

# 单元测评(一)

## 第五章

本试卷分第Ⅰ卷(选择题)和第Ⅱ卷(非选择题)两部分,共100分,考试时间90分钟.

### 第Ⅰ卷 (选择题 共48分)

一、选择题(本题共12小题,每小题4分,共48分.在每小题给出的四个选项中,有的只有一个选项正确,有的有多个选项正确,全部选对的得4分,选对但不全的得2分,有选错的得0分)

1. 关于曲线运动和圆周运动,以下说法中正确的是 ( )

- A. 变速运动一定是曲线运动
- B. 匀速圆周运动是匀速运动
- C. 做曲线运动的物体所受的合外力一定不为零
- D. 做圆周运动的物体受到的合外力方向一定指向圆心

2. 汽车在水平公路上转弯,沿曲线由M向N减速行驶,图C-1-1中分别画出了汽车转弯时所受合力F的四种方向,你认为正确的是 ( )

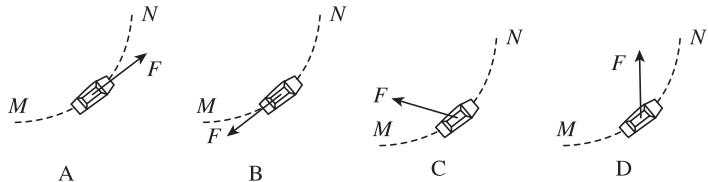


图 C-1-1

3. 以初速度  $v_0$  水平抛出一个物体,经过时间  $t$  物体的速度大小为  $v$ ,重力加速度为  $g$ ,则经过时间  $2t$  物体速度大小为 ( )

- A.  $v_0 + 2gt$
- B.  $v + gt$
- C.  $\sqrt{v_0^2 + (2gt)^2}$
- D.  $\sqrt{v^2 + 2(gt)^2}$

4. 在同一水平直线上的两位置分别沿同一方向抛出两小球A和B,其运动轨迹如图C-1-2所示,不计空气阻力.要使两球在空中相遇,则必须 ( )

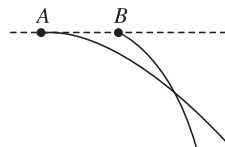


图 C-1-2

- A. 先抛出A球
- B. 先抛出B球
- C. 同时抛出两球
- D. 使两球质量相等

5. 某人横渡一条河,船速和水速一定,此人过河的最短时间为  $T_1$ ,若此人用最短的位移过河,则所需的时间为  $T_2$ .若船速大于水速,则船速和水速之比为 ( )

- A.  $\frac{T_2}{\sqrt{T_2^2 - T_1^2}}$
- B.  $\frac{T_2}{T_1}$
- C.  $\frac{T_1}{\sqrt{T_2^2 - T_1^2}}$
- D.  $\frac{T_1}{T_2}$

6. (多选)如图C-1-3所示,一个圆环绕中心线AB以一定的角速度转动,下列说法正确的是 ( )

- A. P、Q两点的线速度相同
- B. P、Q两点的角速度相同
- C. P、Q两点的线速度之比为  $\sqrt{3}:1$
- D. P、Q两点的向心加速度之比为  $\sqrt{3}:1$

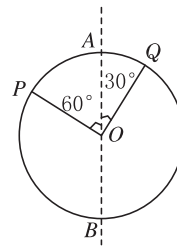


图 C-1-3

7. 如图C-1-4所示,轻质杆OA长  $l=0.5\text{ m}$ ,A端固定一个质量为3 kg的小球,小球以O为圆心在竖直平面内做圆周运动.通过最高点时小球的速率是2 m/s, $g$ 取  $10\text{ m/s}^2$ ,则此时细杆OA ( )

- A. 受到6 N的拉力
- B. 受到6 N的压力
- C. 受到24 N的拉力
- D. 受到54 N的拉力

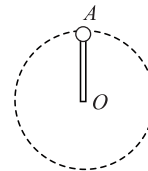


图 C-1-4

8. (多选)“南昌之星”摩天轮位于江西省南昌市红谷滩新区红角洲赣江边上的赣江市民公园,是南昌市标志性建筑.该摩天轮总高度为160 m,转盘直径为153 m,比位于英国泰晤士河边的135 m高的“伦敦之眼”摩天轮还要高.游人乘坐时,转轮始终匀速转动.下列说法中正确的是 ( )



图 C-1-5

- A. 每时每刻每个乘客受到的合力都不等于零
- B. 每个乘客都在做加速度为零的匀速运动
- C. 乘客在乘坐过程中对座位的压力始终不变
- D. 乘客在乘坐过程中有失重和超重的感觉

9. (多选)家住公路拐弯处的李先生在三个月内连续目睹了七次大卡车侧翻在自家门口的场面,发生第八次事故时,一辆卡车冲进李先生家,造成三死一伤和房屋严重损毁的血腥惨案.经公安部门和交通管理部门协力调查,画出的现场示意图如图C-1-6所示.交警根据图作出以下判断,你认为正确的是 ( )

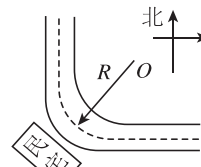


图 C-1-6

- A. 公路在设计上可能外(西)高内(东)低
- B. 公路在设计上可能内(东)高外(西)低
- C. 由图可知卡车在拐弯时发生侧翻是因为车做向心运动
- D. 由图可知卡车在拐弯时发生侧翻是因为车做离心运动

10. (多选)如图C-1-7所示,小物体位于半径为  $R$  的半球顶端,若给小物体一水平速度  $v_0$ ,小物体对球顶恰好无压力,则( $g$ 为重力加速度) ( )

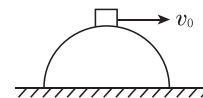


图 C-1-7

- A.  $v_0 = \sqrt{gR}$
- B. 物体离开球面做平抛运动
- C. 物体落地时水平位移为  $2R$
- D. 物体落地时速度与水平方向成  $45^\circ$  角

11. (多选)如图C-1-8所示,在某次自由式滑雪比赛中,一名运动员从弧形雪坡上沿水平方向飞出后,又落回到斜面雪坡上.若斜面雪坡的倾角为  $\theta$ ,运动员飞出时的速度大小为  $v_0$ ,不计空气阻力,运动员飞出后在空中的姿势保持不变,重力加速度为  $g$ ,则 ( )

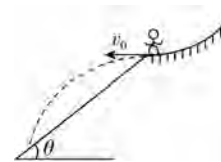


图 C-1-8

- A. 如果  $v_0$  不同,该运动员落到雪坡时的速度方向也就不同
- B. 不论  $v_0$  多大,该运动员落到雪坡时的速度方向都是相同的
- C. 运动员落到雪坡时的速度大小是  $\frac{v_0}{\cos \theta}$
- D. 运动员在空中经历的时间是  $\frac{2v_0 \tan \theta}{g}$

12. (多选)如图C-1-9所示,一个固定在竖直平面上的光滑圆形管道的质量为  $M$ ,管道里有一个直径略小于管道内径的小球,小球的质量为  $m$ ,小球在管道内做完整的圆周运动.下列说法正确的是(重力加速度为  $g$ ) ( )

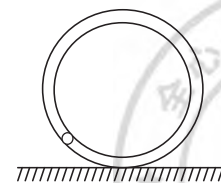


图 C-1-9

- A. 小球通过管道最低点时,管道对地面的压力可能为  $(m+M)g$
- B. 小球通过管道最高点时,管道对地面的压力可能为  $(m+M)g$
- C. 小球通过管道最高点时,管道对地面可能无压力
- D. 小球通过管道最高点时,管道对地面的压力可能为  $Mg$

请将选择题答案填入下表：

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	总分
答案													

第Ⅱ卷(非选择题 共52分)

二、填空和实验题(本题共2小题,13题4分,14题6分,共10分)

13. 学生在“研究平抛运动”的实验中有如下操作步骤,试按合理的顺序将步骤序号填在横线上:\_\_\_\_\_.
- A. 用铅笔在白纸上记下抛出点位置  $O$
- B. 取下白纸,用平滑曲线连接小球依次通过的各点,得出平抛运动的轨迹
- C. 用铅垂线和直尺画出过  $O$  点的竖直线  $Oy$
- D. 用三角板画出过  $O$  点的水平线  $Ox$
- E. 安装斜槽,并使槽的末端切线沿水平方向,将白纸钉在木板上,并竖直固定木板
- F. 每次都从斜槽的定位卡处由静止释放小球,并用铅笔在白纸上依次记下小球通过各点的位置
- G. 在平抛运动轨迹上取  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点,用三角板和刻度尺分别量出三点的水平位移  $x$  和竖直位移  $y$
- H. 利用水平和竖直位移  $x$ 、 $y$ ,计算三次平抛的初速度  $v_0$ ,再求出三次的平均值作为测量的最后结果
14. 三个同学根据不同的实验条件,进行了“探究平抛运动规律”实验.

(1)甲同学采用如图 C-1-10 甲所示的装置.用小锤击打弹性金属片,金属片把  $A$  球沿水平方向弹出,同时  $B$  球被松开自由下落,观察到两球同时落地,改变小锤击打的力度,即改变  $A$  球被弹出时的速度大小,两球仍然同时落地,这说明\_\_\_\_\_.

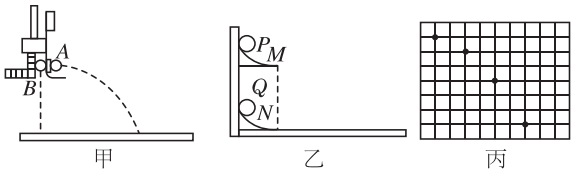


图 C-1-10

(2)乙同学采用如图乙所示的装置.两个相同的弧形轨道  $M$ 、 $N$  分别用于发射小铁球  $P$ 、 $Q$ ,其中  $M$  的末端切线水平, $N$  的末端与光滑的水平板相切,两轨道上端分别装有电磁铁  $C$ 、 $D$ (图中未画出).现将小铁球  $P$ 、 $Q$  分别吸在电磁铁  $C$ 、 $D$  上,然后切断电源,使两小球能以相同的初速度  $v_0$  同时分别从轨道  $M$ 、 $N$  的末端射出.实验可观察到的现象应是\_\_\_\_\_.仅仅改变弧形轨道  $M$  底端所在水平位置的高度,重复上述实验,仍能观察到相同的现象,这说明\_\_\_\_\_.

(3)丙同学采用频闪照相法拍摄到如图丙所示的小球做平抛运动的照片,图中每个小方格的边长为  $L=2.5\text{ cm}$ ,则由图可求得拍摄时每

\_\_\_\_\_ s 曝光一次,该小球做平抛运动的初速度大小为\_\_\_\_\_ m/s.  
( $g$  取  $9.8\text{ m/s}^2$ )

三、计算题(本题共4小题,15、16、17题各10分,18题12分,共42分.解答应写出文字说明、证明过程或演算步骤)

15. 两手枪在同一高度处沿水平方向各射出一颗子弹,打在  $100\text{ m}$  远处的靶子上,两弹孔在竖直方向相距  $11.25\text{ cm}$ ,如图 C-1-11 所示,其中  $A$  为甲枪的子弹孔, $B$  为乙枪的子弹孔,若甲枪射出的子弹在空中运动的时间为  $0.2\text{ s}$ ,重力加速度  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ ,不计空气阻力,求:
- (1)在整个过程中,甲枪射出的子弹下落的高度;
- (2)乙枪子弹射出时的速度大小.

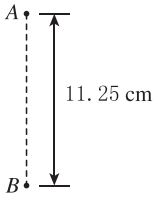


图 C-1-11

16. 如图 C-1-12 所示,质量  $m=1\text{ kg}$  的小球被细线拴住,线长  $l=0.5\text{ m}$ ,细线所受拉力达到  $F=18\text{ N}$  时就会被拉断.使小球从图示位置由静止释放,当它摆到悬点的正下方时,细线恰好被拉断.若此时小球距水平地面的高度  $h=5\text{ m}$ ,重力加速度  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ ,求小球落地点到地面上  $P$  点的距离.( $P$  点在悬点的正下方)

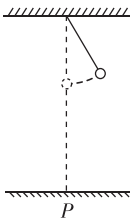


图 C-1-12

17. 如图 C-1-13 所示,质量为  $m$  的小球置于正方体光滑盒子中,盒子的边长略大于球的直径.某同学拿着该盒子在竖直平面内做半径为  $R$  的匀速圆周运动,已知重力加速度为  $g$ ,空气阻力不计.
- (1)要使盒子在最高点时盒子与小球之间恰好无作用力,则盒子做匀速圆周运动的周期为多少?
- (2)若盒子以第(1)问中周期的  $\frac{1}{2}$  为周期做匀速圆周运动,则当盒子运动到小球球心与  $O$  点位于同一水平面位置时,小球对盒子的哪些面有作用力? 作用力分别为多大?

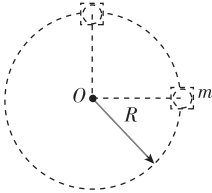


图 C-1-13

18. 如图 C-1-14 所示, $M$  是水平放置的半径足够大的圆盘,绕过其圆心的竖直轴  $OO'$  匀速转动,以经过  $O$  水平向右的方向作为  $x$  轴的正方向.在圆心  $O$  正上方距盘面高为  $h$  处有一个正在间断滴水的容器挂在传送带下面,在  $t=0$  时刻开始容器随传送带沿与  $x$  轴平行的方向做匀速直线运动,速度大小为  $v$ .已知容器在  $t=0$  时滴下第一滴水,以后每当前一滴水刚好落到盘面上时再滴一滴水,重力加速度为  $g$ .
- (1)每一滴水经多长时间滴落到盘面上?
- (2)要使每一滴水在盘面上的落点都位于一条直线上,求圆盘转动的最小角速度  $\omega$ .
- (3)求第二滴水与第三滴水在盘面上的落点间的最大距离  $s$ .

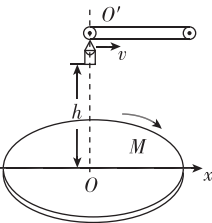


图 C-1-14

## 参考答案

### 单元测评(一)

- C 【解析】变速运动不一定是曲线运动,也可能是直线运动,选项 A 错误;匀速圆周运动的速度大小不变,方向不断变化,故匀速圆周运动不是匀速运动,选项 B 错误;做曲线运动的物体速度不断变化,有加速度,故所受的合外力一定不为零,选项 C 正确;只有做匀速圆周运动的物体受到的合外力方向才一定指向圆心,选项 D 错误.
- C 【解析】做曲线运动的汽车受到的合力指向其运动轨迹弯曲的内侧,由于汽车是从 M 向 N 减速运动,所以合力与汽车的速度方向的夹角大于  $90^\circ$ ,选项 C 正确.
- C 【解析】物体做平抛运动,故经过时间  $2t$  物体的速度  $v' = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (2gt)^2}$ ;  $t$  时刻有  $v^2 = v_0^2 + (gt)^2$ ,故  $2t$  时刻物体的速度为  $v' = \sqrt{v^2 + 3(gt)^2}$ .
- C 【解析】因为相遇时两球的竖直位移相同,所以两球在空中运动的时间相同,即两球应同时被抛出才能在空中相遇,选项 C 正确.
- A 【解析】设船速为  $v_1$ ,水速为  $v_2$ ,河宽为  $d$ ,当此人用最短时间渡河时,船头垂直于河岸,则  $T_1 = \frac{d}{v_1}$ ;当此人用最短位移过河时,合速度  $v$  的方向垂直于河岸,如图所示,则  $T_2 = \frac{d}{v} = \frac{d}{\sqrt{v_1^2 - v_2^2}}$ . 联立解得  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_2}{\sqrt{T_2^2 - T_1^2}}$ ,故 A 正确.
- BCD 【解析】P、Q 两点共轴转动,角速度大小相等,选项 B 正确;因为  $r_P = R \sin 60^\circ$ ,  $r_Q = R \sin 30^\circ$ , P、Q 两点角速度相等,根据  $v = \omega r$  知, P、Q 两点的线速度之比  $\frac{v_P}{v_Q} = \frac{r_P}{r_Q} = \frac{\sqrt{3}}{1}$ ,选项 A 错误,选项 C 正确;根据  $a_n = \omega^2 r$  知, P、Q 两点的向心加速度之比  $\frac{a_P}{a_Q} = \frac{r_P}{r_Q} = \frac{\sqrt{3}}{1}$ ,选项 D 正确.
- B 【解析】若小球在最高点时恰好对杆的作用力为 0,此时小球的速率为  $v_0$ ,则有  $mg = m \frac{v_0^2}{R}$ ,其中  $R = l = 0.5 \text{ m}$ ,则  $v_0 = \sqrt{gl} = \sqrt{5} \text{ m/s} > 2 \text{ m/s}$ ,故题中小球实际受到支持力作用. 设小球受的支持力为  $F_N$ ,则对小球有  $mg - F_N = m \frac{v^2}{R}$ ,所以  $F_N = mg - m \frac{v^2}{R} = 3 \times 10 \text{ N} - 3 \times \frac{2^2}{0.5} \text{ N} = 6 \text{ N}$ . 由牛顿第三定律得,杆受到的压力  $F'_N = F_N = 6 \text{ N}$ , B 正确.
- AD 【解析】匀速圆周运动不是匀速运动,而是非匀变速运动,乘客所受的合力提供向心力,时刻指向圆心,其大小恒定,故选项 A 正确, B 错误. 乘客在乘坐过程中,对座位的压力在最低点时最大,  $F_{\max} = mg + m \frac{v^2}{r}$ , 处于超重状态;在最高点时最小,  $F_{\min} = mg - m \frac{v^2}{r}$ , 处于失重状态,选项 C 错误, D 正确.
- BD 【解析】卡车在水平路面上拐弯时,靠静摩擦力提供向心力,现在易发生侧翻可能是路面设计不合理,公路在设计上可能内(东)高外(西)低, A 错误, B 正确; 卡车发生侧翻是因为其在水平方向上所受到的合力小于做圆周运动所需的向心力,从而发生离心运动, C 错误, D 正确.
- AB 【解析】小物体位于球顶时对球顶恰好无压力,则小物体只受重力,且由重力提供向心力,有  $mg = m \frac{v_0^2}{R}$ ,解得  $v_0 = \sqrt{gR}$ , A 正确;小物体在球顶时只受重力,速度方向水平,所以

- 小物体离开球顶做平抛运动, B 正确;小物体做平抛运动, 竖直方向有  $R = \frac{1}{2}gt^2$ , 水平方向有  $x = v_0 t$ , 解得  $x = \sqrt{2}R$ , C 错误;落地时水平分速度为  $\sqrt{gR}$ , 竖直分速度为  $\sqrt{2gR}$ , D 错误.
- BD 【解析】如果  $v_0$  不同,则该运动员落到雪坡时的位置不同,但位移方向均沿斜坡,即位移方向与水平方向的夹角均为  $\theta$ ,由  $\tan \varphi = 2 \tan \theta$  得速度方向与水平方向的夹角均相同,选项 A 错误,选项 B 正确;将运动员落到雪坡时的速度沿水平方向和竖直方向分解,可求出运动员落到雪坡时的速度大小为  $\frac{v_0}{\cos \varphi}$ ,选项 C 错误;由几何关系得  $\tan \theta = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t}$ ,则运动员在空中经历的时间  $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$ ,选项 D 正确.
  - CD 【解析】小球在管道最低点时有向上的加速度,系统处于超重状态,故管道对地面的压力一定大于  $(m + M)g$ ,选项 A 错误;如果小球在管道最高点的速度为零,则管道对地面的压力等于  $(m + M)g$ ,此时小球将停在最高点,不能做完整的圆周运动,选项 B 错误;当小球在最高点运动的速度等于  $\sqrt{gR}$  时,管道对小球无作用力,此时管道对地面的压力为  $Mg$ ,选项 D 正确;对管道受力分析可知,当小球对管道的作用力向上且等于  $Mg$  时,对小球受力分析得  $(m + M)g = m \frac{v^2}{R}$ ,此时  $v = \sqrt{\frac{g(M + m)R}{m}}$ ,管道对地面无压力,选项 C 正确.
  - E、A、C、D、F、B、G、H
  - (1)平抛运动在竖直方向上为自由落体运动 (2)P 球击中 Q 球平抛运动在水平方向上为匀速直线运动 (3)0.05 1
  - (1)0.2 m (2)400 m/s  
【解析】(1)甲枪射出的子弹下落的高度  $h = \frac{1}{2}gt^2 = 0.2 \text{ m}$ .  
(2)乙枪射出的子弹下落的高度  $h' = h + L = 0.2 \text{ m} + 0.1125 \text{ m} = 0.3125 \text{ m}$   
由  $h' = \frac{1}{2}gt'^2$  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  $v = \frac{x}{t'} = \frac{100}{0.25} \text{ m/s} = 400 \text{ m/s}$ .
  - 2 m  
【解析】当小球摆到悬点正下方时,细线恰好被拉断,说明此时细线的拉力  $F = 18 \text{ N}$   
由  $F - mg = m \frac{v^2}{l}$   
解得细线被拉断时小球的速度为  $v = 2 \text{ m/s}$   
细线被拉断后小球做平抛运动,在竖直方向上,有  $h = \frac{1}{2}gt^2$   
解得  $t = 1 \text{ s}$   
则平抛运动的水平位移为  $x = vt = 2 \times 1 \text{ m} = 2 \text{ m}$ .
  - (1) $2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$  (2)右侧面和下侧面  $4mg$  和  $mg$   
【解析】(1)设此时盒子的运动周期为  $T_0$ ,因为在最高点时盒子与小球之间刚好无作用力,因此小球仅受重力作用,根据牛顿第二定律得  $mg = m \frac{v^2}{R}$   
又知  $v = \frac{2\pi R}{T_0}$

- 解得  $T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}}$   
(2)设此时盒子的运动周期为  $T$ ,则小球的向心加速度为  $a_n = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$   
由(1)知  $g = \frac{4\pi^2 R}{T_0^2}$ ,且  $T = \frac{T_0}{2}$   
联立得  $a_n = 4g$   
设小球受盒子右侧面的作用力为  $F$ ,受上侧面的作用力为  $F_N$ ,根据牛顿第二定律知  
在水平方向上,有  $F = ma_n$   
在竖直方向上,有  $F_N + mg = 0$   
解得  $F = 4mg$ ,  $F_N = -mg$   
因为  $F$  为正值、 $F_N$  为负值,结合牛顿第三定律可知,小球对盒子的右侧面和下侧面有作用力,分别为  $4mg$  和  $mg$
- (1) $\sqrt{\frac{2h}{g}}$  (2) $\pi \sqrt{\frac{g}{2h}}$  (3) $5v \sqrt{\frac{2h}{g}}$   
【解析】(1)水滴在竖直方向做自由落体运动,有  $h = \frac{1}{2}gt_1^2$   
解得  $t_1 = \sqrt{\frac{2h}{g}}$   
(2)要使每一滴水在圆盘面上的落点都位于同一条直线上,则在相邻两滴水的下落时间内,圆盘转过的最小角度为  $\pi$ ,所以最小角速度为  $\omega = \frac{\pi}{t_1} = \pi \sqrt{\frac{g}{2h}}$   
(3)第二滴水在圆盘上的落点到 O 点的距离为  $s_2 = v_0 \cdot 2t_1 = 2v \sqrt{\frac{2h}{g}}$   
第三滴水在圆盘上的落点到 O 点的距离为  $s_3 = v \cdot 3t_1 = 3v \sqrt{\frac{2h}{g}}$   
当第二滴水与第三滴水在盘面上的落点位于同一直径上圆心的两侧时,两点间的距离最大,为  $s = s_2 + s_3 = 5v \sqrt{\frac{2h}{g}}$
  - 单元测评(二)
  - C 【解析】开普勒第一定律指出所有行星绕太阳运动的轨道都是椭圆,故 A 正确;由开普勒第一定律知,太阳处在绕它运动的行星轨道的焦点上,故 B 正确;由开普勒第二定律可知,行星与太阳连线在相同时间内扫过的面积相等,故离太阳近时运动速度大,离太阳远时运动速度小,故 C 错误;由开普勒第三定律知,地球与火星轨道的半长轴的三次方跟公转周期的二次方的比值相等,故 D 正确.
  - BC 【解析】对环绕地球做匀速圆周运动的卫星而言,由于所需的向心力由万有引力提供,所以其圆轨道的圆心应为地心,选项 A 错误,选项 B、C 正确;同步卫星的轨道与赤道共面,选项 D 错误.
  - B 【解析】G 值的测出使万有引力定律有了真正的实用价值,是卡文迪许测出的,故 A 错误;牛顿通过“月一地检验”发现地面物体、月球所受地球引力都遵从同样的规律,故 B 正确;由  $F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$  可知,两物体间距离  $r$  减小时,它们之间的引力增大,距离  $r$  趋于零时,万有引力定律不再适用,故 C 错误;  $G$  是自然界的恒量,与天体无关,故 D 错误.
  - B 【解析】根据  $h_2 - h_1 = gT^2$ ,解得  $g = \frac{h_2 - h_1}{T^2}$ ,根据  $mg = m \frac{v^2}{R}$  得,第一宇宙速度  $v = \sqrt{gR} = \frac{1}{T} \sqrt{(h_2 - h_1)R}$ ,故 B 正确.
  - BD 【解析】万有引力充当向心力,有  $G \frac{Mm}{(2R)^2} = m \frac{v^2}{2R}$ ,又  $g = \frac{GM}{R^2}$ ,故  $v = \sqrt{\frac{GM}{2R}} = \sqrt{\frac{gR}{2}}$ ,选项 A 错误;周期  $T = \frac{2\pi \times 2R}{v} =$

