

2025北京海淀高三一模

物理

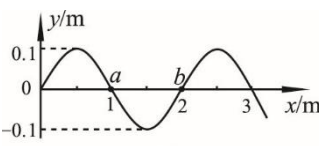
2025.04

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。

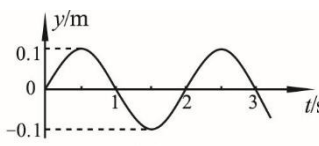
第一部分

本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

- 关于光现象及应用，下列说法正确的是
 - 佩戴特制的眼镜观看立体电影，是利用了光的折射
 - 医学上用光纤制成内窥镜做人体内部检查，是利用了光的偏振
 - 雨后太阳光入射到水滴形成彩虹，是由于光的干涉
 - 光经过针尖时，其影的轮廓模糊不清，出现明暗相间的条纹，是由于光的衍射
- 下列核反应方程中，括号内的粒子为质子的是
 - ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + ()$
 - ${}^{11}_5\text{B} + () \rightarrow {}^1_0\text{n} + {}^{14}_7\text{N}$
 - ${}^{14}_7\text{N} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{14}_6\text{C} + ()$
 - ${}^{234}_{90}\text{Th} \rightarrow {}^{234}_{91}\text{Pa} + ()$
- 关于分子动理论，下列说法正确的是
 - 悬浮在液体中的固体微粒越大，布朗运动越明显
 - 当分子间的距离减小时，分子间作用力一定增大
 - 物体的温度升高，物体内每个分子的动能都增大
 - 温度是分子热运动剧烈程度的标志
- 图甲为一列沿 x 轴正向传播的简谐横波在 $t=0$ 时的图像，图甲中某质点的振动情况如图乙所示，下列说法正确的是

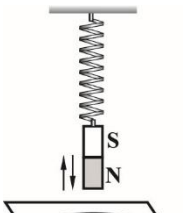


甲



乙

 - 图乙可能是质点 a 的振动图像
 - 再经 1s 质点 a 将沿 x 轴运动到 $x=2\text{m}$ 处
 - 质点 b 的位移与时间的关系为 $y = 0.1 \sin(\pi t)\text{m}$
 - 波在传播过程中，质点 a 在 2s 内运动的路程为 0.8m
- 如图所示，弹簧上端固定、下端悬挂一个磁铁，在磁铁正下方放置一个固定在桌面上的闭合铜质线圈。将磁铁托起到某一高度后放开，磁铁开始上下振动。不计空气阻力。下列说法正确的是



- A. 磁铁振动过程中，线圈始终有收缩的趋势
- B. 磁铁振动过程中，弹簧和磁铁组成系统的机械能保持不变
- C. 磁铁远离线圈时，线圈对桌面的压力小于线圈的重力
- D. 磁铁靠近线圈时，线圈与磁铁相互吸引

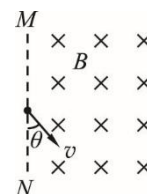
6. 某同学用如图所示的可拆变压器完成“探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系”实验，可拆变压器上各接线柱对应的数字表示倍率为“ $\times 100$ ”的匝数。将原线圈的“0”和“1”接线柱与学生电源连接，将副线圈的“0”和“8”接线柱与电压表连接，测得副线圈的输出电压为 15V。下列说法正确的是



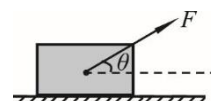
- A. 原线圈接的是学生电源的直流电压挡
 - B. 原线圈的输入电压可能是 2V
 - C. 原、副线圈之间靠铁芯导电来传输能量
 - D. 若将电源改接原线圈的“0”和“4”接线柱，则副线圈的输出电压将大于 15V
7. 如图所示，两相同物块用细线相连接，放在粗糙水平面上，在水平恒力 F 作用下，一起做匀加速直线运动，物块间细线的拉力大小为 T 。当两物块均由粗糙的水平面运动到光滑的水平面上且仍在 F 的作用下运动，则



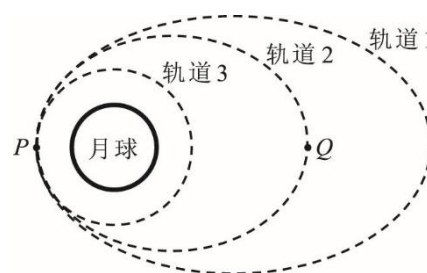
- A. 两物体的加速度变大，细线的拉力仍为 T
 - B. 两物体的加速度不变，细线的拉力仍为 T
 - C. 两物体的加速度变大，细线的拉力小于 T
 - D. 两物体的加速度不变，细线的拉力小于 T
8. 如图所示， MN 右侧有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B 。质量为 m 、电荷量为 q 的两个电性不同的粒子，均以与 MN 夹角为 θ 、大小为 v 的速度垂直磁场射入。不计重力及粒子间的相互作用。则两粒子



