

# 2023 北京清华附中高三 9 月月考

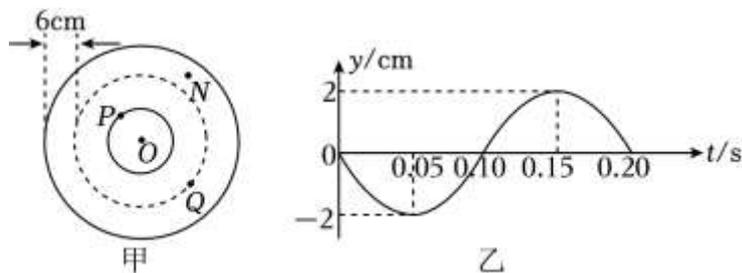
## 物 理

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，请你选出正确选项。

1. 2020 年 11 月 10 日，我国“奋斗者”号载人潜水器在马里亚纳海沟成功坐底，坐底深度 10909m。“奋斗者”号照片如图所示，下列情况中“奋斗者”号一定可视为质点的是（ ）



- A. 估算下降总时间时  
B. 用推进器使其转弯时  
C. 在海沟中穿越窄缝时  
D. 科学家在其舱内进行实验时
2. 波源 O 垂直于纸面做简谐运动，所激发的横波在均匀介质中沿纸面向四周传播。图甲为该简谐波在  $t=0.10\text{s}$  时的俯视图，实线圆表示波峰，虚线圆表示波谷，相邻两个实线圆之间仅有 1 个虚线圆。该介质中某质点的振动图像如图乙所示，取垂直纸面向外为正方向。下列说法正确的是（ ）



- A. 该波的波速为  $30\text{cm/s}$   
B. 图甲中质点 P 和 Q 的相位差为  $\frac{\pi}{2}$   
C. 图甲中质点 N 在该时刻速度方向垂直纸面向里  
D. 图乙可能是质点 N 的振动图像
3. 宇宙射线中的中子被空气中的氮核俘获会生成具有放射性的碳 14，碳 14 又可衰变为氮 14，由于这两个过程的进行，地表处碳 14 是恒定的，因此在活的动植物体内碳 14 的含量有一定的比例，动植物死亡后不再吸收碳，碳 14 的含量随着时间减少。活着的有机体中，碳 14 对碳 12 的比与大气中是相同的，约为  $1:(7.7 \times 10^{11})$ 。有机体死亡后，由于碳 14 的  $\beta$  衰变，其含量就不断减少。因此，考古人员测量出土古

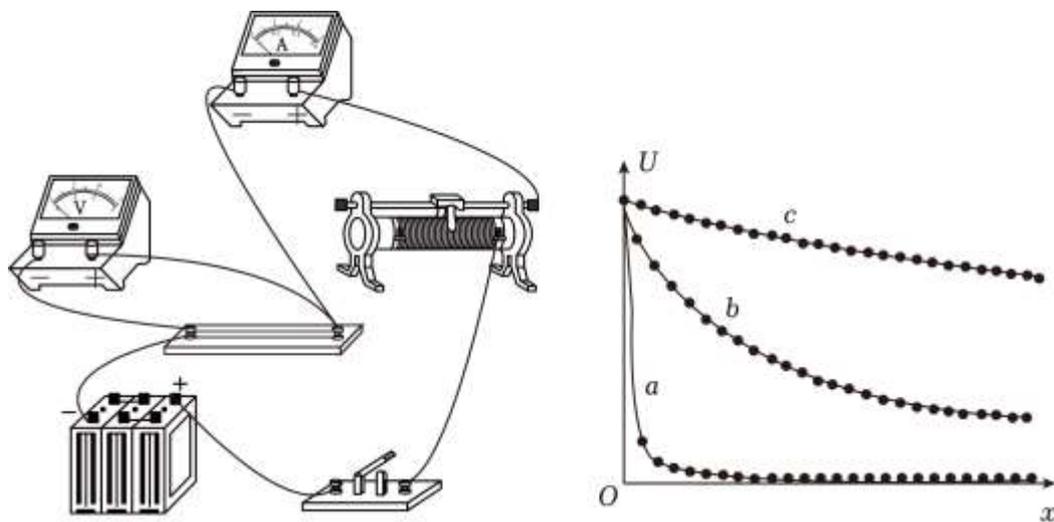
生物体遗骸中每 1g 碳中现有的碳 14 含量，就可以根据碳 14 的半衰期 ( $t=5730$  年) 推知该生物体的死亡年代。现测知某一古墓中 1g 碳中所含碳 14 为  $1.2 \times 10^{-12}$ g，试估测墓主大约是多少年前死亡的 ( )

- A. 约七十年      B. 约七百年      C. 约七千年      D. 约七万年

4. 湖北武当山的主峰天柱峰屹立着一座光耀百里的金殿，全部为铜铸鎏金。雷雨交加时，金殿的屋顶常会出现盆大的火球，来回滚动。雨过天晴时，大殿金光灿灿，像被重新洗炼过一般，这就是人们所说的“雷火炼殿”。已知电场强度超过  $3.0 \times 10^6$ V/m 时，空气将被击穿发生放电。关于“雷火炼殿”，下列说法错误的是 ( )

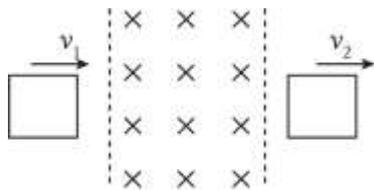


- A. 带电乌云移到金殿上空时，乌云与金殿顶部之间会存在电势差  
 B. 雷雨天气时，游客躲在殿内，可以降低被雷电击中的可能性  
 C. 雷雨天气时，金殿屋顶上曲率半径越大的地方，空气越容易被击穿  
 D. 近年来金殿安装了避雷针，“雷火炼殿”的奇观消失了
5. 为研究滑动变阻器对实验的影响，某同学选择限流电路后，分别用最大阻值是  $10\Omega$ 、 $100\Omega$ 、 $10000\Omega$  的三种滑动变阻器做限流电阻。当滑动变阻器的滑片由一端向另一端移动的过程中，根据实验数据，分别做出电压表读数  $U$  随滑片移动距离  $x$  的关系曲线  $a$ 、 $b$ 、 $c$ ，如图所示。该同学希望待测电阻两端电压需要有较大的调节范围，同时操作还要尽量方便，则 ( )



- A. 最大阻值为  $10000\Omega$  的滑动变阻器做实验得到的图线是  $a$ ，应选用  $a$  对应的滑动变阻器  
 B. 最大阻值为  $10000\Omega$  的滑动变阻器做实验得到的图线是  $a$ ，应选用  $b$  对应的滑动变阻器  
 C. 最大阻值为  $10000\Omega$  的滑动变阻器做实验得到的图线是  $b$ ，应选用  $b$  对应的滑动变阻器  
 D. 最大阻值为  $10000\Omega$  的滑动变阻器做实验得到的图线是  $c$ ，应选用  $a$  对应的滑动变阻器
6. 定义“另类加速度”  $A = \frac{\Delta v}{\Delta x}$ ， $A$  不变的运动称为另类匀变速运动。若物体运动的  $A$  不变，则称物体做

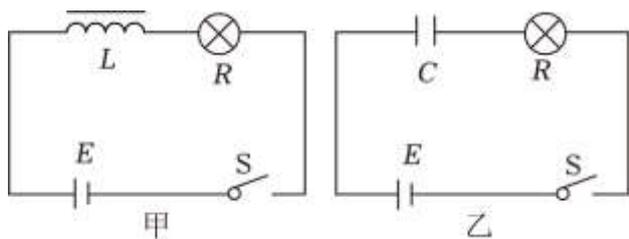
另类匀变速运动。如图所示，光滑水平面上一个正方形导线框以垂直于一边的速度穿过一个匀强磁场区域（磁场宽度大于线框边长）。导线框电阻不可忽略，但自感可以忽略不计。已知导线框进入磁场前速度为  $v_1$ ，穿出磁场后速度为  $v_2$ 。下列说法中正确的是（ ）



