

# 2025 年沈阳市高中三年级教学质量监测（三）

## 物 理

命题人：沈阳市第二中学 任 浩  
沈阳市第四中学 王玉艳  
沈阳市第一中学 崔诗诗  
主审：沈阳市教育研究院 金秀梅

### 注意事项：

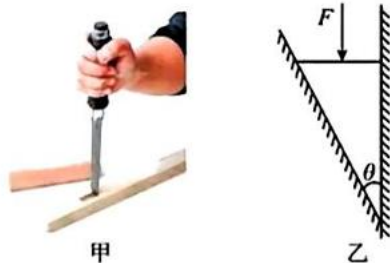
1. 答卷前，考生务必将自己的姓名、考号填写在答题卡上，并将条形码粘贴在答题卡指定位置。
2. 答选择题时，选出每小题答案后，用铅笔把答题卡对应题目的答案标号涂黑，如需改动，用橡皮擦干净后，再选涂其他答案标号。答非选择题时，将答案写在答题卡上。写在本试题卷上无效。
3. 考试结束后，考生将答题卡交回。

一、选择题：本题共 10 小题，共 46 分。在每小题给出的四个选项中，第 1~7 题只有一项符合题目要求，每小题 4 分；第 8~10 题有多项符合题目要求，每小题 6 分，全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

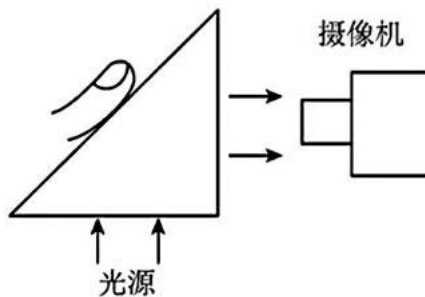
1. 国产芯片麒麟 9010 和 9020 使用的是 5nm 工艺技术。纳米是一个基本物理量的单位，这个基本物理量是
- A. 质量                      B. 长度                      C. 时间                      D. 电流

2. 榫卯结构是中国传统建筑、家具和其他木制器具的主要结构方式。图甲所示为榫眼的凿削操作，图乙为截面图，凿子尖端夹角为  $\theta$ ，在凿子顶部施加竖直向下的力  $F$  时，其竖直面和侧面对两侧木头的压力分别为  $F_1$  和  $F_2$ ，不计凿子的重力及摩擦力，下列说法正确的是

- A.  $F_1$  大于  $F_2$   
B.  $F$  大于  $F_2$   
C. 夹角  $\theta$  越小， $F_1$  越大  
D. 夹角  $\theta$  越大， $F_2$  越大

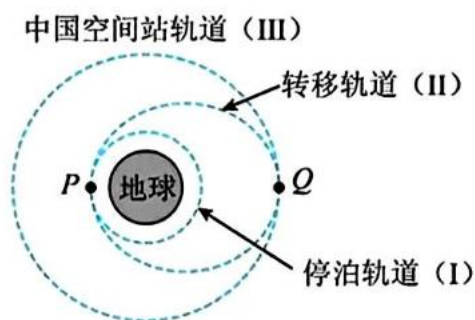


3. 利用全反射棱镜可以方便地获取指纹图像而制成指纹锁。如图所示，在棱镜的两个直角边外侧分别放置照明光源和摄像孔，当手指按在斜边的折射面上时，指纹的突出部分因与棱镜的折射面紧密接触而破坏了全反射条件，因而相应位置的反射光较弱，而指纹的凹槽部分因其未与折射面接触而反射光线较强，从而在摄像机所在位置可以清楚地摄得折射面上明暗相间的指纹图像。光在真空中的传播速度为  $c$ 。关于全反射棱镜，下列说法正确的是



- A. 形成明暗相间的指纹图像是基于光的干涉原理
- B. 光进入棱镜中传播时频率变小
- C. 制作棱镜材料的折射率应不小于 $\sqrt{2}$
- D. 棱镜截面可以是一个顶角为 $30^\circ$ 的直角三角形

