

## 2017 年普通高等学校招生全国统一考试(天津卷)物理

一、选择题(每小题 6 分, 共 30 分。每小题给出的四个选项中, 只有一个选项是正确的)

1. (6 分) 我国自主研发制造的国际热核聚变核心部件在国际上率先通过权威机构认证, 这是我国对国际热核聚变项目的重大贡献。下列核反应方程中属于聚变反应的是( )



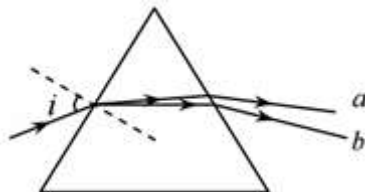
- A.  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$   
 B.  ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$   
 C.  ${}^4_2\text{He} + {}^{27}_{13}\text{Al} \rightarrow {}^{30}_{15}\text{P} + {}^1_0\text{n}$   
 D.  ${}^{235}_{92}\text{U} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^{144}_{56}\text{Ba} + {}^{89}_{36}\text{Kr} + 3 {}^1_0\text{n}$

解析: 核聚变是指由质量小的原子, 主要是指氘或氚, 在一定条件下(如超高温和高压), 发生原子核互相聚合作用, 生成新的质量更重的原子核, 并伴随着巨大的能量释放的一种核反应形式, 由此可知: 核反应方程  ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$  是原子核的聚变反应; B 与 C 属于原子核的人工核转变; D 属于裂变反应;

故只有 A 正确; BCD 错误。

答案: A

2. (6 分) 明代学者方以智在《阳燧倒影》中记载: “凡宝石面凸, 则光成一条, 有数棱则必有一面五色”, 表明白光通过多棱晶体折射会发生色散现象。如图所示, 一束复色光通过三棱镜后分解成两束单色光 a、b, 下列说法正确的是( )



- A. 若增大入射角  $i$ , 则 b 光先消失  
 B. 在该三棱镜中 a 光波长小于 b 光  
 C. a 光能发生偏振现象, b 光不能发生  
 D. 若 a、b 光分别照射同一光电管都能发生光电效应, 则 a 光的遏止电压低

解析: A、根据折射率定义公式  $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ , 从空气斜射向玻璃时, 入射角相同, 光线 a 对应的折射角较大, 故光线 a 的折射率较小, 即  $n_a < n_b$ , 若增大入射角  $i$ , 在第二折射面上, 则两光的入射角减小, 依据光从光密介质进入光疏介质, 且入射角大于或等于临界角时, 才能发生光的全反射, 因此它们不会发生光的全反射, 故 A 错误;

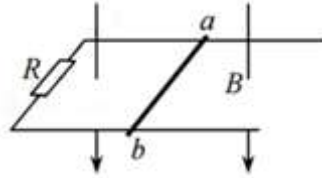
B、根据折射率定义公式  $n = \frac{\sin i}{\sin r}$ , 从空气斜射向玻璃时, 入射角相同, 光线 a 对应的折射角较大, 故光线 a 的折射率较小, 即  $n_a < n_b$ , 则在真空中 a 光波长大于 b 光波长, 故 B 错误;

C、只要是横波, 均能发生偏振现象, 若 a 光能发生偏振现象, b 光一定能发生, 故 C 错误;

D、a 光折射率较小, 则频率较小, 根据  $E = h\gamma$ , 则 a 光光子能量较小, 则 a 光束照射逸出光电子的最大初动能较小, 根据  $qU_c = \frac{1}{2} m v_m^2$ , 则 a 光的遏止电压低, 故 D 正确。

答案：D

3. (6分) 如图所示，两根平行金属导轨置于水平面内，导轨之间接有电阻R。金属棒ab与两导轨垂直并保持良好接触，整个装置放在匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨平面向下。现使磁感应强度随时间均匀减小，ab始终保持静止，下列说法正确的是( )



- A. ab 中的感应电流方向由 b 到 a
- B. ab 中的感应电流逐渐减小
- C. ab 所受的安培力保持不变
- D. ab 所受的静摩擦力逐渐减小

