

物 理

得分: _____

本试题卷分选择题和非选择题两部分,共 8 页。时量 75 分钟。满分 100 分。

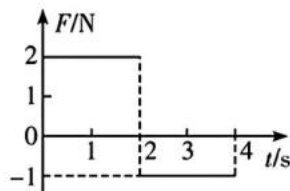
第 I 卷 选择题(共 44 分)

一、单选题(本题共 6 小题,每小题 4 分,共 24 分。在每小题给出的四个选项中,只有一个选项是符合题目要求的)

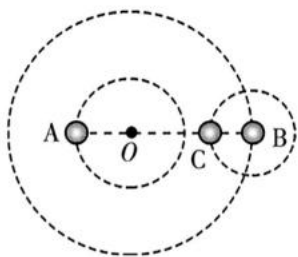
1. 2025 年 9 月 3 日,我国举行盛大阅兵仪式,“东风-5C”液体洲际战略核导弹接受检阅。“东风-5C”液体洲际战略核导弹是我国战略反击体系中的重要组成,打击范围覆盖全球。某次中国人民解放军火箭军从海南岛向南太平洋相关公海海域成功发射了 1 发携载训练模拟弹头的洲际弹道导弹,并准确落入预定海域。从发射到命中目标,整个过程仅耗时 20 多分钟,飞行速度高达 25 马赫(即声速的 25 倍),射程约 12000 公里,创下了全球洲际导弹实际测试中的最远纪录。下列说法正确的是



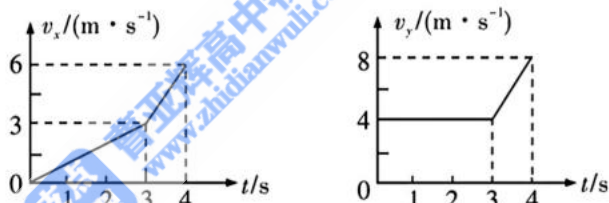
- A. 题目中“射程约 12000 公里”指的是路程
 B. 题目中“马赫”为国际单位制中的基本单位
 C. 右边图片中正在加速上升的导弹处于超重状态
 D. 导弹的惯性随着飞行速度的增大而增大
2. 一质量为 2 kg 的物块在合外力 F 的作用下从静止开始沿直线运动。 F 随时间 t 变化的图线如图所示,则
- A. $t=1$ s 时物块的速率为 2 m/s
 B. $t=2$ s 时物块的动量大小为 4 kg · m/s
 C. $t=3$ s 时物块的动量大小为 5 kg · m/s
 D. $t=4$ s 时物块的速度为零



3. 如图所示, 恒星 A、B 构成的双星系统绕点 O 沿逆时针方向做匀速圆周运动, 运动周期为 T_1 , 它们的轨道半径分别为 R_A 、 R_B , $R_A < R_B$ 。C 为 B 的卫星, 绕 B 沿逆时针方向做匀速圆周运动, 周期为 T_2 , 忽略 A 与 C 之间的引力, 且 A 与 B 之间的引力远大于 C 与 B 之间的引力。引力常量为 G , 则以下说法正确的是

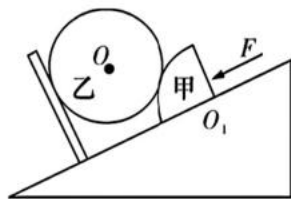


- A. 恒星 A 的质量 M_A 为 $\frac{4\pi^2 R_B (R_A + R_B)^2}{GT_1^2}$
- B. 若已知 C 的轨道半径, 则可求出 C 的质量
- C. 设 A、B、C 三星由图示位置到再次共线的时间为 t , 则 $t = \frac{T_1 T_2}{2(T_1 + T_2)}$
- D. 若 A 也有一颗运动周期为 T_2 的卫星, 则其轨道半径一定小于 C 的轨道半径
4. 一质点在直角坐标系 xOy 所在平面内由 O 点开始运动, 其沿坐标轴方向的分速度随时间变化如图所示。则



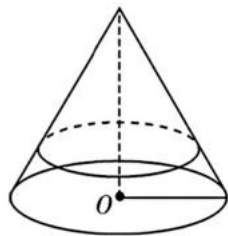
- A. 3 s 末质点速度的大小为 7 m/s
- B. 前 3 s 质点做匀变速直线运动, 加速度大小为 1 m/s^2
- C. 3~4 s 内质点做匀变速曲线运动, 加速度大小为 5 m/s^2
- D. 3~4 s 内质点的位移大小为 7.5 m

