



物 理

本试卷共 8 页，100 分。考试时长 90 分钟。考生务必将答案答在答题卡上，在试卷上作答无效。考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

第一部分

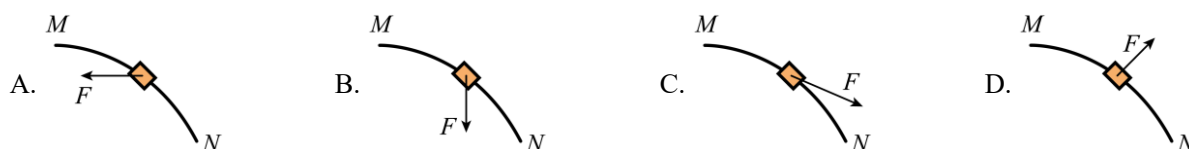
本部分共 14 题，共 46 分。

一、单项选择题（本题共 10 小题，每小题 3 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，只有一个选项是符合题意的。）

1. 下列物理量中属于矢量的是（ ）

- A. 动能 B. 功 C. 重力势能 D. 万有引力

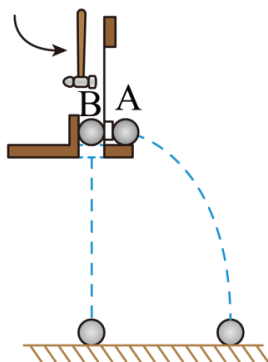
2. 质点沿曲线由 M 向 N 运动的速度逐渐增大。下图分别画出了质点所受合力 F 的四种方向，其中可能的是（ ）



3. 人造地球卫星绕地球做匀速圆周运动，下列说法中正确的是（ ）

- A. 根据公式 $F = m\omega^2 r$ ，卫星的向心力大小与轨道半径成正比
 B. 根据公式 $F = m \frac{v^2}{r}$ ，卫星的向心力大小与轨道半径成反比
 C. 根据公式 $F = mv\omega$ ，卫星的向心力大小与轨道半径无关
 D. 根据公式 $F = G \frac{Mm}{r^2}$ ，卫星的向心力大小与轨道半径的二次方成反比

4. 如图所示，A、B 两球静止在同一高度处。用锤打击弹性金属片，A 球沿水平方向飞出的同时 B 球做自由落体运动，观察到两球同时落地。改变两球的高度和击打的力度多次实验，总能观察到两球同时落地。这个现象说明（ ）

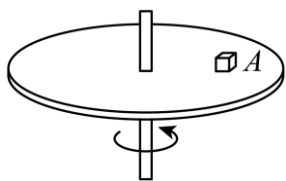


- A. 小球 A 在水平方向做匀速运动
 B. 小球 A 在竖直方向做自由落体运动

C. 小球 A 在竖直方向做匀速运动

D. 小球 A 在水平方向做匀速运动，竖直方向做自由落体运动

5. 如图所示，小物块 A 与水平圆盘保持相对静止，随圆盘一起在水平面内做匀速圆周运动。关于小物块 A 的受力情况，下列说法正确的是（ ）



A. 受重力、支持力

B. 受重力、支持力和摩擦力

C. 受重力、支持力、摩擦力和向心力

D. 受到的合外力为零

6. “北斗三号全球卫星导航系统”由 3 颗地球静止轨道卫星、3 颗倾斜地球同步轨道卫星、24 颗中圆地球轨道卫星组成。中圆卫星的轨道高度约为 $2.1 \times 10^4 \text{ km}$ ，静止卫星的轨道高度约为 $3.6 \times 10^4 \text{ km}$ 。若将卫星的运动均看作是绕地球的匀速圆周运动，则（ ）

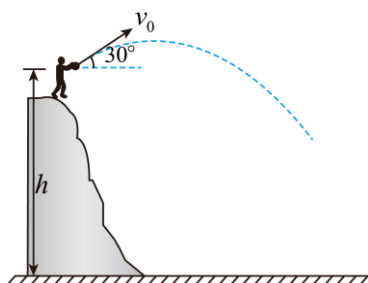
A. 中圆地球轨道卫星的运行周期大于 24h

B. 地球静止卫星轨道平面与北京所在纬度圈的平面相同

C. 中圆地球轨道卫星的运行角速度大于地球自转的角速度

D. 中圆地球轨道卫星的运行线速度小于地球静止轨道卫星的运行线速度

7. 如图所示，某人沿与水平成 30° 角的方向斜向上以 10 m/s 的初速度 v_0 抛出质量为 1 kg 的小球，小球抛出时距离地面高度 h 为 10 m ，落地前瞬时速度大小为 16 m/s 。 g 取 10 m/s^2 则对于小球在空中运动的全过程，下列说法中正确的是（ ）



