$  (2) 4 cm (3)  $1.1 \times 10^{-4} \text{ s}$

【解析】(1) 电荷在电场中做匀加速直线运动, 有

$$v_0 = a \Delta t$$

$$Eq = ma$$

$$\text{解得 } E = \frac{mv_0}{q \Delta t} \approx 7.2 \times 10^3 \text{ N/C}$$

(2) 由  $qv_0 B = m \frac{v_0^2}{r}$ ,  $T = \frac{2\pi r}{v_0}$

$$\text{可得 } r = \frac{mv_0}{qB}, T = \frac{2\pi m}{qB}$$

当磁场垂直于纸面向外时, 半径  $r_1 = \frac{mv_0}{qB_1} = 5 \text{ cm}$

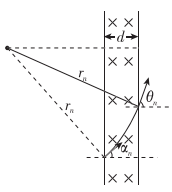
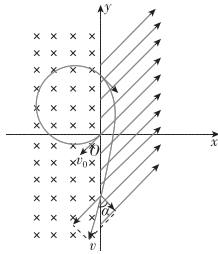
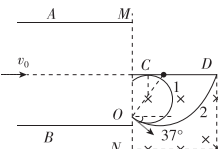
$$\text{周期 } T_1 = \frac{2\pi m}{qB_1} = \frac{2\pi}{3} \times 10^{-5} \text{ s}$$

当磁场垂直于纸面向里时, 半径  $r_2 = \frac{mv_0}{qB_2} = 3 \text{ cm}$

$$\text{周期 } T_2 = \frac{2\pi m}{qB_2} = \frac{2\pi}{5} \times 10^{-5} \text{ s}$$

故电荷从  $t=0$  时刻开始做周期性运动, 其运动轨迹如图甲所示

$$t = \frac{4\pi}{5} \times 10^{-5} \text{ s} \text{ 时刻电荷与 } O \text{ 点的竖直距离 } \Delta d = 2(r_1 - r_2) = 4 \text{ cm}$$



甲

乙

丙

丁

戊

己

庚

辛

壬

癸

甲

乙

丙

丁

戊

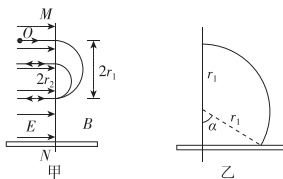
己

庚

辛

壬

癸



(3) 从电荷第一次通过 MN 开始计时, 其运动周期为  $T = \frac{4\pi}{5} \times 10^{-5} \text{ s}$   
 根据电荷的运动情况可知, 电荷到达挡板前运动的完整周期数为 4 个, 此时电荷沿 MN 运动的距离  $s = 4\Delta d = 16 \text{ cm}$ , 则最后  $\Delta s = 7.5 \text{ cm}$  的距离如图乙所示, 有  $r_1 + r_1 \cos \alpha = \Delta s$   
 解得  $\cos \alpha = 0.5$ , 则  $\alpha = 60^\circ$   
 故电荷运动的总时间  $t_{\text{总}} = \Delta t + 4T + \frac{1}{3}T_1 = \frac{157\pi}{45} \times 10^{-5} \text{ s} \approx 1.1 \times 10^{-4} \text{ s}$

### 第 13 讲 电磁场的科技应用

#### 题型 1

##### 真题再现

1. C 【解析】粒子做直线运动, 说明竖直方向合外力为零, 即  $qvB = qE$ , 所以  $v = \frac{E}{B}$ , 选项 B 错误; 假设粒子带正电, 则洛伦兹力竖直向上, 电场力竖直向下, 只要满足上式依然可以满足题意, 选项 A 错误; 如果粒子速度变大或变小, 都会导致洛伦兹力变化, 因此就会做曲线运动, 选项 C 正确; 不管粒子速度怎么变, 在匀强电场中, 粒子所受的电场力不变, 选项 D 错误。

