



- A. 红外线是可见光的特点  
 B. 红外线的穿透本领比 X 射线强的特点  
 C. 人体温度越高辐射出的红外线越强的特点  
 D. 被红外线照射的某些物体可以发出荧光的特点

【答案】C

【解析】红外测温的原理是根据通过接受测量被测物辐射的红外光线来确定被测物体的温度，温度越高的物体，辐射红外线就越强，所以选项 C 正确。红外线不属于可见光范畴内所以 A 不对。红外线的能量相比 X 射线较小，穿透本领没有 X 射线强，选项 B 错误。被红外光照射的物体都不会发出荧光，所以 D 错。

综上。本题选 C。

4. 如图所示为氢原子的能级图。大量处于  $n=4$  能级的氢原子向低能级跃迁时发出不同频率的光，用这些光照射金属钙。已知金属钙的逸出功为  $3.20\text{eV}$ 。能够从金属钙的表面照射出光电子的光共有 ( )

- A. 二种      B. 三种      C. 四种      D. 五种

$n$	$E/\text{eV}$
$\infty$	0
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.4
1	-13.6

【答案】B

【解析】处在  $n=4$  的能级的一群氢原子向低能级跃迁时能发出不同光电子的数目为  $C_4^2 = 6$  种，其中：

$n=4$  能级跃迁到  $n=3$  能级，辐射的光子能量为  $0.66\text{eV}$ ；

$n=4$  能级跃迁到  $n=2$  能级，辐射的光子能量为  $2.55\text{eV}$ ；

$n=4$  能级跃迁到  $n=1$  能级，辐射的光子能量为  $12.75\text{eV}$ ；

$n=3$  能级跃迁到  $n=2$  能级，辐射的光子能量为  $1.89\text{eV}$ ；

$n=3$  能级跃迁到  $n=1$  能级，辐射的光子能量为  $12.09\text{eV}$ ；

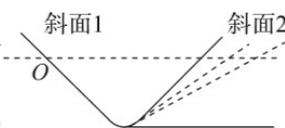
$n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级，辐射的光子能量为  $10.20\text{eV}$ ；

使金属钙发生光电效应的条件是：入射光子能量大于金属钙的逸出功  $3.20\text{eV}$ ，根据上

述光子能量可知，共有三种。

综上，本题选 B。

5. 伽利略创造的把实验、假设和逻辑推理相结合的科学方法，有力地促进了人类科学认识的发展。利用如图所示的装置做如下实验：将斜面 1 与斜面 2 平滑连接，让小球由斜面 1 上的 O 处由静止开始滚下，小球将滚上斜面 2。逐渐减小斜面 2 的倾角，仍使小球由 O 处由静止滚下。如果没有摩擦，则（ ）



- A. 小球在斜面 2 上能上升的最大高度逐渐降低
- B. 小球在斜面 2 上每次都能上升到与 O 处等高的位置
- C. 当斜面 2 最终变为水平面时，小球将处于静止状态
- D. 当斜面 2 最终变为水平面时，小球的运动状态将不断改变

【答案】B

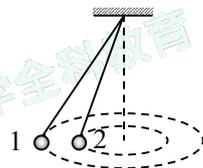
【解析】由于斜面 1、斜面 2 平滑连接且没有摩擦，则小球运动过程中机械能守恒，即在斜面 2 上每次都能上升到与 O 处等高的位置，此时动能为零，重力势能与 O 点相等，故 A 错 B 对；当斜面 2 变为水平面，小球在 2 上运动时受力平衡，且到达 2 时速度不为零，所以做匀速直线运动，故 CD 错。

综上，本题选 B。

6. 如图所示，两根长度不同的细线上端固定在天花板上的同一点，下端分别系着完全相同的小钢球 1，2。现使小钢球在同一水平面内做匀速圆周运动。下列说法正确的是

（ ）

- A. 球 1 受到的拉力比球 2 受到的拉力小
- B. 球 1 的向心力比球 2 的向心力小
- C. 球 1 的运动周期比球 2 的运动周期大
- D. 球 1 的线速度比球 2 的线速度大



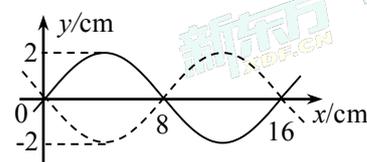
【答案】D

【解析】设绳与竖直方向夹角为 $\theta$ ，对小球受力分析可得绳拉力 $F_{\text{拉}} = \frac{mg}{\cos\theta}$ ，易知角度越小，拉力越小，则 A 错误；如上受力分析，可得向心力 $F_n = mg\tan\theta$ ，易知角度越小，向心力越小，则 B 错误；设定悬点到轨迹圆心的距离为  $h$ ，圆锥摆周期可表示为 $T = 2\pi\sqrt{\frac{h}{g}}$ ，由于  $h$  相同，则小球运动周期相等，故 C 错；由于两小球运动周期相等，则角速度相等，又因为 $r_1 > r_2$ ， $v = \omega r$ ，则 1 球线速度大于 2 球，故 D 对。

