



详
解
码
详
获
析
取

第五章 抛体运动

1 曲线运动

1. C 【解析】曲线运动的速度方向沿着轨迹的切线方向,故 C 正确。
2. C 【解析】因施加的拉力方向未知,小球可能做直线运动,也可能做曲线运动,故 A、B、D 错误;根据牛顿第二定律可知,小球一定做匀变速运动,故 C 正确。
3. B 【解析】质点做曲线运动时,速度的方向一定是改变的,那么速度也就一定在变化,但是合力不一定改变,所以加速度不一定改变,而加速度不变的曲线运动叫匀变速曲线运动,故 A、C、D 错误,B 正确。
4. B 【解析】曲线运动也可能是匀变速运动,受到恒定的合力且速度与合力不共线即可,选项 A 错误;曲线运动的速度方向一定变化,速度大小不一定变化,所以曲线运动一定是变速运动,选项 B 正确,选项 C、D 错误。
5. D 【解析】墨水应沿陀螺边缘的切线方向飞出,A、B 错误;因陀螺沿顺时针方向匀速转动,故 C 错误,D 正确。
6. B 【解析】做曲线运动的物体的速度方向沿切线方向,加速度方向指向运动轨迹凹侧,故 B 正确。
7. D 【解析】从左向右运动,速度的方向为轨迹的切线方向,小车做曲线运动时合力指向轨迹的内侧,且与速度方向成锐角时,动能增加。
8. C 【解析】飞镖在空中飞行时做曲线运动,则速度方向与合力方向不共线,即速度方向与合力方向不相同,也不相反,选项 A、B 错误;飞镖插入泥土的方向就是飞镖落地时的速度方向,选项 C 正确,D 错误。
9. C 【解析】在匀变速曲线运动中,物体在垂直于合力方向上的分速度不变,即速度方向永远不会与合力方向共线,故 B 项正确;由轨迹弯曲方向可知,恒力 F 的方向一定位于直线 Bb 下方,则 $-F$ 方向位于 Bb 上方,则物体可能沿 Bc 曲线运动而不可能沿 Ba 运动,A 项正确,C 项错误;若物体沿原曲线由 B 返回到 A ,则一方面要求恒力仍指向轨迹内侧即方向位于 Bb 线下方,再一方面在 B 点的速度方向应反向即沿 B 点轨迹切线指向 A 侧,故 D 项正确。
10. D 【解析】做曲线运动的物体的速度沿曲线的切线方向,所以速度方向时刻改变,故 A 错误;做曲线运动的物体一定受到力的作用,当物体所受到的合力为恒力时,物体的加速度恒定,速度均匀变化,B 错误;物体在 a 点的速度方向沿曲线在 a 点的切线方向,C 错误;做曲线运动的物体的位移大小一定小于路程,D 正确。
11. ABC 【解析】因 x 为由 B 到 A 的位移,则 $\frac{x}{t}$ 表示质点从 B 点运动到 A 点过程的平均速度,选项 A 正确;质点从 B 点运动到 A 点的过程,平均速度方向与位移方向相同,则平均速度的方向由 B 点指向 A 点,选项 B 正确;若 B 点越接近 A 点,则 t 越短,则 $\frac{x}{t}$ 越接近质点在 A 点时的瞬时速度,选项 C 正确; $A'A$ 的方向是质点在 A 点的瞬时速度方向,质点做曲线运动,则速度方向与合力方向不共线,则质点经过 A 点时所受合力不可能沿着 $A'A$ 的方向,选项 D 错误。
12. BC 【解析】弧旋球的运动轨迹是曲线,根据物体做曲线运动的条件可知,球所受的合力方向指向弯曲轨迹的内侧,且曲线运动的速度方向沿轨迹的切线方向,选项 B、C 正确,A、D 错误。

13. C 【解析】小球做曲线运动的速度方向沿所在位置的切线方向,故 A 正确;小球离开 C 点后,所受合力方向与速度方向在一条直线上,所以小球做直线运动,故 B 正确;拆去 5、6 或 3、4、5、6 塑料板,小球将沿离开时的速度方向做直线运动,故 C 错误,D 正确。
14. D 【解析】小球在光滑的水平面上以速度 v_0 向右运动,给小球一个向北的水平恒力,根据曲线运动的条件,合力指向运动轨迹的凹侧,且速度的方向沿着轨迹的切线方向,故 D 正确,A、B、C 错误。

2 运动的合成与分解

第 1 课时 运动的合成与分解一般规律

1. A 【解析】两个分运动相互独立,互不影响,两次的运动时间相等, $t_1=t_2$,故选 A。
2. A 【解析】当合速度的方向与合力(合加速度)的方向不在同一条直线上时,物体将做曲线运动,且轨迹夹在速度与合力方向之间,合力的方向指向轨迹的凹侧,而本题蜡烛块竖直向上做匀速直线运动,水平向右做匀加速直线运动,因此蜡烛块将做匀变速曲线运动,合力水平向右,指向凹侧,故符合要求的轨迹是曲线 1,A 正确。
3. C 【解析】根据题意可知,两个速度夹角为 60° ,根据速度合成可知,合速度为 $v_{\text{实际}}=2v\cos 30^\circ=\sqrt{3}v$,故选 C。
4. B 【解析】本题易错之处是误认为风的实际速度方向是正南,却不知道人感觉到的风的方向是风对人的速度方向。将风速 v 沿正东和正南方向分解,分速度分别为 v_1 、 v_2 ,则 $v_1=10\text{ m/s}$, $v_2=10\text{ m/s}$, $v=\sqrt{v_1^2+v_2^2}=10\sqrt{2}\text{ m/s}$,方向为东偏南 45° ,只有选项 B 正确。
5. C 【解析】笔尖同时参与了竖直向上的匀速直线运动和水平向右初速度为零的匀加速直线运动,合初速度竖直向上,合加速度水平向右,笔尖相对于黑板的运动即实际运动,由于笔尖的合加速度恒定,所以笔尖做匀变速运动,笔尖的合初速度与合加速度不在同一直线上,所以笔尖的轨迹是曲线,笔尖做匀变速曲线运动,故 A、B、D 错误,C 正确。
6. D 【解析】由题图可知质点在 x 轴方向上做匀加速直线运动,在 y 轴方向做匀速直线运动,合力的方向沿 x 轴方向,在 x 轴方向上的初速度为 3 m/s ,在 y 轴方向上的速度为 -4 m/s ,则初速度 $v_0=\sqrt{3^2+(-4)^2}\text{ m/s}=5\text{ m/s}$,初速度方向不沿 x 轴方向,所以质点做匀变速曲线运动,故 A 错误,D 正确;质点在 x 轴方向上的加速度为 $a_x=1.5\text{ m/s}^2$, y 轴方向上的加速度为零,则合加速度为 $a=1.5\text{ m/s}^2$,所以合力为 $F=ma=4\times 1.5\text{ N}=6\text{ N}$,故 B 错误;2 s 末在 x 轴方向上的速度为 $v_x=6\text{ m/s}$,在 y 轴方向上的速度为 $v_y=-4\text{ m/s}$,则合速度 $v=\sqrt{6^2+(-4)^2}\text{ m/s}>6\text{ m/s}$,故 C 错误。
7. D 【解析】开始时沿题图 x 轴的正方向做匀速运动,具有沿 x 轴正方向的速度,开启 P_1 一段时间,则探测器将沿 x 轴的正方向加速,关闭 P_1 后开启 P_2 或 P_4 ,探测器将在四或一象限做曲线运动,故 A、B 错误;开启 P_3 一段时间,则探测器将沿 x 轴的正方向减速,如速度减为 0,关闭 P_3 后再开启 P_2 ,则探测器将向 y 轴负方向运动,故 C 错误;开启 P_3 一段时间,则探测器将沿 x 轴的正方向减速,如速度减为 0,关闭 P_3 后再开启 P_4 ,则探测器将向 y 轴正方向运动,故 D 正确。
8. A 【解析】根据运动的合成和分解可知,斜劈垂直于斜边的

加速度 $a_1 = a \sin \frac{\theta}{2}$, 设立方体加速度为 a_2 , 则立方体垂直于斜边的加速度为 $a_3 = a_2 \cos \frac{\theta}{2}$, 又 $a_1 = a_3$, 联立可得 $a_2 = a \tan \frac{\theta}{2}$, 故选 A.

9. (1) $y = \sqrt{\frac{2v_0^2}{a}}x$ (2) $\sqrt{v_0^2 + a^2 t^2}$ (3) 合运动与分运动具有等效性 合运动与分运动的时间相等

【解析】(1) 红蜡块沿水平 x 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动, 有

$$x = \frac{1}{2}at^2$$

沿 y 轴方向做匀速直线运动, 有 $y = v_0 t$

整理上面两个式子, 轨迹方程为 $y = \sqrt{\frac{2v_0^2}{a}}x$

(2) 沿水平 x 轴方向做初速度为零的匀加速直线运动, 有 $v_x = at$

沿 y 轴方向做匀速直线运动, 有 $v_y = v_0$

整理上面两个式子, 得到 $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + a^2 t^2}$

(3) ①运动的合成和分解都遵循平行四边形定则

②合运动与分运动具有等效性

③合运动与分运动的时间相等

10. BCD 【解析】如图所示, 橡皮参与了斜向上方向上的初速度为零的匀加速直线运动和竖直方向上的初速度为零的匀加速直线运动, 两个运动的合运动仍然是匀加速直线运动, 故 A 错误, B 正确; 如图所示, 根据速度的合成可知, 橡皮的合速度是由 v_1 与 v_2 合成得到的, 由于这两个速度大小相等, 结合几何知识可知, 橡皮的速度方向始终与水平方向成 60° 角, 故 C 正确; t_0 时间内, 斜向上的位移大小

为 $x_1 = \frac{1}{2}at_0^2$, 而竖直方向的位移大小也

为 $x_1 = \frac{1}{2}at_0^2$, 因此由矢量的合成法则可知, 橡皮距离出发点的距离为 $\frac{\sqrt{3}}{2}at_0^2$, 故 D

正确.

11. (1) 质点在 x 轴方向上做匀加速直线运动, y 轴方向上做匀速直线运动 (2) (5 m, 5 m) (3) $y^2 + 20y - 25x = 0$

【解析】(1) 质点在 x 轴方向上做匀加速直线运动, y 轴方向上做匀速直线运动;

(2) 加速度为 $a = \frac{8-4}{2} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$

横坐标为 $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2 = 4 \times 1 \text{ m} + \frac{1}{2} \times 2 \times 1^2 \text{ m} = 5 \text{ m}$

纵坐标为 $y = 5 \text{ m}$

该质点的位置坐标为 (5 m, 5 m);

(3) 在 x 轴方向有 $x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$

根据图像得 $v_0 = 4 \text{ m/s}$

解得 $x = 4t + t^2$

在 y 轴方向有 $y = \frac{10}{2}t = 5t$

该质点运动的轨迹方程为 $y^2 + 20y - 25x = 0$

第 2 课时 运动的合成与分解常见模型

1. C 【解析】依题意, 渡船参与两个分运动, 沿船头方向的匀速直线运动和沿水流方向的匀速直线运动, 根据运动的合成与分解可知, 其合运动为匀速直线运动, 所以渡江的轨迹可能为图中的③, 故选 C.

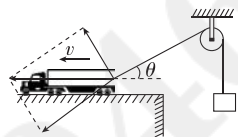
2. B 【解析】如果救生员仍按原方向前进, 由分运动的独立性

和分运动与合运动的的同时性可知到对岸的时间不变, 故 A、D 错误; 为了能游到被困人员处, 要消除水流的影响, 救生员游速方向应该向上游调整, 故 B 正确; 水流速度变大, 救生员的合速度方向改变, 救生员的轨迹不再是原来的直线, 故 C 错误.

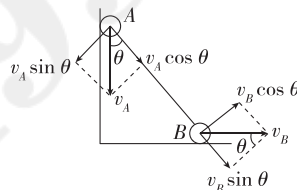
3. AD 【解析】皮划艇船头对着河正对岸时, 皮划艇垂直河岸的分速度 $v_{\text{垂}}$ 最大, 河宽 d 一定, 由 $t = \frac{d}{v_{\text{垂}}}$ 可知此时过河时间最短, 故 A 正确; 当 $v < v_0$ 时, 由三角形定则可知皮划艇不能到达河的正对岸, 故 B 错误; 当船头方向不变时, 根据运动的独立性可知, 若水流速度增大, 过河时间不变, 故 C 错误; 若皮划艇能到达河的正对岸, 则合速度为 $v_{\text{合}} = \sqrt{v^2 - v_0^2}$, 过河

时间为 $t = \frac{d}{\sqrt{v^2 - v_0^2}}$, 故 D 正确.

4. BC 【解析】对汽车的速度进行分解, 可知重物上升的速度为 $v_1 = v \cos \theta$, 汽车运动过程中 θ 逐渐减小, 可知重物上升的速度逐渐增大, 故选 B、C.

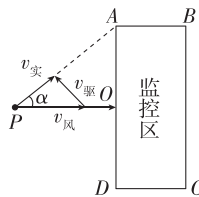


5. C 【解析】当杆与竖直方向的夹角为 θ 时, 根据运动的分解, 如图所示, 沿杆方向两分速度大小相等, 则 $v_A \cos \theta = v_B \sin \theta$, 即 $v_A = v_B \tan \theta$, 当 $\theta = 45^\circ$ 时, 可得 $v_A = v_B$, 故选 C.



6. AB 【解析】小船垂直河岸渡河, 由平行四边形定则得 $v_{\text{水}} = v_1 \cos \theta = 3 \text{ m/s}$, A 正确; 由小船在垂直河岸方向做匀速直线运动可知, 河宽为 $d = v_1 \sin \theta \cdot t = 240 \text{ m}$, B 正确; 小船船头指向正对岸时, 渡河时间最短, 最短时间为 $t_{\text{min}} = \frac{d}{v_1} = 48 \text{ s}$, C 错误; 小船以最短的时间渡河的位移为 $x = v t_{\text{min}} = \sqrt{v_1^2 + v_{\text{水}}^2} \cdot t_{\text{min}} = 48 \sqrt{34} \text{ m}$, D 错误.

7. A 【解析】如图所示, 要恰好避开监控区, 气球可能沿着 PA 运动. 根据三角形定则可知, 最小的驱动速度 $v_{\text{驱}} = v_{\text{风}} \sin \alpha$, 而 $\sin \alpha = \frac{100}{\sqrt{100^2 + 150^2}} = \frac{2}{\sqrt{13}}$, 解得 $v_{\text{驱}} = 2 \text{ m/s}$, 故 A 正确, B、C、D 错误.



8. CD 【解析】放出的箭垂直于马运动方向发射时, 箭运行时间最短, 最短时间 $t = \frac{d}{v_2}$, 则箭在沿马运动方向上的位移为 $x =$

$v_1 t = \frac{v_1 d}{v_2}$, 所以放箭处到目标的距离为 $s = \sqrt{d^2 + \left(\frac{v_1 d}{v_2}\right)^2} = \frac{d \sqrt{v_1^2 + v_2^2}}{v_2}$, 故 A 错误, C、D 正确; 只有箭垂直于马运动方向发射且击中侧向的固定目标, 箭在空中运动的合速度的大小才是 $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$, 故 B 错误.

9. (1) 25 s (2) 37° 41.7 s (3) 2.5 m/s

【解析】(1) 当船头方向垂直河岸时, 渡河时间最短, 则最短时

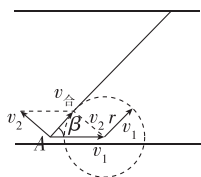
间为

$$t = \frac{d}{2v_2} = 25 \text{ s}$$

(2) 水速大于船速, 小船不能垂直河岸过河, 设船航行的速度方向与下游河岸夹角为 β , 则航程

$$x = \frac{d}{2\sin\beta}$$

则 β 角越大, 航程越短, 当 β 角最大时, 航程最短, 船头指向如图



根据几何关系可知 $\sin\beta = \frac{v_2}{v_1} = \frac{4}{5}$

则 $\beta = 53^\circ$

则船头的方向与上游河岸成 37° 角, 此时, 航行的位移为 $x =$

$$\frac{d}{2\sin\beta} = 125 \text{ m}$$

船航行的速度 $v_{\text{合}} = \sqrt{v_1^2 - v_2^2} = 3 \text{ m/s}$

所用时间为 $t = \frac{x}{v_{\text{合}}} = 41.7 \text{ s}$

(3) 小船恰好避开危险区沿直线到达对岸, 设合速度与水流速度的夹角为 α , 即有 $\tan\alpha = \frac{100}{100\sqrt{3}}$

$$\tan\alpha = \frac{100}{100\sqrt{3}}$$

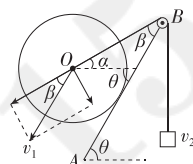
则 $\alpha = 30^\circ$

小船在河水中运动时, 当小船在静水中的速度与合速度垂直时, 小船在静水中的速度最小, 为

$$v_{\min} = v_1 \sin\alpha = 2.5 \text{ m/s}$$

10. C 【解析】依题意, 为了使割下的玻璃都成规定尺寸的矩形, 则割刀相对于玻璃的运动速度应垂直玻璃, 即当割刀沿玻璃运动方向移动的分速度等于玻璃移动的速度时, 则每次割下的玻璃都成规定尺寸的矩形, 根据题图可知割刀相对地的速度方向可能沿方向 3, 故选 C.

11. D 【解析】将大球的速度沿轻绳方向和与轻绳垂直方向进行分解, 如图所示, 由几何关系得 $\beta = \theta - \alpha = 30^\circ$, 则物块的速度大小 $v_2 = v_1 \cos\beta = \frac{\sqrt{3}}{2}v_1$, 故 D 正确.



3 实验: 探究平抛运动的特点

1. B 【解析】甲图中, 两球同时落地, 说明平抛小球在竖直方向上做自由落体运动, B 正确, A 错误; 乙图中, 两球恰能相遇, 说明平抛小球在水平方向上做匀速直线运动, C、D 错误.

2. (1)BD (2)C

【解析】(1) 为了保证小球做平抛运动, 斜槽末端必须水平, 为了让小球每次做同样的平抛运动, 小球每次应从同一位置由静止释放, 小球在每次运动中所受的摩擦力都相同, 故不需要斜槽轨道光滑, A 错误; 为了得出更符合实际的轨迹, 应描出尽量多的点, 但不需要把所有的点都连接起来, 个别偏差过大的点应舍去, B 正确, C 错误; y 轴的方向根据铅垂线确定, D 正确.

(2) 斜槽末端是水平的, 小球做平抛运动, 要分解为水平方向和竖直方向的分运动, 故方格纸应该竖直放置, 且斜槽末端在木板上的投影也必须在坐标纸上, 故 C 正确, A、B、D 错误.

3. (1)B (2)ACD (3) $x_4 - x_3 = x_3 - x_2 = x_2 - x_1 = x_1$ D

【解析】(1) 该实验需要使用重垂线确定 y 轴位置, 选项 B 正确; 弹簧测力计和打点计时器用不到, 选项 A、C 错误.

(2) 每次必须由同一位置静止释放小球, 以保证每次轨迹都相同, A 正确; 为了提高实验精度, 使曲线更接近于真实平抛运动轨迹, 应尽量多记录点, 但不需要每次等距离下降, B 错误, D 正确; 小球运动时如果和白纸相接触, 就会有摩擦力影响, 小球轨迹不再是平抛运动轨迹, 所以小球运动时不应与木板上的白纸接触, C 正确.

(3) 若小球在水平方向上匀速运动, 则每两个位置间的水平间距应相等, 即 $x_1 = x_2 - x_1 = x_3 - x_2 = x_4 - x_3$. 使用距离较远的点进行计算, 误差会较小, D 正确.

4. (1) 水平 初速度相同 (2) 1.2 (3) 2.0 2.0
(-0.1 m, 0)

【解析】(1) 平抛物体的初速度方向为水平方向, 故应调节实验装置直到斜槽末端切线保持水平; 每次让小球从同一位置由静止释放, 小球下落高度相同才能保证每次平抛得到相同的初速度;

(2) 根据平抛运动规律 $h = \frac{1}{2}gt^2$, $x = v_0t$, 代入数据解得 $v_0 = 1.2 \text{ m/s}$.

(3) 由题图丙可知, 从 A 到 B 和从 B 到 C, 小球水平方向通过的位移相等, 故两段运动时间相同, $h_{BC} - h_{AB} = g(\Delta t)^2$, 可得 $\Delta t = 0.1 \text{ s}$, 所以 $v_0' = \frac{x_{AB}}{\Delta t} = 2.0 \text{ m/s}$, 小球运动到 B 点的竖

直分速度 $v_{By} = \frac{h_{AC}}{2\Delta t} = 2.0 \text{ m/s}$, 则小球从抛出点运动到 B 点

所经过的时间 $t_B = \frac{v_{By}}{g} = 0.2 \text{ s}$, 故平抛运动初位置的水平坐标 $x = 6 \times 0.05 \text{ m} - v_0't_B = -0.1 \text{ m}$, 竖直坐标 $y = 4 \times 0.05 \text{ m} - \frac{1}{2}gt_B^2 = 0$, 所以平抛运动初位置的坐标为 $(-0.1 \text{ m}, 0)$.

5. (1) 1.0 2.0 (2) 9.7

【解析】(1) 频闪仪闪光周期 $T = 0.05 \text{ s}$, 每个方格的边长 $L = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$. 小球平抛运动水平方向速度 $v_x = \frac{L}{T} = 1.0 \text{ m/s}$. 竖直方向是自由落体运动, 小球在位置 A 时竖直方向的速度 $v_y = \frac{8.6 + 11.0}{2 \times 0.05} \times 10^{-2} \text{ m/s} = 2.0 \text{ m/s}$.

(2) 竖直方向为匀加速直线运动, 且间隔时间相等, $g = \frac{13.4 + 11.0 - 8.6 - 6.1}{4 \times 0.05^2} \times 10^{-2} \text{ m/s}^2 = 9.7 \text{ m/s}^2$.

6. (1) 刻度尺 (2) $x\sqrt{\frac{g}{y_3 - y_2}}$ 1.0 0.44 (3) C

【解析】(1) 除了题中和图中所示的器材外还需要的器材有刻度尺, 用来测量长度;

(2) 根据平抛物体水平方向做匀速直线运动可知: B 到 C 和 C 到 D 的时间相同, 设为 T, 根据匀变速直线运动规律有 $y_3 - y_2 = gT^2$, 所以有 $T = \sqrt{\frac{y_3 - y_2}{g}}$, 水平方向做匀速运动, 因此

有 $v_0 = \frac{x}{T} = x\sqrt{\frac{g}{y_3 - y_2}}$, 代入解得 $v_0 = 1.0 \text{ m/s}$, 由题可知 $\Delta h = y_3 - y_2 = 24.38 \text{ cm} - 14.58 \text{ cm} = 9.8 \text{ cm}$, 则 $AB = 14.58 \text{ cm} - 9.8 \text{ cm} = 4.78 \text{ cm}$, 因此桌子的高度即为 A、D 间距, 为 $AD = 4.78 \text{ cm} + 14.58 \text{ cm} + 24.38 \text{ cm} = 43.74 \text{ cm} \approx 0.44 \text{ m}$.

(3) 根据平抛运动的特点可知其运动轨迹在竖直平面内, 因此在实验前, 应使墙壁平面竖直, 故 A 正确; 由于要记录小球的运动轨迹, 必须重复多次, 才能画出几个点, 因此为了保证每

次平抛的轨迹相同,所以要求小球每次从同一高度释放,故 B 正确;实验过程中,不可以桌面上向前或向后移动斜面,否则抛出的初速度发生改变,故 C 错误;实验中必须保证小球做平抛运动,而平抛运动要求初速度水平且只受重力作用,故 D 正确。

7. (1)a (2)0.1 1

【解析】(1)小球做平抛运动,平抛运动在水平方向上为匀速直线运动,摄像头 B 拍摄的是竖直方向上的运动,故应该是间距均匀增大的点,故摄像头 B 所拍摄的频闪照片为 a。

(2)摄像头 A 拍摄小球水平方向上的匀速直线运动,摄像头 B 拍摄小球竖直方向的自由落体运动,图乙 a 中 O、P 距离

$h = 125 \text{ cm}$,则由 $h = \frac{1}{2} g t^2$ 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}} =$

$\sqrt{\frac{2 \times 1.25}{10}} \text{ s} = 0.5 \text{ s}$,故频闪仪的闪光间隔时间 $T =$

$\frac{0.5}{5} \text{ s} = 0.1 \text{ s}$,b 中 O、P 距离 $x = 50 \text{ cm}$,则由 $x = v_0 t$,解得小

球做平抛运动的初速度大小 $v_0 = \frac{x}{t} = \frac{0.5}{0.5} \text{ m/s} = 1 \text{ m/s}$ 。

4 抛体运动的规律

第 1 课时 平抛运动的性质和规律

1. C 【解析】由 $h = \frac{1}{2} g t^2$ 解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$,故 A 错误;水平射程

$x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$,故还与 h 有关,故 B 错误;平抛运动加速

度为重力加速度,不发生变化,是匀变速运动,运动轨迹是曲线,故 C 正确,D 错误。

2. D 【解析】平抛运动水平方向为匀速直线运动,速度不变;竖直方向为自由落体运动,相同时间内速度变化量相同,故 A、B、C 错误,D 正确。

3. A 【解析】水平方向有 $x = v_0 t$,竖直方向有 $h = \frac{1}{2} g t^2$,水平距离增大,初速度不变,则飞镖击中靶盘的时间增大,下落的高度增大,飞镖能打在靶心,故 A 项正确;水平距离不变,初速度不变,则下落的时间不变,竖直下落的距离不变,增大 h ,飞镖将更不会打在靶心,故 B 项错误;平抛运动的规律与飞镖的质量无关,换用质量更大的飞镖,飞镖命中的位置不变,故 C 项错误;水平距离不变,增大初速度,则飞镖击中靶盘的时间减小,竖直方向上下落的高度减小,飞镖也不会打在靶心,故 D 项错误。

4. ACD 【解析】平抛运动可分解为水平方向的匀速直线运动和竖直方向的自由落体运动,设物体从抛出到落地经历的时间为 t ,竖直方向上有 $h = \frac{1}{2} g t^2$,解得 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$,选项 C 正

确;竖直分速度为 $v_y = g t$,则竖直方向的位移为 $h = \frac{v_y}{2} t$,解

得 $t = \frac{2h}{v_y}$,选项 D 正确;合速度与分速度大小关系为 $v_y^2 =$

$v^2 - v_0^2$,又知 $v_y = g t$,解得 $t = \frac{\sqrt{v^2 - v_0^2}}{g}$,选项 A 正确。

5. BD 【解析】平抛运动在竖直方向上的分运动为自由落体运动,由 $h = \frac{1}{2} g t^2$ 可知,飞行时间由高度决定, $h_b > h_a$,故 a 的飞行时间比 b 的短,选项 A 错误;同理,b 和 c 的飞行时间相同,选项 B 正确;根据水平位移 $x = v_0 t$ 可知,a、b 的水平位移满足 $x_a > x_b$,且飞行时间 $t_b > t_a$,故 $v_{0a} > v_{0b}$,选项 C 错误;同理可得 $v_{0b} > v_{0c}$,选项 D 正确。

6. C 【解析】根据 $2h = \frac{1}{2} g t_1^2$,可得 $t_1 = \sqrt{\frac{4h}{g}}$,则 $L = v_0 t_1 =$

$v_0 \sqrt{\frac{4h}{g}}$,同理,由 $h = \frac{1}{2} g t_2^2$,可得 $t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$,则 $s = 2v_0 t_2 =$

$2v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$,所以 $L = \frac{\sqrt{2}}{2} s$,选项 C 正确。

7. D 【解析】根据 $\tan \theta = \frac{g t}{v_0} = \frac{g}{v_0} t$,对应题图可得 $\frac{g}{v_0} = 1 \text{ s}^{-1}$,

解得 $v_0 = 10 \text{ m/s}$,D 正确,C 错误;第 1 s 内物体下落的高度

$h = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 1^2 \text{ m} = 5 \text{ m}$,A、B 错误。

8. C 【解析】车停下后,C、B、A 均以初速度 v_0 做平抛运动,且

运动时间分别为 $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, $t_2 = \sqrt{\frac{2 \times 2h}{g}} = \sqrt{2} t_1$, $t_3 =$

$\sqrt{\frac{2 \times 3h}{g}} = \sqrt{3} t_1$,三个小球落地的时间差与车速无关,选项 A

错误。水平方向上有 $L_1 = v_0 t_3 - v_0 t_2 = (\sqrt{3} - \sqrt{2}) v_0 t_1$, $L_2 =$

$v_0 t_2 - v_0 t_1 = (\sqrt{2} - 1) v_0 t_1$,可知 $L_1 < L_2$,选项 C 正确,B、D

错误。

9. C 【解析】设刹车时的车速为 v_0 ,根据平抛运动规律有

$x_1 = v_0 t_1$, $H = \frac{1}{2} g t_1^2$, $x_2 = v_0 t_2$, $h = \frac{1}{2} g t_2^2$,且 $L = x_1 - x_2$,

联立并代入数据解得 $v_0 \approx 70 \text{ km/h}$,故选 C。

10. (1)5 s (2)300 m

【解析】(1)灭火弹离开飞机后做平抛运动,竖直方向上有

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

代入数据解得 $t = 5 \text{ s}$

(2)释放点与着火点间的水平距离 $x = v_0 t = 300 \text{ m}$

11. (1)0.2 m (2)400 m/s

【解析】(1)甲枪射出的子弹下落的高度

$h = \frac{1}{2} g t^2 = 0.2 \text{ m}$ 。

(2)乙枪射出的子弹下落的高度

$h' = h + L = 0.2 \text{ m} + 0.112 5 \text{ m} = 0.312 5 \text{ m}$

由 $h' = \frac{1}{2} g t'^2$ 得

乙枪子弹运动的时间为

$t' = \sqrt{\frac{2h'}{g}} = 0.25 \text{ s}$

乙枪子弹射出的速度大小

$v = \frac{x}{t'} = \frac{100}{0.25} \text{ m/s} = 400 \text{ m/s}$ 。

12. (1)5 m/s (2) $5\sqrt{2} \text{ m/s}$,与水平方向成 45° 角

(3) $\frac{\sqrt{26}}{5} \text{ m}$

【解析】(1)依题意,根据平抛运动规律可得 $h =$

$\frac{1}{2} g t^2$, $x = v_0 t$

代入题中数据求得,雪球平抛运动时间为 $t = 0.5 \text{ s}$

初速度大小为 $v_0 = 5 \text{ m/s}$

(2)雪球落地时的速度大小 $v = \sqrt{v_0^2 + (g t)^2} = \sqrt{5^2 + (10 \times 0.5)^2} \text{ m/s} = 5\sqrt{2} \text{ m/s}$

速度与水平方向夹角的正切值 $\tan \theta = \frac{g t}{v_0} = 1$

即 $\theta = 45^\circ$

(3)雪球抛出 0.2 s 内发生的位移大小 $x' =$

$\sqrt{(v_0 t)^2 + \left(\frac{1}{2} g t^2\right)^2} = \sqrt{(5 \times 0.2)^2 + (5 \times 0.2^2)^2} \text{ m} = \frac{\sqrt{26}}{5} \text{ m}$

第 2 课时 平抛运动的两个重要推论 一般的抛体运动

1. D 【解析】根据平抛运动推论可得,小球在 P 点速度的反向

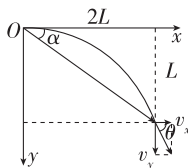
延长线过其这段时间水平位移的中点,则有 $x=2QM=v_0t$, 解得小球运动的时间为 $t=\frac{2QM}{v_0}=\frac{2\times 3}{2}\text{ s}=3\text{ s}$, 所以 D 项正确, A、B、C 项错误。

2. D 【解析】小球到达竖直墙面时在竖直方向和水平方向上的分速度大小分别为 $v_y=gt$, $v_x=v_y\tan\theta=gt\tan\theta$, 所以小球水平抛出时的初速度大小为 $gt\tan\theta$, 故 A 错误; 设小球在 t 时间内的位移方向与水平方向的夹角为 α , 则 $\tan\alpha=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}=\frac{v_y}{2v_x}=\frac{1}{2\tan\theta}$, 故 B 错误; 由于小球初始位置与墙面的水平距离一定, 初速度越大, 则运动的时间越短, 故 C 错误; 若小球初速度增大, 小球到达墙面的时间变短, 由 $\tan\theta=\frac{v_0}{gt}$, 可知 θ 增大, 故 D 正确。