##### 模拟精选

1. B 【解析】设质子的质量为  $m$ , 则氦核的质量为  $2m$ . 在加速电场里, 由动能定理可得  $eU = \frac{1}{2}mv^2$ ,  $v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}$ , 在复合场里有  $Bqv = qE$ , 则  $v = \frac{E}{B}$ , 同理, 对于氦核, 由动能定理可得, 其离开加速电场的速度比质子的速度小, 所以当它进入复合场时所受的洛伦兹力小于电场力, 将向电场力方向偏转, 电场力做正功, 故动能增大, 选项 B 正确。  
 2. D 【解析】速度选择器中, 带电粒子只要满足速度大小  $v = \frac{E}{B}$ , 即可匀速沿直线通过, A、B 错误; 若撤去电场, 只保留磁场, 则带电粒子在磁场中做圆周运动, 圆周运动的半径  $R = \frac{mv}{Bq}$ , 若粒子的比荷不同, 则半径也不同, C 错误; 若撤去磁场, 只留下电场, 则带电粒子在电场中做类平抛运动, 水平方向上的运动为匀速直线运动, 若都能通过场区, 则时间为  $t = \frac{L}{v}$ , 所以通过场区的时间相等, D 正确。

#### 题型 2

##### 真题再现

##### 1. 【步骤规范】

(1)  $\frac{mv_0^2}{qr_0}$   $\frac{mv_0}{qr_0}$  (2)  $1.5r_0$  (3)  $12\%$

【解析】(1) 径向电场力提供向心力, 有  $E_0 q = \frac{mv_0^2}{r_0}$  ① (1 分)

解得  $E_0 = \frac{mv_0^2}{qr_0}$  ② (1 分)

$B = \frac{mv_0}{qr_0}$  ③ (1 分)

(2) 由动能定理得  $\frac{1}{2} \times 0.5mv^2 - \frac{1}{2} \times 0.5mv_0^2 = qU_{NP}$  ④ (1 分)

解得  $v = \sqrt{v_0^2 + \frac{4qU_{NP}}{m}} = \sqrt{5}v_0$  或  $r = \frac{0.5mv}{qB} = \frac{1}{2}\sqrt{5}r_0$  ⑤ (1 分)

又知  $l = 2r \cos \theta = 0.5r_0$  ⑥ (1 分)

故  $l = 1.5r_0$  ⑦ (1 分)

(3) 恰好能分辨的条件  $\frac{2r_0}{1 - \frac{\Delta B}{B}} - \frac{2r \cos \theta}{1 + \frac{\Delta B}{B}} = \frac{r_0}{2}$  ⑧ (2 分)

解得  $\frac{\Delta B}{B} = \sqrt{17} - 4 \approx 12\%$  ⑨ (1 分)

##### 模拟精选

1. AD 【解析】由左手定则可知, 粒子带正电, 而粒子在 M、N 间被加速, 所以 M 板的电势高于 N 板, 选项 A 正确; 在静电分析器中, 根据电场力提供向心力, 则有  $qE = m \frac{v^2}{R}$ , 又粒子在加速电场中运动, 有  $qU = \frac{1}{2}mv^2$ , 解得  $U = \frac{ER}{2}$ , 选项 B 错误; 在磁场中, 根据洛伦兹力提供向心力, 有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ , 结合上式可知,  $PQ = 2r = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{EKm}{q}}$ , 若一群粒子从静止开始经过上述过程都落在胶片上同一点, 说明运动的直径相同, 由于磁感应强度、电场强度与静电分析器通道中心线的半径不变, 则该群粒子具有相同的比荷, 选项 C 错误, D 正确。

2. (1)  $\frac{1}{2}ER$  (2)  $\frac{2}{B} \sqrt{\frac{EmR}{q}}$

【解析】(1) 离子加速运动过程, 有  $qU = \frac{1}{2}mv^2$

离子在辐向电场中做匀速圆周运动, 由电场力提供向心力, 有  $qE = m \frac{v^2}{R}$

联立解得  $U = \frac{1}{2}ER$

(2) 离子在匀强磁场中做匀速圆周运动, 由洛伦兹力提供向心力, 有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$

解得  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{EmR}{q}}$

$PQ = 2r = \frac{2}{B} \sqrt{\frac{EmR}{q}}$

#### 题型 3

##### 真题再现

##### 1. 见解析

【解析】(1) 发射源的位置  $x_0 = y_0$   
 粒子的初动能  $E_{k0} = \frac{(qBy_0)^2}{2m}$

(2) 分下面三种情况讨论  
 (i) 见图 1,  $E_{k0} > 2qU_0$

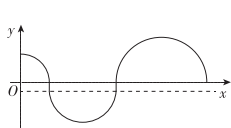


图 1

由  $y = \frac{mv_2}{qB}$ ,  $R_0 = \frac{mv_0}{qB}$ ,  $R_1 = \frac{mv_1}{qB}$

和  $\frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 - qU_0$ ,  $\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 - qU_0$

