

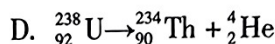
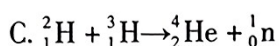
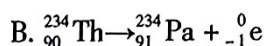
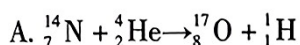
## 高三物理

2023.03

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

1. 下列核反应方程中, 属于 $\beta$ 衰变的是



2. 下列各种现象中都表现出光具有波动性的是

A. 光的直线传播现象、反射现象

B. 光的全反射现象、折射现象

C. 光的衍射现象、干涉现象

D. 光的康普顿效应、光电效应

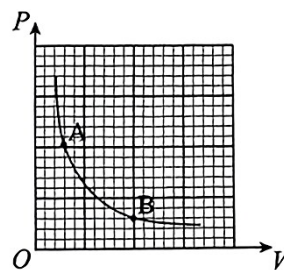
3. 一定质量的理想气体在温度不变时, 压强与体积的关系如图所示, 气体由状态 A 到状态 B 的过程中, 下列说法正确的是

A. 气体对外界做功

B. 气体对外界放热

C. 气体内能增大

D. 分子热运动的平均动能增大

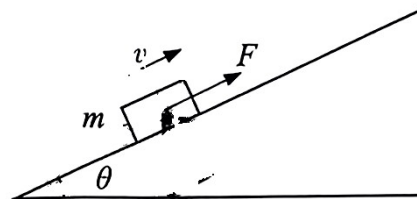


4. 如图所示, 一个质量为  $m$  的物块, 在平行于斜面的拉力  $F$  的作用下, 沿倾角为  $\theta$  的斜面匀速上滑, 已知物块与斜面间的动摩擦因数为  $\mu$ 。下列说法正确的是

A. 拉力  $F$  大小等于  $mg\sin\theta$ B. 物块受到的摩擦力大小为  $\mu mg$ 

C. 物块受到的摩擦力的方向沿斜面向下

D. 物块受到的重力和拉力的合力垂直斜面向下



5. 2022 年 5 月, 我国成功完成了天舟四号货运飞船与空间站的对接, 形成的组合体在地球引力作用下绕地球的运动可看作匀速圆周运动, 组合体距地面的高度约为 400 km, 地球同步卫星距地面的高度约为  $3.6 \times 10^4$  km。下列说法正确的是

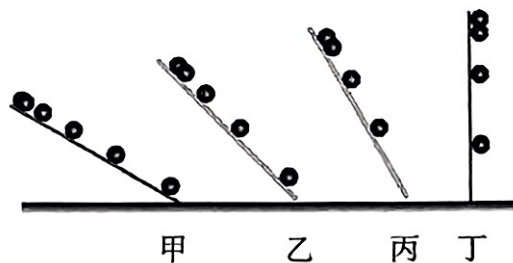
A. 组合体的线速度大于第一宇宙速度

B. 组合体的周期大于地球同步卫星的周期

C. 组合体的线速度大于地球同步卫星的线速度

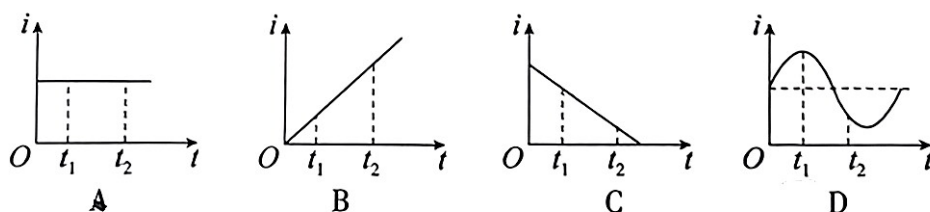
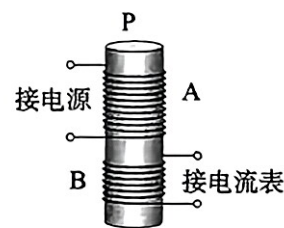
D. 组合体的加速度小于地球同步卫星的加速度

6. 伽利略相信，自然界的规律是简洁明了的。他猜想落体的速度应该是均匀变化的。为验证自己的猜想，他做了“斜面实验”，发现铜球在斜面上运动的位移与时间的平方成正比。改变铜球的质量或增大斜面倾角，上述规律依然成立。于是，他外推到倾角为  $90^\circ$  的情况，得出落体运动的规律，如图所示。结合以上信息，判断下列说法正确的是