综上所述，本题选 D。

7. 一列简谐横波沿  $x$  轴正方向传播，在  $t_1 = 0$  和  $t_2 = 0.2\text{s}$  时的波形分别如图中实线和虚线所示。已知该波的周期  $T > 0.2\text{s}$ ，下列说法正确的是 ( )

- A. 波速一定为  $0.4\text{m/s}$
- B. 振幅一定为  $0.04\text{m}$
- C. 波长可能为  $0.08\text{m}$
- D. 周期可能为  $0.8\text{s}$



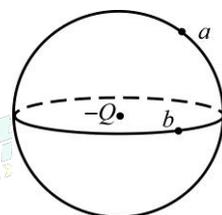
【答案】A

【解析】因为  $T > 0.2\text{s}$ ，因此由图可知该波向右传播半个波长，根据  $v = \frac{\frac{1}{2}\lambda}{t}$ ，可知波速为  $0.4\text{m/s}$ ，故 A 正确；振幅由图可知为纵坐标最大值为  $0.02\text{m}$ ，故 B 错误；波长由图可知为图像一周期横坐标长度为  $0.16\text{m}$ ，故 C 错误；因为  $T > 0.2\text{s}$ ，因此由图可知该波向右传播半个波长，周期为  $T = 2 \times 0.2\text{s} = 0.4\text{s}$ ，故 D 错误。

综上所述，本题选 A。

8. 如图所示，a、b 两点位于以负点电荷  $-Q$  ( $Q > 0$ ) 为球心的球面上，将两个带正电的检验电荷  $q_1$ 、 $q_2$  分别置于 a、b 两点。下列说法正确的是 ( )

- A. a 点电势大于 b 点电势
- B. a 点电场强度大于 b 点电场强度
- C. 若规定无穷远处电势为零，a、b 两点的电势均为正值



D. 若将 $q_1$ 、 $q_2$ 分别移动到无穷远处，电场力做功不一定相等

【答案】D

【解析】因为 $\varphi = \frac{kq}{r}$ ，Q在ab两点电势相等，但 $q_1, q_2$ 电量关系未知无法判断，故A错误；因为 $E = k\frac{Q}{r^2}$ ，Q在ab两点场强大小相等，但 $q_1, q_2$ 电量关系未知无法判断，故B错误；因为负点电荷周围电势为负，但 $q_1, q_2$ 与Q电量关系未知，因此ab两点电势符号无法判断，故C错误；因为ab两点电势是否相等未知，因此移动到O势能面电场力做功关系未知，故D正确。

综上，本题选D。

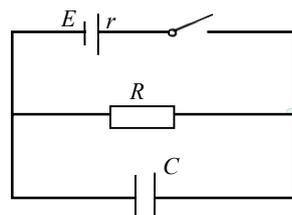
9. 如图所示，电路中电源电动势为E，内阻为r，电容器的电容为C，定值电阻的阻值为R。开关闭合前电容器不带电。闭合开关，待电路稳定后（ ）

A. 通过电源的电流为零

B. 定值电阻两端的电压等于E

C. 电路消耗的电功率等于 $\frac{E^2}{R}$

D. 电容器所带电荷量为 $\frac{REC}{R+r}$



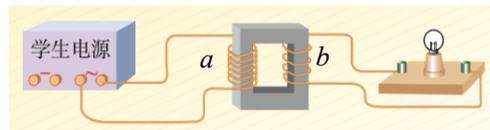
【答案】D

【解析】闭合开关后，可构成回路，因此通过电源的电流不为零，故A选项错误；由闭合电路欧姆定律可知， $I = \frac{E}{R+r}$ ，因此定值电阻两端电压为 $U = IR = \frac{ER}{R+r}$ ，故B选项错误；电路消耗的电功率为 $P = EI = \frac{E^2}{R+r}$ ，故C选项错误；电容器所带电荷量 $Q = CU = \frac{REC}{R+r}$ ，故D选项正确。