4. 2025年4月24日,我国“神州二十号”载人飞船发射取得圆满成功,开启了新的“神州问天”之旅。如果“神州二十号”飞船升空后先进入停泊轨道(即近地圆形轨道),之后进入转移轨道,最后在中国空间站轨道与天和核心舱对接,如图所示。已知中国空间站轨道为圆形轨道,距地面高度为 $h$ ,飞船在停泊轨道运行的周期为 $T$ ,地球半径为 $R$ ,地球表面重力加速度为 $g$ ,引力常量为 $G$ ,则下列说法正确的是



- A. 从停泊轨道进入转移轨道在 $P$ 点需要减速
- B. 天和核心舱的向心加速度大小为 $g$
- C. 可估算地球密度为 $\frac{3\pi}{GT^2}$

D. 飞船从 $P$ 点运行到 $Q$ 点需要的时间为 $T\sqrt{\left(1+\frac{h}{2R}\right)^3}$

5. 巴耳末系在可见光区的四条谱线及相应的氢原子能级图分别如图1和图2所示。谱线 $H_\alpha$ 、 $H_\beta$ 、 $H_\gamma$ 和 $H_\delta$ 按波长依次排列,其中 $H_\alpha$ 是红光谱线,则下列说法正确的是



图1

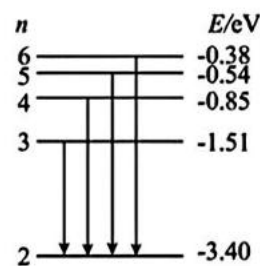
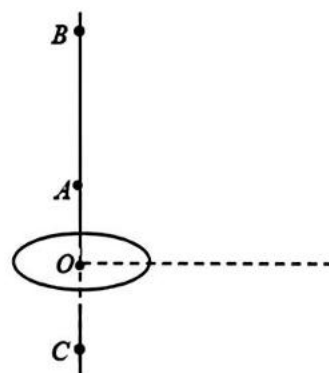


图2

- A. 原子内部电子的运动是原子发光的原因
- B.  $H_\alpha$ 对应的光子能量比 $H_\gamma$ 对应的光子能量大
- C.  $H_\delta$ 可能是氢原子从 $n=3$ 能级向 $n=2$ 能级跃迁时产生的
- D. 处于 $n=2$ 能级的氢原子能吸收 $2eV$ 的光子,跃迁到 $n=3$ 能级

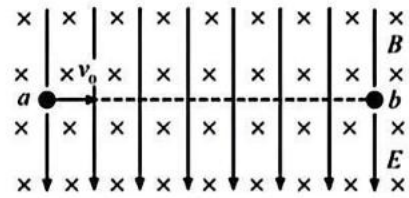
6. 如图所示,一均匀带电圆环水平放置,在垂直于圆环面且过圆心 $O$ 的中轴线上有 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 三个点, $C$ 与 $O$ 、 $O$ 与 $A$ 间的距离均为 $d$ , $A$ 与 $B$ 间的距离为 $2d$ ,在 $B$ 点处固定一电荷量为 $+q$ 的点电荷。已知 $A$ 点处的电场强度为零,不考虑点电荷对带电圆环上电荷分布的影响,静电力常量为 $k$ ,取无穷远处电势为零,下列说法正确的是



- A. 圆环带负电
- B.  $A$ 点处的电势也为零
- C.  $C$ 点处的电场强度为 $\frac{5kq}{16d^2}$

D. 若将 $B$ 点处的点电荷以 $O$ 点为轴顺时针转过 $90^\circ$ 后固定(点电荷到 $O$ 点间距离不变),则 $A$ 、 $C$ 两点处的电场强度相同

7. 如图所示，空间某区域存在竖直向下的匀强电场，电场强度大小为  $E$ ；匀强磁场与电场方向垂直，磁感应强度大小为  $B$ 。一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电粒子，从  $a$  点以初速度  $v_0$  水平向右射入，恰好沿直线经过  $b$  点， $a$ 、 $b$  两点间距为  $L$ 。不计粒子重力，电场与磁场的范围足够大，下列说法正确的是