- A. 在磁场中运动轨迹的半径不同
 - B. 在磁场中运动的时间不同
 - C. 射出磁场时的速度方向不同
 - D. 射出位置到射入位置的距离不同
9. 如图所示，物体在与水平方向夹角为 θ 、大小为 F 的拉力作用下，从静止开始沿水平地面向右做匀加速直线运动，物体和地面之间的动摩擦因数为 μ 。在物体运动时间为 t 的过程中



- A. 仅改变 θ ，拉力对物体做的功不变
 - B. 仅改变 μ ，合力对物体做的功不变
 - C. 仅改变拉力大小 F ，物体受到重力的冲量不变
 - D. 仅改变拉力大小 F ，物体受到摩擦力的冲量不变
10. 2024 年 6 月，“嫦娥六号”探测器成功着陆在月球背面预选着陆区，开启人类探测器首次在月球背面实施的样品采集任务。“嫦娥六号”被月球捕获进入月球轨道的部分过程如图所示：探测器在椭圆轨道 1 运行经过 P 点时变轨进入椭圆轨道 2，在轨道 2 上经过 P 点时再次变轨进入圆轨道 3。三个轨道相切于 P 点， Q 点是轨道

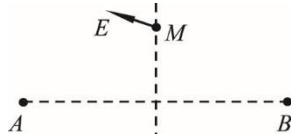


2上离月球最远的点。下列说法正确的是

- A. 探测器从轨道 1 进入轨道 2 的过程中，需点火加速
- B. 探测器在轨道 2 上从 P 点运行到 Q 点过程中，机械能越来越大
- C. 探测器分别沿着轨道 2 和轨道 3 运行，经过 P 点时的加速度相同
- D. 探测器在轨道 3 上运行的周期大于其在轨道 1 上运行的周期

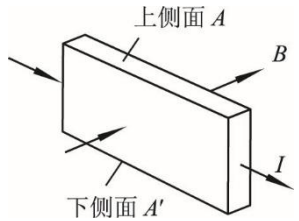
11. 两个点电荷 A 和 B 的电荷量分别为 q_A 和 q_B ， M 是点电荷连线中垂线上的某点，其电场方向如图所示。下列说法正确的是

- A. q_A 与 q_B 的大小可能相等
- B. A 和 B 为同种电荷，且 $q_A > q_B$
- C. A 和 B 为异种电荷，且 $q_A > q_B$
- D. 若 A 和 B 的电荷量均变为原来的 2 倍，则 M 点的电场方向不变

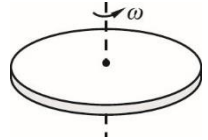


12. 如图所示，一定厚度和宽度的半导体板放在匀强磁场中，当半导体板通过一定电流，且电流与磁场方向垂直时，在上侧面 A 和下侧面 A' 之间会产生一定的电势差 U_H 。将这种半导体板制成磁敏元件，可用来探测某空间的磁场。下列说法正确的是

- A. 若半导体板内载流子为电子，则上侧面 A 的电势比下侧面 A' 的电势高
- B. 探测空间磁场时， U_H 与被测磁场的磁感应强度呈线性关系
- C. 探测空间磁场时，磁敏元件的摆放方向对 U_H 的数值无影响
- D. 在图示情况下，半导体板单位体积中载流子数目越大， U_H 越大



13. 飞轮储能是一种利用高速旋转的飞轮来储存和释放能量的技术。飞轮能储存能量，是因为转动的物体具有动能。如图所示，将飞轮简化为圆盘，可绕通过其圆心且与圆盘平面垂直的转轴转动。可以把圆盘分成很多小块，任取一小块都能根据 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 来计算其动能。



能，将所有小块的动能累加即可以求得飞轮转动的动能。下列说法正确的是

- A. 飞轮转动时的动能与其转动的角速度成正比
- B. 飞轮转动的动能与其质量分布是否均匀无关
- C. 保持角速度的大小不变，若飞轮改为绕其直径转动，则其动能不变
- D. 保持角速度的大小不变，若飞轮改为绕其直径转动，则其动能变小