5. 如图所示, 斜面上固定有一与斜面垂直的挡板, 另有一截面为 $\frac{1}{4}$ 圆的光滑柱状物体甲放置于斜面上, 半径与甲相同的光滑球乙被夹在甲与挡板之间, 没有与斜面接触而处于静止状态。现对甲施加一平行于斜面向下的力 F , 使甲沿斜面方向缓慢向下移动。设乙对挡板的压力大小为 F_1 , 甲对斜面的压力大小为 F_2 , 甲对乙的弹力为 F_3 。在此过程中



- A. F_1 逐渐增大, F_2 逐渐增大, F_3 逐渐增大
- B. F_1 逐渐减小, F_2 保持不变, F_3 逐渐减小
- C. F_1 保持不变, F_2 逐渐增大, F_3 先增大后减小
- D. F_1 逐渐减小, F_2 保持不变, F_3 先减小后增大

6. 如图所示,表面光滑的圆锥固定在水平面上,底面半径为 R ,顶角为 60° 。有一个质量为 m 的弹性圆环,弹性圆环的弹力与形变量之间满足胡克定律,且始终在弹性限度内。弹性圆环处于自然状态时半径为 $\frac{1}{4}R$,现将弹性



圆环套在圆锥上,稳定时弹性圆环处于水平状态,且到底面的距离为圆锥高线的 $\frac{1}{4}$,当 θ 很小时,取 $\sin \theta = \theta$,重力加速度为 g 。则弹性圆环的劲度系数为

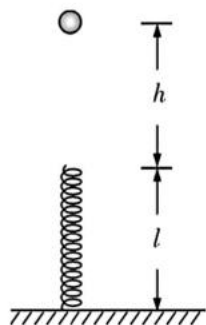
- A. $\frac{\sqrt{3}mg}{6R\pi}$ B. $\frac{\sqrt{3}mg}{12R\pi}$ C. $\frac{\sqrt{3}mg}{2R\pi^2}$ D. $\frac{\sqrt{3}mg}{12R\pi^2}$

二、多选题(本题共 4 小题,每小题 5 分,共 20 分。每小题有多项符合题目要求,全部选对的得 5 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分)。

7. 在物理学的重大发现中科学家们创造出了许多物理学方法,如理想实验法、控制变量法、极限思想法、类比法和科学假说法、建立物理模型法等。以下关于所用物理学研究方法的叙述正确的是

- A. 在不需要考虑物体本身的大小和形状时,用质点来代替物体的方法叫假设法
 B. 从科学方法角度来说,物理学中引入“加速度”概念运用了比值定义法
 C. 根据速度定义式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$,当 Δt 非常非常小时, $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 就可以表示物体在 t 时刻的瞬时速度,该定义主要应用了理想模型法
 D. 在推导匀变速运动位移公式时,把整个运动过程划分成很多小段,每一小段近似看作匀速直线运动,然后把各小段的位移相加,这里采用了微元法

8. 如图所示,原长为 l 、劲度系数为 k 的轻弹簧竖直固定在水平地面上,质量为 m 的小铁球(视为质点)从弹簧正上方距弹簧顶端高度为 h 处由静止下落,与弹簧接触后压缩弹簧,当弹簧的压缩量为 x 时,小铁球下落到最低点。重力加速度大小为 g ,弹簧始终在弹性限度内,不计空气阻力。下列说法正确的是



- A. 小铁球重力势能的减少量与零势能面的选取有关
 B. 当弹簧的压缩量为 $\frac{mg}{k}$ 时,小铁球的动能最大
 C. 弹簧弹性势能的最大值为 $mg(h+x)$
 D. 小铁球在最低点时的加速度大小为 $\frac{kl}{m} - g$

9. 海边会发生潮汐现象,潮来时,水面升高;潮退时,水面降低。有人认为这是由于太阳对海水的引力变化以及月球对海水的引力变化所造成的。中午,太阳对海水的引力方向指向海平面上方;半夜,太阳对海水的引力方向指向海平面下方;拂晓和黄昏,太阳对海水的引力方向跟海平面平行。月球对海水的引力方向的变化也有类似情况。太阳、月球对某一区域海水引力的周期性变化,就引起了潮汐现象。已知地球质量为 M ,半径为 R 。太阳质量约为地球质量的 3×10^5 倍,太阳与地球的距离约为地球半径的 2×10^4 倍,地球质量约为月球质量的 80 倍,月球与地球的距离约为地球半径的 60 倍。对于地球上同一片质量为 m 的海水来说,下列说法正确的是

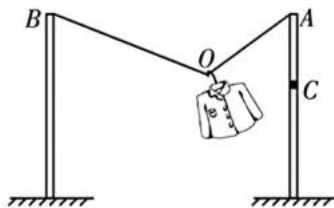
A. 太阳对这片海水的引力与地球对这片海水的引力之比约为 $\frac{F_{\text{日}}}{F_{\text{地}}} = \frac{3}{2000}$

