

交大附中 2021 届高三第一学期 10 月诊断性练习

物理试卷

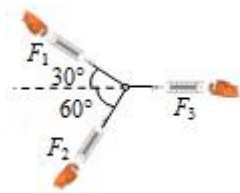
2020.10

命题人：史红姝 审核人：孙琦

说明：本试卷共 6 页，共 100 分，考试时长 90 分钟。考生务必将答案写在答题纸上，在试卷上作答无效。

一、本共 10 题，每小题 3 分，共 30 分。在每小题给出的四个选项中，有的小题只有一个选项是正确的，有的小题有多个选项是正确的。全部选对的得 3 分，选不全的得 2 分，有选错或不答的得 0 分。把正确的答案填涂在答题纸上。

1. 在研究共点力平衡条件的实验中，用三个弹簧测力计通过轻软线对同一个小圆环施加水平拉力作用，三个拉力的方向如图所示，如果小圆环可视为质点，且其所受重力可忽略不计，小圆环平衡时三个弹簧测力计的示数分别为  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$ ，关于这三个力的大小关系，下列说法中正确的是（ ）



- A.  $F_1 > F_2 > F_3$       B.  $F_3 > F_1 > F_2$       C.  $F_2 > F_3 > F_1$       D.  $F_3 > F_2 > F_1$

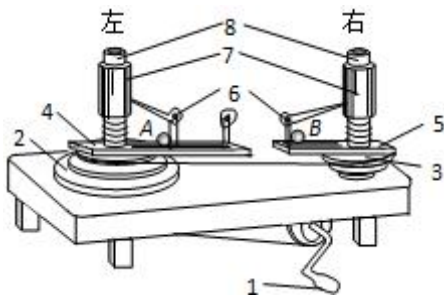
2. 在距水平地面附近一定高度处将一物体水平抛出，物体最终落到水平地面上。若空气阻力可忽略不计，下列说法中正确的是（ ）

- A. 物体沿水平方向的分运动是匀变速直线运动  
B. 物体落至水平地面上的速度与抛出时的初速度无关  
C. 物体在空中运动的时间与抛出时的初速度无关  
D. 物体在空中运动过程中的机械能不断增大

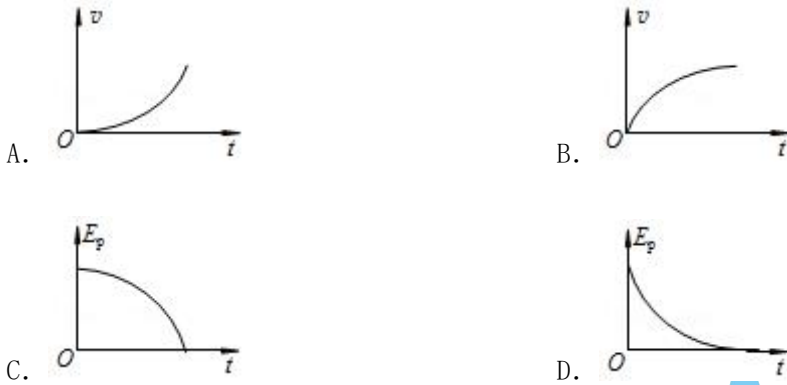
3. 如图所示，在上端开口的饮料瓶的侧面戳一个小孔，瓶中灌水，手持饮料瓶静止时，小孔有水喷出。若饮料瓶在下列运动中，没有发生转动且忽略空气阻力，小孔不再向外喷水的是（ ）



- A. 自由下落
- B. 饮料瓶被水平抛出后的运动过程中
- C. 饮料瓶被竖直向上抛出后的运动过程中
- D. 手持饮料瓶向上加速运动的过程中
4. 向心力演示器如图所示. 转动手柄 1, 可使变速塔轮 2 和 3 以及长槽 4 和短槽 5 随之匀速转动, 槽内的小球就做匀速圆周运动. 小球做圆周运动的向心力由横臂 6 的挡板对小球的压力提供, 球对挡板的反作用力通过横臂的杠杆使弹簧测力套筒 7 下降, 从而露出标尺 8, 标尺 8 上露出的红白相间等分格子的多少可以显示出两个球所受向心力的大小. 皮带分别套在塔轮 2 和 3 上的不同圆盘上, 可改变两个塔轮的转速比, 以探究物体做圆周运动的向心力大小跟哪些因素有关、具体关系怎样. 现将小球 A 和 B 分别放在两边的槽内, 小球 A 和 B 的质量分别为  $m_A$  和  $m_B$ , 做圆周运动的半径分别为  $r_A$  和  $r_B$ . 皮带套在两塔轮半径相同的两个轮子上, 实验现象显示标尺 8 上左边露出的等分格子多于右边, 则下列说法正确的是 ( )



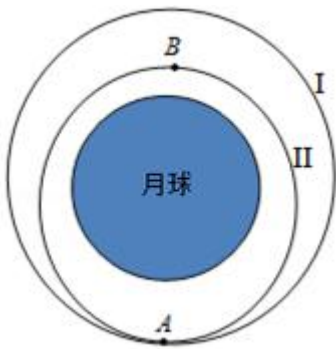
- A. 若  $r_A > r_B$ ,  $m_A = m_B$ , 说明物体的质量和角速度相同时, 半径越大向心力越大
- B. 若  $r_A > r_B$ ,  $m_A = m_B$ , 说明物体的质量和线速度相同时, 半径越大向心力越大
- C. 若  $r_A = r_B$ ,  $m_A \neq m_B$ , 说明物体运动的半径和线速度相同时, 质量越大向心力越小
- D. 若  $r_A = r_B$ ,  $m_A \neq m_B$ , 说明物体运动的半径和角速度相同时, 质量越大向心力越小
5. 雨滴在空中下落的过程中, 空气对它的阻力随其下落速度的增大而增大. 若雨滴下落过程中其质量的变化及初速度的大小均可忽略不计, 以地面为重力势能的零参考面. 从雨滴开始下落时计时, 关于雨滴下落过程中其速度的大小  $v$ 、重力势能  $E_p$  随时间变化的情况, 如图所示的图象中可能正确的是 ( )



6. 2016年9月15日我国在酒泉卫星发射中心成功发射了“天宫二号”空间实验室，它的轨道可视为距离地面  $h=393\text{km}$  的近圆周轨道。“天宫二号”在轨运行期间，先后与“神舟十一号”载人飞船和“天舟一号”货运飞船进行了交汇对接。这标志着我国载人航天进入应用发展新阶段，对于我国空间站的建造具有重大意义。已知地球表面的重力加速度  $g$ 、地球半径  $R$ 。根据题目所给出的信息，可估算出“天宫二号”空间实验室在轨运行的（ ）

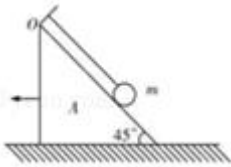
- A. 线速度的大小
- B. 周期
- C. 所受向心力的大小
- D. 动能

7. 与嫦娥1号、2号月球探测器不同，嫦娥3号是一次性进入距月球表面  $100\text{km}$  高的圆轨道 I（不计地球对探测器的影响），运行一段时间后再次变轨，从  $100\text{km}$  的环月圆轨道 I，降低到距月球  $15\text{km}$  的近月点 B、距月球  $100\text{km}$  的远月点 A 的椭圆轨道 II，如图所示，为下一步月面软着陆做准备。关于嫦娥3号探测器下列说法正确的是（ ）

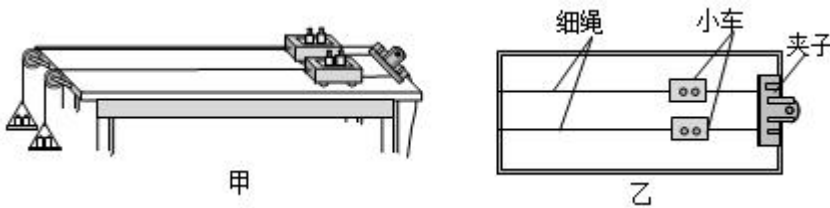


- A. 探测器在轨道 II 经过 A 点的速度小于经过 B 点的速度
- B. 探测器沿轨道 I 运动过程中，探测器中的科考仪器对其支持面没有压力
- C. 探测器从轨道 I 变轨到轨道 II，在 A 点应加速
- D. 探测器在轨道 II 经过 A 点时的加速度小于在轨道 I 经过 A 点时的加速度

8. 如图所示，一细线的一端固定于倾角为  $45^\circ$  的光滑楔形滑块 A 上的顶端 O 处，细线另一端拴一质量为  $m=0.2\text{kg}$  的小球静止在 A 上。若滑块从静止向左匀加速运动时加速度为  $a$ （取  $g=10\text{m/s}^2$ ）（ ）



- A. 当  $a=5\text{m/s}^2$  时, 细线上的拉力为  $\frac{3\sqrt{2}}{2}\text{N}$
- B. 当  $a=10\text{m/s}^2$  时, 小球受的支持力为  $\sqrt{2}\text{N}$
- C. 当  $a=10\text{m/s}^2$  时, 细线上的拉力为  $2\text{N}$
- D. 当  $a=15\text{m/s}^2$  时, 若 A 与小球能相对静止的匀加速运动, 则地面对 A 的支持力一定小于两个物体的重力之和
9. 如图甲所示为某同学研究物体加速度与力和质量关系的实验装置示意图, 图 7 乙是该装置的俯视图。两个相同的小车, 放在水平桌面上, 前端各系一条轻细绳, 绳的另一端跨过定滑轮各挂一个小盘, 盘里可放砝码。两个小车通过细绳用夹子固定, 打开夹子, 小盘和砝码牵引小车同时开始做匀加速直线运动, 闭合夹子, 两小车同时停止运动。实验中平衡摩擦力后, 可以通过在小盘中增减砝码来改变小车所受的合力, 也可以通过增减小车中的砝码来改变小车的总质量。该同学记录的实验数据如下表所示, 则下列说法中正确的是 ( )