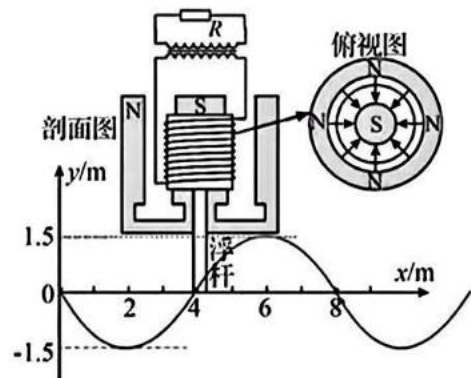


- A. 仅改变粒子的电性，粒子无法沿直线经过  $b$  点  
 B. 仅改变粒子入射方向（从  $b$  点水平向左射入），粒子仍可沿直线经过  $a$  点  
 C. 仅改变粒子初速度  $v_0$  的大小，粒子一定无法经过  $b$  点  
 D. 仅改变粒子初速度  $v_0$  的大小，若  $L = N \cdot \frac{2\pi m E}{q B^2}$  ( $N = 1, 2, 3, \dots$ )，粒子一定经过  $b$  点

8. 唐·高无际《汉武帝后庭秋千赋》有载：“秋千者，千秋也。汉武祈千秋之寿，故后宫多秋千之乐。如图为现代单人秋千比赛精彩瞬间，运动员通过技巧性动作（最低点站起、最高点蹲下）使秋千振幅逐渐增大。忽略空气阻力，下列关于该过程的分析正确的是

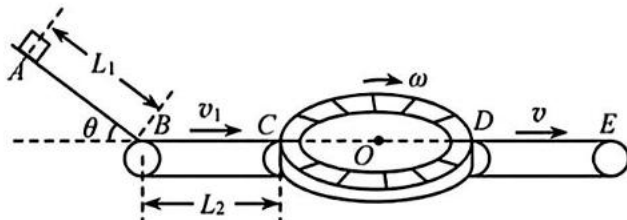


- A. 最高点瞬间，运动员所受合外力为零  
 B. 最低点瞬间，运动员所受合外力不为零  
 C. 从最低点摆至最高点过程中，运动员先超重后失重  
 D. 从最高点蹲下到最低点站起的过程中，运动员和秋千构成的系统机械能守恒
9. 我国自主研发的“海能-3号”波浪发电装置在南海海域成功运行。下图为  $t=0$  时刻沿  $x$  轴正方向传播的海水波的图象。圆柱形浮子定位在  $x=4\text{m}$  处的波面上，随波浪做简谐运动，此时质点的速率为  $1\text{m/s}$ ，浮子上端固定连接 200 匝的圆形线圈，线圈半径  $r=0.25\text{m}$ ，线圈在磁感应强度  $B=0.4\text{T}$  的辐向稳定磁场中垂直切割磁感线运动，发电系统通过匝数比  $n_1:n_2=1:5$  的理想变压器接入  $R=20\Omega$  的纯电阻负载，磁铁、变压器、纯电阻负载等固定，下列判断正确的是



- A.  $t=0$  时刻浮杆正随海水向下振动  
 B.  $t=0$  时刻发电机产生的电动势为  $40\pi(\text{V})$   
 C. 变压器副线圈输出电压的峰值为  $8\pi(\text{V})$   
 D. 负载消耗的功率为  $1000\pi^2(\text{W})$