B. 太阳对这片海水的引力与月球对这片海水的引力之比约为 $\frac{F_{\text{日}}}{F_{\text{月}}} = \frac{216}{1}$

C. 我国农历中的“朔”是指太阳、月球和地球共线、且月球位于太阳和地球之间的月相,此时,海边容易形成大潮

D. 对于同一片海水而言,地球、月球、太阳对它的引力的矢量和可能为零

10. 晾晒衣服的绳子两端分别固定在两根竖直杆上的 A 、 B 两点, A 、 B 两点等高,原来无风状态下衣服保持静止。某时一阵恒定的风吹来,衣服受到水平向右的恒力而发生滑动,并在新的位置保持静止,如图所示。两杆间的距离为 d ,绳长为 $1.25d$,衣服和衣架的总质量为 m ,重力加速度为 g , $\sin 37^\circ = 0.6$ 。不计绳子的质量及绳与衣架挂钩间的摩擦,下列说法正确的是



A. 在有风且风力不变的情况下,绳子右端由 A 点沿杆略向下移到 C 点,绳子的拉力变小

B. 有风时,挂钩左、右两侧绳子的拉力大小不相等

C. 相比无风时,在有风的情况下 $\angle AOB$ 小

D. 无风时,轻绳的拉力大小为 $\frac{5}{8}mg$

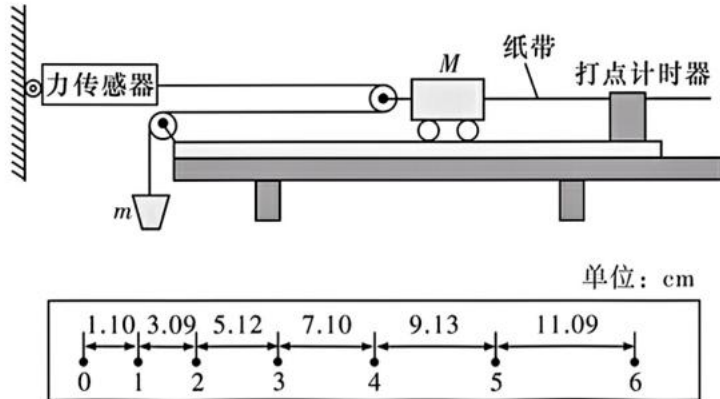
选择题答题卡

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	得分
答案											

第 II 卷 非选择题(共 56 分)

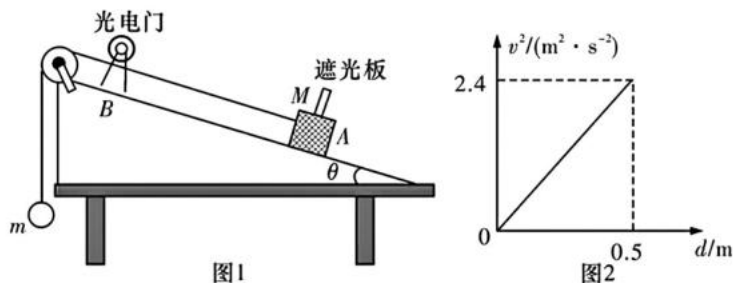
三、非选择题(本题共 5 小题,共 56 分)

11. (8 分)为了探究物体质量一定时加速度与力的关系,某同学设计了如图所示的实验装置,其中 M 为小车和小车上的滑轮的总质量, m 为沙和沙桶的总质量,力传感器可测出轻绳中的拉力大小。



- (1)下列实验操作中,一定要进行的是_____;
- A. 用天平测出沙和沙桶的总质量
B. 本实验不需要将带滑轮的长木板右端适当垫高,以平衡摩擦力
C. 调整力传感器和定滑轮的高度,使连接它们的轻绳与长木板平行
- (2)实验中_____ (选填“需要”或“不需要”)满足所挂沙和沙桶的总质量远小于小车质量;
- (3)该同学在实验中得到如图所示的一条纸带(相邻两计数点间还有四个点没有画出),已知打点计时器采用的是频率为 50 Hz 的交流电,根据纸带可求出小车的加速度为_____ m/s^2 (结果保留三位有效数字);
- (4)该同学以力传感器的示数 F 为横坐标,加速度 a 为纵坐标,画出的 $a-F$ 图像是一条直线(图像没有画出),求得图线的斜率为 k ,则小车和小车上的滑轮的总质量为_____。
12. (8 分)利用气垫导轨验证机械能守恒定律,实验装置如图 1 所示,水平桌面上固定一倾斜的气垫导轨,导轨上 A 点处有一带长方形遮光片的滑块,其总质量为 M ,左端由跨过轻质光滑定滑轮的细绳与一质量为 m 的小球相连。遮光片两条长边与导轨垂直,导轨上 B 点有一光电门,可以测量遮光片经过光电门时的挡光时间 t ,用 d 表示 A 点到光电门 B 处的距离, b 表示遮光片的宽度,将遮光片通过光电门的平均速度看