3. ABD 【解析】抛体运动可能是曲线运动, 如平抛运动, 也可能是直线运动, 如竖直上抛运动, 故 A 正确; 根据运动的合成可知任何抛体运动都可以看成是两个分运动的合运动, 故 B 正确; 平抛或斜抛运动的加速度恒定不变, 且初速度与加速度方向不共线, 故平抛或斜抛是匀变速曲线运动, 故 C 错误; 竖直方向上的抛体运动的加速度都恒为重力加速度, 且速度与加速度共线, 都可以看成初速度不为零的匀变速直线运动, 故 D 正确。

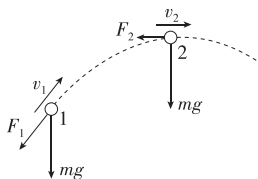
4. D 【解析】做斜上抛运动的物体在竖直方向做竖直上抛运动, 在水平方向做匀速直线运动, 到达最高点时, 竖直分速度为零, 速度沿水平方向, 加速度为重力加速度, 方向竖直向下。

5. B 【解析】同学从最高点开始的运动是平抛运动, 根据平抛运动的推论, 末速度与水平方向的夹角 θ 的正切值是位移与水平方向的夹角 α 正切值的两倍, 如图所示, $\tan\theta=2\tan\alpha=1$, 得 $\theta=45^\circ$, 故 B 正确。



6. A 【解析】由题意知 A、B 两球抛出的初速度相同, 不计空气阻力, 虽然质量不同, 但根据牛顿第二定律可知, 两球运动的加速度相同, 二者运动的轨迹相同, 选项 A 正确。

7. B 【解析】如图所示, 篮球在上升至最高点的过程中, 受到重力和空气阻力, 合力方向与速度方向的夹角大于 90° , 故篮球的速率 v 变小, 空气阻力 $F=kv$ 也逐渐减小, 合力是变力, 所以篮球的运动不是匀变速曲线运动, 轨迹不是抛物线, 故 A、C 错误; 由于空气阻力 F 与重力 mg 方向间的夹角逐渐变大, 且空气阻力变小, 重力不变, 根据平行四边形定则可知合力变小, 由牛顿第二定律可知加速度变小, 故 B 正确; 篮球在最高点处时, 速度沿水平方向, 仍受空气阻力作用, 合力大于重力, 所以加速度大于重力加速度, 故 D 错误。



8. C 【解析】因篮球以与水平面成 45° 的倾角落入篮筐, 可知落入篮筐时的水平速度和竖直速度大小相等, 均设为 v , 则水平方向有 $L=vt$, 竖直方向有 $h=\frac{v}{2}\cdot\frac{t}{2}=\frac{L}{4}=1.8\text{ m}$, 选项 A 错误; 由 $h=\frac{1}{2}g\left(\frac{t}{2}\right)^2$, 解得 $t=1.2\text{ s}$, 则 $v=6\text{ m/s}$, 则篮球刚离手时, 篮球的速度为 $v'=\sqrt{2}v=6\sqrt{2}\text{ m/s}$, 则篮球进入

篮筐时的速度也为 $6\sqrt{2}\text{ m/s}$, 选项 B 错误, C 正确; 篮球运动到最高点时有水平速度, 故速度不为零, 选项 D 错误。

9. D 【解析】瓦片和水面相撞后, 在水平方向, 速度没有损失, 而在竖直方向, 碰撞后并不能原速弹回, 而是变小, 可知瓦片竖直上升的最大高度逐渐减小, 根据 $t=2\sqrt{\frac{2h}{g}}$, 可知瓦片在空中的时间逐渐减小, 水平方向有 $x=v_xt$, 可知瓦片在空中通过的水平位移逐渐减小, 故选 D。

10. C 【解析】由题意可知, 水流后做平抛运动的水平位移和竖直位移均变成实际的 $\frac{1}{64}$, 竖直方向做自由落体运动, 则有 $h=\frac{1}{2}gt^2$, 解得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$, 可知时间变为实际的 $\frac{1}{8}$, 水平方向做匀速直线运动, 则有 $x=v_0t$, 由于水平位移变为实际的 $\frac{1}{64}$, 时间变为实际的 $\frac{1}{8}$, 可知水流速度应为实际的 $\frac{1}{8}$, C 正确, A、B、D 错误。

11. (1) 7 m/s (2) 1.4 s (3) 2.45 m

【解析】(1) 根据题意可知落入篮筐时竖直方向速度大小 $v_y=v\tan 45^\circ$

解得 $v_y=v$

设篮球从最高点至落入篮筐的时间为 t_1 , 有

$$v_y=gt_1$$

$$\text{又 } x=v\times 2t_1$$

$$\text{联立解得 } v_y=v=7\text{ m/s}$$

$$(2) \text{ 竖直方向有 } t_1=\frac{v_y}{g}$$

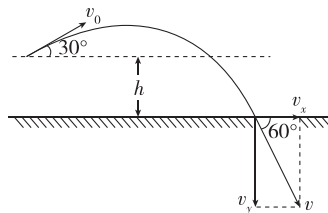
因此, 篮球在空中运动总时间

$$t=2t_1=2\frac{v_y}{g}=1.4\text{ s}$$

$$(3) \text{ 竖直方向有 } h=\frac{1}{2}gt_1^2=2.45\text{ m}$$

12. (1) 1.2 s (2) 6.2 m (3) 0.45 m (4) 3.6 m

【解析】(1) 石子落地时的速度方向和水平方向的夹角为 60° , 则 $\frac{v_y}{v_x}=\tan 60^\circ$, 而 $v_x=v_0\cos 30^\circ$, 得 $v_y=9\text{ m/s}$. 取竖直向上为正方向, 落地时竖直方向的速度向下, 则 $-v_y=v_0\sin 30^\circ-gt$, 得 $t=1.2\text{ s}$.



(2) 石子在水平方向上做匀速直线运动, $x=v_xt=v_0\cos 30^\circ t$, $x=\frac{18\sqrt{3}}{5}\approx 6.2\text{ m}$.

(3) 当石子速度的竖直分量减为 0 时, 到达最大高度处, $v_{0y}=v_0\sin 30^\circ=3\text{ m/s}$, 由 $v_{0y}^2=2gH_m$, $H_m=0.45\text{ m}$.

(4) 抛出点离地面的高度 $h=\left|v_0\sin 30^\circ t-\frac{1}{2}gt^2\right|$, 解得 $h=3.6\text{ m}$.

专题课: 平抛运动与各种面结合问题

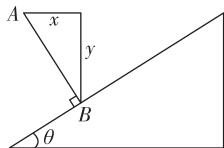
1. C 【解析】两只飞镖由同一位置水平投出, 即两只飞镖的水平位移 x 相同, 则运动时间分别为 $t_a=\frac{x}{v_a}$, $t_b=\frac{x}{v_b}$, 由于 $v_a>v_b$, 所以 $t_a<t_b$; 其竖直位移分别为 $y_a=\frac{1}{2}gt_a^2$, $y_b=\frac{1}{2}gt_b^2$, 则 $y_a<y_b$, 即飞镖 a 插在竖直靶上的位置较高. 飞镖

的速度方向与水平方向夹角的正切值分别为 $\tan \alpha = \frac{v_{ay}}{v_a} =$

$\frac{gt_a}{v_a} = \frac{gx}{v_a^2}$, $\tan \beta = \frac{v_{by}}{v_b} = \frac{gt_b}{v_b} = \frac{gx}{v_b^2}$, 由于 $v_a > v_b$, 所以 $\tan \alpha < \tan \beta$, 即飞镖 b 插在竖直靶上时飞镖的速度方向与水平方向夹角较大, 故选 C.

2. AC 【解析】假设没有墙壁, 则小球将落到与 C 点关于墙壁对称的位置 C' , 轨迹为整条的抛物线, 根据平抛运动的规律, 两球从同一点 A 下落, 则落地时间相同, 因为水平速度不同, 则水平位移不等, 则两次不可能落到同一点, A 正确, B 错误; 两球从同一点做平抛运动, 则落地时的竖直速度相等, 落地时速度方向与水平方向夹角的正切值分别为 $\tan \theta_1 = \frac{v_y}{v_0}$, $\tan \theta_2 = \frac{v_y}{3v_0}$, 则 $\frac{\tan \theta_1}{\tan \theta_2} = \frac{3}{1}$, C 正确; 两次落地时小球的速度分别为 $v_1 = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$, $v_2 = \sqrt{(3v_0)^2 + v_y^2}$, 则速度之比不等于 $1:3$, D 错误.

3. B 【解析】如图所示, 过抛出点 A 作斜面的垂线, 垂足为 B 点, 当小球落在斜面上的 B 点时, 位移最小, 设运动的时间为 t , 则在水平方向上有 $x = v_0 t$, 在竖直方向上有 $y = \frac{1}{2} g t^2$, 根据几何关系知 $\frac{x}{y} = \tan \theta$, 联立解得 $t = \frac{2v_0}{g \tan \theta}$, 小球的水平位移大小为 $x = v_0 t = \frac{2v_0^2}{g \tan \theta}$, 竖直位移大小为 $y = \frac{1}{2} g t^2 = \frac{2v_0^2}{g \tan^2 \theta}$, 由水平位移和竖直位移可求出位移的大小, 故 A、C、D 错误, B 正确.



4. C 【解析】根据平抛运动的规律以及落在斜面上的特点可知, $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2} g t^2$, $\tan \theta = \frac{y}{x}$, 分别将 $\theta = 30^\circ$ 、 $\theta = 60^\circ$ 代入, 可得两球平抛所经历的时间之比为 $1:3$, 两球下落高度之比为 $1:9$, 选项 C 正确.

5. C 【解析】只要选手落在 Q 右侧跑道上, 其下落高度为一定值, 所以下落时间也为一定值, 与初速度无关, 故 A、B 错误, C 正确; 若落在 OQ 圆弧上, 初速度越大, 选手落在 OQ 上的位置越靠右, 下落的高度越小, 在空中运动时间越短, 故 D 错误.

6. B 【解析】两球下落的高度相同, 根据 $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ 知, 下落的时间相同, 设圆弧的半径为 R , 根据几何关系可得 $\angle COB = 60^\circ$, 则 A 点抛出的球平抛运动的水平位移 $x_1 = 2R - R \cos 60^\circ = 1.5R$, 从 O 点抛出的球做平抛运动的水平位移为 $x_2 = x_1 - R = 0.5R$, 根据 $v = \frac{x}{t}$ 知 $v_1 : v_2 = 3 : 1$, 故选 B.

7. A 【解析】小球从 a 点正上方 O 点抛出, 做初速度为 v_0 的平抛运动, 恰落在 b 点, 改变初速度, 落在 c 点, 水平位移变为原来的 2 倍, 假若时间不变, 则初速度变为原来的 2 倍, 由于运动时间变长, 所以初速度小于 $2v_0$, 故 A 正确.

8. C 【解析】A 到 B 过程中, 位移偏转角为 30° , 由平抛运动推论得速度偏转角的正切值 $\tan \theta = 2 \tan 30^\circ = \frac{2\sqrt{3}}{3} < \tan 60^\circ$, 游客从 A 运动到 B 过程中的速度偏转角小于 60° , D 错误; 由平抛运动推论有 $\frac{v_y}{v_0} = 2 \tan 30^\circ$, 又 $v_y = gt$, $x = v_0 t$, 解得 $t =$

$\frac{\sqrt{3}}{10} \text{ s}$, $x = \frac{3\sqrt{3}}{20} \text{ m}$, A、B 错误; 游客在 B 点的速度大小 $v =$

$\sqrt{v_y^2 + v_0^2}$, 解得 $v = \frac{\sqrt{21}}{2} \text{ m/s}$, C 正确.

9. A 【解析】小球做平抛运动, 则打在曲面上时, 竖直方向位移为 $h = \frac{1}{2} g t^2$, 水平位移 $x = t$, 则小球的坐标为 $(t, \frac{1}{2} g t^2)$, 小球打在曲面上, 则满足曲面的方程, 将小球坐标代入方程解得 $t = 1 \text{ s}$, 故 A 正确, B、C、D 错误.

10. C 【解析】由几何关系可知, A 的竖直位移 $h_A = R \cos \alpha$, 水平位移 $x_A = R \sin \alpha$; B 的竖直位移 $h_B = R \cos(90^\circ - \alpha) = R \sin \alpha$, 水平位移 $x_B = R \sin(90^\circ - \alpha) = R \cos \alpha$, 由平抛运动的规律可知, $h = \frac{1}{2} g t^2$, $x = v_0 t$ 解得 $v_0 = x \sqrt{\frac{g}{2h}}$, 则 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{x_A}{x_B} \times \sqrt{\frac{h_B}{h_A}} = \tan \alpha \sqrt{\tan \alpha}$.

11. (1) 0.6 s (2) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ (3) $\sqrt{34} \text{ m/s}$

【解析】(1) 根据平抛运动规律, 对落在 B 点的小球有 $R + R \cos \theta = \frac{1}{2} g t_1^2$ 解得 $t_1 = 0.6 \text{ s}$.

(2) 根据平抛运动规律, 对落在 B 点的小球有 $R \sin \theta = v_1 t_1$, $v_1 = 1 \text{ m/s}$,

对落在 C 点的小球有 $R + R \sin \theta = \frac{1}{2} g t_2^2$

解得 $t_2 = \frac{2\sqrt{2}}{5} \text{ s}$, $R \cos \theta = v_2 t_2$, $v_2 = \sqrt{2} \text{ m/s}$

解得 $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\sqrt{2}}{2}$.

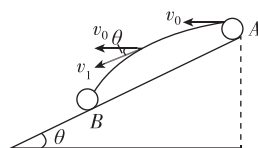
(3) 对落在 C 点的小球有, 竖直方向的分速度大小 $v_y = g t_2$, 解得 $v_y = 4\sqrt{2} \text{ m/s}$, $v_C = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{34} \text{ m/s}$.

12. (1) 20 m/s (2) $10\sqrt{13} \text{ m/s}$ (3) 1.5 s

【解析】(1) 平抛运动在水平方向上为匀速直线运动, 在竖直方向上为自由落体运动, 有 $v_0 t = L \cos 37^\circ$, $\frac{1}{2} g t^2 = L \sin 37^\circ$, 联立解得 $v_0 = 20 \text{ m/s}$, $t = 3 \text{ s}$.

(2) 落到 B 点时的速度大小为 $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2} = \sqrt{20^2 + (10 \times 3)^2} \text{ m/s} = 10\sqrt{13} \text{ m/s}$.

(3) 运动员做平抛运动的示意图如图所示, 由图可知, 当运动员距斜坡最远时, 运动员的运动方向与斜坡平行, 即速度方向与水平方向成 θ 角, 由平抛运动知识可得 $\tan \theta = \frac{gt_1}{v_0}$, 所以运动员飞出后距离斜坡最远时所经过的时间 $t_1 = \frac{v_0 \tan \theta}{g} = 1.5 \text{ s}$.



专题课: 平抛运动中的临界问题 类平抛运动

1. C 【解析】圆环做平抛运动, 其竖直分运动为自由落体运动, 有 $h_1 - h_2 = \frac{1}{2} g t^2$, 得 $t = \sqrt{\frac{2(h_1 - h_2)}{g}} = \sqrt{\frac{2 \times (0.45 - 0.25)}{10}} \text{ s} = 0.2 \text{ s}$. 环前端与细圆筒的水平距离

$x=1.2\text{ m}$, 圆环的最小抛出速度 $v_2=\frac{x}{t}=\frac{1.2}{0.2}\text{ m/s}=6\text{ m/s}$, 圆环后端与细圆筒的水平距离为 $x+2r=1.2\text{ m}+0.2\text{ m}=1.4\text{ m}$, 则圆环的最大抛出速度 $v_1=\frac{x+2r}{t}=\frac{1.4}{0.2}\text{ m/s}=7\text{ m/s}$, 故圆环被抛出时的速度大小的取值范围为 $6\text{ m/s}<v<7\text{ m/s}$, 选项 C 正确。

2. C 【解析】要让小球直接落到挡板 M 的右边区域, 下落的高度为 A 点与挡板 M 上边缘的高度差, 所用时间 $t=\sqrt{\frac{2\Delta h}{g}}=1\text{ s}$, 由 $d_1=v_{01}t$, $d_2=v_{02}t$, 解得 v_0 的取值范围为 $10\text{ m/s}\leq v_0\leq 20\text{ m/s}$, 故 A、B、D 错误, C 正确。

3. D 【解析】乒乓球在水平方向上做匀速直线运动, 网右侧的水平位移是网左侧水平位移的两倍, 由 $x=v_0t$ 可知, 乒乓球在网左、右两侧运动时间之比为 $t_{\text{左}}:t_{\text{右}}=1:2$, 乒乓球在竖直方向上做自由落体运动, 根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 可知, 乒乓球在网上面运动时下落的高度与整个高度之比为 $1:9$, 将击球点的高度分为 9 份, 网高占 8 份, 故击球点的高度与网的高度之比为 $9:8$, A、B 错误; 从抛出到过网, 所用时间为 Δt , 则球运动的总时间为 $3\Delta t$, 根据 $v=gt$ 可知, 球恰好通过网的上沿时竖直分速度与落到右侧桌边缘时竖直分速度之比为 $1:3$, C 错误; 在网右侧运动时间是在网左侧运动时间的两倍, 根据 $\Delta v=gt$ 可知, 乒乓球在网左、右两侧运动速度变化量之比为 $1:2$, D 正确。

4. C 【解析】设 A、B 质点抛出时的水平初速度为 v_0 , 下落高度为 h , A 质点做平抛运动, 运动的时间为 $t_A=\sqrt{\frac{2h}{g}}$, B 质点做类平抛运动, 在斜面上沿垂直 v_0 方向有 $\frac{h}{\sin\theta}=\frac{1}{2}gt_B^2\sin\theta$, θ 为斜面与水平面的夹角, 解得 $t_B=\sqrt{\frac{2h}{g\sin^2\theta}}$, 可知 $t_B>t_A$, 质点沿 x 轴方向的位移为 $x=v_0t$, 可得 $x_1<x_2$, 故选 C。

5. D 【解析】小球在斜面上做类平抛运动, 平行于 CE 方向, 由牛顿第二定律及位移公式分别可得 $mg\sin\theta=ma$, $\frac{h}{\sin\theta}=\frac{1}{2}at^2$, 联立解得小球从 A 点运动到 B 点所用的时间为 $t=2\text{ s}$, 到达 B 点时的速度大小为 $v=\sqrt{v_0^2+(at)^2}$, 代入数据解得 $v=10\sqrt{2}\text{ m/s}$, 故选 D。

6. A 【解析】根据题意可知, 小车在斜面上做匀加速直线运动, 弹射管弹射出去的小球做斜抛运动, 在空中运动过程中只受重力, 可将重力加速度分解为沿着斜面向下与垂直于斜面方向的分加速度, 则小球的实际运动可分解为沿着斜面向下的匀加速直线运动和垂直于斜面的匀变速直线运动, 设斜面的倾角为 θ , 则小车与小球沿着斜面向下的加速度均为 $a=g\sin\theta$, 而小车将小球沿弹射管弹出瞬间, 小车与小球在沿着斜面向下的方向上具有相同的速度, 以弹射瞬间为计时起点, 则小车和小球在沿着斜面向下的方向上具有相同的初速度和加速度, 因此, 当小球落回时将落在小车弹射管的原处, 故选 A。

7. BD 【解析】小球在竖直方向上做自由落体运动, 故从抛出点到上管口的运动过程中, 有 $\frac{h}{2}=\frac{1}{2}gt^2$, 小球在水平方向上做匀减速运动, 因恰能无碰撞地通过管子, 故小球到管口时水平速度刚好减为零, 设小球的初速度为 v_0 , $L=\frac{v_0+0}{2}t$, 联立以上两式解得 $v_0=2L\sqrt{\frac{g}{h}}$, 故 A 错误; 设风力大小为 F , 根

据牛顿第二定律, 小球在水平方向上有 $F=ma$, 由匀变速直线运动规律可得 $0-v_0^2=-2aL$, 由上可知 $v_0=2L\sqrt{\frac{g}{h}}$, 联

立可得 $F=\frac{2mgL}{h}$, 故 B 正确; 小球到达上管口时, 水平速度减为零, 进入管中后其不再受风力作用, 只有竖直方向的运动, 从抛出到落地全程, 小球在竖直方向上做自由落体运动, 所以有 $v^2=2gh$, 则小球落地时的速度大小为 $v=\sqrt{2gh}$, D 正确, C 错误。

8. A 【解析】设正方形的边长为 s_0 , 小球在竖直方向做竖直上抛运动有 $2s_0=\frac{v_0}{2}t_1$, 水平方向做初速度为零的匀加速直线运动有 $3s_0=\frac{v_1}{2}t_1$, 联立两式解得 $v_1=6\text{ m/s}$, 由竖直方向运动的对称性可知, 小球再经 t_1 到达 x 轴, 位置 N 的坐标为 $(12, 0)$, 小球到 N 点竖直分速度大小为 $v_0=4\text{ m/s}$, 水平分速度 $v_x=2at_1=2v_1=12\text{ m/s}$, 故 $v_2=\sqrt{v_0^2+v_x^2}=4\sqrt{10}\text{ m/s}$, A 正确, B、C、D 错误。

9. (1) 10 s (2) $100\sqrt{2}\text{ m/s}$ (3) 700 m

【解析】(1) 炸弹做平抛运动, 在竖直方向做自由落体运动, 从被投出到落到水面的时间为

$$t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=10\text{ s}$$

(2) 炸弹刚落到水面时的竖直分速度大小为

$$v_y=gt=100\text{ m/s}$$

则合速度大小为

$$v=\sqrt{v_1^2+v_y^2}=100\sqrt{2}\text{ m/s}$$

(3) 在水平方向上根据位移关系可得

$$x=v_1t-v_2t=700\text{ m}$$

10. (1) 10 s (2) $\sqrt{5}\text{ m/s}$ (3) $10\sqrt{2}\text{ m}$

【解析】(1) 由运动的独立性得, 重物由 A 到 B 的时间为 $t=\frac{d}{v_x}=10\text{ s}$,

(2) 由题意知, 竖直方向加速度为 $a=\frac{F-mg}{m}=0.2\text{ m/s}^2$

则重物经过 B 点时竖直分速度 $v_{yB}=at=2\text{ m/s}$

根据平行四边形定则知, B 点的速度 $v_B=\sqrt{v_x^2+v_{yB}^2}=\sqrt{1+4}\text{ m/s}=\sqrt{5}\text{ m/s}$

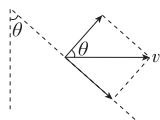
(3) 由题意得, A 到 B 的竖直位移为 $y=\frac{1}{2}at^2=\frac{1}{2}\times 0.2\times 100\text{ m}=10\text{ m}$

则由 A 到 B 的位移大小为 $x=\sqrt{d^2+y^2}=\sqrt{100+100}\text{ m}=10\sqrt{2}\text{ m}$

本章易错过关 (一)

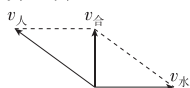
1. AC 【解析】由于曲线运动中合力指向运动轨迹的内侧, 则当这个力是引力时, 由 A 点看施力物体的位置可排除 (1) 区与 (2) 区, 从 B 点来看可排除 (2) 区与 (3) 区, 再由 A、B 之间的中点来看, 可排除 (5) 区, 故 A 正确, B 错误。同理可确定 C 正确, D 错误。

2. B 【解析】将铅笔与细线接触的点的速度分解为沿细线方向和垂直于细线方向, 如图所示, 则沿细线方向上的分速度为 $v\sin\theta$, 因为沿细线方向上的分速度大小等于橡皮在竖直方向上的分速度, 所以橡皮在竖直方向上速度为 $v\sin\theta$, 因为 θ 逐渐增大, 所以橡皮在竖直方向上做加速直线运动, 而橡皮在水平方向上做匀速直线运动。橡皮参加了两个分运动, 水平向右匀速移动, 同时竖直向上加速运动, 实际运动是这两个运动的合运动, 根据平行四边形定则可知橡皮运动的速度大小、方向都在改变。故选 B。



3. B **【解析】**以地面为参考系时,工件滑上乙时,沿甲运动方向直线上工件受到乙传送带的滑动摩擦力分力向左,沿乙运动方向滑动摩擦力沿乙传送带方向向上,所以可知合摩擦力斜向左上方,与初速度方向不垂直,所以工件做的不是类平抛运动,A 错误;以乙为参考系时,工件有沿甲运动方向与甲速度等大的分速度和与乙运动方向相反等大的分速度,摩擦力的合力与相对乙的合初速度方向相反,所以工件相对乙做匀减速直线运动,B 正确;工件在乙上滑动时,相对乙做匀减速直线运动,受到乙的摩擦力方向不变,C 错误;设 $t=0$ 时摩擦力与乙的运动方向夹角为 α ,沿甲和乙运动方向的加速度大小分别为 a_x 和 a_y ,有 $\frac{a_x}{a_y} = \tan \alpha$,在很短时间 Δt 内有 $\Delta v_x = a_x \Delta t$, $\Delta v_y = a_y \Delta t$,同时根据题意有 $\frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0}{v_1} = \tan \alpha$,联立可得 $\frac{\Delta v_x}{\Delta v_y} = \frac{v_0}{v_1}$,所以当 $\Delta v_x = v_0$ 时, $\Delta v_y = v_1$,即工件沿垂直于乙的速度减小为 0 时,工件的速度正好达到 v_1 ,D 错误。

4. D **【解析】**若选择方法(a)渡河,则如图所示,合速度大小为 $v_{\text{合}} = \sqrt{v_{\text{人}}^2 - v_{\text{水}}^2} = \sqrt{1^2 - 0.8^2} \text{ m/s} = 0.6 \text{ m/s}$,到达对岸用时 $t_a = \frac{d}{v_{\text{合}}} = \frac{120 \text{ m}}{0.6 \text{ m/s}} = 200 \text{ s}$,若选择方法(b)渡河,则到达河对岸所用时间为 $t_1 = \frac{d}{v_{\text{人}}} = \frac{120 \text{ m}}{1 \text{ m/s}} = 120 \text{ s}$,此时沿水流方向的位移 $x_1 = v_{\text{水}} t = 0.8 \times 120 \text{ m} = 96 \text{ m}$,他沿河岸向上行走,走到正对岸的地方所用的时间为 $t_2 = \frac{x_1}{v_1} = \frac{96 \text{ m}}{1.6 \text{ m/s}} = 60 \text{ s}$,则选择方法(b)渡河到达正对岸用时 $t_b = t_1 + t_2 = 120 \text{ s} + 60 \text{ s} = 180 \text{ s}$,所以选择方法(b)渡河更快,方法(b)比方法(a)快 20 s,故 A、B、C 项错误,D 项正确。



5. A **【解析】**两次落在同一斜面上,则两次位移的方向相同,有 $\frac{y_1}{x_1} = \frac{y_2}{x_2}$,即 $\frac{\frac{1}{2}gt_1^2}{vt_1} = \frac{\frac{1}{2}gt_2^2}{0.5vt_2}$,解得 $t_1 : t_2 = 2 : 1$,在竖直方向上的位移之比 $y_1 : y_2 = 4 : 1$,故 $AB : AC = 4 : 1$,故 A 正确。

6. C **【解析】**炸弹运动的时间 $t = \frac{x}{v_1}$,它在这段时间内竖直方向上的位移 $h_1 = \frac{1}{2}gt^2$,拦截炮弹在这段时间内向上运动的位移 $h_2 = v_2 t - \frac{1}{2}gt^2$,则 $H = h_1 + h_2 = v_2 t$,所以 $H = v_2 \frac{x}{v_1}$,解得 $v_1 = \frac{x}{H}v_2$,故选项 C 正确。

7. BD **【解析】**出水口与着火点之间的高度差为 $\Delta h = 20 \text{ m}$,由 $\Delta h = \frac{1}{2}gt^2$,解得水从出水口到着火点的时间 $t = 2 \text{ s}$,由于 $5 \text{ m/s} \leq v_0 \leq 15 \text{ m/s}$,因此出水口与着火点的水平距离 x 的范围为 $10 \text{ m} \leq x \leq 30 \text{ m}$,故 A 错误,B 正确;如果出水口与着火点的水平距离不能小于 15 m,则最小出水速度为 7.5 m/s,故 C 错误;如果着火点高度为 40 m,保持出水口水平,则水不能到达着火点,故 D 正确。

8. BD **【解析】**由题意可知,加速度为 $a = \frac{10}{2} \text{ m/s}^2 = 5 \text{ m/s}^2$,因为 2 s 末把外力水平旋转 90° ,大小保持不变,则木块加速度大小不变,方向与 2 s 末速度方向垂直,则 2 s 末到 4 s 末木

块做类平抛运动,则 4 s 末木块沿外力方向的速度大小为 $v = at_2 = 10 \text{ m/s}$,所以 4 s 末木块的速度大小为 $v' = \sqrt{10^2 + 10^2} \text{ m/s} = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$,故 A 错误,B 正确;由分析知,4 s 末木块距出发点沿着原来外力的方向位移为 $x_1 = \frac{v_0^2}{2a} + v_0 t_2 = 30 \text{ m}$,沿垂直于原来外力的方向位移为 $x_2 = \frac{1}{2}at_2^2 = 10 \text{ m}$,所以 4 s 末木块距出发点的位移大小为 $x = \sqrt{x_1^2 + x_2^2} = 10\sqrt{10} \text{ m}$,故 C 错误,D 正确。

9. (1)C (2) $2\sqrt{gL}$ $\frac{5}{2}\sqrt{gL}$

【解析】(1)平抛运动的水平位移与竖直位移分别满足关系 $x = v_0 t$, $y = \frac{1}{2}gt^2$,联立可得 $y = \frac{g}{2v_0^2}x^2$,可知 $y-x^2$ 图像是直线时,说明小球运动轨迹是抛物线,故选 C。

(2)由图示可知,a、b、c、d 四个点相邻两点间的水平位移均相等,为 $x = 2L$,这四个点是等时间间隔点。在竖直方向上,相邻两点间的位移差 $\Delta y = 2L - L = L$,由匀变速直线运动的推论 $\Delta y = gt^2$,可得 $L = gt^2$,在水平方向上 $x = 2L = v_0 t$,解得 $v_0 = 2\sqrt{gL}$,竖直方向上 b 点的速度为 $v_{by} = \frac{y_{ac}}{2t} = \frac{3L}{2t} = \frac{3}{4}v_0$,故 $v_b = \sqrt{v_0^2 + v_{by}^2} = \frac{5}{2}\sqrt{gL}$ 。

10. $\frac{2\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}$

【解析】频闪仪每隔 0.05 s 发出一次闪光,每相邻两个球之间被删去 3 个影像,故相邻两球的时间间隔为 $t = 4T = 0.05 \times 4 \text{ s} = 0.2 \text{ s}$,设抛出瞬间小球的速度为 v_0 ,相邻两球间的水平方向上距离均为 x ,相邻两球间竖直方向上的距离分别为 y_1 、 y_2 ,根据平抛运动位移公式有

$$x = v_0 t$$

$$y_1 = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times 0.2^2 \text{ m} = 0.2 \text{ m}$$

$$y_2 = \frac{1}{2}g(2t)^2 - \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 10 \times (0.4^2 - 0.2^2) \text{ m} = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{令 } y_1 = y, \text{ 则有 } y_2 = 3y_1 = 3y$$

$$x_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$x_2 = \sqrt{x^2 + (3y)^2} = \sqrt{x^2 + 9y^2}$$

$$\text{则有 } \sqrt{x^2 + y^2} : \sqrt{x^2 + 9y^2} = 3 : 7$$

$$\text{整理得 } x = \frac{2\sqrt{5}}{5}y$$

$$\text{故在抛出瞬间小球的速度大小为 } v_0 = \frac{x}{t} = \frac{2\sqrt{5}}{5} \text{ m/s}$$

11. (1) 90° 10 m (2)正确 $10\sqrt{2} \text{ m/s}$ (3) $\frac{\sqrt{2}}{2}$ $10\sqrt{2} \text{ m}$

【解析】(1) θ 取 90° 时,小球运动的高度最大,最大高度为 $h_{\text{max}} = \frac{(v_0 \sin \theta)^2}{2g} + h = \frac{(10 \times \sin 90^\circ)^2}{2 \times 10} \text{ m} + 5 \text{ m} = 10 \text{ m}$