A. 机械能减少 78J

B. 重力做功大于 100J

C. 合力对小球做的功为 78J

D. 空气阻力对小球做的功为 -78J

8. 农田里架有一水管，如图所示，水从出水口沿水平方向满口均匀流出。用一把卷尺，只需要测出下列哪些数据就可大致估测某一时刻空中的水的体积（ ）





- A. 管口内径 d 、水的水平位移 x
- B. 管口内径 d 、管口到地面的高度 h
- C. 管口到地面的高度 h 、水的水平位移 x
- D. 管口到地面的高度 h 、水的总位移 s

9. 结合万有引力定律 $\left(F = G \frac{Mm}{r^2}\right)$ 和向心力相关知识，可推得开普勒第三定律 $\left(\frac{r^3}{T^2} = k\right)$ 中 k 的表达式。

下面关于 k 的说法中正确的是 ()

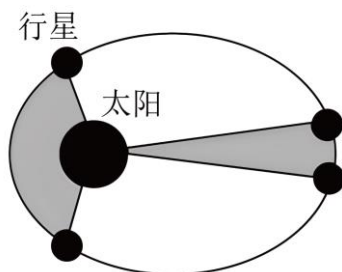
- A. k 就是 G
- B. k 与 G 无关
- C. k 与中心天体的质量 M 有关
- D. 太阳行星系统的 k 值与地球卫星系统的 k 值相同

10. 利用面积为 S 的某海湾修建一座水库，涨潮时水深 h_1 ，此时关上水坝的闸门，可使水库水位保持 h_1 不变。退潮时，坝外水位降至 h_2 。若利用此水坝建造水力发电站，且重力势能转化为电能的效率是 η ，水的密度为 ρ ，重力加速度为 g ，每天有两次涨潮、两次退潮。涨潮和退潮时水流都可以推动水轮机发电，则该电站一天能发的电能约为 ()

- A. $2\rho Sg\eta(h_1 - h_2)^2$
- B. $4\rho Sg\eta(h_1 - h_2)^2$
- C. $2\rho Sg\eta(h_1 - h_2)$
- D. $4\rho Sg\eta(h_1 - h_2)$

二、多项选择题 (本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。每小题全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。)

11. 如图，行星绕太阳运动的轨迹为椭圆，下列说法中正确的是 ()



- A. 太阳处在椭圆的一个焦点上
- B. 行星在近日点的速率大于在远日点的速率
- C. 行星从近日点到远日点的过程，引力对它做负功

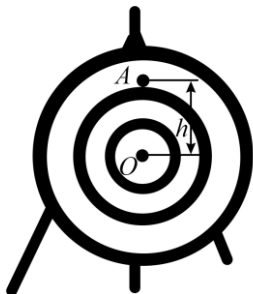
D. 不同的行星与太阳的连线在相等的时间内扫过的面积都相等

12. 要把湿手上的水甩掉，人通常的甩手动作如图所示，这幅图片是由每秒 25 帧的摄像机拍摄视频后制作的，它真实地记录了手臂各部位在不同时刻的位置信息，图中 A 、 B 、 C 是甩手动作最后 3 帧照片指尖的位置， M 、 N 分别是最后 1 帧照片中肘关节、腕关节的位置。指尖从 A 到 B 的运动过程，可以看作：指尖先以肘关节为圆心做圆周运动，再以腕关节为圆心做圆周运动。测得 A 、 B 之间的真实距离为 32cm， AM 的真实长度为 40cm， CN 的真实长度为 16cm。重力加速度为 g 。结合以上信息，下列判断中正确的是 ()



