

2021 年山东省普通高中学业水平等级考试

物理

注意事项:

1. 答卷前, 考生务必将自己的姓名、考生号等填写在答题卡和试卷指定位置。
2. 回答选择题时, 选出每小题答案后, 用铅笔把答题卡上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。回答非选择题时, 将答案写在答题卡上, 写在本试卷上无效。
3. 考试结束后, 将本试卷和答题卡一并交回。

一、单项选择题: 本题共 8 小题, 每小题 3 分, 共 24 分。每小题只有一个选项符合题目要求。

1. 在测定年代较近的湖泊沉积物形成年份时, 常利用沉积物中半衰期较短的 $^{210}_{82}\text{Pb}$, 其衰变方程为

$^{210}_{82}\text{Pb} \rightarrow ^{210}_{83}\text{Bi} + X$ 。以下说法正确的是 ()

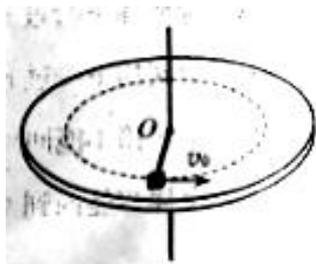
- A. 衰变方程中的 X 是电子
B. 升高温度可以加快 $^{210}_{82}\text{Pb}$ 的衰变
C. $^{210}_{82}\text{Pb}$ 与 $^{210}_{83}\text{Bi}$ 的质量差等于衰变的质量亏损
D. 方程中的 X 来自于 $^{210}_{82}\text{Pb}$ 内质子向中子的转化

2. 如图所示, 密封的矿泉水瓶中, 距瓶口越近水的温度越高。一开口向下、导热良好的小瓶置于矿泉水瓶中, 小瓶中封闭一段空气。挤压矿泉水瓶, 小瓶下沉到底部; 松开后, 小瓶缓慢上浮, 上浮过程中, 小瓶内气体 ()



- A. 内能减少
B. 对外界做正功
C. 增加的内能大于吸收的热量
D. 增加的内能等于吸收的热量

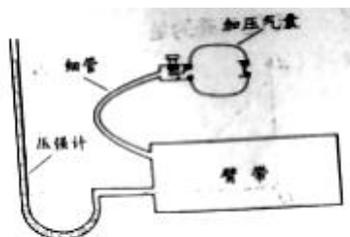
3. 如图所示, 粗糙程度处处相同的水平桌面上有一长为 L 的轻质细杆, 一端可绕竖直光滑轴 O 转动, 另一端与质量为 m 的小木块相连。木块以水平初速度 v_0 出发, 恰好能完成一个完整的圆周运动。在运动过程中, 木块所受摩擦力的大小为 ()



- A. $\frac{mv_0^2}{2\pi L}$ B. $\frac{mv_0^2}{4\pi L}$ C. $\frac{mv_0^2}{8\pi L}$ D. $\frac{mv_0^2}{16\pi L}$

4. 血压仪由加压气囊、臂带、压强计等构成，如图所示。加压气囊可将外界空气充入臂带，压强计示数为臂带内气体的压强高于大气压强的数值，充气前臂带内气体压强为大气压强，体积为 V ；每次挤压气囊都能将 60cm^3 的外界空气充入臂带中，经 5 次充气后，臂带内气体体积变为 $5V$ ，压强计示数为 150mmHg 。

已知大气压强等于 750mmHg ，气体温度不变。忽略细管和压强计内的气体体积。则 V 等于 ()



- A. 30cm^3 B. 40cm^3 C. 50cm^3 D. 60cm^3

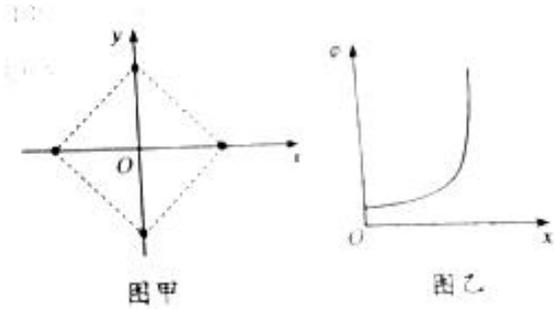
5. 从“玉兔”登月到“祝融”探火，我国星际探测事业实现了由地月系到行星际的跨越。已知火星质量约为月球的 9 倍，半径约为月球的 2 倍，“祝融”火星车的质量约为“玉兔”月球车的 2 倍。在着陆前，“祝融”和“玉兔”都会经历一个由着陆平台支撑的悬停过程。悬停时，“祝融”与“玉兔”所受着陆平台的作用力大小之比为 ()



