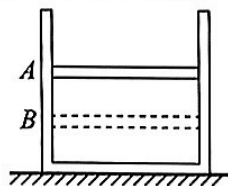


本试卷共8页，100分。考试时长90分钟。考生务必将答案答在答题卡上，在试卷上作答无效。考试结束后，将本试卷和答题卡一并交回。

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。

1. 如图所示，固定在水平地面上的汽缸内密封一定质量的理想气体，活塞处于静止状态。若活塞与汽缸的摩擦忽略不计，且气体与外界环境没有热交换。将活塞从 A 处缓慢地推至 B 处的过程中，下列说法正确的是



- A. 气体的内能保持不变  
B. 气体的内能逐渐增大  
C. 气体的压强保持不变  
D. 气体的压强逐渐减小

2. 正弦交变电源与电阻  $R$ 、理想交流电压表按照图 1 方式连接，已知电阻  $R=5.0\Omega$ ，交流电压表示数为  $10.0V$ 。图 2 是通过电阻  $R$  的电流  $i$  随时间  $t$  变化的图像。下列说法正确的是

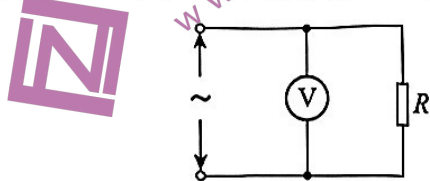


图 1

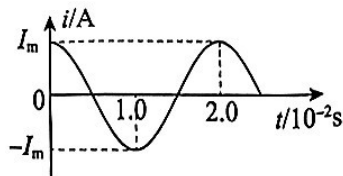


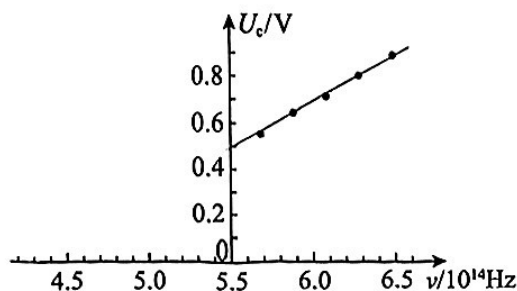
图 2

- A. 电阻  $R$  两端的电压  $u$  随时间  $t$  变化的规律是  $u=10\sqrt{2}\cos 50\pi t$  (V)  
B. 电阻  $R$  两端的电压  $u$  随时间  $t$  变化的规律是  $u=10\cos 100\pi t$  (V)  
C. 通过电阻  $R$  的电流  $i$  随时间  $t$  变化的规律是  $i=2\cos 50\pi t$  (A)  
D. 通过电阻  $R$  的电流  $i$  随时间  $t$  变化的规律是  $i=2\sqrt{2}\cos 100\pi t$  (A)

3. 关于电磁波的应用，下列说法正确的是

- A. 雷达可以利用反射电磁波定位，是因为其工作波段的电磁波衍射效应较为明显  
B. 移动电话选择微波作为工作波段，是因为微波比其它波段的电磁波的波速更快  
C. X 射线衍射能探测晶体内部原子的排列结构，是因为 X 射线的波长与原子间距相近  
D. 工程上用  $\gamma$  射线探测金属内部缺陷，是因为  $\gamma$  射线具有频率高、波动性强的特点

4. 如图所示为光电效应实验中某金属的遏止电压  $U_c$  与人射光的频率  $\nu$  的关系图像。已知元电荷  $e$ 。根据该图像不能得出的是



- A. 饱和光电流  
B. 该金属的逸出功  
C. 普朗克常量  
D. 该金属的截止频率

5. 物理课上，老师演示了一个实验：如图所示，水平粗糙木板上放置两个物块，其间有一个处于拉伸状态的弹簧。将木板抬至空中保持水平，两物块相对木板保持静止，然后将整个装置无初速释放，下落过程中可能观察到的现象是

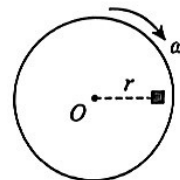


- A. 两物块依旧相对木板保持静止
- B. 两物块相对木板运动且彼此靠近
- C. 质量大的物块与木板保持相对静止，质量小的物块靠近质量大的物块
- D. 质量小的物块与木板保持相对静止，质量大的物块靠近质量小的物块

