

## 中学生标准学术能力诊断性测试 2018 年 2 月测试

### 理科综合试卷

本试卷共 300 分，考试时间 150 分钟。

可能用到的相对原子质量：H 1 Li 7 C 12 N 14 O 16 Na 23 Al 27 P 31

二、选择题：本题共 8 小题，每小题 6 分，共 48 分。在每小题给出的四个选项中，第 14-18 题只有一项符合题目要求，第 19-21 题有多项符合题目要求，全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

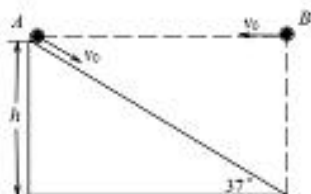
14. 已知质量分布均匀的球壳对壳内物体的万有引力为零。假设人类在未来登上了某个星球，该星球是一个半径为  $R$  且质量分布均匀的球体，在其表面有一口深度为  $\frac{R}{4}$  的天然深井，则质量为  $m$  的物体位于井底时受到的万有引

力与位于井口正上方  $\frac{R}{4}$  的高空时受到的万有引力之比为 ( )

- A. 75:64      B. 9:8      C. 81:64      D. 81:25

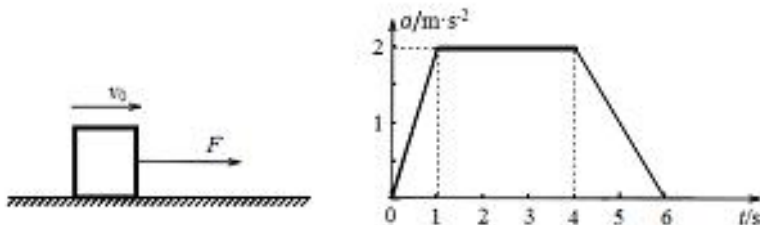
15. 如图所示, 倾角为  $37^\circ$  的光滑斜面固定在水平地面上, 斜面的高度  $h=3.6\text{m}$ ,  $A$  球位于斜面的顶端,  $B$  球位于斜面底端正上方与  $A$  球等高处。现两球同时开始运动, 其中  $A$  球沿斜面向下运动,  $B$  球向左水平抛出, 且两球具有相同大小的初速度  $v_0=4\text{m/s}$ ,  $A$ 、 $B$  两个小球均视为质点, 重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ 。则下列说法中正确的是 ( )

- A.  $B$  球落到斜面上时, 速度方向正好与斜面垂直  
B.  $B$  球做平抛运动的位移是  $3\text{m}$   
C.  $B$  球落到斜面上时, 正好击中  $A$  球  
D. 在  $B$  球落到斜面上之前,  $A$ 、 $B$  两球始终处在相同高度



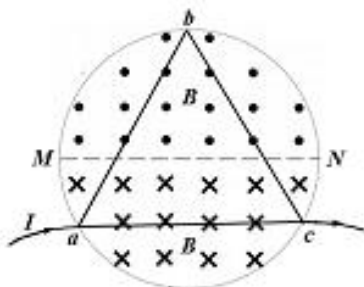
16. 质量为  $m=4\text{kg}$  的物体受到水平拉力  $F$  的作用, 在光滑的水平面上做直线运动,  $t=0$  时, 物体的初速度  $v_0=2\text{m/s}$ , 运动过程中物体的加速度随时间变化的规律如图所示, 则  $1\sim 6\text{s}$  内,  $F$  所做的功是 ( )