实验次数	小车 1 总质量 $m_1/\text{g}$	小车 2 总质量 $m_2/\text{g}$	小车 1 受合力 $F_1/\text{N}$	小车 2 受合力 $F_2/\text{N}$	小车 1 位移 $x_1/\text{cm}$	小车 2 位移 $x_2/\text{cm}$
1	250	250	0.10	0.20	20.1	39.8
2	250	250	0.10	0.30	15.2	44.5
3	250	250	0.20	0.30	19.8	30.8
4	250	500	0.10	0.10	20.0	39.7
5	300	400	0.10	0.10	20.3	15.1
6	300	500	0.10	0.10	30.0	18.0

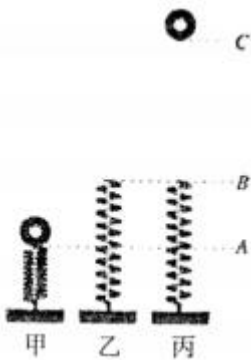
- A. 研究小车的加速度与合外力的关系可以利用 1、2、3 三次实验数据
- B. 研究小车的加速度与小车总质量的关系可以利用 2、3、6 三次实验数据



C. 对于“合外力相同的情况下，小车质量越大，小车的加速度越小”的结论，可以由第1次实验中小车1的位移数据和第6次实验中小车2的位移数据进行比较得出

D. 通过对表中数据的分析，可以判断出第4次实验数据的记录存在错误

10. 把质量是 0.2kg 的小球放在竖立的弹簧上，并把球往下按至 A 的位置，如图甲所示。迅速松手后，弹簧把球弹起，球升到最高位置 C (图丙)，途中经过位置 B 时弹簧正好处于自由状态 (图乙)。已知 B、A 的高度差为 0.1m，C、B 的高度差为 0.2m，弹簧的质量和空气的阻力均可忽略。则 ( )



A. 小球从状态乙到状态丙的过程中，动能先增大，后减小

B. 小球从状态甲到状态丙的过程中，机械能一直不断增大

C. 状态甲中，弹簧的弹性势能为 0.6J

D. 状态乙中，小球的动能为 0.6J

二、本题共 2 小题，共 16 分

11. (6 分) 某实验小组利用如图 1 所示的装置研究物体做匀变速直线运动的情况:

按如图所示装置准备好器材后，先接通电源，然后后释放小车，让它拖着纸带运动，得到如图 2 所示纸带，纸带上选取 A、B、C、D、E 五个计数点 (相邻两个计数点间还有 4 个计时点未画出)。打点计时器使用的交流电源的频率  $f=50\text{Hz}$ ，则打点计时器在纸带上打下相邻两计数点的时间间隔为\_\_\_\_\_s。

根据纸带上的信息可计算出：在打下计数点 C 时小车运动的速度大小的测量值为\_\_\_\_\_m/s；小车在砂桶的拉力作用下做匀加速直线运动的加速度大小的测量值为\_\_\_\_\_m/s<sup>2</sup>。(计算结果均保留 2 位有效数字)

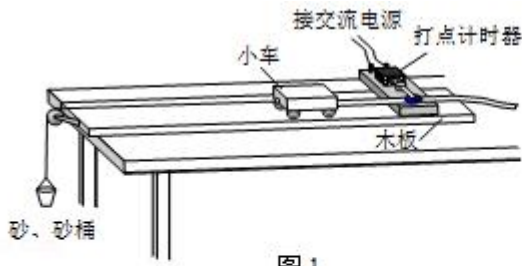


图 1

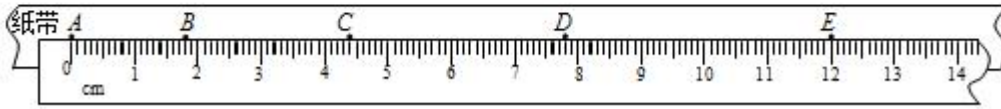


图 2

12. (10 分) 用如图 1 所示装置验证机械能守恒定律。

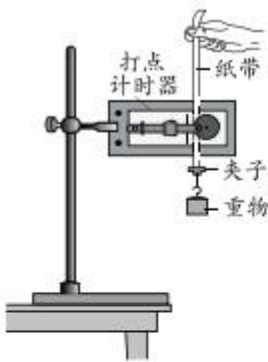


图 1

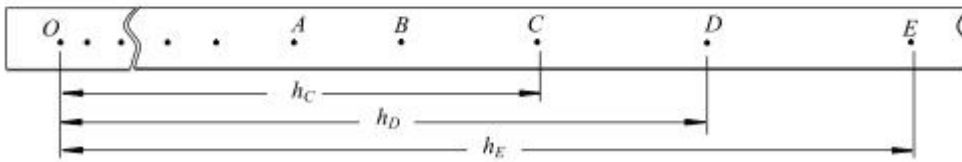


图 2

(1) 除带夹子的重物、纸带、铁架台(含夹子)、电磁打点计时器、导线及开关外,在下列器材中,还需要使用的一组器材是\_\_\_\_\_。

- A. 直流电源、刻度尺
- B. 直流电源、天平(含砝码)
- C. 交流电源、刻度尺
- D. 交流电源、天平(含砝码)

(2) 实验中,先接通电源,再释放重物,得到如图 2 所示的一条纸带。在纸带上选取连续打出的 5 个点 A、B、C、D、E,测得 C、D、E 三个点到起始点 O 的距离分别为  $h_C$ 、 $h_D$ 、 $h_E$ 。已知当地重力加速度为  $g$ ,打点计时器打点

的周期为  $T$ ，设重物的质量为  $m$ ，则从打下  $O$  点到打下  $D$  点的过程中，重物的重力势能减少量为  $\Delta E_p = \underline{\hspace{2cm}}$ ，动能的增加量  $\Delta E_k = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（用上述测量量和已知量的符号表示）

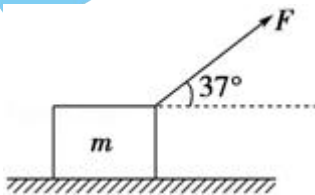
(3) 大多数学生的实验结果显示，重力势能的减少量略大于动能的增加量，其原因可能是  $\underline{\hspace{2cm}}$ 。为了减小实验误差，在两个体积相同、质量不同的重物中应选择质量  $\underline{\hspace{2cm}}$ （选填“较大”或“较小”）的进行实验。

(4) 对于上述实验，有的同学提出研究的运动过程的起点必须选择在  $O$  点，你同意这种看法吗？如果同意请你说明理由；如果不同意，请你给出当起点不在  $O$  点时，实验中验证机械能守恒的方法。

三、本题包括 6 小题，共 54 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。

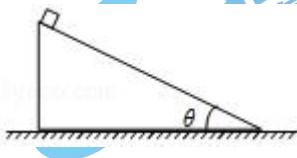
13. (6 分) 如图所示，物体的质量  $m=4\text{kg}$ ，与水平地面间的动摩擦因数为  $\mu=0.2$ ，在倾角为  $37^\circ$ 、 $F=10\text{N}$  的恒力作用下，由静止开始加速运动，当  $t=5\text{s}$  时撤去  $F$ ，求：

- (1) 物体做加速运动时的加速度  $a$ ；
- (2) 撤去  $F$  后，物体还能滑行多长时间？（ $g=10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ）



14. (9 分) 在建筑工地上有时需要将一些建筑材料由高处运送到低处，为此工人们设计了一种如图所示的斜面滑道，斜面长  $L=2.0\text{m}$ ，其与水平面的夹角  $\theta=37^\circ$ 。现有一些建筑材料从斜面的顶端由静止开始下滑，其与斜面间的动摩擦因数  $\mu=0.25$ 。已知建筑材料的质量  $m=20\text{kg}$ ， $\sin 37^\circ = 0.60$ ， $\cos 37^\circ = 0.80$ ，建筑材料可视为质点，空气阻力可忽略不计，取重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。

- (1) 求建筑材料在下滑过程中所受的滑动摩擦力的大小  $f$ ；
- (2) 求建筑材料在下滑的整个过程中所受重力的冲量大小  $I_G$ ；
- (3) 试分析说明，如果仅改变建筑材料的质量大小，保持其他条件不变，能否实现改变建筑材料滑到斜面底端时速度大小的目的。



15. (9 分) 如图所示，质量  $M=8\text{kg}$  的长木板停放在光滑水平面上，在长木板的左端放置一质量  $m=2\text{kg}$  的小物块，小物块与长木板间的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ，现对小物块施加一个大小  $F=8\text{N}$  的水平向右恒力，小物块将由静止开