解析：A、磁感应强度均匀减小，磁通量减小，根据楞次定律得，ab 中的感应电流方向由 a 到 b，故 A 错误。

B、由于磁感应强度均匀减小，根据法拉第电磁感应定律  $E = \frac{\Delta BS}{\Delta t}$  得，感应电动势恒定，则 ab 中的感应电流不变，故 B 错误。

C、根据安培力公式  $F = BIL$  知，电流不变，B 均匀减小，则安培力减小，故 C 错误。

D、导体棒受安培力和静摩擦力处于平衡， $f = F$ ，安培力减小，则静摩擦力减小，故 D 正确。

答案：D

4. (6分) “天津之眼”是一座跨河建设、桥轮合一的摩天轮，是天津市的地标之一。摩天轮悬挂透明座舱，乘客随座舱在竖直面内做匀速圆周运动。下列叙述正确的是( )



- A. 摩天轮转动过程中，乘客的机械能保持不变
- B. 在最高点，乘客重力大于座椅对他的支持力
- C. 摩天轮转动一周的过程中，乘客重力的冲量为零
- D. 摩天轮转动过程中，乘客重力的瞬时功率保持不变

解析：A、机械能等于重力势能和动能之和，摩天轮运动过程中，做匀速圆周运动，乘客的速度大小不变，则动能不变，但高度变化，所以机械能在变化，A 错误；

B、圆周运动过程中，在最高点，由重力和支持力的合力提供向心力 F，向心力指向下方，所以  $F = mg - N$ ，则支持力  $N = mg - F$ ，所以重力大于支持力，B 正确；

C、转动一周，重力的冲量为  $I = mgT$ ，不为零，C 错误；

D、运动过程中，乘客的重力大小不变，速度大小不变，但是速度方向时刻在变化，所以重力的瞬时功率在变化，D 错误。

答案：B

5. (6分) 手持较长软绳端点 O 以周期 T 在竖直方向上做简谐运动，带动绳上的其他质点振动形成简谐波沿绳水平传播，示意如图。绳上有另一质点 P，且 O、P 的平衡位置间距为 L。t=0

时，O 位于最高点，P 的位移恰好为零，速度方向竖直向上，下列判断正确的是( )



- A. 该简谐波是纵波
- B. 该简谐波的最大波长为  $2L$
- C.  $t = \frac{T}{8}$  时，P 在平衡位置上方
- D.  $t = \frac{3T}{8}$  时，P 的速度方向竖直向上

解析：A、该简谐波上质点振动方向为竖直方向，波的传播方向为水平方向，两者垂直，故为横波，故 A 错误；

B、 $t=0$  时，O 位于最高点，P 的位移恰好为零，速度方向竖直向上，故两者间的距离为  $(n + \frac{1}{4})\lambda$ ， $n=0, 1, 2, 3, \dots$ ，

又有 O、P 的平衡位置间距为  $L$ ，则  $\lambda_{\max} = \frac{L}{\frac{1}{4}} = 4L$ ，故 B 错误；

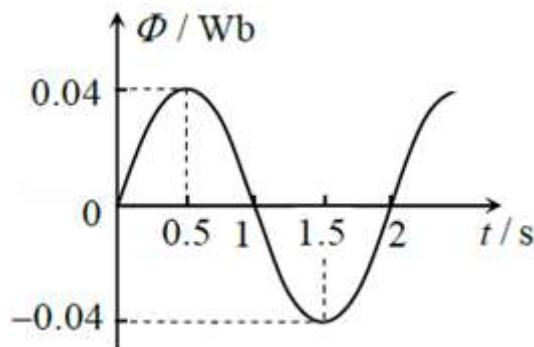
C、 $t=0$  时，P 的位移恰好为零，速度方向竖直向上，那么， $t = \frac{T}{8}$  时，P 在平衡位置上方，并向上运动，故 C 正确；