综上，本题选B。

10. 在探究变压器的线圈两端电压与匝数的关系时，某同学分别在可拆变压器的铁芯上绕制了两个线圈，如图所示，线圈a连接到学生电源的交流输出端，线圈b与小灯泡相连接。两线圈的电阻均可忽略不计。闭合电源开关，他发现小灯泡发光很微弱，为了适当提高小灯泡的亮度，下列方法可行的是（ ）

- A. 适当减少线圈 a 的匝数  
 B. 适当减少线圈 b 的匝数  
 C. 将交流输出电压适当减小  
 D. 将线圈 a 改接在直流输出端



【答案】A

【解析】为提高小灯泡的亮度，应增大小灯泡两端电压。适当减少线圈 a 的匝数，根据变压规律  $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ ， $n_1$  减少， $U_2$  增大，小灯泡亮度提高，故 A 选项正确；适当减少线圈 b 的匝数， $n_2$  减少， $U_2$  减少，小灯泡亮度降低，故 B 选项错误；将交流输出电压减小，即  $U_1$  减少，则  $U_2$  减少，小灯泡亮度降低，故 C 选项错误；将线圈 a 改接在直流输出端，b 线圈没有磁通量变化，不会产生互感，则线圈 b 两端电压为零，小灯泡不会发光，故 D 选项错误。

综上所述，本题选 A。

11. 学习物理知识可以帮助我们分析一些生活中的实际问题。如图所示，某地铁出站口处设有高约 5m 的步行楼梯和自动扶梯，步行楼梯每级台阶的高度约为 0.2m，自动扶梯与水平面间的夹角为  $30^\circ$ ，并以 0.8m/s 的速度匀速运行。甲、乙两位同学分别从步行楼梯和自动扶梯的起点同时上楼，甲在步行楼梯上匀速上行，乙在自动扶梯上站立不动。若他俩同时到达地面层，下列估算正确的是（ ）



- A. 甲同学步行上楼梯用时 6.25s  
 B. 甲同学的上行速度等于 0.4m/s  
 C. 甲同学竖直方向分速度为 1.6m/s  
 D. 甲同学每秒需要上两级台阶

【答案】D

【解析】根据题目描述，自动扶梯总长度应为 10m，速度为 0.8m/s，故乙同学所用时

间为 12.5s，甲乙同时到达地面层，所用时间相同，因此甲同学所用时间也为 12.5s，故 A 选项错误；步行楼梯斜面距离也为 10m，因此甲同学上行速度为 0.8m/s，故 B 选项错误；竖直高度为 5m，所用时间为 12.5s，因此甲同学竖直分速度为 0.4m/s，故 C 选项错误；竖直方向速度为 0.4m/s，每级台阶 0.2m，因此甲同学每秒上两级台阶，故 D 选项正确。

综上所述，本题选 D。

12. 人造地球卫星与地心间距离为  $r$  时，若取无穷远处为势能零点，引力势能可以表示为  $E_p = -\frac{GMm}{r}$ ，其中  $G$  为引力常量， $M$  为地球质量， $m$  为卫星质量。卫星原来在半径为  $r_1$  的轨道上绕地球做匀速圆周运动，由于稀薄空气等因素的影响，飞行一段时间后其圆周运动的半径减小为  $r_2$ 。此过程中损失的机械能为 ( )

- A.  $\frac{GMm}{2} \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$       B.  $\frac{GMm}{2} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$   
 C.  $GMm \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$       D.  $GMm \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$

【答案】B

【解析】人造地球卫星在  $r_1$  轨道上绕地球做匀速圆周运动时，其引力势能为  $E_p = -\frac{GMm}{r_1}$ ，由万有引力提供向心力可得： $\frac{GMm}{r_1^2} = \frac{mv^2}{r_1}$ ，因此其动能为  $E_k = \frac{GMm}{2r_1}$ ，所以其机械能为  $E_1 = E_p + E_k = -\frac{GMm}{2r_1}$ ；同理可得，人造地球卫星在  $r_2$  轨道上绕地球做匀速圆周运动时，其机械能为  $E_2 = E_p + E_k = -\frac{GMm}{2r_2}$ ，所以损失的机械能为  $\Delta E = E_1 - E_2 = \frac{GMm}{2} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$ ，故 B 选项正确

综上所述，本题选 B。

13. 机械波和电磁波都能产生多普勒效应。下列现象中不属于利用多普勒效应的是 ( )

- A. 交通警察利用测速仪向行进中的车辆发射已知频率的超声波，根据反射波的频率变化判断车速  
 B. 医生向人体内发射频率已知的超声波，根据接收到的被血管中的血液反射后的