- A. 9 : 1 B. 9 : 2 C. 36 : 1 D. 72 : 1

6. 如图甲所示，边长为 a 的正方形，四个顶点上分别固定一个电荷量为 $+q$ 的点电荷；在 $0 \leq x < \frac{\sqrt{2}}{2}a$ 区

间， x 轴上电势 φ 的变化曲线如图乙所示。现将一电荷量为 $-Q$ 的点电荷 P 置于正方形的中心 O 点，此时每个点电荷所受库仑力的合力均为零。若将 P 沿 x 轴向右略微移动后，由静止释放，以下判断正确的是 ()



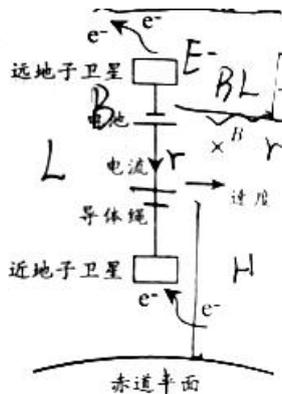
- A. $Q = \frac{\sqrt{2}+1}{2}q$, 释放后 P 将向右运动 B. $Q = \frac{\sqrt{2}+1}{2}q$, 释放后 P 将向左运动
- C. $Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$, 释放后 P 将向右运动 D. $Q = \frac{2\sqrt{2}+1}{4}q$, 释放后 P 将向左运动

7. 用平行单色光垂直照射一层透明薄膜，观察到如图所示明暗相间的干涉条纹。下列关于该区域薄膜厚度 d 随坐标 x 的变化图像，可能正确的是 ()



- A. B. C. D.

8. 迷你系绳卫星在地球赤道正上方的电离层中，沿圆形轨道绕地飞行。系绳卫星由两子卫星组成，它们之间的导体绳沿地球半径方向，如图所示。在电池和感应电动势的共同作用下，导体绳中形成指向地心的电流，等效总电阻为 r 。导体绳所受的安培力克服大小为 f 的环境阻力，可使卫星保持在原轨道上。已知卫星离地平均高度为 H ，导体绳长为 L ($L \ll H$)，地球半径为 R 、质量为 M ，轨道处磁感应强度大小为 B ，方向垂直于赤道平面。忽略地球自转的影响。据此可得，电池电动势为 ()



A. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} + \frac{fr}{BL}$

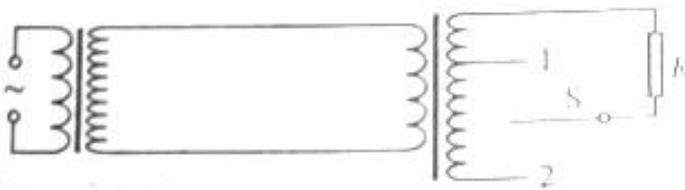
B. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} - \frac{fr}{BL}$

C. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} + \frac{BL}{fr}$

D. $BL\sqrt{\frac{GM}{R+H}} - \frac{BL}{fr}$

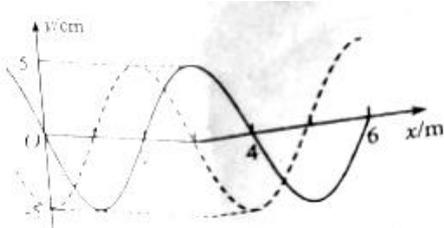
二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。每小题有多个选项符合题目要求。全部选对得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