6. 关于做自由落体运动的物体，下列说法正确的是

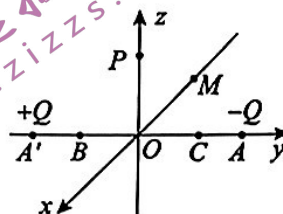
- A. 动能  $E_k$  随时间  $t$  变化的快慢  $\frac{\Delta E_k}{\Delta t}$  随时间均匀增大
- B. 动量  $p$  随时间  $t$  变化的快慢  $\frac{\Delta p}{\Delta t}$  随时间均匀增大
- C. 重力势能  $E_p$  随位移  $x$  变化的快慢  $\frac{\Delta E_p}{\Delta x}$  随时间均匀减小
- D. 机械能  $E$  随位移  $x$  变化的快慢  $\frac{\Delta E}{\Delta x}$  随时间均匀减小

7. 如图所示，圆盘可在水平面内绕通过  $O$  点的竖直轴转动（俯视），圆盘上距轴  $r$  处有一质量为  $m$  的物块（可视为质点）。某时刻起，圆盘开始绕轴转动，经过一段时间，其角速度从  $0$  增大至  $\omega$ 。已知物块与圆盘之间的动摩擦因数  $\mu$ 、重力加速度  $g$ ，该过程中物块始终相对圆盘静止，下列说法正确的是



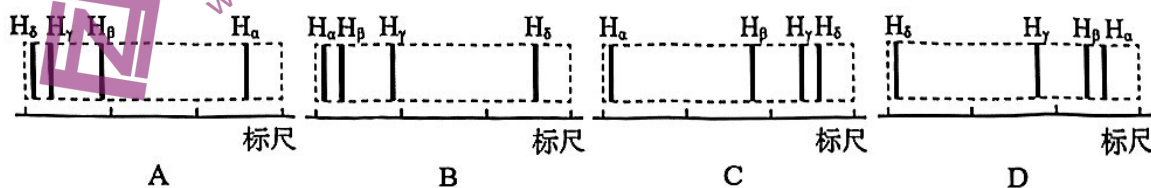
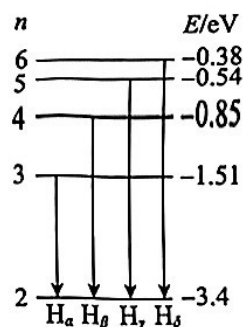
- A. 物块所受摩擦力的方向始终指向  $O$  点
- B. 物块所受摩擦力的大小始终为  $\mu mg$
- C. 物块所受摩擦力的冲量大小为  $m\omega r$
- D. 物块所受摩擦力做的功为  $0$

8. 如图所示，真空中两个等量异号的点电荷  $-Q$  和  $+Q$  分别位于  $A$  点和  $A'$  点，以  $AA'$  连线中点  $O$  建立空间直角坐标系  $O-xyz$ ， $B$ 、 $C$ 、 $M$ 、 $P$  是坐标轴上的 4 个点，其中  $BO=OC$ 。下列说法正确的是

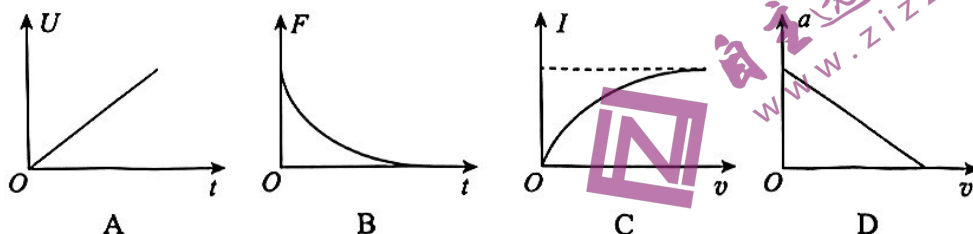
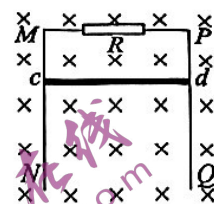


- A. 沿  $y$  轴从  $B$  点到  $C$  点电势先增大再减小
- B.  $B$ 、 $M$  两点间的电势差与  $M$ 、 $C$  两点间的电势差相等
- C.  $P$  点与  $O$  点的电场强度大小相等
- D.  $P$  点与  $M$  点的电场强度方向垂直

9. 氢原子在可见光区的 4 条特征谱线是玻尔理论实验基础。如图所示，这 4 条特征谱线（记作  $H_\alpha$ 、 $H_\beta$ 、 $H_\gamma$  和  $H_\delta$ ）分别对应着氢原子从  $n=3$ 、 $4$ 、 $5$ 、 $6$  能级向  $n=2$  能级的跃迁，下面 4 幅光谱图中，合理的是（选项图中长度标尺的刻度均匀分布，刻度值从左至右增大）

