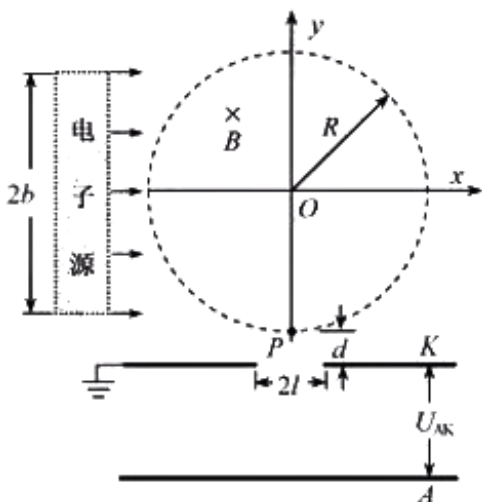
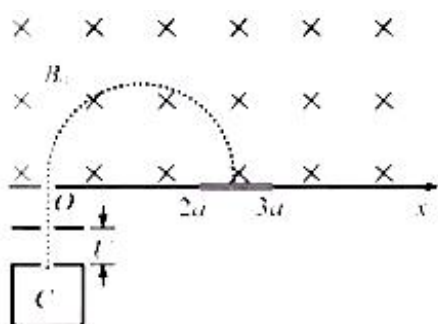


1. (10分)如图所示, 在 $xOy$ 平面内, 有一电子源持续不断地沿 $x$ 正方向每秒发射出 $N$ 个速率均为 $v$ 的电子, 形成宽为 $2b$ 、在 $y$ 轴方向均匀分布且关于 $x$ 轴对称的电子流。电子流沿 $x$ 方向射入一个半径为 $R$ 、中心位于原点 $O$ 的圆形匀强磁场区域, 磁场方向垂直 $xOy$ 平面向里, 电子经过磁场偏转后均从 $P$ 点射出。在磁场区域的正下方有一对平行于 $x$ 轴的金属平行板 $K$ 和 $A$ , 其中 $K$ 板与 $P$ 点的距离为 $d$ , 中间开有宽度为 $2l$ 且关于 $y$ 轴对称的小孔。 $K$ 板接地,  $A$ 与 $K$ 两板间加有正负、大小均可调的电压 $U_{AK}$ 。穿过 $K$ 板小孔到达 $A$ 板的所有电子被收集且导出, 从而形成电流。已知 $b = \frac{\sqrt{3}}{2}R$ ,  $d = l$ , 电子质量为 $m$ , 电荷量为 $e$ , 忽略电子间相互作用。



- (1) 求磁感应强度 $B$ 的大小;
  - (2) 求电子流从 $P$ 点射出时与负 $y$ 轴方向的夹角 $\theta$ 的范围;
  - (3) 当 $U_{AK} = 0$ 时, 每秒经过极板 $K$ 上的小孔到达极板 $A$ 的电子数;
  - (4) 画出电流 $i$ 随 $U_{AK}$ 变化的关系曲线。
2. 如图所示, 在 $x$ 轴上的上方存在垂直纸面向里, 磁感应强度大小为 $B_0$ 的匀强磁场, 位于 $x$ 轴下方粒子源 $C$ 发射质量为 $m$ 、电荷量为 $q$ 的一束负离子, 其初速度大小范围为 $0 \sim \sqrt{3}v_0$ 。这束粒子经电势差为 $U = \frac{mv_0^2}{2q}$ 的电场加速后, 从小孔 $O$  (坐标原点) 垂直 $x$ 轴并垂直磁场射入磁场区域, 最后打到 $x$ 轴上, 在 $x$ 轴上 $2a \sim 3a$ 区间水平固定放置一探测板 ( $a = \frac{mv_0}{qB_0}$ ), 假设每秒射入磁场的离子总数为 $N_0$ , 打到 $x$ 轴上的离子数均匀分布 (粒子重力不计)

