

一、选择题

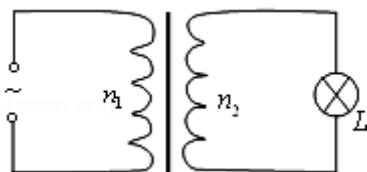
1. 韩晓鹏是我国首位在冬奥会雪上项目夺冠的运动员。他在一次自由式滑雪空中技巧比赛中沿助滑区保持同一姿态下滑了一段距离，重力对他做功 1900J，他克服阻力做功 100J。韩晓鹏在此过程中( )

- A. 动能增加了 1900J
- B. 动能增加了 2000J
- C. 重力势能减小了 1900J
- D. 重力势能减小了 2000J

解析：AB、外力对物体所做的总功为  $1900\text{J} - 100\text{J} = 1800\text{J}$ ，是正功，则根据动能定理得：动能增加 1800J。故 AB 错误；CD、重力对物体做功为 1900J，是正功，则物体重力势能减小 1900J。故 C 正确，D 错误。

答案：C

2. 如图所示，接在家庭电路上的理想降压变压器给小灯泡 L 供电，如果将原、副线圈减少相同匝数，其它条件不变，则( )



- A. 小灯泡变亮
- B. 小灯泡变暗
- C. 原、副线圈两段电压的比值不变
- D. 通过原、副线圈电流的比值不变

解析：根据数学规律可知，原副线圈减小相同的匝数后，匝数之比变大；因此电压之比变大；输出电压减小，故小灯泡变暗；而电流与匝数之比成反比，故电流的比值变小；故 ACD 错误，B 正确。

答案：B

3. 国务院批复，自 2016 年起将 4 月 24 日设立为中国航天日。1970 年 4 月 24 日我国首次成功发射的人造卫星东方红一号，目前仍然在椭圆轨道上运行，其轨道近地点高度约为 440km，远地点高度约为 2060km；1984 年 4 月 8 日成功发射的东方红二号卫星运行在赤道上空 35786km 的地球同步轨道上。设东方红一号在远地点的加速度为  $a_1$ ，东方红二号的加速度为  $a_2$ ，固定在地球赤道上的物体随地球自转的加速度为  $a_3$ ，则  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  的大小关系为( )



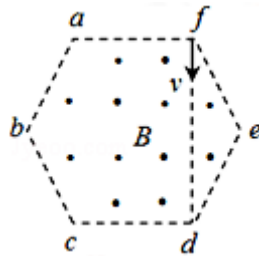
- A.  $a_2 > a_1 > a_3$
- B.  $a_3 > a_2 > a_1$
- C.  $a_3 > a_1 > a_2$
- D.  $a_1 > a_2 > a_3$

解析：东方红二号地球同步卫星和地球自转的角速度相同，由  $a = \omega^2 r$  可知， $a_2 > a_3$ ；由万有

引力提供向心力可得： $a = \frac{GM}{r^2}$ ，东方红一号的轨道半径小于东方红二号的轨道半径，所以有：  
 $a_1 > a_2$ ，所以有： $a_1 > a_2 > a_3$ ，故 ABC 错误，D 正确。

答案：D

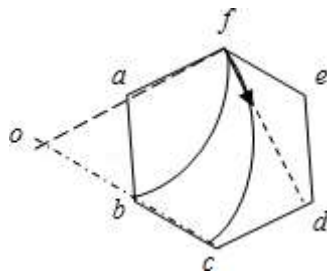
4. 如图所示，正六边形 abcdef 区域内有垂直于纸面的匀强磁场。一带正电的粒子从 f 点沿 fd 方向射入磁场区域，当速度大小为  $v_b$  时，从 b 点离开磁场，在磁场中运动的时间为  $t_b$ ，当速度大小为  $v_c$  时，从 c 点离开磁场，在磁场中运动的时间为  $t_c$ ，不计粒子重力。则（ ）



- A.  $v_b : v_c = 1 : 2, t_b : t_c = 2 : 1$
- B.  $v_b : v_c = 2 : 2, t_b : t_c = 1 : 2$
- C.  $v_b : v_c = 2 : 1, t_b : t_c = 2 : 1$
- D.  $v_b : v_c = 1 : 2, t_b : t_c = 1 : 2$

