

2024 年 1 月 “九省联考” 考后提升卷

高三物理

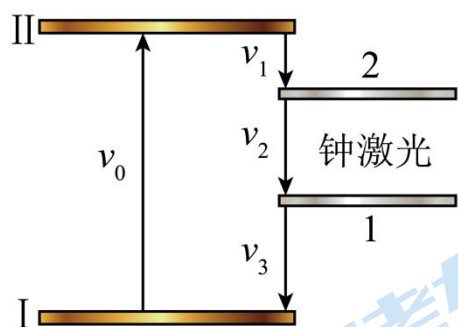
(考试时间: 150 分钟 试卷满分: 150 分)

注意事项:

1. 答卷前, 考生务必将自己的姓名、准考证号填写在答题卡上。
2. 回答选择题时, 选出每小题答案后, 用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。回答非选择题时, 将答案写在答题卡上。写在本试卷上无效。
3. 考试结束后, 将本试卷和答题卡一并交回。

一、选择题 本题共 10 小题, 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, 共 28 分, 第 8~10 题有多项符合题目要求, 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。

1. “梦天号”实验舱携带世界首套可相互对比的冷原子钟组发射升空, 对提升我国导航定位、深空探测等技术具有重要意义。如图所示为某原子钟工作的四能级体系, 原子吸收频率为 ν_0 的光子从基态能级 I 跃迁至激发态能级 II, 然后自发辐射出频率为 ν_1 的光子, 跃迁到钟跃迁的上能级 2, 并在一定条件下可跃迁到钟跃迁的下能级 1, 实现受激辐射, 发出钟激光, 最后辐射出频率为 ν_3 的光子回到基态。该原子钟产生的钟激光的频率 ν_2 为 ()



A. $\nu_0 + \nu_1 + \nu_3$

B. $\nu_0 + \nu_1 - \nu_3$

C. $\nu_0 - \nu_1 + \nu_3$

D. $\nu_0 - \nu_1 - \nu_3$

【答案】D

【详解】原子吸收频率为 ν_0 的光子从基态能级 I 跃迁至激发态能级 II 时有

$$E_{\text{II}} - E_{\text{I}} = h\nu_0$$

且从激发态能级Ⅱ向下跃迁到基态Ⅰ的过程有

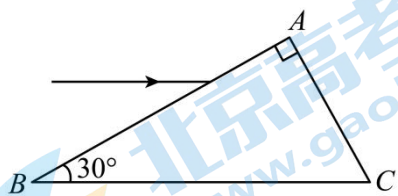
$$E_{\text{II}} - E_{\text{I}} = h\nu_1 + h\nu_2 + h\nu_3$$

联立解得

$$\nu_2 = \nu_0 - \nu_1 - \nu_3$$

故选 D。

2. $\triangle ABC$ 是一直角三棱镜的横截面， $\angle A=90^\circ$ ， $\angle B=30^\circ$ 。一细光束从 AB 边以平行于 BC 边的方向入射后直接射到 AC 边，恰好在 AC 边发生全反射，则棱镜的折射率为（ ）



A. $\frac{\sqrt{7}}{2}$

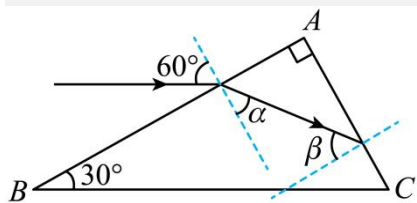
B. $\frac{\sqrt{21}}{3}$

C. $\frac{\sqrt{6}}{2}$

D. $\frac{2\sqrt{6}}{3}$

【答案】A

【详解】设光从 AB 边射入时折射角为 α ，射到 AC 面上 N 点时入射角为 β ，光路图如下所示



根据折射定律有

$$n = \frac{\sin 60^\circ}{\sin \alpha}$$

光在 AC 边上恰好发生全反射有

$$\sin \beta = \frac{1}{n}$$

又由几何关系知

$$\alpha + \beta = 90^\circ$$

根据三角函数关系有

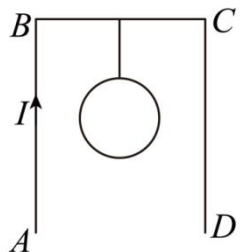
$$\sin^2 \alpha + \sin^2 \beta = 1$$

联立上式解得

$$n = \frac{\sqrt{7}}{2}$$

故选 A。

3. 在一个导线框架中通以如图所示的电流， BC 边的正中间用绝缘线悬挂金属环，环面与框架平面在同一平面内，在电流 I 减小的过程中



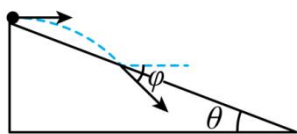
- A. 环向 AB 边靠拢 B. 环向 CD 边靠拢 C. 悬线中拉力变小 D. 悬线中拉力增大

【答案】C

【详解】根据安培定则知，弯曲成“n”导线中电流的磁场方向为：垂直纸面向里，且大小减小。由楞次定律可知，感应电流的方向为顺时针，根据左手定则可知，安培力的方向背离圆心，由于弯曲成是“n”导线，所以金属环下边圆弧受到的安培力小于上边圆弧受到的安培力，因此导致挂环的拉力减小，但由于金属环左右两侧受安培力等大反向，则环仍处于静止状态；

- A. 环向 AB 边靠拢，与结论不相符，选项 A 错误；
B. 环向 CD 边靠拢，与结论不相符，选项 B 错误；
C. 悬线中拉力变小，与结论相符，选项 C 正确；
D. 悬线中拉力增大，与结论不相符，选项 D 错误；

4. 如图所示，一物体自倾角为 θ 的固定斜面顶端沿水平方向抛出后落在斜面上。物体与斜面接触时速度与水平方向的夹角 ϕ 满足 ()



