

# 2019年普通高等学校招生全国统一考试（天津卷）理科综

合

## 理科综合 物理部分

理科综合共300分，考试用时150分钟。

物理试卷分为第Ⅰ卷（选择题）和第Ⅱ卷两部分，第Ⅰ卷1至3页，第Ⅱ卷4至7页，共120分。

答卷前，考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上，并在规定位置粘贴考试用条形码。答卷时，考生务必将答案涂写在答题卡上，答在试卷上的无效。

考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

祝各位考生考试顺利！

### 第Ⅰ卷

注意事项：

1. 每题选出答案后，用铅笔将答题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。

2. 本卷共8题，每题6分，共48分。

一、单项选择题（每小题6分，共30分。每小题给出的四个选项中，只有一个选项是正确的）

1. 2018年12月8日，肩负着亿万中华儿女探月飞天梦想的嫦娥四号探测器成功发射，“实现人类航天器首次在月球背面巡视探测，率先在月背刻上了中国足迹”。已知月球的质量为

$M$ 、半径为  $R$ ，探测器的质量为  $m$ ，引力常量为  $G$ ，嫦娥四号探测器围绕月球做半径为

$r$  的匀速圆周运动时，探测器的（ ）



A. 周期为  $\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$

B. 动能为  $\frac{GMm}{2R}$

C. 角速度为  $\sqrt{\frac{Gm}{r^3}}$

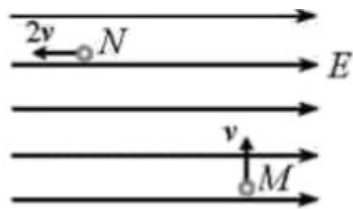
D. 向心加速度为  $\frac{GM}{R^2}$

2. 2018年10月23日，港珠澳跨海大桥正式通车。为保持以往船行习惯，在航道处建造了单面索（所有钢索均处在同一竖直面内）斜拉桥，其索塔与钢索如图所示。下列说法正确的是（ ）



- A. 增加钢索的数量可减小索塔受到的向下的压力
- B. 为了减小钢索承受的拉力，可以适当降低索塔的高度
- C. 索塔两侧钢索对称且拉力大小相同时，钢索对索塔的合力竖直向下
- D. 为了使索塔受到钢索合力竖直向下，索塔两侧的钢索必须对称分布

3. 如图所示，在水平向右的匀强电场中，质量为  $m$  的带电小球，以初速度  $v$  从  $M$  点竖直向上运动，通过  $N$  点时，速度大小为  $2v$ ，方向与电场方向相反，则小球从  $M$  运动到  $N$  的过程（ ）



A. 动能增加  $\frac{1}{2}mv^2$

B. 机械能增加  $2mv^2$

C. 重力势能增加  $\frac{3}{2}mv^2$

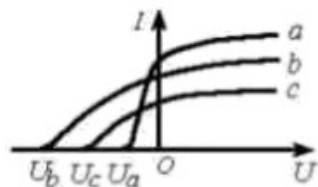
D. 电势能增加  $2mv^2$

4.笔记本电脑机身和显示屏对应部位分别有磁体和霍尔元件。当显示屏开启时磁体远离霍尔元件，电脑正常工作；当显示屏闭合时磁体靠近霍尔元件，屏幕熄灭，电脑进入休眠状态。如图所示，一块宽为  $a$ 、长为  $c$  矩形半导体霍尔元件，元件内的导电粒子是电荷量为  $e$  的自由电子，通入方向向右的电流时，电子的定向移动速度为  $v$ 。当显示屏闭合时元件处于垂直于上表面、方向向下的匀强磁场中，于是元件的前、后表面间出现电压  $U$ ，以此控制屏幕的熄灭。则元件的（ ）



- A. 前表面的电势比后表面的低
- B. 前、后表面间的电压  $U$  与  $v$  无关
- C. 前、后表面间的电压  $U$  与  $c$  成正比
- D. 自由电子受到的洛伦兹力大小为  $\frac{eU}{a}$

5.如图为  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三种光在同一光电效应装置中测的光电流和电压的关系。由  $a$ 、 $b$ 、 $c$  组成的复色光通过三棱镜时，下述光路图中正确的是（ ）





B.



C.



D.



二、不定项选择题（每小题 6 分，共 18 分。每小题给出的四个选项中，都有多个选项是正确的。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，选错或不答的得 0 分）

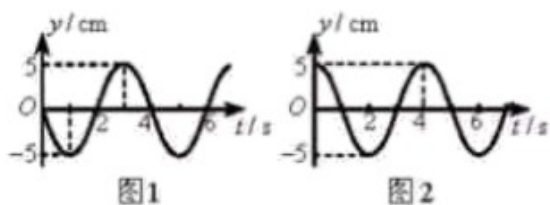
6. 我国核聚变反应研究大科学装置“人造太阳”2018 年获得重大突破，等离子体中心电子温度首次达到 1 亿度，为人类开发利用核聚变能源奠定了重要的技术基础。下列关于聚变的说法正确的是（ ）



- A. 核聚变比核裂变更为安全、清洁
- B. 任何两个原子核都可以发生聚变
- C. 两个轻核结合成质量较大的核，总质量较聚变前增加
- D. 两个轻核结合成质量较大的核，核子的比结合能增加