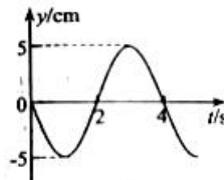
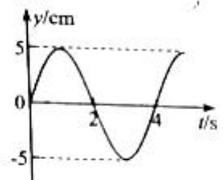
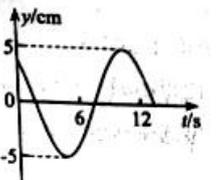
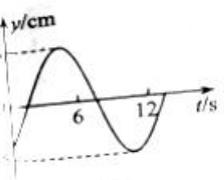
9. 输电能耗演示电路如图所示。左侧变压器原、副线圈匝数比为 1 : 3，输入电压为 7.5V 的正弦交流电。连接两理想变压器的导线总电阻为 r ，负载 R 的阻值为 10Ω 。开关 S 接 1 时，右侧变压器原、副线圈匝数比为 2 : 1， R 上的功率为 10W；接 2 时，匝数比为 1 : 2， R 上的功率为 P 。以下判断正确的是 ()



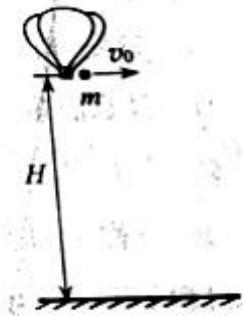
- A. $r = 10\Omega$ B. $r = 5\Omega$ C. $P = 45W$ D. $P = 22.5W$

10. 一列简谐横波沿 x 轴传播，如图所示，实线为 $t_1 = 2s$ 时的波形图，虚线为 $t_2 = 5s$ 时的波形图。以下关于平衡位置在 O 处质点的振动图像，可能正确的是 ()



- A.  B.  C.  D. 

11. 如图所示，载有物资的热气球静止于距水平地面 H 的高处，现将质量为 m 的物资以相对地面的速度 v_0 水平抛出，落地时物资与热气球的距离为 d 。已知投出物资后热气球的总质量为 M ，所受浮力不变，重力加速度为 g ，不计阻力。以下判断正确的是 ()

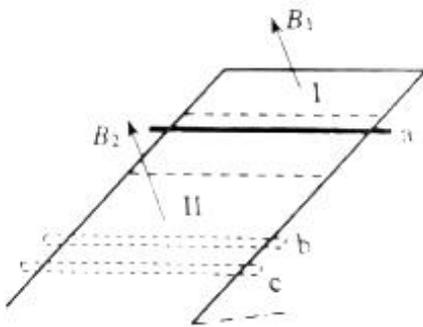


- A. 投出物资后热气球做匀加速直线运动 B. 投出物资后热气球所受合力大小为 mg

C. $d = \left(1 + \frac{m}{M}\right) \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + H^2}$

D. $d = \sqrt{\frac{2Hv_0^2}{g} + \left(1 + \frac{m}{M}\right)^2 H^2}$

12. 如图所示，电阻不计的光滑 U 形金属导轨固定在绝缘斜面上。区域 I、II 中磁场方向均垂直斜面向上，I 区中磁感应强度随时间均匀增加，II 区中为匀强磁场。阻值恒定的金属棒从无磁场区域中 a 处由静止释放，进入 II 区后，经 b 下行至 c 处反向上行。运动过程中金属棒始终垂直导轨且接触良好。在第一次下行和上行的过程中，以下叙述正确的是 ()

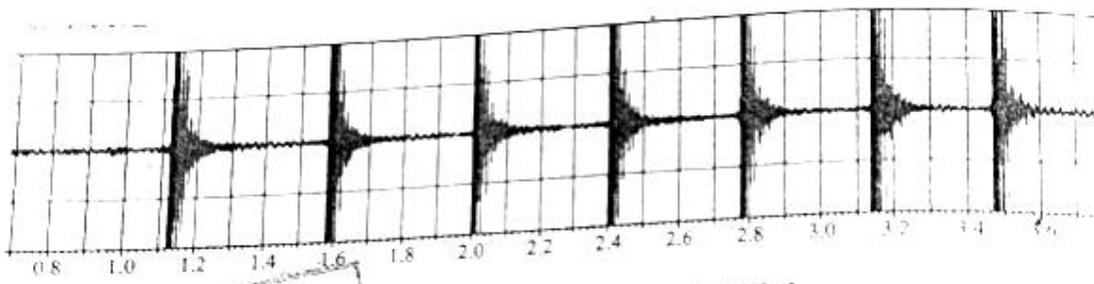


- A. 金属棒下行过 b 时的速度大于上行过 b 时的速度
 B. 金属棒下行过 b 时的加速度大于上行过 b 时的加速度
 C. 金属棒不能回到无磁场区
 D. 金属棒能回到无磁场区，但不能回到 a 处