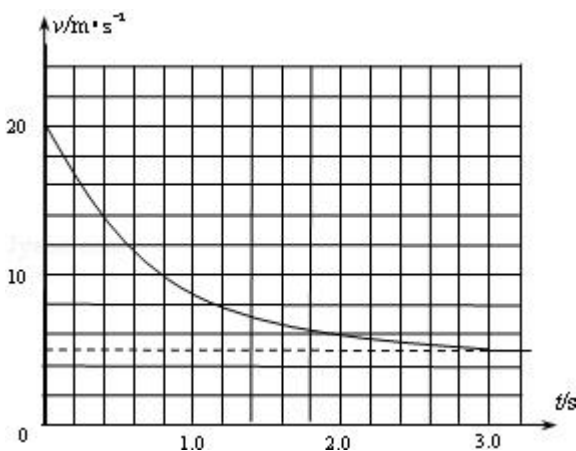
始向右运动，2s 后小物块从长木板上滑落，从小物块开始运动到从长木板上滑落的过程中，重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。求

- (1) 小物块和长木板的加速度各为多大；
- (2) 长木板的长度；
- (3) 通过计算说明：互为作用力与反作用力的摩擦力对长木板和小物块做功的代数和是否为零。



16. (9分) 一般来说，正常人从距地面 1.5m 高处跳下，落地时速度较小，经过腿部的缓冲，这个速度对人是安全的，称为安全着地速度。如果人从高空跳下，必须使用降落伞才能安全着陆，其原因是，张开的降落伞受到空气对伞向上的阻力作用。经过大量实验和理论研究表明，空气对降落伞的阻力  $f$  与空气密度  $\rho$ 、降落伞的迎风面积  $S$ 、降落伞相对空气速度  $v$ 、阻力系数  $c$  有关（由伞的形状、结构、材料等决定），其表达式是  $f = \frac{1}{2}c\rho Sv^2$ 。根据以上信息，解决下列问题。（取  $g = 10\text{m/s}^2$ ）

- (1) 在忽略空气阻力的情况下，计算人从 1.5m 高处跳下着地时的速度大小（计算时人可视为质点）；
- (2) 在某次高塔跳伞训练中，运动员使用的是有排气孔的降落伞，其阻力系数  $c = 0.90$ ，空气密度取  $\rho = 1.25\text{kg/m}^3$ 。降落伞、运动员总质量  $m = 80\text{kg}$ ，张开降落伞后达到匀速下降时，要求人能安全着地，降落伞的迎风面积  $S$  至少是多大？
- (3) 跳伞运动员和降落伞的总质量  $m = 80\text{kg}$ ，从跳伞塔上跳下，在下落过程中，经历了张开降落伞前自由下落、张开降落伞后减速下落和匀速下落直至落地三个阶段。如图是通过固定在跳伞运动员身上的速度传感器绘制出的从张开降落伞开始做减速运动至达到匀速运动时的  $v - t$  图象。根据图象估算运动员做减速运动的过程中，空气阻力对降落伞做的功。



17. (9分) 如图 1 所示为演示“过山车”原理的实验装置，该装置由两段倾斜直轨道与一圆轨道拼接组成，在圆轨道最低点处的两侧稍错开一段距离，并分别与左右两侧的直轨道平滑相连。



某研学小组将这套装置固定在水平桌面上，然后在圆轨道最高点 A 的内侧安装一个薄片式压力传感器（它不影响小球运动，在图中未画出）。将一个小球从左侧直轨道上的某处由静止释放，并测得释放处距离圆轨道最低点的竖直高度为  $h$ ，记录小球通过最高点时对轨道（压力传感器）的压力大小为  $F$ 。此后不断改变小球在左侧直轨道上释放位置，重复实验，经多次测量，得到了多组  $h$  和  $F$ ，把这些数据标在  $F-h$  图中，并用一条直线拟合，结果如图 2 所示。为了方便研究，研学小组把小球简化为质点，并忽略空气及轨道对小球运动的阻力，取重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。请根据该研学小组的简化模型和如图 2 所示的  $F-h$  图分析：

- (1) 当释放高度  $h=0.20\text{m}$  时，小球到达圆轨道最低点时的速度大小  $v$ ；
- (2) 圆轨道的半径  $R$  和小球的质量  $m$ ；
- (3) 若两段倾斜直轨道都足够长，为使小球在运动过程中始终不脱离圆轨道，释放高度  $h$  应满足什么条件。



图 1

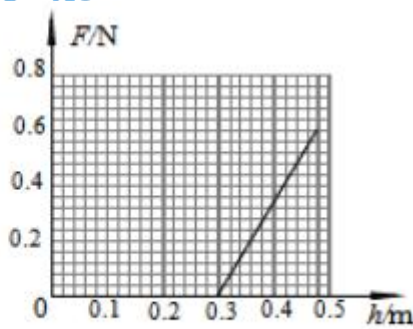


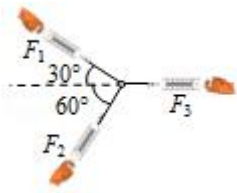
图 2

18. (12 分) 黑洞是爱因斯坦广义相对论预言的一种质量极大的天体，黑洞自身不发光，难以直接观测，我们可以通过恒星运动，黑洞边缘的吸积盘及喷流，乃至引力波来探测。美国在 2016 年 6 月“激光干涉引力波天文台”（LIGO）就发现了来自于距离地球 13 亿光年之外一个双黑洞系统合并产生的引力波。假定黑洞为一个质量分布均匀的球形天体，天文学家观测到一质量很小的恒星独自在宇宙中做周期为  $T$ ，半径为  $r_0$  的匀速圆周运动，由此推测，圆周轨道的中心可能有个黑洞。设万有引力常量为  $G$ 。

- (1) 利用所学知识求该黑洞的质量  $M$ ；
- (2) 严格解决黑洞问题需要利用广义相对论的知识，但早在相对论提出之前就有人利用牛顿力学体系预言过黑洞的存在，他们认为黑洞的引力很大，大到物体以光速运动都无法从其逃脱。我们知道，在牛顿体系中，当两个质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$  的质点相距为  $r$  时也会具有势能，称之为引力势能，其大小为  $E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$ （规定无穷远处势能为零），若按照牛顿力学体系将地球变为一个黑洞，求地球变为黑洞后的最大半径  $R_m$ 。（已知万有引力常量  $G=6.67 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ，地球质量  $M=6.02 \times 10^{24} \text{kg}$ ）。

参考答案

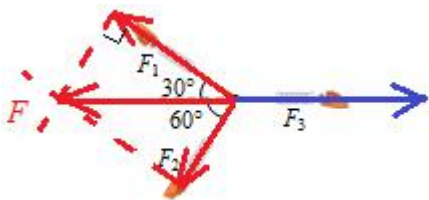
1. 在研究共点力平衡条件的实验中，用三个弹簧测力计通过轻软线对同一个小圆环施加水平拉力作用，三个拉力的方向如图所示，如果小圆环可视为质点，且其所受重力可忽略不计，小圆环平衡时三个弹簧测力计的示数分别为  $F_1$ 、 $F_2$  和  $F_3$ ，关于这三个力的大小关系，下列说法中正确的是（ ）



- A.  $F_1 > F_2 > F_3$       B.  $F_3 > F_1 > F_2$       C.  $F_2 > F_3 > F_1$       D.  $F_3 > F_2 > F_1$

【分析】由力的合成的三角形法，三力合力为 0，则三力构成首尾相连的闭合三角形，由图可确定力的大小关系。

【解答】解：由题可知三力平衡，故  $F_1$  与  $F_2$  合力  $F$  与  $F_3$  大小相等，如图，因两力夹角为  $90^\circ$ ，故三力构成直角三角形，由三角形中“大角对大边”， $F_3$  所对角为  $90^\circ$ ， $F_1$  所对角为  $60^\circ$ ， $F_2$  所对角为  $30^\circ$ ，故  $F_3 > F_1 > F_2$ ，故选 B。



故选：B。

【点评】明确力的三解形法，会画合成图即可求解，也可用平行四边形法。

2. 在距水平地面附近一定高度处将一物体水平抛出，物体最终落到水平地面上。若空气阻力可忽略不计，下列说法中正确的是（ ）
- A. 物体沿水平方向的分运动是匀变速直线运动
  - B. 物体落至水平地面上的速度与抛出时的初速度无关
  - C. 物体在空中运动的时间与抛出时的初速度无关
  - D. 物体在空中运动过程中的机械能不断增大

【分析】物体水平抛出，仅受重力，做平抛运动，在水平方向上做匀速直线运动，在竖直方向上做自由落体运动，运动的时间由高度决定。在运动的过程中，只有重力做功，机械能守恒。

【解答】解：A、物体做平抛运动，水平方向做匀速直线运动，故 A 错误。

B、平抛运动，竖直方向做自由落体运动，根据  $v_y = gt$ ，落地速度  $v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$ ，物体落至水平地面上的速度与抛出时的初速度有关，故 B 错误。

C、根据  $h = \frac{1}{2}gt^2$  知，物体在空中运动的时间与高度决定，与抛出时的初速度无关，故 C 正确。

D、在运动的过程中，只有重力做功，机械能守恒，故 D 错误。

故选：C。

【点评】解决本题的关键知道平抛运动的特点，知道平抛运动的时间由高度决定，初速度和时间共同决定水平位移。

3. 如图所示，在上端开口的饮料瓶的侧面戳一个小孔，瓶中灌水，手持饮料瓶静止时，小孔有水喷出。若饮料瓶在下列运动中，没有发生转动且忽略空气阻力，小孔不再向外喷水的是（ ）