- A. $\tan\phi = \sin\theta$ B. $\tan\phi = \cos\theta$
C. $\tan\phi = \tan\theta$ D. $\tan\phi = 2\tan\theta$

【答案】D

【详解】竖直速度与水平速度之比为

$$\tan\phi = \frac{gt}{v_0}$$

竖直位移与水平位移之比为

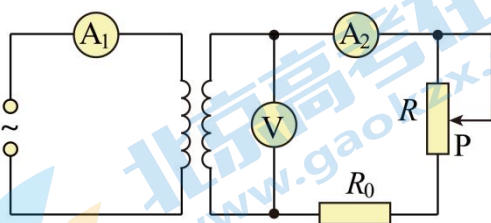
$$\tan\theta = \frac{\frac{1}{2}gt^2}{v_0 t} = \frac{gt}{2v_0}$$

故

$$\tan\varphi = 2\tan\theta$$

故选 D.

5. 如图所示, 理想变压器原线圈接 $u = 220\sqrt{2}\sin 100\pi t(\text{V})$ 的正弦交流电源, 副线圈中 R_0 是定值电阻, R 是滑动变阻器, 所有电表均为理想电表, 且电压表示数为 22V , 下列说法正确的是 ()



- A. 副线圈中电流的频率为 5Hz
- B. 电流表 A_1 和 A_2 的示数比值始终为 $10\sqrt{2}:1$
- C. 滑动变阻器滑片向下滑动的过程中, 电压表示数不变, 电源输入功率增大
- D. 滑动变阻器滑片向上滑动的过程中, 电流表 A_1 示数增大, 电源输入功率增大

【答案】C

【详解】A. 副线圈中电流的频率等于原线圈中电流的频率, 为

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = 50\text{Hz}$$

故 A 错误;

B. 输入电压有效值为

$$U_1 = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\text{V} = 220\text{V}$$

根据电压与匝数成正比可得变压器原、副线圈的匝数比为

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{22} = 10:1$$

电流表 A_1 和 A_2 的示数比值等于

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{10}$$

故 B 错误;

C. 滑片 P 向下滑动过程中, 变阻器连入电路电阻变小, 输入电压及匝数比不变, 输出电压不变, 即电压表 V_2 示数不变, 根据欧姆定律可得副线圈中电流

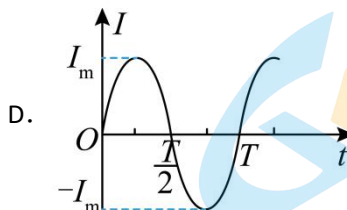
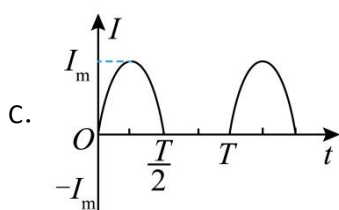
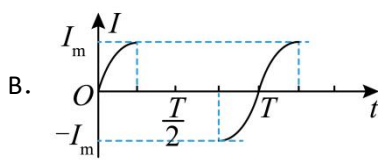
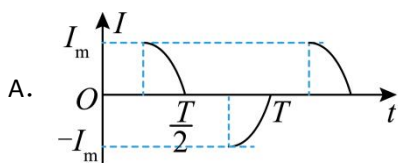
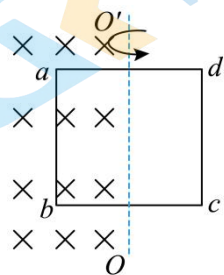
$$I_2 = \frac{U_2}{R + R_2}$$

变大, 即 A_2 示数变大, 则原线圈中电流 I_1 变大, 电源输入功率 $I_1 U_1$ 变大, 故 C 正确;

D. 滑片 P 向上滑动过程中, 变阻器连入电路电阻变大, 输入电压及匝数比不变, 输出电压不变, 副线圈中电流减小, 原线圈电流减小, 电流表 A_1 示数减小, 电源输入功率 $I_1 U_1$ 减小, 故 D 错误。

故选 C。

6. 如图垂直于纸面向里的有界匀强磁场中有一个矩形线框 $abcd$, 线框以 OO' 为轴匀速转动, OO' 与磁场右边界重合。若线框中产生电流的峰值为 I_m , 由图示位置开始计时, 则下列可以正确描述线框中电流随时间变化的图像是 ()

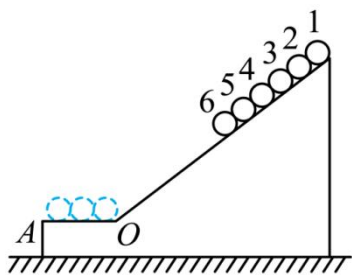


【答案】D

【详解】在 $0 \sim \frac{1}{4}T$ 内, 由于线圈在匀强磁场中从中性面开始转动, 故产生正弦式交变电流, 在 $\frac{1}{4}T \sim \frac{3}{4}T$ 内都有感应电流, 整个周期都有感应电流, 所以 ABC 错误; D 正确;

故选 D。

7. 如图, 固定在地面的斜面体上开有凹槽, 槽内紧挨放置六个半径均为 r 的相同小球, 各小球编号如图。斜面与水平轨道 OA 平滑连接, OA 长度为 $6r$ 。现将六个小球由静止同时释放, 小球离开 A 点后均做平抛运动, 不计摩擦和空气阻力。则在各小球运动过程中, 下列说法正确的是 ()



- A. 六个小球将落在地面上同一点
- B. 六个小球将落在地面上六个不同的点
- C. 球 6 做平抛运动的水平位移最小
- D. 球 1 做平抛运动的水平位移最小