解析：粒子在磁场中做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，根据牛顿第二定律有  $qvB = m \frac{v^2}{r}$

得  $r = \frac{mv}{qB}$ ，粒子在磁场中运动的轨迹如图，



从 B 点离开磁场的粒子，圆心在 a 点，半径等于正六边形的边长，即  $t_b = a$ ，从 C 点离开磁

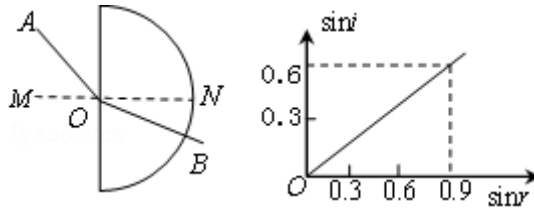
场的粒子，圆心是 o 点，半径等于正六边形边长的 2 倍，即  $t_c = 2a$ ，根据半径公式  $r = \frac{mv}{qB}$  得

$v = \frac{qBr}{m} \propto r$ ,  $\frac{v_b}{v_c} = \frac{r_b}{r_c} = \frac{1}{2}$ , 从 b 点离开磁场的粒子, 圆心角  $\theta_b = 120^\circ$ ; 从 C 点离开磁场的

的粒子, 圆心角  $\theta_c = 60^\circ$ , 根据  $t = \frac{\theta}{360^\circ} T$ , 得  $\frac{t_b}{t_c} = \frac{\theta_b}{\theta_c} = \frac{2}{1}$ , 故 A 正确, BCD 错误。

答案: A

5. 某同学通过实验测定半圆形玻璃砖的折射率  $n$ 。如图所示, O 是圆心, MN 是法线, AO、BO 分别表示某次测量时光线在空气和玻璃砖中的传播路径。该同学测得多组入射角  $i$  和折射角  $r$ , 做出  $\sin i - \sin r$  图象如图所示。则( )



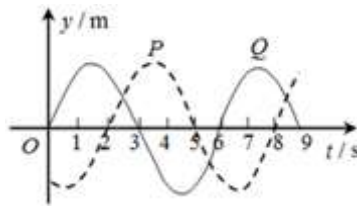
- A. 光由 A 经 O 到 B,  $n=1.5$
- B. 光由 B 经 O 到 A,  $n=1.5$
- C. 光由 A 经 O 到 B,  $n=0.67$
- D. 光由 B 经 O 到 A,  $n=0.67$

解析: 由图象可得:  $\sin i < \sin r$ , 则  $i < r$ , 所以光线从玻璃射入空气折射, 即光由 B 经 O 到 A。根据折射定律得  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{1}{n}$ , 由图象得:  $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{0.6}{0.9} = \frac{1}{1.5}$ , 所以可得,  $n=1.5$ , 故 B

正确, ACD 错误。

答案: B

6. 简谐横波在均匀介质中沿直线传播, P、Q 是传播方向上相距 10m 的两质点, 波先传到 P, 当波传到 Q 开始计时, P、Q 两质点的振动图象如图所示。则( )



- A. 质点 Q 开始振动的方向沿 y 轴正方向
- B. 该波从 P 传到 Q 的时间可能为 7s
- C. 该波的传播速度可能为 2m/s
- D. 该波的波长可能为 6m

解析: A、由图象可知, 质点 P 的振动图象为虚线, 质点 Q 的振动图象为实线, 从 0 时刻开始, 质点 Q 的起振方向沿 y 轴正方向, 所以选项 A 正确。

B、由题可知, 简谐横波的传播方向从 P 到 Q, 由图可知, 周期  $T=6s$ , 质点 Q 的振动图象向左 4s、后与 P 点的振动重合, 意味着 Q 点比 P 点振动滞后了 4s, 即 P 传到 Q 的时间  $\Delta t$  可能为 4s, 同时由周期性可知, 从 P 传到 Q 的时间  $\Delta t$  为  $(4+nT)s$ ,  $n=0, 1, 2, 3, \dots$ , 即  $\Delta t=4s, 10s, 16s, \dots$ , 不可能为 7s, 所以选项 B 错误。

