

# 2024 北京东城高三二模

## 物 理

2024. 05

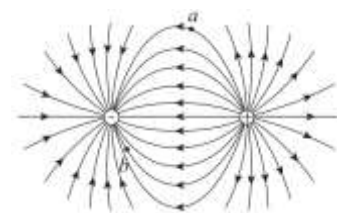
试卷满分：100 分 考试时间：90 分钟

班级\_\_\_\_\_ 姓名\_\_\_\_\_ 学号\_\_\_\_\_

### 第一部分

本部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。在每题给出的四个选项中，选出最符合题目要求的一项。

1.  $b$  为真空中等量异种点电荷的电场中的两点，如图所示。 $a$ 、 $b$  两点的电场强度大小分别为  $E_a$ 、 $E_b$ ，电势的高低分别为  $\varphi_a$ 、 $\varphi_b$ 。下列说法正确的是



- A.  $E_a < E_b$ ,  $\varphi_a < \varphi_b$
- B.  $E_a < E_b$ ,  $\varphi_a > \varphi_b$
- C.  $E_a > E_b$ ,  $\varphi_a > \varphi_b$
- D.  $E_a > E_b$ ,  $\varphi_a < \varphi_b$

2. 下列有关热现象的说法正确的是

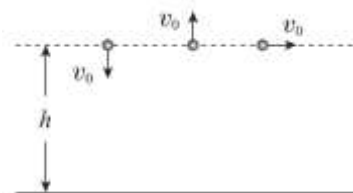
- A. 当物体温度为  $0^\circ\text{C}$  时，物体的内能为零
- B. 分子间作用力随分子间距离增大，一定先减小后增大
- C. 气体分子的速率有大有小，但大量气体分子的速率呈“中间多、两头少”的规律分布
- D. 一定质量的气体温度不变时，体积减小，压强增大，说明每秒撞击单位面积器壁的分子数减少

3. 如图为氢原子能级的示意图，现有大量的氢原子处于  $n=4$  的激发态，向低能级跃迁时辐射出若干不同频率的光。关于这些光，下列说法正确的是

$n$	$E/\text{eV}$
$\infty$	0
4	-0.85
3	-1.51
2	-3.40
1	-13.6

- A. 这些氢原子总共可辐射出 3 种不同频率的光
- B. 粒子性最强的光是由  $n=2$  能级跃迁到  $n=1$  能级产生的
- C. 最容易发生衍射的光是由  $n=4$  能级跃迁到  $n=1$  能级产生的
- D. 这群氢原子发出的光子中，能量的最大值为  $12.75\text{eV}$

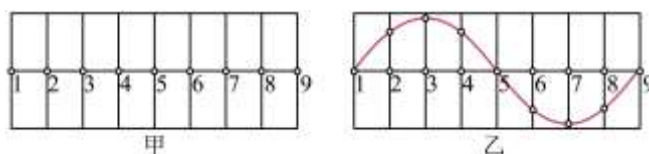
4. 如图所示，在距地面同一高度处将三个相同的小球以相同的速率分别沿竖直向下、竖直向上、水平向右的方向抛出，不计空气阻力，比较这三个小球从抛出到落地的过程，下列说法正确的是



- A. 重力对每个小球做的功都各不相同
- B. 每个小球落地时的速度都各不相同
- C. 每个小球在空中的运动时间都各不相同
- D. 每个小球落地时重力做功的瞬时功率都各不相同

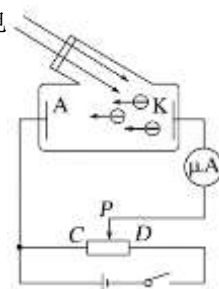
5. 一列振幅为  $A$  的简谐横波向右传播，在其传播路径上每隔  $L=0.2\text{m}$  选取一个质点，如图甲所示， $t=0$  时刻波恰传到质点 1，质点 1 立即开始向上振动，振动的最大位移为  $0.1\text{m}$ ，经过时间  $\Delta t=0.6\text{s}$ ，所选取的