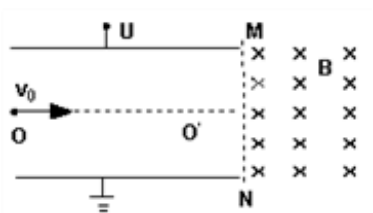


(1) 求粒子束从小孔O射入磁场后打到x轴的区域；

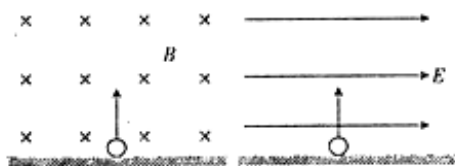
(2) 调整磁感应强度的大小，可使速度最大的离子恰好打在探测板右端，求此时的磁感应强度大小  $B_1$ ；

(3) 保持磁感应强度  $B_1$  不变，求每秒打在探测板上的离子数N，若打在板上的离子80%被板吸收，20%被反向弹回，弹回速度大小为打板前速度大小的0.6倍，求探测板受到的作用力大小。

3. 如图所示，两平行金属板长均为0.2m，两板间的电压  $U=100V$ ，下极板接地，金属板右侧紧贴磁场的左边界MN，MN的右边为足够大的匀强磁场，磁感应强度大小为  $B=0.01T$ ，方向垂直纸面向里，现有带正电的粒子连续不断的以速度  $v_0=10^5 m/s$ ，沿两板中线  $OO'$  从平行金属板的左侧射入电场中，磁场边界MN与中线  $OO'$  垂直，已知带电粒子的荷质比为  $\frac{q}{m}=10^8 C/kg$ ，粒子的重力和粒子间相互作用力均可忽略不计，若射入电场的带电粒子恰能从平行金属板的边缘穿出电场射入磁场中，则下列说法正确的是

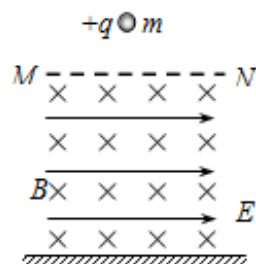


- A. 带电粒子在磁场中运动的半径为  $\sqrt{2}m$
- B. 带电粒子射出磁场后最终能返回到O点
- C. 带电粒子射出电场的速度大小  $\sqrt{2} \times 10^5 m/s$
- D. 对于所有经过电场射入磁场的带电粒子，其射入磁场的入射点和射出磁场的出射点间的距离都为0.2m
4. 带电小球以一定的初速度  $v_0$  竖直向上抛出，能够达到的最大高度为  $h_1$ ；若加上水平方向的匀强磁场，且保持初速度仍为  $v_0$ ，小球上升的最大高度为  $h_2$ ；若加上水平方向的匀强电场，且保持初速度仍为  $v_0$ ，小球上升的最大高度为  $h_3$ ，如图所示。不计空气阻力，则（ ）。

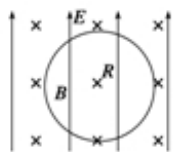


- A:  $h_1 = h_2 = h_3$
- B:  $h_1 > h_2 > h_3$
- C:  $h_1 = h_2 > h_3$
- D:  $h_1 = h_3 > h_2$

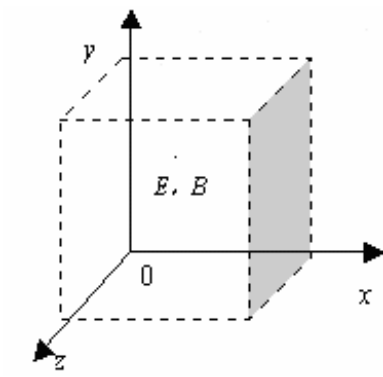
5. 如图所示,界面MN与水平地面之间有足够大正交的匀强磁场B和匀强电场E,磁感线和电场线都处在水平方向且互相垂直.在MN上方有一个带正电的小球由静止开始下落,经电场和磁场到达水平地面.若不计空气阻力,小球在通过电场和磁场的过程中,下列说法中正确的是( )



- A. 小球做匀变速曲线运动  
 B. 小球的电势能保持不变  
 C. 洛伦兹力对小球做正功  
 D. 小球的动能增量等于其电势能和重力势能减少量的总和
6. 如图所示,在互相垂直的匀强电场和匀强磁场中,电荷量为 $q$ 的液滴在竖直面内做半径为 $R$ 的匀速圆周运动.已知电场强度为 $E$ ,磁感应强度为 $B$ ,则液滴的质量和环绕速度分别为