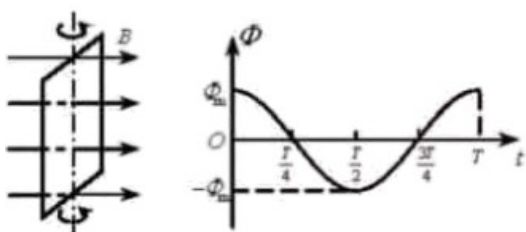
7. 一列简谐横波沿  $x$  轴传播，已知  $x$  轴上  $x_1 = 1 \text{ m}$  和  $x_2 = 7 \text{ m}$  处质点 振动图像分别如图

1、图 2 所示，则此列波的传播速率可能是（ ）



- A. 7 m/s
- B. 2 m/s
- C. 1.2 m/s
- D. 1 m/s

8. 单匝闭合矩形线框电阻为  $R$ ，在匀强磁场中绕与磁感线垂直的轴匀速转动，穿过线框的磁通量  $\Phi$  与时间  $t$  的关系图像如图所示。下列说法正确的是（ ）



A.  $\frac{T}{2}$  时刻线框平面与中性面垂直

B. 线框的感应电动势有效值为  $\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_m}{T}$

C. 线框转一周外力所做的功为  $\frac{2\pi^2\Phi_m^2}{RT}$

D. 从  $t=0$  到  $t=\frac{T}{4}$  过程中线框的平均感应电动势为  $\frac{\pi\Phi_m}{T}$

## 第 II 卷

注意事项：

1. 用黑色墨水的钢笔或签字笔将答案写在答题卡上。

2. 本卷共 4 题，共 72 分。

9. 第 26 届国际计量大会决定，质量单位“千克”用普朗克常量  $h$  定义，“国际千克原器”于

2019 年 5 月 20 日正式“退役”， $h$  的数值为  $6.63 \times 10^{-34}$ ，根据量子定义， $h$  的单位是\_\_\_\_\_，

该单位用国际单位制中的力学基本单位表示，则为\_\_\_\_\_。

10. 某小组做测定玻璃的折射率实验，所用器材有：玻璃砖，大头针，刻度尺，圆规，笔，白纸。

① 下列哪些措施能够提高实验准确程度\_\_\_\_\_。

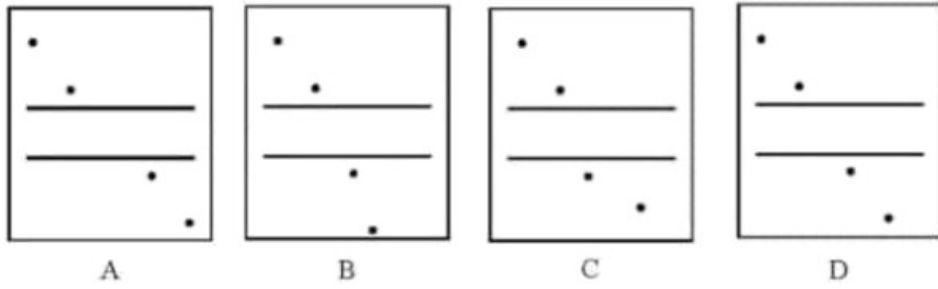
A. 选用两光学表面间距大的玻璃砖

B. 选用两光学表面平行的玻璃砖

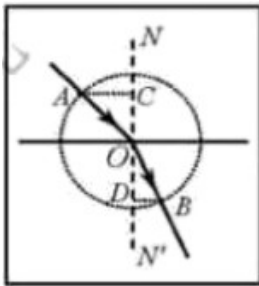
C. 选用粗的大头针完成实验

D. 插在玻璃砖同侧的两枚大头针间的距离尽量大些

② 该小组用同一套器材完成了四次实验，记录的玻璃砖界线和四个大头针扎下的孔洞如下图所示，其中实验操作正确的是\_\_\_\_\_。

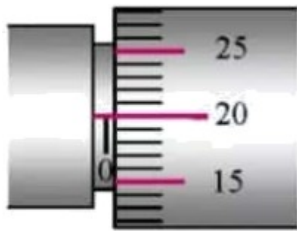


③ 该小组选取了操作正确 实验记录，在白纸上画出光线的径迹，以入射点  $O$  为圆心作圆，与入射光线、折射光线分别交于  $A$ 、 $B$  点，再过  $A$ 、 $B$  点作法线  $NN'$  的垂线，垂足分别为  $C$ 、 $D$  点，如图所示，则玻璃的折射率  $n =$  \_\_\_\_\_。（用图中线段的字母表示）



11. 现测定长金属丝的电阻率。

① 某次用螺旋测微器测量金属丝直径的结果如图所示，其读数是 \_\_\_\_\_ mm。



② 利用下列器材设计一个电路，尽量准确地测量一段金属丝的电阻。这段金属丝的电阻

$R_x$ ，约为  $100 \Omega$ ，画出实验电路图，并标明器材代号。

电源  $E$  (电动势  $10 \text{ V}$ ，内阻约为  $10 \Omega$ )

电流表  $A_1$  (量程  $0 \sim 250 \text{ mA}$ ，内阻  $R_1 = 5 \Omega$ )

电流表  $A_2$  (量程  $0 \sim 300 \text{ mA}$ ，内阻约  $5 \Omega$ )

滑动变阻器  $R$  (最大阻值  $10\ \Omega$ , 额定电流  $2\ \text{A}$ )

开关  $S$  及导线若干

③ 某同学设计方案正确, 测量得到电流表  $A_1$  的读数为  $I_1$ , 电流表  $A_2$  的读数为  $I_2$ , 则这段

金属丝电阻的计算式  $R_x =$  \_\_\_\_\_。从设计原理看, 其测量值与真实值相比 \_\_\_\_\_ (填“偏

大”、“偏小”或“相等”)。

12. 完全由我国自行设计、建造的国产新型航空母舰已完成多次海试, 并取得成功。航母上的舰载机采用滑跃式起飞, 故甲板是由水平甲板和上翘甲板两部分构成, 如图 1 所示。

