

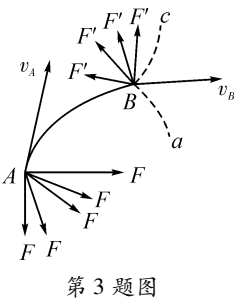
# 答案与解析

## 第1章 怎样研究抛体运动

### 1.1 飞机投弹与平抛运动

#### 题组A 学考通关测试

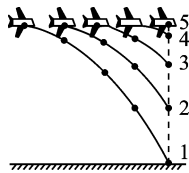
- 1 B **[解析]** 做平抛运动的物体只受重力,其运动性质是匀变速曲线运动,加速度是重力加速度。故 A、C、D 错误, B 正确。
- 2 A **[解析]** 物体做匀速直线运动的速度方向与  $F_1$  的方向关系不明确,可能相同、相反或不在同一条直线上。因此,撤去  $F_1$  后物体所受合力的方向与速度的方向关系不确定,物体的运动情况也不能确定,所以只有 A 项正确。
- 3 C **[解析]** 物体在 A 点时速度  $v_A$  沿 A 点的切线方向,物体在恒力  $F$  的作用下沿曲线 AB 运动,此力  $F$  必有垂直于  $v_A$  的分量使物体运动轨迹向右侧弯曲,即  $F$  只可能为图中 A 点处所示的各种方向之一;当物体运动到 B 点时,瞬时速度  $v_B$  沿 B 点切线方向,这时  $F' = -F$ ,即  $F'$  只可能是图中 B 点处所示各种方向之一。所以物体可能沿 Bc 运动。



第3题图

#### 题组B 高考通关测试

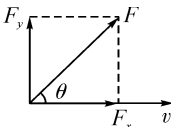
- 1 D **[解析]** 做曲线运动的物体的速度方向时刻改变,即使速度大小不变,速度方向也在不断发生变化,故 A 项错误;做曲线运动的物体必定受到力的作用,当物体所受力为恒力时,物体的加速度恒定,速度均匀变化, B 项错误; a 点的速度方向沿 a 点的切线方向, C 项错误;做曲线运动的物体的位移大小必小于路程, D 项正确。
- 2 B **[解析]** 物体在风力和重力的合力作用下沿斜向右下方做直线运动,风停后,物体在重力作用下其运动轨迹向重力方向弯曲, B 项正确。
- 3 A、D **[解析]** 释放的每个小球都做平抛运动,水平速度与飞机的飞行速度相等,所以每个小球落地前都位于飞机的正下方,即处在同一条竖直线上,如图所示。第 1、2 两球在空中的间距  $\Delta h = \frac{1}{2}g(t+1)^2 - \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2}g(2t+1)$ 。可见,  $\Delta h$  随时间的增加而增大。相邻两球落地时的间距  $\Delta x = v_0(t+1) - v_0t = v_0$ , 可见  $\Delta x$  与时间无关。综上所述, A、D 两项正确。
- 4 A、B、C **[解析]** 合力是否改变速度的大小取决于合力在速度方向上的分力的情况,如果分力与速度同向,速度将增大;如果分力与速度反向,速度将减小;如果合力与速度方向垂直,则在速度方向上分力为零,加速度也为零,速度大小不变。可见,选项 A、B、C 正确。合力方向跟速度方



第3题图

向在同一直线上时有两种情况:如果二者方向相同,则合力使速度不断增大,而不改变速度的方向;如果二者方向相反,则合力先使物体的速度不断减小,当速度减为零后,速度方向与原来相反,随后速度再逐渐增大,可见 D 选项错误。

- 5 D **[解析]** 曲线运动的轨迹始终夹在力与速度方向之间而且向力的方向弯曲,可以推断质点在 O 点处受力方向可能是沿 +x 方向或 -y 方向,由 A 点的速度方向可以推知恒力方向不可能沿 +x 方向,但可以沿 -y 方向,故 D 项正确。
- 6 B、C **[解析]** 物体原来所受合外力为零,当将与速度反方向的 2 N 的力水平旋转 90° 后其受力如图所示,其中  $F$  是  $F_x$ 、 $F_y$  的合力,即  $F = 2\sqrt{2}$  N,且大小、方向都不变,是恒力,则物体的加速度为  $a = \frac{F}{m} = \frac{2\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}^2 = \sqrt{2} \text{ m/s}^2$ 。又因为  $F$  与  $v$  夹角  $\theta = 45^\circ < 90^\circ$ ,所以物体做速度越来越大、加速度恒为  $\sqrt{2} \text{ m/s}^2$  的匀变速曲线运动,故 B、C 正确。

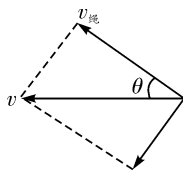


第6题图

## 1.2 研究平抛运动的规律

#### 题组A 学考通关测试

- 1 D **[解析]** 铁丝圈做平抛运动,所以运动时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 水平位移为  $x = v\sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 因为两者的水平位移相同,所以有  $v_1\sqrt{\frac{2H_1}{g}} = v_2\sqrt{\frac{2H_2}{g}}$ , 因为  $H_1 : H_2 = 2 : 1$ , 所以  $v_1 : v_2 = 1 : \sqrt{2}$ , D 正确。
- 2 A **[解析]** 设初速度为  $v_0$ , 则  $\tan 37^\circ = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt_1}{v_0}$ , 解得  $v_y = \frac{3}{4}v_0$ ,  $t_1 = \frac{3v_0}{4g}$ ;  $\tan 53^\circ = \frac{v'_y}{v_0}$ , 解得  $v'_y = \frac{4}{3}v_0$ , 则  $t_2 = \frac{v'_y - v_y}{g} = \frac{\frac{4}{3}v_0 - \frac{3}{4}v_0}{g} = \frac{7v_0}{12g}$ , 则  $t_1 : t_2 = 9 : 7$ 。故 A 正确。
- 3 B **[解析]** 运动员的速度方向刚好沿着斜面向下,根据平行四边形定则知,  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{gt}{v_0}$ ,  $\tan(90^\circ - \alpha) = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t} = \frac{gt}{2v_0}$ , 可知  $\tan \theta = 2\tan(90^\circ - \alpha) = 2\cot \alpha$ , 即  $\tan \theta \tan \alpha = 2$ , 故选 B。
- 4 A、C **[解析]** 船的速度产生了两个效果:一是使滑轮与船间的绳缩短,二是使绳绕滑轮顺时针转动,因此将船的速度按如图所示进行分解,人拉绳行走的速度  $v_{绳} = v\cos \theta$ , 所以选项 A 正确。在

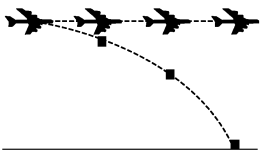


第4题图

水平方向,根据牛顿第二定律可知  $F\cos\theta - F_f = ma$ , 所以  $a = \frac{F\cos\theta - F_f}{m}$ , 选项 C 正确。

**5 C** [解析] 根据运动的独立性与等时性可知,当摩托艇垂直江岸航行,即摩托艇在静水中航速  $v_2$  全部用来靠岸时,用时最短,最短时间  $t = \frac{d}{v_2}$ ,在此条件下登陆处距  $O$  点的距离为  $x = v_1 t = \frac{dv_1}{v_2}$ 。

**6** 如图所示,在地面上的观察者看来,从飞机上落下的物资在离开飞机前具有与飞机相同的水平速度。由于不计空气阻力,物资在离开水平飞行的飞机后仍保持与飞机相同的速度在水平方向上做匀速直线运动;由于竖直方向无初速度,而且只受重力作用,因此离开飞机的物资在竖直方向做自由落体运动。物资在空中飞行的时间  $t$  取决于竖直高度。



第6题图

由  $H = \frac{1}{2}gt^2$  得,  $t = \sqrt{\frac{2H}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 500}{10}} \text{ s} = 10 \text{ s}$ 。

设投出物资处距目标的水平距离为  $s$ ,由于物资在水平方向上做匀速运动,则

$s = v_0 t = 80 \times 10 \text{ m} = 800 \text{ m}$ ,

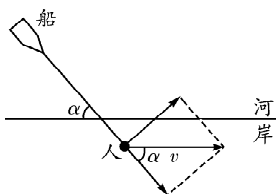
即飞行员应在距目标水平距离为 800 m 远的地方投出救援物资。

**题组B 高考通关测试** 正文 P21

**1 B、C** [解析]  $a, b, c$  三个小球的平抛高度满足  $h_a < h_b = h_c$ , 根据  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  知  $t_a < t_b = t_c$ , 则要三球同时落地需要  $b, c$  两球同时抛出,  $a$  后抛出, 选项 A 错误, 选项 B 正确; 三球的水平位移  $x_a = x_b > x_c$ , 根据  $x = v_0 t$  知  $a$  的初速度大于  $b$  的初速度,  $b$  的初速度大于  $c$  的初速度, 即  $v_a > v_b > v_c$ , 故选项 C 正确, 选项 D 错误。

**2 D** [解析] 小球在竖直方向做自由落体运动, 故竖直方向的分速度  $v = \sqrt{2gh}$ , 竖直分位移越大, 竖直分速度越大, 所以小球落在最低点时竖直分速度最大, 选项 A 错误; 小球抛出时的初速度不同, 小球落在半圆环上时的速度方向与水平方向的夹角就不同, 选项 B 错误; 如果小球能够垂直撞击半圆环, 则垂直撞击时速度的反向延长线一定过半圆环的圆心, 因为平抛运动的速度方向与水平方向的夹角的正切值是位移方向与水平方向夹角的正切值为 2 倍, 即此时的水平方向的位移应该是半圆环的直径, 这是不可能的, 故小球不可能与半圆环垂直撞击, 选项 C 错误, 选项 D 正确。

**3 C** [解析] 如图所示, 人的实际运动方向为合速度的方向, 然后分别沿绳子的方向和垂直绳子的方向分解速度, 即可求出沿绳方向的分速度为  $v\cos\alpha$ 。

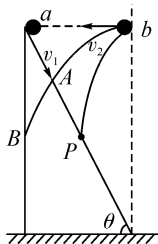


第3题图

**4 A、D** [解析] 由运动的独立性可知,垂直河岸方向速度越

大过河时间越短,即船头始终与河岸垂直航行时间最短,  $t_{\min} = \frac{d}{v_{\text{船}}} = 100 \text{ s}$ 。A、B 两项均正确。由题图甲可知水流速度在变化,船的合速度大小及方向均会随位置变化发生变化,轨迹并不是直线, C 项错误; 船在静水中的速度与水流速度方向垂直,水流速度最大值为 4 m/s,所以船在河水中的最大速度为 5 m/s, D 项错误。

**5 A、D** [解析] 小球在  $P$  点相遇,由于两球的水平位移相等,所以  $v_1 t \sin 30^\circ = v_2 t$ , 解得  $v_1 : v_2 = 2 : 1$ , 故 A 正确, B 错误。若小球  $b$  以  $2v_2$  水平抛出, 如图所示, 若没有斜面, 小球  $b$  将落在  $B$  点, 与  $P$  点等高, 可知实际将落在斜面上的  $A$  点, 由于  $a$  球、 $b$  球在水平方向上做匀速直线运动, 可知  $a$  球落在  $A$  点的时间小于  $b$  球落在  $A$  点的时间, 所以  $b$  球落在斜面上时,  $a$  球在  $b$  球的下方, 故 C 错误, D 正确。



第5题图

**6 1.25 m/s < v\_0 < 3.75 m/s**

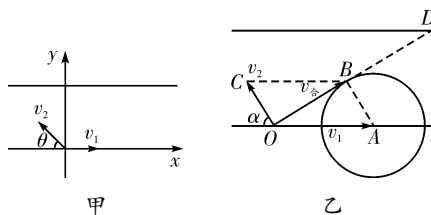
[解析] 由  $h = \frac{1}{2}gt^2$  得  $t = 0.4 \text{ s}$ ,

$v_1 = \frac{L}{t} = 1.25 \text{ m/s}, v_2 = \frac{L+2R}{t} = 3.75 \text{ m/s}$ ,

所以  $1.25 \text{ m/s} < v_0 < 3.75 \text{ m/s}$ 。

**7 2\sqrt{gl} \quad 0.70** [解析] 根据平抛运动的规律,水平方向上小球做匀速直线运动,竖直方向上小球做自由落体运动,观察图中的  $a, b, c, d$  四个点的特点可知,  $ab, bc, cd$  间的水平距离相等, 因此  $a \rightarrow b, b \rightarrow c, c \rightarrow d$  的时间间隔相等, 设为  $T$ , 则由匀变速直线运动的推论, 在竖直方向有  $\Delta y = l = gT^2$ , 又  $v_0 = \frac{2l}{T}$ , 解得  $v_0 = 2\sqrt{gl}$ , 代入数据得  $v_0 = 0.70 \text{ m/s}$ 。

**8 (1)** 以水流速度方向为  $x$  轴正方向, 以垂直于河岸向上方向为  $y$  轴正方向, 以船开出点为坐标原点建立坐标系, 设船与岸成  $\theta$  角开出 (如图甲所示), 将  $v_2$  沿  $x, y$  轴方向分解得  $v_{2x} = v_2 \cos\theta, v_{2y} = v_2 \sin\theta$ , 过河时间为  $t = \frac{d}{v_{2y}} = \frac{d}{v_2 \sin\theta}$ 。当  $\theta = 90^\circ$  时, 过河的时间最短, 最短时间为  $t_{\min} = \frac{d}{v_2} = \frac{60}{3} \text{ s} = 20 \text{ s}$ 。



第8题图

(2) 先作出  $OA$  表示水流速度  $v_1$ , 然后以  $A$  为圆心以船在静水中的速度  $v_2$  的大小为半径作圆, 过  $O$  作圆弧的切线  $OB$  与圆相切于  $B$ , 连接  $AB$ , 过  $O$  作  $AB$  的平行线, 过  $B$  作  $OA$  的平行线, 两平行线相交于  $C$ , 则  $OC$  表示船在静水中的速度  $v_2$  (如图乙所示), 由图可知, 船沿  $OB$  行驶到对岸位移最短, 设  $v_2$  与河岸的夹角为  $\alpha$ , 则有  $\cos\alpha = \frac{v_2}{v_1} = \frac{3}{6} =$

$\frac{1}{2}$ , 所以  $\alpha = 60^\circ$ 。

$$x_{\min} = \frac{d}{\cos \alpha} = \frac{60}{\frac{1}{2}} \text{ m} = 120 \text{ m}.$$

1.3 研究斜抛运动

题组 A 学考通关测试

正文 P25

- 1 B、C [解析] 斜抛物体的运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的竖直上抛运动。当物体到达最高点时,其竖直方向速度为零,水平方向速度不为零,故 A 项错误,B 项正确;由竖直方向上的竖直上抛运动的对称性可知,当物体落回到抛出点所在水平面时,抛出时竖直向上的分速度与落回时竖直向下的分速度大小相等,而水平方向的分速度不变,故 C 项正确,D 项错误。
- 2 A、C [解析] 根据运动的合成与分解,将初速度分解为竖直方向和水平方向的分速度,设初速度方向与竖直方向的夹角为  $\theta$ ,小球沿竖直方向的速度分量  $v = v_0 \cos \theta$ ,根据小球的运动轨迹可知,三个小球沿竖直方向的分速度相同,根据竖直上抛运动特点可知,三个小球在空中运动的时间相同,所以 B 错误,C 正确;而  $\theta_1 > \theta_2 > \theta_3$ ,故得  $v_{01} > v_{02} > v_{03}$ ,落地时的速率与初速度大小相同,所以 A 正确;小球沿水平方向的速度分量  $v_x = v_0 \sin \theta$ ,可知沿路径 1 抛出的小球水平速度分量最大,所以 D 错误。
- 3 B [解析] 两球运动过程中都只受重力作用,加速度为  $g$ ,均做匀变速运动,D 项错误;因  $g = \frac{\Delta v}{\Delta t}$  所以速度的变化量  $\Delta v = g \Delta t$ ,运动时间  $\Delta t$  相同,所以  $\Delta v$  也相同,B 项正确;设  $v_2$  方向与水平面的夹角为  $\theta$ ,因两球在  $M、N$  连线的中点相遇且运动时间相同,所以两球的水平位移大小相等,方向相反,且  $v_1 = v_2 \cos \theta$ ,A、C 两项错误。
- 4 由于两只球从等高处做平抛运动,所以平抛运动的时间相等。由题意可知水平射程之比为  $s_1 : s_2 = 1 : 3$ 。因此平抛运动的初速度之比为  $v_1 : v_2 = 1 : 3$ 。

题组 B 高考通关测试

正文 P25

- 1 B [解析] 三颗子弹的射高相同,丙子弹的射程最远。从题图中可知三颗子弹的初速度的竖直分量是相等的,即  $v_1 \sin \theta_1 = v_2 \sin \theta_2 = v_3 \sin \theta_3$ 。根据斜抛运动的射高公式  $y = \frac{(v_0 \sin \theta)^2}{2g}$  和飞行时间公式  $t = \frac{2v_0 \sin \theta}{g}$  可知,三颗子弹的射高和飞行时间都是相等的。从题图中还可以看出丙子弹的初速度的水平分量  $v_3 \cos \theta_3$  最大,而三颗子弹的飞行时间是相等的,根据斜抛运动的射程公式  $x = v_0 \cos \theta \cdot t$  可知,丙子弹的射程最远。
- 2 D [解析] 斜抛运动以其顶点为界,可以分成上升和下降两个过程,这两个过程有一定的对称性。下降过程实际上就是以水平分速度  $v_0 \cos \theta$  为初速度的平抛运动。如果小球上升到最高点与墙壁碰撞后速度大小不变,仍为  $v_0 \cos \theta$ ,则小球碰撞后做平抛运动,轨迹形状与上升时相同,即从 B 到 A。再把 B 到 A 的过程与 B 到 C 的过程相比较,它们从同一高度被水平抛出,因此,在空中飞行的时间  $t$  相等,根据水平位移之比  $\frac{OC}{OA} = \frac{1}{2}$ ,可得反弹速度  $v' =$

$$\frac{1}{2} v_0 \cos \theta = \frac{\sqrt{2}}{4} v_0, \text{ 即 } \frac{v'}{v_0} = \frac{\sqrt{2}}{4}.$$

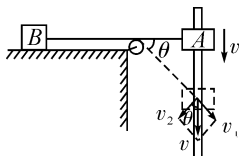
- 3 将炮弹的运动分解为:水平方向的匀速直线运动,  $v = v_0 \cos 45^\circ$ ,水平射程  $x = v_0 \cos 45^\circ \cdot t$ ;竖直方向的竖直上抛运动,  $v_y = v_0 \sin 45^\circ - gt$ ,射高  $y = v_0 \sin 45^\circ t - \frac{1}{2} gt^2$ 。
- (1) 当炮弹到达最大高度时,  $v_y = 0$ ,即  $v_0 \sin 45^\circ - gt = 0$ 。  
所经历的时间  $t = \frac{v_0 \sin 45^\circ}{g}$ 。  
炮弹到达的最大高度为  $y_{\max} = \frac{v_0^2 \sin^2 45^\circ}{2g} + 60 \text{ m} = \frac{120^2 \times \left(\frac{\sqrt{2}}{2}\right)^2}{2 \times 10} \text{ m} + 60 \text{ m} = 420 \text{ m}$ 。
- (2) 设炮弹落到地面的时间为  $t'$ ,取竖直向下为正方向,则  $60 \text{ m} = -v_0 \sin 45^\circ t' + \frac{1}{2} gt'^2$ 。  
解得  $t' = -0.68 \text{ s}$  (舍去) 或  $t' = 17.65 \text{ s}$ 。
- (3) 炮弹的水平射程  $x_{\max} = v_0 \cos 45^\circ t' = 120 \times \frac{\sqrt{2}}{2} \times 17.65 \text{ m} = 1\,497.65 \text{ m}$ 。

第 1 章 单元复习方案

测评·高考模拟卷

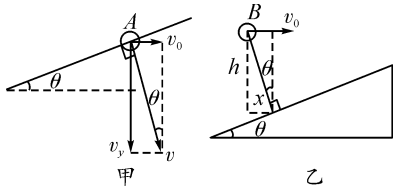
正文 P29

- 1 B [解析]  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = \frac{gt}{v_0}$ ,可见  $\tan \theta$  与  $t$  成正比,选项 B 正确。
- 2 C [解析] 设两球间的水平距离为  $L$ ,第一次抛出的速度分别为  $v_1、v_2$ ,由于小球抛出后在水平方向上做匀速直线运动,则从抛出到相遇经过的时间  $t = \frac{L}{v_1 + v_2}$ ,若两球的抛出速度都变为原来的 2 倍,则从抛出到相遇经过的时间为  $t' = \frac{L}{2(v_1 + v_2)} = \frac{t}{2}$ ,C 项正确。
- 3 B [解析] 竖直方向:  $\Delta y = 5l - 3l = gT^2$ ,可求出  $g$ ;水平方向:  $v_0 = \frac{x}{T} = \frac{3l}{T}$ ,且 P 点竖直方向分速度  $v_y = \bar{v} = \frac{3l + 5l}{2T}$ ,故 P 点速度大小为  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$ ;无法求出小球质量  $m$ ,故选项 B 正确。
- 4 C [解析]  $0 \sim t_p$  段,水平方向:  $v_x = v_0$  恒定不变;竖直方向:  $v_y = gt$ 。 $t_p \sim t_Q$  段,水平方向:  $v_x = v_0 + a_{\text{水平}} t$ ,竖直方向:  $v_y = v_{py} + a_{\text{竖直}} t$  ( $a_{\text{竖直}} < g$ ),因此选项 A、B、D 均错误,C 正确。
- 5 A [解析] 与物体 A 相连的绳端速度  $v$  分解为沿绳伸长方向的速度  $v_1$  和垂直于绳方向的速度  $v_2$ ,则物体 B 的速度  $v_B = v_1 = v \sin \theta$ ,在  $t = 0$  时刻  $\theta = 0^\circ, v_B = 0$ ,C 项错误;之后随  $\theta$  增大,  $\sin \theta$  增大, B 的速度增大,但开始时  $\theta$  变化快,速度增加得快,图线的斜率大,若绳和杆足够长,则物体 B 的速度趋近于 A 的速度,A 项正确。
- 6 C [解析] A 球垂直撞在斜面上,如图甲所示,则有  $v_y =$



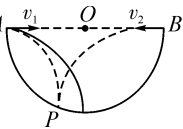
第 5 题图

$gt_A$ , 由几何知识可知  $\tan \theta = \frac{v_0}{v_y}$ , 可求出  $t_A = \frac{v_0}{g \tan \theta}$ 。B 球落到斜面上的位移最短, 如图乙所示, 则有  $h = \frac{1}{2}gt_B^2, x = v_0 t_B$ , 又由几何关系可知  $\tan \theta = \frac{x}{h}$ , 可求出  $t_B = \frac{2v_0}{g \tan \theta}$ , 所以  $t_B = 2t_A$ , 选项 C 正确。



第 6 题图

**7 B** [解析] 根据几何关系知, A 的水平位移  $x_A = R - \frac{1}{2}R = \frac{1}{2}R$ , B 的水平位移  $x_B = R + \frac{1}{2}R = \frac{3}{2}R$ , 则落在 P 点的水平位移之比为 1:3, 运动时间相等, 则初速度大小之比为 1:3, 故 A 错误。若只增大  $v_1$ , 而  $v_2$  不变, 则两球运动轨迹如图所示, 由图可知, 两球可在空中相遇, 故 B 正确。若要使两小球落在 P 点右侧的弧面上同一点, 则 A 球水平方向位移增大, B 球水平方向位移减小, 而两球运动时间相等, 所以应使  $v_1$  增大,  $v_2$  减小, 故 C 错误。要使两小球落在弧面上的同一点, 则水平位移之和为  $2R$ , 即  $(v_1 + v_2)t = 2R$ , 落点不同, 竖直方向位移就不同,  $t$  也不同, 所以  $(v_1 + v_2)$  也不是一个定值, 故 D 错误。



第 7 题图

**8 B、C、D** [解析] 当  $v = 50 \text{ m/s}$  时, 飞镖飞行时间  $t = \frac{5}{50} \text{ s} = 0.1 \text{ s}$ , 则竖直方向下落的距离  $h = \frac{1}{2}gt^2 = 5 \text{ cm}$ , 正好击中第 6 环线, A 项错误, B 项正确; 若要击中第 10 环的圆内, 则下落时间就小于  $t_1 = \sqrt{\frac{2 \times 0.01}{10}} \text{ s} = \frac{0.1\sqrt{5}}{5} \text{ s}$ , 飞镖的速度  $v_1 = \frac{s}{t_1} = \frac{5}{0.1 \frac{\sqrt{5}}{5}} \text{ m/s} = 50\sqrt{5} \text{ m/s}$ , C 项正确; 靶子的最大半径为  $10 \text{ cm}$ , 同理求得飞镖要击中靶子的最小速度为  $25\sqrt{2} \text{ m/s}$ , D 项正确。

**9 B、C** [解析] 要想命中靶心且使射出的箭在空中飞行时间最短, 运动员骑马奔驰时不能瞄准靶心放箭, 箭在空中飞行时垂直跑道的分速度为  $v_2$ , 箭射到靶的最短时间  $t = \frac{d}{v_2}$ , 选项 A、D 错误, 选项 C 正确。箭在空中飞行时沿跑道的分速度为  $v_1$ , 则运动员放箭时离 A 点的距离应为  $\frac{v_1}{v_2}d$ , 选项 B 正确。

**10 A、C** [解析] 图线 b 表示匀加速直线运动, 图线 a 表示匀速直线运动, 故 A 项正确。由图知  $t_1$  时刻  $v_x = v_y$ , 所以速度方向与初速度方向夹角  $\theta$  的正切值为  $\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} = 1$ ,  $\theta = 45^\circ$ , 故 B 项错误。图线与时间轴围成的面积表示位移, 则  $t_1$  时刻竖直方向的位移与水平方向位移之比为 1:2, 所以  $t_1$  时间的位移方向与初速度方向夹角  $\varphi$  的正切值  $\tan \varphi = \frac{1}{2}$ , C 项正确。时间为  $2t_1$  时,  $v_y' = 2v_y$ ,

$\tan \theta_1 = \frac{v_y'}{v_x} = 2$ 。由  $\tan \theta_1 = 2 \tan \varphi_1$ ,  $\tan \varphi_1 = 1$ ,  $\varphi_1 = 45^\circ$ , 故 D 项错误。

**11** (1) 0.60 1.60 0.60 (2) 0.20 3.0 [解析] (1) 由题图乙可知  $P_1$  与  $P_2$  两点在竖直方向的间隔为 6 格,  $P_1$  与  $P_3$  两点在竖直方向的间隔为 16 格, 所以有  $|y_1 - y_2| = 0.60 \text{ m}$ ,  $|y_1 - y_3| = 1.60 \text{ m}$ 。  $P_1$  与  $P_2$  两点在水平方向的间隔为 6 格, 则有  $|x_1 - x_2| = 0.60 \text{ m}$ 。  
(2) 由水平方向的运动特点可知  $P_1$  到  $P_2$  与  $P_2$  到  $P_3$  的时间相等, 根据  $\Delta y = gt^2$ , 解得  $t = 0.20 \text{ s}$ , 则有  $v_0 = \frac{x}{t} = \frac{0.60}{0.20} \text{ m/s} = 3.0 \text{ m/s}$ 。