1~9 号质点间第一次出现如图乙所示的波形，则下列判断正确的是



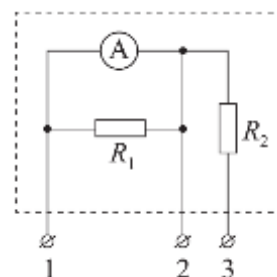
- A. 该波的波速为 4m/s
- B.  $t = 0.6s$  时刻，质点 5 向下运动
- C.  $t = 0$  至  $t = 0.6s$  内，质点 1 经过的路程为 2.4m
- D.  $t = 0$  至  $t = 0.6s$  内，质点 5 运动的时间只有 0.2s

6. 如图所示为研究光电效应的电路图。开关闭合后，当用波长为  $\lambda_0$  的单色光照射光电管的阴极 K 时，电流表示数不为零。下列说法正确的是



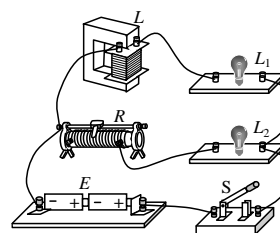
- A. 若只让滑片 P 向 D 端移动，则电流表的示数一定增大
- B. 若只增加该单色光的强度，则电流表示数一定增大
- C. 若改用波长小于  $\lambda_0$  的单色光照射光电管的阴极 K，则阴极 K 的逸出功变大
- D. 若改用波长大于  $\lambda_0$  的单色光照射光电管的阴极 K，则电流表的示数一定为零

7. 某同学设计了如图 所示的电路进行电表的改装，将多用电表的选择开关旋转到“直流 500mA”挡作为图中的电流表 A。已知电流表 A 的内阻  $R_A = 0.4\Omega$ ， $R_1 = R_A$ ， $R_2 = 7R_A$ 。关于改装表的下列说法正确的是



- A. 若将接线柱 1、2 接入电路时，最大可以测量的电流为 0.5A
- B. 若将接线柱 1、3 接入电路时，最大可以测量的电压为 3.0V
- C. 若将接线柱 1、2 接入电路时，最大可以测量的电流为 2.0A
- D. 若将接线柱 1、3 接入电路时，最大可以测量的电压为 1.5 V

8. 在如图所示的电路中，两个相同的小灯泡  $L_1$  和  $L_2$  分别串联一个带铁芯的电感线圈  $L$  和一个滑动变阻器  $R$ 。将变阻器的滑片置于最大阻值处，闭合开关 S，至  $L_1$  和  $L_2$  都稳定发光后，调节滑动变阻器的滑片，使  $L_1$  和  $L_2$  发光的亮度相同，此时滑动变阻器的阻值为  $R_0$ ，之后断开开关 S。电源的内阻很小，可忽略，则下列说法正确的是



- A. 移动滑动变阻器滑片的过程中， $L_1$ 、 $L_2$  的亮度都在发生变化
- B. 开关 S 由闭合变为断开， $L_1$ 、 $L_2$  中的电流不相等
- C. 开关 S 由闭合变为断开， $L_2$  中的电流会立即反向
- D. 若想观察到断开开关 S 后  $L_2$  闪亮一下的现象，滑动变阻器的阻值应小于  $R_0$

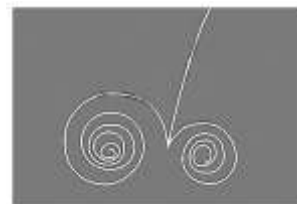
9. 如图甲所示，在平静的水面下有一个点光源 S，它发出的光包含两种单色光，分别为红光和蓝光。光从如图乙所示水面上的圆形区域中射出，该区域分为 I、II 两部分，如图乙所示。则下列说法正确的是



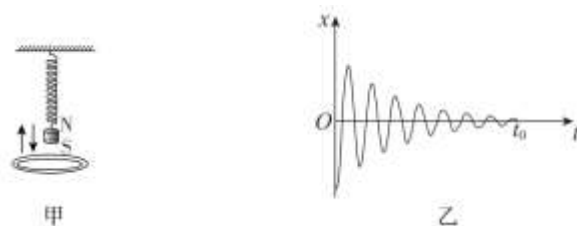
- A. 区域 I 为红、蓝复色光，区域 II 为红色单色光
- B. 区域 I 为红色单色光，区域 II 为蓝色单色光
- C. 区域 I 为红、蓝复色光，区域 II 为蓝色单色光
- D. 区域 I 为红色单色光，区域 II 为红、蓝复色光