为了便于研究舰载机的起飞过程, 假设上翘甲板  $BC$  是与水平甲板  $AB$  相切的一段圆弧,

示意如图 2,  $AB$  长  $L_1 = 150\ \text{m}$ ,  $BC$  水平投影  $L_2 = 63\ \text{m}$ , 图中  $C$  点切线方向与水平方

向的夹角  $\theta = 12^\circ$  ( $\sin 12^\circ \approx 0.21$ )。若舰载机从  $A$  点由静止开始做匀加速直线运动,

经  $t = 6\ \text{s}$  到达  $B$  点进入  $BC$ 。已知飞行员的质量  $m = 60\ \text{kg}$ ,  $g = 10\ \text{m/s}^2$ , 求



图 1

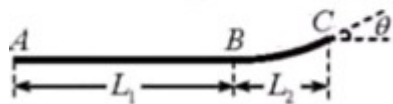


图 2

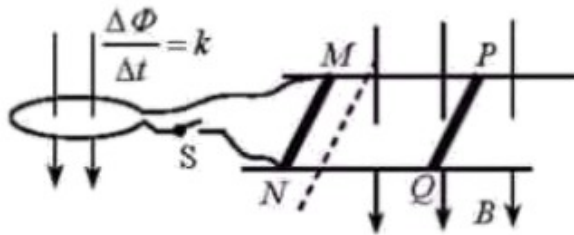
(1) 舰载机水平运动的过程中, 飞行员受到的水平力所做功  $W$  ;

(2) 舰载机刚进入  $BC$  时, 飞行员受到竖直向上的压力  $F_N$  多大。

13. 如图所示, 固定在水平面上间距为  $l$  的两条平行光滑金属导轨, 垂直于导轨放置的两根

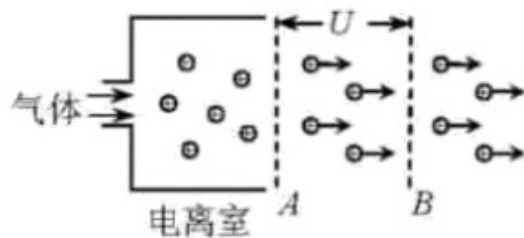
金属棒  $MN$  和  $PQ$  长度也为  $l$ 、电阻均为  $R$ ，两棒与导轨始终接触良好。 $MN$  两端通过开关  $S$  与电阻为  $R$  的单匝金属线圈相连，线圈内存在竖直向下均匀增加的磁场，磁通量变化率为常量  $k$ 。图中虚线右侧有垂直于导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为  $B$ 。

$PQ$  的质量为  $m$ ，金属导轨足够长，电阻忽略不计。



- (1) 闭合  $S$ ，若使  $PQ$  保持静止，需在其上加多大的水平恒力  $F$ ，并指出其方向；
- (2) 断开  $S$ ， $PQ$  在上述恒力作用下，由静止开始到速度大小为  $v$  的加速过程中流过  $PQ$  的电荷量为  $q$ ，求该过程安培力做的功  $W$ 。

14. 2018年，人类历史上第一架由离子引擎推动的飞机诞生，这种引擎不需要燃料，也无污染物排放。引擎获得推力的原理如图所示，进入电离室的气体被电离成正离子，而后飘入电极  $A$ 、 $B$  之间的匀强电场（初速度忽略不计）， $A$ 、 $B$  间电压为  $U$ ，使正离子加速形成离子束，在加速过程中引擎获得恒定的推力。单位时间内飘入的正离子数目为定值，离子质量为  $m$ ，电荷量为  $Ze$ ，期中  $Z$  是正整数， $e$  是元电荷。



(1) 若引擎获得的推力为  $F_1$ ，求单位时间内飘入  $A$ 、 $B$  间的正离子数目  $N$  为多少；

(2) 加速正离子束所消耗的功率  $P$  不同时，引擎获得的推力  $F$  也不同，试推导  $\frac{F}{P}$  的表达式；

(3) 为提高能量的转换效率，要使  $\frac{F}{P}$  尽量大，请提出增大  $\frac{F}{P}$  的三条建议。

## 理科综合 物理部分解析

### 第 I 卷

一、单项选择题（每小题 6 分，共 30 分。每小题给出的四个选项中，只有一个选项是正确的）

1. 2018 年 12 月 8 日，肩负着亿万中华儿女探月飞天梦想的嫦娥四号探测器成功发射，“实现人类航天器首次在月球背面巡视探测，率先在月背刻上了中国足迹”。已知月球的质量为

$M$ 、半径为  $R$ ，探测器的质量为  $m$ ，引力常量为  $G$ ，嫦娥四号探测器围绕月球做半径为

$r$  的匀速圆周运动时，探测器的（ ）



A. 周期为  $\sqrt{\frac{4\pi^2 r^3}{GM}}$

B. 动能为  $\frac{GMm}{2R}$

C. 角速度为  $\sqrt{\frac{GM}{r^3}}$

D. 向心加速度为  $\frac{GM}{R^2}$

【答案】 C

【解析】

【详解】 由万有引力提供向心力可得  $\frac{GMm}{r^2} = m\frac{4\pi^2}{T^2}r = m\omega^2 r = m\frac{v^2}{r} = ma$ ，可得

$T = 2\pi\sqrt{\frac{r^3}{GM}}$ ，故 A 正确；解得  $v = \sqrt{\frac{GM}{r}}$ ，由于  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{GMm}{2r}$ ，故 B 错误；