作滑块通过 B 点时的瞬时速度,实验时滑块在 A 处由静止开始运动。

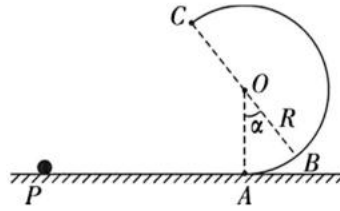


- (1) 滑块通过 B 点的瞬时速度可表示为 _____ ;
- (2) 某次实验测得倾角 $\theta=30^\circ$, 重力加速度用 g 表示, 滑块从 A 处到达 B 处时 m 和 M 组成的系统动能增加量可表示为 $\Delta E_k =$ _____ , 系统的重力势能减少量可表示为 $\Delta E_p =$ _____ , 在误差允许的范围内, 两者相等, 则可认为系统的机械能守恒。
- (3) 在上述实验方法, 某同学改变 A 、 B 间的距离, 得到滑块到 B 点对应的速度 v , 作出的 v^2-d 图像如图 2 所示, 并测得 $M=m$, 则重力加速度 $g =$ _____ m/s^2 。

13. (12 分) 广泛使用氢燃料作为交通能源是氢经济的一个关键因素。使用氢为能源的最大好处是它跟空气中的氧反应, 仅产生水蒸气排出, 有效减少了传统汽油车造成的空气污染问题。一种氢气燃料的汽车, 质量为 $1.0 \times 10^3 \text{ kg}$, 沿倾角为 30° 的斜坡由静止开始向上运动, 汽车在运动过程中所受摩擦阻力大小恒为 2000 N , 汽车发动机的额定输出功率为 $5.6 \times 10^4 \text{ W}$, 开始时以 $a = 1 \text{ m/s}^2$ 的加速度做匀加速运动 (g 取 10 m/s^2)。求:

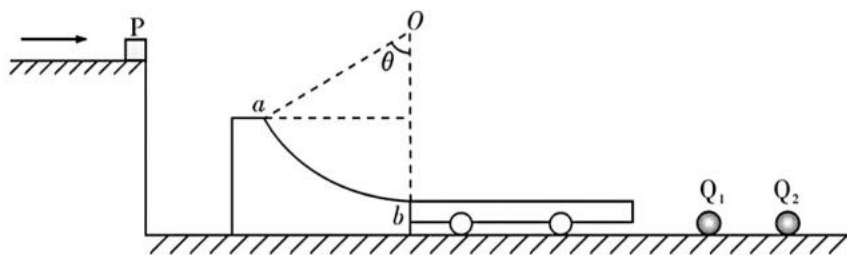
- (1) 汽车做匀加速运动的时间;
- (2) 汽车所能达到的最大速率;
- (3) 若斜坡长 143.5 m , 且认为汽车到达坡顶之前已达到最大速率, 则汽车从坡底到坡顶需多长时间。(结果保留整数)

14. (12分)如图,在竖直平面内,一半径为 R 的光滑圆弧轨道 ABC 和水平轨道 PA 在 A 点相切, BC 为圆弧轨道的直径, O 为圆心, OA 和 OB 之间的夹角为 α , $\sin \alpha = \frac{3}{5}$ 。一质量为 m 的小球沿水平轨道向右运动,经 A 点沿圆弧轨道通过 C 点,落至水平轨道;在整个过程中,除受到重力及轨道作用力外,小球还一直受到一水平恒力的作用,已知小球在 C 点所受合力的方向指向圆心,且此时小球对轨道的压力恰好为零。重力加速度大小为 g 。求:



- (1) 水平恒力的大小和小球到达 C 点时速度的大小;
- (2) 小球到达 B 点时对圆弧轨道的压力大小。

15. (16分)如图所示,一圆弧槽固定在水平面上,圆弧两端点 a 、 b 间对应的圆心角为 $\theta=60^\circ$, a 、 b 两点的高度差为 0.6 m , b 点与圆心 O 的连线竖直。圆弧槽右侧是光滑的水平面,质量为 1 kg 的小车紧靠圆弧槽右端放置,且小车上表面与圆弧槽 b 点等高,质量均为 2 kg 的相同小球 Q_1 和 Q_2 放在小车右侧。光滑水平台面上放有一个质量为 2.97 kg 的滑块 P ,一质量为 0.03 kg 的子弹以 100 m/s 的初速度水平打到滑块 P 内并嵌入其中,滑块 P 运动到 a 点时速度刚好与圆弧相切。已知滑块与小车之间的动摩擦因数为 0.1 ,小球间的碰撞均为弹性碰撞,重力加速度 g 取 10 m/s^2 。