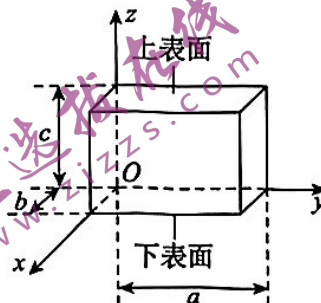


10. 如图所示,  $MN$  和  $PQ$  是竖直放置的两根平行光滑金属导轨, 导轨足够长且电阻不计,  $MP$  间接有一定值电阻  $R$ , 电阻为  $r$  的金属杆  $cd$  保持与导轨垂直且接触良好。杆  $cd$  由静止开始下落并开始计时, 杆  $cd$  两端的电压  $U$ 、杆  $cd$  所受安培力的大小  $F$  随时间  $t$  变化的图像, 以及通过杆  $cd$  的电流  $I$ 、杆  $cd$  加速度的大小  $a$  随杆的速率  $v$  变化的图像, 合理的是



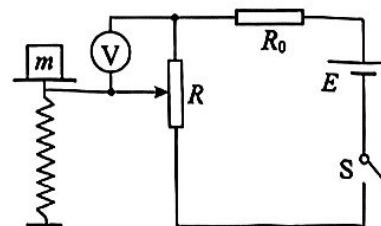
11. 在范围足够大的匀强磁场中, 静止在  $P$  点的  $^{14}_6\text{C}$  核发生一次  $\beta$  衰变, 衰变产生的  $^{14}_7\text{N}$  核与电子恰好在纸面内做匀速圆周运动。下列说法正确的是
- 该  $\beta$  衰变过程反映了  $^{14}_6\text{C}$  核中至少含有 1 个电子
  - 电子在磁场中做匀速圆周运动的半径较小
  - 电子与  $^{14}_7\text{N}$  核形成的等效电流可能均沿逆时针方向
  - 电子第一次回到  $P$  点时  $^{14}_7\text{N}$  核也恰好到达  $P$  点

12. 如图所示, 一块长为  $a$ 、宽为  $b$ 、高为  $c$  的长方体半导体器件, 其内载流子数密度为  $n$ , 沿  $+y$  方向通有恒定电流  $I$ 。在空间中施加一个磁感应强度为  $B$ 、方向沿  $-x$  方向的匀强磁场, 半导体上、下表面之间产生稳定的电势差  $U$ , 下列说法正确的是



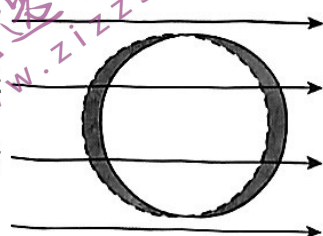
- 若载流子为负电荷, 则上表面电势高于下表面电势
- 仅增大电流  $I$ , 电势差  $U$  可以保持不变
- 半导体内载流子所受洛伦兹力的大小为  $\frac{IB}{nbc}$
- 半导体内载流子定向移动的速率为  $\frac{U}{aB}$

13. 如图所示为某小组设计的电子秤原理图。轻质托盘与竖直放置的轻弹簧相连。 $R_0$  为定值电阻, 滑动变阻器  $R$  的滑片与弹簧上端连接。当盘中没有放物体时, 滑片刚好位于滑动变阻器的最上端。该小组用理想电压表的示数  $U$  反映待测物体的质量  $m$ ; 用单位质量变化下, 电压表示数变化量的绝对值  $\left| \frac{\Delta U}{\Delta m} \right|$  描述电子秤的灵敏度。不计一切摩擦, 弹簧始终处于弹性限度内, 下列说法正确的是



- 仅更换阻值更大的定值电阻  $R_0$ , 电子秤灵敏度会下降
- 电子秤的灵敏度会随待测物体质量的增大而增大
- 弹簧的劲度系数越小, 电子秤的量程越大
- 电压表示数与待测物体质量成非线性关系

14. 等离子蒸汽发生器，是用一束光照射包含纳米银颗粒（可视为半径约 10.0nm 的球体，其中每个银原子的半径约 0.10nm）的水溶液时，纳米银颗粒吸收一部分光而升温，使其周围的水变成水蒸气，但整个水溶液的温度并不增加。该现象可解释为：如图所示，实线圆表示纳米银颗粒，电子均匀分布在其中。当施加光场（即只考虑其中的简谐交变电场）时，在极短时间内，可认为光场的电场强度不变，纳米银颗粒中的电子会整体发生一个与光场反向且远小于纳米银颗粒半径的位移，使电子仍均匀分布在一个与纳米银颗粒半径相同的球面内（虚线圆）。长时间尺度来看，纳米银颗粒中的电子便在光场作用下整体发生周期性集体振荡（等离子体振荡）而使光被共振吸收，导致纳米银颗粒温度升高。下列说法正确的是