- A. 线框在进入磁场的过程中，做匀变速运动
- B. 线框在进入磁场的过程中，其另类加速度  $A$  是变化的
- C. 线框完全进入磁场后，在磁场中运动的速度为  $\frac{v_1+v_2}{2}$
- D. 线框完全进入磁场后，在磁场中运动的速度为  $\sqrt{\frac{v_1^2+v_2^2}{2}}$



7. 类比是一种常用的研究方法。在研究雨滴下落的问题时，我们建立如下的力学模型：假定质量为  $m$  的雨滴受到的空气阻力  $f \propto v$ ，比例系数为  $k$ ，由静止下落的雨滴将做变速运动。取雨滴刚要下落的瞬间为  $t=0$ ，为了研究速度  $v$  与时间  $t$  的函数关系  $v=v(t)$ ，可以列出牛顿第二定律： $ma=mg - kv$ ，即速度  $v$  总满足： $m \frac{\Delta v}{\Delta t} + kv = mg$ 。在研究自感现象时，电动势为  $E$ 、内阻可忽略不计的直流电源与电阻为  $R$  的小灯泡、自感线圈  $L$  连成闭合回路，如图甲所示。取开关刚闭合的瞬间为  $t=0$ ，为了研究电路中的电流  $i$  与时间  $t$  的函数关系  $i=i(t)$ ，也可以根据自感电动势满足的规律列出下列方程： $L \frac{\Delta i}{\Delta t} + iR = E$ 。两个方程形式类似，这说明  $v(t)$  函数与  $i(t)$  函数都遵循相似的数学规律。因此就可以通过我们熟悉的雨滴下落过程中的一些结论来研究自感现象。根据以上材料，判断下列说法中错误的是（ ）



- A. 雨滴下落的过程中， $t=0$  时  $v=0$ ；在图甲所示的电路中， $t=0$  时  $i=0$
- B. 雨滴下落的过程中，最大速度  $v_m = \frac{mg}{k}$ ；在图甲所示的电路中，最大电流  $i_m = \frac{E}{R}$
- C. 雨滴下落的过程中，随着速度不断增大，加速度不断减小；在图甲所示的电路中，随着电流不断增大，电流随时间的变化率不断减小
- D. 图乙所示的电路只是把图甲中的自感线圈  $L$  换成电容  $C$ ，其他条件都不变，则电容器两端的电压与时间  $t$  的函数关系  $u=u(t)$  也满足如下方程： $\frac{C}{R} \cdot \frac{\Delta u}{\Delta t} + u = E$

8. 量子通信和量子计算最近取得了较大进展，也受到了社会的广泛关注。我国在量子信息领域处于世界领先地位。2016年8月，我国的量子卫星“墨子号”发射成功，为实现远距离量子通信提供了有利条件。

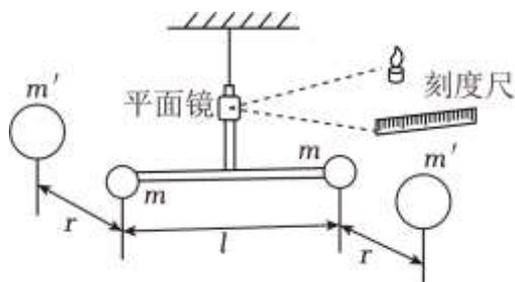
2020年3月，我国科学家创造了509公里光纤量子通信新纪录。2020年12月，中国科学技术大学宣布该校潘建伟等人成功构建76个光子的量子计算原型机“九章”，这一突破使我国成为全球第二个实现“量子优越性”的国家。量子通信和量子计算都用到了量子力学里有趣的“量子纠缠”现象。该理论认为，若两个有量子特性的微观粒子在相互作用后，共同处于一个确定的量子态上，其性质就可以用一个统一的波函数描述。如果观察者对其中一个进行测量后，可以立即对另一个的状态做出推测。一对处于纠缠态的微观粒子，即使分离很远的空间距离，只要它们都不与周围其他粒子发生相互作用，那么这对粒子将一直处于纠缠态。请根据以上材料，判断下列说法错误的是（ ）



- A. 在宏观世界，不容易观察到量子纠缠现象，是因为粒子容易与环境发生相互作用，导致纠缠很快消失
- B. 借助于量子通信，可以帮人们实现超光速的信息传递
- C. 使用量子卫星进行通信，可以有效减少光子在传播时穿过的大气层的厚度，从而减少大气层带来的不利影响
- D. “九章”之所以取得比经典计算机快得多的运算速度，是因为量子计算机运行时用到了波函数的叠加和干涉

**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，选对但选不全得2分，有选错的得0分。**

(多选) 9. (4分) 在牛顿发现万有引力定律100多年以后的1789年，英国物理学家卡文迪许巧妙运用如图所示的扭秤装置，第一次在实验室比较精准的测出了引力常量G。坚固的T形支架倒挂在石英丝的下端，当石英丝发生扭转形变时的扭转力矩  $M_k = k\theta$ 。T形支架两端各固定一个质量为m的小球，两个小球与对应大球的连线与杆垂直，且在水平面内。竖直部分固定一个小平面镜。实验时，两个质量为m'的大球分别置于两个小球附近，它们跟小球间的距离都为r，水平杆的长度为l。下列说法正确的是（ ）

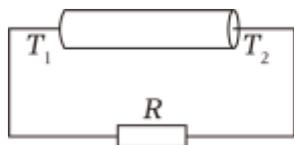


- A. 最终稳定时，石英丝旋转过的角度与r成反比
- B. 对于任意参考点来说，两个万有引力的合力矩的大小和方向都相同
- C. 此实验灵活的运用了放大微小量的思想



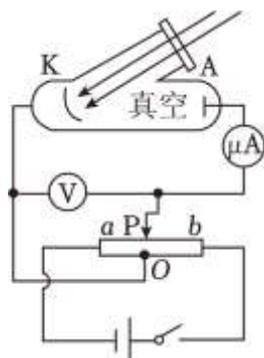
D. 为了减小实验误差，T形支架的质量应该尽量大一些

(多选) 10. (4分) 金属中的自由电子好像气体一样，当温度不均匀时会在金属棒内部产生热扩散。热扩散作用等效于一种非静电力，它在棒内能形成一定的电动势，称为汤姆逊电动势。如图所示，金属左侧连接高温热源，保持温度为  $T_1$ ，右侧连接低温热源，保持温度为  $T_2$  ( $T_1 > T_2$ )。这相当于一个电源。则 ( )



- A.  $T_1$  端相当于电源的正极， $T_2$  端相当于电源的负极
- B.  $T_2$  端相当于电源的正极， $T_1$  端相当于电源的负极
- C. 该电源是把内能转化为电能的装置
- D. 当该电源放电时，非静电力对电子做正功

(多选) 11. (4分) 如图是研究光电效应的实验装置，O 点是滑动变阻器的中点，变阻器阻值随滑片位置均匀变化。用某单色光照射时，能够发生光电效应。若电源电动势为 20V，内阻不计。滑动变阻器长为 10cm，当滑片 P 距离 a 端 4cm 时，微安表示数恰为 0，则 ( )



- A. 当滑片 P 从此位置向左滑动时，微安表有电流
- B. 当滑片 P 从此位置向右滑动时，微安表有电流
- C. 光电子最大初动能为  $2eV$
- D. 光电子最大初动能为  $8eV$



(多选) 12. (4分) 在晴朗的夜晚，把相机固定在合适的位置，将各个时刻的星空照片持续拍摄下来，后期处理时，将这些照片重叠合放在一起，就可以观察到星星们划过夜空的轨迹，这就是星轨图。已知地轴的延长线通过北极星附近。如图，是在北京拍摄的星轨图。关于星轨图，下列说法正确的是 ( )