- (1)求滑块 P 从圆弧 b 点离开时的速度大小;
- (2)当滑块与小车第1次共速时小车与球 Q_1 刚好发生弹性碰撞(正碰),当滑块与小车第2次共速时,小车与球 Q_1 再次发生弹性碰撞,求初始时球 Q_1 与小车右端的距离以及球 Q_1 、 Q_2 之间的距离各是多少;
- (3)若在球 Q_2 的右侧放置无限多个与 Q_1 、 Q_2 完全相同的球,每当滑块与小车共速时,小车就与球 Q_1 发生弹性碰撞(正碰),最终滑块恰好未从小车上掉下。求小车的长度。

物理参考答案

题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	C	B	A	D	B	C	BD	BC	BC	AC

一、单项选择题(本题共6小题,每小题4分,共24分。在每小题给出的四个选项中,只有一项是符合题目要求的)

1. C 【解析】射程约“12000公里”指的是位移大小,不是路程,A错误;“马赫”为导出单位,B错误;图片中正在加速上升的导弹的加速度向上,处于超重状态,C正确;导弹的惯性与质量有关,与飞行速度无关,D错误。故选C。

2. B 【解析】根据 $F-t$ 图线与时间轴围成的面积的物理意义为合外力 F 的冲量,可知在 $0\sim 1\text{ s}$ 、 $0\sim 2\text{ s}$ 、 $0\sim 3\text{ s}$ 、 $0\sim 4\text{ s}$ 内合外力冲量分别为 $2\text{ N}\cdot\text{s}$ 、 $4\text{ N}\cdot\text{s}$ 、 $3\text{ N}\cdot\text{s}$ 、 $2\text{ N}\cdot\text{s}$,应用动量定理 $I=m\Delta v$ 可知物块在 1 s 、 2 s 、 3 s 、 4 s 末的速率分别为 1 m/s 、 2 m/s 、 1.5 m/s 、 1 m/s ,物块在这些时刻的动量大小分别为 $2\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 、 $4\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 、 $3\text{ kg}\cdot\text{m/s}$ 、 $2\text{ kg}\cdot\text{m/s}$,则B项正确,A、C、D项错误。

3. A 【解析】在A、B组成的双星系统中,对B根据牛顿第二定律有 $G\frac{M_A M_B}{(R_A+R_B)^2}=M_B\left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2 R_B$

解得 $M_A=\frac{4\pi^2 R_B (R_A+R_B)^2}{GT_1^2}$,故A正确;若已知C的轨道半径和周期,根据万有引力定律和牛顿第二定律列方程只能求解B的质量,无法求解C的质量,故B错误;A、B、C三星由图示位置到再次共线时,C转过的圆心角 θ_2 与A、B转过的圆心角 θ_1 之差为 π ,则 $\frac{2\pi}{T_2}t-\frac{2\pi}{T_1}t=\pi$,解得 $t=\frac{T_1 T_2}{2(T_1-T_2)}$,故C错误;

对A、B组成的双星系统有 $M_A\left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2 R_A=M_B\left(\frac{2\pi}{T_1}\right)^2 R_B$

因为 $R_A < R_B$,所以 $M_A > M_B$

若A也有一颗运动周期为 T_2 的卫星,设卫星的质量为 m ,轨道半径为 r ,则根据牛顿第二定律有 $G\frac{M_A m}{r^2}=m\left(\frac{2\pi}{T_2}\right)^2 r$

解得 $r=\sqrt[3]{\frac{GM_A T_2^2}{4\pi^2}}$

同理可得C的轨道半径 $R_C=\sqrt[3]{\frac{GM_B T_2^2}{4\pi^2}}$

由于 $M_A > M_B$,则 $r > R_C$ 。故D错误。故选A。

4. D 【解析】3 s末质点 x 轴方向和 y 轴方向的速度分别为 3 m/s 、 4 m/s ,根据矢量的合成可知 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=5\text{ m/s}$,

故A错误;初始质点 y 轴方向有速度, x 轴方向有加速度,二者不共线,则质点做曲线运动,加速度为 $a=\frac{\Delta v}{\Delta t}$

1 m/s^2 ,故B错误;3~4 s内质点 x 轴和 y 轴方向的加速度分别为 $a_x=\frac{\Delta v_x}{\Delta t_x}=\frac{6-3}{4-3}\text{ m/s}^2=3\text{ m/s}^2$