- A. 214J      B. 224J      C. 234J      D. 244J



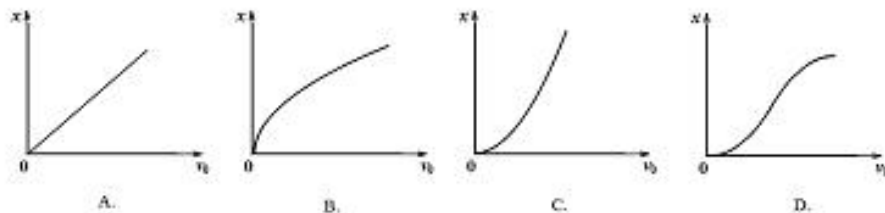
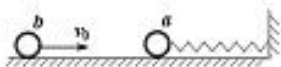
17. 如图所示, 由粗细均匀的金属导线围成的一个正三角形线框  $abc$  的三个顶点均位于一个半径为  $R$  的圆形区域的边界上,  $MN$  为圆形区域的一条直径,  $MN$  上方和下方分别存在大小均为  $B$  且方向相反的匀强磁场, 三角形的  $ac$

边与  $MN$  平行。现给线框接入从  $a$  点流入， $c$  点流出的大小为  $I$  的恒定电流，则金属线框受到的安培力的大小为 ( )

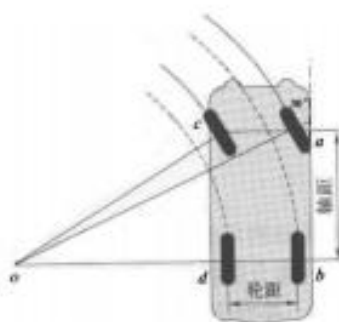


- A.  $\frac{2}{9}\sqrt{3}BIR$     B.  $\frac{5}{9}\sqrt{3}BIR$     C.  $\frac{2}{3}\sqrt{3}BIR$     D. 0

18. 如图所示，轻质弹簧的右端固定在竖直墙壁上，左端连接一个质量为  $m$  的小球  $a$ ，质量为  $M$  的小球  $b$  以  $v_0$  的初速度在光滑的水平面上向右运动，与小球  $a$  发生一维碰撞后二者一起向右运动压缩弹簧，并将弹簧压缩至最短，设弹簧一直处在弹性限度范围之内。则下列关于弹簧的最大压缩量  $x$  与小球  $b$  的初速度  $v_0$  间的关系中大致正确的是 ( )

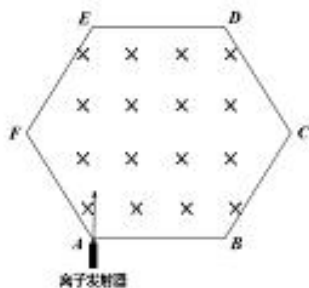


19. 汽车行驶时依靠方向盘控制前轮的方向来实现转弯。汽车转弯时，可视为绕定点  $O$  做圆周运动，如图所示为某汽车转弯时的俯视图。现测得该汽车的轴距为  $L$ ，轮距为  $(\sqrt{3}-1)L$ ，车轮  $a$  与车身的夹角  $\theta=30^\circ$ ，车轮  $b$  绕  $O$  点做圆周运动的线速度为  $3\text{m/s}$ 。则下列说法中正确的是 ( )



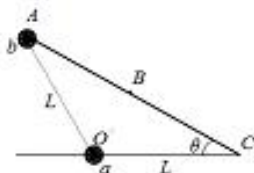
- A. 车轮  $c$  与车身的夹角也为  $30^\circ$
- B. 车轮  $a$  绕  $O$  点做圆周运动的线速度为车轮  $d$  的 2 倍
- C. 车轮  $c$  绕  $O$  点做圆周运动的线速度为  $\sqrt{6}$  m/s
- D. 最外侧轮胎的轨迹与最内侧轮胎的轨迹相距  $(\sqrt{3}-1)L$

20. 如图所示，在边长为  $L$  的正六边形所围成的区域内分布着沿水平方向的匀强磁场。安装在  $A$  点的离子发射器可以发射出质量相等的带有等量异种电荷的离子，这些离子以大小不同的速率垂直  $AB$  边进入匀强磁场，测得从  $AB$  边的中点射出磁场的离子在磁场中运动的时间为  $t$ ，不考虑离子间的相互作用以及离子受到的重力，则以下说法中不正确的是（ ）