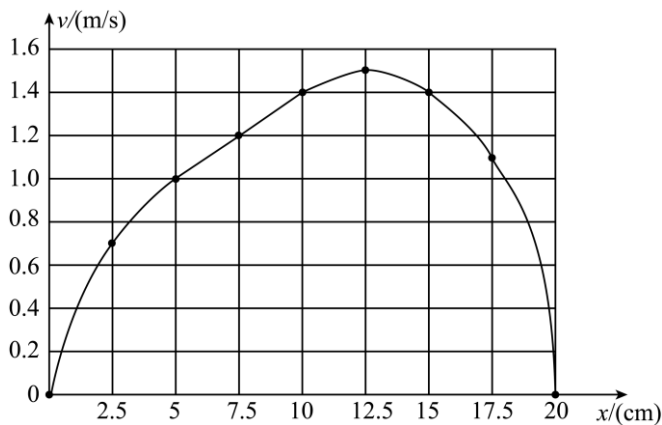
- A. 指尖在 B 、 C 之间运动的速度比 A 、 B 之间的大
- B. 指尖在 A 、 B 之间运动的速度大小约为 8m/s
- C. 指尖的最大向心加速度大小约为 $16g$
- D. 指尖上的水滴可能在 A 、 B 之间被甩出

13. 某人站在竖直放置的靶盘前，将一玩具“子弹”在距离靶盘 2m 处，以 20m/s 的初速度水平投射出去。如图所示， A 为靶盘上留下的子弹孔， O 为靶心， A 、 O 在同一竖直线上， A 、 O 距离 h 为 15cm。忽略空气的阻力， g 取 10m/s^2 ，为了投射中靶心，其它条件都不变，只需要调整 ()



- A. “子弹”到靶的距离为 4m
- B. “子弹”到靶的距离为 1.5m
- C. “子弹”初速度的大小为 25m/s
- D. “子弹”到靶的距离为 3m，初速度的大小为 15m/s

14. 为了研究蹦极运动，某同学用细绳与轻弹簧系在一起模拟“蹦极绳”，用砝码模拟运动员，将“蹦极绳”的细绳一端固定在足够高的支架上，将砝码系挂在“蹦极绳”的弹簧一端。已知砝码质量为 0.5kg，“蹦极绳”原长为 10cm，砝码从支架处由静止下落，测得砝码在不同时刻下降的高度及速率，可得如图所示的速率—位移图像。不计空气阻力， g 取 10m/s^2 ，下列判断中正确的是 ()



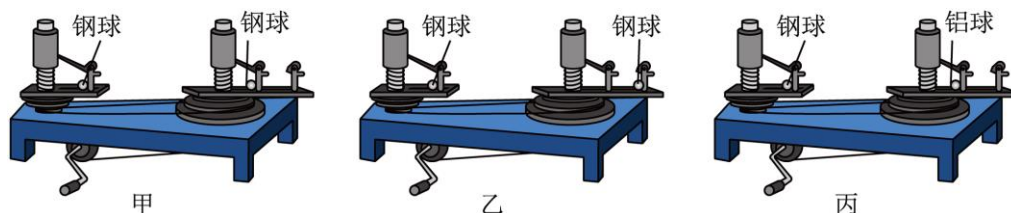
- A. 砝码下落 10~12.5cm 的过程，所受合力方向向下
- B. 弹簧的劲度系数为 500N/m
- C. 砝码下落 12.5cm 时，“蹦极绳”的弹性势能为 0J
- D. 砝码下落到最低点时，“蹦极绳”的弹性势能为 1J

第二部分

本部分共 6 题，共 54 分。

三、实验题（本题共 2 小题，共 16 分。）

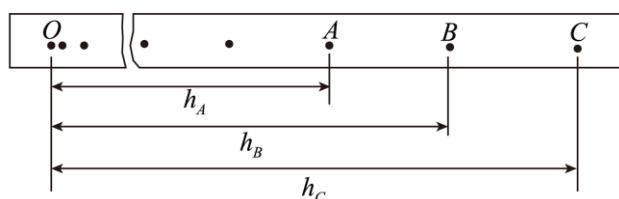
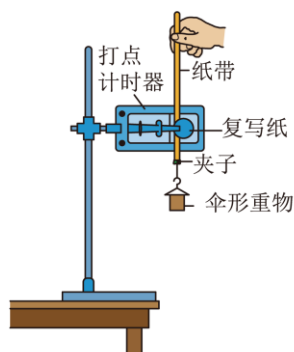
15. 用向心力演示器来探究向心力大小与半径、角速度、质量的关系，实验情境如甲、乙、丙三图所示，其中乙、丙两图中与皮带相接触的变速塔轮的半径相等。