(2)该同学分析正确,落地时速度的水平分量为

$$v_x = v_0 \cos \theta = 10 \cos \theta \text{ m/s}$$

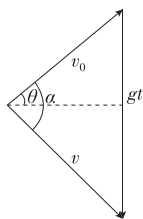
落地时速度的竖直分量为

$$v_y = \sqrt{(v_0 \sin \theta)^2 + 2gh} = \sqrt{(10 \sin \theta)^2 + 2 \times 10 \times 5} \text{ m/s} = 10 \sqrt{(\sin \theta)^2 + 1} \text{ m/s}$$

故落地的速度

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 10\sqrt{2} \text{ m/s}$$

(3)作出运动中速度矢量图如图所示,由图中几何关系得



$$\frac{1}{2}v_0 v \sin \alpha = \frac{1}{2}v_0 \cos \theta gt$$

水平射程 $x = v_0 \cos \theta t$

$$\text{代入得 } x = \frac{v_0 v \sin \alpha}{g}$$

即 $\alpha = 90^\circ$ 时, x 最大, 解得

$$x_{\max} = \frac{v_0 v}{g} = 10\sqrt{2} \text{ m}$$

此时 $v_0 \cos \theta = v \sin \theta$

$$\text{解得 } \tan \theta = \frac{\sqrt{2}}{2}$$

第六章 圆周运动

1 圆周运动

- D 【解析】乘客做圆周运动的半径 $R = \frac{153}{2} \text{ m}$, 周期 $T = 30 \text{ min} = 1800 \text{ s}$, 根据匀速圆周运动各物理量间的关系可得 $v = \omega R = \frac{2\pi}{T}R$, 代入数据得 $v \approx 0.27 \text{ m/s}$, 故 D 正确.
- D 【解析】电风扇上的 a 、 b 两点在同一扇叶上, 属于共轴转动, 具有相同的角速度, 所以 $\omega_a = \omega_b$, 由于线速度 $v = \omega r$, 由图可知 $r_a < r_b$, 所以 $v_a < v_b$, 故 D 正确.
- D 【解析】圆周运动是曲线运动, 一定是变速运动, 选项 A 错误; 匀速圆周运动一定是变速运动, 一定有加速度, 根据牛顿第二定律, 所受合外力不为零, 选项 B 错误; 根据 $v = \frac{\Delta l}{\Delta t}$, 可知做匀速圆周运动的物体在相等的时间内转过的弧长相等, 位移大小相等, 位移方向不相同, 选项 C 错误; 由匀速圆周运动特点可知, 做匀速圆周运动的物体线速度大小不变, 选项 D 正确.
- B 【解析】做匀速圆周运动的物体速度的大小不变, 方向不断变化, 角速度恒定不变, 加速度的大小不变, 方向不断变化, 则合力不断变化, 故 B 正确.
- CD 【解析】由于 A 和 B 两点是共轴转动, 故两点角速度相等, 有 $\omega_A : \omega_B = 1 : 1$, 由角速度和线速度的关系式 $v = \omega r$ 可得 $v_A : v_B = 1 : 2$, 故 A 错误, C 正确; 由于 B 点和 C 点由皮带传动, 皮带传动的特点是两轮与皮带接触点的线速度大小相等, 故 $v_B : v_C = 1 : 1$, 由 $v = \omega r$ 可得 $\omega_B : \omega_C = r' : R = 2 : 3$, 故 B 错误, D 正确.
- C 【解析】盾构机的转速为 $n = 5 \text{ r/min} = \frac{1}{12} \text{ r/s}$, 根据角速度与转速的关系有 $\omega = 2\pi n = \frac{1}{6} \pi \text{ rad/s}$, 周期为 $T = \frac{2\pi}{\omega} = 12 \text{ s}$, 故 A 错误, C 正确; 盾构机的半径为 8 m , 可知刀盘边缘的线速度大小 $v = r\omega = \frac{4}{3} \pi \text{ m/s}$, 故 B 错误; 因为各刀片同轴转动, 所以各刀片的角速度相等, 而半径不同, 根据 $v = r\omega$ 可知刀盘工作时各刀片的线速度不相同, 故 D 错误.
- BD 【解析】在合上后备厢盖的过程中, $O'A$ 的长度是变化的, 因此 A 点相对 O' 点不是做圆周运动, 故 A 错误; 在合上后备厢盖的过程中, A 点与 B 点到 O 点的距离不变, 所以 A 点与 B 点都是绕 O 点做圆周运动, 故 B 正确; A 点与 B 点在相同的时间内绕 O 点转过的角度相同, 即 A 点与 B 点相对于 O 点转动的角速度相等, 由于 OB 大于 OA , 根据 $v = r\omega$ 可知, B 点相对于 O 点转动的线速度大, 故 C 错误, D 正确.
- A 【解析】由于齿轮之间不打滑, 故齿轮 A、B 边缘的线速度大小相等, 即 $v_A = v_B$, 结合 $v = \omega r$ 以及 $r_A > r_B$, 可得 $\omega_A < \omega_B$, 选项 A 正确; 由于齿轮 B、C 同轴, 角速度相等, 即 $\omega_B = \omega_C$, 结合 $\omega_A < \omega_B$, 可得 $\omega_A < \omega_C$, 选项 B 错误; 由于 $r_B > r_C$, 结合 $\omega_B = \omega_C$, 可得 $v_B > v_C$, 而 $v_A = v_B$, 故 $v_A > v_C$, 选项 C、D 错误.

- C 【解析】地球自转角速度 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{24 \times 3600} \text{ rad/s}$, 太原市市民随地球自转的线速度 $v = \omega R \cos 37^\circ = 372 \text{ m/s}$, 故选 C.

- BD 【解析】小球做平抛运动的时间 $t = \frac{R}{v_0} = 0.5 \text{ s}$, 小球做平抛运动的时间和圆盘转动的时间相等, 有 $t = nT = n \frac{2\pi}{\omega}$, 解得 $\omega = \frac{2n\pi}{t} (n = 1, 2, 3, \dots)$, 当 $n = 1$ 时, $\omega = 4\pi \text{ rad/s}$, 当 $n = 2$ 时, $\omega = 8\pi \text{ rad/s}$, 故 A、C 错误, B、D 正确.

- A 【解析】在时间 t 内齿轮转动了 n 周, 可求齿轮的转动周期为 $T = \frac{t}{n}$, 由于齿数为 p , 则每转动一齿的时间为 $t_0 = \frac{T}{p} = \frac{t}{np}$. 根据题意可知, 当光从齿缝正中央穿过, 经镜面反射回来, 反射光束恰好通过相邻的另一个齿缝的正中央, 可得 $2d = ct_0 = c \cdot \frac{t}{np}$, 解得 $c = \frac{2dnp}{t}$, 故选 A.

- (1) $\frac{L}{2\pi}$ (2) $4 : 3$ (3) $4 : 1$ (4) $4nL$

【解析】(1) 自行车的车轮外缘的半径为 $R = \frac{L}{2\pi}$;

(2) 设牙盘转动一圈所用时间为 t , 飞轮转动的圈数为 x , 则自行车速度为 $v = \frac{xL}{t}$, 因牙盘与飞轮由链条连接, 边缘点转动速度大小相等, 因此 “ 1×4 ” 挡时有 $48 \times 1 = 12 \times x_1$, 解得 $x_1 = 4$ 圈, 则车速 $v_1 = \frac{x_1 L}{t} = \frac{4L}{t}$; 同理, “ 2×4 ” 挡时有 $36 \times 1 = 12 \times x_2$, 解得 $x_2 = 3$ 圈, 则车速为 $v_2 = \frac{x_2 L}{t} = \frac{3L}{t}$; 同理 “ 3×2 ” 挡时有 $24 \times 1 = 24 \times x_3$, 解得 $x_3 = 1$ 圈, 则车速为 $v_3 = \frac{x_3 L}{t} = \frac{L}{t}$, 因此 $v_1 : v_2 = 4 : 3$, $v_1 : v_3 = 4 : 1$.

(3) 根据前述分析可知, “ 1×4 ” 挡时自行车速度最大, 最大速度为 $v = 4nL$.

2 向心力

第 1 课时 向心力 实验: 探究向心力大小的表达式

- A 【解析】向心力的方向始终指向圆心, 是变力, A 错误; 向心力是沿着半径指向圆心方向的合力, 是根据力的作用效果命名的, 故 B 正确; 向心力可以是重力、弹力、摩擦力等各种力的合力, 也可以是其中某个力的分力, 故 C 正确; 向心力只改变物体线速度的方向, 不改变物体线速度的大小, 故 D 正确.
- B 【解析】摩托车在水平路面上转弯时所需的向心力由静摩擦力提供, A、C、D 错误, B 正确.
- 角速度 操作三 线速度 操作二
【解析】操作一和操作三都是每秒转动一圈, 则角速度相等, 根据 $F = m\omega^2 r$ 可知, 半径大时所需的向心力大, 则拉力大, 所以操作三中绳子拉力较大; 操作三和操作二比较, 操作三中的

沙袋 1 s 内转过的弧长为 $2\pi \times 2r = 4\pi r$, 操作二中的沙袋 1 s 内转过的弧长为 $2 \times 2\pi r = 4\pi r$, 可知线速度大小相同, 根据 $F = \frac{mv^2}{r}$ 可知, 半径小时所需的向心力大, 则拉力大, 所以操作二中绳子拉力较大。

4. (1)B (2)D

【解析】(1) 本实验采用控制变量法, 要研究向心力与质量的关系, 应保持小球做圆周运动的半径和角速度相同, 用不同质量的小球做实验, 因此皮带带动的两边塔轮的半径应相同, 才能保证两球转动的角速度相同, 小球应放在半径相同的槽 A 和槽 C 内, 故 B 正确。

(2) 皮带带动的塔轮 1 及塔轮 2 的线速度大小相同, 半径比为 $2:1$, 由 $v = r\omega$ 可知塔轮 1 及塔轮 2 转动的角速度之比为 $1:2$, 即两球做圆周运动的角速度之比为 $1:2$, 两球质量相同, 均放在短槽内, 即其做圆周运动的半径相同, 由 $F = m\omega^2 r$ 知, 其做圆周运动的向心力之比为 $1:4$, 故两边标尺露出的刻度数之比为 $1:4$, 故 D 正确。

5. C 【解析】小球受到竖直向下的重力作用和垂直于漏斗壁向上的支持力作用, 两者的合力提供小球做匀速圆周运动的向心力, 选项 C 正确。

6. D 【解析】两物体绕同一转轴转动, 角速度和周期相同, 由 $v = \omega r$ 可知, 线速度 $v_A > v_B$, 选项 A、C 正确; 物体在竖直方向上受力平衡, 故受到的摩擦力 $F_{fA} = F_{fB} = mg$, 选项 D 错误; 在水平方向上, 由向心力公式得 $F_N = m\omega^2 r$, 可得筒壁对它们的弹力 $F_{NA} > F_{NB}$, 选项 B 正确。

7. (1)C (2)一 (3)B

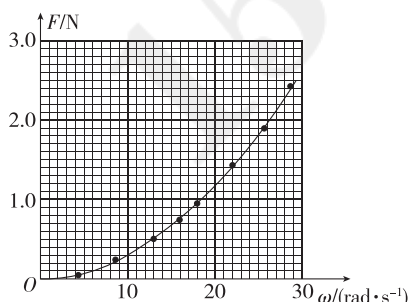
【解析】(1) 在该实验中, 采用了控制其他两个量不变, 研究另一个量与向心力的关系, 故主要利用了控制变量法来探究向心力与质量、半径、角速度之间的关系, 故选 C。

(2) 在某次实验中, 把两个质量相等的钢球放在 A、C 位置, 探究向心力的大小与半径的关系, 应使两球的角速度相同, 则需要将传动皮带调至第一层塔轮。

(3) 在另一次实验中, 把两个质量相等的钢球放在 B、C 位置, 则两球做圆周运动的半径相等; 传动皮带位于第二层, 则两球做圆周运动的角速度之比为 $\omega_{左} : \omega_{右} = R_2 : 2R_2 = 1:2$, 根据 $F = m\omega^2 r$, 可知当塔轮匀速转动时, 左右两标尺露出的格子数之比 $F_{左} : F_{右} = \omega_{左}^2 : \omega_{右}^2 = 1:4$, 故选 B。

8. (1) 如图所示 (2) $F \propto \omega^2$ (3) 作一条平行于纵轴的辅助线, 求出辅助线和图像的交点中力的数值之比是否为 $1:2:3$, 如果比例成立, 则说明 F 与 r 成正比

(4) 0.038



【解析】(1) 描点后绘图时注意尽量让所描的点落到同一条曲线上, 不能落到曲线上的让其均匀分布在两侧, 如图所示。

(2) 通过绘出 F 与 ω^2 关系图像来确定他们的猜测是否正确, 如果猜测正确, 作出的 F 与 ω^2 的关系图像应当为一条倾斜直线。

(3) 他们的依据是: 作一条平行于纵轴的辅助线, 观察和图像的交点中力的数值之比是否为 $1:2:3$, 如果比例成立则说明向心力与物体做圆周运动的半径成正比。

(4) 做圆周运动的物体受到的向心力 F 与角速度 ω 、半径 r 的数学关系式是 $F = k\omega^2 r$, 代入 $(20 \text{ rad/s}, 1.2 \text{ N})$, 此时半径

为 0.08 m , 得 $1.2 \text{ N} = k \cdot 20^2 (\text{rad/s})^2 \times 0.08 \text{ m}$, 解得 $k \approx 0.038 \text{ kg}$ 。

第2课时 向心力的分析与计算

1. B 【解析】根据角速度的定义式 $\omega = \frac{\theta}{t}$, 可知 $\frac{\omega_A}{\omega_B} = \frac{4}{3}$, 根据向心力公式 $F = m\omega^2 r$, 可得 A 物体的向心力大小与 B 物体的向心力之比为 $\frac{F_A}{F_B} = \frac{m_A}{m_B} \cdot \left(\frac{\omega_A}{\omega_B}\right)^2 \cdot \frac{r_A}{r_B} = \frac{1}{2} \times \left(\frac{4}{3}\right)^2 \times \frac{1}{2} = \frac{4}{9}$, 故 A、C、D 错误, B 正确。

2. D 【解析】根据角速度的定义式 $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ 可知, $\omega = \frac{2\pi}{T}$, 所以 $T = \frac{2\pi}{\omega}$, A 错误; 匀速圆周运动的向心力始终指向圆心, 座舱在最低点时, 向心力竖直向上, 座舱所受摩天轮的作用力为 $F_{N1} = mg + m\omega^2 R$, 而座舱在最高点时, 向心力竖直向下, 座舱所受摩天轮的作用力为 $F_{N2} = mg - m\omega^2 R$, 故 B、C 错误; 做匀速圆周运动的物体所受合力提供向心力, 即座舱所受合力大小始终为 $F_n = m\omega^2 R$, D 正确。

3. D 【解析】橡皮做加速圆周运动, 则合力沿径向的分力提供其做圆周运动的向心力, 即合力不指向圆心, 但一定指向圆周内; 由于橡皮做加速圆周运动, 橡皮的线速度不断增大, 故合力与线速度的夹角小于 90° , 故 D 正确。

4. C 【解析】荡秋千时做变速圆周运动, 由绳的拉力和重力沿半径方向的分力的合力提供向心力, 用来改变线速度的方向; 还有沿着切线方向的重力分力提供切向力, 用来改变线速度的大小, 故合外力方向可能沿 3 方向, 故选 C。

5. D 【解析】飞机在最低点做圆周运动, 飞行员能承受的最大不得超过 $8mg$ 才能保证飞行员安全, 设飞机给飞行员竖直向上的力为 F_N , 则有 $F_N - mg = m \frac{v^2}{r}$, 且 $F_N \leq 8mg$, 解得 $v_{\max} = 40 \sqrt{35} \text{ m/s}$, 故飞机在最低点 P 的速率不得超过 $40 \sqrt{35} \text{ m/s}$, 故选 D。

6. B 【解析】抛出时, 可以把小球的运动看成是半径为 ρ_0 的圆周运动, 有 $mg \cos \theta = m \frac{v^2}{\rho_0}$, 可得 $v = \sqrt{\rho_0 g \cos \theta}$, A 错误, B 正确; 在斜抛运动最高点, 小球的速度为 $v_t = v \cos \theta$, 可以把小球的运动看成是半径为 ρ 的圆周运动, 因为小球只受重力, 所以根据牛顿第二定律可得 $mg = \frac{mv_t^2}{\rho}$, 联立可得 $\rho = \rho_0 \cos^3 \theta$, C、D 错误。

7. BD 【解析】甲、乙两人绕共同的圆心做匀速圆周运动, 角速度相同, 运动半径之和为两人间的距离, 向心力为彼此间的拉力, 故有 $F_n = M_{\text{甲}} \omega^2 r_{\text{甲}} = M_{\text{乙}} \omega^2 r_{\text{乙}} = 600 \text{ N}$, $r_{\text{甲}} + r_{\text{乙}} = 0.9 \text{ m}$, 联立解得 $r_{\text{甲}} = 0.3 \text{ m}$, $r_{\text{乙}} = 0.6 \text{ m}$, $\omega = 5 \text{ rad/s}$, 选项 B、D 正确。

8. (1) 8 rad/s (2) 8 m

【解析】(1) 设绳断时角速度为 ω , 有 $F - mg = m\omega^2 L$, 解得 $\omega = 8 \text{ rad/s}$ 。

(2) 绳断后, 小球做平抛运动, 其初速度 $v = \omega L = 8 \text{ m/s}$

由平抛运动规律有 $h - L = \frac{1}{2} g t^2$

解得 $t = 1 \text{ s}$

水平距离 $x = vt = 8 \text{ m}$ 。

9. (1) $m_2 g$ (2) $\sqrt{\frac{m_2 g r}{m_1}}$

【解析】(1) 物块 B 受力平衡, 故轻绳拉力 $F_T = m_2 g$

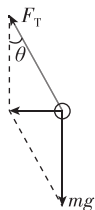
(2) 小球 A 做匀速圆周运动的向心力等于轻绳拉力 F_T , 根据牛顿第二定律得 $m_2 g = m_1 \frac{v^2}{r}$

解得 $v = \sqrt{\frac{m_2 g r}{m_1}}$

$$10. (1) \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r + L \sin \theta}} \quad (2) \frac{mg}{\cos \theta}$$

【解析】(1)对座椅受力分析,如图所示.转盘转动的角速度为 ω 时,钢绳与竖直方向的夹角为 θ ,则座椅到转轴的距离即座椅做圆周运动的半径,为 $R = r + L \sin \theta$
有 $mg \tan \theta = m\omega^2 R$

$$\text{联立解得 } \omega = \sqrt{\frac{g \tan \theta}{r + L \sin \theta}}$$



(2)钢绳的拉力为 F_T ,由受力分析知 $F_T = \frac{mg}{\cos \theta}$

3 向心加速度

1. B 【解析】向心加速度大小恒定,方向一直改变,故A错误;向心加速度垂直于线速度,只改变线速度的方向,不改变线速度大小,故B正确;匀速圆周运动速度方向时刻改变,不是匀速运动,故C错误;做匀速圆周运动的物体的速率不变,故D错误.

2. AD 【解析】小球做圆周运动,运动到图示的P点时,所受的合力可分解为向心力和切向力,即小球在P点的加速度可分解为沿PO方向的向心加速度和垂直于PO的切向加速度,并且向心加速度不为零,当小球做匀速圆周运动时,切向加速度为零,故A、D正确,B、C错误.

3. D 【解析】根据 $\omega = \frac{v}{r}$ 可知,速率不变,半径减小,则角速度 ω 变大;根据 $a = \frac{v^2}{r}$ 可知,速率不变,半径减小,向心加速度 a 变大.故选D.

4. D 【解析】由 $a = \omega^2 R = \frac{4\pi^2}{T^2} R = \frac{v^2}{R}$ 可得,角速度 $\omega = \sqrt{\frac{a}{R}}$,周期 $T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{a}}$,线速度 $v = \sqrt{aR}$,在 t 时间内,小球通过的路程 $s = vt = \sqrt{aR} \cdot t$,小球转过的角度 $\theta = \omega t = t \sqrt{\frac{a}{R}}$,故A、B、C正确,D错误.

5. D 【解析】由题意可知 $v_a = v_b$ 、 $\omega_b = \omega_c$,根据 $v = \omega r$ 可知 $\frac{\omega_a}{\omega_b} = 2$, $\frac{v_b}{v_c} = \frac{2r}{4r} = \frac{1}{2}$,解得 $v_a : v_b : v_c = 1 : 1 : 2$ 、 $\omega_a : \omega_b : \omega_c = 2 : 1 : 1$,A、B错误;根据 $a = \omega^2 r = \omega v$,可知 $a_a : a_b : a_c = 2 : 1 : 2$,C错误;根据 $n = \frac{\omega}{2\pi}$ 可知 $n_a : n_b : n_c = 2 : 1 : 1$,D正确.

6. A 【解析】根据题意,由图可知,手机转动的半径约为0.65 m,由公式 $a_n = \frac{v^2}{r}$ 可得,手臂摆到竖直位置时手机的向心加速度大小约为 $a_n = \frac{v^2}{r} = 0.65 \text{ m/s}^2$,故选A.

7. A 【解析】根据 $a = \frac{v^2}{R}$,A、B两点的线速度 v 大小相等,加速度 a 与半径 R 成反比,加速度关系满足1图线,A正确,B错误;根据 $a = \frac{v^2}{R}$,A、C两点的线速度大小不相等,加速度与半径不成反比,加速度关系不满足1图线,C错误;根据 $a = \omega^2 R$,A、C两点的角速度不相等,加速度与半径成正比,加速度关系不满足2图线,D错误.

8. A 【解析】细绳碰到钉子的瞬间,线速度不变,B错误;圆周运动的半径由 L 变为 $\frac{L}{3}$,由 $a = \frac{v^2}{r}$ 知, a 增大到原来的3倍,A正确;根据 $v = r\omega$ 知角速度 ω 增大到原来的3倍,C错误;细绳碰到钉子前瞬间小球的向心力 $F_{向1} = m \frac{v^2}{L}$,碰后瞬间向心力 $F_{向2} = m \frac{v^2}{\frac{L}{3}} = 3F_{向1}$,D错误.

9. D 【解析】乘坐飞椅的所有爱好者可视为做圆周运动,其角速度相同,故A错误,D正确;悬挂点在最外侧的所有飞椅向心加速度大小相等,方向不同,故B错误;没有受到向心力,向心力是效果力,故C错误.

$$10. (1) \frac{4\pi^2}{T^2} R \quad (2) mg + m \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

【解析】(1)小朋友做圆周运动的角速度 $\omega = \frac{2\pi}{T}$

向心加速度 $a = \omega^2 R$

$$\text{可得 } a = \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

(2)根据向心力公式有

$$F_{向心} = m\omega^2 R$$

对小朋友受力分析可得 $F - mg = F_{向心}$

$$\text{解得 } F = mg + m \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

$$11. (1) \frac{5v^2}{4L} \quad (2) \frac{7mv^2}{4L} \quad \frac{5mv^2}{4L}$$

【解析】(1)小球A和B的角速度相等, $\omega_A = \omega_B$

对小球A,有 $v = \omega_A \times 2L$

小球B的向心加速度大小为 $a_B = \omega_B^2 \times 5L$

$$\text{解得 } a_B = \frac{5v^2}{4L}$$

(2)设OA杆上的拉力大小为 F_1 ,AB杆上的拉力大小为 F_2 ,对小球B,由牛顿第二定律得 $F_2 = ma_B$

$$\text{解得 } F_2 = \frac{5mv^2}{4L}$$

对小球A,由牛顿第二定律得

$$F_1 - F_2 = ma_A$$

$$a_A = \frac{v^2}{2L}$$

$$\text{解得 } F_1 = \frac{7mv^2}{4L}$$

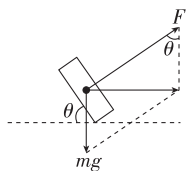
4 生活中的圆周运动

1. C 【解析】设火车以速度 v 转弯时,若内、外轨道均不受侧压力作用,则由牛顿第二定律得 $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$,解得 $v = \sqrt{gR \tan \theta}$,即若速度为 $\sqrt{gR \tan \theta}$,则火车只受重力、支持力,重力和支持力的合力提供向心力,内、外轨道均不受侧压力作用,所受支持力 F_N 的竖直分量的大小等于重力 G ,A错误;向心力在水平方向上,所受支持力 F_N 的水平分量提供向心力,B错误,C正确;在垂直于轨道方向上有向心加速度的分量,其方向垂直于轨道向上,故所受重力 G 在垂直于轨道方向上的分量小于支持力 F_N ,D错误.

2. A 【解析】在水平路面上转弯,向心力由沿半径方向的摩擦力 F_f 提供,在竖直方向上支持力与重力平衡, $F_N = mg$,支持力与摩擦力的合力沿车身方向,所以 $F_f = F_{向} = \frac{mg}{\tan \theta}$,故A正确.

3. BC 【解析】对雪板与运动员进行受力分析如图所示,可得 $F = \frac{mg}{\cos \theta}$,因此A错误,B正确;运动员在通过弯道过程中支

持力和重力的合力提供向心力,有 $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $v = \sqrt{Rg \tan \theta}$, C 正确, D 错误.



4. C 【解析】玩具车静止在拱桥顶端时对拱桥的压力等于玩具车的重力,当玩具车以一定的速度通过最高点时,由合力提供向心力,根据牛顿第二定律得 $mg - F_N = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $F_N = mg - m \frac{v^2}{R} < mg$, 所以玩具车运动通过拱桥顶端时电子秤示数会小一些,故 A、B 错误;玩具车运动通过拱桥顶端时,加速度方向向下,处于失重状态,故 C 正确;根据 $F_N = mg - m \frac{v^2}{R}$ 可知,玩具车运动通过拱桥顶端时,速度越大(未离开拱桥),则电子秤示数越小,故 D 错误.

5. D 【解析】在凹形路面的最低点,加速度向上,汽车超重,选项 A 错误;在凸形路面的最高点,加速度向下,汽车失重,汽车不容易爆胎,选项 B 错误;速度过快时,容易爆胎或飞出路面,所以为保证安全,可减速通过这段路面,选项 C 错误, D 正确.

6. C 【解析】汽车行驶过程中,做圆周运动,根据牛顿第二定律有 $mg - F_N = m \frac{v^2}{R}$, 根据牛顿第三定律可知,汽车对地面的压力与其所受支持力等大反向,有 $F_N' = F_N = mg - m \frac{v^2}{R}$, 可知,汽车的速度越大,则汽车对地面的压力越小,故 A 错误;从上面选项分析,可知驾驶员对座椅压力大小与汽车的速度有关,且只要汽车行驶,驾驶员对座椅压力都小于他自身的重力,故 B 错误, C 正确;若某时刻速度增大到使汽车对地面压力为零,则此时驾驶员只受重力作用,处于完全失重状态,此时驾驶员会有失重的感觉,故 D 错误.

7. AD 【解析】衣物运动到最低点 B 点时,加速度指向圆心,方向竖直向上,处于超重状态,故 A 正确;衣物做匀速圆周运动,水所受合力不足以提供向心力,做离心运动,故 B 错误;根据牛顿第二定律,可知在最低点有 $F_{N1} - mg = m \frac{v^2}{R}$, 在最高点有 $F_{N2} + mg = m \frac{v^2}{R}$, 则 $F_{N1} > F_{N2}$, 衣物运动到最低点 B 点时脱水效果更好,故 C 错误, D 正确.

8. D 【解析】人随“魔盘”转动过程中受到重力、弹力、摩擦力,向心力由弹力提供,故 A 错误;人在竖直方向上受到重力和摩擦力,二力平衡,则转速变大时,人与竖直壁之间的摩擦力不变,故 B 错误;如果转速变大,由 $F = mr\omega^2$ 知,人与竖直壁之间的弹力变大,故 C 错误;人“贴”在“魔盘”上时,有 $mg \leq F_{fmax}$, $F_N = mr(2\pi n)^2$, 又 $F_{fmax} = \mu F_N$, 解得转速 $n \geq \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu r}}$, 故“魔盘”的转速一定不小于 $\frac{1}{2\pi\sqrt{\mu r}}$, 故 D 正确.

9. B 【解析】水油分离是因为水的密度较大更容易离心而分离, A 错误, B 正确;太空中物体处于完全失重状态,在天宫中摇晃试管使水油混合,静置一小段时间后水油不能分离, C 错误;若在地面上利用此装置进行实验,也能实现水油分离, D 错误.

10. C 【解析】通过螺旋隧道设计,有效减小坡度,主要目的是减小重力沿斜面向下的分力,故 A 错误;由向心力公式 $F = m \frac{v^2}{R}$ 可知,当速度不变, R 越大时,向心力越小,即外侧

的车需要的向心力更小,故 B 错误;车辆转弯处,路面应当内低外高,这样有一部分支持力分量可以提供向心力,使汽车更安全,降低车辆侧滑风险,故 C 正确;车辆上坡过程中受到重力、支持力、摩擦力、牵引力,故 D 错误.

11. (1) 5000 N (2) 4640 N (3) $10\sqrt{5}$ m/s

【解析】(1) 根据题意得 $G = mg = 500 \times 10 \text{ N} = 5000 \text{ N}$ 根据平衡条件可知 $F_N = G = 5000 \text{ N}$ 由牛顿第三定律可知,汽车对圆弧形拱桥的压力是 5000 N

(2) 由牛顿第二定律得 $mg - F_N = m \frac{v^2}{R}$

解得 $F_N = mg - m \frac{v^2}{R} = 4640 \text{ N}$

由牛顿第三定律可知,汽车对圆弧形拱桥的压力是 4640 N

(3) 由于只受重力,故有 $mg = m \frac{v'^2}{R}$

解得 $v' = \sqrt{gR} = 10\sqrt{5} \text{ m/s}$

12. (1) $\frac{\theta s}{t^2}$ (2) $m \sqrt{g^2 + \frac{\theta^2 s^2}{t^4}}$

【解析】(1) 设雄鹰做匀速圆周运动时的角速度为 ω , 则

$$\omega = \frac{\theta}{t}$$

由几何关系得 $s = r\theta$

雄鹰的向心加速度 $a_{向} = \omega^2 r$

$$\text{解得 } a_{向} = \frac{\theta s}{t^2}$$

(2) 雄鹰运动时的向心力 $F_{向} = ma_{向}$

$$\text{解得 } F_{向} = \frac{m\theta s}{t^2}$$

对雄鹰受力分析可知,雄鹰受到的升力大小

$$F = \sqrt{(mg)^2 + F_{向}^2}$$

$$\text{整理得 } F = m \sqrt{g^2 + \frac{\theta^2 s^2}{t^4}}$$

专题课: 竖直平面内的圆周运动问题

1. D 【解析】球过最高点时轻绳对小球的作用力可能是拉力,不可能是推力,当满足 $mg = m \frac{v^2}{r}$, 即 $v = \sqrt{gr}$ 时,轻绳的拉力为零,当 $v > \sqrt{gr}$ 时,轻绳的拉力不为零,故 D 正确.

2. A 【解析】人和摩托车通过最高点时,对整体受力分析,重力和轨道对整体支持力合力提供向心力,根据牛顿第二定律有 $F + mg = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $F = mg$, 方向竖直向下, 故选 A.

3. C 【解析】设杆长为 R , 当重力刚好提供小球做圆周运动所需的向心力时,杆对小球无作用力,此时有 $mg = m \frac{v^2}{R}$, 解得 $v = \sqrt{gR}$, 当 $v > \sqrt{gR}$ 时,杆对小球提供拉力,当 $v < \sqrt{gR}$ 时,杆对小球提供支持力,故 C 正确, A、B、D 错误.

4. B 【解析】由题意可知, a 球通过最高点 A 时受到竖直向下的重力 mg 和上管壁施加的竖直向下的弹力 F_{Na} , $F_{Na} = 3mg$, 由圆周运动向心力公式可得 $mg + F_{Na} = m \frac{v_A^2}{R}$, 解得 $v_A = 2\sqrt{gR}$, b 球经过最高点 A 时,受到竖直向下的重力 mg 和下管壁施加的竖直向上的支持力 F_{Nb} , $F_{Nb} = 0.75mg$, 由圆周运动向心力公式可得 $mg - F_{Nb} = m \frac{v_b^2}{R}$, 解得 $v_b = \frac{\sqrt{gR}}{2}$, 所以 a、b 两小球通过 A 点的速度大小之比为 $v_A : v_b = 4 : 1$, 故 B 正确.