解得  $\omega = \sqrt{\frac{GM}{r^3}}$ ，故 C 错误；解得  $a = \frac{GM}{r^2}$ ，故 D 错误。综上所述，答案为 A

2.2018年10月23日，港珠澳跨海大桥正式通车。为保持以往船行习惯，在航道处建造了单面索（所有钢索均处在同一竖直面内）斜拉桥，其索塔与钢索如图所示。下列说法正确的是（ ）



A. 增加钢索的数量可减小索塔受到的向下的压力

- B. 为了减小钢索承受 拉力，可以适当降低索塔的高度
- C. 索塔两侧钢索对称且拉力大小相同时，钢索对索塔的合力竖直向下
- D. 为了使索塔受到钢索的合力竖直向下，索塔两侧的钢索必须对称分布

【答案】 C

【解析】

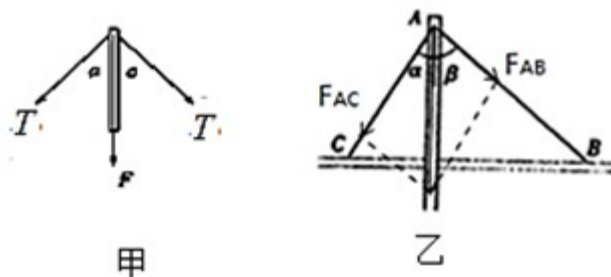
【详解】 A、以桥身为研究对象，钢索对桥身的拉力的合力与桥身的重力等大反向，则钢索对索塔的向下的压力数值上等于桥身的重力，增加钢索的数量钢索对索塔的向下的压力数值不变，故 A 错误；

B、由图甲可知  $2T \cos \alpha = Mg$ ，当索塔高度降低后， $\alpha$  变大， $\cos \alpha$  变小，故  $T$  变大，故 B 错误

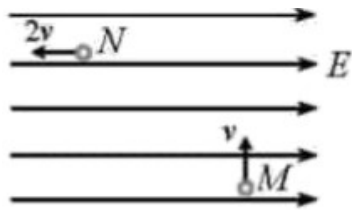
C、由 B 的分析可知，当钢索对称分布时， $2T \cos \alpha = Mg$ ，钢索对索塔的合力竖直向下，故 C 正确

D、受力分析如图乙，由正弦定理可知，只要  $\frac{F_{AB}}{\sin \alpha} = \frac{F_{AC}}{\sin \beta}$ ，钢索 AC、AB 的拉力

$F_{AC}$ 、 $F_{AB}$  进行合成，合力竖直向下，钢索不一定要对称分布，故 D 错误；综上所述：答案为 C



3. 如图所示，在水平向右的匀强电场中，质量为  $m$  的带电小球，以初速度  $v$  从  $M$  点竖直向上运动，通过  $N$  点时，速度大小为  $2v$ ，方向与电场方向相反，则小球从  $M$  运动到  $N$  的过程 ( )



A. 动能增加  $\frac{1}{2}mv^2$

B. 机械能增加  $2mv^2$

C. 重力势能增加  $\frac{3}{2}mv^2$

D. 电势能增加  $2mv^2$

**【答案】 B**

**【解析】**

**【详解】** 由动能的表达式  $E_k = \frac{1}{2}mv^2$  可知带电小球在 M 点的动能为  $E_{kM} = \frac{1}{2}mv^2$ ，在 N

点的动能为  $E_{kN} = \frac{1}{2}m(2v)^2 = 2mv^2$ ，所以动能的增量为  $\Delta E_k = \frac{3}{2}mv^2$ ，故 A 错误；带电

小球在电场中做类平抛运动，竖直方向受重力做匀减速运动，水平方向受电场力做匀加速

运动，由运动学公式有  $v_y = v = gt, v_x = 2v = at = \frac{qE}{m}t$ ，可得  $qE = 2mg$ ，竖直方向的位

移  $h = \frac{v}{2}t$ ，水平方向的位移  $x = \frac{2v}{2}t = vt$ ，因此有  $x = 2h$ ，对小球写动能定理有

$qEx - mgh = \Delta E_k = \frac{3}{2}mv^2$ ，联立上式可解得  $qEx = 2mv^2$ ， $mgh = \frac{1}{2}mv^2$ ，因此电场力做

正功，机械能增加，故机械能增加  $2mv^2$ ，电势能减少  $2mv^2$ ，故 B 正确 D 错误，重力做负

功重力势能增加量为  $\frac{1}{2}mv^2$ ，故 C 错误。

4. 笔记本电脑机身和显示屏对应部位分别有磁体和霍尔元件。当显示屏开启时磁体远离霍尔元件，电脑正常工作；当显示屏闭合时磁体靠近霍尔元件，屏幕熄灭，电脑进入休眠状态。如图所示，一块宽为  $a$ 、长为  $c$  的矩形半导体霍尔元件，元件内的导电粒子是电荷量为  $e$  的自由电子，通入方向向右的电流时，电子的定向移动速度为  $v$ 。当显示屏闭合时元件处于垂直于上表面、方向向下的匀强磁场中，于是元件的前、后表面间出现电压  $U$ ，以此控制屏幕的熄灭。则元件的（ ）



- A. 前表面的电势比后表面的低
- B. 前、后表面间的电压  $U$  与  $v$  无关
- C. 前、后表面间的电压  $U$  与  $c$  成正比
- D. 自由电子受到的洛伦兹力大小为  $\frac{eU}{a}$

