物 理 试 卷

注意事项：

1. 答题前，考生务必用黑色碳素笔将自己的姓名、准考证号、考场号、座位号在答题卡上填写清楚。

2. 每小题选出答案后，用2B铅笔把答题卡上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。在试题卷上作答无效。

3. 考试结束后，请将本试卷和答题卡一并交回。满分100分，考试用时75分钟。

一、单项选择题：本大题共7小题，每小题4分，共28分。在每小题给出的四个选项中，只有一项符合题目要求。

1. “物理”一词最早源于我国《庄子·天下》中的“判天地之美，析万物之理”。关于物理思想与方法，下列说法正确的是

A. 用点电荷来代替带电体的方法运用了假设法

B. 借助激光笔及平面镜观察桌面的微小形变的实验中，用到了理想模型法

C. 加速度 $a=\frac{F}{m}$ 用到了比值定义法

D. 重心的概念体现了等效思想

2. 在火星上太阳能电池板发电能力有限，因此科学家们用放射性材料——PuO_2 作为发电能源为火星车供电（PuO_2 中的 Pu 是 $^{238}_{94}Pu$）。已知 $^{238}_{94}Pu$ 衰变后变为 $^{234}_{92}U$ 和 X 粒子，衰变过程放出高能量的射线使电池内部温度升高，在热电元件中将内能转化为电能。下列说法正确的是

A. X 粒子是由原子核内中子转变而成

B. $^{238}_{94}Pu$ 比 $^{234}_{92}U$ 的比结合能大

C. 为保证电池的长寿命应选用半衰期更短的放射性材料

D. $^{238}_{94}Pu$ 衰变过程，生成物所有原子核的结合能之和比反应物原子核的结合能大

3. 如图1所示，两根完全相同的轻质弹性绳 OA、OB 一端分别固定于 A、B 两点，另一端与轻绳 OC、OD 连结。用力拉轻绳，使 OA 水平，OA 与 OB 夹角为120°，此时两弹性绳长度相同，A、O、C 在一条直线上，B、O、D 也在一条直线上。现保持 O 点不动且 OC 方向不变，将 OD 逆时针方向旋转30°。则下列说法正确的是

A. OA 与 OB 的拉力始终相等并一直减小

B. OA 与 OB 的拉力始终相等并一直增大

C. OC 上的拉力一直减小

D. OD 上的拉力先减小后增大

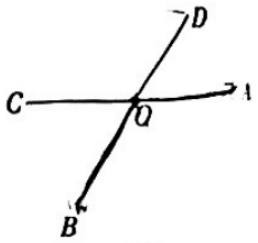


图1

4. 如图 2 所示，水平面上方有水平向左的匀强电场，电场强度 $E=\frac{mg}{q}$，一个质量为 m、电量为 q 的带正电微粒从距离水平面 5m 处水平抛出，抛出速度 $v_0=10\text{m/s}$，不计空气阻力，重力加速度 $g=10\text{m/s}^2$。微粒运动过程中下列说法正确的是

A. 微粒做非匀变速运动

B. 微粒抛出到落地的时间是 1s

C. 微粒运动过程到动能最小时所用的时间是 1s

D. 微粒运动过程中动能最小时距离地面的高度为 3.75m

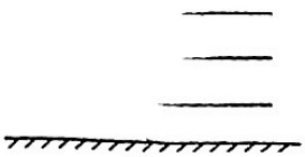


图 2

5. 如图 3 所示，理想变压器原、副线圈的匝数比 $n_1:n_2=5:1$，原线圈的电压 $u=50\sqrt{2}\sin(50\pi t)\text{V}$，副线圈中接有 $R_1=10\Omega$、$R_2=10\Omega$、可变电阻 R_3，所用电表均为理想电表。断开开关 S，在 R_3 增大的过程中，电流表 A、电压表 V_1、电压表 V_2 示数的变化量分别为 ΔI、ΔU_1、ΔU_2。下列说法正确的是

A. $|\Delta U_1|$ 小于 $|\Delta U_2|$

B. $\left|\frac{\Delta U_1}{\Delta I}\right|$ 与 $\left|\frac{\Delta U_2}{\Delta I}\right|$ 均不变

C. 闭合开关 S，R_3 调为 0，变压器的输入电流为 0.4A

D. 闭合开关 S，保证电容器不损坏，电容器的耐压值至少为 10V

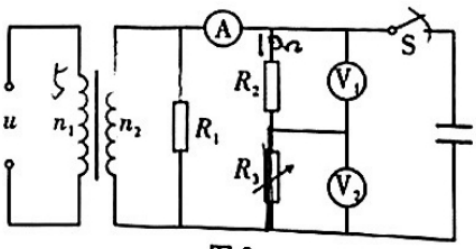


图 3

6. 在恒星形成后的演化过程中，一颗恒星可能在运动中接近并捕获另外两颗恒星，逐渐形成稳定的三星系统。如图 4 所示是由三颗星体构成的系统，星体 B、C 的质量均为 m，星体 A 的质量是星体 B 的 4 倍，忽略其他星体对它们的作用，三颗星体在相互之间的万有引力作用下，分别位于等边三角形的三个顶点上，绕某一共同的圆心在三角形所在的平面内做圆周运动。星体 A、B、C 的向心加速度大小之比为