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13. (6 分) 某乒乓球爱好者，利用手机研究乒乓球与球台碰撞过程中能量损失的情况。实验步骤如下：

- ①固定好手机，打开录音功能；
- ②从一定高度由静止释放乒乓球；
- ③手机记录下乒乓球与台面碰撞的声音，其随时间 (单位: s) 的变化图像如图所示。



根据声音图像记录的碰撞次序及相应碰撞时刻，如下表所示。

碰撞次序	1	2	3	4	5	6	7
碰撞时刻 (s)	1.12	1.58	2.00	2.40	2.78	3.14	3.47

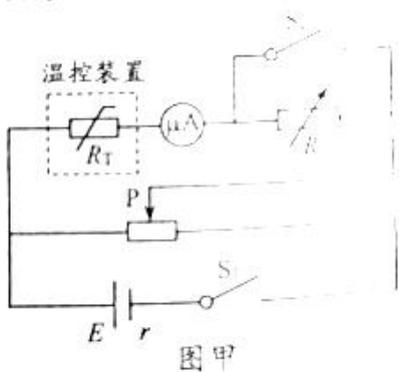
根据实验数据，回答下列问题：

(1) 利用碰撞时间间隔，计算出第 3 次碰撞后乒乓球的弹起高度为_____m (保留 2 位有效数字，当地重力加速度 $g = 9.80\text{m/s}^2$)。

(2) 设碰撞后弹起瞬间与该次碰撞前瞬间速度大小的比值为 k ，则每次碰撞损失的动能为碰撞前动能的_____倍 (用 k 表示)，第 3 次碰撞过程中 $k =$ _____ (保留 2 位有效数字)。

(3) 由于存在空气阻力，第 (1) 问中计算的弹起高度_____ (填“高于”或“低于”) 实际弹起高度。

14. (8 分) 热敏电阻是传感器中经常使用的元件，某学习小组要探究一热敏电阻的阻值随温度变化的规律。可供选择的器材有：



待测热敏电阻 R_T (实验温度范围内，阻值约几百欧到几千欧)；

电源 E (电动势 1.5V，内阻 r 约为 0.5Ω)；

电阻箱 R (阻值范围 $0 \sim 9999.99\Omega$)；

滑动变阻器 R_1 (最大阻值 20Ω)；

滑动变阻器 R_2 (最大阻值 2000Ω)；

微安表 (量程 $100\mu\text{A}$ ，内阻等于 2500Ω)；

开关两个，温控装置一套，导线若干。

同学们设计了如图甲所示的测量电路，主要实验步骤如下：

①按图示连接电路；

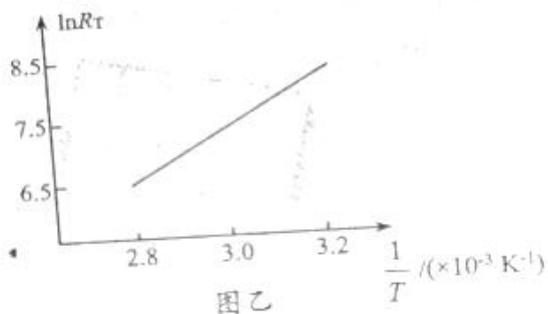
②闭合 S_1 、 S_2 ，调节滑动变阻器滑片 P 的位置，使微安表指针满偏；

③保持滑动变阻器滑片 P 的位置不变，断开 S_2 ，调节电阻箱，使微安表指针半偏；

④记录此时的温度和电阻箱的阻值。

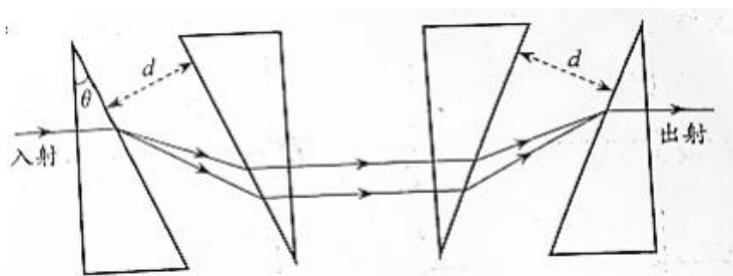
回答下列问题：

- (1) 为了更准确地测量热敏电阻的阻值，滑动变阻器应选用_____ (填“ R_1 ”或“ R_2 ”)。
- (2) 请用笔画线代替导线，在答题卡上将实物图 (不含温控装置) 连接成完整电路。
- (3) 某温度下微安表半偏时，电阻箱的读数为 6000.00Ω ，该温度下热敏电阻的测量值为_____ Ω (结果保留到个位)，该测量值_____ (填“大于”或“小于”) 真实值。
- (4) 多次实验后，学习小组绘制了如图乙所示的图像。由图像可知，该热敏电阻的阻值随温度的升高逐渐_____ (填“增大”或“减小”)。