及  $x = y + 2(R_0 + R_1)$

得  $x = y + \frac{2}{qB} \sqrt{(yqB)^2 + 2mqU_0} + \frac{2}{qB} \sqrt{(yqB)^2 + 4mqU_0}$

(ii) 见图 2,  $qU_0 < E_{k0} < 2qU_0$

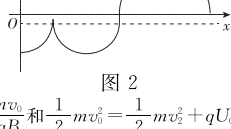


图 2

由  $-y - d = \frac{mv_2}{qB}$ ,  $R_0 = \frac{mv_0}{qB}$  和  $\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 - qU_0$

及  $x = 3(-y - d) + 2R_0$

得  $x = -3(y + d) + \frac{2}{qB} \sqrt{(y + d)^2 q^2 B^2 + 2mqU_0}$

(iii) 见图 3,  $E_{k0} < qU_0$

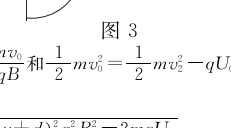


图 3

由  $-y - d = \frac{mv_2}{qB}$ ,  $R_0 = \frac{mv_0}{qB}$  和  $\frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_0^2 - qU_0$

及  $x = -y - d + 4R_0$

得  $x = -y - d + \frac{4}{qB} \sqrt{(y + d)^2 q^2 B^2 - 2mqU_0}$

##### 模拟精选

1. AD 【解析】带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的周期与速度大小无关, 因此在  $E_k - t$  图中应有  $t_4 - t_3 = t_3 - t_2 = t_2 - t_1$ , 选项 A 正确; 带电粒子在回旋加速器中每运行一周加速两次, 高频电源的变化周期应该等于  $2(t_n - t_{n-1})$ , 选项 B 错误; 由  $r = \frac{mv}{qB} = \frac{\sqrt{2mE_k}}{qB}$  可知, 粒子获得的最大动能取决于 D 形盒的半径, 当轨道半径与 D 形盒半径相等时, 粒子就不能继续加速, 故选项 C 错误, D 正确。

2. BD 【解析】由带电粒子的轨迹半径公式  $r = \frac{mv}{qB}$  可得, 最大速度与 D 形盒的半径有关, 选项 A 错误; 虚线中间区域不需加电场, 粒子每运动一周被加速一次, 选项 B 正确; 由动能定理知, 粒子每加速一次有  $\frac{1}{2}mv'^2 - \frac{1}{2}mv^2 = qU$ , 则  $v_3 - v_2 < v_2 - v_1$ , 由  $r = \frac{mv}{qB}$  得  $r_3 - r_2 < r_2 - r_1$ , 即  $P_2 P_3 < P_1 P_2$ , 选项 C 错误; 加速电场方向不需要做周期性的变化, 选项 D 正确。

#### 题型 4

##### 典例精析

例 BD 【解析】污水中的离子都随水流运动, 由左手定则可判断, 正离子偏转到 M 板, 负离子偏转到 N 板, 所以 M 板的电势高于 N 板的电势, A 错误, B 正确; 离子在电场力和洛伦兹力的共同作用下运动, 最终达到平衡, 即电场力大小等于洛伦兹力, 有  $q \frac{U}{c} = Bqv$ , 解得  $U = Bvc$ , 与离子浓度无关, C 错误; 测出离子随水流移动的速度, 即水流的速度, 从而求出流量  $Q = cbv$ , 得  $U = \frac{QB}{b}$ , 则  $U$  与  $Q$  成正比, 故 D 正确。

变式 A 【解析】平衡时电场力大小等于洛伦兹力, 即  $q \frac{U}{c} = qvB$ , 根据闭合电路的欧姆定律得  $I = \frac{U}{R + r} = \frac{U}{R + \rho \frac{c}{ab}}$ , 流量  $Q = Sv$ ,  $S = bc$ , 联立解得流

量  $Q = \frac{I}{B} \left( bR + \rho \frac{c}{a} \right)$ , 故 A 正确。

题型 5

真题再现

1. C 【解析】根据左手定则可知,正离子在磁场中受到的洛伦力向下,负离子在磁场中受到的洛伦力向上,故下板为正极;设稳定时两板间的电势差为  $U$ , 则  $q \frac{U}{d} = Bqv$ , 得  $U = Bdv$ , 所以电流  $I = \frac{U}{R + \rho \frac{d}{ab}} = \frac{Bdvab}{Rab + \rho d}$ , 故 C 正确。