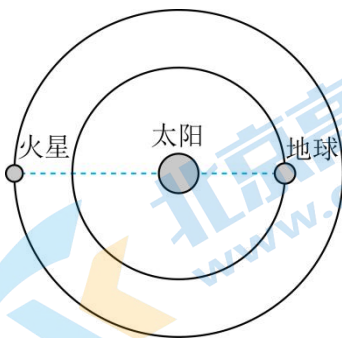
【答案】C

【详解】AB. 6 个小球都在斜面上运动时，只有重力做功，整个系统的机械能守恒。当有部分小球在水平轨道上运动时，斜面上的小球仍在加速，球 6 在 OA 段运动时，斜面上的球在加速，球 5 对球 6 的作用力做正功，动能增加，机械能增加；当球 1 进入 OA 段后，球 1、2、3 之间无相互作用力均匀速离开 OA 段，由于有部分小球在水平轨道上运动时，斜面上的小球仍在加速，水平面上能同时存在三个小球，所以可知离开 A 点时球 6 到球 4 的速度依次增大，最后三个小球都在水平面上时球之间的作用力为零，最后 3 个小球离开 A 点的速度相同，水平射程相同，故 AB 错误；

CD. 由于离开 A 点时，球 6 的速度最小，水平射程最小，而最后三个球 3、2、1 的速度相等，水平射程相同，故 C 正确 D 错误。

故选 C。

8. 北京时间 2021 年 9 月中旬至 10 月下旬出现了“火星合日”现象，即当火星和地球分别位于太阳两侧与太阳共线干扰无线电时，影响通信的天文现象，因此中国首辆火星车“祝融号”发生短暂失联。已知地球与火星绕太阳做匀速圆周运动的方向相同。火星的公转周期为 T_1 ，地球公转周期为 T_2 ，“祝融号”在火星赤道表面做匀速圆周运动的周期为 T ，“祝融号”的质量为 m ，火星的半径为 R ，万有引力常量为 G ，则下列说法正确的是（ ）



A. 火星的第一宇宙速度大小为 $\frac{2\pi R}{T}$

B. 太阳的质量为 $\frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$

C. 火星的公转周期为 T_1 小于地球公转周期为 T_2

D. 相邻两次“火星合日”的时间间隔为 $\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$

【答案】AD

【详解】A. “祝融号”在火星赤道表面附近做匀速圆周运动，有

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$$

解得火星质量

$$M = \frac{4\pi^2 R^3}{GT^2}$$

由

$$G \frac{Mm}{R^2} = m \frac{v^2}{R}$$

解得火星的第一宇宙速度大小

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \frac{2\pi R}{T}$$

故 A 正确；

B. 火星和地球的公转轨道半径未知，所以无法求出太阳的质量，故 B 错误；

C. 根据开普勒第三定律

$$\frac{r^3}{T^2} = k$$

可知，火星轨道半径大于地球轨道半径，故火星的公转周期更大，故 C 错误；

D. 相邻两次“火星合日”的时间间隔满足

$$\left(\frac{2\pi}{T_2} - \frac{2\pi}{T_1} \right) t = 2\pi$$

解得

$$t = \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2}$$

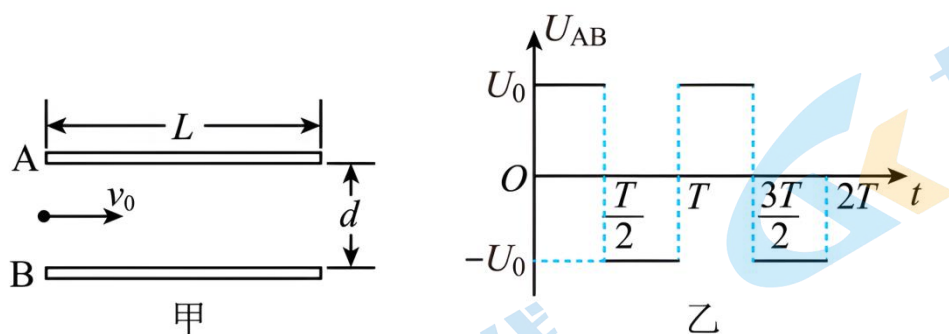
故 D 正确。

故选 AD。

9. 如图甲，真空中的两平行金属板间距为 d 、板长为 L 。A、B 两板间加上如乙图所示的周期性变化电压。

在 $t=0$ 时刻，一质量为 m 、电量为 e 的电子以初速度 v_0 从两板正中间沿板方向射入电场，并在 $t=2T$ 时刻从

板间射出，不计电子重力。下列说法正确的是（ ）



- A. 电子从板间射出时的速度大小为 v_0
- B. 电子在板间运动时，电场力的冲量不为零
- C. 电子从板间射出时机械能增加 eU_0
- D. 若电子在 $t = \frac{T}{8}$ 时刻进入，将会水平射出

【答案】AD

【详解】AC. $0-2T$ 内电场力做功为 0，机械能增加量为 0，所以电子从板间射出时的速度大小为 v_0 ，故 A 正确，C 错误；

B. 电子在板间运动时，电场力的冲量为

$$I = 2 \times \frac{T}{2} \frac{U_0}{d} e - 2 \times \frac{T}{2} \frac{U_0}{d} e = 0$$