**【答案】D**

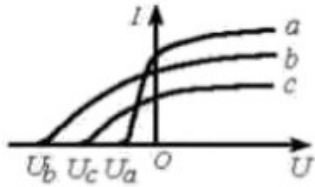
**【解析】**

**【详解】**由图知电流从左向右流动，因此电子的运动方向为从右向左，根据左手定则可知电子偏转到后面表，因此前表面的电势比后表面的高，故 A 错误，电子在运动过程中洛伦

兹力和电场力平衡，有  $F_{洛} = evB, F_{电} = eE = e\frac{U}{a}$ ，故  $F_{洛} = e\frac{U}{a}$ ，故 D 正确，由  $evB = e\frac{U}{a}$

则电压  $U = avB$ ，故前后表面的电压与速度有关，与  $a$  成正比，故 BC 错误。

5. 如图为  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三种光在同一光电效应装置中测的光电流和电压的关系。由  $a$ 、 $b$ 、 $c$  组成的复色光通过三棱镜时，下述光路图中正确的是 ( )



B.



C.



D.



【答案】C

【解析】

【详解】由光电效应的方程  $E_k = h\nu - W$ ，动能定理  $eU = E_k$ ，两式联立可得

$U = \frac{h\nu}{e} - \frac{W}{e}$ ，故截止电压越大说明光的频率越大，则有三种光的频率  $\nu_b > \nu_c > \nu_a$ ，则可

知三种光的折射率的关系为  $n_b > n_c > n_a$ ，因此光穿过三棱镜时 b 光偏折最大，c 光次之，a 光最小，故选 C，ABD 错误。

二、不定项选择题（每小题 6 分，共 18 分。每小题给出的四个选项中，都有多个选项是正确的。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，选错或不答的得 0 分）

6. 我国核聚变反应研究大科学装置“人造太阳”2018 年获得重大突破，等离子体中心电子温度首次达到 1 亿度，为人类开发利用核聚变能源奠定了重要的技术基础。下列关于聚变的

说法正确的是 ( )



- A. 核聚变比核裂变更为安全、清洁
- B. 任何两个原子核都可以发生聚变
- C. 两个轻核结合成质量较大的核，总质量较聚变前增加
- D. 两个轻核结合成质量较大的核，核子的比结合能增加

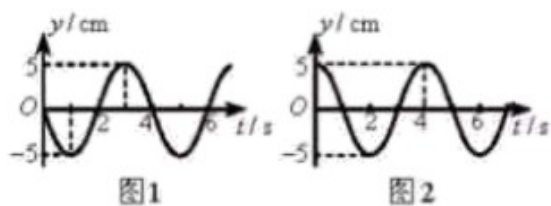
**【答案】 AD**

**【解析】**

**【详解】**核聚变的最终产物是氦气无污染，而核裂变会产生固体核废料，因此核聚变更加清洁和安全，A 正确；发生核聚变需要在高温高压下进行，大核不能发生核聚变，故 B 错误；核聚变反应会放出大量的能量，根据质能关系可知反应会发生质量亏损，故 C 错误；因聚变反应放出能量，因此反应前的比结合能小于反应后的比结合能，故 D 正确。

7. 一列简谐横波沿  $x$  轴传播，已知  $x$  轴上  $x_1 = 1\text{ m}$  和  $x_2 = 7\text{ m}$  处质点的振动图像分别如图

1、图 2 所示，则此列波的传播速率可能是 ( )



- A. 7 m/s
- B. 2 m/s
- C. 1.2 m/s
- D. 1 m/s

**【答案】 BC**

**【解析】**

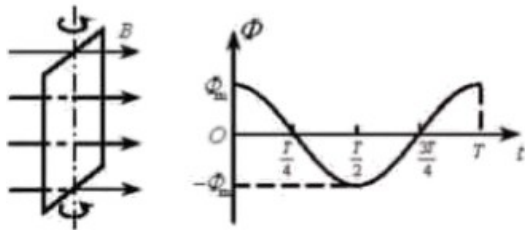
**【详解】**当该列波向右传播时，根据题干可知 1m 和 7m 之间的距离满足的关系为

$6 = n\lambda + \frac{1}{4}\lambda$ ，则由  $v = \frac{\lambda}{T}$  可得波速为  $v = \frac{6}{4n+1}$ ，当  $n=1$  时可得  $v = 1.2\text{m/s}$ ，故 C 正确，

当波向做传播时 1m 和 7m 之间的距离关系满足  $6 = n\lambda + \frac{3}{4}\lambda$ ，则  $v = \frac{6}{4n+3}$ ，当  $n=1$  时可

得  $v = 2\text{m/s}$ ，故 B 正确，讲 A 和 D 选项代入两个波速表达式， $n$  均不是整数，因此 A 和 D 错误。

8. 单匝闭合矩形线框电阻为  $R$ ，在匀强磁场中绕与磁感线垂直的轴匀速转动，穿过线框的磁通量  $\Phi$  与时间  $t$  的关系图像如图所示。下列说法正确的是 ( )



A.  $\frac{T}{2}$  时刻线框平面与中性面垂直

B. 线框的感应电动势有效值为  $\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_m}{T}$

C. 线框转一周外力所做的功为  $\frac{2\pi^2\Phi_m^2}{RT}$

D. 从  $t=0$  到  $t = \frac{T}{4}$  过程中线框的平均感应电动势为  $\frac{\pi\Phi_m}{T}$

**【答案】 BC**

**【解析】**

**【详解】** 由图像可知  $\frac{T}{2}$  时刻线圈的磁通量最大，因此此时线圈处于中性面位置，因此 A 错

误；由图可知交流电的周期为  $T$ ，则  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ，由交流电的电动势的最大值为