14. 当波源与观测者发生相对运动时，观测者接收到波的频率发生变化，这是我们熟悉的多普勒效应。观测者和波源之间的距离变化越快，多普勒效应越明显。

原子会吸收和发出某些特定波长的电磁波，我们观测到的某颗恒星的光谱包含由此恒星的大气层中的原子引起的吸收谱线。已知钠原子具有一条波长为 5895.9\AA ($1\text{\AA} = 10^{-10}\text{m}$) 的特征谱线 (D_1 线)。研究人员在观测某双恒星系统时，从 $t=0$ 时开始在表中记录双恒星系统中的钠原子在 D_1 线对应波长处的吸收光谱，其中 1 号恒星和 2 号恒星在吸收波长处吸收光谱的波长分别为 λ_1 和 λ_2 。假定研究人员处于双恒星运动所在平面，双恒星均近似做匀

t/d	$\lambda_1/\text{\AA}$	$\lambda_2/\text{\AA}$
0.3	5893.1	5897.5
0.6	5892.8	5897.7
0.9	5893.7	5897.2
1.2	5896.2	5896.2
1.5	5897.3	5895.1
1.8	5898.7	5894.3
2.1	5899.0	5894.1
2.4	5898.1	5894.6
2.7	5896.4	5895.6
3.0	5894.5	5896.7
3.3	5893.1	5897.3
3.6	5892.8	5897.7
3.9	5893.7	5897.2

速圆周运动，且不考虑双恒星系统质心（质点系的质量中心）的运动。不考虑相对论效应和宇宙膨胀的影响。关于该双恒星系统，下列说法正确的是

- A. 双恒星绕质心转动的周期约为 1.8d
- B. $t=1.5\text{d}$ 观测到波长为 λ_1 的光是 1 号恒星靠近观测者时发出的
- C. 在 2.7d~3.0d 间观测到波长为 λ_1 的光是 1 号恒星在距离观测者最近位置附近发出的
- D. 通过比较观测波长变化量，可判断 1 号恒星质量较小

第二部分

本部分共 6 题，共 58 分。

15. (8 分)

- (1) 现有一个阻值约为 $2\text{k}\Omega$ 的定值电阻，用多用电表测其电阻，应选用电阻_____挡（选填“ $\times 10$ ”“ $\times 100$ ”或“ $\times 1\text{k}$ ”）；图 1 为已选定挡位后正在测量中的多用电表表盘，其对应的阻值是_____ Ω 。

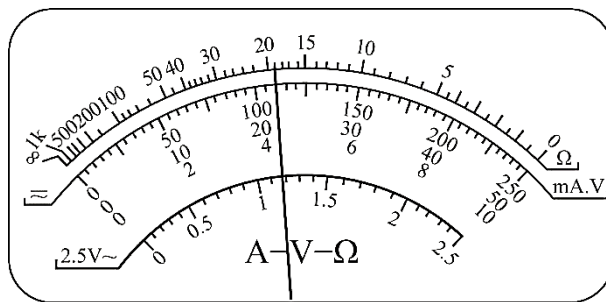


图 1

- (2) 用图 2 所示装置探究两个互成角度的力的合成规律。如图甲所示，轻质小圆环挂在橡皮条的一端，橡皮条的另一端固定，橡皮条恰好伸直时的长度为 GE 。通过两个弹簧测力计共同拉动小圆环，小圆环受到拉力 F_1 、 F_2 的共同作用，静止于 O 点，橡皮条伸长的长度为 EO ，如图乙所示。改用一个力 F 单独拉住小圆环，仍使它静止于 O 点，如图丙所示。

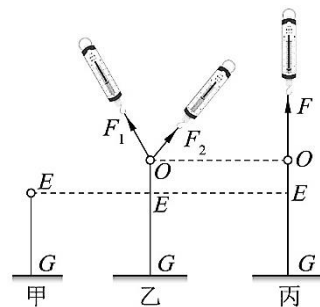


图 2

关于本实验，下列说法正确的是_____。（选填选项前的字母）

- A. 需要记录 GE 和 EO 的长度
 - B. 描点确定拉力方向时，所描两点之间的距离应适当大一些
 - C. 借助该实验数据也可以完成“探究力的分解规律”的实验
- (3) 某同学通过双缝干涉实验测量单色光的波长。该同学调整好实验装置后，分别用图 3 所示的氢原子在可见光区的四条谱线中的 H_β 和 H_γ 两条谱线的光照射双缝。已知氢原子四条谱线的波长 λ 满足 $\frac{1}{\lambda} = R_\infty \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right)$ ($n=3, 4, 5, 6$, 其中 $n=3$ 对应 H_α , R_∞ 为常量)。在干涉图样中，条纹间距较小的是谱线_____所对应的光形成的。（选填“ H_β ”或“ H_γ ”）