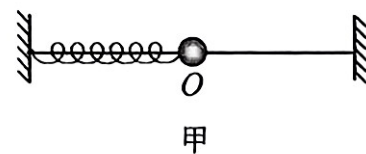


- A. 由“斜面实验”的结论可知，铜球做落体运动的速度随时间均匀增大  
 B. 由“斜面实验”的结论可知，铜球做落体运动的速度随位移均匀增大  
 C. 伽利略通过“斜面实验”来研究落体运动规律是为了便于测量速度  
 D. 伽利略通过“斜面实验”来研究落体运动规律是为了便于测量加速度

7. 某实验装置如图所示，在铁芯 P 上绕着两个线圈 A 和 B。如果线圈 A 中电流  $i$  与时间  $t$  的关系有如图所示的四种情况，在  $t_1 \sim t_2$  这段时间内，可以观察到线圈 B 中有变化的感应电流的是

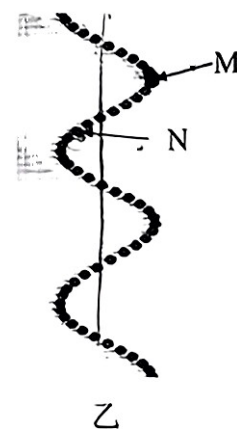


8. 图甲为水平放置的弹簧振子，图乙为该弹簧振子的频闪照片。拍摄时底片沿着垂直于小球振动的方向从下向上匀速运动。图乙中 M 为  $t_1$  时刻拍摄的小球的像，N 为  $t_2$  时刻拍摄的小球的像，不计阻力。

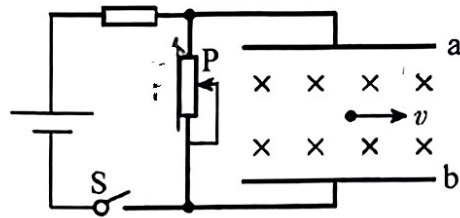


下列说法正确的是

- A. 小球在  $t_1$ 、 $t_2$  时刻的加速度方向相同  
 B. 增大底片匀速运动的速度，同样尺寸的底片上拍摄小球像的个数减少  
 C. 小球从  $t_1$  时刻运动至平衡位置的时间大于从  $t_2$  时刻运动至平衡位置的时间  
 D. 从  $t_1$  时刻到  $t_2$  时刻的过程中，弹簧的弹性势能逐渐减小，小球的动能逐渐增大

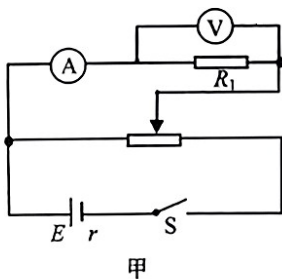


9. 在如图所示的电路中，开关S闭合。两平行金属极板a、b间有匀强磁场，一带电粒子以速度  $v$  水平匀速穿过两极板，不计粒子重力。下列说法正确的是

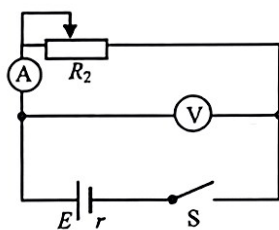


- A. 该粒子一定带正电  
 B. 仅增大粒子的速度，粒子一定向 a 板偏转  
 C. 仅将滑动变阻器的滑片 P 向下移动，粒子一定向 b 板偏转  
 D. 仅增大粒子所带电荷量，粒子一定仍沿水平方向穿过两极板

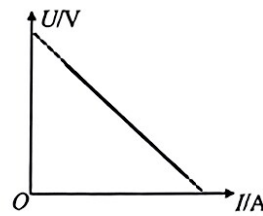
10. 在甲、乙实验电路中，电源有内阻。图丙、丁是由电流表和电压表测的数据绘制的  $U-I$  图像。下列说法正确的是