**12** 11.25 [解析] 汽车在竖直方向做自由落体运动, 由  $\Delta h = gT^2$  可得, 两次曝光的时间间隔为  $T = \sqrt{\frac{\Delta h}{g}} = \sqrt{\frac{l}{g}} = \sqrt{\frac{3.6}{10}} \text{ s} = 0.6 \text{ s}$ 。前三个像中, 中间位置车的竖直速度为  $v_y = \frac{3l}{2T} = \frac{3 \times 3.6}{2 \times 0.6} \text{ m/s} = 9 \text{ m/s}$ 。汽车从开始运动到中间位置的竖直位移为  $h_1 = \frac{v_y^2}{2g} = \frac{9^2}{2 \times 10} \text{ m} = 4.05 \text{ m}$ 。从抛出点到地面的高度为  $h_2 = h_1 + 2l = (4.05 + 2 \times 3.6) \text{ m} = 11.25 \text{ m}$ 。水平初速度  $v_0 = \frac{2l}{T} = \frac{2 \times 3.6}{0.6} \text{ m/s} = 12 \text{ m/s}$ 。

**13** (1) 取竖直向下为正方向, 设在 D 点相遇, 对 A 球:  $h_{AD} = v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$ , 对 C 球:  $h_{CD} = -v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$ , 因为  $h_{AD} = h_{AC} + h_{CD}$ , 且  $h_{AC} = 10 \text{ m}$ , 所以  $v_0 t + \frac{1}{2}gt^2 = 10 \text{ m} - v_0 t + \frac{1}{2}gt^2$ , 所以  $2v_0 t = 10 \text{ m}$ , 故  $v_0 = \frac{10}{2 \times 5} \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$ 。  
(2) B 球与 C 球的水平距离为  $s_{BC} = v_0 t = 1 \times 5 \text{ m} = 5 \text{ m}$ , B 球与 C 球的竖直距离为  $h_{BC} = h_{BD} - h_{CD} = \frac{1}{2}gt^2 - (-v_0 t + \frac{1}{2}gt^2) = v_0 t = 1 \times 5 \text{ m} = 5 \text{ m}$ 。

**14** (1) 设小球恰好落到空地的右侧边缘时的水平初速度为  $v_{01}$ , 则小球的水平位移为  $L + x = v_{01} t_1$ , 小球的竖直位移为  $H = \frac{1}{2}gt_1^2$ , 解以上两式得  $v_{01} = (L + x)\sqrt{\frac{g}{2H}} = 13 \text{ m/s}$ , 设小球恰好越过围墙的边缘时的水平初速度为  $v_{02}$ , 则此过程中小球的水平位移为  $L = v_{02} t_2$ , 小球的竖直位移为  $H - h = \frac{1}{2}gt_2^2$ , 解以上两式得  $v_{02} = 5 \text{ m/s}$ , 小球抛出时速度的大小范围为  $5 \text{ m/s} \leq v_0 \leq 13 \text{ m/s}$ 。  
(2) 小球落在空地上, 下落高度一定, 落地时的竖直分速度一定, 当小球恰好越过围墙的边缘落在空地上时, 落地速度最小。竖直方向  $v_y^2 = 2gH$ , 又有  $v_{\min} = \sqrt{v_{02}^2 + v_y^2}$ ,



解得  $v_{\min} = 5\sqrt{5}$  m/s。

**15** (1) 刚好落到斜坡底端时, 小球的初速度最小, 设为  $v_0$ 。

$$h = \frac{1}{2}gt^2,$$

$$x = v_0 t,$$

$$x = \frac{h}{\tan \theta},$$

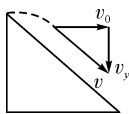
联立并代入数据解得  $v_0 = 4$  m/s。

(2) 当小球的速度方向与斜面平行时, 离开斜面的距离最大,

$$v_y = v_0,$$

$$v_y = gt,$$

联立并代入数据解得  $t = 0.3$  s。



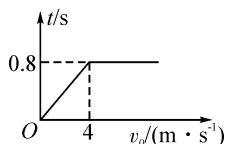
甲

(3) 当  $v_0 < 4$  m/s 时, 小球落在斜面上, 根据

$$\tan 45^\circ = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0},$$

解得  $t = \frac{2v_0}{g}$ ; 当  $v_0 > 4$  m/s 时, 小球落在水平地面上,  $t =$

$$\sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 3.2}{10}} \text{ s} = 0.8 \text{ s}, \text{ 所作图像如图乙所示。}$$



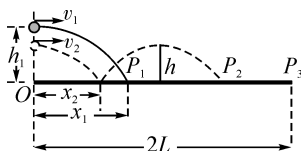
乙

第 15 题图

**16** (1) 设球的运动时间为  $t_1$ , 根据平抛运动

$$h_1 = \frac{1}{2}gt_1^2,$$

$$x_1 = v_1 t_1,$$



甲

$$\text{解得 } x_1 = v_1 \sqrt{\frac{2h_1}{g}}.$$

(2) 设发球高度为  $h_2$ , 运动时间为  $t_2$ , 同理根据平抛运动

$$h_2 = \frac{1}{2}gt_2^2,$$

$$x_2 = v_2 t_2,$$

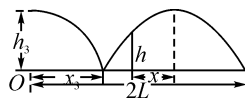
根据平抛运动的特点可知, 乒乓球由抛出点到第一次落到球台上的运动过程与由球台反弹后通过最高点的运动过程刚好对称, 则有

$$h_2 = h,$$

$$2x_2 = L,$$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{L}{2} \sqrt{\frac{g}{2h}}.$$

(3) 如图乙所示, 发球高度为  $h_3$ , 运动时间为  $t_3$ , 同理根据平抛运动得,



乙

第 16 题图

$$h_3 = \frac{1}{2}gt_3^2,$$

$$x_3 = v_3 t_3,$$

$$\text{且 } 3x_3 = 2L,$$

设球从恰好越过球网到最高点的时间为  $t$ , 与球网的水平距离为  $x$ ,

$$\text{有 } h_3 - h = \frac{1}{2}gt^2,$$

$$x = v_3 t,$$

由几何关系知  $x_3 + x = L$ ,

$$\text{联立解得 } h_3 = \frac{4}{3}h.$$

## 第 2 章 研究圆周运动

### 2.1 怎样描述圆周运动

#### 题组 A 学考通关测试

正文 P39

**1** D **[解析]** 由  $v = \omega r$  可知,  $r$  一定时,  $v$  与  $\omega$  成正比;  $v$  一定时,  $\omega$  与  $r$  成反比, 故 A、C 均错误。由  $v = \frac{2\pi r}{T}$  可知,  $r$  一定时,  $v$  越大,  $T$  越小, B 错误。而由  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  可知,  $\omega$  越大,  $T$  越小, 故 D 正确。

**2** A **[解析]** 由滚轮不会打滑可知主动轴上的平盘与可随动轴转动的柱形滚轮的接触点的线速度相同, 所以  $v_1 = v_2$ , 由此可得  $x \cdot 2\pi n_1 = r \cdot 2\pi n_2$ , 所以  $n_2 = n_1 \frac{x}{r}$ , 即 A 项正确。

**3** A **[解析]** 传动的方式有多种类型(皮带传动, 共轴传动, 齿轮传动和摩擦传动), 本题属于摩擦传动, 摩擦传动的特点是各个轮边缘的线速度大小相等, 即  $v_1 = v_2 = v_3$ , 则有  $\omega_1 r_1 = \omega_2 r_2 = \omega_3 r_3$ , 显然 A 项正确。

**4** 时针、分针、秒针周期分别为  $T_1 = 12$  h,  $T_2 = 1$  h,  $T_3 = 1$  min =  $\frac{1}{60}$  h。根据  $f = n = \frac{1}{T}$  得  $n_1 : n_2 : n_3 = \frac{1}{T_1} : \frac{1}{T_2} : \frac{1}{T_3} = 1 : 12 : 720$ , 根据  $v = \frac{2\pi r}{T}$  得  $v_1 : v_2 : v_3 = \frac{L_1}{T_1} : \frac{L_2}{T_2} : \frac{L_3}{T_3} = 1 : 18 : 1080$ 。

**5** 设小球下落  $h$  时所用的时间为  $t_1$ , 经过圆筒所用的时间为  $t_2$ , 则有  $h = \frac{1}{2}gt_1^2$ , 解得  $t_1 = 0.8$  s;  $h + 2R = \frac{1}{2}g(t_1 + t_2)^2$ , 解得  $t_2 = 0.4$  s。圆筒的运动周期  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 0.8$  s。因为  $t_1 = T, t_2 = \frac{T}{2}$ , 故小球和圆筒不会碰撞。

#### 题组 B 高考通关测试

正文 P39

**1** B **[解析]** 传动中三轮边缘的线速度大小相等, 由  $v =$

$2\pi nr$ , 得  $n_1 D_1 = n_2 D_2$ , 所以  $\frac{n_2}{n_1} = \frac{D_1}{D_2}$ , 故 B 项正确。

**2 D** [解析] 圆盘的转动频率小于闪光的频率, 我们看着白点好像是逆时针转动, 且每秒转 1 圈, D 项正确。

**3 B** [解析] 挑战者落到与转盘等高处的时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = 0.5 \text{ s}$ , 在这个时间内转盘转过的角度  $\theta = \frac{12.5 \times 360^\circ}{60} \times 0.5 = 37.5^\circ$ , 间隙对应的圆心角  $\theta' = \frac{360^\circ}{12} = 30^\circ$ , 转盘转过  $\theta'$  所需要的时间  $t' = \frac{30^\circ}{360^\circ \times 12.5} \times 60 \text{ s} = 0.4 \text{ s}$ 。满足题目的最小起跳速度  $v = \frac{x}{t'} = \frac{2}{0.4} \text{ m/s} = 5 \text{ m/s}$ , B 正确。

**4**  $\frac{4}{9}v_0$  [解析] 甲轮外边缘线速度为  $v_0$ , 设甲轮内轮边缘线速度为  $v_1$ , 则  $\frac{v_0}{R} = \frac{v_1}{r}$ , 所以  $v_1 = \frac{v_0}{R}r = \frac{2}{3}v_0$ 。由此可知, 乙轮外边缘线速度也为  $v_1 = \frac{2}{3}v_0$ , 设乙轮内轮边缘线速度为  $v_2$ , 则  $\frac{v_1}{R} = \frac{v_2}{r}$ , 所以  $v_2 = \frac{v_1}{R}r = \frac{4}{9}v_0$ 。由此可知, 丙轮外边缘线速度为  $\frac{4}{9}v_0$ 。

**5** 设小球 P 做自由落体运动到圆周最高点的时间为  $t$ , 由自由落体运动公式可得

$$h = \frac{1}{2}gt^2, t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

小球 Q 由图示位置转至最高点的时间也是  $t$ , 但做匀速圆周运动, 周期为  $T$ , 有

$$t = (4n+1)\frac{T}{4} \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

$$\text{两式联立再由 } T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ 得 } (4n+1)\frac{\pi}{2\omega} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$\text{所以 } \omega = \frac{\pi}{2}(4n+1)\sqrt{\frac{g}{2h}} \quad (n=0, 1, 2, 3, \dots)$$

**6** (1) 设牙盘转动的角速度为  $\omega_1$ , 自行车后轮转动的角速度, 即飞轮的角速度为  $\omega_2$ , 人每分钟要踩脚踏板  $n$  圈, 则  $\omega_2 = \frac{v}{R} = \frac{3}{0.3} \text{ rad/s} = 10 \text{ rad/s}$ 。由  $\omega_2 r_2 = \omega_1 r_1$ , 得  $\omega_1 = 5 \text{ rad/s}$ ,  $n = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{5}{2\pi} \text{ r/s} = \frac{150}{\pi} \text{ r/min} = 48 \text{ r/min}$ 。

(2) 由(1)知  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{r_2}{r_1}$ , 不管牙盘还是飞轮, 相邻的两齿间的弧长相同, 故有  $\frac{2\pi r_2}{2\pi r_1} = \frac{N_{\text{飞}}}{N_{\text{牙}}}$ , 从而  $\frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{N_{\text{飞}}}{N_{\text{牙}}}$ , 故  $\omega_1 = \frac{N_{\text{飞}}}{N_{\text{牙}}} \cdot \omega_2 = \frac{N_{\text{飞}}}{N_{\text{牙}}} \cdot \frac{v}{R}$ , 由于  $v, R$  一定, 当  $\frac{N_{\text{飞}}}{N_{\text{牙}}}$  最小时,  $\omega_1$  最小, 故应选齿数为 15 的飞轮和齿数为 48 的牙盘。

## 2.2 研究匀速圆周运动的规律

### 题组 A 学考通关测试

正文 P47

**1** A、B、D [解析] 应用向心加速度的表达式、周期与角速度的关系式进行分析, 注意路程与位移的区别。小球做匀速圆周运动的线速度为  $v$ , 角速度为  $\omega$ , 则有  $a = \frac{v^2}{R} = R\omega^2$ ,

由此可得  $v = \sqrt{aR}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{a}{R}}$ , 周期  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{R}{a}}$ 。所以小球在时间  $t$  内通过的路程为  $s = vt = t\sqrt{aR}$ , 小球在时间  $t$  内可能发生的最大位移应该等于直径。正确选项为 A、B、D。

**2 D** [解析] 两人的角速度相同, 向心力相同, 设两人的运动半径分别为  $r_{\text{甲}}$  和  $r_{\text{乙}}$ , 由牛顿第二定律和圆周运动规律得

$$m_{\text{甲}} r_{\text{甲}} \omega^2 = m_{\text{乙}} r_{\text{乙}} \omega^2, \text{ 所以 } \frac{r_{\text{甲}}}{r_{\text{乙}}} = \frac{m_{\text{乙}}}{m_{\text{甲}}} = \frac{1}{2},$$

又  $r_{\text{甲}} + r_{\text{乙}} = 0.9 \text{ m}$ , 所以  $r_{\text{甲}} = 0.3 \text{ m}$ ,  $r_{\text{乙}} = 0.6 \text{ m}$ 。

$$\text{由 } v = \omega r \text{ 得两人线速度之比 } \frac{v_{\text{甲}}}{v_{\text{乙}}} = \frac{r_{\text{甲}}}{r_{\text{乙}}} = \frac{1}{2},$$

由  $F = m_{\text{甲}} r_{\text{甲}} \omega^2$  得

$$\omega = \sqrt{\frac{F}{m_{\text{甲}} r_{\text{甲}}}} = \sqrt{\frac{6}{80 \times 0.3}} \text{ rad/s} = 0.5 \text{ rad/s}。$$

所以  $v_{\text{甲}} = \omega r_{\text{甲}} = 0.15 \text{ m/s}$ ,  $v_{\text{乙}} = \omega r_{\text{乙}} = 0.3 \text{ m/s}$ 。故正确答案为 D。

**3** 当行车突然停止运动时, 铸件将做圆周运动, 设此时绳的拉力为  $F_T$ , 则  $F_T - mg = \frac{mv^2}{L}$ , 所以  $F_T = mg + \frac{mv^2}{L}$ , 代入数据得  $F_T = 110 \text{ N}$ 。

**4** (1) 做匀速圆周运动的小球受力如图所示, 根据小球在水平面内做匀速圆周运动的情况建立直角坐标系, 并把  $F_T$  分解为  $F_{Tx}$ 、 $F_{Ty}$ , 则

$$x \text{ 轴: } F_T \sin \alpha = ma_n \quad \text{①}$$

$$y \text{ 轴: } F_T \cos \alpha = mg \quad \text{②}$$

由②可得  $F_T = \frac{mg}{\cos \alpha}$ , 沿细线向上。

(2) 由①②可解得  $a_n = g \tan \alpha$ , 代入圆周运动的向心力公式得

$$mg \tan \alpha = \frac{mv^2}{r}, \text{ 从图中的几何关系}$$

得  $r = L \sin \alpha$ ,

所以小球做匀速圆周运动的线速度的大小为

$$v = \sqrt{gL \tan \alpha \cdot \sin \alpha}。$$

(3) 小球运动的角速度

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{\sqrt{gL \tan \alpha \sin \alpha}}{L \sin \alpha} = \sqrt{\frac{g}{L \cos \alpha}}。$$

$$\text{小球运动的周期 } T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{L \cos \alpha}{g}}。$$

**5** B、D 轮边缘线速度相等, A、C 轮边缘线速度相等, A、B 轮角速度相等。  $\frac{v_C}{v_D} = \frac{v_A}{\frac{1}{2}v_A} = 2$ ,  $\frac{\omega_C}{\omega_D} = \frac{2\omega_A}{\frac{1}{2}\omega_A} = 4$ ,  $\frac{a_C}{a_D} = \frac{v_C \omega_C}{v_D \omega_D} =$

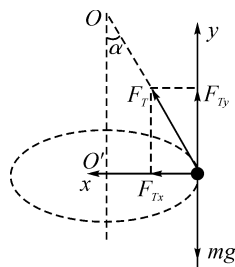
$$2 \times 4 = 8。 \text{ 即 } a_C : a_D = 8 : 1。$$

**6** (1) 若圆盘转速较小, 则静摩擦力提供向心力, 当圆盘转速较大时, 弹力与摩擦力的合力提供向心力。

圆盘开始转动时, A 所受静摩擦力提供向心力, 则有  $\mu mg \geq$

$$mR\omega_0^2。 \text{ 又因为 } \omega_0 = 2\pi n_0, \text{ 由两式得 } n_0 \leq \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu g}{R}}, \text{ 即当}$$

$$n_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu g}{R}} \text{ 时, 物体 A 开始滑动。}$$



第 4 题图

(2) 转速增加到  $2n_0$  时, 有  $\mu mg + k\Delta x = m\omega_1^2 r$ 。

其中  $\omega_1 = 2\pi \cdot 2n_0, r = R + \Delta x$ 。

整理得  $\Delta x = \frac{3\mu mg R}{kR - 4\mu mg}$ 。

**题组 B 高考通关测试** 正文 P47

**1 C** **[解析]** 由于雪橇在冰面上滑动, 所受滑动摩擦力方向必与运动方向相反, 即方向应为圆的切线方向。又因为雪橇做匀速圆周运动, 故所受合力提供向心力, 且一定指向圆心, 故只有 C 项正确。

**2 D** **[解析]** 当旋转圆盘绕竖直的中心轴匀速转动时, A 与 B 的角速度相等, A 的半径比 B 的小, 由  $v = \omega r$ , 可得 A 的速度比 B 的小, 故 A 错误。由  $a = \omega^2 r$  得, A 的向心加速度比 B 的小, 故 B 错误。座椅受重力  $mg$  和拉力  $T$ , 向心力是由缆绳拉力的水平分力提供, 可知  $m g \tan \theta = m \omega^2 r$ , 因此 A 与竖直方向的夹角比 B 的小, 故 C 错误。拉力  $T = \frac{mg}{\cos \theta}$ , 悬挂 A 的缆绳所受的拉力比悬挂 B 的小, 故 D 正确。

**3 C** **[解析]** 因为皮带不打滑, A 点与 B 点的线速度大小相同, 都等于皮带运动的速率, 根据向心加速度公式  $a_n = \frac{v^2}{r}$ , 可得  $a_A : a_B = r_2 : r_1 = 2 : 1$ 。由于 B、C 所在的轮共轴固定在一起, 所以它们的角速度相同, 根据向心加速度的公式  $a_n = r\omega^2$ , 可得  $a_B : a_C = r_2 : r_3 = 2 : 1.5$ 。由此可得  $a_A : a_B : a_C = 8 : 4 : 3$ 。

**4 A、B** **[解析]** 两球的角速度就是系统的角速度, 都等于  $\omega$ , 所以首先可判断 C 项错误。P、Q 两球连在一条绳上, 所以向心力等于绳的张力, 所以 D 项错误。由两球所受向心力相等可得  $m_P \omega^2 r_P = m_Q \omega^2 r_Q, r_P : r_Q = m_Q : m_P = 1 : 2$ , 所以 A 项正确。 $a_P = \omega^2 r_P, a_Q = \omega^2 r_Q$ , 所以  $a_P : a_Q = r_P : r_Q = 1 : 2$ , 所以 B 项正确。

**5** 绳的拉力恰好为零时, 角速度为  $\omega_0$ , 根据牛顿第二定律, 得  $\mu mg = m\omega_0^2 r, \omega_0 = \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$ 。  
 (1)  $\omega_1 = \sqrt{\frac{\mu g}{2r}} < \omega_0$ , 此时由静摩擦力提供向心力, 绳的拉力  $T_1 = 0$ 。  
 (2)  $\omega_2 = \sqrt{\frac{3\mu g}{2r}} > \omega_0$ , 此时由最大静摩擦力和绳的拉力提供向心力, 即  $T_2 + \mu mg = m\omega_2^2 r$ , 解得  $T_2 = \frac{1}{2}\mu mg$ 。

**6** (1) 对小球 A 来说, 小球受到的重力和支持力平衡, 因此绳子的拉力提供向心力, 则  $T = mR\omega^2 = 1 \times 0.1 \times 10^2 \text{ N} = 10 \text{ N}$ 。  
 对物体 B 来说, 物体受到三个力的作用: 重力  $Mg$ , 绳子的拉力  $T$ , 地面的支持力  $N$ , 由力的平衡条件可得  $T + N = Mg$ , 所以  $N = Mg - T$ ,  
 将  $T = 10 \text{ N}$  代入可得  $N = 4 \times 10 \text{ N} - 10 \text{ N} = 30 \text{ N}$ 。  
 即 B 对地面的压力为  $30 \text{ N}$ , 方向竖直向下。  
 (2) 当 B 对地面恰好无压力时, 有  $Mg = T'$ , 拉力  $T'$  提供小球 A 所需向心力, 有  $T' = mR\omega'^2$ , 则  $\omega' = \sqrt{\frac{Mg}{mR}} =$

$$\sqrt{\frac{4 \times 10}{1 \times 0.1}} \text{ rad/s} = 20 \text{ rad/s}。$$

即当 B 对地面恰好无压力时, A 球的角速度应为  $20 \text{ rad/s}$ 。

**2.3 圆周运动的案例分析**

**题组 A 学考通关测试** 正文 P56

**1 B、C** **[解析]** 设内外轨的水平距离为  $d$ , 根据火车拐弯时, 重力与支持力的合力提供向心力有  $m \frac{v^2}{r} = mg \frac{h}{d}$ ,  $v$  一定时,  $r$  越大则要求  $h$  越小,  $r$  越小则要求  $h$  越大, 故 B 正确, A 错误;  $r$  一定时,  $v$  越大则要求  $h$  越大, 故 D 错误, C 正确。

**2 D** **[解析]** 在 A、B、C、D 各点均由重力与支持力的合力提供向心力, 爆胎可能性最大的地段为轮胎与地面挤压力的最大处。在 A、C 两点有  $mg - F = \frac{mv^2}{R}, F = mg - \frac{mv^2}{R} < mg$ ; 在 B、D 两点有  $F - mg = m \frac{v^2}{R}, F = mg + m \frac{v^2}{R} > mg$ , 且  $R$  越小,  $F$  越大, 故  $F_D$  最大, 即 D 处最容易爆胎。

**3 C** **[解析]** 小车突然停止, B 球将做圆周运动, 所以  $T_B = m \frac{v^2}{L} + mg = 30m$ ; A 球将做水平方向减速运动,  $T_A = mg = 10m$ , 故此时悬线中张力之比为  $T_A : T_B = 1 : 3$ , C 项正确。

**4 A、B** **[解析]** 因为汽车通过最低点时, 演员具有向上的加速度, 故处于超重状态, A 正确; 由  $\omega = \frac{v}{r}$  可得汽车在环形车道上的角速度为  $2 \text{ rad/s}$ , D 错误; 由  $mg = \frac{mv_0^2}{r}$  可得  $v_0 = \sqrt{gr} = 7.7 \text{ m/s}$ , C 错误; 由  $mg + F = m \frac{v^2}{r}$  以及牛顿第三定律可得汽车通过最高点时对环形车道的压力为  $1.4 \times 10^4 \text{ N}$ , B 正确。

**5 B、C** **[解析]** 小球沿管上升到最高点的速度可以为零, 故 A 错误, B 正确; 小球在水平线  $ab$  以下的管道中运动时, 由外侧管壁对小球的作用力  $F_N$  与球重力在背离圆心方向的分力  $F_{mg}$  的合力提供向心力, 即  $F_N - F_{mg} = m \frac{v^2}{R+r}$ , 因此, 外侧管壁一定对球有作用力, 而内侧管壁对球无作用力, C 正确; 小球在水平线  $ab$  以上的管道中运动时, 小球是否受外侧管壁的作用力与小球速度大小有关, D 错误。

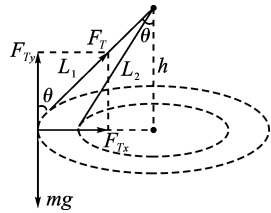
**题组 B 高考通关测试** 正文 P56

**1 A、C** **[解析]** 在最低点  $F = mg + m \frac{v^2}{R}$ , 在最高点  $F = mg - \frac{mv^2}{R}$ , 正立时人对机座有压力, 倒立时人对安全带带有拉力, 故 A、C 两项正确。

**2 A、B** **[解析]** 在  $a$  处小球受到竖直向下的重力, 因此  $a$  处一定受到杆的拉力, 因为小球在最低点时所需向心力沿杆由  $a$  指向圆心  $O$ , 向心力是杆对球的拉力和重力的合力。小球在最高点  $b$  时, 杆对球的作用力有三种情况: (1) 杆对球恰好没有作用力, 这时小球所受的重力提供向心力, 设此时小球速度为  $v_{\text{临}}$ , 由  $mg = \frac{mv_{\text{临}}^2}{R}$  得  $v_{\text{临}} = \sqrt{Rg}$ 。(2) 当速

度  $v > v_{\text{临}}$  时,杆对小球有向下的拉力。(3)当速度  $0 \leq v < v_{\text{临}}$  时,杆对小球有向上的推力。

- 3 A [解析] 此题为圆锥摆运动模型。如图所示,由几何知识知,  $L_2$  与竖直方向的夹角为  $30^\circ$ , D 项错误; 小球受两个力作用, 重力  $mg$  和细线的拉力  $F_T$ , 将  $F_T$  分解为  $F_{Tx}$  和  $F_{Ty}$ ,  $F_{Ty} = mg$ ,  $F_{Tx} = m\omega^2 R$ , 即



第3题图

$$F_T \cos \theta = mg, F_T \sin \theta = m\omega^2 L_1 \sin \theta, \text{ 解得 } \omega = \sqrt{\frac{g}{L_1 \cos \theta}} =$$

$\sqrt{\frac{g}{h}}$ , 故有  $T_{\text{周}} = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}$ , 因两圆锥摆的圆锥高度相同, 故周期相等, A 项正确; 两小球角速度相同, 做圆周运动的半径不同, 则线速度不相等, B 项错误; 从本题中所给信息, 不能推出质量的关系, C 项错误。

- 4 A、B、C [解析] 转动角速度为  $\omega$ , 说明物体合力为向心力, 物体  $P$  随杆转动, 受重力、绳子  $BP$  的张力(一定存在, 平衡物体的重力)、及绳子  $AP$  中可能存在的张力的合力提供  $P$  做匀速圆周运动的向心力。  $\omega$  从 0 开始增加,  $AP$  由松弛逐渐伸直,  $\omega$  只有超过某一值时, 绳子  $AP$  才有拉力, A 项正确; 用正交分解法列出物体  $P$  在水平、竖直两个方向受到的合力  $\Sigma F_x$ 、 $\Sigma F_y$ ,  $AP$ 、 $BP$  与水平方向夹角为  $\theta$ 。由牛顿运动定律列方程,  $\Sigma F_x = m\omega^2 r = F_{TA} \cos \theta + F_{TB} \cos \theta$ ,  $\Sigma F_y = F_{TB} \sin \theta - F_{TA} \sin \theta - G = 0$ 。分析可得,  $BP$  的拉力  $F_{TB} = \frac{m\omega^2 r}{\cos \theta} - F_{TA} = \frac{G}{\sin \theta} + F_{TA}$ , 随  $\omega$  的增大而增大, 且绳  $AP$  的张力小于  $BP$  的张力。故 B、C 两项正确, D 项错误。