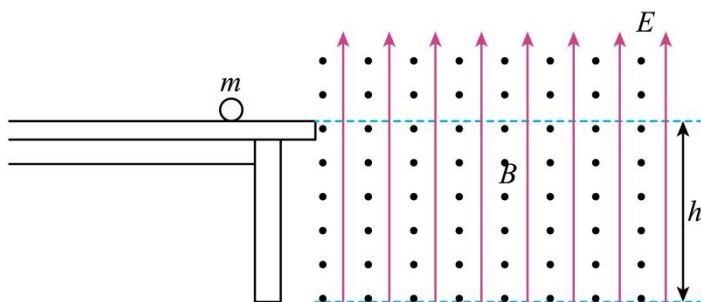
故 B 错误；

D. $t = \frac{T}{8}$ 时刻射入的电子，在 $\frac{T}{8} - \frac{T}{2}$ 时间内，电子受到向上的电场力，向上做匀加速运动，在 $\frac{T}{2} - \frac{7T}{8}$ 时间内，电子受到向下的电场力，向上做匀减速运动，在 $t = \frac{7T}{8}$ 时刻，电子的速度为 v_0 ，方向水平。在 $\frac{7T}{8} - T$ 时间内，电子受到向下的电场力，向下做匀加速运动，在 $T - \frac{9T}{8}$ 电子受到向上的电场力，向下做匀减速运动，在 $t = \frac{9T}{8}$ 时刻，电子的速度为 v_0 ，方向水平。如此反复，最后粒子在 $t = \frac{17}{8}T$ 时刻离开金属板，速度为 v_0 ，方向水平。故 D 正确。

故选 AD。

10. 光滑绝缘水平桌面上有一个可视为质点的带正电小球，桌面右侧存在由匀强电场和匀强磁场组成的复合场，复合场的下边界是水平面，到桌面的距离为 h ，电场强度为 E 、方向竖直向上，磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向外，重力加速度为 g ，带电小球的比荷为 $\frac{g}{E}$ ，如图所示。现给小球一个向右的初速度，离开桌边缘立刻进入复合场运动，从下边界射出，射出时的速度方向与下边界的夹角为 60° 。下列说法正确的是

()



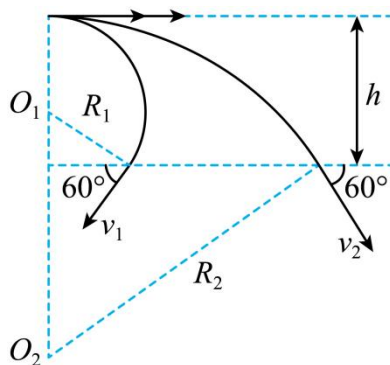
- A. 小球在复合场中的运动时间可能是 $\frac{2\pi E}{3gB}$
- B. 小球在复合场中运动的加速度大小可能是 $\frac{hB^2g^2}{E^2}$
- C. 小球在复合场中运动的路程可能是 $\frac{4\pi h}{9}$
- D. 小球的初速度大小可能是 $\frac{4Bgh}{3E}$

【答案】AC

【详解】带电小球的比荷为 $\frac{g}{E}$ ，则有

$$Eq = mg$$

则小球合力为洛伦兹力，所以小球在复合场中做匀速圆周运动，射出时的速度方向与下边界的夹角为 60° ，则小球运动情况有两种，轨迹如下图所示



若小球速度为 v_1 ，则根据几何知识可得轨迹所对应的圆心角为 120° ，此时小球在复合场中的运动时间为

$$t_1 = \frac{120^\circ}{360^\circ} T = \frac{1}{3} \cdot \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{2\pi E}{3Bg}$$

根据几何知识可得，其轨迹半径为

$$R_1 = \frac{2}{3} h$$

则根据洛伦兹力提供向心力有

$$Bqv_1 = m \frac{v_1^2}{R_1}$$

可得，小球的速度为

$$v_1 = \frac{2Bgh}{3E}$$

则小球的路程为

$$s_1 = \frac{120^\circ}{360^\circ} 2\pi R_1 = \frac{4}{9}\pi h$$

小球的加速度为

$$a_1 = \frac{v_1^2}{R_1} = \frac{2B^2g^2h}{3E^2}$$

若小球速度为 v_2 ，则根据几何知识可得轨迹所对应的圆心角为 60° ，此时小球在复合场中的运动时间为

$$t_2 = \frac{60^\circ}{360^\circ} T = \frac{1}{6} \cdot \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{\pi E}{3Bg}$$

根据几何知识可得，其轨迹半径为

$$R_2 = 2h$$

则根据洛伦兹力提供向心力有

$$Bqv_2 = m \frac{v_2^2}{R_2}$$

可得，小球的速度为

$$v_2 = \frac{2Bgh}{E}$$

则小球的路程为

$$s_2 = \frac{60^\circ}{360^\circ} 2\pi R_2 = \frac{2}{3}\pi h$$

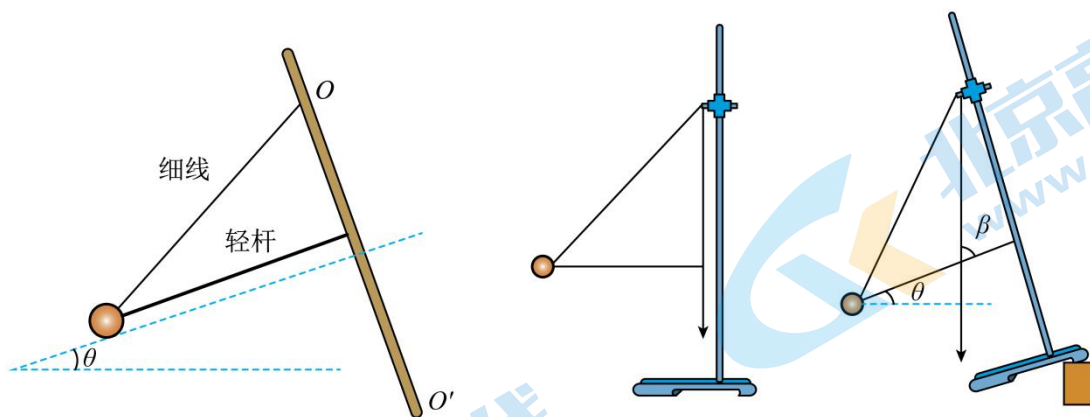
小球的加速度为

$$a_2 = \frac{v_2^2}{R_2} = \frac{2B^2g^2h}{E^2}$$

故选 AC。

二、实验题 本题共 2 小题，共 15 分。

11. 同学们用如图所示的“杆线摆”研究摆的周期与等效重力加速度的关系。杆线摆可以绕着立柱 OO' 来回摆动（立柱并不转动），使摆球的运动轨迹被约束在一个倾斜的平面内。具体操作步骤如下：