16. (10 分)

某实验小组用图 1 所示电路测量一段粗细均匀、阻值约为 5Ω 的金属丝的电阻率。

- (1) 实验室有电源（电动势 E 为 3.0V ，内阻约为 1Ω ）、开关和导线若干，以及下列器材：

- A. 电流表（量程 $0\sim 0.6\text{A}$ ，内阻约 0.125Ω ）
- B. 电流表（量程 $0\sim 3\text{A}$ ，内阻约 0.025Ω ）



图 3

- C. 电压表（量程 $0\sim 3\text{V}$ ，内阻约 $3\text{k}\Omega$ ）
 E. 滑动变阻器（ $0\sim 5\Omega$ ，额定电流 2A ）
 F. 滑动变阻器（ $0\sim 1\text{k}\Omega$ ，额定电流 0.5A ）

为了比较准确地测量金属丝的电阻阻值 R_x ，实验中电流表应选_____，滑动变阻器应选_____。（选填器材前的字母）

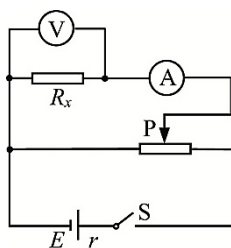


图 1

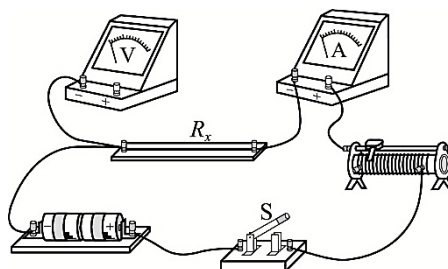


图 2

(2) 图 2 所示为测量 R_x 的实验器材实物图，图中已连接了部分导线，请根据图 1 电路图补充完成图 2 中实物间的连线。

(3) 该小组同学正确连接电路，改变滑动变阻器的滑片位置，测量得到多组电压 U 和电流 I ，并在图 3 坐标系中标出。

a. 请在图 3 中画出 $U-I$ 图线。

b. 已通过 $U-I$ 图线得到了 R_x 。为准确测量待测金属丝的电阻率，请写出还需要测量的物理量及对应的测量方法。

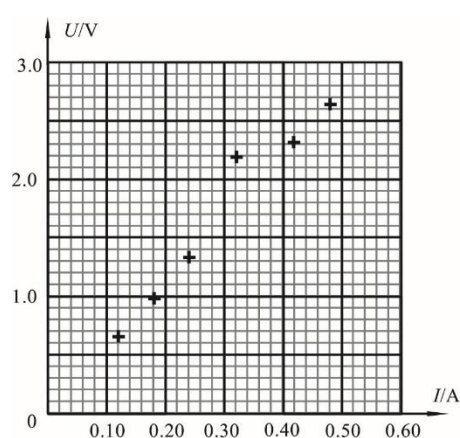


图 3

(4) 该小组同学利用上述相同实验器材，分别按照图 1 和图 4 的

电路图正确连接电路。按操作规范，将滑动变阻器滑片从一端滑向另一端，探究电压表示数 U 与滑片移动距离 x 间的关系，分别得到图线甲和乙。已知滑动变阻器电阻丝的总长度为 L ，下列反映 $U-x$ 关系的示意图中可能正确的是_____。

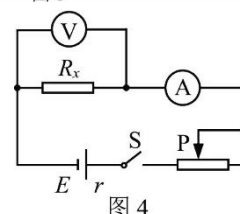
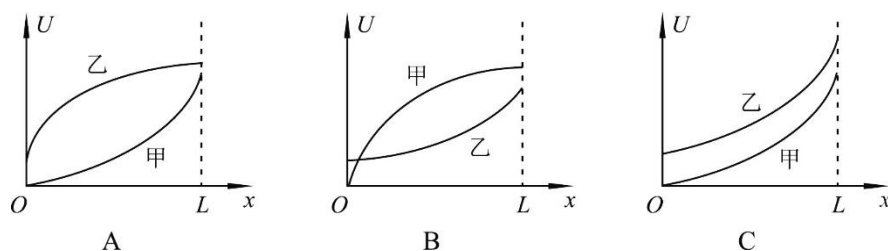
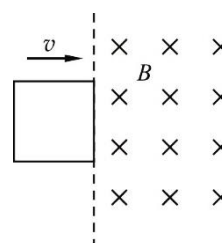