- A. 自由下落
- B. 饮料瓶被水平抛出后的运动过程中
- C. 饮料瓶被竖直向上抛出后的运动过程中
- D. 手持饮料瓶向上加速运动的过程中

【分析】当物体对接触面的压力大于物体的真实重力时，就说物体处于超重状态，此时有向上的加速度；当物体对接触面的压力小于物体的真实重力时，就说物体处于失重状态，此时有向下的加速度；如果没有压力了，瓶子中的水不能流出。

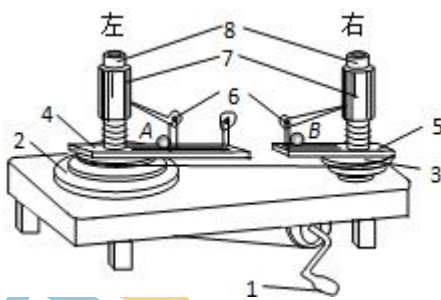
【解答】解：ABC、瓶自由下落平抛以及在空中做抛体运动时，均只受到重力的作用，加速度为  $g$ ，处于完全失重状态，此时水和容器的运动状态相同，它们之间没有相互作用，水不会流出。故 ABC 正确；

D、手持饮料瓶向上加速运动的过程中，由于水处于超重状态，故水之间存在压力，水会向外喷出，故 D 错误。

故选：ABC。

【点评】本题考查了学生对超重失重现象的理解，掌握住超重失重的特点，知道水能喷出是因为压力的原因。

4. 向心力演示器如图所示. 转动手柄 1, 可使变速塔轮 2 和 3 以及长槽 4 和短槽 5 随之匀速转动, 槽内的小球就做匀速圆周运动. 小球做圆周运动的向心力由横臂 6 的挡板对小球的压力提供, 球对挡板的反作用力通过横臂的杠杆使弹簧测力套筒 7 下降, 从而露出标尺 8, 标尺 8 上露出的红白相间等分格子的多少可以显示出两个球所受向心力的大小. 皮带分别套在塔轮 2 和 3 上的不同圆盘上, 可改变两个塔轮的转速比, 以探究物体做圆周运动的向心力大小跟哪些因素有关、具体关系怎样. 现将小球 A 和 B 分别放在两边的槽内, 小球 A 和 B 的质量分别为  $m_A$  和  $m_B$ , 做圆周运动的半径分别为  $r_A$  和  $r_B$ . 皮带套在两塔轮半径相同的两个轮子上, 实验现象显示标尺 8 上左边露出的等分格子多于右边, 则下列说法正确的是 ( )



- A. 若  $r_A > r_B$ ,  $m_A = m_B$ , 说明物体的质量和角速度相同时, 半径越大向心力越大  
 B. 若  $r_A > r_B$ ,  $m_A = m_B$ , 说明物体的质量和线速度相同时, 半径越大向心力越大  
 C. 若  $r_A = r_B$ ,  $m_A \neq m_B$ , 说明物体运动的半径和线速度相同时, 质量越大向心力越小  
 D. 若  $r_A = r_B$ ,  $m_A \neq m_B$ , 说明物体运动的半径和角速度相同时, 质量越大向心力越小

【分析】这个实验是为了验证向心力公式, 皮带套在两塔轮半径相同的两个轮子上, 说明两个轮子转动的角速度相等, 结合恰当的向心力公式讨论即可。

【解答】解: 根据题意, 皮带套在两塔轮半径相同的两个轮子上, 因而  $\omega_A = \omega_B$

A、D、标尺 8 上左边露出的等分格子多于右边, 因而  $F_A > F_B$

根据向心力公式,  $F = m\omega^2 r$ , A 正确, D 错误;

B、根据向心力公式,  $F = m \frac{v^2}{r}$ , 若  $r_A > r_B$ ,  $m_A = m_B$ , 则物体的质量和线速度相同时, 半径越大向心力越小。故 B 错误;

C、根据向心力公式,  $F = m \frac{v^2}{r}$ , 若  $r_A = r_B$ ,  $m_A \neq m_B$ , 说明物体运动的半径和线速度相同时, 质量越大向心力越大。故 C 错误。

故选: A。



【点评】该实验是为了让学生体验到向心力的大小与那些因素有关，本题关键选择向心力公式的恰当形式结合题意讨论。

5. 雨滴在空中下落的过程中，空气对它的阻力随其下落速度的增大而增大。若雨滴下落过程中其质量的变化及初速度的大小均可忽略不计，以地面为重力势能的零参考面。从雨滴开始下落计时，关于雨滴下落过程中其速度的大小  $v$ 、重力势能  $E_p$  随时间变化的情况，如图所示的图象中可能正确的是（ ）



【分析】根据牛顿第二定律写出加速度的表达式，可分析加速度的变化，从而得出雨滴的运动特点，以地面为重力势能的零参考面，写出雨滴的重力势能表达式，根据表达式分析重力势能的变化。

【解答】解：AB、根据牛顿第二定律得， $a = \frac{mg - f}{m}$ ，速度增大，阻力增大，加速度减小，雨滴做加速度减小的加速运动，当加速度减小到零，雨滴做匀速直线运动，故 A 错误 B 正确；

CD、以地面为重力势能的零参考面，则雨滴的重力势能为  $E_p = mgh - mg \cdot \frac{1}{2} a t^2$ ， $E_p$  随时间变化的图象应该是开口向下的，故 C 正确 D 错误；

故选：BC。

【点评】解决本题的关键通过牛顿第二定律，根据物体的受力情况判断物体的运动情况，根据表达式分析图象也是常用的思路。

6. 2016 年 9 月 15 日我国在酒泉卫星发射中心成功发射了“天宫二号”空间实验室，它的轨道可视为距离地面  $h = 393\text{km}$  的近圆周轨道。“天宫二号”在轨运行期间，先后与“神舟十一号”载人飞船和“天舟一号”货运飞船进行了交汇对接。这标志着我国载人航天进入应用发展新阶段，对于我国空间站的建造具有重大意义。已知地球表面的重力加速度  $g$ 、地球半径  $R$ 。根据题目所给出的信息，可估算出“天宫二号”空间实验室在轨运行的（ ）

- A. 线速度的大小
- B. 周期
- C. 所受向心力的大小
- D. 动能

【分析】根据万有引力提供向心力，求解空间实验室的线速度、周期等物理量；

向心力和动能涉及到空间实验室的质量，不能确定。

【解答】解：AB、空间实验室绕地球做匀速圆周运动，万有引力提供向心力， $G\frac{Mm}{(R+h)^2} = m\frac{v^2}{R+h} = m\frac{4\pi^2}{T^2}(R+h)$ ，

结合黄金代换式  $GM = gR^2$  可知， $v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} = \sqrt{\frac{gR^2}{R+h}}$ ， $T = 2\pi\sqrt{\frac{R+h}{GM}} = 2\pi\sqrt{\frac{R+h}{gR^2}}$ ，故线速度和周期可以求出，

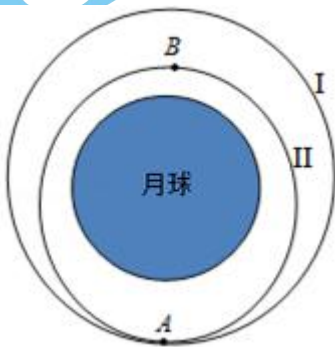
故 AB 正确；

CD、向心力和动能涉及到空间实验室的质量，由于质量未知，无法求出，故 CD 错误。

故选：AB。

【点评】本题考查了万有引力定律及其应用，解题的关键是万有引力提供向心力公式的应用。

7. 与嫦娥 1 号、2 号月球探测器不同，嫦娥 3 号是一次性进入距月球表面 100km 高的圆轨道 I（不计地球对探测器的影响），运行一段时间后再次变轨，从 100km 的环月圆轨道 I，降低到距月球 15km 的近月点 B、距月球 100km 的远月点 A 的椭圆轨道 II，如图所示，为下一步月面软着陆做准备。关于嫦娥 3 号探测器下列说法正确的是（ ）



- A. 探测器在轨道 II 经过 A 点的速度小于经过 B 点的速度
- B. 探测器沿轨道 I 运动过程中，探测器中的科考仪器对其支持面没有压力
- C. 探测器从轨道 I 变轨到轨道 II，在 A 点应加速
- D. 探测器在轨道 II 经过 A 点时的加速度小于在轨道 I 经过 A 点时的加速度

【分析】卫星绕月球做匀速圆周运动过程中万有引力完全提供向心力，卫星中的物体处于完全失重状态，从轨道 I 变轨到轨道 II 要做近心运动，提供的向心力大于运动所需向心力，故从轨道 I 到轨道 II 上要减速。卫星在轨道上运动，万有引力产生加速度，根据万有引力大小判断加速度的大小，在不同轨道上经过同一点时卫星的加速度大小相同。

【解答】解：A、卫星在椭圆轨道 II 运行由 A 运动至 B 点的过程中，逐渐靠近地球，万有引力做功，故势能变小，动能变大，经过 A 点的线速度小于经过 B 点的线速度，故 A 正确；

B、探测器沿轨道 I 运动过程中，处于完全失重状态，探测器中的科考仪器对其支持面没有压力，故 B 正确；

C、卫星从轨道 I 变轨到轨道 II 的过程中卫星轨道要减小做近心运动,提供的向心力大于所需向心力  $G\frac{Mm}{r^2} > m\frac{v^2}{r}$ ,