- A. 星星在夜空中留下圆形轨道，表明一切天体都围绕地球旋转，地球是宇宙的中心

- B. 把所有星星的星轨图补充完整，会近似得到一系列同心圆，其圆心在北极星附近
- C. 若同一天在南京拍摄，则同一颗星星的星轨半径几乎不变
- D. 测得某星星的圆弧形星轨对应的圆心角为  $10^\circ$ ，则该照片连续拍摄的时间约为 20 分钟

**三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。**

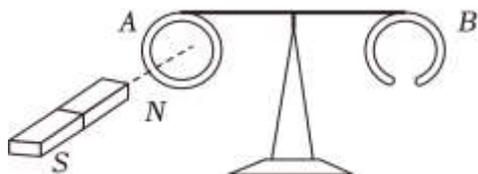
13. (10 分) 为了验证楞次定律，老师把很轻的薄铝环 A、B 分别吊在绝缘细杆的两端，杆可绕中间竖直轴在水平面内转动，环 A 是闭合的，环 B 是断开的。

(1) 老师用磁铁极分别接近和远离这两个圆环，发现 \_\_\_\_\_。

- A. 磁铁 N 极接近 A 环时，A 环被吸引，而后被推开
- B. 磁铁 N 极远离 A 环时，A 环被排斥，而后随磁铁运动
- C. 用磁铁 N 极接近 B 环时，B 环被推斥，远离磁铁运动
- D. 用磁铁的任意一磁极接近 A 环时，A 环均被排斥

(2) 甲同学想重复这个实验，他没有找到铝环，于是想用铁环替代，请问这样做是否可以 \_\_\_\_\_？为什么 \_\_\_\_\_。

(3) 乙同学把一个较厚的铝条弯成带缺口的铝环，缺口很窄，替换原有的环 B，调整平衡后，用一块磁性很强的磁铁靠近有缺口的铝环，发现铝环被微微推开了一小段距离，试解释其中的原因 \_\_\_\_\_。



14. (10 分) (1) 用如图 1 所示的多用电表测量电阻，要用到选择开关 K 和两个部件 S、T。

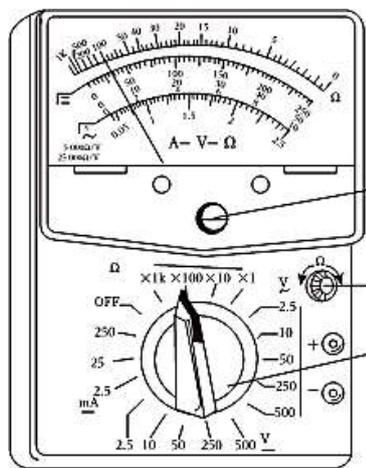


图 1

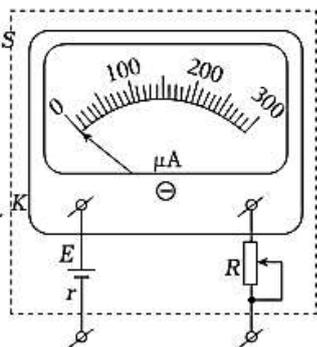


图 2



图 3



① 请将以下测量步骤补充完整：

- a. 旋动部件 \_\_\_\_\_，使指针对准电流的“0”刻线。
- b. 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 100$ ”的位置。
- c. 将插入“+”、“-”插孔的表笔短接，旋动部件 \_\_\_\_\_，使指针对准电阻的 \_\_\_\_\_（填“0 刻线”或“ $\infty$  刻线”）。

②将两表笔分别与待测电阻相接，发现指针偏转角度过小。为了得到比较准确的测量结果，请从下列选项中挑出合理的步骤，并按 \_\_\_\_\_ 的顺序进行操作，再完成读数测量。

- A. 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 1k$ ”的位置
- B. 将 K 旋转到电阻挡“ $\times 10$ ”的位置
- C. 将两表笔的金属部分分别与被测电阻的两根引线相接
- D. 将两表笔短接，旋动合适部件，对电表进行校准

(2) 图 2 为表头改装欧姆表的原理示意图。表头的量程为  $I_g=300\mu A$ ，内阻为  $R_g=500\Omega$ ，电源电动势  $E=3V$ ，内阻为  $r=2.0\Omega$ ，R 为变阻器，最大阻值为  $10k\Omega$ 。

①由上述条件可知，改装后该表盘的正中央所标记的待测电阻阻值应为 \_\_\_\_\_  $\Omega$ ，若该表盘正中央刻线标记数字为  $10\Omega$ ，则按上述方式直接改装得到的应是该欧姆表的 \_\_\_\_\_ 挡（填写“ $\times 1k$ ”、“ $\times 100$ ”、“ $\times 10$ ”或“ $\times 1$ ”）。

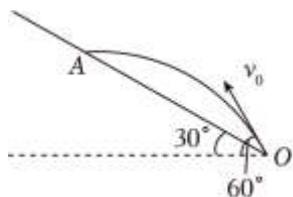
②若通过改变欧姆表内部电源的电动势来更换挡位，则要得到“ $\times 10$ ”挡，需将电源电动势调整至 \_\_\_\_\_ V。

③此欧姆表使用一段时间后，电源内阻明显增大，电动势不变，但仍可进行欧姆调零。此时用欧姆表测电阻，将会导致测量值 \_\_\_\_\_（填写“偏大”、“偏小”或“无影响”）。

④如图 3 所示，发光二极管是电子线路中常用的元件，一般作为指示灯使用。其“长脚”为正极，“短脚”为负极。当电流正向流经发光二极管时（从正极流入），其电阻较小，可以发光。现利用欧姆表测量发光二极管电阻，发现二极管可以发光，则可知红表笔连接二极管的 \_\_\_\_\_（填写“长脚”或“短脚”）。

15. (10 分) 如图所示，山脚下有一个迫击炮，炮弹的发射角  $\alpha=60^\circ$ ，发射速率为  $150m/s$ ，炮弹击中倾角  $\theta=30^\circ$  的山坡上的目标。g 取  $10m/s^2$ ，忽略一切阻力。

- (1) 若以 O 点为坐标原点，水平向左为 x 轴正方向，竖直向上为 y 轴正方向，求炮弹的轨迹方程；
- (2) 求炮弹着地点到发射点的距离 OA。



16. (10 分) 能量是物理学中的重要概念，从能量角度切入，可以帮我们更深入地理解问题。在电路这一章的学习中尤其如此。在电路中，电能转化为其他形式能的过程就是电流做功的过程，电流做功本质上是导体中恒定电场的电场力对定向移动的自由电荷做功。如图 1 所示，截取某段电路，其两端 A、B 之间的电压为 U，电路中电流为 I，A 和 B 之间接有电用电器，电路状态稳定，电荷分布不随时间变化。已知电子的带电量为  $-e$ 。

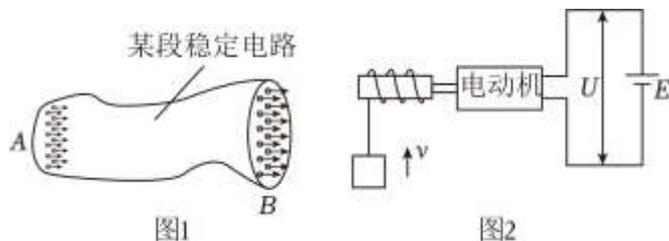
(1) 电场力对自由电荷做功，驱使自由电荷定向移动形成电流，进而使用电器工作。用电器消耗的电能即为自由电荷减少的电势能。请从这一角度证明：用电器消耗电能的功率为  $P=UI$ 。

(2) 若 A、B 之间接入了具有内阻的电动机，如图 2 所示。

a.请从能量转化的角度证明： $U > Ir$ ，其中  $r$  为电动机的内阻。

b.若电动机由电动势  $E=15V$  的电源驱动，当电动机以  $v=2m/s$  的恒定速度向上提升质量为  $4kg$  的重物时，电动机两端电压  $U=12V$ ，电路中的电流强度  $I=10A$ 。不计各处摩擦及导线的电阻， $g$  取  $10m/s^2$ 。求电源的效率和发电机的内阻。