10. 一束  $\gamma$  射线（从底部进入而没有留下痕迹）从充满在气泡室中的液态氢的一个氢原子中打出一个电子，同时  $\gamma$  光子自身转变成一对正、负电子对（分别称为正电子、负电子，二者速度接近），其径迹如图所示。已知匀强磁场的方向垂直照片平面向里，正、负电子质量相等，则下列说法正确的是

- A. 左侧螺旋轨迹为负电子运动的轨迹
- B. 正电子、负电子所受洛伦兹力大小时刻相等
- C. 分离瞬间，正电子速度大于负电子速度
- D. 正电子、负电子的动能不断减小，而被打出的电子动能不变

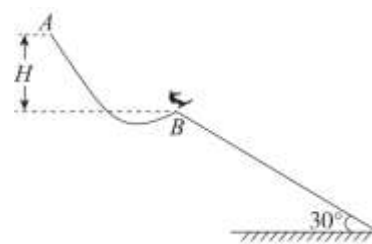


11. 如图甲所示，一轻质弹簧上端固定，下端悬挂一个体积很小的磁铁，在小磁铁正下方桌面上放置一个闭合铜制线圈。将小磁铁从初始静止的位置向下拉到某一位置后放开，小磁铁将做阻尼振动，位移  $x$  随时间  $t$  变化的示意图如图乙所示（初始静止位置为原点，向上为正方向，经  $t_0$  时间，可认为振幅  $A$  衰减到 0）。不计空气阻力，下列说法正确的是



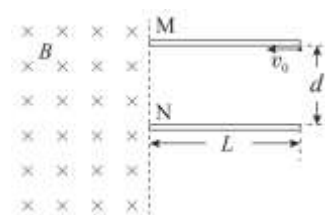
- A.  $x > 0$  的那些时刻线圈对桌面的压力小于线圈的重力
- B.  $x = 0$  的那些时刻线圈中没有感应电流
- C. 更换电阻率更大的线圈，振幅  $A$  会更快地衰减到零
- D. 增加线圈的匝数， $t_0$  会减小，线圈产生的内能不变

12. 如图甲为滑雪大跳台场地的简化示意图。某次训练中，运动员从  $A$  点由静止开始下滑，到达起跳点  $B$  时借助备和技巧，保持到达起跳点  $B$  时的速率，沿与水平面夹角为  $15^\circ$  的方向斜向上飞出，到达最高点  $C$ ，最终落在坡道上的  $D$  点（ $C$ 、 $D$  均未画出），已知  $A$ 、 $B$  之间的高度差  $H = 45\text{m}$ ，坡面与水平面的夹角为  $30^\circ$ 。不计空气阻力和摩擦力，重力加速度  $g$  取  $10\text{m/s}^2$ ， $\sin 15^\circ = 0.26$ ， $\cos 15^\circ = 0.97$ 。下列说法正确的是



- A. 运动员在  $B$  点起跳时的速率为  $20\text{m/s}$
- B. 运动员起跳后达到最高点  $C$  时的速度大小约为  $7.8\text{m/s}$
- C. 运动员从起跳点  $B$  到最高点  $C$  所用的时间约为  $2.9\text{s}$
- D. 运动员从起跳点  $B$  到坡道上  $D$  点所用的时间约为  $4.9\text{s}$

13. 水平放置的  $M$ 、 $N$  两金属板，板长均为  $L$ ，板间距为  $d$ ，两板间有竖直向下的匀强电场，场强大小为  $E$ ，在两板左端点连线的左侧足够大空间存在匀强磁场，磁感应强度的大小为  $B$ ，方向垂直纸面向里。一质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  的带正电粒子以初速  $v_0$  紧靠  $M$  板从右端水平射入电场，随后从  $P$  点进入磁场，从  $Q$  点离开磁场（ $P$ 、 $Q$  未画出）。不考虑粒子的重力，下列说法正确的是



- A.  $PQ$  间距离与  $E$  的大小无关
- B.  $PQ$  间距离与  $v_0$  的大小无关
- C.  $P$  点的位置与粒子的比荷无关