$E_m = nbs\omega = \phi_m \frac{2\pi}{T}$ ，则有效值为  $E_{有} = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}\pi\phi_m}{T}$ ，故 B 正确，线圈转一周所做的功

为转动一周的发热量， $W = \frac{E_{有}^2}{R} T = \frac{2\pi^2\phi_m^2}{RT}$ ，故 C 正确；从 0 时刻到  $\frac{T}{4}$  时刻的平均感应电

动势为  $E = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{\phi_m}{\frac{T}{4}} = \frac{4\phi_m}{T}$ ，故 D 错误。

## 第 II 卷

注意事项：

1. 用黑色墨水的钢笔或签字笔将答案写在答题卡上。

2. 本卷共 4 题，共 72 分。

9. 第 26 届国际计量大会决定，质量单位“千克”用普朗克常量  $h$  定义，“国际千克原器”于

2019 年 5 月 20 日正式“退役”， $h$  的数值为  $6.63 \times 10^{-34}$ ，根据量子定义， $h$  的单位是\_\_\_\_\_，

该单位用国际单位制中的力学基本单位表示，则为\_\_\_\_\_。

【答案】 (1).  $J \cdot s$  (2).  $kg \cdot m^2/s$

【解析】

【详解】由  $E = h\nu$ ，能量的单位为  $J$ ，频率的单位为  $s^{-1}$ ，故  $h$  的单位为  $J \cdot s$ ，又因能量的

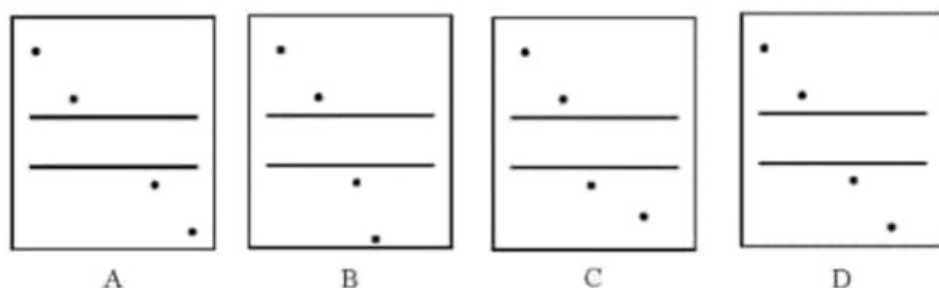
单位换成力学基本单位可表示为  $kg \cdot m/s^2 \cdot m$ ，则  $h$  的单位为  $kg \cdot m^2/s$

10.某小组做测定玻璃的折射率实验，所用器材有：玻璃砖，大头针，刻度尺，圆规，笔，白纸。

①下列哪些措施能够提高实验准确程度\_\_\_\_\_。

- A.选用两光学表面间距大的玻璃砖
- B.选用两光学表面平行的玻璃砖
- C.选用粗的大头针完成实验
- D.插在玻璃砖同侧的两枚大头针间的距离尽量大些

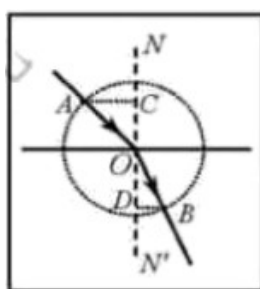
②该小组用同一套器材完成了四次实验，记录的玻璃砖界线和四个大头针扎下的孔洞如下图所示，其中实验操作正确的是\_\_\_\_\_。



③该小组选取了操作正确的实验记录，在白纸上画出光线的径迹，以入射点 $O$ 为圆心作圆，

与入射光线、折射光线分别交于 $A$ 、 $B$ 点，再过 $A$ 、 $B$ 点作法线 $NN'$ 的垂线，垂足分别为

$C$ 、 $D$ 点，如图所示，则玻璃的折射率 $n =$ \_\_\_\_\_。（用图中线段的字母表示）



**【答案】** (1). AD (2). D (3).  $\frac{AC}{BD}$

**【解析】**

**【详解】**采用插针法测定光的折射率的时候，应选定光学表面间距大一些的玻璃砖，这样光路图会更加清晰，减小误差，同时两枚大头针的距离尽量大一些，保证光线的直线度，

因此 AD 正确，光学表面是否平行不影响该实验的准确度，因此 B 错误，应选用细一点的大头针因此 C 错误。

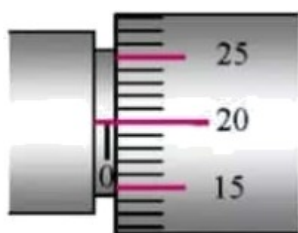
根据光的折射定律可知当选用平行的玻璃砖时出射光和入射光应是平行光，又因发生了折射因此出射光的出射点应相比入射光的延长线向左平移，因此 D 正确，ABC 错误

由折射定律可知折射率  $n = \frac{\sin \angle AOC}{\sin \angle BOD}$ ， $\sin \angle AOC = \frac{AC}{R}$ ， $\sin \angle BOD = \frac{BD}{R}$ ，联立解

得  $n = \frac{AC}{BD}$

11. 现测定长金属丝的电阻率。

① 某次用螺旋测微器测量金属丝直径 结果如图所示，其读数是\_\_\_\_\_ mm。



② 利用下列器材设计一个电路，尽量准确地测量一段金属丝的电阻。这段金属丝的电阻

$R_x$ ，约为  $100 \Omega$ ，画出实验电路图，并标明器材代号。

电源  $E$  (电动势  $10 \text{ V}$ ，内阻约为  $10 \Omega$ )