10. 京东亚洲一号无人仓采用全球领先的智能物流技术，其中包裹分拣系统由智能分拣机器人和多段传送带协同工作组成。该系统包含：倾角  $\theta=37^\circ$ 、长度  $L_1=5\text{m}$  的倾斜滑道 AB；长度  $L_2=5\text{m}$ 、以  $v_1=2\text{m/s}$  水平向右匀速运行的传送带 BC，包裹与 AB、BC 间的动摩擦因数分别为  $\mu_1=0.2$ ， $\mu_2=0.4$ ；智能分拣区 CD 由半径  $R=1.5\text{m}$  且角速度可调的水平匀速旋转平台组成，分拣机器人在 C 点识别包裹后，会在合适位置施加水平推力调整包裹运动方向（不改变速度大小），使包裹从出库段输出（离开分拣区之前，包裹已与转台保持相对静止），如图所示，传送带 DE 是其中一个出库段；某包裹质量  $m=1\text{kg}$ ，从 A 点静止释放，经 BC 段、圆弧 CD 段后从 E 点离开系统。各轨道间由光滑圆弧相连，包裹可以看成质点，忽略空气阻力，重力加速度  $g=10\text{m/s}^2$ 。下列说法正确的是



- A. 包裹刚到水平传送带 B 点时所受摩擦力方向水平向左
- B. 包裹在水平轨道 BC 段先向右做减速运动再做匀速运动
- C. 由 B 到 C 的过程中，因传送带运送包裹节省电能  $(4\sqrt{11} - 4)\text{J}$
- D. 若分拣区水平转台角速度为  $\omega=1\text{ rad/s}$ ，则由 C 到 D 过程中，包裹动能变化量为  $0.875\text{J}$

二、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。

11. (6 分)

(1) 下列哪些实验应用了控制变量法：

- A. 探究两个互成角度的力的合成规律
- B. 探究加速度与力、质量的关系
- C. 用油膜法估测油酸分子大小
- D. 探究气体等温变化的规律

(2) 在“探究平抛运动的特点”实验中，用图 1 装置研究平抛运动在竖直方向分运动特点，用图 2 装置研究平抛运动在水平方向分运动特点。

(I) 关于两幅图，下列说法正确的是：

- A. 在图 1 中，打击重锤力度越大，落地时间越短
- B. 在图 2 中，使用粗糙斜槽可能增加实验系统误差

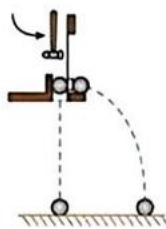


图 1

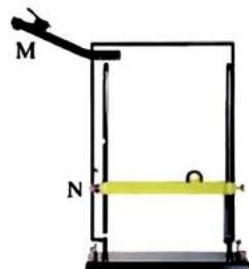


图 2

- C. 在图 2 中，斜槽轨道 M 末端切线方向必须与重锤线垂直
- D. 无论在图 1 中还是在图 2 中，为了减小误差，我们都应该选择密度大、体积小的球

(II) 在图 2 的实验中，让小球多次从斜槽上滚下，在白纸上依次记下小球的位置，某同学得到的记录纸如图 3 所示，图中有两个点位于抛物线下方的原因可能是\_\_\_\_\_。

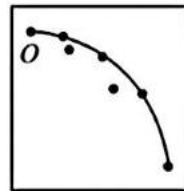
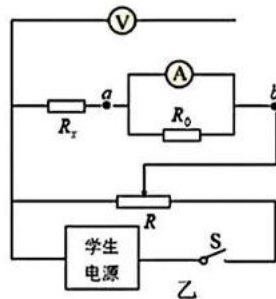
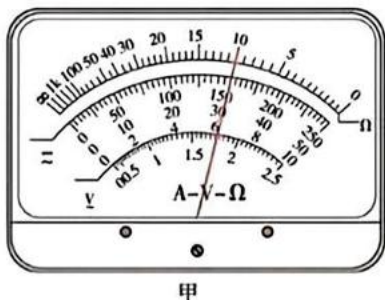


图 3

12. (8分)

现有某待测电阻，已知其额定功率为0.125W，某实验小组为测量其阻值，设计了如下实验环节：

(1) 使用多用电表欧姆挡粗测待测电阻  $R_x$  的阻值，表盘指针如图所示。已知所选欧姆挡的倍率为“ $\times 10$ ”，则  $R_x$  的测量值为\_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