5. C 【解析】根据图乙可知,当 $v^2 = 10 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 时, $F = 0$, 重力提供向心力,设运动员的重心到单杠的距离为 r , 根据牛顿第

二定律得 $mg = m \frac{v^2}{r}$, 代入数据解得 $r = 1.0 \text{ m}$, A、B 均错误; 根据图乙可知, 当 $v^2 = 20 \text{ m}^2/\text{s}^2$ 时, $F = 500 \text{ N}$, 则 $F + mg = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $m = 50 \text{ kg}$, D 错误, C 正确。

6. (1) 25 m/s^2 (2) $5\sqrt{29} \text{ N}$ (3) 20 N

【解析】(1)依题意, 可得最高点 A 时, 小球加速度 a 的大小为 $a = \omega^2 r = 1 \times 5^2 \text{ m/s}^2 = 25 \text{ m/s}^2$

(2)在水平位置 B 时, 小球重力及杆对小球的作用力的合力提供小球做匀速圆周运动的向心力, 则可得

$$F_B = \sqrt{(ma)^2 + (mg)^2} = \sqrt{25^2 + 10^2} \text{ N} = 5\sqrt{29} \text{ N}$$

(3)最高点 A 时, 根据牛顿第二定律有

$$mg + F_A = ma$$

代入数据求得 $F_A = 15 \text{ N}$

最低点 C 时, 根据牛顿第二定律有 $F_C - mg = ma$

求得 $F_C = 35 \text{ N}$

故杆对小球的作用力 F_C 、 F_A 的大小之差为

$$\Delta F = F_C - F_A = 20 \text{ N}$$

7. D 【解析】由题意可知, 该同学荡到秋千做的是圆周运动, 运动到圆周的最低点时, 该同学和秋千踏板看成整体, 整体受重力 mg 和两根绳子的共同作用力 F , 由牛顿第二定律可得

$$F - mg = m \frac{v^2}{L}, \text{ 代入数据解得 } F = 820 \text{ N}, \text{ 由牛顿第三定律可知, 此时两根绳子承受的拉力约为 } 800 \text{ N}, \text{ 故选 D.}$$

8. D 【解析】滑块恰好通过最高点 P 时, 由重力完全提供向心力, 有 $mg = m \frac{v_P^2}{R}$, 解得 $v_P = \sqrt{gR}$, 所以滑块离开 P 点后做平抛运动, 故 D 正确, A、B、C 错误。

9. B 【解析】由乙图知, 当小球的速度为零时, 小球受到的弹力为 $F = a$, 则小球重力 $G = a$; 当弹力为零时, 小球的向心力完全由重力提供, 对小球有 $F_{\text{向}} = G = \frac{mv^2}{R}$, 代入数据解得 $m = \frac{aR}{b}$, 故 A 项正确。小球重力 $G = a$, 质量为 $m = \frac{aR}{b}$, 所以当地重力加速度为 $g = \frac{b}{R}$, 即 B 项错误。当 $v^2 = c > b$ 时, 重力不足以提供小球所需的向心力, 杆需要对小球提供竖直向下的弹力, 根据牛顿第三定律可知, 小球对杆的弹力方向向上, 即 C 项正确。当 $v^2 = 2b$ 时, 对小球有 $F_{\text{向}} = G + F = \frac{mv^2}{R}$, 将 $G = a$, $m = \frac{aR}{b}$ 和 $v^2 = 2b$ 代入方程可以解得 $F = G$, 即 D 项正确。

10. (1) 18 N (2) 2 m/s

【解析】(1)当小球经过最低点时, 设小球受到圆管的支持力为 F_{N1} , 小球对圆管的压力为 F_{N1}' , 地面对长方体的支持力大小为 $F_{\text{支}}$, 小球的向心力为 $m_2 \frac{v_1^2}{R} = F_{N1} - m_2 g$

由牛顿第三定律可知 $F_{N1}' = F_{N1} = m_2 \frac{v_1^2}{R} + m_2 g$

地面对长方体的支持力大小 $F_{\text{支}} = F_{N1}' + Mg + m_1 g$

联立解得 $F_{\text{支}} = 18 \text{ N}$

(2)当小球经过最高点时, 小球对圆管的压力为 F_{N2}' , 圆管

对小球的弹力为 F_{N2} , 根据题意得 $m_2 \frac{v_2^2}{R} = F_{N2} + m_2 g$

根据牛顿第三定律可知 $F_{N2}' = F_{N2} = m_2 \frac{v_2^2}{R} - m_2 g$

要使长方体对地面的压力恰好为零, 则 $F_{N2}' = Mg + m_1 g$

联立解得 $v_2 = 2 \text{ m/s}$

11. B 【解析】在最低点对小物体受力分析, 有重力、支持力和

摩擦力。将重力沿着盘面和垂直于盘面分解。由题意可知, 小物体做匀速圆周运动, 则小物体所受合力提供向心力, 即

$$F_f - mg \sin 15^\circ = m \frac{v^2}{r}, \text{ 解得 } v = 2 \text{ m/s}, \text{ 所以 A 错误; 由 A}$$

选项分析可知, 小物体所受合力为 $F_{\text{合}} = F_f - mg \sin 15^\circ = 4 \text{ N}$, 所以 B 正确; 因为小物体做匀速圆周运动, 所以小物体在圆轨道任意位置时, 所受合力的大小都是相等的, 即在最高点, 小物体所受合力为 4 N , 受力分析, 可得重力沿盘面向下的分力为 $G_1 = mg \sin 15^\circ = 2.6 \text{ N}$, 由于 $G_1 < F_{\text{合}}$, 所以可知, 此时小物体所受摩擦力方向沿盘面指向转轴, 大小为 $F_f' = F_{\text{合}} - G_1 = 1.4 \text{ N}$, 所以 C、D 错误。

专题课：水平面内的圆周运动问题

1. C 【解析】根据牛顿第二定律得 $\mu mg = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 解得 $\mu =$

$$\frac{4\pi^2 r}{g T^2}, \text{ 动摩擦因数 } \mu \text{ 的最小值为 } \frac{4\pi^2 r}{g T^2}, \text{ 故 A 错误; 若减少茶}$$

杯中的水量, 以相同的周期匀速转动转盘, 上述等式仍然成立, 茶杯不能发生相对滑动, 故 B 错误; 根据 $F_f = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 若

减小转盘的转动周期 T , 茶杯所受的静摩擦力增大, 当达到最大静摩擦力时, 茶杯与转盘发生相对滑动, 故 C 正确; 若转盘减速转动, 茶杯与转盘仍保持相对静止, 茶杯受到的摩擦力的方向不指向转轴, 摩擦力沿着半径方向的分力改变线速度的方向, 摩擦力沿着切线方向的分力改变线速度的大小, 故 D 错误。

2. B 【解析】由合力提供向心力得 $F - F_f = m\omega^2 r$, 由于弹力 F 不变, 角速度增大, 则摩擦力先减小直到为 0, 之后角速度继续增大, 则摩擦力反向增大, 故 B 正确。

3. BC 【解析】A 受重力、支持力和静摩擦力, B 对 A 的静摩擦力提供向心力, $F_f = 3m\omega^2 r \leq 3\mu mg$, 刚要与 B 发生相对滑动时 A 受的静摩擦力最大, 为 $3\mu mg$, 选项 A 错误, B 正确; 对 A, 有 $3m\omega^2 r \leq 3\mu mg$, 可解出 $\omega \leq \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$, 对 A、B 整体有 $(3m + 2m)\omega^2 r \leq \mu(3m + 2m)g$, 可解出 $\omega \leq \sqrt{\frac{\mu g}{r}}$, 对 C 有

$$m\omega^2(1.5r) \leq \mu mg, \text{ 解得 } \omega \leq \sqrt{\frac{2\mu g}{3r}}, \text{ 选项 C 正确, D 错误.}$$

4. C 【解析】甲图中衣服随脱水桶一起匀速转动的过程中, 桶对衣服的支持力提供向心力, 故 A 错误; 设做圆锥摆运动的小球质量为 m , 摆绳与竖直方向的夹角为 θ , 摆球与悬点的高度差为 h , 线速度大小为 v , 周期为 T , 根据牛顿第二定律有 $mg \tan \theta = m \frac{v^2}{h \tan \theta} = m \frac{4\pi^2}{T^2} h \tan \theta$, 解得 $v = \tan \theta \sqrt{gh}$,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{h}{g}}, \text{ 由上述两式可知乙图中两小球的线速度大小不}$$

等, 周期相等, 故 B 错误, C 正确; 由题意知丙图中 a、b 两球的向心力大小相等, 则向心加速度大小相等, 即 $\omega_a^2 r_a = \omega_b^2 r_b$, 因为 $r_a > r_b$, 所以 $\omega_a < \omega_b$, 故 D 错误。

5. C 【解析】小球所受重力和环的支持力的合力提供向心力, 根据牛顿第二定律可得 $mg \tan \theta = m\omega^2 R \sin \theta$, 解得 $\cos \theta = \frac{g}{\omega^2 R}$, 说明小球和圆心的连线与竖直方向的夹角 θ 与小球的质量无关, 故 A、B、D 错误, C 正确。

6. BCD 【解析】开始时静摩擦力提供向心力, 圆盘角速度缓慢地增加, 静摩擦力逐渐增大, 当角速度增加到一定值时, 静摩擦力达到最大静摩擦力, 若圆盘的角速度继续增大, 则小物块相对圆盘滑动, 此时由弹簧弹力与最大静摩擦力的合力来提供向心力, 所以物块受到摩擦力总是指向圆心, A 错误, B 正确; 物块开始滑动时, 有 $\mu mg = m\omega^2 L$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{\mu g}{L}}$, C 正

确;当圆盘角速度缓慢地增加,弹簧的伸长量为 x 时,有

$$\mu mg + kx = m\omega^2(L+x), \text{解得 } \omega = \sqrt{\frac{\mu mg + kx}{m(L+x)}}, \text{D 正确.}$$

7. C 【解析】当转动的角速度 ω 逐渐增大时,小球可能只受重力和细绳的拉力,选项 A 错误;小球在水平面内做匀速圆周运动时,细绳的拉力在竖直方向的分力与水平面对小球的支持力的合力大小等于小球的重力,细绳的拉力在水平方向的分力提供小球运动的向心力,当转动的角速度 ω 逐渐增大时,所需向心力逐渐增大,细绳的拉力逐渐增大,而当小球离开水平面后,角速度增大时,绳子与竖直方向的夹角变大,拉力变大,选项 B 错误;要使小球刚好不离开水平面,则有

$$mg \tan \theta = m\omega^2 r, \text{其中 } \tan \theta = \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{h}, r = \sqrt{l^2 - h^2}, \text{联立}$$

$$\text{解得 } \omega = \sqrt{\frac{g}{h}}, \text{选项 C 正确;若小球离开了水平面,则角速度}$$

$$\text{大于 } \sqrt{\frac{g}{h}}, \text{选项 D 错误.}$$

$$8. (1) \frac{2r\omega^2}{g} \quad (2) \frac{2\sqrt{3}}{3}r\omega \quad \frac{4\sqrt{3}}{3}r\omega$$

【解析】(1)分析可知,物块离转轴的距离越大,越容易滑动,因此物块 B 最先滑动.根据牛顿第二定律得 $\mu mg = m \cdot$

$$2r\omega^2, \text{解得 } \mu = \frac{2r\omega^2}{g}$$

(2)当两物块刚好要滑动时,设转动的角速度为 ω_1 .对物块 A 有 $\mu mg - F_T = mr\omega_1^2$,对物块 B 有 $\mu mg + F_T = m \cdot 2r\omega_1^2$,联

$$\text{立可得 } \omega_1 = \frac{2\sqrt{3}}{3}\omega,$$

因此物块 A 的线速度大小为 $v_A = r\omega_1 = \frac{2\sqrt{3}}{3}r\omega$,物块 B 的线

$$\text{速度大小为 } v_B = 2r\omega_1 = \frac{4\sqrt{3}}{3}r\omega$$

9. CD 【解析】当 $\omega = 0$ 时,由于小球在水平方向受力平衡,因此 AC 杆对小球的作用力表现为拉力,BC 杆对小球的作用力表现为支持力,且大小相等,选项 A 错误;当 ω 逐渐增大时,AC 杆对小球的拉力逐渐增大,BC 杆对小球的支持力逐渐减小,当 BC 杆的作用力为 0 时,有 $mg \tan \theta = m\omega^2 L \sin \theta$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{L \cos \theta}}$,当 ω 继续增大时,AC 杆对小球的拉力继续增大,BC 杆对小球的作用力变为拉力,且逐渐增大,选项 B 错误,D 正确;一定时间后,AC 杆和 BC 杆的作用力都变为拉力,拉力的竖直分力之差等于小球的重力,即 $F_1 \cos \theta - F_2 \cos \theta = mg$,则 $F_1 - F_2 = \frac{mg}{\cos \theta}$,因此 AC 杆与 BC 杆上的力的大小之差恒定,选项 C 正确.

$$10. (1) \frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ rad/s} \quad (2) 2.5 \text{ N} \quad 12.5 \text{ N}$$

【解析】(1)当细线 AB 刚好被拉直时,细线 AB 的拉力为零,细线 AC 的拉力和重力的合力提供向心力,则有 $mg \tan 37^\circ = mL_{AB}\omega_1^2, L_{AB} = L \sin \theta$

$$\text{代入数据解得 } \omega_1 = \sqrt{\frac{g \tan 37^\circ}{L_{AB}}} = \sqrt{\frac{10 \times \frac{3}{4}}{1 \times \frac{3}{5}}} \text{ rad/s} =$$

$$\frac{5\sqrt{2}}{2} \text{ rad/s}$$

(2)若装置匀速转动的角速度 $\omega_2 = \sqrt{\frac{50}{3}} \text{ rad/s} > \omega_1$,则两细线均有张力,竖直方向上有 $F_{AC} \cos 37^\circ = mg$ 水平方向上有 $F_{AC} \sin 37^\circ + F_{AB} = mL_{AB}\omega_2^2$

代入数据解得 $F_{AB} = 2.5 \text{ N}, F_{AC} = 12.5 \text{ N}$.

本章易错过关(二)

1. D 【解析】假设轮盘乙的半径为 R ,由题意可知两轮盘边缘的线速度大小相等,有 $\omega_{\text{甲}} \cdot 3R = \omega_{\text{乙}} R$,得 $\omega_{\text{甲}} : \omega_{\text{乙}} = 1 : 3$,所以滑块相对轮盘滑动前,A、B 的角速度之比为 $1 : 3$,A 正确;滑块相对轮盘滑动前,根据 $a_n = \omega^2 r$ 得 A、B 的向心加速度之比为 $a_A : a_B = 2 : 9$,B 正确;根据题意可得滑块 A、B 受到的最大静摩擦力分别为 $F_{fA} = \mu m_A g, F_{fB} = \mu m_B g$,最大静摩擦力之比为 $F_{fA} : F_{fB} = m_A : m_B$,滑块相对轮盘滑动前所受的静摩擦力之比为 $F'_{fA} : F'_{fB} = (m_A a_A) : (m_B a_B) = m_A : (4.5 m_B)$,所以滑块 B 受到的摩擦力先达到最大静摩擦力,先开始滑动,C 正确,D 错误.

2. B 【解析】设细线与竖直方向的夹角为 θ ,根据牛顿第二定律有 $mg \tan \theta = m\omega^2 l \sin \theta$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{g}{l \cos \theta}}$.又 $h = l \cos \theta$,因为两个小球以相同的角速度绕共同的竖直轴在水平面内做匀速圆周运动,所以两个小球在运动过程中在同一水平面上,所以 B 正确,A、C、D 错误.

3. A 【解析】小球在斜面上做圆周运动的等效重力为 $G' = mg \sin \theta$,恰好通过最高点 A 时,只有等效重力提供向心力,故此时有 $mg \sin \theta = m \frac{v_A^2}{l}, F_T = 0$,解得 $v_A = \sqrt{gl \sin \theta}$,故选 A.

4. ACD 【解析】由平面几何关系可分别算出三个路线的路程,即 $s_1 = 2r + \pi r, s_2 = 2r + 2\pi r, s_3 = 2\pi r$,故选项 A 正确.由 $F_{\text{max}} = m \frac{v^2}{R}$,可分别算出三条路线的最大速度,即 $v_1 =$

$$\sqrt{\frac{F_{\text{max}} r}{m}}, v_2 = \sqrt{\frac{2F_{\text{max}} r}{m}}, v_3 = \sqrt{\frac{2F_{\text{max}} r}{m}}, \text{故选项 B 错误.由}$$

$t = \frac{s}{v}$,把各条路线的 s 和 v 分别代入,可分别算出运动时间,选项 C 正确.由 $F_{\text{max}} = ma_{\text{向}}$,可得出三条路线上赛车的向心加速度大小相等,选项 D 正确.

5. B 【解析】两球同轴转动,角速度相同,在转动过程中,当角速度较小时,静摩擦力提供物体做圆周运动的向心力,根据牛顿第二定律和圆周运动公式有 $F_i = m\omega^2 r$,可知 A、B 两球所受摩擦力之比为 $1 : 2$,即 B 球所受摩擦力先达到最大值 $F_{f\text{m}}$,此后随着角速度增大,绳中拉力从零开始逐渐增大,B 球所受摩擦力不变,而 A 球所受摩擦力先指向圆心减小后反向增大,当该摩擦力达到最大时,角速度达到最大,此时根据牛顿第二定律,对 B,有 $F + F_{f\text{m}} = m\omega_m^2 \cdot 2R$,对 A,有 $F - F_{f\text{m}} = m\omega_m^2 R$,联立解得 $\omega_m = \sqrt{\frac{2F_{f\text{m}}}{mR}}$,故选 B.

6. C 【解析】当物块转动到最高点,物块对圆盘拉力的大小刚好等于电动工具底座的重力时,底座刚要离开地面,此时圆盘的转速即为题求最大转速,则有 $F_T = Mg$,对物块有 $mg + F_T = mR\omega^2$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{(M+m)g}{mR}}$,则转速为 $n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(M+m)g}{mR}}$,故选 C.

7. CD 【解析】当汽车行驶的速率为 v_0 时,汽车恰好没有向公路内、外两侧滑动的趋势,汽车靠重力和支持力的合力提供向心力,可知匝道外侧较高,内侧较低,故 A 错误;根据 A 分析可知,内侧较低,外侧较高,设倾角为 θ ,靠重力和支持力的合力提供向心力,则有 $mg \tan \theta = m \frac{v_0^2}{R}$,可知,汽车是否容易打滑与汽车的质量无关,与速度有关,则有 $v_0 = \sqrt{gR \tan \theta}$,可知,当路面结冰时,与未结冰时相比, v_0 的值不变,故 B 错误,C 正确;当车速高于 v_0 一定限度,即重力、支持力和静摩擦力

合力不够提供向心力时,汽车做离心运动,向匝道外侧滑动,故 D 正确。

8. BD **【解析】** 车速为 $v=54\text{ km/h}=15\text{ m/s}$, 设悬线与竖直方向夹角为 θ , 则 $\tan\theta=\frac{5}{20}=\frac{1}{4}$, 根据牛顿第二定律得

$mg\tan\theta=m\frac{v^2}{r}$, 解得 $r=90\text{ m}$, A 错误, B 正确; 若路面略微内倾, 则悬线与竖直方向夹角的真实值偏大, 由选项 A、B 可知, 则其真实半径略小于估算半径, C 错误, D 正确。

9. (1)11 250 N (2)700 N (3)20 m/s

【解析】 (1) 轿车通过凸弧面最高点 A 时, 由牛顿第二定律有 $mg-F_{N1}=m\frac{v^2}{R_1}$

解得 $F_{N1}=11\ 250\text{ N}$

(2) 轿车通过凹弧面最低点 B 时, 对轿车内的驾驶员由牛顿第二定律有 $F_{N2}-m'g=m'\frac{v^2}{R_2}$

由牛顿第三定律可知, 压力等于支持力, 有 $F_{N2}'=F_{N2}$

解得 $F_{N2}'=700\text{ N}$

(3) 轿车过凹桥时处于超重状态, 过凸弧面时处于失重状态, 过凸弧面最高点与桥面的挤压刚好等于零时, 有 $mg=m\frac{v_1^2}{R_1}$

解得 $v_1=\sqrt{gR_1}=20\text{ m/s}$

故为使轿车始终不离开桥面, 车速不得超过 20 m/s

10. (1) $\sqrt{2gR}$ (2) $2\sqrt{\frac{2R}{g}}$ (3) $\sqrt{10gR}$

【解析】 (1) 到达 B 处时, 小球对圆弧轨道顶端的压力大小为 $F_N=mg$

在 B 点时, 由重力和轨道的支持力提供向心力, 有 $mg+F_N=m\frac{v^2}{R}$

解得 $v=\sqrt{2gR}$

(2) 小球离开 B 点后做平抛运动, 小球落到 C 点时, 根据平抛运动规律得

$$\tan 45^\circ = \frac{y}{x} = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{vt} = \frac{gt}{2v}$$

解得 $t=2\sqrt{\frac{2R}{g}}$

(3) 小球落在斜面上 C 点时, 竖直分速度为 $v_y=gt=2\sqrt{2gR}$

所以小球落到 C 点时的速度大小 $v_C=\sqrt{v^2+v_y^2}=\sqrt{10gR}$

第七章 万有引力与宇宙航行

1 行星的运动

1. D **【解析】** 开普勒通过分析第谷的数据, 得出了行星运动的规律, D 错误。

2. B **【解析】** 日心说的观点主要是以太阳为参考系来研究其他天体的运动, 这样其他天体的运动形式就会变得简单, 便于描述和研究。而地心说以地球为参考系来研究太阳及其他天体的运动, 运动形式非常复杂, 不便于描述和研究, 故选项 B 正确。

3. AB **【解析】** 开普勒第一定律准确地给出了太阳的位置, 由于行星运动的轨迹不是圆周, 速度方向虽然沿切线方向但是与它和太阳的连线有时垂直, 有时不垂直, 故 A、B 正确, C 错误; 虽然行星绕太阳转动, 但是从现在的观点看地心说和日心说都是错误的, 都是有其时代局限性的, 故 D 错误。

4. BD **【解析】** 根据开普勒第一定律知, 卫星绕行星做椭圆运动, 行星处于椭圆的焦点上, 故 A 项错误; 卫星从 a 到 b 的过程中, 引力与速度夹角为锐角, 速率增大, 故 B 项正确; 根据开普勒第二定律可知, S_1 、 S_2 两个面积大小相等, 则卫星从 a 到 b 的运行时间等于从 c 到 d 的时间, 故 C 项错误, D 项正确。

5. AC **【解析】** 由开普勒第二定律, 可得在近地点的速度大于在远地点的速度, 故在 M 点的速度大于在 N 点的速度, 且从 M 点运动到 N 点的过程中速度逐渐减小, 故 A、C 正确, B、D 错误。

6. B **【解析】** 开普勒第三定律适用于宇宙中所有围绕恒星运动的行星, 也适用于围绕行星运动的卫星, A 项错误, B 项正确; 公式 $\frac{a^3}{T^2}=k$ 中的 k 值只与中心天体有关, 对围绕同一中心天体运行的行星(或卫星)都相同, T 代表行星(或卫星)公转的周期, C、D 两项错误。

7. C **【解析】** 设地球半径为 R , 根据题述, 地球卫星 P 的轨道半径为 $R_P=16R$, 地球卫星 Q 的轨道半径为 $R_Q=4R$, 根据开普勒定律, 可得 $\frac{T_P^2}{T_Q^2}=\frac{R_P^3}{R_Q^3}=64$, 所以 P 与 Q 的周期之比为 $T_P:T_Q=8:1$, C 正确。

8. C **【解析】** 设地球与太阳的距离为 R_1 , 木星与太阳的距离为 R_2 , 根据开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2}=k$, 可得 $\frac{R_2}{R_1}=\sqrt[3]{\frac{T_{\text{木}}^2}{T_{\text{地}}^2}}=$

$\sqrt[3]{\frac{12^2}{1^2}}\approx 5.2$, 所以 $R_2=5.2R_1=5.2$ 天文单位, 故 C 正确。

9. AC **【解析】** 根据开普勒第二定律, 可知对每一个行星而言, 太阳与行星的连线在相同时间内扫过的面积相等, 所以土星远离太阳的过程中, 它的速度将减小, 选项 D 错误, A 正确; 根据开普勒第一定律可知, 土星和火星绕太阳的运动轨迹是椭圆, 选项 B 错误; 根据开普勒第三定律可知, 所有行星的轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值都相等, 由于土星轨道的半长轴较大, 所以土星的公转周期较大, 选项 C 正确。

10. B **【解析】** 已知由 $M\rightarrow N\rightarrow P$ 过程中, 火星速率逐渐减小, 根据开普勒第二定律可知, 火星和太阳的距离越来越大, 即太阳位于焦点 F_1 处, 故 A 错误; 火星由 M 到 N 和由 N 到 P 的过程中, 通过的路程相等, 速率逐渐减小, 所以火星由 M 到 N 的运动时间小于由 N 到 P 的运动时间, 根据开普勒第二定律可知单位时间内扫过的面积相等, 因此 $S_1<S_2$, 故 B 正确, C、D 错误。

11. B **【解析】** 设土星半径为 R , 对距离土星表面高度分别为 h_1 和 h_2 的两块石块, 根据开普勒第三定律有 $\frac{(R+h_1)^3}{T_1^2}=\frac{(R+h_2)^3}{T_2^2}$, 代入数据得 $R=60\ 268\text{ km}$, 故选 B。

12. A **【解析】** 根据开普勒第三定律 $\frac{r^3}{T^2}=k$, 因为海王星的轨道半径是地球轨道半径的 30 倍, 则海王星的周期大约是地球公转周期的 165 倍, 地球公转周期为 1 年, 则海王星的公转周期最接近 165 年, 故 A 正确, B、C、D 错误。

13. 2062 年

【解析】 设彗星的周期为 T_1 , 地球的公转周期为 T_2 , 这颗彗星轨道的半长轴约等于地球公转半径的 18 倍, 由开普勒第三定律得 $\frac{T_1}{T_2}=\sqrt{\frac{a^3}{R^3}}=\sqrt{18^3}\approx 76$, 所以它下次飞近地球在 $1986\text{ 年}+76\text{ 年}=2062\text{ 年}$ 。

14. C **【解析】** 由开普勒第二定律得, 太阳和行星的连线在相等的时间内扫过的面积相等, 取足够短的时间 Δt , 则有 $\frac{1}{2}\cdot$

$v_a \cdot \Delta t \cdot a = \frac{1}{2} v_b \cdot \Delta t \cdot b$, 所以 $v_b = \frac{a}{b} v_a$, 选项 C 正确.

2 万有引力定律 (A)

1. C **【解析】** 若地球绕太阳的运动为圆周运动, 则太阳对地球的吸引力提供向心力, 即 $F = m_2 \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 根据开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2} = k$, 联立可得 $F = 4\pi^2 k \cdot \frac{m_2}{R^2} \propto \frac{m_2}{R^2}$, 故 A、B 错误; 类比地球绕太阳的运动规律及开普勒第三定律得出, 地球对月球的吸引力为 $f = 4\pi^2 k' \cdot \frac{m_3}{r^2} \propto \frac{m_3}{r^2}$, 故 C 正确; 若地球对苹果的引力与地球对月球的力是同一种力, 则 $a_{月} = \frac{F_{月}}{m_{月}} = \frac{Gm_2}{r^2}$, $a_{苹} = \frac{F_{苹}}{m_{苹}} = \frac{Gm_2}{R_{地}^2}$, 所以苹果自由落体加速度与月球绕地球做圆周运动的向心加速度之比为 $\frac{a_{苹}}{a_{月}} = \frac{r^2}{R_{地}^2}$, 故 D 错误.
2. BD **【解析】** F' 和 F 大小相等, 方向相反, 是作用力与反作用力, 选项 A、C 错误, B 正确; 太阳对行星的引力提供行星绕太阳做圆周运动的向心力, 选项 D 正确.
3. B **【解析】** 根据题意可知, 假定维持月球绕地球运动的力与使得苹果下落的力真的是同一种力, 即这两者都遵从与距离的二次方成反比的规律, 设月球的质量为 m , 地球质量为 M , 月、地距离为 r , 则月球受到的引力 $F \propto \frac{Mm}{r^2}$, 结合牛顿第二定律可知, 月球做圆周运动的向心加速度 $a \propto \frac{M}{r^2}$, 则苹果下落的加速度 $a_{苹} = g \propto \frac{M}{R^2}$, 比较可得 $\frac{a}{g} = \frac{R^2}{r^2}$, 即他需测出月球绕地球公转的向心加速度 a 及月、地间距离 r , 验证 $\frac{a}{g} = \frac{R^2}{r^2}$ 是否成立, 故 B 正确.
4. D **【解析】** 对两质量分布均匀的球体, $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 中的 r 为两球心之间的距离, 则两球间的万有引力 $F = G \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2 + r_3)^2}$, 故选项 D 正确.
5. C **【解析】** 由万有引力定律的表达式 $F = G \frac{Mm}{R^2}$ 可知, 当两球体质量不变时, 两球体之间的万有引力大小与它们球心间距离的二次方成反比, C 正确.
6. D **【解析】** 地面上有 $F = G \frac{Mm}{R^2}$, 高度为 h 处有 $F' = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$, 因为 $F' = \frac{1}{2} F$, 所以 $\frac{(R+h)^2}{R^2} = \frac{2}{1}$, 所以 $h = (\sqrt{2}-1)R$, 故 D 正确, A、B、C 错误.
7. D **【解析】** 由万有引力提供向心力可得 $G \frac{Mm_1}{r_1^2} = m_1 a_1$, $G \frac{Mm_2}{r_2^2} = m_2 a_2$, 联立可以得到 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$, 故 D 正确, A、B、C 错误.
8. A **【解析】** 若把物体放到地球的中心, $r=0$, 此时万有引力定律不能直接应用, 可以设想将地球分为一个个质量相等的小质点, 每个质点都对物体产生引力作用. 由于地球关于球心对称, 所以各部分对物体的吸引力相互抵消, 整体而言, 万有引力为零, 故 A 正确.
9. B **【解析】** 设海水的质量为 m , 则太阳对海水的引力 $F_1 = \frac{GM_1 m}{r_1^2}$, 月球对海水的引力 $F_2 = \frac{GM_2 m}{r_2^2}$, 则 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{\frac{GM_1 m}{r_1^2}}{\frac{GM_2 m}{r_2^2}} = \frac{GM_1 r_2^2}{GM_2 r_1^2}$

$\frac{M_1 r_2^2}{M_2 r_1^2} = \frac{2 \times 10^{30} \times (3.8 \times 10^5)^2}{7.3 \times 10^{22} \times (1.5 \times 10^8)^2} \approx 176$, 故 A、C、D 错误, B 正确.