- $4\pi \sqrt{\frac{2R}{g}}$ ,选项 B 正确;向心加速度  $a_n = \frac{v^2}{2R} = \frac{g}{4}$ ,选项 C 错误;角速度  $\omega = \frac{v}{2R} = \sqrt{\frac{g}{8R}}$ ,选项 D 正确.
- CD 【解析】飞船绕中心天体做匀速圆周运动,万有引力提供向心力,由  $G \frac{Mm}{r^2} = ma_n = m \frac{v^2}{r} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r = m\omega^2 r$ ,得  $a_n = \frac{GM}{r^2}$ ,  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$  (或用公式  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  求解). 因为  $r_1 < r_2$ ,所以  $v_1 > v_2$ ,  $a_{n1} > a_{n2}$ ,  $T_1 < T_2$ ,  $\omega_1 > \omega_2$ ,选项 C、D 正确.
  - B 【解析】卫星在圆轨道上做匀速圆周运动时,有  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$ ,则  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,因为  $r_1 < r_3$ ,所以  $v_1 > v_3$ , A 错误;由开普勒第三定律知  $T_3 > T_2$ , B 正确;在 Q 点从轨道 1 到轨道 2 需要做离心运动,故需要加速,所以在 Q 点时,  $v_{2Q} > v_{1Q}$ , C 错误;在同一点 P,由  $G \frac{Mm}{r^2} = ma$  知,卫星在轨道 2 上经过 P 点的加速度等于它在轨道 3 上经过 P 点的加速度, D 错误.
  - AD 【解析】根据  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$ ,已知飞船飞行的周期和轨道半径,只能求出地球的质量,不能求出飞船的质量, A 错误, B 正确;飞船绕地球做匀速圆周运动时,宇航员处于完全失重状态, C 正确;若飞船处于较低轨道,则需加速,使得万有引力不足以提供飞船所需向心力,飞船做离心运动,从而实现对接, D 错误.
  - A 【解析】由  $G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$  可得  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,故轨道半径越大,周期越大. 当 B 经过一个周期时, A 已经完成了一个多周期,而 C 还没有完成一个周期,选项 A 正确,选项 B、C、D 错误.
  - ACD 【解析】同步卫星的角速度为  $\omega$ ,故  $v = \omega r = \omega(R + h)$ ,选项 A 正确;又  $v = \sqrt{\frac{GM}{R + h}}$ ,而  $GM = gR^2$ ,所以  $v = \sqrt{\frac{gR^2}{R + h}}$ ,选项 C 正确,选项 B 错误;又  $v = \omega(R + h) = \sqrt{\frac{gR^2}{R + h}}$ ,所以  $R + h = \sqrt{\frac{gR^2}{\omega^2}}$ ,故  $v = \omega(R + h) = \sqrt{R^2 g \omega}$ ,选项 D 正确.
  - AC 【解析】根据牛顿第二定律,行星对周围空间各处物体的引力产生的加速度为  $a = \frac{GM}{r^2}$ ,两曲线左端点横坐标相同,所以  $P_1$ 、 $P_2$  的半径相等,结合  $a$  与  $r^2$  的反比关系函数图像可知,  $P_1$  的质量大于  $P_2$  的质量,根据  $\rho = \frac{M}{\frac{4\pi R^3}{3}}$  可知,  $P_1$  的平均密度比  $P_2$  的大,故 A 正确;第一宇宙速度  $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ,所以  $P_1$  的“第一宇宙速度”比  $P_2$  的大,故 B 错误;  $S_1$ 、 $S_2$  的轨道半径相等,根据  $a = \frac{GM}{r^2}$  可知,  $S_1$  的向心加速度比  $S_2$  的大,故 C 正确;根据万有引力提供向心力得出周期表达式  $T = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,所以  $S_1$  的公转周期比  $S_2$  的小,故 D 错误.
  - CD 【解析】“鹊桥号”没有脱离地球引力成为太阳系的环绕天体,故发射速度应介于  $7.9 \text{ km/s}$  和  $11.2 \text{ km/s}$  之间,选项 A 错误;同一卫星在 L2 点与 L1 点时周期相同,都等于月球的公转周期,故选项 C 正确;卫星受地球和月球引力的合力提供向心力,根据向心力公式  $F_n = m\omega^2 r$ ,可知在 L2 点时受月球和地球引力的合力比在 L1 点时的大,故选项 B 错误;若“鹊桥号”在 L2 点,则由几何关系可知,其通讯范围较小,会被月球挡住,不能更好地为“嫦娥四号”探测器提供通信支持,故 D 正确.
  - $1.2 \times 10^4$   
【解析】由地面附近的物体所受重力近似等于万有引力可得  $mg$



## 第五章 曲线运动

### 1 曲线运动

#### 【知识必备】

知识点一

$x_A$   $y_A$

知识点二

切线

知识点三

不在同一直线上

知识点四

合运动 分运动

#### 【学习互动】

考点一

【要点总结】 3. 匀变速直线运动 非匀变速直线运动 匀变速曲线运动 非匀变速曲线运动

例 1 D 【解析】物体做曲线运动的条件是合外力方向与速度方向不在同一条直线上,物体在恒力作用下,可以做匀变速直线运动,不一定做曲线运动,而在变力作用下,可以做非匀变速直线运动,不一定做曲线运动,选项 A、B 错误;竖直上抛运动的初速度不为零,加速度也不为零,是直线运动,选项 C 错误;只有速度方向与合外力的方向不在一条直线上时,物体才做曲线运动,选项 D 正确。

【点评】关于物体做曲线运动的条件的理解要注意以下两点:(1)物体受到的合外力方向与其运动方向不在一条直线上时,物体做曲线运动;

(2)根据牛顿第二定律,物体的加速度方向与其合外力方向相同,因此物体做曲线运动的条件还可以表述为:物体的加速度方向与它的运动方向不在一条直线上。

例 2 AB 【解析】由题意可知,当突然撤去  $F_1$  时,质点受到的合力大小为  $F_1$ ,方向与  $F_1$  的方向相反,质点在恒力作用下产生恒定的加速度,加速度恒定的运动一定是匀变速运动,故 A 正确,C 错误。在撤去  $F_1$  之前,质点保持平衡状态,有两种可能:一是质点处于静止状态,则撤去  $F_1$  后,它一定做匀变速直线运动;二是质点处于匀速直线运动状态,则撤去  $F_1$  后,质点可能做直线运动(条件是  $F_1$  的方向和速度方向在一条直线上),也可能做曲线运动(条件是  $F_1$  的方向和速度方向不在一条直线上),故 B 正确。加速还是减速要从加速度方向和速度方向判断,当合力的方向和运动的方向相同或成锐角时才做加速运动,D 错误。

【点评】不少同学往往错误地认为撤去哪个力,合力就沿哪个力的方向。物体在三个不在同一直线上的力的作用下处于平衡状态,合力为零,任意两个力的合力与第三个力是平衡力,大小相等而方向相反,若撤去其中一个力,物体所受合力与该力等大反向。

考点二

【要点总结】 1. 速度方向 合外力方向 2. 凹侧

例 3 BCD 【解析】当物体运动到 B 点时,速度方向为曲线 AB 上 B 点的切线方向即 BD 方向,此时力  $F$  突然变为  $-F$ ,即受力由指向下方变为指向上方,物体运动的轨迹应位于合力方向与速度方向之间,根据题图可知,运动轨迹只能向上弯曲,即可能沿 BE 运动,不可能沿 BD 或 BC 运动,更不会沿原曲线由 B 返回 A。

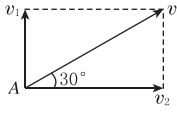
考点三

【要点总结】 3. 匀速直线 匀变速曲线 匀加速直线 匀变速直线 匀变速曲线

例 4 C 【解析】当合初速度的方向与合力(合加速度)的方向不在同一条直线上时,蜡块将做曲线运动,且轨迹夹在速度与合力(合加速度)方向之间,轨迹向合力(合加速度)的方向偏折,蜡块的合力(合加速度)方向竖直向上,合初速度方向水平向右,二者不在同一直线上,轨迹向合力(合加速度)的方向偏折,选项 C 正确,选项 A、B、D 错误。

【点评】在讨论合运动与分运动关系的时候必须首先明确两点:第一,合运动就是指物体的实际运动,而分运动是指物体同时参与的两个运动;第二,合运动的各个量(位移、速度、加速度)与分运动对应的各个量之间满足矢量运算的法则——平行四边形定则。

例 5 C 【解析】设蜡块沿玻璃管匀速上升的速度为  $v_1$ ,位移为  $x_1$ ,蜡块随玻璃管水平向右移动的速度为  $v_2$ ,位移为  $x_2$ ,如图所示,  $v_2 = \frac{v_1}{\tan 30^\circ} = \frac{0.1}{\frac{\sqrt{3}}{3}}$  m/s  $\approx 0.173$  m/s。蜡



块沿玻璃管匀速上升的时间  $t = \frac{x_1}{v_1} = \frac{1.0}{0.1}$  s = 10 s,由于合运动与分运动具有等时性,故玻璃管水平移动的时间为 10 s,水平运动的距离  $x_2 = v_2 t = 0.173 \times 10$  m = 1.73 m,故选项 C 正确。

#### 【自我检测】

- A 【解析】在曲线运动中,质点在任一点的速度方向就是通过这一点的曲线的切线方向,所以曲线运动中速度的方向一定变化,故 A 正确;若速度大小变化,方向不变,且速度方向与加速度方向在一条直线上,物体就做变速直线运动,故 B 错误;物体做曲线运动的条件是加速度方向与速度方向不在一条直线上,加速度既可以是恒定的,也可以是变化的,故 C 错误;若加速度方向不变,只是大小发生变化,且加速度方向与速度方向在同一条直线上,物体就做变加速直线运动,故 D 错误。
- C 【解析】根据曲线运动中  $F$  应指向轨迹的“凹侧”可知选项 A、D 错误。在 B 项中, $F$  的方向与  $v$  的方向的夹角为锐角,使质点从 A 到 B 做加速运动,故选项 B 错误。在 C 项中, $F$  的方向与  $v$  的方向的夹角为钝角,使质点从 A 到 B 做减速运动,故选项 C 正确。
- A 【解析】位移是矢量,位移的合成遵循平行四边形定则,合运动的位移为分运动的位移的矢量和,故选项 A 正确;根据平行四边形定则,合运动的速度可能比分运动的速度大,也可能比分运动的速度小,还可能与分运动的速度大小相等,故选项 B 错误;合运动与分运动具有等时性,合运动的时间等于分运动的时间,故选项 C 错误;根据平行四边形定则可知,合运动的速度方向就是物体实际运动的方向,故选项 D 错误。
- b、c 不在 【解析】当磁铁放在 A 位置时,小钢珠受到的合外力与  $v_0$  在一条直线上,则小钢珠的运动轨迹为 b。当磁铁放在 B 位置时,小钢珠受到指向 B 的合外力的作用,则小钢珠的运动轨迹为 c。物体做曲线运动时所受合外力的方向与速度方向不在一条直线上。

### 习题课：运动的合成与分解

#### 【知识必备】

知识点一

- 水平向右 竖直向上 2.  $v_x t$   $v_y t$  3.  $\frac{v_x}{v_x} x$  过原点的直线

知识点二

分运动 合运动

知识点三

- 运动的合成 运动的分解 速度 位移 2. 平行四边形定则

#### 【学习互动】

考点一

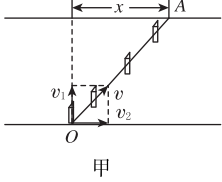
例 1 (1)船头垂直于河岸 25 s 125 m (2)船头与上游河岸夹角为  $\arccos \frac{3}{4}$  38 s

【解析】(1)由题意知,当船在垂直于河岸方向上的分速度最大时,渡河所用时间最短,河水流速平行于河岸,不影响渡河时间,所以当船头垂直于河岸渡河时,所用时间最短,则最短时间为  $t = \frac{d}{v_1} = \frac{100}{4}$  m/s = 25 s。如图甲所示,当船到达对岸时,船沿水流方向也发生了位移,由直角三角形的知识可得,船的位移大小为  $l = \sqrt{d^2 + x^2}$ ,由题意可得  $x = v_2 t = 3$  m/s  $\times 25$  s = 75 m,代入得  $l = 125$  m。

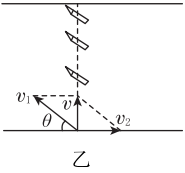
(2)当船渡河位移最小时,其速度关系如图乙所示,因船在静水中的速度为  $v_1 = 4$  m/s,大于水流速度  $v_2 = 3$  m/s,故可以使船的实际速度方向垂直于河岸。如图乙所示,设船头斜指向对岸上游,且与河岸所成夹角为  $\theta$ ,则有  $\cos \theta = \frac{3}{4}$ ,  $\theta = \arccos \frac{3}{4}$ ,  $v = \sqrt{v_1^2 - v_2^2} = \sqrt{7}$  m/s,所用的

时间为  $t = \frac{d}{v} = \frac{100\sqrt{7}}{7}$  s = 38 s。

变式 CD 【解析】放出的箭垂直于马运行方向发射时,箭运行时间最短,最短时间  $t = \frac{d}{v_2}$ ,则箭在沿马运行方向上的位移为  $x = v_1 t = \frac{v_1 d}{v_2}$ ,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;只有放出的箭垂直于马运行方向发射,击中侧向的固定目标,箭在空中运动的合速度的大小才



甲



乙

是  $v = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}$ ,故 B 错误。

考点二

例 2 (1) $v_A \cos \theta$  (2)不做匀速运动

【解析】(1)把  $v_A$  分解为沿绳方向的分速度  $v_1$  和垂直于绳方向的分速度  $v_2$ ,如图所示,所以车 B 前进的速度  $v_B$  大小应等于  $v_A$  的分速度  $v_1$ ,即  $v_B = v_1 = v_A \cos \theta$ 。(2)当船匀速向前运动时, $\theta$  角逐渐减小,车速  $v_B$  将逐渐增大,因此车 B 不做匀速运动。

变式 C 【解析】将 A、B 两点的速度分解为沿 AB 方向与垂直于 AB 方向的分速度,沿 AB 方向的速度分别为  $v_{1//}$  和  $v_{2//}$ ,则有  $v_{1//} = v_1 \cos \theta$ ,  $v_{2//} = v_2 \sin \theta$ ,由于 AB 不可伸长,沿 AB 方向的速度分量应相同,即  $v_{1//} = v_{2//}$ ,解得  $v_1 = v_2 \tan \theta$ ,选项 C 正确。

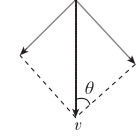
#### 【自我检测】

- A 【解析】设铅笔的速度为  $v$ ,如图所示,橡皮的速度分解成水平方向的  $v_1$  和竖直方向的  $v_2$ ,因该过程中悬线始终竖直,故橡皮在水平方向的速度与铅笔移动的速度相同,即  $v_1 = v$ ,因铅笔靠着线的左侧水平向右移动,故悬线在竖直方向上的长度减小的速度与铅笔移动的速度大小相等,则橡皮在竖直方向的速度也与铅笔移动的速度大小相等,即  $v_2 = v$ 。又因  $v_1$ 、 $v_2$  的大小、方向都不变,故合速度(即橡皮运动的速度)大小、方向都不变,选项 A 正确。
- A 【解析】 $x$  方向的分位移  $x = 0.75t + 0.2t^2$  (m),故  $x$  方向的分速度为  $v_x = 0.4t + 0.75$  (m/s), $x$  方向的加速度为  $a_x = 0.4$  m/s<sup>2</sup>, $y$  方向的分位移为  $y = 2.25t + 0.6t^2$  (m),故  $y$  方向的分速度为  $v_y = 1.2t + 2.25$  (m/s), $y$  方向的加速度为  $a_y = 1.2$  m/s<sup>2</sup>,合运动的初速度与  $x$  轴的夹角的正切为  $\tan \alpha = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} = 3$ ,合运动的加速度

与  $x$  轴的夹角的正切为  $\tan \beta = \frac{a_y}{a_x} = 3$ ,由于  $\tan \alpha = \tan \beta$ ,即速度与合力在同一直线上,故合运动是匀加速直线运动,选项 A 正确,B、C、D 错误。

- A 【解析】根据图甲,小船相对于静水的速度方向(船头指向)垂直于河岸,合速度的方向偏向下游,且过河时间最短,故 A 正确;根据图乙,船头指向对岸上游,且合速度的方向正好垂直于河岸,过河的位移最小,但过河的时间不是最短,故 B 错误;由于河水的流动,不可能出现图丙航线,故 C 错误;由平行四边形定则知,合速度应在两分速度之间,且合速度大小及方向一定,船的轨迹应是直线,故 D 错误。
- $v \sin \theta$

【解析】物块 A 沿杆向下运动,有使绳子伸长和使绳子绕定滑轮转动的两个效果,因此绳子端点(即物块 A)的速度可分解为沿绳子方向和垂直于绳子的两个分速度,如图所示。其中物块 B 的速度大小等于物块 A 沿绳子方向的分速度  $v_B$ ,则有  $v_B = v \sin \theta$ 。



### 2 平抛运动

#### 【知识必备】

知识点一

- 重力 2. 水平 3. (1)水平 (2)重力 4. 匀变速曲线

知识点二

- (1)匀速直线 (2)自由落体 2. (3)抛物

知识点三

- (1)匀速直线 (2) $v_0 \sin \theta$

#### 【学习互动】

考点一

【要点总结】 1. 相等 2. 匀变速曲线 3. 匀速直线 自由落体

例 1 B 【解析】平抛运动是只受重力作用的运动,故其加速度  $a = g$ ,即平抛运动是匀变速运动,选项 A、C 正确,选项 B 错误;平抛运动是加速度恒定的匀变速运动,所以任意两段相等时间内速度的改变量相同,选项 D 正确。

【点评】从平抛运动的受力情况入手分析,由于做平抛运动的物体只受重力作用,故其做匀变速运动,加速度恒为重力加速度  $g$ ,即相等时间内的速度改变量相同。

考点二

【要点总结】 1.  $\sqrt{\frac{2h}{g}}$  2.  $v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$  3.  $\sqrt{v_0^2 + 2gh}$   $\frac{\sqrt{2gh}}{v_0}$

例 2 C 【解析】做平抛运动的物体在水平方向做匀速直线运动,在竖直方向做自由落体运动,将落地的速度沿水平方向和竖

直方向分解,水平方向的速度等于  $v_0$ ,则竖直方向上的速度  $v_y =$

$\sqrt{v^2 - v_0^2}$ ,根据  $v_y = gt$  得  $t = \frac{\sqrt{v^2 - v_0^2}}{g}$ ,选项 C 正确。

【点评】在平抛运动问题的分析中要注意题目给定的信息是侧重于速度还是位移,本题侧重于从速度的合成与分解角度解题。另外,还要特别注意以下两点:(1)研究平抛运动时要先分析物体在水平和竖直两个方向上的运动情况,根据运动的等时性和矢量关系列方程;(2)研究竖直方向的运动时,利用自由落体运动的一些推论会起到事半功倍的作用。

例 3 AB 【解析】球做平抛运动,从被击出至落地所用时间为  $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$ ,选项 B 正确;球被击出时的速度  $v = \frac{L}{t} = L \sqrt{\frac{g}{2H}}$ ,选

项 A 正确;球从击球点至落地点的位移为  $\sqrt{H^2 + L^2}$ ,与球的质量无关,选项 C、D 错误。

【点评】本题以“网球运动”为背景,联系体育运动实际情景,考查平抛运动的问题。以体育运动为背景的抛体运动问题命题角度较多,如排球、篮球、乒乓球等,此类问题,只要不考虑空气阻力影响,均可用平抛运动规律处理。

考点三

【要点总结】 1. 重力 2. 抛物线 4. 匀速直线 竖直上抛

例 4 A 【解析】抛体运动的加速度始终为  $g$ ,与抛体的质量无关。当将它们以相同速率沿同一方向抛出时,运动轨迹应该相同,故选项 A 正确。

#### 【自我检测】

- B 【解析】做平抛运动的物体只受重力作用,A 正确;平抛运动是曲线运动,速度时刻变化,由  $v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}$  知速度  $v$  在增大,故 C 正确;设做平抛运动的物体的速度方向与加速度方向的夹角为  $\theta$ ,有  $\tan \theta = \frac{v_0}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$ ,因  $t$  一直增大,所以  $\tan \theta$  一直减小, $\theta$  一直减小,故 D 正确,B 错误。
- AC 【解析】小球在水平方向做匀速运动,在竖直方向做自由落

体运动,则  $x = vt$ ,  $h = \frac{1}{2}gt^2$ ,解得  $x = v\sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,为了把小球抛进小桶,应减小  $x$ ,则可以减小初速度或者降低抛出点高度,故选项 A、C 正确。

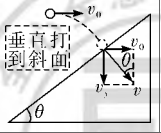
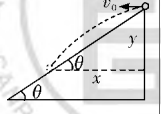
### 习题课：平抛运动规律的应用

#### 【学习互动】

考点一

例 1 AD 【解析】设斜面倾角为  $\theta$ ,小球落在斜面上,竖直方向上的位移与水平方向上的位移的比值一定,即  $\tan \theta = \frac{y}{x} = \frac{gt}{2v_0}$ ,抛出速度为原来的 2 倍时,运动时间变为原来的 2 倍,水平位移和竖直位移都变为原来的 4 倍,小球一定落在斜面上的 e 点,选项 A 正确;速度方向与水平方向的夹角的正切为斜面倾角正切的 2 倍,所以小球落在斜面上时的速度方向与斜面的夹角始终为  $\beta$ ,选项 D 正确。

【点评】本题中小球两次都是从斜面上抛出又落回斜面,要注意这其中的隐含条件,小球完成两次平抛运动的位移方向相同,然后结合“ $\tan \varphi = 2 \tan \theta$ ”的结论易知小球两次落回斜面上时速度方向相同。与斜面相关的常见平抛情景如下表。

方法	内容	实例	
		斜面	求小球平抛时间
分解速度	水平速度: $v_x = v_0$ 竖直速度: $v_y = gt$ 合速度: $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}$		如图所示, $v_y = gt$ , $\tan \theta = \frac{v_0}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$ ,故 $t = \frac{v_0}{g \tan \theta}$
分解位移	水平位移: $x = v_0 t$ 竖直位移: $y = \frac{1}{2}gt^2$ 合位移: $s = \sqrt{x^2 + y^2}$		如图所示, $x = v_0 t$ , $y = \frac{1}{2}gt^2$ ,而 $\tan \theta = \frac{y}{x}$ ,联立得 $t = \frac{2v_0 \tan \theta}{g}$

考点二

例 2 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  $h = \frac{1}{2}gt^2$  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  $x=v_0t$  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.

【考点三】

例 3 B 【解析】当飞机发射的炮弹与拦截炮弹相遇时,满足  $s=v_1t,h=\frac{1}{2}gt^2$ ,此过程中拦截炮弹满足  $H-h=v_2t-\frac{1}{2}gt^2$ ,即  $H$

$=v_2t=v_2\cdot\frac{s}{v_1}$ ,则  $v_1=\frac{s}{H}v_2$ ,故选项 B 正确.