D、 $t=0$  时，P 的位移恰好为零，速度方向竖直向上，那么， $t = \frac{3T}{8}$  时，P 在平衡位置上方，并向下运动，故 D 错误。

答案：C

二、不定项选择题(每小题 6 分，共 18 分。每小题给出的四个选项中，都有多个选项是正确的。全部选对的得 6 分，选对但不全的得 3 分，选错或不答的得 0 分)

6. (6 分) 在匀强磁场中，一个 100 匝的闭合矩形金属线圈，绕与磁感线垂直的固定轴匀速转动，穿过该线圈的磁通量随时间按图示正弦规律变化。设线圈总电阻为  $2\Omega$ ，则( )



- A.  $t=0$  时，线圈平面平行于磁感线
- B.  $t=1s$  时，线圈中的电流改变方向
- C.  $t=1.5s$  时，线圈中的感应电动势最大
- D. 一个周期内，线圈产生的热量为  $8\pi^2 J$

解析：A、根据图象可知，在  $t=0$  时穿过线圈平面的磁通量为零，所以线圈平面平行于磁感线，故 A 正确；

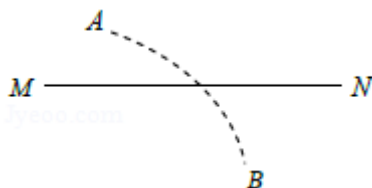
B、 $\Phi - t$  图象的斜率为  $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，即表示磁通量的变化率，在  $0.5s \sim 1.5s$  之间，“斜率方向”不变，表示的感应电动势方向不变，则电流强度方向不变，故 B 错误；

C、根据法拉第电磁感应定律可得  $E=N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ ，所以在  $t=1.5\text{ s}$  时，斜率为零，则感应电动势为零，故 C 错误；

D、感应电动势的最大值为  $E_m=NBS\omega=N\Phi_m\omega=100\times 0.04\times \frac{2\pi}{2}\text{ V}=4\pi\text{ V}$ ，有效值  $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}=2\sqrt{2}\pi\text{ V}$ ，根据焦耳定律可得一个周期产生的热为  $Q=\frac{E^2}{R}T=\frac{8\pi^2}{2}\times 2\text{ J}=8\pi^2\text{ J}$ ，故 D 正确。

答案：AD

7. (6分) 如图所示，在点电荷  $Q$  产生的电场中，实线  $MN$  是一条方向未标出的电场线，虚线  $AB$  是一个电子只在静电力作用下的运动轨迹。设电子在  $A$ 、 $B$  两点的加速度大小分别为  $a_A$ 、 $a_B$ ，电势能分别为  $E_{pA}$ 、 $E_{pB}$ 。下列说法正确的是( )



- A. 电子一定从  $A$  向  $B$  运动
- B. 若  $a_A > a_B$ ，则  $Q$  靠近  $M$  端且为正电荷
- C. 无论  $Q$  为正电荷还是负电荷一定有  $E_{pA} < E_{pB}$
- D.  $B$  点电势可能高于  $A$  点电势

解析：A、由于不知道电子速度变化，由运动轨迹图不能判断电子向那个方向运动，故 A 错误；

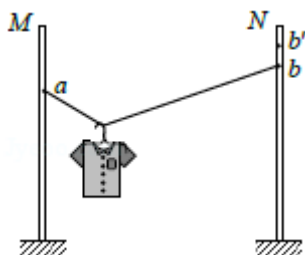
B、若  $a_A > a_B$ ，则  $A$  点离点电荷  $Q$  更近即  $Q$  靠近  $M$  端；又由运动轨迹可知，电场力方向指向凹的一侧即左侧，所以，在  $MN$  上电场方向向右，那么  $Q$  靠近  $M$  端且为正电荷，故 B 正确；