(3) 该同学用电动机提升某重物，由于牵引力太小，根本拉不起来，他用手摸电动机，发现电动机很烫，试解释其中的原因。



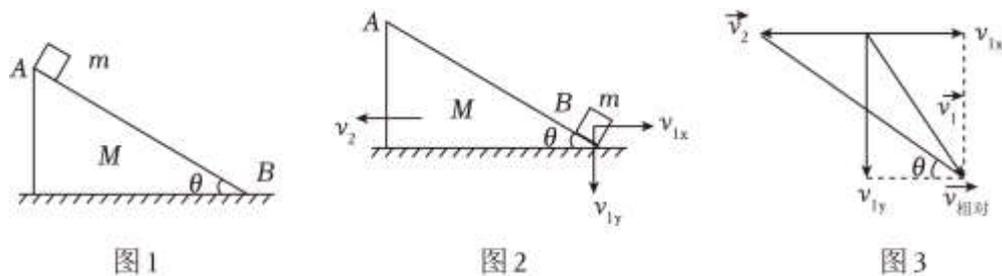
17. (10分) 如图 1 所示，光滑斜劈  $AB$  两端的距离为  $l$ ，质量为  $M$ 、倾角为  $\theta$ ，放置在光滑水平地面上。斜劈上端  $A$  点处放置质量为  $m$  的物块， $m$  可视为质点。现将  $m$  由静止释放，它将沿斜劈下滑，同时斜劈  $M$  也将向左运动。小明同学想计算物块滑到  $B$  端所需要的时间。

(1) 他认识到，虽然  $m$  沿斜面  $AB$  下滑，但是由于斜面本身也在运动，因此  $m$  的速度与水平方向的夹角并不等于  $\theta$ 。设  $m$  滑到底端时，速度的水平分量为  $v_{1x}$ 、竖直分量为  $v_{1y}$ ， $M$  的速度为  $v_2$ ，如图 2 所示。为了分析物块和斜劈速度的关系，小明先把  $v_{1x}$  和  $v_{1y}$  合成得到  $m$  的速度  $\vec{v}_1$ ，然后把  $\vec{v}_1$  和  $\vec{v}_2$  做矢量差，得到  $m$  相对  $M$  的速度  $\vec{v}_{相对}$ ，如图 3 所示。由于  $m$  相对于  $M$  沿着斜面  $AB$  下滑，因此  $\vec{v}_{相对}$  与斜面的方向相同，即与水平方向的夹角为  $\theta$ 。请据此写出  $v_{1x}$ 、 $v_{1y}$  和  $v_2$  应满足的关系。

(2) 请你帮小明求出  $m$  到达  $B$  端时， $m$  速度的大小  $v_1$  和  $M$  速度的大小  $v_2$ 。

(3) 为了求出物块从  $A$  到  $B$  运动的时间，小明认为，只求出速度还不够，还应该分析位移。他选取更易分析的  $M$  为研究对象，发现分析其位移时，可以借鉴老师讲过的“人船模型”。请你帮他求出当  $m$  到达  $B$  端时， $M$  运动的距离  $x_2$ 。

(4) 求出  $M$  做匀加速直线运动的加速度  $a_2$  的大小，并求出  $m$  从  $A$  滑到  $B$  所经历的时间  $t$ 。



18. (10分) 带电粒子间的电磁力是自然界四大基本相互作用力之一，电力和磁力是这一相互作用的两个部分，一个电磁相互作用是电现象还是磁现象，在很大程度上取决于研究问题所选取的参考系。在一个参考系中观察到的磁现象，换一个参考系观察，可能就是电现象。这体现了电场和磁场是不可割裂的一个整体。电磁场的参考系变换，可以帮我们更好的理解并解决问题。

(1) 如图 1 所示，空间中存在垂直于纸面的匀强磁场，其大小为  $B$ ，一带电粒子以垂直于磁场的速度  $v$  水平向右射入磁场。则粒子会受到洛伦兹力的作用。若此时在与粒子运动速度相同的惯性参考系  $\Sigma'$  中

观察，则粒子静止，静止的带电粒子不会受到洛伦兹力的作用。那么应该怎样解释它受到的力呢？原来在 $\Sigma'$ 中，由于磁场的运动，会观察到一个与磁场方向垂直的感生电场，请你求出该电场的大小和方向；

(2) 如图 2 所示，金属圆环被固定在竖直平面内（不能转动和平动），一个条形磁铁以匀速  $v$  靠近圆环，则圆环中会产生感应电动势。这一电动势有两种理解方式：在地面参考系 $\Sigma$ 中观察，圆环中的磁通量发生变化，因此圆环上存在感生电动势；若在与磁铁运动速度相同的惯性系 $\Sigma'$ 中观察，则系统变为圆环切割磁感线产生动生电动势。两个参考系下观察到的电动势应该完全相同。请分析，在参考系 $\Sigma$ 和参考系 $\Sigma'$ 中分别是什么力充当电动势中的非静电力？

(3) 某同学在面对这样一个问题时遇到了困难：在一个真空环境中，有一条载有电流  $I$  的、电阻很小的长直导线，已知电流在距离导线  $r$  处产生的磁感应强度  $B = \frac{kI}{r}$ ， $k$  为已知常数。初速度为  $v_0$  的电子在与导线垂直距离为  $r_0$  的初位置处开始垂直于导线向导线运动，如图 3 所示。已知电子运动过程中与导线的最短距离为  $\frac{r_0}{2}$ ，求电子初速度的大小。（不考虑地磁场影响，电子重力忽略不计）

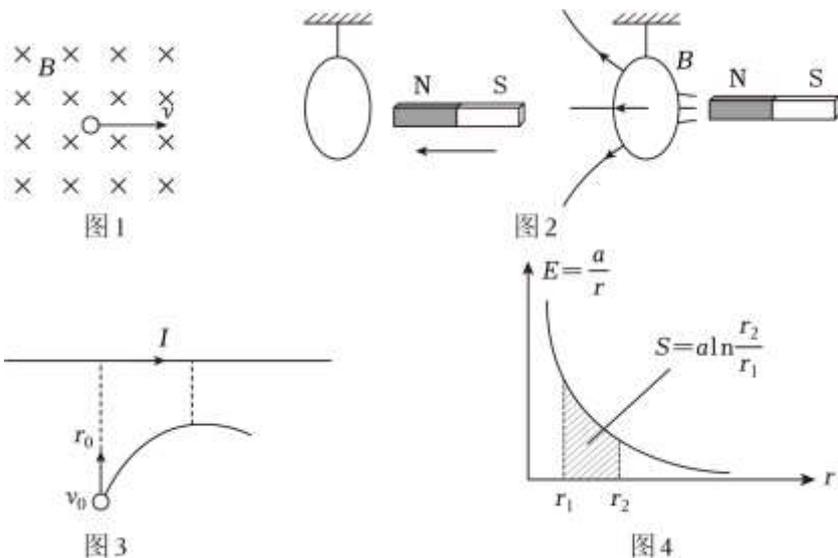
该同学希望用功能关系来求解电子的运动，但由于洛伦兹力不做功，因此电子到达距导线最近处时仍然保持初速率  $v_0$ ，若利用洛伦兹力的分量做功的方式来计算，就显得十分复杂了。因此他希望在电磁场的参考系变换中获得启发，他选择在以速度为  $v_0$ ，且相对导线水平向右运动的参考系 $\Sigma'$ 中进行研究。

a. 在参考系 $\Sigma'$ 中，空间中存在感生电场。根据（1）中的理论，距导线距离为  $r$  处的感生电场  $E$  的大小为 \_\_\_\_\_（可用含  $v_0$  的表达式表示），方向与导线垂直，且 \_\_\_\_\_（填“指向”或“背离”）导线。

b. 已知在参考系 $\Sigma'$ 中观察到的感生电场，具有与静电场类似的性质，其电场力做功只与始末位置到导线的距离  $r$  有关。请根据该同学选取的参考系，利用功能关系求满足题干要求的电子运动的初速度