超声波的频率变化，判断血流的速度是否正常

- C. 发生雷电时，人们利用看见闪电和听见雷声的时间间隔来估算自己与雷电发生处之间的距离
- D. 天文学上通过对比某些元素在遥远天体上的发光频率与其静止在地球上的发光频率，判断天体相对于地球的运动速度

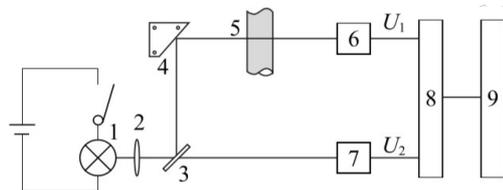
【答案】C

【解析】本题考查多普勒效应的概念辨析，发生多普勒效应的条件是波源和观察者有相对运动，C选项中看见闪电和听到雷声分别是电磁波和声波，利用的是电磁波与声波在空气中的传播速度差来估算距离，故C正确。A，B，D都应用了多普勒现象

综上，本题选C。

14. 环境监测中通常需要监测烟尘浓度。如图所示为光电式烟尘浓度计的工作原理图。

光源1发出的光线经聚光透镜2后，再经半透反光镜3分成两束强度相等的光线。其中一路光线经反射镜4后穿过被测烟尘5，有部分光线被烟尘吸收或散射（光在介质中与物质微粒相互作用，使光的传播方向发生改变的现象）后，经过光电转换电路6转换成电压信号 $U_1$ 。另一路光线直接到达光电转换电路7（6、7完全相同）后，产生作为被测烟尘浓度的参比电压信号 $U_2$ 。运算电路通过 $U_1$ 和 $U_2$ 的比值计算出被测烟尘的浓度。根据上述信息应用所学知识可以判断（ ）



1.光源 2.聚光透镜 3.半透半反镜 4.反射镜 5.被测烟尘  
6、7.光电转换电路 8.运算电路 9.显示器

- A. 没有烟尘时， $U_1$ 和 $U_2$ 的比值应该为零
- B. 散射过程中动量守恒定律不成立
- C. 如果用全反射棱镜作为反射镜4，其折射率至少为2

D. 烟尘浓度越高， $U_1$  与  $U_2$  的差值越大

【答案】D

【解析】A 选项考查的题目信息获取能力，题中指出光经过半透反光镜 3 后分成了两束强度相等的光，并且 6、7 完全相同，就可以认定为此时  $U_1$  和  $U_2$  相等且比值为 1，故 A 选项错误；B 选项考查了动量守恒的条件，在光和物质微粒相互作用的时间极短，相互作用的力要远大于光子和烟雾微粒收到的万有引力，此时外力可以忽略不计，那么就可以看作是动量守恒，故 B 选项错误；C 选项考查了全反射临界角的计算，利用全反射角的性质公式： $\sin C = \frac{1}{n}$ ，易得  $n = \sqrt{2}$ ，所以折射率至少为  $\sqrt{2}$ ，故 C 选项错误；D 选项考查的题目信息获取能力，题目中提及光在穿烟过程中会被吸收或者散射并且解释了散射的大致原理会减小光线的强度，因此进入 6 中的光线强度会和 7 中的不一样，所以  $U_1$  和  $U_2$  的差值会越来越大，故 D 选项正确。

综上，本题选 D。

## 二、实验题（本题共 2 小题，共 18 分）

15.（6 分）

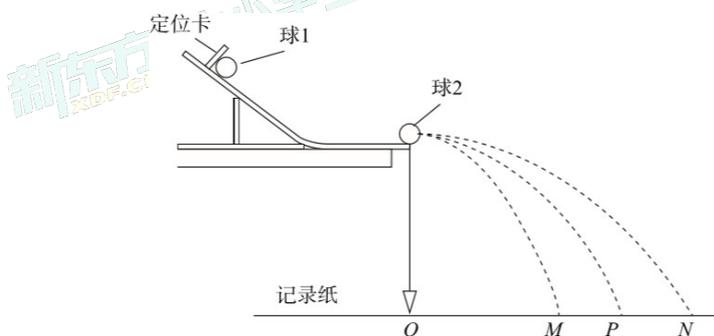
一位同学利用如图所示的装置进行验证动量守恒定律的实验。斜槽与水平槽之间平滑连接，且槽的末端水平。