- (1) 三个情境中，图_____是探究向心力大小与半径的关系（选填“甲”、“乙”或“丙”）。
- (2) 如图甲，若实验中通过标尺上露出的红白等分标记观察到两个小球所受向心力大小的比值为 4:1，则与皮带相接触的变速塔轮相对应的半径之比为_____。

16. 小新利用左图所示的装置，用伞形重物带动纸带从静止开始下落，用实验检验一下机械能是否守恒。已知当地的重力加速度为 g 。

- (1) 除图中装置外，在下列器材中，还必须使用的器材是_____和_____。
- A. 交流电源 B. 刻度尺 C. 天平（含砝码） D. 秒表



(2) 小新得到如右图所示的一条纸带。在纸带上选取三个连续打出的点 A 、 B 、 C ，测得它们到起始点 O 的距离分别为 h_A 、 h_B 、 h_C 。已知打点计时器打点的周期为 T ，伞形重物的质量为 m 。打下 B 点时伞形重物的速度为 v ，发现用公式 $v_{B1} = \sqrt{2gh_B}$ 计算的结果与用公式 $v_{B2} = \frac{h_C - h_A}{2T}$ 计算的结果要大。请用 m 、 v_{B1} 、 v_{B2} 表达：从 O 到 B 点的程中，伞形重物的重力势能减少量 $|\Delta E_p| =$ _____，动能增加量 $|\Delta E_k| =$ _____。

四、论述、计算题（本题共 4 小题，共 38 分。）

解答要求：写出必要的文字说明、方程式、演算步骤和答案。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。

17. 在 xOy 平面直角坐标系中，质点在 xOy 平面内从 O 点开始运动，在 Ox 方向上做初速度为 2m/s 的匀速运动，在 Oy 方向上做初速度为零、加速度为 10m/s^2 的匀加速运动。求：质点的轨迹方程。

18. 如图 1，质量为 m 的小球用细线悬于 O 点，使小球在水平面内以 O' 为圆心做匀速圆周运动时，忽略空气阻力，重力加速度为 g 。悬挂小球的绳长为 l ，悬点 O 到圆心 O' 的距离为 h ，细线与 OO' 的夹角为 θ ，小球做匀速圆周运动的角速度为 ω 。

(1) 请推证：小球运动的角速度 $\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$

(2) 图 2 为北京冬奥会花样滑冰双人自由滑比赛时，中国男运动员拉着女运动员的手，以过自己右肩的竖直线为轴，让女运动员旋转到几乎飞起来时的精彩画面。请结合 (1) 的结论写出：在不考虑阻力、忽略冰面对女运动员的支持力的情况下，影响女运动员旋转快慢的因素是什么？

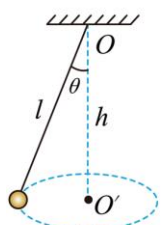


图1



图2



19. 第一宇宙速度又叫作环绕速度，第二宇宙速度又叫作逃逸速度。理论分析表明，逃逸速度是环绕速度的 $\sqrt{2}$ 倍。这个关系对于其他天体（如黑洞）也是正确的。黑洞具有非常强的引力，即使以 $c = 3 \times 10^8 \text{m/s}$ 的速度传播的光也不能从它的表面逃逸出去。请你根据以上信息，利用学过的知识，解决以下问题：

(1) 已知某黑洞的质量 M 、半径 R ，以及万有引力常量 G ，请推导该黑洞的环绕速度 v_1 的表达式。

(2) 已知太阳质量为 $2.0 \times 10^{30} \text{kg}$ ，引力常量 $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$ 。在质量不变的情况下，倘若太阳能收缩成黑洞，求其半径的临界值（不考虑相对论效应，结果保留一位有效数字）。

20. 一般的曲线运动，尽管曲线各个位置的弯曲程度不一样，但在研究时，可以把这条曲线分割为许多很短的小段，质点在小段的运动都可以看做圆周运动的一部分：该一小段圆周的半径为该点的曲率半径。这样，在分析质点经过曲线上某位置的运动时，就可以采用圆周运动的分析方法来处理了。