（已知电子电量为  $-e$ ，电子质量为  $m$ ， $E = \frac{a}{r}$  的图像与  $r$  轴在  $r_1$  到  $r_2$  区间与  $r$  轴围成的面积为  $S = a \ln \frac{r_2}{r_1}$ ，

如图 4 所示）。



## 参考答案

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，请你选出正确选项。

1. 【分析】解决本题要正确理解质点的概念：质点是只计质量、不计大小、形状的一个几何点，是实际物体在一定条件的科学抽象，能否看作质点，与物体本身无关，要看所研究问题的性质，看物体的形状和大小在所研究的问题中是否可以忽略。

【解答】解：A、估算潜水器下降的总时间时，潜水器的大小和形状相对运动的轨迹可以忽略，可以视为质点，故 A 正确；

BD、用推进器使其转弯时和科学家在其舱内进行实验时，都需要研究潜水器本身的特点，不可视为质点，故 BD 错误；

C、在海沟中穿越窄缝时，潜水器的大小和形状相对窄缝，尺寸不可以忽略，不可视为质点，故 C 错误。故选：A。

【点评】质点是运动学中一个重要概念，要理解其实质，不能停在表面。考查学生对质点这个概念的理解，关键是知道物体能否看成质点时的条件，看物体的大小、形状对所研究的问题是否产生影响，物体的大小、形状能否忽略。

2. 【分析】根据振动图象知周期和振幅，以及振动方向，根据甲图中波峰与波谷的关系可知波长，再根据波的传播特点求解。

【解答】解：A. 图甲可知，波长为 12cm，根据乙图可知周期： $T=0.2s$ ，所以该波的波速为

$$v = \frac{\lambda}{t} = \frac{12}{0.2} \text{cm/s} = 60 \text{cm/s}$$

故 A 错误；

B. 图甲中质点 P 和 Q 距离为半个波长，则相位差为  $\pi$ ，故 B 错误；

CD. 根据题意，由图甲可知，再经过  $\frac{T}{4}$ ，波谷传播到 N 点，则该时刻质点 N 的速度方向垂直纸面向里，

图乙中质点在  $t=0.10s$  时刻速度方向为垂直纸面向外，则图乙不是质点 N 的振动图像，故 C 正确，D 错误；

故选：C。

【点评】本题考查了振动图像和波的图像，熟知图像的含义，结合波长、频率和波速的关系，难度不大，属于基础题。

3. 【分析】本题利用半衰期公式，通过剩下的和原来的质量作比求解。

【解答】解：活着的有机体中 1g 碳中所含碳 14 为：

$$m_0 = 1 \times \frac{1}{7.7 \times 10^{11}} \text{g} \approx 1.3 \times 10^{-12} \text{g}$$

若干年后某一古墓中 1g 碳中所含碳 14 为  $m = 1.2 \times 10^{-12} \text{g}$ ，则根据半衰期公式：

$$m = m_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n$$



可得：

$$\left(\frac{1}{2}\right)^n = \frac{m}{m_0} = \frac{12}{13}$$

解得：  $n=0.1155$

则：  $T=nt=0.1155 \times 5730 \text{ 年} = 662 \text{ 年}$

即估测墓主大约七百年前死亡的。

故 ACD 错误，B 正确。

故选： B。

【点评】 本题考查了半衰期相关计算，难度较小，属于基础题。

4. 【分析】 在雷雨交加时，屋顶常会出现盆大的火球，来回滚动，是聚集大量电荷的现象，金殿是一个优良导体，由于静电屏蔽作用，大殿内的人是安全的；避雷针是“尖端放电”的应用。

【解答】 解： A. 带电乌云移到金殿上空时，由于静电感应，金殿上表面会感应出与乌云电性相反的电荷，因此在乌云与金殿顶部之间会存在电势差，故 A 正确；

B. 金殿是一个优良导体，雷雨天气时，金殿处于电场中会达到静电平衡状态，金殿内部场强为零，所以游客躲在殿内，可以降低被雷电击中的可能性，故 B 正确；

C. 雷雨天气时，金殿屋顶上越尖锐的地方电荷的密度越大，而曲率半径越大的地方表面比较平整，电荷密度比较小，周围电场的电场强度比较小，因此空气不容易被击穿，故 C 错误；

D. 近年来金殿安装了避雷针，带电的雷雨云接近金殿时，由于静电感应，避雷针带上与云层相反的电荷，通过尖端放电，这些电荷不断向大气释放，中和空气中的电荷，达到避免雷击的目的。因此“雷火炼殿”的奇观消失了，故 D 正确。

本题选错误的，

故选： C。

【点评】 本题结合生活中实际现象，与物理上所学的知识向联系，在提高学生的学习兴趣的同时还可以让学生掌握一定的防雷的知识。

5. 【分析】 滑动变阻器总阻值越大，滑动变阻器单位长度的电阻越大，滑动变阻器的滑动片移动相同的距离时，滑动变阻器接入电路中的电阻越大；根据串联电路电压的分配与电阻关系求解电压表示数与滑动变阻器滑动片移动距离的关系式；分析图示图线，根据图示图线特点分析答题。

【解答】 解： 待测电阻与滑动变阻器串联，串联电路电压的分配与电阻成正比；

由题意可知，电压表测量的是待测电阻两端的电压，  $U - x$  图像反映的是待测电阻两端的电压  $U$  随着滑动变阻器滑片移动的距离  $x$  的变化关系；

为了简化分析，假设电源的内阻不计，电动势  $E=U+U_R$

设待测电阻为  $R_x$ ，滑动变阻器单位长度的电阻为  $R_0$ ，则滑动变阻器的接入电阻  $R=xR_0$

根据串联电路电压的分配与电阻的关系  $\frac{U}{R_x} = \frac{E-U}{R}$

$$\text{化简得 } U = \frac{ER_x}{xR_0 + R_x}$$



滑动变阻器总阻值越大，滑动变阻器单位长度的电阻  $R_0$  越大，滑动变阻器的滑动片移动相同的距离  $x$ ，电压表的示数变化越大；结合  $U-x$  图像可知，a 图对应  $10000\Omega$  滑动变阻器，b 图对应  $100\Omega$  滑动变阻器，c 图对应  $10\Omega$  滑动变阻器；

从  $U-x$  图像可知，a 图线电压在  $x$  达到一定值后几乎不随着距离  $x$  变化，c 图线电压随距离  $x$  变化较小，为了减小实验误差，应该要保证被测电阻两端的电压变化范围大一些，所以选择图中 b 所对应的滑动变阻器。

综上所述，故 ACD 错误。

故选：B。



被测电阻与滑动变阻器是串联分压关系，从图中可以看出 a 曲线在滑片移动很小距离，就产生了很大的电压变化，说明该滑动变阻器阻值远大于被测量电阻阻值，所以 a 图对应  $10000\Omega$  滑动变阻器；同理分析，可知，c 图线电压几乎不随着距离  $x$  变化，说明该滑动变阻器是小电阻，分压效果不明显，所以对应是  $10\Omega$  的图象；本实验采用的是伏安法测量电阻，为了减小实验误差，应该要保证被测电阻两端的电压变化范围大一些，所以选择图中 b 所对应的滑动变阻器。

故选：B。

【点评】本题考查了串联电路电压的分配与电阻的关系，根据实验得到的  $U-x$  图像，从理论上分析了滑动变阻器采用限流式接法时，应该如何选择滑动变阻器的阻值问题，要求我们从实验原理上加以把握。