10. 见解析

【解析】 月球绕地球做圆周运动的向心加速度为

$$a_n = \frac{4\pi^2}{T^2} r = 60 \times 6.4 \times 10^6 \times \frac{4 \times 3.14^2}{(28 \times 24 \times 3600)^2} \text{ m/s}^2 \approx 2.59 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$$

月球做圆周运动的向心加速度与地球表面重力加速度之比为

$$\frac{a_n}{g} = \frac{2.59 \times 10^{-3}}{9.8} \approx \frac{1}{3600}$$

所以两种力是同一种性质的力

11. 9:1

【解析】 设月球的质量为 M , 则地球的质量为 $81M$, 飞行器的质量为 m , 飞行器距地心的距离为 r_1 , 飞行器距月心的距离为 r_2 , 由于地球对它的引力和月球对它的引力大小相等, 根据万有引力定律得

$$G \frac{81Mm}{r_1^2} = G \frac{Mm}{r_2^2}$$

$$\text{解得 } \frac{r_1}{r_2} = \frac{9}{1}.$$

12. 能 $7.45 \times 10^{25} \text{ N}$

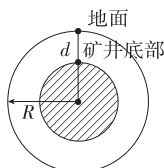
【解析】 两恒星的半径比它们之间的距离小得多, 两恒星可以视为质点, 可以用万有引力定律直接计算它们之间的万有引力大小

$$F_{引} = G \frac{Mm}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{1 \times 10^{31} \times 6.4 \times 10^{30}}{(7.57 \times 10^{12})^2} \text{ N} = 7.45 \times 10^{25} \text{ N}.$$

2 万有引力定律 (B)

1. C **【解析】** 牛顿发现万有引力定律后, 首次比较精确地测出引力常量的科学家是卡文迪什, 引力常量是他用扭秤实验测得的, 故 C 正确.
2. A **【解析】** 根据 $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$ 可知, 在国际单位制中, 引力常量在数值上等于两个质量是 1 kg 的质点相距 1 m 时万有引力的大小, 选项 A 正确; 在不同的单位制中, 引力常量的数值是不相同的, 选项 B 错误; 计算不同物体间的万有引力时, 引力常量的值是相同的, 选项 C 错误; 著名的“月—地检验”是在已知引力常量的数值之前进行的, 选项 D 错误.
3. 牛顿 乙 **【解析】** 牛顿在开普勒等物理学家发现的行星运动规律的基础上总结和推理发现了万有引力定律; “卡文迪什扭秤实验”中测量微小量的思想方法为放大法, 而甲图中采用的是等效替代法, 乙图采用的是微小量放大法, 丙图采用的是控制变量法, 故与测量微小量的思想方法最相近的是乙图.
4. D **【解析】** 根据万有引力定律得 $F = \frac{GMm}{(R+h)^2}$, 对地面上的物体, 有 $G \frac{Mm'}{R^2} = m'g$, 代入化简得 $F = \frac{gR^2 m}{(R+h)^2}$, 故选 D.
5. B **【解析】** 设小行星的质量为 M , 则在极点有 $\frac{GMm}{R^2} = mg_1$, 在赤道有 $\frac{GMm}{R^2} = mg_2 + m\omega^2 R$, 由上述两个式子解得 $g_1 \neq g_2$, 故 A 项错误; 对极点处物块受力分析, 物块受重力和弹簧弹力, 且二者合力为零, 所以有 $F = mg_1$, 故 B 项正确; 由之前的分析可知 $\frac{GMm}{R^2} = F$, 故根据题意有 $\frac{3}{4} F = mg_2$, 则 $F = \frac{3}{4} F + m\omega^2 R$, 解得 $\frac{1}{4} F = m\omega^2 R$, 故 C、D 错误.

6. A 【解析】如图所示,根据题意,地面与矿井底部之间的环形部分对处于矿井底部的物体引力为零.设地面处的重力加速度为 g ,地球质量为 M ,地球表面的物体 m 受到的重力近似等于万有引力,故 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$,又 $M = \rho \cdot \frac{4}{3} \pi R^3$,故 $g = \frac{4}{3} \pi \rho GR$;设矿井底部的重力加速度为 g' ,图中阴影部分所示球体的半径 $r = R - d$,则 $g' = \frac{4}{3} \pi \rho G(R - d)$,联立解得 $\frac{g'}{g} = 1 - \frac{d}{R}$,A 正确.



7. C 【解析】当火箭达到某高度时,对物体由牛顿第二定律可知 $F_N - mg' = ma$,解得 $g' = 0.4 \text{ m/s}^2$,根据 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$, $mg' = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$,解得 $h = 4R$,故选 C.
8. D 【解析】由万有引力定律可得 $F = \frac{GMm}{(R+h)^2}$, h 越大, F 越小, F 与 h 是非线性关系,所以 D 正确.
9. ABC 【解析】设火星自转角速度为 ω ,根据题意可得在两极处有 $\frac{GMm}{R^2} = mg_1$,在赤道万有引力提供重力和向心力,有 $\frac{GMm}{R^2} = mg_2 + m\omega^2 R$,可得 $g_1 = g_2 + \omega^2 R$,解得 $\omega = \sqrt{\frac{g_1 - g_2}{R}}$,A 正确;根据 $v = \omega R$ 可得,在火星赤道上的物体的线速度大小 $v = \sqrt{(g_1 - g_2)R}$,B 正确;若仅火星的自转周期减小,则角速度变大,向心力增大,则赤道上的物体受到的重力将减小,C 正确;若仅火星的自转角速度减小,两极处的转动半径为零,所需向心力为零,则两极处的重力加速度不变,D 错误.
10. C 【解析】该同学分析时虽明确在地球表面,重力和地球的万有引力大小相等,但是没有理解“质量分布均匀的球壳对壳内物体的引力为零,故在深度为 d 的井底,受到地球的万有引力即为半径等于 $(R - d)$ 的球体在其表面产生的万有引力”,即 $g' = \frac{GM}{(R - d)^2}$ 不成立,比值应为 $\frac{g'}{g_0} = \frac{R - d}{R}$,故 A、B、D 错误,C 正确.
11. AB 【解析】月亮探测器在近月点所受月球对它的万有引力即为它所受的合力,由牛顿第二定律得 $F = ma$,A 正确;由万有引力定律得 $F = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$,在月球表面上,有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$,解得 $F = m \frac{R^2 g}{(R+h)^2}$,B 正确;由于月亮探测器环绕月球沿椭圆轨道运动,曲率圆半径不是 $R + h$,故 C、D 错误.
12. (1) 222.2 N (2) 3.375 m

【解析】(1) 在地球表面上有 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$

在火星表面上有 $mg' = G \frac{M'm}{R'^2}$

已知 $M' = \frac{1}{9}M$, $R' = \frac{1}{2}R$

联立解得 $g' = \frac{40}{9} \text{ m/s}^2$

宇航员在火星表面上受到的重力 $G' = mg' = 50 \times \frac{40}{9} \text{ N} \approx$

222.2 N.

(2) 在地球表面宇航员跳起的高度 $H = \frac{v_0^2}{2g}$

在火星表面宇航员跳起的高度 $h = \frac{v_0^2}{2g'}$

综上所述, $h = \frac{g}{g'}H = \frac{10}{40} \times 1.5 \text{ m} = 3.375 \text{ m}$.

13. $\frac{9}{7}$

【解析】由题知质点 B 与 A 的球心相距 $2R$,A 对质点 B 的万有引力为 $F_1 = G \frac{Mm}{(2R)^2} = \frac{1}{4} G \frac{Mm}{R^2}$

A 的质量 $M = \rho \times \frac{4}{3} \pi R^3$

C 的质量 $M' = \rho \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{R}{2}\right)^3 = \frac{M}{8}$

C 的球心与质点 B 相距 $\frac{3R}{2}$,C 与质点 B 间的万有引力为

$F' = G \frac{M'm}{\left(\frac{3R}{2}\right)^2} = \frac{1}{18} G \frac{Mm}{R^2}$

剩余部分对质点 B 的万有引力

$F_2 = F_1 - F' = \frac{1}{4} G \frac{Mm}{R^2} - \frac{1}{18} G \frac{Mm}{R^2} = \frac{7}{36} G \frac{Mm}{R^2}$

所以有 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{9}{7}$

3 万有引力理论的成就

1. A 【解析】根据牛顿第二定律可知 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解得 $M = \frac{v^2 r}{G}$,A 正确.
2. BD 【解析】由万有引力提供向心力,可得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$,解得 $M = \frac{v^2 r}{G}$,月球体积 $V = \frac{4}{3} \pi R^3$,所以月球平均密度为 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3v^2 r}{4\pi GR^3}$,故 A 错误,B 正确;在月球表面,有 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$,可解得月球表面重力加速度为 $g = \frac{GM}{R^2} = \frac{v^2 r}{R^2}$,故 C 错误,D 正确.
3. B 【解析】卫星绕土星运动,土星的引力提供卫星做圆周运动的向心力,设土星质量为 M ,则 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$,解得 $M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$,代入计算可得 $M = \frac{4 \times 3.14^2 \times (1.2 \times 10^6 \times 10^3)^3}{6.67 \times 10^{-11} \times (16 \times 24 \times 3600)^2} \text{ kg} \approx 5 \times 10^{26} \text{ kg}$,故选 B.
4. C 【解析】根据题意,由公式 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 可得,卫星的轨道半径为 $r = \frac{vT}{2\pi}$,故 A 不符合题意;根据题意,由万有引力提供向心力得 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,可得 $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$,由于卫星的质量消掉,无法求出,故 B 不符合题意,C 符合题意;根据题意,由公式 $a = \frac{v^2}{r}$ 可得,卫星运动的加速度为 $a = \frac{2\pi v}{T}$,故 D 不符合题意.
5. A 【解析】设火星与地球的质量分别是 M_1 、 M_2 ,由 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$,得 $\frac{M_1}{M_2} = \frac{g^2}{k}$,又 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$,知 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$,用 T_1 表示“天问一号”环绕火星运动的周期, T_2

表示该卫星环绕地球运动的周期,则 $\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{M_2}{M_1}} = \frac{\sqrt{k}}{q}$, 故 A 正确; 由 $\rho = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$, 得火星与地球的密度之比为 $\frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{1}{kq}$, 故 B 错误; 由 $v = \sqrt{gR}$, 得火星表面卫星与地球表面卫星的环绕速度之比为 $\sqrt{q} : \sqrt{k}$, 故 C 错误; 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 得“天问一号”与该卫星的线速度之比为 $q : \sqrt{k}$, 故 D 错误。

6. D 【解析】当压力为零时, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, 又 $M = \rho \frac{4}{3}\pi R^3$, 联立解得 $T = \sqrt{\frac{3\pi}{G\rho}}$, 所以 A、B、C 错误, D 正确。

7. B 【解析】根据 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ 可得, $M = \frac{gR^2}{G}$, 故 A 正确; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ 可得 $M = \frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 需要知道地球的公转周期而不是自转周期, 故 B 错误; 海王星的轨道是利用万有引力定律计算预言的, 因此被称为“笔尖下发现的行星”, 故 C 正确; 牛顿用月球和太阳的万有引力解释了潮汐现象, 故 D 正确。

8. C 【解析】质量为 m 的宇宙飞船围绕该系外行星做匀速圆周运动, 它们之间的万有引力提供宇宙飞船所需的向心力, 可得 $G \frac{Mm}{r_1^2} = m \frac{4\pi^2}{T_1^2} r_1$, 整理可得 $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$, 故 C 正确, D 错误。开普勒第三定律仅适用于绕同一中心天体运动的物体, 题中系外行星公转和宇宙飞船绕系外行星飞行的中心天体不同, 不能使用开普勒第三定律, 故 A、B 错误。

9. C 【解析】根据平抛规律可计算星球表面重力加速度, 竖直方向有 $h = \frac{1}{2}gt^2$, 水平方向有 $x = vt$, 可得 $g_{\text{星}} = \frac{1}{16}g_{\text{地}}$, 再由星球表面万有引力公式 $G \frac{M_{\text{星}}m}{R_{\text{星}}^2} = mg_{\text{星}}$, $G \frac{M_{\text{地}}m}{R_{\text{地}}^2} = mg_{\text{地}}$, $R_{\text{星}} = 2R_{\text{地}}$, 可得 $M_{\text{星}} = \frac{1}{4}M$, 故选 C。

10. D 【解析】设小球的质量为 m , 该星球的质量为 M , 因小球恰好能做完整的圆周运动, 在最高点时小球速度为 v , 则由牛顿第二定律得 $mg = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $g = \frac{v^2}{r}$, 对于在该星球表面上质量为 m' 的物体, 万有引力近似等于其重力, 有 $m'g = G \frac{Mm'}{R^2}$, 可得 $M = \frac{v^2 R^2}{Gr}$, 故 D 正确。

11. D 【解析】飞船在 Δt 时间内的加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$, 所以飞船的质量 $m = \frac{F}{a} = \frac{F\Delta t}{\Delta v}$; 绕星球做匀速圆周运动时, 由万有引力提供向心力得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 又 $v = \frac{2\pi r}{T}$, 整理得 $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$, 故 D 正确, A、B、C 错误。

12. B 【解析】在地球表面, 对质量为 m 的物体有 $mg = G \frac{Mm}{R^2}$, 解得 $M = g \frac{R^2}{G}$, 故密度 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3g}{4\pi GR}$, 同理, 月球的密度 $\rho_0 = \frac{3g_0}{4\pi GR_0}$, 故地球和月球的密度之比 $\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{3}{2}$, 故 B 正确。

13. (1) $m \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} (R+h)$ (2) $\frac{4\pi^2 n^2}{Gt^2} (R+h)^3$

$$(3) \frac{4\pi^2 n^2}{t^2 R^2} (R+h)^3$$

【解析】(1) 组合体绕地球运动的周期 $T = \frac{t}{n}$ 则所受的万有引力大小为

$$F = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h) = m \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} (R+h)$$

(2) 根据万有引力提供向心力得

$$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} (R+h)$$

$$\text{解得地球的质量 } M = \frac{4\pi^2 n^2}{Gt^2} (R+h)^3$$

$$(3) \text{ 根据 } G \frac{Mm}{R^2} = mg$$

$$\text{解得 } g = \frac{GM}{R^2} = \frac{4\pi^2 n^2}{t^2 R^2} (R+h)^3$$

4 宇宙航行

1. AD 【解析】第一宇宙速度是卫星绕地球做圆周运动的最小发射速度, 也是卫星绕地球做圆周运动的最大速度, 又叫环绕速度, 根据 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 故第一宇宙速度与地球的质量和半径有关, A、D 正确。

2. D 【解析】天问一号与嫦娥五号不是绕同一个中心天体运动, 所以 $\frac{r_1^3}{T_1^2} \neq \frac{r_2^3}{T_2^2}$, A 错误; 天问一号与嫦娥五号均不绕地球运动, 故无法求出地球质量, B 错误; 天问一号最终绕火星运动, 需要挣脱地球的引力, 其在地球表面的发射速度需要大于第二宇宙速度, 但是要小于第三宇宙速度(挣脱太阳引力的最小速度), 嫦娥五号绕月球运动, 没有完全挣脱地球的引力, 其在地球表面的发射速度大于第一宇宙速度, 小于第二宇宙速度, C 错误, D 正确。

3. A 【解析】根据万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, “宜居”行星的质量为地球的 p 倍, 半径为地球的 q 倍, 所以该行星卫星的环绕速度为 $v' = \sqrt{\frac{GM'}{R'}} = \sqrt{\frac{p \cdot GM}{q \cdot R}} = \sqrt{\frac{p}{q}} v$, 故 A 正确。

4. B 【解析】火箭的推力是喷出的燃气对火箭施加的, 选项 A 错误; 火箭发射升空初始阶段是加速上升阶段, 装在火箭上部的卫星处于超重状态, 选项 D 错误; 卫星进入距离地面约 500 km 的轨道, 根据万有引力提供向心力, 有 $\frac{GMm}{(R+h)^2} = ma$, 解得 $a \approx 8.4 \text{ m/s}^2$, 根据万有引力提供向心力, 有 $\frac{GMm}{(R+h)^2} = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 (R+h)$, 解得 $T \approx 1.6 \text{ h}$, 选项 B 正确, C 错误。

5. B 【解析】静止轨道同步卫星绕地心做圆周运动, 与地球自转周期相同, $T = 24 \text{ h}$, 轨道平面与赤道平面共面, 只能定位在赤道正上空, 故 A 错误; 静止轨道同步卫星离地高度约 36 000 km, 中地球轨道卫星离地高度约 21 000 km, 第一宇宙速度为在地面附近绕地球运动的物体的线速度, 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $v = \sqrt{G \frac{M}{r}}$, 静止轨道同步卫星的速度小于第一宇宙速度, 中地球轨道卫星的线速度比静止轨道同步卫星的线速度大, 故 B 正确, C 错误; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 卫星的周期 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, 中地球轨道卫星的周期小于 24 小

时,故D错误。

6. BC **【解析】** 设地球质量为 M , 质量为 m 的卫星绕地球做半径为 r 、周期为 T 、速度大小为 v 、加速度大小为 a 、角速度大小为 ω 的匀速圆周运动, 根据牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} = m\omega^2 r = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = ma_n$, 分别解得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, $T = 2\pi r \sqrt{\frac{r}{GM}}$, $a_n = \frac{GM}{r^2}$. 由于 a 、 b 的轨道半径相同, 可知 a 、 b 的周期相同, A 错误; b 的轨道半径比 c 的轨道半径小, 可知 b 的线速度和角速度都比 c 大, B、C 正确; a 、 b 的轨道半径都比 c 的轨道半径小, 可知 a 、 b 的向心加速度都比 c 大, D 错误。

7. B **【解析】** 根据题意可知, 物体 A 和卫星 C 的角速度和周期相等, 由公式 $v = \omega r$ 可知, 由于卫星 C 做圆周运动的半径大于物体 A 做圆周运动的半径, 则有 $v_C > v_A$, 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 可得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 由于卫星 B 做圆周运动的半径小于卫星 C 的轨道半径, 则有 $v_B > v_C$, 则物体 A 随地球自转的线速度小于卫星 B 的线速度, A、C 错误; 根据万有引力提供向心力有 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 可得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 由于卫星 B 做圆周运动的半径小于卫星 C 的轨道半径, 则有 $\omega_B > \omega_C$, B 正确; 由公式 $a_n = \omega^2 r$ 可得, 由于卫星 C 做圆周运动的半径大于物体 A 做圆周运动的半径, 则有 $a_{nC} > a_{nA}$, 因此物体 A 随地球自转的向心加速度小于卫星 C 的向心加速度, D 错误。

8. D **【解析】** 设第一宇宙速度为 v , 由牛顿第二定律有 $G \frac{Mm}{R^2} = \frac{mv^2}{R}$, 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$, 根据体积公式 $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ 知, 行星半径是地球半径的 $\frac{1}{3}$, 则体积是地球体积的 $\frac{1}{27}$, 行星的密度为地球密度的 $\frac{1}{4}$, 则行星的质量是地球质量的 $\frac{1}{108}$, 代入数据后, 行星上的第一宇宙速度与地球上的第一宇宙速度之比为 $1:6$, 故 D 正确, A、B、C 错误。

9. A **【解析】** 由开普勒第三定律可知, 周期相同的椭圆轨道半长轴与圆轨道半径相当, 再根据万有引力提供向心力可得 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 解得轨道半径为 $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$, 代入数据解得探测器的椭圆形的停泊轨道的半长轴与地球同步卫星的轨道半径的比值约为 $\sqrt[3]{0.4}$, 故选 A。

10. C **【解析】** 飞船每运行一周, 地球自转角度为 $180^\circ - 157.5^\circ = 22.5^\circ$, 则“神舟十六号”飞船运行的周期为 $T = \frac{22.5^\circ}{360^\circ} \times 24 \times 3600 \text{ s} = 5400 \text{ s} = 90 \text{ min}$, 故选 C。

11. AD **【解析】** 极轨卫星的运行周期为 12 h, 大于近地卫星的运行周期 (84 min), 所以其运行速度小于近地卫星的运行速度即第一宇宙速度, 选项 A 正确; 极轨卫星的运行周期为 12 h, 小于同步卫星的运行周期 (24 h), 所以其运行高度小于同步卫星的高度, 选项 B 错误; 任何绕地做匀速圆周运动的卫星, 其轨道中心都是地心, 选项 C 错误; 极轨卫星的向心加速度为 $a_n = \frac{GM}{(R+h)^2}$, 地面处的重力加速度为 $g = \frac{GM}{R^2}$, 可见 $a_n < g$, 选项 D 正确。

12. (1) $\frac{v^3 T}{2\pi G}$ (2) $\frac{2\pi T v^3}{(vT - 2\pi h)^2}$

【解析】 (1) 设“天问一号”的运动轨道半径为 r , 则 $vT = 2\pi r$

$$\text{解得 } r = \frac{vT}{2\pi}$$

$$\text{根据万有引力提供向心力, 有 } G \frac{M \cdot m}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{解得 } M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$$

$$(2) \text{ 设火星表面重力加速度为 } g, \text{ 则 } G \frac{M \cdot m}{R^2} = mg$$

$$\text{火星半径 } R = r - h$$

$$\text{解得 } g = \frac{2\pi T v^3}{(vT - 2\pi h)^2}$$

$$13. (1) \sqrt{\frac{g}{8R}} \quad (2) \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{8R}} - \omega_0}$$

【解析】 (1) 在地球表面处物体受到的重力等于万有引力,

$$\text{有 } mg = G \frac{Mm}{R^2}$$

在距离地球表面的高度为 $h = R$ 处, 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动, 由地球的万有引力提供向心力, 有

$$G \frac{Mm}{(2R)^2} = m\omega^2 (2R)$$

$$\text{联立以上各式解得 } \omega = \sqrt{\frac{g}{8R}}$$

(2) 卫星绕地球做匀速圆周运动, 建筑物随地球自转做匀速圆周运动, 当卫星转过的角度与建筑物转过的角度之差等于 2π 时, 卫星再次出现在建筑物上空, 即

$$\omega \Delta t - \omega_0 \Delta t = 2\pi$$

$$\text{解得 } \Delta t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{g}{8R}} - \omega_0}$$

习题课: 天体运动 (A)

1. D **【解析】** 11.2 km/s 是第二宇宙速度, 是卫星脱离地球引力束缚的最小发射速度, 故该卫星的发射速度一定小于 11.2 km/s, A 错误; 静止卫星的轨道在赤道上空, 该卫星的同步轨道 II 不可以北京正上方, B 错误; 根据卫星变轨的原理可知, 卫星在轨道 I 上的 Q 点需加速, 才能进入轨道 II, 所以该卫星在轨道 I 和轨道 II 上的 Q 点处速度大小不相等, C 错误; $a = \frac{GM}{r^2}$ 知该卫星在轨道 I 和轨道 II 上的 Q 点加速度相等, D 正确。

2. A **【解析】** “天问一号”在 P 点制动后进入轨道 II 运动, 故“天问一号”在轨道 I 上 P 点的速度大于在轨道 II 上 P 点的速度, 故 $v_1 > v_2$; “天问一号”的加速度是由万有引力提供的, 由 $F = \frac{GMm}{r^2} = ma$, 可知在同一点, 万有引力使“天问一号”产生的加速度相同, 故 $a_1 = a_2$, A 正确, B、C、D 错误。

3. C **【解析】** 黑洞和恒星组成双星系统, 根据双星系统的特点可知, 黑洞与恒星的向心力都等于黑洞和恒星之间的万有引力, 转动的角速度相等, 故 A、B 错误, C 正确; 根据牛顿第二定律 $a = \frac{F}{m}$, 可知黑洞与恒星加速度大小之比为 $\frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{16}$, 故 D 错误。

4. A **【解析】** 在双星系统中, 双星的角速度和周期都相同, 故 B、D 错误; 由于双星系统中, 双星间的万有引力提供圆周运动向心力, 则 $\frac{Gm_1 m_2}{L^2} = m_1 \omega^2 r_1$, $\frac{Gm_1 m_2}{L^2} = m_2 \omega^2 r_2$, 解得 $m_1 : m_2 = r_2 : r_1 = 2 : 3$, 故 C 错误; 双星的角速度相同, 由 $v = \omega r$ 知 $v_1 : v_2 = r_1 : r_2 = 3 : 2$, 故 A 正确。

5. A **【解析】** 设该黑洞的半径为 R , 根据题意可得 $G \frac{Mm}{R^2} =$

$m \frac{c^2}{R}$, 对围绕黑洞运行的星体有 $G \frac{Mm'}{r^2} = m' \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 联立解得 $R = \frac{4\pi^2 r^3}{c^2 T^2}$, 故选 A.

6. D 【解析】要成为地球的卫星, 发射速度需大于地球的第一宇宙速度, 小于地球的第二宇宙速度, 选项 A 错误; 卫星 a 的轨道低于 b 的轨道, 根据 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 可知卫星 a 的线速度大于卫星 b 的线速度, 选项 B 错误; 若让卫星 c 加速, 则其所需的向心力增大, 由于万有引力小于所需的向心力, 卫星 c 将做离心运动, 离开原轨道, 选项 C 错误; b 、 c 在地球的同步轨道上, 卫星 b 、 c 和地球具有相同的周期和角速度, 由万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r^2} = m\omega^2 r$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, a 距离地球表面的高度为 R , 卫星 a 的角速度 $\omega_a = \sqrt{\frac{GM}{8R^3}}$, 此时 a 、 b 恰好相距最近, 设卫星 a 和 b 下一次相距最近的时间为 t , 则有 $(\omega_a - \omega)t = 2\pi$, 解得 $t = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{GM}{8R^3}} - \omega}$, 选项 D 正确.

7. D 【解析】根据开普勒第三定律有 $\left(\frac{r_{\text{乙}}}{r_{\text{甲}}}\right)^3 = \left(\frac{T_{\text{乙}}}{T_{\text{甲}}}\right)^2$, 解得 $T_{\text{乙}} = 7T_{\text{甲}}$, 从图示时刻开始, 乙转动半圈, 甲转动 3.5 圈, “相遇”一次, 此后甲每转动 3.5 圈, 两个卫星就“相遇”一次, 则甲运动 15 圈的时间内, 甲、乙卫星将“相遇”4 次, 故选 D.

8. C 【解析】根据题意, 设 A 的质量为 M , B 的质量为 m , 则 A 、 B 之间的万有引力为 $F = \frac{GMm}{r^2}$, 由于 M 增大, m 减小, 则 M 、 m 的乘积改变, A 、 B 之间的万有引力改变, 故 B 项错误; 若双星稳定运行, 则双星的角速度相等, 双星间万有引力提供向心力, 则有 $\frac{GMm}{r^2} = M\omega^2 r_A$, $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r_B$, 又有 $r = r_A + r_B$, 解得 $\omega = \sqrt{\frac{G(M+m)}{r^3}}$, 由于质量在两星球间转移, 故总质量不变, 则角速度大小不变, 由 $T = \frac{2\pi}{\omega}$ 可知, 周期不变, 由上述分析可得 $M\omega^2 r_A = m\omega^2 r_B$ 解得 $\frac{r_A}{r_B} = \frac{m}{M}$, 由于 M 增大, m 减小, 则 r_A 减小, r_B 增大, 由于角速度不变, 则 B 星球做圆周运动的线速度变大, 故 A、D 项错误, C 项正确.

9. D 【解析】根据 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$, 可知 $g_{\text{月}} = G \frac{M_{\text{月}}}{R_{\text{月}}^2} \approx \frac{1}{6}g$, 故 A 错误; 登月火箭的发射没有脱离地球束缚, 速度应小于 11.2 km/s, 故 B 错误; 根据 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 可得地球第一宇宙速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}} = 7.9 \text{ km/s}$, 同理可得, 月球第一宇宙速度 $v_{\text{月}} = \sqrt{\frac{GM_{\text{月}}}{R_{\text{月}}}} \approx 1.68 \text{ km/s}$, 故 C 错误; 根据 $G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$, $\rho = \frac{M}{V} = \frac{M}{\frac{4}{3}\pi R^3}$, 可得 $\rho = \frac{3\pi}{GT^2}$, 故月球密度 $\rho_{\text{月}} = \frac{3\pi}{GT_{\text{月}}^2}$, 故 D 正确.

10. C 【解析】卫星在调相轨道和绕月轨道上运行时其中心天体分别为地球与月球, 中心天体不同, 故 $\frac{a^3}{T_1^2} \neq \frac{b^3}{T_2^2}$, A 项错误; 卫星在 Q 点减速, 才能使卫星从地月转移轨道切入到绕月轨道, B 项错误; 卫星在 P 点加速做离心运动, 才能使卫星从调相轨道切入到地月转移轨道, C 项正确; “嫦娥五号”

卫星没有脱离地球引力束缚, 在地面的发射速度不大于 11.2 km/s, 则卫星在地月转移轨道上运行的速度也不大于 11.2 km/s, D 项错误.

11. (1) $\frac{GMm}{R^2}$ (2) $\sqrt{\frac{GM}{R}}$ (3) $\sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R$

【解析】(1) 在地球表面附近, 由万有引力定律, 得 $F = \frac{GMm}{R^2}$

(2) 卫星环绕地球飞行, 万有引力提供向心力, 有 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$

第一宇宙速度 $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$

(3) 设卫星的同步轨道半径为 r , 则

$$\frac{GMm}{r^2} = m \left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$$

$$h = r - R$$

$$\text{得 } h = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}} - R$$

12. C 【解析】三颗星球均绕中心做圆周运动, 由几何关系可

知 $r = \frac{\frac{L}{2}}{\cos 30^\circ} = \frac{\sqrt{3}}{3}L$, A 错误; 任一星球做圆周运动的向心力由其他两个星球的引力的合力提供, 根据平行四边形定则

得 $F = 2 \frac{Gm^2}{L^2} \cos 30^\circ = ma$, 解得 $a = \frac{\sqrt{3}Gm}{L^2}$, B 错误; 由 $F =$

$2 \frac{Gm^2}{L^2} \cos 30^\circ = m \frac{v^2}{r} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 解得 $v = \sqrt{\frac{Gm}{L}}$, $T =$

$2\pi L \sqrt{\frac{L}{3Gm}}$, C 正确, D 错误.

习题课: 天体运动 (B)

1. AD 【解析】根据万有引力提供向心力, 对 B 有

$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = m \frac{v^2}{R+h}$, 整理得 $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$, 故 A 正确; 根据

万有引力提供向心力, B 的向心加速度满足

$G \frac{Mm}{(R+h)^2} = ma_n$, 整理得 $a_n = \frac{GM}{(R+h)^2}$, 因为 A 的轨道半径

大于 B 的轨道半径, 所以 A 的向心加速度小于 $\frac{GM}{(R+h)^2}$, 故

B 错误; 根据万有引力提供向心力, 则有 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$, 整

理得 $T = \sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$, 轨道半径越小, 周期越小, B 的运行周期

小于 A 的运行周期, 故 C 错误; B 处于低轨道, 需加速, 使得万有引力不足以提供向心力, 做离心运动, 可能实现与 A 的对接, 故 D 正确.

2. BD 【解析】“神舟十一号”飞船与“天宫二号”目标飞行器正确对接的方法是处于较低轨道的“神舟十一号”飞船在适当位置通过适当加速, 恰好提升到“天宫二号”目标飞行器所在高度并与之交会对接. 若“神舟十一号”与“天宫二号”原来在同一轨道上运动, 后面的飞行器加速会上升到较高轨道, 前面的飞行器减速会下降到较低的轨道, 都不会完成交会对接. 故 A、C 项错误, B、D 项正确.