【点评】本题为平抛运动与竖直上抛运动中的相遇问题,分析此类问题同一般追及相遇问题一样,关键分析两种运动的位移关系、速度关系、时间关系等.但不同的是,由于平抛运动是二维的运动,故在分析竖直方向运动的同时,一定要注意分析水平方向的运动.

【考点四】

例 4 C 【解析】小物体做平抛运动,根据运动规律可知,恰好擦着窗子上沿右侧穿过时  $v$  最大,此时有  $L=v_{\max}t,h=\frac{1}{2}gt^2$ ,解得  $v_{\max}=7\text{ m/s}$ ,恰好擦着窗子下沿左侧穿过时速度  $v$  最小,此时有  $L+d=v_{\min}t',H+h=\frac{1}{2}gt'^2$ ,解得  $v_{\min}=3\text{ m/s}$ ,所以  $v$  的取值范围是  $3\text{ m/s}<v<7\text{ m/s}$ ,故 C 正确.

变式 AC 【解析】由平抛运动的规律可知,网球两次分别被击出至各自第一次落地的时间是相等的.设第一次网球从击出到落在  $A$  点的时间为  $t_1$ ,第二次网球从击出到落在  $A$  点的时间为  $t_2$ ,根据运动的对称性可知  $t_1=3t_2$ ,因为两次网球在水平方向上均做匀速运动,水平位移大小相等,设两次从  $O$  点出发时的初速度分别为  $v_1$ 、 $v_2$ ,由  $x=v_0t$  得  $v_2=3v_1$ ,所以  $\frac{v_1}{v_2}=\frac{1}{3}$ ;设两次网球从  $O$  点到  $C$  点的时间分别为  $T_1$ 、 $T_2$ ,因为两次网球从  $O$  点到  $C$  点的水平位移相等,则  $T_1=3T_2$ ,由竖直方向运动规律可知, $H=\frac{1}{2}g(2T_2)^2,h=\frac{1}{2}g(2T_2)^2-\frac{1}{2}gT_2^2$ ,解得  $\frac{H}{h}=\frac{4}{3}$ .

【自我检测】

1. C 【解析】根据  $OB=2OA$ ,结合几何关系可知, $A$ 、 $B$  两球运动的竖直位移之比  $\frac{h_A}{h_B}=\frac{1}{2}$ ,水平位移之比  $\frac{x_A}{x_B}=\frac{1}{2}$ ,两球都做平抛运动,根据  $h=\frac{1}{2}gt^2$  得  $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,则  $\frac{t_A}{t_B}=\sqrt{\frac{h_A}{h_B}}=\frac{\sqrt{2}}{2}$ ,故 A 错误;

水平位移  $x=v_0t$ ,则  $\frac{v_A}{v_B}=\frac{\sqrt{2}}{2}$ ,故 B 错误;两球都落在斜面上,位移

与水平方向的夹角为定值,有  $\tan\theta=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$ , $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}=2\tan\theta$ ,位移与水平方向的夹角相同,所以  $\alpha=\beta$ ,故 C 正确,D 错误.

2. A 【解析】若小球打在第四级台阶的边缘上,则下落高度  $h_1=4d$ ,根据  $h_1=\frac{1}{2}gt_1^2$ ,解得  $t_1=\sqrt{\frac{8d}{g}}=\sqrt{\frac{8\times0.4}{10}}\text{ s}=\sqrt{0.32}\text{ s}$ ,而水平位移  $x_1=4d$ ,则平抛运动的速度  $v_1=\frac{x_1}{t_1}=\frac{1.6}{\sqrt{0.32}}\text{ m/s}=2\sqrt{2}\text{ m/s}$ ;若小球打在第三级台阶的边缘上,则下落高度  $h_2=3d$ ,根据  $h_2=\frac{1}{2}gt_2^2$ ,解得  $t_2=\sqrt{\frac{6d}{g}}=\sqrt{\frac{2.4}{10}}\text{ s}=\sqrt{0.24}\text{ s}$ ,而水平位移  $x_2=3d$ ,则平抛运动的速度  $v_2=\frac{x_2}{t_2}=\frac{1.2}{\sqrt{0.24}}\text{ m/s}=\sqrt{6}\text{ m/s}$ ,故  $\sqrt{6}\text{ m/s}<v\leq2\sqrt{2}\text{ m/s}$ ,所以 A 正确.

3. B 【解析】两个小球被抛出后均做平抛运动,根据平抛运动规律可知,在竖直方向上有  $h=\frac{1}{2}gt^2$ ,解得小球运动的时间  $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,由图可知小球  $P$  的下落高度  $h_1$  大于小球  $Q$  的下落高度  $h_2$ ,因此两小球的运动时间  $t_1>t_2$ ,因为两球同时落地,所以小球  $P$  先被抛出,故选项 C、D 错误;在水平方向上有  $x=vt$ ,由图可知  $x_1=x_2$ ,所以  $v_1<v_2$ ,故选项 A 错误,选项 B 正确.

### 3 实验：研究平抛运动

【学习互动】

实验原理

2.  $y=\frac{1}{2}gt^2$   $x=v_0t$

实验器材

坐标纸 刻度尺

实验步骤

1. 水平 2. 坐标原点 3. 同一位置 4. 平滑

数据处理

1.  $y=\frac{1}{2}gt^2$   $x=v_0t$  2.  $y=ax^2$

【自我检测】

1. (1)CF (2)AD

【解析】(1)实验还需要的器材是坐标纸和铅垂线,描出的轨迹在坐标纸上,方便数据处理,铅垂线是用来确定竖直木板是否竖直并确定纵坐标轴的.(2)做“研究平抛运动”的实验时,斜槽末端必须水平,以保证小球做平抛运动;使小球每次从斜槽上相同的位置自由滑下,以使小球在斜槽末端速度相同;在描画小球运动轨迹时,应用平滑的曲线连点,偏离轨迹较远的点可舍去.

2.  $2\sqrt{gL}$  0.80 m/s 1.0 m/s

【解析】图中  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  位置之间对应水平距离相等,说明  $a\rightarrow b$ 、 $b\rightarrow c$ 、 $c\rightarrow d$  所用时间相同.根据匀变速直线运动的特点  $\Delta x=aT^2$ ,则竖直方向上,有  $L=gt^2$  而水平方向上,有  $2L=v_0t$

联立得  $v_0=2\sqrt{gL}=2\sqrt{10\times1.6\times10^{-2}}\text{ m/s}=0.80\text{ m/s}$ .

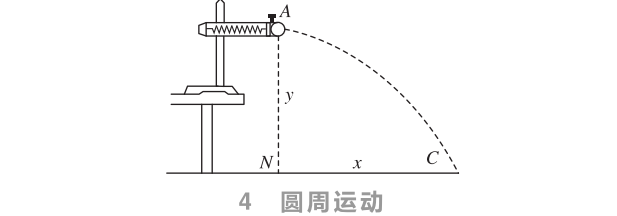
小球在  $b$  点的竖直分速度  $v_y=\frac{v_a}{2t}=\frac{3L}{2t}$

联立得  $v_y=1.5\sqrt{gL}=0.60\text{ m/s}$ .

小球在  $b$  点的合速度  $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=1.0\text{ m/s}$ .

3. (1)如图所示 (2)保持弹射器水平 (3)弹丸下落的高度  $y$  和水平射程  $x$  (4)多次实验,求平均值

(5) $v_0=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$



【知识必备】

知识点一

1. 米每秒(m/s) 切线方向

知识点二

1. 弧度(rad) 弧度每秒 2. 转每秒(r/s)

知识点三

1. 越大 越大 越小 2.  $v=r\omega$  3. 线速度 角速度

【学习互动】

考点一

例 1 D 【解析】由于乌鲁木齐和广州都绕地轴一起转动,故乌鲁木齐处物体随地球自转的角速度与广州处物体随地球自转的角速度相同;乌鲁木齐纬度高,乌鲁木齐处物体随地球自转的半径小于广州处物体随地球自转的半径,由  $v=r\omega$  知,乌鲁木齐处物体随地球自转的线速度小于广州处物体随地球自转的线速度.【点评】本题为涉及地球自转的圆周运动问题,对此类问题的分析要注意以下两点:(1)地面上所有物体随地球自转而做圆周运动的角速度相同;(2)不同纬度上的物体随地球自转所做圆周运动的半径不同,纬度越高的地方,半径越小.

考点二

例 2 (1) $\frac{2\pi}{n}$  (2)后轮的半径  $r_3$  (3) $\frac{2\pi r_1 r_3}{nr_2}$

【解析】脚踏板的周期是  $T=n\text{ s}$ ,大齿轮 I 的角速度是  $\omega=\frac{2\pi}{n}\text{ rad/s}$ ,有了脚踏板的角速度,再测量出大齿轮的半径  $r_1$ ,就可以根据  $v=r_1\omega$  求出大齿轮边缘处的线速度  $v$ ,也等于小齿轮边缘处的线速度  $v$ ,再测量出小齿轮的半径  $r_2$  就可以知道小齿轮的角速度,也等于后轮的角速度,再测出后轮半径  $r_3$ ,就可以知道后轮边缘处的线速度,即自行车的运动速度,所以还要测量的物理量是自行车后轮的半径  $r_3$ ,自行车的行驶速度大小是  $\frac{2\pi r_1 r_3}{nr_2}$ .

【点评】本题为联系实际的传动问题,解题的关键是了解自行车的传动结构,其次是注意两方面关系:(1)同轴转动的各点角速度  $\omega$  相同,而线速度  $v=r\omega$ ,与半径  $r$  成正比;(2)车链连接的两轮边缘上各点的线速度大小相等.

考点三

【要点总结】周期性 时间

例 3  $\frac{16}{5}n^2\text{ m}(n=0,1,2,3,\cdots)$

【解析】设小球做自由落体运动下落  $h$  高度历时为  $t$ ,则

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

要使小球恰好落入小孔,圆筒的运动需满足

$2n\pi=\omega t(n=0,1,2,3,\cdots)$

联立解得  $h=\frac{16}{5}n^2\text{ m}(n=0,1,2,3,\cdots)$ .

【点评】本题考查的是自由落体运动的规律和圆周运动的知识的综合应用,尤其是要增强圆周运动周期性的解题意识,否则就会使答题不完整.

【自我检测】

1. BD 【解析】如图所示,经  $\frac{T}{4}$ ,质点由  $A$  到  $B$ ,再经  $\frac{T}{4}$ ,质点由  $B$  到  $C$ ,由于线速度大小不变,根据线速度的定义, $\Delta s=v\cdot\frac{T}{4}$ ,所以相等时间内通过的路程相等,选项 B 正确;但位移  $x_{AB}$ 、 $x_{BC}$  大小相等,方向并不相同,平均速度不同,选项 A、C 错误;由角速度的定义  $\omega=\frac{\Delta\theta}{\Delta t}$ ,得  $\Delta\theta=\omega\cdot\Delta t$  相同,选项 D 正确.

2. BC 【解析】由于  $a$ 、 $b$  是与皮带接触的点,所以  $a$ 、 $b$  两点的线速度大小相等;由于  $a$ 、 $c$  是同轴转动,则  $a$ 、 $c$  的角速度相等,三点角速度的关系是  $\omega_a=\omega_c>\omega_b$ ,据  $v=r\omega$  可知  $c$  点线速度最大,选项 B、C 正确.

3.  $R\sqrt{\frac{g}{2h}}$   $2k\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}(k=1,2,3,\cdots)$

【解析】小球运动到  $B$  点时,圆板转过的角度为  $2k\pi(k=1,2,3,\cdots)$ ,由时间相等可得

$\sqrt{\frac{2h}{g}}=\frac{2k\pi}{\omega}(k=1,2,3,\cdots)$

解得  $\omega=2k\pi\sqrt{\frac{g}{2h}}(k=1,2,3,\cdots)$

而  $R=v_0\cdot\sqrt{\frac{2h}{g}}$

则  $v_0=R\sqrt{\frac{g}{2h}}$ .

## 5 向心加速度

【知识必备】

知识点一

1. 总指向圆心 向心加速度

知识点二

$\frac{v^2}{r}$   $r\omega^2$   $v\omega$

【学习互动】

考点一

【要点总结】1. 非匀变速 2. 同一时刻 3. 大小 方向  
例 1 C 【解析】向心加速度是描述速度方向变化快慢的物理量,它总与速度方向垂直,不改变速度的大小,只反映速度方向的变化快慢,A 错误;向心加速度的大小  $a_n=\frac{v^2}{r}$  或  $a_n=\omega^2r$ ,当  $v$  一定时, $a_n$  与  $r$  成反比,而当  $\omega$  一定时, $a_n$  与  $r$  成正比,可见  $a_n$  与  $r$  的比例关系是有条件的,故 B 错误;向心加速度的方向始终与线速度方向垂直,即始终指向圆心,因此它的方向在不断地变化,所以向心加速度不是恒量,故匀速圆周运动也不能说是匀变速运动,应是非匀变速运动,故 C 正确,D 错误.

考点二

【要点总结】2. 方向 圆心 m/s<sup>2</sup>

例 2 AC 【解析】匀速圆周运动的向心加速度  $a_n=\frac{v^2}{r}=r\omega^2$ ,A

的图线为双曲线的一支,说明  $a_n$  与  $r$  成反比, $v$  一定,选项 A 正确,B 错误;B 的图线是过原点的直线,说明  $a_n$  与  $r$  成正比, $\omega$  一定,选项 C 正确,D 错误.

【点评】本题考查向心加速度公式的理解,由于公式中存在三个变量,所以必须引入控制变量的思想加以理解,而不能笼统地说加速度与半径成正比或反比.

考点三

【要点总结】国际单位

例 3 6 90 【解析】根据  $v=\omega R$  可得  $v=15\times0.4\text{ m/s}=6\text{ m/s}$ ;根据  $a_n=\omega^2R$  可得  $a_n=15^2\times0.4\text{ m/s}^2=90\text{ m/s}^2$ .

例 4 CD 【解析】因为是皮带传动装置,所以  $a$ 、 $c$  两点的线速度大小相等,由  $\omega=\frac{v}{r}$  可知,两者半径不同,它们的角速度不相同;因为  $b$ 、 $c$ 、 $d$  绕同一点转动,三点的角速度相等,根据  $v=\omega r$  可知, $b$ 、 $c$  两点半径不同,故  $a$ 、 $b$  两点的线速度不相等,选项 A、B 错误.因为  $r_c=2r_a$ ,则  $\omega_b=\omega_d=\omega_c=\frac{1}{2}\omega_a$ ,又  $r_d=4r_a$ ,根据公式  $a_n=r\omega^2$  知, $a_n=a_d$ ,故选项 C 正确.因为  $b$ 、 $c$ 、 $d$  绕同一点转动,三点的角速度相等,根据公式  $a_n=r\omega^2$  知,这三点中向心加速度最小的是  $b$  点,而  $a$  点与  $d$  点向心加速度大小相等,故  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  四点中,向心加速度最小的是  $b$  点,故选项 D 正确.

【点评】要根据传动装置中各物理量间的关系合理选用加速度计算公式:(1)同一转轴的各点角速度  $\omega$  相同,而线速度  $v=\omega r$  与半径  $r$  成正比,向心加速度大小  $a_n=r\omega^2$  与半径  $r$  成正比;(2)当皮带不打滑时,传动皮带、用皮带连接的两轮边缘上各点的线速度大小相等,两皮带轮上各点的角速度、向心加速度可根据  $\omega=\frac{v}{r}$ 、

$a_n=\frac{v^2}{r}$  确定.

【自我检测】

1. A 【解析】向心加速度只改变物体的线速度的方向,不改变线速度的大小,所以向心加速度描述物体的线速度方向变化的快慢,A 正确.

2. B 【解析】静止在地面上的物体的向心加速度的方向都指向物体所在纬度平面的圆心,选项 A 错误;地球上物体的角速度都等于地球自转的角速度,转动半径随纬度增加而减小,根据  $v=\omega r$  可知线速度随物体所在纬度的增加而减小,选项 B 正确,C 错误;同一纬度上物体的转动半径相同,向心加速度大小相等,方向不同,选项 D 错误.

3. B 【解析】根据公式  $a_n=\omega^2r$  及  $\omega=\frac{2\pi}{T}$  知  $\frac{a_{\text{甲}}}{a_{\text{乙}}}=\frac{r_{\text{甲}}}{r_{\text{乙}}}\cdot\frac{T_{\text{乙}}^2}{T_{\text{甲}}^2}$ ,而

$T_{\text{甲}}=\frac{t}{60}$ , $T_{\text{乙}}=\frac{t}{45}$ ,所以  $\frac{a_{\text{甲}}}{a_{\text{乙}}}=\frac{3}{4}\times\frac{60^2}{45^2}=\frac{4}{3}$ ,选项 B 正确.

## 6 向心力

第 1 课时 实验：探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系

【自我检测】

1. (1)A (2)控制变量法

【解析】(1)要探究小球受到的向心力大小与角速度的关系,需控制小球的质量和运动半径相同,故 A 正确,B、C、D 错误.(2)由前面分析可知,该实验采用的是控制变量法.

2. A 【解析】皮带传动,边缘上的点线速度大小相等,即  $v_a=v_b$ , $a$  轮、 $b$  轮半径之比为  $1:2$ ,由  $v=r\omega$  得  $\frac{\omega_a}{\omega_b}=\frac{r_b}{r_a}=\frac{2}{1}$ ,共轴的点角速度相等,两个钢球的角速度分别与共轴轮的角速度相等,则  $\frac{\omega_1}{\omega_2}=\frac{2}{1}$ ,根据向心加速度  $a_n=r\omega^2$ ,可知  $\frac{a_{n1}}{a_{n2}}=\frac{8}{1}$ ,而钢球的质量相等,由  $F_n=ma_n$  得,向心力大小之比为  $\frac{F_{n1}}{F_{n2}}=\frac{8}{1}$ ,故 A 正确.

3. (1)ABD (2)等于 (3) $m\frac{4\pi^2}{T^2}r=F$

【解析】(1)根据向心力公式  $F_n=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$  可知,为算出小球做匀速圆周运动时所需向心力,需要测出小球运动的周期  $T$ 、小球做匀速圆周运动的半径  $r$  和小球的质量  $m$ ,故 A、B、D 正确,C 错误.(2)小球静止时, $F$  等于绳的拉力的水平分力,即  $F=mg\tan\theta$ , $\theta$  是绳与竖直方向的夹角,小球做匀速圆周运动时,由重力与绳的拉力的合力提供向心力,重力与绳的拉力的合力大小  $F_{\text{合}}=mg\tan\theta$ ,则  $F_{\text{合}}=F$ .

(3)当  $F_n=F_{\text{合}}$ ,即  $m\frac{4\pi^2}{T^2}r=F$  时,做匀速圆周运动的小球所受合外力与所需向心力“供”“需”平衡.

第 2 课时 向心力

【知识必备】

知识点一

1. 圆心 2. 半径 圆心 3. (2) $m\omega^2r$  4. 作用效果

知识点二

1. (1)切向 大小 (2)向心 方向 2. (1)直线 圆周 (2)圆弧

【学习互动】

考点一

【要点总结】1. 速度方向 速度大小 2. 圆心 垂直 改变 变力

例 1 BC 【解析】向心力是根据力的效果来命名的力,在具体的匀速圆周运动中,它可能就是某个力,也可能是几个力的合力,还可能是某个力的分力,总之它不是物体单独受到的力,选项 A 错误,B 正确;向心力的方向始终沿半径指向圆心,这也意味着其方向在不断地发生变化,选项 C 正确;在匀速圆周运动中,向心力的大小为定值,故选项 D 错误.

【点评】所谓向心力,从方向上来说是沿半径指向圆心的力.在匀速圆周运动中,线速度大小不变而方向在不断变化,向心力的效果就是产生向心加速度用以改变速度的方向,从这个意义上我们可以理解向心力是根据效果来命名的力.

考点二

【要点总结】1. 向心力 向心力 2. 力的作用效果 各力的合力 某力的分力

例 2 ABC 【解析】M、N 两木块与圆盘一起运动,角速度相等,故选项 A 正确;向心力由摩擦力提供,故摩擦力  $f=m\omega^2r$ ,M 运动的半径是 N 的 3 倍,N 的质量是 M 的 3 倍,可知 M 所受的摩擦力与 N 所受的摩擦力大小相等,故选项 B 正确;向心加速度  $a_n=\omega^2r$ ,两者角速度相同,M 运动的半径是 N 的 3 倍,故 M 的向心加速度是 N 的 3 倍,故选项 C 正确;M 和 N 所受的静摩擦力提供向心力,两者大小相等,因 N 的质量大,故 N 的最大静摩擦力大,随着圆盘运动的加快,M 相对于圆盘先发生运动,选项 D 错误.

【点评】用向心力公式解题的思路与用牛顿第二定律解题的思路相似,其基本步骤为:

- (1)明确研究对象,进行受力分析,画出受力示意图;  
(2)分析运动情况,确定运动的平面、圆心和半径;  
(3)通过力的正交分解将物体所受的力分解在两个方向上,其中一个方向沿半径指向圆心;

(4)列方程:沿半径方向满足  $F_n=m\frac{v^2}{r}=m\omega^2r=m\frac{4\pi^2r}{T^2}=m\omega v=4\pi^2mf^2r$ ;  
(5)解方程求出结果.

变式  $\sqrt{6}:4$

【解析】设弹簧的劲度系数为  $k$ ,当小球以速率  $v_1$  做匀速圆周运动时,有  $F_1=k(1.5l-l)=m\frac{v_1^2}{1.5l}$

当小球以速率  $v_2$  做匀速圆周运动时,有  $F_2=k(2l-l)=m\frac{v_2^2}{2l}$

解得  $v_1:v_2=\sqrt{6}:4$ .

考点三

【要点总结】1. 重力和弹力的合力  $g\tan\alpha$  摆角  $\alpha$  无

$\sqrt{gL\tan\alpha\sin\alpha}$  摆长  $L$  摆角  $\alpha$  距离(或高度) 无 2.  $\frac{mg}{\sin\theta}$

$\frac{g}{\tan\theta}$   $\sqrt{\frac{gr}{\tan\theta}}$   $\sqrt{\frac{g}{r\tan\theta}}$  大小不变 大小不变 越大 越小

例 3 BD 【解析】对其中一个小球受力分析,如图所示,受到重力和绳子的拉力,由于小球做匀速圆周运动,故合力提供向心力,将重力与拉力合成,合力指向圆心,由几何关系得合力  $F_{\text{合}}=mg\tan\theta$ ,由向心力公式得  $F_{\text{合}}=m\omega^2r$ ,设小球与悬挂点间的高度差为  $h$ ,由几何关系得  $r=htan$

$\theta$ ,联立得  $\omega=\sqrt{\frac{g}{h}}$ ,角速度与绳子的长度和转动半径无关,即两球的角速度相等,由  $v=\omega r$ ,两球转动的半径  $r_A>r_B$ ,所以线速度  $v_A>v_B$ ,故 A 错误;由于  $T=\frac{2\pi}{\omega}$ ,所以周期与绳子的长度和转动

半径无关,两球的运动周期相同,故 B 正确;绳子拉力  $F=\frac{mg}{\cos\theta}$ ,可知  $F_A>F_B$ ,故 C 错误;由  $a=\omega^2r$ ,两球转动的半径  $r_A>r_B$ ,所以向心加速度  $a_A>a_B$ ,故 D 正确.

考点四

例 4 A 【解析】当转盘匀速转动时,物块  $P$  所受的重力和支持力平衡,摩擦力提供其做匀速圆周运动的向心力,故摩擦力方向指向圆心  $O$  点,A 正确,B 错误;当转盘加速转动时,物块  $P$  做加速圆周运动,不仅有沿  $c$  方向指向圆心的向心力,还有指向  $a$  方向的切向力,使线速度增大,两个力的合力即摩擦力可能沿  $b$  方向,C 错误;当转盘减速转动时,物块  $P$  做减速圆周运动,不仅有沿  $c$  方向指向圆心的向心力,还有与  $a$  方向相反的切向力,使线速度减小,两个力的合力即摩擦力可能沿  $d$  方向,D 错误.