他安装好实验装置，在水平地面上依次铺上白纸、复写纸、记下铅垂线所指的位置  $O$ ，选择两个半径相同的小球开始实验，主要实验步骤如下：

a. 不放球 2，使球 1 从斜槽上某一固定位置由静止开始滚下，落到记录纸上留下落点痕迹。多次重复上述操作。

b. 把球 2 放在水平槽末端位置，让球 1 仍从原位置由静止开始滚下，与球 2 碰撞后，两球分别在记录纸上留下各自的落点痕迹。多次重复上述操作。

c. 在记录纸上确定  $M$ 、 $P$ 、 $N$  为三个落点的平均位置，并用刻度尺分别测量  $M$ 、 $P$ 、 $N$  离  $O$  点的距离，即线段  $OM$ 、 $OP$ 、 $ON$  的长度。



(1) 下列说法正确的是\_\_\_\_\_。

- A. 球 1 的质量大于球 2 的质量
- B. 实验过程中记录纸可以随时移动
- C. 在同一组实验中，每次球 1 必须从同一位置由静止释放
- D. 同一组实验中，球 2 的落点并不重合，说明操作中出现了错误

(2) 已知球 1 的质量为  $m_1$ ，球 2 的质量为  $m_2$ ，落点的平均位置  $M$ 、 $P$ 、 $N$  几乎在同一条直线上，如果  $m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$  近似等于\_\_\_\_\_，则可以认为验证了动量守恒定律。

(3) 实验过程中要求槽末端水平，请你说明理由。

【答案】(1) AC

(2)  $m_1 \cdot OP$

(3) 如果槽末端保持水平，小球离开槽末端后做平抛运动，在空中的飞行时间相等，可以用水平位移替代小球在碰撞前后的速度。

【解析】

(1) A 选项，为了小球 2 能够飞的更远，同时防止球 1 反弹，所以球 1 的质量应大于球 2 的质量。

B 选项，实验中，记录纸不可以随便移动，否则数据无法参考；

C 选项，每次从同一位置释放，保证球 1 到斜槽末端的速度相同；

D 选项，落点位置是多次实验取平均值确定的，实验中是利用尽量小的圆将所有落点圈在圆内，圆心为平均落点，所以某个落点未重合，不能说明出现错误。

(2) 两小球从同一高度开始下落，故下落时间  $t$  相同，根据动量守恒定律可得，

$$m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2, \quad m_1 v_0 t = m_1 v_1 t + m_2 v_2 t, \quad \text{所以 } m_1 \cdot OP = m_1 \cdot OM + m_2 \cdot ON$$

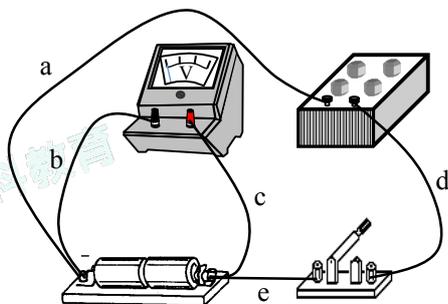
(3) 斜面保持水平，确保各个小球从末端离开轨道后均做平抛运动，利用高度相等，下落时间相等，从而利用平抛水平位移替代小球离开轨道末端时的速度，即碰撞前后初末速度。

16. (12 分)

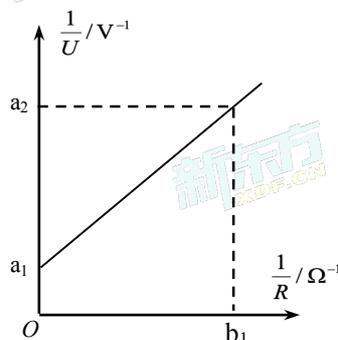
同学们想测量由两节干电池串联而成的电池组的电动势  $E$  和内阻  $r$ 。

(1) 第一小组的同学用电压表、电阻箱、开关、若干导线和待测电池组连成电路，如图甲所示。电路中用到的器材均完好无损。

①检查电路时，他们发现在开关闭合前电压表示数不为零，这是由于导线\_\_\_\_\_（填写表示导线的字母）连接错误造成的。改正错误连接后再次闭合开关，他们发现电压表有示数，但改变电阻箱连入电路的阻值时，电压表示数保持不变，原因可能是\_\_\_\_\_。（写出一条即可）



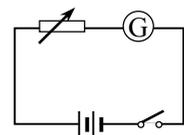
图甲



图乙

②排除故障后，他顺利完成实验，并根据测得的数据画出图乙所示的  $\frac{1}{U} - \frac{1}{R}$  图线，其中  $U$  为电压表示数， $R$  为电阻箱连入电路的阻值。由图知：电池组的电动势  $E = \underline{\hspace{2cm}}$ ，内阻  $r = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(2) 第二小组的同学用一块检查完好的灵敏电流计（满偏电流  $I_g$  已知，内阻  $R_g$  未知）、电阻箱、开关、若干导线和待测电池组连成电路，如图丙所示。闭合开关后，调节电阻箱阻值为  $R_1$  时灵敏电流计指针达到满偏，调节电阻箱阻值为  $R_2$  时灵敏电流计指针达到半偏。