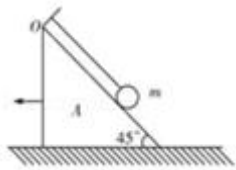
又因在轨道 I 上运动时万有引力和向心力相等,故变轨时需在 A 点做减速运动,使得卫星满足  $G\frac{Mm}{r^2} > m\frac{v^2}{r}$  做近心运动,故 C 错误;

D、在 A 点探测器产生的加速度都是由万有引力产生的,因为同在 A 点万有引力大小相等,故不管在哪个轨道上运动,在 A 点时万有引力产生的加速度大小相等,故 D 错误。

故选: AB。

【点评】解决本题是要知道卫星做圆周运动时万有引力完全提供向心力,卫星中的物体处于失重状态,知道卫星变轨的原理。

8. 如图所示,一细线的一端固定于倾角为  $45^\circ$  的光滑楔形滑块 A 上的顶端 O 处,细线另一端拴一质量为  $m=0.2\text{kg}$  的小球静止在 A 上。若滑块从静止向左匀加速运动时加速度为  $a$  (取  $g=10\text{m/s}^2$ ) ( )



A. 当  $a=5\text{m/s}^2$  时,细线上的拉力为  $\frac{3\sqrt{2}}{2}\text{N}$

B. 当  $a=10\text{m/s}^2$  时,小球受的支持力为  $\sqrt{2}\text{N}$

C. 当  $a=10\text{m/s}^2$  时,细线上的拉力为  $2\text{N}$

D. 当  $a=15\text{m/s}^2$  时,若 A 与小球能相对静止的匀加速运动,则地面对 A 的支持力一定小于两个物体的重力之和

【分析】根据牛顿第二定律求出支持力为零时小球的加速度;判断小球是否脱离斜面飘起,再根据求解第二定律列式求解拉力的大小;由匀变速运动的位移公式求解;由竖直方向没有加速度来讨论。

【解答】解:设加速度为  $a_0$  时小球对滑块的压力等于零,对小球受力分析,受重力、拉力,根据牛顿第二定律,

水平方向:  $F_{\text{合}} = F\cos 45^\circ = ma_0$

竖直方向:  $F\sin 45^\circ = mg$

解得:  $a_0 = g$

A、当  $a=5\text{m/s}^2$  时,小球未离开滑块,

水平方向： $F\cos 45^\circ - F_N\cos 45^\circ = ma$

竖直方向： $F\sin 45^\circ + F_N\sin 45^\circ = mg$

解得： $F = \frac{3\sqrt{2}}{2}N$ ，故 A 正确；

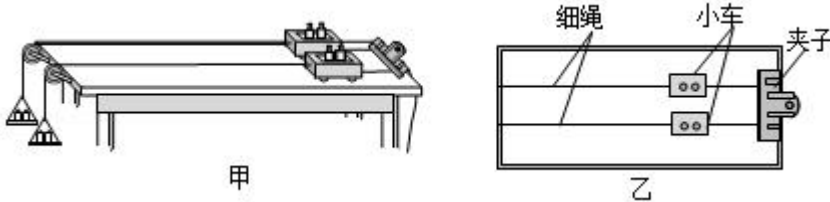
BC、当加速度  $a = 10 \text{ m/s}^2$  时，小球只受绳子拉力和重力，绳子上拉力等于  $F = \sqrt{2}mg$ ，故 BC 错误；

D、当加速度  $a = 15 \text{ m/s}^2$  时，小球离开斜面，由于小球和斜面体相对静止，对于整体，在竖直方向合力等于 0，支持力等于两个物体的重力大小，故 D 错误；

故选：A。

【点评】该题考查牛顿第二定律应用中的临界条件问题，解决本题的关键知道小球脱离斜面时的临界情况，结合牛顿第二定律进行求解。

9. 如图甲所示为某同学研究物体加速度与力和质量关系的实验装置示意图，图 7 乙是该装置的俯视图。两个相同的小车，放在水平桌面上，前端各系一条轻细绳，绳的另一端跨过定滑轮各挂一个小盘，盘里可放砝码。两个小车通过细绳用夹子固定，打开夹子，小盘和砝码牵引小车同时开始做匀加速直线运动，闭合夹子，两小车同时停止运动。实验中平衡摩擦力后，可以通过在小盘中增减砝码来改变小车所受的合力，也可以通过增减小车中的砝码来改变小车的总质量。该同学记录的实验数据如下表所示，则下列说法中正确的是（ ）



实验次数	小车 1 总质量 $m_1/g$	小车 2 总质量 $m_2/g$	小车 1 受合力 $F_1/N$	小车 2 受合力 $F_2/N$	小车 1 位移 $x_1/cm$	小车 2 位移 $x_2/cm$
1	250	250	0.10	0.20	20.1	39.8
2	250	250	0.10	0.30	15.2	44.5
3	250	250	0.20	0.30	19.8	30.8
4	250	500	0.10	0.10	20.0	39.7
5	300	400	0.10	0.10	20.3	15.1
6	300	500	0.10	0.10	30.0	18.0



- A. 研究小车的加速度与合外力的关系可以利用 1、2、3 三次实验数据
- B. 研究小车的加速度与小车总质量的关系可以利用 2、3、6 三次实验数据
- C. 对于“合外力相同的情况下，小车质量越大，小车的加速度越小”的结论，可以由第 1 次实验中小车 1 的位移数据和第 6 次实验中小车 2 的位移数据进行比较得出
- D. 通过对表中数据的分析，可以判断出第 4 次实验数据的记录存在错误

【分析】本实验是控制变量法的实验，不能让小车和砝码的质量都不同，应该保持一个量是相同的。根据初速度为零的匀变速直线运动特点可得出答案。

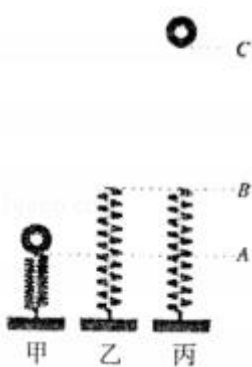
【解答】解：某同学研究物体加速度与力和质量关系的实验装置，共做了 6 次实验，显然采用的是控制变量法，

- A、研究小车的加速度与合外力的关系必须使小车的质量不变，符合条件的是实验 1、2、3 次，故选项 A 正确；
- B、研究小车的加速度与小车总质量的关系必须使拉力相同，符合条件的是实验田 4、5、6 次，故选项 B 错误；
- C、合外力相同的情况下，小车质量越大，小车的加速度越小，这两组数据合外力均是 0.1N，质量之比为 1：2，但加速度之比接近于 1：1，所以有能说明质量越大，加速度越小；故 C 错误
- D、第四次实验，合外力均为 0.1N，质量之比为 1：2，但加速度之比等于 1：2，正确的是 2：1。故选项 D 正确。

故选：AD。

【点评】只要真正掌握了实验原理就能顺利解决此类实验题目，而实验步骤，实验数据的处理都与实验原理有关，故要加强对实验原理的学习和掌握。

10. 把质量是 0.2kg 的小球放在竖立的弹簧上，并把球往下按至 A 的位置，如图甲所示。迅速松手后，弹簧把球弹起，球升到最高位置 C（图丙），途中经过位置 B 时弹簧正好处于自由状态（图乙）。已知 B、A 的高度差为 0.1m，C、B 的高度差为 0.2m，弹簧的质量和空气的阻力均可忽略。则（ ）



- A. 小球从状态乙到状态丙的过程中，动能先增大，后减小

- B. 小球从状态甲到状态丙的过程中，机械能一直不断增大
- C. 状态甲中，弹簧的弹性势能为 0.6J
- D. 状态乙中，小球的动能为 0.6J

【分析】根据小球从状态乙到丙过程的受力情况分析小球的运动情况，从而分析小球的动能的变化情况；  
分析弹性势能的变化情况，根据能量守恒分析小球机械能的变化情况；

小球从 A 运动到 C 位置的过程中，对于弹簧和小球组成的系统，只有重力和弹簧的弹力做功，系统的机械能守恒，根据机械能守恒分析；

- 【解答】解：A. 小球由乙状态到丙状态过程中只受到向下的重力，所以做减速运动，动能一直减小，故 A 错误；
- B. 小球从 A 运动到 C 位置的过程中，对于弹簧和小球组成的系统，只有重力和弹簧的弹力做功，系统的机械能守恒，故 B 错误；
- C. 因为系统的机械能守恒，所以状态甲中弹簧的弹性势能等于 A 到 D 小球的重力势能的增加量，即  $E_p = mgh_{AD} = 0.2 \times 10 \times 0.3 = 0.6J$ ，故 C 正确；
- D. 甲状态到乙状态，根据能量守恒有  $\Delta E_p = \Delta E_g + \Delta E_k$ ，即：  $0.6 = 2 \times 0.1 + E_k$ ，  
所以状态乙小球的动能为 0.4J，故 D 错误；

故选：C。

【点评】解决该题的关键是正确进行受力分析，根据受力判断物体的运动情况，知道机械能守恒的条件；

11. 某实验小组利用如图 1 所示的装置研究物体做匀变速直线运动的情况：

按如图所示装置准备好器材后，先接通电源，然后后释放小车，让它拖着纸带运动，得到如图 2 所示纸带，纸带上选取 A、B、C、D、E 五个计数点（相邻两个计数点间还有 4 个计时点未画出）。打点计时器使用的交流电源的频率  $f = 50Hz$ ，则打点计时器在纸带上打下相邻两计数点的时间间隔为 0.1 s。