(1) 测量“斜面”的倾角。

① 将铁架台放在水平桌面上，在铁架台立柱上绑上重垂线，调节杆线摆的线长，使重垂线与摆杆垂直。

② 把铁架台底座的一侧垫高，使立柱倾斜。测出静止时摆杆与重垂线的夹角为 β ，则“斜面”的倾角

$\theta =$ _____。

(2) 根据斜面倾角，求出等效重力加速度 a 。

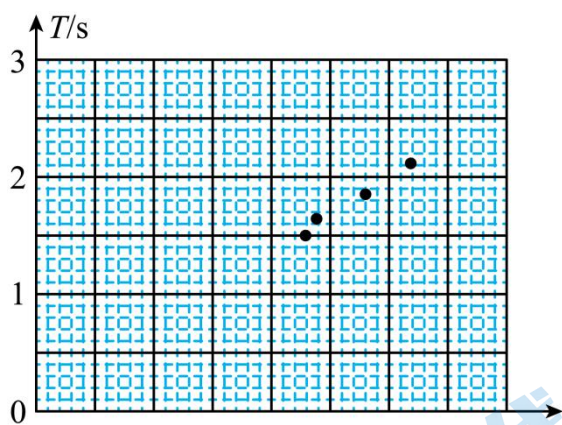
(3) 测量杆线摆的周期。

尽量减小摆杆与立柱之间的摩擦，将摆拉开一个较小的角度，轻轻释放摆球。用停表测量摆球全振动 20 次所用的时间 t ，则单摆的周期为 $T =$ _____。

(4) 改变铁架台的倾斜程度，重复实验，将所需数据记录在表格中。

序号	$\theta(^{\circ})$	$T(s)$	$a(m/s^2)$	$\frac{1}{\sqrt{a}}(m^{-2}s)$
1	11.0	2.52	1.87	0.731
2	14.5	2.11	2.45	0.639
3	19.0	1.83	3.19	0.560
4	22.5	1.73	3.75	0.516
5	25.5	1.62	4.22	0.487
6	29.0	1.50	4.75	0.459

(5) 为了直观体现周期与等效重力加速度的关系，请在坐标纸中选择合适的物理量与单位，补全缺少的数据点并绘图_____。



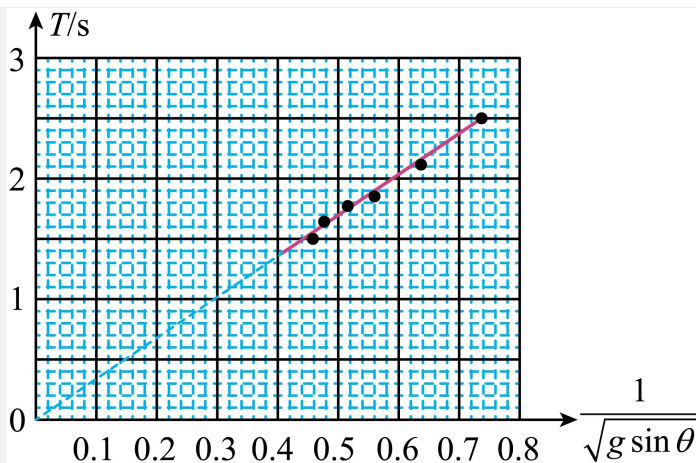
(6) 通过图线，可以计算出在摆长一定的情况下，摆的周期与等效重力加速度的关系。若忽略球的尺寸，本实验中的摆长应为_____（填“摆线”、“摆杆”）的长度，摆长为 $L =$ _____ m（结果保留1位有效数字）。

【答案】

$90^\circ - \beta$

$\frac{t}{20}$

摆杆



0.3

【详解】(1) [1]摆杆与重垂线的夹角为 β ， θ 为摆杆与水平方向的夹角，根据几何关系可知

$$\theta = 90^\circ - \beta$$

(3) [2]根据摆球全振动的次数和所用时间，周期

$$T = \frac{t}{n}$$

(5) [3] 根据题图可知等效重力加速度为

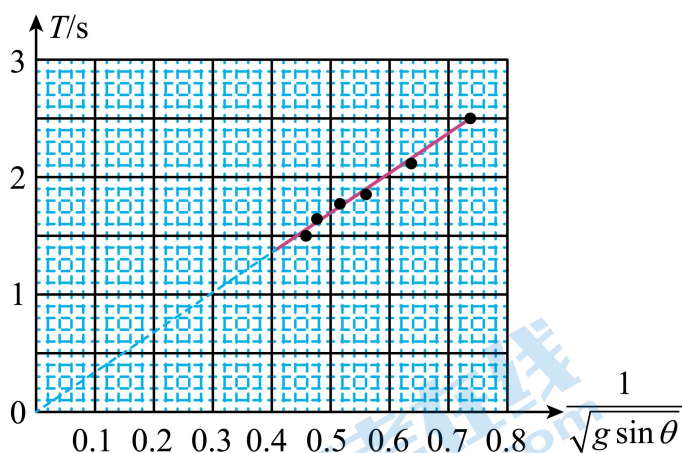
$$a = g \sin \theta$$

根据单摆周期公式有

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g \sin \theta}} = 2\pi \sqrt{L} \cdot \frac{1}{\sqrt{g \sin \theta}}$$