- A. 若离子在磁场中运动的时间为  $\frac{1}{4}t$ ，则离子带正电
- B. 从  $D$  点飞出磁场的离子运动速率为  $\frac{2\pi L}{3t}$
- C. 若离子在磁场中运动的时间为  $\frac{1}{2}t$ ，则该离子在磁场中运动轨迹的长度为  $\frac{(3-\sqrt{3})}{2}\pi L$
- D. 若离子在磁场中运动的时间为  $\frac{5}{6}t$ ，则该离子从  $BC$  边的中点射出磁场

21. 如图所示, 带电量为 $+Q$ 的小球 $a$ 固定在绝缘水平面上的 $O$ 点, 带电量为 $-q$ 的小球 $b$ 套在粗糙的倾斜绝缘直杆上, 小球 $b$ 质量为 $m$ , 直杆与水平方向的夹角为 $\theta=30^\circ$ , 直杆上有 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 三点,  $B$ 为 $AC$ 的中点,  $OA=OC=L$ . 小球 $b$ 从 $A$ 处由静止开始下滑, 第一次经过 $B$ 点时速度是 $v$ , 运动到 $C$ 点时速度为零. 在 $+Q$ 产生的电场中取 $C$ 点的电势为 $0$ , 重力加速度为 $g$ , 最大静摩擦力等于滑动摩擦力. 下列说法中正确的是 ( )

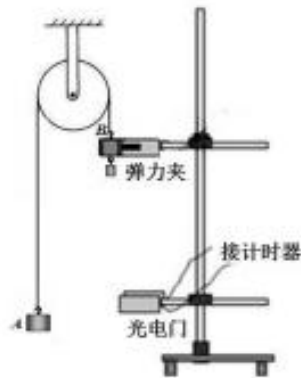


- A. 小球 $b$ 的最大动能为 $\frac{1}{2}mv^2$
- B. 整个过程中产生的内能为 $\frac{\sqrt{3}}{2}mgL$
- C. 小球 $b$ 的电势能最小值为 $-\frac{1}{2}mv^2$
- D. 小球从 $C$ 点还能返回到 $A$ 点

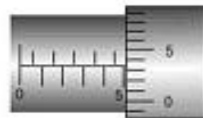
**三、非选择题: 共 174 分. 第 22-32 题为必考题, 每个试题考生都必须作答. 第 33-38 题为选考题, 考生根据要求作答.**

**(一) 必考题: 共 129 分.**

22. (7 分)某同学用如图所示的装置测量当地的重力加速度 $g$ . 轻质细线绕过光滑的定滑轮, 两端系着质量均为 $M$ 的物块 $A$ 和 $B$ . 在物块 $B$ 上固定一个宽度为 $d$ 的遮光片, 遮光片的质量可忽略不计, 在物块 $B$ 的下面悬挂一个质量为 $m$ 的钩码. 开始时用固定在铁架台上的弹力夹夹住物块 $B$ , 使整个系统处于静止状态, 松开弹力夹, 物块 $B$ 由静止开始下落. 在弹力夹的正下方安装一个光电门, 光电门中心距弹力夹的高度为 $h$ , 利用光电计时器可测得遮光片通过光电门的时间 $\Delta t$ . 该同学多次改变光电门的位置, 记录各次弹力夹与光电门间的高度差 $h$ 以及每次遮光片通过光电门的时间 $\Delta t$ , 以 $h$ 为横轴, 以 $(\frac{1}{\Delta t})^2$ 为纵轴建立直角坐标系, 通过描点法作出的图线是一条过原点的直线, 计算出该直线的斜率是 $k$ .