小珂发现游乐场的过山车轨道不是圆形轨道而是“水滴形”轨道（如图 1），小珏设计了如图 2 所示的过山

车模型，质量为 m 的小球在 A 点由静止释放沿倾斜轨道 A 。下滑，经水平轨道 BC 进入半径 $R_1 = 0.8\text{m}$ 的圆形轨道，恰能做完整的圆周运动；再经水平轨道 CE 进入“水滴形”曲线轨道 EFG ， E 点的曲率半径 $R_2 = 2\text{m}$ ，“水滴形”车道最高点 F 与圆形轨道最高点 D 等高。忽略所有轨道摩擦力，各轨道都平滑连接，“水滴形”轨道左右对称， g 取 10m/s^2 。

- (1) 求小球释放点 A 距离水平面的高度 H 。
- (2) 在圆形轨道上运动时，小球在最低点 C 与最高点 D 的向心加速度大小的差值。
- (3) 在“水滴形”轨道 EFG 上运动时，小球的向心加速度大小为一个定值，求“水形”轨道 F 点的曲率半径 r 。



图1

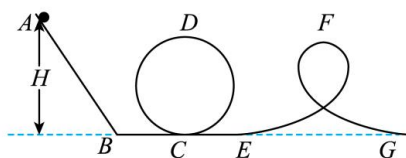


图2



参考答案



第一部分

本部分共 14 题，共 46 分。

一、单项选择题（本题共 10 小题，每小题 3 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，只有一个选项是符合题意的。）

1. 【答案】D

【详解】A. 动能只有大小，没有方向，是标量，故 A 错误；

B. 功只有大小，没有方向，是标量，故 B 错误；

C. 重力势能只有大小，没有方向，是标量，故 C 错误；

D. 万有引力是一种力，有大小，也有方向，遵循矢量的运算法则，属于矢量，故 D 正确。

故选 D。

2. 【答案】B

【详解】CD. 由于汽车沿曲线由 M 向 N 做曲线运动，所以速度方向沿切线指向 N ，合力 F 方向应该指向曲线的内侧，故 CD 错误；

AB. 由于汽车沿曲线由 M 向 N 做加速运动，合力 F 方向与速度方向成锐角，故 B 正确，A 错误。

故选 B。

3. 【答案】D

【详解】A. 根据公式 $F=m\omega^2r$ ，轨道半径变化，角速度也变化，所以卫星的向心力大小与轨道半径不成正比，故 A 错误；

B. 根据公式 $F=m\frac{v^2}{r}$ ，轨道半径变化，线速度也变化，所以卫星的向心力大小与轨道半径不成反比，故 B 错误；

C. 根据公式 $F=mv\omega$ ，轨道半径变化，角速度和线速度都变化，所以卫星的向心力大小与轨道半径有关，故 C 错误；

D. 根据公式 $F=G\frac{Mm}{r^2}$ ，卫星的向心力大小与轨道半径的二次方成反比，故 D 正确。

故选 D。

4. 【答案】B

【详解】两球同时落地，说明 A 球在竖直方向上与 B 球做同样的运动，又因为 B 球做自由落体运动，故该现象说明小球 A 在竖直方向做自由落体运动，但是无法体现小球 A 在水平方向上的运动特点。

故选 B。

5. 【答案】B

【详解】小物块在竖直方向上受重力和支持力，由于小物块在水平面内做匀速圆周运动，则还一定受到摩擦力从而提供其向心力，所以小物块受到的合力不为零。向心力是效果力，受力分析时不能将其与其他性

质力并列分析，故 ACD 错误，B 正确。

故选 B。

6. 【答案】C

【详解】A. 由开普勒第三定律

$$\frac{r^3}{T^2} = k$$

可知，由于中圆地球轨道卫星的半径小于地球静止轨道卫星的半径，则中圆地球轨道卫星的周期小于地球静止轨道卫星的周期，其中地球同步卫星轨道半径为 $3.6 \times 10^4 \text{km}$ ，其中地球同步卫星周期为 24h，故中圆地球轨道卫星的运行周期小于 24h，故 A 错误；

B. 地球静止轨道卫星周期与地球自转周期相同，且轨道平面与赤道平面成零度角，运动方向与地球自转方向相同，其相对地面静止，故地球静止卫星轨道平面与北京所在纬度圈的平面不相同，故 B 错误；

C. 由公式

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

可知，中圆地球轨道卫星的周期小于地球静止轨道卫星的周期，且地球自转周期与地球静止轨道卫星的周期相同，则中圆地球轨道卫星的角速度大于地球地球自转角速度，故 C 正确；