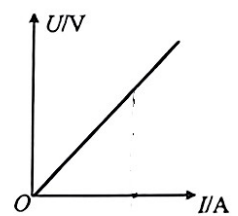
甲



乙

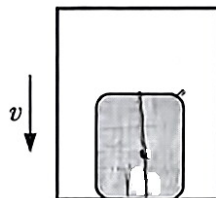


丙



丁

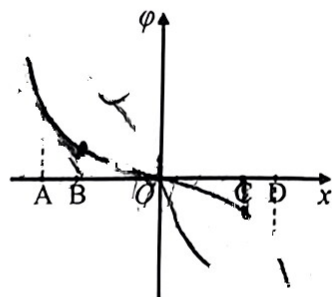
- A. 丙图是由甲电路测的数据绘制的  $U-I$  图像  
 B. 丁图图线与横坐标包围的面积表示被测电阻在某一状态的电功率  
 C. 甲电路用于测量电阻的大小，由  $R_1 = \frac{E - U}{I}$  可得出电阻的阻值  
 D. 乙电路用于测量电源的电动势和内阻，电压表测量的是电源两端的电压
11. 直升机悬停在空中，由静止开始投放装有物资的箱子，箱子下落时所受的空气阻力与箱子下落的速度成正比，下落过程中箱子始终保持图示状态。下列说法正确的是



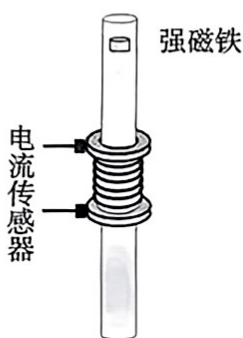
- A. 下落过程中箱内物体的加速度逐渐增大  
 B. 箱子接近地面时，箱内物体受到的支持力比刚释放时大  
 C. 如下落距离足够大，箱内物体可能不受箱子底部的支持力作用  
 D. 下落过程中箱内物体的机械能增大



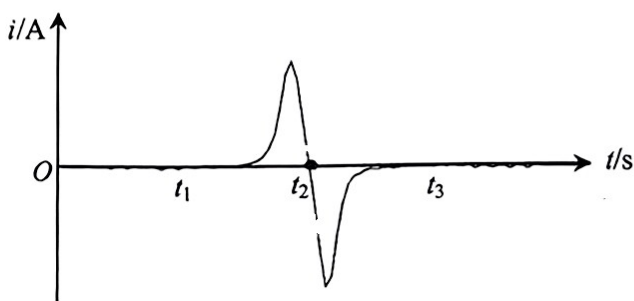
12. 静电场中某一电场线与  $x$  轴重合，电场线上各点的电势  $\varphi$  在  $x$  轴上的分布如图所示，图中曲线关于坐标原点  $O$  对称。在  $x$  轴上取 A、B、C、D 四点，A 和 D、B 和 C 分别关于  $O$  点对称。下列说法正确的是



- A. C 点的电场强度方向与  $x$  轴正方向相反  
 B. C、D 两点的电场强度  $E_C > E_D$   
 C. 试探电荷  $+q$  从 A 点移到 B 点，静电力做正功  
 D. 同一试探电荷在 B 点和 C 点具有的电势能相等
13. 如图甲所示，某同学在研究电磁感应现象时，将一线圈两端与电流传感器相连，强磁铁从长玻璃管上端由静止下落，电流传感器记录了强磁铁穿过线圈过程中电流随时间变化的图像， $t_2$  时刻电流为 0，如图乙所示。下列说法正确的是



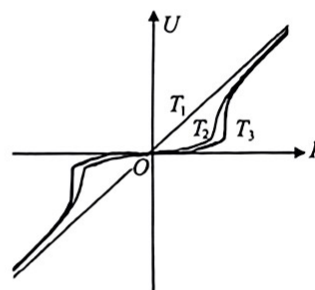
甲



乙

- A. 在  $t_2$  时刻，穿过线圈的磁通量的变化率为 0  
 B. 在  $t_1$  到  $t_2$  时间内，强磁铁的加速度大于重力加速度  
 C. 强磁铁穿过线圈的过程中，受到线圈的作用力先向上后向下  
 D. 在  $t_1$  到  $t_3$  的时间内，强磁铁重力势能的减少量等于其动能的增加量
14. 2023 年 3 月，中国科学技术大学超导量子计算实验室成功实现了三维封装量子计算机原型，其主要构成材料之一为金属超导体。超导体指的是低于某一温度后电阻为零的导体，且当超导体置于外磁场中时，随着温度的降低，超导体表面能够产生一个无损耗的超导电流，这一电流产生的磁场，让磁感线被排斥到超导体之外。