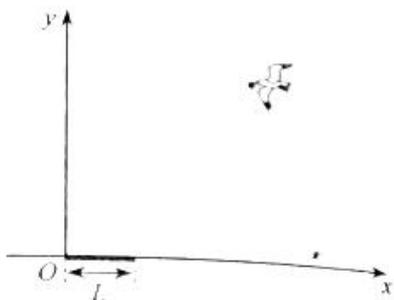


15. (7分) 超强超短光脉冲产生方法曾获诺贝尔物理学奖，其中用到的一种脉冲激光展宽器截面如图所示。在空气中对称放置四个相同的直角三棱镜，顶角为 θ 。一细束脉冲激光垂直第一个棱镜左侧面入射，经过前两个棱镜后分为平行的光束，再经过后两个棱镜重新合成为一束，此时不同频率的光前后分开，完成脉冲展宽。已知相邻两棱镜斜面间的距离 $d = 100.0\text{mm}$ ，脉冲激光中包含两种频率的光，它们在棱镜中的折射率分别为 $n_1 = \sqrt{2}$ 和 $n_2 = \frac{\sqrt{31}}{4}$ 。取 $\sin 37^\circ = \frac{3}{5}$ ， $\cos 37^\circ = \frac{4}{5}$ ， $\frac{5}{\sqrt{7}} = 1.890$ 。

射率分别为 $n_1 = \sqrt{2}$ 和 $n_2 = \frac{\sqrt{31}}{4}$ 。取 $\sin 37^\circ = \frac{3}{5}$ ， $\cos 37^\circ = \frac{4}{5}$ ， $\frac{5}{\sqrt{7}} = 1.890$ 。



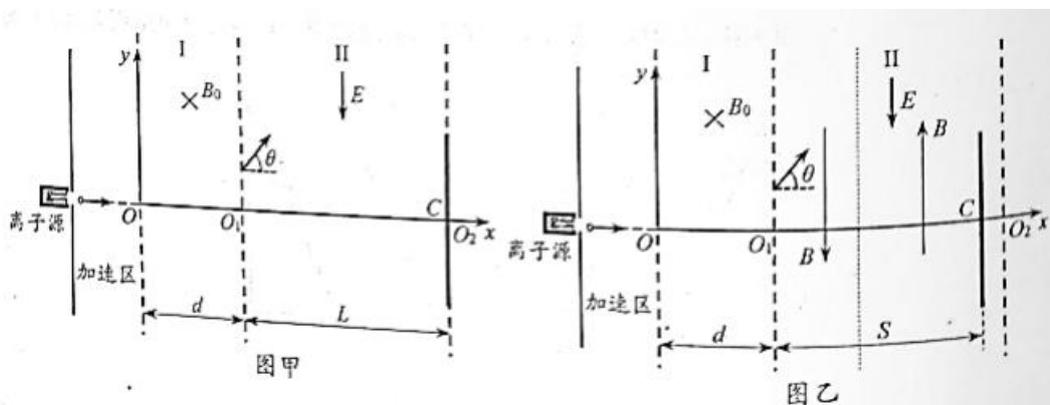
- (1) 为使两种频率的光都能从左侧第一个棱镜斜面射出，求 θ 的取值范围；
- (2) 若 $\theta = 37^\circ$ ，求两种频率的光通过整个展宽器的过程中，在空气中的路程差 ΔL (保留 3 位有效数字)。
16. (9分) 海鸥捕到外壳坚硬的鸟蛤 (贝类动物) 后，有时会飞到空中将它丢下，利用地面的冲击打碎硬壳。一只海鸥叼着质量 $m = 0.1\text{kg}$ 的鸟蛤，在 $H = 20\text{m}$ 的高度、以 $v_0 = 15\text{m/s}$ 的水平速度飞行时，松开嘴巴让鸟蛤落到水平地面上。取重力加速度 $g = 10\text{m/s}^2$ ，忽略空气阻力。