A. $\sqrt{7}:7:7$　　B. $4:7:7$

C. $1:4:4$　　D. $1:7:7$

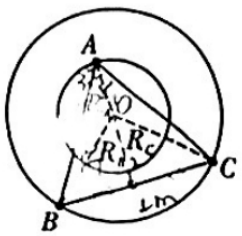


图 4

7. 如图 5 所示，小木块 a 和 b（可视为质点）用轻绳连接置于水平圆盘上，开始时轻绳处于伸直状态但无拉力，a 的质量为 $3m$，b 的质量为 m。它们分居圆心两侧，与圆心的距离分别为 r 和 $2r$，a、b 与盘间的动摩擦因数相同（最大静摩擦力等于滑动摩擦力）。圆盘从静止开始绕转轴极缓慢地加速转动，木块和圆盘始终保持相对静止，a、b 所受摩擦力大小随 ω^2 变化的图像正确的是

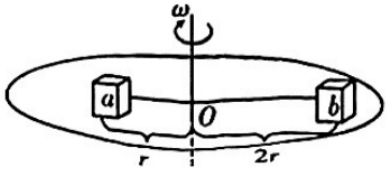
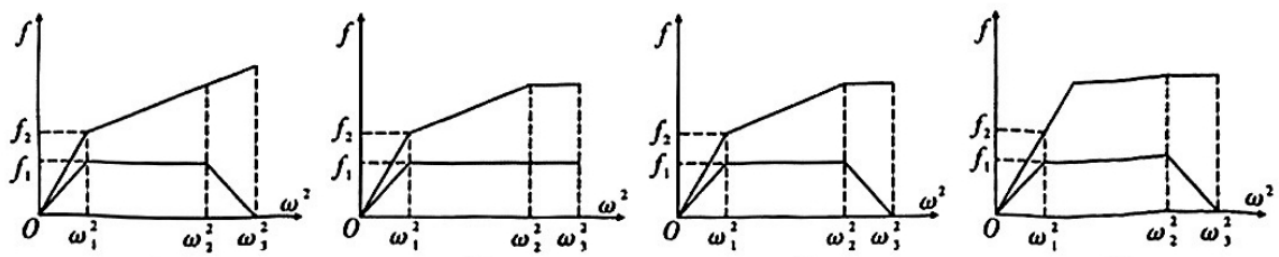


图 5



A　　B　　C　　D

二、多项选择题：本大题共 3 小题，每小题 5 分，共 15 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 5 分，选对但不全的得 3 分，有选错的得 0 分。

8. 一个电子无初速度地注入电子感应加速器的真空室中，加速器的磁极在半径为 R 的圆形区域内产生磁感应强度大小为 $B_1=kt(k>0)$、方向如图 6 所示的变化磁场，真空室内存在另一个变化的磁场 B_2“约束”电子在真空室内做半径为 R 的圆周运动，不考虑电子的重力和相对论效应。下列说法正确的是

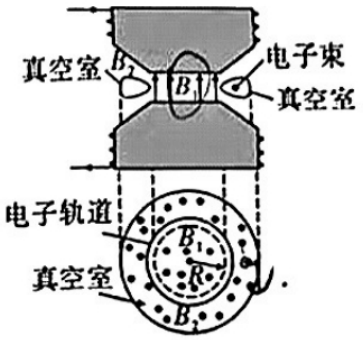


图 6

A 电子感应加速器是利用感生电场对电子进行加速的

B. 俯视真空管道电子沿顺时针方向加速运动

C. 电子所受到的洛伦兹力一定不断增大

D. 洛伦兹力对电子一直做正功

9. 一乘客在候车室座椅上看手机，手机屏幕处于水平面内，此手机屏幕用防窥屏制作成。这种防窥屏由透明介质和对光完全吸收的屏障构成，其中屏障垂直于屏幕平行排列，可实现对像素单元可视角度 θ 的控制（可视角度 θ 定义为某像素单元发出的光在图 7 所示平面内折射到空气后最大折射角的 2 倍）。透明介质的折射率 $n=\frac{4}{3}$，屏障高度 $d=\frac{\sqrt{111}}{15}$mm，屏障间隙 $L=1.2$mm，发光像素单元紧贴屏下并位于相邻屏障正中央，下列说法正确的是