(1) 该同学用螺旋测微器测量遮光片的宽度，示数如图所示，则该遮光片的宽度  $d = \underline{\hspace{2cm}}$  mm



(2) 在实验过程中除了光电计时器和螺旋测微器之外，还需要下列哪些实验器材\_\_\_\_\_

- A. 弹簧测力计
- B. 打点计时器
- C. 刻度尺
- D. 游标卡尺
- E. 天平
- F. 秒表

(3) 物块 B 下落过程中的加速度  $a = \underline{\hspace{2cm}}$  (用  $M, m, g$  表示)

(4) 利用图线的斜率  $k$  可求得当地的重力加速度  $g = \underline{\hspace{2cm}}$  (用  $M, m, k, d$  表示)

23. (8分)  $R_x$  是待测电阻，阻值约为  $2k\Omega$ ， $R_0 = 500\Omega$  是保护电阻， $R$  为电阻箱 ( $0 \sim 9999.9\Omega$ )， $R'$  是滑动变阻器，电源电动势  $E = 20V$ ，内阻很小。提供的实验器材有

滑动变阻器  $R'_1$  (阻值  $0 \sim 10\Omega$ )

滑动变阻器  $R'_2$  (阻值  $0 \sim 500\Omega$ )

电流表  $A_1$  (量程  $0 \sim 0.6A$ ， $R_{A1} = 10\Omega$ )

电流表  $A_2$  (量程  $0 \sim 3A$ ， $R_{A2} = 5\Omega$ )

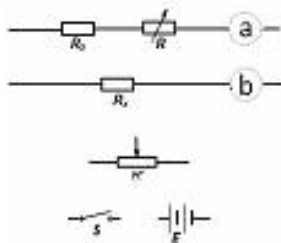
电压表  $V_1$  (量程  $0 \sim 10V$ ， $R_{V1} = 2k\Omega$ )

电压表  $V_2$  (量程  $0\sim 5V$  ,  $R_{V_2}=1k\Omega$ )

在保证安全和满足要求的情况下,使测量范围尽可能大从而多测量几组数据,实验步骤如下:

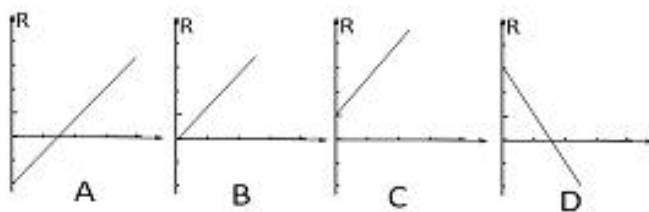
- 1、按要求连接实验电路图。
- 2、闭合开关  $S$ ,从  $0$  开始调节电阻箱  $R$ ,使其为适当值,再调节滑动变阻器  $R'$ ,使与电阻箱  $R$  串联的电表  $a$  的示数为其量程的  $4/5$ ,记录与待测电阻  $R_x$  串联的电表  $b$  的示数。
- 3、重复第二步骤,再测量  $5$  组  $R$  和电表  $b$  的数据。
- 4、在坐标纸上描出  $R$  和电表  $b$  的示数图像。回答以下问题:

(1) 正确连接实验电路图。



(2)  $a$  处选用 \_\_\_\_\_,  $b$  处选用 \_\_\_\_\_ 滑动变阻器  $R'$  选用 \_\_\_\_\_。

(3) 作出的图像形状为下图 \_\_\_\_\_。



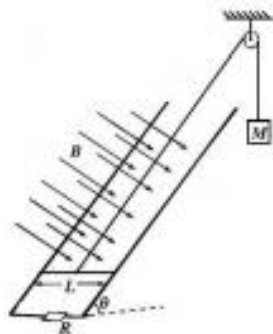
(4) 若图像中的斜率为  $k=512$ , 则得待测电阻  $R_x=$  \_\_\_\_\_  $\Omega$ , 与  $R$  轴的截距  $d$  的大小为 \_\_\_\_\_