- 5 C [解析] 设小球在离开锥面时的角速度为  $\omega_0$ , 则在离开锥面前有  $T \sin \theta - N \cos \theta = m\omega^2 l \sin \theta$ ,  $T \cos \theta + N \sin \theta - mg = 0$ , 则  $T = m\omega^2 l \sin^2 \theta + mg \cos \theta$ 。所以  $T$  是关于  $\omega^2$  的一次函数, 当小球离开锥面后,  $\omega > \omega_0$ , 有  $T \sin \theta = m\omega^2 l \sin \theta$ , 即  $T = m\omega^2 l$ , 故 C 项正确。

- 6 (1) 要使水在最高点恰不流出杯子, 此时绳子对杯子的拉力等于零, 杯子和水做圆周运动的向心力仅由其重力  $mg$  提供, 根据牛顿第二定律, 在最高点对杯子和水有  $mg = m \frac{v_1^2}{L}$ 。解得杯子通过最高点时速度的最小值为  $v_1 = \sqrt{gL}$ 。  
(2) 根据牛顿第二定律, 在最低点对杯子和水有  $F - mg = m \frac{v_2^2}{L}$ 。  
当  $F = 8mg$  取最大值时, 速度  $v_2$  也达到了最大值, 即  $8mg - mg = m \frac{v_2^2}{L}$ , 解得杯子通过最低点时速度的最大值为  $v_2 = \sqrt{7gL}$ 。

## 2.4 研究离心现象及其应用

### 题组 A 学考通关测试

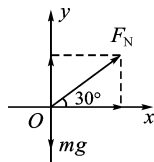
正文 P62

- 1 B [解析] 脱水过程中, 衣物做离心运动而被甩向桶壁, 故 A 正确。水滴的附着力是一定的, 当水滴因做圆周运动所需的向心力大于该附着力时, 水滴被甩掉, 故 B 错误。 $F = m\omega^2 R$ ,  $\omega$  增大, 所需向心力  $F$  增大, 会有更多水滴被甩

出去, 故 C 正确。中心的衣服,  $R$  比较小, 角速度  $\omega$  一样, 所需向心力小, 脱水效果较差, 故 D 正确。

- 2 C [解析] 滑块与盘恰好保持相对静止时, 滑块受到的最大静摩擦力充当向心力, 则有  $\mu mg = m\omega^2 r$ 。此式成立与质量无关, 当质量发生变化时, 此式仍能成立, 但当  $\omega$  变大或  $r$  变大时, 静摩擦力将小于物体需要的向心力, 物体将做离心运动, 不能再保持相对静止。  
3 C [解析] 以衣物为研究对象, 由牛顿第二定律得  $N = m\omega^2 r = m \times 40^2 \times \frac{0.49}{2} = 40mg$ 。即衣物对筒壁的压力是其重力的 40 倍。  
4 C [解析] 粘附力相同的情况下, 在  $c$  点提供泥巴向心力的是粘附力减去重力, 泥巴需要的粘附力最大, 因此最容易被甩下来, C 项正确。  
5 A [解析] 转盘匀速转动时, 重力和支持力平衡, 摩擦力提供向心力, 故摩擦力方向指向圆心  $O$  点, A 正确, B 错误; 当转盘加速转动时, 物块  $P$  做加速圆周运动, 不仅有沿  $c$  方向指向圆心的向心力, 还有指向  $a$  方向的切向力, 使线速度大小增大, 两方向的合力即摩擦力可能指向  $b$ , 故 C 错误; 当转盘减速转动时, 物块  $P$  做减速圆周运动, 不仅有沿  $c$  方向指向圆心的向心力, 还有指向与  $a$  相反方向的切向力, 使线速度大小减小, 两方向的合力即摩擦力可能指向  $d$ , 故 D 错误。

- 6 被测者做匀速圆周运动所需要的向心力由他所受重力和座位对他的支持力的合力提供, 如图所示。



第6题图

在竖直方向受力平衡, 有  $F_N \sin 30^\circ = mg$ 。

$$\text{解得 } F_N = \frac{mg}{\sin 30^\circ} = 2mg。$$

即被测者对座位的压力是其所受重力的 2 倍。

### 题组 B 高考通关测试

正文 P63

- 1 C [解析] 试管快速摆动, 试管里浸在水中的蜡块随试管一起做角速度较大的圆周运动(尽管蜡块不是做完整的圆周运动, 且运动的方向也不断变化, 但并不影响问题的实质), 向心力由蜡块上、下两侧水的压力之差提供, 因为蜡块的密度小于水的密度, 同体积的水较重, 因此, 蜡块做离心运动。只要手左右摆动的速度足够大, 蜡块就能一直运动到手握的 A 端, 故 C 项正确。  
2 A [解析] 若物体通过终端能水平抛出, 说明到达皮带轮时刻, 物体与皮带轮间无相互作用力, 即重力充当向心力, 则  $mg = \frac{mv^2}{r}$ , 即  $v = \sqrt{gr}$ , 而  $n = \frac{1}{T} = \frac{v}{2\pi r} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{r}}$ 。  
3 D [解析] 在松手前, 甲、乙两小孩做圆周运动的向心力均由静摩擦力及拉力的合力提供的, 且静摩擦力均达到了最大静摩擦力。因为这两个小孩在同一个圆盘上转动, 故角速度  $\omega$  相同, 设此时手之间的拉力为  $F_T$ , 则对甲:  $F_{f_m} - F_T = m\omega^2 R_{\text{甲}}$ , 对乙:  $F_T + F_{f_m} = m\omega^2 R_{\text{乙}}$ 。当两小孩松手时,  $F_T = 0$ , 乙所受的最大静摩擦力小于所需要的向心力, 故乙做离心运动, 落入水中; 甲所受的静摩擦力变小, 直至与它所需要的向心力相等, 故甲仍随圆盘一起做匀速圆周运



动,D项正确。

- 4 B **[解析]** 物体做匀速圆周运动,线的拉力提供向心力,稳定时线的拉力等于  $M$  的重力,如果减少  $M$  的重量,拉力不足以提供物体做圆周运动的向心力,物体会出现离心现象,导致半径  $r$  变大,速度  $v$  减小;半径  $r$  变大,速度  $v$  减小,角速度一定减小。

- 5 (1) 小球在光滑桌面上做匀速圆周运动时受三个力的作用:重力  $mg$ 、桌面支持力  $F_N$  和线的拉力  $F$ 。重力  $mg$  和支持力  $F_N$  平衡。线的拉力提供向心力,  $F_{向} = F = m\omega^2 R$ , 设原来的角速度为  $\omega_0$ , 线上的拉力是  $F_0$ , 加快后的角速度为  $\omega$ , 线断时的拉力是  $F$ 。则  $F : F_0 = \omega^2 : \omega_0^2 = 9 : 1$ 。又  $F = F_0 + 40 \text{ N}$ , 解得  $F_0 = 5 \text{ N}$ , 则线断时  $F = 45 \text{ N}$ 。

(2) 设线断时小球的线速度为  $v$ , 由  $F = \frac{mv^2}{R}$ , 得  $v = \sqrt{\frac{FR}{m}} = \sqrt{\frac{45 \times 0.1}{0.18}} \text{ m/s} = 5 \text{ m/s}$ 。

(3) 由平抛运动规律得小球在空中运动的时间

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.8}{10}} \text{ s} = 0.4 \text{ s}。$$

小球落地点离桌面的水平距离

$$x = vt = 5 \times 0.4 \text{ m} = 2 \text{ m}。$$

- 6 (1) 当小球线速度增大到  $BC$  被拉直时,  $AC$  绳拉力  $T_{AC} = \frac{mg}{\sin 53^\circ} = 1.25mg$ 。当球的速度再增大些时,  $T_{AC}$  不变,  $BC$  绳的拉力随小球线速度的增大而增大。由  $T_{AC} \cos 53^\circ + T_{BC} = m \frac{v^2}{R}$  可知, 当  $v = \sqrt{2.75gR} = 5.19 \text{ m/s}$  时,  $T_{BC} = 2mg$ , 故  $BC$  绳先断。

(2) 当  $BC$  绳断后,  $AC$  绳与竖直方向夹角  $\alpha$  因离心运动而增大, 同时球速减小。当使球速再增大时, 角  $\alpha$  随球速增大而增大, 根据  $T_{AC} = \frac{mg}{\cos \alpha}$ , 可知当  $\alpha = 60^\circ$  时,  $T_{AC} = 2mg$ ,  $AC$  绳也断。再根据  $T_{AC} \sin \alpha = m \frac{v'^2}{L_{AC} \cdot \sin \alpha}$ , 可知此时球速  $v' = \sqrt{2.5g} = 4.95 \text{ m/s}$ 。

## 第2章 单元复习方案

测评·高考模拟卷  $\longrightarrow$  正文 P66

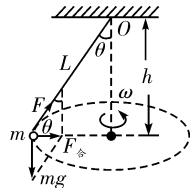
- 1 C、D **[解析]** 匀速圆周运动的速度大小不变, 速度方向时刻改变, 合力的方向时刻改变, A、B 错误, C、D 正确。
- 2 B **[解析]** 由题知, 绳的拉力  $F$  提供向心力, 由  $F = mr \cdot 4\pi^2 f^2$  知,  $f$  一定时,  $F \propto r$ , 故 A 项错误; 由  $F = m \frac{v^2}{r}$  知,  $v$  一定时,  $F \propto \frac{1}{r}$ , 故 B 项正确, D 项错误; 由  $F = m \frac{4\pi^2 r}{T^2}$  知,  $T$  一定时,  $F \propto r$ , 故 C 项错误。
- 3 B **[解析]** 物体随圆筒一起转动需要向心力, 竖直方向上物体受到重力和静摩擦力的作用, 而且重力和静摩擦力在竖直方向上是一对平衡力, 二者的合力为零; 水平方向上物体受到内壁的弹力, 方向始终指向圆心, 就是这个弹力提供了物体做圆周运动的向心力, 故应选择 B 项。
- 4 C **[解析]** 本题易错之处是对球 B 的受力分析。设 AB 段

长为  $r$ , 分别对球 A、球 B 受力分析, 如图所示, 对球 B 有  $F_{OB} - F_{AB} = m \cdot 2r\omega^2$ , 对球 A 有  $F_{BA} = m \cdot 3r\omega^2$ , 由牛顿第三定律知  $F_{AB} = F_{BA}$ , 联立解得  $F_{OB} = 5mr\omega^2$ ,  $F_{AB} = 3mr\omega^2$ , 可知 C 正确。

- 5 A **[解析]** A 受重力、支持力、拉力  $F_A$  三个力作用, 拉力的分力提供向心力, 有  $F_A \cdot \cos \alpha = m\omega^2 r_A$ , 同理对 B 有  $F_B \cdot \cos \beta = m\omega^2 r_B$ 。由几何关系, 可知  $\cos \alpha = \frac{r_A}{AC}$ ,  $\cos \beta = \frac{r_B}{BC}$ , 所以  $\frac{F_A}{F_B} = \frac{r_A}{r_B} \cdot \frac{\cos \beta}{\cos \alpha} = \frac{AC}{BC}$ 。由于  $AC > BC$ , 所以  $F_A > F_B$ , 即  $AC$  先断, 故 A 项正确。

- 6 C **[解析]** 物体被抛出后做斜上抛运动, 在其轨迹最高点  $P$  处时, 竖直方向速度为 0, 水平方向速度  $v = v_0 \cos \alpha$ , 设在最高点  $P$  处的曲率半径是  $\rho$ , 此时, 可以认为是圆周运动的一部分, 由重力提供其向心力, 即  $mg = m \frac{v^2}{\rho}$ , 解得  $\rho = \frac{v_0^2 \cos^2 \alpha}{g}$ , C 正确。

- 7 B、D **[解析]** 如题图所示, 小球受重力与绳子拉力, 其合外力提供向心力, 有  $mg \tan \theta = m\omega^2 \cdot L \sin \theta$ , 即  $\frac{g}{\cos \theta} = \omega^2 L$ , 则  $\omega$  越大,  $\cos \theta$  越小,  $\theta$  越大, B 项正确。而  $h = L \cos \theta$ , 则  $\omega^2 = \frac{g}{L \cos \theta} = \frac{g}{h}$ , 故  $\omega$  越大,  $h$  越小, C 项错误。  $h$  的大小与  $m$  无关, A 项错误。  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{L \cos \theta}{g}}$  与  $m$  无关, D 项正确。



- 8 B、C、D **[解析]** 绳  $b$  未断时, 绳  $a$  拉力等于小球重力  $mg$ , 设  $l_b$  为  $b$  绳的长度, 小球速度为  $v = \omega l_b$ 。绳  $b$  断时, 由于惯性, 球具有水平向外的速度, 因受竖直向下的重力和竖直向上的绳  $a$  的拉力而可能在竖直面内做圆周运动, A 项错误; 由牛顿运动定律知  $F_a - mg = \frac{mv^2}{l_a}$ , 故  $F_a = mg + \frac{mv^2}{l_a} > mg$ , B 项正确; 当  $\omega$  较小时, 球在最低点的速度较小, 若  $v \leq \sqrt{2gl_a}$ , 则不能摆到比 A 点更高的位置, 因而在竖直面内来回摆动, C 项正确; 当  $\omega$  较大时, 球在最低点的速度较大, 若  $v \geq \sqrt{5gl_a}$ , 可以在竖直面内做完整的圆周运动, D 项正确。故正确答案为 B、C、D。

- 9 B、D **[解析]** B 对 A 的摩擦力提供 A 做圆周运动的向心力, 所以  $f_{BA} = 3m\omega^2 r$ , A 项错误, B 项正确; 当滑块与转盘间不发生相对运动, 并随转台一起转动时, 转台对滑块的静摩擦力提供向心力, 所以当转速较大, 滑块转动需要的向心力大于最大静摩擦力时, 滑块将相对于转台滑动, 对应的临界条件是静摩擦力提供向心力, 即  $\mu mg = m\omega^2 r$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$ , 所以, 质量为  $m$ 、离转台中心距离为  $r$  的滑块, 能够随转台一起转动的条件是  $\omega \leq \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$ 。在本题中, 物体 C 需要满足的条件为  $\omega \leq \sqrt{\frac{2\mu g}{3r}}$ , 物体 A 和 B 需要满足的条件均

为  $\omega \leq \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$ , 所以, 要使三个物体都能够随转台转动, 转台的角速度一定满足  $\omega \leq \sqrt{\frac{2\mu g}{3r}}$ , C 项错误, D 项正确。

**10** A、D **[解析]** 两滑块的角速度相同, 根据向心力公式  $F_{向} = m\omega^2 r$ , 考虑到两滑块质量相同, 滑块 2 的运动半径较大, 受到的向心力较大, 故滑块 2 先达到最大静摩擦力, 再继续增大角速度, 在增加同样的角速度的情况下, 对滑块 1、2 分别有  $T + f_1 = m\omega^2 R_1$ ,  $T + f_2 = m\omega^2 R_2$ , 随着角速度  $\omega$  的增大, 滑块 2 需要的向心力更大, 则轻绳拉力  $T$  增大, 由于  $R_2 > R_1$ , 故轻绳拉力增大时滑块 1 的摩擦力反而减小, 且与角速度的平方呈线性关系, 故 A、D 正确。

**11** 2 : 1 4 : 1 8 : 1 **[解析]** 因同一根皮带上各点线速度相等, 所以轮 A 和轮 C、轮 B 和轮 D 边缘上的线速度分别相等, 即  $v_A = v_C$ ,  $v_B = v_D$ 。同一轮上各点角速度相等, 即  $\omega_A = \omega_B$ 。

轮 A 和轮 C 边缘线速度相等, 有  $v_A = v_C$ , 由  $\omega = \frac{v}{R}$  得  $\frac{\omega_A}{\omega_C} = \frac{R_C}{R_A} = \frac{1}{2}$ , 即  $\omega_C = 2\omega_A$ 。由  $a = \frac{v^2}{R}$  得  $\frac{a_A}{a_C} = \frac{R_C}{R_A} = \frac{1}{2}$ , 即  $a_C = 2a_A$ 。

轮 A、B 角速度相等, 有  $\omega_A = \omega_B$ , 由  $v = R\omega$  得  $\frac{v_A}{v_B} = \frac{R_A}{R_B} = \frac{2}{1}$ , 即  $v_B = \frac{1}{2}v_A$ 。由  $a = R\omega^2$  得  $\frac{a_A}{a_B} = \frac{R_A}{R_B} = \frac{2}{1}$ ,  $a_B = \frac{1}{2}a_A$ 。

轮 B、D 边缘线速度相等, 有  $v_B = v_D = \frac{1}{2}v_A$ , 由  $\omega = \frac{v}{R}$  得  $\frac{\omega_B}{\omega_D} = \frac{R_D}{R_B} = \frac{2}{1}$ , 即  $\omega_D = \frac{1}{2}\omega_B = \frac{1}{2}\omega_A$ 。由  $a = \frac{v^2}{R}$  得  $\frac{a_B}{a_D} = \frac{R_D}{R_B} = \frac{2}{1}$ , 即  $a_D = \frac{1}{2}a_B = \frac{1}{4}a_A$ 。

所以  $\frac{v_C}{v_D} = \frac{v_A}{\frac{1}{2}v_A} = \frac{2}{1}$ ;  $\frac{\omega_C}{\omega_D} = \frac{2\omega_A}{\frac{1}{2}\omega_A} = \frac{4}{1}$ ;  $\frac{a_C}{a_D} = \frac{2a_A}{\frac{1}{4}a_A} = \frac{8}{1}$ 。

**12** (1)  $\sqrt{gR}$  (2)  $\sqrt{2gR}$  **[解析]** (1) 小球运动到最高点时, 只有重力作用, 则

$$mg = m \frac{v^2}{R}, \text{解得 } v = \sqrt{gR}。$$

(2) 导管刚好要离开地面, 则地面对导管的支持力为零, 导管受重力  $mg$  和小球对导管向上的压力  $N_1$  作用, 且  $N_1 = mg$ 。

小球运动到最高点, 受到重力和导管对它向下的压力  $N_2$ , 且  $N_2 = N_1 = mg$ , 则有  $mg + N_2 = m \frac{v'^2}{R}$ , 解得  $v' = \sqrt{2gR}$ 。

**13** 平台不转时,  $m_1$ 、 $m_2$  处于平衡状态, 则

$$\text{对 } m_1 \text{ 有 } T = \mu m_1 g,$$

$$\text{对 } m_2 \text{ 有 } T = m_2 g,$$

$$\text{故 } m_2 g = \mu m_1 g。$$

当平台转动到刚好能使  $m_1$  在该处不滑动的角速度为  $\omega_0$  时, 有  $m_2 g + \mu m_1 g = m_1 \omega_0^2 r$ ,

$$\text{解得 } \omega_0 = \sqrt{\frac{2\mu g}{r}} = \sqrt{\frac{2 \times 0.4 \times 10}{0.5}} \text{ rad/s} = 4 \text{ rad/s}。$$

因为  $\omega = 6 \text{ rad/s} > \omega_0$ , 所以  $m_1$  将做离心运动。

**14** (1) 水滴在水平方向做匀速直线运动, 在竖直方向做自由

落体运动, 有  $v_{\text{竖直}} = \sqrt{2gh}$ ,  $v = \sqrt{v_0^2 + v_{\text{竖直}}^2}$ , 得  $v = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ 。

(2) 要使每一滴水在圆盘面上的落点都位于同一条直线上, 在相邻两滴水的下落时间内圆盘转过的角度为  $\theta = n\pi$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )。所以角速度为  $\omega = \frac{\theta}{t} = \frac{n\pi}{t}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ ),  $h = \frac{1}{2}gt^2$ , 故  $\omega = n\pi \sqrt{\frac{g}{2h}}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )。

(3) 第三滴水落在圆盘上的水平位移为

$$x_3 = v_0 \cdot 3t = 3v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

第四滴水落在圆盘上的水平位移为

$$x_4 = v_0 \cdot 4t = 4v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}},$$

当第三滴水与第四滴水在盘面上的落点位于同一直径上圆心的同侧时距离最小, 则

$$\Delta x = x_4 - x_3 = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}。$$

**15** 在本题中, 产品均与传输带保持相对静止, 故产品的速度大小就等于传输带上每一点的速度大小。如果传输带不打滑, 则 A、B 轮轮缘上每一点的速度大小均与传输带运动速度大小相等。1 min 内有 41 个产品通过 A 处, 说明 1 min 内传输带上每点运动的路程为两产品间距的 40 倍。设传输带运动速度大小为  $v$ , 则

$$(1) v = \frac{s}{t} = \frac{40 \times 0.30}{60} \text{ m/s} = 0.2 \text{ m/s}。$$

$$(2) v_p = v_Q = 0.2 \text{ m/s}。$$

A 轮半径上的 M 点与 P 点的角速度相等, 故

$$v_M = \frac{1}{2}v_p = \frac{1}{2} \times 0.2 \text{ m/s} = 0.1 \text{ m/s},$$

$$\omega_p = \omega_M = \frac{v_p}{r_A} = \frac{0.2}{0.2} \text{ rad/s} = 1 \text{ rad/s}。$$

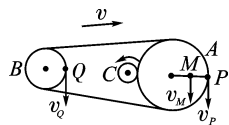
$$\omega_Q = 2\omega_p = 2 \text{ rad/s}。$$

各点速度方向如图所示。

(3) C 轮的转动方向如图所示, 如果两轮间不打滑, 则它们的接触处是相对静止的, 即它们的轮缘的线速度是相等的, 故

$$\omega_C r_C = \omega_A r_A,$$

$$\omega_C = \frac{r_A}{r_C} \cdot \omega_A = \frac{0.2}{0.05} \times 1 \text{ rad/s} = 4 \text{ rad/s}。$$



第 15 题图

**16** (1) 当角速度  $\omega$  很小时, AC 和 BC 与轴的夹角都很小, BC 绳处于松弛状态。当  $\omega$  逐渐增大到 AC 与轴的夹角为  $30^\circ$  时, BC 才会被拉直 (这是一个临界状态), 但 BC 绳中的张力仍然为零。设此时的角速度为  $\omega_1$ , 则

$$F_{T_{AC}} \cos 30^\circ = mg,$$

$$F_{T_{AC}} \sin 30^\circ = m\omega_1^2 L \sin 30^\circ,$$

$$\text{将已知条件代入上式解得 } \omega_1 = \sqrt{\frac{10\sqrt{3}}{3}} \text{ rad/s}。$$

当角速度  $\omega$  继续增大时,  $F_{T_{AC}}$  减小,  $F_{T_{BC}}$  增大。设角速度达到  $\omega_2$  时,  $F_{T_{AC}} = 0$  (这又是一个临界状态, 角速度再增大就会导致 AC 绳处于松弛状态), 则

$$F_{T_{BC}} \cos 45^\circ = mg,$$

$$F_{T_{bc}} \sin 45^\circ = m\omega_2^2 L \sin 30^\circ,$$

将已知条件代入上式解得  $\omega_2 = \sqrt{10} \text{ rad/s}$ 。

所以当  $\omega$  满足  $\sqrt{\frac{10\sqrt{3}}{3}} \text{ rad/s} \leq \omega \leq \sqrt{10} \text{ rad/s}$  时, AC、BC 两绳始终张紧。

(2) 本题所给条件为  $\omega = 3 \text{ rad/s}$ , 此时两绳拉力  $F_{T_{ac}}$ 、 $F_{T_{bc}}$  都不为零。

$$F_{T_{ac}} \sin 30^\circ + F_{T_{bc}} \sin 45^\circ = m\omega^2 L \sin 30^\circ,$$

$$F_{T_{ac}} \cos 30^\circ + F_{T_{bc}} \cos 45^\circ = mg,$$

$$\text{代入数据解得 } F_{T_{ac}} = \frac{\sqrt{3}+1}{10} \text{ N} = 0.27 \text{ N},$$

$$F_{T_{bc}} = \frac{17\sqrt{2}-\sqrt{6}}{20} \text{ N} = 1.08 \text{ N}.$$

### 第3章

#### 动能的变化与机械功

##### 3.1 探究动能变化跟做功的关系

#### 题组A 学考通关测试

正文 P76

1 A、B、C [解析] 动能是由于物体运动而具有的能量, 所以运动的物体都有动能, A 项正确; 由于  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , 而  $v$  与参考系的选取有关, 所以 B 项正确; 由于速度为矢量, 当速度大小不变, 其方向变化时, 动能并不改变, C 项正确; 做匀速圆周运动的物体动能不变, 但并不是处于平衡状态, D 项错误。

2 D [解析] 运用动能定理有  $\Delta E = W_{\text{合}} = -6 \text{ J} + 8 \text{ J} = 2 \text{ J}$ , 所以该物体的动能增加了 2 J, D 项正确。

3 A [解析] 质量不变, 速度增大到原来的 2 倍, 根据  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , 可知  $E'_k = \frac{1}{2}m(2v)^2 = 4E_k$ , A 项正确; 速度不变, 质量增大到原来的 2 倍, 根据  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , 可知  $E'_k = \frac{1}{2} \times 2mv^2 = 2E_k$ , B 项错误; 质量减半, 速度增大到原来的 4 倍, 根据  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , 可知  $E'_k = \frac{1}{2} \times \frac{m}{2} \times (4v)^2 = 8E_k$ , C 项错误; 速度减半, 质量增大到原来的 4 倍, 根据  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , 可知  $E'_k = \frac{1}{2} \times 4m \left(\frac{1}{2}v\right)^2 = E_k$ , D 项错误。

4 D [解析] 根据动能定理  $-Fs = E_{k2} - E_{k1}$ , 很容易得出  $s = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{F}$ , 所以 D 项正确。

5 (1) C (2) 0.653 [解析] (1) 平衡摩擦力时不必将钩码通过细线挂在小车上, 选项 A 错误; 为减小系统误差, 应使钩码质量远小于小车质量, 选项 B 错误; 实验时, 应使小车靠近打点计时器由静止释放, 选项 C 正确。

(2) 由纸带可知, B 点的瞬时速度为  $v_B = \bar{v}_{AC} = \frac{s_{AC}}{2T} =$

$$\frac{s_{OC} - s_{OA}}{2 \times 0.1} = \frac{(18.59 - 5.53) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} = 0.653 \text{ m/s}.$$

6 (1) 平衡摩擦力 (2) 后面部分 (3)  $W$  与  $v$  的二次方成正比 [解析] (1) 将木板放有打点计时器的一端垫高, 小车不连橡皮筋, 尾部固定一纸带, 轻推小车使小车沿木板

向下运动, 如果纸带上打出的点间距是均匀的, 说明纸带的运动是匀速直线运动, 小车重力沿斜面方向的分力刚好平衡了小车所受的摩擦力。

(2) 橡皮筋拉力对小车做功结束后, 打出来的点才能反映物体的速度。所以应使用纸带的后面部分。

(3)  $W-v^2$  图线是一条过坐标原点的直线。根据数学知识可确定  $W$  与  $v$  的二次方成正比。

#### 题组B 高考通关测试

正文 P77

1 A [解析] 根据动能定理, 合外力所做的功等于物体动能的变化量, 在整个过程中, 物体动能的变化量为 0, 所以, 在这段时间里水平力做的功为 0。

2 B、C、D [解析] 乙做类平抛运动, 在  $F$  方向的运动情况与甲完全相同, 所以甲、乙在  $F$  方向的位移相同, 而乙在  $v$  方向也产生位移, 故 A 项错误; 合力  $F$  对两物体所做的功都等于力  $F$  与在  $F$  方向的位移的乘积, 所以 B 项正确; 由于两物体的加速度相同, 所以速度变化率也相同, C 项正确; 由动能定理可以判断, 动能变化量与恒力  $F$  做功相同, 所以两物体的动能变化量相同, D 项正确。