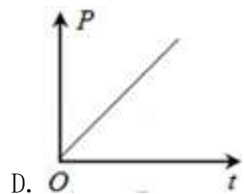
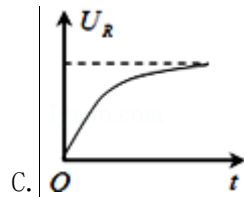
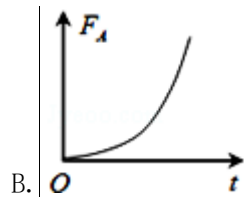
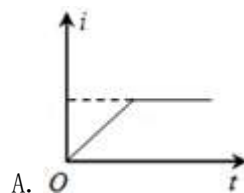
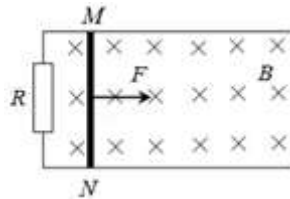
$$\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

C、由  $v = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ ，考虑到波的周期性，当  $\Delta t = 4s, 10s, 16s \dots$  时，速度  $v$  可能为  $2.5m/s, 1m/s, 0.625m/s \dots$ ，不可能为  $2m/s$ ，选项 C 错误。

D、同理，考虑到周期性，由  $\lambda = vT$  可知，波长可能为  $15m, 6m, 3.75m \dots$ ，所以选项 D 正确。

答案：AD

7. 如图所示，电阻不计、间距为  $l$  的光滑平行金属导轨水平放置于磁感应强度为  $B$ 、方向竖直向下的匀强磁场中，导轨左端接一定值电阻  $R$ 。质量为  $m$ 、电阻为  $r$  的金属棒  $MN$  置于导轨上，受到垂直于金属棒的水平外力  $F$  的作用由静止开始运动，外力  $F$  与金属棒速度  $v$  的关系是  $F = F_0 + kv$  ( $F_0, k$  是常量)，金属棒与导轨始终垂直且接触良好。金属棒中感应电流为  $i$ ，受到的安培力大小为  $F_A$ ，电阻  $R$  两端的电压为  $U_R$ ，感应电流的功率为  $P$ ，它们随时间  $t$  变化图象可能正确的有 ( )



解析：设金属棒在某一时刻速度为  $v$ ，由题意可知，由题意可知，感应电动势  $E = BLv$ ，环路

电流  $I = \frac{E}{R+r} = \frac{BL}{R+r}v$ ，即  $I \propto v$ ；安培力  $F_A = BIL = \frac{B^2 L^2 v}{R+r}$ ，方向水平向左，即  $F_A \propto v$ ；R 两

端电压  $U_R = IR = \frac{BLR}{R+r}v$ ，即  $U_R \propto v$ ；感应电流功率  $P = EI = \frac{B^2 L^2}{R+r}v^2$ ，即  $P \propto v^2$ 。

分析金属棒运动情况，由力的合成和牛顿第二定律可得：

$F_{\text{合}} = F - F_A = F_0 + kv - \frac{B^2 L^2}{R+r} v = F_0 + (k - \frac{B^2 L^2}{R+r}) v$ ，即加速度  $a = \frac{F_{\text{合}}}{m}$ ，因为金属棒从静止出发，所以  $F_0 > 0$ ，且  $F_{\text{合}} > 0$ ，即  $a > 0$ ，加速度方向水平向右。

(1) 若  $k = \frac{B^2 L^2}{R+r}$ ， $F_{\text{合}} = F_0$ ，即  $a = \frac{F_0}{m}$ ，金属棒水平向右做匀加速直线运动。有  $v = at$ ，说明  $v \propto t$ ，也即是  $I \propto t$ ， $F_A \propto t$ ， $U_R \propto t$ ， $P \propto t^2$ ，所以在此情况下没有选项符合。

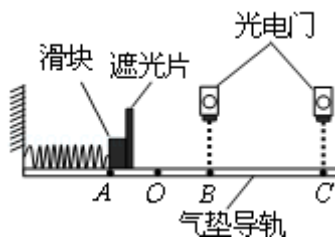
(2) 若  $k > \frac{B^2 L^2}{R+r}$ ， $F_{\text{合}}$  随  $v$  增大而增大，即  $a$  随  $v$  增大而增大，说明金属棒做加速度增大的加速运动，速度与时间呈指数增长关系，根据四个物理量与速度的关系可知 B 选项符合；