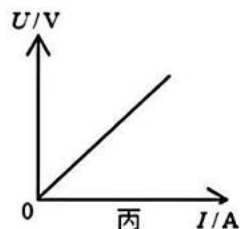


(2) 为进一步精确测量其阻值，现有学生电源、开关和若干导线及下列器材：

- A. 电压表：量程 0~5V，内阻约 3k $\Omega$
- B. 电流表：量程 0~2mA，内阻  $R_g=50\Omega$
- C. 定值电阻 20 $\Omega$
- D. 定值电阻 2 $\Omega$
- E. 滑动变阻器 0~10 $\Omega$

测量电路如图乙所示，要求电表指针偏转角度约为满刻度的  $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{3}$ ，则图中定值电阻  $R_0$  应选\_\_\_\_\_（填器材前面的序号）；电压表右端接线柱应接在\_\_\_\_\_端（填“a”或“b”）。

(3) 通过调节滑动变阻器，测量得到多组电压表和电流表的示数  $U$ 、 $I$ ，作出  $U-I$  图像为一条倾斜直线，斜率为  $k$ ，则待测电阻的阻值为  $R_x=_____$ 。（用字母  $R_g$ 、 $R_0$ 、 $k$  表示）

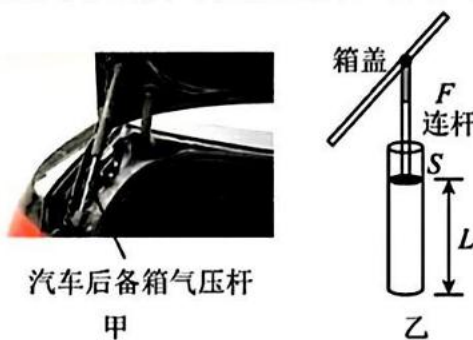


13. (10分)

图甲为某汽车后备箱气压杆的示意图，气压杆内部的高压气体被活塞封闭在气缸中。图乙是简化模型，后备箱盖打开静止在某位置时，活塞到汽缸底部的距离为  $L$ ，活塞的横截面积为  $S$ ，箱盖作用于连杆上的沿杆方向的竖直向下的力为  $8.6P_0S$ 。已知大气压强为  $P_0$ ，重力加速度为  $g$ ，不计活塞与容器壁的摩擦以及连杆和活塞的重力，忽略气体温度变化。

(1) 关闭后备箱盖，活塞到汽缸底部的距离为  $\frac{3}{5}L$ ，求此时气体的压强；

(2) 汽车由于突发碰撞，活塞处瞬间漏出部分气体且箱盖由关闭状态被弹开，活塞重新回到距离汽缸底部  $L$  处。若漏出的气体质量占气体总质量的  $1/16$ ，求箱盖作用于连杆上的沿杆竖直方向的力的大小及方向？



14. (12分)

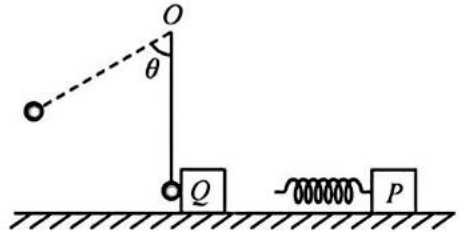
如图所示，在足够长的光滑水平面上静止着两个物块  $P$  和  $Q$ ，物块  $P$  与轻弹簧右端连接。一个小球被一根不可伸长的轻质细线悬挂于  $O$  点正下方，轻靠在物块  $Q$  的左侧。现将细线拉直到与竖直方向夹角  $\theta=60^\circ$  位置时，由静止释放小球，小球运动到最低点时与物块  $Q$  发生碰撞（碰后将小球撤离），碰撞的恢复系数为  $e=0.5$ （定义式为

$$e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10} - v_{20}}$$

，其中  $v_{10}$  和  $v_{20}$  分别是碰撞前两物体的速度， $v_1$  和  $v_2$  分别是碰撞后两物体

的速度）。已知细线长  $L=0.9\text{m}$ ，小球和物块  $P$  的质量为  $m$ ，物块  $Q$  的质量为  $\frac{m}{2}$ ，小球、物块均可视为质点，弹簧始终处于弹性限度内，不计空气阻力，重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ 。求：