【自我检测】

1. C 【解析】当物体做曲线运动时,其加速度方向也可能是不变的,例如平抛运动,选项 A 错误;只有当物体做匀速圆周运动时,所受的合力才指向圆心,选项 B 错误;物体所受合力方向与运动方向相反,该物体一定做减速直线运动,选项 C 正确;物体运动的速率在增加,所受合力方向不一定与运动方向相同,例如做平抛运动,选项 D 错误.

2. B 【解析】在水平面内做匀速圆周运动的小球受竖直向下的重力和垂直于筒壁的支持力作用,合力沿水平方向指向圆周运动的圆心.在竖直方向上,支持力的竖直分力与重力平衡,即  $F_N\sin\frac{\theta}{2}=mg$ ,可见支持力大小与高度无关;在水平方向上,支持力的水平分力提供向心力,由牛顿第二定律,有  $F_N\cos\frac{\theta}{2}=$

$ma_n$ ,所以  $a_n=\frac{g}{\tan\frac{\theta}{2}}$ ,说明向心加速度与高度也无关,即 A 球和 B 球的向心加速度大小相同.由  $a_n=\frac{v^2}{r}=\omega^2r=\frac{4\pi^2}{T^2}r$  可知,圆周运动的半径越大,则线速度越大,角速度越小,周期越大,选项 B 正确,选项 A、C、D 错误.

3. C 【解析】在绳子完全被释放后与释放前相比,由于小球所受的拉力与速度垂直,故不改变速度大小,选项 A 错误;由  $v=\omega r$ , $v$  不变, $r$  变大,则角速度  $\omega$  变小,选项 B 错误;小球的向心加速度  $a_n=\frac{v^2}{r}$ , $v$  不变, $r$  变大,则  $a_n$  变小,选项 C 正确;细绳对小球的拉力  $F=m\frac{v^2}{r}$ , $v$  不变, $r$  变大,则  $F$  变小,选项 D 错误.

7 生活中的圆周运动

【知识必备】

知识点一

高于 内 重力  $G$

知识点二

$G-F_N$   $G-F_n$   $G-F_n$  小于 越小 0 平抛运动

知识点三

地球半径 失重

知识点四

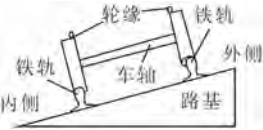
惯性 向心力 突然消失

【学习互动】

考点一

例 1 A 【解析】设轨道平面与水平面的夹角为  $\theta$ ,如果列车所受的重力和支持力的合力恰好提供列车转弯的向心力,则  $F_{\text{向}}=mg\tan\theta$ , $\theta$  很小的情况下,有  $\sin\theta\approx\tan\theta$ ,即  $F_{\text{向}}=mg\tan\theta=mg\frac{h}{L}=m\frac{v^2}{R}$ ,解得  $v=\sqrt{\frac{gRh}{L}}$ ,如果列车转弯速率大于  $v$ ,列车所受重力和支持力的合力将不足以提供其所需的向心力,会挤压外轨,选项 A 正确.

【点评】对于火车拐弯问题要把握好以下两点:(1)火车拐弯的动力学分析;(2)铁轨与火车轮缘的结构,如图所示.



变式 (1)  $\sqrt{\mu g R}$  (2)  $\sqrt{g R \tan \alpha}$

【解析】(1)汽车转弯时,由静摩擦力提供向心力,要不发生侧滑,应有  $f\leq\mu mg$

在圆周运动中,有  $f=m\frac{v^2}{R}$

解得  $v\leq\sqrt{\mu g R}$

则汽车速度不能超过  $\sqrt{\mu g R}$

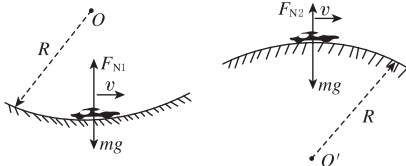
(2)汽车与路面间无摩擦力时,由重力和支持力的合力提供向心力,有  $mg\tan\alpha=m\frac{v^2}{R}$

解得  $v=\sqrt{g R \tan \alpha}$

考点二

例 2 (1)  $10\sqrt{3}$  m/s (2)  $1.0\times 10^5$  N

【解析】对汽车受力分析,如图所示.



(1)汽车在凹形桥的底部时,由牛顿第三定律可知,桥面对汽车的支持力  $F_{N1}=3.0\times 10^5$  N,根据牛顿第二定律得  $F_{N1}-mg=m\frac{v^2}{r}$  解得  $v=10\sqrt{3}$  m/s.

(2)汽车在凸形桥的顶部时,由牛顿第二定律得  $mg-F_{N2}=m\frac{v^2}{r}$  解得  $F_{N2}=1.0\times 10^5$  N

由于  $F_{N2}>0$ ,汽车不会离开桥面,由此知  $v=10\sqrt{3}$  m/s 即为最大值.由牛顿第三定律得,在凸形桥顶部时汽车对桥面的压力为  $1.0\times 10^5$  N.

例 3  $\frac{1}{2}\sqrt{Rg}<v<\sqrt{Rg}$

【解析】如图所示,由向心力公式得  $4mg$

$-F_N=4m\frac{v^2}{R}$

所以  $F_N=4mg-4m\frac{v^2}{R}$

为了保证汽车不压坏桥顶,同时又不飞离桥面,根据牛顿第三定律,支持力的取值范围为  $0<F_N<3mg$

联立解得  $\frac{1}{2}\sqrt{Rg}<v<\sqrt{Rg}$ .

【点评】安全行驶应该是既不压坏桥顶,又不飞离桥面,因此速度不能太小,否则会压坏桥顶,速度也不能太大,否则会飞离桥面.

考点三

【要点总结】1. (1)突然消失 不足以提供圆周运动所需向心力 (2)惯性

例 4 D 【解析】所谓离心运动是指原来在做圆周运动的物体后来远离圆心,所以选项 A 错误;离心运动发生的条件是:实际的合力小于做圆周运动所需要的向心力,所以选项 B、C 错误,D 正确.

【点评】本题考查离心现象,解答本题的关键是理解离心运动的本质.

【自我检测】

1. B 【解析】设路面的倾角为  $\theta$ ,根据牛顿第二定律得  $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$ ,又由数学知识可知  $\tan\theta=\frac{h}{d}$ ,联立解得  $v=\sqrt{\frac{gRh}{d}}$ ,选项 B 正确.

2. AC 【解析】超重现象就是物体对支持物的压力大于物体所受到的重力.选项 B 中汽车对桥面的压力小于重力,处于失重状态;在绕地球做匀速圆周运动的飞船中的仪器是处于完全失重状态.故选项 B、D 错误.

3. B 【解析】赛车在水平路面上转弯时,静摩擦力提供向心力,最大静摩擦力与重力成正比,而需要的向心力为  $\frac{mv^2}{R}$ .赛车在转弯前速度很大,转弯时做圆周运动的半径就需要大,运动员没有及时减速就会造成赛车冲出跑道,B 正确,A、C、D 错误.

专题课：竖直平面内圆周运动模型

【学习互动】

1. (1)只 不 (2)既 又  
2. 越大 越小 减小 零  $mg$  重力  $\sqrt{Rg}$   $\sqrt{Rg}$

3. 0  $mg$   $mg-m\frac{v^2}{R}$  支持 减小  $m\frac{v^2}{R}-mg$  拉 增大 0

考点一

【答题要点】例 1、例 2 为线一球模型问题,对本类问题的分析应注意动力学分析和临界状态分析,相关结论如下.

线一球模型	过最高点的临界条件	讨论分析	在最高点的 $F_N-v^2$ 图线
	由 $mg=m\frac{v^2}{r}$ 得 $v_{\text{临}}=\sqrt{gr}$	(1)能过最高点时, $v\geq\sqrt{gr}$ , $F_N+mg=m\frac{v^2}{r}$ ,绳、轨道对球产生弹力 $F_N$ ; (2)不能过最高点时, $v<\sqrt{gr}$ ,在到达最高点前小球已经脱离了圆轨道	 取竖直向下为正方向

例 1 D 【解析】小球刚好能过最高点,可知在最高点时有  $T=0$ ,根据牛顿第二定律得  $mg=m\frac{v^2}{L}$ ,解得  $v=\sqrt{gL}$ ,故 A、B 错误,D 正确.开始运动时,根据牛顿第二定律得  $F-mg=m\frac{v_0^2}{L}$ ,解得  $F=mg+m\frac{v_0^2}{L}$ ,故 C 错误.

例 2 (1)9 N (2)6 N (3)  $\sqrt{10}$  m/s  
【解析】(1)在最高点时,对小杯和杯中的水整体,由牛顿第二定律得  $T+(m+m_0)g=(m+m_0)\frac{v^2}{l}$

解得  $T=9$  N

(2)在最高点时,对小杯中的水,由牛顿第二定律得  $F+m_0g=m_0\frac{v^2}{l}$

解得  $F=6$  N

由牛顿第三定律得,水对杯底的压力大小为 6 N.

(3)若小杯经过最高点时水刚好不流出,则由牛顿第二定律得

$m_0g=m_0\frac{v_{\text{min}}^2}{l}$   
解得  $v_{\text{min}}=\sqrt{10}$  m/s

考点二

【答题要点】例 3 及变式为杆一球模型问题,对本类问题的分析应注意动力学分析和临界状态分析,相关结论如下.

杆一球模型	过最高点的临界条件	讨论分析	在最高点的 $F_N-v^2$ 图线
	$v_{\text{临}}=0$	(1)当 $v=0$ 时, $F_N=mg$ , $F_N$ 为支持力,沿半径背离圆心; (2)当 $0<v<\sqrt{gr}$ 时, $mg-F_N=m\frac{v^2}{r}$ , $F_N$ 背离圆心,随 $v$ 的增大而减小; (3)当 $v=\sqrt{gr}$ 时, $F_N=0$ ; (4)当 $v>\sqrt{gr}$ 时, $mg+F_N=m\frac{v^2}{r}$ , $F_N$ 指向圆心,随 $v$ 的增大而增大	 取竖直向下为正方向

例 3 D 【解析】设此时轻杆的弹力为  $F$ ,取竖直向下为正方向,根据向心力公式有  $F+mg=m\frac{v^2}{r}$ ,解得  $F=-2$  N,负号表示弹力方向竖直向上,即小球受到 2 N 的支持力,选项 D 正确.  
变式 BD 【解析】管道外侧、内侧管壁都可以对小球提供弹力,故小球通过最高点时的最小速度为零,B 正确.小球在水平线  $ab$  以下时,必须有指向圆心的力提供向心力,故外侧管壁对小球一定有作用力,D 正确.

【自我检测】

1. D 【解析】当秋千摆到最低点时,速度最大,由  $F-mg=m\frac{v^2}{l}$  知,吊绳中拉力  $F$  最大,吊绳最容易断裂,选项 D 正确.



2. BC 【解析】小球在最高点的速度最小可以为 0,选项 A 错误;小球在最高点的速度大于  $\sqrt{gl}$  时,向心力大于  $mg$ ,一定受到杆的拉力,选项 B 正确;当小球在水平直径  $ab$  下方时,重力和轻杆弹力的合力提供向心力,小球一定受到杆的拉力,选项 C 正确;当小球在水平直径  $ab$  上方时,小球可能受到杆的支持力或拉力,也可能不受杆的作用力,选项 D 错误.

## 第六章 万有引力与航天

### 1 行星的运动

【知识必备】  
知识点一

1. 托勒密 中心 2. 哥白尼 围绕太阳运动

知识点二

1. 焦点上 2. 面积 3. 相等  $\frac{a^3}{T^2}=k$

【学习互动】

考点一

【要点总结】地球 太阳

例 1 D 【解析】古希腊科学家托勒密提出了“地心说”,认为地球是宇宙的中心,太阳、月亮和星星从人类头顶飞过,A 正确;哥白尼提出“日心说”,认为太阳是宇宙的中心,其他行星都绕太阳做圆周运动,这一学说预示了地心宇宙论的终结,B 正确;开普勒通过对第谷的观测数据分析,总结了行星运动三大定律,C 正确;哥白尼提出了日心说,而被宗教裁判所烧死在罗马的鲜花广场的科学家是布鲁诺,D 错误.

考点二

【要点总结】1. 匀速圆周运动 2. 同一中心天体 3. 近日点 远日点 减速过程 加速过程

例 2 B 【解析】根据开普勒第二定律: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,行星在此椭圆轨道上运动的速度大小不断变化,靠近太阳的过程中运行速率增大,故 A、C、D 错误.根据开普勒第三定律: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.由于火星的轨道半长轴比较大,所以火星绕太阳运行一周的时间比地球的长,故 B 正确.

【点评】本题以地球和火星为例考查开普勒行星运动三大定律,正确理解开普勒的行星运动三大定律是解答本题的关键.

考点三

例 3 C 【解析】设海王星绕太阳运行的轨道半径为  $R_1$ ,周期为  $T_1$ ,地球绕太阳公转的轨道半径为  $R_2$ ,周期为  $T_2$  ( $T_2=1$  年),由

开普勒第三定律有  $\frac{R_1^3}{T_1^2}=\frac{R_2^3}{T_2^2}$ ,故  $T_1=\sqrt{\frac{R_1^3}{R_2^3}}\cdot T_2\approx 165$  年.

【点评】注意本类题目中“地球绕太阳公转周期为 1 年”经常作为隐含条件出现.

例 4 B 【解析】地球、木星都绕太阳运动,根据开普勒第三定律得  $\frac{R_{\text{地}}^3}{T_{\text{地}}^2}=\frac{R_{\text{木}}^3}{T_{\text{木}}^2}$ ,则  $T_{\text{木}}=\sqrt{\frac{R_{\text{木}}^3}{R_{\text{地}}^3}}T_{\text{地}}=\sqrt{5.2^3}\times 1$  年  $=11.9$  年,设经时间  $t$  两星又一次距离最近,根据  $\theta=\omega t$ ,则两星转过的角度之差  $\Delta\theta=\left(\frac{2\pi}{T_{\text{地}}}-\frac{2\pi}{T_{\text{木}}}\right)t=2\pi$ ,解得  $t=1.1$  年,B 正确.

【点评】本题为开普勒第三定律及圆周运动中的追及问题的结合问题,要注意角标的顺序.

【自我检测】

1. C 【解析】地球不是宇宙的中心,地球是绕太阳运动的一颗行星,A 错误,C 正确;宇宙中没有绝对静止的物体,静止是相对的,B 错误;地心说是错误的,日心说也是不正确的,太阳也不是宇宙的中心,D 错误.
2. C 【解析】由开普勒第二定律可知,行星与恒星的连线在相同时间内应该扫过相同的面积,A 离恒星较近,要想在同样的时间内扫过相同的面积,则必须通过更长的弧长,所以在 A 点的速度是最大的,而在 B 点的速度是最小的,故从 A 到 B 是减速运动,从 B 到 A 是加速运动,选项 C 正确,A、B、D 错误.

3. C 【解析】如果行星(或卫星)的轨道为圆轨道,公式  $\frac{a^3}{T^2}=k$  也适用,但此时公式中的  $a$  为轨道半径,故 A 错误;比例系数  $k$  是一个由中心天体决定而与行星(或卫星)无关的常量,但不同的中心天体对应的  $k$  值不同,故 B 错误,C 正确;月球绕地球转动的  $k$  值与地球绕太阳转动的  $k$  值不同,故 D 错误.

## 2 太阳与行星间的引力

### 3 万有引力定律

【知识必备】

知识点一

1. 正比 反比  $\frac{m}{r^2}$  2. 正比 反比  $\frac{M}{r^2}$  3. 乘积  $G\frac{Mm}{r^2}$

知识点二

1.  $\frac{1}{60^2}$   $\frac{1}{60^2}$  2. (1)乘积 二次方 (2) $F=G\frac{m_1m_2}{r^2}$
3. (1) $6.67\times 10^{-11}$  N·m<sup>2</sup>/kg<sup>2</sup> (2)卡文迪许

【学习互动】

考点一

例 1 AB 【解析】开普勒第三定律  $\frac{r^3}{T^2}=k$  是无法在实验室中得到验证的,是开普勒研究天文学家第谷的行星观测记录发现的,另外两个公式在实验室中可以验证.

考点二

【要点总结】1. (1)引力常量在数值上等于两个质量都是 1 kg 的质点相距 1 m 时的相互吸引力 (2)两球心间的距离

例 2 AD 【解析】万有引力定律适用于两质点间的相互作用,当两球体质量分布均匀时,可认为球体质量分布在球心,从而用公式计算万有引力,故 A、D 正确;当  $r\rightarrow 0$  时,两物体不能视为质点,万有引力定律不再适用,B 错误;大球球心周围各部分对小球的引力合力为零,故 C 错误.

例 3 BC 【解析】地球与一颗卫星之间的万有引力可由万有引力定律直接求出,  $F_{\text{地卫}}=G\frac{Mm}{r^2}$ ,故 A 错误,B 正确.卫星间的万

有引力也可由万有引力定律直接求出,  $F_{\text{卫卫}}=G\frac{mm}{(\sqrt{3}r)^2}=G\frac{m^2}{3r^2}$ ,故 C 正确.三颗卫星对地球的万有引力大小相等,相邻两个力的夹角均为 120°,三力的合力为零,故 D 错误.

考点三

【要点总结】2. (1) $G\frac{Mm}{R^2}$  指向地心 (2)物体随地球自转需要

的向心力  $mg+m\omega^2R$   $G\frac{Mm}{R^2}-m\omega^2R$

(3)增大 小 大 3.  $G\frac{Mm}{(R+h)^2}$   $\frac{GM}{(R+h)^2}$  减小

例 4 D 【解析】地球表面处的重力加速度和距离地心为  $4R$  处的加速度均由地球对物体的万有引力产生,所以在地面上,有  $G\frac{Mm}{R^2}=mg_0$ ,在距离地心为  $4R$  处,有  $G\frac{Mm}{(4R)^2}=mg$ ,联立解得

$\frac{g}{g_0}=\left(\frac{R}{4R}\right)^2=\frac{1}{16}$ ,故 D 正确.

变式 AC 【解析】北极地面上物体不随地球自转,万有引力等于重力,则有  $F_0=G\frac{Mm}{R^2}$ ,故 A 正确;在赤道地面称量时,万有引力等于重力加上随地球一起自转所需要的向心力,则有  $F_1<G\frac{Mm}{R^2}$ ,故 B 错误;在北极上空高出地面  $h$  处称量时,万有引力等于重力,则有  $F_2=G\frac{Mm}{(R+h)^2}$ ,故 C 正确;在赤道上空高出地面  $h$

处称量时,万有引力大于重力,则有  $F_3<G\frac{Mm}{(R+h)^2}$ ,故 D 错误.

【自我检测】

1. AD 【解析】太阳对行星的引力规律是牛顿由开普勒行星运动定律结合圆周运动规律推导出来的,它不是实验得出的,选项 A、D 正确,C 错误;太阳对行星的引力大小与行星的质量成正比,与行星和太阳间距离的二次方成反比,选项 B 错误.
2. A 【解析】将地球分成无数块,每一块都对物体有引力作用,根据力的对称性可知,所有引力的合力为 0,所以物体与地球间的万有引力等于 0,故 A 正确.
3. B 【解析】由题意,飞船处于完全失重状态,飞船所受的重力等于万有引力,即  $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=mg$ ,约去  $m$ ,得  $g=\frac{GM}{(R+h)^2}$ ,B 正确.

## 4 万有引力理论的成就

【知识必备】

知识点一

1. 引力 2.  $G\frac{Mm}{R^2}$   $\frac{gR^2}{G}$

知识点二

1. 匀速圆周 万有引力 2.  $\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$

知识点三

2. 海王星

【学习互动】

考点一

【要点总结】(1) $\frac{gR^2}{G}$  (2) $\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$   $\frac{r\omega^2}{G}$   $\frac{r^3\omega^2}{G}$

例 1 A 【解析】根据万有引力提供向心力得  $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$ ,代入数值解得  $M\approx 1.8\times 10^{30}$  kg,故 A 正确.

【点评】本题为应用万有引力定律计算中心天体质量的基本计算题,解题时只需要将相关数据代入万有引力提供向心力的公式即可,解答的关键是要注意数量级.主要注意数值计算的准确性,尤其是代入数据时要统一成国际单位.

考点二

【要点总结】2. (2)重力加速度

例 2 AB 【解析】根据平抛运动规律,有  $L=v_0t$ ,  $h=\frac{1}{2}g_{\text{月}}t^2$ ,

联立解得  $g_{\text{月}}=\frac{2hv_0^2}{L^2}$ ,选项 A 正确;由  $mg_{\text{月}}=G\frac{mm_{\text{月}}}{R^2}$ ,解得  $m_{\text{月}}=$

$\frac{2hR^2v_0^2}{GL^2}$ ,选项 B 正确;根据题目条件无法求出月球的自转周期,选

项 C 错误;月球的平均密度  $\rho=\frac{m_{\text{月}}}{\frac{4}{3}\pi R^3}=\frac{3hv_0^2}{2\pi GL^2R}$ ,选项 D 错误.

变式 (1)2 m/s<sup>2</sup> (2)1∶80

【解析】(1)在地球表面以一定的初速度  $v_0$  竖直上抛一小球,经过时间  $t$ ,小球落回原处,根据运动学公式可知  $t=\frac{2v_0}{g}$

同理,在某星球表面以相同的初速度竖直上抛同一小球,经过时间  $5t$ ,小球落回原处,则  $5t=\frac{2v_0}{g_{\text{星}}}$

联立解得  $g_{\text{星}}=\frac{1}{5}g=2$  m/s<sup>2</sup>

(2)在天体表面时,物体的重力近似等于万有引力,即

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

故  $\frac{M_{\text{星}}}{M_{\text{地}}}=\frac{g_{\text{星}}}{g}\cdot\frac{R_{\text{星}}^2}{R_{\text{地}}^2}=\frac{1}{5}\times\frac{1}{4^2}=\frac{1}{80}$ .

考点三

【要点总结】海王星 哈雷彗星

例 3 D 【解析】由行星的发现历史可知,天王星并不是根据万有引力定律计算出轨道而发现的;海王星不是通过观测发现,也不是直接由万有引力定律计算出轨道而发现的,而是人们发现天王星的实际轨道与理论轨道存在偏差,然后运用万有引力定律计算出“新”星的轨道,从而发现了海王星,只有选项 D 正确.

【自我检测】

1. B 【解析】测出地球绕太阳运动的周期和地球与太阳的距离,根据万有引力提供向心力,只能求出太阳的质量  $M$ ,也就是说只能求出中心天体的质量,故①错误;月球绕地球做匀速圆周运动,它受到的地球的万有引力充当向心力,由万有引力定律结合牛顿第二定律得  $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$ ,所以地球的质量  $M=\frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$ ,其中  $r$  为地球与月球间的距离,故②正确;地球表面的物体受到的重力等于万有引力,即  $mg=G\frac{Mm}{R^2}$ ,因此,可求出地球的质量  $M=\frac{gR^2}{G}$ ,故③正确;测出月球的公转周期及月球的线速度,根据圆周运动知识得,轨道半径  $r=\frac{vT}{2\pi}$ ,由万有引力定律结合牛顿第二定律得  $G\frac{Mm}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r$ ,可求出地球的质量  $M$ ,故④正确.

2. A 【解析】根据  $h=\frac{1}{2}gt^2$  得,星球表面的重力加速度  $g=\frac{2h}{t^2}$ ,根据  $G\frac{Mm}{R^2}=mg$  得,星球的质量  $M=\frac{gR^2}{G}=\frac{2hR^2}{Gt^2}$ ,故 A 正确.

3. B 【解析】天王星是在 1781 年被发现的,而当时卡文迪许还未测出引力常量的值,人们还不能用万有引力定律做具有实际意义的计算,故选项 A 错误;太阳系的第八颗行星是在 1846 年被发现的,而牛顿发现的万有引力定律于 1687 年发表在牛顿的《自然哲学的数学原理》中,选项 C 错误.

## 专题课：人造卫星问题

【学习互动】

考点一

【答题要点】卫星在圆轨道上稳定运行时有  $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{v^2}{r}=$

$$mrv^2=mr\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2=ma, \text{由此可推出} \begin{cases} v=\sqrt{\frac{GM}{r}} \\ \omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}} \\ T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}} \\ a_n=\frac{GM}{r^2} \end{cases}, \text{所以根据卫}$$

星轨道半径大小可以进行线速度、角速度、周期、向心加速度等运行参量的比较.