24. (10分) 在粗糙的水平面上,一个炭块在水平拉力  $F$  的作用下以  $v_0=4m/s$  的速度做匀速直线运动,其正前方平铺一个边长为  $L=0.32m$  的正方形薄板,炭块在到达薄板前某处撤去拉力  $F$ ,继续运动  $s=3m$  的距离后沿薄板一边的中垂线平滑地冲上薄板,炭块与水平面以及炭块与薄板间的动摩擦因数均为  $\mu_1=0.2$ ,薄板与水平面之间的动摩擦因数为  $\mu_2=0.1$ ,炭块的质量  $M$  为薄板质

量  $m$  的 3 倍，炭块可看成质点，且不考虑运动过程中炭块质量的变化，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。求撤去拉力后炭块在地面上留下的黑色印迹的长度。

25. (22 分) 如图所示，足够长的 U 型导轨固定在倾角为  $\theta=30^\circ$  的斜面上，导轨的宽度  $L=0.5\text{m}$ ，其下端与  $R=0.4\Omega$  的电阻连接，质量为  $m=0.1\text{kg}$  的导体棒（长度也为  $L$ ）与导轨接触良好，导体棒的电阻  $r=0.1\Omega$ ，其余电阻均不计，磁感应强度  $B=2\text{T}$  的匀强磁场垂直于导轨所在的平面，用一根与斜面平行的不可伸长的轻绳跨过定滑轮将导体棒和质量为  $M=0.4\text{kg}$  的重物相连，重物离地面足够高，用沿斜面向下的拉力  $F$  作用在导体棒上，使其刚好不沿导轨上滑。已知导体棒与导轨间的动摩擦因数  $\mu=\frac{\sqrt{3}}{3}$ ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力。现将拉力  $F$  撤去，使导体棒从静止开始沿导轨上滑，测得导体棒沿导轨上滑  $x=1\text{m}$  时，其速度达到最大。求：

- (1) 拉力  $F$  的大小以及撤去拉力  $F$  的瞬间，导体棒的加速度大小；
- (2) 导体棒从静止开始沿轨道上滑  $s=2\text{m}$  的过程中，电阻  $R$  上产生的焦耳热是多少？
- (3) 若将 U 型导轨固定在倾角为  $\alpha$  的斜面上，改变磁感应强度的方向，使其仍与斜面垂直，调整定滑轮的高度，使轻绳仍与斜面平行，其他条件保持不变，当  $\alpha$  角多大时，系统稳定后，回路中消耗的电功率最小？





(二) 选考题：共 45 分。请考生从 2 道物理题、2 道化学题、2 道生物题中每科任选一题作答。如果多做，则每科技所做的第一题计分。

33. 【物理——选修 3-3】(15 分)

(1) (6 分) (多选) 关于判断物质是晶体还是非晶体，下列说法中不正确的是 ( )

- A. 有整齐规则形状的是晶体，没有规则形状的是非晶体
- B. 表现出各向异性一定是晶体，表现出各向同性的一定是非晶体
- C. 晶体有固定的熔点，非晶体没有固定的熔点
- D. 每种晶体在各种物理性质上都能表现出各向异性
- E. 晶体与非晶体在一定的条件下可以相互转化

(2) (9 分) 如图 (1) 所示，两端封闭的玻璃管内有  $A$ 、 $B$  两段空气柱和一段水银柱，当玻璃管竖直放置时，两段空气柱的长度正好相等，此时空气柱  $A$  的压强相当于高度为  $L$  的水银柱产生的压强。现将玻璃管水平放置，并且让玻璃管以加速度  $a = 3g$  ( $g$  为重力加速度) 向右做匀加速直线运动，此时空气柱  $B$  的长度变为原来的一半，如图 (2) 所示。假设环境温度保持不变，空气柱  $A$ 、 $B$  可视为理想气体。求玻璃管内水银柱的长度。