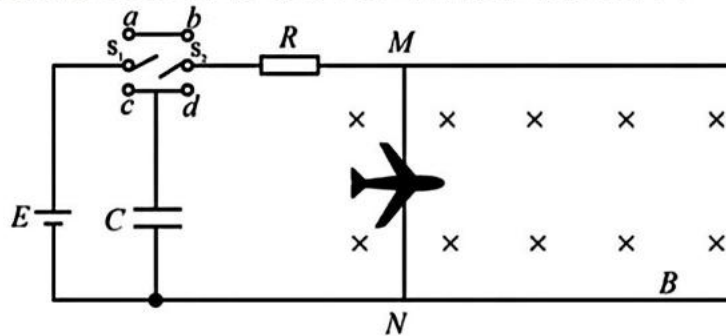
- (1)碰撞后物块  $Q$  的速度大小；
- (2)物块  $P$  最大速度；
- (3)小球与物块  $Q$  碰撞后，试求物块  $Q$  最小速度。



15. (18分)

我国第三艘航母福建舰配备了目前世界上最先进的电磁弹射系统。为探究弹射过程，某项目组设计了如图所示的简化模型（俯视图）。已知电源的电动势为  $E$ ，电容器的电容为  $C$ ，定值电阻的阻值为  $R$ ，两足够长的水平固定导轨间距为  $L$ ，金属棒  $MN$  的质量为  $m$ ，静置在导轨上，不计金属棒与导轨间的阻力，匀强磁场方向竖直向下，磁感应强度大小可在一定范围内调节。不计电源、金属棒及导轨电阻，金属棒  $MN$  在运动过程中始终与导轨垂直。

- (1)若导轨只放金属棒，调节磁感应强度大小为  $B_0$ ，断开  $S_2$ ，将  $S_1$  接  $c$ ，电源给电容器充电，充电完成后断开  $S_1$ ，将  $S_2$  接  $d$ ，求金属棒运动达到稳定状态时速度的大小；
- (2)将一绝缘材料制成的飞机模型与金属棒固定，组合体总质量为  $M$ ，运动过程中所受阻力恒为  $f$ ，调节磁感应强度也为  $B_0$ ，开关  $S_1$ 、 $S_2$  分别接  $a$ 、 $b$ 。若组合体从静止开始运动，当位移为  $x$  时速度为  $v_0$ ，求此时组合体加速度的大小及此过程所用时间；
- (3)开关  $S_1$ 、 $S_2$  分别接  $a$ 、 $b$ ，调节磁感应强度，组合体能达到的稳定速度也随之改变，求理论上可实现的稳定速度的最大值及对应的磁感应强度的大小。



2025 年沈阳市高中三年级教学质量监测 (三)

物理参考答案

一、选择题：本题共 10 小题，共 46 分。在每小题给出的四个选项中，第 1~7 题只有一项符合题目要求，每小题 4 分；第 8~10 题有多项符合题目要求，每小题 6 分，全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

1.B 2.C 3.C 4.C 5.A 6.C 7.D 8.BC 9.ABD 10.AC

二、非选择题：本题共 5 小题，共 54 分。

11. (6 分) (1) BD (2) (I) CD (II) 静止释放小球的位置可能不同

12. (8 分) (1) 100 (2) D、b; (3)  $\frac{kR_0 - R_0 R_g}{R_0 + R_g}$

13. (10 分) 解析：(1) 箱盖打开时， $V_1 = LS$ ，对活塞受力分析，由平衡方程：

$$P_1 S = 8.6 P_0 S + P_0 S \quad \dots\dots\dots \textcircled{1} \quad (1 \text{ 分})$$