电流表  $A_1$  (量程  $0 \sim 250 \text{ mA}$ ，内阻  $R_1 = 5 \Omega$ )

电流表  $A_2$  (量程  $0 \sim 300 \text{ mA}$ ，内阻约为  $5 \Omega$ )

滑动变阻器  $R$  (最大阻值  $10 \Omega$ ，额定电流  $2 \text{ A}$ )

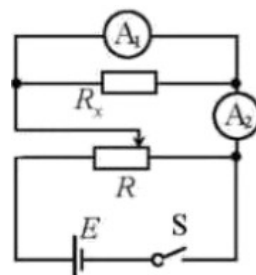
开关  $S$  及导线若干

③ 某同学设计方案正确，测量得到电流表  $A_1$  的读数为  $I_1$ ，电流表  $A_2$  的读数为  $I_2$ ，则这段

金属丝电阻的计算式  $R_x = \frac{I_1 R_1}{I_2 - I_1}$ 。从设计原理看，其测量值与真实值相比\_\_\_\_（填“偏大”、“偏小”或“相等”）。

【答案】 (1). ( 均可 ) (2). (3).

0.200 0.196 ~ 0.204

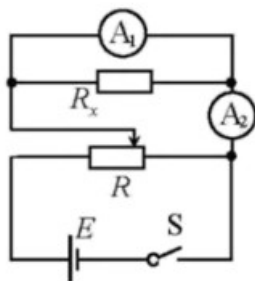


$$\frac{I_1 R_1}{I_2 - I_1} \quad \text{相等}$$

【解析】

【详解】根据螺旋测微器的读数法则可知读数为  $0.01 \times 20 + 0.000 = 0.200\text{mm}$

因该实验没有电压表，电流表 A1 的内阻已知，故用 A1 表当电压表使用，为了调节范围大，应用分压式滑动变阻器的接法，则点如图如图



由电路图可知流过 电流为  $I_2 - I_1$ ，电阻两端的电压为  $I_1 R_1$ ，因此电阻  $R_x = \frac{I_1 R_1}{I_2 - I_1}$

该实验的电流为真实电流，电压也为真实电压，因此测得值和真实值相等

12.完全由我国自行设计、建造的国产新型航空母舰已完成多次海试，并取得成功。航母上的舰载机采用滑跃式起飞，故甲板是由水平甲板和上翘甲板两部分构成，如图 1 所示。

为了便于研究舰载机的起飞过程，假设上翘甲板  $BC$  是与水平甲板  $AB$  相切的一段圆弧，

示意如图 2， $AB$  长  $L_1 = 150 \text{ m}$ ， $BC$  水平投影  $L_2 = 63 \text{ m}$ ，图中  $C$  点切线方向与水平方向的夹角  $\theta = 12^\circ$  ( $\sin 12^\circ \approx 0.21$ )。若舰载机从  $A$  点由静止开始做匀加速直线运动，经  $t = 6 \text{ s}$  到达  $B$  点进入  $BC$ 。已知飞行员的质量  $m = 60 \text{ kg}$ ， $g = 10 \text{ m/s}^2$ ，求



图 1

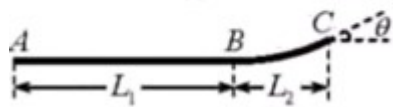


图 2

- (1) 舰载机水平运动的过程中，飞行员受到的水平力所做功  $W$ ；
- (2) 舰载机刚进入  $BC$  时，飞行员受到竖直向上的压力  $F_N$  多大。

**【答案】** (1)  $W = 7.5 \times 10^4 \text{ J}$ ；(2)  $F_N = 1.1 \times 10^3 \text{ N}$

**【解析】**

**【详解】** (1) 舰载机由静止开始做匀加速直线运动，设其刚进入上翘甲板时的速度为  $v$ ，则有

$$\frac{v}{2} = \frac{L_1}{t} \quad \text{①}$$

根据动能定理，有

$$W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \quad \text{②}$$

联立①②式，代入数据，得

$$W = 7.5 \times 10^4 \text{ J} \quad \text{③}$$

(2) 设上翘甲板所对应的圆弧半径为  $R$ ，根据几何关系，有

$$L_2 = R \sin \theta \quad ④$$

由牛顿第二定律，有

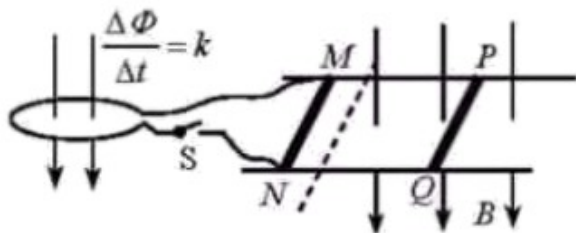
$$F_N - mg = m \frac{v^2}{R} \quad ⑤$$

联立①④⑤式，代入数据，得

$$F_N = 1.1 \times 10^3 \text{ N} \quad ⑥$$

13. 如图所示，固定在水平面上间距为  $l$  的两条平行光滑金属导轨，垂直于导轨放置的两根金属棒  $MN$  和  $PQ$  长度也为  $l$ 、电阻均为  $R$ ，两棒与导轨始终接触良好。 $MN$  两端通过开关  $S$  与电阻为  $R$  的单匝金属线圈相连，线圈内存在竖直向下均匀增加的磁场，磁通量变化率为常量  $k$ 。图中虚线右侧有垂直于导轨平面向下的匀强磁场，磁感应强度大小为  $B$ 。