如图为某超导体在不同温度下两端电压和流经超导体电流的  $U-I$  特性曲线，温度分别为  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$ ，下列说法正确的是



- A. 当超导体处在超导状态时，两端能够测出电压  
 B. 将超导体置于磁场中，处于超导状态时内部磁感应强度不为零  
 C. 根据三条曲线的变化趋势，可推断  $T_1 < T_2 < T_3$   
 D. 随着流经超导体的电流增大，超导状态将被破坏

## 第二部分

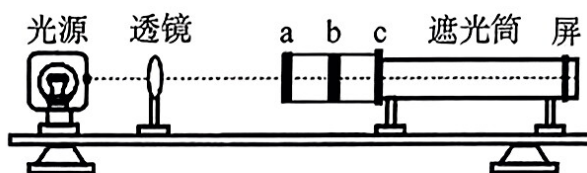
本部分共 6 题，共 58 分。

15. (8 分)

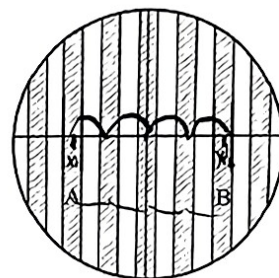
物理实验一般都涉及实验目的、实验原理、实验仪器、实验方法、实验操作、数据分析等。例如：

(1) “用双缝干涉测量光的波长”实验装置如图所示，光具座上 a、b、c 处放置的光学元件依次为\_\_\_\_\_。

- A. 滤光片 双缝 单缝
- B. 滤光片 单缝 双缝
- C. 单缝 滤光片 双缝
- D. 双缝 滤光片 单缝



(2) 某同学用测量头测量时，先将测量头目镜中看到的分划板中心刻度线对准亮条纹 A 的中心，记录手轮上的示数  $x_1$ ，然后他转动测量头，使分划板中心刻度线对准亮条纹 B 的中心，这时手轮上的示数是  $x_2$ ，若测得双缝与屏之间的距离为  $l$ ，双缝间距为  $d$ ，则对应光波的波长  $\lambda =$ \_\_\_\_\_。



(3) 实验室有一种可拆变压器，原线圈为 800 匝，副线圈有 400 匝、300 匝、200 匝三种规格，但标记不清，某同学选用一组副线圈，把原线圈连接学生电源，测量原线圈的输入电压  $U_1$  和副线圈输出电压  $U_2$ ，得到的数据如下表：

$U_1/V$	2.40	4.40	6.40	8.80	10.40
$U_2/V$	0.99	1.85	2.72	3.76	4.48

根据测量数据，可判断副线圈的匝数为\_\_\_\_\_。

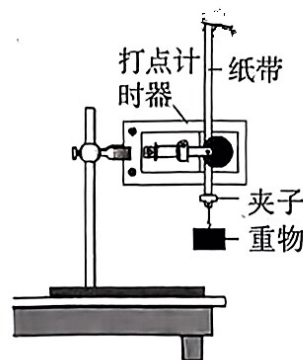
- A. 400 匝
- B. 300 匝
- C. 200 匝

请说明你的判断依据：\_\_\_\_\_。

16. (10 分)

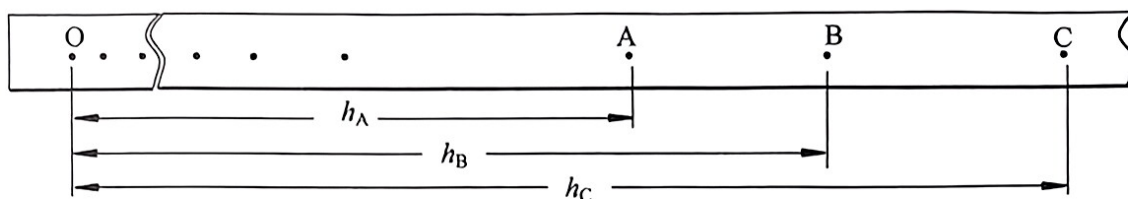
某实验小组利用实验室仪器“验证机械能守恒定律”。

(1) 甲组同学利用右图装置进行实验。实验中，先接通电源再释放重物，得到如图所示的一条纸带。在纸带上选取连续打出的 3 个点 A、B、C，测得 A、B、C 三个点到起始点 O 的距离分别为  $h_A = 12.60 \text{ cm}$ 、 $h_B = 15.92 \text{ cm}$ 、 $h_C = 19.62 \text{ cm}$ 。取当地重力加速度  $g$  为  $9.8 \text{ m/s}^2$ ，打点计时器所接电源的