D、由 B 可知，电场线方向由  $M$  指向  $N$ ，那么  $A$  点电势高于  $B$  点，故 D 错误；

C、由 B 可知，电子所受电场力方向指向左侧，那么，若电子从  $A$  向  $B$  运动，则电场力做负功，电势能增加；若电子从  $B$  向  $A$  运动，则电场力做正功，电势能减小，所以，一定有  $E_{pA} < E_{pB}$  求解过程与  $Q$  所带电荷无关，只与电场线方向相关，故 C 正确。

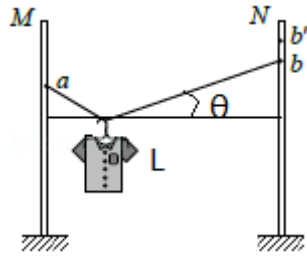
答案：BC

8. (6分) 如图所示，轻质不可伸长的晾衣绳两端分别固定在竖直杆  $M$ 、 $N$  上的  $a$ 、 $b$  两点，悬挂衣服的衣架钩是光滑的，挂于绳上处于静止状态。如果只人为改变一个条件，当衣架静止时，下列说法正确的是( )



- A. 绳的右端上移到  $b'$ ，绳子拉力不变
- B. 将杆  $N$  向右移一些，绳子拉力变大
- C. 绳的两端高度差越小，绳子拉力越小
- D. 若换挂质量更大的衣服，则衣架悬挂点右移

解析：如图所示，两个绳子是对称的，与竖直方向夹角是相等的。



假设绳子的长度为  $X$ ，则  $X \cos \theta = L$ ，绳子一端在上下移动的时候，绳子的长度不变，两杆之间的距离不变，则  $\theta$  角度不变；

AC、两个绳子的合力向上，大小等于衣服的重力，由于夹角不变，所以绳子的拉力不变；A 正确，C 错误；

B、当杆向右移动后，根据  $X \cos \theta = L$ ，即  $L$  变大，绳长不变，所以  $\theta$  角度减小，绳子与竖直方向的夹角变大，绳子的拉力变大，B 正确；

D、绳长和两杆距离不变的情况下， $\theta$  不变，所以挂的衣服质量变化，不会影响悬挂点的移动，D 错误。

答案：AB

### 三、解答题(共 6 小题，满分 72 分)

9. (4 分)我国自主研制的首艘货运飞船“天舟一号”发射升空后，与已经在轨运行的“天宫二号”成功对接形成组合体。假设组合体在距地面高度为  $h$  的圆形轨道上绕地球做匀速圆周运动，已知地球半径为  $R$ ，地球表面重力加速度为  $g$ ，且不考虑地球自转的影响。则组合体运动的线速度大小为\_\_\_\_\_，向心加速度大小为\_\_\_\_\_。



解析：在地球表面的物体受到的重力等于万有引力，有：

$$mg = G \frac{Mm}{R^2}$$

$$\text{得：} GM = R^2 g,$$

根据万有引力提供向心力有：

$$G \frac{mM}{(R+h)^2} = m \frac{v^2}{R+h},$$

$$\text{得：} v = \sqrt{\frac{GM}{R+h}} = \sqrt{\frac{R^2 g}{R+h}} = R \sqrt{\frac{g}{R+h}};$$

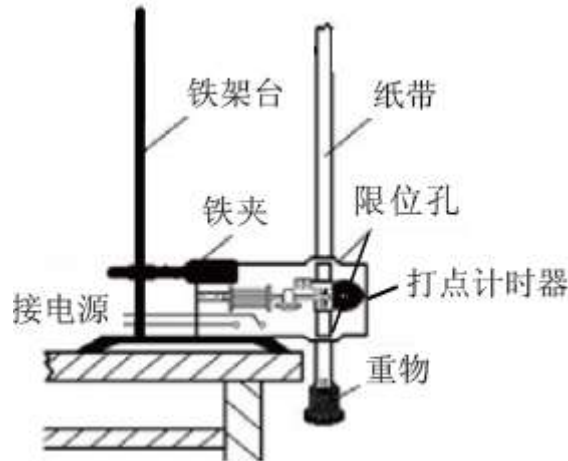
根据万有引力定律和牛顿第二定律可得，卫星所在处的加速度， $G \frac{mM}{(R+h)^2} = ma,$