图 4



17. (9 分)

如图所示，光滑水平面内存在一有界匀强磁场，磁感应强度大小为 B 、方向如图所示。一边长为 L 的正方形单匝导线框位于水平面内，某时刻导线框以垂直磁场边界的初速度 v 从磁场左边缘进入磁场。已知导线框的质量为 m 、电阻为 R 。求导线框完全进入磁场的过程中

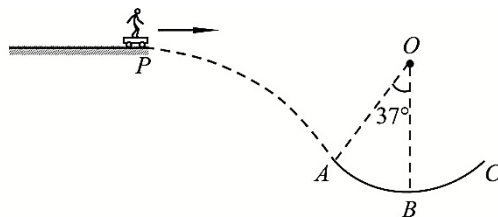


- (1) 感应电流的最大值 I ；
- (2) 加速度的最大值 a ；

(3) 流过导线截面的电荷量 q 。

18. (9 分)

如图所示，运动员以一定速度从 P 点沿水平方向离开平台，恰能从 A 点与轨道相切进入粗糙圆弧轨道 AC ，沿圆弧轨道在竖直平面做圆周运动。已知运动员（含装备）质量 $m=50\text{kg}$ ，运动员进入圆弧轨道时的速度大小 $v_A=10\text{m/s}$ ，圆弧轨道的半径 $R=4\text{m}$ ，圆弧轨道 AB 对应的圆心角 $\angle AOB=37^\circ$ 。测得运动员在轨道最低点 B 时对轨道的压力是其总重力的 3.8 倍。取重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ 。将运动员视为质点，忽略空气阻力。求：



- (1) 运动员从 P 点到 A 点运动过程所用时间 t ；
- (2) 运动员在 B 点时的动能 E_{kB} ；
- (3) 在圆弧轨道 AB 段运动过程中，摩擦力对运动员所做的功 W 。

19. (10 分)

如图 1 所示，把一个质量为 m 的小球连接在劲度系数为 k 的轻质弹簧的右端，弹簧的左端固定，小球置于光滑水平面，小球和弹簧组成的系统称为弹簧振子。以弹簧原长时小球的位置为坐标原点 O ，以水平向右为正方向建立坐标轴 Ox 。小球在运动过程中弹簧始终在弹性限度内，忽略摩擦阻力的影响。

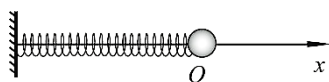


图 1

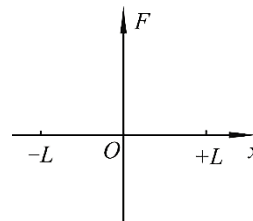
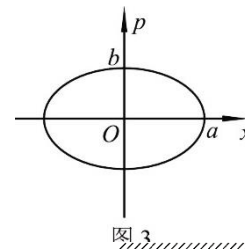


图 2

- (1) 把小球拉向 O 点的右方 $x=+L$ 处，然后由静止释放，小球沿着坐标轴做往复运动。
 - a. 在图 2 中画出弹簧弹力 F 随 x 变化的示意图，并由此求出小球从 $x=+L$ 处静止释放至第一次运动到平衡位置 O 的过程中，弹簧对小球做的功 W 。
 - b. 求小球从 $x=+L$ 处静止释放至第一次运动到平衡位置 O 的过程中，弹簧对小球冲量的大小 I 。
- (2) 动量 p 随位移 x 变化的图像在理论物理、近代数学分析的发展中扮演了重要的角色。如图 3 所示，小球运动过程的 $p-x$ 图线为椭圆，已知弹簧振子系统的机械能为 E 。
 - a. 求椭圆的半长轴 a 和半短轴 b 。

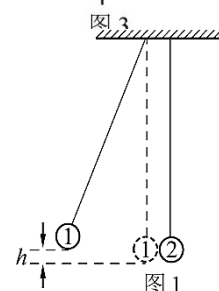
- b. 实际上, 小球在运动过程中受到微小的阻力, 在相当长的时间内, 可近似认为其 $p-x$ 图线是一系列面积不同的封闭椭圆。经过一段相当长的时间 T , 椭圆的面积减小为原来的 90%, 求这段时间内克服微小阻力做功的平均功率 P 。(已知椭圆的面积 $S = \pi ab$)