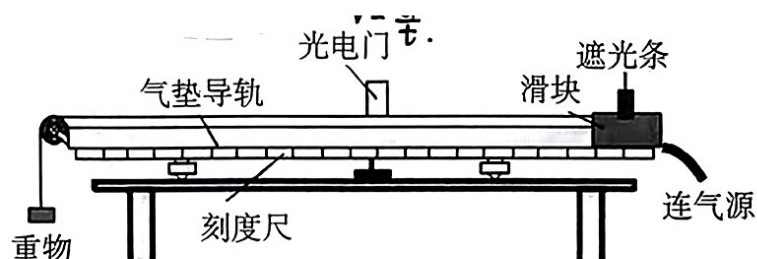


频率  $f = 50 \text{ Hz}$ 。重物的质量为  $m = 0.3 \text{ kg}$ ，则打点计时器打下 B 点时纸带的速度  $v_B = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m/s}$ ，从打下 O 点到打下 B 点过程中，重物重力势能减少量为  $\underline{\hspace{2cm}} \text{ J}$ ；由于阻力等因素的影响，重物的重力势能减少量  $\underline{\hspace{2cm}}$ （选填“大于”、“等于”“小于”）动能增加量。（结果均保留 3 位有效数字）



(2) 乙小组利用气垫导轨“验证机械能守恒定律”，实验装置如图所示。安装遮光条的滑块放置在带有刻度尺的气垫导轨上，滑块通过细绳和重物相连，遮光条宽度为  $d$ 。滑块经过光电门时，可以读出遮光条通过光电门的时间  $t$ 。将气垫导轨放在水平桌面上，导轨调至水平，使得连接滑块和重物的细绳处于水平状态，实验室可提供的器材还有天平，已知当地重力加速度为  $g$ 。

请你利用以上器材帮助乙小组设计“验证机械能守恒定律”的实验，简要说明实验思路 and 需要测量的物理量，并说明以上物理量应该满足的关系式。



### 17. (9 分)

如图所示，一圆盘在水平面内绕过圆盘中心的轴匀速转动，角速度是  $2.0 \text{ rad/s}$ 。盘面上距圆盘中心  $10 \text{ cm}$  的位置有一个质量为  $0.1 \text{ kg}$  的小物体随圆盘一起做匀速圆周运动。小物体与圆盘之间的动摩擦因数  $\mu = 0.4$ ，两者之间的最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。求：

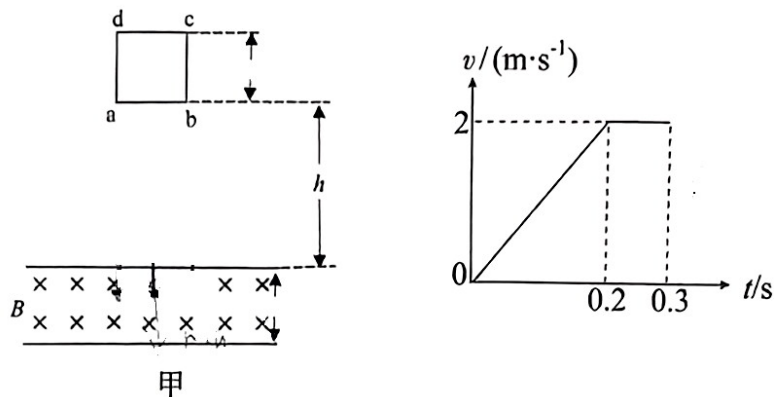
- (1) 小物体随圆盘匀速转动时所需向心力的大小  $F$ ；
- (2) 要使小物体在圆盘上不发生相对滑动，圆盘角速度的最大值  $\omega_m$ ；



- (3) 若圆盘由静止开始转动，逐渐增大圆盘的角速度，小物体从圆盘的边缘飞出，经过  $0.4 \text{ s}$  落地，落地点距飞出点在地面投影点的距离为  $40 \text{ cm}$ 。在此过程中，摩擦力对小物体所做的功  $W$ 。

18. (9分)