$$\text{得 } a = \frac{GM}{(R+h)^2} = \frac{R^2 g}{(R+h)^2} = g \left( \frac{R}{R+h} \right)^2.$$

$$\text{答案：} R \sqrt{\frac{g}{R+h}}; g \left( \frac{R}{R+h} \right)^2.$$

10. (4 分)如图所示，打点计时器固定在铁架台上，使重物带动纸带从静止开始自由下落，

利用此装置验证机械能守恒定律。



(1) 对于该实验，下列操作中对减小实验误差有利的是\_\_\_\_\_。

- A. 重物选用质量和密度较大的金属锤
- B. 两限位孔在同一竖直面内上下对正
- C. 精确测量出重物的质量
- D. 用手托稳重物，接通电源后，撒手释放重物

解析：A、实验供选择的重物应该相对质量较大、体积较小的物体，这样能减少摩擦阻力的影响，从而减小实验误差，故 A 正确。

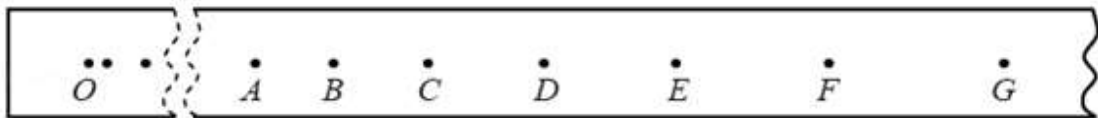
B、为了减小纸带与限位孔之间的摩擦图甲中两限位孔必须在同一竖直线，这样可以减小纸带与限位孔的摩擦，从而减小实验误差，故 B 正确。

C、因为我们是比较  $mgh$ 、 $\frac{1}{2}mv^2$  的大小关系，故  $m$  可约去，不需要测量重锤的质量，对减小实验误差没有影响，故 C 错误。

D、实验时，先接通打点计时器电源再放手松开纸带，对减小实验误差没有影响，故 D 错误。

答案：AB

(2) 某实验小组利用上述装置将打点计时器接到 50Hz 的交流电源上，按正确操作得到了一条完整的纸带，由于纸带较长，图中有部分未画出，如图所示。纸带上各点是打点计时器打出的计时点，其中 O 点为纸带上打出的第一个点。重物下落高度应从纸带上计时点间的距离直接测出，利用下列测量值能完成验证机械能守恒定律的选项有\_\_\_\_\_。



- A. OA、AD 和 EG 的长度
- B. OC、BC 和 CD 的长度
- C. BD、CF 和 EG 的长度
- D. AC、BD 和 EG 的长度

解析：根据这段时间内的平均速度等于中时刻瞬时速度，结合动能与重力势能表达式，

A、当 OA、AD 和 EG 的长度时，只有求得 F 点与 BC 的中点的瞬时速度，从而确定两者的动能变化，却无法求解重力势能的变化，故 A 错误；

B、当 OC、BC 和 CD 的长度时，同理，依据 BC 和 CD 的长度，可求得 C 点的瞬时速度，从而求得 O 到 C 点的动能变化，因知道 OC 间距，则可求得重力势能的变化，可以验证机械能守恒，故 B 正确；

C、当 BD、CF 和 EG 的长度时，依据 BD 和 EG 的长度，可分别求得 C 点与 F 点的瞬时速度，从而求得动能的变化，再由 CF 确定重力势能的变化，进而得以验证机械能守恒，故 C 正确；

D、当 AC、BD 和 EG 的长度时，依据 AC 和 EG 长度，只能求得 B 点与 F 点的瞬时速度，从而

求得动能的变化，而 BF 间距不知道，则无法验证机械能守恒，故 D 错误。

答案：BC

11. (10 分) 某探究性学习小组利用如图 1 所示的电路测量电池的电动势和内阻。其中电流表  $A_1$  的内阻  $r_1=1.0\text{k}\Omega$ ，电阻  $R_1=9.0\text{k}\Omega$ ，为了方便读数和作图，给电池串联一个  $R_0=3.0\Omega$  的电阻。