例 1 BD 【解析】由万有引力提供卫星做圆周运动的向心力,有  $G\frac{Mm}{r^2}=m\omega^2r=m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2r=m\frac{v^2}{r}=ma_n$ ,解得  $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $a_n=\frac{GM}{r^2}$ .因  $b$ 、 $c$  的轨道半径相等,所以  $b$ 、 $c$  的线速度、角速度、周期、向心加速度大小相等;因  $a$  的轨道半径小,所以其线速度、角速度、向心加速度大,周期小,选项 B、D 正确,选项 A、C 错误.

【答题要点】解决本题的关键是认清三个物体(赤道上的物体、近地卫星、同步卫星)之间的关系.

比较内容	赤道上的物体	近地卫星	同步卫星
向心力来源	万有引力的分力	万有引力	
向心力方向	指向地心		
重力与万有引力的关系	重力略小于万有引力	重力等于万有引力	
线速度	$v_1 = \omega_1 R$	$v_2 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$	$v_3 = \omega_1 (R+h) = \sqrt{\frac{GM}{R+h}}$
	$v_1 < v_3 < v_2$		
角速度	$\omega_1 = \omega_{\text{地}}$	$\omega_2 = \sqrt{\frac{GM}{R^3}}$	$\omega_3 = \omega_{\text{地}} = \sqrt{\frac{GM}{(R+h)^3}}$
	$\omega_1 = \omega_3 < \omega_2$		
向心加速度	$a_1 = \omega_1^2 R$	$a_2 = \omega_2^2 R = \frac{GM}{R^2}$	$a_3 = \omega_3^2 (R+h) = \frac{GM}{(R+h)^2}$
	$a_1 < a_3 < a_2$		

例 2 D 【解析】由于东方红二号卫星是同步卫星,则其角速度和赤道上的物体角速度相等,可得  $a=\omega^2r$ ,由于  $r_2>r_3$ ,可得  $a_2>$

$a_3$ ;由万有引力定律得  $G\frac{Mm}{r^2}=ma$ ,且  $r_1<r_2$ ,则  $a_2<a_1$ ,故选项 D 正确.

考点二

【答题要点】关于地球同步卫星要把握好以下几点:

- (1)轨道平面一定:轨道平面和赤道平面重合.
- (2)运行周期一定:与地球自转周期相同,即  $T=24$  h  $=86\ 400$  s.
- (3)绕行方向一定:与地球自转的方向一致.
- (4)角速度一定:与地球自转的角速度相同.
- (5)线速度一定:运动速度  $v=\frac{2\pi r}{T}=3.07$  km/s.

(6)轨道高度一定:根据  $G\frac{Mm}{r^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}r$  得轨道半径  $r=\sqrt{\frac{GMT^2}{4\pi^2}}=4.24\times 10^4$  km,卫星离地面高度  $h=3.6\times 10^4$  km.

例 3 C 【解析】根据万有引力提供向心力得  $G\frac{Mm}{(R+h)^2}=m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$ ,其中  $R$  为地球半径, $h$  为同步卫星离地面的高度.

由于同步卫星的周期必须与地球自转周期相同,所以  $T$  为定值,根据上面等式得出,同步卫星离地面的高度  $h$  也为定值,故 A、B 错误.同步卫星的轨道平面和赤道平面重合,离地面的高度为定值,因此这些卫星可以用一根线串起来构成一个圆,故 C 正确.由于定点在赤道上空,不可能在北京市上空,故 D 错误.

考点三

【答题要点】比较近地卫星、同步卫星和位于赤道上的物体的参量时,首先要分成两部分:第一部分,对于所有的卫星,根据万有引力提供向心力可得  $v=\sqrt{\frac{GM}{r}}$ ,  $\omega=\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ,  $T=2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ,  $a_n=\frac{GM}{r^2}$ ,即随着轨道半径的增大,线速度、角速度和向心加速度都减小,周期增大;第二部分,同步卫星和位于赤道上的物体是特例,



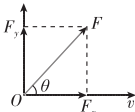
## 第五章 曲线运动

### 1 曲线运动

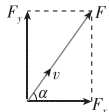
- C 【解析】曲线运动中速度方向一定是变化的,故速度一定变化,但是速率、合外力和加速度可能不变,故选项 C 正确。
- C 【解析】物体做曲线运动时,速度方向时刻发生变化,所以曲线运动一定是变速运动,A 错误;当物体所受的恒力方向与初速度方向不在同一条直线上时,物体做曲线运动,又因为恒力大小、方向不变,加速度大小、方向也不变,物体做匀变速运动,所以物体做匀变速曲线运动,C 正确,B、D 错误。
- C
- D 【解析】加速度的方向就是合外力的方向,由物体做曲线运动的条件可知,加速度的方向与速度的方向一定不在同一条直线上。
- BD 【解析】物体处于平衡状态,则物体可能静止或做匀速直线运动。若物体静止,当施加一恒力时,物体做匀变速直线运动,B 正确;若物体做匀速直线运动,当施加的恒力与速度在一条直线上时,物体做匀变速直线运动,若恒力与速度不在一条直线上,则物体做匀变速曲线运动,D 正确;由以上分析知,A、C 错误。
- B 【解析】因物体的受力方向与初速度方向不在同一条直线上,故物体将做曲线运动,选项 A 错误;因物体所受的合外力为恒力,根据牛顿第二定律,其产生的加速度的大小、方向均不变,故物体做的是匀变速曲线运动,选项 B 正确,选项 C、D 错误。
- CD 【解析】雨滴在最高处离开伞边缘,沿切线方向飞出,由于受重力作用,所以轨迹向下偏转,故 C、D 正确,A、B 错误。
- D 【解析】钢球受到磁力的作用而做曲线运动,其轨迹一定会向磁极所在处偏转,所以磁极可能在 B 位置。因为无论磁体的 N 极还是 S 极都会对钢球产生吸引力,所以极性无法确定。
- C 【解析】合运动的速度(合速度)与分运动的速度(分速度)之间的关系遵循平行四边形定则,其中合速度为平行四边形的对角线,而两个分速度为平行四边形的两个邻边,由几何知识可知,选项 A、B 错误;合运动指的就是物体的实际运动,选项 C 正确;两个匀速直线运动的合运动一定是匀速直线运动,选项 D 错误。
- A 【解析】由三角形定则,图 A 中  $v_1$ 、 $v_2$  的合速度为  $v_3$ ,再与图中  $v_3$  合成,合速度为  $2v_3$ ;图 B 中合速度为 0;图 C 中合速度为  $2v_1$ ;图 D 中合速度为  $2v_2$ ,其中最大的合速度为  $2v_3$ ,A 正确。
- C 【解析】由题意知,笔尖在竖直向上做匀速直线运动,水平向右做初速度为零的匀加速运动,合外力向右,故其做匀变速曲线运动,选项 A、B 错误,C 正确;竖直方向的速度大小恒定,水平方向的速度逐渐增大,故笔尖的速度方向与水平方向的夹角逐渐变小,选项 D 错误。
- AC 【解析】根据运动的合成与分解知  $v_B = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 5 \text{ m/s}$ ,选项 C 正确。由图像知物体的加速度大小为  $a = 2 \text{ m/s}^2$ ,由于初速度的方向与加速度的方向不共线,所以物体做匀变速曲线运动,选项 A 正确,选项 B、D 错误。
- B 【解析】质点原来是静止的,在  $F_1$ 、 $F_2$  的合力的作用下开始运动,此时质点做的是直线运动,运动一段时间之后,物体就有了速度,而此时将  $F_1$  突然减小为  $F_1 - \Delta F$ , $F_1$  变小了,它们的合力也就变了,原来合力的方向与速度的方向在一条直线上,质点做的是直线运动,把  $F_1$  改变之后,合力的大小变了,合力的方向也变了,就不再和速度的方向在同一条直线上了,所以此后质点将做曲线运动,由于改变后的  $F_1$ 、 $F_2$  都是恒力,它们的合力也是恒力,质点的加速度就是定值,所以在相等的时间里速度的变化一定相等,故质点是在做匀变速曲线运动,故 B 正确,A、C、D 错误。
- B 【解析】运动员同时参与了两个分运动,竖直方向上的下落和水平方向上的随风飘,两个分运动同时发生,相互独立,因而水平风速越大,落地的合速度越大,有可能对运动员造成伤害,但落地时间不变,故 B 正确,A、C、D 错误。
- B 【解析】陨石做曲线运动,则所受合力不可能为零,选项 A 错误;曲线轨迹上每一点的切线方向就是陨石在该点的速度方向,选项 B 正确;陨石做曲线运动,则受到的合力不可能与速度方向相同,C 错误;陨石的运动速度方向不断变化,选项 D 错误。
- C 【解析】飞机向上加速运动,空气作用力与重力的合力应指向曲线的凹侧,同时由于飞机加速起飞,故空气对飞机的作用力

与速度的夹角应为锐角,只有  $F_3$  符合题意。

- BC 【解析】物体原来所受合外力为零,将与速度反方向的 2 N 的力水平旋转  $90^\circ$  后,其受力如图所示,其中  $F_x = F_y = 2 \text{ N}$ , $F$  是  $F_x$ 、 $F_y$  的合力,即  $F = 2\sqrt{2} \text{ N}$ ,且大小、方向都不变,是恒力,物体的加速度为  $a = \frac{F}{m} = \frac{2\sqrt{2}}{2} \text{ m/s}^2 = \sqrt{2} \text{ m/s}^2$  恒定,又因为  $F$  与  $v$  的夹角  $\theta < 90^\circ$ ,所以物体做速度越来越大、加速度恒为  $\sqrt{2} \text{ m/s}^2$  的匀变速曲线运动,故 B、C 正确。



- CD 【解析】质点所受合外力方向与速度方向不在同一直线上时,质点做曲线运动;质点所受合外力始终与速度方向相同时,质点做直线运动。若  $F_y = F_x \tan \alpha$ ,则  $F_x$  和  $F_y$  的合力  $F$  与  $v$  在同一直线上(如图所示),此时质点做直线运动;若  $F_y < F_x \tan \alpha$ ,即  $\tan \alpha > \frac{F_y}{F_x}$ ,则  $F_x$ 、 $F_y$  的合力  $F$  与  $x$  轴的夹角  $\beta < \alpha$ ,此时质点偏向  $x$  轴一侧做曲线运动。



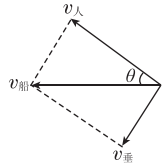
### 习题课：运动的合成与分解

- CD 【解析】合运动与分运动具有等时性,故 A 错误。根据平行四边形定则知,只知道两分运动的速度大小,还不能确定合速度的大小,故 B 错误。已知两分运动的速度大小和方向,可以用平行四边形定则确定合速度的大小和方向,故 C 正确。两匀速直线运动的速度大小分别为  $v_1$ 、 $v_2$ ,则合速度  $v$  大小的范围为  $|v_1 - v_2| \leq v \leq v_1 + v_2$ ,故 D 正确。
- B 【解析】当乒乓球经过筒口时,对着球横向吹气,乒乓球沿着原方向做匀速直线运动的同时也会沿着吹气方向做加速运动,实际运动是两个运动的合运动,故一定不会进入纸筒,A、C、D 错误,B 正确。
- BD 【解析】由  $d = H - 2t^2$  可得,物体 B 在竖直方向上做匀加速运动,加速度  $a_y$  恒定,由牛顿第二定律得,钢索对物体 B 的拉力  $F = mg + ma_y > mg$ ,D 正确;B 同时参与水平方向的匀速运动和竖直方向的匀加速运动,故合运动的轨迹是曲线,B 正确。
- D 【解析】根据牛顿第二定律可知,前 2 s 内加速度为  $2 \text{ m/s}^2$ ,从静止开始沿  $+x$  方向匀加速运动 4 m,速度达到  $4 \text{ m/s}$ ;随后 1 s 内加速度为  $6 \text{ m/s}^2$ ,方向沿  $+y$  方向,质点沿  $+y$  方向运动了 3 m,同时沿  $+x$  方向运动了 4 m,轨迹弯向  $+y$  方向,D 正确。
- C 【解析】设河宽为  $d$ ,船垂直于河岸的速度为  $v_2$ ,则渡河时间为  $t = \frac{d}{v_2}$ ,由此可知,渡河时间与船在静水中的速度有关,静水船速越大,则所用时间越短,路程越短,故 A、B 错误;渡河时间与水流速度无关,但水流速度越大,船的合速度也越大,因渡河时间不变,则船在水中运动的路程就越大,故 C 正确,D 错误。
- B 【解析】将小船的运动分解为平行于河岸和垂直于河岸两个方向的运动,因分运动和合运动具有等时性,所以甲、乙两船到达对岸的时间相等,即渡河的时间  $t = \frac{d}{v \sin \theta}$ ,故 A 错误;若仅是河水流速  $v_0$  增大,渡河的时间仍为  $t = \frac{d}{v \sin \theta}$ ,则两船的渡河时间都不变,故 B 正确;若仅是河水流速  $v_0$  增大,则两船到达对岸时间不变,根据速度的分解,两船在平行于河岸方向的相对速度仍不变,则两船之间的距离仍然为  $l$ ,故 C 错误;只有甲船速度大于水流速度时,甲船才可能到达河的正对岸 A 点,故 D 错误。
- D 【解析】因为 AB、AC 与河岸的垂线方向的夹角相等,则在垂直于河岸方向上的分速度相等,渡河时间  $t = \frac{d}{u_{\perp}}$ ,所以两次渡河时间相等。设 AB、AC 与河岸夹角为  $\theta$ ,船头向着 AB 方向行驶时,沿河岸方向的分速度  $v_1 = u \cos \theta + v$ ,船头向着 AC 方向行驶时,沿河岸方向行驶的分速度  $v_2 = |v - u \cos \theta| < v_1$ ,水平方向上的位移  $x_1 > x_2$ ,根据平行四边形定则,则  $s_1 > s_2$ ,故 D 正确,A、B、C 错误。
- BC 【解析】小车沿绳子方向的速度大小等于物体 A 的速度,设绳子与水平方向的夹角为  $\theta$ ,根据平行四边形定则,物体 A 的速

度  $v_A = v \cos \theta$ ,小车匀速向右运动时, $\theta$  减小,则物体 A 的速度增大,所以物体 A 加速上升,加速度方向向上,根据牛顿第二定律有  $T - G_A = m_A a$ ,故拉力大于重力,B、C 正确。

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

【解析】船的速度产生了两个效果:一是滑轮与船间的绳缩短,二是绳绕滑轮顺时针转动,因此将船的速度进行分解,如图所示。



- (1) 人拉绳的速度  $v_A = v_{\text{船1}} \cos \theta_1$ ,即  $v_{\text{船1}} = \frac{v_A}{\cos \theta_1}$ ,

由数学知识可知开始时船到滑轮的距离为  $\sqrt{(20\sqrt{3})^2 + 20^2} \text{ m} = 40 \text{ m}$ ,

$$\cos \theta_1 = \frac{\sqrt{3}}{2}, v_A = 3 \text{ m/s},$$

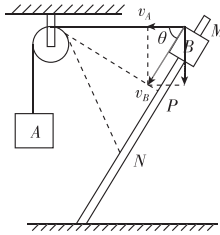
解得  $v_{\text{船1}} = 2\sqrt{3} \text{ m/s}$ 。

(2) 5 s 末船到滑轮的距离(绳长)  $x_2 = 40 \text{ m} - 15 \text{ m} = 25 \text{ m}$ ,

由数学知识可知,船到岸边的距离为  $\sqrt{25^2 - 20^2} \text{ m} = 15 \text{ m}$ ,  
 $\cos \theta_2 = 0.6$ ,

$$\text{故 } v_{\text{船2}} = \frac{v_A}{\cos \theta_2} = 5 \text{ m/s}.$$

- A 【解析】炮弹参与了两个方向的运动,一个是沿出炮口方向的运动,一个是沿炮艇方向的运动,实际的运动方向是两个运动的合运动的方向,根据平行四边形定则,炮弹射击方向应偏向目标的西侧,故 A 正确,B、C、D 错误。
- BD 【解析】小船运动轨迹上各点的切线方向为小船的合速度方向,若小船在  $x$  方向上始终匀速,由合速度方向的变化可知,小船在  $y$  方向上的速度先减小再增大,故 A 错误,B 正确;若小船在  $y$  方向上始终匀速,由合速度方向的变化可知,小船在  $x$  方向上的速度先增大后减小,故 C 错误,D 正确。
- B 【解析】将物块 B 的速度沿绳子方向和垂直于绳子方向分解,如图所示,根据平行四边形定则,沿绳子方向的速度为  $v_A = v_B \cos \theta$ , $\theta$  指绳与杆之间的夹角,则  $\theta$  先增大后减小, $\cos \theta$  先减小后增大,所以物块 A 的速度先变小后变大,故 A 错误,B 正确。物块 A 先向下做减速运动,后向上做加速运动,加速度的方向始终向上,所以物块 A 始终处于超重状态,故 C、D 错误。

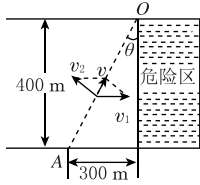


- 4 m/s  $37^\circ$

【解析】当小船在到达危险区域之前恰好到达对岸时,其合位移为 AO,如图所示,设水流速度为  $v_1$ ,小船在静水中的速度为  $v_2$ ,由几何知识知,当  $v_2 \perp v_1$  时  $v_2$  有最小值,由图知  $v_2 = v_1 \cos \theta$ , $\cos \theta = \frac{400}{\sqrt{300^2 + 400^2}} = 0.8$ ,故  $\theta = 37^\circ$ , $v_2 = 4 \text{ m/s}$ 。

- A 【解析】根据牵连运动的关系,两个小车沿绳方向的分速度大小相等,则有  $v_1 \cos \alpha = v_2 \cos \beta$ ,故  $v_2 = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} v_1$ ,选项 A 正确。

- BC 【解析】小船在匀加速运动过程中,有  $\frac{d}{2} = \frac{1}{2} a \left( \frac{t}{2} \right)^2$ ,解得  $t = 16 \text{ s}$ ,小船沿水流方向的位移大小  $x = v_R t = 48 \text{ m}$ ,因此小船过河的位移  $s = \sqrt{d^2 + x^2} = 80 \text{ m}$ ,根据平均速度公式可得,平均速度  $v = \frac{s}{t} = 5 \text{ m/s}$ ,故 A、D 错误,C 正确;小船初速度为零,过河过程中匀加速运动的位移为 32 m,根据匀加速运动公



式可得  $\frac{d}{2} = 0 + \frac{v_m}{2} \cdot \frac{t}{2}$ ,解得最大速度为  $v_m = 8 \text{ m/s}$ ,故 B 正确。

### 2 平抛运动

- B 【解析】平抛运动的时间由竖直方向下落的高度决定,A 正确。平抛运动是曲线运动,它的速度方向沿轨迹的切线方向,方向不断改变,所以平抛运动是变速运动,由于其加速度为  $g$ ,保持不变,所以平抛运动是匀变速曲线运动,故 B 错误。平抛运动的速度方向和加速度方向的夹角  $\theta$  满足  $\tan \theta = \frac{v_x}{v_y} = \frac{v_0}{gt}$ ,因为  $t$  一直增大,所以  $\tan \theta$  变小, $\theta$  变小,故 C 正确。平抛运动可以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,D 正确。
- A 【解析】水平击出的垒球做平抛运动,选项 A 正确;自由下落的石块做自由落体运动,选项 B 错误;树上掉下的树叶和飞鸟掉下的羽毛除受到重力之外,还受到空气阻力作用,不能做平抛运动,选项 C、D 错误。
- AC 【解析】匀速飞行的飞机上释放的铁球做平抛运动,在水平方向上做匀速直线运动,由于惯性,铁球水平分速度等于飞机的速度,所以这些铁球都在飞机的正下方,即在飞机的正下方排成竖直的直线,故 A 正确。由于高度一定,则每个铁球落地的时间相等,因为每隔 1 s 释放一个,落地时在水平方向上两铁球的间隔为  $\Delta x = v \Delta t$ ,所以落地点是等间距的,故 B 错误。这些铁球都做平抛运动,运动情况完全相同,所以这些铁球落地时速度的大小、方向都相同,故 C 正确。竖直方向上铁球做自由落体运动,相邻铁球在空中距离会变化,故 D 错误。
- A 【解析】要击中靶心,应该使  $h$  减小或飞镖飞行的竖直位移增大。飞镖飞行中竖直方向上有  $y = \frac{1}{2} g t^2$ ,水平方向上有  $L = v_0 t$ ,得  $y = \frac{1}{2} g \frac{L^2}{v_0^2}$ ,使  $L$  增大或  $v_0$  减小都能增大  $y$ ,选项 A 正确,选项 B、C、D 错误。
- B 【解析】运动员做平抛运动的时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,只与高度有关,与速度  $v_0$  无关,A 错误;运动员落地时在竖直方向上的速度  $v_y = \sqrt{2gh}$ ,高度越大,则落地时竖直方向上的速度越大,合速度越大,C 错误;运动员落地时的速度是初速度和落地时竖直方向上的速度的合速度, $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + 2gh}$ ,初速度  $v_0$  越大,则落地时的速度越大,B 正确;运动员在水平方向上做匀速直线运动,落地的水平位移  $x = v_0 t = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}}$ ,故落地的位置与初速度  $v_0$  有关,D 错误。
- B 【解析】三个物体做平抛运动,下落时间  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  由下落高度  $h$  决定,则  $t_A > t_B > t_C$ ;根据  $x = v_0 t$  和  $t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$  可知,初速度  $v_0 = x \sqrt{\frac{g}{2h}}$ ,由于 A、B、C 竖直位移相同时,C 的水平位移最大,B 次之,A 最小,故  $v_A < v_B < v_C$ ,B 正确。
- D 【解析】竖直分位移与水平分位移大小相等,有  $v_0 t = \frac{1}{2} g t^2$ ,所以运动的时间为  $t = \frac{2v_0}{g}$ ,此时竖直方向上的分速度  $v_y = g t = 2v_0$ ,平抛运动瞬时速度的大小为  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + (2v_0)^2} = \sqrt{5} v_0$ ,故 A、B、C 错误。此时水平方向上的位移的大小为  $x = v_0 t = \frac{2v_0^2}{g}$ ,由于此时竖直分位移与水平分位移大小相等,所以此时物体运动的位移的大小为  $\sqrt{x^2 + y^2} = \frac{2\sqrt{2} v_0^2}{g}$ ,故 D 正确。
- D 【解析】此时竖直分速度大小  $v_1 = v_0$ ,则此时物体的速度大小为  $\sqrt{v_1^2 + v_0^2} = \sqrt{2} v_0$ ,故 B 错误;竖直方向上物体做自由落体运动,竖直分位移大小为  $\frac{v_0^2}{2g}$ ,水平方向上物体做匀速直线运动,水平分位移为  $v_0 \cdot \frac{v_1}{g} = \frac{v_0^2}{g}$ ,二者不相等,故 A 错误;竖直方向上物体做自由落体运动,由  $v_1 = v_0 = g t$  可知运动时间为  $\frac{v_0}{g}$ ,故 C 错误;运动的位移为竖直分位移与水平分位移的矢量和,为