模拟精选

1. AD 【解析】等离子体射入匀强磁场,由左手定则可知,正粒子向上偏转,负粒子向下偏转,产生竖直向下的电场,正离子受向下的电场力和向上的洛伦兹力,当电场力和洛伦兹力平衡时,电场最强,即  $Eq = Bqv$ ,  $E = Bv$ , 两板间的电动势为  $Bvd$ , 则通过  $R$  的电流  $I = \frac{Bvd}{R + R_{\text{eq}}}$ ,  $R$  两端的电压  $U = IR = \frac{BdvR}{R + R_{\text{eq}}}$ , 而  $R_{\text{eq}} = \frac{d}{\sigma S}$ , 则  $I = \frac{Bdv\sigma S}{\sigma SR + d}$ , 故 A、D 正确, B、C 错误。
2. BD 【解析】由左手定则可知,正电荷受洛伦兹力向下,聚集到  $B$  板上,故  $A$  板为发电机的负极,故 A 错误;根据  $qvB = q \frac{E}{d}$  得,  $E = Bdv$ , 故 B 正确, C 错误;由  $r = \frac{E}{I} - R = \frac{Bdv}{I} - R$ , 又知  $r = \rho \frac{d}{S}$ , 故电阻率  $\rho = \frac{S}{d} \left( \frac{Bdv}{I} - R \right)$ , 故 D 正确。

题型 6

真题再现

1. (1)  $D_1$  点电势高 (2)  $U_0 = \frac{IB_0}{ned}$  (3)  $\frac{1}{\alpha\beta} \left( 1 - \frac{U_1}{U_0} \right) \frac{1}{2t_0}$

专题四 电路与电磁感应

第 14 讲 直流电路和交流电路

题型 1

真题再现

1. D 【解析】根据表中数据,每天消耗的电能为  $W = 2 \text{ kW} \times 1 \text{ h} + 1.2 \text{ kW} \times 3 \text{ h} + 0.1 \text{ kW} \times 2 \text{ h} + 0.016 \text{ kW} \times 4 \text{ h} + 0.009 \text{ kW} \times 24 \text{ h} = 6.08 \text{ kW} \cdot \text{h} = 2.2 \times 10^7 \text{ J}$ 。
2. (1) 减小 (2) 1.00 (0.98、0.99、1.01 均正确) (3) 5
- 【解析】(1) 滑动触头向下移动,滑动变阻器连入电路的电阻减小,电路总电阻减小,因为总电流不变,所以总电压减小,电压表示数减小。(2) 电压表示数与电流表示数之间的关系为  $U = (I_0 - I)R = I_0 R - IR$ , 由图像横轴截距得  $I_0 = 1.00 \text{ A}$ 。(3) 由  $U-I$  图线可得  $R = 20 \Omega$ ,  $R_L$  消耗的功率  $P = UI = I_0 RI - I^2 R$ , 由二次函数的规律得  $R_L$  最大功率为  $5 \text{ W}$ 。

模拟精选

1. D 【解析】当滑动变阻器的滑动触片向  $b$  端移动时,变阻器有效电阻减小,外电路总电阻减小,则路端电压减小,总电流增大,所以电压表  $V$  的读数减小;根据串联电路分压特点可知,电路中并联部分分压减小,通过  $R_2$  的电流减小,而总电流增大,所以通过电压表的电流增大,即电流表  $A$  的读数增大;由于并联部分电压减小,电容器两极板间电压减小,则电容器的电荷量在小,故 A、B、C 错误, D 正确。
2. D 【解析】将滑片由该位置向  $a$  端滑动时,变阻器接入电路的电阻增大,电路中总电阻增大,电路中电流减小,灯泡消耗的功率减小,则灯泡将变暗,外电路总电阻增大,路端电压增大,则电源的效率  $\eta = \frac{UI}{EI} \times 100\%$  增大,故 A 错误;液滴受力平衡,因电容器上极板带负电,板间场强向上,可知液滴带正电,因滑动变阻器分压增大,故电容器两极板间电压增大,两板间场强增大,液滴所受的电场力增大,所以向上做加速运动,故 B 错误;由于电源的内阻与外电阻关系未知,所以不能判断输出功率如何变化,故 C 错误;因电容器两极板间电压增大,故液滴所在位置相对于下极板的电势差增大,因下极板接地,故液滴所在位置的电势降低,因液滴带正电,故液滴电势能减小, D 正确。