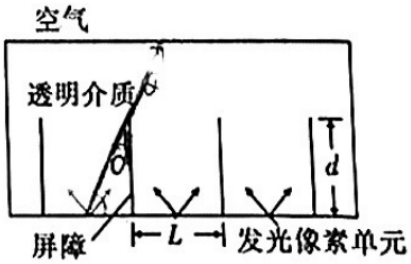


图 7

A. 防窥屏实现防窥效果是因为光发生了全反射

B. 此防窥屏的可视角度 $\theta=120°$

C. 若减小透明介质的折射率，则可增强防窥效果

D. 若增大 d，则可视角度 θ 减小

10. 如图 8 所示，一轻质弹簧竖直放置在水平地面上，其下端固定，上端拴接一个质量为 $2m$、厚度可忽略不计的薄板。薄板静止时，弹簧的压缩量为 a，现有一个质量为 m 的物块从距薄板正上方某高度处自由下落，与薄板碰撞后立即粘连在一起，碰撞时间极短。之后，物块与薄板一起在竖直方向上运动，在这个过程中，弹簧的最大形变量为 $2.5a$，从刚粘连到第一次运动到最高点用时为 t，弹簧始终在弹性限度内，不计空气阻力。下列说法正确的是(本题可能用到弹性势能公式 $E_p=\frac{1}{2}kx^2$，k 为弹簧劲度系数，x 为弹簧形变量)

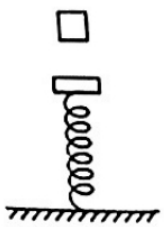


图 8

A. 物块与薄板粘在一起之后在竖直方向上做简谐运动

B. 物块与薄板在最低点加速度大小大于重力加速度

C. 物块与薄板运动的周期为 $\frac{6}{5}t$

D. 物块从距离薄板 $\frac{9}{4}a$ 处自由下落

三、非选择题：共 5 小题，共 57 分。

11.（7 分）小巴同学用铝制易拉罐和粗细均匀的透明薄吸管制作温度计，实验装置如图 9 所示。向一个空的铝制易拉罐中插入一根透明吸管，接口用蜡密封，在吸管内引入一小段油柱，并将吸管水平放置。不计环境大气压的变化，罐内气体视为理想气体。

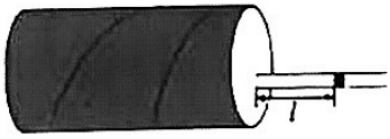


图 9

（1）环境温度由 27℃缓慢上升至 30℃过程中，罐内气体 _____（填“吸热”或“放热”）。

（2）给吸管上标刻温度值时，刻度_____（填“是”或“不是”）均匀的。

（3）将制作好的温度计竖直放置在某环境中（吸管在易拉罐上方），所测温度读数_____（填“大于”“小于”或“等于”）实际温度。

12.（9 分）人们对室内空气质量和环境健康问题十分重视，已知国家室内甲醛浓度标准是 $\eta \leqslant 0.1\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$。某探究小组准备利用一个对甲醛气体非常敏感的气敏电阻 R_1，制作一个甲醛检测仪，用于检测室内甲醛是否超标。正常情况下该气敏电阻阻值为几百欧，当甲醛浓度升高时，其阻值可以增大到几千欧。供选择的器材如下：

A. 蓄电池（电动势 $E=6\text{V}$，内阻不计）

B. 电流表 A_1（量程 60mA，内阻 R_{A1} 为 100Ω）

C. 电流表 A_2（量程 80mA，内阻 R_{A2} 约为 20Ω）

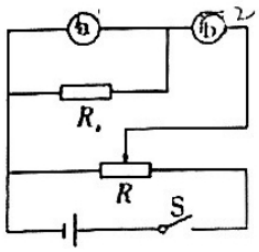
D. 滑动变阻器 R_1（最大阻值 20Ω）

E. 滑动变阻器 R_2（最大阻值 6000Ω）

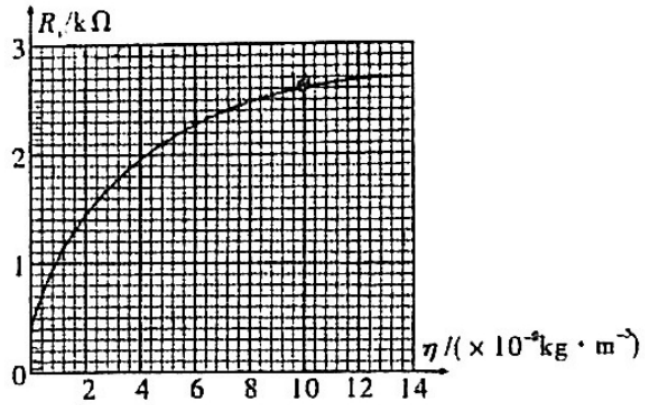
F. 电阻箱 R_3（最大阻值 9999.9Ω）

G. 红色发光二极管

H. 开关、导线若干



甲



乙

图 10

（1）该组同学设计了如图 10 甲所示的电路图研究气敏电阻阻值随甲醛浓度变化的规律，为了更方便测量气敏电阻的阻值，则图中滑动变阻器应选择_____（填“R_1”或“R_2”）。