D. 带电粒子不可能打在  $N$  板上

14. 如图所示, 台球桌上一光滑木楔紧靠桌边放置, 第①次击球和第②次击球分别使台球沿平行于桌边和垂直于桌边的方向与木楔碰撞, 速度大小均为  $v_0$ 。碰撞后, 木楔沿桌边运动, 速度大小用  $V$  表示, 台球平行于桌边和垂直于桌边的速度大小分别用  $v_x$  和  $v_y$  表示。已知木楔质量为  $M$ , 台球质量为  $m$ , 木楔的倾角用  $\theta$  表示。不考虑碰撞过程的能量损失, 则



- A. 第①种情况碰后  $V$  可能大于  $\frac{2m}{m+M}v_0$
- B. 若满足  $\tan\theta = \sqrt{\frac{M}{M-m}}$ , 第①种情况  $v_x=0$ , 即碰后台球速度方向垂直于桌边
- C. 第②种情况碰后  $V$  可能大于  $\frac{mv_0}{\sqrt{M(M+m)}}$
- D. 若满足  $\tan\theta = \sqrt{\frac{M}{M-m}}$ , 第②种情况  $v_y=0$ , 即碰后台球速度方向平行于桌边

## 第二部分

本部分共 6 题, 共 58 分

15. (8分) 某同学对如图1所示的双缝干涉实验装置进行调节并观察实验现象。

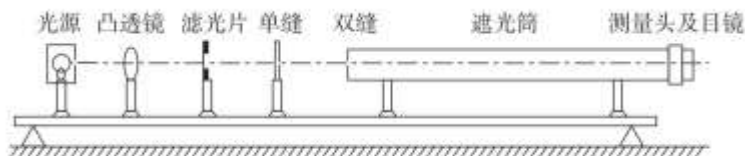


图 1

(1) 若想增加从目镜中观察到的条纹个数增多, 可以\_\_\_\_\_ (选填选项前的字母)。

- A. 将单缝向双缝靠近
- B. 将红色滤光片换成绿色滤光片
- C. 使用间距更小的双缝

(2) 若在屏上观察到的干涉条纹如图 2 中 a 所示, 改变双缝间的距离后, 干涉条纹如图 2 中 b 所示, 图中虚线是亮纹中心的位置。则双缝间的距离变为原来的\_\_\_\_\_。

- A.  $\frac{1}{3}$  倍
- B.  $\frac{1}{2}$  倍
- C. 2 倍
- D. 3 倍

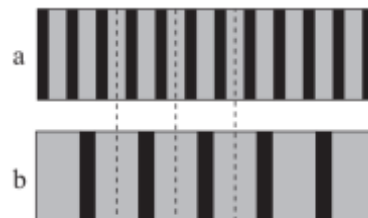


图 2

(3) 某次测量时, 选用的双缝的间距为  $0.30\text{mm}$ , 测得屏与双缝间的距离为  $1.20\text{m}$ , 叉丝中心线对准第 1 条

亮纹中心时读数为 21.75mm，旋转测量头旋钮，叉丝中心线对准第 4 条亮纹中心时读数如图 3 所示，则读数为\_\_\_\_\_mm。所测单色光的波长为\_\_\_\_\_m(结果保留 2 位有效数字)。

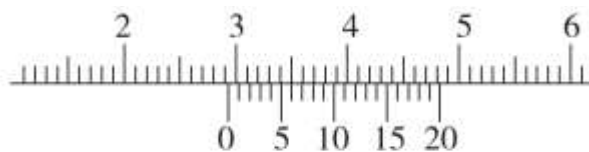


图 3

16. (10 分) (1) 用图 1 所示的多用表测量一合金丝的电阻。待测合金丝阻值约为十几欧，测量步骤如下：



图 1



图 2

①使用前先调节指针定位螺丝，使多用电表指针对准“直流电流、电压”的 0 刻线。

②将选择开关转到电阻挡的\_\_\_\_\_ (选填“ $\times 1$ ”“ $\times 10$ ”或“ $\times 100$ ”)的位置。

③将红、黑表笔插入“+”、“-”插孔，并将两表笔短接，调节欧姆调零旋钮，使电表指针对准“电阻”的\_\_\_\_\_ (选填“0 刻线”或“ $\infty$  刻线”)。

④将两表笔分别与待测电阻相接，读取数据，示数如图 2 所示，则合金丝的阻值为\_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