题型 2

真题再现

1. AD 【解析】由图可知,  $t = 0$  时,磁通量为 0,线圈平面平行于磁感线, A 正确;  $t = 1 \text{ s}$  时,由法拉第电磁感应定律和图线的斜率可知,线圈中的电流方向不变, B 错误;  $t = 1.5 \text{ s}$  时磁通量的变化率为 0,感应电动势为 0, C 错误; 交变电流的电动势最大值  $E_m = n\Phi_m \omega$ , 所以电流的有效值  $I = \frac{E_m}{\sqrt{2}R}$ , 根据焦耳定律  $Q = I^2 RT$ , 联立解得  $Q = 8\pi^2 \text{ J}$ , D 正确。
2. AC 【解析】从图像可以看出,从金属线圈旋转至中性面时开始计时,曲线  $a$  表示的交变电动势的周期  $T_a = 4 \times 10^{-2} \text{ s}$ , 频率  $f_a = \frac{1}{T_a} = 25 \text{ Hz}$ , 曲线  $b$  表示的交变电动势的周期  $T_b = 6 \times 10^{-2} \text{ s}$ , 故转速之比  $n_a : n_b = T_b : T_a = 3 : 2$ , B 错误, C 正确;  $t = 0$  时刻交变电动势的瞬时值为零,线圈平面均与中性面重合, A 正确;由  $E_m = NBS\omega$  可知  $\frac{E_{m1}}{E_{m2}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{T_2}{T_1} = \frac{3}{2}$ , 故  $E_{m2} = \frac{2}{3} E_{m1} = 10 \text{ V}$ , 曲线  $b$  表示的交流电动势的有效值为  $5\sqrt{2} \text{ V}$ , D 错误。

模拟精选

1. AC 【解析】电流表测量的是交变电流的有效值,根据图像知交变电流的

【解析】(1) 根据左手定则,自由电子向  $D_2$  移动,故  $D_1$  点电势高。

(2) 电子受力平衡,有  $evB_0 = eE_H$

$$\text{故 } U_0 = E_H b = vB_0 b = \frac{I}{nebd} B_0 b = \frac{IB_0}{ned}.$$

(3) 由(2)可得霍尔电压  $U_H(t) = \frac{IB(t)}{ned} = \frac{I}{ned} B_0 [1 - \beta |x(t)|] = \frac{IB_0}{ned} [1 - \beta |ap(t)|] = U_0 [1 - \alpha \beta |p(t)|]$   
故  $|p(t)| = \frac{1}{\alpha \beta} \left[ 1 - \frac{1}{U_0} U_H(t) \right]$   
结合  $U_H-t$  图像可得出压力波  $p(t)$  关于时间  $t$  是正弦函数,周期  $T = 2t_0$ , 振幅  $A = \frac{1}{\alpha \beta} \left( 1 - \frac{U_1}{U_0} \right)$ , 频率  $f = \frac{1}{2t_0}$ 。

模拟精选

1. A 【解析】由  $U_{MN} = Bdv$  可知,  $U_{MN}$  与  $B$ 、 $d$ 、 $v$  有关,增大  $d$ , 可使  $U_{MN}$  增大, 改变  $B$  可以改变  $U_{MN}$ , A 错误, C、D 正确;若载流子为自由电子,由左手定则判断可知,  $M$  板电势比  $N$  板电势高, B 正确。
2. C 【解析】由于磁场的作用,电子受洛伦兹力,向  $Y_2$  面聚集,在  $Y_1$ 、 $Y_2$  平面之间累积电荷,在  $Y_1$ 、 $Y_2$  之间产生了匀强电场,故电子也受电场力,在  $Y_1$ 、 $Y_2$  之间也产生了电势差,故选项 A、B 错误;当自由电子所受的电场力和洛伦兹力平衡时,霍尔电压  $U_H$  稳定,即有  $eU_H = Bev$ , 又有  $I = nevS$ , 即得  $U_H = \frac{BdI}{neS}$ , 故选项 C 正确;电流  $I$  并不是因霍尔电压  $U_H$  而形成的,所以  $R = \frac{U}{I}$  并不成立,选项 D 错误。

最大值为  $10\sqrt{2} \text{ A}$ , 因此有效值为  $10 \text{ A}$ , A 正确;根据图像知交变电流的周期为  $T = 0.02 \text{ s}$ , 则  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 100\pi \text{ rad/s}$ , B 错误;  $0.01 \text{ s}$  时交变电流最大,说明线圈的速度方向与磁感线垂直,因此线圈平面与磁场方向平行, C 正确;  $0.02 \text{ s}$  时,线圈所处位置与题图甲中线圈的位置相同,根据右手定则知通过电阻  $R$  的电流方向自左向右, D 错误。