- A.  $\frac{qE}{g}$ ,  $\frac{E}{B}$   
 B.  $\frac{B^2 q R}{E}$ ,  $\frac{E}{B}$   
 C.  $B \sqrt{\frac{qR}{g}}$ ,  $\sqrt{qgR}$   
 D.  $\frac{qE}{g}$ ,  $\frac{BgR}{E}$
7. 在图中虚线所示的区域存在匀强电场和匀强磁场。取坐标如图。一带电粒子沿 $x$ 轴正方向进入此区域,在穿过此区域的过程中运动方向始终不发生偏转。不计重力的影响,电场强度 $E$ 和磁感强度 $B$ 的方向可能是( )。



- A:  $E$ 和 $B$ 都沿x轴正方向
- B:  $E$ 沿y轴正向,  $B$ 沿z轴正向
- C:  $E$ 沿x轴正向,  $B$ 沿y轴正向
- D:  $E$ 、 $B$ 都沿z轴正向

## 答案解析

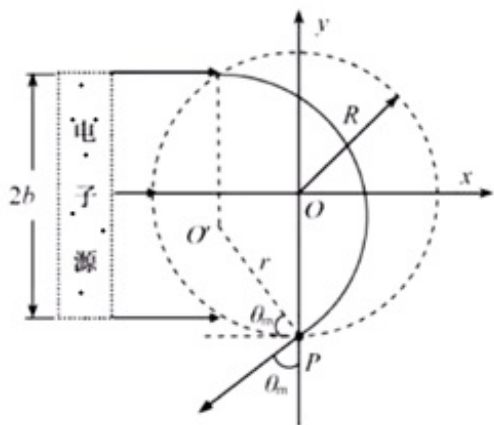
### 1. 答案（本题提供智能家庭教师服务）

（10分）【加试题】

（1）根据几何知识： $r^2 - (\frac{R}{2})^2 = (b + R - r)^2$

轨道半径  $r = R$

$$B = \frac{mv}{eR} \quad \dots\dots 2\text{分}$$



（2）上端电子从  $P$  点射出时与负  $y$  轴最大夹角  $\theta_m$ ，由几何关系

$$\sin \theta_m = \frac{b}{R} \text{ 得 } \theta_m = 60^\circ \quad \dots\dots 2\text{分}$$

同理下端电子从  $P$  点射出时与负  $y$  轴最大夹角也为  $60^\circ$ ，

范围是  $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$   $\dots\dots 1\text{分}$

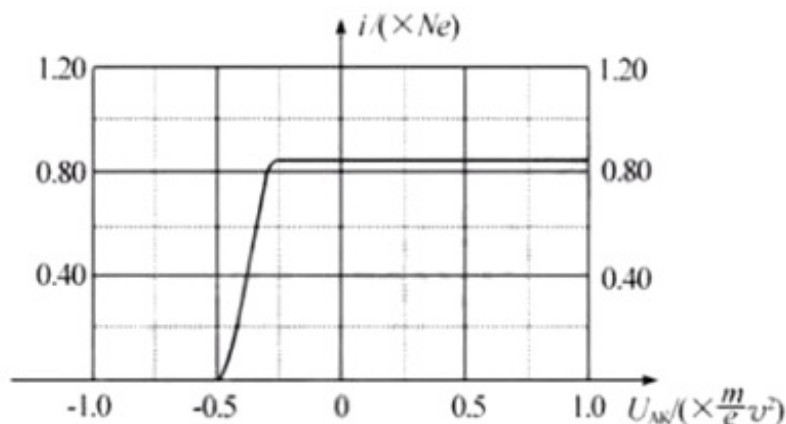
$$(3) \tan \alpha = \frac{l}{d} \text{ 得 } \alpha = 45^\circ$$

$$y' = R \sin \alpha = \frac{\sqrt{2}}{2} R$$

$$\text{每秒进入两极板间的电子数 } n: \frac{n}{N} = \frac{y'}{b} = \frac{\sqrt{6}}{3} \approx 0.82$$

$$\text{解得 } n = 0.82N \quad \dots\dots 2\text{分}$$

（4）由动能定理得出遏止电压  $U_e = -\frac{1}{2e}mv^2$ ，与负  $y$  轴成  $45^\circ$  角的电子的运动轨迹刚好与  $A$  板相切，其逆过程是类平抛运动，达到饱和电流所需的最小反向电压  $U' = -\frac{1}{4e}mv^2$ ，或根据（3）可得饱和电流大小  $i_{\max} = 0.82Ne$ 。电流  $i$  随  $U_{AK}b$  变化的关系曲线如图所示：