在图中以周期 T 为纵坐标轴、以 $\frac{1}{\sqrt{g \sin \theta}}$ 为横坐标轴建立坐标系，根据表格中相应的各组数据在坐标系中描

点、作图如图所示：



(6) [4] [5] 本实验的摆长为摆杆；

由上述图像

$T - \frac{1}{\sqrt{g \sin \theta}}$ 图像的斜率

$$k = \frac{2.5 - 0}{0.74 - 0} \text{m}^{\frac{1}{2}} \approx 3.4 \text{m}^{\frac{1}{2}}$$

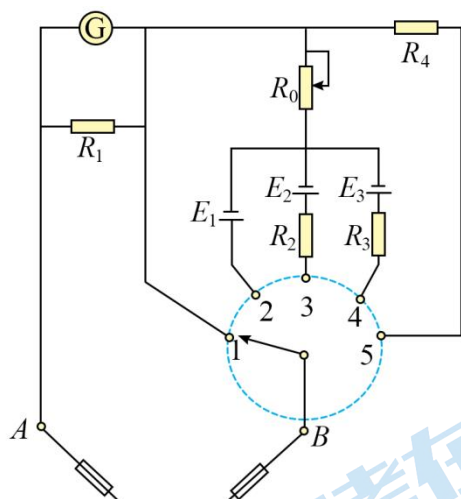
结合 $T - \frac{1}{\sqrt{g \sin \theta}}$ 图像函数可知

$$k = 2\pi\sqrt{L}$$

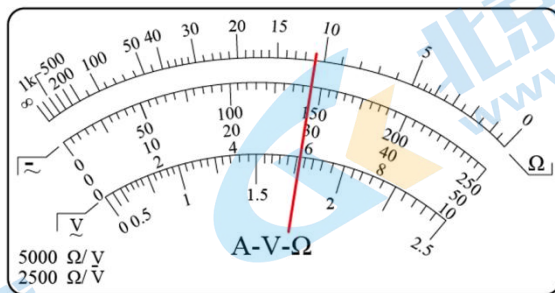
解得

$$L = \frac{k^2}{4\pi^2} = \frac{3.4^2}{4 \times 3.14^2} \text{m} \approx 0.3 \text{m}$$

12. 如图甲所示为某同学组装完成的简易多用电表的电路图。图中， R_1 、 R_2 、 R_3 、 R_4 为定值电阻， R_0 为欧姆调零电阻；表头 G 的满偏电流为 $500\mu\text{A}$ ，内阻为 $R_g = 20\Omega$ 。虚线圆框内为选择开关，A 端和 B 端分别与两表笔相连。该多用电表有 5 个挡位，5 个挡位为：直流电流 1mA 挡， E_1 、 E_2 、 E_3 是电源，分别对应欧姆 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100\Omega$ 挡，直流电压 3V 挡。



甲



乙

- (1) 图中的 A 端与_____ (填“红”或“黑”) 色表笔相连接;
- (2) 根据题给条件可得 $R_1 =$ _____ Ω , $R_4 =$ _____ Ω ;
- (3) 某次测量选择开关选择 $\times 10\Omega$ 挡时发现多用电表指针偏角过大。换挡重新欧姆调零之后, 指针位置如图乙所示, 此时多用电表读数为 _____ Ω ;
- (4) 根据图乙中的信息, 可以得出 E_3 的电动势为 _____ V 。

【答案】 红 20 2990 11.0 1.5

【详解】(1) [1]多用电表电流红进黑出, 根据内部电源的正负极可知, A 端与红表笔相连接。

(2) [2]直流电流 1mA 挡对应开关旋钮 1, 则

$$I_g R_g = (I - I_g) R_1$$

解得

$$R_1 = \frac{I_g R_g}{I - I_g} = \frac{0.5\text{mA} \cdot 20\Omega}{1 - 0.5\text{mA}} = 20\Omega$$

[3]直流电压 3V 挡对应开关旋钮 5, 则

$$R_4 = \frac{U - I_g \cdot R_g}{I} = \frac{3\text{V} - 0.5 \times 10^{-3} \text{A} \times 20\Omega}{1 \times 10^{-3} \text{A}} = 2990\Omega$$

(3) [4]欧姆表读数从右往左读, 指针从左往右偏, 当发现多用电表指针偏角过大, 表示示数较小, 则需要换成小挡位 $\times 1$ 挡, 此时多用电表读数为 11.0Ω 。

(4) [5]由题可知, E_3 对应的是 $\times 100\Omega$ 挡, 此时

$$R_{\text{内}} = R_{\text{中}} = 1500\Omega$$

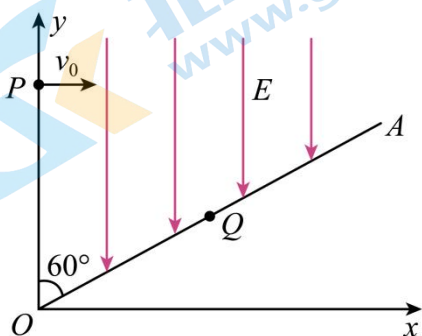
所以

$$E_3 = R_{V3} \cdot I = 1500\Omega \times 1\text{mA} = 1.5\text{V}$$

三、计算题：本题共 3 小题，共 42 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤。只写出最后答案的不能得分。有数值计算的题，答案中必须明确写出数值和单位。