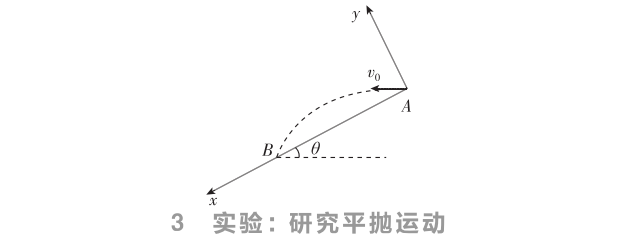


- $\sqrt{\left(\frac{v_0^2}{g}\right)^2 + \left(\frac{v_0^2}{2g}\right)^2} = \frac{\sqrt{5}v_0^2}{2g}$ , 故 D 正确。
9. AD **【解析】** 小球做平抛运动, 竖直方向为自由落体运动, 经过时间  $t=0.4\text{ s}$  下落距离为  $h=\frac{1}{2}gt^2=0.8\text{ m}$ ,  $\Delta x=\sqrt{R^2-h^2}=0.6\text{ m}$ . 小球可能落在圆心右下方的圆周上, 水平位移  $x_1=R+\Delta x=1.6\text{ m}$ , 则  $v_0=\frac{x_1}{t}=4\text{ m/s}$ , D 正确; 小球还可能落在圆心左下方的圆周上, 水平位移  $x_2=R-\Delta x=0.4\text{ m}$ , 则  $v_0=\frac{x_2}{t}=1\text{ m/s}$ , A 正确。
10. C **【解析】** 设斜面倾角为  $\alpha$ , 物体落在斜面上时速度方向与水平方向的夹角为  $\theta$ , 物体落在斜面上时, 有  $\tan\alpha=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$ ,  $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$ , 因此  $\tan\theta=2\tan\alpha$  为定值, 与物体的初速度无关, 所以  $\theta_1=\theta_2=\theta_3$ , 故 C 正确。
11. A **【解析】** 在 B 点, 小球的速度方向与水平方向成  $30^\circ$  角, 由速度的分解可知, 竖直分速度大小  $v_y=v_0\tan 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{3}v_0$ , 而  $v_y=gt$ ,  $v_0t=R+R\cos 60^\circ$ , 解得  $R=\frac{5}{3}\sqrt{3}\text{ m}$ , 故 A 正确。
12. B **【解析】** 竖直方向上有  $L\sin\theta=\frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t=\sqrt{\frac{2L\sin\theta}{g}}$ , 平抛运动的初速度  $v_0=\frac{L\cos\theta}{t}=\sqrt{\frac{gL\cos^2\theta}{2\sin\theta}}$ , B 正确。
13. ABD **【解析】** 物体从抛出到最高点, 逆着看为平抛运动, 在最高点时速度为平抛初速度, 即  $v_x=v_0\cos\theta$ , C 错误; 在 A 点时竖直分速度  $v_y=v_0\sin\theta$ , 平抛运动时间  $t=\frac{v_y}{g}=\frac{v_0\sin\theta}{g}$ , A 正确; 上升的最大高度  $h=\frac{v_y^2}{2g}=\frac{(v_0\sin\theta)^2}{2g}$ , B 正确; 水平射程为  $x=v_xt$ , 则  $x_{AB}=2x=\frac{2v_0^2\sin\theta\cos\theta}{g}$ , D 正确。
14. (1)1000 m (2)800 m **【解析】** (1)根据  $H=\frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 500}{10}}\text{ s}=10\text{ s}$  则飞机投弹处与汽车的水平距离  $x=v_1t=100\times 10\text{ m}=1000\text{ m}$ . (2)炸弹做的是平抛运动, 在竖直方向上做自由落体运动, 由  $H=\frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t=\sqrt{\frac{2H}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 500}{10}}\text{ s}=10\text{ s}$ , 在水平方向上做匀速直线运动, 则  $s=v_0t=10\times 100\text{ m}=1000\text{ m}$  在此段时间内汽车向前行驶的距离  $s_0=10\times 20\text{ m}=200\text{ m}$  故  $s_1=s-s_0=1000\text{ m}-200\text{ m}=800\text{ m}$ .
15. BD **【解析】** 小球若恰好能击中 P 点, 则击中 P 点之前可能碰撞 0, 2, 4, … 次, 即各次碰撞间的水平位移大小之和为  $(2n+1)d$ , 其中  $n=0, 1, 2, \dots$ , 小球下落时间为  $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=0.5\text{ s}$ , 平抛运动过程中, 有  $v_0t=(2n+1)d$ , 从 A 到 O 的过程中, 有  $v^2-v_0^2=2\mu gs$ , 联立解得  $v=\sqrt{\frac{(2n+1)^2+4}{4}}(\text{m/s}) (n=0, 1, 2, \dots)$ , 故 B、D 正确。
16. A **【解析】** 两次小球均落在同一斜面上, 则二者位移与水平面的夹角相同, 有  $\frac{\frac{1}{2}gt_1^2}{vt_1}=\frac{\frac{1}{2}gt_2^2}{0.5vt_2}$ , 解得  $t_1:t_2=2:1$ , 由  $y=\frac{1}{2}gt^2$  可知, 竖直方向上的位移之比  $y_1:y_2=t_1^2:t_2^2=4:1$ , 由几何关系可得  $AB:AC=y_1:y_2=4:1$ .
17. (1)1 s (2)4.5 m **【解析】** (1)A、B 两球抛出后的水平位移之差  $\Delta x=v_0\Delta t=3.6\text{ m}$  线被拉直时, A、B 两球在竖直方向上的位移之差  $\Delta y=\sqrt{L^2-(\Delta x)^2}=4.8\text{ m}$  在竖直方向上, 有  $\Delta y=\frac{1}{2}gt^2-\frac{1}{2}g(t-\Delta t)^2=gt\Delta t-$

- $\frac{1}{2}g(\Delta t)^2$  联立解得  $t=1\text{ s}$  (2)A 球的水平位移  $x_1=v_0t=4.5\text{ m}$
- 习题课：平抛运动规律的应用**
1. D **【解析】** 物体从斜面顶端抛出后落到斜面上, 物体的位移与水平方向的夹角等于斜面倾角  $\theta$ , 即  $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0t}=\frac{gt}{2v_0}$ , 物体落到斜面上时速度方向与水平方向的夹角的正切值  $\tan\varphi=\frac{v_y}{v_x}=\frac{gt}{v_0}$ , 故可得  $\tan\varphi=2\tan\theta$ , 选项 D 正确。
2. C **【解析】** 物体垂直地撞在倾角  $\theta$  为  $30^\circ$  的斜面上, 根据几何关系可知速度方向与水平方向的夹角为  $\alpha=90^\circ-\theta=90^\circ-30^\circ=60^\circ$ , 而  $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}=\sqrt{3}$ , 得出时间  $t=\sqrt{3}\text{ s}$ , C 正确。
3. B **【解析】** 在 C 点的速度方向与斜面平行, 有  $\tan\theta=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$ , 故从 A 到 C 的时间为  $t=\frac{v_0\tan\theta}{g}$ , 设小球从 A 到 B 的时间为  $t'$ , 有  $\tan\theta=\frac{y}{x}=\frac{\frac{1}{2}gt'^2}{v_0t'}=\frac{gt'}{2v_0}$ , 解得  $t'=\frac{2v_0\tan\theta}{g}$ , 所以从 A 到 C 的时间与从 C 到 B 的时间相等, 将速度沿斜面和垂直于斜面方向进行分解, 从 A 到 C 沿斜面的速度分量平均值小于从 C 到 B 沿斜面的速度分量平均值, 所以  $x_1<x_2$ , 且  $x_1$ 、 $x_2$  的大小关系与  $v_0$ 、 $H$  无关, B 正确。
4. B **【解析】** B 的竖直位移较小, 根据  $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$  可知, B 运动的时间较短, 则 B 后抛出; B 的水平位移较大, 根据  $v_0=\frac{x}{t}$  可知, B 的初速度较大, 故 B 正确。
5. C **【解析】** 因为两小球下落的高度之比为  $2:1$ , 两球的水平位移之比为  $2:1$ , 故小球 a、b 到达斜面底端时的位移之比为  $2:1$ , B 错误; 根据  $h=\frac{1}{2}gt^2$  得  $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 则时间之比为  $\sqrt{2}:1$ , 根据  $v_0=\frac{x}{t}$  可知, 初速度之比为  $\sqrt{2}:1$ , A 错误; 小球落在斜面上, 速度方向与水平方向的夹角的正切值是位移与水平方向的夹角的正切值的 2 倍, 因为位移与水平方向的夹角相等, 则速度与水平方向的夹角相等, 到达斜面底端时速度方向与斜面的夹角也相等, C 正确; 由竖直方向做自由落体运动, 有  $v_{0y}=\sqrt{2}v_{0y}$ , 合速度  $v_{\text{合}}=\sqrt{v_x^2+v_y^2}$ , 故到达斜面底端时速度大小之比为  $\sqrt{2}:1$ , D 错误。
6. A **【解析】** 甲做平抛运动, 由  $h=\frac{1}{2}gt^2$ , 解得  $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ , 乙在斜面上下滑的加速度为  $a=\frac{mg\sin 45^\circ}{m}=g\sin 45^\circ=\frac{\sqrt{2}}{2}g$ , 根据  $\sqrt{2}h=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ , 解得  $v_0=\frac{1}{2}\sqrt{gh}$ , A 正确。
7. (1)10 m/s (2)14.5 m/s **【解析】** (1)设石块运动所需时间为  $t_1$ , 对于动物, 其运动的位移  $x_1=vt_1$  对于石块, 在竖直方向上, 有  $(L+x_1)\sin 37^\circ=\frac{1}{2}gt_1^2$  在水平方向上, 有  $(L+x_1)\cos 37^\circ=v_0t_1$  联立解得  $v_0=10\text{ m/s}$  (2)假设动物开始时在斜面的底端, 对于动物, 其运动的位移  $x_2=vt_2$  对于石块, 在竖直方向上, 有  $L\sin 37^\circ=\frac{1}{2}gt_2^2$  在水平方向上, 有  $L\cos 37^\circ+x_2=v_0t_2$  联立解得  $v_0=14.5\text{ m/s}$ .
8. (1) $5\text{ m/s}<v_0<13\text{ m/s}$  (2) $5\sqrt{5}\text{ m/s}$

- 【解析】** (1)当小球擦着围墙落在空地上时, 平抛的速度最小, 设为  $v_1$ , 有  $H-h=\frac{1}{2}gt_1^2$   $L=v_1t_1$  联立解得  $v_1=5\text{ m/s}$  当小球落到空地右边界时, 平抛的速度最大, 设为  $v_2$ , 有  $H=\frac{1}{2}gt_2^2$   $L+x=v_2t_2$  联立解得  $v_2=13\text{ m/s}$  所以小球离开屋顶时的速度  $v_0$  的大小范围为  $5\text{ m/s}<v_0<13\text{ m/s}$  (2)当小球擦着围墙落在空地上时, 落地的速度最小, 此时水平分速度  $v_x=v_1=5\text{ m/s}$  竖直分速度  $v_y=\sqrt{2gH}=10\text{ m/s}$  则合速度  $v_m=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=5\sqrt{5}\text{ m/s}$
9. A **【解析】** 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, 在 A 点速度与水平方向的夹角为  $\theta_1$ ,  $\tan\theta_1=\frac{v_y}{v_0}=\frac{gt}{v_0}$ . 位移与竖直方向的夹角为  $\theta_2$ ,  $\tan\theta_2=\frac{x}{y}=\frac{v_0t}{\frac{1}{2}gt^2}=\frac{2v_0}{gt}$ , 则  $\tan\theta_1\tan\theta_2=2$ , A 正确。
10. D **【解析】** 飞机投弹过程中, 炮弹可视为做平抛运动, 且其水平分速度与飞机相同, 此时炮弹在空中排列成一条直线, 但炮弹彼此间相对运动是匀速直线运动, 间距逐渐拉大. 若落地点水平, 根据相对运动可知  $\Delta t_1=\Delta t_2$ ; 若落地点倾斜, 相当于延长后面炮弹的落地时间, 故  $\Delta t_1<\Delta t_2$ , 选项 D 正确。
11. C **【解析】** 平抛运动的水平分速度不变, 通过 A 点时速度大小  $v_A=10\text{ m/s}$ , 可知小球的水平分速度即平抛初速度  $v_0=v_{Ax}=v_A\sin 60^\circ=5\sqrt{3}\text{ m/s}$ , 竖直分速度  $v_{Ay}=v_A\cos 60^\circ=5\text{ m/s}$ , 根据几何关系可知, 小球通过 B 点时速度大小  $v_B=\frac{v_0}{\sin 30^\circ}=10\sqrt{3}\text{ m/s}$ , 竖直分速度  $v_{By}=v_B\cos 30^\circ=15\text{ m/s}$ , 小球从 A 点运动到 B 点的时间  $t=\frac{v_{By}-v_{Ay}}{g}=1\text{ s}$ , 竖直方向上的分位移  $y=\frac{v_{By}^2-v_{Ay}^2}{2g}=10\text{ m}$ , 水平方向上的分位移  $x=v_0t=5\sqrt{3}\text{ m}$ , 则 A、B 之间的距离  $s=\sqrt{x^2+y^2}=13.2\text{ m}$ , 故 A、B、D 错误, C 正确。
12. BD **【解析】**  $v$ - $t$  图像中图线与  $t$  轴所围成的面积表示位移大小, 由图像可得, 第二次滑翔的图线与  $t$  轴围成的面积比第一次的大, 所以第二次滑翔过程中在竖直方向上的位移比第一次的大, 选项 A 错误; 由几何关系可知, 第二次滑翔过程中在水平方向上的位移比第一次的大, 选项 B 正确; 由图像可知, 在竖直方向上,  $\Delta v_1>\Delta v_2$ ,  $t_1<t_2$ , 由  $\bar{a}=\frac{\Delta v}{\Delta t}$ , 可得  $\bar{a}_1>\bar{a}_2$ , 选项 C 错误; 在竖直方向上, 由牛顿第二定律有  $mg-f=ma$ , 得  $f=mg-ma$ ,  $v$ - $t$  图像中图线的斜率表示加速度, 由图像可知, 竖直方向上的速度大小为  $v_1$  时,  $a_1>a_2$ , 则  $f_1<f_2$ , 故选项 D 正确。
13. (1)20 m/s (2) $10\sqrt{13}\text{ m/s}$  (3)9 m **【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, 则有  $v_0t=L\cos 37^\circ$   $\frac{1}{2}gt^2=L\sin 37^\circ$  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)采用正交分解法, 将该运动沿斜坡和垂直于斜坡两个方向分解, 建立如图所示的坐标系, 物体在沿  $x$  轴方向上做匀加速直线运动, 在沿  $y$  轴方向上做匀减速直线运动, 则有  $v_{0x}=v_0\cos\theta$   $v_{0y}=v_0\sin\theta$   $a_x=g\sin\theta$   $a_y=g\cos\theta$  设最远距离为  $h$ , 有  $h=\frac{v_{0y}^2}{2a_y}$

联立解得  $h=9\text{ m}$



### 3 实验：研究平抛运动

1. AB **【解析】** 根据装置图可知, 两球由相同高度同时运动, P 做平抛运动, Q 做自由落体运动, 因此将同时落地, 故 A 正确; 两球同时落地, 说明 P、Q 在竖直方向上的运动规律是相同的, 故根据实验结果可知, 平抛运动在竖直方向上的分运动是自由落体运动, 小锤打击金属片的力越大, P 球获得的水平方向的初速度越大, 落地时速度也大, 故 B 正确; 两球在空中运动的时间相等, 与小锤打击金属片的力无关, C 错误; P 球水平方向的分运动的规律无法确定, 故 D 错误。
2. ACD **【解析】** 木板要竖直, 保证描点准确, A 正确, B 错误; 为保证小球每次做平抛运动的初速度相同, 每次实验都要把小球从同一位置由静止释放, C 正确; 实验的目的是描出小球的运动轨迹, 分析平抛运动的规律, 进而求出初速度, D 正确。
3. (1)匀速直线 平抛运动的水平分运动是匀速直线运动 (2)3、35 **【解析】** (1)让两小球从相同的弧形轨道上相同高度处滚下, 从而使两小球同时滚离轨道并具有相同的速度. 小球 A 做平抛运动, 小球 B 做匀速直线运动, 两小球相遇, 当改变 A 球所在圆弧轨道所在的高度时, 两球仍能相碰, 则说明平抛运动在水平方向上是匀速直线运动. (2)小球做平抛运动, 在竖直方向, 有  $h=9L=\frac{1}{2}gt^2$ ,  $v_y=gt$  在水平方向, 有  $9L=v_0t$  A 到达 P 点的速度为  $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$  将  $L=5\text{ cm}$  代入, 解得  $v\approx 3.35\text{ m/s}$ .
4. (1)斜轨末端水平、插槽  $P_0P_0'$  垂直斜轨末端并在斜轨末端正下方 使小球每次做平抛运动的初速度都相同 (2)使记录纸上每两点之间的水平距离等于小球在水平方向实际运动的距离 (3)如图所示
5. (1)见解析 (2)偏大 **【解析】** (1)直角坐标系的原点应建在钢球飞离槽口时球心的水平投影点处, 它在槽口正上方  $r$  处 ( $r$  为钢球半径), 而该同学却错误地将坐标原点取在槽口处. (2)由于坐标系的原点较实际偏下, 即运用公式  $v_0=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$  求初速度时,  $y$  偏小, 所以求得的  $v_0$  值偏大.
6. (1)5 (2)3 (3)5 **【解析】** (1)从图中看出, A、B 间与 B、C 间的水平位移相等, 即  $x=3L$ , 因此这三个点是等时间间隔点, 竖直方向上两段相邻位移之差是定值, 即  $\Delta y=gT^2=2L$ , 解得  $T=\sqrt{\frac{2L}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 0.2}{10}}\text{ s}=0.2\text{ s}$ , 则  $f=\frac{1}{T}=5\text{ Hz}$ .
- (2)根据  $v_0=\frac{x}{T}$ , 解得  $v_0=\frac{3\times 0.2}{0.2}\text{ m/s}=3\text{ m/s}$ .
- (3)小球抛到 B 点时竖直方向的速度为  $v_{yB}=\frac{8L}{2T}=\frac{8\times 0.2}{2\times 0.2}\text{ m/s}=4\text{ m/s}$ , 所以小球经过 B 点时的速度为  $v_B=\sqrt{v_0^2+v_{yB}^2}=\sqrt{3^2+4^2}\text{ m/s}=5\text{ m/s}$ .
7. (1)正比 (2)计算时重力加速度取值 ( $10\text{ m/s}^2$ ) 大于实际值 (3)光电门传感器安装在斜槽端口的内侧, 传感器的中心离槽口还有一段很小的距离
8. (1)自由落体 匀速直线 (2)刻度尺 同一 让轨道末端水平  $\sqrt{\frac{gx^2}{2y}+2gy}$  BAD C (3)2 0.2

9. 见解析  
【解析】(1)若只有秒表,可用玩具手枪从地面竖直向上发射子弹,用秒表记下从发射到子弹落回地面所用的时间 $t$ ,则子弹上升的时间为 $\frac{t}{2}$ ,故子弹初速度 $v_0=\frac{gt}{2}$ .  
(2)若只有米尺,可用玩具手枪将子弹从某一高度处水平射出,用米尺测量射出时离地面的高度 $h$ 和水平射程 $s$ ,则子弹初速度 $v_0=\frac{s}{t}=s\sqrt{\frac{g}{2h}}$ .

10. 水柱的水平位移 $x$  水柱的竖直位移 $y$   $\frac{\pi D^2 x \sqrt{2gy}}{8y}$   
【解析】水从水泵的出水管中流出后,不计阻力,可视为平抛运动,只需要测出水柱的水平位移 $x$ 和水柱的竖直位移 $y$ ,即可得到水从管口流出的初速度 $v_0=\frac{x}{t}=x\sqrt{\frac{g}{2y}}$ ,则水泵的流量 $Q=Sv_0=\pi\left(\frac{D}{2}\right)^2 v_0=\frac{\pi D^2 x \sqrt{2gy}}{8y}$ .

#### 4 圆周运动

1. B 【解析】在匀速圆周运动中,角速度保持不变,线速度大小不变而方向时刻变化,选项B正确.  
2. C 【解析】匀速圆周运动是曲线运动,物体有加速度,处于非平衡状态,故A正确;角速度描述匀速圆周运动中物体绕圆心转动的快慢,线速度表示单位时间内通过的弧长,都可以描述运动的快慢,故B正确;匀速圆周运动的过程中,线速度的大小不变,但方向改变,故不是匀速运动,物体所受合力不可能为0,故C错误,D正确.  
3. BC 【解析】匀速圆周运动的线速度 $v=2\pi rn$ ,则 $n=\frac{v}{2\pi r}$ ,故线速度越大,其转速不一定越大,因为还与 $r$ 有关,A错误;匀速圆周运动的角速度 $\omega=2\pi n$ ,则 $n=\frac{\omega}{2\pi}$ ,所以角速度大时,其转速一定大,B正确;匀速圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi r}{v}$ ,则线速度一定时,半径越大,则周期越长,C正确;匀速圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}$ ,与半径无关,且角速度越大,则质点的周期一定越短,D错误.  
4. C 【解析】由题意可知,物体做匀速圆周运动的线速度为 $v=\frac{100\text{ m}}{10\text{ s}}=10\text{ m/s}$ ,而圆的半径为 $r=2\text{ m}$ ,由 $v=r\omega$ 得角速度 $\omega=5\text{ rad/s}$ .  
5. AC 【解析】A、B两点的角速度相同,由 $v=\omega r$ 得, $v_B=\omega R$ , $v_A=\omega R\cos 30^\circ$ ,所以 $\frac{v_A}{v_B}=\frac{\omega R\cos 30^\circ}{\omega R}=\frac{\sqrt{3}}{2}$ .  
6. B 【解析】时针运动的周期为12 h,分针运动的周期为1 h,周期比为12:1.根据 $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 可知,时针和分针的角速度之比为1:12.时针与分针从第一次重合到第二次重合,有 $\omega_{\text{分}}t+2\pi=\omega_{\text{时}}t$ ,则 $t=\frac{2\pi}{\omega_{\text{分}}-\omega_{\text{时}}}=\frac{2\pi}{\frac{11}{12}\omega_{\text{分}}-\frac{11}{12}\cdot\frac{2\pi}{T_{\text{分}}}}=\frac{12}{11}\text{ h}$ ,故B正确,A、C、D错误.  
7. B 【解析】当陀螺绕垂直于地面的轴线以角速度 $\omega$ 稳定旋转时, $a$ 、 $b$ 和 $c$ 三点的角速度相同, $a$ 半径小,线速度要比 $b$ 、 $c$ 的小,A、C错误,B正确; $b$ 、 $c$ 两点的线速度大小始终相同,都比 $a$ 点的线速度大,D错误.  
8. B 【解析】两小球固定于同一杆的两端,绕同一轴转动,故角速度相同,因此, $v_1=\omega R_1$ , $v_2=\omega R_2$ ,且 $R_1+R_2=L$ ,联立解得 $R_2=\frac{v_2}{v_1+v_2}L$ .  
9. D 【解析】 $a$ 、 $d$ 两点靠摩擦传动,线速度大小相等, $a$ 、 $d$ 的半径不相等,根据 $v=\omega r$ 可知,两点的角速度不等,而 $b$ 、 $d$ 的角速度相等,所以 $a$ 、 $b$ 两点的角速度不相等,A、B错误,D正确; $b$ 、 $c$ 两点同轴转动,所以角速度相同,但半径不同,根据 $v=\omega r$ 可知,两点的线速度不等,C错误.  
10. D 【解析】三个轮子靠摩擦传动,所以它们的线速度大小相等,由公式 $v=\omega r$ 得, $\omega_1 r_1=\omega_2 r_2=\omega_3 r_3$ ,所以丙轮的角速度为 $\frac{r_1\omega_1}{r_3}$ ,故D正确.  
11. B 【解析】飞镖水平方向做匀速直线运动,到圆盘的时间为 $t=\frac{L}{v_0}$ ,此段时间内圆盘转过的角度为 $\omega t=\pi(1+2n)$ ( $n=0,1,2,3,$