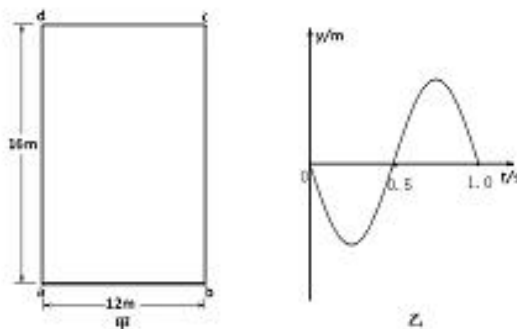
图 (1)



图 (2)

34.【物理——选修3-4】(15分)

(1)(5分) 水平面内有一个矩形  $abcd$  (如图甲所示),  $ad=16\text{m}$ ,  $ab=12\text{m}$ ,  $t_1=0$  时  $a$ 、 $b$  同时开始振动, 振动图像如图乙所示, 形成的机械波在水平面内传播, 在  $t_2=4\text{s}$  时  $d$  点开始振动。下列说法正确的是 ( )

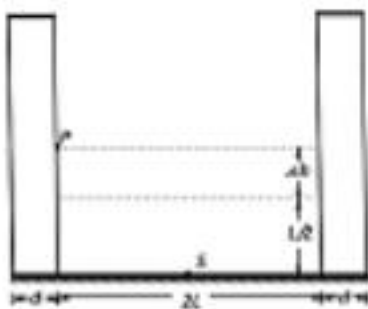


- A. 该机械波传播速度大小为  $4\text{m/s}$
- B. 该列波波长是  $4\text{m}$
- C.  $c$  点开始振动的频率与  $b$  点相同, 当两列波相遇后  $c$  点振动频率增大
- D. 两列波相遇后  $d$  点振动加强
- E. 两列波相遇后,  $d$  点振动先加强后减弱

(2)(10分) 现有一个底面为正方形的玻璃槽。玻璃槽的壁厚为  $d$ , 玻璃槽内底面边长为  $2L$ , 玻璃槽底部中央有一点光源  $S$ , 过  $S$  的纵截面如图所示。当玻璃槽中注入深度为  $L/2$  的某种液体时, 液体表面发亮的区域半径恰为  $L/2$ 。继续往玻璃槽中注入同种液体到  $P$  点,  $S$  发出的一束光线从液面与玻璃槽内侧交点  $P$  入射进入玻璃后折射经  $Q$  点射入空气中 ( $Q$  点图中未画)。光线进入玻璃槽侧壁的折射角与光线进入空气中时光线与玻璃槽侧面的夹角相等。已知  $PQ$  高度差为  $\frac{\sqrt{3}}{3}d$ , 光在空气中传播的速度为  $c$ 。

求: (1) 后来所加液体的深度  $\Delta h$

(2) 光线从  $S$  经  $P$  点到达  $Q$  点用时多少? (答案用  $L$ 、 $d$ 、 $c$  表示)



中学生标准学术能力诊断性测试  
理科综合-物理科目参考答案

一. 选择题

题号	14	15	16	17	18	19	20	21
答案	A	B	B	B	A	BC	ABD	BC

二. 非选择题

22. (7分)

(1) 5.032 (5.031~5.034) (1分)

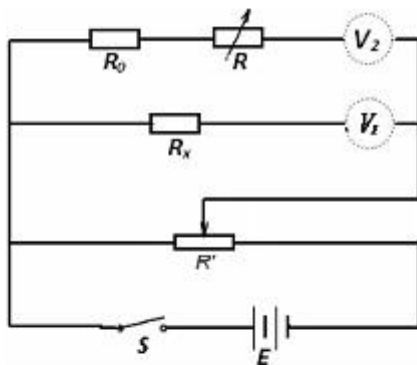
(2) C E (2分)

(3)  $\frac{mg}{2M+m}$  (2分)

(4)  $\frac{(2M+m)}{2m}kd^2$  (2分)

23. (8分)

(1) 电路连接 (2分)



(2)  $V_2$  (1分)  $V_1$  (1分)  $R'$  (1分)