(3) 若  $k < \frac{B^2 L^2}{R+r}$ ， $F_{\text{合}}$  随  $v$  增大而减小，即  $a$  随  $v$  增大而减小，说明金属棒在做加速度减小的加速运动，直到加速度减小为 0 后金属棒做匀速直线运动，根据四个物理量与速度关系可知 C 选项符合。

答案：BC

## 二、非选择题

8. 用如图所示的装置测量弹簧的弹性势能。将弹簧放置在水平气垫导轨上，左端固定，右端在 O 点；在 O 点右侧的 B、C 位置各安装一个光电门，计时器(图中未画出)与两个光电门相连。先用米尺测得 B、C 两点间距离  $x$ ，再用带有遮光片的滑块压缩弹簧到某位置 A，静止释放，计时器显示遮光片从 B 到 C 所用的时间  $t$ ，用米尺测量 A、O 之间的距离  $x$ 。



(1) 计算滑块离开弹簧时速度大小的表达式是\_\_\_\_\_。

解析：滑块离开弹簧后的运动可视为匀速运动，故可以用 BC 段的平均速度表示离开时的速度：则有： $v = \frac{x}{t}$ 。

答案： $\frac{x}{t}$

(2) 为求出弹簧的弹性势能，还需要测量\_\_\_\_\_。

A. 弹簧原长 B. 当地重力加速度 C. 滑块(含遮光片)的质量

解析：弹簧的弹性势能等于物体增加的动能，故应求解物体的动能，根据动能表达式可知，应测量滑块的质量。

答案：C

(3) 增大 A、O 之间的距离  $x$ ，计时器显示时间  $t$  将\_\_\_\_\_。

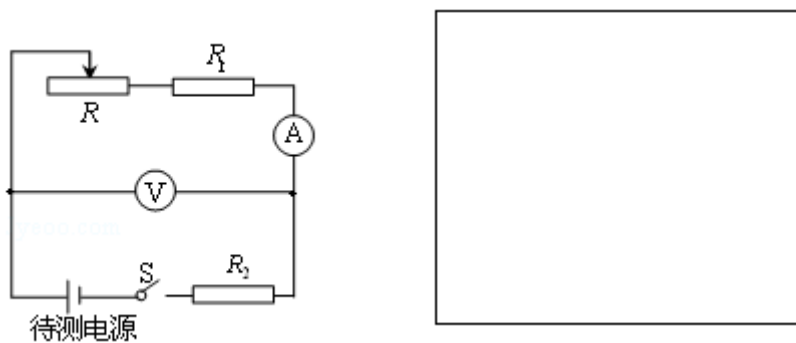
A. 增大 B. 减小 C. 不变。

解析：增大 AO 间的距离时，滑块被弹出后的速度将增大，故通过两光电门的时间将减小。

答案：B

9. 用如图所示电路测量电源的电动势和内阻。实验器材：

待测电源(电动势约 3V，内阻约  $2\Omega$ )，保护电阻  $R_1$ (阻值  $10\Omega$ ) 和  $R_2$ (阻值  $5\Omega$ )，滑动变阻器  $R$ ，电流表 A，电压表 V，开关 S，导线若干。