$a_y=\frac{\Delta v_y}{\Delta t_y}=\frac{8-4}{4-3}\text{ m/s}^2=4\text{ m/s}^2$

合加速度为 $a'=\sqrt{a_x^2+a_y^2}=5\text{ m/s}^2$

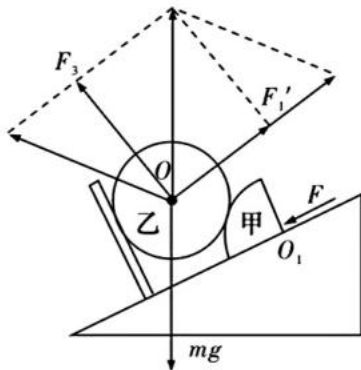
与 x 轴方向的夹角为 $\tan\theta=\frac{a_y}{a_x}=\frac{4}{3}$

3 s末,速度与 x 轴方向夹角为 $\tan\alpha=\frac{v_y}{v_x}=\frac{4}{3}$,可知3~4 s内质点做匀变速直线运动,加速度大小为 $a'=5\text{ m/s}^2$,故C

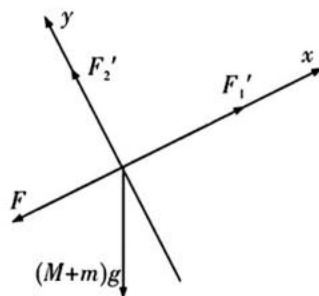
错误;3 s末质点的速度为 5 m/s ,加速度为 5 m/s^2 ,做匀变速直线运动,则3 s~4 s的位移为 $x=vt+\frac{1}{2}a't^2=7.5\text{ m}$,

故D正确;故选D。

5. B 【解析】先对物体乙受力分析,受重力、挡板的支持力 F_1' 和甲物体的支持力 F_3 ,如图



根据平衡条件,结合几何关系可以看出甲对乙的弹力 F_3 不断减小,挡板的支持力 F_1' 不断减小,根据牛顿第三定律,乙对挡板的压力 F_1 不断减小;再对甲与乙整体受力分析,受重力、斜面的支持力、挡板的支持力和已知力 F ,如图



根据平衡条件, x 、 y 方向分别有 $F + (M+m)g \sin \theta - F_1' = 0$, $F_2' - (M+m)g \cos \theta = 0$, 解得 $F_2' = (M+m)g \cos \theta$ 保持不变,结合牛顿第三定律,物体甲对斜面的压力 F_2 不变。故选 B。

6. C 【解析】取圆环上很小的一段分析,设对应圆心角为 θ ,分析微元受力有重力 $m_0 g$ 、支持力 N 、两边圆环其余部分对

微元的拉力 T ,由平衡条件有 $\frac{m_0 g}{\tan \frac{\alpha}{2}} = 2T \sin \frac{\theta}{2}$, $\alpha = 60^\circ$

由于微元很小,则对应圆心角很小,则 $\sin \frac{\theta}{2} = \frac{\theta}{2}$, $m_0 = \frac{\theta r}{2\pi r} m$

其中 r 为圆环拉伸后的半径,代入数据有 $T = \frac{mg}{2\pi \tan \frac{\alpha}{2}} = \frac{\sqrt{3}mg}{2\pi}$

由题知,稳定时弹性圆环处于水平状态,且到底面的距离为圆锥高线的 $\frac{1}{4}$,则有 $h = R \tan 60^\circ = \sqrt{3}R$, $r = \frac{3R}{4}$

根据胡克定律有 $T = kx$, $x = 2\pi(r - \frac{R}{4})$

计算有 $k = \frac{\sqrt{3}mg}{2\pi r}$, 故选 C。

二、多选题(本题共 4 小题,每小题 5 分,共 20 分。每小题有多项符合题目要求,全部选对的得 5 分,选对但不全的得 3 分,有选错的得 0 分)。

7. BD 【解析】在不需要考虑物体本身的大小和形状时,用质点来代替物体的方法叫理想模型法,故 A 错误;从科学方法角度来说,物理学中引入“加速度”概念运用了比值定义法,故 B 正确;根据速度定义式 $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$, 当 Δt 非常非常小

时, $\frac{\Delta x}{\Delta t}$ 就可以表示物体在 t 时刻的瞬时速度,该定义应用了极限思想,故 C 错误;在推导匀变速运动位移公式时,把整个运动过程划分成很多小段,每一小段近似看作匀速直线运动,然后把各小段的位移相加,这里采用了微元法,故 D 正确。故选 BD。

8. BC 【解析】小铁球重力势能大小与零势能面的选取有关,而重力势能的减少量与零势能面的选取无关,故 A 错误;当小球的加速度为 0 时,小球的动能最大,此时有 $mg = k\Delta x$, 解得弹簧的压缩量为 $\Delta x = \frac{mg}{k}$, 故 B 正确;由能量守恒可知,弹簧弹性势能的最大值为 $E_{pm} = mg(h+x)$, 故 C 正确;小铁球在最低点时,根据牛顿第二定律可得 $kx - mg = ma$, 可得最低点的加速度大小为 $a = \frac{kx}{m} - g$, 故 D 错误。故选 BC。