解得：  $P_1 = 9.6 P_0$

关闭后箱盖， $V_2 = \frac{3}{5} LS$ ，设此时压强为  $P_2$ ，由玻意耳定律得：

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{2} \quad (2 \text{ 分})$$

解得：  $P_2 = 16 P_0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{3} \quad (1 \text{ 分})$

(2) 设漏出气体体积为  $\Delta V = \Delta LS$

$$\frac{\Delta m}{m_{\text{总}}} = \frac{\Delta L \cdot S}{(L + \Delta L) S} = \frac{1}{16} \quad \dots\dots\dots \textcircled{4} \quad (1 \text{ 分})$$

解得：  $\Delta L = \frac{1}{15} L \quad \dots\dots\dots \textcircled{5} \quad (1 \text{ 分})$

由玻意耳定律得：

$$P_1 LS = P_3 (L + \Delta L) S \quad \dots\dots\dots \textcircled{6} \quad (1 \text{ 分})$$

解得  $P_3 = 9 P_0 \quad \dots\dots\dots \textcircled{7} \quad (1 \text{ 分})$

(或  $P_1 LS \cdot \frac{15}{16} = P_3 LS, \therefore P_3 = 9 P_0$ )

对活塞受力分析，由平衡方程：

$$P_3 S = P_0 S + F \quad \dots\dots\dots \textcircled{8} \quad (1 \text{ 分})$$

解得  $F = 8 P_0 S$  方向竖直向下  $\dots\dots\dots \textcircled{9} \quad (1 \text{ 分})$

14. (12分) 解析: (1) 小球从释放到刚与物块 Q 碰撞过程中, 由动能定理得:

$$mgL(1 - \cos \theta) = \frac{1}{2}mv_{10}^2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{1} \quad (2 \text{分})$$

对小球和物块构成的系统, 碰撞过程中动量守恒, 根据动量守恒得:

$$mv_{10} = mv_1 + \frac{m}{2}v_2 \quad \dots\dots\dots \textcircled{2} \quad (2 \text{分})$$

又因为碰前物块 Q 静止, 由定义式可得,  $e = \frac{v_2 - v_1}{v_{10}} \quad \dots\dots \textcircled{3} \quad (1 \text{分})$

由①②③解得:  $v_2 = 3\text{m/s} \quad \dots\dots\dots \textcircled{4} \quad (1 \text{分})$

(2) 从物块 Q 与弹簧开始接触到弹簧再次恢复到原长时, 物块 P 的速度最大, 在此过程中物块 Q 与物块 P 及弹簧构成的系统动量守恒, 机械能守恒。

由动量守恒定律得:  $\frac{m}{2}v_2 = \frac{m}{2}v_2' + mv_3' \quad \dots\dots \textcircled{5} \quad (1 \text{分})$

由机械能守恒得:  $\frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2}v_2^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{m}{2}v_2'^2 + \frac{1}{2}mv_3'^2 \quad \dots\dots \textcircled{6} \quad (2 \text{分})$

由④⑤⑥解得:  $v_3' = 2\text{m/s} \quad \dots\dots\dots \textcircled{7} \quad (1 \text{分})$

所以物块 P 的最大速度为 2m/s。

(3) 由④⑤⑥解得  $v_2' = -1\text{m/s} \quad \dots\dots\dots \textcircled{8} \quad (1 \text{分})$

当弹簧恢复原长时, 物块 Q 的运动方向发生变化, 说明从物块 Q 刚与弹簧接触到弹簧恢复原长的过程中的某一位置, 物块 Q 的速度为零, 所以物块 Q 的最小速度为 0…… (1分)

15. (18分) 解析: (1)

解法一: 当金属棒运动达到稳定状态时, 则有:

$$F_{安} = B_0IL = 0 \quad (1 \text{分})$$

设金属棒的稳定速度为  $v_{\max}$ , 此时电容器两端电压为  $U_C$ , 则有

$$I = \frac{U_C - B_0Lv_{\max}}{R} = 0, \text{ 即 } U_C = B_0Lv_{\max} \quad (1 \text{分})$$