实验主要步骤：

将滑动变阻器接入电路的阻值调到最大，闭合开关；

逐渐减小滑动变阻器接入电路的阻值，记下电压表的示数  $U$  和相应电流表的示数  $I$ ；

在图中，以  $U$  为纵坐标， $I$  为横坐标，做  $U - I$  图线 ( $U$ 、 $I$  都用国际单位)；

求出  $U - I$  图线斜率的绝对值  $k$  和在横轴上的截距  $A$ 。

回答下列问题：

(1) 电压表最好选用\_\_\_\_\_；电流表最好选用\_\_\_\_\_。

A. 电压表 ( $0 \sim 3V$ ，内阻约  $15k\Omega$ )

B. 电压表 ( $0 \sim 3V$ ，内阻约  $3k\Omega$ )

C. 电流表 ( $0 \sim 200mA$ ，内阻约  $2\Omega$ )

D. 电流表 ( $0 \sim 30mA$ ，内阻约  $2\Omega$ )

解析：电压表并联在电路中，故电压表内阻越大，分流越小，误差也就越小，因此应选内阻较大的 A 电压表；

当滑动变阻器接入电阻最小时，通过电流表电流最大，此时通过电流表电流大小约为  $I =$

$$\frac{E}{R_1 + R_2 + r} = \frac{3}{10 + 5 + 2} = 176mA$$

因此，电流表选择 C。

答案：A C

(2) 滑动变阻器的滑片从左向右滑动，发现电压表示数增大。两导线与滑动变阻器接线柱连接情况是\_\_\_\_\_。

A. 两导线接在滑动变阻器电阻丝两端接线柱

B. 两导线接在滑动变阻器金属杆两端接线柱

C. 一条导线接在滑动变阻器金属杆左端接线柱，另一条导线接在电阻丝左端接线柱

D. 一条导线接在滑动变阻器金属杆右端接线柱，另一条导线接在电阻丝右端接线柱

解析：分析电路可知，滑片右移电压表示数变大，则说明滑动变阻器接入电路部分阻值增大，而 A 项中两导线均接在金属杆的两端上，接入电阻为零；而 B 项中两导线接在电阻丝两端，接入电阻最大并保持不变；C 项中一导线接在金属杆左端，而另一导线接在电阻丝左端，则可以保证滑片右移时阻值增大；而 D 项中导线分别接右边上下接线柱，滑片右移时，接入电阻减小；故 D 错误。

答案：C

(3) 选用  $k$ 、 $a$ 、 $R_1$  和  $R_2$  表示待测电源的电动势  $E$  和内阻  $r$  的表达式  $E = \underline{\hspace{2cm}}$ ， $r = \underline{\hspace{2cm}}$ ，代入数值可得  $E$  和  $r$  的测量值。

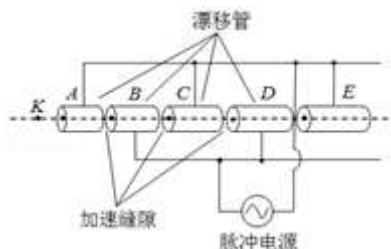
解析：由闭合电路欧姆定律可知： $U = E - I(r + R_2)$ ，对比伏安特性曲线可知，图象的斜率为  $k = r + R_2$ ；则内阻  $r = k - R_2$ ；

令  $U = 0$ ，则有：

$$I = \frac{E}{r + R_2} = \frac{E}{k} \quad \text{由题意可知，图象与横轴截距为 } a, \text{ 则有：} a = I = \frac{E}{k} \quad \text{解得：} E = ka。$$

答案： $ka$   $k - R_2$

10. 中国科学家 2015 年 10 月宣布中国将在 2020 年开始建造世界上最大的粒子加速器。加速器是人类揭示物质本源的关键设备，在放射治疗、食品安全、材料科学等方面有广泛应用。如图所示，某直线加速器由沿轴线分布的一系列金属圆管（漂移管）组成，相邻漂移管分别接在高频脉冲电源的两极。质子从 K 点沿轴线进入加速器并依次向右穿过各漂移管，在漂移管内做匀速直线运动，在漂移管间被电场加速，加速电压视为不变。设质子进入漂移管 B 时速度为  $8 \times 10^6 \text{ m/s}$ ，进入漂移管 E 时速度为  $1 \times 10^7 \text{ m/s}$ ，电源频率为  $1 \times 10^7 \text{ Hz}$ ，漂移管间缝隙很小，质子在每个管内运动时间视为电源周期的  $\frac{1}{2}$ 。质子的荷质比取  $1 \times 10^8 \text{ C/kg}$ 。求：



(1) 漂移管 B 的长度。

解析：设高频脉冲电源的频率为  $f$ ，周期为  $T$ ；质子在每个漂移管中运动的时间为  $t$ ，质子进入漂移管 B 时的速度为  $v_B$ ，漂移管 B 的长度为  $L_B$ ，则

