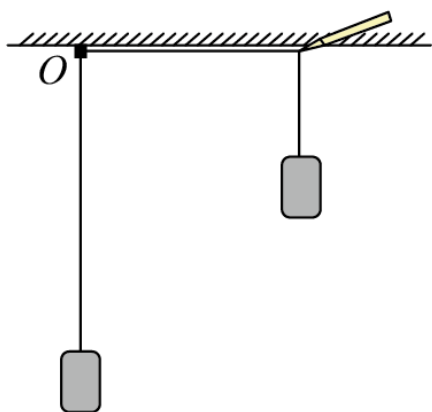


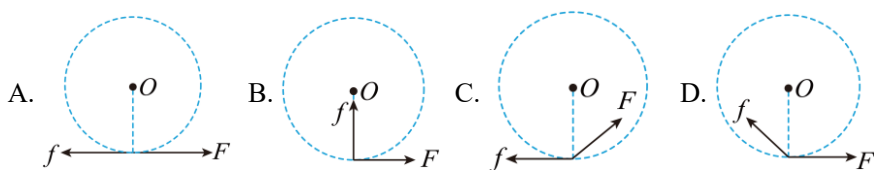
一、本题共 10 小题，在每小题给出的选项中，至少有一个选项是符合题意的（每小题 4 分，共 40 分。每小题全选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，只要有选错的该小题不得分）

1. 如图所示，一块橡皮用不可伸长的细线悬挂于 O 点，用铅笔靠着细线的左侧从 O 点开始水平向右匀速移动，运动中始终保持悬线竖直，则在铅笔向右匀速移动过程中，橡皮运动的（ ）

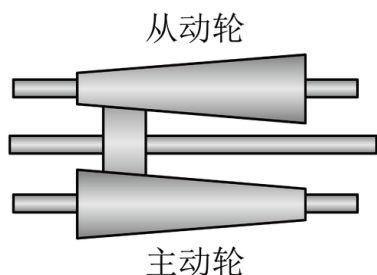


- A. 速度大小和方向均不变
- B. 速度大小不变，方向改变
- C. 运动轨迹为直线
- D. 运动轨迹为曲线

2. 在水平冰面上，狗拉着雪橇做匀速圆周运动， O 点为圆心。能正确地表示雪橇受到的牵引力 F 及摩擦力 f 的选项是（ ）



3. 无级变速是在变速范围内任意连续地改变转速，性能优于传统的档位变速器。如图是截锥式无级变速模型示意图，两个锥轮中间有一个滚轮，主动轮、滚轮、从动轮之间靠着彼此之间的摩擦力带动。当位于主动轮与从动轮之间的滚轮从左向右移动时从动轮转速降低，滚轮从右向左移动时从动轮转速增加。当滚轮位于主动轮直径 D_1 ，从动轮直径 D_2 的位置上时，主动轮转速 n_1 ，从动轮转速 n_2 之间的关系是（ ）



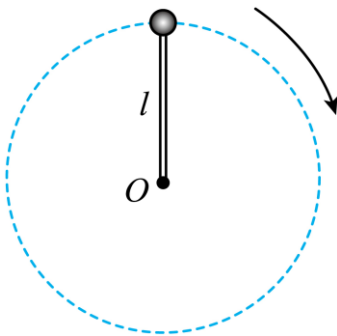
$$A. n_2 = \sqrt{\frac{D_1}{D_2}} n_1$$

$$B. n_2 = \frac{D_1}{D_2} n_1$$

$$C. n_2 = \frac{D_2^2}{D_1^2} n_1$$

$$D. n_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} n_1$$

4. 如图所示，长度为 l 的轻细杆一端连接小球，另一端在外力带动下可绕转轴 O 匀速转动，下面说法正确的是（ ）



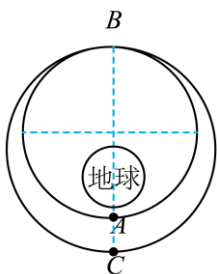
- A. 小球能通过圆周最高点的最小速度为 g
- B. 小球在运动过程中所受合外力方向处处指向圆心
- C. 小球在运动过程中始终处于失重状态
- D. 小球从最高点运动到最低点过程中，受到的杆的弹力逐渐增大



5. 设嫦娥号登月飞船贴近月球表面做匀速圆周运动，测得飞船绕月运行周期为 T 。飞船在月球上着陆后，自动机器人在月球上做自由落体实验，将某物体由距月球表面高 h 处释放，经时间 t 后落到月球表面。已知引力常量为 G ，由以上数据可以求出的物理量是（ ）