图丙

请你通过推导说明，在这种测量方法中由于灵敏电流计的内阻  $R_g$  未知是否会对电动势  $E$  和内阻  $r$  的测量造成系统误差。

**【答案】** (1) ①  $c$  导线  $a$  或导线  $d$  与其他元件连接时接触不好导致断路

②  $\frac{1}{a_1} \frac{a_2 - a_1}{a_1 b_1}$

(2) 根据闭合电路欧姆定律可知  $E = I_g (R_g + r + R_1)$ ,  $E = \frac{I_g}{2} (R_g + r + R_2)$ , 联立解得  $E = I_g (R_2 - R_1)$ ,  $r = R_2 - 2R_1 - R_g$ 。由此可知利用这种方法测量电动势  $E$  时不存在系统误差，测量内阻  $r$  时存在系统误差。

【解析】(1)①c 应该并联在电阻箱两端，这样闭合开关之前电压表是未接入电路中的。

改变电阻箱阻值，电压表保持不变，可能是由于电阻箱出现断路，无法起到调节电压的作用。

②图像对应函数表达式为  $E = U + \frac{U}{R}r$ ，可以改写为  $\frac{1}{U} = \frac{r}{E} \cdot \frac{1}{R} + \frac{1}{E}$ ，所以图像的纵轴截距  $a_1$  代表  $\frac{1}{E}$ ，图像斜率  $\frac{a_2 - a_1}{b_1}$  代表  $\frac{r}{E}$ ，可得  $E = \frac{1}{a_1}$ ； $r = \frac{a_2 - a_1}{a_1 b_1}$ 。

(2) 见答案。

### 三、计算题（本题共 4 小题，共 40 分）

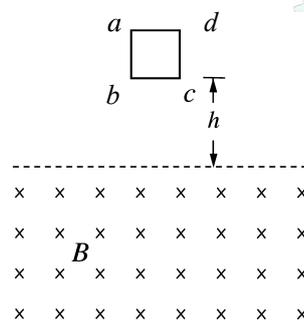
#### 17. (8 分)

均匀导线制成的单匝正方形闭合线框  $abcd$ ，边长为  $L$ ，总电阻为  $R$ 。将其置于磁感应强度为  $B$  的水平匀强磁场上方  $h$  处，如图所示。线框由静止开始自由下落，并匀速进入磁场。在此过程中线框平面保持在竖直平面内，且  $bc$  边始终与水平的磁场边界平行，重力加速度为  $g$ ，在线框进入磁场过程中，求：

(1) 线框中产生的感应电动势大小  $E$ ；

(2)  $bc$  两点间的电势差  $U_{bc}$ ；

(3) 闭合线框的质量  $m$ 。



【答案】(1)  $E = BL\sqrt{2gh}$ ；(2)  $U_{bc} = -\frac{3}{4}E = -\frac{3BL}{4}\sqrt{2gh}$ ；(3)  $m = \frac{B^2 L^2}{R} \sqrt{\frac{2h}{g}}$

【解析】(1) 线框进入磁场时，线框速度  $v = \sqrt{2gh}$   
线框中产生的感应电动势  $E = BLv = BL\sqrt{2gh}$

(2) 此过程中线框中电流  $I = \frac{E}{R}$

$bc$  两点间的电势差  $U_{bc} = -\frac{3}{4}E = -\frac{3BL}{4}\sqrt{2gh}$

(3) 线框匀速进入磁场  $mg = F_{安}$ ， $F_{安} = BIL$

$$\text{解得线框的质量 } m = \frac{B^2 L^2}{R} \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

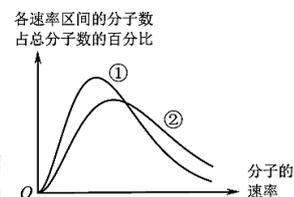
(其他方法正确同样给分)

18 (8分)

我们可以从宏观和微观两个角度来研究热现象。

一定质量的理想气体由状态 A 经过状态 B 变为状态 C，期中 A 到 B 过程为等压变化，B 到 C 过程为等容变化，已知  $V_A=0.3\text{m}^3$ ， $T_A=300\text{K}$ ，