$$T = \frac{1}{f} = 10^{-7} \text{ s}$$

据题有： $t = \frac{T}{2}$

质子在漂移管内做匀速直线运动，则有： $L_B = v_B \cdot \frac{T}{2}$

联立代入数据解得： $L_B = 0.4 \text{ m}$ 。

答案：漂移管 B 的长度是  $0.4 \text{ m}$

(2) 相邻漂移管间的加速电压。

解析：质子从 B 到 E 的过程中，质子从漂移管 B 运动到漂移 E 共被加速 3 次，由动能定理得：

$$3qU = \frac{1}{2}mv_E^2 - \frac{1}{2}mv_B^2$$

据题有  $\frac{q}{m} = 1 \times 10^8 \text{C/kg}$

解得：  $U = 6 \times 10^4 \text{V}$ 。

答案：相邻漂移管间的加速电压是  $6 \times 10^4 \text{V}$

11. 避险车道是避免恶性交通事故的重要设施，由制动坡床和防撞设施等组成，如图竖直平面内，制动坡床视为水平面夹角为  $\theta$  的斜面。一辆长 12m 的载有货物的货车因刹车失灵从干道驶入制动坡床，当车速为 23m/s 时，车尾位于制动坡床的低端，货物开始在车厢内向车头滑动，当货物在车厢内滑动了 4m 时，车头距制动坡床顶端 38m，再过一段时间，货车停止。已知货车质量是货物质量的 4 倍，货物与车厢间的动摩擦因数为 0.4；货车在制动坡床上运动受到的坡床阻力大小为货车和货物总重的 0.44 倍。货物与货车分别视为小滑块和平板，取  $\cos \theta = 1$ ， $\sin \theta = 0.1$ ， $g = 10 \text{m/s}^2$  求：



(1) 货物在车厢内滑动时加速度的大小和方向。

解析：对货物：  $\mu mg \cos \theta + mg \sin \theta = ma_1$ ， $a_1 = 5 \text{m/s}^2$ ，方向沿斜面向下。

答案：货物在车厢内滑动时加速度为  $5 \text{m/s}^2$ ，方向沿斜面向下。

(2) 制动坡床的长度。

解析：对货车：  $0.44(m+4m)g + 4mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = 4ma_2$

解得：  $a_2 = 5.5 \text{m/s}^2$

设减速的时间为  $t$ ，则有：

$$v_0 t - \frac{1}{2} a_1 t^2 - (v_0 t - \frac{1}{2} a_2 t^2) = 4$$

得：  $t = 4 \text{s}$

故制动坡床的长度  $L = 38 + 12 + (v_0 t - \frac{1}{2} a_2 t^2) = 98 \text{m}$ 。

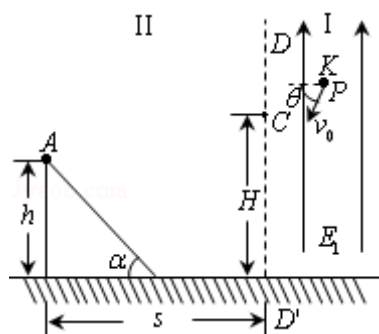
答案：制动坡床的长度为 98m。

12. 如图所示，图面内有竖直线  $DD'$ ，过  $DD'$  且垂直于图面的平面将空间分成 I、II 两区域。区域 I 有方向竖直向上的匀强电场和方向垂直图面的匀强磁场  $B$  (图中未画出)；区域 II 有固

定在水平面上高  $h = 21$ 、倾角  $\alpha = \frac{\pi}{4}$  的光滑绝缘斜面，斜面顶端与直线  $DD'$  距离  $s = 41$ ，区域 II 可加竖直方向的大小不同的匀强电场 (图中未画出)；C 点在  $DD'$  上，距地面高  $H = 31$ 。零时刻，质量为  $m$ 、带电荷量为  $q$  的小球 P 在 K 点具有大小  $v_0 = \sqrt{gl}$ 、方向与水平面夹角  $\theta = \frac{\pi}{3}$



的速度，在区域 I 内做半径  $r = \frac{3l}{\pi}$  的匀速圆周运动，经 CD 水平进入区域 II。某时刻，不带电的绝缘小球 A 由斜面顶端静止释放，在某处与刚运动到斜面的小球 P 相遇。小球视为质点，不计空气阻力及小球 P 所带电量对空间电磁场的影响。l 已知，g 为重力加速度。



(1) 求匀强磁场的磁感应强度 B 的大小。

解析：小球 P 在 I 区做匀速圆周运动，则小球 P 必定带正电，且所受电场力与重力大小相等。设 I 区磁感应强度大小为 B，由洛伦兹力提供向心力得：

$$qv_0B = m \frac{v_0^2}{r}$$

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

代入数据得：

$$B = \frac{\pi m}{3ql} \sqrt{gl}$$

答案：磁感应强度大小为  $\frac{\pi m}{3ql} \sqrt{gl}$

(2) 若小球 A、P 在斜面底端相遇，求释放小球 A 的时刻  $t_A$ 。

解析：小球 P 先在 I 区以 D 为圆心做匀速圆周运动，由小球初速度和水平方向夹角为  $\theta$  可得，小球将偏转  $\theta$  角后自 C 点水平进入 II 区做类平抛运动到斜面底端 B 点，如图所示