20. (12 分)

寻求守恒量, 是解决物理问题的重要方法。

- (1) 如图 1 所示, 用细线悬挂的两个完全相同的小球, 静止时恰能接触且悬线平行、球心等高。把小球 1 向左拉起一定高度 h 后由静止释放, 与小球 2 发生弹性正碰。已知重力加速度为 g , 求碰后瞬间小球 2 的速度大小 v 。



- (2) 某同学设计了一个“电磁弹射”装置, 并将其简化成如图 2 所示的模型。在

水平光滑导轨上, 固定着两个相同的“载流线圈”, 放置着三个质量均为 m 的小磁铁充当“磁性弹头”, 弹头 2 和弹头 3 左侧都非常靠近无磁性的、质量均为 m 的弹性“圆柱”。弹头和圆柱可以在水平导轨上沿轴线自由移动, 圆柱静止时, 其左端恰好位于载流线圈圆心处。发射过程如下: 弹头 1 仅受载流线圈 1 施加的磁力作用从静止开始加速运动, 通过碰撞将动能传给中间的弹头 2; 弹头 2 被载流线圈 2 加速, 通过碰撞将动能传给弹头 3, 弹头 3 最终被弹出。

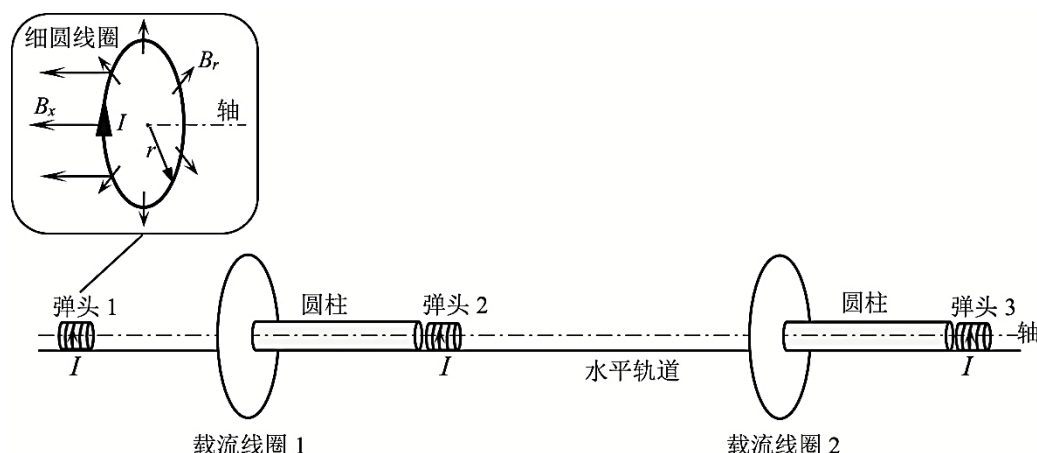


图 2

弹头可视为半径为 r , 电流大小恒为 I 、方向如图 2 方框中所示的单匝细圆线圈, r 远小于载流线圈半径。所有的碰撞均可视为弹性正碰, 不考虑弹头之间的磁力作用; 相邻两线圈之间的距离足够远, 水平轨道足够长。

- 标出载流线圈 1 和载流线圈 2 中电流的方向。
- 已知载流线圈 1 在弹头 1 处产生磁场的磁感应强度的轴向分量 B_x 和径向分量 B_r 。求弹头 1 在图 2 方框中所示情况下受到载流线圈 1 的作用力的大小 F 。
- 通过查阅资料得知: 电流为 i 、面积为 S 的单匝细圆线圈放入磁感应强度为 B 的外界匀强磁场中所具有的“势能”可表示为 $E_p = -iBS\cos\theta$, 其中 θ 为细圆线圈在轴向上产生的磁场与外界匀强磁场之间的夹角。

已知载流线圈 1 和载流线圈 2 在各自圆心处产生的磁感应强度大小均为 B_0 。求弹头 3 理论上能获得的速度上限 v_m 。

参考答案

第一部分

本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题列出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
D	C	D	A	C	B	A	B	C	C	D	B	D	D

第二部分

本部分共 6 题，共 58 分。

15. (8 分)

(1) $\times 100$; 1.9×10^3

(2) BC

(3) H_y

16. (10 分)