D. 根据

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r}$$

可得

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

由于中圆地球轨道卫星轨道高度小于地球静止轨道卫星的轨道高度，则中圆地球轨道卫星的运行线速度大于地球静止轨道卫星的运行线速度，故 D 错误。

故选 C

7. 【答案】C

【详解】A. 取地面为零势能面，小球抛出的瞬间机械能为

$$E_1 = mgh + \frac{1}{2}mv_0^2 = 150\text{J}$$

落地瞬间机械能为

$$E_2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 16^2 \text{J} = 128\text{J}$$

机械能减少量为

$$\Delta E = E_1 - E_2 = 22\text{J}$$

故 A 错误；

B. 重力做功为



$$W_G = mgh = 100\text{J}$$

故 B 错误;

C. 根据动能定理, 合力对小球做的功为

$$W_{\text{合}} = \Delta E_k = \frac{1}{2} \times 1 \times 16^2 \text{J} - \frac{1}{2} \times 1 \times 10^2 \text{J} = 78\text{J}$$

故 C 正确;

D. 由能量守恒可知空气阻力对小球做的功等于小球机械能的变化量, 故空气阻力对小球做的功为 -22J , 故 D 错误。

故选 C。

8. 【答案】A

【详解】设水从水平出水口流出时的初速度为 v_0 , 水的水平位移为 x , 某段水柱从出口流出到落地时间 t 内, 可知从管中流出的水柱的总长度为

$$l = v_0 t = x$$

该长度水柱的体积为

$$V = lS = l \cdot \pi \left(\frac{d}{2} \right)^2$$

d 为管口内径, 该长度水柱的体积即为空中的水的体积, 故需测出管口内径 d 、水的水平位移 x 即可。

故选 A。

9. 【答案】C

【详解】ABC. 根据万有引力提供向心力有

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

解得

$$\frac{r^3}{T^2} = \frac{GM}{4\pi^2}$$

故可知

$$k = \frac{GM}{4\pi^2}$$

故 AB 错误, C 正确;

D. 根据前面分析可知 k 与中心天体的质量 M 有关, 所以太阳行星系统的 k 值与地球卫星系统的 k 值不相同, 故 D 错误。

故选 C。

10. 【答案】A

【详解】一次涨潮水的质量为

$$m = \rho V = \rho \cdot S \cdot \Delta h, \quad \Delta h = h_1 - h_2$$



一次涨潮后水的重力势能增加量为

$$E_p = mg \cdot \frac{1}{2} \Delta h$$

水增加的势能转变为电能，故一次涨潮后发电量为

$$W_{\text{电}} = \eta E_p$$

一天中两次涨潮和退潮时能发的电能总量为

$$W_{\text{总}} = 4W_{\text{电}}$$

联立各式解得

$$W_{\text{总}} = 2\rho Sg\eta(h_1 - h_2)^2$$

故选 A。

二、多项选择题（本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。每小题全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。）

11. 【答案】ABC

【详解】A. 第一定律的内容为：所有行星分别沿不同大小的椭圆轨道绕太阳运动，太阳处于椭圆的一个焦点上，故 A 正确；

B. 根据面积定律可知，行星在近日点的速率大于在远日点的速率，故 B 正确；

C. 行星绕太阳运动时，从近日点到远日点的过程，太阳对它的引力与其速度方向的夹角大于 90° ，太阳对它的引力做负功，故 C 正确；

D. 开普勒第二定律的内容为：对于同一个行星来说，它与太阳的连线在相等的时间内扫过相等的面积，故 D 错误。

故选 ABC。

12. 【答案】BCD

【详解】AB. 由图可知 B、C 之间距离比 A、B 之间的距离小，经过的时间相同，故指尖在 B、C 之间运动的速度比 A、B 之间的小；指尖在 A、B 之间运动的速度大小约为

$$v_{AB} = \frac{l_{AB}}{\Delta t}, \quad \Delta t = \frac{1}{25} \text{s} = 0.04 \text{s}$$

解得

$$v_{AB} = 8 \text{m/s}$$

故 A 错误，B 正确；

CD. 图中 B、C 之间距离接近 CN 的距离，故可知指尖在 B、C 之间运动的速度大小约为

$$v_{BC} = \frac{l_{BC}}{\Delta t} = \frac{0.16}{0.04} \text{m/s} = 4 \text{m/s}$$