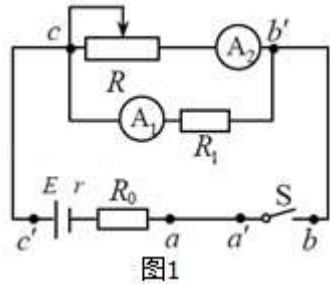


图1

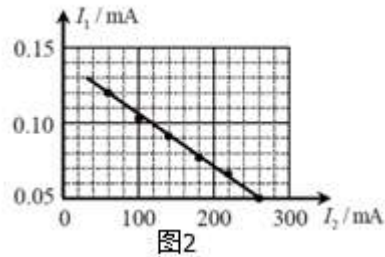


图2

按图示电路进行连接后，发现  $aa'$ 、 $bb'$  和  $cc'$  三条导线中，混进了一条内部断开的导线。为了确定哪一条导线内部是断开的，将电建 S 闭合，用多用电表的电压挡先测量  $a$ 、 $b'$  间电压，读数不为零，再测量  $a$ 、 $a'$  间电压，若读数不为零，则一定是\_\_\_\_\_导线断开；若读数为零，则一定是\_\_\_\_\_导线断开。

排除故障后，该小组顺利完成实验。通过多次改变滑动变阻器触头位置，得到电流表  $A_1$  和  $A_2$  的多组  $I_1$ 、 $I_2$  数据，作出图象如图 2。由  $I_1 - I_2$  图象得到的电池的电动势  $E=$ \_\_\_\_\_V，内阻  $r=$ \_\_\_\_\_  $\Omega$ 。

解析：将电建 S 闭合，用多用电表的电压挡先测量  $a$ 、 $b'$  间电压，读数不为零，可知  $cc'$  不断开，再测量  $a$ 、 $a'$  间电压，若读数不为零，可知  $bb'$  间不断开，则一定是  $aa'$  间断开。若  $aa'$  间电压为零，则  $bb'$  导线断开。

根据串并联电路的特点，结合闭合电路欧姆定律得： $E=U+Ir$ ，

则有： $E=I_1(R_1+r_1)+I_2(R_0+r)$ ，

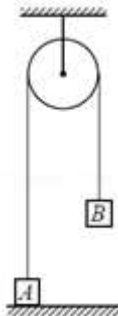
$$\text{可知 } I_1 = \frac{I_2(r+3)}{10^4} + \frac{E}{10^4}, \text{ 纵轴截距 } \frac{E}{10^4} = 0.14 \times 10^{-3}$$

解得： $E=1.4\text{V}$ ，

$$\text{图线斜率的绝对值为: } \frac{r+3}{10^4} = \frac{(0.14-0.05) \times 10^{-3}}{260 \times 10^{-3}}, \text{ 解得 } r \approx 0.5 \Omega.$$

答案： $aa'$ ， $bb'$ ，1.4(1.36~1.44 均可) 0.5(0.4~0.6 均可)

12. (16 分) 如图所示，物块 A 和 B 通过一根轻质不可伸长的细绳连接，跨放在质量不计的光滑定滑轮两侧，质量分别为  $m_A=2\text{kg}$ 、 $m_B=1\text{kg}$ 。初始时 A 静止于水平地面上，B 悬于空中。先将 B 竖直向上再举高  $h=1.8\text{m}$  (未触及滑轮) 然后由静止释放。一段时间后细绳绷直，A、B 以大小相等的速度一起运动，之后 B 恰好可以和地面接触。取  $g=10\text{m/s}^2$ ，求：B 从释放到细绳绷直时的运动时间  $t$ ；A 的最大速度  $v$  的大小；初始时 B 离地面的高度  $H$ 。