(1) A; E

(2) 见答图 1

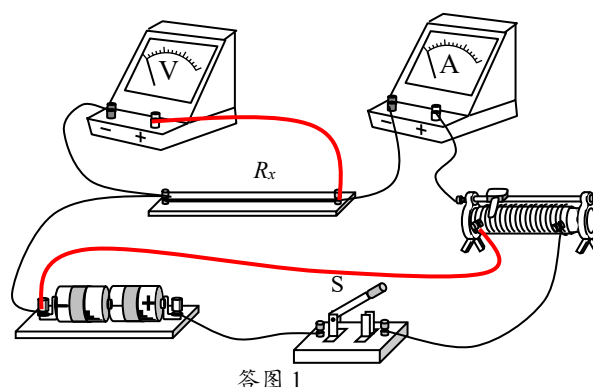
(3) a. 见答图 2

b. 还需要测量物理量：金属丝接入电路有效长度 L 和直径 d

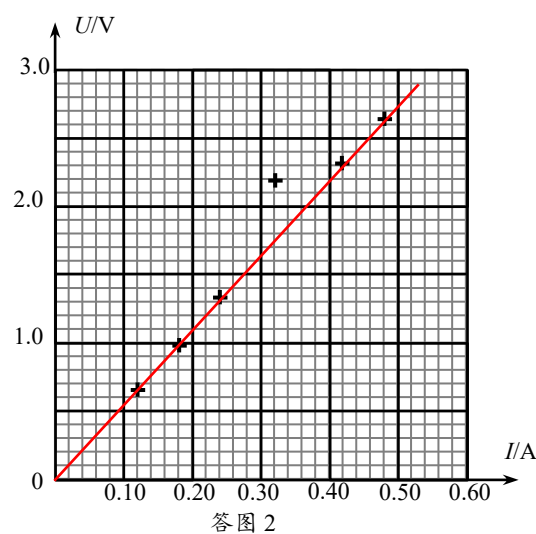
测量 L 的方法：用刻度尺测量金属丝接入电路的有效长度，多次测量取平均值；

测量 d 方法：利用游标卡尺或者螺旋测微器在金属丝的不同位置，多次测量取平均值

(4) C



答图 1



答图 2

17. (9 分)

(1) 线圈在刚进入磁场时速度最大，此时线圈中感应电动势最大，也即感应电流最大

感应电动势 $E = BLv$

根据欧姆定律有 $I = \frac{E}{R}$

得 $I = \frac{BLv}{R}$

(2) 由于线圈在刚进入磁场时感应电流最大，从而安培力最大，也即线圈加速度最大

安培力 $F_{\text{安}} = BIL$

根据牛顿运动定律 $BIL = ma$

可得
$$a = \frac{B^2 L^2 v}{mR}$$

(3) 设线圈完全进入磁场的整个过程用时为 Δt

线圈磁通量变化量 $\Delta\Phi = BL^2$

根据法拉第电磁感应定律 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{BL^2}{\Delta t}$

感应电流的平均值 $\bar{I} = \frac{E}{R}$

电量 $q = \bar{I} \cdot \Delta t$

可得 $q = \frac{BL^2}{R}$

18. (9分)

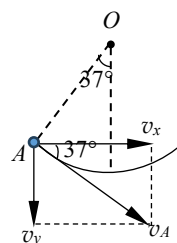
(1) 运动员恰好从 A 点相切进入轨道, 其运动情况如答图 3 所示。

得 $v_y = v_A \cdot \sin 37^\circ$

根据平抛运动规律可知

在 A 点运动竖直分速度 $v_y = gt$

联立可得 $t = 0.6\text{ s}$



答图 3

(2) 运动员在轨道最低点 B 时受力情况如答图 4 所示。

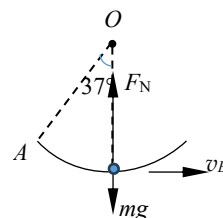
由牛顿运动定律 $F_N - mg = m \frac{v_B^2}{R}$

其中 $F_N = 3.8mg$

运动员在轨道最低点 B 的动能

$$E_k = \frac{1}{2} m v_B^2$$

联立可得 $E_k = 2.8 \times 10^3 \text{ J}$



答图 4

(3) 运动员在 AB 段运动过程中, 根据动能定理

有 $mgR(1 - \cos 37^\circ) + W = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$