- A. 月球的半径
- B. 月球的质量
- C. 月球表面的重力加速度
- D. 月球绕地球做匀速圆周运动的向心加速度

6. 如图所示，一航天器围绕地球沿椭圆形轨道运动，地球的球心位于该椭圆的一个焦点上， A 、 B 两点分别是航天器运行轨道上的近地点和远地点。若使该航天器由椭圆轨道进入外层的圆轨道（圆轨道与椭圆轨道相切于 B 点）运行，需要在航天器运行到 B 位置时再次点火。如果航天器分别在椭圆轨道和圆轨道上正常运行，以下说法正确的是（ ）



- A. 航天器在椭圆轨道上经过 B 点时的加速度等于它在圆轨道上经过 B 点时的加速度
- B. 航天器在椭圆轨道上经过 B 点时的速度等于它在圆轨道上经过 B 点时的速度
- C. 航天器在椭圆轨道上运行时具有机械能小于它在圆轨道上具有的机械能
- D. 航天器在圆轨道上经过 C 点时的速率小于它在椭圆轨道上经过 A 点时的速率

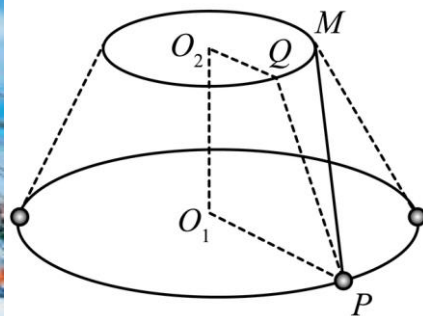
7. 已知地球赤道上的物体随地球自转的线速度大小为 v_1 、向心加速度大小为 a_1 ，近地卫星线速度大小为 v_2 、向心加速度大小为 a_2 ，地球同步卫星线速度大小为 v_3 、向心加速度大小为 a_3 。设近地卫星距地面高度不计，同步卫星距地面高度约为地球半径的 6 倍。则以下结论正确的是（ ）

- A. $\frac{v_1}{v_3} = \frac{1}{7}$ B. $\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{7\sqrt{7}}$ C. $\frac{a_1}{a_3} = \frac{1}{6}$ D. $\frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{7}$

8. 牛顿设想：“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，即都与距离的平方成反比，与两物体质量乘积成正比。已知月地距离 r 约为地球半径 R 的 60 倍，地球半径 R 约为月球半径 r 月的 4 倍，根据牛顿的上述猜想和牛顿运动定律可以推知：

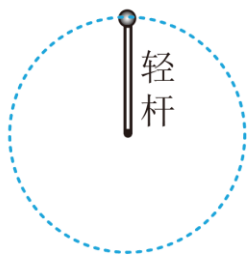
- A. 地球吸引月球的力约为地球吸引苹果的力的 $1/60^2$
- B. 根据 $a = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$ 求出的月球公转的加速度约为地面重力加速度的 $1/60^2$
- C. 自由落体在月球表面的加速度约为地球表面的 $1/16$
- D. 如果苹果在离地球 $60R$ 的轨道上绕地球运动，加速度和月球一样大

9. 暑假里，小明去游乐场游玩，坐了一次名叫“摇头飞椅”的游艺机，如图所示，该游艺机顶上有一个“伞盖”，“伞盖”在转动过程中通过悬绳带动下面的椅子和游客转动，其示意图如图所示。在某段时间内，“伞盖”保持在水平面内稳定旋转，游客和椅子也在某水平面内匀速转动。细心的小明发现转速较快时，悬绳并不在竖直平面内、而与竖直平面成一明显角度，如图所示。图中 P 表示游客和椅子，实线 PM 表示悬绳，虚线 O_1PQO_2 表示经过游客和椅子的竖直平面。则“伞盖”在水平面内以较快的速度稳定匀速旋转一周的过程中，下列说法中正确的有：

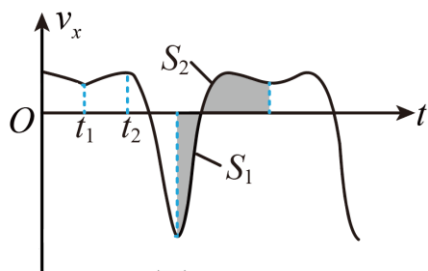


- A. 游客和椅子所需向心力由重力和绳子拉力的合力提供；
- B. 游客和椅子所受合力做功为零；
- C. 绳子拉力对游客和椅子做正功
- D. 绳子拉力对游客和椅子做功为零；

10. 如图甲所示，轻杆一端与一小球相连，另一端连在光滑固定轴上，可在竖直平面内自由转动。现使小球在竖直平面内做圆周运动，到达某一位置开始计时，取水平向右为正方向，小球的水平分速度 v_x 随时间 t 的变化关系如图乙所示。不计空气阻力。下列说法中正确的是（ ）