(3) A (1分)

(4) 2096Ω (1分) 1.5KΩ (1分)

24. (10分)

答案: 设炭块冲上薄板时速度为  $v_1$

$$-\mu_1 Mgs = \frac{1}{2} Mv_1^2 - \frac{1}{2} Mv_0^2 \quad \text{①} \quad (2分)$$

炭块冲上薄板后, 炭块的加速度大小为  $a_1$ , 薄板的加速度大小为  $a_2$

$$\mu_1 Mg = Ma_1 \quad \text{②} \quad (1分)$$

$$\mu_1 Mg - \mu_2 (M + m)g = ma_2 \quad \text{③} \quad (1 \text{分})$$

经过时间  $t$ , 炭块从薄板上滑下

$$v_1 t - \frac{1}{2} a_1 t^2 - \frac{1}{2} a_2 t^2 = L \quad \text{④} \quad (2 \text{分})$$

炭块离开薄板时速度为  $v_2$

$$v_2 = v_1 - a_1 t \quad \text{⑤} \quad (1 \text{分})$$

炭块继续在地面上滑行  $x$  后停止运动

$$-\mu_1 Mgx = 0 - \frac{1}{2} Mv_2^2 \quad \text{⑥} \quad (1 \text{分})$$

黑色印迹的长度为  $d$

$$d = s + x \quad \text{⑦} \quad (1 \text{分})$$

$$\text{联立以上各式得: } d = 3.64 \text{m} \quad \text{⑧} \quad (1 \text{分})$$

25. (22分)

答案: (1) 导体棒受力平衡

$$F + mg \sin \theta + f_{\max} - Mg = 0 \quad \text{①} \quad (1 \text{分})$$

$$f_{\max} = \mu F_N \quad \text{②} \quad (1 \text{分})$$

$$F_N = mg \cos \theta \quad \text{③} \quad (1 \text{分})$$

$$\text{解得: } F = 3 \text{N} \quad \text{④} \quad (1 \text{分})$$

撤去拉力  $F$  的瞬间, 对  $M$  和  $m$  组成的整体, 由牛顿第二定律得:

$$Mg - mg \sin \theta - f_{\max} = (M + m)a \quad \text{⑤} \quad (2 \text{分})$$

$$\text{解得: } a = 6 \text{m/s}^2 \quad \text{⑥} \quad (1 \text{分})$$

(2) 设导体棒的最大速度是  $v$ , 则:

$$E = BLv \quad \text{⑦} \quad (1 \text{分})$$

$$I = \frac{BLv}{R + r} \quad \text{⑧} \quad (1 \text{分})$$

$$F_{\text{安}} = BIL \quad \text{⑨} \quad (1 \text{分})$$

速度最大时

$$F_{\text{安}} + mg \sin \theta + f_{\max} - Mg = 0 \quad \text{⑩} \quad (1 \text{分})$$

设导体棒上滑  $s = 2 \text{m}$  的过程中, 电路中产生的焦耳热为  $Q$ , 由能量守恒定律得:

$$Mgs = mgs \sin \theta + f_{\max} s + \frac{1}{2} (M + m)v^2 + Q \quad \text{⑪} \quad (2 \text{分})$$

由焦耳定律可知, 电阻  $R$  上产生的焦耳热

$$Q_R = \frac{R}{R + r} Q \quad \text{⑫} \quad (1 \text{分})$$

解得： $Q_a = 4.35\text{J}$  ⑬ (1分)

$$(3) \text{ 回路中消耗的电功率 } P = I^2(R+r) = \frac{B^2 L^2 v^2}{R+r} \quad \text{⑭} \quad (2\text{分})$$

$$\text{系统稳定时 } \frac{B^2 L^2 v}{R+r} + mg \sin \alpha + \mu mg \cos \alpha - Mg = 0 \quad \text{⑮} \quad (2\text{分})$$

$$v = \frac{[Mg - mg(\sin \alpha + \mu \cos \alpha)](R+r)}{B^2 L^2} \quad \text{⑯} \quad (1\text{分})$$