6. 【分析】线框在进入磁场的过程中，分析线框的受力情况，判断其运动情况，根据动量定理分析 A 的变化情况，并根据动量定理求线框完全进入磁场后的速度。

【解答】解：A、线框在进入磁场的过程中，受到向左的安培力而做减速运动，线框受到的安培力大小  $F=BIL=\frac{B^2L^2v}{R}$ ，可知，随着速度减小，线框受到的安培力减小，加速度减小，所以线框在进入磁场的过程中，做加速度逐渐减小的变减速直线运动，故 A 错误；

B、线框在进入磁场的过程中，取向右为正方向，根据动量定理得： $-B\bar{I}L\Delta t=m\Delta v$ ，其中  $\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}\Delta t}{R}=\frac{BL\bar{v}\Delta t}{R}=\frac{BL\Delta x}{R}$ ，联立可得  $\frac{\Delta v}{\Delta x}=-\frac{B^2L^2}{mR}$ ，根据题意可知  $A=\frac{\Delta v}{\Delta x}=-\frac{B^2L^2}{mR}$ ，保持不变，故 B 错误；

CD、设线框完全进入磁场后，在磁场中运动的速度为  $v$ 。线框在进入磁场的过程中，取向右为正方向，根据动量定理得： $-B\bar{I}L\Delta t=mv-mv_1$ ，其中  $\bar{I}\Delta t=\frac{\bar{E}\Delta t}{R}=\frac{BL\bar{v}\Delta t}{R}=\frac{BL\Delta x}{R}=\frac{BL^2}{R}$ ，联立得： $-\frac{B^2L^3}{R}=mv-mv_1$ ；线框穿出磁场的过程中，同理可得： $-\frac{B^2L^3}{R}=mv_2-mv$ ，联立解得  $v=\frac{v_1+v_2}{2}$ ，

故 C 正确，D 错误。

故选：C。

【点评】解决本题时，要正确分析线框进入磁场和穿出磁场的过程中受力情况，抓住安培力与速度成正比，分析线框的运动情况。对于线框在磁场中做非匀变速直线运动的过程，往往根据动量定理求速度。

7. 【分析】通过类比，由雨滴的速度和加速度变化规律，分析图甲所示的电路中电流和电流随时间的变化

率的变化规律；根据电容定义式和电流的定义式，结合闭合电路欧姆定律推导函数关系  $u=u(t)$  的表达式。

【解答】解：A. 电流  $i$  的变化规律与雨滴下落速度  $v$  的变化规律类似，雨滴下落的过程中， $t=0$  时  $v=0$ ，在图甲所示的电路中， $t=0$  时  $i=0$ ，故 A 正确；

B. 雨滴下落的过程中，达到最大速度时有：
$$\frac{\Delta v}{\Delta t}=0$$

则根据：
$$m\frac{\Delta v}{\Delta t}+kv=mg$$
，可得最大速度为：
$$v_m=\frac{mg}{k}$$

在图甲所示的电路中，达到最大电流时有：
$$\frac{\Delta i}{\Delta t}=0$$

则根据：
$$L\frac{\Delta i}{\Delta t}+iR=E$$
，可得最大电流为：
$$i_m=\frac{E}{R}$$
，故 B 正确；

C. 雨滴下落的过程中，根据： $ma=mg-kv$ ，随着速度不断增大，加速度不断减小；在图甲所示的电路中，根据  $L\frac{\Delta i}{\Delta t}+iR=E$ ，可得：
$$\frac{\Delta i}{\Delta t}=\frac{E-iR}{L}$$
，则随着电流不断增大，电流随时间的变化率不断减小，

故 C 正确；

D. 图乙所示的电路只是把图甲中的自感线圈  $L$  换成电容  $C$ ，其他条件都不变，电容器两端的电压为  $u$ ，

根据： $Q=Cu$ ，可得回路中的电流为：
$$i=\frac{\Delta Q}{\Delta t}=\frac{\Delta u}{\Delta t}C$$

则电容器两端的电压与时间  $t$  的函数关系  $u=u(t)$  为：

$$E=u+iR=RC\frac{\Delta u}{\Delta t}+u$$
，故 D 错误。

本题选择说法中错误的

故选：D。

【点评】本题通过类比的方式考查了电磁感应现象的自感现象，以及对含容电路的分析问题。要理解物理量、物理量的变化量以及物理量的变化量的意义。

8. 【分析】根据材料信息进行分析，归纳出量子通信和量子计算的特点。

【解答】解：A、根据材料可知，在宏观世界，不容易观察到量子纠缠现象，是因为粒子容易与环境发生相互作用，导致纠缠很快消失，故 A 正确；

C、使用量子卫星进行通信，可以有效减少光子在传播时穿过的大气层的厚度，从而减少大气层带来的不利影响，故 C 正确；

B、根据爱因斯坦的狭义相对论可知，光速不能被超越，故 B 错误；

D、“九章”之所以取得比经典计算机快得多的运算速度，是因为量子计算机运行时用到了波函数的叠加和干涉，故 D 正确。

本题选错误的，

故选：B。

【点评】本题考查对材料信息的分析，解题关键需要读懂材料的信息，要想实现量子计算需要借助于光子，这是由于光子具有更显著具有“量子纠缠”现象。



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，选对但选不全得2分，有选错的得0分。

9. 【分析】根据万有引力定律、扭转力矩推导判断；根据力矩公式推导判断；根据放大物理思想判断；根据误差分析判断。

【解答】解：A. 设最终稳定后，引力与水平杆之间的夹角为 $\alpha$ ，根据万有引力表达式有

$$F = G \frac{mm'}{r^2}$$

由题意有

$$M_k = k\theta$$

又

$$M_k = 2F \cdot \frac{l}{2} \sin\alpha$$

$$\text{联立解得： } \theta = \frac{Gmm' l \sin\alpha}{kr^2}$$

可知最终稳定时石英丝旋转过的角度与 $r^2$ 成反比，故A错误；

B. 根据右手定则可知，两个万有引力的合力矩的方向均为垂直于T形支架向下，大小均为：

$$M_k = \frac{Gmm' l \sin\alpha}{2r^2}$$

所以两个万有引力的合力矩的大小均相等，故B正确；

C. 球体之间的万有引力很小，利用力矩和平面镜进行了放大，利用放大微小量的物理思想，故C正确；

D. 为了减小实验误差，T形支架的质量应该尽量小一些，故D错误。

故选：BC。

【点评】本题关键掌握力矩的概念和计算公式，注意本实验体现的物理方法。

10. 【分析】由扩散的原理，热扩散使得温度较高的一端自由电子的数密度较小，而温度较低的一端自由电子的数密度较大。这种非静电力使电子向电势低的方向移动，使金属棒存在电势差，这是汤姆逊电动势。

【解答】解：AB、因温度较高的一端自由电子的数密度较小，则金属左侧连接高温热源，保持温度为 $T_1$ ，自由电子的数密度较小。右侧连接低温热源，保持温度为 $T_2$ ，自由电子的数密度较大，而电子带负电，因此 $T_1$ 端相当于电源的正极， $T_2$ 端相当于电源的负极，故A正确，B错误；

C、根据能量转化情况可知，该电源是把热能转化为电能的装置，故C正确；

D、当该电源放电时，金属棒内的非静电力对电子做正功，故D正确。

故选：ACD。

【点评】本题是考查汤姆逊电压的原理，要理解自由电子的定向移动是靠热扩散的“非静电力”将电子移动到自由电子密度更大的地方。这样就能判断金属棒的正负极，以及能量转化关系。

11. 【分析】微安表示数恰为0时，即可确定遏制电压大小，再通过动能定理确定光电子的最大初动能。

【解答】解：当滑片P距离a端4cm时，微安表示数恰为0，可知此时两极板间的电压为遏止电压，且



滑片 P 距离 O 点 1cm;

根据电压和电阻之间的关系可得:遏止电压大小为:  $U_c = \frac{1\text{cm}}{10\text{cm}} \times 20\text{V} = 2\text{V}$