图甲

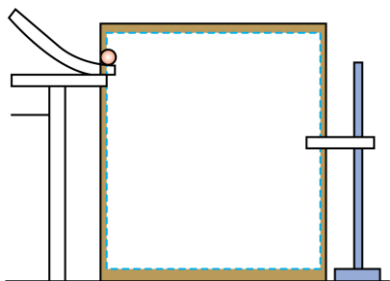


图乙

- A. t_1 时刻小球通过最高点，图乙中 S_1 和 S_2 的面积不相等
- B. t_2 时刻小球通过最高点，图乙中 S_1 和 S_2 的面积相等
- C. t_1 时刻的杆中弹力一定大于 t_2 时刻的杆中弹力
- D. 在小球做一次完整圆周运动的过程中，杆中弹力一定两次为零

二、实验题（每空 2 分，共 18 分）

11. 某同学用如图所示的仪器研究平抛运动的规律。



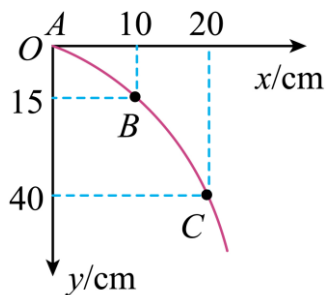
(1) 该实验，除了木板、小球、斜槽、铅笔、图钉之外，下列器材中还需要的是 _____

- | | | |
|--------|----------|--------|
| A. 刻度尺 | B. 秒表 | C. 坐标纸 |
| D. 天平 | E. 弹簧测力计 | F. 重锤线 |

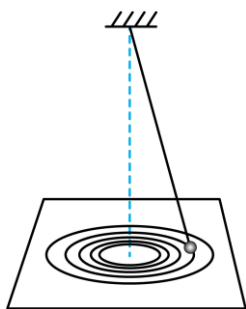
(2) 实验中，下列说法正确的是_____。

- A. 应使小球每次从斜槽上相同的位置自由滚下
- B. 斜槽轨道必须光滑
- C. 挡板每次往下移动的距离必须相等
- D. 要使描出的轨迹更好地反映真实运动，记录的点应适当多一些
- E. 为了比较准确地描出小球运动的轨迹，应该用一条曲线把所有的点连接起

(3) 在实验中，该同学只记录了 A 、 B 、 C 三点 (A 点不是抛出点)，各点的坐标如图所示，则物体运动的初速度为 _____ m/s，从抛出点运动到 B 点所需时间为 _____ s (计算结果保留二位有效数字， g 取 10m/s^2)



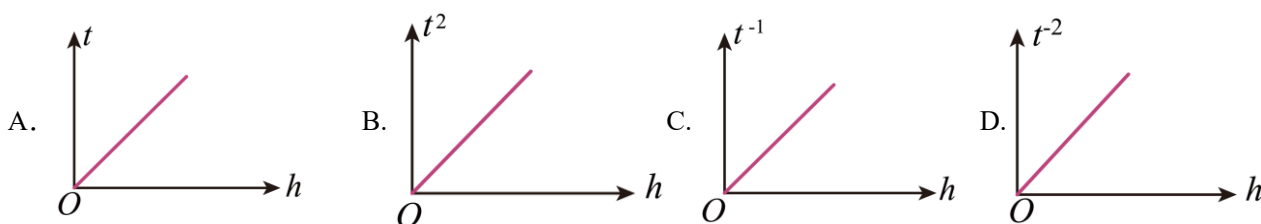
12. 如图所示为研学小组的同学们用圆锥摆验证向心力表达式的实验情景。将一轻细线上端固定在铁架台上，下端悬挂一个质量为 m 的小球，将画有几个同心圆周的白纸置于悬点下方的水平平台上，调节细线的长度使小球自然下垂静止时恰好位于圆心处。用手带动小球运动使它在放手后恰能在纸面上方沿某个画好的圆周做匀速圆周运动。调节平台的高度，使纸面贴近小球但不接触。



(1) 若忽略小球运动中受到的阻力，在具体的计算中可将小球视为质点，重力加速度为 g 。

① 在某次实验中，小球沿半径为 r 的圆做匀速圆周运动，用秒表记录了小球运动 n 圈的总时间 t ，则小球做此圆周运动所需的向心力大小 $F_n = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 m 、 n 、 t 、 r 及相关的常量表示)。用刻度尺测得细线上端悬挂点到画有圆周纸面的竖直高度为 h ，那么对小球进行受力分析可知，小球做此圆周运动所受的合力大小 $F = \underline{\hspace{2cm}}$ (用 m 、 h 、 r 及相关的常量表示)。

② 保持 n 的取值不变，改变 h 和 r 进行多次实验，可获取不同时间 t 。研学小组的同学们想用图像来处理多组实验数据，进而验证小球在做匀速圆周运动过程中，小球所受的合力 F 与向心力 F_n 大小相等。为了直观，应合理选择坐标轴的相关变量，使待验证关系是线性关系。为此不同的组员尝试选择了不同变量并预测猜想了如图所示的图像，若小球所受的合力 F 与向心力 F_n 大小相等，则这些图像中合理的是 。