（2）按图甲连接好电路，将电流表连接到恰当位置后，把气敏电阻放置于不同浓度甲醛中测量其电阻的阻值，某次测量时读出两电流表 A_1、A_2 的示数分别为 I_1、I_2，则此次电阻阻值 R_x=_____（用题目所给字母表示）。最终得到如图乙所示图像。

（3）利用该气敏电阻，探究小组设计的甲醛检测仪的测试电路如图 11 所示。当报警器两端的电压大于 2V 时将报警，报警器对电路电阻的影响不计，实验要求当室内甲醛浓度超过标准时，报警器报警。按电路图连接好电路，按照下列步骤调节甲醛检测仪，使其能正常使用。

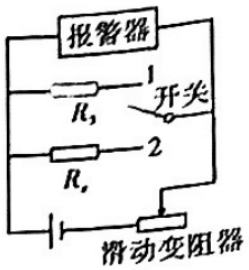


图 11

①电路接通前需将电阻箱 R_3 调到某一恰当数值，这一恰当数值为_____Ω，将滑动变阻器滑片置于右端；

②将开关向 1 端闭合，缓慢移动滑动变阻器的滑片，直至报警器开始报警；

③保持滑动变阻器滑片位置不动，将开关向 2 端闭合，甲醛检测仪即可正常使用。

（4）某些环境对甲醛浓度标准有更高要求，按（3）调节好甲醛检测仪后，为了使甲醛检测仪能够在 $\eta \geq 0.08 mg/m^3$ 时就能报警，应将滑动变阻器的滑片向_____（填“左”或“右”）移动。

13.（10 分）一列简谐横波沿 x 轴传播，如图 12 所示，实线为 $t_1=0$ 时刻的波形图，虚线为 $t_2=1s$ 时刻的波形图。

（1）若已知 $x=0$ 处的质点在 0～1s 内运动的路程为 25cm，求 $x=0$ 处的质点的振动方程（用正弦函数形式表达）；

（2）若波沿 x 轴正向传播，求波的传播速度大小。

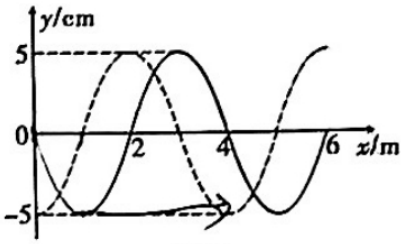


图 12

14.（13 分）如图 13，在平面直角坐标系 xOy 上，$0<x<\sqrt{3}L$ 区域有垂直于纸面（xOy 平面）向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场；$-L<x<0$ 区域有沿 x 轴负向的匀强电场，电场强度大小为 E。一带电粒子从坐标为（$-L$，0）的 A 点处由静止释放，由 O 点入射到磁场中，在磁场另一侧的 S 点射出，粒子离开磁场后，沿直线运动打在垂直于 x 轴的接收屏上的 P 点，$SP=L$，S 与屏的距离为 $\frac{1}{2}L$。若在磁场右边界和接收屏之间再加上电场强度大小为 $2E$ 的匀强电场，方向垂直于 SP 且与 x 轴负方向夹角为 30°，则粒子将在 xOy 平面运动并垂直打在接收屏上的 Q 点。粒子的重力不计，不考虑相对论效应。求：

（1）带电粒子在磁场中运动的轨迹半径 r；

（2）求带电粒子比荷的绝对值 $\frac{q}{m}$；

（3）从释放到运动至 Q 点所用的时间。

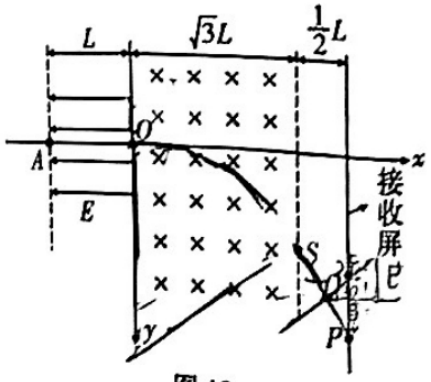


图 13

15.（18 分）半径为 R（内外半径之差可忽略）的光滑圆管水平放置并固定，俯视图如图 14 所示。圆心为 O，圆管内有质量分别为 $2m$、$3m$、$15m$ 的 A、B、C 三个小球，静止在图示位置，对应刻度盘上的角度分别是 0°、120°、240°，不计小球碰撞的时间，重力加速度为 g。