- $\cdots$ ),由以上两式可得: $\omega L=\pi(1+2n)v_0$ ( $n=0,1,2,3,\cdots$ ),故选项C错误,B正确.由平抛运动的两个分运动具有等时性,有 $t=\frac{L}{v_0}=\sqrt{\frac{2d}{g}}$ ,得 $2dv_0^2=L^2g$ , $2d\omega^2=g\pi^2(1+2n)^2$ ( $n=0,1,2,3,\cdots$ ),故选项A、D错误.  
12. AC 【解析】由题意知圆筒上只有一个弹孔,说明子弹穿过圆筒时,圆筒转过的角度应满足 $\theta=(2k+1)\pi$ ( $k=0,1,2,\cdots$ ),子弹穿过圆筒所用的时间 $t=\frac{d}{v}=\frac{\theta}{\omega}$ ,则子弹的速度 $v=\frac{d\omega}{(2k+1)\pi}$ ( $k=0,1,2,\cdots$ ),故选项A、C正确.  
13. D 【解析】由于质点的位移是从起点指向终点的有向线段,所以做匀速圆周运动的质点在 $\Delta t$ 时间内位移的大小等于弦的长度, $\Delta t$ 时间内转过角度 $\theta=\omega\Delta t$ ,弦长 $L=2R\sin\frac{\theta}{2}=2R\sin\frac{1}{2}\omega\Delta t$ .  
14. B 【解析】开始篮球随大平台一起转动,有垂直半径方向的速度 $\omega R$ (逆时针),想把篮球投入球筐,需要篮球的实际速度方向沿半径指向圆心.根据速度的合成与分解可知,B正确.  
15. (1)2 m/s (2)0.45 s 0.9 m  
【解析】(1) $v=\omega r=20\times 0.1\text{ m/s}=2\text{ m/s}$ .  
(2)小球离开桌面后做平抛运动,竖直方向上,有 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 解得 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}=\sqrt{\frac{2\times 1}{10}}\text{ s}=0.45\text{ s}$ 水平方向上,有 $x=vt=2\times 0.45\text{ m}=0.9\text{ m}$ .  
16.  $v_0=n\pi R\sqrt{\frac{2g}{h}}$ ( $n=1,2,3,\cdots$ )  
【解析】小球在竖直方向做自由落体运动,则 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 由于圆筒内壁光滑,故小球在水平方向做匀速圆周运动,若小球恰能从 $B$ 处飞出,则水平方向做圆周运动的路程为 $s=n\cdot 2\pi R$ ( $n=1,2,3,\cdots$ )所以小球进入时的速度为 $v_0=\frac{s}{t}=n\pi R\sqrt{\frac{2g}{h}}$ ( $n=1,2,3,\cdots$ ).  
17. B 【解析】 $P$ 转动的周期 $T_P=\frac{2\pi r_P}{v}=0.14\text{ s}$ , $Q$ 转动的周期 $T_Q=\frac{2\pi r_Q}{v}=0.08\text{ s}$ ,经历的时间必须等于这两个周期的公倍数,根据数学知识,0.14 s和0.08 s的最小公倍数为0.56 s,所以经历的时间最小为0.56 s,故B正确.
- #### 5 向心加速度
1. AC 【解析】向心加速度的方向沿半径指向圆心,故选项C正确;圆周运动的速度方向沿着圆的切线方向,所以向心加速度的方向与速度方向互相垂直,故选项A正确;物体做圆周运动时,向心加速度的方向在不断地变化,所以向心加速度不是恒定的,故选项B错误;地球上各点做圆周运动的圆心在地球自转的转轴上,向心加速度并不都是指向地心,故选项D错误.  
2. BD 【解析】加速度是描述速度变化快慢的物理量,向心加速度是描述线速度方向变化快慢的物理量,A错误,B正确;只有匀速圆周运动的向心加速度大小才不变,C错误;各类圆周运动的向心加速度都可以用 $a_n=\frac{v^2}{r}$ 来计算,D正确.  
3. BCD 【解析】做匀速圆周运动的物体的向心加速度大小不变,方向不断变化,选项A错误;匀速圆周运动的速度方向不断变化,是变速运动,选项B正确;向心加速度方向一定指向圆心,选项C正确;物体做半径一定的匀速圆周运动时,根据 $v=\omega r$ 可知,其线速度大小与角速度成正比,选项D正确.  
4. CD 【解析】只有当线速度一定时, $a_n$ 与 $r$ 才成反比;只有当角速度一定时, $a_n$ 与 $r$ 才成正比,选项A、B错误,选项C正确.公式 $\omega=2\pi n$ 中, $2\pi$ 为常数,所以角速度 $\omega$ 与转速 $n$ 成正比,选项D正确.  
5. CD 【解析】质点沿螺旋线自外向内运动,说明半径 $R$ 不断减小,其走过的弧长 $s$ 与运动时间 $t$ 成正比,根据 $v=\frac{s}{t}$ 可知,线速度大小不变,故A错误;根据 $a=\frac{v^2}{R}$ 可知, $v$ 不变, $R$ 减小时, $a$ 增

- 大,故B错误;根据 $\omega=\frac{v}{R}$ 可知, $v$ 不变, $R$ 减小时, $\omega$ 增大,故C正确;由于速度大小不变,所以加速度只有向心加速度分量,加速度与线速度方向始终垂直,故D正确.  
6. BCD 【解析】演员转动的速度逐渐变快,说明角速度变大,而 $v=\omega r$ , $a_n=\omega^2 r$ , $T=\frac{2\pi}{\omega}$ ,随着 $\omega$ 的增大, $v$ 、 $a_n$ 将变大, $T$ 将变小,选项A错误,B、C、D正确.  
7. BCD 【解析】共轴转动的各点角速度相等,故 $a$ 、 $b$ 两点的角速度相等,但运动半径不相等,所以线速度大小不相等,故A错误,B正确;设球的半径为 $R$ ,当 $\theta=30^\circ$ 时, $a$ 的运动半径 $r=R\cos 30^\circ=\frac{\sqrt{3}}{2}R$ , $b$ 的运动半径为 $R$ ,根据 $v=r\omega$ 可知, $v_a:v_b=\sqrt{3}:2$ ,根据 $a=r\omega^2$ 可知, $a_a:a_b=\sqrt{3}:2$ ,故C、D正确.  
8. D 【解析】因电动机皮带轮和机器皮带轮由同一皮带连接,所以它们边缘上点的线速度大小相等,根据 $v=n\cdot 2\pi r$ 可知,半径不同的两个轮子的转速与它们的半径成反比,所以电动机皮带轮与机器皮带轮的转速之比 $n_1:n_2=r_2:r_1=2:1$ ,故A错误;根据 $v=\omega r$ 可知,半径不同的两个轮子的角速度不同,故B错误;根据向心加速度的公式 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知,电动机皮带轮边缘上某点与机器皮带轮边缘上某点的向心加速度大小之比与它们的半径成反比,则 $a_1:a_2=r_2:r_1=2:1$ ,故C错误;机器皮带轮边缘的点与A点具有相等的角速度,根据 $v=\omega r$ 可知,机器皮带轮边缘的点与A点的线速度大小之比 $v:v_A=r_2:r_A=2:1$ ,根据向心加速度的公式 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知,电动机皮带轮边缘上某点与机器皮带轮上A点的向心加速度之比为 $a_1:a_A=v^2:v_A^2=4:1$ ,故D正确.  
9. A 【解析】甲、丙两轮边缘上的点的线速度大小相等,根据 $a=\frac{v^2}{r}$ 可知,甲、丙两轮边缘上的点的向心加速度之比为 $r_3:r_1$ ,因 $a_{\text{甲}}=r_1\omega^2$ ,则 $a_{\text{丙}}=\frac{r_1^2\omega^2}{r_3}$ ,故A正确.  
10. D 【解析】小球在水平面内做匀速圆周运动,运动半径为 $R=L\sin\theta+r$ ,由重力和细绳拉力的合力提供向心力,由牛顿第二定律得 $a=\omega^2 R=\omega^2(r+L\sin\theta)$ .  
11. B  
12. 375 m  
【解析】由 $a_n=\frac{v^2}{r}$ 可得, $r=\frac{v^2}{a_n}=\frac{150^2}{6\times 10}\text{ m}=375\text{ m}$ .  
13. 24 cm/s<sup>2</sup> 4 cm/s<sup>2</sup>  
【解析】大轮边缘上A点的线速度大小与小轮边缘上B点的线速度大小相等.由 $a_A=\frac{v^2}{R}$ 和 $a_B=\frac{v^2}{r}$ 得 $a_B=\frac{R}{r}a_A=24\text{ cm/s}^2$ C点和A点同在大轮上,角速度相同,由 $a_A=\omega^2 R$ 和 $a_C=\omega^2\cdot\frac{R}{3}$ 得 $a_C=\frac{a_A}{3}=4\text{ cm/s}^2$ .  
14. (1)60 $\sqrt{2}\text{ m}$  (2)30 $\pi\text{ m}$  (3)15 m/s<sup>2</sup>  
【解析】(1)轿车的位移大小为从初位置到末位置的有向线段的长度,做圆周运动转过的角度为90°,故位移 $x=\sqrt{2}R=\sqrt{2}\times 60\text{ m}=60\sqrt{2}\text{ m}$ .  
(2)轿车运动的路程等于圆周运动的弧长,即 $s=R\theta=60\times\frac{\pi}{2}\text{ m}=30\pi\text{ m}$ .  
(3)向心加速度 $a_n=\frac{v^2}{R}=\frac{30^2}{60}\text{ m/s}^2=15\text{ m/s}^2$ .  
15. D 【解析】A轮通过链条分别与C、D连接,自行车可有两种挡位,B轮通过链条分别与C、D连接,又可有两种挡位,所以该车可变换4种挡位,故A错误.同缘传动边缘点线速度相等,当B轮与C轮组合时,两轮的线速度大小相等,故B错误.当A轮与D轮组合时,两轮边缘线速度大小相等,A轮的齿数与转动圈数的乘积等于B轮的齿数与转动圈数的乘积,则 $N_A\frac{\omega_A t}{2\pi}=N_D\frac{\omega_D t}{2\pi}$ ,解得 $\omega_A:\omega_D=N_D:N_A=12:48=1:4$ ,故C错误.当A轮与C轮组合时,两轮边缘线速度大小相等,A轮的齿数与转动圈数的乘积等于B轮的齿数与转动圈数的乘积,则 $N_A\frac{\omega_A t}{2\pi}=N_D\frac{\omega_D t}{2\pi}$ ,解得 $\omega_A:\omega_D=N_D:N_A=12:48=3:8$ ,两轮上边缘点

$N_C\frac{\omega_C t}{2\pi}$ ,解得 $\omega_A:\omega_C=N_C:N_A=18:48=3:8$ ,两轮上边缘点

M和N的线速度大小相等,根据向心加速度公式 $a=\frac{v^2}{r}=v\omega$ 可知,向心加速度之比 $a_M:a_N=\omega_M:\omega_N=\omega_A:\omega_C=3:8$ ,故D正确.  
16. (1)1:2:1 (2)2:4:1  
【解析】(1)A、C共轴转动,角速度相等,即 $\omega_A:\omega_B=1:1$ ,A、B两点靠皮带传动,线速度大小相等,根据 $v=r\omega$ 可知, $\omega_A:\omega_B=r_2:r_1=1:2$ ,所以A、B、C三点的角速度之比 $\omega_A:\omega_B:\omega_C=1:2:1$ .  
(2)A、B两点靠皮带传动,线速度大小相等,即 $v_A:v_B=1:1$ ,A、C共轴转动,角速度相等,根据 $v=r\omega$ 可知, $v_A:v_C=r_1:r_3=2:1$ ,所以A、B、C三点的线速度大小之比 $v_A:v_B:v_C=2:2:1$ ,根据 $a_n=v\omega$ 可知,A、B、C三点的向心加速度大小之比为2:4:1.

#### 6 向心力

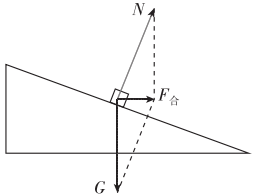
- 第1课时 实验:探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系  
1. 角速度 操作三 线速度 操作二  
【解析】操作一和操作三都是每秒转动一圈,则角速度相等,根据 $F=m\omega^2 r$ 可知,半径大时所需的向心力大,则拉力大,所以操作三感到绳子拉力较大;操作三和操作二比较,操作三1 s内转过的弧长为 $2\pi\times 2r=4\pi r$ ,操作二1 s内转过的弧长为 $2\times 2\pi r=4\pi r$ ,可知线速度相同,根据 $F=\frac{mv^2}{r}$ 可知,半径小时所需的向心力大,则拉力,大所以操作二感到绳子拉力较大.  
2. A  
3. 控制变量 丙 乙  
【解析】保持 $m$ 、 $\omega$ 、 $r$ 任意两个量不变,研究小球做圆周运动所需的向心力 $F$ 与第三个量之间的关系,这种实验方法叫作控制变量法.要研究向心力与半径的关系,应保持小球的质量和角速度不变,改变半径,可知采用图丙.要研究向心力与角速度之间的关系,应保持半径和小球的质量不变,改变角速度,可知采用图乙.  
4. (1)B (2)D  
5. (1)A (2)C (3)B  
【解析】(1)根据控制变量法的原理可知,在探究向心力的大小 $F$ 与质量 $m$ 的关系时,要保持其他的物理量不变,即保持角速度 $\omega$ 与半径 $r$ 相同,故A正确.  
(2)图中所示两球的质量相同,转动的半径相同,则探究的是向心力的大小 $F$ 与角速度 $\omega$ 的关系,故C正确.  
(3)根据 $F=m\omega^2 r$ ,两球的向心力之比为1:9,半径和质量相等,则转动的角速度之比为1:3,因为靠皮带传动,变速齿轮的线速度大小相等,根据 $v=r\omega$ 可知,与皮带连接的变速齿轮塔对应的半径之比为3:1,故B正确.  
6. (1) $\sqrt{\frac{2h}{g}}$  (2) $\frac{mgs^2}{2hL}$  (3) $\sqrt{\frac{s^2g}{2h}+2gh}$   
【解析】(1)小球飞出后做平抛运动,根据 $h=\frac{1}{2}gt^2$ 得,小球在空中运动的时间 $t=\sqrt{\frac{2h}{g}}$ .  
(2)绳子的拉力等于小球做圆周运动的向心力,小球的线速度 $v_0=\frac{s}{t}=s\sqrt{\frac{g}{2h}}$ ,则拉力 $F=m\frac{v_0^2}{L}=\frac{mgs^2}{2hL}$ .  
(3)落地时的竖直分速度 $v_y=\sqrt{2gh}$ ,根据平行四边形定则知,小球落地时的速度 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{\frac{s^2g}{2h}+2gh}$ .  
7. (1) $\frac{d}{r\Delta t}$  (2)小于  
【解析】(1)挡光杆转动的线速度 $v=\frac{d}{\Delta t}$ ,则角速度 $\omega=\frac{v}{r}=\frac{d}{r\Delta t}$ .  
(2)若保持角速度和半径都不变,则物体做圆周运动的向心加速度不变,由牛顿第二定律 $F=ma$ 可知,质量大的物体需要的向心力大,所以曲线①对应的砝码质量小于曲线②对应的砝码质量.  
8. (1) $F=0.88v^2$  (2)线速度 (3)0.088 kg  
【解析】(1)研究数据表和图乙中B图,可得出 $F\propto v^2$ ,进一步研究知图乙中斜率 $k\approx 0.88$ ,故 $F$ 与 $v$ 的关系式为 $F=0.88v^2$ .  
(3)因为 $F=m\frac{v^2}{r}=0.88v^2$ , $r=0.1\text{ m}$ ,所以 $m=0.088\text{ kg}$ .



### 第2课时 向心力

- 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,不可能改变物体线速度的大小,故 D 正确.
- D **【解析】** 物体做圆周运动就需要有向心力,向心力是由外界提供的,不是物体本身产生的,故 A 错误.匀速圆周运动中由合力提供向心力,变速圆周运动中合力与向心力不一定相等,故 B 错误.向心力始终指向圆心,方向时刻在改变,则向心力是变化的,故 C 错误.向心力的方向与速度方向垂直,不改变速度的大小,只改变速度的方向,故 D 正确.
- B **【解析】** 绳子承受的最大拉力相同,由向心力公式  $F=m\omega^2r=\frac{mv^2}{r}$  可知,角速度相同,半径越大,向心力越大,故选项 B 正确.
- AC **【解析】** 物体受到重力、筒壁的弹力和摩擦力的作用,其中筒壁对物体的弹力充当物体做圆周运动的向心力,A 正确,B 错误;当圆筒转速增大时,向心力变大,物体所受弹力增大,在竖直方向上重力和摩擦力仍等大反向,所以摩擦力不变,故 C 正确,D 错误.
- 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.
- D **【解析】** 摩托车沿圆台形表演台的侧壁做匀速圆周运动时的向心力由摩托车的重力和侧壁的支持力的合力提供,支持力  $F_N=\frac{mg}{\cos\theta}$ ,向心力  $F_n=mg\tan\theta$ ,可见,  $F_N$  和  $F_n$  只与侧壁的倾角  $\theta$  有关,而与高度  $h$  无关,即  $h$  变化时,  $F_N$  和  $F_n$  不变,所以选项 A、B 错误;根据  $F_n=m\frac{v^2}{r}$ ,可得  $v^2=gr\tan\theta$ ,当  $h$  越大时,轨道半径  $r$  越大,所以线速度  $v$  越大,选项 D 正确;根据  $T=\frac{2\pi r}{v}$ ,  $v^2=gr\tan\theta$ ,可得  $T\propto\sqrt{r}$ ,当  $h$  越大时,轨道半径  $r$  越大,周期  $T$  越大,选项 C 错误.
- C **【解析】** 设小球受到杆的作用力  $F$  在竖直方向的分力为  $F_y$ ,水平方向的分力为  $F_x$ ,则有  $F_y=mg$ ,  $F_x=m\omega^2r$ .又  $F=\sqrt{F_x^2+F_y^2}$ ,以上各式联立可求得  $r=\frac{\sqrt{F^2-m^2g^2}}{m\omega^2}$ ,故只有 C 正确.
- C **【解析】** 小车突然停止,B 球也随之停止运动,故  $T_B=mg$ ,A 球开始从最低点向右摆动,由牛顿第二定律得  $T_A-mg=m\frac{v^2}{L}$ ,则  $T_A=m\left(g+\frac{v^2}{L}\right)=3mg$ ,所以  $T_B:T_A=1:3$ ,选项 C 正确.
- 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  $F_n=M_{\text{甲}}\omega^2r_{\text{甲}}=M_{\text{乙}}\omega^2r_{\text{乙}}=600\text{ N}$ ,  $r_{\text{甲}}+r_{\text{乙}}=0.9\text{ m}$ ,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.
- AD **【解析】** 向心加速度的大小  $a=\frac{v^2}{R}$ ,故 A 正确;向心力  $F_n=m\frac{v^2}{R}$ ,故 B 错误;根据牛顿第二定律得  $N-mg=m\frac{v^2}{R}$ ,解得  $N=mg+m\frac{v^2}{R}$ ,则物体对球壳的压力为  $mg+m\frac{v^2}{R}$ ,故 C 错误;物体所受的摩擦力  $f=\mu N=\mu\left(mg+m\frac{v^2}{R}\right)$ ,故 D 正确.
- BCD **【解析】** 小球第一次通过最低点时,小球的速率不变,故 A 错误.由于线速度大小不变,根据  $\omega=\frac{v}{r}$ ,转动的半径变大,则角速度减小,故 B 正确.根据  $a_n=\frac{v^2}{r}$ ,半径变大,则向心加速度减小,故 C 正确.根据  $T-mg=m\frac{v^2}{r}$  得  $T=mg+m\frac{v^2}{r}$ ,半径变大,则张力变小,故 D 正确.
- 若物体向圆心移动,则  $k\leq m\omega^2$ ;若物体向远离圆心方向移动,则  $k\geq m\omega^2$   
**【解析】** 设物体恰好相对圆盘静止时,弹簧压缩量为  $\Delta l$ ,静摩擦力为最大静摩擦力  $f_{\text{max}}$ ,这时物体处于临界状态,由向心力公式得  $f_{\text{max}}-k\Delta l=mR\omega^2$ ,

- 若物体向圆心移动距离  $x$  后,仍保持相对静止,则有  $f_1-k(\Delta l+x)=m(R-x)\omega^2$ ,联立可得  $f_{\text{max}}-f_1=mx\omega^2-kx$ ,所以  $mx\omega^2-kx\geq 0$ ,得  $k\leq m\omega^2$ ,若物体向外移动距离  $x$  后,仍保持相对静止,则有  $f_2-k(\Delta l-x)=m(R+x)\omega^2$ ,联立解得  $f_{\text{max}}-f_2=kx-mx\omega^2\geq 0$ ,所以  $k\geq m\omega^2$ ,因此,若物体向圆心移动,则  $k\leq m\omega^2$ ;若物体向远离圆心方向移动,则  $k\geq m\omega^2$ .
- 2.89 rad/s $\leq\omega\leq$ 6.45 rad/s  
**【解析】** 当  $\omega$  最小时,A 受的最大静摩擦力  $f$  的方向与细绳的拉力  $F$  方向相反,则有  $F-f=Mr\omega_1^2$  其中  $F=mg$   
解得  $\omega_1=\sqrt{\frac{mg-f}{Mr}}\approx 2.89\text{ rad/s}$   
当  $\omega$  最大时,A 受的最大静摩擦力  $f$  的方向与细绳的拉力  $F$  方向相同,则有  $F+f=Mr\omega_2^2$  其中  $F=mg$   
解得  $\omega_2=\sqrt{\frac{mg+f}{Mr}}\approx 6.45\text{ rad/s}$   
故  $\omega$  的取值范围为  $2.89\text{ rad/s}\leq\omega\leq 6.45\text{ rad/s}$ .
  - BD **【解析】** 设绳长为  $l$ ,两小球运动的角速度相等,根据  $a=r\omega^2$ ,有  $a_1:a_2=l:2l=1:2$ ,故 B 正确;对 B 球,有  $F_2=m\cdot 2l\omega^2$ ,对 A 球,有  $F_1-F_2=ml\omega^2$ ,联立解得  $F_1:F_2=3:2$ ,故 D 正确.
  - CD **【解析】** 当角速度  $\omega$  很小时,AC 和 BC 与轴的夹角都很小,BC 并不张紧.当  $\omega$  逐渐增大,BC 刚被拉直(这是一个临界状态),但 BC 绳中的张力仍然为零时,设小球的角速度为  $\omega_1$ ,则有  $T_{AC}\cos 30^\circ=mg$ ,  $T_{AC}\sin 30^\circ=m\omega_1^2L\sin 30^\circ$ ,解得  $\omega_1=\sqrt{\frac{10\sqrt{3}}{3}}\text{ rad/s}$ ;当角速度  $\omega$  继续增大时,  $T_{AC}$  减小,  $T_{BC}$  增大,设角速度达到  $\omega_2$  时,  $T_{AC}=0$  (这又是一个临界状态),则有  $T_{BC}\cos 45^\circ=mg$ ,  $T_{BC}\sin 45^\circ=m\omega_2^2L\sin 30^\circ$ ,解得  $\omega_2=\sqrt{10}\text{ rad/s}$ ,所以当  $\omega$  满足  $\sqrt{\frac{10\sqrt{3}}{3}}\text{ rad/s}\leq\omega\leq\sqrt{10}\text{ rad/s}$  时,AC、BC 两绳始终张紧,故 A 错误,C、D 正确.两绳拉力与小球重力的合力提供小球的向心力,由于向心力不断改变,所以两绳拉力的合力不断改变,故 B 错误.
  - 生活中的圆周运动
  - AD **【解析】** 火车以一定的速率转弯时,内、外轨与车轮之间均没有侧压力,此时火车拐弯的向心力由重力和铁轨的支持力的合力提供,火车速度加倍后,速度大于规定速度,重力和支持力的合力不够提供圆周运动的向心力,所以此时外轨对火车有支持力以补充拐弯所需的向心力,即此时外轨对火车车轮有侧压力,故 A 正确,B 错误;火车以某一速度  $v$  通过某弯道时,内、外轨道均不受侧压力作用,其所受的重力和支持力的合力提供向心力,如图所示,由图可以得出  $F_{\text{合}}=mg\tan\theta$ ,合力等于向心力,故  $mg\tan\theta=m\frac{v^2}{R}$ ,此时  $\tan\theta\approx\sin\theta=\frac{h}{L}$ ,联立解得轨道高度差为  $h=\frac{Lv^2}{gR}$ ,当速度变为  $2v$  后,若内、外轨道均不受侧压力作用,所需的向心力为  $F=m\frac{(2v)^2}{R}$ ,联立解得  $F=4mg\tan\theta$ ,根据牛顿第二定律得  $mg\tan\theta'=m\frac{(2v)^2}{R}$ ,此时  $\tan\theta'\approx\sin\theta'=\frac{h'}{L}$ ,联立可得  $h'=\frac{4Lv^2}{gR}$ ,即  $h'=4h$ ,故 C 错误,D 正确.
  - B **【解析】** 水平冰面对运动员的摩擦力提供他做圆周运动的向