设做匀速圆周运动的时间为  $t_1$ ，类平抛运动的时间为  $t_2$ ，则

$$t_1 = \frac{\widehat{PC}}{v_0}$$

$$\widehat{PC} = \theta r$$

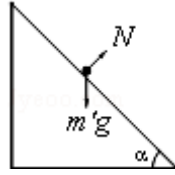
$$\theta = \frac{\pi}{3}$$

$$t_2 = \frac{BD'}{v_0}$$

$$BD' = s - 2l \cot \alpha$$

小球 A 自斜面顶端释放后，将沿斜面向下做匀加速直线运动，设加速度的大小为  $a_1$ ，释放后在斜面上运动时间为  $t_3$ 。

对小球 A 受力分析，设小球质量为  $m'$ ，斜面对小球的支持力  $N$ ，如图所示。



由牛顿第二定律得：

$$m' g \sin \alpha = m' a_1$$

$$\frac{2l}{\sin \alpha} = \frac{1}{2} a_1 t_3^2$$

小球 A 的释放时刻  $t_A$  满足：

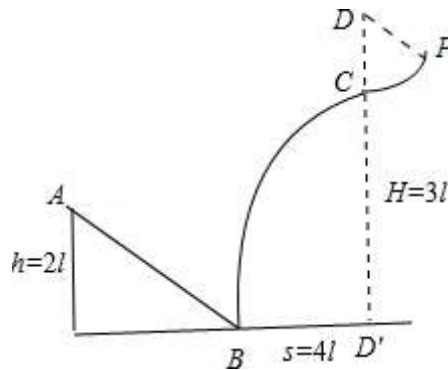
$$t_A = t_1 + t_2 - t_3$$

联立上式得：
$$t_A = (3 - 2\sqrt{2}) \sqrt{\frac{l}{g}}$$

答案：小球 A 释放时刻为 
$$(3 - 2\sqrt{2}) \sqrt{\frac{l}{g}}$$

(3) 若小球 A、P 在时刻  $t = \beta \sqrt{\frac{l}{g}}$  ( $\beta$  为常数) 相遇于斜面某处，求此情况下区域 II 的匀强电场的场强  $E$ ，并讨论场强  $E$  的极大值和极小值及相应的方向。

解析：设所求电场强度为  $E'$ ，以竖直向下为正；设在  $t_A'$  时刻释放小球 A，小球 P 在区域 II 运动加速度为  $a_2$ ，



小球 A、P 在  $t = \beta \sqrt{\frac{1}{g}}$  在斜面上相遇，即小球 P 运动的时间为  $t$ ，小球 P 从开始运动到斜面

上先做  $t_1$  时间的匀速圆周运动，然后自 C 点进入 II 区做类平抛运动。

则小球 A、P 相遇时，由运动公式及几何关系可得：

$$s = v_0(t - t_1) + \frac{1}{2} a(t - a_2 t_A') \cos \alpha$$

$$mg + qE = ma_2 a_2$$

$$H - h = \frac{1}{2} a_2 (t - t_1)^2 - \frac{1}{2} a_1 (t - t_A')^2 \sin \alpha$$

联立相关方程解得  $E = \frac{(11 - \beta^2) mg}{q(\beta - 1)}$

小球 P 在区域 II 中水平方向位移为： $x = v_0(t - t_1)$

小球 P 在区域 II 中竖直方向位移为： $y = \frac{1}{2} a_1 t_4^2$

由于小球 P 落在斜面上，则： $2l \leq x \leq 4l$ ， $l \leq y \leq 3l$

求得  $3 \leq \beta \leq 5$

由此可得场强极小值为  $E_{\min} = 0$ ，场强极大值为  $E_{\max} = \frac{7mg}{8q}$ ，方向竖直向上。

答案：电场强度为  $\frac{(11 - \beta^2) mg}{q(\beta - 1)}$  极大值  $\frac{7mg}{8q}$  竖直向上 极小值为 0