- A. 一个纳米银颗粒中含有银原子的个数约  $10^2$  个
- B. 光场变化的频率应尽可能接近水分子振动的固有频率
- C. 在光场变化的一个周期内，光场对纳米银颗粒所做的总功为零
- D. 图示时刻，两球交叠区域（图中白色部分）中电场强度可能为零

### 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。

(1) 某同学用可拆变压器探究“变压器的电压与匝数的关系”。将图 1 中的零件组装成图 2 中的变压器。将原线圈接在交流电源上，将副线圈接在电压传感器（可视为理想电压表）上，观察到副线圈电压  $U_2$  随时间  $t$  变化的图像如图 3 所示，在保证安全的前提下，该同学可能在  $t_1 \sim t_2$  时间内进行的操作是\_\_\_\_\_。（选填选项前的字母）

- A. 减少了原线圈的匝数
- B. 增加了副线圈的匝数
- C. 降低了交流电源的频率
- D. 拔掉了变压器铁芯

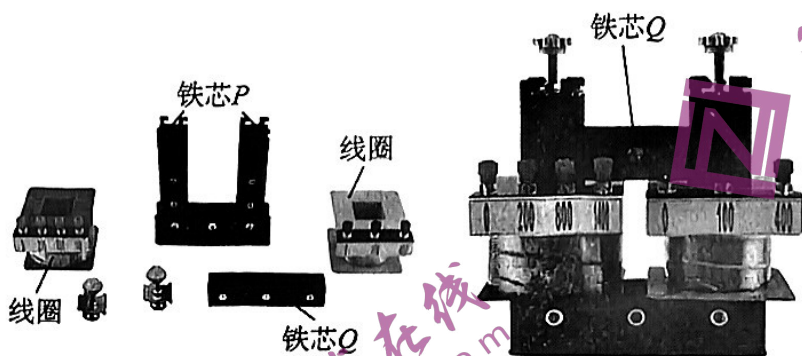


图 1

图 2

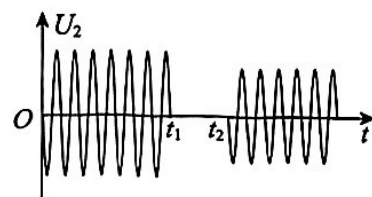
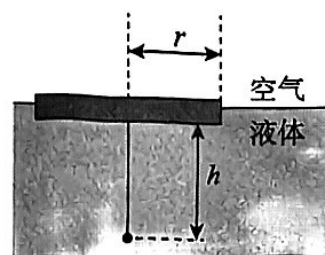
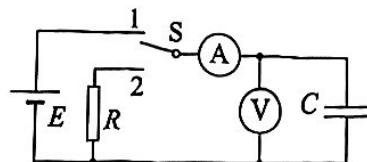


图 3

(2) 如图所示，取一个半径为  $r$  的软木塞，在它的轴心处插上一枚大头针，让软木塞浮在液面上。调整大头针插入软木塞的深度，使大头针露在外面的长度为  $h$ 。这时从液面上方的各个方向向液体中观察，恰好看不到大头针。可知该液体的折射率的测量值  $n = \underline{\hspace{2cm}}$ 。（用  $r$ 、 $h$  表示）



(3) 用图示电路给电容器  $C$  充、放电。开关  $S$  接通 1，稳定后改接 2，稳定后又改接 1，如此反复。下表记录了充、放电过程中某两个时刻通过电流表的电流方向，根据该信息，在表格内各空格处填上合理的答案。



时刻	通过电流表的电流方向	电流表中的电流正在增大还是减小	电容器两端的电压正在增大还是减小
$t_1$	向左		
$t_2$	向右		

16. (10分)

在“测量金属丝的电阻率”的实验中，某同学选择一根粗细均匀、阻值约为  $5\Omega$  的电阻丝进行了测量。

(1) 在测量了电阻丝的长度之后，该同学用螺旋测微器测量电阻丝的直径，测量结果如图 1 所示为 \_\_\_\_\_ mm。

(2) 现有电源（电动势  $E$  为  $3.0V$ ，内阻不计）、开关和导线若干，以及下列器材：

- A. 电流表（量程  $0\sim 0.6A$ ，内阻约  $0.2\Omega$ ）
- B. 电压表（量程  $0\sim 3V$ ，内阻约  $3k\Omega$ ）
- C. 滑动变阻器（ $0\sim 5\Omega$ ，额定电流  $2A$ ）
- D. 滑动变阻器（ $0\sim 200\Omega$ ，额定电流  $1A$ ）