- 心力,则运动员的安全速度  $v$  满足:  $kmg\geq m\frac{v^2}{R}$ ,解得  $v\leq\sqrt{kRg}$ .
- BD **【解析】** 由于汽车做曲线运动,根据牛顿第二定律可知,汽车经过 A、B 两点时对路面的压力均不等于汽车的重力,故 A 错误;汽车经过 B 点时存在向下的加速度,由牛顿第二定律得  $mg-F_N=m\frac{v^2}{r}$ ,所以  $F_N$  小于汽车的重力,结合牛顿第三定律可知 B 正确;汽车经过 A 点时有向上的加速度,所以处于超重状态,而经过 B 点时有向下的加速度,所以处于失重状态,故 C 错误;汽车处于超重状态下受到的挤压力比较大,所以经过 A 点时比较容易爆胎,故 D 正确.
  - AC **【解析】** 游客随圆筒在水平面内做圆周运动,圆筒弹力提供向心力,A 正确,B 错误;游客在竖直方向受到的摩擦力和重力平衡,C 正确,D 错误.
  - AC **【解析】** 在绕地球做匀速圆周运动的人造地球卫星中,人造卫星的重力完全充当向心力,处于完全失重状态,所以利用重力原理的一切仪器都不能使用,虽然弹簧秤不能测量重力,但可以测量拉力,故选项 A、C 正确.
  - C **【解析】** 当汽车以某一速度在水平地面上匀速行驶时,小球匀速运动,故弹簧弹力等于重力.通过一段凹形路面的最低点时,小球做圆周运动,弹力与重力的合力提供小球所需的向心力,方向向上,故弹簧弹力大于重力,根据胡克定律知道弹簧长度的关系为  $L_1<L_2$ ,选项 C 正确.
  - C **【解析】** 飞机保持飞行速度大小和距离海面的高度均不变,则飞机做的是匀速圆周运动,飞机上的乘客受重力和座椅支持力的作用,合力为乘客做匀速圆周运动的向心力,方向向下,故地球对乘客的引力大于座椅对乘客的支持力(乘客对座椅的压力),所以选项 C 正确.
  - B **【解析】** 当车对桥顶的压力恰好为零时,设车速为  $v_2$ ,则有  $mg=m\frac{v_2^2}{r}$ ,又  $mg-\frac{3}{4}mg=m\frac{v_1^2}{r}$ ,所以可得  $v_2=2v_1=20\text{ m/s}$ ,选项 B 正确.
  - (2)1.40 (4)7.9 1.4  
**【解析】** 托盘秤的示数要估读一位,所以是  $1.40\text{ kg}$ ;对表格的五个数据求平均值,为  $1.81\text{ kg}$ ,所以小车对凹形桥模拟器的压力  $F=(1.81-1.00)\times 9.8\text{ N}=7.9\text{ N}$ ,小车在最低点时所受的支持力  $F'=F$ ,小车质量  $m=1.40\text{ kg}-1.00\text{ kg}=0.40\text{ kg}$ ,小车在凹形桥模拟器最低点时,由牛顿第二定律,有  $F'-mg=m\frac{v^2}{R}$ ,解得  $v=1.4\text{ m/s}$ .
  - B **【解析】** 提高洗衣机脱水筒的转速,可以使衣服甩得更干,故 A 正确;转动带有雨水的雨伞,水滴将沿轨迹切线方向离开雨伞,故 B 错误;运动的砂轮的转速不宜过大,目的是防止分子间的作用力不足以提供砂轮颗粒所需向心力导致其做离心运动而破裂,故 C 正确;离心干燥(脱水)器是利用离心现象工作的机械,故 D 正确.
  - (1) $\sqrt{2gR}$  (2) $\sqrt{5gR}$   
**【解析】** (1)最高点时座椅对飞行员弹力  $F_N=mg$  由重力和弹力的合力提供向心力,有  $F_N+mg=m\frac{v_1^2}{R}$   
解得  $v_1=\sqrt{2gR}$   
(2)在最低点时,有  $a_n=\frac{v^2}{R}=5g$   
解得  $v=\sqrt{5gR}$
  - C **【解析】** 当后轮匀速转动时,由  $a_n=R\omega^2$  知,  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$  四个位置的向心加速度大小相等,故 A 错误.在角速度  $\omega$  相同的情况下,泥巴在  $a$  点时,有  $F_a+mg=m\omega^2R$ ,在  $b$ 、 $d$  两点时,有  $F_b=F_d=m\omega^2R$ ,在  $c$  点时,有  $F_c-mg=m\omega^2R$ ,所以泥巴不脱离轮胎时在  $c$  位置所需要的作用力最大,泥巴最容易被甩下,故 B、D 错误,C 正确.
  - C **【解析】** 铁水是由于离心作用覆盖在模型内壁上的,模型对它的弹力和重力的合力提供向心力,选项 A 错误;模型最下部受到铁水的作用力最大,最上部受到的作用力最小,选项 B 错误;最上部的铁水如果恰好不离开模型内壁,则由重力提供向心力,

- 由  $mg=mR\omega^2$ ,可得  $\omega=\sqrt{\frac{g}{R}}$ ,故管状模型转动的角速度  $\omega$  至少为  $\sqrt{\frac{g}{R}}$ ,选项 C 正确,D 错误.
- $m\frac{v^2+2v_0v}{R}$   
**【解析】** 若仅仅考虑地球自转的影响,则列车绕地心做圆周运动的线速度大小为  $v_0$ ,以列车为研究对象,根据牛顿第二定律得  $mg-F_N=m\frac{v_0^2}{R}$   
解得  $F_N=mg-m\frac{v_0^2}{R}$   
若该列车相对地面又附加了一个向东的线速度  $v$ ,则列车绕地心做圆周运动的线速度大小为  $v+v_0$ ,根据牛顿第二定律得  $mg-F_N'=m\frac{(v+v_0)^2}{R}$   
解得  $F_N'=mg-m\frac{(v+v_0)^2}{R}$   
则  $F_N-F_N'=m\frac{v^2+2v_0v}{R}$
  - 习题课: 竖直平面内圆周运动模型
  - CD **【解析】** 因为在小球运动过程中,底座恰好不离开地面,则小球在最高点时,底座对地面的压力恰好为零,即小球在最高点,细线对底座的拉力为  $Mg$ ,A 错误,D 正确;当小球不在竖直线上时,细线对底座的拉力不在竖直方向上,在水平方向上有分力.由于底座始终静止,所以地面对底座有摩擦力作用,小球运动至右边与 O 点等高时,细线对底座的拉力水平向右,故地面对底座的摩擦力水平向左,B 错误,C 正确.
  - AD **【解析】** 在最高点时,加速度向下,故乘客处于失重状态,座椅对他的支持力小于重力,故 A 正确;在最低点时,合外力向上,故重力小于他所受到的支持力,故 B、C 错误;若在最高点满足  $mg=m\frac{v^2}{r}$ ,即  $v=\sqrt{gr}$  时,乘客对座椅的压力为零,选项 D 正确.
  - B **【解析】** 设在最低点时碗底对物体的支持力为  $F_N$ ,则  $F_N-mg=m\frac{v^2}{R}$ ,解得  $F_N=mg+m\frac{v^2}{R}$ .由  $f=\mu F_N$ ,解得  $\mu=\frac{f}{mg+m\frac{v^2}{R}}$ ,选项 B 正确.
  - B **【解析】** 水流星在最高点的临界速度  $v=\sqrt{gL}=4\text{ m/s}$ ,由此知绳的拉力恰为零,且水恰不流出,故选项 B 正确.
  - D **【解析】** 小球在最高点时,如果速度恰好为  $\sqrt{gR}$ ,则此时恰好是重力作为它的向心力,杆和球之间没有作用力,弹力为 0;如果速度小于此值,重力大于所需要的向心力,杆对球有支持力,方向与重力的方向相反,杆的作用力  $F=mg-m\frac{v^2}{R}$ ,此时重力一定大于或等于杆对球的作用力,故选项 A、B 错误,D 正确;小球过最低点时,杆对球的作用力竖直向上,与重力方向一定相反,选项 C 错误.
  - C **【解析】** 由题意知  $F+mg=2mg=m\frac{v^2}{R}$ ,故速度大小  $v=\sqrt{2gR}$ ,C 正确.
  - C **【解析】** 小球以速度  $v$  通过圆管的最高点时,由牛顿第二定律得  $2mg=m\frac{v^2}{R}$ ,假设小球以速度  $\frac{v}{2}$  通过圆管的最高点时受到的压力向下,其大小为  $F_N$ ,则有  $mg+F_N=m\frac{\left(\frac{v}{2}\right)^2}{R}$ ,联立解得  $F_N=-\frac{mg}{2}$ ,上式表明,小球受到的压力向上,由牛顿第三定律知,小球对圆管内壁有向下的压力,大小为  $\frac{mg}{2}$ ,选项 C 正确.
  - B **【解析】** 设小球在轨道最低点时所受轨道支持力为  $F_1$ ,弹力为  $F_N$ ,则  $F_1-mg-F_N=m\frac{v^2}{r}$ ,解得  $F_N=2\text{ N}$ ,可以判断出弹簧处于压缩状态,小球以最小速度通过最高点时,球对轨道的压力刚好为零,则  $mg-F_N=m\frac{v_2^2}{r}$ ,解得  $v_2=2\text{ m/s}$ ,故 B 正确.

9. B 【解析】当弹力  $F$  方向向下时,  $F + mg = \frac{mv^2}{R}$ , 解得  $F = \frac{m}{R}v^2 - mg$ , 当弹力  $F$  方向向上时,  $mg - F = m\frac{v^2}{R}$ , 解得  $F = mg - m\frac{v^2}{R}$ , 对比  $F-v^2$  图像可知,  $b = gR, a = mg$ , 联立解得  $g = \frac{b}{R}, m = \frac{aR}{b}$ , 选项 A 正确, B 错误;  $v^2 = c$  时, 小球对杆的弹力方向向上, 选项 C 正确;  $v^2 = 2b$  时, 小球受到的弹力与重力大小相等, 选项 D 正确.

10.  $\sqrt{6}R$  【解析】在最高点, 有  $mg + \frac{1}{2}mg = m\frac{v_0^2}{R}$  平抛运动过程, 有  $x = v_0t$   $y = \frac{1}{2}gt^2 = 2R$  解得  $x = \sqrt{6}R$ .

11. BC 【解析】小滑块在 A 点时, 小滑块对物体的作用力沿竖直方向, 物体静止不动, 在水平方向上不受力, 所以地面对物体没有摩擦力, A 错误. 小滑块在 B 点时, 小滑块的向心力向右, 所以物体对小滑块有向右的支持力, 对物体受力分析可知, 地面要对物体有向右的摩擦力, 在竖直方向上, 由于没有加速度, 物体受力平衡, 所以物体对地面的压力  $F'_N = F_N = Mg$ , B 正确. 小滑块在 C 点时, 小滑块的向心力向上, 物体对小滑块的支持力大于小滑块的重力, 故物体受到小滑块的压力大于  $mg$ , 物体对地面的压力大于  $(M + m)g$ , C 正确. 小滑块在 D 点和在 B 点的受力类似, 由 B 的分析可知, D 错误.

12.  $\frac{\sqrt{(m_1+m_2)gR+m_1v_0^2}}{m_2}$  【解析】根据牛顿第二定律 对于 A 球, 有  $F_{N1} - m_1g = m_1\frac{v_0^2}{R}$  对于 B 球, 有  $F_{N2} + m_2g = m_2\frac{v_B^2}{R}$  根据牛顿第三定律和题设条件得  $F_{N1} = F_{N1}' = F_{N2}' = F_{N2}$  所以  $(m_1 + m_2)g = m_2\frac{v_B^2}{R} - m_1\frac{v_0^2}{R}$  解得  $v_B = \sqrt{\frac{(m_1+m_2)gR+m_1v_0^2}{m_2}}$

## 第六章 万有引力与航天

### 1 行星的运动

1. D 【解析】在太阳系中, 地球及所有的行星都绕太阳运转, 故太阳是太阳系的中心, 而在整个宇宙中, 太阳也是不断绕着其他天体运转, 故太阳不是宇宙的中心, 选项 A、B 错误; 天体的运动有很多是椭圆的, 或更为复杂的轨迹, 故 C 错误; 开普勒通过对第谷大量观测数据的深入研究, 得出行星绕太阳运动的轨道是椭圆的结论, 选项 D 正确.
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行星的运动, 这样其他行星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星体的运动, 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连线有时垂直, 有时是不垂直的.
4. AD 【解析】冬至日前后, 地球位于近日点附近, 夏至日前后地球位于远日点附近, 由开普勒第二定律可知在近日点速率最大, 故选项 A 正确, B 错误. 春、夏两季平均速率比秋、冬两季平均速率小, 又因所走路程基本相等, 故春、夏两季时间长, 选项 C 错误, D 正确.
5. A 【解析】根据开普勒第二定律, 行星在近日点时的速率最大,

故选项 B 错误. 根据开普勒第三定律  $\frac{a^3}{T^2} = k, T$  是指行星的公转周期, 且常数  $k$  与环绕天体(行星)无关, 只与中心天体(太阳)有关, 故选项 C、D 错误.

6. AC 【解析】根据开普勒第二定律, 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, 选项 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, 由于土星的半长轴比较大, 所以土星的周期较大, 选项 C 正确.

7. CD 【解析】由于火星和地球均绕太阳做匀速圆周运动, 由开普勒第三定律,  $\frac{R_1^3}{T_1^2} = k, k$  为常量, 又  $v = \frac{2\pi R}{T}$ , 已知火星和地球绕太阳运动的周期之比, 则可求得火星和地球到太阳的距离之比及运行速度大小之比, 选项 C、D 正确.

8. D 【解析】由开普勒第三定律知  $\frac{R^3}{T^2} = k$ , 所以  $R^3 = kT^2$ , D 正确.

9. C 【解析】根据开普勒第三定律  $\frac{R^3}{T^2} = k$ , 设地球与太阳的距离为  $R_1$ , 木星与太阳的距离为  $R_2$ , 则  $\frac{R_2}{R_1} = \sqrt[3]{\frac{T_2^3}{T_1^3}} = \sqrt[3]{\frac{12^3}{1^3}} \approx 5.2$ , 所以  $R_2 = 5.2R_1 = 5.2$  天文单位, 故 C 正确.
10. CD 【解析】根据开普勒第二定律知行星在近日点速度大, 在远日点速度小. 行星由  $a$  到  $b$  运动时的平均速率大于由  $c$  到  $d$  运动时的平均速率, 而弧长  $ab$  等于弧长  $cd$ , 则  $t_{ab} < t_{cd}$ , 故 A 错误; 同理可知 B 错误; 在整个椭圆轨道上  $t_{da} < \frac{T}{4}, t_{cd} > \frac{T}{4}$ , 故 C、D 正确.

11. 29 个月 【解析】根据开普勒第三定律  $\frac{R^3}{T^2} = k$ , 可得  $\frac{\left(\frac{3.9+1.5}{2}\right)^3}{T_{\text{♀}}^2} = \frac{1.5^3}{12^2}$ , 所以  $T_{\text{♀}} \approx 29$  个月.

12. AC 【解析】根据开普勒第一定律可知, 地球位于卫星 B 轨道的一个焦点上, 位于卫星 C 轨道的圆心上, 选项 A 正确. 卫星 C 做匀速圆周运动, 速度大小不变, 根据开普勒第二定律可知, 卫星 B 沿椭圆运动的速度大小时刻改变, 在近地点时速度大, 在远地点时速度小, 选项 B 错误. 根据开普勒第三定律可知,  $\frac{a^3}{T_b^3} = \frac{r^3}{T_c^3}$ , 该比值的大小只与地球有关, 与太阳无关, 选项 C 正确, 选项 D 错误.
13. 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  $\Delta t$ , 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.

14. 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 年 + 76 年 = 2062 年.

### 2 太阳与行星间的引力

#### 3 万有引力定律

1. ABC 【解析】牛顿在发现万有引力定律的过程中将行星的椭圆轨道简化为圆轨道, 用到了开普勒第一定律, 由牛顿第二定律可知万有引力提供向心力, 再借助于牛顿第三定律来推算物体对地球作用力与什么有关系, 同时运用开普勒第三定律来导出万有引力定律, 而卡文迪许通过扭秤实验得出的引力常量是在牛顿发现

万有引力定律之后, 选项 A、B、C 正确.

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. C 【解析】太阳对行星的引力提供行星绕太阳做匀速圆周运动的向心力, 则  $F = m\frac{v^2}{r}$ , 又  $v = \frac{2\pi r}{T}$ , 结合  $T^2 = \frac{r^3}{k}$  可得出  $F$  的表达式  $F = \frac{4\pi^2km}{r^2}$ , 可知  $F$  与  $m、r$  都有关, 故选项 A、B、D 错误, 选项 C 正确.

4. AD 【解析】根据万有引力定律的数学表达式  $F = G\frac{Mm}{R^2}$  可得  $G = \frac{FR^2}{Mm} = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ , 则在国际单位制中,  $G$  在数值上等于两个质量都是 1 kg 的物体相距 1 m 时的相互作用力; 它的单位是导出单位, 为  $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ , 大小为  $6.67 \times 10^{-11}$ ; 此数值并非人为规定的, 它是一个实验测得的值;  $G$  是一个与星球无关的常量, 在不同星球上,  $G$  的数值都为  $6.67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ; 虽然如此, 但  $G$  的数值与单位制有关, 在不同的单位制中,  $G$  的数值是不同的.

5. B 【解析】由  $a = G\frac{M}{r^2}$  可得, 加速度与距离的二次方成反比, 所以如果使月球绕地球运动的力与使苹果落地的力遵循同样的规律, 那么它们的加速度就应该是  $\frac{1}{60^2}$  的关系.

6. C 【解析】由万有引力定律的表达式  $F = G\frac{Mm}{R^2}$  可知, 当两球质量不变时, 两均匀球体之间的万有引力与它们球心间距离的二次方成反比, C 正确.

7. C 【解析】根据万有引力表达式  $F = G\frac{Mm}{r^2}$ , 解得  $G = \frac{F r^2}{Mm}$ , 故需要测定的物理量有两球的质量、两球间的引力和两球心间的距离, 而两球面间的最小距离不需要测定, 故 C 正确.
8. D 【解析】注意万有引力定律中的  $r$  为两球心间的距离, 根据万有引力定律得,  $F = G\frac{m_1m_2}{r^2} = G\frac{m_1m_2}{(R_1+R_2+R)^2}$ , D 正确.

9. D 【解析】根据万有引力定律,  $F = G\frac{Mm}{R^2}, F' = G\frac{Mm}{(R+h)^2} = \frac{1}{2}F$ , 可得  $h = (\sqrt{2} - 1)R$ .

10. B 【解析】设地球的半径为  $R$ , 火箭离地面高度为  $h$ , 所以  $F_{\text{引}} = G\frac{Mm}{(R+h)^2}, F_{\text{地}} = G\frac{Mm}{R^2}$ , 其中  $F_{\text{引}} = \frac{1}{2}F_{\text{地}}$ , 因此  $\frac{h}{R} = \frac{\sqrt{2}-1}{1}$ , B 正确.

11. D 【解析】地球的自转角速度增大, 地球上所有物体受到的万有引力不变, 选项 A 正确; 在两极, 物体受到的重力等于万有引力, 万有引力不变, 故其重力不变, 选项 B 正确, D 错误; 对放在赤道上的物体, 有  $F_{\text{引}} = G + m\omega^2R$ , 由于  $\omega$  增大, 而  $F_{\text{引}}$  不变, 则  $G$  减小, C 正确.

12. B 【解析】在星球表面有  $mg = G\frac{Mm}{R^2}$ , 设火星表面的重力加速度为  $g_{\text{火}}$ , 则  $\frac{g_{\text{火}}}{g} = \frac{M_{\text{火}}R_{\text{地}}^2}{M_{\text{地}}R_{\text{火}}^2} = 0.4$ , 故 B 正确.

13. D 【解析】小球在 O 点时, 它受到的万有引力为零, 沿 OA 方向到无穷远处也为零, 但其间不为零, 因此小球受到的引力必经历一个先增大后减小的变化过程, 故 D 正确.

14.  $\frac{m_1a^2}{m_2(a+b)^2}$

【解析】由太阳与行星间的引力公式  $F = G\frac{Mm}{r^2}$  得

太阳对地球的引力  $F_1 = G\frac{Mm_1}{(a+b)^2}$

太阳对月球的引力  $F_2 = G\frac{Mm_2}{a^2}$

联立可得  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1a^2}{m_2(a+b)^2}$ .

15. BD 【解析】在地球表面时, 有  $G\frac{Mm}{R^2} = mg$ , 则  $GM = gR^2$ , 人在

$h$  高度处受到的万有引力的大小为  $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = \frac{mgR^2}{(R+h)^2}$ , 故 B 正确. 人在  $h$  高度处受到的万有引力充当向心力, 人处于完全失重状态, 则万有引力  $F = m(R+h)\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2 = \frac{4\pi^2m(R+h)}{T^2}$ , 故 D 正确.

16. (1)见解析 (2)见解析 【解析】(1)设行星的质量为  $m$ , 太阳的质量为  $M$ , 行星绕太阳做匀速圆周运动的轨道半径为  $R$ , 公转周期为  $T$ , 太阳对行星的引力为  $F$ . 太阳对行星的引力提供行星做匀速圆周运动的向心力, 有

$$F = m\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2R = m\frac{4\pi^2}{T^2}R$$

根据开普勒第三定律  $\frac{R^3}{T^2} = k$  得  $T^2 = \frac{R^3}{k}$

故  $F = \frac{4\pi^2km}{R^2}$

根据牛顿第三定律, 行星和太阳间的引力是相互的, 太阳对行星的引力大小与行星的质量成正比, 反过来, 行星对太阳的引力大小也与太阳的质量成正比. 所以太阳对行星的引力

$$F \propto \frac{Mm}{R^2}$$

写成等式有  $F = G\frac{Mm}{R^2}$  ( $G$  为常量)

(2)月球绕地球做圆周运动的向心加速度为  $a_n = \frac{4\pi^2}{T^2}r = 60 \times 6.4 \times 10^6 \times \frac{4 \times 3.14^2}{(28 \times 24 \times 3600)^2} \text{ m/s}^2 = 2.59 \times 10^{-3} \text{ m/s}^2$  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

#### 4 万有引力理论的成就

1. D 【解析】根据  $G\frac{Mm}{R^2} = mg$  可得, 地球的质量为  $M = \frac{gR^2}{G} = 6.0 \times 10^{24} \text{ kg}$ , D 正确.

2. A 【解析】已知星球绕中心天体做圆周运动的轨道半径和周期, 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r$  得  $M = \frac{4\pi^2r^3}{GT^2}$ , 可以计算出中心天体的质量, 故选项 B 错误, A 正确. 已知星球绕中心天体做圆周运动的轨道半径和速度, 由  $G\frac{Mm}{r^2} = m\frac{v^2}{r}$ , 得  $M = \frac{rv^2}{G}$ , 可以计算出中心天体的质量, 选项 C 错误. 已知地球表面的重力加速度和地球半径, 由  $G\frac{Mm}{R^2} = mg$  得地球质量  $M = \frac{gR^2}{G}$ , 式中  $R$  是地球半径, 选项 D 错误.

3. A 【解析】根据月球表面物体的重力和所受的万有引力相等, 即  $mg = G\frac{Mm}{R^2}$ , 可得月球的质量为  $M = \frac{gR^2}{G}$ , 所以选项 A 正确.

4. AB 【解析】由  $Gm_{\text{地}} = gR^2$  得  $m_{\text{地}} = \frac{gR^2}{G}$ , 选项 A 正确; 地球绕太阳运转, 有  $F_{\text{引}} = F_{\text{向}}$ , 即  $G\frac{m_{\text{地}}m_{\text{太}}}{L_2^2} = m_{\text{地}}\frac{4\pi^2}{T_2^2}L_2$ , 得  $m_{\text{太}} = \frac{4\pi^2L_2^3}{GT_2^2}$ , 选项 B 正确; 同理, 月球绕地球运转, 只能算出地球质量  $m_{\text{地}} = \frac{4\pi^2L_3^3}{GT_3^2}$  ( $T_3$  为月球绕地球公转周期), 选项 C 错误; 要计算天体密度, 还需知道天体的体积, 本题虽然可求太阳质量, 但不知太阳半