当  $\sin \alpha + \mu \cos \alpha$  取最大值时， $v$  最小，此时回路中的电功率最小

由数学知识得

$$\sin \alpha + \frac{\sqrt{3}}{3} \cos \alpha = \frac{2\sqrt{3}}{3} \sin(\alpha + 30^\circ) \quad \text{⑰} \quad (1\text{分})$$

当  $\alpha = 60^\circ$  时，回路中电功率最小 ⑱ (1分)

33. (15分)

答案：

(1) ABD (6分)

(2)  $\frac{4}{3}L$

解析：假设水银的密度为  $\rho$ ，玻璃管的横截面积为  $S$ ，竖直放置时空气柱的长度均为  $d$ ，水银柱的长度为  $x$ ，则

$$\text{竖直放置时：} p_A = \rho g L \quad \text{①} \quad (1\text{分})$$

$$p_B = p_A + \rho g x \quad \text{②} \quad (1\text{分})$$

水平放置时：空气柱 B 的长度变为  $\frac{d}{2}$ ，空气柱 A 的长度变为  $2d - \frac{d}{2} = \frac{3d}{2}$ ，③ (1分)

两部分气体均发生等温变化，得：

$$p_A d S = p_A' \frac{3d}{2} S \quad \text{④} \quad (1\text{分})$$

$$p_B d S = p_B' \frac{d}{2} S \quad \text{⑤} \quad (1\text{分})$$

由牛顿第二定律得：

$$p_B' S - p_A' S = ma \quad \text{⑥} \quad (1\text{分})$$

$$m = \rho x S \quad \text{⑦} \quad (1\text{分})$$

$$\text{解得：} x = \frac{4}{3}L \quad \text{⑧} \quad (2\text{分})$$

34. 答案:

(1) ABD (5分)

(2)(10分)当玻璃槽中注入深度为  $L/2$  的某种液体时,液体表面发亮的区域半径恰为  $L/2$ ,由几何关系可知,临界角  $C=45^\circ$

$$\text{由 } \sin C = \frac{1}{n} \quad \text{① (1分)}$$

$$n_{\text{液}} = \sqrt{2} \quad \text{②}$$

$$n_{\text{玻璃}} = \frac{\sin(90^\circ - \alpha)}{\sin \alpha} \quad \text{③ (1分)}$$

$$\tan \alpha = \frac{\frac{\sqrt{3}}{3}d}{d} = \frac{\sqrt{3}}{3} \quad \text{④}$$

$$n_{\text{玻璃}} = \sqrt{3} \quad \text{⑤ (1分)}$$

$$n_{\text{玻璃对液体}} = n_{\text{玻璃}} / n_{\text{液}} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{6}}{2} \quad \text{⑥}$$

$$n_{\text{玻璃对液体}} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} \quad \text{⑦}$$

$$\sin \beta = \frac{\sqrt{6}}{4} \quad \text{⑧ (1分)}$$

$$\Delta h = L \tan \beta - \frac{L}{2} = \left(\frac{\sqrt{15}}{5} - \frac{1}{2}\right)L \quad \text{(1分) ⑨}$$

$$(2) \text{ 由 } v = \frac{c}{n} \quad \text{⑩ (1分)}$$

$$v_{\text{液}} = \frac{c}{\sqrt{2}} \quad \text{⑪}$$

$$v_{\text{玻璃}} = \frac{c}{\sqrt{3}} \quad \text{⑫}$$

$$t = \frac{PQ}{v_{\text{玻璃}}} + \frac{SP}{v_{\text{液}}} \quad \text{⑬ (1分)}$$

$$\text{由几何关系可知 } PQ = \frac{2\sqrt{3}}{3}d \quad \text{⑭ (1分)}$$