.....3分

## 解析

问题求解:

(1) 因为所有电子均可以从  $P$  点射出, 故取一般情况, 绘出纵坐标为  $b$  的电子的偏转轨迹, 设其运动半径为  $r$ , 根据几何知识列出方程, 可以得出  $r = R$ , 再根据洛伦兹力充当向心力列出牛顿第二定律方程, 即可求得磁场强度  $B$ 。

(2) 求从  $P$  点射出的电子流与负  $y$  轴的夹角范围, 也就是求电子在磁场中运动时偏转角最大、最小两种边界情况。易知这两种情况分别对应从  $2b$  范围的两端射入的电子, 那么绘出二者的运动轨迹再根据几何知识求解即可。(1) 中已经绘出了偏转角最大的情况, 以这种情况为例。有  $\sin \theta_m = \frac{\sqrt{r^2 - (\frac{R}{2})^2}}{r} = \frac{b}{R}$ , 所以求得  $\theta_m = 60^\circ$ , 同理可求得另一种边界情况时的夹角。或可以直接由对称知夹角范围为  $-60^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 。

(3) 因为小孔的限制, 有一部分电子无法进入小孔, 因此由  $\tan \alpha = \frac{l}{d}$  可以求出恰好能够进入两板间的电子的速度与负  $y$  轴的最大夹角。再根据几何知识可以推导出具有这个偏转角度的电子在射入磁场区域时位于何种位置, 又因为电子在  $2b$  范围内均匀入射, 故  $\frac{n}{N} = \frac{y'}{b}$ , 据此可以求出每秒到达极板  $A$  的电子数。另外需要注意, 这一问不可以通过电子速度方向与负  $y$  轴夹角之比来算得电子数, 即  $\frac{n}{N} \neq \frac{45^\circ}{60^\circ}$ , 其原因在于从  $P$  点射出的电子在角度上并不均匀分布。

(4) 当两板间无电压时, 与负  $y$  轴夹角在  $45^\circ$  范围内的电子均能到达  $A$  板。当  $U_{AK}$  增大, 电场力对电子做正功, 电子会以更大的速度到达  $A$  板, 到达它的电子数没有变化, 故图像在第一象限为直线。而当  $U_{AK}$  反向时, 存在刚刚能使全部电子到达  $A$  板的边界电压, 也存在全部电子都不能到达  $A$  板的边界电压。分别计算这两种情况, 忽略重力, 对于前者, 此时夹角为  $45^\circ$  的电子在电场力的作用下做类斜上抛运动, 最高点恰与  $A$  板相切; 对于后者, 此时垂直  $A$  板进入的电子到达  $A$  板时速度恰好为零。分别由动能定理:

$$eU = -\frac{1}{2}m\left(\frac{\sqrt{2}}{2}v\right)^2 \text{ 和 } eU = -\frac{1}{2}mv^2 \text{ 求得两个边界电压, 再依此画图即可。}$$

## 2. 答案

(1) 根据动能定理, 可得  $qU = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$

$$\text{解得 } v = \sqrt{v_1^2 + \frac{2qU}{m}}$$

可得  $v_0 \leq v \leq 2v_0$

粒子在磁场中运动  $qvB_0 = m\frac{v^2}{R}$ , 解得  $R = \frac{mv}{B_0q}$

离子打在x轴上的坐标表达式为  $x = 2R = \frac{2mv}{B_0q}$

代入可得  $2a \leq x \leq 4a$

(2) 当速度最大的离子打在探测板右端  $3a = 2R_1$ ,  $R_1 = \frac{2mv_0}{B_1q}$ , 解得  $B_1 = \frac{4}{3}B_0$