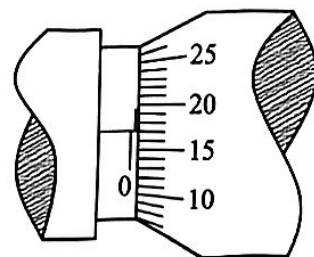


图 1

为减小误差，且电压调节范围尽量大，滑动变阻器应选 \_\_\_\_\_（选填器材前的字母）。然后补充完成图 2 中实物间的连线。

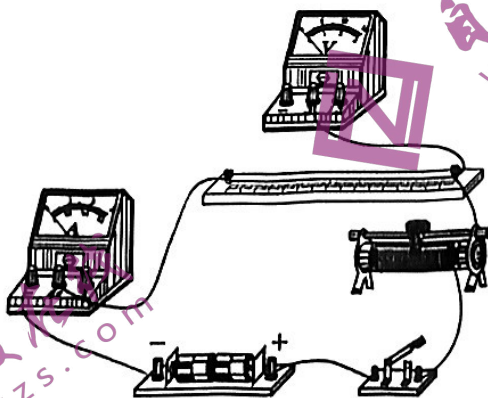


图 2

(3) 关于上述实验，下列说法正确的是 \_\_\_\_\_。（选填选项前的字母）

- A. 用螺旋测微器多次测量金属丝直径并取平均值可以减小系统误差
- B. 用电压 - 电流图像处理实验数据求金属丝电阻可以减小偶然误差
- C. 只考虑电表内阻引起的误差，电压表分流会导致电阻测量值偏小
- D. 只考虑电表内阻引起的误差，电流表分压会导致电阻测量值偏大

(4) 电导率是电阻率的倒数，用希腊字母  $\sigma$  表示，常用单位是西门子/厘米 ( $S/cm$ )，即  $1S/cm = 1(\Omega \cdot cm)^{-1}$ 。电导率是反映水质的一项重要指标。资料显示某种饮用水的电导率约为  $1.0 \times 10^{-3} S/cm$ 。将该饮用水灌入一个绝缘性能良好、高约  $12cm$ 、容积约  $240mL$  的薄壁塑料瓶 (如图 3 所示)，瓶的两端用两个略小于瓶底面积的固定金属圆片电极密封。请通过计算说明用图 2 中的实验器材能否较为精确的测量该饮用水的电导率。若能，请写出需要测量的物理量及对应的测量方法；若不能，请提出一种改进措施。

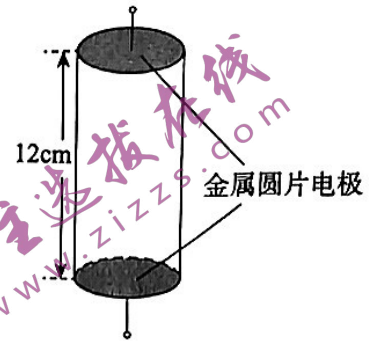


图 3

17. (9分)

设地球是质量分布均匀的半径为  $R$  的球体。已知引力常量  $G$ ，地球表面的重力加速度  $g$ ，忽略地球自转。

(1) 推导地球质量  $M$  的表达式。

(2) 推导地球第一宇宙速度  $v$  的表达式。

(3) 设地球的密度为  $\rho$ ，靠近地球表面做圆周运动的卫星的周期为  $T$ ，证明  $\rho T^2 = \frac{3\pi}{G}$ 。

18. (9分)

如图 1 所示，两平行金属板  $A$ 、 $B$  间电势差为  $U_1$ ，带电量为  $q$ 、质量为  $m$  的带电粒子，由静止开始从极板  $A$  出发，经电场加速后射出，沿金属板  $C$ 、 $D$  的中心轴线进入偏转电压为  $U_2$  的偏转电场，最终从极板  $C$  的右边缘射出。偏转电场可看作匀强电场，板间距为  $d$ 。忽略重力的影响。

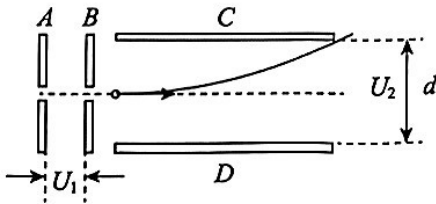


图 1



图 2

(1) 求带电粒子进入偏转电场时速度的大小  $v_0$ 。

(2) 求带电粒子离开偏转电场时动量的大小  $p$ 。

(3) 以带电粒子进入偏转电场时的位置为原点、以平行于板面的中心轴线为  $x$  轴建立平面直角坐标系  $xOy$ ，如图 2 所示。写出该带电粒子在偏转电场中的轨迹方程。