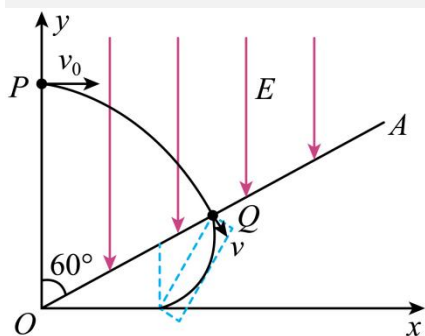
13. 如图所示， OA 与 y 轴的夹角 $\theta = 60^\circ$ ，在此角范围内有沿 y 轴负方向的匀强电场，一质量为 m 、电荷量为 q ($q > 0$) 的粒子以速度 v_0 从左侧平行于 x 轴射入电场，入射点为 P ，经电场后沿垂直于 OA 的方向由 Q 点进入一矩形磁场区域（未画出，方向垂直纸面向外），并沿 x 轴负方向经过 O 点。已知 O 点到 Q 点的距离为 $6l$ ，不计粒子的重力，求：

- (1) 匀强电场的电场强度大小；
- (2) 匀强磁场的磁感应强度大小；
- (3) 矩形磁场区域的最小面积。



【答案】(1) $\frac{mv_0^2}{3ql}$ ；(2) $\frac{mv_0}{ql}$ ；(3) $2\sqrt{3}l^2$

【详解】(1) 如图所示



带电粒子进入电场时，初速度为 v_0 ，带电粒子在电场中运动的时间为 t ，由牛顿第二定律得

$$qE = ma$$

粒子在电场中做类平抛运动

$$6l \cdot \sin 60^\circ = v_0 t$$

由

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_0}$$

得

$$v_y = v_0 \tan 60^\circ = \sqrt{3}v_0$$

又因为

$$v_y = at$$

解得，匀强电场的电场强度大小为

$$E = \frac{mv_0^2}{3ql}$$

(2) 粒子在磁场中做圆周运动，设圆心为 O_1 ，半径为 r ，由几何关系得

$$r + \frac{r}{\sin 30^\circ} = 6l$$

解得

$$r = 2l$$

由于粒子的入射速度与电场垂直，则粒子在电场中做类平抛运动，分解 Q 点的速度得

$$\cos \theta = \frac{v_0}{v}$$

解得

$$v = \frac{v_0}{\cos 60^\circ} = 2v_0$$

由牛顿第二定律得

$$qBv = m \frac{v^2}{r}$$

联立解得，匀强磁场得磁感应强度大小为

$$B = \frac{mv_0}{ql}$$

(3) 由图知，带电粒子从 Q 点射入磁场，包含圆弧的最小矩形磁场区域为图中虚线所示，矩形区域长为

$$a = 2r \cos 30^\circ = \sqrt{3}r = 2\sqrt{3}l$$

矩形区域宽为

$$b = r - r \sin 30^\circ = \frac{r}{2} = l$$

所以该区域的最小面积为

$$S=ab=2\sqrt{3}l^2$$

14. 如图 1 所示, 在绝缘光滑水平桌面上, 以 O 为原点、水平向右为正方向建立 x 轴, 在 $0 \leq x \leq 1.0\text{m}$ 区域内存在方向竖直向上的匀强磁场。桌面上有一边长 $L=0.5\text{m}$ 、电阻 $R=0.25\Omega$ 的正方形线框 $abcd$, 当平行于磁场边界的 cd 边进入磁场时, 在沿 x 方向的外力 F 作用下以 $v=1.0\text{m/s}$ 的速度做匀速运动, 直到 ab 边进入磁场时撤去外力。若以 cd 边进入磁场时作为计时起点, 在 $0 \leq t \leq 1.0\text{s}$ 内磁感应强度 B 的大小与时间 t 的关系如图 2 所示, 在 $0 \leq t \leq 1.3\text{s}$ 内线框始终做匀速运动。

(1) 求外力 F 的大小;

(2) 在 $1.0\text{s} \leq t \leq 1.3\text{s}$ 内存在连续变化的磁场, 求磁感应强度 B 的大小与时间 t 的关系;

(3) 求在 $0 \leq t \leq 1.3\text{s}$ 内流过导线横截面的电荷量 q 。

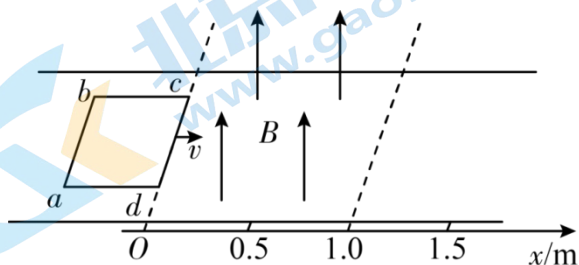


图1

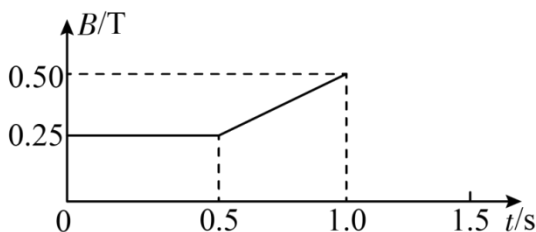


图2

【答案】(1) 0.0625N ; (2) $B = \frac{1}{6-4t}$; (3) 0.5C

【详解】(1) 由图 2 可知 $t_0=0, B_0=0.25\text{T}$, 则回路电流

$$I = \frac{B_0Lv}{R}$$

安培力

$$F_A = \frac{B_0^2L^2}{R}v$$

所以外力

$$F = F_A = 0.0625\text{N}$$

(2) 匀速出磁场, 电流为 0, 磁通量不变 $\Phi_1 = \Phi$, $t_1=1.0\text{s}$ 时, $B_1=0.5\text{T}$, 磁通量 $\Phi_1 = B_1L^2$, 则 t 时刻, 磁通量