$PQ$  的质量为  $m$ ，金属导轨足够长，电阻忽略不计。



- (1) 闭合  $S$ ，若使  $PQ$  保持静止，需在其上加多大水平恒力  $F$ ，并指出其方向；
- (2) 断开  $S$ ， $PQ$  在上述恒力作用下，由静止开始到速度大小为  $v$  的加速过程中流过  $PQ$  的电荷量为  $q$ ，求该过程安培力做的功  $W$ 。

【答案】(1)  $F = \frac{Bkl}{3R}$ ，方向水平向右；(2)  $W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2}{3}kq$

【解析】

【详解】(1) 设线圈中的感应电动势为  $E$ ，由法拉第电磁感应定律  $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，则

$$E = k \quad ①$$

设  $PQ$  与  $MN$  并联的电阻为  $R_{\text{并}}$ ，有

$$R_{\text{并}} = \frac{R}{2} \quad ②$$

闭合  $S$  时，设线圈中的电流为  $I$ ，根据闭合电路欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R_{\text{并}} + R} \quad ③$$

设  $PQ$  中的电流为  $I_{PQ}$ ，有

$$I_{PQ} = \frac{1}{2}I \quad ④$$

设  $PQ$  受到的安培力为  $F_{\text{安}}$ ，有

$$F_{\text{安}} = BI_{PQ}l \quad ⑤$$

保持  $PQ$  静止，由受力平衡，有 I II III IV

$$F = F_{\text{安}} \quad ⑥$$

联立①②③④⑤⑥式得

$$F = \frac{Bkl}{3R} \quad ⑦$$

方向水平向右。

(2) 设  $PQ$  由静止开始到速度大小为  $v$  的加速过程中,  $PQ$  运动的位移为  $x$ , 所用时间为

$\Delta t$ , 回路中的磁通量变化为  $\Delta\Phi$ , 平均感应电动势为  $\bar{E}$ , 有

$$\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad \textcircled{8}$$

其中

$$\Delta\Phi = Blx \quad \textcircled{9}$$

设  $PQ$  中的平均电流为  $\bar{I}$ , 有

$$\bar{I} = \frac{\bar{E}}{2R} \quad \textcircled{10}$$

根据电流的定义得

$$\bar{I} = \frac{q}{\Delta t} \quad \textcircled{11}$$

由动能定理, 有

$$Fx + W = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \quad \textcircled{12}$$

联立⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬式得

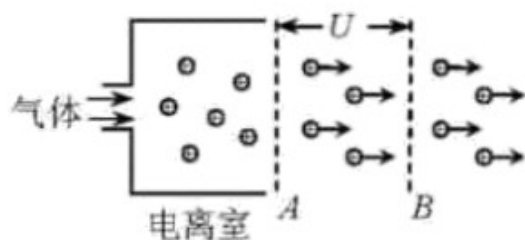
$$W = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{2}{3}kq \quad \textcircled{13}$$

14. 2018年, 人类历史上第一架由离子引擎推动的飞机诞生, 这种引擎不需要燃料, 也无污染物排放。引擎获得推力的原理如图所示, 进入电离室的气体被电离成正离子, 而后飘

入电极  $A$ 、 $B$  之间的匀强电场 (初速度忽略不计),  $A$ 、 $B$  间电压为  $U$ , 使正离子加速

形成离子束, 在加速过程中引擎获得恒定的推力。单位时间内飘入的正离子数目为定值,

离子质量为  $m$ ，电荷量为  $Ze$ ，期中  $Z$  是正整数， $e$  是元电荷。



(1) 若引擎获得 推力为  $F_1$ ，求单位时间内飘入  $A$ 、 $B$  间的正离子数目  $N$  为多少；

(2) 加速正离子束所消耗的功率  $P$  不同时，引擎获得的推力  $F$  也不同，试推导  $\frac{F}{P}$  的表达式；

(3) 为提高能量的转换效率，要使  $\frac{F}{P}$  尽量大，请提出增大  $\frac{F}{P}$  的三条建议。

**【答案】** (1)  $N = \frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}}$  (2)  $\frac{F}{P} = \sqrt{\frac{2m}{ZeU}}$  (3) 用质量大的离子；用带电量少的

离子；减小加速电压。

**【解析】**

**【详解】** (1) 设正离子经过电极  $B$  时的速度为  $v$ ，根据动能定理，有

$$ZeU = \frac{1}{2}mv^2 - 0 \quad \text{①}$$

设正离子束所受的电场力为  $F_1'$ ，根据牛顿第三定律，有

$$F_1' = F_1 \quad \text{②}$$

设引擎在  $\Delta t$  时间内飘入电极间的正离子个数为  $\Delta N$ ，由牛顿第二定律，有

$$F_1' = \Delta Nm \frac{v - 0}{\Delta t} \quad \text{③}$$

联立①②③式，且  $N = \frac{\Delta N}{\Delta t}$  得

$$N = \frac{F_1}{\sqrt{2ZemU}} \quad \text{④}$$

(2) 设正离子束所受的电场力为  $F'$ ，由正离子束在电场中做匀加速直线运动，

有

$$P = \frac{1}{2} F' v \quad \text{⑤}$$

考虑到牛顿第三定律得到  $F' = F$ ，联立①⑤式得

$$\frac{F}{P} = \sqrt{\frac{2m}{ZeU}} \quad \text{⑥}$$

(3) 为使  $\frac{F}{P}$  尽量大，分析⑥式得到

三条建议：用质量大的离子；用带电量少的离子；减小加速电压。