（1）现给 A 一个初速度 v_0，让其沿圆管切线方向逆时针运动，若 A、B、C 三个小球中任意两球之间的碰撞为弹性碰撞，但三球同时碰撞时会结合在一起，求：

①第 2 次碰撞发生时，A 球的位置；

②第 3 次碰撞后瞬间，小球 A 的速度大小；

③第 3 次碰撞后瞬间，三球对圆管压力的合力大小；

（2）现撤去 C 球，给 B 一个初速度 v_0，让其沿圆管切线方向顺时针运动，若 B 与 A 球之间的碰撞为非弹性碰撞，每次碰撞后的相对速度大小为碰撞前的相对速度大小的 k 倍，其中 $k=\frac{1}{2}$，求第 1 次碰撞到第 2025 次碰撞之间小球 A 通过的路程。

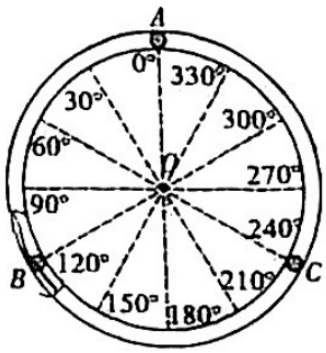


图 14

物理参考答案

选择题：共 10 小题，共 43 分。在每小题给出的四个选项中，第 1~7 题只有一项符合题目要求，每小题 4 分；第 8~10 题有多项符合题目要求，每小题 5 分，全部选对的给 5 分，选对但不全的给 3 分，有选错的给 0 分。

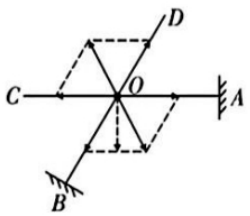
题号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
答案	D	D	C	D	B	A	C	AC	BCD	ACD

【解析】

1．用点电荷来代替带电体采用了理想化的物理模型的方法，故 A 错误。借助激光笔及平面镜观察桌面的微小形变的实验中，用到了放大法，故 B 错误。加速度定义式是速度的变化量与时间的比值，应用了比值定义法，故 C 错误。重心、合力和分力都采用了等效替代的思想，故 D 正确。

2．α 衰变方程为 $^{238}_{94}\mathrm{Pu}\rightarrow{}^{234}_{92}\mathrm{U}+{}^{4}_{2}\mathrm{He}$，α 粒子由两个质子和两个中子组成；故 A 错误。$^{238}_{94}\mathrm{Pu}$ 比 $^{234}_{92}\mathrm{U}$ 的结合能大，比结合能小；故 B 错误。应该选用半衰期更长的材料保证电池的长寿命；故 C 错误。核反应质量数守恒，由题意知该核反应为放能反应，所以生成物结合能更大，故 D 正确。

3．由题意知 *OA*、*OB* 段拉力相等且始终不变，由动态分析图可得，*OC*、*OD* 的拉力均始终减小。



4．微粒做匀变速运动，故 A 错误。落地时间为 1s，故 B 错误。从抛出点到动能最小位置所用时间 $t=\dfrac{v_0\sin 45°}{\sqrt{2}g}=0.5\mathrm{s}$，此过程微粒在竖直方向下落高度为 $h=\dfrac{1}{2}gt^2=1.25\mathrm{m}$，此时距离地面的高度为 3.75m；故选 D。

5．R_3 增大，副线圈两端电压不变，电流表示数变小，R_2 电压变小，R_3 电压变大，$|\Delta U_1|$ 等于 $|\Delta U_2|$；故 A 错误。$\left|\dfrac{\Delta U_1}{\Delta I}\right|=R_2$ 不变，$\left|\dfrac{\Delta U_2}{\Delta I}\right|$ 等于除 R_3 之外等效电源的内阻，也不变；故 B 正确。电容器通交流，闭合开关 S，变压器的输入电流大于 0.4A；故 C 错误。电容器的耐压值至少为 $10\sqrt{2}\,\mathrm{V}$；故 D 错误。

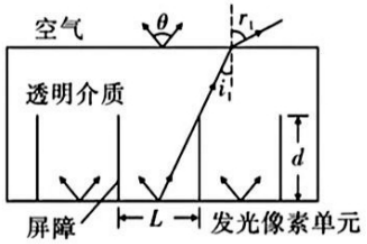
6．由几何关系知 $F_{BA}=F_{CA}$，$F_{BA}=G\dfrac{4m^2}{d^2}$，$F_A=2F_{BA}\cos 30°$，$F_A=\dfrac{4\sqrt{3}Gm^2}{d^2}$；由几何对称性