$$\Phi = BL[L - v(t - t_1)]$$

解得

$$B = \frac{1}{6-4t}$$

(3) $0 \leq t \leq 0.5\text{s}$ 电荷量

$$q_1 = \frac{B_0 L^2}{R} = 0.25\text{C}$$

$0.5\text{s} \leq t \leq 1.0\text{s}$ 电荷量

$$q_2 = \frac{B_1 L^2 - B_0 L^2}{R} = 0.25\text{C}$$

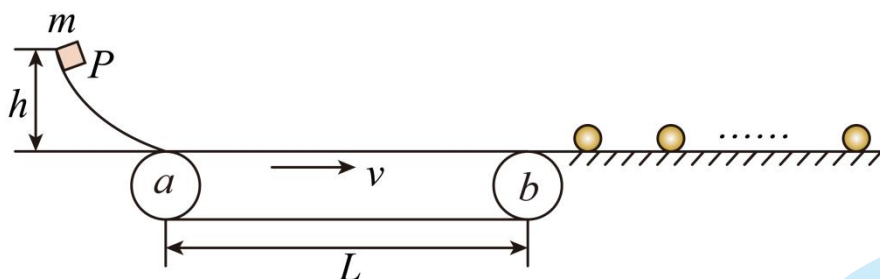
总电荷量

$$q = q_1 + q_2 = 0.5\text{C}$$

15. 如图所示, 水平传送带保持 $v=5\text{m/s}$ 的速度沿顺时针做匀速运动, 左端与粗糙的弧形轨道平滑对接, 右端与光滑水平凹槽面平滑对接, 水平凹槽上间隔放有 n 个静止相同的小球, 每个小球的质量均为 $m_0=0.2\text{kg}$ 。质量 $m=0.1\text{kg}$ 的物块从轨道上高 $h=4.0\text{m}$ 的 P 点由静止开始下滑, 滑到传送带上的 a 点时速度大小 $v_0=8\text{m/s}$ 。物块和传送带之间的动摩擦因数 $\mu=0.5$, 传送带 ab 之间的距离 $L=4.9\text{m}$ 。所有的碰撞都是弹性正碰, 取 $g=10\text{m/s}^2$ 。

求:

- (1) 物块从 P 点下滑到 a 点的过程中, 摩擦力对物块做的功;
- (2) 物块从释放到与小球第一次碰撞过程中, 受到传送带的作用力冲量大小;
- (3) 最终 n 个小球获得的总动能。



【答案】(1) $W_f = -0.8\text{J}$; (2) $I = \sqrt{0.73}\text{N}\cdot\text{s}$; (3) $E_k = \frac{5}{4}\left(1 - \frac{1}{9^n}\right)\text{J}$

【详解】(1) 物块由 P 到 A 的过程, 由动能定理, 有

$$mgh + W_f = \frac{1}{2}mv_0^2$$

解得 摩擦力对物块做功

$$W_f = -0.8\text{J}$$

(2) 物块滑上传送带后, 在摩擦力作用下做匀减速运动加速度大小

$$a = \mu g = 0.5 \times 10\text{m/s}^2 = 5\text{m/s}^2$$

减速至与传送带速度相等时所用的时间

$$t_1 = \frac{v_0 - v}{a} = 0.6\text{s}$$

匀减速运动的位移

$$s_1 = \frac{v_0 + v}{2} t_1 = 3.9\text{m}$$

物块与传送带共速后向右匀速运动，匀速运动的时间

$$t_2 = \frac{L - s_1}{v} = 0.2\text{s}$$

从 a 运动到 b 的时间

$$t = t_1 + t_2 = 0.8\text{s}$$

取向右为正方向，水平方向由动量定理，传送带的摩擦力对物块的冲量大小

$$I_2 = m(v_0 - v) = 0.3\text{kg} \cdot \text{m/s}$$

传送带的支持力对物块冲量大小

$$I_1 = mgt = 0.8\text{N} \cdot \text{s}$$

方向竖直向上，传送带对物块的冲量大小为

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2} = \sqrt{0.73}\text{N} \cdot \text{s}$$

(3) 物块与小球 1 发生弹性正碰，取向右为正方向，设物块碰后的速度为 v_1 ，小球 1 被撞后的速度大小为 u_1 ，由动量守恒定律，有

$$mv = mv_1 + m_0 u_1$$

由动能守恒，有

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mv_1^2 + \frac{1}{2}m_0 u_1^2$$

解得

$$v_1 = -\frac{1}{3}v = -\frac{5}{3}\text{m/s}, \quad u_1 = \frac{2}{3}v = \frac{10}{3}\text{m/s}$$

相邻小球之间相互碰撞进行速度交换，小球 1 与小球 2 碰后，小球 1 的速度为 0，而物块被反弹回来后，在传送带上向左运动的位移是

$$s = \frac{v_1^2}{2a} = \frac{5}{18}\text{m} < L$$

物体第一次返回还没到传送带左端速度就减小为零，接下来将再次向右做匀加速运动，直到速度增加到 v_1 ，再跟小球 1 发生弹性正碰，第二次碰后物体和小球的速度大小分别为

$$v_2 = -\frac{1}{3}v_1 = -\left(\frac{1}{3}\right)^2 v, \quad u_2 = \frac{2}{3}v_1 = \frac{2}{3}\left(\frac{1}{3}\right)^1 v$$

以此类推，物块与小球 1 经过 n 次碰撞后，速度分别为

$$v_n = -\left(\frac{1}{3}\right)^n v, \quad u_n = \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{1}{3}\right)^{n-1} v$$

相邻小球之间每次相互碰撞都进行速度交换，最终从 1 号小球开始，到 n 号小球，它们的速度大小依次为

u_n 、 u_{n-1} 、 u_{n-2} 、...、 u_1 ， n 个小球的总动能为

$$E_k = \frac{1}{2}m_0(u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2) = \frac{5}{4}\left(1 - \frac{1}{9^n}\right)J$$