根据纸带上的信息可计算出：在打下计数点 C 时小车运动的速度大小的测量值为 0.30 m/s；小车在砂桶的拉力作用下做匀加速直线运动的加速度大小的测量值为 0.80  $m/s^2$ 。（计算结果均保留 2 位有效数字）

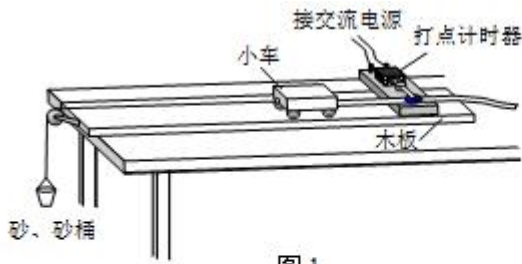


图 1

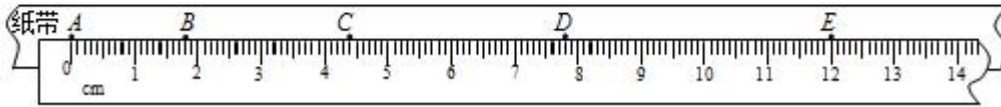


图 2

【分析】根据交流电源的频率分析打点的周期，相邻两个计数点间还有 4 个计时点未画出，据此计算相邻两计数点的时间间隔；

根据某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度求出 D 点的速度，根据连续相等时间内的位移之差是一恒量，运用逐差法求出小车运动的加速度。

【解答】解：相邻两个计数点间还有 4 个计时点未画出，打点计时器使用的交流电源的频率  $f=50\text{Hz}$ ，则打点计时器打点的周期为  $0.02\text{s}$ ，在纸带上打下相邻两计数点的时间间隔为  $0.1\text{s}$ ；

根据匀变速直线运动中时间中点的速度等于该过程中的平均速度，可以求出打下计数点 C 时小车的瞬时速度大小。

$$v_c = \frac{x_{BD}}{2T} = 0.30 \text{ m/s};$$

根据匀变速直线运动的推论公式  $\Delta x = aT^2$  可以求出加速度的大小，

$$a = \frac{x_{CE} - x_{AC}}{4T^2} = 0.80 \text{ m/s}^2.$$

故答案为：0.1；0.30；0.80。

【点评】要提高应用匀变速直线的规律以及推论解答实验问题的能力，在平时练习中要加强基础知识的理解与应用。

12. 用如图 1 所示装置验证机械能守恒定律。



图 1

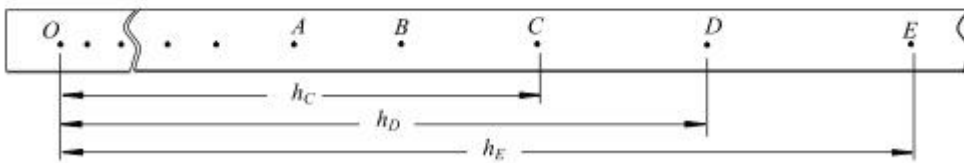


图 2

(1) 除带夹子的重物、纸带、铁架台（含夹子）、电磁打点计时器、导线及开关外，在下列器材中，还需要使用的一组器材是 C。

- A. 直流电源、刻度尺
- B. 直流电源、天平（含砝码）
- C. 交流电源、刻度尺
- D. 交流电源、天平（含砝码）

(2) 实验中，先接通电源，再释放重物，得到如图 2 所示的一条纸带。在纸带上选取连续打出的 5 个点 A、B、C、D、E，测得 C、D、E 三个点到起始点 O 的距离分别为  $h_C$ 、 $h_D$ 、 $h_E$ 。已知当地重力加速度为  $g$ ，打点计时器打点的周期为  $T$ ，设重物的质量为  $m$ ，则从打下 O 点到打下 D 点的过程中，重物的重力势能减少量为  $\Delta E_p = \underline{mgh_D}$ ，

动能的增加量  $\Delta E_k = \underline{\frac{m(h_E - h_C)^2}{8T^2}}$ 。（用上述测量量和已知量的符号表示）

(3) 大多数学生的实验结果显示，重力势能的减少量略大于动能的增加量，其原因可能是 存在空气阻力和摩擦阻力的影响。为了减小实验误差，在两个体积相同、质量不同的重物中应选择质量 较大（选填“较大”或“较小”）的进行实验。

(4) 对于上述实验，有的同学提出研究的运动过程的起点必须选择在 O 点，你同意这种看法吗？如果同意请你说明理由；如果不同意，请你给出当起点不在 O 点时，实验中验证机械能守恒的方法。

【分析】 (1) 根据实验原理判断需要的实验器材；



(2) 根据某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度求出 D 点的瞬时速度，从而得出动能的增加量；根据下降的高度求出重物重力势能的变化量；

(3) 由于阻力的影响，导致重力势能的减少量略大于动能的增加量，当然当质量较大时，则阻力相对影响较小；

(4) 可以选取 B、D 两点，分别求得动能变化，与重力势能变化，即可验证。

**【解答】解：**(1) 由于要使用打点计时器，故需要交流电源；而根据验证机械能守恒定律的原理可知： $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，质量可以约掉，故不需要用天平，但是需要刻度尺用来测距离，故 C 正确，ABD 错误；

故选：C。

(2) 从打下 O 点到打下 D 点的过程中，重物的重力势能减少量为： $\Delta E_p = mgh_D$ ，

据某段时间内的平均速度等于中间时刻的瞬时速度求出 D 点的瞬时速度，那么 D 点速度： $v_D = \frac{h_E - h_C}{2T}$ ，

动能增加量为： $\Delta E_k = \frac{1}{2}mv_D^2 = \frac{m(h_E - h_C)^2}{8T^2}$ ；

(3) 大多数学生的实验结果显示，重力势能的减少量大于动能的增加量，原因是存在空气阻力和摩擦阻力的影响；

为了减小实验误差，应选择质量较大的进行实验，阻力相对而言较小些。

(4) 不同意，可以选择 A 点作为起点，研究从 B 到 D 的过程，测得各点到 A 点的距离分别为  $h_{AB}$ 、 $h_{AC}$ 、 $h_{AD}$  和  $h_{AE}$ ，

如果在误差允许范围内得出： $mgh_{BD} = \frac{1}{2}mv_D^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$ ，

化简得： $g(h_{AD} - h_{AB}) = \frac{(h_{AE} - h_{AC})^2 - h_{AC}^2}{8T^2}$  即可验证机械能守恒；

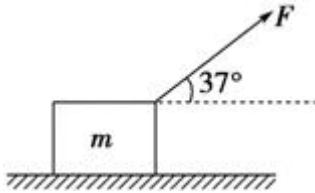
故答案为：(1) C；(2)  $mgh_D$ ； $\frac{m(h_E - h_C)^2}{8T^2}$ ；(3) 存在空气阻力和摩擦阻力的影响；较大；(4) 不同意；

当  $g(h_{AD} - h_{AB}) = \frac{(h_{AE} - h_{AC})^2 - h_{AC}^2}{8T^2}$  即可验证机械能守恒。

**【点评】**解决本题的关键掌握纸带的处理方法，会根据纸带求解瞬时速度，从而得出动能的增加量，会根据下降的高度求出重力势能的减小量，注意机械能守恒的条件，及引起其不守恒的原因。

13. 如图所示，物体的质量  $m=4\text{kg}$ ，与水平地面间的动摩擦因数为  $\mu=0.2$ ，在倾角为  $37^\circ$ 、 $F=10\text{N}$  的恒力作用下，由静止开始加速运动，当  $t=5\text{s}$  时撤去  $F$ ，求：

- (1) 物体做加速运动时的加速度  $a$ ；
- (2) 撤去  $F$  后，物体还能滑行多长时间？（ $g=10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ ）



【分析】根据牛顿第二定律求出物体做加速运动的加速度，结合速度时间公式求出撤去拉力时的速度，再根据牛顿第二定律求出撤去  $F$  后的加速度，结合速度时间公式求出物体还能滑行的时间。

【解答】解：（1）根据牛顿第二定律得，物体做加速运动的加速度为：

$$a = \frac{F \cos 37^\circ - \mu (mg - F \sin 37^\circ)}{m} = \frac{10 \times 0.8 - 0.2 \times (40 - 10 \times 0.6)}{4} \text{m/s}^2 = 0.3 \text{m/s}^2.$$