3. CD 【解析】由于卫星 B 为地球同步卫星, 所以卫星 B 的周期为 $T_B = 24 \text{ h}$, 根据万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{r^2} =$

$m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 r$, 可得 $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 由图可知, 卫星 A 的轨道比同步卫星低, 则其周期小于 24 h, 故 A 错误; 地球同步卫星 B 在 6 h 内转过的圆心角为 $\theta=2\pi\times\frac{6}{24}=\frac{\pi}{2}$, 故 B 错误; 根据万有引力提供向心力, 有 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}$, 解得 $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$, 所以 A 的线速度大于 B 的线速度, 故 C 正确; 卫星 B 和卫星 P 角速度相等, 根据向心加速度与角速度的关系 $a_n=\omega^2 r$, 卫星 B 的向心加速度大于卫星 P 随地球自转的向心加速度, 故 D 正确。

4. B 【解析】设火星轨道半径为 R_1 , 公转周期为 T_1 , 地球轨道半径为 R_2 , 公转周期为 T_2 , 依题意有 $R_1-R_2=R_0$, $R_1+R_2=5R_0$, 解得 $R_1=3R_0$, $R_2=2R_0$, 根据开普勒第三定律, 有 $\frac{R_1^3}{T_1^2}=\frac{R_2^3}{T_2^2}$, 解得 $T_1=\sqrt{\frac{27}{8}}$ 年, 设从相距最近到相距最远需经过的最短时间为 t , 有 $\omega_2 t - \omega_1 t = \pi$, $\omega=\frac{2\pi}{T}$, 代入数据, 可得 $t\approx 401$ 天, 故 B 正确。

5. AD 【解析】根据开普勒第三定律, 有 $\frac{r^3}{T^2}=k$, 卫星在轨道 I 上运动周期比在轨道 II 上长, A 正确; 根据 $G\frac{Mm}{r^2}=ma$, 解得 $a=\frac{GM}{r^2}$, 卫星在轨道 II 上 P 点的加速度等于在轨道 III 上 P 点时的加速度, B 错误; 月球的第一宇宙速度是卫星绕其做圆周运动的最大速度, 所以卫星在轨道 III 上运动的速度小于月球的第一宇宙速度, C 错误; 在 P 点的两次变轨都必须减速, D 正确。

6. C 【解析】因“天问一号”发射后要先绕太阳转动, 故发射速度要大于第二宇宙速度, 即发射速度介于 11.2 km/s 与 16.7 km/s 之间, 故 A 错误; 因从 P 点转移到 Q 点的轨道的半长轴大于地球公转轨道半径, 则其周期大于地球公转周期 (1 年), 则从 P 点转移到 Q 点的时间为整个周期的一半, 应大于 6 个月, 故 B 错误; 因停泊轨道的半长轴小于调相轨道的半长轴, 则由开普勒第三定律可知在停泊轨道运行的周期比在调相轨道上小, 故 C 正确; “天问一号”从 P 点变轨时, 要加速, 此后做离心运动, 速度减小, 当运动到 Q 点时, 速度最小, 若“天问一号”过 Q 点绕太阳做匀速圆周运动, 则此时速度小于地球绕太阳运行的速度, 但实际上“天问一号”在 Q 点做向心运动, 所以“天问一号”在 Q 点的速度一定小于地球绕太阳运行的速度, 故 D 错误。

7. C 【解析】设地球质量为 M , 飞船运动半径为 r , 对飞船研究可知 $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$, 解得 $M=\frac{4\pi^2 r^3}{GT^2}$, 由几何关系可知 $R=\frac{r}{2}$, 则地球密度 $\rho=\frac{M}{V}=\frac{4}{3}\pi R^3$, 解得 $\rho=\frac{24\pi}{GT^2}$, 故选 C。

8. C 【解析】探测器在飞往火星的过程中, 不需要持续的动力来维持速度, 把探测器加速到所需要的速度, 就可关闭发动机, 探测器靠惯性飞行, 但是需要多次调整或修正方向使之能够进入火星轨道, 故 A 错误; 火星公转时, 太阳对其的万有引力提供向心力, 有 $G\frac{GMm}{R_2^2}=m\frac{4\pi^2}{T_2^2}R_2$, 可得太阳的质量为 $M=\frac{4\pi^2 R_2^3}{GT_2^2}$, 故 B 错误; 根据开普勒第三定律 $\frac{R^3}{T^2}=k$ 可知 $T_2>T_1$, 两次“火星冲日”现象之间地球比火星多转一周, 设时间为 t , 则有 $\left(\frac{2\pi}{T_1}-\frac{2\pi}{T_2}\right)t=2\pi$, 解得 $t=\frac{T_1 T_2}{T_2-T_1}$, 根据题意可知 $t=\frac{T_1 T_2}{T_2-T_1}\approx 26$ 个月, 故 C 正确; 由于两次“火星冲日”现象

的时间间隔约为 26 个月, 故若 2020 年 7 月发生一次, 则下一次发生的时间为 2022 年 9 月, 故 D 错误。

9. BC 【解析】设脉冲双星的质量及轨道半径分别为 m_1 、 m_2 、 r_1 、 r_2 , 双星间距为 $L=r_2+r_1$, 由于 $\frac{Gm_1 m_2}{L^2}=m_1 \omega^2 r_1=m_2 \omega^2 r_2$, 得 $m_1=\frac{L^2 \omega^2 r_2}{G}$, $m_2=\frac{L^2 \omega^2 r_1}{G}$, 则双星总质量 $(m_1+m_2)=\frac{L^2 \omega^2 (r_2+r_1)}{G}=\frac{L^3 \omega^2}{G}$, 整理得 $G(m_1+m_2)=L^3 \omega^2$, 由于不考虑脉冲双星质量的变化, 即总质量不变, 脉冲双星逐渐靠近的过程中 L 变小, 则 ω 变大, 由 $T=\frac{2\pi}{\omega}$, 可知周期逐渐变小, 故 A 错误, B 正确; 由 $m_1 \omega^2 r_1=m_2 \omega^2 r_2$, 可得 $\frac{r_1}{r_2}=\frac{m_2}{m_1}$, 半径的比值保持不变, 脉冲双星逐渐靠近的过程中 L 变小, 因为 $L=r_2+r_1$, 所以它们各自做圆周运动的半径逐渐减小, 故 C 正确; 由以上分析可知 $(m_1+m_2)=\frac{L^3 \omega^2}{G}=\frac{4L^3 \pi^2}{GT^2}$, 要想知道双星总质量, 需要知道周期 T 和双星间距 L , 故 D 错误。

10. (1) $2\pi\sqrt{\frac{L^3}{2Gm}}$ (2) $\frac{1-k^2}{4k^2}m$

【解析】(1) 两个星球 A、B 组成的双星系统角速度相同, 根据万有引力定律, 两星之间的万有引力 $F=G\frac{m \cdot m}{L^2}$. 设两星的轨道半径分别是 r_1 、 r_2 . 由两星之间的万有引力提供两星做匀速圆周运动的向心力, 有 $F=mr_1 \omega^2$, $F=mr_2 \omega^2$, 可得 $r_1=r_2$, 因此两星绕连线的中点转动

$$\text{由 } G\frac{m^2}{L^2}=m \cdot \frac{L}{2} \cdot \omega^2, \text{ 解得 } \omega=\sqrt{\frac{2Gm}{L^3}}$$

$$\text{所以 } T_0=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{\sqrt{\frac{2Gm}{L^3}}}=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{2Gm}}$$

(2) 设星球 C 的质量为 M , 由于星球 C 的存在, A、B 星的向心力均由两个万有引力的合力提供, 则有

$$G\frac{m^2}{L^2}+G\frac{mM}{\left(\frac{1}{2}L\right)^2}=m \cdot \frac{1}{2}L \cdot \omega^2$$

$$\text{得 } \omega=\sqrt{\frac{2G(m+4M)}{L^3}}$$

$$\text{则 } T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{L^3}{2G(m+4M)}}$$

$$\text{有 } \frac{T}{T_0}=\frac{2\pi\sqrt{\frac{L^3}{2G(m+4M)}}}{2\pi\sqrt{\frac{L^3}{2Gm}}}=\sqrt{\frac{m}{m+4M}}=k$$

$$\text{所以 } M=\frac{1-k^2}{4k^2}m$$

11. (1) $\sqrt{\frac{GM_0}{R}}$ (2) 9×10^{-3} m

【解析】(1) 根据 $G\frac{M_0 m}{R^2}=m\frac{v^2}{R}$, 可得地球的第一宇宙速度

$$v=\sqrt{\frac{GM_0}{R}}$$

$$(2) \text{ 由题意可知, 逃逸速度 } v'=\sqrt{2}v=\sqrt{\frac{2GM_0}{R}}$$

假如地球变为黑洞则有 $v'\geq c$

代入数据解得地球半径的最大值 $R_{\max} = 9 \times 10^{-3} \text{ m}$

本章易错过关 (三)

1. C 【解析】根据 $G \frac{Mm}{r^2} = ma$, 可得 $a = \frac{GM}{r^2}$, 因该卫星与月球的轨道半径相同, 可知向心加速度相同; 若该卫星的质量与月球质量不同, 则该卫星与月球的向心力大小以及受地球的万有引力大小均不相同, 故 C 正确.
2. B 【解析】根据开普勒第三定律 $\frac{r_1^3}{T_1^2} = \frac{r_2^3}{T_2^2}$, 已知月球和同步卫星的周期比为 $27:1$, 则月球和同步卫星的轨道半径比为 $9:1$; 同步卫星的轨道半径 $r = \frac{1}{9} \times 3.8 \times 10^5 \text{ km} = 4.2 \times 10^4 \text{ km}$, 所以接收到信号的最短时间 $t = \frac{2(r-R)}{c} \approx 0.24 \text{ s}$, 故选 B.
3. D 【解析】由 $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ 得 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 所以 $v_A > v_B = v_C$, 选项 A 错误; 由 $G \frac{Mm}{r^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2}$ 得 $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$, 所以 $T_A < T_B = T_C$, 选项 B 错误; 由 $G \frac{Mm}{r^2} = ma_n$ 得 $a_n = \frac{GM}{r^2}$, 所以 $a_{nA} > a_{nB} = a_{nC}$, 又 $m_A = m_B < m_C$, 所以 $F_{nA} > F_{nB}, F_{nB} < F_{nC}$, 选项 C 错误; 三颗卫星都绕地球运行, 故由开普勒第三定律得 $\frac{R_A^3}{T_A^2} = \frac{R_B^3}{T_B^2} = \frac{R_C^3}{T_C^2}$, 选项 D 正确.
4. C 【解析】由于天体 A 和天体 B 绕天体 C 运动的轨道都是圆轨道, 角速度相同, 由 $a = \omega^2 r$, 可知天体 A 做圆周运动的加速度大于天体 B 做圆周运动的加速度, A 项错误; 由公式 $v = \omega r$, 角速度相同, 可知天体 A 做圆周运动的线速度大于天体 B 做圆周运动的线速度, B 项错误; 天体 A 做圆周运动的向心力是 B、C 的万有引力的合力提供的, 即 $F_n = F_{CA} + F_{BA}$, 所以天体 A 做圆周运动的向心力大于天体 C 对它的万有引力, C 项正确; 天体 B 做圆周运动的向心力是 A、C 的万有引力的合力提供的, 即 $F_n = F_{CB} - F_{AB}$, 所以天体 B 做圆周运动的向心力小于天体 C 对它的万有引力, D 项错误.
5. C 【解析】变轨完成后, 飞船的轨道半径变大, 根据 $a_n = \frac{GM}{r^2}$ 可知, 飞船的向心加速度减小了, 选项 A 错误; 第一宇宙速度是环绕地球做圆周运动卫星的最大速度, 则变轨完成后, 飞船的轨道半径变大, 飞船速度小于 7.9 km/s , 选项 B 错误; 在变轨过程中, 飞船从低轨道进入高轨道, 需要对飞船加速, 选项 C 正确; 虽然航天员处于完全失重状态, 但是航天员仍受地球引力作用, 选项 D 错误.
6. A 【解析】根据万有引力提供向心力可得 $\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$, 知 $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$, 由题意可知, 天和核心舱的轨道半径大于地球半径, 则天和核心舱在轨运行的线速度小于第一宇宙速度 7.9 km/s , 故 A 正确; 根据万有引力提供向心力可得 $\frac{GMm}{r^2} = m\omega^2 r$, 知 $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$, 由题意可知, 空间站的轨道半径小于地球同步卫星的轨道半径, 则空间站的运行角速度大于地球同步卫星的运行的角速度, 故 B 错误; 设地球半径为 R , 轨道离地球表面高度为 h , 地球的质量为 M , 空间站的质量为 m , 空间站的周期为 T , 根据万有引力提供向心力有 $\frac{GMm}{(R+h)^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} (R+h)$, 可得 $M = \frac{4\pi^2 (R+h)^3}{GT^2}$, 可知空间站的质量被消掉, 无法求出, 而又不知道地球的半径, 则地球

质量也不可以求出, 故 C、D 错误.

7. AD 【解析】若外层的环为土星的一部分, 则它们各部分转动的角速度 ω 相等, 由 $v = \omega R$, 知 $v \propto R$, A 正确, C 错误; 若外层的环是土星的卫星群, 则由 $\frac{GMm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$, 得 $v^2 \propto \frac{1}{R}$, 故 B 错误, D 正确.
8. AC 【解析】第一宇宙速度是卫星绕地球做匀速圆周运动的最大绕行速度, 可知该卫星的运行速度一定小于 7.9 km/s , 故 A 正确; 极地轨道卫星从北纬 45° 的正上方按题图所示方向首次运行到南纬 45° 的正上方用时 45 分钟 , 可知极地轨道卫星的周期 $T = 4 \times 45 \text{ min} = 180 \text{ min} = 3 \text{ h}$, 而同步卫星的周期为 24 h , 则该卫星的周期与同步卫星的周期之比为 $1:8$, 故 B 错误; 根据 $G \frac{Mm}{r^2} = m r \frac{4\pi^2}{T^2} = ma$ 得 $r = \sqrt[3]{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}$, $a = \frac{GM}{r^2}$, 因为周期之比为 $1:8$, 则轨道半径之比为 $1:4$, 加速度大小之比为 $16:1$, 故 C 正确, D 错误.
9. BD 【解析】恒星 A、B 为双星系统, 两星所受向心力等大反向, 且圆周运动的周期相等, 设周期为 T' , 由于每隔 T 时间两颗恒星与望远镜共线一次, 故有 $T' = 2T$, 由于 $r_A < r_B$, 根据 $v = \frac{2\pi}{T'} r$ 可知, 恒星 A 的线速度小于恒星 B 的线速度, 故 A、C 错误; 根据双星系统的特点及牛顿第二定律可得 $G \frac{m_A m_B}{d^2} = m_A \frac{4\pi^2}{T'^2} r_A = m_B \frac{4\pi^2}{T'^2} r_B$, 由于 $r_A < r_B$, 所以 $m_A > m_B$, 又因为 $r_A + r_B = d$, 联立可得 $m_A + m_B = \frac{\pi^2 d^3}{GT^2}$, 故 B、D 正确.
10. (1) $\frac{vT}{2\pi}$ (2) $\frac{2\pi v}{T}$ (3) $\frac{v^3 T}{2\pi G}$
【解析】(1) 根据 $v = \frac{2\pi R}{T}$ 解得 $R = \frac{vT}{2\pi}$
(2) 行星的加速度大小 $a = \frac{v^2}{R} = \frac{2\pi v}{T}$
(3) 由万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{R^2} = ma$ 解得 $M = \frac{v^3 T}{2\pi G}$
11. (1) $\frac{2h}{t^2}$ (2) $\frac{3h}{2\pi G R t^2}$ (3) $\frac{R}{t} \sqrt{\frac{2h}{R+H}}$
【解析】(1) 小球做自由落体运动, 有 $h = \frac{1}{2} g t^2$ 解得该星球表面的重力加速度大小为 $g = \frac{2h}{t^2}$
(2) 小球在星球表面, 根据 $G \frac{Mm}{R^2} = mg$ 可解得该星球的质量为 $M = \frac{g R^2}{G}$ 则该星球的密度为 $\rho = \frac{M}{V} = \frac{3h}{2\pi G R t^2}$
(3) 由万有引力提供向心力, 有 $G \frac{Mm}{(R+H)^2} = m \frac{v^2}{R+H}$ 又有 $M = \frac{g R^2}{G}, g = \frac{2h}{t^2}$ 联立解得 $v = \frac{R}{t} \sqrt{\frac{2h}{R+H}}$

第八章 机械能守恒定律

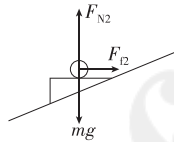
1 功与功率

第1课时 功

- D 【解析】功是标量而不是矢量,故B错误;做功的两个必不可少的条件是力和在力的方向上的位移,据此我们可以得出,没有力就没有功,有力而没有在力的方向上的位移也没有功,有力且有位移但位移方向与力的方向垂直也没有功,故A、C错误,D正确.
- CD 【解析】毛毛虫所受的摩擦力方向斜向右上方,与水平位移方向的夹角为锐角,由 $W = Fl \cos \alpha$ 可知,摩擦力对毛毛虫做正功,故A错误;树枝对毛毛虫的弹力方向斜向左上方,与水平位移方向的夹角为钝角,故树枝对毛毛虫的弹力做负功,故B错误;毛毛虫所受重力方向竖直向下,与其位移的方向垂直,重力不做功,树枝对毛毛虫的作用力为摩擦力与弹力的合力,由平衡条件知,树枝对毛毛虫的作用力与毛毛虫的重力大小相等,方向相反,方向竖直向上,所以树枝对毛毛虫做的功为零,故C、D正确.
- D 【解析】在图甲中,货物随电梯匀速上升时,货物受到的支持力竖直向上,与货物位移方向的夹角小于 90° ,故此种情况下支持力对货物做正功,选项C错误;图乙中,货物受到的支持力与履带式自动电梯接触面垂直,此时货物受到的支持力与货物位移垂直,故此种情况下支持力对货物不做功,故选项A、B错误,D正确.
- D 【解析】由题意可知, $W_1 = -3 \text{ J}$, $W_2 = 4 \text{ J}$,故合力的功为 $W = W_1 + W_2 = -3 \text{ J} + 4 \text{ J} = 1 \text{ J}$,故D正确.
- C 【解析】一个鸡蛋的质量约为 50 g ,重力约为 $G = 0.5 \text{ N}$,则重力做的功 $W = Gh = 5 \text{ J}$,故C正确.
- BC 【解析】对雪橇受力分析,支持力做功 $W_N = F_N l \cos 90^\circ = 0$,故A错误;重力做功 $W_G = mgl \cos 90^\circ = 0$,故B正确;拉力做功为 $W_F = Fl \cos \theta$,故C正确;雪橇在竖直方向上受力平衡,有 $F_N + F \sin \theta = mg$,则 $F_N = mg - F \sin \theta$,所以摩擦力大小为 $F_f = \mu F_N = \mu(mg - F \sin \theta)$,摩擦力做功 $W_f = -F_f l = -\mu(mg - F \sin \theta)l$,故D错误.
- D 【解析】在整个上升的过程中,电梯对人的支持力始终竖直向上,而人始终向上运动,根据功的定义,支持力对人始终做正功,故选D.
- ABC 【解析】根据牛顿第三定律可知,车对人向后的推力大小也为 F ,车对人向前的静摩擦力大小也为 F_f .以人为研究对象,取车前进的方向为正方向,由牛顿第二定律得 $F_f - F = ma$;当车匀速运动时, $a = 0$,则 $F = F_f$,由于人对车的推力 F 做正功,人对车的摩擦力 F_f 对车做负功,而两力做功的绝对值相等,所以, F 和 F_f 的总功为零;当车加速运动时, $a > 0$, $F_f > F$,则 F_f 对车做的负功多, F 对车做的正功少,故 F 和 F_f 的总功为负功;当车减速运动时, $a < 0$, $F_f < F$,则 F_f 对车做的负功少, F 对车做的正功多,故 F 和 F_f 的总功为正功.故选项A、B、C正确,D错误.
- BC 【解析】根据 $v-t$ 图像知加速度 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4}{2} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$,故A错误;根据牛顿第二定律得 $2F - mg = ma$,解得 $F = \frac{ma + mg}{2} = \frac{2 \times 2 + 2 \times 10}{2} \text{ N} = 12 \text{ N}$,故B正确;物体在 $0 \sim 2 \text{ s}$ 内的位移 $x = \frac{1}{2} at^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 \text{ m} = 4 \text{ m}$,则拉力作用点的位移 $x' = 2x = 8 \text{ m}$,则拉力 F 做功的大小为 $W = Fx' = 12 \times 8 \text{ J} = 96 \text{ J}$,故C正确,D错误.
- B 【解析】设斜面的倾角为 α ,斜面底边长为 L ,根据恒力做功的公式有 $W = \mu mg \cos \alpha \cdot \frac{L}{\cos \alpha} = \mu mgL$,所以物体克服

摩擦力做的功与斜面高度及倾角均无关,只与斜面底边长有关,则 $W_1 = W_2$,选项B正确.

- B 【解析】顾客A所受支持力垂直扶梯向上,与运动方向垂直,所受摩擦力与运动方向相同,有 $F_{N1} = mg \cos \alpha$, $F_{f1} - mg \sin \alpha = ma$,顾客B受力分析如图所示,因随扶梯从静止开始向上做匀加速直线运动,则B所受合力为 ma ,方向与运动方向相同,则有 $F_{N2} - mg = ma \sin \beta$, $F_{f2} = ma \cos \beta$,则有 $F_{N1} < F_{N2}$, $F_{f1} > F_{f2}$,A错误,B正确;顾客A所受支持力方向与运动方向垂直,支持力不做功,顾客B所受支持力与运动方向成锐角,做正功,则A所受支持力做的功小于B所受支持力做的功,C、D错误.



- (1) 80 J (2) 68 J

【解析】(1)重力做功 $W_G = mgh = 4.0 \times 10 \times 2 \text{ J} = 80 \text{ J}$

(2)支持力方向与位移方向垂直,不做功,则有 $W_N = 0$
滑动摩擦力为

$$F_f = \mu F_N = \mu mg \cos 53^\circ = 0.2 \times 4.0 \times 10 \times 0.6 \text{ N} = 4.8 \text{ N}$$

则滑动摩擦力做功为

$$W_f = -F_f x = -F_f \frac{h}{\sin 53^\circ} = -4.8 \times \frac{2}{0.8} \text{ J} = -12 \text{ J}$$

合力做功为 $W_{\text{合}} = W_N + W_f + W_G = 80 \text{ J} - 12 \text{ J} = 68 \text{ J}$

- 支持力做功为 $-mgx \cos \alpha \sin \alpha$,摩擦力做功为 $mgx \cos \alpha \sin \alpha$,重力做功为 0 合力做功为 0

【解析】沿斜面方向与垂直于斜面方向建立直角坐标系,将重力正交分解,由于木块相对斜面静止沿水平方向做匀速直线运动,根据力的平衡条件可得斜面对木块的支持力 $F_N = mg \cos \alpha$

斜面对木块的静摩擦力 $F_f = mg \sin \alpha$

支持力 F_N 与位移 x 间的夹角为 $90^\circ + \alpha$,则支持力做的功为 $W_N = F_N x \cos (90^\circ + \alpha) = -mgx \cos \alpha \sin \alpha$

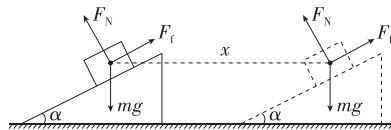
摩擦力 F_f 与位移 x 的夹角为 α ,则摩擦力 F_f 做功为

$$W_f = F_f x \cos \alpha = mgx \sin \alpha \cos \alpha$$

重力与位移的夹角为 90° ,则重力做的功为

$$W_G = mgx \cos 90^\circ = 0$$

木块向右做匀速直线运动,受到的合力 $F_{\text{合}} = 0$,故合力做的功为 $W = F_{\text{合}} \cdot x = 0$



第2课时 功率

- B 【解析】根据 $P = \frac{W}{t}$ 可知,力对物体做的功越多,力做功的功率不一定越大,A错误;功率是描述物体做功快慢的物理量,B正确;从公式 $P = Fv$ 可知,当牵引力一定的情况下,汽车的发动机瞬时功率可以随速度的不断增大而提高,当功率达到额定功率后,随着速度的增大,功率保持不变,牵引力减小,C错误;当汽车在水平路面上匀速行驶时,合力为零,此时牵引力大小等于阻力大小,发动机的实际功率不为零,D错误.
- C 【解析】由瞬时功率 $P = Fv$ 可知,瞬时功率之比等于速度之比,选项C正确.
- C 【解析】汽车发动机输出的实际功率为 $P = Fv = 3.0 \times 10^3 \times 10 \text{ W} = 3.0 \times 10^4 \text{ W}$,所以C正确,A、B、D错误.

4. C 【解析】匀速行驶时,汽车的牵引力 $F=F_f$, A、B 均错误;由 $P=Fv$,可知汽车再次匀速前进时汽车的牵引力依然满足 $F=F_f$,当汽车的功率变为原来的 2 倍时,则汽车的速度大小变为原来的 2 倍,即为 $2v$, C 正确, D 错误。

5. C 【解析】第 1 s 末速度与第 2 s 末速度之比为 $v_1:v_2=gt_1:gt_2=1:2$,故第 1 s 末与第 2 s 末重力的瞬时功率之比为 $mgv_1:mgv_2=v_1:v_2=1:2$,故 C 正确。

6. C 【解析】中学生体重大约为 $m=50\text{ kg}$,向上运动时的位移大约为 $h=0.5\text{ m}$,则克服重力做功的平均功率约为 $P=\frac{W}{t}=\frac{mgh \cdot n}{t}=\frac{50 \times 10 \times 0.5 \times 12}{15}\text{ W}=200\text{ W}$,故 C 正确。

7. C 【解析】 t_1 时刻,木块的速度 $v_1=at_1=\frac{Ft_1}{m}$, $0 \sim t_1$ 时间内的平均速度 $\bar{v}=\frac{v_1}{2}=\frac{Ft_1}{2m}$,由 $P=Fv$ 得, t_1 时刻 F 的功率为 $P=Fv_1=F \cdot \frac{Ft_1}{m}=\frac{F^2t_1}{m}$, $0 \sim t_1$ 时间内的平均功率为 $\bar{P}=F\bar{v}=F \cdot \frac{Ft_1}{2m}=\frac{F^2t_1}{2m}$,选项 C 正确。

8. (1)48 J (2)24 W (3)48 W

【解析】(1)木块所受的合力

$$F_{\text{合}}=mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = 4\text{ N}$$

$$\text{木块的加速度 } a = \frac{F_{\text{合}}}{m} = 2\text{ m/s}^2$$

$$\text{前 } 2\text{ s 内的位移 } x = \frac{1}{2}at^2 = 4\text{ m}$$

$$\text{前 } 2\text{ s 内重力做的功 } W = mgx \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = 48\text{ J}$$

$$(2)\text{前 } 2\text{ s 内重力的平均功率 } \bar{P} = \frac{W}{t} = 24\text{ W}$$

$$(3)\text{木块在 } 2\text{ s 末的速度 } v = at = 4\text{ m/s}$$

$$2\text{ s 末重力的瞬时功率 } P = mgv \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = 48\text{ W}$$

9. B 【解析】对小滑环受力分析,受重力和支持力,将重力沿杆的方向和垂直杆的方向正交分解,根据牛顿第二定律得小滑环做初速度为零的匀加速直线运动,加速度大小为 $a=g \sin \theta$ (θ 为杆与水平面的夹角);设题图中的圆半径为 R ,则小滑环的位移 $x=2R \sin \theta$,所以 $t=\sqrt{\frac{2x}{a}}=\sqrt{\frac{4R}{g}}$, t 与 θ 无关,即 $t_1=t_2=t_3$;根据 $W=mgh$ 可知三个滑环重力做的功 $W_1>W_2>W_3$,根据 $P=\frac{W}{t}$ 可知 $P_1>P_2>P_3$,故选项 B 正确, A、C、D 错误。

10. B 【解析】设斜面高度为 h ,倾角为 θ ,因为 A、C 两球竖直方向均做自由落体运动,故 A、C 同时落地,即 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$,而 B 小球在斜面上满足 $mg \sin \theta = ma$,所以 $t'=\sqrt{\frac{2x}{a}}=\sqrt{\frac{2h}{g \sin^2 \theta}}$,所以 A、C 先落地,故 A 错误;由 $\bar{P}=\frac{W}{t}=\frac{mgh}{t}$ 可得,从开始运动到落地 A 和 C 两小球重力的平均功率相等,故 B 正确;由 $v^2=2ax$ 知, A、B 两球落地速度大小相等,但是 B 小球速度沿着斜面向下,故竖直方向的分速度小于 A 小球竖直方向速度,故落地瞬间 A 小球的重力功率大于 B 小球的重力功率,故 C 错误;由平抛运动规律可知, $v_c>v_A=v_B$,故 D 错误。

11. B 【解析】对滑块受力分析,根据牛顿第二定律有 $F-mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha = ma$,根据运动学公式有 $v^2=2aL$,联立解得 $F=840\text{ N}$, $a=0.5\text{ m/s}^2$,将滑块沿斜面拉到距斜面底部 0.25 m 处时,速度大小为 $v'=\sqrt{2ax}=0.5\text{ m/s}$,则此时

拉力的功率为 $P=Fv'=420\text{ W}$,故 B 正确。

12. C 【解析】物体先做平抛运动,重力的功率 $P_G=mgv_y=mg^2t$, P_G-t 图线为过原点的倾斜直线,斜率 $k_1=mg^2$;设斜面倾角为 θ ,物体刚落到斜面上时的速度为 v_1 ,则物体落到斜面上后, $P_G=mg(v_1+g\Delta t \sin \theta) \sin \theta = mgv_1 \sin \theta + mg^2 \Delta t \sin^2 \theta$, $\Delta t=t-t_P$,则 P_G-t 仍是一直线,斜率 $k_2=mg^2 \sin^2 \theta < k_1$, C 正确。

13. (1) $1.0 \times 10^4\text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$ (2) $2.25 \times 10^6\text{ W}$

【解析】(1)船达到最高时速时受力平衡,向前的牵引力大小等于向后的阻力 $F=F_f$

$$\text{由 } P=Fv$$

$$\text{得 } F=\frac{P}{v}$$

$$\text{又 } F_f=kv$$

$$\text{联立并代入数据得 } k=1.0 \times 10^4\text{ N} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-1}$$

(2)船以最高时速一半的速度匀速行驶时

$$F_f'=k \cdot \frac{v}{2}=1.5 \times 10^5\text{ N}$$

其中 v 为最高时速,此时船匀速航行,受力平衡,牵引力大小等于阻力 $F'=F_f'$

$$\text{实际功率 } P'=F' \cdot \frac{v}{2}$$

$$\text{联立并代入数据得 } P'=2.25 \times 10^6\text{ W}$$

专题课：机车启动问题和变力做功问题

1. B 【解析】列车以恒定功率运动,根据 $P=F_{\text{牵}}v$ 知,随着速度的增加,牵引力逐渐减小,合力减小,加速度减小,故列车做加速度逐渐减小的加速直线运动, A 错误;此过程牵引力的功率不变,由 $W=Pt$ 知牵引力做的功可以表示为 $W_{\text{牵}}=Pt$, B 正确;此过程阻力大小不变,但列车不是匀速运动,位移无法求出,所以克服阻力做的功无法求出, C、D 错误。

2. B 【解析】由题意知汽车受到的阻力大小为车重力的 $\frac{1}{10}$,则阻力大小为 $F_f=\frac{1}{10}mg=\frac{1}{10} \times 2 \times 10^3 \times 10\text{ N}=2000\text{ N}$,选项

A 错误;由题图知前 5 s 内的加速度 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=2\text{ m/s}^2$,由牛顿第二定律知前 5 s 内的牵引力大小为 $F=F_f+ma=(2000+2 \times 10^3 \times 2)\text{ N}=6 \times 10^3\text{ N}$,选项 B 正确;5 s 末达到额定功率 $P_{\text{额}}=Fv_5=6 \times 10^3 \times 10\text{ W}=6 \times 10^4\text{ W}=60\text{ kW}$,最大速度 $v_{\text{max}}=\frac{P_{\text{额}}}{F_f}=\frac{6 \times 10^4}{2000}\text{ m/s}=30\text{ m/s}$,选项 C、D 错误。

3. ACD 【解析】重物匀速上升时,钢绳的拉力大小等于重力,此时的速度为 $v_m=\frac{P}{mg}$,选项 A 正确;重物匀加速的末速度为 v_1 ,此后继续加速到最大速度 $v_m=\frac{P}{mg}$,选项 B 错误;匀加速过程中钢绳的拉力不变且最大,最大拉力为 $F_m=\frac{P}{v_1}$,选项 C 正确;根据牛顿第二定律得 $F_m-mg=ma$,解得 $a=\frac{P}{mv_1}-g$,选项 D 正确。

4. B 【解析】利用微元法求解拉力 F 所做的功,可将圆周分成无限多小段,对每一小段,可以认为 F 与位移方向相同,则力 F 做的总功为 F 在各小段所做功的代数和,即 $W_F=F \cdot 2\pi R=20\pi\text{ J}$,故 B 正确。

5. D 【解析】 $2 \sim 4\text{ m}$ 内 F 逐渐减小,合力增大,加速度增大,故 A 错误; $F-x$ 图线与横轴所围区域的面积表示拉力对物体所做的功,所以 $W_F=\frac{(2+4) \times 4}{2}\text{ J}=12\text{ J}$,故 B 错误; $0 \sim 2\text{ m}$ 阶段,根据平衡条件可得 $F=F_f=4\text{ N}$,所以整个过程中摩擦

力对物体做的功为 $W_f = -F_f x = -4 \times 4 \text{ J} = -16 \text{ J}$, 故 C 错误; 整个过程中合外力所做的功为 $W_{\text{合}} = W_F + W_f = 12 \text{ J} + (-16 \text{ J}) = -4 \text{ J}$, 故 D 正确。

6. B 【解析】根据题意可知, 水平拉力与位移的关系式为 $F = 4 + 2x$, 则物体移动 5 m 过程中拉力的平均值为 $\bar{F} = \frac{4 + (4 + 2 \times 5)}{2} \text{ N} = 9 \text{ N}$, 则拉力做的功 $W = \bar{F}x = 45 \text{ J}$, 故选 B。

7. D 【解析】动车组在 bc 段匀加速启动的过程中, 速度逐渐增大, 所受阻力与速率成正比, 所以牵引力逐渐增大, 故 A 错误; 动车组在 $abcd$ 段保持速率不变行驶, 则阻力不变, 在 ab 段不仅需要克服阻力做功, 还需要克服重力做功, 所以 ab 段输出功率最大, 故 B 错误; 根据题意则有 $4P = F_f v_m$ 、 $F_f = kv_m$, 所以 $4P = kv_m^2$, 当总功率变为 $2P$ 时, 有 $2P = kv_m'^2$, 联立解得 $v_m' = \frac{\sqrt{2}}{2} v_m$, 故 C 错误; 动车组在 cd 段除了动车自身做功外, 重力也会做功, 故动车组在 cd 段能达到的最大速度最大, 故 D 正确。