可得 $W = -100 \text{ J}$

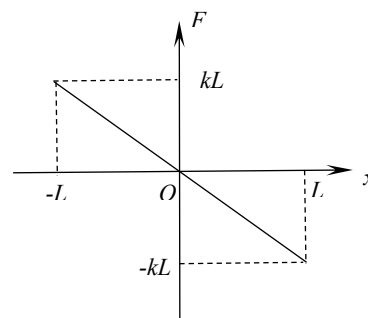
19. (10分)

(1) a. 见答图 5

图像与横坐标围成的面积大小表示做功的大小

弹力对小球做功 $W = \frac{1}{2} kL^2$

b. 由动能定理 $W = \frac{1}{2} m v^2 - 0$



答图 5

有 $\frac{1}{2}kL^2 = \frac{1}{2}mv^2$

由动量定理 $I = mv - 0$

得 $I = L\sqrt{mk}$

(2) a. 在 $x=a$ 处小球的动能为 0

有 $E = \frac{1}{2}ka^2$

可得半长轴 $a = \sqrt{\frac{2E}{k}}$

在 $p=b$ 处弹簧的弹性势能为 0

有 $E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m}$

得 $p = \sqrt{2mE}$

即半短轴 $b = \sqrt{2mE}$

b. 将 (2) a 结果带入椭圆面积公式

椭圆面积 $S = \pi \cdot \sqrt{\frac{2E}{k}} \cdot \sqrt{2mE} = 2\pi E \sqrt{\frac{m}{k}}$

有 $E = \frac{S}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$

当椭圆面积减小为 90% 时

系统能量 $E' = \frac{90\%S}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} = 0.9E$

由功能关系，克服阻力做功

$$W = E - E' = 0.1E$$

平均功率 $P = \frac{W}{T} = \frac{E}{10T}$

20. (12 分)

(1) 在小球 1 下落过程，依据动能定理

有 $mgh = \frac{1}{2}mv_0^2 - 0$

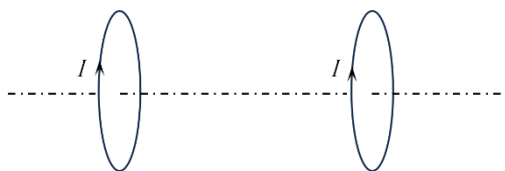
可得 $v_0 = \sqrt{2gh}$

弹性碰撞过程中，机械能和动量均守恒

$$\left. \begin{aligned} mv_0 &= mv_1 + mv \\ \frac{1}{2}mv_0^2 &= \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}mv^2 \end{aligned} \right\}$$

联立可得 $v = v_0 = \sqrt{2gh}$

(2) a. 见答图 6



答图 6

- b. 可将细圆线圈视为由许多小段通电直导线组成，所有小段通电导线在径向磁场 B_r 作用下安培力方向均向右，将每一小段通电导线受到的安培力求和，即为周长为 $2\pi r$ 的细圆线圈（即弹头）受到的总安培力

可得
$$F = 2\pi r IB_r$$

- c. 为使弹头 3 获得理论上的速度上限，应将弹头 1 放到左侧足够远处，且保证两弹性圆柱也足够长。设弹头 1 运动到载流线圈 1 处的速度大小为 v_1

根据能量守恒可得
$$0 + 0 = -\pi r^2 IB_0 + \frac{1}{2}mv_1^2$$

弹头 1 与弹性圆柱之间发生弹性碰撞，设碰后弹头 1 和弹性圆柱的速度大小分别为 v_1' 和 v_2' ，根据弹性碰撞过程中，机械能和动量均守恒

$$\begin{cases} mv_1 = mv_1' + mv_2' \\ \frac{1}{2}mv_1^2 = \frac{1}{2}mv_1'^2 + \frac{1}{2}mv_2'^2 \end{cases}$$

可得
$$v_1' = 0, v_2' = v_1$$

即速度发生交换。同理，左侧的弹性圆柱与弹头 2 之间弹性碰撞后，速度也交换，弹头 2 获得速度 v_1 继续向右运动。

与上述过程类似，设弹头 2 运动到载流线圈 2 处的速度大小为 v_2 ，根据能量守恒可得

$$0 + \frac{1}{2}mv_1^2 = -\pi r^2 IB_0 + \frac{1}{2}mv_2^2$$

接下来弹头 2 与右侧弹性圆柱交换速度、右侧弹性圆柱与弹头 3 交换速度，弹头 3 获得的最速度上限为

$$v_m = v_2 = \sqrt{\frac{4\pi r^2 IB_0}{m}}$$