(2) 按照图 3 连接电路，测量合金丝的电阻率。实验时多次改变合金丝甲接入电路的长度  $l$ 、调节滑动变阻器连入电路的阻值，使电流表的读数  $I$  达到某一相同值时记录电压表的示数  $U$ ，从而得到多个  $\frac{U}{I}$  的值，作出  $\frac{U}{I}-l$  图像，如图 4 中图线  $a$  所示。

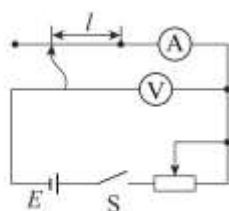


图 3

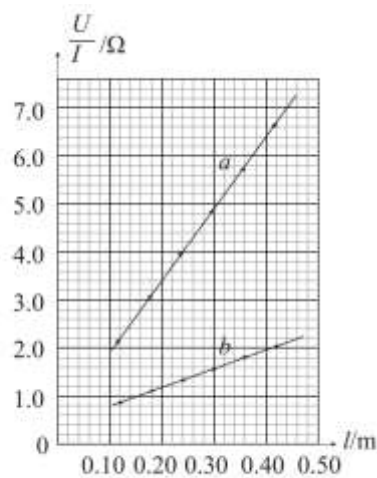


图 4

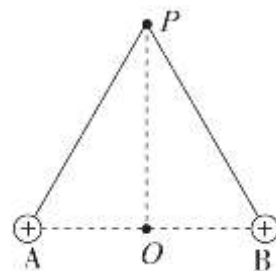
①在实验中应使用\_\_\_\_\_ (选填“ $0\sim 20\Omega$ ”或“ $0\sim 200\Omega$ ”)的滑动变阻器。

②已知合金丝甲的横截面积为  $8.0 \times 10^{-8} \text{m}^2$ ，则合金丝甲的电阻率为  $\underline{\hspace{1cm}} \Omega \cdot \text{m}$ （结果保留 2 位有效数字）。

③图 4 中图线  $b$  是另一根长度相同、材料相同的合金丝乙采用同样的方法获得的  $\frac{U}{I} - l$  图像，由图可知合金丝乙的横截面积  $\underline{\hspace{1cm}}$ （选填“大于”、“等于”或“小于”）合金丝甲的横截面积。

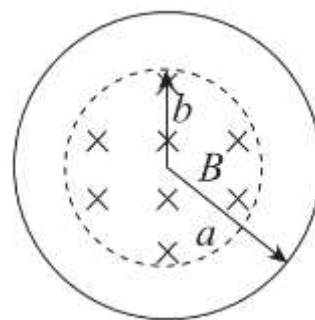
④请从理论上分析并说明，利用图 4 中直线斜率求合金丝电阻率，是否存在因电表内阻带来的误差。

17.（9 分）如图所示，在真空中 A、B 两个完全相同的带正电小球（可视为质点）分别用长为  $l$  的轻细线系住，另一端悬挂在  $P$  点，电荷量  $q_A = q_B = q_0$ 。OP 为 A、B 连线中垂线，当 A、B 静止时， $\angle PAO = 60^\circ$ 。已知静电力常量为  $k$ ，求：



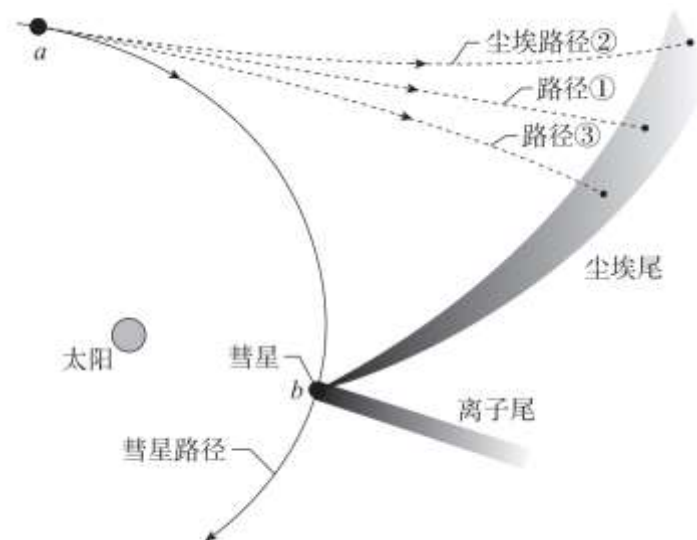
- (1) 轻细线拉力的大小  $F_T$ ；
- (2)  $P$  点电场强度的大小  $E_P$  和方向；
- (3) 若把电荷量为  $q = 2.0 \times 10^{-9} \text{C}$  ( $q \ll q_0$ ) 的正试探电荷从  $P$  点移到  $O$  点，克服电场力做了  $1.0 \times 10^{-7} \text{J}$  的功，求  $P$ 、 $O$  两点间的电势差  $U_{PO}$ 。