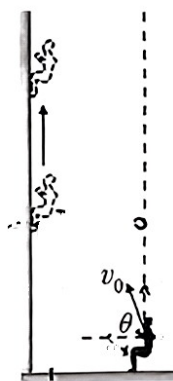
如甲图所示，有一边长  $l$  的正方形导线框  $abcd$ ，质量  $m = 0.01 \text{ kg}$ ，电阻  $R = 0.2 \Omega$ ，由高度  $h$  处自由下落，直到其上边  $cd$  刚刚开始穿出匀强磁场为止，导线框的  $v-t$  图像如乙图所示。此匀强磁场区域宽度也是  $l$ ，磁感应强度  $B = 1.0 \text{ T}$ ，重力加速度  $g$  取  $10 \text{ m/s}^2$ 。求：



- (1) 线框自由下落的高度  $h$ ；
- (2) 导线框的边长  $l$ ；
- (3) 某同学认为，增大磁场的磁感应强度  $B$ ，保持其它条件不变，导线框速度随时间变化图像与乙图相同，你是否同意该同学的说法，请分析说明。

19. (10分)

跑酷不仅可以强健体质，也可使得自身反应能力更加迅速。现有一运动员在图示位置起跳，运动过程姿势不变且不发生转动，到达墙面时鞋底与墙面接触并恰好不发生滑动，通过鞋底与墙面间相互作用可以获得向上的升力。已知运动员起跳时速度为  $v_0$ ， $v_0$  与水平方向夹角为  $\theta$ ，到达墙壁时速度方向恰好与墙面垂直，运动员鞋底与墙面的动摩擦因数为  $\mu$  ( $4\mu > \tan\theta$ )，最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度为  $g$ ，全过程忽略空气阻力影响。

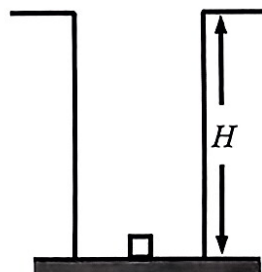


- (1) 求运动员起跳时的水平分速度  $v_x$  与竖直分速度  $v_y$ ；
- (2) 运动员与墙发生相互作用的时间为  $t$ ，蹬墙后速度竖直向上，不再与墙发生相互作用，求蹬墙后运动员上升的最大高度  $H$ ；
- (3) 若运动员蹬墙后水平方向速度大小不变，方向相反。为了能够到达起跳位置的正上方，且距离地面高度不低于蹬墙结束时的高度，求运动员与墙发生相互作用的最长时间  $t_m$ 。

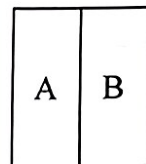
20. (12 分)

能量守恒定律是普遍、和谐、可靠的自然规律之一。根据能量守恒定律，物理学发现和解释了很多科学现象。

- (1) 经典力学中的势阱是指物体在场中运动，势能函数曲线在空间某一有限范围内势能最小，当物体处于势能最小值时，就好像处在井里，很难跑出来。如图所示，设井深为  $H$ ，若质量为  $m$  的物体要从井底至井口，已知重力加速度为  $g$ ，求外力做功的最小值  $W$ 。

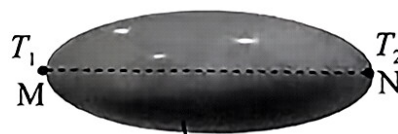


- (2) 金属内部的电子处于比其在外时更低的能级，电势能变化也存在势阱，势阱内的电子处于不同能级，最高能级的电子离开金属所需外力做功最小，该最小值称为金属的逸出功。如图所示，温度相同的 A、B 两种不同金属逸出功存在差异，处于最高能级的电子电势能不同，A、B 金属接触后电子转移，导致界面处积累正负电荷，稳定后形成接触电势差。已知 A 金属逸出功为  $W_A$ ，B 金属逸出功为  $W_B$ ，且  $W_A < W_B$ ，电子电荷量为  $-e$ 。



- a. 请判断界面处 A、B 金属电性正负；
- b. 求接触电势差  $U_{AB}$ 。

- (3) 同种金属两端由于温度差异也会产生电势差，可认为金属内部电子在高温处动能大，等效成电子受到非静电力作用往低温处扩散。如图有一椭球形金属，M 端温度为  $T_1$ ，N 端温度为  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ )，沿虚线方向到 M 端距离为  $L$  的金属内部单个电子所受非静电力大小  $F$  满足： $F = \mu \frac{\Delta T}{\Delta L}$ ，非静电力  $F$  沿虚线方向，比例系数  $\mu$  为常数，与垂直于温度变化方向的金属横截面积大小有关，电子电荷量为  $-e$ ，求金属两端的电势差  $U_{MN}$ 。