8. B 【解析】由速度—时间图像可知前 2 s 内物体加速度大小为 $a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{4}{2} \text{ m/s}^2 = 2 \text{ m/s}^2$, 设此过程牵引力为 F , 摩擦力为 F_f , 由牛顿第二定律得 $F - F_f = ma$, 在 2 s 末, 由 $P = Fv$ 得 $F = \frac{P}{v} = \frac{30}{4} \text{ N} = 7.5 \text{ N}$, 2 s 以后, 物体匀速运动, 牵引力大小等于阻力, 有 $P' = F'v' = F_f v'$, 代入数据得 $F_f = 2.5 \text{ N}$, 联立解得 $m = 2.5 \text{ kg}$, 选项 B 正确。

9. C 【解析】将圆弧分成很多小段 $l_1, l_2, \dots, l_n$, 拉力 F 在每小段上做的功为 $W_1, W_2, \dots, W_n$, 因拉力 F 大小不变, 方向始终与小球的运动方向成 37° 角, 所以 $W_1 = Fl_1 \cos 37^\circ$, $W_2 = Fl_2 \cos 37^\circ, \dots, W_n = Fl_n \cos 37^\circ$, $W = W_1 + W_2 + \dots + W_n = F(\cos 37^\circ)(l_1 + l_2 + \dots + l_n) = F \cos 37^\circ \cdot \frac{\pi}{3} R = \frac{40\pi}{3} \text{ J}$, 同理可得小球克服摩擦力做的功 $W_f = \mu mg \cdot \frac{\pi}{3} R = \frac{20\pi}{3} \text{ J}$, 拉力 F 做的功与小球克服摩擦力做的功大小之比为 2 : 1, 故选 C。

10. (1) 12 m/s (2) 1 m/s²

【解析】(1) 汽车在整个运动过程中速度达到最大时, 牵引力与阻力大小相等, 即 $F = F_f = \frac{1}{10} mg = 5 \times 10^3 \text{ N}$

又 $P = Fv$, 所以最大速度 $v_{\text{max}} = \frac{60\,000}{5000} \text{ m/s} = 12 \text{ m/s}$

(2) 当汽车速度 $v' = 6 \text{ m/s}$ 时, 汽车的牵引力

$$F' = \frac{P}{v'} = 1 \times 10^4 \text{ N}$$

设此时汽车的加速度为 a , 根据牛顿第二定律, 有

$$F' - F_f = ma$$

$$\text{解得 } a = \frac{F' - F_f}{m} = 1 \text{ m/s}^2$$

11. (1) 16 s (2) $P = 3750t$ (3) 12 m/s

【解析】(1) 由 $F - F_f = ma$, $F_f = \frac{1}{10} mg$

得 $F = 7500 \text{ N}$

匀加速直线运动过程中速度最大值为 $v = \frac{P_0}{F} = 8 \text{ m/s}$

所以匀加速直线运动的时间为 $t = \frac{v}{a} = 16 \text{ s}$

(2) 汽车匀加速直线运动过程中实际功率随时间变化的关系 $P = Fv = Fat = 7500 \times 0.5 \times t = 3750t$

(3) 汽车速度达到最大值时有 $F' = F_f$

所以汽车运动所能达到的最大速度为 $v_m = \frac{P_0}{F_f} = 12 \text{ m/s}$

12. B 【解析】设蹬踏一次的距离为 x , 则不载人时的速度为 $v_1 = \frac{3x}{T}$, 载人时的速度为 $v_2 = \frac{2x}{T}$, 设载人与不载人时的牵引力分别为 F_1, F_2 , 由于小龙用力蹬踏自行车时的驱动力功率相同, 故 $F_1 v_1 = F_2 v_2$, 故 $\frac{F_1}{F_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{2}{3}$, 根据牛顿第三定律可得 $\frac{F_{\text{阻}1}}{F_{\text{阻}2}} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{2}{3}$, 故选 B。

2 重力势能

1. D 【解析】重力做功只与物体初、末位置的高度差及物体质量有关, 与其他因素无关, 故 A、B、C 错误, D 正确。

2. C 【解析】从图中可看出, 用背越式越过横杆时运动员的重心可能在腰部下方, 即重心可能在横杆的下方, 运动员克服重力所做的功不一定大于 mgh , 而跨越式跨过横杆时, 运动员的重心一定在横杆之上, 运动员克服重力所做的功一定大于 mgh , 故 C 正确。

3. D 【解析】重力势能取决于物体的重力和高度, A 错误; 重力势能的大小与零势能面的选取有关, 若物体在零势能面下方, 则重力势能为负值, 故 B 错误; 重力势能的大小与零势能面的选取有关, 若选取地面上方的水平面为零势能面, 则地面上的物体重力势能为负, 若选取地面下方的水平面为零势能面, 则地面上的物体重力势能为正, C 错误; 重力势能是物体和地球共有的, 故 D 正确。

4. C 【解析】假设“翁”的重心在 O 点, 则倾斜后, 支持力方向还是沿半径过球心, “翁”仍平衡, 不会自动恢复直立, 假设重心在 O 点上方, “翁”倾斜后会倾倒, 更不会自动直立, 所以重心位于 O, P 连线上且在 O 点下方某处, 故 A、B 错误; “翁”静止时重心位置最低, 所以从直立变倾斜的过程中, 重力势能增加, 故 C 正确, D 错误。

5. A 【解析】选择矿井底部所在水平面为零势能面, 则该工作人员的重力势能最初为 0, 运送到地面下方 80 m 处, 上升的高度为 40 m, 所以重力势能改变量为 $\Delta E_p = mg\Delta h = 24\,000 \text{ J}$, 故 A 正确。

6. A 【解析】只要物体的高度降低, 重力做正功, 其重力势能一定在减少, A 正确; 竖直下抛运动的物体, 重力做正功, 重力势能减少, B 错误; 做平抛运动的物体, 重力做正功, 重力势能不断减少, 但重力势能的大小取决于零势能面的选择, 若选择抛出点所在水平面为零势能面, 则物体的重力势能始终小于零, C 错误; 做竖直上抛运动的物体, 在上升阶段, 重力做负功, 重力势能增加, D 错误。

7. D 【解析】当污水自发地顺着倾斜的地下管道流动时, 重力对污水做正功, 故 A 错误; 当污水自发地顺着倾斜的地下管道流动时, 高度降低, 污水的重力势能减少, 故 B 错误; 水泵将污水抽送至地面的过程中, 重力对污水做负功, 故 C 错误; 水泵将污水抽送至地面的过程中, 高度增加, 污水的重力势能增加, 故 D 正确。

8. A 【解析】重力做功为 $W_G = mg\Delta h = 0.6 \times 10 \times (4.5 - 2.0) = 15 \text{ J}$, A 正确; 重力做正功, 重力势能减小, 故重力势能减少了 15 J, B 错误; 若以抛出点为参考平面, 绣球被抢到时的重力势能为 $E_p = -mg(h - h_1) = -0.6 \times 10 \times (4.5 - 2) \text{ J} = -15 \text{ J}$, C 错误; 重力势能的变化与重力做功对应, 与参考平面的选取无关, D 错误。

9. BD 【解析】由功的计算公式 $W = Fl \cos \alpha$ 知, 恒力做功时, 做功的多少与物体沿力的方向的位移成正比, 而弹簧的弹力是一个变力, 弹簧开始被压缩时弹力小, 随着弹簧的压缩量变大, 弹力也开始变大, 物体移动相同的距离弹力做的功变多, 选项 A 错误, B 正确。物体压缩弹簧的过程中, 弹簧的弹力方向与弹力作用点的位移方向相反, 所以弹力做负功, 弹簧的弹性势能增加, 选项 C 错误, D 正确。

10. A 【解析】由于人对弓的拉力与弓的形变方向相同, 故人

对弓的拉力做正功,在拉开过程中由于弓的形变量增大,故弹性势能增大,故 A 正确.

11. B 【解析】以水平地面为零势能面,物体做自由落体运动,重力势能随下落距离线性减小,B 正确.

12. D 【解析】小球在 A 位置时,处于静止状态,受重力和弹簧的弹力,二力平衡,故弹簧的弹力大小等于重力,即 $kx_1 = G$, A 错误;小球在 B 位置时,处于静止状态,受重力、力 F 和弹簧的弹力,根据共点力的平衡条件可得 $F + G = F_{\text{弹}}$,根据胡克定律有 $F_{\text{弹}} = k(x_1 + x)$,解得 $F_{\text{弹}} = G + kx$,B 错误;弹簧压缩量越大,弹性势能越大,可知 C 错误,D 正确.

13. A 【解析】由题意可知,PM 段细绳的重力势能不变,MQ 段细绳的重心升高了 $\frac{1}{6}l$,则重力势能增加 $\Delta E_p = \frac{2}{3}mg \cdot \frac{1}{6}l = \frac{1}{9}mgl$,故选项 A 正确,B、C、D 错误.

14. (1)240 J 80 J (2)80 J 80 J

【解析】(1)以地面为参考平面,物体的高度 $h_1 = 1.2 \text{ m}$

物体的重力势能为 $E_{p1} = mgh_1 = 240 \text{ J}$

物体落至桌面时重力势能为 $E_{p2} = mgh_2 = 160 \text{ J}$

物体重力势能的减少量 $\Delta E_p = E_{p1} - E_{p2} = 80 \text{ J}$.

(2)以桌面为参考平面,物体的高度 $h_3 = 0.4 \text{ m}$

物体的重力势能为 $E_{p3} = mgh_3 = 80 \text{ J}$

物体重力势能的减少量 $\Delta E_p' = E_{p3} - 0 = 80 \text{ J}$.

3 动能和动能定理

1. C 【解析】速度从 v 增大到 $2v$, $\Delta E_{k1} = \frac{1}{2}m(2v)^2 - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}mv^2$,速度从 $2v$ 增大到 $3v$, $\Delta E_{k2} = \frac{1}{2}m(3v)^2 - \frac{1}{2}m(2v)^2 = \frac{5}{2}mv^2$,所以 $\Delta E_{k1} : \Delta E_{k2} = 3 : 5$,故选 C.

2. A 【解析】动能的大小与速度的方向无关,在这段时间里滑块的动能大小没有发生变化,根据动能定理可知,水平力对滑块所做的功为 0,选项 A 正确.

3. B 【解析】由动能定理可得 $W_G - W_f = \Delta E_k$,可得动能增加了 $\Delta E_k = 1800 \text{ J}$,故 A 错误,B 正确;重力做正功,重力势能减少,减少的重力势能等于重力做的功,故重力势能减少了 2000 J ,故 C、D 错误.

4. A 【解析】由动能定理得 $-mgR(1 - \cos 60^\circ) = 0 - \frac{1}{2}mv^2$,解得 $v = 4 \text{ m/s}$,故 A 正确,B、C、D 错误.

5. B 【解析】根据题意可得人对足球做的功为 $W = \Delta E_k = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2} \times 1 \times 8^2 \text{ J} = 32 \text{ J}$,故选 B.

6. BC 【解析】根据动能定理,合力对物体做的功等于物体动能的变化量.前 2 s 内,合力做功 $W = \frac{1}{2}mv_1^2$,因此,从第 1 s 末到第 2 s 末,合力做功 $W_1 = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = 0$;从第 3 s 末到第 5 s 末,合力做功 $W_2 = 0 - \frac{1}{2}mv_1^2 = -W$;从第 5 s 末到第 7 s 末,合力做功 $W_3 = \frac{1}{2}mv_1^2 - 0 = W$;从第 3 s 末到第 4 s 末,合力做功 $W_4 = \frac{1}{2}m\left(\frac{v_1}{2}\right)^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = -\frac{3}{4}W$;故选 B、C.

7. 150 J $10\sqrt{6} \text{ m/s}$

【解析】设运动员对足球做功为 W ,对足球从静止到最高点过程,由动能定理有 $W - mgh = \frac{1}{2}mv^2$
其中 $m = 0.5 \text{ kg}$, $h = 10 \text{ m}$, $v = 20 \text{ m/s}$

解得 $W = 150 \text{ J}$

对足球从被踢出到落地过程,由动能定理有

$$W = \frac{1}{2}mv_{\text{地}}^2$$

解得 $v_{\text{地}} = 10\sqrt{6} \text{ m/s}$

8. A 【解析】由动能定理得 $-W - \mu mg(x_0 + x) = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$,所以 $W = \frac{1}{2}mv_0^2 - \mu mg(x_0 + x)$.

9. C 【解析】对全过程,根据动能定理得合力对小球做的总功 $W = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2 = -\frac{1}{2}mv_0^2$,故 A、B 错误;设路面对小球做的功为 W_1 ,有 $mg(H + h) + W_1 = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$,解得 $W_1 = -mg(H + h) - \frac{1}{2}mv_0^2$,故 C 正确,D 错误.

10. AD 【解析】由 $W = Fx$ 可知,拉力 F 对两物体做的功一样多,故 A 正确;甲受到的合力大于乙受到的合力,则甲的加速度大于乙的加速度,经过相同的位移,甲所用的时间比乙的少,由 $P = \frac{W}{t}$ 可知,拉力 F 对甲的平均功率大于拉力 F 对乙的平均功率,故 B 错误;由动能定理可知,在光滑水平面上,拉力 F 对物体做的功等于物体动能的变化,在粗糙水平面上,拉力 F 对物体做正功,摩擦力对物体做负功,所以在光滑水平面上的物体获得的动能大于在粗糙水平面上物体获得的动能,故 C 错误,D 正确.

11. D 【解析】设小球在由 A 到 B 的过程中阻力做功为 W ,从 A 到 B 的过程中由动能定理有 $-mgh + W = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$,当小球由 B 返回到 A 的过程中,阻力做的功依旧为 W ,再由动能定理得 $mgh + W = \frac{1}{2}mv_A^2$,以上两式联立可得 $v_A = \sqrt{4gh - v_0^2}$,故选 D.

12. (1)100 J (2)40 W (3) $2\sqrt{5} \text{ m/s}$

【解析】(1)由题图乙知物体 1 s 末的速度

$$v_1 = 10 \text{ m/s}$$

根据动能定理得 $W_F = \frac{1}{2}mv_1^2$

解得 $W_F = 100 \text{ J}$

(2)由 $v-t$ 图像可知,物体沿斜面上升的最大位移为

$$x = \frac{1}{2} \times 1 \times 10 \text{ m} = 5 \text{ m}$$

物体到达斜面底端时的速度 $v_2 = 10 \text{ m/s}$,到达斜面最高点的速度为零,根据动能定理得

$$-mgx \sin 37^\circ - W_f = 0 - \frac{1}{2}mv_2^2$$

解得 $W_f = 40 \text{ J}$

物体从斜面底端滑到最高点过程中克服摩擦力做功的平均

$$\text{功率为 } P = \frac{W_f}{t} = 40 \text{ W}$$

(3)设物体重新到达斜面底端时的速度为 v_3 ,在物体从斜面底端上升到斜面最高点再返回到斜面底端的过程中,根据动能定理得 $-2W_f = \frac{1}{2}mv_3^2 - \frac{1}{2}mv_2^2$

解得 $v_3 = 2\sqrt{5} \text{ m/s}$

此后物体做匀速直线运动,故物体回到出发点时的速度大小为 $2\sqrt{5} \text{ m/s}$

习题课:动能定理的应用(A)

1. A 【解析】由动能定理得,人对球所做的功 $W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = 50 \text{ J}$,故选项 A 正确.

2. A 【解析】滑块即将滑动时,最大静摩擦力(等于滑动摩擦力)提供向心力,有 $\mu mg = m \frac{v^2}{R}$, 根据动能定理得 $W_f = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $W_f = \frac{1}{2}\mu mgR$, A 正确.
3. A 【解析】由 A 到 B 的过程中,由动能定理可得 $mgR + W_f = \frac{1}{2}mv^2$, 在 B 点由牛顿第二定律得 $F_N - mg = m \frac{v^2}{R}$, 滑块受到的滑动摩擦力为 $F_f = \mu F_N$, 解得 $F_f = 3.6 \text{ N}$, 故 A 正确.
4. A 【解析】因动摩擦因数 $\mu = kx$, 则滑动摩擦力为 $F_f = \mu mg = kmgx$, 即滑动摩擦力随位移均匀变化, 故摩擦力的功可用平均力乘位移表示, 由动能定理得 $-F_f x_0 = -\frac{0+kmgx_0}{2} \cdot x_0 = 0 - \frac{1}{2}mv_0^2$, 解得 $v_0 = \sqrt{k g x_0^2}$, 故 A 正确.
5. D 【解析】根据动能定理得 $\Delta E_k = F_{\text{合}} x$, 可知物块在每段运动中所受合力恒定, 则物块在每段都做匀加速运动, 由图像可知, $x=1 \text{ m}$ 时物块的动能为 2 J , 则 $v_1 = \sqrt{\frac{2E_k}{m}} = \sqrt{2} \text{ m/s}$, 故 A 错误; 同理, 当 $x=2 \text{ m}$ 时物块的动能为 4 J , 则 $v_2 = 2 \text{ m/s}$, 当 $x=4 \text{ m}$ 时物块的动能为 9 J , 则 $v_4 = 3 \text{ m/s}$, 在 $2 \sim 4 \text{ m}$ 段, 有 $2a_2x_2 = v_4^2 - v_2^2$, 解得 $2 \sim 4 \text{ m}$ 段的加速度为 $a_2 = 1.25 \text{ m/s}^2$, 故 B 错误; 在前 4 m 位移过程中, 对物块, 由动能定理得 $W_F + (-\mu mgx) = E_{k4} - 0$, 解得 $W_F = 25 \text{ J}$, 故 C 错误; $0 \sim 2 \text{ m}$ 过程, $t_1 = \frac{2x_1}{v_2} = 2 \text{ s}$, $2 \sim 4 \text{ m}$ 过程, $t_2 = \frac{x_2}{\frac{v_2+v_4}{2}} = 0.8 \text{ s}$, 故总时间为 $2 \text{ s} + 0.8 \text{ s} = 2.8 \text{ s}$, D 正确.
6. B 【解析】动能 E_k 与时间 t 的关系图像上的任意一点的切线斜率的绝对值表示重力做功的瞬时功率, 即 $\left| \frac{\Delta E_k}{\Delta t} \right| = \left| \frac{W_G}{\Delta t} \right| = P_G$, 小球在 A 点与 C 点处时速度均为零, 小球在 B 点处时速度方向与重力方向垂直, 所以小球在 A、B、C 三点处时重力做功的瞬时功率都为零, 则小球由 A 点运动到 B 点的过程中, 重力做功的瞬功率 (E_k-t 图像的斜率的绝对值) 是先增大再减小至零, 小球由 B 点运动到 C 点的过程中, 重力做功的瞬功率 (E_k-t 图像的斜率的绝对值) 也是先增大再减小至零, 故 B 正确, A、C、D 错误.
7. B 【解析】根据题意可知, 假设流速为 v 的空气接触扇面的面积 $S = \pi r^2$, 在时间 t 内流过扇叶的体积为 $V = \pi r^2 vt$, 则根据密度公式得空气质量 $m = \rho V = \rho \pi r^2 vt$, 有 $\frac{1}{4}$ 的空气速度减为零, 所以与叶片发生相互作用的空气的质量为 $\frac{1}{4}m$, 则根据动能定理得 $W = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4}mv^2 = \frac{1}{8}\rho \pi r^2 vt v^2 = \frac{1}{8}\rho \pi r^2 v^3 t$, 则根据 $P = \frac{W}{t}$, 得 $P = \frac{\frac{1}{8}\rho \pi r^2 v^3 t}{t} = \frac{1}{8}\rho \pi r^2 v^3$, B 正确.
8. C 【解析】管口的内径约有 10 cm , 则半径 $r = 5 \text{ cm} = 0.05 \text{ m}$, 根据实际情况, 每层楼高约为 $h = 3 \text{ m}$, 所以喷水的高度 $H = 27h = 81 \text{ m}$, 则水离开管口的速度为 $v = \sqrt{2gh} = \sqrt{20 \times 81} \text{ m/s} = 18\sqrt{5} \text{ m/s}$, 设驱动主喷管喷水的电动机功率为 P , 在接近管口很短一段时间 Δt 内水柱的质量为 $m = \rho \cdot v \Delta t S = \rho \pi r^2 v \Delta t$, 根据动能定理可得 $P \Delta t = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $P = \frac{\rho \pi r^2 v^3}{2}$, 代入数据解得 $P \approx 2.6 \times 10^5 \text{ W}$, 故 C 正确.

9. AC 【解析】由题知, 下滑过程中只有重力对滑块做功, 根据动能定理得 $mgh = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $v = \sqrt{2gh}$, 所以 $v_A = v_B$, 故 C 正确, D 错误; 滑块均沿斜面做匀加速运动, 则有 $L = \frac{0+v}{2}t$, 由图可知 $L_A > L_B$, 且 $v_A = v_B$, 所以 $t_A > t_B$, 故 A 正确, B 错误.
10. B 【解析】列车速度最大时, 牵引力与阻力平衡, 则行驶过程中列车受到的阻力大小 $F_f = \frac{P}{v_m}$, 故 A 错误; 当列车的速度为 $\frac{v_m}{4}$ 时, 列车的牵引力 $F = \frac{P}{\frac{v_m}{4}} = \frac{4P}{v_m}$, 根据牛顿第二定律得 $F - F_f = ma$, 解得 $a = \frac{3P}{mv_m}$, 故 B 正确; 由动能定理可知, 从启动到速度为 v_m 的过程中, 列车牵引力做功与阻力做功之和等于列车动能增加量, 故列车牵引力做功不等于 $\frac{1}{2}mv_m^2$, C 错误; 只知道最高的瞬时速率, 无法估算平均速率, 无法得出大致路程, 故 D 错误.
11. A 【解析】 $0 \sim 10 \text{ m}$ 内物块上滑, 由动能定理得 $-mg \sin 30^\circ \cdot s - F_f s = E_k - E_{k0}$, 整理得 $E_k = E_{k0} - (mg \sin 30^\circ + F_f)s$, 结合 $0 \sim 10 \text{ m}$ 内的图像得, 斜率的绝对值 $|k| = mg \sin 30^\circ + F_f = 4 \text{ N}$, $10 \sim 20 \text{ m}$ 内物块下滑, 由动能定理得 $(mg \sin 30^\circ - F_f)(s - s_1) = E_k$, 整理得 $E_k = (mg \sin 30^\circ - F_f)s - (mg \sin 30^\circ - F_f)s_1$, 结合 $10 \sim 20 \text{ m}$ 内的图像得, 斜率 $k' = mg \sin 30^\circ - F_f = 3 \text{ N}$, 联立解得 $F_f = 0.5 \text{ N}$, $m = 0.7 \text{ kg}$, 故选 A.
12. (1) $7mg$ (2) $\sqrt{gR}$ (3) $1.5mgR$

【解析】(1) 小球运动到 B 点时, 由牛顿第二定律得

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

解得轨道对小球的支持力的大小为 $F_N = 7mg$

(2) 小球恰能通过 C 点时, 由重力提供向心力, 由牛顿第二定律得

$$mg = m \frac{v_C^2}{R}$$

解得 $v_C = \sqrt{gR}$

(3) 小球从 A 点运动到 C 点的过程中, 根据动能定理得

$$mg(h - 2R) - W = \frac{1}{2}mv_C^2 - 0$$

解得 $W = 1.5mgR$

习题课: 动能定理的应用 (B)

1. C 【解析】对游客从最高点下滑至 A 点的过程, 由动能定理可得 $mgh - \mu mg \frac{h}{\tan \theta} - \mu mg \left(x - \frac{h}{\tan \theta} \right) = 0$, 整理得 $x = \frac{h}{\mu}$, 所以当 h 和 μ 一定时, x 与 m 和 θ 无关, 故 C 正确.
2. B 【解析】小球 A 下降 h 高度过程中, 设克服弹簧弹力的功为 W_1 , 根据动能定理有 $mgh - W_1 = 0$, 小球 B 下降过程中, 由动能定理有 $3mgh - W_1 = \frac{1}{2} \times 3mv^2 - 0$, 联立解得 $v = \frac{2\sqrt{3gh}}{3}$, 故 B 正确.
3. AC 【解析】根据题意可知, 时间 t 内吹到扇叶的空气质量为 $V = Svt$, 则时间 t 内吹到扇叶的空气质量为 $m = \rho V = \rho Svt$, 单位时间吹到扇叶的空气质量为 $m_0 = \frac{m}{t} = \rho Sv$, 单位时间吹到扇叶的动能为 $E_k = \frac{1}{2}m_0 v^2 = \frac{1}{2}\rho S v^3$, 故

B 错误, A 正确; 单位时间内空气的动能转化为电能为 $E = \eta E_k = \frac{1}{4} \rho S v^3$, 即发电功率为 $\frac{1}{4} \rho S v^3$, 故 D 错误, C 正确.

4. (1) 0.8 m (2) 0.45 m

【解析】 (1) 物块运动到 C 处由动能定理得

$$mgh - \mu_1 mgx_{BC} = 0 - 0$$

$$\text{解得 } x_{BC} = 0.8 \text{ m}$$

(2) 由 C 到 D, 由动能定理可得

$$-mgh - \mu_2 mg \cos 53^\circ \cdot \frac{h}{\sin 53^\circ} = 0 - \frac{1}{2} mv_C^2$$

$$\text{解得 } v_C = \sqrt{5} \text{ m/s, 则 } v_C > v_{\text{传}}$$

物块在传送带上的速度大于传送带速度, 所受摩擦力方向一直向左, 设从距 B 点高度为 H 处释放物块, 由动能定理可得

$$mgH - \mu_1 mgx_{BC} = \frac{1}{2} mv_C^2 - 0$$

$$\text{解得 } H = 0.45 \text{ m}$$

5. (1) $2\sqrt{19} \text{ m/s}$ $2\sqrt{15} \text{ m/s}$ (2) 0.16 (3) 3.75 m

【解析】 (1) 以水平轨道 BC 所在水平面为零势能面, 运动员从 P 点滑至 B 点的过程, 由动能定理得

$$mgh = \frac{1}{2} mv_B^2 - \frac{1}{2} mv_0^2$$

$$\text{代入数据解得 } v_B = 2\sqrt{19} \text{ m/s}$$

运动员由 C 点到 Q 点的过程, 由动能定理有

$$-mgH = 0 - \frac{1}{2} mv_C^2$$

$$\text{代入数据解得 } v_C = 2\sqrt{15} \text{ m/s}$$

(2) 运动员由 B 点滑至 C 点的过程中, 由动能定理有

$$-\mu mgL = \frac{1}{2} mv_C^2 - \frac{1}{2} mv_B^2$$

$$\text{代入数据解得 } \mu = 0.16$$

(3) 设运动员在 BC 轨道上滑行的总路程为 s, 对从 P 点到静止的整个过程, 由动能定理有

$$mgh - \mu mgs = 0 - \frac{1}{2} mv_0^2$$

$$\text{代入数据解得 } s = 23.75 \text{ m} = 4L + 3.75 \text{ m}$$

故运动员最后静止时的位置与 B 点之间的距离 $x = 3.75 \text{ m}$

6. (1) $\frac{R}{s}$ (2) $(3 - \sqrt{3})mg$ (3) $\frac{(3 + \sqrt{3})Rs}{s - \sqrt{3}R}$

【解析】 (1) 由题意可知, 物体最终向右运动到 B 点再返回做往返运动, 对整个过程由动能定理得

$$mgR \cos \theta - \mu mgs \cos \theta = 0$$

$$\text{解得 } \mu = \frac{R}{s}$$

(2) 最终物体以 B 为最高点, 在圆弧底部做往返运动, 对 B → E 过程, 由动能定理得

$$mgR(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2} mv_E^2$$

在 E 点, 由牛顿第二定律得

$$F_N - mg = m \frac{v_E^2}{R}$$

$$\text{联立解得 } F_N = (3 - \sqrt{3})mg$$

$$\text{由牛顿第三定律得, } F_N' = F_N = (3 - \sqrt{3})mg$$

(3) 若物体刚好能到 D 点, 由牛顿第二定律有

$$mg = m \frac{v_D^2}{R}$$

对物体由释放至到达 D 点这一过程, 由动能定理得

$$mgL' \sin \theta - \mu mgL' \cos \theta - mgR(1 + \cos \theta) = \frac{1}{2} mv_D^2 - 0$$

$$\text{联立解得 } L' = \frac{(3 + \sqrt{3})Rs}{s - \sqrt{3}R}.$$

4 机械能守恒定律

1. A **【解析】** 物体沿着斜面匀速下滑, 动能不变, 重力势能减小, 机械能减小, 所以物体的机械能不守恒, 故 A 符合题意; 物体做竖直上抛运动时, 物体只受到重力的作用, 机械能守恒, 故 B 不符合题意; 物体做自由落体运动时, 物体只受到重力的作用, 机械能守恒, 故 C 不符合题意; 小球在光滑水平面内做匀速圆周运动, 动能和重力势能均不变, 其机械能守恒, 故 D 不符合题意.

2. C **【解析】** 机械能守恒的条件是只有重力或系统内弹力做功. 拉弓的整个过程中, 人对弓和箭做功, 机械能不守恒, 选项 A 错误; 过山车在动力的作用下沿轨道缓慢上行, 有其他外力对过山车做功, 机械能不守恒, 选项 B 错误; 滑草运动中, 人与滑板车一起匀速下滑, 有摩擦力做功, 机械能不守恒, 选项 D 错误; 蹦床比赛中运动员离开床垫在空中完成动作的过程, 只有重力做功, 机械能守恒, 选项 C 正确.

3. A **【解析】** 以地面为零势能面, 物体落到海平面时高度为 $-h$, 重力势能为 $-mgh$, 故①错误; 质量为 m 的物体从抛出到落到海平面的过程, 物体下落高度为 h , 重力对物体做功为 mgh , 故②正确; 从地面落到海平面的过程中, 根据动能定理得 $mgh = \frac{1}{2} mv^2 - \frac{1}{2} mv_0^2$, 物体落到海平面时动能为 $\frac{1}{2} mv^2 = \frac{1}{2} mv_0^2 + mgh$, 故③正确; 物体运动过程中, 只有重力做功, 机械能守恒, 所以在任一位置时机械能均为 $\frac{1}{2} mv_0^2$, 故④正确.

4. D **【解析】** 物体沿光滑斜面由静止开始下滑至斜面底端的过程中, 若不计空气阻力, 则只有重力对物体做功, 物体的机械能守恒, 物体的重力势能减小, 动能增加, 减小的重力势能全部转化为动能, 物体的机械能 E 随位移 x 不发生改变, 故 A、B、C 错误, D 正确.

5. AB **【解析】** 设滑块滑到斜面底端时, 斜面体的动能为 E_k , 由机械能守恒定律有 $mgh = \frac{1}{2} mv^2 + E_k$, 可得 $\frac{1}{2} mv^2 < mgh$, 解得 $v < \sqrt{2gh}$, 故 A、B 正确.

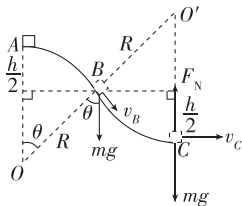
6. AC **【解析】** 手榴弹做平抛运动, 竖直方向满足 $h = \frac{1}{2} gt^2$, 故甲、乙在空中的运动时间相等, A 正确; 从投出到落地, 每颗手榴弹下降的高度均为 h , 重力势能都减少 mgh , C 正确; 从投出到落地, 只有重力做功, 满足故物体的机械能守恒, 故每颗手榴弹的机械能变化量均为 0, D 错误; 手榴弹在落地前瞬间, 重力的功率可表示为 $P = mgv_y = mg \cdot gt$, 即两手榴弹在落地前瞬间, 重力的功率相等, B 错误.

7. B **【解析】** 不计空气阻力, 物体运动过程中只有重力做功, 机械能守恒. 设当物体的重力势能是动能的 3 倍时, 物体离地面的高度为 h , 以地面为零势能参考平面, 抛出时物体的机械能为 $E_1 = 0 + \frac{1}{2} mv^2$, 上升到 h 处时机械能为 $E_2 = mgh + \frac{1}{2} mv_h^2$, 由题意知 $mgh = 3 \times \frac{1}{2} mv_h^2$, 由机械能守恒定律有 $E_1 = E_2$, 解得 $h = \frac{3v^2}{8g}$, 故选 B.