可得指尖在 B、C 之间运动的加速度和在 A、B 之间运动的加速度分别为



$$a_{BC} = \frac{v_{BC}^2}{l_{CN}} = 100\text{m/s}^2, \quad a_{AB} = \frac{v_{AB}^2}{l_{AM}} = 160\text{m/s}^2 \approx 16g$$



故 $a_{AB} > a_{BC}$ ，所以可知指尖上的水滴可能在 A 、 B 之间被甩出，故 CD 正确。

故选 BCD。

13. 【答案】AD

【详解】AB. 设玩具“子弹”从射出到 A 点的时间为 t ，射出点到 O 点的竖直高度为 H ，“子弹”做平抛运动，有

$$t = \frac{2}{20}\text{s} = 0.1\text{s}, \quad H = \frac{1}{2}gt^2 + h = 0.2\text{m}$$

故可知当投射中靶心时，“子弹”从射出到 O 点的时间为

$$t_1 = \sqrt{\frac{2H}{g}} = 0.2\text{s}$$

所以当水平初速度不变时，投射中靶心时，“子弹”到靶的距离为

$$x_1 = 20 \times 0.2\text{m} = 4\text{m}$$

A 正确，B 错误；

C. 当“子弹”初速度的大小为 25m/s 时，射到靶的时间为

$$t_2 = \frac{2}{25}\text{s} = 0.08\text{s} \neq 0.2\text{s}$$

故此时不能射中靶心，故 C 错误；

D. 当“子弹”到靶的距离为 3m ，初速度的大小为 15m/s 时，射到靶的时间为

$$t_3 = \frac{3}{15}\text{s} = 0.2\text{s}$$

可知此时可以射中靶心，故 D 正确。

故选 AD。

14. 【答案】AD

【详解】ABC. 砝码先加速后减速，故砝码先处于失重状态后处于超重状态，砝码下落 $10\sim 12.5\text{cm}$ 的过程，砝码处于加速状态，故重力大于弹簧绳拉力，当合力为 0 时速度最大，此时弹力等于重力，此时绳长为 12.5cm ，“蹦极绳”的弹性势能不为 0J ，由

$$k\Delta x = mg$$

得

$$k = \frac{mg}{\Delta x} = \frac{5}{(12.5-10) \times 10^{-2}}\text{N/m} = 200\text{N/m}$$

故 A 正确，BC 错误；

D. 砝码下落到最低点时，绳子的伸长量为

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 20\text{cm} - 10\text{cm} = 10\text{cm}$$

“蹦极绳”的弹性势能为

$$E_p = \frac{1}{2}k(\Delta x)^2 = \frac{1}{2} \times 200 \times (10 \times 10^{-2})^2 \text{ J} = 1 \text{ J}$$

故 D 正确。

故选 AD。



第二部分

本部分共 6 题，共 54 分。

三、实验题（本题共 2 小题，共 16 分。）

15. 【答案】 ①. 乙 ②. 1:2

【详解】(1) [1] 根据

$$F = mr\omega^2$$

可知，要探究向心力大小 F 与半径 r 关系，需控制小球的角速度和质量不变，由图可知，两侧采用皮带传动，所以两侧具有相等的线速度，根据皮带传动的特点可知，应该选择质量相同的小球，但运动半径不能相同，故图乙正确。