3 C [解析] 人对石块做的功为  $W_1$ , 石块从抛出到落地过程中重力对它做的功为  $W_2$ , 所以外力的总功是  $W_1 + W_2$ , 由动能定理可知, 石块落地时的动能为  $E_k = W_1 + W_2$ , C 项正确。

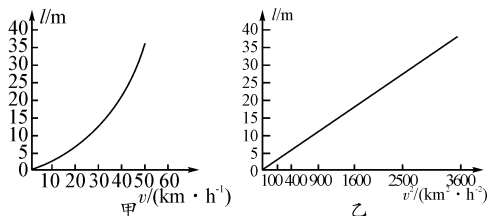
4 纸带上的点间隔均匀 小车的质量  $M$ 、沙及沙桶的质量  $m$

$$mgx = \frac{1}{2}M\left(\frac{x_2}{2T}\right)^2 - \frac{1}{2}M\left(\frac{x_1}{2T}\right)^2$$

5 (1) 不需要 (2) 不合适; 由曲线不能直接确定函数关系, 应进一步绘制  $L-v^2$  图像 (3) 不会

[解析] (1) 在本实验中, 合外力大小不变, 合外力所做的功仅受物体释放位置的影响, 不需要测木板与水平面的夹角。(2) 图线是曲线, 不能通过  $L-v$  图线确切反映出  $W-v^2$  的规律。(3) 不会, 合外力所做的功已经包含了滑动摩擦力所做的功。

6 (1) 分别建立  $l-v$  平面直角坐标系和  $l-v^2$  平面直角坐标系, 根据数据分别得图像如第 6 题图甲、乙所示。



第 6 题图

由图乙可知, 制动距离与制动时速率的二次方成正比, 即  $l \propto v^2$ 。

(2) 由表中数据知,  $\frac{l'}{l} = \frac{v'^2}{v^2}$ , 即  $\frac{l'}{25} = \frac{60^2}{50^2}$ , 解得  $l' = 36$ 。

#### 3.2 研究功与功率

#### 题组A 学考通关测试

正文 P88

1 A [解析] 加速过程中, 水平方向的加速度由静摩擦力  $f$  提供, 所以  $f \neq 0$ ,  $f$ 、 $N$  做正功,  $G$  做负功, 选项 A 正确, B、C 错误; 匀速过程中, 水平方向不受静摩擦力作用,  $f = 0$ ,  $N$



做正功,G做负功,选项D错误。

- 2 B、C [解析] 力  $F$  做功  $W_F = F s \cos \alpha$ , 两图中  $F$  做功相同, 选项A错误, 选项B正确; 由于摩擦力  $f_{\text{甲}} = \mu(mg - F \sin \alpha)$ ,  $f_{\text{乙}} = \mu(mg + F \sin \alpha)$ , 所以克服摩擦力做功  $W_{\text{甲}} = f_{\text{甲}} s = \mu(mg - F \sin \alpha) s$ ,  $W_{\text{乙}} = f_{\text{乙}} s = \mu(mg + F \sin \alpha) s$ , 选项C正确, 选项D错误。

- 3 B [解析] 小孩所做的功, 在第一种情况下是对自身和所站的船做功, 在第二种情况下是对自身和所站的船及另外一船做功, 设两种情况下用同样大小的力  $F$  拉绳, 小孩所站的船移动的位移相同, 均为  $s_1$ , 另一船移动的位移为  $s_2$ , 因此第一种情况下小孩做的功为  $W_1 = F s_1$ , 第二种情况下小孩做的功  $W_2 = F s_1 + F s_2$ , 则  $W_1 < W_2$ , 由于时间相同, 则  $P_1 < P_2$ , 选项B正确。

- 4 D [解析] 将该斜抛运动分解为水平方向和竖直方向, 苹果在水平方向做匀速直线运动, 通过第3个窗户的水平位移最大, 通过第1个窗户的水平位移最小, 故通过第1个窗户所用的时间最短, 通过第3个窗户所用的时间最长, A项错误。在运动过程中速度越来越小, 通过第3个窗户的平均速度最小, B项错误。窗户高度相同, 苹果通过每个窗户重力所做的功相同, C项错误。通过第3个窗户的时间最长, 故重力的平均功率最小, D项正确。

- 5 A、D [解析] 由题图  $v-t$  图像可知, 在  $0 \sim t_1$  时间内, 物体的速度增大, 根据动能定理可知, 外力对物体做正功, A项正确; 在  $0 \sim t_1$  时间内, 因为物体的加速度减小, 故所受的外力减小, 由题图可知  $t_1$  时刻外力为零, 故功率为零, 因此外力的功率不是逐渐增大, B项错误; 在  $t_2$  时刻, 由于物体的速度为零, 故此时外力的功率最小, 且为零, C项错误; 在  $t_1 \sim t_3$  时间内, 因为物体的动能不变, 故外力做的总功为零, D项正确。

- 6 A [解析] 设轻绳上张力为  $F_T$ , 对整体有  $F + 2mg \sin \theta = 2F_T$  ①。对滑块有  $F + mg \sin \theta = F_T + \mu mg \cos \theta$  ②。由于滑块和木板速度大小相等, 则二者位移大小相等, 均为  $\frac{L}{2}$ , 拉力  $F$  做功为  $W = F \cdot \frac{L}{2}$  ③。由①②③式得  $W = \mu mg L \cos \theta$ , A项正确。

- 7 方法一:  $0 \sim 2$  m内, 力  $F$  做正功  $W_1 = F_1 s_1 = 10 \times 2$  J = 20 J;  $2 \sim 5$  m内, 力  $F$  做负功  $W_2 = F_2 s_2 = -20 \times 3$  J = -60 J;  $5 \sim 6$  m内, 力  $F$  做正功  $W_3 = F_3 s_3 = 20 \times 1$  J = 20 J。故力  $F$  所做的总功  $W = W_1 + W_2 + W_3 = -20$  J。

方法二: 由图像与坐标轴围成图形的面积  $S = S_1 + S_2 + S_3 = [2 \times 10 + (-20 \times 3) + (1 \times 20)]$  N·m = -20 N·m, 所以力  $F$  做的总功  $W = -20$  J。

- 8 (1) 由表可得到  $P_{\text{出}} = 180$  W, 车速  $v = 18$  km/h = 5 m/s, 由  $P_{\text{出}} = Fv$ , 匀速直线运动时有  $F = f$ , 其中  $f = k(M + m)g$ , 解得  $k = 0.03$ 。

(2) 当车速  $v' = 3$  m/s 时, 牵引力  $F' = \frac{P_{\text{出}}}{v'}$ , 由牛顿第二定律知  $F' - k(M + m)g = (m + M)a$ , 解得  $a = 0.2$  m/s<sup>2</sup>。

### 题组B 高考通关测试

正文 P89

- 1 C [解析] 由于在三种情况中斜面均光滑, 且物体上滑的

加速度也相同, 所以各拉力沿斜面方向的分力也一定相同, 即  $F_1 = F_2 \cos \theta = F_3 \cos \theta$ 。因此  $P_1 = P_2 = P_3$ , 故选项C正确。

- 2 C [解析] 汽车匀速运动, 牵引力等于阻力, 此时  $P = Fv_0 = fv_0$ , 若在  $t = 0$  时刻将汽车发动机的输出功率调为另一个恒定值, 且这个值比  $P$  小, 则瞬间牵引力减小, 牵引力

小于阻力, 根据牛顿第二定律可知  $a = \frac{f - F}{m} = \frac{f - \frac{P}{v}}{m}$ , 则加

速度反向减小, 故汽车做加速度减小的减速运动, ③正确; 若在  $t = 0$  时刻将汽车发动机的输出功率调为另一个恒定值, 且这个值比  $P$  大, 则根据  $P = Fv$  可知瞬间牵引力增大, 随着速度增大, 牵引力减小, 根据牛顿第二定律可知  $a =$

$\frac{F - f}{m} = \frac{\frac{P}{v} - f}{m}$ , 则加速度减小, 故汽车做加速度减小的加速运动, ②正确。

- 3 A、C、D [解析] 物体滑到轨道底端刚滑上传送带时, 其速度和传送带的速度之间会有多种可能的关系, 而在不同情形下传送带做的功是不同的, 因为它们之间的摩擦力不同, 所以本题要分情况讨论。注意题中水平传送带足够长, 意味着最终物体的速度总可以达到与传送带的速度相等。设传送带速度大小为  $v_1$ , 物体刚滑上传送带时的速度大小为  $v_2$ 。

(1) 当  $v_1 = v_2$  时, 物体随传送带一起匀速运动, 则传送带与物体之间不存在摩擦力, 传送带对物体始终不做功。

(2) 当  $v_1 < v_2$  时, 物体相对传送带向右运动, 物体受到的滑动摩擦力方向向左, 所以物体滑上传送带后做匀减速运动, 直到速度减小到  $v_1$  为止, 此后物体不受摩擦力, 做匀速直线运动, 所以传送带对物体先做负功后不做功。

(3) 当  $v_1 > v_2$  时, 物体滑上传送带后相对于传送带向左运动, 物体受到的滑动摩擦力方向向右, 则物体做匀加速运动, 直到速度增大到  $v_1$  为止, 此后物体不受摩擦力, 做匀速直线运动, 所以传送带对物体先做正功后不做功。故正确选项为 A、C、D。

- 4 D [解析] 由  $P = Fv$  和  $F - F_f = ma$  得出  $a = \frac{P}{m} \cdot \frac{1}{v} -$

$\frac{F_f}{m}$ , 由图像可求出图线斜率  $k$ , 由  $k = \frac{P}{m}$ , 可求出汽车的功

率  $P$ , 由  $\frac{1}{v} = 0$  时,  $a = -2$  m/s<sup>2</sup>, 得  $-2 = -\frac{F_f}{m}$ , 可求出汽车

所受阻力  $F_f$ , 再由  $P = F_f \cdot v_m$ , 可求出汽车运动的最大速度  $v_m$ , 汽车做变加速直线运动, 无法求出汽车运动到最大速度的时间, 故选 D。

- 5 B、C [解析] 由题图  $v-t$  图像可知  $a = 0.5$  m/s<sup>2</sup>, 由牛顿第二定律  $2F - mg = ma$ , 得  $F = \frac{21}{2}$  N。4 s 末物体的位移为

$x = \frac{0+2}{2} \times 4$  m = 4 m, 故力  $F$  做的功为  $W = F \cdot 2x = 84$  J。

因为绳子自由端运动速度是物体速度的2倍, 所以4 s末力  $F$  的功率为  $P = F \cdot 2v = 42$  W, 4 s内力  $F$  做功的平均功率为  $\bar{P} = F \bar{v} = \frac{21}{2} \times \frac{4}{2}$  W = 21 W, 故 B、C 两项正确。

- 6 -  $F(s+d)$   $Fs$  [解析] 对子弹进行受力分析可知, 子弹



受到木块对它的作用力  $F$  是阻力,与子弹发生的位移方向相反,子弹发生的位移大小是  $s+d$ ,方向与木块(子弹)运动方向相同。对子弹而言,力与位移夹角  $\theta=180^\circ$ ,所以木块对子弹的摩擦力做的功是  $W=F(s+d)\cos 180^\circ=-F(s+d)$ 。由牛顿第三定律知,子弹对木块的反作用力大小也是  $F$ ,其方向与木块发生的位移  $s$  方向相同,故子弹对木块的摩擦力做的功是  $W=Fscos 0^\circ=F_s$ 。

7 (1) 从  $v-t$  图像得  $2\text{ s} \sim 6\text{ s}$  时间内物体的加速度

$$a = \frac{3}{4} \text{ m/s}^2.$$

$0 \sim 2\text{ s}$  时间内物体处于静止状态,则  $0 \sim 6\text{ s}$  时间内物体的位移  $s_1 = \frac{1}{2}at_2^2 = \frac{1}{2} \times \frac{3}{4} \times 4^2 \text{ m} = 6 \text{ m}$ 。

(2) 从题图中得出: $0 \sim 2\text{ s}$  时间内,摩擦力为静摩擦力,物体位移为零,摩擦力不做功; $6\text{ s} \sim 8\text{ s}$  时间内物体做匀速运动,受力平衡,滑动摩擦力  $f = F = 2\text{ N}$ ;由  $v-t$  图像可知在  $0 \sim 10\text{ s}$  时间内物体的位移为  $s = \frac{1}{2} \times (8+2) \times 3 \text{ m} = 15 \text{ m}$ 。物体克服摩擦力所做的功为  $W = fs = 2 \times 15 \text{ J} = 30 \text{ J}$ 。

8 (1) 由题意可知,当汽车达到最大速度时,  $F_{\text{牵}} = F_f$ , 则

$$P_{\text{额}} = F_f v_{\text{max}},$$

$$\text{解得 } F_f = \frac{P_{\text{额}}}{v_{\text{max}}} = \frac{80 \times 10^3}{20} \text{ N} = 4 \times 10^3 \text{ N}.$$

(2) 在匀加速阶段,由牛顿第二定律得

$$F - F_f = ma,$$

$$\text{则 } F = F_f + ma = 4 \times 10^3 \text{ N} + 2 \times 10^3 \times 2 \text{ N} = 8 \times 10^3 \text{ N},$$

当汽车达到额定功率时  $P_{\text{额}} = Fv$ ,

$$\text{解得 } v = \frac{P_{\text{额}}}{F} = \frac{80 \times 10^3}{8 \times 10^3} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s},$$

匀加速运动的时间为  $t = \frac{v}{a} = \frac{10}{2} \text{ s} = 5 \text{ s}$ 。

(3) 汽车匀加速运动的时间为  $5\text{ s}$ ,  $3\text{ s}$  末汽车处于匀加速阶段,则  $t_1 = 3\text{ s}$  时,  $v_1 = at_1 = 2 \times 3 \text{ m/s} = 6 \text{ m/s}$ ,

$$P = Fv_1 = 8 \times 10^3 \times 6 \text{ W} = 48 \text{ kW}.$$

(4)  $16 \text{ m/s} > 10 \text{ m/s}$ ,此时汽车发动机的功率已为额定功率,牵引力  $F' = \frac{P_{\text{额}}}{v'} = \frac{80 \ 000}{16} \text{ N} = 5 \times 10^3 \text{ N}$ ,

所以汽车的加速度为

$$a' = \frac{F' - F_f}{m} = \frac{5 \times 10^3 - 4 \times 10^3}{2 \times 10^3} \text{ m/s}^2 = 0.5 \text{ m/s}^2.$$

### 3.3 动能定理的应用

题组 A 学考通关测试  $\longrightarrow$  正文 P95

1 A [解析] 铅球出手过程,重力做功为  $-mgL\sin \theta$ ,由动能定理得  $W - mgL\sin \theta = \frac{1}{2}mv_0^2$ ,即  $W = \frac{1}{2}m(gL + v_0^2)$ 。

2 A [解析] 以滑块为研究对象,选取运动  $2\text{ min}$  的过程进行研究。设滑块受到的力所做的功为  $W$ ,初动能为  $\frac{1}{2}mv_1^2$ ,末动能为  $\frac{1}{2}mv_2^2$ ,则根据动能定理得

$$W = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2,$$

代入数据得  $W=0$ 。

3 B、C [解析] 对汽车全过程应用动能定理:  $W_1 - W_2 = 0$ ,所以  $W_1 = W_2$ ;由题图  $v-t$  图像可知牵引力与阻力作用距离之比为  $1:4$ ,由  $Fs_1 - fs_2 = 0$  知,  $F:f=4:1$ 。

4 C、D [解析] 电梯上升的过程中,对物体做功的有重力  $mg$ 、支持力  $N$ ,这两个力做的总功才等于物体动能的增量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ ,故 A、B 均错误,C 正确;对电梯,无论有几个力对它做功,由动能定理可知,其合力做的功一定等于其动能的增量,故 D 正确。

5 D [解析] 由  $\mu mgs = mgh$ ,得  $s = 3\text{ m} = 6d$ ,物块恰好停在 B 点。

6 (1) 设物体所受阻力为  $f$ ,由动能定理知:

$$\text{上升过程: } -(mg+f)h = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2,$$

$$\text{下降过程: } (mg-f)h = \frac{1}{2}m\left(\frac{3}{4}v_0\right)^2 - 0,$$

$$\text{两式相比得: } \frac{mg+f}{mg-f} = \left(\frac{4}{3}\right)^2, \text{ 故 } f = \frac{7}{25}mg.$$

(2) 设物体从抛出到停止运动的总路程为  $l$ ,对全程由动能定理知:  $-fl = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ,所以  $l = \frac{25v_0^2}{14g}$ 。

题组 B 高考通关测试  $\longrightarrow$  正文 P96

1 C [解析] 根据动能定理  $-F_f l = E_{k2} - E_{k1}$  可得  $F_f = \frac{E_{k1} - E_{k2}}{l} = \frac{50 - 0}{20} \text{ N} = 2.5 \text{ N}$ ,所以  $\mu = \frac{F_f}{mg} = 0.25$ ,A、B 选项错误;根据牛顿第二定律可得  $a = \frac{F_f}{m} = 2.5 \text{ m/s}^2$ ,由运动学公式得物体滑行的总时间  $t = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{2 \times 20}{2.5}} \text{ s} = 4 \text{ s}$ ,C 选项正确,D 选项错误。

2 A、B [解析] 从第 1 秒末到第 3 秒末物体做匀速直线运动,合外力为零,合外力做功为零,故 A 错误;从第 3 秒末到第 5 秒末物体的动能变化量是负值,大小等于第 1 秒内动能的变化量,则合外力做功为  $-W$ ,故 B 错误;从第 5 秒末到第 7 秒末物体的动能的变化量与第 1 秒内动能的变化量相同,根据动能定理可知合外力做功相同,即为  $W$ ,故 C 正确;从第 3 秒末到第 4 秒末物体的动能的变化量大小等于第 1 秒内动能的变化量的  $\frac{3}{4}$ ,则合外力做功为  $-0.75W$ ,故 D 正确。

3 以小球为研究对象,在斜面上和水平面上它都受到重力、支持力、摩擦力三个力作用,在整个运动过程中支持力始终不做功,重力做正功,摩擦力做负功,由动能定理可知从 A 点开始下滑到 C 点静止的过程中有  $W_{\text{重}} - W_{\text{阻}} = 0$ ,所以  $W_{\text{阻}} = W_{\text{重}} = mgh$ 。当它沿原路返回时,摩擦力所做负功与滑下过程完全相同,而此时重力也做负功,由动能定理得  $-W_{\text{重}} - W_{\text{阻}} = 0 - \frac{1}{2}mv_C^2$ ,所以  $\frac{1}{2}mv_C^2 = 2W_{\text{重}} = 2mgh$ ,解得  $v_C = \sqrt{4gh} = 2\sqrt{gh}$ 。要使小球从 C 点沿原路返回到 A 点时速度为零,必须给

小球以  $2\sqrt{gh}$  的初速度。

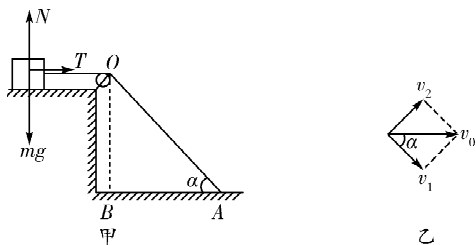
- 4 (1) 小船从 A 点运动到 B 点克服阻力做功  $W_f = fd$ 。  
 (2) 小船从 A 点运动到 B 点,电动机牵引缆绳对小船做功  $W = Pt_1$ ,  
 由动能定理有

$$W - W_f = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2,$$

$$\text{联立解得 } v_1 = \sqrt{v_0^2 + \frac{2}{m}(Pt_1 - fd)}.$$

- 5 人对物体做的功等于物体动能的增量,只要求出物体动能的增量即可。取平台上的物体为研究对象,物体受到重力、平台对其的支持力、绳子的拉力,如图甲所示,其中重力和平台的支持力都不对物体做功,绳子拉力对物体做正功。

将人在 A 点的速度作如图乙所示的正交分解,得  $v_1 = v_0 \cos \alpha$ ,可知物体做变速运动,故物体所受绳子的拉力为一变力。在 A 点时,由几何关系知,  $\alpha = 37^\circ$ ,故  $v_1 = 4 \text{ m/s}$ 。



第 5 题图

由动能定理得  $W_A = E_{k2} - E_{k1} = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0 = 48 \text{ J}$ 。即此过程中人对物体所做的功为 48 J。

### 第 3 章 单元复习方案

测评·高考模拟卷 正文 P100

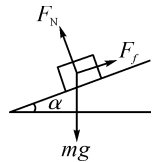
- 1 D [解析] 当飞机以速度  $v$  水平匀速飞行时,受到牵引力  $F$  和阻力  $f$  作用,两者相等,即  $F = f = kv^2$ ,则有  $P = Fv = kv^3$ 。当飞机以速度  $3v$  水平匀速飞行时,  $P' = k(3v)^3 = 27kv^3 = 27P$ ,故选项 D 正确。
- 2 D [解析] 设阻力  $f = kv^2$ ,雨滴匀速下落,则  $f = mg$ 。由  $kv^2 = mg$  得  $v = \sqrt{\frac{mg}{k}}$ ,而  $P = mgv = \sqrt{\frac{m^3 g^3}{k}}$ 。所以两雨滴匀速运动时重力的功率之比  $P_1 : P_2 = \sqrt{m_1^3} : \sqrt{m_2^3}$ ,故选项 D 正确。
- 3 A [解析] 小球运动过程中加速度不变, B 错误;速度均匀变化,先减小后反向增大, A 正确;位移和动能与时间不是线性关系, C、D 错误。
- 4 D [解析] 由于两物块质量均为  $m$ ,若 A、B 滑行的初速度相等则初动能相等,由动能定理得  $-W_f = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$ ,即滑动摩擦力做的功相等, A、B 错误;若 A、B 滑行的最大位移相等,由题意可知  $v_{02}^2 = 2v_{01}^2$ , B 的初动能是 A 的初动能的 2 倍,滑动摩擦力对 B 做的功是对 A 做功的 2 倍, C 错误, D 正确。
- 5 B [解析] 由题图可知变力  $F$  做的正功  $W_1 = 10 \times 4 \text{ J} +$

$10 \times 4 \times \frac{1}{2} \text{ J} = 60 \text{ J}$ ,变力  $F$  做的负功大小  $W_2 = 10 \times 4 \times \frac{1}{2} \text{ J} = 20 \text{ J}$ ,由动能定理得  $W_1 - W_2 = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ ,代入数值解得  $v_2 = 3 \text{ m/s}$ ,故 B 正确。

- 6 D [解析] 汽车在  $0 \sim t_1$  时间内,牵引力恒定,速度均匀增加,由  $P = Fv$  知其功率也增加, A 错误;  $t_1 \sim t_2$  时间内,根据动能定理知  $W_F - W_f = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$ , B 错误;由  $t_1 \sim t_2$  时间内不是匀变速直线运动,故  $\bar{v} \neq \frac{1}{2}(v_1 + v_2)$ , C 错误;全过程中,  $t_1$  时刻牵引力最大,功率达到额定功率,也最大,之后,功率不变,牵引力减小,直至  $F = f$ ,此后汽车匀速运动, D 正确。

- 7 B、D [解析] A 物体所受的合外力等于 B 对 A 的摩擦力,对物体 A 应用动能定理,则有 B 对 A 的摩擦力所做的功等于 A 的动能的增量, B 正确; A 对 B 的摩擦力与 B 对 A 的摩擦力是一对作用力与反作用力,大小相等,方向相反,但是由于 A 在 B 上滑动, A、B 相对地的位移不相等,故二者做功不相等, C 错误;对长木板 B 应用动能定理,  $W_F - W_f = \Delta E_{kB}$ ,即  $W_F = \Delta E_{kB} + W_f$  就是外力  $F$  对 B 做的功,等于 B 的动能增量与 B 克服摩擦力所做的功之和, D 正确;由前述讨论知 B 克服摩擦力所做的功与 A 的动能增量(等于 B 对 A 的摩擦力所做的功)不相等,故 A 错误。

- 8 B、C [解析] 对人进行受力分析如图所示,根据匀变速直线运动的规律有  $(2v_0)^2 - 0 = 2aL$ ,  $v_1^2 - v_0^2 = 2aL$ ,可解得  $v_1 = \sqrt{5}v_0$ ,所以选项 A 错误, B 正确;根据动能定理有  $mgL \sin \alpha - F_f L = \frac{1}{2}m(2v_0)^2$ ,可解



第 8 题图

得  $F_f = mgs \sin \alpha - \frac{2mv_0^2}{L}$ ,选项 C 正确;重力功率的最大值为  $P_m = 2mgv_0 \sin \alpha$ ,选项 D 错误。

- 9 A、D [解析] 由  $P = Fv$  可判断,开始时汽车做匀速运动,则  $F_0 = f, P = F_0 v_0, v_0 = \frac{P}{f}$ 。当汽车功率减小一半,即  $P' = \frac{P}{2}$  时,汽车开始做变减速运动,其牵引力为  $F_1 = \frac{P'}{v} = \frac{P}{2v}$ ,加速度大小为  $a = \frac{(f - F_1)}{m} = \frac{f}{m} - \frac{P}{2mv}$ ,由此可见,随着汽车速度  $v$  的减小,其加速度  $a$  也减小,最终以  $v = \frac{v_0}{2}$  做匀速运动,故 A 项正确;同理,可判断出汽车的牵引力由  $F_1 = \frac{F_0}{2}$  最终增加到  $F_0$ , D 项正确。

- 10 A、B、C [解析] 根据题意可知每个箱子的质量为 5 kg,再根据题图可得,当吊起 1 个箱子时,上升的最大速度约为  $v_1 = \frac{12.5}{50} \text{ m/s}$ ,当吊起 2 个箱子时,上升的最大速度约为  $v_2 = \frac{21}{100} \text{ m/s}$ ,当吊起 3 个箱子时,机械提供的功率最大,此时上升的最大速度约为  $v_3 = \frac{25}{150} \text{ m/s}$ ,随着功率的减小及重物的增加,货箱上升的速度越来越小,故 C 项正确, D 项错误。因提 3 个货箱时机械的功率最大,由  $Pt = W$  可知以

最大功率提升货箱用的时间最少,是12 min,故A、B正确。

**11** (1) 0.80 (2) B、C (3)  $\frac{h_2}{h_1} W_0$  **[解析]** (1)  $v_B = \frac{\overline{AC}}{2T} = \frac{(25.01 - 9.01) \times 10^{-2}}{2 \times 0.1} \text{ m/s} = 0.80 \text{ m/s}$ 。

(2) 由题图丙知,位移与速度的关系图像很像抛物线,所以可能  $l \propto v^2$  或  $l \propto v^3$ ,又因为  $W = Fl$ ,  $F$  恒定不变,故  $W \propto v^2$  或  $W \propto v^3$ , B、C 肯定不正确。

(3) 设合力为  $F$ , 由  $W_0 = Fh_1$ , 得  $F = \frac{W_0}{h_1}$ , 所以当钩码下落  $h_2$  时,  $W = Fh_2 = \frac{h_2}{h_1} W_0$ 。