2. AC 【解析】由图像可知,交流电的周期  $T = 0.4 \text{ s}$ , 线圈转动的角速度  $\omega = \frac{2\pi}{T} = 5\pi \text{ rad/s}$ ,  $\Phi_m = 0.2 \text{ Wb}$ , 则感应电动势的瞬时值表达式为  $e = nBS\omega \cos \omega t = 10\pi \cos 5\pi t (\text{V})$ , 故 C 正确;电动势的有效值  $E = \frac{nBS\omega}{\sqrt{2}} = 5\sqrt{2}\pi \text{ V}$ , 线圈转动过程中消耗的电功率  $P = \frac{E^2}{R} = 10\pi^2 \text{ W}$ , 故 A 正确;  $t = 0.2 \text{ s}$  时,磁通量为 0,线圈中的感应电动势最大,电流方向不变,故 B 错误;线圈在图示位置时,磁通量为 0,磁通量的变化率最大,线圈转过  $90^\circ$  时,磁通量最大,磁通量变化率为 0,故 D 错误。

题型 3

真题再现

1. B 【解析】开关断开时,原、副线圈的电流比  $\frac{I}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ , 通过  $R_2$  的电流  $I_2 = \frac{In_1}{n_2}$ , 副线圈的输出电压  $U_2 = I_2 (R_2 + R_3) = \frac{5In_1}{n_2}$ , 由  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$  可得原线圈两端的电压  $U_1 = 5I \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2$ , 则  $U = U_1 + IR_1 = 5I \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 + 3I$ ; 开关闭合时,原、副线圈的电流比  $\frac{4I}{I_2'} = \frac{n_2}{n_1}$ , 通过  $R_2$  的电流  $I_2' = \frac{4In_1}{n_2}$ , 副线圈的输出电压  $U_2' = I_2' R_2 = \frac{4In_1}{n_2}$ , 由  $\frac{U_1'}{U_2'} = \frac{n_1}{n_2}$  可得原线圈两端的电压  $U_1' = 4I \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2$ , 则  $U = U_1' + 4IR_1 = 4I \left( \frac{n_1}{n_2} \right)^2 + 12I$ , 解得  $\frac{n_1}{n_2} = 3$ , 选项 B 正确。
2. A 【解析】理想变压器输入端与输出端功率相等,  $U_1 I_1 = U_2 I_2$ , 用户端的电压  $U_2 = \frac{I_1}{I_2} U_1$ , 选项 A 正确;输电线上的电压降  $\Delta U = U - U_1 = I_1 r$ , 选项 B 错误;理想变压器输电线上损失的功率为  $I_1^2 r$ , 选项 C、D 错误。

模拟精选

1. B 【解析】当光照增强时,光敏电阻的阻值减小,变压器的输出功率增加,输入功率也增加,故 A 错误;当滑动触头  $P$  向下滑动时,原线圈匝数减小,根据电压与匝数成正比,可知变压器的输出电压增大,根据功率表达式  $P = \frac{U^2}{R}$  知,  $R_2$  消耗的功率增大,故 B 正确, C 错误;当  $U$  增大时,根据电压与匝数成正比,可知变压器的输出电压增大,根据功率表达式  $P = \frac{U^2}{R}$  知,  $R_2$  消耗的功率增大,故 D 错误。
2. BD 【解析】仅闭合  $S$ ,  $T_2$  副线圈电路中的总电阻减小,  $T_2$  副线圈中电流增大,  $T_2$  原线圈中电流也增大,则  $T_2$  输入电压  $U_3 = U_2 - Ir$  减小, 灯泡  $L_1$  两端的电压  $U_4$  减小, 灯泡  $L_1$  会变暗, 故 A 错误; 由 A 项分析知, 输电线上的电流增大,  $r$  消耗的功率会变大,  $T_1$  的输入电流也增大, 输入电压不变, 根据  $P = UI$  知,  $T_1$  的输入功率增大, 故 B 正确; 仅将滑片  $P$  上移,  $T_1$  副线圈的匝数减小, 则输出电压减小,  $T_2$  的输入电压减小, 灯泡  $L_1$  两端的电压也减小, 故灯泡  $L_1$  变暗, 消耗功率减小, 则  $T_1$  输入功率减小, 电流表的示数减小, 故 C 错误, D 正确。