A. 当划片 P 从此位置向左滑动时,所加反向电压增大,微安表无电流,故 A 错误;

B. 当滑片 P 从此位置向右滑动时,所加反向电压减小,当滑片 P 位于 O 点右端时,所加电压为正向电压,微安表有电流,故 B 正确;

CD. 根据动能定理可得:  $0 - E_k = -eU_c$ ;

可得光电子最大初动能为:

$$E_k = 2\text{eV}$$

故 C 正确, D 错误。

故选: BC。



【点评】本题考查了光电效应的基础应用,需要充分理解遏制电压的意义,较为简单,属于基础题。

12. 【分析】综合地球自转,分析星轨图;北极星相对于地球保持静止,星轨图圆心在北极星附近;误差允许范围内,同一颗星星的星轨半径几乎不变;先求圆心角,再分析时间。

【解答】解: A. 星轨图的拍摄是由固定在地面上相机拍摄的,由于地球自转导致地球相对背景恒星以整圆形式旋转因此能够得到圆形轨道,不能说明地球是宇宙的中心,故 A 错误;

B. 北极星位于地轴的延长线上,其位置相对于地球保持静止。故星轨图圆心在北极星附近,故 B 正确;

C. 恒星相对于地球距离较远,若同一天在南京拍摄,南京拍摄和北京拍摄两地到恒星距离可认为不变,则同一颗星星的星轨半径几乎不变,故 C 正确;

D. 图片中一个完整的圆周对应地球自转一周,若圆心角为  $10^\circ$ ,曝光时间满足  $\frac{t}{10} = \frac{24\text{h}}{360}$ ,可得:

$$t = \frac{2\text{h}}{3} = 40\text{min}, \text{故 D 错误。}$$

故选: BC。

【点评】本题根据地理位置、地球自转,分析星轨图,其中 D 选项解题的关键是先求出圆心角。

### 三、非选择题: 本题共 6 小题, 共 60 分。

13. 【分析】(1) 根据楞次定律的推论:“来拒去留”,分析选项;

(2) 铁环会被磁铁磁化,总是吸引;

(3) 厚的铝环中产生涡流,可以和磁场发生作用。

【解答】解:(1) AB. 根据楞次定律的推论:“来拒去留”可知,磁铁 N 极接近 A 环时, A 环被排斥,被推开,故 AB 错误;

C. 对于圆环 B,当磁铁靠近时,虽磁通量变大,有感应电动势,但由于不闭合,所以没有感应电流,则不受安培力作用,所以对于圆环 B,无论靠近还是远离,都不会有远离与吸引等现象,故 C 错误;

D. 当磁铁的任意一磁极靠近时,导致圆环 A 的磁通量变大,由楞次定律可得圆环 A 的感应电流,使它远离磁铁,故 D 正确。

故选: D;

(2) 不可以, 因为铁环会被磁铁磁化, 总是吸引, 不能复现实验现象;

(3) 铝环被微微推开了一小段距离, 是因为厚的铝环中会产生明显的局部小范围涡流, 同样可以和磁场发生作用。

故答案为: (1) D (2) 不可以 铁环会被磁铁磁化, 总是吸引, 不能复现实验现象 (3) 厚的铝环中会产生明显的局部小范围涡流, 同样可以和磁场发生作用。

【点评】本题解题关键是掌握楞次定律的推论: 来拒去留。

14. 【分析】(1) ①使用欧姆表测电阻, 使用前要进行机械调零, 即将指针对准电流的“0”刻线; 选择挡位后, 要进行欧姆调零, 使指针对准电阻的 0 刻线;

②将两表笔分别与待测电阻相接, 发现指针偏转角度过小, 说明欧姆表指针所指示数过大; 欧姆表测电阻, 测量值=欧姆表指针所指示数×倍率; 换挡后, 要重新进行欧姆调零, 然后再进行测量;

(2) 根据闭合电路的欧姆定律分别求解欧姆表内阻和待测电阻; 根据待测电阻值与欧姆表表盘正中央刻线标记数字确定欧姆表选择的倍率; 用闭合电路欧姆定律分析误差; 电流从欧姆表的长脚(正极)流入时, 二极管导通, 欧姆表的内部电流从黑表笔流出, 据此分析作答。

【解答】解: (1) ①a. 旋动部件 S, 进行机械调零, 使指针对准电流的“0”刻线。

c. 将插入“+”、“-”插孔的表笔短接, 旋动部件 T, 进行欧姆调零, 使指针对准电阻的 0 刻线;

②将两表笔分别与待测电阻相接, 发现指针偏转角度过小, 可知待测电阻阻值较大, 应将 K 旋转到电阻挡“×1k”的位置, 将两表笔短接, 重新进行欧姆调零, 将两表笔的金属部分分别与待测电阻的两根引线相接进行测量; 则进行操作的步骤顺序为: ADC。

(2) ①改装后欧姆表进行欧姆调零时, 有  $I_g = \frac{E}{R_\Omega}$

解得欧姆表内阻为  $R_\Omega = 10000\Omega$

该表盘的正中央对应的电流为满偏电流的一半, 根据闭合电路的欧姆定律  $\frac{1}{2} I_g = \frac{E}{R_\Omega + R_x}$

解得待测电阻阻值  $R_x = 10000\Omega$

若该表盘正中央刻线标记数字为  $10\Omega$ , 则有  $R_x = 10000\Omega = 1000 \times 10\Omega$

可知改装得到的应是该欧姆表的×1k挡。

②若通过改变欧姆表内部电源的电动势来更换挡位, 则要得到“×10”挡, 则欧姆内阻变为

$$R'_\Omega = \frac{10}{1000} \times 10000\Omega = 100\Omega$$

需将电源电动势调整至为  $E' = I_g R'_\Omega = 300 \times 10^{-6} \times 100V = 0.03V$

③此欧姆表使用一段时间后, 电源内阻明显增大, 电动势不变, 但仍可进行欧姆调零; 由于欧姆调零后, 电动势不变, 欧姆内阻也不变, 所以此时用欧姆表测电阻, 将对测量值无影响。

④现利用欧姆表测量发光二极管电阻, 发现二极管可以发光, 可知此时电流正向流经发光二极管, 由于欧姆表黑表笔连接电源正极, 则红表笔连接二极管的短脚。

故答案为: (1) ①S; T; 0刻线; ②ADC; (2) ①10000; ×1k; ②0.03; ③无影响; ④短脚。

【点评】本题考查的是欧姆表的使用方法及注意事项、特别是要理解应用闭合电路欧姆定律分析误差的



方法。

15. 【分析】(1) 斜抛运动的竖直方向是匀减速直线运动，水平方向是匀速直线运动，根据题意，列运动学公式，即可解答；

(2) 根据几何关系列出斜面所在直线 OA 的轨迹方程，然后联立即可求出。

【解答】解：(1) 炮弹做斜抛运动，水平方向有  $x = v_0 \cos \alpha t$

$$\text{竖直方向有 } y = v_0 \sin \alpha t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$\text{联立解得 } y = x \tan \alpha - \frac{g}{2 v_0^2 \cos^2 \alpha} x^2$$

$$\text{代入数据得，轨迹方程为 } y = \sqrt{3} x - \frac{1}{1125} x^2 \text{ (m)}$$

(2) 斜面所在直线 OA 的轨迹方程为  $y = x \tan \theta$

$$\text{两方程联立，得 A 点的横坐标 } x_A = \frac{2 v_0^2 \cos^2 \alpha (\tan \alpha - \tan \theta)}{g}$$

$$\text{则 OA 长度为 } L = \frac{2 v_0^2 \cos^2 \alpha (\tan \alpha - \tan \theta)}{g \cos \theta}$$