18.（9 分）如图所示，用横截面积为  $S$ 、电阻率为  $\rho$  的金属丝制成半径为  $a$  的金属圆环来研究涡流现象。在金属圆环内有半径为  $b$  的圆形区域，区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小  $B$  随时间  $t$  的变化关系为  $B = B_0 + kt$  ( $k > 0$ )，求：



- (1) 金属圆环内感应电动势的大小  $E$ ；
- (2) 金属圆环中感应电流的方向和感应电流的大小  $I$ ；
- (3) 金属圆环单位长度上的发热功率  $P$ 。

19.（10 分）光压是指光照射到物体上对物体表面产生的压力。早在 17 世纪初，开普勒就曾用太阳光的压强解释彗星的尾巴为什么背着太阳。其实彗尾一般有两条，一条是由等离子体在太阳风作用下形成的离子尾，另一条是不带电的尘埃在太阳光的光压力作用下形成的尘埃尾。当尘埃被从彗星释放出来，由于太阳光产生的光压把它们沿径向往外推开，它就不再继续沿着彗星轨道运动。如图所示为彗星掠过太阳所发生的状况，弧线表示彗星的轨迹，彗星当前在  $b$  位置，在  $a$  位置上释放出的尘埃已被太阳光压沿虚线路径推出（其它位置释放的尘埃路径未画出），形成了如图所示的尘埃尾。（已知彗星质量远远小于太阳质量）



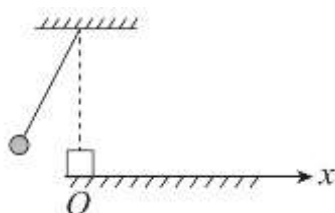
(1) 请说明在图中  $a$  位置释放的尘埃的速度方向；若能够沿着路径①（一条直线）运动，请说明尘埃所受合外力的情况。

(2) 在一定条件下(例如强光照射下)小颗粒所受的光压可以与所受万有引力同数量级。假设尘埃粒子是半径为  $R$  的小球，密度为  $\rho$ ，它对太阳光全部吸收。已知太阳的质量为  $M$ ，辐射光的功率为  $P_0$ ，所发出太阳光的平均波长为  $\lambda$ ，普朗克常量用  $h$  表示，万有引力常量用  $G$  表示，真空中光速用  $c$  表示。（光子的动量  $p = \frac{h}{\lambda}$ ）

- 请求出能够沿路径①运动的尘埃粒子的半径  $R_0$ ；
- 请分析并说明半径满足什么条件的尘埃粒子会沿路径②运动。

**20. (12 分)** 如图所示，不可伸长的轻质细线上端固定，下端系着一个不带电小球，小球静止时位于足够大光滑绝缘水平面上的  $O$  点，现在  $O$  点静置一个带正电绝缘小物块，小球与小物块均视为质点。以  $O$  为原点，水平向右为  $x$  轴建立坐标轴。已知小球质量为  $m_1$ ，小物块质量为  $m_2$ 、电荷量为  $q$ ，细线长为  $l$ 。假设系统处于真空环境中，不考虑各种阻力以及电荷量的损失，小球与物块之间的碰撞为弹性碰撞，接触过程中没有电荷量的转移。

(1) 若将小球拉至与竖直方向成某一角度的位置由静止释放，小球到达  $O$  点的速度为  $v_0$ ，并以初速度  $v_0$  与小物块发生碰撞，求碰后小球的速度  $v_1$  与碰后物块的速度  $v_2$ 。



(2) 若在第(1)问所述的碰撞后发现小球摆回至最高点时细线与竖直方向的夹角明显减小，为使小球越摆越高，可以在小球每次达到左方最高点时用一个很小的外力快速推一下小球。请利用此例从功和能的角度分析并解释在共振现象中，为什么当驱动力的频率与固有频率相等时，振动系统的能量最大。