(考生务必将答案答在答题卡上，在试卷上作答无效)



北京市丰台区 2022—2023 学年度第二学期综合练习（一）

## 高三物理参考答案

2023.03

第一部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。

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

第二部分共 6 题，共 58 分。

15. (8 分)

- (1) B (2 分)      (2)  $\frac{x_2 - x_1}{4l}d$  (2 分)      (3) A (2 分)

理想变压器应满足  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ，由于变压器线圈通过电流时会发热，铁芯在交变磁

场作用下也会发热，交变电流产生的磁场不可能完全局限在铁芯内，因此实际测的副

线圈电压  $U_2$  小于理想变压器条件下的电压，即  $n_2 > n_1 \frac{U_2}{U_1}$ ，根据表中数据，仅有 400

匝的选项满足上述条件。 (2 分)

16. (10 分)

- (1) 1.76 m/s (2 分)， 0.468 J (2 分)， 大于 (2 分)

(2) 实验思路：在此实验装置中，重物和滑块运动时所受阻力很小，可以忽略不计，重物、滑块和遮光条组成的系统满足机械能守恒条件。从静止释放滑块，测出其经过光电门时的速度和重物下降的高度，重物下降的高度等于滑块移动的距离，求出重物重力势能的减少量和重物、滑块、遮光条的动能增加量，若二者相等，可验证机械能守恒。

需测量的物理量：重物质量  $m$ 、滑块和遮光条的总质量  $M$ ；滑块释放点到光电门的距

离  $l$ 。应满足的关系式： $mg l = \frac{1}{2}(M + m) \frac{d^2}{t^2}$  (4 分)

17. (9 分)

- (1) 由向心力公式： $F = m\omega^2 r$  得  $F = 0.04 \text{ N}$  (3 分)

(2) 当小物体的向心力等于最大静摩擦力时，即将发生相对滑动，此时圆盘的角速度最大

$$\mu mg = m\omega_m^2 r \quad \text{得 } \omega_m = 2\sqrt{10} \text{ rad/s} \quad (3 \text{ 分})$$

(3) 小物体飞出后做平抛运动, 由平抛运动规律  $v = \frac{x}{t}$

$$v = 1 \text{ m/s}$$

小物体由静止到飞出的过程中, 由动能定理  $W = \frac{1}{2}mv^2$

$$W = 0.05 \text{ J} \quad (3 \text{ 分})$$

18. (9分)

(1) 导线框下落  $h$  的过程中做自由落体运动  $h = \frac{1}{2}gt^2$

$$h = 0.2 \text{ m} \quad (3 \text{ 分})$$

(2) 导线框穿过磁场过程中合力为零

$$E = Blv \quad \dots\dots① \quad I = \frac{E}{R} \quad \dots\dots②$$

$$F_A = BIL \quad \dots\dots③ \quad F_A = mg \quad \dots\dots④$$

$$\text{联立①②③④由以上各式可得 } l = 0.1 \text{ m} \quad (3 \text{ 分})$$

(3) 不同意该同学的说法。

题中导线框释放后先做自由落体运动, 当  $ab$  边进入磁场后, 导线框所受重力与安培力大小相等, 导线框做匀速直线运动,  $v-t$  图像为与  $t$  轴平行的直线。

若增大磁感应强度, 导线框释放后仍然先做自由落体运动, 当  $ab$  边进入磁场

后, 由于安培力的表达式为:  $F_A = \frac{B^2 l^2 v}{R}$ , 所以导线框所受的安培力与重力大小不

等, 导线框不再做匀速直线运动, 因此  $v-t$  图像不可能与  $t$  轴平行。 (3分)

19. (10分)

解: (1) 水平方向分速度  $v_x = v_0 \cos \theta$ , 竖直方向分速度  $v_y = v_0 \sin \theta$  (3分)