8. BD **【解析】** 由 A 到 B 的过程中, 弹簧对小球做负功, 则小球的机械能将减少, 故 A 错误, B 正确; 根据系统的机械能守恒知, 小球的动能、重力势能与弹簧的弹性势能之和不变, 而小球的动能增大, 则小球的重力势能与弹簧的弹性势能之和变小, 故 C 错误; 只有重力和弹簧弹力做功, 系统机械能守恒, 即弹簧与小球的总机械能守恒, 故 D 正确.

9. C **【解析】** 如图, 设圆弧轨道半径为 R , O 为 AB 段圆弧圆心, $\angle AOB = \theta$, 物块刚到 B 点时速度大小为 v_B , 有

$\frac{1}{2}mv_B^2 = mg \frac{h}{2}, mg \cos \theta = m \frac{v_B^2}{R}, R = R \cos \theta + \frac{h}{2}$, 联立解得 $R = \frac{3}{2}h$, 设物块运动到 C 点时速度大小为 v_C , 在 C 点受轨道的弹力大小为 F_N , 有 $\frac{1}{2}mv_C^2 = mgh, F_N - mg = m \frac{v_C^2}{R}$, 联立解得 $F_N = \frac{7}{3}N$, 根据牛顿第三定律可知, 物块在 C 点对轨道的压力大小 $F_N' = F_N = \frac{7}{3}N$, 故选 C.



10. 见解析

【解析】物体在 A 处的机械能为 $E_A = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0$

物体在 B 处的机械能为 $E_B = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1$

从 A 到 B, 根据动能定理得合力做的功

$$W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

重力在此过程做的功等于物体重力势能的减少量

$$W_G = mgh_0 - mgh_1$$

此过程合力只有重力, 合力做的功等于重力所做的功, 即

$$W_{\text{合}} = W_G$$

$$\text{联立可得 } \frac{1}{2}mv_1^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgh_0 - mgh_1$$

$$\text{即 } E_B = \frac{1}{2}mv_1^2 + mgh_1 = \frac{1}{2}mv_0^2 + mgh_0$$

所以物体在 A、B 处的机械能相等.

11. (1) $v_0 \geq 2\sqrt{gR}$ (2) $\sqrt{\frac{11}{2}gR}$ 或 $\sqrt{\frac{9}{2}gR}$

【解析】(1) 从 A 至 C 的过程中, 根据机械能守恒定律得

$$\frac{1}{2}mv_0^2 = 2mgR + \frac{1}{2}mv_C^2$$

在最高点 C 时, 小球速度 $v_C \geq 0$

$$\text{联立解得 } v_0 \geq 2\sqrt{gR}.$$

(2) 小球在 C 处时受到重力 mg 和细圆管竖直方向的作用力

$$F_N, \text{ 根据牛顿第二定律得 } mg + F_N = m \frac{v_C^2}{R}$$

$$\text{又 } \frac{1}{2}mv_0^2 = 2mgR + \frac{1}{2}mv_C^2$$

$$\text{解得 } F_N = \frac{mv_0^2}{R} - 5mg$$

根据牛顿第三定律, 分情况讨论:

① 当小球对上边缘有压力时, $F_N = \frac{1}{2}mg$ 解得

$$v_0 = \sqrt{\frac{11}{2}gR}.$$

② 当小球对下边缘有压力时, $F_N = -\frac{1}{2}mg$

$$\text{解得 } v_0 = \sqrt{\frac{9}{2}gR}.$$

专题课: 系统机械能守恒的应用

1. A 【解析】以木块和砝码组成的系统为研究对象, 只有重力做功, 系统的机械能守恒, 则有 $Mgh = \frac{1}{2}(M+m)v^2, M =$

$3m$, 解得 $v = \frac{1}{2}\sqrt{6gh}$, 故 A 正确, B、C、D 错误.

2. D 【解析】B 球下落的过程中, 由 A、B 两球及绳子组成的系统机械能守恒, 有 $m_Bgh - m_Agh = \frac{1}{2}(m_A + m_B)v^2$, 解得

$$\frac{m_A}{m_B} = \frac{3}{5}, \text{ 故选 D.}$$

3. A 【解析】当 B 球到达最低点时, A 上升到 B 球原来等高的位置, 因为 B 减少的势能比 A 增加的势能要大, 所以系统的重力势能减少, 动能增加, A、B 两球还具有相同大小的速度, 故 B 球到达最低点时速度不为零, A 错误; 由上分析可知, 当 A 向左摆到与 B 球开始时的高度时, B 球到达最低点, 由于此时仍有速度, 还要向左摆动, 可知 A 球摆的高度比 B 球的高度要高一些, B 正确; 根据系统的机械能守恒可知当它们从左向右回摆时, B 球一定能回到起始位置, 故 C 正确; 对于两球组成的系统只有重力做功, 机械能守恒, 根据系统机械能守恒得知, B 球到达最低点的过程中, B 球机械能的减少量等于 A 球机械能的增加量, 故 D 正确.

4. BD 【解析】A 球运动的速度增大, 高度增大, 所以动能和重力势能都增大, 故 A 球的机械能增大; B 球运动的速度增大, 所以动能增大, 高度减小, 所以重力势能减小; 对于两球组成的系统, 只有重力做功, 系统的机械能守恒, 因为 A 球的机械能增大, 故 B 球的机械能减小, 故 A 球的重力势能和动能的增加量与 B 球的动能的增加量之和等于 B 球的重力势能的减少量, 选项 A、C 错误, B、D 正确.

5. A 【解析】由题意可知, 物体 B 对地面恰好无压力时, 弹簧所受的拉力大小等于物体 B 的重力, 即 $F = mg$, 弹簧伸长的长度 $x = h$, 由 $F = kx$, 得 $k = \frac{mg}{h}$, A 正确; 物体 A 与弹簧组成

的系统机械能守恒, 则有 $mgh = \frac{1}{2}mv^2 + E_p$, 则弹簧的弹性

势能 $E_p = mgh - \frac{1}{2}mv^2$, B 错误; 物体 B 对地面恰好无压力时, 物体 B 的速度为零, C 错误; 对物体 A, 根据牛顿第二定律有 $F - mg = ma$, 又 $F = mg$, 得 $a = 0$, D 错误.

6. AD 【解析】设释放后 A、B 后, 悬挂 B 的轻质细线中的拉力大小为 F_T , B 的加速度大小为 a , 对 B 由牛顿第二定律得 $mg - F_T = ma$, 对 A 由牛顿第二定律得 $2F_T - mg = m \times \frac{1}{2}a$, 联立解得 $F_T = \frac{3}{5}mg$, 故 A 正确, B 错误; 设当 A 的位移为 h 时, A 的速度大小为 v , A、B 组成的系统由机械能守恒定律可得 $mg \times 2h - mgh = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}m(2v)^2$, 解得 $v = \sqrt{\frac{2gh}{5}}$, 故 C 错误, D 正确.

7. BC 【解析】根据题意, 设绳子的弹力为 F_T , 对物块 Q 由平衡条件有 $m_Qg \sin 37^\circ = F_T$, 对物块 P 由平衡条件有 $F_T = m_Pg$, 联立解得 $m_Q = \frac{m_P}{\sin 37^\circ} = 5 \text{ kg}$, A 错误; 根据题意可知, 不计一切摩擦, P、Q 组成的系统运动过程中, 只有重力做功, 故 P、Q 组成的系统机械能守恒, B 正确; 根据题意, 设 Q 落地时速度的大小为 v , 由关联速度可知, 此时 P 的速度也为 v , 由机械能守恒定律有 $m_QgH - m_PgH \sin 37^\circ = \frac{1}{2}(m_Q + m_P)v^2$, 代入数据解得 $v = 2\sqrt{2} \text{ m/s}$, C 正确; 由公式 $P = Fv$ 可得, Q 落地瞬间重力的功率为 $P = m_Qgv = 100\sqrt{2} \text{ W}$, 故 D 错误.

8. BD 【解析】当 a 到达底端时, b 的速度为零, b 的速度在整个过程中, 先增大后减小, 则动能先增大后减小, 所以轻杆对 b 先做正功, 后做负功, 故 A 错误; b 的速度在整个过程中, 先增大后减小, 所以 a 对 b 的作用力先是动力后是阻力, 所以 b

对 a 的作用力就先阻力后是动力,所以在 b 减速的过程中, b 对 a 是向下的拉力,此时 a 的加速度大于重力加速度 g ,故 C 错误; a 落地前,把 a 、 b 看成整体,只有重力做功,所以机械能守恒,当 a 的机械能最小时, b 的速度最大,此时 b 受到 a 的推力为零, b 只受到重力的作用,根据牛顿第三定律可知 b 对地面的压力大小为 mg ,故 B、D 正确。

9. C 【解析】由于小球在 A、P 两点时,弹簧弹力大小相同,则小球在 A 点时,弹簧被拉伸,小球在 P 点时,弹簧被压缩,且拉伸量与压缩量相等,则在 A、P 之间必有一个弹簧处于原长状态的位置,由对称性原理可知,在 P、B 之间也必有一个弹簧处于原长状态的位置,小球在 A、P、B 三个位置时弹簧的弹性势能相等,在小球从 A 到 P 的过程中,弹簧的弹性势能先减小后增大,在小球从 P 到 B 的过程中,弹簧的弹性势能也是先减小后增大,A 错误;弹簧处于原长状态时和小球在 P 点位置时,小球加速度大小等于 $\frac{\sqrt{2}}{2}g$ 且方向沿杆向下,所以

小球加速度大小等于 $\frac{\sqrt{2}}{2}g$ 且方向沿杆向下的位置有三处,B 错误;小球从 A 点运动到 B 点过程中,由机械能守恒定律可得 $E_p + mg \cdot 2L \sin 45^\circ = E_p + E_{kB}$,解得 $E_{kB} = \sqrt{2}mgL$,C 正确;A、P 两点处弹簧的弹性势能相等,所以从 A 点运动到 P 点的过程中,只有重力势能转化为动能,所以小球在 A、P 两点的机械能相等,D 错误。

10. (1) $0.5m$ (2) $g\sqrt{\frac{m}{2k}}$

【解析】(1)开始时,弹簧被压缩了

$$x_0 = \frac{mg \sin 30^\circ}{k} = \frac{mg}{2k}$$

当 B 将要离开挡板时,弹簧伸长了

$$x_0 = \frac{mg \sin 30^\circ}{k} = \frac{mg}{2k}$$

因为初、末位置弹簧的形变量相同,故初、末位置的弹性势能相同,则由机械能守恒定律可知

$$m_C g \cdot 2x_0 = mg \cdot 2x_0 \sin 30^\circ$$

解得 $m_C = 0.5m$

(2)当物块 D 达到最大速度时,此时 A、D 整体的加速度为零,由牛顿第二定律有

$$m_D g - mg \sin 30^\circ - kx_0 = 0$$

由机械能守恒定律可知

$$m_D g \cdot 2x_0 - mg \cdot 2x_0 \sin 30^\circ = \frac{1}{2}m_D v_m^2 + \frac{1}{2}m v_m^2$$

$$\text{解得 } v_m = \sqrt{gx_0} = g\sqrt{\frac{m}{2k}}$$

专题课:功能关系及其应用

1. C 【解析】没有确定参考平面的情况下,无法确定小球在 A 点或地面时的重力势能,A、B 错误;整个运动过程中,小球下降高度 H ,重力势能减少 mgH ,即重力势能的变化量为 $-mgH$,C 正确;设着地速度大小为 v ,根据动能定理可知,整个运动过程中,动能的变化量为 $\Delta E_k = \frac{1}{2}m v^2 - \frac{1}{2}m v_0^2 = mgH$,D 错误。
2. AB 【解析】由 $F - mg = 2mg$ 得拉力 $F = 3mg$,机械能的增加量等于拉力 F 做的功,即 $W_F = Fh = 3mgh$,选项 A 正确,D 错误;重力势能的增加量等于克服重力做的功,即 mgh ,选项 B 正确;动能的增加量等于合力做的功,即 $W_{\text{合}} = (F - mg) \cdot h = 2mgh = \frac{2}{3}Fh$,选项 C 错误。
3. CD 【解析】因为缆车做加速运动,故它的动能增加,根据功能关系可知,力 F 对缆车做的功等于缆车增加的重力势能、

增加的动能和缆车克服摩擦力做功之和,即 F 对缆车做的功等于缆车增加的动能与缆车克服重力和摩擦力做的功之和,故 D 正确,A、B 错误;缆车克服重力做的功等于缆车增加的重力势能,故 C 正确。

4. B 【解析】根据动能定理有 $-W_1 - W_2 + W_3 = \Delta E_k$,B 正确,A 错误;根据功能原理可知,机械能变化量等于除重力以外的其他力做的功 $W_3 - W_2 = \Delta E$,C、D 错误。
5. C 【解析】在小球缓慢上升的过程中,始终处于平衡状态,合力为零,故合力做功为零,A 错误;根据平衡条件可得 $F = mg \tan \theta$,所以 F 为变力,其做的功不等于 $FL \sin \theta$,B 错误;小球的重力势能增加 $mgL(1 - \cos \theta)$,C 正确;小球动能始终为零,且轻绳拉力对小球始终不做功,在水平力 F 的作用下,小球重力势能增加 $mgL(1 - \cos \theta)$,所以水平力 F 做功使小球的机械能增加 $mgL(1 - \cos \theta)$,D 错误。
6. B 【解析】物块压缩弹簧后被弹回时,弹簧对物块做正功,且刚被弹回时,弹簧弹力大于摩擦力,即被弹回时,有段时间内物块动能会增加,A、C 错误;整个过程中,物块所受的摩擦力 $F_f = \mu mg$,大小恒定,摩擦力一直做负功,根据功的定义可得物块克服摩擦力做的功为 $W_f = \mu mg \cdot 2x = 2\mu mgx$,B 正确;向左运动过程中,物块与弹簧组成的系统,机械能守恒,可知 $\frac{1}{2}mv^2 = \mu mgx + E_p$,解得 $E_p = 0.5mv^2 - \mu mgx$,D 错误。
7. D 【解析】小球到达 B 点时,恰好对轨道没有压力,故只受重力作用,根据 $mg = \frac{mv^2}{R}$ 得,小球在 B 点的速度 $v = \sqrt{gR}$ 。小球从 P 点到 B 点的过程中,重力做功 $W_G = mgR$,故 A 错误;减少的机械能 $\Delta E_{\text{减}} = mgR - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgR$,故 B 错误;合外力做功 $W_{\text{合}} = \frac{1}{2}mv^2 - 0 = \frac{1}{2}mgR$,故 C 错误;根据动能定理得 $mgR - W_f = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,所以 $W_f = mgR - \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mgR$,故 D 正确。
8. D 【解析】小物块水平方向受到拉力 F 和摩擦力 F_f 的作用,根据动能定理 $(F - F_f)(L + x) = \frac{1}{2}mv^2 - 0$,A 选项正确,不符合题意;小车相对地面的位移为 x ,水平方向仅受小物块对小车的摩擦力,根据动能定理可知 $F_f x = \frac{1}{2}mv'^2$,B 选项正确,不符合题意;小物块相对地面的位移为 $L + x$,则克服摩擦力做的功为 $W_f = F_f(L + x)$,C 选项正确,不符合题意;根据功能关系可知,外力做的功转化为了系统的机械能还有摩擦产生的内能,所以小物体和小车增加的机械能为 $\Delta E = F(L + x) - F_f L$,D 选项错误,符合题意。
9. C 【解析】物块放在 A 处后,先做初速度为 0 的匀加速直线运动,加速度大小为 $a = \frac{\mu mg}{m} = \mu g = 1 \text{ m/s}^2$,与传送带共速时位移为 $x = \frac{v^2}{2a} = \frac{2^2}{2 \times 1} \text{ m} = 2 \text{ m}$,因为 $x < L$,则物块在传送带上滑动 2 m 后与传送带一起做匀速直线运动,则传送带对物块做功为 $W = \mu mgx = 0.1 \times 1 \times 10 \times 2 \text{ J} = 2 \text{ J}$,A 错误;物块放在 A 处直到共速,传送带位移为 $x' = vt$, $t = \frac{v}{a} = \frac{2}{1} \text{ s} = 2 \text{ s}$,解得 $x' = vt = 2 \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}$,则因摩擦产生的热量为 $Q = \mu mg(x' - x) = 0.1 \times 1 \times 10 \times (4 - 2) \text{ J} = 2 \text{ J}$,B 错误;电动机因运送物块多消耗的电能为物块增加的动能和摩擦力生热之和,则 $\Delta E_{\text{电}} = \frac{1}{2}mv^2 + Q = \frac{1}{2} \times 1 \times 2^2 \text{ J} + 2 \text{ J} = 4 \text{ J}$,C 正确;传送带克服摩擦力做功为 $W' = \mu mgx' = 0.1 \times 1 \times 10 \times 4 \text{ J} = 4 \text{ J}$,故 D 错误。

10. (1)2100 N (2)38 m

【解析】(1)AB 半径为 $R=20\text{ m}$, BC 长度为 $L=19.5\text{ m}$, CD 高度为 $H=20\text{ m}$, 运动员质量 $M=70\text{ kg}$, 在 BC 上滑行时的阻力 $F_f=kMg=70\text{ N}$

从 A 到 B 由机械能守恒定律得 $MgR=\frac{1}{2}Mv^2$

在 B 点, 由牛顿第二定律得 $F_N-Mg=M\frac{v^2}{R}$

由牛顿第三定律得压力为 $F_N'=F_N$

联立解得 $F_N'=3Mg=2100\text{ N}$

(2)从 B 到 C 由动能定理得 $-F_fL=\frac{1}{2}Mv_C^2-\frac{1}{2}Mv^2$

设平抛运动的时间为 t , 运动员在 DE 着陆时与 D 的水平距离为 x , 则

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

$$x=v_Ct$$

联立解得 $x=38\text{ m}$

11. (1)25 J 2.5 m (2)10 J 12.5 m

【解析】(1)滑块恰好过 B 点, 有 $mg=m\frac{v_B^2}{R}$

滑块从静止开始到第一次运动至 B 点, 滑块和弹簧组成的

系统机械能守恒, 有 $E_{p1}=mg\cdot 2R+\frac{1}{2}mv_B^2$

解得 $E_{p1}=25\text{ J}$

从 B 点第一次运动到斜轨道最高点, 由动能定理有

$$mg(2R-x\sin\theta)-\mu mgx\cos\theta=0-\frac{1}{2}mv_B^2$$

解得 $x=2.5\text{ m}$

(2)设第一次滑上斜轨道的最大距离为 l , 由功能关系可知

$$E_{p2}=mgl\sin\theta+\mu mgl\cos\theta$$

从静止开始到第二次过 C 点由功能关系可知

$$E_{p2}=2\mu mgl\cos\theta+E_{kC}$$

解得 $E_{kC}=10\text{ J}$

滑块第二次过 C 点后, 因为 $E_{kC}=mgR$, 故恰好能运动到左侧圆轨道与圆心等高处而不脱离轨道. 滑块将在侧圆轨道与斜轨道间做往复运动, 最终停在 D 点. 由功能关系可知

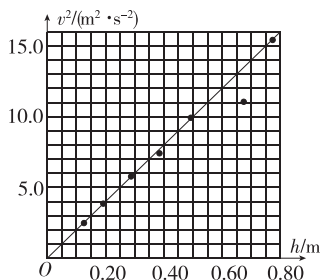
$$E_{p2}=\mu mg\cos\theta\cdot s$$

解得 $s=12.5\text{ m}$

5 实验: 验证机械能守恒定律

1. B **【解析】**重物要靠近打点计时器, 是为了充分利用纸带, 纸带要拉直且保持竖直状态, 是为了减小纸带与打点计时器之间的摩擦, 故最合理的是 B.

2. (1)B (2) $mgh_B-\frac{1}{2}m\left(\frac{h_C-h_A}{2T}\right)^2$ 纸带与打点计时器有摩擦或空气阻力的影响 (3)如图所示 v^2-h 图像是一条斜率 k 为 $2g$ 的倾斜直线



【解析】(1)实验要验证的关系为 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$, 两边能消掉 m , 则实验中不需要称出重物和夹子的质量, 选项 A 错误; 图中两限位孔必须在同一竖直线上, 以减小纸带与打点计时器间的摩擦影响, 选项 B 正确; 将连着重物的纸带穿过限位

孔, 用手提住, 让重物尽量靠近打点计时器, 选项 C 错误; 打点计时器打点结束后要更换纸带重做几次, 选择清晰的纸带进行测量, 选项 D 错误.

(2)从打 O 点到打 B 点的过程中, 重物的重力势能变化量 $\Delta E_p=mgh_B$, 打 B 点时重物的速度 $v_B=\frac{h_C-h_A}{2T}$, 动能变化

量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}m\left(\frac{h_C-h_A}{2T}\right)^2$; 实验结果显示, 重力势能的减少

量大于动能的增加量, 主要原因是纸带与打点计时器有摩擦或空气阻力.

(3)根据描出的点作出 v^2-h 图像如图所示, 若重物的机械能守恒, 则有 $mgh=\frac{1}{2}mv^2$, 则 $v^2=2gh$, 根据作出的图线判断下落重物的机械能守恒, 依据是 v^2-h 图像是一条斜率 $k=2g$ 的倾斜直线.

3. (1)乙方案中摩擦力较大机械能不守恒 (2)左

(3) $\frac{mh_2^2}{8T^2}$ (4)A (5)BC

【解析】(1)对比两种方案, 甲方案好一些, 不选择乙方案的理由是乙方案中摩擦力较大机械能不守恒.

(2)物体下落过程中做加速运动, 图中纸带左端点迹较密集, 可知纸带的左端与重物相连.

(3)打点计时器打 E 点时重物的速度为 $v_E=\frac{h_2}{2T}$, 从 O 点到 E 点的过程中重物动能的增加量为 $\Delta E_k=\frac{1}{2}mv_E^2=\frac{mh_2^2}{8T^2}$.

(4)实验中重物所受阻力不可忽略, 且阻力大小保持不变, 则有 $(mg-F_f)h=\frac{1}{2}mv^2$, 整理得 $v^2=\frac{2(mg-F_f)}{m}h$, 可知 v^2-h 图像应为一条过原点的直线. 故选 A.

(5)刻度尺读数误差属于偶然误差, A 错误; 因实际交流电频率偏低而产生的误差属于系统误差, B 正确; 小球下落过程受装置阻力影响产生的误差属于系统误差, C 正确; 根据图像数据计算重力加速度时, 数据点坐标的估读导致的误差属于偶然误差, D 错误.

4. (1)2.4 (2)0.576 0.60 (3)9.7

【解析】(1)根据在匀变速直线运动中, 中间时刻的瞬时速度等于该过程中的平均速度, 可知在纸带上打下计数点 5 时物块的速度 $v_5=\frac{h_{46}}{2T}=\frac{0.216+0.264}{2\times 0.1}\text{ m/s}=2.4\text{ m/s}$.

(2)在打点 0~5 过程中, 系统动能的增量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}(m_1+m_2)v_5^2=0.576\text{ J}$, 系统重力势能的减少量 $\Delta E_p=(m_2-m_1)gh_{05}=0.60\text{ J}$.

(3)根据机械能守恒定律得 $\frac{1}{2}(m_1+m_2)v^2=(m_2-m_1)gh$, 则有 $\frac{1}{2}v^2=\frac{m_2-m_1}{m_1+m_2}gh=\frac{1}{2}gh$, 所以图像的斜率 $k=\frac{1}{2}g=\frac{5.82}{1.20}\text{ m/s}^2=4.85\text{ m/s}^2$, 故 $g=9.7\text{ m/s}^2$.

5. (1)调高 (2)1.56 0.490 0.487

(3)D $\frac{(m+M)d^2}{2mg}$

【解析】(1)该同学在光电门 1 的右侧向左轻推滑块, 发现遮光条通过光电门 1 的时间大于通过光电门 2 的时间, 说明滑块做加速运动, 即气垫导轨左端低, 右端高, 他应调节左侧调节旋钮将轨道左端适当调高.

(2)滑块通过光电 1 时的速度大小为 $v_1=\frac{d}{\Delta t_1}\approx 1.56\text{ m/s}$; 钩码和滑块 (含遮光条) 组成的系统减少的重力势能为 $E_p=$

$mg l_1 = 0.490 \text{ J}$, 增加的动能为 $E_k = \frac{1}{2}(m+M)v_1^2 \approx 0.487 \text{ J}$.

(3)若钩码和滑块(含遮光条)组成的系统机械能守恒,则有 $mg l = \frac{1}{2}(m+M)v^2$, 又 $v = \frac{d}{\Delta t}$, 整理, 可得 $l = \frac{(m+M)d^2}{2mg} \times \frac{1}{(\Delta t)^2}$, 为了减小偶然误差, 另一同学认为可以在坐标纸上作出 $l - \frac{1}{(\Delta t)^2}$, 故选 D; 若所得图像是一条过坐标原点的直线, 且图线的斜率为 $k = \frac{(m+M)d^2}{2mg}$, 可以验证钩码和滑块(含遮光条)组成的系统机械能守恒.

本章易错过关(四)

- B** 【解析】由于雨滴是匀速下落, 所以受力平衡, 空气阻力大小等于重力, 即 $F_{\text{阻}} = mg$, 所以克服空气阻力做的功为 $W_{\text{阻}} = F_{\text{阻}} \cdot h = mgh$, 所以选项 B 正确.
- C** 【解析】 $F-x$ 图像中图线与 x 轴围成的面积表示弹力做的功, 则 $W = \frac{1}{2} \times 0.08 \times 60 \text{ J} - \frac{1}{2} \times 0.04 \times 30 \text{ J} = 1.8 \text{ J}$, 根据 $W = -\Delta E_p$ 知, 弹性势能的变化量为 -1.8 J , C 正确.
- D** 【解析】对物体从开始上抛至落地的整个过程应用动能定理得 $mgh - W_{\text{阻}} = \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$, 解得 $W_{\text{阻}} = 40 \text{ J}$, D 正确.
- B** 【解析】由图可知, 甲下滑过程中做匀加速直线运动, 则甲沿 II 下滑, 乙做加速度逐渐减小的加速运动, 乙沿 I 下滑, 任一时刻甲的速度都小于乙的速度, 可知同一时刻甲的动能比乙的小, A、D 错误, B 正确; 开始时乙的速度为 0, 到 N 点时乙的竖直分速度为零, 根据瞬时功率公式 $P = mgv_y$ 可知乙的重力功率先增大后减小, C 错误.
- C** 【解析】由题意, 可知电动车行驶过程中受到的阻力大小为 $F_f = 0.05 \times (m_{\text{车}} + m_{\text{人}})g = 50 \text{ N}$, 设电动车的额定功率为 $P_{\text{额}}$, 根据动能定理可得 $P_{\text{额}} t - F_f x = \frac{1}{2}(m_{\text{车}} + m_{\text{人}})v^2$, 解得 $P_{\text{额}} = 400 \text{ W}$, 该电动车以额定功率行驶能达到的最大速度为 $v_{\text{max}} = \frac{P_{\text{额}}}{F_f} = 8 \text{ m/s}$, 故 C 正确.
- B** 【解析】设物体到达 P 处时, 弹簧的弹性势能为 E_p , 第一种情况: 当质量为 m 的物体从弹簧顶端正上方 h 高处下落到 P 处的过程, 由机械能守恒定律得 $mg(h+x_0) = E_p$; 第二种情况: 当质量为 $3m$ 的物体从弹簧顶端正上方 h 高处下落到 P 处的过程, 由机械能守恒定律得 $3mg(h+x_0) = E_k + E_p$, 联立解得 $E_k = 2mg(h+x_0)$, 故 B 正确.
- D** 【解析】在经过最低点时, 设单根绳子的拉力大小为 F_T , “假人”所常向心力大小为 F , 则 $F = 2F_T - mg = m \frac{v^2}{l}$, 解得 $F_T = \frac{1700}{3} \text{ N}$, $F = \frac{3400}{3} \text{ N}$, 故 A、B 错误; “假人”从最高点由静止释放摆动到最低点的过程中, 顺风时到达最低点的速度会比逆风时大, 所以“假人”在最低点时向心力大小受风的影响, 故 C 错误; 设本次从最高点到最低点过程中“假人”克服空气阻力做功为 W_f , 根据动能定理有 $mgh - W_f = \frac{1}{2}mv^2 - 0$, 解得 $W_f = 1.4 \times 10^5 \text{ J}$, 故 D 正确.
- BCD** 【解析】重力做功 $W_G = mgh = 800 \text{ J}$, A 错误; 由动能定理 $W_G - W_f = \frac{1}{2}mv^2$, 解得 $W_f = 440 \text{ J}$, B 正确; 货物经过 Q 点时的向心加速度为 $a = \frac{v^2}{h} = 9 \text{ m/s}^2$, C 正确; 货物经过 Q 点

时, 由牛顿第二定律 $F - mg = m \frac{v^2}{h}$, 解得 $F = 380 \text{ N}$, 由牛顿第三定律可知, 货物经过 Q 点时对轨道的压力大小为 380 N , D 正确.

9. (1)B (2)大于 (3)C

【解析】(1)纸带如果太短, 则打点数量很少, 通过纸带数据测量长度和计算瞬时速度的误差变大, 则纸带不能太短, 故 A 错误; 由图甲中的打点计时器为电磁打点计时器, 可选择 8 V 的交流电源, 故 B 正确; 处理数据时, 需要知道当地的重力加速度, g 不可以取 10 m/s^2 , 故 C 错误; 验证机械能守恒时, 不一定要选择纸带上打出的第一个点作为起点, 但如果选择第一个点作为起点, 必须求出打第一个点时的速度, 故 D 错误.

(2)根据动能定理有 $(mg - F_f)h = \frac{1}{2}mv^2$, 整理可得 $v^2 = 2\left(g - \frac{F_f}{m}\right)h$, 所以 v^2-h 图像的斜率为 $k = 2\left(g - \frac{F_f}{m}\right)$, 两重物形状相同, 则所受阻力相同, 由于 $k_A > k_B$, 则重物 A、B 的质量大小关系为 m_A 大于 m_B .
(3)重物 B 下落过程, 根据运动学公式可得 $2ah_1 = v_1^2$, 可知加速度的表达式为 $a = \frac{v_1^2}{2h_1}$, 相同数据如果选择不同标度时, 图像的倾角 θ 不同, 故加速度表达式不可以用倾角 θ 表示, 故选 C.

10. (1) $\frac{\sqrt{3}}{2}$ (2)230 J

【解析】(1)传送带长 $x = \frac{h}{\sin \theta} = 3 \text{ m}$

工件速度达到 v_0 前, 做匀加速运动的位移 $x_1 = \frac{v_0}{2} t_1$

匀速运动的位移为 $x - x_1 = v_0(t - t_1)$

解得加速运动的时间 $t_1 = 0.8 \text{ s}$

加速运动的位移 $x_1 = 0.8 \text{ m}$

所以加速度 $a = \frac{v_0}{t_1} = 2.5 \text{ m/s}^2$

由牛顿第二定律得 $\mu mg \cos \theta - mg \sin \theta = ma$

解得 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{2}$.

(2)电动机多消耗的电能用于增加工件的动能、重力势能以及克服传送带与工件之间发生相对位移时摩擦力做功.

在时间 t_1 内, 传送带运动的位移

$x_{\text{传送带}} = v_0 t_1 = 1.6 \text{ m}$

在时间 t_1 内, 工件相对传送带的位移

$x_{\text{相}} = x_{\text{传送带}} - x_1 = 0.8 \text{ m}$

在时间 t_1 内, 摩擦产生的内能

$Q = \mu mg \cos \theta \cdot x_{\text{相}} = 60 \text{ J}$

工件获得的动能 $E_k = \frac{1}{2}mv_0^2 = 20 \text{ J}$

工件增加的重力势能 $E_p = mgh = 150 \text{ J}$

故电动机多消耗的电能 $W = Q + E_k + E_p = 230 \text{ J}$.

11. (1)0.8 m (2)1.0 m

【解析】(1)当小球恰好运动到 E 点时, F、Q 之间的距离最小, 在 E 点, 根据牛顿第二定律有

$mg = m \frac{v_0^2}{R}$

从 E 点落到 Q 点, 竖直方向上, 有 $R + r = \frac{1}{2}gt^2$

水平方向上, 有 $x = v_0 t$

联立解得 $x = 0.8 \text{ m}$

(2)小球从 P 点运动到 E 点, 根据机械能守恒定律得

$mg(h - r - R) = \frac{1}{2}mv_0^2$

解得 $h = 1.0 \text{ m}$