可知星体 B、C 受力大小相等，$F_{AB}=F_{BA}=G\frac{4m^2}{d^2}$，$F_{CB}=G\frac{m^2}{d^2}$；设星体 B 所受的合力为 F_B，正交分解 F_B，有 $F_{Bx}=F_{AB}\cos 60°+F_{CB}=\frac{3Gm^2}{d^2}$，$F_{By}=F_{AB}\sin 60°=\frac{2\sqrt{3}Gm^2}{d^2}$，则 $F_B=\sqrt{F_{Bx}{}^2+F_{By}{}^2}=\frac{\sqrt{21}Gm^2}{d^2}$，则 $a_{nA}:a_{nB}:a_{nC}=\frac{F_A}{4m}:\frac{F_B}{m}:\frac{F_C}{m}$，解得为 $\sqrt{7}:7:7$；故选 A。

7．$f_a=3\mathrm{m}\omega^2 r$，$f_b=\mathrm{m}\omega^2 2r$，第一段图像斜率大的为 a，斜率小的为 b，b 先达到最大静摩擦力 $f_{b\mathrm{m}}$，此时 $f_a-f_{b\mathrm{m}}=\mathrm{m}\omega^2 r$，$\omega$ 增大，$f_{b\mathrm{m}}$ 不变，f_a 增大；直到 a 的摩擦力增加到最大静摩擦力 $f_{a\mathrm{m}}$ 时，$f_{a\mathrm{m}}-f_{b\mathrm{m}}=m\omega^2 r$，$\omega$ 增大，$f_{a\mathrm{m}}$ 不变，f_b 减小；故选 C。

8．电子感应加速器是利用变化的磁场激发感生电场，从而进行加速；故 A 正确。根据楞次定律判断感生电场方向为顺时针，电子运动方向为逆时针；故 B 错误。由 $R=\frac{mv}{qB_2}$ 知电子在真空室中的半径不变，v 增加，B_2 也在增加，$F_{洛}=qvB_2$ 不断增加；故 C 正确。洛伦兹力对电子不做功；故 D 错误。

9．防窥屏实现防窥效果是因为有吸光屏障，故 A 错误。如图



根据几何关系得 $\sin i_1=\frac{\frac{L}{2}}{\sqrt{d^2+\left(\frac{L}{2}\right)^2}}=\frac{3\sqrt{3}}{8}$，根据光的折射率 $n=\frac{\sin r_1}{\sin i_1}=\frac{4}{3}$，联立得 $r_1=60°$，则可视角度为 120°，故选 BCD。

10．物块与薄板在竖直方向上满足 $F_{合}=-kx$，故 A 正确。根据简谐运动的对称性判断，物块与薄板在最低点加速度小于重力加速度。从位移 $0.5A$ 的位置运动至第一次到达最高点的时间 $t=\frac{1}{12}T+\frac{3}{4}T$，解得简谐运动的周期 $T=\frac{6}{5}t$。从物块与薄板开始做简谐运动至运动到最低点过程，对简谐运动系统由机械能守恒定律有 $3mg\times 1.5a+\frac{3m}{2}v^2=\frac{1}{2}k(2.5a)^2-\frac{1}{2}ka^2$，碰撞过程：$mv_0=3mv$，$m$ 下落过程：$mgh=\frac{1}{2}mv_0^2$，开始静止时，有 $ka=2mg$，联立解得 $h=\frac{9}{4}a$。

非选择题：共 5 小题，共 57 分。

11.（除特殊标注外，每空 2 分，共 7 分）

（1）吸热

（2）是

（3）小于（3 分）

【解析】（1）一定质量的理想气体，温度升高时，内能增大 $\Delta U>0$，体积变大，气体对外做功，$W<0$，由 $\Delta U=W+Q$ 可知 $Q>0$，所以该过程罐内气体吸热。

（2）一定质量的理想气体，压强不变时，由 $\frac{pV}{T}=C$，$V=Sl$，得 $T=\frac{pS}{C}\cdot l$，所以吸管上温度值标刻是均匀的。

（3）若将温度计竖直放置，则气体实际压强增大，所以实际温度大于所测温度。

12.（除特殊标注外，每空 2 分，共 9 分）

（1）R_1

（2）$\frac{I_1R_{A1}}{I_2-I_1}$

（3）2600

（4）左（3 分）

【解析】（1）为了便于调节，分压式接法要选用最大值较小的滑动变阻器。

（2）A_1 内阻已知，且 A_2 量程大于 A_1，所以 a 应选择 A_1 作为电压表，b 应选 A_2 作为电流表，由 $(I_2-I_1)R_x=I_1R_{A1}$ 得 $R_x=\frac{I_1R_{A1}}{I_2-I_1}$。

（3）由图乙得当 $\eta=0.1\text{mg/m}^3$ 时，$R_x=2600\Omega$，为了能使报警器在 $R_x=2600\Omega$ 时报警，需将 R_3 调到 2600Ω。