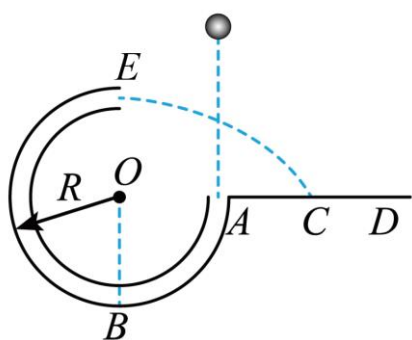
(2) 考虑到实验的环境、测量条件等实际因素，对于这个实验的操作，下列说法中正确的是 (选填选项前的字母)。

- A. 相同体积的小球，选择密度大一些的球可以减小空气阻力对实验的影响
- B. 相同质量的小球，选择体积小一些的球有利于确定其圆周运动的半径
- C. 测量多个周期的总时间再求周期的平均值，有利于减小周期测量的偶然误差
- D. 在这个实验中必须测量出小球的质量

(3) 若在小球运动起来后撤掉水平平台, 由于实际实验过程中存在空气阻力的影响, 所以持续观察会发现小球做圆周运动的半径越来越小。经过足够长时间后, 小球会停止在悬点正下方。若小球在运动中每转动一周的时间内半径变化均可忽略, 即每一周都可视为匀速圆周运动。请分析说明在小球做上述圆周运动的过程中, 随着细绳与竖直方向的夹角不断减小, 小球做圆周运动的周期是如何变化的?_____

三、计算与证明题, 本题包括 3 小题, 共 42 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤。只写出最后答案的不能得分, 有数值计算的题, 答案中必须明确写出数值和单位。

13. 如图所示, 竖直平面内的 $\frac{3}{4}$ 圆弧形光滑管道半径略大于小球半径, 管道中心到圆心距离为 R , A 端与圆心 O 等高, AD 为水平面, B 端在 O 的正下方, 小球自 A 点正上方由静止释放, 自由下落至 A 点时进入管道



(1) 如果管道与小球接触的内侧壁 (图中较小的 $\frac{3}{4}$ 圆周) 始终对小球没有弹力, 小球释放点距离 A 点的最小高度为多大?

(2) 如果小球到达 B 点时, 管壁对小球的弹力大小为小球重力大小的 9 倍。求:

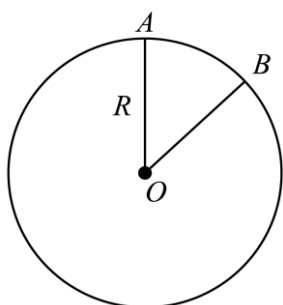
- a. 小球运动到管道最高点 E 时对管道的弹力;
- b. 落点 C 与 A 的水平距离。

14. 我国将于 2020 年首次探测火星。火星与地球的环境非常相近, 很有可能成为人类的第二个家园。已知火星的质量为 m , 火星的半径为 R , 太阳质量为 M , 且 $M \gg m$, 万有引力常量为 G 。太阳、火星均可视为质量分布均匀的球体。不考虑火星自转。

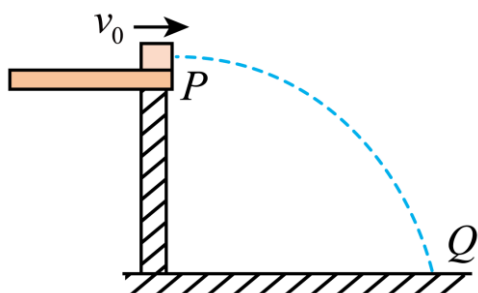
- (1) 设想在火星表面以初速度 v_0 竖直上抛一小球, 求小球从抛出至落回抛出点所经历的时间 t 。
- (2) 为简化问题, 研究太阳与火星系统时可忽略其他星体的作用, 只考虑两者之间的引力作用。
 - a. 通常我们认为太阳静止不动, 火星绕太阳做匀速圆周运动。已知火星绕太阳运动的轨道半径为 r , 请据此模型求火星的运行周期 T_1 。
 - b. 事实上太阳因火星的吸引不可能静止, 但二者并没有因为引力相互靠近, 而是保持间距 r 不变。请由此构建一个太阳与火星系统的运动模型, 据此模型求火星的运行周期 T_2 与 T_1 的比值 $\frac{T_2}{T_1}$; 并说明通常认为太阳静止不动的合理性。

15. 匀速圆周运动和平抛是两种最典型的曲线运动。

(1) 当物体做匀速圆周运动时, 可以通过速度变化的情况来确定加速度的大小和方向。请用运动学的方法证明: 一个物体做匀速圆周运动, 其线速度大小为 v , 圆的半径为 R (如图所示) 时, 则其加速度大小为 $a = \frac{v^2}{R}$ 。(已知角度 θ 很小时, 有 $\sin \theta \approx \theta$)