解析：B 从释放到细绳刚绷直前做自由落体运动，有： $h = \frac{1}{2}gt^2$

代入数据解得： $t=0.6\text{ s}$ 。

设细绳绷直前瞬间 B 速度大小为  $v_B$ ，有： $v_B=gt$

细绳绷直瞬间，细绳张力远大于 A、B 的重力，A、B 相互作用，由动量守恒得： $m_B v_B=(m_A+m_B)v$  之后 A 做匀减速运动，所以细绳绷直后瞬间的速度  $v$  即为最大速度，联立方程，代入数据解得： $v=2\text{ m/s}$

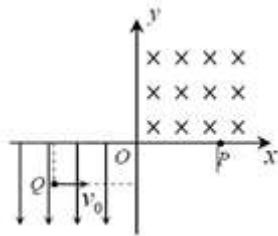
细绳绷直后，A、B 一起运动，B 恰好可以和地面接触，说明此时 A、B 的速度为零，这一过程中 A、B 组成的系统机械能守恒，有：

$$\frac{1}{2}(m_A+m_B)v^2+m_B gH=m_A gH$$

代入数据解得： $H=0.6\text{ m}$ 。

答案：运动时间为 0.6s；A 的最大速度为 2m/s；初始时 B 离地面的高度为 0.6m。

13. (18 分) 平面直角坐标系  $xOy$  中，第 I 象限存在垂直于平面向里的匀强磁场，第 III 象限存在沿  $y$  轴负方向的匀强电场，如图所示。一带负电的粒子从电场中的 Q 点以速度  $v_0$  沿  $x$  轴正方向开始运动，Q 点到  $y$  轴的距离为到  $x$  轴距离的 2 倍。粒子从坐标原点  $O$  离开电场进入磁场，最终从  $x$  轴上的 P 点射出磁场，P 点到  $y$  轴距离与 Q 点到  $y$  轴距离相等。不计粒子重力，为：



(1) 粒子到达  $O$  点时速度的大小和方向；

解析：在电场中，粒子做类平抛运动，设 Q 点到  $x$  轴的距离为  $L$ ，到  $y$  轴的距离为  $2L$ ，粒子的加速度为  $a$ ，运动时间为  $t$ ，有

沿  $x$  轴正方向： $2L=v_0 t$ ，①

竖直方向根据匀变速直线运动位移时间关系可得： $L=\frac{1}{2} a t^2$ ②

设粒子到达  $O$  点时沿  $y$  轴方向的分速度为  $v_y$

根据速度时间关系可得： $v_y=at$  ③

设粒子到达  $O$  点时速度方向与  $x$  轴方向的夹角为  $\alpha$ ，有  $\tan \alpha = \frac{v_y}{v_0}$ ④

联立①②③④式得： $\alpha=45^\circ$  ⑤

即粒子到达  $O$  点时速度方向与  $x$  轴方向的夹角为  $45^\circ$  角斜向上。

设粒子到达  $O$  点时的速度大小为  $v$ ，由运动的合成有

$$v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}=\sqrt{2}v_0$$

答案：粒子到达  $O$  点时速度的大小为  $\sqrt{2}v_0$ ；方向  $x$  轴方向的夹角为  $45^\circ$  角斜向上。

(2) 电场强度和磁感应强度的大小之比。

解析：设电场强度为  $E$ ，粒子电荷量为  $q$ ，质量为  $m$ ，粒子在电场中受到的电场力为  $F$ ，

由牛顿第二定律可得： $qE=ma$  ⑥

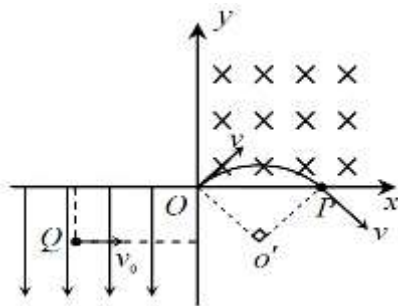
由于  $v_y^2=2aL$

$$\text{解得：} E=\frac{m v_0^2}{2qL} \text{ ⑦}$$

设磁场的磁感应强度大小为  $B$ ，粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为  $R$ ，所受的洛伦兹力