（4）浓度降低时，气敏电阻变小，为使气敏电阻两端电压仍为 2V，需减小滑动变阻器阻值，向左滑动。

13.（10 分）

解：（1）设 $x=0$ 处质点的振动方程为 $y=A\sin(\omega t+\varphi)$

由题知该质点在 0 时刻向 y 轴负向运动

$\varphi=\pi$ ①

非选择题：共 5 小题，共 57 分。

11.（除特殊标注外，每空 2 分，共 7 分）

（1）吸热

（2）是

（3）小于（3 分）

【解析】（1）一定质量的理想气体，温度升高时，内能增大 $\Delta U>0$，体积变大，气体对外做功，$W<0$，由 $\Delta U=W+Q$ 可知 $Q>0$，所以该过程罐内气体吸热。

（2）一定质量的理想气体，压强不变时，由 $\frac{pV}{T}=C$，$V=Sl$，得 $T=\frac{pS}{C}\cdot l$，所以吸管上温度值标刻是均匀的。

（3）若将温度计竖直放置，则气体实际压强增大，所以实际温度大于所测温度。

12.（除特殊标注外，每空 2 分，共 9 分）

（1）R_1

（2）$\frac{I_1R_{A1}}{I_2-I_1}$

（3）2600

（4）左（3 分）

【解析】（1）为了便于调节，分压式接法要选用最大值较小的滑动变阻器。

（2）A_1 内阻已知，且 A_2 量程大于 A_1，所以 a 应选择 A_1 作为电压表，b 应选 A_2 作为电流表，由 $(I_2-I_1)R_x=I_1R_{A1}$ 得 $R_x=\frac{I_1R_{A1}}{I_2-I_1}$。

（3）由图乙得当 $\eta=0.1\text{mg/m}^3$ 时，$R_x=2600\Omega$，为了能使报警器在 $R_x=2600\Omega$ 时报警，需将 R_3 调到 2600Ω。