(3) 若在  $O$  点右侧空间( $x > 0$ )存在着平行于  $Ox$  轴的电场(场强的大小和方向可调)，释放小球时细线与竖直方向夹角为  $\theta$  ( $\theta < 5^\circ$ )，为了使碰撞后小物块能够返回  $O$  点，且二者以第一次相碰时的初速度大小再次

相碰，并能多次重复此过程，请举出两种能够实现上述要求的理想情况，并分析并说明需要满足的条件。



# 参考答案

第一部分共 14 题，每题 3 分，共 42 分。

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

第二部分共 6 题，共 58 分。

15. (8 分) (1) B (2) B (3) 29.30  $6.3 \times 10^{-7}$

16. (10 分) (1) ②  $\times 1$  ③ 0 刻线 ④ 15 (2) ①  $0 \sim 20 \Omega$  ②  $1.2 \times 10^{-6}$  ③ 大于

④ 由  $U = I(\rho \frac{l}{S} + R_A)$ , 得  $\frac{U}{I} = \frac{\rho}{S} l + R_A$ , 可知图线得斜率  $k = \frac{\rho}{S}$ , 因此  $\rho = kS$ , 和电表内阻无关, 所以不存在因电表内阻带来的误差。

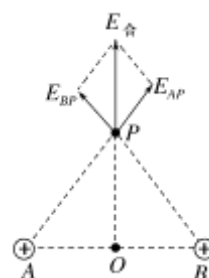
17. (9 分) (1) A、B 间的库仑力  $F = k \frac{q_0^2}{l^2}$ ,  $F_T = \frac{F}{\cos 60^\circ} = \frac{2kq_0^2}{l^2}$

(2) 由点电荷的场强公式知  $E_{AP} = E_{BP} = k \frac{q_0}{l^2}$

$$\text{因此 } E = 2E_{AP} \cos 30^\circ = \sqrt{3} k \frac{q_0}{l^2}$$

方向向上 (沿  $OP$  向上)

$$(3) U_{PO} = \frac{W_{PO}}{q} = \frac{-1.0 \times 10^{-7}}{2.0 \times 10^{-9}} = -50 \text{ V}$$



18. (9 分) (1) 由  $B = B_0 + kt$  可知  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = k$

$$\text{由法拉第电磁感应定律得 } E = n \frac{\Delta \phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = k \pi b^2$$

(2) 感应电流的方向为逆时针

$$\text{金属圆环电阻 } R_{\text{环}} = \frac{\rho L}{S} = \frac{\rho 2\pi a}{S}$$

$$\text{则在金属圆环中的感应电流 } I = \frac{E}{R_{\text{环}}} = \frac{k b^2 S}{2 \rho a}$$

$$(3) \text{金属圆环的发热功率 } P_{\text{总}} = I^2 R_{\text{环}} = \frac{\pi k^2 S b^4}{2 \rho a}$$

$$\text{单位长度的发热功率 } P = \frac{P_{\text{总}}}{2\pi a} = \frac{k^2 S b^4}{4 \rho R^2}$$

19. (10 分)

(1) 尘埃的初速度方向沿彗星轨迹在  $a$  位置的切线方向; 沿路径①运动的尘埃所受合外力为 0。

(2) a. 设图中  $a$  位置处与太阳中心的距离为  $r$ , 则尘埃粒子在  $a$  位置受到的万有引力为

$$F_{\text{引}} = G \frac{Mm}{r^2}, \text{ 其中尘埃的质量 } m = \rho \frac{4}{3} \pi R^3, \text{ 代入得 } F_{\text{引}} = \frac{4G\pi\rho M}{3r^2} R^3$$

$$\text{设尘埃粒子在 } a \text{ 位置处单位时间内接收到的光能为 } E, \text{ 可知 } E = \frac{P_0 \pi R^2}{4\pi r^2}$$

$$\text{则尘埃粒子在 } a \text{ 位置处单位时间内接收到的光子数 } n = \frac{E}{h \frac{c}{\lambda}}$$

由动量定理可知尘埃粒子受到的光压力  $F_{\text{光}} = np$ ，其中一个光子的动量  $p = \frac{h}{\lambda}$

联立得尘埃粒子在  $a$  位置处受到太阳光的光压力  $F_{\text{光}} = \frac{P_0}{4cr^2} R^2$ 。

当尘埃粒子受到的万有引力和光压力相等，即  $\frac{4G\pi\rho M}{3r^2} R^3 = \frac{P_0}{4cr^2} R^2$  时，为所求的  $R_0$