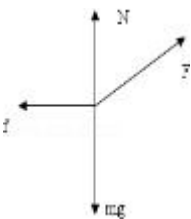
（2）5s 末的速度为： $v = at = 1.5\text{m/s}$ ，

根据牛顿第二定律得，撤去  $F$  后的加速度为： $a' = \frac{\mu mg}{m} = \mu g = 2\text{m/s}^2$ ，

则物体还能滑行的时间为： $t' = \frac{v}{a'} = \frac{1.5}{2} \text{s} = 0.75\text{s}$ 。

答：（1）物体做加速运动的加速度为  $0.3\text{m/s}^2$ ；

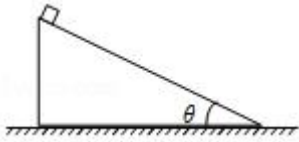
（2）撤去  $F$  后，物体还能滑行  $0.75\text{s}$ 。



【点评】本题考查了牛顿第二定律和运动学公式的综合，知道加速度是联系力学和运动学的桥梁。

14. 在建筑工地上有时需要将一些建筑材料由高处运送到低处，为此工人们设计了一种如图所示的斜面滑道，斜面长  $L=2.0\text{m}$ ，其与水平面的夹角  $\theta = 37^\circ$ 。现有一些建筑材料从斜面的顶端由静止开始下滑，其与斜面间的动摩擦因数  $\mu = 0.25$ 。已知建筑材料的质量  $m=20\text{kg}$ ， $\sin 37^\circ = 0.60$ ， $\cos 37^\circ = 0.80$ ，建筑材料可视为质点，空气阻力可忽略不计，取重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。

- (1) 求建筑材料在下滑过程中所受的滑动摩擦力的大小  $f$ ;
- (2) 求建筑材料在下滑的整个过程中所受重力的冲量大小  $I_G$ ;
- (3) 试分析说明, 如果仅改变建筑材料的质量大小, 保持其他条件不变, 能否实现改变建筑材料滑到斜面底端时速度大小的目的。



- 【分析】**
- (1) 根据受力分析规律即可确定材料对斜面的压力, 再根据滑动摩擦力公式即可确定滑动摩擦力大小;
  - (2) 根据牛顿第二定律求出加速度, 再根据位移公式即可求出时间, 再根据冲量大小确定重力的冲量;
  - (3) 对下滑过程根据动能定理理解出材料滑到底端时的速度, 从而确定速度的决定因素。

**【解答】解:** (1) 建筑材料所受支持力为:  $N = mg \cos \theta$

所受滑动摩擦力为:  $f = \mu N = \mu mg \cos \theta = 0.25 \times 20 \times 10 \times 0.80 \text{N} = 40 \text{N}$

(2) 取沿斜面向下为正方向, 设建筑材料下滑的加速度为  $a$ ,

根据牛顿第二定律有:  $mg \sin \theta - f = ma$

设建筑材料下滑时间为  $t$ , 根据位移公式有:  $L = \frac{1}{2} a t^2$

联立解得:  $t = 1 \text{s}$ ;

在下滑整个过程中重力的冲量大小为:  $I_G = mgt = 20 \times 10 \times 1 = 200 \text{N} \cdot \text{s}$

(3) 设建筑材料滑到斜面底端时的速度为  $v$ , 对于其下滑过程, 根据动能定理有:

$$mgL \sin \theta - \mu mg \cos \theta = \frac{1}{2} m v^2$$

解得:  $v = \sqrt{2gL(\sin \theta - \mu \cos \theta)}$

因  $v$  与  $m$  无关, 故改变  $m$ , 不能改变速度  $v$  的大小。

答: (1) 建筑材料在下滑过程中所受的滑动摩擦力的大小  $f$  为  $40 \text{N}$ ;

(2) 建筑材料在下滑的整个过程中所受重力的冲量大小  $I_G$  为  $200 \text{Ns}$ 。

(3)  $v$  与  $m$  无关, 故改变  $m$ , 不能改变速度  $v$  的大小。

【点评】本题考查动能定理、动量定理以及牛顿第二定律的应用，要注意正确分析运动过程和受力情况，从而正确选择物理规律求解。

15. 如图所示，质量  $M=8\text{kg}$  的长木板停放在光滑水平面上，在长木板的左端放置一质量  $m=2\text{kg}$  的小物块，小物块与长木板间的动摩擦因数  $\mu=0.2$ ，现对小物块施加一个大小  $F=8\text{N}$  的水平向右恒力，小物块将由静止开始向右运动，2s 后小物块从长木板上滑落，从小物块开始运动到从长木板上滑落的过程中，重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。求

- (1) 小物块和长木板的加速度各为多大；
- (2) 长木板的长度；
- (3) 通过计算说明：互为作用力与反作用力的摩擦力对长木板和小物块做功的代数和是否为零。



【分析】(1) 根据牛顿第二定律求小物块和长木板的加速度；

(2) 根据位移 - 时间公式分别求出小物块和长木板对地的位移，物块相对木板的位移即为木板的长度。

(3) 根据功的计算公式求摩擦力对长木板和小物块做的功，再求它们的代数和。

【解答】解：(1) 木板与木块间摩擦力大小  $f = \mu mg = 0.2 \times 2 \times 10\text{N} = 4\text{N}$

$$\text{小物块的加速度 } a_1 = \frac{F-f}{m} = \frac{8-4}{2} \text{m/s}^2 = 2\text{m/s}^2$$

$$\text{木板加速度 } a_2 = \frac{f}{M} = \frac{4}{8} \text{m/s}^2 = 0.5\text{m/s}^2$$

$$(2) \text{木块对地位移 } x_1 = \frac{1}{2} a_1 t^2 = \frac{1}{2} \times 2 \times 2^2 \text{m} = 4\text{m}$$

$$\text{木板对地位移 } x_2 = \frac{1}{2} a_2 t^2 = \frac{1}{2} \times 0.5 \times 2^2 \text{m} = 1\text{m}$$

$$\text{故长木板长度为 } L = x_1 - x_2 = 3\text{m}$$

$$(3) \text{摩擦力对木块做功 } W_1 = -f \cdot x_1 = -4 \times 4\text{J} = -16\text{J}$$

$$\text{摩擦力对长木板做功 } W_2 = f \cdot x_2 = 4 \times 1\text{J} = 4\text{J}$$

$$\text{故 } W_1 + W_2 \neq 0$$

答：

- (1) 小物块和长木板的加速度各为  $2\text{m/s}^2$  和  $0.5\text{m/s}^2$ ；



(2) 长木板的长度是 3m;

(3) 互为作用力与反作用力的摩擦力对长木板和小物块做功的代数和不为零。

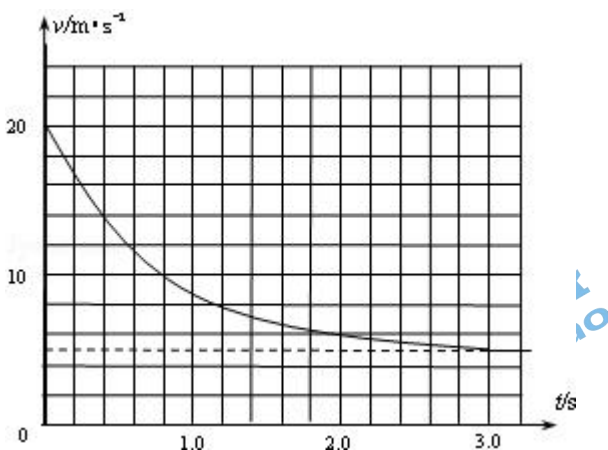
【点评】 本题考查牛顿第二定律和运动学公式的综合应用，要注意涉及多个物体时，一定要正确进行受力分析，明确运动规律，找出两物体间的运动关系，如位移关系、速度关系等等。

16. 一般来说，正常人从距地面 1.5m 高处跳下，落地时速度较小，经过腿部的缓冲，这个速度对人是安全的，称为安全着地速度。如果人从高空跳下，必须使用降落伞才能安全着陆，其原因是，张开的降落伞受到空气对伞向上的阻力作用。经过大量实验和理论研究表明，空气对降落伞的阻力  $f$  与空气密度  $\rho$ 、降落伞的迎风面积  $S$ 、降落伞相对空气速度  $v$ 、阻力系数  $c$  有关（由伞的形状、结构、材料等决定），其表达式是  $f = \frac{1}{2} c \rho S v^2$ 。根据以上信息，解决下列问题。（取  $g = 10\text{m/s}^2$ ）

(1) 在忽略空气阻力的情况下，计算人从 1.5m 高处跳下着地时的速度大小（计算时人可视为质点）；

(2) 在某次高塔跳伞训练中，运动员使用的是有排气孔的降落伞，其阻力系数  $c = 0.90$ ，空气密度取  $\rho = 1.25\text{kg/m}^3$ 。降落伞、运动员总质量  $m = 80\text{kg}$ ，张开降落伞后达到匀速下降时，要求人能安全着地，降落伞的迎风面积  $S$  至少是多大？

(3) 跳伞运动员和降落伞的总质量  $m = 80\text{kg}$ ，从跳伞塔上跳下，在下落过程中，经历了张开降落伞前自由下落、张开降落伞后减速下落和匀速下落直至落地三个阶段。如图是通过固定在跳伞运动员身上的速度传感器绘制出的从张开降落伞开始做减速运动至达到匀速运动时的  $v - t$  图象。根据图象估算运动员做减速运动的过程中，空气阻力对降落伞做的功。



【分析】 (1) 在忽略空气阻力的情况下，人做自由落体运动，由运动学公式求解人着地时的速度大小；

(2) 由 (1) 求出人安全着陆的速度大小，张开降落伞后达到匀速下降时，空气阻力大小等于运动员的重力，根据平衡条件和  $f = \frac{1}{2} c \rho S v^2$  结合可求出降落伞的迎风面积  $S$ ；

(3) 由  $v-t$  图读出, 降落伞张开时运动员的速度大小和运动员收尾速度大小, 由  $v-t$  图线和时间轴所围面积求得在  $0\sim 3s$  时间内运动员下落高度, 由动能定理求解空气阻力对降落伞做的功.