19. (10分)

电磁场，是一种特殊的物质。

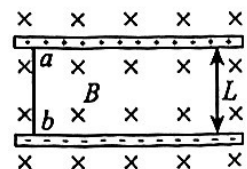
- (1) 电场具有能量。如图所示，原子核始终静止不动， $\alpha$  粒子先、后通过  $A$ 、 $B$  两点，设  $\alpha$  粒子的质量为  $m$ 、电荷量为  $q$ ，其通过  $A$ 、 $B$  两点的速度大小分别为  $v_A$  和  $v_B$ ，求  $\alpha$  粒子从  $A$  点运动到  $B$  点的过程中电势能的变化量  $\Delta E_p$ 。



- (2) 变化的磁场会在空间中激发感生电场。如图所示，空间中有圆心在  $O$  点、垂直纸面向里、磁感应强度为  $B$  的圆形匀强磁场，当空间中各点的磁感应强度随时间均匀增加时，请根据法拉第电磁感应定律、电动势的定义等，证明磁场内，距离磁场中心  $O$  点为  $r$  处的感生电场的电场强度  $E$  与  $r$  成正比。(提示：电荷量为  $q$  的电荷所受感生电场力  $F=qE$ )



- (3) 电磁场不仅具有能量，还具有动量。如图所示，两极板相距为  $L$  的平行板电容器，处在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中。磁场方向垂直纸面向里。将一长度为  $L$  的导体棒  $ab$  垂直放在充好电的电容器两极板之间（其中上极板带正电），并与导体板良好接触。上述导体棒  $ab$ 、平行板电容器以及极板间的电磁场（即匀强磁场、电容器所激发的电场）组成一个孤立系统，不计一切摩擦。求当电容器通过导体棒  $ab$  释放电荷量为  $q$  的过程中，该系统中电磁场动量变化量的大小  $\Delta p$  和方向。



20. (12分)

摆，是物理学中重要的模型之一。如图1所示，一根不可伸长的轻软细绳的上端固定在天花板上的O点，下端系一个摆球（可看作质点）。将其拉至A点后静止释放，摆球将在竖直面内的A、C之间来回摆动，其中B点为运动中的最低点。忽略空气阻力。

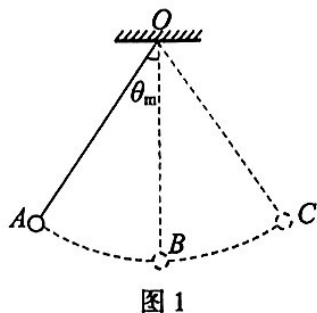


图1

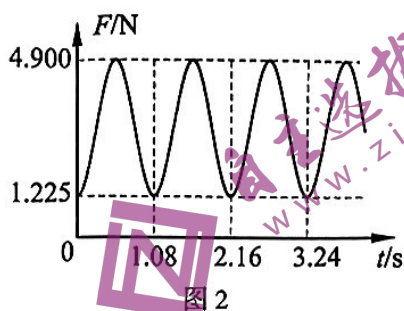


图2

(1) 图2所示为绳中拉力  $F$  随时间  $t$  变化的图线，求：

a. 摆的振动周期  $T$ 。

b. 摆的最大摆角  $\theta_m$ 。

(2) 摆角  $\theta$  很小时，摆球的运动可看作简谐运动。某同学发现他家中摆长为  $0.993\text{m}$  的单摆在小角度摆动时，周期为  $2\text{s}$ 。他又查阅资料发现，早期的国际计量单位都是基于实物或物质的特性来定义的，称为实物基准，例如质量是以一块  $1\text{kg}$  的铂铱合金圆柱体为实物基准。于是他想到可以利用上述摆长为  $0.993\text{m}$  的单摆建立“ $1\text{s}$ ”的实物基准。请判断该同学的想法是否合理，并说明理由。

(3) 小摆角单摆是较为精确的机械计时装置，常用来制作摆钟。摆钟在工作过程中由于与空气摩擦而带上一定的负电荷，而地表附近又存在着竖直向下的大气电场（可视为匀强电场），导致摆钟走时不准。某同学由此想到可以利用小摆角单摆估测大气电场强度：他用质量为  $m$  的金属小球和长为  $L$ （远大于小球半径）的轻质绝缘细线制成一个单摆。他设法使小球带电荷量为  $-q$  并做小角度振动，再用手机秒表计时功能测量其振动周期  $T$ ，已知重力加速度  $g$ ，不考虑地磁场的影响。

a. 推导大气电场强度的大小  $E$  的表达式。

b. 实际上，摆球所带电荷量为  $10^{-7}\text{C}$  量级，大气电场强度为  $10^2\text{N/C}$  量级，摆球质量为  $10^{-1}\text{kg}$  量级，手机秒表计时的精度为  $10^{-2}\text{s}$  量级。分析判断该同学上述测量方案是否可行。（提示：当  $|x| \ll 1$  时，有  $(1+x)^n = 1+nx$ ）