整理得： $R_0 = \frac{3P_0}{16\pi c G \rho M}$

此结果与  $r$  无关，说明只要尘埃粒子半径满足这个条件，就会一直沿路径  $b$  运动。

b. 尘埃被从彗星释放出来时，初速度方向沿彗星轨迹在  $a$  位置的切线方向，若沿路径②运动，粒子所受合力指向曲线路径的弯曲方向，说明运动过程中光压力大于万有引力。

对比  $F_{\text{引}} = \frac{4G\pi\rho M}{3r^2} R^3$  和  $F_{\text{光}} = \frac{P_0}{4cr^2} R^2$ ，有  $\frac{F_{\text{引}}}{F_{\text{光}}} = k \frac{R^3}{R^2} = kR$  ( $k$  为常数)

可知当  $R$  小于第 (2) 问中所求的  $R_0$  时， $F_{\text{引}} < F_{\text{光}}$

即，那些半径  $R < \frac{3P_0}{16\pi c G \rho M}$  的尘埃粒子，沿路径②运动。

20. (12 分) 解：

$$(1) m_1 v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2 ; \quad \frac{1}{2} m_1 v_0^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2$$

$$\text{联立解得：} v_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_0 ; \quad v_2 = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_0$$

(2) 把此单摆视为振动系统，在小球每次达到左方最高点时用一个很小的外力快速推一下小球，满足了此外力（作为驱动力）的频率与单摆（振动系统）的频率相等，从功和能的角度来看，每次在最高点时推一下小球可以保证每次外力都对小球做正功，使得振动系统的能量增加。

$$(3) \text{ 设小球摆到最低点时速度为 } v_0, \text{ 由 } m_1 gl(1 - \cos\theta) = \frac{1}{2} m_1 v_0^2,$$

$$\text{得 } v_0 = \sqrt{2gl(1 - \cos\theta)};$$

$$\text{设小球做简谐运动的周期为 } T, \text{ 则 } T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

第一种情况：

当  $m_1 = m_2$  时，小球与物块碰撞后交换速度。小球碰后速度为零，小物块以  $v_0$  为初速度向  $Ox$  轴正向做减速运动，速度减到 0 后反向加速，回到  $O$  点时速度大小仍为  $v_0$ ，于是沿  $Ox$  轴负方向与静止的小球发生第二次碰撞，碰后再次交换速度，小物块静止在  $O$  点，小球以  $v_0$  为初速度做简谐运动，摆回最低点后与小物块发生第三次碰撞……，为实现这种不断重复的过程，要求  $O$  点右侧空间的电场为匀强电场，方向沿  $Ox$  轴负向，大小为不为零的任意值。

第二种情况：

当  $m_1 \gg m_2$  时，小球与物块碰撞后小球的速度仍为  $v_0$ ，物块以  $2v_0$  为初速度向  $Ox$  轴正向做减速运动，速度减到 0 后反向加速，加速一段时间后需要沿  $ox$  轴负向再做一段减速运动使得回到  $O$  点时速度为 0；与此同时小球做简谐运动刚好经过一个周期的时间，于是在  $O$  点与物块发生第二次碰撞，碰撞前的状态与第一次相同，因此可以多次重复此过程。

为实现这种不断重复的过程，要求  $O$  点右侧空间的电场初始时方向沿  $ox$  轴负向，大小记为  $E_1$ ，经  $t_1$  时间后，电场方向沿  $Ox$  轴负向，大小记为  $E_2$ ，再经  $t_2$  时间物块返回  $O$  点且速度为 0。 $t_1$ 、 $t_2$ 、 $E_1$ 、 $E_2$  需要满足

的关系是：

$$t_1 + t_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

$$q E_1 t_1 - q E_2 t_2 = 2 m_2 \sqrt{2gl(1 - \cos\theta)}$$

满足上述关系的多组值都可实现第二种情况的要求。