$T_B=400\text{K}$ ， $T_C=300\text{K}$ 。



(1) 请你求出气体在状态 B 时的体积  $V_B$ 。

(2) 气体分别处于状态 A 和状态 B 时，分子热运动速率的统计分布情况如图所示，其中对应状态 B 的是曲线\_\_\_\_\_ (选填“①”或“②”)。

(3) 请你说明 B 到 C 过程中，气体压强变化的微观原因。

(4) 设 A 到 B 过程气体吸收热量为  $Q_1$ ，B 到 C 过程气体放出热量为  $Q_2$ ，请你比较  $Q_1$ 、 $Q_2$  的大小并说明依据。

**【答案】** (1)  $V_B=0.4\text{m}^3$ ；(2) ②；(3) 见解析；(4)  $Q_1 > Q_2$

**【解析】** (1) A→B 过程为等压变化，由盖—吕萨克定律有  $\frac{V_A}{T_A} = \frac{V_B}{T_B}$

代入数据，解得  $V_B=0.4\text{m}^3$

(2) ②

(3) 气体的压强与气体分子的平均动能、气体分子的密集程度有关。B→C 过程为等容变化，气体体积不变，气体分子的密集程度不变。气体的温度降低，气体分子的平均动能变小，因此气体的压强变小。

(4)  $Q_1$  大于  $Q_2$

一定质量理想气体的内能只与温度有关。

A→B 过程：气体温度升高，内能增大  $\Delta E_1$ 。气体体积增大，气体对外做功  $W_1$ 。由热力学第一定律可知，气体吸收热量  $Q_1 = \Delta E_1 + W_1$

**B→C 过程：**气体温度降低，内能减少  $\Delta E_2$ 。气体体积不变，既没有气体对外做功，也没有外界对气体做功， $W_2=0$ 。由热力学第一定律可知，气体放出热量  $Q_2 = \Delta E_2$ 。

由题知  $T_A=T_C$ ， $\Delta E_1=\Delta E_2$ ，因此  $Q_1$  大于  $Q_2$ 。

(其他方法正确同样给分)

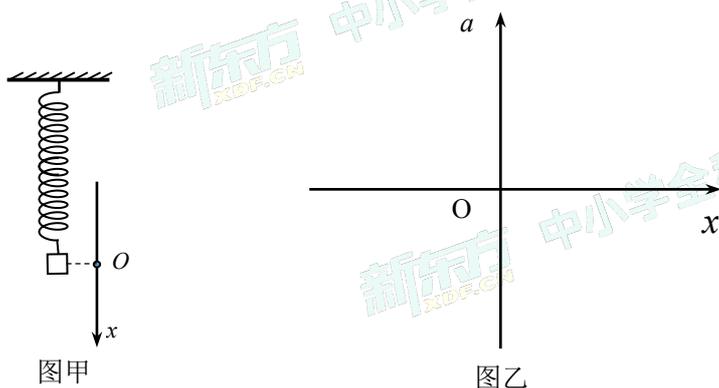
### 19. (12 分)

如图甲所示，劲度系数为  $k$  的轻质弹簧上端固定，下端连接质量为  $m$  的小物块，以小物块的平衡位置为坐标原点  $O$ ，以竖直向下为正方向建立坐标轴  $Ox$ 。现将小物块向上托起，使弹簧恢复到原长时将小物块由静止释放，小物块在竖直方向做往复运动，且弹簧始终在弹性限度内。

(1) 以小物块经过平衡位置向下运动过程为例，通过推导说明小物块的运动是否为简谐运动。

(2) 求小物块由最高点运动到最低点过程中，重力势能的变化量  $\Delta E_{p1}$ ，弹簧弹性势能的变化量  $\Delta E_{p2}$ 。

(3) 在图乙中画出由最高点运动到最低点过程中，小物块的加速度  $a$  随  $x$  变化的图像，并利用此图像求出小物块向下运动过程中的最大速度。



**【答案】** (1) 见解析； (2)  $\Delta E_{p1} = -2mgx_0 = -\frac{2m^2g^2}{k}$ ， $\Delta E_{p2} = \frac{2m^2g^2}{k}$ ； (3)  $v = \sqrt{\frac{mg^2}{k}}$

【解析】(1) 设小物块位于平衡位置时弹簧的伸长量为  $x_0$ ，有  $kx_0=mg$

小物块运动到平衡位置下方  $x$  处，受力如答图 1 所示

此时弹簧弹力大小  $F=k(x+x_0)$

小物块所受合力  $F_{\text{合}}=mg-k(x+x_0)=-kx$

即小物块所受合力与其偏离平衡位置的位移大小成正比，方向相反，说明小物块的运动是简谐运动。

(2) 根据简谐运动的特点，小物块由最高点运动到最低点过程中，下降的高度为  $2x_0$

重力势能减小， $\Delta E_{p1}=-2mgx_0=-\frac{2m^2g^2}{k}$

根据机械能守恒定律  $\Delta E_k+\Delta E_{p1}+\Delta E_{p2}=0$

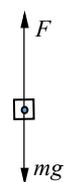
弹簧弹性势能增加， $\Delta E_{p2}=\frac{2m^2g^2}{k}$