**12** (1) 匀速直线(或匀速) (2) 0.111 5 0.110 5

(3) 0.015 **[解析]** (1) 平衡摩擦力后,重力沿木板方向的分力等于小车所受的摩擦力,将小车释放后,小车将做匀速直线运动。

(2) 已知拉力为 0.2 N, 所以,拉力所做的功  $W = Fx = 0.2 \times 0.557 5 \text{ J} = 0.111 5 \text{ J}$ ,

$F$  点的速度  $v_F = \frac{x_{EG}}{t_{EG}} = \frac{(66.77 - 45.75) \times 0.01 \text{ m}}{2 \times 0.1 \text{ s}} = 1.051 \text{ m/s}$ ,

所以动能  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 0.110 5 \text{ J}$ 。

(3) 对于小车,由牛顿第二定律可知

$$a = \frac{F}{m} = 1 \text{ m/s}^2,$$

对于托盘以及砝码,  $m'g - F = m'a$ ,

$$\text{即 } m' = \frac{F}{g - a} = 0.023 \text{ kg},$$

所以,托盘中砝码的质量为  $(23.0 - 7.7) \times 10^{-3} \text{ kg} = 0.015 \text{ kg}$ 。

**13** 本题是对功和功率问题的综合考查。运动员跳绳时,跳跃

$$\text{一次所用时间 } T = \frac{60}{180} \text{ s} = \frac{1}{3} \text{ s}。$$

$$\text{跳跃一次在空中停留的时间 } t = \frac{3}{5} T = \frac{1}{5} \text{ s}。$$

运动员跳起时可认为是竖直上抛运动,设上升的最大高度

$$\text{为 } h, \text{ 因上升和下落时间相等,故有 } t_{\uparrow} = t_{\downarrow} = \frac{t}{2} = \frac{1}{10} \text{ s}。$$

运动员每次跳跃克服重力做的功为

$$W = mgh = mg \left( \frac{1}{2}gt_{\downarrow}^2 \right) = \frac{1}{2}mg^2t_{\downarrow}^2 = \frac{1}{2} \times 50 \times 10^2 \times \left( \frac{1}{10} \right)^2 \text{ J} = 25 \text{ J},$$

因此,克服重力做功的平均功率为

$$P = \frac{W}{T} = \frac{25}{\frac{1}{3}} \text{ W} = 75 \text{ W}。$$

**14** (1) 分析物体从 A 点到 D 点的过程,由动能定理得

$$-mg(h - H) - \mu mgl = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2。$$

解得  $\mu = 0.5$ 。

(2) 设物体第 5 次经过 B 点时的速度为  $v_2$ ,在此过程中物体在 BC 上滑动了 4 次,由动能定理得

$$mgH - \mu mg \cdot 4l = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2。$$

解得  $v_2 = 4\sqrt{11} \text{ m/s}$ 。方向水平向右。

(3) 设物体运动的全过程在水平面上通过的路程为  $x$ ,由动能定理得  $mgH - \mu mgx = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2$ 。

解得  $x = 21.6 \text{ m}$ ,所以物体在轨道上来回了 10 次后,还运动了 1.6 m,故最终停止的位置离 B 的距离  $d = 2 \text{ m} - 1.6 \text{ m} = 0.4 \text{ m}$ 。

**15** 本题考查了动能定理的综合应用。题目可分为两个过程来处理:第一个过程是以绳所能承受的最大拉力拉物体,使物体匀加速上升。第一个过程结束时,电动机功率刚达到最大功率。第二个过程是电动机一直以最大功率拉物体,拉力逐渐减小,物体变加速上升,当拉力减小至等于重力时,物体开始匀速上升。

在匀加速运动过程中,加速度

$$a = \frac{F_m - mg}{m} = \frac{120 - 8 \times 10}{8} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ m/s}^2。$$

匀加速运动的末速度

$$v_1 = \frac{P_m}{F_m} = \frac{1\ 200}{120} \text{ m/s} = 10 \text{ m/s}。$$

$$\text{匀加速上升时间 } t_1 = \frac{v_1}{a} = \frac{10}{5} \text{ s} = 2 \text{ s}。$$

$$\text{匀加速上升高度 } h_1 = \frac{v_1}{2} t_1 = \frac{10}{2} \times 2 \text{ m} = 10 \text{ m}。$$

在功率恒定的上升过程中,最后匀速运动的速度

$$v_m = \frac{P_m}{F} = \frac{P_m}{mg} = \frac{1\ 200}{8 \times 10} \text{ m/s} = 15 \text{ m/s}。$$

此过程外力对物体做的总功  $W = P_m t_2 - mgh_2$ 。

由动能定理  $W = \Delta E_k$  得

$$P_m t_2 - mgh_2 = \frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mv_1^2。$$

代入数据解得  $t_2 = 5.75 \text{ s}$ 。

所需时间最少应为

$$t = t_1 + t_2 = (2 + 5.75) \text{ s} = 7.75 \text{ s}。$$

**16** (1) A→C 过程:根据动能定理有

$$Fx_1 - mg(x_1 + x_2) \sin 53^\circ - \mu mgx_1 \cos 53^\circ = 0,$$

$$\text{可得 } F = \frac{mg(x_1 + x_2) \sin 53^\circ + \mu mgx_1 \cos 53^\circ}{x_1} = 5.1 \text{ N}。$$

(2) A→B 过程:根据牛顿第二定律有

$$F - mgsin 53^\circ - \mu mgcos 53^\circ = ma_1,$$

解得加速度

$$a_1 = \frac{F - mgsin 53^\circ - \mu mgcos 53^\circ}{m} = 1.6 \text{ m/s}^2。$$

$$\text{由运动学公式 } x_1 = \frac{1}{2}a_1 t_1^2, \text{ 可得时间 } t_1 = \sqrt{\frac{2x_1}{a_1}} = 2.5 \text{ s}。$$

(3) 从圆环开始运动到最终静止在粗糙杆上通过的总路程为  $L$ ,总路程  $L = \frac{Fx_1}{\mu mg \cos 53^\circ} = 85 \text{ m}$ 。

## 第 4 章

### 能量守恒与可持续发展

#### 4.1 势能的变化与机械功

#### 题组 A 学考通关测试

正文 P111

**1** A、B **[解析]** 重力势能是物体与地球共有的,同一物体的重力势能的大小与零势能参考平面的选择有关。重力势

能的变化,仅与物体位置高度的变化有关,而与路径无关,与零势能参考平面的选择无关。

**2 C** [解析] 本题考查了对重力势能的理解。由于铁球和木球的密度不同,所以质量相等的铁球和木球比较,木球的体积较大,放在同一水平地面上时,木球的重心高,因此木球的重力势能大于铁球的重力势能,C项正确。

**3 A** [解析] 在小明将蹦蹦杆中的弹簧向下压缩的过程中,弹力做负功,弹簧的弹性势能增大;而重力做正功,重力势能减小,所以A正确。

**4 B、D** [解析] 木板长度  $L$  不变,随着  $\theta$  增大,  $W_2 = E_p = mgL\sin\theta$  增加,题中不清楚  $P$  的运动状态,  $W_1$  的变化不能确定,A、C 均错误,B、D 均正确。

**5** (1) 开始时弹簧处于压缩状态,设压缩量为  $x_1$ ,由平衡条件得  $kx_1 = mg$ ,

$B$  离开地面时,弹簧处于伸长状态,设伸长量为  $x_2$ ,则

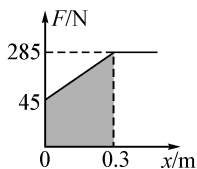
$$kx_2 = mg,$$

$$\text{由题意 } x_1 + x_2 = 0.3 \text{ m},$$

$$\text{联立以上各式得 } m = 12 \text{ kg},$$

$$x_1 = x_2 = 0.15 \text{ m}.$$

(2) 如图所示阴影面积表示变力  $F$  所做的功,



第5题图

$$W_F = \frac{1}{2}(F_1 + F_2)x = \frac{1}{2} \times (45 + 285) \times 0.3 \text{ J} = 49.5 \text{ J}.$$

**6** 求铁链的重力势能可以把铁链分成  $AB$  和  $BC$  两部分,分别求出两部分的重力势能,然后求出整条铁链的重力势能,当整条铁链离开斜面时的重力势能较易求解。

选取斜面底端为参考平面,则原来铁链的重力势能等于  $AB$  和  $BC$  两部分重力势能之和

$$E_{p1} = \frac{1}{2}mg \cdot \frac{l}{4} \sin 30^\circ - \frac{1}{2}mg \cdot \frac{l}{4} = -\frac{1}{16}mgl.$$

当整条铁链滑落时的重力势能  $E_{p2} = -mg \cdot \frac{l}{2}$ 。

所以重力势能的变化量

$$\Delta E_p = E_{p2} - E_{p1} = -\frac{7}{16}mgl,$$

即重力势能减少了  $\frac{7}{16}mgl$ 。

### 题组B 高考通关测试

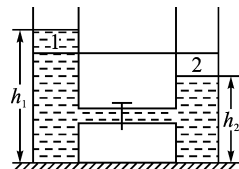
**1 C、D** [解析] 重力势能是由地球和地球上物体的相对位置决定的,也就是说重力势能不仅与重物有关,还与地球以及它们之间的相对位置的高度差有关,A、B 错误,C 正确;重力势能具有适用范围,所以D正确。重力势能是针对一个系统而言的,其大小的判断要根据参考平面的选取而定,可见,灵活掌握重力势能的几个性质是解题的关键。

**2 A、B、C** [解析] 竖直上抛物体仅受重力作用,其加速度恒定,因规定竖直向下为正方向,故D项错误,A项正确;由运动学公式可知其位移与时间是二次函数关系,故B、C

两项正确。

**3 C** [解析] 乘客沿  $cba$  上升过程中重力做负功、重力势能增加,沿  $adc$  下降过程中重力做正功、重力势能减少,A、B 正确;乘客在  $a$ 、 $c$  点的重力势能分别为  $mgR$  和  $-mgR$ ,C 错误;乘客从  $c$  转到  $b$  的过程中,重力沿圆周切向的分力  $G_1$  一直增加,而速度  $v$  大小不变,乘客克服重力做功的瞬时功率  $G_1v$  一直增大,D 正确。

**4 B** [解析] 以两桶内的全部液体为研究对象,先求状态变化前后的重力势能(关键是求出液体重心的高度),再通过比较,求出重力势能的减少量,最后求重力所做的功。本题还有另外一种解法,以部分液体为研究对象,如图所示,打开阀门当两桶液面相同时,相当于将图中左侧1中部分的液体移至图中右侧2的位置。



第4题图

这部分液体的质量为  $\Delta m = \frac{\rho S(h_1 - h_2)}{2}$ 。其重心下降了  $\Delta h =$

$$\frac{h_1 - h_2}{2}。故重力势能减少了  $\Delta mg \cdot \Delta h = \frac{1}{4}\rho g S(h_1 - h_2)^2$ 。重$$

$$\text{力做功 } W_c = \Delta mg \cdot \Delta h = \frac{1}{4}\rho g S(h_1 - h_2)^2。$$

**5 D** [解析] 开始时劲度系数为  $k_1$  的轻弹簧处于压缩状态,压缩量为  $x_1 = \frac{m_1 g}{k_1}$ ,之后处于拉伸状态,拉伸量为  $x_2 =$

$$\frac{m_2 g}{k_1}, \text{ 开始时劲度系数为 } k_2 \text{ 的轻弹簧,处于压缩状态,压缩}$$

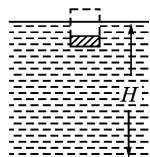
$$\text{量为 } x_3 = \frac{m_1 g + m_2 g}{k_2}, \text{ 则现施力将物块 1 缓慢地竖直上提,}$$

直到下面弹簧的下端刚脱离桌面,在此过程中,物块1的

$$\text{重力势能增加; } m_1 g(x_1 + x_2 + x_3) = m_1(m_1 + m_2)g^2 \left( \frac{1}{k_1} + \right.$$

$$\left. \frac{1}{k_2} \right), \text{ 故 D 正确。}$$

**6** 因水池面积很大,可忽略因木块压入水中所引起的水深变化,木块刚好完全没入水中时,第6题图中原来处于划斜线区域的水被排开,结果等效于使这部分水平铺于水面,这部分水的质量为  $m$ ,其势能的改变量为  $\Delta E_{\text{水}} = mgH - mg\left(H - \frac{3}{4}a\right) = \frac{3}{4}mga$ 。



第6题图

$$\text{木块势能的改变量为}$$

$$\Delta E_{\text{木}} = mg\left(H - \frac{a}{2}\right) - mgH = -\frac{1}{2}mga。$$

根据功能原理,力  $F$  所做的功为

$$W = \Delta E_{\text{水}} + \Delta E_{\text{木}} = \frac{1}{4}mga。$$

## 4.2 研究机械能守恒定律

### 题组A 学考通关测试

**1 C、D** [解析] 题图甲中重力和弹力做功,物体A和弹簧组



成的系统机械能守恒,但物体A机械能不守恒,A错误;题图乙中物体B除受重力外,还受弹力,弹力对B做负功,机械能不守恒,但A、B组成的系统机械能守恒,B错误;题图丙中绳子张力对A做负功,对B做正功,代数和为零,A、B组成的系统机械能守恒,C正确;题图丁中动能和势能相互转化,机械能守恒,D正确。

**2 B、D** **[解析]** 两个球都是从同一个水平面下降,到达最低点时还是在同一个水平面上,根据重力做功的特点可知在整个过程中,A、B两球重力做的功相同,但是,B球在下落的过程中弹簧要对其做负功,根据动能定理得,B球在最低点的速度要比A的速度小,动能也要比A的小,故A、C错误,B正确;由于在最低点时B的速度小,根据向心力公式可知,B球需要的向心力小,所以弹簧对B的拉力也要比A的小,故D正确。

**3 D** **[解析]**  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mg^2t^2$ , A项错误,B项错误。由  $E_k + E_p = E$  知,  $E_k = 0$  时,  $E_p$  最大;  $E_p = 0$  时,  $E_k$  最大,且是一条直线,C项错误。  $E_p = mgh$ , D项正确。

**4** 选取初始时OA所在水平面为参考平面,则初始时系统的总机械能为  $E_1 = -mg \frac{r}{2}$ 。

当A球转到最低点时,设其速度为  $v_A$ , 设B球的速度为  $v_B$ , 则A、B组成的系统的总机械能为

$$E_2 = -mgr + \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$$

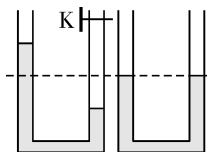
由于A、B两球的角速度相同,设为  $\omega$ , 则

$$v_A = \omega r, v_B = \omega \frac{r}{2}, \text{ 可知 } v_B = \frac{v_A}{2}$$

$$\text{据 } E_1 = E_2, \text{ 可解得 } v_A = \frac{2}{5}\sqrt{5gr}$$

$$\text{即 A 球转到最低点时其速度 } v_A = \frac{2}{5}\sqrt{5gr}$$

**5** 由于不考虑摩擦阻力,故整个水柱的机械能守恒。从初始状态到左右支管水面相平为止,相当于有长  $\frac{L}{2}$  的水柱由左管移到右管,系统的重力势能减少,动能增加。该过程中,整个水柱势能的减少量等效于高  $\frac{L}{2}$  的水柱降低  $\frac{L}{2}$  的重力势能减少量。设  $\frac{L}{2}$  水柱的质量为  $m$ , 则整个水柱的质量为  $8m$ , 由机械能守恒定律有  $mg \frac{L}{2} = \frac{1}{2} \cdot 8mv^2$ , 得  $v = \sqrt{\frac{gL}{8}}$ 。



第5题图

**题组B 高考通关测试** → 正文 P122

**1 A** **[解析]** 运动员投球过程由动能定理得  $W = E_{k1}$ , 球出手

后到篮球命中过程由机械能守恒定律有  $E_{k1} + mgh_1 = mgh_2 + E_{k2}$ ,  $E_{k2} = W + mgh_1 - mgh_2$ , A正确。

**2 A、B** **[解析]** 在AB杆由静止释放到转到竖直位置的过程中,以B球的最低点为零势能点,根据机械能守恒定律有  $mg \cdot 2L + 2mg(2L) = mgL + \frac{1}{2} \times 2m(\omega \cdot 2L)^2 + \frac{1}{2}m(\omega L)^2$ , 解得角速度  $\omega = \sqrt{\frac{10g}{9L}}$ , A项正确;在此过程中,B端小球机械能的增量为  $\Delta E_B = E_{末} - E_{初} = \frac{1}{2} \cdot 2m(\omega \cdot 2L)^2 - 2mg(2L) = \frac{4}{9}mgL$ , B项正确;AB杆转动过程中,杆AC对C球不做功,杆CB对C球做负功,对B球做正功,C项错误;C球机械能不守恒,B、C球系统机械能守恒,D项错误。

**3**  $\frac{(h_3 - h_1)^2}{8gT^2}$  9.5 先释放纸带后接通电源

**[解析]** 从O下落到B过程中,重力势能的减少量  $\Delta E_p = mgh_2$ , B点处的速度  $v_B = \frac{h_3 - h_1}{2T}$ , 动能的增加量  $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{h_3 - h_1}{2T}\right)^2 = \frac{m(h_3 - h_1)^2}{8T^2}$ , 只要证明  $\Delta E_p = \Delta E_k$  即  $mgh_2 = \frac{m(h_3 - h_1)^2}{8T^2}$  即可, 得  $h_2 = \frac{(h_3 - h_1)^2}{8gT^2}$ 。

根据实验原理  $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ , 得  $v^2 = 2gh$ ,  $v^2 - h$  图线的斜率  $k = 2g$ , 由图丙可得  $k = \frac{\Delta v^2}{\Delta h} = 19 \text{ m/s}^2$ ,

$$\text{所以 } g = \frac{k}{2} = 9.5 \text{ m/s}^2$$

由于先释放纸带后接通电源,导致打第一个点的速度不是零,图线未过坐标原点。

**4** 初始时,铁链的重心在定滑轮下方  $\frac{1}{4}L$  处。铁链脱离滑轮瞬间,其重心在定滑轮下方  $\frac{1}{2}L$  处。

设铁链的质量为  $m$ , 并设铁链脱离滑轮瞬间的速度为  $v$ , 根据铁链减少的重力势能  $\Delta E_p$  等于增加的动能  $\Delta E_k$  可得  $-\Delta E_p = mg\left(\frac{L}{2} - \frac{L}{4}\right) = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2$ , 解得  $v = \frac{1}{2}\sqrt{2gL}$ , 即铁链脱离滑轮瞬间,铁链的速度大小为  $\frac{1}{2}\sqrt{2gL}$ 。

**5** (1) 小球离开C点后做平抛运动,落到M点时水平位移为  $R$ , 竖直下落高度为  $R$ , 由运动学公式得

$$R = \frac{1}{2}gt^2,$$

$$\text{运动时间 } t = \sqrt{\frac{2R}{g}},$$

$$\text{从C点射出的速度大小 } v_1 = \frac{R}{t} = \sqrt{\frac{gR}{2}};$$

$$\text{由向心力公式得 } mg - F_N = \frac{mv_1^2}{R},$$

所以管道对它的作用力大小

$$F_N = mg - m \frac{v_1^2}{R} = \frac{1}{2}mg,$$

由牛顿第三定律知,小球对管道的作用力大小  $F'_N = F_N = \frac{1}{2}mg$ ,方向竖直向下。

(2) 小球从最大高度  $H$  处下落时,小球离开  $C$  点后的水平位移为  $4R$ ,打到  $N$  点。设小球从  $C$  点射出的水平速度为  $v_2$ ,由平抛运动规律得  $v_2 = \frac{4R}{t} = \sqrt{8gR}$ ,

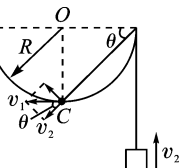
$$v_2 = \frac{4R}{t} = \sqrt{8gR},$$

对小球的整个运动过程,由机械能守恒定律知

$$mg(H-R) = \frac{1}{2}mv_2^2, \text{得 } H = \frac{v_2^2}{2g} + R = 5R,$$

即小球离  $A$  点的最大高度为  $5R$ 。

- 6 小物体  $m_1$  沿轨道下滑时,小物体  $m_2$  将竖直向上运动,由于小物体  $m_1$  做圆周运动,小物体  $m_2$  做直线运动,因此,小物体  $m_1$  与  $m_2$  的速度不同。在小物体  $m_1$  通过圆轨道最低点  $C$  时,其速度  $v_1$  沿水平方向向左,由运动的合成与分解知识可知,小物体  $m_1$  与  $m_2$  在此时运动速度大小的关系为  $v_1 = \frac{v_2}{\cos \theta}$ ,如图



第6题图

所示,其中  $\theta = 45^\circ$ 。在小物体  $m_1$  下降到最低点  $C$  时,小物体  $m_1$  的高度下降了  $R$ ,而它的位移为  $\sqrt{2}R$ ,因此小物体  $m_2$  的高度升高了  $\sqrt{2}R$ 。此过程中,小物体  $m_1$ 、 $m_2$  系统只有重力对其做功,机械能总量不变,即  $\Delta E_p + \Delta E_k = 0$ ,即

$$m_1 g R - \sqrt{2} m_2 g R = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2. \text{解得}$$

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{(m_1 - \sqrt{2}m_2)gR}{2m_1 + m_2}}.$$

(1) 若要小物体  $m_1$  能够沿半圆轨道下滑到最低点  $C$ ,要求小物体的质量满足  $m_1 \geq \sqrt{2}m_2$ 。

(2) 当满足(1)中条件时,小物体  $m_1$  下滑到  $C$  点时的速度

$$\text{为 } v_1 = 2 \sqrt{\frac{(m_1 - \sqrt{2}m_2)gR}{2m_1 + m_2}}.$$

### 4.3 能量的转化与守恒

#### \* 4.4 能源与可持续发展

#### 题组 A 学考通关测试

- 1 C [解析] 永动机是指不消耗或少消耗能量,而可以大量对外做功的装置,历史上曾出现过各式各样的所谓永动机的发明,结果都以失败告终,原因就是违背了能量转化和守恒定律,所以永动机是永远不可能制成的,A项错误。太阳辐射大量的能量,地球只吸收了极小的一部分,就形成了风、云、雨、雪,使万物生长。但辐射到宇宙空间的能量也没有消失,一定是转化成了别的能量,B项错误。马和其他动物,包括人,要运动,必须消耗能量,动物的能量来源是食物中储存的生物能,C项正确。所谓“全自动”手表内部还是有能量转化装置的,一般是一个摆锤,当人戴着手表活动时,使摆锤不停摆动,给游丝弹簧补充能量,

才会维持手表的走动,D项错误。

- 2 D [解析] 根据牛顿第二定律得  $F_{\text{合}} = ma$ ,则合外力做的功  $W_{\text{合}} = mah$ ,知动能增加量为  $mah$ ,A项错误;货物上升  $h$  高度,重力势能的增加量为  $mgh$ ,则机械能的增加量为  $mah + mgh$ ,B、C项错误,D项正确。

- 3 A [解析] 本题直接求解很困难,因为重心不在绳上,但可以通过功和能的关系来处理。在用力向下拉绳索的过程中,外界对绳索做功,消耗了能量,一定转化为绳索的某种能量,而整个过程中绳索只有重力势能发生了变化,其他各种能量均不变,所以绳索的重力势能肯定在增加,故A项正确。

- 4 B、D [解析] 子弹射穿木块的过程中,由于相互间摩擦力的作用使得子弹的动能减少,木块获得动能,同时产生热量,且系统产生的热量在数值上等于系统机械能的损失。A选项未考虑系统增加的内能,C选项未考虑子弹内能的增量,故选项A、C错误,B、D正确。

- 5 C、D [解析] 这是系统能量转化的综合问题,解题要点是分析各个力做的功与能量的转化关系。

除重力以外其他力对物体做的功等于物体机械能的变化,故  $M$  克服摩擦力做的功等于两滑块组成的系统机械能的减少量,拉力对  $m$  做的功等于  $m$  机械能的增加量,选项C、D正确。

- 6 单位时间内转化为风车的动能

$$\Delta E_k = \frac{1}{2} \rho \times \frac{\pi d^2}{4} \times v \times v^2 \times 50\% = \frac{\rho \pi d^2 v^3}{16},$$

$$\text{由能量守恒定律可知 } \frac{\rho \pi d^2 v^3}{16} \times 80\% = mgh,$$

$$\text{解得 } m = \frac{\pi \rho d^2 v^3}{20gh}.$$

#### 题组 B 高考通关测试

正文 P132

- 1 B、D [解析] 根据牛顿第二定律可得  $kx - \mu mg = ma$ ,即  $a = \frac{kx - \mu mg}{m}$ ,当  $kx > \mu mg$  时,随着形变量  $x$  的减小,加速度  $a$  将减小;当  $kx < \mu mg$  时,随着形变量  $x$  的减小,加速度  $a$  将增大,则撤去  $F$  后,物体刚运动时的加速度为  $a = \frac{kx_0}{m} - \mu g$ ,物体先做加速度逐渐减小的加速直线运动,当  $kx = \mu mg$  ( $a = 0$ ) 时,物体的速度最大,然后做加速度增大的减速直线运动,最后当物体与弹簧脱离后做加速度为  $a = \mu g$  的匀减速直线运动,故A项错误,B项正确;物体脱离弹簧后做加速度为  $a = \mu g$  的匀减速直线运动,根据匀变速直线运动的规律可得  $3x_0 = \frac{1}{2} \mu g t^2$ ,解得  $t = \sqrt{\frac{6x_0}{\mu g}}$ ,故C项错误;根据功的计算式可得,物体开始向左端运动到速度最大的过程中滑动摩擦力做功为  $W = -\mu mg x'$ ,又  $x' = x_0 - \frac{\mu mg}{k}$ ,解得  $W = -\mu mg(x_0 - \frac{\mu mg}{k})$ ,即克服滑动摩擦力做功为  $\mu mg(x_0 - \frac{\mu mg}{k})$ ,故D项正确。

- 2 B、C [解析] 由题意可知,物体从静止沿斜面向下运动,

说明重力的下滑分力大于最大静摩擦力,因此物体不可能最终停于A点,故A错误;由于运动过程中存在摩擦力,导致摩擦力做功,所以物体第一次反弹后不可能到达B点,故B正确;根据功能关系可知,从静止到速度为零,重力做功等于克服弹簧弹力做功与物体克服摩擦力做的功之和,故C正确;整个过程中,当物体第一次向下运动到A点下方某点,使得弹力与摩擦力的合力等于重力的下滑分力时,物体速度最大,此时有最大动能 $E_{km}$ ,此后物体继续向下压缩弹簧,当物体速度为0时,弹簧具有最大弹性势能,从最大动能到最大弹性势能过程中,动能和重力势能转化为弹性势能和摩擦力做功,即 $\Delta E_p = E_{km} + mgh - W_f$ ,由于重力做功大于克服摩擦力做功,所以弹性势能的增加量大于最大动能,所以最大弹性势能大于最大动能,故D错误。

- 3 A、D [解析] 由功能关系可知 $W_{地} + W_{阻} + W_{重} + W_{人} = \frac{1}{2}mv^2$ ,其中 $W_{重} = -mgh$ ,所以 $W_{地} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh - W_{阻} - W_{人}$ ,A项不正确;运动员机械能增加量 $\Delta E = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$ ,B项正确;重力做功 $W_{重} = -mgh$ ,C项正确;运动员自身做功 $W_{人} = \frac{1}{2}mv^2 + mgh - W_{阻} - W_{地}$ ,D项不正确。

- 4 (1) 设物体在B点的速度为 $v_B$ ,所受弹力为 $F_{NB}$ ,

$$\text{则有 } F_{NB} - mg = m \frac{v_B^2}{R}, \text{ 又 } F_{NB} = 8mg,$$

由能量守恒定律可知,弹簧弹性势能

$$E_p = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{7}{2}mgR.$$

(2) 设物体在C点的速度为 $v_C$ ,由题意可知 $mg = m \frac{v_C^2}{R}$ .