(1) 若鸟蛤与地面的碰撞时间 $\Delta t = 0.005\text{s}$ ，弹起速度可忽略，求碰撞过程中鸟蛤受到的平均作用力的大小 F ；(碰撞过程中不计重力)

(2) 在海鸥飞行方向正下方的地面上，有一与地面平齐、长度 $L = 6\text{m}$ 的岩石，以岩石左端为坐标原点，建立如图所示坐标系。若海鸥水平飞行的高度仍为 20m ，速度大小在 $15\text{m/s} \sim 17\text{m/s}$ 之间，为保证鸟蛤一定能落到岩石上，求释放鸟蛤位置的 x 坐标范围。

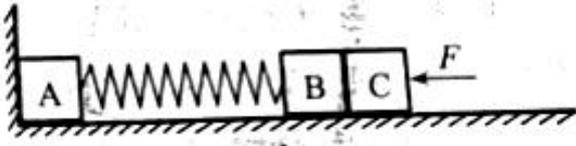
17. (14分) 某离子束实验装置的基本原理如图甲所示。I 区宽度为 d ，左边界与 x 轴垂直交于坐标原点 O ，其内充满垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B_0 ；II 区宽度为 L ，左边界与 x 轴垂直交于 O_1 点，右边界与 x 轴垂直交于 O_2 点，其内充满沿 y 轴负方向的匀强电场。测试板垂直 x 轴置于 II 区右边界，其中心 C 与 O_2 点重合。从离子源不断飘出电荷量为 q 、质量为 m 的正离子，加速后沿 x 轴正方向过 O 点，依次经 I 区、II 区，恰好到达测试板中心 C 。已知离子刚进入 II 区时速度方向与 x 轴正方向的夹角为 θ 。忽略离子间的相互作用，不计重力。



(1) 求离子在 I 区中运动时速度的大小 v ；
 (2) 求 II 区内电场强度的大小 E ；
 (3) 保持上述条件不变，将 II 区分为左右两部分，分别填充磁感应强度大小均为 B (数值未知)、方向相反且平行 y 轴的匀强磁场，如图乙所示。为使离子的运动轨迹与测试板相切于 C 点，需沿 x 轴移动测试板，求移动后 C 到 O_1 的距离 s 。

18. (16分) 如图所示，三个质量均为 m 的小物块 A 、 B 、 C ，放置在水平地面上， A 紧靠竖直墙壁，一劲度系数为 k 的轻弹簧将 A 、 B 连接， C 紧靠 B ，开始时弹簧处于原长， A 、 B 、 C 均静止。现给 C 施加一水平向左、大小为 F 的恒力，使 B 、 C 一起向左运动，当速度为零时，立即撤去恒力，一段时间后 A 离开墙壁，

最终三物块都停止运动。已知 A 、 B 、 C 与地面间的滑动摩擦力大小均为 f ，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，弹簧始终在弹性限度内。(弹簧的弹性势能可表示为： $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ ， k 为弹簧的劲度系数， x 为弹簧的形变量)



- (1) 求 B 、 C 向左移动的最大距离 x_0 和 B 、 C 分离时 B 的动能 E_k ；
- (2) 为保证 A 能离开墙壁，求恒力的最小值 F_{\min} ；
- (3) 若三物块都停止时 B 、 C 间的距离为 x_{BC} ，从 B 、 C 分离到 B 停止运动的整个过程， B 克服弹簧弹力做的功为 W ，通过推导比较 W 与 fx_{BC} 的大小；
- (4) 若 $F = 5f$ ，请在所给坐标系（见答题卡）中，画出 C 向右运动过程中加速度 a 随位移 x 变化的图像，并在坐标轴上标出开始运动和停止运动时的 a 、 x 值（用 f 、 k 、 m 表示），不要求推导过程。以撤去 F 时 C 的位置为坐标原点，水平向右为正方向。