(2) 研究一般曲线运动 (如平抛) 时, 可以把这条曲线分割为很多很短的小段, 质点在这每小段的运动都可以看作圆周运动的一部分。质点所受合力 F 可以沿运动方向和垂直运动方向分解, 沿切向的部分 F_t 使质点速度大小改变, 垂直切向部分提供质点运动方向改变所需要的向心力 F_n 满足: $F_n \approx m \frac{v^2}{r}$, 其中 v 为质点在该点的瞬时速度, r 为该点等效圆周运动半径 (即曲率半径)。一个可以看作质点的物块以初速度 $v_0 = 3\text{m/s}$ 离开桌面做平抛运动, 桌面离地高度为 $h = 0.8\text{m}$, 当地重力加速度为 $g = 10\text{m/s}^2$ 。



- 物块运动的轨迹为抛物线, 求该轨迹在抛出点 P 和落地点 Q 的曲率半径。
- 现制作一个与小物块平抛轨迹完全相同的光滑轨道, 并将该轨道固定在与 PQ 曲线重合的位置, 让物块从顶端 P 沿该轨道无初速下滑, 试通过计算, 分析说明小物块在落地前是否会脱离轨道。

参考答案

一、本题共 10 小题，在每小题给出的选项中，至少有一个选项是符合题意的（每小题 4 分，共 40 分。每小题全选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，只要有选错的该小题不得分）

1. 【答案】AC

【分析】

【详解】AB. 橡皮在水平方向匀速运动，由于橡皮向右运动的位移一定等于橡皮向上的位移，故在竖直方向以相等的速度匀速运动，根据平行四边形定则，可知合速度也是一定的，即橡皮运动的速度大小和方向均不变，故 A 正确，B 错误；

CD. 橡皮参与了水平向右和竖直向上的分运动，两个方向的分运动都是匀速直线运动，合运动也为匀速直线运动，所以运动轨迹直线，故 C 正确，D 错误。

故选 AC。

2. 【答案】C

【详解】狗拉着雪橇做匀速圆周运动，合力指向圆心，提供向心力，滑动摩擦力的方向与相对运动方向相反，故沿切线向后，拉力与摩擦力的合力指向圆心，故拉力指向斜上方，故 ABD 错误，C 正确。

故选 C。

3. 【答案】B

【详解】角速度

$$\omega = 2\pi n$$

则主动轮的线速度

$$v_1 = \frac{D_1 \omega_1}{2} = \pi D_1 n_1$$

从动轮的线速度

$$v_2 = \frac{D_2 \omega_2}{2} = \pi D_2 n_2$$

因为主动轮和从动轮的线速度相等，则

$$\pi D_1 n_1 = \pi D_2 n_2$$

所以

$$n_2 = \frac{D_1 n_1}{D_2}$$

故选 B。

4. 【答案】BD

【详解】A. 由于杆子可以表现为拉力，可以表现为支持力，最高点的速度极限可以取为零，A 错误；

B. 长度为 l 的轻细杆一端连接小球做匀速转动，所受合外力提供向心力，大小不变，方向处处指向圆心，B 正确；



C. 小球在运动过程中，在圆心下方时具有向上的加速度，处于超重状态，C 错误；

D. 小球在最高点有

$$F + mg = ml\omega^2$$

在最低点有

$$F - mg = ml\omega^2$$

可见小球从最高点运动到最低点过程中，受到的杆的弹力逐渐增大，D 正确。

故选 BD。

5. 【答案】ABC

【详解】C. 将某物体由距月球表面高 h 处释放，经时间 t 后落到月球表面，则有

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

可求出月球表面的重力加速度

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

C 正确；

A. 根据万有引力提供向心力有

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} r$$

又

$$GM = gr^2$$

可得

$$r = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

A 正确；

B. 根据

$$GM = gr^2$$

可得

$$M = \frac{gr^2}{G}$$

B 正确；

D. 设月球绕地球的轨道半径为 r' ，周期为 T' ，其向心加速度

$$a = r' \frac{4\pi^2}{T'^2}$$

因为不知道月球绕地球的轨道半径以及月球绕地球的周期，所以无法求出月球绕地球做匀速圆周运动的向心加速度，D 错误。



故选 ABC。

6. 【答案】ACD

【详解】A. 根据牛顿第二定律可得

$$\frac{GMm}{r^2} = ma$$

可得

$$a = \frac{GM}{r^2}$$

可知航天器在椭圆轨道上经过 B 点时的加速度等于它在圆轨道上经过 B 点时的加速度，故 A 正确；

BC. 卫星从低轨道变轨到高轨道需要在变轨处点火加速，所以航天器在椭圆轨道上经过 B 点时的速度小于它在圆轨道上经过 B 点时的速度，则航天器在椭圆轨道上运行时具有机械能小于它在圆轨道上具有的机械能，故 B 错误，C 正确；