物体由B点运动到C点的过程中,由能量守恒定律得 $Q =$

$$\frac{1}{2}mv_B^2 - \left( \frac{1}{2}mv_C^2 + 2mgR \right), \text{ 解得 } Q = mgR.$$

- 5 (1) 由 $ma = \mu mg \cos \theta - mg \sin \theta$ 知,小物体沿传送带上升的加速度为 $a = \frac{1}{4}g$ ,当它的速度为 $v = 1 \text{ m/s}$ 时,位移是 $x = \frac{v^2}{2a} = 0.2 \text{ m}$ .即小物体将以 $v = 1 \text{ m/s}$ 的速度完成4.8 m的路程,由功能关系得

$$W = \Delta E_k + \Delta E_p = \frac{1}{2}mv^2 + mg \sin 30^\circ = 255 \text{ J}.$$

(2) 电动机做功使小物体机械能增加,同时使小物体与传送带间因摩擦产生热量 $Q$ . 而由 $v = at$ 得 $t = 0.4 \text{ s}$ ,相对位移 $s' = vt - \frac{v}{2}t = 0.2 \text{ m}$ , $Q = \mu mgs' \cos \theta = 15 \text{ J}$ , $W_{电} = W + Q = 270 \text{ J}$ .

## 第4章 单元复习方案

测评·高考模拟卷 → 正文 P136

- 1 D [解析] 抛出的物体受重力和空气阻力作用,物体做斜上抛运动,物体的动能先减小后增大,重力势能先增大后减小,机械能减小,故D项正确。

- 2 C [解析] 根据动能定理可得P点动能 $E_{kP} = mgR$ ;经过N点时,半径方向的合力提供向心力,可得 $4mg - mg = m \frac{v^2}{R}$ ,所以N点动能 $E_{kN} = \frac{3mgR}{2}$ ;从P点到N点根据动能定理可得 $mgR + W = \frac{3mgR}{2} - mgR$ ,即摩擦力做功 $W = -\frac{mgR}{2}$ .质点运动过程中,半径方向的合力提供向心力,即 $F_N - mg \sin \theta = ma = m \frac{v^2}{R}$ ,根据左右对称,在同一高度,由于摩擦力做功导致右半轨道的速度变小,轨道弹力变小,滑动摩擦力 $F_f = \mu F_N$ 变小,故摩擦力做功变小,那么从N点到Q点,根据动能定理, $Q$ 点动能 $E_{kQ} = \frac{3mgR}{2} - mgR - W'$ ,由于 $W' < \frac{mgR}{2}$ ,故Q点速度仍然没有减小到0,仍会继续向上运动一段时间。由以上分析可知,C选项正确。

- 3 C [解析] 设第一次小球动能与势能相等时的速度大小为 $v$ ,由机械能守恒定律得 $mgL = \frac{1}{2}mv^2 + E_p$ , $E_p = \frac{1}{2}mv^2$ ,解得 $v = \sqrt{gL}$ ,此时 $v$ 与水平方向夹角为 $60^\circ$ ,故 $P = mgv \sin 60^\circ = \frac{1}{2}mg \sqrt{3gL}$ ,C正确。

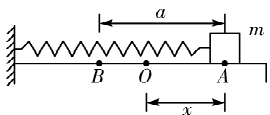
- 4 A [解析] 拉力 $F$ 做的功直接由公式 $W = Fl \cos \theta$ 求得,其中 $l$ 是物体相对于地面的位移, $\theta$ 是 $F$ 跟水平地面的夹角,其中 $\cos \theta = 1$ , $l_1 < l_2$ ,所以 $W_1 < W_2$ .滑动摩擦力做功过程中产生的内能等于系统克服摩擦力做的功,即 $\Delta E = Q = F_f d_{相}$ ,其中 $d_{相}$ 表示物体之间的相对位移,在这里是B的长度,所以 $Q_1 = Q_2$ .A项正确。

- 5 B [解析] 小钢珠恰好通过M的上端点水平飞出,必有 $mg = m \frac{v^2}{R}$ ,解得 $\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgR$ ,弹簧的弹性势能全部转化为小钢珠的机械能,由机械能守恒定律得 $E_p = mg(0.5R + R) + \frac{1}{2}mv^2 = 2mgR$ ,B项正确。

- 6 A、D [解析] 由能量守恒可得,在A、D图中,小球上升的高度能达到 $h$ 时,小球的速度为0,而在B、C两图中,当小球的速度小于某个值时,小球的重力沿半径方向提供的力将大于向心力,使小球脱离轨道,从而小球上升高度不能达到 $h$ .

- 7 B、C [解析] 因为要克服摩擦力做功,所以O点不在AB的中点,如图所示, $x > \frac{a}{2}$ ,由动能定理,从O点到A点, $W - \mu mgx - W_{非} = 0$ ,系统增加的弹性势能 $E_p = W - \mu mgx$ ,因为 $x > \frac{a}{2}$ ,所以 $E_p < W - \frac{1}{2}\mu mga$ ,A项错误;同理,物块在B点时, $E_p' = W - \mu mg(x + a) < W - \frac{3}{2}\mu mga$ ,B项正确;经O点时, $E_k = W - 2\mu mgx < W - \mu mga$ ,C项正确;A到B的过程中,当弹力与 $f$ 平衡时速度最大,此点在O点右侧

距O点 $x_1 = \frac{f}{k} = \frac{\mu mg}{k}$ 处, $x_1$ 可能大于BO,所以D项错误。



第7题图

- 8 B、D [解析] 设物体开始做自由落体运动时离地面的高度为 $H$ ,则 $E_p = mg(H - \frac{1}{2}gt^2) = mg(H - h)$ 。 $E_p$ 是时间 $t$ 的二次函数,且开口朝下,又是 $h$ 的一次函数,B、D两项正确。

- 9 A、C [解析] 由机械能守恒定律,有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ,解得小球从B点平抛的初速度 $v = \sqrt{2gh}$ 。由平抛规律有 $x = vt$ , $H = \frac{1}{2}gt^2$ , $\tan 37^\circ = \frac{H}{x}$ ,结合以上式子得 $h = \frac{4}{9}H$ , $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ 。A、C两项正确。

- 10 B、C [解析] 由机械能守恒定律知 $mg(H - 2R) = \frac{1}{2}mv_A^2$ ,小球做平抛运动,有 $2R = \frac{1}{2}gt^2$ , $x = v_A t$ ,解得 $x = 2\sqrt{2RH - 4R^2}$ ,选项A错误,选项B正确;由于允许小球在A点时速度为零,所以只需满足 $H > 2R$ 即可,选项C正确,选项D错误。

- 11 (1)P (2)0.98 m/s (3)0.491 J 0.480 J (4) > 有机能损失 (5)在忽略阻力的情况下,重物自由下落过程中机械能守恒

- 12 375 4 116 [解析] 这台机组的提水功率  
$$P = \frac{W}{t} = \frac{mgh}{t} = \frac{15 \times 10^3 \times 10 \times 9}{3600} \text{ W} = 375 \text{ W}.$$

这台机组正常工作时获得的风能功率

$$P' = \frac{W'}{t'} = \frac{\frac{1}{2}mv^2}{t'} = \frac{\frac{1}{2}\rho\pi R^2 t' v^3}{t'} = \frac{1}{2}\rho\pi R^2 v^3 = \frac{1}{2} \times 1.28 \times 3.14 \times 2^2 \times 8^3 \text{ W} = 4116 \text{ W}.$$

- 13 A、B两物体组成的系统机械能守恒,当A到达C点时速度最大,因为A到C以前,绳对A做正功,动能增加,A过C以后继续向右运动时,绳对A做负功,动能减小,A到C点时物体B的速度为零。A到C以前B下降,A过C以后继续向右运动,B又上升。在A物体从开始到C点的过程中,B下落的距离为 $\Delta h = \frac{h}{\sin \theta} - h = 0.05 \text{ m}$ ,由 $mg\Delta h = \frac{1}{2}mv^2$ 得 $v = \sqrt{2g\Delta h} = 1 \text{ m/s}$ 。

- 14 A小球下落 $h$ 的过程中,A、B、C三球组成的系统机械能守恒,A球刚到地面时,设速率为 $v_1$ ,则A球减少的重力势能等于三球增加的动能,所以有  
$$mgh = 3 \times \frac{1}{2}mv_1^2.$$
A球落地后,B球以速率 $v_1$ 开始下落 $h$ 的过程中,B、C球

组成的系统机械能守恒,B球减少的重力势能等于B、C两球增加的动能,所以有

$$mgh = \frac{1}{2} \cdot 2mv_2^2 - \frac{1}{2} \cdot 2mv_1^2.$$

B球落地后,B、C间绳子已松弛,C球在光滑台面上以速度 $v_2$ 匀速前进 $l-h$ 距离后离开平台,代入数值解得

$$v_c = v_2 = \sqrt{\frac{5gh}{3}}.$$

- 15 设整车的质量为 $M$ ,当游览车填满圆形轨道时,在圆轨道上的部分车的质量为 $\frac{2\pi R}{L} \cdot M$ ,重心在圆心,设此时游览车安全驶过竖直圆轨道的最小速度为 $v$ ,则 $mg = m \frac{v^2}{R}$ ,得  
$$v = \sqrt{gR}.$$

$$\text{整列车此时的机械能为 } E_2 = \frac{1}{2}Mv^2 + 2\pi R \frac{M}{L}gR,$$

整列车在平台上时的机械能为 $E_1 = Mgh$ ,

游览车在运动过程中,由于不计阻力,因此机械能守恒,由机械能守恒定律公式 $E_1 = E_2$ 得 $Mgh = \frac{1}{2}Mv^2 + 2\pi R \frac{M}{L}gR =$

$$\frac{1}{2}MgR + 2\pi R^2 g \frac{M}{L}, \text{得 } h = \frac{1}{2}R + \frac{2\pi R^2}{L}, \text{即要使游览车安全地驶过竖直圆轨道,则平台距水平轨道的高度至少为 } \frac{1}{2}R + \frac{2\pi R^2}{L}.$$

- 16 (1)传送带对P的摩擦力 $f = \mu m_1 g = 1 \text{ N}$ ,小于Q的重力 $m_2 g = 3 \text{ N}$ ,P将向左运动。

根据牛顿第二定律,

$$\text{对 } P: T - f = m_1 a,$$

$$\text{对 } Q: m_2 g - T = m_2 a,$$

$$\text{解得 } a = \frac{m_2 g - \mu m_1 g}{m_1 + m_2} = 4 \text{ m/s}^2.$$

(2)小物体P从开始到离开传送带水平端点,

$$\text{由 } \frac{L}{2} = \frac{1}{2}at^2 \text{ 得 } t = 1 \text{ s},$$

传送带的位移 $s = v_1 t = 2 \text{ m}$ ,

$$Q = f\left(\frac{L}{2} + s\right) = 4 \text{ J}.$$

(3)方法一:电动机多消耗的电能等于克服P对传送带的摩擦力所做的功,则 $\Delta E_{\text{电}} = W_{\text{克}} = fs$ ,

故 $\Delta E_{\text{电}} = 2 \text{ J}$ 。

方法二:根据能量守恒定律

$$\Delta E_{\text{电}} + m_2 g \frac{L}{2} = \frac{1}{2}(m_1 + m_2)v^2 + Q,$$

又 $v = at$ ,

代入数据得 $\Delta E_{\text{电}} = 2 \text{ J}$ 。

## 第5章 万有引力与航天

### 5.1 从托勒密到开普勒

#### 题组A 学考通关测试

正文 P144

- 1 A、B、C [解析] 太阳不是宇宙的中心;所有行星围绕太阳运动的轨道都是椭圆,太阳处在所有椭圆的一个共同焦



点上;整个宇宙是不停运动的。题述的四个论点中,现在看来,A、B、C都存在缺陷。

- 2 D **[解析]** 根据开普勒第二定律,为使相等时间内扫过的面积相等。则应保证在相等的时间内,在近日点走过的弧长比在远日点走过的弧长要大。因此在近日点彗星的线速度(即速率)、角速度都较大,故A、B两项正确。而向心加速度  $a = \frac{v^2}{R}$ ,在近日点,  $v$  大、 $R$  小,因此  $a$  大,故C项正确。根据开普勒第三定律  $\frac{r^3}{T^2} = k$ ,则  $\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{T_1^2}{T_2^2} = 75^2$ ,即  $r_1 = \sqrt[3]{5\ 625}r_2 = 18r_2$ ,D项错误。

- 3 C **[解析]** 公式中的  $k$  值与中心天体的质量有关,对于不同系统,式中的  $k$  值是不同的,故选项C是正确的。

- 4 C **[解析]** 根据开普勒行星运动定律,火星和木星沿各自的椭圆轨道绕太阳运行时,太阳位于椭圆的一个焦点上,选项A错误;行星绕太阳运行的轨道不同,周期不同,运行速度大小也不同,选项B错误;火星与木星运行的轨道半长轴的立方与周期的平方之比是一个常量,选项C正确;火星与太阳连线在相同时间内扫过的面积相等,木星与太阳连线在相同时间内扫过的面积相等,但这两个面积不相等,选项D错误。

**题组B 高考通关测试** → 正文 P145

- 1 B **[解析]** 冬至,地球与太阳的连线短;夏至,地球和太阳的连线长,根据开普勒第二定律,地球要在相等的时间内,扫过的面积相等,则在相等的时间内,冬至时地球运动的路径就要比夏至时长,所以冬至时地球运动的速度比夏至时的速度大,B项正确。

- 2 C **[解析]** 由开普勒第二定律可知,太阳与行星的连线在相等的时间内扫过相等的面积,取足够短的时间  $\Delta t$ ,则有  $\frac{1}{2}av_a\Delta t = \frac{1}{2}bv_b\Delta t$ ,所以  $v_b = \frac{a}{b}v_a$ 。

- 3 C **[解析]** 由  $\frac{a^3}{T^2} = k$  知,  $\left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2$ ,则  $\frac{a_1}{a_2} = \sqrt[3]{4}$ ,与行星质量无关。

- 4 C **[解析]** 根据开普勒第三定律,所有行星轨道的半长轴的三次方跟公转周期的平方的比值都相等。对绕太阳运动的宇宙飞船和地球,有  $\frac{R_{\text{船}}^3}{T_{\text{船}}^2} = \frac{R_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2}$ ,由题设条件知  $R_{\text{船}} : R_{\text{地}} = 9, T_{\text{地}} = 1$  年,所以  $T_{\text{船}} = \left(\frac{R_{\text{船}}}{R_{\text{地}}}\right)^{\frac{3}{2}} T_{\text{地}} = \left(\frac{9}{1}\right)^{\frac{3}{2}} \times 1$  年 = 27年。

- 5 B **[解析]** 由题意可知,行星绕太阳运转时,满足  $\frac{r^3}{T^2} = \text{常数}$ ,设地球绕太阳的公转周期和轨道半径分别为  $T_1, r_1$ ,火星绕太阳的公转周期和轨道半径分别为  $T_2, r_2$ ,则  $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2}$ ,代入数值得  $r_2 = 2.3$  亿千米。

5.2 万有引力定律是怎样发现的

**题组A 学考通关测试** → 正文 P152

- 1 A、B、C **[解析]** 万有引力定律公式中各物理量的含义如下: $G$ 为引力常量,大小为  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ,在数值上等于质量为  $1 \text{ kg}$  的两质点相距  $1 \text{ m}$  时的相互作用力; $m_1, m_2$  为两物体的质量; $r$  对于两个可看作质点的物体,代表两质点的距离,对于质量分布均匀的球体,为两球心间的距离。

- 2 C **[解析]**  $F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2}$ , 而  $F'_{\text{引}} = G \frac{\frac{1}{2}Mm}{\left(\frac{1}{2}r\right)^2} = 2 \frac{GMm}{r^2} = 2F_{\text{引}}$ 。

- 3 B **[解析]** 由  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$  知,  $g = \frac{GM}{R^2}$ ,故  $\frac{g_{\text{火}}}{g} = \frac{M_{\text{火}} R_{\text{地}}^2}{M_{\text{地}} R_{\text{火}}^2} = 0.4$ ,故B正确。

- 4 B **[解析]** 设地球质量为  $M_{\text{地}}$ ,半径为  $R_{\text{地}}$ ,该“宜居”行星质量为  $M$ ,半径为  $R$ ,则人在地球  $\frac{GM_{\text{地}}m}{R_{\text{地}}^2} = mg = 600 \text{ N}$ ,人在该“宜居”行星  $\frac{GMm}{R^2} = mg' = 960 \text{ N}$ ,其中  $M = 6.4M_{\text{地}}$ ,联立解得  $\frac{R}{R_{\text{地}}} = 2$ ,所以B项正确。

**题组B 高考通关测试** → 正文 P153

- 1 A、B、C **[解析]** 物体的质量与物体所处的位置及运动状态无关,故A项正确,D项错误;由题意知,物体在月球表面上受力为地球表面上受力的  $\frac{1}{6}$ ,即  $F = \frac{1}{6}mg = \frac{1}{6} \times 600 \times 9.8 \text{ N} = 980 \text{ N}$ ,故B项正确;由  $F = \frac{Gm_1m_2}{r^2}$  知, $r$  增大时,引力  $F$  减小,故C项正确。

- 2 C **[解析]** 地球表面处的重力加速度和在离地面一定高度处的加速度均由地球对物体的万有引力产生,所以有地面上:  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ ,  
离地面高  $R$  处:  $G \frac{Mm}{(2R)^2} = \frac{1}{4}mg$ ,  
离地面高  $2R$  处:  $G \frac{Mm}{(3R)^2} = \frac{1}{9}mg$ ,  
离地面高  $\frac{1}{2}R$  处:  $G \frac{Mm}{\left(\frac{3}{2}R\right)^2} = \frac{4}{9}mg$ ,  
综上所述,C正确。

- 3 B **[解析]** 质量分布均匀的球体的密度  $\rho = \frac{3M}{4\pi R^3}$ ,地球表面的重力加速度  $g = \frac{GM}{R^2} = \frac{4\pi GR\rho}{3}$ ,吴健雄星表面的重力加速度  $g' = \frac{GM'}{r^2} = \frac{4\pi Gr\rho}{3}$ ,则  $\frac{g}{g'} = \frac{R}{r} = 400, g' = \frac{1}{400}g$ ,故B项正确。

4 A **【解析】**由  $g = \frac{GM}{R^2}$  可知,  $\frac{g_{星}}{g_{地}} = \frac{M_{星} R_{地}^2}{M_{地} R_{星}^2} = \frac{9}{1} \times \left(\frac{2}{1}\right)^2 = \frac{36}{1}$ , 由平抛运动公式可知, 射程  $x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 即  $v_0 \cdot h$  相同的条件下  $x \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$ , 所以  $\frac{x_{星}}{x_{地}} = \sqrt{\frac{g_{地}}{g_{星}}} = \frac{1}{6}$ , 选项 A 正确。

5 B **【解析】**月球绕地球做匀速圆周运动的向心力由地球引力提供, 选项 B 正确。

6 将挖去的小球填入空穴中, 由  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$  可知, 大球的质量为  $8m$ , 大球对  $m_2$  的引力为  $F_1 = G \frac{8m \cdot m_2}{(6r)^2} = G \frac{2mm_2}{9r^2}$ , 被挖去的小球对  $m_2$  的引力为  $F_2 = G \frac{mm_2}{(5r)^2} = G \frac{mm_2}{25r^2}$ ,  $m_2$  所受剩余部分的引力为  $F = F_1 - F_2 = \frac{41mm_2}{225r^2}G$ 。

### 5.3 万有引力定律与天文学的新发现

#### 题组 A 学考通关测试

1 B **【解析】**行星绕恒星做匀速圆周运动, 万有引力提供向心力, 由  $G \frac{Mm}{r^2} = m r \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$  可得  $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ , 该中心恒星的质量与太阳的质量之比  $\frac{M}{M_{日}} = \frac{r^3}{r_{日}^3} \cdot \frac{T_{日}^2}{T^2} = \left(\frac{1}{20}\right)^3 \times \frac{365^2}{4^2} = 1.04$ , 故 B 项正确。

2 C **【解析】**设地球质量为  $M$ , 由万有引力提供向心力得  $G \frac{Mm}{(H+R)^2} = m(H+R)\omega^2 = m \frac{4\pi^2}{T^2}(H+R)$ , 由此式可求出地球的质量  $M$ , 再由  $\rho = \frac{M}{V}$ , 可求出地球的平均密度。由  $v = \frac{2\pi(R+H)}{T}$ , 可求出飞船线速度的大小。因“天宫二号”飞船的质量没有给出, 无法求出向心力, 故本题选 C。

3 D **【解析】**设该行星和地球的质量、半径、体积分别是  $M_1$  和  $M_2, R_1$  和  $R_2, V_1$  和  $V_2$ 。则该行星的平均密度为  $\rho_1 = \frac{M_1}{V_1}$ , 地球的平均密度为  $\rho_2 = \frac{M_2}{V_2}$ , 所以  $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{M_1 V_2}{M_2 V_1} = \frac{25}{4.7}$ 。对于地球的近地卫星有  $\frac{GM_2 m}{R_2^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R_2$ , 又  $\rho_2 = \frac{M_2}{\frac{4}{3}\pi R_2^3}$ , 所以  $\rho_2 = \frac{3\pi}{GT^2}$ , 故  $\rho_1 = \frac{75\pi}{4.7GT^2} = \frac{75 \times \pi}{4.7 \times 6.67 \times 10^{-11} \times (1.4 \times 60 \times 60)^2} \text{ kg/m}^3 = 3 \times 10^4 \text{ kg/m}^3$ 。故 D 项正确。

4 B **【解析】**如图所示, 设两恒星的  $M_1$   $O$   $M_2$  质量分别为  $M_1$  和  $M_2$ , 轨道半径分别为  $r_1$  和  $r_2$ 。根据万有引力定律及牛顿第二定律可得  $\frac{GM_1 M_2}{r^2} = M_1 \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r_1 = M_2 \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r_2$ , 解得  $\frac{G(M_1 + M_2)}{r^2} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (r_1 + r_2)$ , 即  $\frac{GM}{r^3} = \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2$ , 当两星的总质量变为原来的  $k$  倍, 它们之间的距离变为原来的

第 4 题图

$n$  倍时, 有  $\frac{GkM}{(nr)^3} = \left(\frac{2\pi}{T'}\right)^2$ , 联立可得  $T' = \sqrt{\frac{n^3}{k}}T$ , 故选项 B 正确。

5  $\frac{3\pi}{GT_1^2} \frac{3\pi(R+h)^3}{GT_2^2 R^3}$  **【解析】**设卫星的质量为  $m$ , 该天体的质量为  $M$ , 卫星贴近该天体表面运动时有  $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} R$  得  $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT_1^2}$ 。

根据数学知识可知, 该天体的体积  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ , 故该天体的密度  $\rho = \frac{M}{V} = \frac{4\pi^2 R^3}{GT_1^2 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi}{GT_1^2}$ 。卫星距该天体表面的高度为  $h$  时有

$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T_2^2} (R+h)$ , 得  $M = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GT_2^2}$ ,  $\rho = \frac{M}{V} = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GT_2^2 \cdot \frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3\pi (R+h)^3}{GT_2^2 R^3}$ 。

6 物体在火星或地球表面所受的重力近似等于火星或地球对物体的万有引力, 即  $mg = \frac{GMm}{R^2}$ , 则  $g = \frac{GM}{R^2}$ 。即  $g \propto \frac{M}{R^2}$ , 则火星和地球表面处的重力加速度之比为  $\frac{g_{火}}{g_{地}} = \frac{M_{火}}{R_{火}^2} : \frac{M_{地}}{R_{地}^2} = \frac{p}{q}$ 。

#### 题组 B 高考通关测试

1 D **【解析】**火星探测器环绕火星做“近地”匀速圆周运动时,  $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$ , 又  $M = \frac{4}{3}\pi R^3 \cdot \rho$ , 可得  $\rho = \frac{3\pi}{GT^2} = \frac{k}{T^2}$ , 故选项 D 正确。

2 C **【解析】**由题意知, 该行星和地球一样绕太阳运行, 且该行星、太阳、地球始终在同一直线上, 说明该行星与地球有相同的公转周期, C 选项正确, 但根据所给条件, 无法进一步判断这颗行星与地球的自转周期、质量、密度是否相同。

3 B **【解析】**根据选项 A 的条件, 可求出月球上的重力加速度  $g$ , 由  $g = \frac{GM}{R^2}$  可以求出月球质量和月球半径的平方比  $\frac{M}{R^2} = \frac{g}{G}$ , 无法求出密度, 选项 A 错误; 根据选项 B 的条件, 由  $\frac{GMm}{R^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 R$ , 可求出月球质量和月球半径的立方比  $\frac{M}{R^3} = \frac{4\pi^2}{GT^2}$ , 而月球密度为  $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3M}{4\pi R^3} = \frac{3\pi}{GT^2}$ , 选项 B 正确; 根据选项 C 的条件, 无法求月球的质量, 因而求不出月球的密度, 选项 C 错误; 根据选项 D 的条件, 由  $\frac{GMm}{(R+H)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 (R+H)$ , 可求出  $\frac{M}{(R+H)^3} = \frac{4\pi^2}{GT^2}$ , 虽然

知道  $H$  的大小,但仍然无法求出月球质量和月球半径的立方比,故选项 D 错误。

4 C 【解析】赤道上的物体飘离地面时,  $F_{\text{万}} = F_{\text{向}}$ , 即  $\frac{GMm}{R^2} =$

$$m \frac{4\pi^2}{T^2} R, \text{ 得 } T^2 = \frac{4\pi^2 R^3}{GM}, \text{ 而 } M = \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3, \text{ 代入上式得}$$

$$T^2 = \frac{3\pi}{\rho G}, \text{ 即 } T = \sqrt{\frac{3\pi}{\rho G}}, \text{ 故 C 项正确。}$$

5 B 【解析】设此时火箭上升到离地球表面高度为  $h$  处,火箭上物体的视重等于物体受到的支持力  $F_N$ 。物体受到的重力是  $mg'$ ,  $g'$  是  $h$  高处的重力加速度,由牛顿第二定律得  $F_N - mg' = ma$  ①, 其中  $m = \frac{16}{10} \text{ kg} = 1.6 \text{ kg}$ , 代入①式得  $mg' = F_N - ma = (9 - 1.6 \times 5) \text{ N} = 1 \text{ N}$ 。在距地球表面为  $h$  处, 物体的重力为  $1 \text{ N}$ , 物体重力等于万有引力。

$$\text{在地球表面: } mg = G \frac{Mm}{R_{\text{地}}^2} \quad \text{②, 在距地面 } h \text{ 高处, } mg' =$$

$$G \frac{Mm}{(R_{\text{地}} + h)^2} \quad \text{③。②与③相除可得 } \frac{mg}{mg'} = \frac{(R_{\text{地}} + h)^2}{R_{\text{地}}^2}, \text{ 所}$$

以  $R_{\text{地}} + h = \sqrt{\frac{mg}{mg'}} \cdot R_{\text{地}} = \sqrt{\frac{16}{1}} R_{\text{地}} = 4R_{\text{地}}$ , 所以  $h = 3R_{\text{地}}$ , B 项正确。