机密★启用前

山东省 2021 年普通高中学业水平等级考试

物理试题参考答案

一、单项选择题

1. A 2. B 3. B 4. D 5. B 6. C 7. D 8. A

二、多项选择题

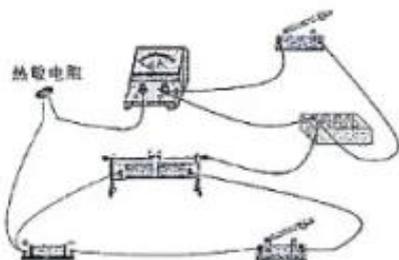
9. BD 10. AC 11. BC 12. ABD

三、非选择题

13. (1) 0.20 (2) $1-k^2$, 0.95 (3) 高于

14. (1) R_1

(2) 如图所示



(3) 3500, 大于 (4) 减小

15. 解: (1) 设 C 是全反射的临界角, 光线在第一个三棱镜右侧斜面上恰好发生全反射时, 根据折射定律得

$$\sin C = \frac{1}{n} \quad \text{①}$$

代入较大的折射率得

$$C = 45^\circ \quad \text{②}$$

所以顶角 θ 的范围为

$$0 < \theta < 45^\circ \quad (\text{或 } \theta < 45^\circ) \quad \text{③}$$

(2) 脉冲激光从第一个三棱镜右侧斜面射出时发生折射, 设折射角分别为 α_1 和 α_2 , 由折射定律得

$$n_1 = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \theta} \quad \text{④}$$

$$n_2 = \frac{\sin \alpha_2}{\sin \theta} \quad \text{⑤}$$

设两束光在前两个三棱镜斜面之间的路程分别为 L_1 和 L_2 , 则

$$L_1 = \frac{d}{\cos \alpha_1} \quad \text{⑥}$$

$$L_2 = \frac{d}{\cos \alpha_2} \quad \text{⑦}$$

$$\Delta L = 2(L_1 - L_2) \quad \text{⑧}$$

联立④⑤⑥⑦⑧式, 代入数据得

$$\Delta L = 14.4\text{mm} \quad \text{⑨}$$

16. (1) 设平抛运动的时间为 t , 鸟蛤落地前瞬间的速度大小为 v , 竖直方向分速度大小为 v_y , 根据运动的合成与分解得

$$H = \frac{1}{2}gt^2 \quad \text{①}$$

$$v_y = gt \quad \text{②}$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2} \quad \text{③}$$

在碰撞过程中, 以鸟蛤为研究对象, 取速度 v 的方向为正方向, 由动量定理得

$$-F\Delta t = 0 - mv \quad \text{④}$$

联立①②③④式，代入数据得

$$F = 500\text{N} \quad \text{⑤}$$

(2) 若释放鸟蛤的初速度为 $v_1 = 15\text{m/s}$ ，设击中岩石左端时，释放点的 x 坐标为 x_1 ，击中右端时，释放点的 x 坐标为 x_2 ，得

$$x_1 = v_1 t \quad \text{⑥}$$

$$x_2 = x_1 + L \quad \text{⑦}$$

联立①⑥⑦式，代入数据得

$$x_1 = 30\text{m}, x_2 = 36\text{m} \quad \text{⑧}$$

若释放鸟蛤时的初速度为 $v_2 = 17\text{m/s}$ ，设击中岩石左端时，释放点的 x 坐标为 x_1' ，击中右端时，释放点的 x 坐标为 x_2' ，得

$$x_1' = v_2 t \quad \text{⑨}$$

$$x_2' = x_1' + L \quad \text{⑩}$$

联立①⑨⑩式，代入数据得

$$x_1' = 34\text{m}, x_2' = 40\text{m} \quad \text{⑪}$$

综上得 x 坐标区间

$$[34\text{m}, 36\text{m}] \text{ 或 } (34\text{m}, 36\text{m}) \quad \text{⑫}$$

17. 解：(1) 设离子在 I 区内做匀速圆周运动的半径为 r ，由牛顿第二定律得

$$qvB_0 = m \frac{v^2}{r} \quad \text{①}$$

根据几何关系得

$$\sin \theta = \frac{d}{r} \quad \text{②}$$

联立①②式得

$$v = \frac{qB_0 d}{m \sin \theta} \quad \text{③}$$

(2) 离子在 II 区内只受电场力， x 方向做匀速直线运动， y 方向做匀变速直线运动，设从进入电场到击中测试板中心 C 的时间为 t ， y 方向的位移为 y_0 ，加速度大小为 a ，由牛顿第二定律得