D. 假设航天器在经过 A 点的圆轨道运行，由万有引力提供向心力得

$$\frac{GMm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

可得

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$$

可知航天器在经过 A 点的圆轨道运行的速率大于航天器在圆轨道上经过 C 点时的速率，而航天器在 A 点从圆轨道变轨到椭圆轨道需要点火加速，所以航天器在圆轨道上经过 C 点时的速率小于它在椭圆轨道上经过 A 点时的速率，故 D 正确。

故选 ACD。

7. 【答案】AB

【详解】A. 赤道上的物体与同步卫星的角速度相等，则有

$$v_1 = \omega R, \quad v_3 = 7\omega R$$

解得

$$\frac{v_1}{v_3} = \frac{1}{7}$$

故 A 正确；

B. 对近地卫星与同步卫星有

$$G \frac{Mm_2}{R^2} = m_2 \frac{v_2^2}{R}, \quad G \frac{Mm_3}{(7R)^2} = m_3 \frac{v_3^2}{7R}$$

解得

$$\frac{v_2}{v_3} = \frac{\sqrt{7}}{1}$$



所以

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{1}{7\sqrt{7}}$$

故 B 正确;

C. 赤道上的物体与同步卫星的角速度相等, 则有

$$a_1 = \omega^2 R, \quad a_3 = \omega^2 \cdot 7R$$

解得

$$\frac{a_1}{a_3} = \frac{1}{7}$$

故 C 错误;

D. 对近地卫星与同步卫星

$$G \frac{Mm_2}{R^2} = m_2 a_2, \quad G \frac{Mm_3}{(7R)^2} = m_3 a_3$$

解得

$$\frac{a_2}{a_3} = \frac{49}{1}$$

所以

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{1}{343}$$

故 D 错误。

故选 AB。

8. 【答案】BD

【详解】月球的质量与苹果质量的关系不确定, 则不能比较地球吸引月球的力与地球吸引苹果的力的大小关系, 选项 A 错误; 设物体质量为 m , 地球质量为 M , 地球半径为 R , 月球轨道半径 $r=60R$, 物体在月球

轨道上运动时的加速度为 a , 由牛顿第二定律: $G \frac{Mm}{(60R)^2} = ma$; 地球表面物体重力等于万有引力: $G \frac{Mm}{R^2}$

$=mg$; 联立得: $\frac{a}{g} = \frac{1}{60^2}$, 故 B 正确; 根据 $g = \frac{GM}{r^2}$ 可知, 因月球的质量和地球的质量关系未知, 则不能比较月球表面重力加速度与地球表面重力加速度的关系, 选项 C 错误; 如果苹果在离地球 $60R$ 的轨道上

绕地球运动, 加速度和月球一样大, 选项 D 正确; 故选 BD。

【点睛】解决本题的关键掌握月地检验的原理, 掌握万有引力等于重力和万有引力提供向心力这两个理论, 并能灵活运用。

9. 【答案】ABD

【分析】

【详解】A. 游客和椅子受重力和绳子的拉力作用, 所需向心力由重力和绳子拉力的合力提供, A 正确;



B. 游客和椅子匀速转动，动能不变，根据动能定理可知，游客和椅子所受合力做功为零，B 正确；
CD. 绳子拉力与游客和椅子的线速度方向垂直，可知绳子拉力对游客和椅子做功为零，C 错误 D 正确。
故选 ABD。

10. 【答案】D

【详解】AB. 过最高点后，水平分速度要增大，经过四分之一圆周后，水平分速度为零，可知从最高点开始经过四分之一圆周，水平分速度先增大后减小，故通过题图可知，图像的 t_1 是最高点，面积 S_1 表示的是从最低点运动到水平直径最左端位置的过程中通过的水平位移，其大小等于轨道半径； S_2 表示的是从水平直径最左端位置运动到最高点的过程中通过的水平位移，其大小也等于轨道半径，AB 错误；

C. 小球经过最高点时水平分速度为正，且过最高点的前后两个时刻水平分速度相等，所以 t_1 时刻小球通过最高点， t_1 时刻轻杆对小球可能没有弹力作用，而 t_2 时刻的杆中弹力不可能为 0，C 错误；

D. 若存在某点高于圆心，低于最高点，巧好重力的分力提供匀速圆周运动的向心力，则杆中的弹力为零，并存在关于过圆心竖直方向对称位置弹力也为零，故在小球做一次完整圆周运动的过程中，杆中弹力可能两次为零，D 正确。

故选 D。

二、实验题（每空 2 分，共 18 分）

11. 【答案】(1) ACF (2) AD

(3) ①. 1.0 ②. 0.20

【小问 1 详解】

做“研究平抛物体的运动”实验时，除了木板、小球、斜槽、铅笔、图钉之外，还需要的是器材是刻度尺、坐标纸、重锤线，坐标纸除能更准确确定位置外，还能读出某点坐标，重锤线的作用是确保坐标纸是在竖直面内，使其与小球运动平面平行。