6 C 【解析】设两星的运动半径分别为  $r_1$  和  $r_2$ , 由于两星的周期相同, 据  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  知, 它们的角速度相同, B 项错误。两星之间的万有引力等于它们的向心力, 即  $m_1 r_1 \omega^2 = m_2 r_2 \omega^2$ , 而  $r_1 + r_2 = L$ , 所以  $r_1 = \frac{2}{5}L, r_2 = \frac{3}{5}L$ , C 项正确, D 项错误。又因  $v = \omega r$ , 所以  $v_1 : v_2 = r_1 : r_2 = 2 : 3$ , A 项错误。

7 重力是由于地球对物体的吸引而产生的力, 但是不能认为重力就是地球对物体的吸引力。严格地讲, 只有在两极处, 重力才等于地球对物体的万有引力, 在地球的其他地方, 重力都小于地球对物体的万有引力。由于重力与地球对物体的万有引力差别极小, 所以通常近似地认为重力等于地球对物体的万有引力。

设被测物体的质量为  $m$ , 星球的质量为  $M$ , 半径为  $R$ 。

在两极处, 物体的重力等于万有引力, 即  $P = G \frac{Mm}{R^2}$ ;

在赤道上, 因星球自转, 物体做匀速圆周运动, 星球对物体的万有引力和弹簧测力计对物体的拉力的合力提供向心力, 即  $G \frac{Mm}{R^2} - 0.9P = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 R$ 。

由以上两式解得星球的质量为

$$M = \frac{40\pi^2 R^3}{GT^2}。$$

根据密度的定义式, 可得星球的平均密度为

$$\bar{\rho} = \frac{M}{V} = \frac{\frac{40\pi^2 R^3}{GT^2}}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{30\pi}{GT^2}。$$

## 5.4 飞出地球去

### 题组 A 学考通关测试

正文 P172

1 B 【解析】第一宇宙速度是人造卫星在地面附近绕地球做匀速圆周运动所必须具有的速度, 而人造卫星环绕地球运动的速度随着轨道半径的增大而减小, 故 A 错误, 故 B 正确; 地球同步卫星运行轨道为位于地球赤道平面上的圆形轨道, 其运行周期与地球自转周期相等, 故 C、D 错误。

2 A 【解析】由“萤火一号”分别在两个不同的圆轨道上做匀速圆周运动可知:  $G \frac{Mm}{(h_1 + R)^2} = m \left( \frac{2\pi}{T_1} \right)^2 (h_1 + R)$ ,  $G \frac{Mm}{(h_2 + R)^2} = m \left( \frac{2\pi}{T_2} \right)^2 (h_2 + R)$ , 两式联立可求得火星的质量  $M$  与火星的半径  $R$ , 由火星的半径  $R$  可求出火星的体积, 进一步求出火星的密度, 再根据黄金代换:  $GM = gR^2$ , 可求得火星表面处的重力加速度  $g$ , 故 A 项正确。

3 A、B、C 【解析】超重、失重是一种表象, 是由重力和弹力的大小关系而定义的。当向上加速时超重, 向下减速时 ( $a$  方向向上) 也超重, 故 A、B 两项正确。卫星做匀速圆周运动时, 万有引力完全提供向心力, 卫星及卫星内的物体皆处于完全失重状态, 故 C 项正确。失重的原因是重力 (或万有引力) 使物体产生了加速度, 故 D 项错误。

4 D 【解析】根据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ , 解得  $r = \sqrt{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} \propto T^{\frac{2}{3}}$ , 则若周期变为原来的一半, 同步卫星的轨道半径  $r$  减小, 大小变为原来的  $\left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{3}{2}}$ , 故选 D。

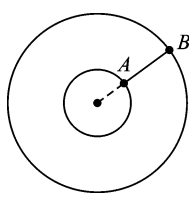
5 C 【解析】地球赤道上的物体与地球同步卫星是相对静止的, 有相同的角速度和周期, 即  $\omega_1 = \omega_3, T_1 = T_3$ , 比较速度用  $v = \omega r$ , 比较加速度用  $a = \omega^2 r$ , 同步卫星距地心距离约为地球半径的 7 倍, 则 C 项正确; 近地卫星与地球同步卫星都是卫星, 都绕地球做圆周运动, 向心力由万有引力提供, 所以比较加速度用  $a = \frac{GM}{r^2}$ , 则加速度  $a_2 : a_3 = 49 : 1$ ; 比较速度用  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 则速度  $v_2 : v_3 = \sqrt{7} : 1$ 。

6 C 【解析】根据  $G \frac{mM}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$  可知, 轨道半径越大, 线速度越小, 第一宇宙速度的轨道半径为地球的半径, 所以第一宇宙速度是绕地球做匀速圆周运动最大的环绕速度, 故 A 错误; 地球静止轨道卫星即同步卫星, 只能定点于赤道正上方, 故 B 错误; 根据  $G \frac{mM}{r^2} = mr \frac{4\pi^2}{T^2}$ , 得  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ 。所以轨道半径小的量子科学实验卫星“墨子”号的周期小, 故 C 正确; 卫星的向心加速度  $a = \frac{GM}{r^2}$ , 轨道半径小的量子科学实验卫星“墨子”号的向心加速度比北斗 G7 的大, 故 D 错误。

## 题组B 高考通关测试

正文 P173

- 1 C [解析] 因  $T_1 < T_2$  由  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$  可得  $r_1 < r_2$ , A 项错误; 由于“风云一号”的轨道半径小, 所以每一时刻可观察到地球表面的范围较小, B 项错误; 由  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$  可得  $v_1 > v_2$ , C 项正确; 由于  $T_1 = 12 \text{ h}$ ,  $T_2 = 24 \text{ h}$ , 则需再经过 24 h 才能再次同时到达该小岛上空, D 项错误。
- 2 A、D [解析] 令卫星的质量为  $m$ , 地球的质量为  $M$ , 地球表面附近的重力加速度为  $g$ , 地球的半径为  $R$ , 同步卫星公转的轨道半径为  $r$ . 卫星做圆周运动的向心力由地球对它的万有引力提供, 有  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ , 可得到  $r^3 = \frac{GMT^2}{4\pi^2}$ . 设想地球表面有一质量为  $m_0$  的物体, 它受到的重力等于地球对它的万有引力, 即  $m_0 g = G \frac{Mm_0}{R^2}$ , 得到  $GM = gR^2$ . 所以得到  $r^3 = \frac{T^2 R^2 g}{4\pi^2}$ , 把上式跟题中给定的  $r^3 = \frac{a^2 b^2 c}{4\pi^2}$  进行比较, 可知  $a$  是地球半径,  $b$  是同步卫星绕地心运动的周期,  $c$  是地球表面处的重力加速度, 故 D 项正确; 因为该卫星是地球同步卫星, 它的公转周期跟地球自转周期相同, 所以 A 项正确。
- 3 B、C [解析] 根据  $G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$  可得, 第一宇宙速度  $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ , 同步卫星运行速度  $v' = \sqrt{\frac{GM}{nR}} = \sqrt{\frac{1}{n}} v$ , 故选项 A 错误, 选项 B 正确. 地球同步卫星与地球自转周期相同, 它们的角速度也相等, 根据  $v = \omega r \propto r$  可知, 同步卫星的运行速度是地球赤道上随地球自转的物体速度的  $n$  倍, 选项 C 正确. 地球表面的重力加速度  $g = G \frac{M}{R^2}$ , 而同步卫星的向心加速度  $a' = G \frac{M}{n^2 R^2} = \frac{1}{n^2} g$ , 所以同步卫星的向心加速度是地球表面重力加速度的  $\frac{1}{n^2}$ , 选项 D 错误。
- 4 A [解析] 在轨道上  $G \frac{Mm}{r^2} = mg'$ , 在地球表面  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ , 因为  $g' = \frac{1}{4} g$ , 解得  $r = 2R$ , 则某时刻该卫星观测到地面赤道的弧度数为  $\frac{2\pi}{3}$ , 则观测到地面赤道最大弧长为  $\frac{2}{3} \pi R$ , 故选 A。
- 5 B、C [解析] 飞船在返回地球的过程中需要发动机做功控制速度, 机械能不守恒, A 错误; 根据万有引力提供向心力, 有  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ , 解得  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$ , 可知  $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{r_1^3}{r_2^3}}$ , 国际空间站的轨道半径为 6 800 km, 地球同步卫星的轨道半径为 42 400 km, 地球同步卫星的周期为 24 h, 可得国际空间站的运行周期约为 90 min, B 正确; 地球的第一宇宙速度是所有地球人造卫星的最大环绕速度, 所以国际空间站的速度小于地球的第一宇宙速度, C 正确; 返回时, 需先让飞船与国际空间站脱离, 然后减速才可下降, D 错误。

- 6 A、B [解析] 球形行星对其周围质量为  $m$  的物体的万有引力  $F = ma = \frac{GMm}{(R+h)^2}$ , 所以  $a_1 = \frac{GM}{(R+h_1)^2}$ ,  $a_2 = \frac{GM}{(R+h_2)^2}$ , 联立即可求出该行星的质量和半径, 故 A、B 正确; 题目以及相关的公式的物理量都与该行星的自转周期无关, 所以不能求出该行星的自转周期, 故 C 错误; 由于不能求出该行星的自转周期, 所以也不能求出该行星的同步卫星离行星表面的高度, 故 D 错误。
- 7 B [解析] 根据万有引力定律可知  $\frac{GM_{\text{天}} m}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$ , 得公转周期公式  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM_{\text{天}}}}$ , 对同一中心天体, 环绕天体的公转半径越大, 公转周期越大, A 项错误; 根据公式  $a = \frac{GM_{\text{天}}}{r^2}$ , 得环绕天体的公转半径越大, 向心加速度越小, B 项正确; 对于天体表面的重力加速度, 由  $g = \frac{GM}{R^2}$ , 得  $g_{\text{地}} > g_{\text{火}}$ , C 项错误; 由第一宇宙速度公式  $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ , 得  $v_{1\text{地}} > v_{1\text{火}}$ , D 项错误。
- 8 A、B、C [解析] 在椭圆轨道上, 近地点的速度最大, 远地点的速度最小, A 项正确. 由万有引力定律可知航天飞机在 A 点受到的引力是个定值, 由此结合牛顿第二定律可知航天飞机在 A 点的加速度是个定值, 故 D 项错误. 航天飞机从 A 点进入轨道 II 相对于轨道 I 可看成近心运动, 则可知航天飞机在轨道 II 上 A 点速度小于轨道 I 上 A 点速度, 再结合动能定义式可知 B 项正确. 根据低轨道卫星的周期小, 高轨道卫星周期大可知 C 项正确. 综上知正确答案为 A、B、C。
- 9 D [解析] 因为同步卫星的轨道半径大约为 6 倍地球半径, 根据卫星的特点知, 越向外的卫星运行角速度越小, 而同步卫星与地球的角速度相同, 故该人造卫星运行的角速度比地球上建筑物的运行角速度快, 因此再次出现在建筑物上方时, 说明物体已经比建筑物多走了一圈, 故  $\theta_{\text{卫}} - \theta_{\text{地}} = 2\pi$ ,  $\theta_{\text{卫}} = \omega_1 t$ ,  $\theta_{\text{地}} = \omega_0 t$ , 由于卫星做匀速圆周运动, 根据万有引力提供向心力  $\frac{GMm}{r^2} = m\omega_1^2 r$ , 根据  $\frac{GMm}{R^2} = mg$ , 联立得  $t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{gR^2}{r^3}} - \omega_0}$ , D 项正确。
- 10 (1) 如图所示, A、B 两点距离最近, 则 A、B 在同一条半径上. 设 A、B 的角速度分别为  $\omega_1$ 、 $\omega_2$ , 经过时间  $t$ , A 转过的角度为  $\omega_1 t$ , B 转过的角度为  $\omega_2 t$ , 只有  $\omega_1 t$  与  $\omega_2 t$  的差为  $2\pi$  整数倍时, A、B 相距最近.
- 
- 第 10 题图
- $\omega_1 t - \omega_2 t = 2\pi \cdot n (n = 1, 2, 3, \dots)$ , 而恒星对行星的万有引力提供向心力,  $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ , 故  $\omega_1 = \sqrt{\frac{GM}{r_1^3}}$ ,  $\omega_2 = \sqrt{\frac{GM}{r_2^3}}$ .



解得  $t = \frac{2\pi n}{\sqrt{\frac{GM}{r_1^3}} - \sqrt{\frac{GM}{r_2^3}}}$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )。

(2)若经过时间  $t'$ , A、B 转过的角度相差  $\pi$  的奇数倍时, A、B 距离最远, 则  $\omega_1 t' - \omega_2 t' = (2k - 1) \cdot \pi$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ),

$t' = \frac{(2k - 1)\pi}{\omega_1 - \omega_2}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ), 将  $\omega_1, \omega_2$  代入并整理得

$t' = \frac{(2k - 1)\pi}{\sqrt{\frac{GM}{r_1^3}} - \sqrt{\frac{GM}{r_2^3}}}$  ( $k = 1, 2, 3, \dots$ )。

## 第5章 单元复习方案

测评·高考模拟卷 → 正文 P178

**1 D** [解析] 地球的自转角速度增大, 则赤道上物体随地球自转所需向心力增大, 地球的质量和半径都没有变化, 故对赤道上物体的万有引力大小保持不变, 故 A 正确; 地球绕地轴转动, 在两极点, 物体转动半径为 0, 转动所需向心力为 0, 此时物体的重力与万有引力相等, 故转速增大后两极点的重力保持不变, 故 B 正确, D 错误; 赤道上的物体受到的万有引力一部分提供物体的重力, 一部分提供其转动所需的向心力, 而万有引力不变, 转速增加时所需向心力增大, 故物体所受的重力将减小, 故 C 正确; 本题选错误的, 故选 D。

**2 B** [解析] 根据  $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r$ , 解得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ , 扫过的面积  $S = \frac{1}{2}lr = \frac{1}{2}r^2\theta = \frac{1}{2}r^2\omega t = \frac{1}{2}t \sqrt{GM}r$ , 因为轨道半径之比为  $n : 1$ , 则角速度之比为  $\sqrt{\frac{1}{n^3}} : 1$ , 相等的时间内扫过的面积之比为  $\sqrt{n} : 1$ , 故 B 正确, A 错误。根据  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ , 解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 因为轨道半径之比为  $n : 1$ , 则线速度之比为  $1 : \sqrt{n}$ , 故 C 错误; 根据  $G \frac{Mm}{r^2} = ma$ , 解得  $a = \frac{GM}{r^2}$ , 因为轨道半径之比为  $n : 1$ , 则向心加速度之比为  $1 : n^2$ , 故 D 错误。

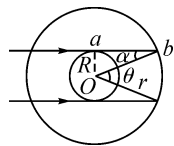
**3 C** [解析] 星球不自转时有  $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ , 自转角速度为  $\omega$  时有  $G \frac{Mm}{R^2} = \frac{2}{3}mg + m\omega^2 R$ , 星球的密度  $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$ , 解得  $\rho = \frac{9\omega^2}{4\pi G}$ , 故选 C。

**4 A** [解析] 由  $\frac{GMm}{R^2} = mg$ , 得到  $g = \frac{GM}{R^2}$ , 已知火星的半径是地球半径的  $\frac{1}{2}$ , 质量是地球质量的  $\frac{1}{9}$ , 则火星表面的重力加速度是地球表面重力加速度的  $\frac{4}{9}$ , 即  $\frac{4}{9}g$ , 设火星的质量为  $M'$ , 由万有引力等于重力可得  $\frac{GM'm}{R'^2} = mg'$ , 解得  $M' = \frac{gR'^2}{9G}$ , 密度为  $\rho = \frac{M'}{V'} = \frac{2g}{3\pi GR}$ , 故 A 正确, B 错误; 由  $mg =$

$m \frac{v^2}{R}$ , 得到  $v = \sqrt{gR}$ , 火星的第一宇宙速度是地球第一宇宙速度的  $\frac{\sqrt{2}}{3}$ , 故 C 错误; 王跃以最大初速度  $v$  在地球起跳时, 根据竖直上抛的运动规律可得出跳起的最大高度是  $h = \frac{v^2}{2g}$ , 由于火星表面的重力加速度是  $\frac{4}{9}g$ , 王跃以与地球上相同的最大初速度在火星上起跳后, 能达到的最大高度  $h' = \frac{9}{4}h$ , 故 D 错误。

**5 A** [解析] 每颗星做匀速圆周运动, 靠另外三颗星的万有引力的合力提供向心力, 故星体 A 的向心力  $F_n = F_{AB} \cos 30^\circ + F_{AD} + F_{AC} \cos 30^\circ = \frac{Gm^2}{a^2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} + \frac{Gm^2}{\left(\frac{2}{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2} a\right)^2} + \frac{Gm^2}{a^2} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = (3 + \sqrt{3}) \frac{Gm^2}{a^2}$ , 故 A 正确, B 错误; 对星体 B, 万有引力提供向心力, 故  $F_n = m \frac{4\pi^2}{T^2} \left(\frac{2}{3} \times \frac{\sqrt{3}}{2} a\right)$ , 联立解得  $T = 2\pi a \sqrt{\frac{a}{3(1 + \sqrt{3})Gm}}$ , 故 C、D 错误。

**6 C** [解析] 万有引力提供向心力, 根据公式  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ , 结合黄金代换公式  $GM = gR^2$  和  $h = r - R$ , 可解得  $h = \sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}} - R$ , A 错误; 由于同步卫星的运行周期和地球自转周期相同, 根据公式  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  可得两者的角速度相同, 根据  $a = \omega^2 r$  可得半径越大, 向心加速度越大, 故同步卫星的加速度大于赤道上物体的向心加速度, B 错误; 根据光的直线传播规律, 日落 12 小时内有  $t_1$  时间该观察者看不见此卫星, 如图所示, 同步卫星相对地心转过的角度为  $\theta = 2\alpha$ ,  $\sin \alpha = \frac{R}{r}$ , 结合  $\theta = \omega t_1 = \frac{2\pi}{T} t_1$ , 解得  $t_1 = \frac{T}{\pi} \arcsin \frac{R}{\sqrt[3]{\frac{gR^2 T^2}{4\pi^2}}}$ , 故 C 正确; 根据  $G \frac{Mm}{r^2} = ma$  可得  $a = \frac{GM}{r^2}$ , 轨道半径越大, 向心加速度越小, 所以同步卫星的加速度小于近地卫星的加速度, D 错误。



第6题图

**7 B、D** [解析] “玉兔号”的质量  $m = \frac{G_1}{g_1}$ , 月球表面的重力加速度  $g_2 = \frac{G_2}{m} = \frac{G_2 g_1}{G_1}$ , 故 A 错误。根据  $mg = G \frac{Mm}{R^2}$ , 得  $M = \frac{gR^2}{G}$ , 故  $\frac{M_{月}}{M_{地}} = \frac{g_2 R_2^2}{g_1 R_1^2} = \frac{G_2 R_2^2}{G_1 R_1^2}$ , 故 B 正确。根据  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR}$ , 得  $\frac{v_{月}}{v_{地}} = \frac{\sqrt{g_2 R_2}}{\sqrt{g_1 R_1}} = \sqrt{\frac{G_2 R_2}{G_1 R_1}}$ , 故 C 错误。根据周期公式  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R^3}{GM}}$  和  $GM = gR^2$ , 所以“嫦娥三号”绕月球表面做匀速圆周运动的周期  $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 R_2^3}{g_2 R_2^2}} = 2\pi \sqrt{\frac{G_1 R_2}{G_2 g_1}}$ , 故 D 正确。

- 8 A、D **[解析]** 由题图知环状物质的线速度  $v$  与它到行星中心的距离  $r$  成正比, 由  $v = \omega r$  得环状物质的角速度相等, 故环状物质是该行星的组成部分; 若是卫星群, 则有  $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ , 则  $v \propto \sqrt{\frac{1}{r}}$ , 不符合题意, 故 A 正确。当  $r = R$  时, 线速度为  $v_0$ , 则行星表面的物质的向心加速度为  $a = \frac{v_0^2}{R}$ , 但并非行星表面的重力加速度, 故 B 错误。 $v_0$  不是卫星的线速度, 故  $\frac{GMm}{R^2} \neq \frac{mv_0^2}{R}$  即  $M \neq \frac{v_0^2 R}{G}$ , 所以 C 错误。行星的自转周期  $T = \frac{2\pi R}{v_0} = \frac{2\pi(R+d)}{v_1}$ , 故 D 正确。

- 9 A、B **[解析]** 平抛运动的时间  $t = \frac{L}{v_0}$ , 再根据  $h = \frac{1}{2} g_{\text{月}} t^2$ , 得  $g_{\text{月}} = \frac{2h}{t^2} = \frac{2hv_0^2}{L^2}$ , 故 A 正确; 在月球表面  $G \frac{M_{\text{月}} m}{R^2} = mg_{\text{月}}$ , 月球的体积  $V = \frac{4\pi R^3}{3}$ , 月球的平均密度  $\rho = \frac{3hv_0^2}{2\pi GL^2 R}$ , 故 B 正确; 月球的第一宇宙速度  $v_1 = \sqrt{g_{\text{月}} R} = \sqrt{\frac{2hv_0^2 R}{L^2}} = \frac{v_0}{L} \sqrt{2hR}$ , 故 C 错误; 根据  $mg_{\text{月}} = \frac{GM_{\text{月}} m}{R^2}$ , 得  $M_{\text{月}} = \frac{g_{\text{月}} R^2}{G} = \frac{2hR^2 v_0^2}{GL^2}$ , 故 D 错误。

- 10 A、D **[解析]** 在轨道 I 上运动, 从 P 点变轨, 可知“嫦娥三号”做近心运动, 在 P 点应该制动减速以减小所需向心力, 通过做近心运动减小轨道半径, 故 A 正确; 除点 P 外, 轨道 II 的半长轴小于轨道 I 的半径, 根据开普勒第三定律可知沿轨道 II 运行的周期小于沿轨道 I 运行的周期, 故 B 错误; 在轨道 II 上运动时, 卫星只受万有引力作用, 在 P 点的万有引力比在 Q 点的小, 故在 P 点的加速度小于在 Q 点的加速度, 故 C 错误; 在轨道 II 上由 P 点运行到 Q 点的过程中, 万有引力对“嫦娥三号”做正功, “嫦娥三号”的速度逐渐增大, 动能增加, 重力势能减少, 机械能不变, 故 D 正确。

- 11  $\frac{1}{9}$  **[解析]** 对于地球的同步卫星  $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r = m \left( \frac{2\pi}{T} \right)^2 r$ , 得  $M = \frac{\omega^2 r^3}{G} = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$ , 地球平均密度  $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3\pi r^3}{GT^2 R^3}$ , 同理, 该星球的平均密度  $\rho' = \frac{3\pi r'^3}{GT'^2 R'^3} = \frac{3\pi(3r)^3}{G(3T)^2 (3R)^3} = \frac{1}{9} \rho$ 。

- 12  $\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{8R_0}} - \omega_0}$  **[解析]** 由万有引力提供向心力得  $\frac{Gm'm_1}{(2R_0)^2} = m_1 \cdot 2R_0 \cdot \omega^2$ , ①  
对近地卫星有  $\frac{Gm'm_2}{R_0^2} = m_2 g$ , ②  
联立①②式得  $\omega = \sqrt{\frac{g}{8R_0}}$ 。则下次通过该建筑物上方所需时间  $\Delta t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{8R_0}} - \omega_0}$ 。

- 13 (1) 万有引力提供卫星做匀速圆周运动的向心力, 有

$$\frac{GMm_A}{R_A^2} = m_A \frac{4\pi^2}{T_A^2} R_A, \frac{GMm}{R^2} = mg,$$

$$\text{可得 } A \text{ 卫星的周期 } T_A = \frac{2\pi R_A}{R} \sqrt{\frac{R_A}{g}}。$$

$$\text{同理可得, } B \text{ 卫星的周期 } T_B = \frac{2\pi R_B}{R} \sqrt{\frac{R_B}{g}}。$$

- (2) 要 B 卫星再次运动到 A 卫星的正上方, 则 A 卫星至少要比 B 卫星多转过  $2\pi$  的角度, 设时间为  $t$ , 则

$$\left( \frac{2\pi}{T_A} - \frac{2\pi}{T_B} \right) t = 2\pi,$$

$$\text{解得 } t = \frac{T_A T_B}{T_B - T_A} = \frac{2\pi R_A R_B \sqrt{R_A R_B}}{R \sqrt{g} (R_B \sqrt{R_B} - R_A \sqrt{R_A})}。$$

- 14 由题意可得行星的轨道半径  $r = R \sin \theta$ , 设行星绕太阳的公转周期为  $T'$ , 由开普勒第三定律有  $\frac{R^3}{T^2} = \frac{r^3}{T'^2}$ 。

行星最初处于最佳观察时期时, 其位置超前于地球, 设经时间  $t$  地球转过  $\alpha$  角后, 该行星再次处于最佳观察期, 由几何关系知行星转过的角度为  $\beta = \pi + \alpha + 2\theta$ , 于是有

$$\frac{2\pi}{T} t = \alpha, \frac{2\pi}{T'} t = \beta, \text{ 解得 } t = \frac{(\pi + 2\theta) \sqrt{\sin^3 \theta}}{2\pi(1 - \sqrt{\sin^3 \theta})} T。$$

- 15 (1) 根据质量、密度、体积间的关系可知, 地球的质量

$$M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3,$$

在地球表面附近, 万有引力与重力近似相等, 即

$$mg = G \frac{Mm}{R^2},$$

$$\text{联立解得地球的平均密度 } \rho = \frac{3g}{4\pi GR}。$$

- (2) 根据牛顿第二定律有  $G \frac{Mm}{(R+h_1)^2} = ma_A$ ,

飞船经过椭圆轨道近地点 A 时的加速度大小

$$a_A = \frac{gR^2}{(R+h_1)^2}。$$

- (3) 飞船在预定圆轨道上飞行时由万有引力提供向心力,

$$\text{有 } G \frac{Mm}{(R+h_2)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h_2),$$

由题意可知, 飞船在预定圆轨道上运行的周期

$$T = \frac{t}{n},$$

联立解得, 椭圆轨道远地点 B 距地面的高度

$$h_2 = \sqrt{\frac{gR^2 t^2}{4n^2 \pi^2}} - R。$$

- 16 (1) 设物体的质量为  $m$ ,

$$\text{① 在北极地面 } F_0 = \frac{GMm}{R^2}, \text{ 在北极上空高出地面 } h \text{ 处 } F_1 =$$

$$\frac{GMm}{(R+h)^2}。 \text{ 所以 } \frac{F_1}{F_0} = \frac{R^2}{(R+h)^2}。$$

$$\text{当 } h = 1.0\% R \text{ 时, } \frac{F_1}{F_0} = \frac{1}{(1+0.01)^2} = 0.98。$$

② 在赤道表面, 物体随地球自转做匀速圆周运动, 受到万有引力和弹簧测力计的拉力, 有

$$G \frac{Mm}{R^2} - F_2 = m \frac{4\pi^2}{T^2} R, \text{ 联立可得 } \frac{F_2}{F_0} = 1 - \frac{4\pi^2 R^3}{GMT^2}。$$