(4)力传感器的示数为 F 时,小车受到的合力为 $2F$,由牛顿第二定律可知 $a-F$ 图像对应的关系为 $a=\frac{2}{M}F$

由题意可知 $\frac{2}{M}=k$

故小车和小车上的滑轮的总质量为 $M=\frac{2}{k}$

12. (8分,每空2分)(1) $\frac{b}{t}$ (2) $\frac{(M+m)b^2}{2t^2}$ $(m-\frac{M}{2})gd$ (3) 9.6

【解析】(1)将遮光片通过光电门的平均速度看作滑块通过 B 点时的瞬时速度,滑块通过 B 点的瞬时速度 $v=\frac{b}{t}$

(2)系统动能的增加量 $\Delta E_k=\frac{1}{2}(M+m)v^2=\frac{(M+m)b^2}{2t^2}$

系统重力势能的减小量 $\Delta E_p=mgd-Mgdsin 30^\circ=(m-\frac{M}{2})gd$

比较 ΔE_k 和 ΔE_p ,若在实验误差允许的范围内相等,即 $\Delta E_k=\Delta E_p$,即可认为机械能是守恒的。

(3)根据系统机械能守恒 $\frac{1}{2}(M+m)v^2=(m-\frac{M}{2})gd$

则 $v^2=\frac{(2m-M)gd}{M+m}$

图线的斜率 $k=\frac{(2m-M)}{M+m}g=\frac{2.4}{0.5}$

解得 $g=9.6 \text{ m/s}^2$

13. (12分)

【解析】(1)由牛顿第二定律可得

$$F-mg\sin 30^\circ-f=ma \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{解得 } F=8000 \text{ N} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{可得匀加速运动的末速度为 } v_1=\frac{P}{F}=7 \text{ m/s} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{则汽车做匀加速运动的时间 } t_1=\frac{v_1}{a}=7 \text{ s} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$(2)\text{汽车到最大速率时,牵引力为 } F_1=mg\sin 30^\circ+f \quad \dots\dots\dots (2 \text{ 分})$$

$$\text{汽车所能达到的最大速率为 } v_m=\frac{P}{F_1}=8 \text{ m/s} \quad \dots\dots\dots (2 \text{ 分})$$

$$(3)\text{汽车匀加速运动的位移 } x_1=\frac{1}{2}at_1^2=24.5 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{汽车达到额定功率后,位移为 } x_2=143.5 \text{ m}-24.5 \text{ m}=119 \text{ m} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{由动能定理可得 } Pt_2-(mg\sin 30^\circ+f)x_2=\frac{1}{2}mv_m^2-\frac{1}{2}mv_1^2 \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

又因为 $M=m$

$$\text{解得 } t_2 \approx 15 \text{ s}$$

$$\text{则汽车从坡底到坡顶需要的时间为 } t=t_1+t_2=22 \text{ s} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

14. (12分)

【解析】(1)设水平恒力的大小为 F_0 ,小球所受重力和水平恒力的合力的大小为 F ,小球到达 C 点时速度的大小为

$$v_C, \text{ 则 } \frac{F_0}{mg}=\tan \alpha \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$F=\frac{mg}{\cos \alpha} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{由牛顿第二定律得 } F=m\frac{v_C^2}{R} \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$\text{联立解得 } F_0=\frac{3}{4}mg \quad \dots\dots\dots (1 \text{ 分})$$

$$v_c = \frac{\sqrt{5gR}}{2} \dots\dots\dots (2 \text{分})$$

(2) 设小球到达 B 点时速度的大小为 v_B , 小球由 B 到 C 的过程中由动能定理可得 $-2FR = \frac{1}{2}mv_c^2 - \frac{1}{2}mv_B^2 \dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots (2 \text{分})$

解得 $v_B = \frac{5}{2}\sqrt{gR} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

小球在 B 点时有 $F_N - F = m\frac{v_B^2}{R} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得 $F_N = \frac{15}{2}mg \dots\dots\dots (1 \text{分})$

由牛顿第三定律可知, 小球在 B 点时对圆弧轨道的压力大小为 $F_N' = \frac{15}{2}mg \dots\dots\dots (1 \text{分})$

15. (16 分)

【解析】(1) 子弹打入滑块, 设共同速度为 v' , 子弹、滑块质量分别用 m_0 、 m 表示, 由动量守恒定律有 $m_0v_0 = (m_0 + m)v' \dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得 $v' = \frac{m_0v_0}{m_0 + m} = 1 \text{ m/s}$