故选 ACF。

【小问 2 详解】

AB. 为了使小球平抛运动的初速度相同，小球需从斜槽上相同的位置自由滑下，斜槽轨道不一定需要光滑，故 A 正确，B 错误；

C. 挡板每次向下移动的距离不必须相等，下移位置合适即可，故 C 错误；

D. 要画出轨迹，必须让小球在同一位置多次释放，才能在坐标纸上多找到一些点，然后将这些点平滑连接起来，就能描绘出平抛运动轨迹，所以要使描出的轨迹更好地反映真实运动，记录的点应适当多一些，故 D 正确；

E. 实验总是有误差的，不能用一条曲线把所有的点连接起来，应该将找到的点用平滑的曲线连接起来，有的点可能在平滑的曲线上，有的点也可能不在平滑的曲线上，故 E 错误。

故选 AD。

【小问 3 详解】

[1] 竖直方向有

$$\Delta y = gT^2$$



解得

$$T = \sqrt{\frac{\Delta y}{g}} = \sqrt{\frac{(40-15-15) \times 10^{-2}}{10}} \text{s} = 0.1 \text{s}$$

水平方向有

$$x = v_0 T$$

解得物体运动的初速度

$$v_0 = \frac{x}{T} = \frac{0.1}{0.1} \text{m/s} = 1.0 \text{m/s}$$

[2] B 点竖直分速度

$$v_{By} = \frac{0.4}{0.2} \text{m/s} = 2 \text{m/s}$$

又

$$v_{By} = gt$$

解得从抛出点运动到 B 点所需时间

$$t = \frac{v_{By}}{g} = \frac{2}{10} \text{s} = 0.20 \text{s}$$

12. 【答案】(1) ①. $m \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} r$ ②. $mg \frac{r}{h}$ ③. B (2) ABC

(3) 见解析

【小问 1 详解】

①[1] 小球运动 n 圈的总时间 t , 则

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

小球所受的向心力

$$F_n = m\omega^2 r = m \left(\frac{2\pi}{T} \right)^2 r = m \left(\frac{2\pi n}{t} \right)^2 r = m \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} r$$

[2] 小球做此圆周运动所受的合力大小

$$F = mg \tan \theta = mg \frac{r}{h}$$

②[3] 根据合力提供向心力可得

$$m \frac{4\pi^2 n^2}{t^2} r = mg \frac{r}{h}$$

可得

$$t^2 = \frac{4\pi^2 n^2}{g} h$$



故选 B。

【小问 2 详解】

- A. 相同体积的小球，选择密度大一些的球可以减小空气阻力对实验的影响，A 正确；
B. 相同质量的小球，选择体积小一些的球有利于确定其圆周运动的半径，B 正确；
C. 测量多个周期的总时间再求周期的平均值，有利于减小周期测量的偶然误差，C 正确；
D. 由 (1) ② 分析可知，在这个实验中没必要测量出小球的质量，D 错误。

故选 ABC。

【小问 3 详解】

设小球做半径为 r 的圆周运动的周期为 T ，此时小球距细线上端固定点的竖直高度为 h ，根据受力情况和向心力公式有

$$\frac{mgr}{h} = \frac{m4\pi^2 r}{T^2}$$

可解得

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$$

因半径变小，细绳与竖直方向的夹角不断减小，但绳长不变， h 变大，故小球周期变大。

三、计算与证明题，本题包括 3 小题，共 42 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要的演算步骤。只写出最后答案的不能得分，有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位。

13. 【答案】(1) $1.5R$

(2) a. $3mg$ ，方向竖直向上； b. $(2\sqrt{2}-1)R$

【小问 1 详解】

如果管道与小球接触的内侧壁始终对小球没有弹力，则小球到达最高点时的最小速度满足

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

从开始下落到到达管的最高点，由机械能守恒

$$mgh_A = mgR + \frac{1}{2}mv^2$$

解得

$$h_A = 1.5R$$

则小球释放点距离 A 点的最小高度为 $1.5R$ 。

【小问 2 详解】

a. 在 B 点，管壁对小球的弹力

$$F=9mg$$

小球做圆周运动，由牛顿第二定律可得



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

小球从 B 点到达管道最高点 E 的过程中, 由动能定理可得

$$-mg \times 2R = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

在 E 点由牛顿第二定律可得

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

联立解得

$$F' = 3mg$$

根据牛顿第三定律可知小球运动到管道最高点 E 时对管道的弹力为 $3mg$, 方向竖直向上。

b. 小球从 B 点到达管道最高点过程中, 由动能定理可得

$$-2mgR = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

小球离开管道后做平抛运动, 在竖直方向上有

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

在水平方向上

$$x = v_E t$$

解得

$$x = 2\sqrt{2}R$$

则落点 C 与 A 的水平距离为 $(2\sqrt{2} - 1)R$ 。

14. 【答案】 (1) $t = \frac{2v_0 R^2}{Gm}$; (2) a. $T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$; b. $\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{M}{M+m}}$.