### 高三物理

2023.05

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。

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

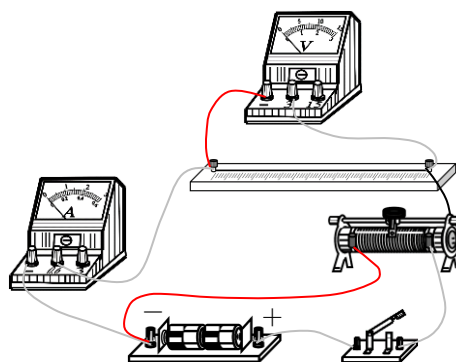
#### 第二部分

本部分共 6 题，共 58 分。

15. (1) D; (2)  $\frac{\sqrt{r^2 + h^2}}{r}$ ;

(3)

电流表中的电流正在增大还是减小	电容器两端的电压正在增大还是减小
减小	减小
减小	增大



答图 1

16. (1) 0~0.6 A; (2) CD 连线 见答图 1;

(3) BC;

(4) 由电阻定律和  $\sigma = 1/\rho$ , 可得塑料瓶中装满该饮用水后的电阻  $R = \frac{H}{\sigma V/H} \approx 600 \Omega$ ,

当该同学用上述装置进行检测时, 电路中最大电流  $I = E/R \approx 0.005 \text{ A}$ , 几乎无法使电流表指针发生偏转, 因此他不能用上述实验装置完成精确的测量。

改进措施: 换用电动势更大的电源及合适量程的电压表; 换用小量程电流表(微安表或毫安表); 换用横截面积更大且长度较小的容器装水(及合适的电极)等。

(其他合理答案亦可得分)

17. (1) 设静止在地面上的一个物体质量为  $m_1$ , 其所受重力等于地球对其的引力, 即

$$G \frac{M m_1}{R^2} = m_1 g$$

解得

$$M = \frac{g R^2}{G}$$

(2) 质量为  $m_2$  的物体, 在地表附近以第一宇宙速度环绕地球做匀速圆周运动时, 引力提供向心力, 即

$$G \frac{M m_2}{R^2} = m_2 \frac{v^2}{R}$$

将 (1) 中的  $M = \frac{g R^2}{G}$  代入, 解得

$$v = \sqrt{g R}$$

(3) 设该近地卫星的质量为  $m_3$ ，万有引力提供其做匀速圆周运动的向心力，即

$$G \frac{M m_3}{R^2} = m_3 \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

又根据地球的密度  $\rho = \frac{M}{4\pi R^2 / 3}$ ，联立以上二式可得

$$\rho T^2 = \frac{3\pi}{G}$$

18. (1) 对带电粒子从左极板由静止，经加速电场并进入偏转电场的过程，运用动能定理

$$qU_1 = \frac{1}{2} m v_0^2$$

解得

$$v_0 = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$$

(2) 设带电粒子进入和离开偏转电场时的速度分别为  $v_0$  和为  $v$ ，对带电粒子从进入偏转电场到离开偏转电场的过程，运用动能定理

$$q \times \frac{1}{2} U_2 = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{1}{2} m v_0^2$$

将  $v_0$  代入上式，解得

$$p = mv = \sqrt{mq(2U_1 + U_2)}$$

(3) 设带电粒子进入偏转电场时的速度为  $v_0$ ，加速度为  $a$ ，经过时间  $t$  后（未离开偏转电场），水平方向位移为  $x$ 、竖直方向位移为  $y$ ，根据运动学公式，可得

$$x = v_0 t$$

$$y = \frac{1}{2} a t^2$$

根据牛顿运动定律可知，带电粒子在偏转电场中的加速度

$$a = \frac{qU_2}{md}$$

将  $v_0 = \sqrt{\frac{2qU_1}{m}}$  和  $a$  代入  $x$  和  $y$  并消去时间  $t$ ，可得带电粒子的轨迹方程

$$y = \frac{U_2}{4U_1 d} x^2$$

19. (1) 设  $\alpha$  粒子从  $A$  运动到  $B$  的过程中，电场力对其做功为  $W$ ，根据动能定理，有

$$W = \frac{1}{2} m v_B^2 - \frac{1}{2} m v_A^2$$

又根据静电场力做功的特点

$$W = -\Delta E_p$$

可得

$$\Delta E_p = \frac{1}{2} m v_A^2 - \frac{1}{2} m v_B^2$$

- (2) 设想磁场内有一个垂直磁场方向放置的半径为  $r$  的圆形单匝导线，磁场变化时，根据法拉第电磁感应定律可知其中产生的感应电动势

$$E_{\text{感}} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \pi r^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$$