【解答】解: (1) 设人从  $1.5m$  高处跳下着地时的安全速度大小为  $v_0$ , 则有:

$$v_0^2 = 2gh$$

$$\text{得 } v_0 = \sqrt{2gh} = \sqrt{2 \times 10 \times 1.5} = \sqrt{30} \approx 5.5m/s$$

(2) 由 (1) 可知人安全着陆的速度大小为  $\sqrt{30}m/s$ , 跳伞运动员在空中匀速下降时空气阻力大小等于运动员的重力, 则有:

$$mg = \frac{1}{2}c \rho S v^2.$$

$$\text{解得: } S = \frac{2mg}{c \rho v^2} = \frac{2 \times 80 \times 10}{0.9 \times 1.25 \times 30} m^2 = 47.4m^2$$

(3) 设空气阻力对降落伞做功为  $W_f$ , 由  $v-t$  图可知, 降落伞张开时运动员的速度大小  $v_1 = 20m/s$ , 运动员收尾速度即匀速直线运动的速度  $v_2 = 5.0m/s$ , 设在这段时间内运动员下落的高度为  $h$ , 根据动能定理有:  $mgh + W_f =$

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\text{得: } W_f = -mgh + \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$$

由  $v-t$  图线和时间轴所围面积可知, 在  $0\sim 3s$  时间内运动员下落高度  $h = 25m$

$$\text{代入数据解得: } W = -3.5 \times 10^4 J$$

答: (1) 人从  $1.5m$  高处跳下着地时的速度大小是  $5.5m/s$ ;

(2) 要求人能安全着地, 降落伞的迎风面积  $S$  至少是  $47.4m^2$ ;

(3) 运动员做减速运动的过程中, 空气阻力对降落伞做的功是  $-3.5 \times 10^4 J$ .

【点评】本题首先要有耐心读题, 获取有效信息, 其次, 通过分析运动过程, 把握每个过程遵守的规律, 实质是运动学公式和动能定理的综合应用.

17. 如图 1 所示为演示“过山车”原理的实验装置, 该装置由两段倾斜直轨道与一圆轨道拼接组成, 在圆轨道最低点处的两侧稍错开一段距离, 并分别与左右两侧的直轨道平滑相连.

某研学小组将这套装置固定在水平桌面上, 然后在圆轨道最高点 A 的内侧安装一个薄片式压力传感器 (它不影响小球运动, 在图中未画出). 将一个小球从左侧直轨道上的某处由静止释放, 并测得释放处距离圆轨道最低点的竖直高度为  $h$ , 记录小球通过最高点时对轨道 (压力传感器) 的压力大小为  $F$ . 此后不断改变小球在左侧直

轨道上释放位置，重复实验，经多次测量，得到了多组  $h$  和  $F$ ，把这些数据标在  $F-h$  图中，并用一条直线拟合，结果如图 2 所示。为了方便研究，研学小组把小球简化为质点，并忽略空气及轨道对小球的阻力，取重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。请根据该研学小组的简化模型和如图 2 所示的  $F-h$  图分析：

- (1) 当释放高度  $h=0.20\text{m}$  时，小球到达圆轨道最低点时的速度大小  $v$ ；
- (2) 圆轨道的半径  $R$  和小球的质量  $m$ ；
- (3) 若两段倾斜直轨道都足够长，为使小球在运动过程中始终不脱离圆轨道，释放高度  $h$  应满足什么条件。



图 1

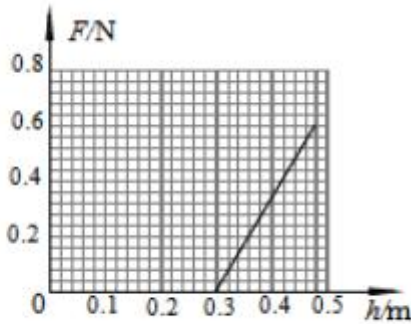


图 2

【分析】(1) 从释放到轨道最低点的过程，根据动能定理可求得小球到达圆轨道最低点时的速度大小；

(2) 从释放到轨道最高点的过程，由动能定理列式，在最高点由牛顿第二定律列式，联立可写出  $F-h$ ，再结合图象的斜率和截距可求解轨道的半径  $R$  和小球的质量  $m$ ；

(3) 找准两个临界情况，一是小球恰好到达最高点是对轨道的压力为零，二是小球恰好到达圆轨道圆心的右侧等高点，分别根据动能定理求解即可。

【解答】解：(1) 设小球质量为  $m$ ，对于从释放到轨道最低点的过程，根据动能定理，有  $mg h = \frac{1}{2} m v^2 - 0$

解得：  $v = \sqrt{2gh} = 2\text{m/s}$

(2) 设小球到达 A 点速度为  $v_A$ ，根据动能定理：  $mg(h-2R) = \frac{1}{2} m v_A^2 - 0$

在 A 点，设轨道对小球的压力为  $N$ ，根据牛顿第二定律：  $N + mg = m \frac{v_A^2}{R}$

根据牛顿第三定律：  $N = F$

联立上述三式可得：  $F = \frac{2mg}{R} h - 5mg$

对比  $F-h$  图象，根据斜率和截距关系，可得：  $k = \frac{2mg}{R} = \frac{0.6}{0.48-0.3}$ ，  $\frac{2mg}{R} \times 0.3 - 5mg = 0$

解得： $R=0.12m$        $m=0.02kg$

(3) 假设  $h=h_1$  时，小球恰好到达最高点 A，此时  $F=0$

由  $F-h$  图象可得： $h_1=0.3m$

假设  $h=h_2$  时，小球恰好到达圆轨道圆心的右侧等高点，此过程根据动能定理： $mg(h_2-R)=0-0$

解得： $h_2=R=0.12m$

综上，为使小球在运动过程中始终不脱离圆轨道，释放高度  $h$  应满足： $h \leq 0.12m$  或者  $h \geq 0.3m$

答：(1) 当释放高度  $h=0.20m$  时，小球到达圆轨道最低点时的速度大小是  $2m/s$ ；

(2) 圆轨道的半径是  $0.12m$ ，小球的质量是  $0.02kg$ ；

(3) 若两段倾斜直轨道都足够长，为使小球在运动过程中始终不脱离圆轨道，释放高度  $h$  应满足： $h \leq 0.12m$  或者  $h \geq 0.3m$

【点评】本题考查动能定理及向心力公式的应用，要注意正确分析物理过程，找准圆周运动临界情况。

18. 黑洞是爱因斯坦广义相对论预言的一种质量极大的天体，黑洞自身不发光，难以直接观测，我们可以通过恒星运动，黑洞边缘的吸积盘及喷流，乃至引力波来探测。美国在 2016 年 6 月“激光干涉引力波天文台”（LIGO）就发现了来自于距离地球 13 亿光年之外一个双黑洞系统合并产生的引力波。假定黑洞为一个质量分布均匀的球形天体，天文学家观测到一质量很小的恒星独自在宇宙中做周期为  $T$ ，半径为  $r_0$  的匀速圆周运动，由此推测，圆周轨道的中心可能有个黑洞。设万有引力常量为  $G$ 。

(1) 利用所学知识求该黑洞的质量  $M$ ；

(2) 严格解决黑洞问题需要利用广义相对论的知识，但早在相对论提出之前就有人利用牛顿力学体系预言过黑洞的存在，他们认为黑洞的引力很大，大到物体以光速运动都无法从其逃脱。我们知道，在牛顿体系中，当两个质量分别为  $m_1$ 、 $m_2$  的质点相距为  $r$  时也会具有势能，称之为引力势能，其大小为  $E_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$ （规定无穷远处势能为零），若按照牛顿力学体系将地球变为一个黑洞，求地球变为黑洞后的最大半径  $R_m$ 。（已知万有引力常量  $G=6.67 \times 10^{-11} N \cdot m^2 / kg^2$ ，地球质量  $M=6.02 \times 10^{24} kg$ ）。

【分析】(1) 根据万有引力提供向心力，结合轨道半径和周期求出黑洞的质量  $M$ 。

(2) 抓住临界状态，即黑洞第二宇宙速度等于光速，物体脱离黑洞时速度恰好为 0，结合能量守恒定律求出半径  $R$  的最大值。

【解答】解：(1) 根据万有引力定律和牛顿第二定律  $\frac{GMm}{r_0^2} = mr_0 \frac{4\pi^2}{T^2}$



$$\text{解得 } M = \frac{4\pi^2 r_0^3}{GT^2};$$

(2) 设质量为  $m$  的物体，从黑洞表面至无穷远处

$$\text{根据能量守恒定律 } \frac{1}{2}mv^2 + \left(-\frac{GM'm}{R^2}\right) = 0$$

$$\text{解得 } R = \frac{2GM'}{v^2}$$

因为连光都不能逃离，有  $v=c$

$$\text{所以黑洞的半径最大不能超过 } R_m = \frac{2GM'}{c^2} = 0.009m。$$

$$\text{答：(1) 该黑洞的质量为 } \frac{4\pi^2 r_0^3}{GT^2};$$

(2) 地球变为黑洞后的最大半径  $0.009m$ 。

【点评】该题结合黑洞的物理现象考查万有引力定律的应用，并能够与爱因斯坦质能方程相结合，有较好的创新型，是一道理论联系实际的好题。