【详解】(1) 设火星表面的重力加速度为 g , 则

$$t = 2 \cdot \frac{v_0}{g} \quad \text{①}$$

火星表面质量为 m_1 的物体所受重力与万有引力相等, 有

$$G \frac{mm_1}{R^2} = m_1 g \quad \text{②}$$

联立①②式可得

$$t = \frac{2v_0 R^2}{Gm}$$

(2) a. 对火星, 万有引力提供向心力, 有



$$G \frac{Mm}{r^2} = mr \frac{4\pi^2}{T_1^2}$$

可得

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{r^3}{GM}} \quad ③$$

b. 太阳与火星构成“双星”模型，即二者都围绕它们连线上的某一定点 O 做周期相同的匀速圆周运动。设火星的运行半径为 r_1 ，太阳的运行半径为 r_2 。

对火星有

$$G \frac{Mm}{r^2} = mr_1 \frac{4\pi^2}{T_2^2} \quad ④$$

对太阳有

$$G \frac{Mm}{r^2} = Mr_2 \frac{4\pi^2}{T_2^2} \quad ⑤$$

$$r_1 + r_2 = r \quad ⑥$$

联立③④⑤⑥式可得

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{M}{M+m}} \quad ⑦$$

联立④⑤⑥式可得

$$r_2 = \frac{m}{M+m} r \quad ⑧$$

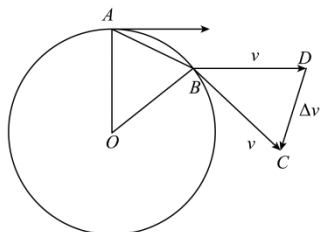


一方面，因 $\frac{T_2}{T_1} \approx 1$ ，由⑦式得 $\frac{T_2}{T_1} \approx 1$ ，可见运行周期几乎相等；另一方面，由⑧式得 $r_2 \approx 0$ ，即太阳几乎与定点 O 位置重合，所以通常认为太阳静止不动是合理的。

15. 【答案】(1) 见解析 (2) a. $r_p = 0.9\text{m}$, $r_Q = \frac{25}{6}\text{m}$; b. 见解析

【小问 1 详解】

若物体由图中的 A 点运动到 B 点， AB 圆弧所对圆心角为 θ ，如图所示



可知三角形 AOB 与三角形 DBC 相似，则三角形 DBC 为等腰三角形，根据几何关系得

$$\Delta v = 2v \sin \frac{\theta}{2}$$

A 点到 B 点的时间为

$$t = \frac{R\theta}{v}$$

解得 A 点到 B 点的平均加速度为

$$a = \frac{\Delta v}{t} = \frac{2v^2 \sin \frac{\theta}{2}}{R\theta}$$

当圆心角 θ 趋近于零 ($\theta \rightarrow 0$) 时, 则有

$$\sin \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2}$$

可得

$$a = \frac{2v^2 \sin \frac{\theta}{2}}{R\theta} = \frac{2v^2 \cdot \frac{\theta}{2}}{R\theta} = \frac{v^2}{R}$$

【小问 2 详解】

a. 物块在抛出点 P 时, 重力刚好与速度方向垂直, 则有

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

解得该轨迹在抛出点 P 的曲率半径为

$$r_P = 0.9\text{m}$$

物块从抛出点 P 和落地点 Q 过程做平抛运动, 则有

$$- \quad , \quad v_y = gt$$

解得

$$v_y = 4\text{m/s}$$

则物块在落地点 Q 的速度大小为

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} = 5\text{m/s}$$

物块在落地点 Q 的速度方向与水平方向的夹角满足

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0} = \frac{4}{3}$$

可得

$$\theta = 53^\circ$$

则在落地点 Q 有

$$mg \cos \theta = m \frac{v^2}{r_Q}$$

解得该轨迹在落地点 Q 的曲率半径为



$$r_Q = \frac{25}{6} \text{ m}$$

b. 物块做平抛运动过程经过某点的速度大小为 v_1 ，与水平方向的夹角为 α ，该点的曲率半径为 r_1 ，则有

$$mg \cos \alpha = m \frac{v_1^2}{r_1}$$

现制作一个与小物块平抛轨迹完全相同的光滑轨道，并将该轨道固定在与 PQ 曲线重合的位置，让物块从顶端 P 沿该轨道无初速下滑，物块下滑到与平抛运动同一点时，重力做功相同，但平抛运动具有一定的初速度，所以物块无初速下滑时经过同一点的速度 v'_1 小于物块做平抛运动经过同一点的速度 v_1 ，则有

$$mg \cos \alpha = m \frac{v_1^2}{r_1} > m \frac{v_1'^2}{r_1}$$

可知轨道对物块有支持力作用，所以小物块在落地前不会脱离轨道。