(2) 设墙对运动员平均弹力大小为  $N$ , 平均最大静摩擦力为  $f$ , 蹬墙后运动员获得竖直向上的速度为  $v_H$ , 人质量为  $m$

设水平向右为正方向, 由动量定理得:  $Nt = 0 - (-mv_0 \cos \theta) \dots\dots①$

设竖直向上为正方向, 由动量定理得:  $ft - mgt = mv_H - 0 \dots\dots②$

$$\text{其中 } f = \mu N \dots\dots\dots ③$$

联立①②③式，得  $v_H = \mu v_0 \cos \theta - gt$

运动员蹬墙结束后竖直方向做匀减速直线运动至速度为零，由  $H = \frac{v_H^2}{2g}$

$$\text{得： } H = \frac{(\mu v_0 \cos \theta - gt)^2}{2g} \quad (5 \text{ 分})$$

(3) 设墙对运动员平均弹力大小为  $N'$ ，平均最大静摩擦力为  $f'$ ，蹬墙后运动员获得竖直向上的速度为  $v$ ，与墙发生相互作用的时间为  $t'$ ，人的质量为  $m$

设水平向右为正方向，由动量定理得：  $N't' = mv_0 \cos \theta - (-mv_0 \cos \theta) \dots\dots\dots ①$

设竖直向上为正方向，由动量定理得：  $f't' - mgt' = mv - 0 \dots\dots\dots ②$

$$\text{其中 } f' = \mu N' \dots\dots\dots ③$$

联立①②③式，得  $v = 2\mu v_0 \cos \theta - gt' \dots\dots\dots ④$

设运动员起跳位置离墙面水平距离为  $x$ ，到达墙面所需时间为  $t_1$ ，离墙后到达起跳位置正上方的运动时间为  $t_2$ 。

起跳后水平方向做匀速直线运动，得：  $x = v_x t_1 \dots\dots\dots ⑤$        $t_1 = \frac{v_0 \sin \theta}{g} \dots\dots\dots ⑥$

运动员离墙后水平方向做匀速直线运动，竖直方向做初速度为  $v$ ，加速度为  $g$  的匀变速直线运动，当竖直位移为 0 时，水平位移不小于  $x$ 。

根据上述分析，得：  $t_2 = \frac{2v}{g} \dots\dots\dots ⑦$        $v_x t_2 \geq x \dots\dots\dots ⑧$

联立④⑤⑥⑦⑧式：  $t' \leq \frac{v_0}{2g} (4\mu \cos \theta - \sin \theta)$

作用的最长时间为：  $t_m = \frac{v_0}{2g} (4\mu \cos \theta - \sin \theta) \quad (2 \text{ 分})$



20. (12分)

解：(1) 外力做功最小值为  $mgH$  (3分)

(2) a. 界面处 A 金属电子处于比 B 金属电子更高的能级，电子从 A 侧向 B 侧转移，A 金属侧带正电，B 金属侧带负电。

b. 金属两侧正负电荷在界面处激发的电场阻碍电子继续从 A 向 B 侧移动，最终达到平衡。设无穷远处电子电势能为 0，则初状态 A 侧电子能量为  $-W_A$ ，B 侧为  $-W_B$ ，末状态 A 侧界面电势为  $\varphi_A$ ，B 侧界面电势为  $\varphi_B$ ，界面两侧 A、B 电子能量相等：

$$-W_A + (-e\varphi_A) = -W_B + (-e\varphi_B) \cdots \cdots \textcircled{1}, \quad U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B \cdots \cdots \textcircled{2}$$

联立①②，得 A、B 间电势差为：

$$U_{AB} = \frac{1}{e}(W_B - W_A) \quad (4分)$$

(3) 由于  $\frac{\Delta T}{\Delta L}$  与垂直于温度变化方向的金属横截面积大小相关，在沿虚线方向取极短距

离  $\Delta L$ ，则非静电力做功为  $\Delta W = F\Delta L$ ，累加后可得：

$$W_F = \mu(T_2 - T_1) \cdots \cdots \textcircled{1}$$

根据电动势的定义式，可得：

$$E = \frac{W_F}{-e} \cdots \cdots \textcircled{2}, \quad W_F \text{ 为非静电力做功。断路状态下 MN 两端电势差大小数}$$

值上等于电动势。联立①②，可得金属两端电势差  $U_{MN}$  为：

$$U_{MN} = \frac{\mu(T_1 - T_2)}{e} \quad (5分)$$

(其他方法解答正确均得分)