在此过程中, 由动量定理得:

$$\sum B_0IL \Delta t = mv_{\max} \quad (1 \text{分})$$

其中  $\sum I \Delta t = \Delta q = C(E - U_C) \quad (1 \text{分})$

$$\text{解得 } v_{\max} = \frac{B_0LCE}{m + CB_0^2L^2} \quad (1 \text{分})$$

解法二: 金属棒由静止开始运动至稳定的过程中, 由动量定理得:

$$\sum B_0IL \Delta t = mv_{\max} \quad (2 \text{分})$$

其中  $\sum I \Delta t = \Delta q = C(E - B_0Lv_{\max}) \quad (2 \text{分})$

代入上式解得  $v_{\max} = \frac{B_0 LCE}{m + CB_0^2 L^2}$  (1分)

(2) 当组合体速度大小为  $v_0$  时, 由牛顿第二定律得

$$F_{\text{安}} - f = Ma \quad (1分)$$

$$F_{\text{安}} = BIL \quad (1分)$$

$$I = \frac{E - B_0 Lv_0}{R} \quad (1分)$$

解得  $a = \frac{B_0 EL - B_0^2 L^2 v_0 - fR}{MR}$  (1分)

组合体从静止开始运动到通过位移为  $x$  的过程中, 由动量定理得

$$\sum B_0 I L \Delta t - ft = Mv_0 \quad (1分)$$

其中  $\sum I \Delta t = \sum \frac{(E - B_0 Lv)}{R} \Delta t = \frac{E}{R} t - \frac{B_0 L}{R} x$  (2分)

代入上式解得  $t = \frac{Mv_0 R + B_0^2 L^2 x}{BLE - fR}$  (2分)

(3) 解法一: 当组合体最终达到稳定时, 有

$$F_{\text{安}} = B \frac{(E - BLv)}{R} L = f \quad (1分)$$

整理得  $B^2 L^2 v - BLE + fR = 0$ , 由求根公式得

$$B = \frac{1}{2Lv} (E \pm \sqrt{E^2 - 4fvR}) \quad (1分)$$

使  $B$  有解, 则  $E^2 - 4fvR \geq 0$

即  $v \leq \frac{E^2}{4fR}$ , 得  $v_{\max} = \frac{E^2}{4fR}$  (1分)

此时  $B_{\min} = \frac{E}{2Lv_{\max}} = \frac{2fR}{EL}$  (1分)

解法二: 当组合体达到稳定状态时, 有

$$F_{\text{安}} = B \frac{(E - BLv)}{R} L = f \quad (1分)$$

整理得,  $v = -\frac{fR}{L^2} \cdot \frac{1}{B^2} + \frac{E}{L} \cdot \frac{1}{B}$  (1分)

根据数学知识可知, 当  $\frac{1}{B} = \frac{EL}{2fR}$  时,  $v$  取最大值, 为  $v_{\max} = \frac{E^2}{4fR}$  (1分)

此时,  $B_{\min} = \frac{2fR}{EL}$  (1分)

解法三：将定值电阻与电源看成等效电源，电动势为  $E$ ，内阻为  $R$ ，当组合体达到稳定时，等效电源的输出功率达到最大，为  $P_{\text{出max}} = P_{\text{克}f} = f v_{\text{max}}$  (1分)

$$\text{且 } P_{\text{出max}} = \frac{E^2}{4R}, \text{ 由以上两式得 } v_{\text{max}} = \frac{E^2}{4fR} \quad (1\text{分})$$

$$\text{此时 } U_{\text{外}} = \frac{E}{2} = B_{\text{min}} L v_{\text{max}} \quad (1\text{分})$$

$$\text{得 } B_{\text{min}} = \frac{E}{2L v_{\text{max}}} = \frac{2fR}{EL} \quad (1\text{分})$$