提供向心力, 有  $qvB = m \frac{v^2}{R}$  ⑩



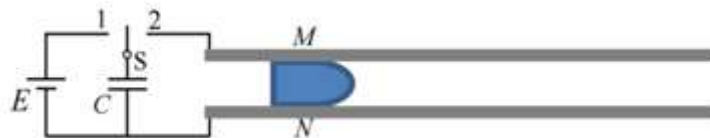
由于 P 点到 O 点的距离为  $2L$ , 则由几何关系可知  $R = \sqrt{2}L$

解得:  $B = \frac{mv_0}{qL}$  ⑪

联立⑨⑪式得  $\frac{E}{B} = \frac{v_0}{2}$ 。

答案: 电场强度和磁感应强度的大小之比为  $\frac{v_0}{2}$ 。

14. (20 分) 电磁轨道炮利用电流和磁场的作用使炮弹获得超高速, 其原理可用来研制新武器和航天运载器。电磁轨道炮示意如图, 图中直流电源电动势为  $E$ , 电容器的电容为  $C$ 。两根固定于水平面内的光滑平行金属导轨间距为  $l$ , 电阻不计。炮弹可视为一质量为  $m$ 、电阻为  $R$  的金属棒  $MN$ , 垂直放在两导轨间处于静止状态, 并与导轨良好接触。首先开关  $S$  接 1, 使电容器完全充电。然后将  $S$  接至 2, 导轨间存在垂直于导轨平面、磁感应强度大小为  $B$  的匀强磁场 (图中未画出),  $MN$  开始向右加速运动。当  $MN$  上的感应电动势与电容器两极板间的电压相等时, 回路中电流为零,  $MN$  达到最大速度, 之后离开导轨。问:



(1) 磁场的方向;

解析: 电容器上端带正电, 通过  $MN$  的电流方向向下, 由于  $MN$  向右运动, 根据左手定则知, 磁场方向垂直于导轨平面向下。

答案: 磁场的方向为垂直于导轨平面向下。

(2)  $MN$  刚开始运动时加速度  $a$  的大小;

解析: 电容器完全充电后, 两极板间电压为  $E$ , 当开关  $S$  接 2 时, 电容器放电, 设刚放电时流经  $MN$  的电流为  $I$ , 有:

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

设  $MN$  受到的安培力为  $F$ , 有:

$$F = I l B$$

由牛顿第二定律有:

$$F = ma$$

联立: 得  $a = \frac{BE l}{mR}$ 。

答案:  $MN$  刚开始运动时加速度  $a$  的大小为  $\frac{BE l}{mR}$ 。

(3) MN 离开导轨后电容器上剩余的电荷量  $Q$  是多少。

解析：当电容器充电完毕时，设电容器上电量为  $Q_0$ ，有：

$$Q_0 = CE$$

开关 S 接 2 后，MN 开始向右加速运动，速度达到最大值  $v_{\max}$  时，设 MN 上的感应电动势为  $E'$ ，

$$\text{有： } E' = Blv_{\max}$$

$$\text{依题意有： } E' = \frac{Q}{C}$$

设在此过程中 MN 的平均电流为  $\bar{I}$ ，MN 上受到的平均安培力为  $\bar{F}$ ，有： $\bar{F} = B\bar{I}l$

$$\text{由动量定理，有 } \bar{F}\Delta t = mv_{\max} - 0$$

$$\text{又 } \bar{I}\Delta t = Q_0 - Q$$

$$\text{联立得： } Q = \frac{B^2 l^2 C^2 E}{m + B^2 l^2 C}$$

答案：MN 离开导轨后电容器上剩余的电荷量  $Q$  是  $\frac{B^2 l^2 C^2 E}{m + B^2 l^2 C}$ 。