（4）浓度降低时，气敏电阻变小，为使气敏电阻两端电压仍为 2V，需减小滑动变阻器阻值，向左滑动。

13.（10 分）

解：（1）设 $x=0$ 处质点的振动方程为 $y=A\sin(\omega t+\varphi)$

由题知该质点在 0 时刻向 y 轴负向运动

$\varphi=\pi$ ①

$\Delta t = T + \frac{T}{4}$

$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{5\pi}{2}$ ②

由图知 $A = 5\text{cm}$ ③

所以 $x = 0$ 处质点的振动方程为 $y = 5\sin(\frac{5\pi}{2}t + \pi)\text{cm}$ ④

（2）由图知 $\lambda = 4\text{m}$ ⑤

若波沿 x 轴正向传播，则

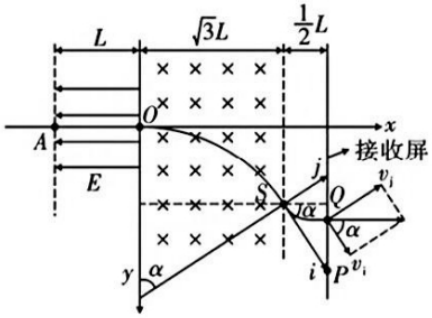
$\Delta t = \frac{3T}{4} + nT$ ⑥

$v = \frac{\lambda}{T} = 4n + 3(\text{m/s})(n \in \text{N})$ ⑦

评分标准：本题共 10 分。正确得出④、⑥、⑦式各给 2 分，其余各式各给 1 分。

14.（13 分）

解：（1）$O \to S$：粒子做匀速圆周运动，轨迹如图所示



$\cos\alpha = \frac{\frac{1}{2}L}{L} = \frac{1}{2}$ ①

$\alpha = 60°$

由几何关系可得粒子做圆周运动半径 $r = \frac{\sqrt{3}L}{\sin\alpha} = 2L$ ②

（2）$A \to O$：$qEL = \frac{1}{2}mv_0^2$ ③

在磁场中：$qv_0B = m\frac{v_0^2}{r}$ ④

得 $v_0 = \frac{2qBL}{m}$

所以 $\frac{q}{m} = \frac{E}{2LB^2}$ ⑤

（3）$A \to O$：$a_1 = \frac{qE}{m}$ ⑥

$t_1 = \frac{v_0}{a_1}$ ⑦

②B 球与 C 球在 240° 处的弹性碰撞是第 2 次碰撞，设 B 与 C 球碰后的速度分别是 v_3 和 v_4，则有

$$m_B v_2 = m_B v_3 + m_C v_4 \quad ④$$

$$\frac{1}{2}m_B v_2^2 = \frac{1}{2}m_B v_3^2 + \frac{1}{2}m_C v_4^2 \quad ⑤$$

解得 $v_3 = -\frac{8}{15}v_0$、$v_4 = \frac{4}{15}v_0$

即第 2 次碰后，B 球顺时针转动，速度大小为 $\frac{8}{15}v_0$，C 球逆时针转动，速度大小为 $\frac{4}{15}v_0$

经分析，三个球将在圆管内刻度盘上 0° 位置处同时碰撞（即第 3 次碰撞） ⑥

依题意，三球将结合在一起，结合体的质量为 $20m$，设该结合体的速度为 v，则有

$$m_A|v_1| + m_B|v_3| - m_C v_4 = (m_A + m_B + m_C)v \quad ⑦$$

解得 $v = -\frac{1}{10}v_0$ 即第 3 次碰后，结合体将逆时针转动，速度大小为 $\frac{1}{10}v_0$ ⑧

故第 3 次碰撞后瞬间 A 的速度大小为 $\frac{1}{10}v_0$

③对结合体，水平面内有 $F_n = 20m\frac{v^2}{R} = \frac{mv_0^2}{5R}$ ⑨

竖直方向上有 $F_y = 20mg$ ⑩

由勾股定理得 $F_N = \sqrt{F_y^2 + F_n^2} = \sqrt{400m^2g^2 + \frac{m^2v_0^4}{25R^2}}$

由牛顿第三定律得 $F_N = F_N = \sqrt{400m^2g^2 + \frac{m^2v_0^4}{25R^2}}$ ⑪

（2）设 B 与 A 球第 1 次碰撞后的速度分别是 v_{B1} 和 v_{A1}，则有

$$v_{A1} - v_{B1} = kv_0$$

$$m_A v_{A1} + m_B v_{B1} = m_B v_0$$

解得 $v_{A1} = \frac{(1+k)m_B v_0}{m_A + m_B}$、$v_{B1} = \frac{(m_B - km_A)v_0}{m_A + m_B}$ ⑫

第 1 次碰撞和第 2 次碰撞之间时间间隔为 t_1，此过程 A 球比 B 球多运动一圈，有

$$t_1 = \frac{2\pi R}{v_{A1} - v_{B1}} = \frac{2\pi R}{kv_0} \quad ⑬$$

此过程中，A 球运动的路程为 $s_1 = v_{A1} \cdot t_1 = \dfrac{2\pi R m_B}{m_A + m_B}(\dfrac{1}{k}+1) = \dfrac{6\pi R}{5}(\dfrac{1}{k}+1)$ ⑭

设 B 与 A 球第 2 次碰撞后的速度分别是 v_{B2} 和 v_{A2}，则有

$v_{B2} - v_{A2} = k(v_{A1} - v_{B1}) = k^2 v_0$

$m_A v_{A2} + m_B v_{B2} = m_A v_{A1} + m_B v_{B1} = m_B v_0$

解得 $v_{A2} = \dfrac{(1-k^2)m_B v_0}{m_A + m_B}$ 、 $v_{B2} = \dfrac{(m_B + k^2 m_A)v_0}{m_A + m_B}$ ⑮

第 2 次碰撞和第 3 次碰撞之间时间间隔为 t_2，此过程 B 球比 A 球多运动一圈，有

$t_2 = \dfrac{2\pi R}{v_{B2} - v_{A2}} = \dfrac{2\pi R}{k^2 v_0}$ ⑯

此过程中，A 球运动的路程为 $s_2 = v_{A2} \cdot t_2 = \dfrac{2\pi R m_B}{m_A + m_B}(\dfrac{1}{k^2}-1) = \dfrac{6\pi R}{5}(\dfrac{1}{k^2}-1)$ ⑰

设 B 与 A 球第 3 次碰撞后的速度分别是 v_{B3} 和 v_{A3}，第 3 次碰撞和第 4 次碰撞之间时间间隔为 t_3，A 球运动的路程为 s_3，同理可得

$v_{A3} = \dfrac{(1+k^3)m_B v_0}{m_A + m_B}$ 、 $v_{B2} = \dfrac{(m_B - k^3 m_A)v_0}{m_A + m_B}$ 、 $t_3 = \dfrac{2\pi R}{k^3 v_0}$

$s_3 = \dfrac{2\pi R m_B}{m_A + m_B}(\dfrac{1}{k^3}+1) = \dfrac{6\pi R}{5}(\dfrac{1}{k^3}+1)$

同理可以分析接下来的两球的各次碰撞过程

则从第 1 次碰撞到第 2025 次碰撞共有 2024 个间隔过程，小球 A 通过的路程为

$s = s_1 + s_2 + s_3 + \cdots + s_{2024} = \dfrac{6\pi R}{5}(\dfrac{1}{k} + \dfrac{1}{k^2} + \dfrac{1}{k^3} + \cdots + \dfrac{1}{k^{2024}})$

化简得 $s = \dfrac{12\pi R}{5}(2^{2024} - 1)$ ⑱

评分标准：本题共 18 分。正确得出①~⑱式各给 1 分。

（其他解法正确，同理参照评分细则给分）