设滑块落到圆弧 a 点时的速度为 v_a , 滑块 P 落到圆弧的 a 点上时速度刚好与圆弧相切, 则 $\cos 60^\circ = \frac{v'}{v_a} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得 $v_a = 2v' = 2 \text{ m/s}$

设滑块离开 b 点时速度 v_b , 滑块从 a 到 b 机械能守恒, 则有 $\frac{1}{2}(m_0 + m)v_b^2 - \frac{1}{2}(m_0 + m)v_a^2 = (m_0 + m)gh \dots\dots\dots$
 $\dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得 $v_b = 4 \text{ m/s} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

(2) 设滑块与小车第一次共同速度为 $v_{共1}$, 小车质量用 M 表示, 小车的右端与球 Q_1 之间的距离 d_1 , 由动量守恒定律有 $(m_0 + m)v_b = (m_0 + m + M)v_{共1} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得滑块小车共同速度为 $v_{共1} = \frac{3}{4}v_b = 3 \text{ m/s}$

小车加速度 $a = \frac{\mu(m_0 + m)g}{M} = 3 \text{ m/s}^2 \dots\dots\dots (1 \text{分})$

小车加速前进的距离 $d_1 = \frac{v_{共1}^2}{2a} = 1.5 \text{ m}$

所以球 Q_1 与小车右端的距离为 $d_1 = 1.5 \text{ m}$

设小车与球 Q_1 第 1 次碰后, 小车速度为 $v_{共1}$, 球的速度 v_1 , 球的质量为 $2M$, 由动量守恒定律和能量守恒定律有

$$Mv_{共1} = Mv_{共1} + 2Mv_1, \frac{1}{2}Mv_{共1}^2 = \frac{1}{2}Mv_{共1}^2 + \frac{1}{2} \times 2Mv_1^2 \dots\dots\dots (1 \text{分})$$

由于 $v_{共1} = \frac{3}{4}v_b$

解得 $v_{共1} = -\frac{1}{4}v_b = -1 \text{ m/s}, v_1 = \frac{1}{2}v_b = 2 \text{ m/s}$

设滑块与小车第二次达到相同速度为 $v_{共2}$, 由动量守恒定律有 $(m_0 + m)v_{共1} + Mv_{共1} = (m_0 + m + M)v_{共2} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

对小车由动能定理有 $\mu(m_0 + m)gd_2 = \frac{1}{2}Mv_{共2}^2 - \frac{1}{2}Mv_{共1}^2 \dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得 $v_{共2} = \frac{1}{2}v_b, d_2 = \frac{v_b^2}{32\mu g} = 0.5 \text{ m}$

所以球 Q_1 与 Q_2 之间的距离为 $d_2 = 0.5 \text{ m} \dots\dots\dots (1 \text{分})$

(3) 球 Q_1 、 Q_2 碰撞后速度发生交换, Q_2 获得的速度为 $\frac{1}{2}v_b$, 小车与 Q_1 第二次碰撞有 $Mv_{共2} = Mv_{共2} + 2Mv_2, \frac{1}{2}Mv_{共2}^2 = \frac{1}{2}Mv_{共2}^2 + \frac{1}{2} \times 2Mv_2^2 \dots\dots\dots (1 \text{分})$

解得 $v_{车2} = -\frac{1}{3}v_{共2}, v_2 = \frac{2}{3}v_{共2}$

小车与 Q_2 第二次碰后到小车与滑块第 3 次共速, 则有 $(m_0 + m)v_{共2} + Mv_{车2} = (m_0 + m + M)v_{共3}$ (1 分)

解得 $v_{共3} = \frac{2}{3}v_{共2}$

依次推理可得 $v_{共n} = \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} v_{共1} = 3 \times \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} \text{ m/s}, v_{车n} = -\frac{1}{3}v_{共n} = -\left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} \text{ m/s} (n=1, 2, 3, \dots)$ (1 分)

滑块与小车的相对加速度为 $a_{相} = \mu g + \frac{\mu(m_0 + m)g}{M} = 4 \text{ m/s}^2$

第 n 次碰后相对速度为 $v_{相} = 3 \times \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} - \left[-\left(\frac{2}{3}\right)^{n-1}\right] = 4 \times \left(\frac{2}{3}\right)^{n-1} \text{ m/s}$ (1 分)

第 n 次碰后, 滑块在小车上滑行的路程为 $l_n = \frac{v_{相}^2}{2a_{相}} = 2 \times \left(\frac{4}{9}\right)^{n-1} (n=1, 2, 3, \dots)$ (1 分)

无穷多次碰撞后, 滑块在小车上滑行的路程为 $l = 2 \times \left(1 - \frac{4}{9}\right)^{-1} \text{ m} = 3.6 \text{ m}$

小车的长度为 $L = \frac{v_0^2}{2a_{相}} + l$

解得 $L = 5.6 \text{ m}$ (1 分)