$$qE = ma \quad (4)$$

由运动的合成与分解得

$$L = vt \cos \theta \quad (5)$$

$$y_0 = -r(1 - \cos \theta) \quad (6)$$

$$y_0 = vt \sin \theta - \frac{1}{2}at^2 \quad (7)$$

联立①②④⑤⑥⑦式得

$$E = \frac{2qB_0^2 d^2}{mL^2 \tan^2 \theta} \left(L \tan \theta + \frac{d}{\sin \theta} - \frac{d}{\tan \theta} \right) \quad (8)$$

(3) II区内填充磁场后,离子在垂直y轴的方向做匀速圆周运动,如图所示。设左侧部分的圆心角为 α ,圆周运动半径为 r' ,运动轨迹长度为 l' ,由几何关系得

$$\alpha = \frac{\pi}{3} \quad (9)$$

$$l' = \frac{\alpha}{2\pi} \times 2\pi r' + \frac{\alpha + \frac{\pi}{2}}{2\pi} \times 2\pi r' \quad (10)$$

离子在II区内的运动时间不变,故有

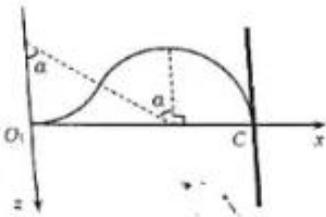
$$\frac{l'}{v \cos \theta} = \frac{L}{v \cos \theta} \quad (11)$$

C到 O_1 的距离

$$s = 2r' \sin \alpha + r' \quad (12)$$

联立⑨⑩⑪⑫式得

$$s = \frac{6(\sqrt{3}+1)}{7\pi} L \quad (13)$$



18. 解: (1) 从开始到B、C向左移动到最大距离的过程中,以B、C和弹簧为研究对象,由功能关系得

$$Fx_0 = 2fx_0 + \frac{1}{2}kx_0^2 \quad (1)$$

弹簧恢复原长时 B 、 C 分离，从弹簧最短到 B 、 C 分离，以 B 、 C 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

$$\frac{1}{2}kx_0^2 = 2fx_0 + 2E_k \quad (2)$$

联立①②式得

$$x_0 = \frac{2F - 4f}{k} \quad (3)$$

$$E_k = \frac{F^2 - 6fF + 8f^2}{k} \quad (4)$$

(2) 当 A 刚要离开墙时，设弹簧的伸长量为 x ，以 A 为研究对象，由平衡条件得

$$kx = f \quad (5)$$

若 A 刚要离开墙壁时 B 的速度恰好等于零，这种情况下恒力为最小值 F_{\min} ，从弹簧恢复原长到 A 刚要离开墙的过程中，以 B 和弹簧为研究对象，由能量守恒得

$$E_k = \frac{1}{2}kx^2 + fx \quad (6)$$

联立①②⑤⑥式得

$$F_{\min} = \left(3 \pm \frac{\sqrt{10}}{2} \right) f \quad (7)$$

根据题意舍去 $F_{\min} = \left(3 - \frac{\sqrt{10}}{2} \right) f$ ，得

$$F_{\min} = \left(3 + \frac{\sqrt{10}}{2} \right) f \quad (8)$$

(3) 从 B 、 C 分离到 B 停止运动，设 B 的路程为 x_B ， C 的位移为 x_C ，以 B 为研究对象，由动能定理得

$$-W - fx_B = 0 - E_k \quad (9)$$

以 C 为研究对象，由动能定理得

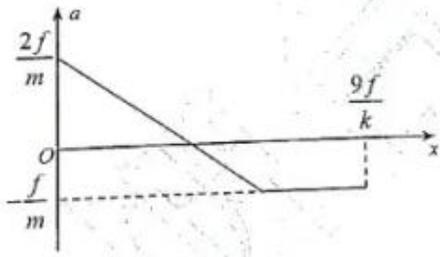
$$-fx_C = 0 - E_k \quad (10)$$

由 B 、 C 的运动关系得

$$x_B > x_C - x_{BC} \quad (11)$$

联立⑨⑩⑪式得

$$W < fx_{BC} \quad (12)$$



(4)