该感应电动势源于感生电场对电荷做功。由对称性可知，导线上任一点的感生电场的大小均相同、方向沿切线。设想该导线中一个电荷量为  $+q$  的粒子，沿该导线运动一周，感生电场对其做功

$$W = qE \times 2\pi r$$

根据电动势的定义，有

$$E_{\text{感}} = \frac{W}{q}$$

可得

$$E = \frac{1}{2} \frac{\Delta B}{\Delta t} r \propto r$$

- (3) 由题中条件可知，导体棒  $ab$ 、平行板电容器以及极板间的电磁场组成一个孤立系统的动量守恒，即系统的总动量变化量为 0，设水平向左为正方向，导体棒  $ab$  的动量变化量的大小为  $\Delta p_{ab}$ ，即

$$\Delta p_{\text{总}} = \Delta p + (-\Delta p_{ab}) = 0$$

电容器放电过程中，导体棒  $ab$  所受安培力  $F$  水平向右。设电容器释放电荷量  $q$  所用时间为  $\Delta t$ 、放电时的平均电流为  $I$ 。对导体棒  $ab$  运用动量定理，有

$$\Delta p_{ab} = F\Delta t = BL \times I\Delta t = BLq$$

因此，该系统中电磁场动量变化量的大小

$$\Delta p = BLq$$

方向为水平向左。（其他合理答案亦可得分）

20. (1) a.  $T=2.16\text{s}$ 。

- b. 设摆球质量为  $m$ 、摆长为  $L$ 。摆球经过最低点时速度为  $v$ ，此时绳中拉力最大，根据牛顿运动定律，有

$$F_{\text{max}} - mg = \frac{mv^2}{L}$$

摆球到达最高点时速度为 0，此时绳中拉力最小，根据牛顿运动定律，有

$$F_{\text{min}} - mg \cos \theta_m = 0$$

摆球从最高点到最低点的过程中，机械能守恒，因此有

$$mgL(1 - \cos \theta_m) = \frac{1}{2}mv^2$$

联立以上三式，可得

$$\frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{min}}} = \frac{3 - 2 \cos \theta_m}{\cos \theta_m}$$

代入数据，得

$$\cos \theta_m = \frac{1}{2}$$

所以

$$\theta_m = \arccos \frac{1}{2} = \frac{\pi}{3}$$

(2) 不合理。根据单摆周期公式  $T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$  可知，该方案中“1s”基准的选取，会因为地球上不同地方的重力加速度  $g$  一般不同，导致不同地方的“1s”不一样长。(其他合理答案亦可得分)

(3) a. 设大气电场的电场强度大小为  $E$ ，当摆球只在沿竖直方向的重力和电场力作用下运动时，其加速度为  $a$ ，由牛顿运动定律

$$mg - qE = ma$$

解得

$$a = g - \frac{qE}{m}$$

将  $a$  代入单摆周期公式，可得

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{a}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g - qE/m}}$$

解得

$$E = \frac{m}{q} \left( g - \frac{4\pi^2 L}{T^2} \right)$$

b. 由 (3) a 中的周期  $T$  的表达式，可得

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g - qE/m}} = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \left( 1 - \frac{qE}{mg} \right)^{-\frac{1}{2}}$$

设不考虑大气电场时单摆的固有周期  $T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ ，根据题中所给数据，

可知  $\frac{qE}{mg} \approx 10^{-5} \ll 1$ ，取  $n = -\frac{1}{2}$ 、 $x = -\frac{qE}{mg}$ ，代入公式  $(1+x)^n = 1+nx$ ，

可得

$$T = T_0 \left( 1 + \frac{qE}{2mg} \right) = (1 + 0.5 \times 10^{-5}) T_0$$

若取  $T_0 = 2\text{s}$ ，则 100 次全振动所用时间为  $t = 100T = (200 + 10^{-3})\text{s}$ ，与不考虑大气电场时相比，即使 100 次全振动的时间也只相差  $10^{-3}\text{s}$ ，依旧低于手机秒表的精度  $10^{-2}\text{s}$ ，因此该同学的上述测量方案不可行。(其他合理答案亦可得分)