(2) [2] 两个球的质量相等，半径相同，由

$$F = m\omega^2 R$$

$$F' = m\omega'^2 R$$

已知

$$F : F' = 4 : 1$$

所以

$$\omega : \omega' = 2 : 1$$

两个塔轮边缘的线速度相等

$$v = v'$$

由

$$v = \omega r = \omega' r'$$

知两个变速塔轮的半径之比为

$$r : r' = 1 : 2$$

16. 【答案】 ①. A ②. B ③. $\frac{1}{2}mv_{B1}^2$ ④. $\frac{1}{2}mv_{B2}^2$

【详解】(1) [1][2] 本实验验证机械能守恒定律，当下降高度 Δh 后，重物速度为 v' 时，验证

$$mg\Delta h = \frac{1}{2}mv'^2$$

是否成立即可，等式两边质量可以消掉，故无需知道重物质量；使用打点计时器测重物速度，故需要交流电源，同时需要刻度尺测纸带上各点间的长度。

(2) [3] 由公式可知从 O 到 B 点的程中，伞形重物的重力势能减少量

$$|\Delta E_p| = mgh_B$$

同时结合

$$v_{B1} = \sqrt{2gh_B}$$

可得

$$|\Delta E_p| = \frac{1}{2}mv_{B1}^2$$

[4]因为在实验中存在阻力，故重物的实际下降的加速度不等于 g ，故在用匀变速运动公式

$$v_{B1}^2 = 2gh_B$$

得到的 B 点速度

$$v_{B1} = \sqrt{2gh_B}$$

不符合实际，故应用匀变速运动推论，中间时刻的瞬时速度等于该段平均速度来计算 B 点的实际速度，故应取

$$v_{B2} = \frac{h_C - h_A}{2T}$$

所以动能增加量

$$|\Delta E_k| = \frac{1}{2}mv_{B2}^2$$

四、论述、计算题（本题共 4 小题，共 38 分。）

解答要求：写出必要的文字说明、方程式、演算步骤和答案。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。

17. 【答案】 $y = \frac{5}{4}x^2$

【详解】在水平方向上

$$x = vt$$

在竖直方向上

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

解得

$$y = \frac{5}{4}x^2$$

18. 【答案】（1）见解析；（2）男运动员的右肩到地面的竖直距离

【详解】（1）对小球受力分析有

$$\tan \theta = \frac{F_n}{mg}$$

同时有



$$F_n = m\omega^2 r, \quad \frac{r}{h} = \tan \theta$$

联立解得

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{h}}$$

(2) 在不考虑阻力、忽略冰面对女运动员的支持力的情况下，此时女运动员相当于(1)中的小球在做圆锥摆运动，由(1)中可知该运动模型下，女运动员的旋转时的角速度满足(1)中的关系式，此时男运动员的右肩到地面的竖直距离相当于(1)中的 h ，重力加速度不变，故当男运动员的右肩到地面的竖直距离越大，女运动员旋转时的角速度越小，转的越慢；当男运动员的右肩到地面的竖直距离越小，女运动员旋转时的角速度越大，转的越快。

19. 【答案】(1) $v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$ ；(2) $R = 3 \times 10^{-3} \text{m}$

【详解】(1) 某天体绕黑洞做匀速圆周运动，根据万有引力等于向心力可得

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v_1^2}{R}$$

解得

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}}$$



(2) 设太阳质量为 m_e ，太阳半径为 R 。质量为 m 的物体在太阳表面附近环绕地球飞行时，环绕速度为 v ，由万有引力定律和牛顿第二定律

$$G \frac{m_e m}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$

解得：

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

逃逸速度：

$$v' = \sqrt{\frac{2Gm_e}{R}}$$

假如太阳变为黑洞：

$$v' \geq c$$

代入数据解得太阳半径的最大值

$$R = 3 \times 10^{-3} \text{m}$$

20. 【答案】(1) $H = 2\text{m}$ ；(2) $\Delta a = 10\text{m/s}^2$ ；(3) $r = 0.4\text{m}$

【详解】(1) 最高点 D

$$mg = \frac{mv_D^2}{R_1}$$

A 到 D 动能定理

$$mgH = \frac{1}{2}mv_D^2 + 2mgR_1$$

解得

$$H = 2m$$

(2) 从 A 到 C 由动能定理得

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

$$F_N - mg = m\frac{v_C^2}{R_1} = ma_C$$

解得

$$a_C = 50\text{m/s}^2$$

从 A 到 D 由动能定理得

$$mg = \frac{mv_D^2}{R_1} = ma_D$$

解得

$$a_D = 10\text{m/s}^2$$

则二者差值为

$$\Delta a = a_C - a_D = 40\text{m/s}^2$$

(3) A 到 E 点动能定理

$$mgH = \frac{1}{2}mv_E^2$$

$$a = \frac{v_E^2}{R_2}$$

解得

$$a = 2g$$

由题意水滴形轨道上运动时，向心加速度大小相等，均为 $2g$ 。当小球在 F 点时

$$mg(H - 2R_1) = \frac{1}{2}mv_F^2$$

$$a = \frac{v_F^2}{r} \quad (a = 2g)$$

则

$$r = 0.4\text{m}$$