(2)地球绕太阳做匀速圆周运动,受到太阳的万有引力。设太阳的质量为  $M_s$ ,太阳的半径为  $R_s$ ,地球质量为  $M$ ,地球公转周期为  $T_E$ ,则  $G \frac{M_s M}{r^2} = M \frac{4\pi^2}{T_E^2} r$ ,得  $T_E = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM_s}} = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho} \left(\frac{r}{R_s}\right)^3}$ ,其中,  $\rho$  为太阳的密度。由上式可知,地球公转周期  $T_E$  仅与太阳的密度、地球公转轨道半径和太阳半径之比有关,因此,“设想地球”的1年与现实地球的1年时间相同。

## 第6章

### 经典力学与现代物理

#### 6.1 经典力学的巨大成就和局限性

##### 题组A 学考通关测试

→ 正文 P183

1 A

2 《自然哲学的数学原理》 两 三

##### 题组B 高考通关测试

→ 正文 P183

1 A、B、C、D [解析] 经典力学主要以牛顿运动三大定律、万有引力定律为基础,适用于一切宏观、低速的物体。

2 A、D

#### \* 6.2 狭义相对论的基本原理

#### \* 6.3 爱因斯坦心目中的宇宙

##### 题组A 学考通关测试

→ 正文 P187

1 A [解析] 本题考查了相对论的基本知识,对于这类问题的解答重点在于有关基本知识的记忆上。由狭义相对论的基本假设可知 A 项正确。

2 C [解析] 经典力学研究的是低速运动,在低速运动中,物体的质量增大十分微小,可以忽略,即认为物体的质量是不变的;但当物体的速度可以与光速相比时,速度对质量有着较大的影响,爱因斯坦的狭义相对论指出,物体的质量随速度的增大而增大。所以 C 项正确。

3 C [解析] 由相对论知识易得运动方向上的边长变短,垂直运动方向的边长不变, C 项正确。

##### 题组B 高考通关测试

→ 正文 P188

1 D [解析] 根据光速不变原理可知 D 项正确。

2 D [解析] 如果你是在相对于管子静止的参考系中观察运动着的梭镖,那么梭镖看起来就比管子短,在某些位置梭镖会完全处在管子内部。然而当你和梭镖一起运动时,你看到的管子就缩短了,所以在某些位置,你可以看到梭镖两端都伸出管子。又假如你在梭镖和管子之间运动,运动的速度是在梭镖运动的方向上,而大小是其一半,那么梭镖和管子都相对于你运动,且速度的大小一样,你看到这两样东西都缩短了,且缩短的量相同。所以你看的一切都是相对的——依赖于你的参考系。

3 C [解析] 因列车沿 AC 方向接近光速行驶,根据“同时”的相对性,即前边的事件先发生,后边的事件后发生可知 C 先被照亮, C 项正确。

4 32 [解析] 宇航员在运动的飞船上用了  $\Delta t' = 10 \text{ min}$ 。在

地面上用时  $\Delta t = \frac{\Delta t'}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = 32 \text{ min}$ 。

5 根据爱因斯坦的狭义相对论  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ ,得运动后的质

量增大了。  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{6^2 \times 10^{6 \times 2}}{3^2 \times 10^{8 \times 2}}}} = 1.0002 m_0$ ,

故改变了 0.02%。

#### \* 6.4 微观世界与量子论

##### 题组A 学考通关测试

→ 正文 P193

1 A、B [解析] 本题考查对光电效应现象及逸出功概念的理解和对光电效应方程的应用。该金属的极限频率为  $\nu_0$ ,则可知逸出功  $W_0 = h\nu_0$ ,逸出功由金属自身性质决定,与照射光的频率无关,因此 C 项错误;由光电效应的规律可知 A 项正确;由光电效应方程  $E_k = h\nu - W_0$ ,将  $W_0 = h\nu_0$  代入可知 B 项正确, D 项错误;因此本题正确选项为 A、B。

2 A、C [解析] 根据光电效应的条件可知, A 光的频率高于极限频率, B 光的频率小于极限频率,故 A 光的频率大于 B 光的频率, A 项正确;光电管工作时光电子从阴极(右侧)飞向阳极(左侧),由此可知,电路中的电流方向为  $a \rightarrow b$ ,即 C 项正确。

3 正 大于 [解析] 锌板发生光电效应,验电器指针因带正电荷而偏转,毛皮摩擦过的橡胶棒带负电,它接触锌板时,电子与验电器指针上的正电荷中和,而使张角减小;红外线的频率小于锌板的极限频率,因此,照射时不发生光电效应,验电器指针不偏转。

##### 题组B 高考通关测试

→ 正文 P194

1 A [解析]  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{400 \times 10^{-9}} \text{ J} = 4.97 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,大于钙和铯的逸出功,所以表中能产生光电效应的材料最多有 2 种。

2 A、D [解析] 根据光电效应规律可知,增大入射光的强度,光电流增大, A 项正确;减小入射光的强度,光电流减小,并不消失, B 项错误;改用小于  $\nu$  的入射光照射,如果入射光的频率仍然大于光电管阴极金属的极限频率,仍能发生光电效应, C 项错误;由爱因斯坦光电效应方程可知,增大入射光的频率,光电子的最大初动能增大, D 项正确。

3 D [解析] 光是一种波,同时也是一种粒子,光具有波粒二象性。当光和物质作用时,是“一份一份”的,表现出粒子性;单个光子通过双缝后的落点无法预测,但大量光子通过双缝后在空间各点出现的可能性可以用波动规律描述,表现出波动性。粒子性和波动性是光子本身的一种属性,光子说并未否定电磁说。

4 3 [解析] 引起视觉的最小功率为  $P = 1 \times 10^{-12} \mu\text{W} = 1 \times 10^{-18} \text{ W}$ ,每个光子能量  $h\nu = h \frac{c}{\lambda} = 6.63 \times 10^{-34} \times \frac{3 \times 10^8}{5.0 \times 10^{-7}} \text{ J} \approx 4 \times 10^{-19} \text{ J}$ ,又  $Pt = n \cdot h\nu$ ,所以  $n = \frac{Pt}{h\nu} =$

$$\frac{1 \times 10^{-18} \times 1}{4 \times 10^{-19}} \approx 3 \text{ (个)}.$$

## 第6章 单元复习方案

测评·高考模拟卷  $\longrightarrow$  正文 P196

- 1 A [解析] 爱因斯坦借鉴了法国科学家庞加莱的理论, B项错误。狭义相对论并没有否定牛顿力学的原理, 对低速运动的物体牛顿定律仍然适用, C项错误。爱因斯坦提出了能量和质量的对应关系而不是转化关系, D项错误。

2 A

- 3 C [解析] 对于高速运动的物体, 公式  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  不再成立。只有当  $v \ll c$  时,  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  才成立。

4 C [解析] 由  $u = \frac{v+u'}{1+\frac{vu'}{c^2}}$ , 可得  $-\frac{4}{5}c = \frac{\frac{3}{5}c+u'}{1+\frac{3cu'}{c^2}}$ .

解得  $u' = -\frac{35}{37}c$ , 负号说明与  $v$  方向相反。

- 5 A [解析] 由  $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ , 可得  $v \approx 1.25 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。

- 6 C [解析] 爱因斯坦光电效应方程  $E_k = h\nu - W$  中的  $W$  表示从金属表面中直接逸出的光电子克服金属中正电荷引力做的功, 因此是所有逸出的光电子中克服引力做功的最小值。对应的光电子的初动能是所有光电子中最大的, 其他光电子的初动能都小于这个值。若入射光的频率恰好是极限频率, 即刚好能有光电子逸出, 可理解为逸出的光电子的最大初动能是 0, 因此有  $W = h\nu_0$ 。由  $E_k = h\nu - W$  可知  $E_k$  和  $\nu$  之间是一次函数关系, 但不是成正比关系。所以 C 正确。

- 7 C [解析] 由  $E = nh\nu$  得  $n = \frac{E}{h\nu} = \frac{Pt\lambda}{hc} = \frac{1 \times 10^3 \times 1 \times 6.33 \times 10^{-7}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = 3.2 \times 10^{21}$ 。

- 8 A、B、C、D [解析] 根据光速不变原理知 A 项正确; 物体的速度不可能超过光速, B 项正确; 根据相对论原理, 空间和时间都与物体的状态有关, C 项正确; 牛顿力学描述的是宏观低速物体的运动, 是在  $v \ll c$  时的特例, D 项正确。

9 B、D

10 B、D

- 11 A、D [解析] 钟慢效应和尺缩效应是由狭义相对论得到的现象。

- 12 B、C、D [解析] 因为  $t' = \frac{t}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ ,  $t' > t$ , 一个相对我们

做高速运动的惯性系中发生的物理过程, 在我们看来, 它所经历的时间比在这个惯性系中直接观察到的时间长, 惯性系速度越大, 我们观察到的过程所经历的时间越长。

- 13 B、D [解析] 根据光电效应规律, 光电子的最大初动能与入射光频率有关, 光电流的大小与入射光的强度相关。因

紫光频率大于绿光频率, 所以改用强度大一倍的紫光照射阴极, 逸出光电子的最大初动能增大、电流表读数增大。B、D 两项正确。

- 14 8年 0.08年 [解析] 火箭速度约为光速  $c$ , 因此来回需要 8 年。由  $\Delta t = \frac{\Delta\tau}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$ , 可得  $\Delta\tau = \frac{8}{100} \text{ 年} = 0.08 \text{ 年}$ 。

- 15 0.6 m [解析] 由  $L = L_0 \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$  可得。

- 16  $L = L_0 \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ , 则  $\Delta L = L_0 - L = L_0 \left(1 - \sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\right)$ , 代入数据可得: 当  $v_1 = 30 \text{ m/s}$  时, 火车缩短的长度  $\Delta L_1 \approx 5 \times 10^{-13} \text{ m}$ , 当  $v_2 = 2.7 \times 10^8 \text{ m/s}$  时, 火车缩短的长度  $\Delta L_2 \approx 56.4 \text{ m}$ 。

- 17 (1) 设在时间  $\Delta t$  内发射出的光子数为  $n$ , 光子频率为  $\nu$ , 每个光子的能量  $\varepsilon = h\nu$ , 所以  $P_w = \frac{nh\nu}{\Delta t}$  ( $\Delta t = 1 \text{ s}$ )。而  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , 解得

$$n = \frac{P_w \Delta t \cdot \lambda}{hc} = \frac{60 \times 1 \times 663 \times 10^{-9}}{6.63 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8} = 2.0 \times 10^{20} \text{ (个)}.$$

(2) 在时间  $\Delta t$  内激光管发射出的光子全部被黑体表面吸收, 光子的末动量变为零, 据题中信息可知,  $n$  个光子的总动量为  $p_{\text{总}} = np = n \frac{h}{\lambda}$ 。

根据动量定理有  $F\Delta t = p_{\text{总}}$ , 则  $F = \frac{p_{\text{总}}}{\Delta t} = \frac{nh}{\lambda \Delta t} = \frac{nh\nu}{\lambda \nu \Delta t} = \frac{P_w}{c} = \frac{60}{3 \times 10^8} \text{ N} = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$ , 又根据牛顿第三定律, 光束对黑体表面的作用力大小为  $F' = F = 2 \times 10^{-7} \text{ N}$ 。

### 模块备考方略

测评·高考模拟卷  $\longrightarrow$  正文 P211

- 1 C [解析] 将与质点速度方向相反的作用力  $F$  旋转  $90^\circ$  时, 该力与其余力的合力夹角为  $90^\circ$ , 这时质点所受的合力大小为  $\sqrt{2}F$ , 方向与速度的夹角为  $45^\circ$ , 质点受力的方向与运动的方向之间的夹角是锐角, 所以质点做速度增大的曲线运动, 故 A、B 错误; 根据牛顿第二定律得加速度  $a = \frac{\sqrt{2}F}{m}$ , 所以质点做匀变速曲线运动, 故 C 正确, D 错误。

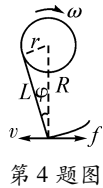
- 2 D [解析] 小球在运动的过程中只受到重力和绳子的拉力, 其运动类似于单摆, 可知小球在从 A 到 B 运动的过程中其速度随时间的变化是按正弦的规律变化, 故 A 选项错误; 小球的功能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = mgh$ , 可知小球的动能与下降的高度成正比, 故 B 选项错误, D 选项正确; 小球的机械能不变, 所以小球的重力势能  $E_p = E_0 - E_k = mgL - mgh$ , 由此可得出小球的重力势能与下降高度呈线性关系, 且随下降高度的增大而减小, C 选项错误。

- 3 C [解析] 小球在最低点时轻绳的拉力为  $F_1$ , 设小球速度为  $v_1$ 。则  $F_1 - mg = m \frac{v_1^2}{r}$ , 小球在最高点轻绳的拉力为  $F_2$ ,



设小球速度为  $v_2$ , 则  $F_2 + mg = m \frac{v_2^2}{r}$ , 由机械能守恒定律得  $mg \cdot 2r + \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2}mv_1^2$ , 解得  $g = \frac{F_1 - F_2}{6m}$ , 又  $F_1 = 7F_2$ , 所以该星球表面的重力加速度为  $\frac{F_1}{7m}$ , 故 A 错误。根据万有引力提供向心力得  $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$ , 该星球的第一宇宙速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ , 故 B 错误。在星球表面, 万有引力近似等于重力, 即  $\frac{GMm'}{R^2} = m'g$ , 解得  $M = \frac{F_1 R^2}{7Gm}$ , 星球的密度  $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3} = \frac{3F_1}{28\pi GmR}$ , 故 C 正确。小球在最高点受重力和绳子拉力, 根据牛顿运动定律得  $F_2 + mg = m \frac{v_2^2}{R} \geq mg$ , 所以小球在最高点的速度为  $\sqrt{gR}$ , 故 D 错误。

**4 B** **[解析]** 手握细绳做的是匀速圆周运动, 所以在细绳另外一端的小球做的也是匀速圆周运动, A 错误; 设大圆的半径为  $R$ , 由图可知  $R = \sqrt{r^2 + L^2}$ , 则小球做圆周运动的线速度为  $\omega \sqrt{r^2 + L^2}$ , C 错误; 设细绳中的张力为  $T$ , 则  $T \cos \varphi = mR\omega^2$ ,  $\cos \varphi = \frac{L}{R}$ , 故  $T = \frac{m\omega^2 R^2}{L} = \frac{m\omega^2 (r^2 + L^2)}{L}$ , D 错误; 根据摩擦力公式可得  $f = \mu mg = T \sin \varphi$ , 由于  $T = \frac{m\omega^2 (r^2 + L^2)}{L}$ ,  $\sin \varphi = \frac{r}{R} = \frac{r}{\sqrt{r^2 + L^2}}$ , 所以  $\mu = \frac{\omega^2 r \sqrt{r^2 + L^2}}{gL}$ , B 正确。

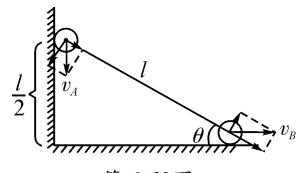


第 4 题图

**5 A** **[解析]** 根据牛顿第二定律得, 物块 B 上滑的加速度大小  $a = \frac{mg \sin \theta}{m} = g \sin \theta$ , 物块 B 上滑的最大位移为  $x = \frac{v_B^2}{2a} = \frac{v_B^2}{2g \sin \theta}$ , 运动时间  $t_B = \frac{v_B}{a} = \frac{v_B}{g \sin \theta}$ ; 对于小球 A, 有  $h - x \sin \theta = \frac{1}{2}gt^2$ , 因为  $t = t_B = \frac{v_B}{g \sin \theta}$ , 所以联立得  $h - \frac{v_B^2}{2g \sin \theta} \cdot \sin \theta = \frac{1}{2}g \left( \frac{v_B}{g \sin \theta} \right)^2$ , 解得物块 B 沿斜面上滑的初速度为  $v_B = \sqrt{\frac{2gh \sin^2 \theta}{1 + \sin^2 \theta}}$ , 故 A 正确。物块 B 沿斜面上滑的高度为  $H = x \sin \theta = \frac{v_B^2}{2g \sin \theta} \cdot \sin \theta = \frac{\sin^2 \theta}{1 + \sin^2 \theta} h$ , 故 B 错误。小球 A 在空中运动的时间  $t = \sqrt{\frac{2(h - x \sin \theta)}{g}} < \sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 故 C 错误。运动时间  $t = \frac{v_B}{g \sin \theta} = \sqrt{\frac{2h}{g(1 + \sin^2 \theta)}}$ , 小球 A 水平抛出时的初速度为  $v_0 = \frac{x \cos \theta}{t}$ , 联立解得  $v_0 = \sin \theta \cos \theta \sqrt{\frac{gh}{2(1 + \sin^2 \theta)}}$ , 故 D 错误。

**6 C** **[解析]** 设小球 A 向下的速度为  $v_A$ , 小球 B 水平向右的速度为  $v_B$ , 则它们沿杆方向的分速度是相等的, 即

$v_A \sin 30^\circ = v_B \cos 30^\circ$ , 得  $v_A = \sqrt{3}v_B$ , 选项 B 错误; 又因为杆下滑时机械能守恒, 故  $mg \cdot \frac{l}{2} = \frac{1}{2}mv_A^2 + \frac{1}{2}mv_B^2$ , 联立解



第 6 题图

得  $v_A = \frac{1}{2}\sqrt{3gl}$ ,  $v_B = \frac{1}{2}\sqrt{gl}$ , 选项 C 正确; 对 A 由动能定理得  $W_{\text{杆}} + \frac{1}{2}mgl = \frac{1}{2}mv_A^2$ , 解得  $W_{\text{杆}} = -\frac{1}{8}mgl$ , 选项 A 错误。

**7 A、D** **[解析]** 由速度的合成与分解知, A、B 两球沿绳方向的分速度相等, 则  $v \cos \alpha = v_B \cos \beta$ , 可得  $v_B = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} v$ , A 正确, B 错误; 在 A 球向左匀速运动的过程中,  $\alpha$  减小、 $\beta$  增大, 故在  $\beta$  增大到  $90^\circ$  的过程中, B 球做加速运动, C 错误, D 正确。

**8 A、C** **[解析]** 当转台的角速度比较小时, 物块只受重力、支持力和摩擦力, 当细绳恰好要产生拉力时  $\mu mg = m\omega_1^2 l \sin 30^\circ$ , 解得  $\omega_1 = \sqrt{\frac{2\mu g}{3l}}$ , 随角速度的增大, 细绳上的拉力增大, 当物块恰好要离开转台时, 物块受到重力和细绳的拉力的作用,  $mg \tan 30^\circ = m\omega_2^2 l \sin 30^\circ$ , 解得  $\omega_2 = \sqrt{\frac{2\sqrt{3}g}{3l}}$ , 由于  $\omega_1 < \sqrt{\frac{3g}{4l}} < \omega_2$ , 所以当  $\omega = \sqrt{\frac{3g}{4l}}$  时, 物块与转台间的摩擦力不为零, 故 B 错误; 由于  $\sqrt{\frac{g}{2l}} < \omega_1$ , 所以当  $\omega = \sqrt{\frac{g}{2l}}$  时, 细绳的拉力为零, 故 A 正确; 由于  $\omega_1 < \sqrt{\frac{g}{l}} < \omega_2$ , 由牛顿第二定律得  $f + F \sin 30^\circ = m \left( \sqrt{\frac{g}{l}} \right)^2 l \sin 30^\circ$ , 因为压力小于  $mg$ , 所以  $f < \frac{1}{3}mg$ , 解得  $F > \frac{1}{3}mg$ , 故 D 错误; 当  $\omega = \sqrt{\frac{4g}{3l}} > \omega_2$  时, 物块已经离开转台, 细绳的拉力与重力的合力提供向心力, 则  $mg \tan \alpha = m \left( \sqrt{\frac{4g}{3l}} \right)^2 l \sin \alpha$ , 解得  $\cos \alpha = \frac{3}{4}$ , 故  $F = \frac{mg}{\cos \alpha} = \frac{4}{3}mg$ , 故 C 正确。

**9 A、B、C** **[解析]** 当  $\omega$  较小时, 绳子 BP 在水平方向的分力可以提供向心力, 此时绳子 AP 松弛, 没有拉力, 当  $\omega$  超过某值时, 绳子 AP 拉直后, 绳子 AP 才有力的作用, 故 A 正确;  $\omega$  增大, 所需的向心力增大, 绳子 BP 的拉力一直增大, 故 B 正确; 当绳子 AP 没有拉直时, 绳子 AP 拉力等于零, 绳子 BP 有拉力, 当绳子 AP 拉直时, 有  $T_{BP} \cos \theta = mg + T_{AP} \cos \theta$ ,  $\theta$  为两绳与竖直方向的夹角, 可知绳子 BP 的拉力一定大于绳子 AP 的拉力, 故 C 正确, D 错误。

**10 A、B、D** **[解析]** 以 B 环为研究对象, 分析其受力, 根据力的三角形和  $\triangle PBO$  相似可得,  $\frac{T}{PB} = \frac{mg}{PO}$ ,  $PO$  不变,  $PB$  减小, 则绳子的拉力  $T$  慢慢减小, 则  $F$  减小, 故 A 正确。根据功能关系可知, 外力  $F$  所做的功等于 A、B 组成的系统机械能的增加量, 缓慢拉动 A, 则 A 的动能不变, A 的高度不变, 重力势能不变, 则 A 的机械能不变, 所以外力  $F$  所做的功

等于B环机械能的增加量,故B正确。若F为恒力,则B环能运动到D点且速度不为零,B环在经过D点之后将会沿半圆形轨道运动至右侧最低点,然后沿轨道返回左侧最低点,之后将重复运动,故C错误。当P、B之间的绳与半圆形轨道相切时, $v_B = v_A$ ,根据数学知识有 $\sin \angle OPB = \frac{R}{h}$ ,故D正确。

11 (1)重物做自由落体运动 2 mm

(2)0.59 m/s 0.174 J 0.175 J 在实验误差允许的范围内,重物动能的增加量等于重力势能的减少量

**【解析】**(1)自由下落的重物在第一个0.02 s内,下落的距离 $h_0 = \frac{1}{2}gT^2 = 2$  mm。

(2) $v_B = \frac{h_{AC}}{2T} = \frac{(31.4 - 7.8) \times 10^{-3}}{2 \times 0.02}$  m/s = 0.59 m/s,  $E_k = \frac{1}{2}mv_B^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 0.59^2$  J = 0.174 J,  $\Delta E_p = mgh = 1 \times 9.8 \times 17.9 \times 10^{-3}$  J = 0.175 J。

12 (1)A、B、C (2) $\frac{mgs^2}{4h}$  (3)减小 增大 二

**【解析】**(1)小球抛出时的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$ ,要求得 $v_0$ 需用平抛知识, $s = v_0t, h = \frac{1}{2}gt^2$ 。根据 $s、h、g$ ,求得 $v_0 = s\sqrt{\frac{g}{2h}}$ ,因此,需测量小球质量 $m$ 、桌面高度 $h$ 及落地水平距离 $s$ 。

(2)小球抛出时的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{mgs^2}{4h}$ 。

(3)弹簧的弹性势能 $E_p = E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{mgs^2}{4h}$ ,

即 $s = 2\sqrt{\frac{hE_p}{mg}}$ ,根据题给的直线关系可知, $s$ 与 $\Delta x$ 成正比,而 $E_p$ 与 $s^2$ 成正比,故 $E_p$ 应与 $\Delta x$ 的二次方成正比,则 $s \propto 2\sqrt{\frac{h}{mg}\Delta x}$ , $s - \Delta x$ 图线的斜率正比于 $\sqrt{\frac{h}{mg}}$ ,如果 $h$ 不变, $m$ 增加, $s - \Delta x$ 图线的斜率将会减小;如果 $m$ 不变, $h$ 增加,则 $s - \Delta x$ 图线的斜率会增大。

13 (1)已知 $v = 54$  km/h = 15 m/s,

列车在匀速阶段的位移为 $x = vt_2 = 1500$  m。

列车匀速运动过程中克服阻力所做的功为

$$W = fx = 1.5 \times 10^8 \text{ J}。$$

(2)设列车匀减速阶段的加速度大小为 $a'$ ,由牛顿第二定律有 $f = ma'$ ,

$$\text{又 } a' = \frac{v}{t_3},$$

解得 $m = 8 \times 10^4$  kg。

(3)设列车在匀加速阶段的加速度大小为 $a$ ,由牛顿第二定律有 $F - f = ma$ ,

$$\text{又 } a = \frac{v}{t_1},$$

该阶段牵引力的平均功率为 $\bar{P} = F \frac{v}{2}$ ,

解得 $\bar{P} = 1.65 \times 10^6$  W。

14 (1) $m_1、m_2$ 组成的系统机械能守恒, $m_1$ 下落的高度为 $R$ ,

$m_2$ 上升的高度为 $\sqrt{2}R$ ,设 $m_1$ 经过圆弧最低点时 $m_1、m_2$ 的速度分别为 $v_1、v_2$ 。由速度的合成, $v_1、v_2$ 的关系为

$$\sin 45^\circ = \frac{v_2}{v_1}, \text{由机械能守恒得 } m_1gR - m_2g\sqrt{2}R = \frac{1}{2}m_1v_1^2 +$$

$$\frac{1}{2}m_2v_2^2, \text{解得 } v_1 = 2\sqrt{\frac{(m_1 - \sqrt{2}m_2)gR}{2m_1 + m_2}}。$$

(2)水平方向: $x = vt$ , 竖直方向: $2R = \frac{1}{2}gt^2$ , 联立解得 $x =$

$$4R\sqrt{\frac{m_1 - \sqrt{2}m_2}{2m_1 + m_2}}。$$

(3) $m_1$ 能到达A点,说明 $m_1$ 到达A点时满足 $v_A \geq 0$ ,即

$$2\sqrt{\frac{(m_1 - \sqrt{2}m_2)gR}{2m_1 + m_2}} \geq 0, \text{解得 } m_1 \geq \sqrt{2}m_2。$$

15 (1)A到B的过程,由动能定理得

$$mgR(1 - \cos 60^\circ) - W_{F_f} = \frac{1}{2}mv_B^2。$$

代入数据解得 $W_{F_f} = 0.55$  J。

(2)滑块在传送带上受到向左的摩擦力,当滑块恰好不从右端离开传送带时,由动能定理得 $-\mu mgl = 0 - \frac{1}{2}mv_B^2$ 。

解得 $\mu = \frac{v_B^2}{2gl} = 0.3$ 。即 $\mu$ 至少为0.3时滑块不从右端滑离传送带。

(3)滑块向右运动加速度大小 $a = \frac{\mu mg}{m} = 6$  m/s<sup>2</sup>。

滑块向右运动的最大距离 $s_1 = \frac{v_B^2}{2a} = 0.75$  m。

滑块运动时间 $t = \frac{v_B}{a} = 0.5$  s。

传送带向左运动的距离 $s_2 = vt = 2$  m。

则摩擦产生的热量 $Q = F_f l_{\text{相对}} = \mu mg(s_1 + s_2) = 1.65$  J。

16 (1)“小球刚好能沿DEN轨道滑下”,说明在轨道最高点D

点必有 $mg = m \frac{v_D^2}{r}$ 。从D点到N点,由机械能守恒得

$$\frac{1}{2}mv_D^2 + mg \times 2r = \frac{1}{2}mv_N^2, \text{联立以上两式并代入数据得}$$

$$v_D = 2 \text{ m/s}, v_N = 2\sqrt{5} \text{ m/s}。$$

(2)弹簧推开小球过程中,弹簧对小球所做的功 $W$ 等于弹簧所具有的弹性势能 $E_p$ ,根据动能定理有 $W - \mu mgL +$

$mgh = \frac{1}{2}mv_D^2 - 0$ ,代入数据得 $W = 0.44$  J。即压缩的弹簧具有的弹性势能为0.44 J。