代入数据得  $L = 1500 \text{ m}$

答：(1) 若以 O 点为坐标原点，水平向左为 x 轴正方向，竖直向上为 y 轴正方向，炮弹的轨迹方程为

$$y = \sqrt{3} x - \frac{1}{1125} x^2 \text{ (m)};$$

(2) 炮弹着地点到发射点的距离 OA 是 1500m。

【点评】本题解题关键是斜抛运动的竖直方向是匀减速直线运动，水平方向是匀速直线运动。

16. 【分析】(1) 根据电场力做功和电势的关系，结合功率表达式证明；

(2) a. 根据非纯电阻电路功率关系去证明；b. 根据发热功率 = 总功率 - 输出功率的关系求解；

(3) 结合拉不起来，发热功率增加的思想去说明。

【解答】解：(1) 证明：由于电路稳定，在任意时间  $\Delta t$  内从 A 流入的电量和从 B 流出的电量相等，即满足： $\Delta q = I \Delta t$

虽然所有电荷都在运动，但由于中间部分电路稳定，电荷状态不变，相当于  $\Delta q$  的电荷从 A 端运动到了 B 端，电场力做功为电势能的减少量，即：

$$W = |\Delta q \varphi_A - \Delta q \varphi_B| = \Delta q U$$

故电功率：

$$P = \frac{W}{\Delta t} = UI$$

(2) a. 设在  $\Delta t$  内，电动机对外做的机械功为  $W_{\text{机}}$ ，则有：

$$UI \Delta t = W_{\text{机}} + I^2 r \Delta t$$



即:  $U = \frac{W_{机}}{I\Delta t} + Ir > Ir$

b.电源的总功率为:

$$P_{电} = EI = 15 \times 10W = 150W$$

电动机的功率为:

$$P_{动} = UI = 12 \times 10W = 120W$$

故电源的效率为:

$$\eta = \frac{P_{动}}{P_{电}} = 80\%$$

电动机输出的机械功率为:

$$P_{出} = mgv = 80W$$

故电动机的发热功率为:

$$P_{热} = P_{机} - P_{出} = 40W = I^2 r$$

解得电动机的内阻为

$$r = 0.4\Omega.$$

(3) 电动机提不起重物时, 电源功率全部集中在线圈电阻上, 而线圈电阻一般不大, 因此此时的电流很大, 发热功率高, 故电动机很烫。

答: (1) 见解析;

(2) a.见解析; b.电源的效率为 80%, 发电机的内阻为 0.4Ω;

(3) 电动机提不起重物时, 电源功率全部集中在线圈电阻上, 而线圈电阻一般不大, 因此此时的电流很大, 发热功率高, 故电动机很烫。

【点评】本题考查含有非纯电阻的电路问题, 解决此类题目首先要明确电路的结构, 再根据电路特点选择合适的方法, 本题难度一般, 属于中档题。

17. 【分析】(1) 利用几何关系得到矢量关系;

(2) 利用动量守恒和机械能守恒求出速度大小;

(3) 根据水平方向的动量守恒, 求出对应的距离;

(4) 根据匀加速直线运动求出加速度和时间。

【解答】解: (1) 在图 3 中, 由几何关系可得:  $\tan \theta = \frac{v_{1y}}{v_2 + v_{1x}}$

(2) m 和 M 组成的系统在水平方向动量守恒, 有,  $mv_{1x} = Mv_2$

由系统机械能守恒, 得:  $\frac{1}{2}m(v_{1x}^2 + v_{1y}^2) + \frac{1}{2}Mv_2^2 = mgl \sin \theta$

联立得:  $v_2 = \sqrt{\frac{2m^2 gl \sin \theta \cos^2 \theta}{(M+m)(M+m \sin^2 \theta)}}$



将  $v_2$  代入得: 
$$v_1 = \sqrt{\frac{2gl\sin\theta (M^2 + 2Mm\sin^2\theta + m^2\sin^2\theta)}{(M+m)(M+m\sin^2\theta)}}$$

(3) 设  $m$  在水平方向移动的距离为  $x_1$ , 则易得,  $x_1 + x_2 = l\cos\theta$

又因水平方向动量守恒始终被满足, 因此,  $\frac{x_1}{x_2} = \frac{M}{m}$

联立得: 
$$x_2 = \frac{ml\cos\theta}{M+m}$$

(4) 根据, 
$$a_2 = \frac{v_2^2}{2x_2} = \frac{mgsin\theta\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}g$$

联立得: 
$$t = \frac{v_2}{a_2} = \sqrt{\frac{2(M+m\sin^2\theta)l}{(M+m)gsin\theta}}$$

答: (1)  $v_{1x}$ 、 $v_{1y}$  和  $v_2$  应满足的关系为  $\tan\theta = \frac{v_{1y}}{v_2 + v_{1x}}$ ;

(2)  $m$  速度的大小  $v_1$  和  $M$  速度的大小  $v_2$  分别为  $\sqrt{\frac{2gl\sin\theta (M^2 + 2Mm\sin^2\theta + m^2\sin^2\theta)}{(M+m)(M+m\sin^2\theta)}}$ 、

$$\sqrt{\frac{2m^2gl\sin\theta\cos^2\theta}{(M+m)(M+m\sin^2\theta)}}$$

(3)  $M$  运动的距离为  $\frac{ml\cos\theta}{M+m}$ ;

(4) 加速度为  $\frac{mgsin\theta\cos\theta}{M+m\sin^2\theta}g$ , 时间为  $\sqrt{\frac{2(M+m\sin^2\theta)l}{(m+M)gsin\theta}}$ 。

【点评】本题综合性强, 利用动量守恒, 机械能守恒以及匀变速直线运动, 在做题中要注意仔细分析每一个过程。在写动量守恒方程时要注意方向。

18. 【分析】(1) 利用洛伦兹力等于电场力求得场强大小和方向。

(2) 在地面参考系中, 电场力充当非静电力; 参考系  $\Sigma'$  中, 洛伦兹力沿环方向的分力充当非静电力。

(3) 利用第 (1) 问的结论可得场强大小和方向; 由动能定理可得电子运动的初速度。

【解答】解: (1) 设粒子带正电  $+q$ , 在地面参考系中, 它受到的洛伦兹力为

$$F = qvB$$

方向向上。因此在参考系  $\Sigma'$  中所受的电场力亦为

$$F = qvB$$

方向向上。且

$$F = qE$$

得

$$E = vB$$



方向垂直于  $v$  向上。

(2) 在地面参考系中，由于磁场是运动的，因此存在感生电场，感生电场的电场力充当非静电力；在参考系  $\Sigma'$  中，洛伦兹力沿环方向的分力充当非静电力。

(3) a. 根据第一问结论得

$$E = \frac{kI v_0}{r}$$

方向指向通电导线

b. 基于所选参考系可知，电子运动的初速度为  $\sqrt{2} v_0$ ，当电子运动到距导线最近时，速度为零。在此过程中受到的电场力为

$$F = eE = \frac{ekI v_0}{r}$$

方向垂直于导线并背离导线。电场力做负功，其绝对值为  $E - r$  图在  $\frac{r_0}{2}$  到  $r_0$  之间的面积，即

$$W = -ekI v_0 \ln 2$$

由动能定理，得

$$W = 0 - \frac{1}{2} m (\sqrt{2} v_0)^2$$

得

$$v_0 = \frac{ekI \ln 2}{m}$$

答：(1) 该电场的大小为  $vB$ ，方向垂直于  $v$  向上；

(2) 在参考系  $\Sigma$  和参考系  $\Sigma'$  中分别是感生电场的电场力，洛伦兹力沿环方向的分力充当电动势中的非静电力感生电场的电场力，洛伦兹力沿环方向的分力；

(3) 感生电场  $E$  的大小为  $\frac{kI v_0}{r}$ ，方向指向通电导线；电子运动的初速度为  $\frac{ekI \ln 2}{m}$ 。

【点评】带电粒子在电磁复合场中的运动，应抓住电场力、洛伦兹力之间的关系，并运用动能定理加以解决问题。