(3) 由最高点运动到最低点过程中，小物块的加速度  $a$  随  $x$  变化的图象如答图 2 所示。

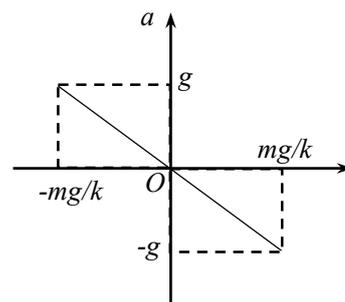
根据图中图线 ( $x>0$  或  $x<0$ ) 与横轴所围面积得  $\frac{W_{\text{合}}}{m}=\frac{mg^2}{2k}$

根据  $W_{\text{合}}=\Delta E_k$ ，可得小物块向下运动过程中的最大速度  $v=\sqrt{\frac{mg^2}{k}}$

(其他方法正确同样给分)



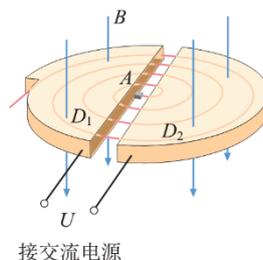
答图 1



答图 2

20. 在研究原子核内部结构时，需要用能量很高的粒子去轰击原子核。粒子加速器可以用人工方法使带电粒子获得很大速度和能量。

如图是回旋加速器的结构示意图， $D_1$  和  $D_2$  是两个中空的半径为  $R$  的半圆形金属盒，两盒之间留有间距为  $d$  的窄缝，缝间存在交变电场。两个金属盒处于与盒面垂直的匀强磁场中，磁感应强度为  $B$ 。 $D_1$  盒子的中央  $A$  处的粒子源可以产生质量为  $m$ ，电荷量为  $+q$



的粒子。粒子在两盒之间被电场加速，之后进入磁场做匀速圆周运动。经过若干次加速后，将粒子从金属盒边缘引出。设粒子在交变电场中运动时电压大小为  $U$ ，不考虑粒子

离开 A 处时的速度、粒子重力、粒子间的相互作用及相对论效应。

(1) 求粒子被引出时的动能  $E_k$ 。

(2) 求粒子被电场加速的次数  $n$ 。

(3) 随着粒子在电场中的不断加速，粒子在磁场中的运动速率一次比一次增大。然而，粒子每次在金属盒中的运动时间都相同，粒子在交变电场中加速的总时间也可以忽略。

已知 10MeV 以上的回旋加速器中磁感应强度的数量级为 1T，金属盒的直径在 1m 以上，窄缝之间距离约为 0.1cm。请你结合上述参数，通过推导和估算加以分析。

**【答案】** (1)  $E_k = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ ; (2)  $n = \frac{qB^2 R^2}{2mU}$ ; (3) 见解析

**【解析】** (1) 粒子在磁场中做匀速圆周运动时，洛伦兹力充当向心力，被引出时的速度为  $v$

根据牛顿第二定律有  $qvB = m \frac{v^2}{R}$

解得  $v = \frac{qBR}{m}$

粒子被引出时的动能  $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$

(2) 粒子在电场中被加速  $n$  次，根据动能定理有  $nqU = E_k$

$n = \frac{qB^2 R^2}{2mU}$

(3) 粒子在加速器中运动的时间可以看成两部分时间之和：在金属盒内旋转  $\frac{n}{2}$  圈的时间  $t_1$  和通过金属盒间隙  $n$  次所需的时间  $t_2$ 。

粒子在磁场中做匀速圆周运动时，洛伦兹力充当向心力

有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$

运动周期  $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$

由此可知：粒子运动周期与粒子速度无关，每次在金属盒中的运动时间相同

粒子在磁场中运动时间  $t_1 = \frac{n}{2}T = \frac{\pi BR^2}{2U}$

粒子在电场中运动时，根据匀变速直线运动规律  $nd = \frac{v}{2}t_2$

$$t_2 = \frac{BRd}{U}$$

粒子在磁场中运动时间与在电场中运动时间之比  $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\pi R}{2d} \approx 8 \times 10^2$

由此可知：粒子在电场中的加速时间可以忽略。

（其他方法正确同样给分）