(3) 离子束能打到探测板的实际位置范围为  $2a \leq x \leq 3a$

对应的速度范围为  $\frac{4}{3}v_0 \leq v' \leq 2v_0$

每秒打在探测板上的离子数为  $N = N_0 \frac{2v_0 - \frac{4}{3}v_0}{2v_0 - v_0} = \frac{2}{3}N_0$

根据动量定理

吸收的离子受到板的作用力大小

$$F_{\text{吸}} = \frac{\Delta P_{\text{吸}}}{\Delta t} = \frac{0.8N}{2} (2mv_0 + \frac{4}{3}mv_0) = \frac{8N_0mv_0}{9}$$

反弹的离子受到板的作用力大小

$$F_{\text{反}} = \frac{\Delta P_{\text{反}}}{\Delta t} = \frac{0.2N}{2} (2m(v_0 + 0.6v_0) + \frac{4}{3}m(v_0 + 0.6v_0)) = \frac{16}{45}N_0mv_0$$

根据牛顿第三定律, 探测板受到的作用力大小  $F = \frac{56}{45}N_0mv_0$

### 3. 答案

CD

解析

A、带电粒子在电场中运动，根据动能定理： $\frac{1}{2}Uq = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$

则射出电场时粒子的速度为： $v = \sqrt{2} \times 10^3 \text{ m/s}$ ，带电粒子在磁场中做匀速圆周运动，则 $qvB = m\frac{v^2}{R}$ ，则 $R = \frac{mv}{qB} = \frac{\sqrt{2}}{10}m$ ，故选项A错误，C正确；

B、根据对称性可以知道，粒子从M点进入电场，但是由于粒子带正电，进入电场后继续向负极板偏转，不会再次回到O点，故选项B错误；

D、由于所有粒子比荷相同、电性相同、射入磁场时的速度相同，故所有粒子都从M点射出磁场，则射入磁场的入射点和射出磁场的出射点间的距离都等于两极板间的距离，即为 $0.2m$ ，故选项D正确。

#### 4. 答案（本题提供智能家庭教师服务）

D

正确率：35%，易错项：A

#### 解析

问题求解：小球竖直上抛满足机械能守恒，到最高点时速度为0，则 $mgh_1 = \frac{1}{2}mv_0^2$ ，所以 $h_1 = \frac{v_0^2}{2g}$ ；小球在磁场中运动，由于洛伦兹力不做功，小球仍满足机械能守恒，到最高点时水平速度不为零，动能为 $E_k$ ，则 $mgh_2 + E_k = \frac{1}{2}mv_0^2$ ，所以 $h_1 > h_2$ ；小球在电场中竖直方向做加速度为 $g$ 的匀加速直线运动，与竖直上抛运动状态相同，在最高点处竖直方向的分速度为零，所以 $h_3 = h_1$ ，综合比较有 $h_3 = h_1 > h_2$ ，故D项正确。

综上所述，本题正确答案为D。

#### 5. 答案

D

解：A、小球进入混合场后，受重力、电场力、洛伦兹力共同作用，初速度竖直向下，电场力水平向右，洛伦兹力水平向右，因此，合力必不沿竖直方向，故粒子做曲线运动，运动过程中洛伦兹力时刻变化，故合力将会改变，小球做变速曲线运动，故A错误；

B、下落过程中，电场力将做正功，由功能关系得，电势能减小，故B错误；

C、小球从静止开始下落到水平地面过程中，洛伦兹力不做功，由动能定理得，小球落到水平地面时的动能等于其电势能和重力势能的减少量总和，故C错误，D正确；

所以D选项是正确的。

#### 解析

小球重力不可忽略，进入混合场后，受重力、电场力、洛伦兹力共同作用，重力与电场力恒定，但洛伦兹力时刻变化，运动过程前两力做功而洛伦兹力不做功，从而即可求解。

#### 6. 答案

D

#### 解析



分析试题:液滴在重力、电场力和洛伦兹力下做匀速圆周运动,可知,液滴受到的重力和电场力是一对平衡力,重力竖直向下,所以电场力竖直向上,与电场方向相同,  $mg=qE$ , 得  $m=\frac{qE}{g}$ ; 液滴在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动的半径为  $R=\frac{mv}{qB}$ , 得  $v=\frac{BgR}{E}$ , 故D正确。

考点: 带电粒子在复合场中的运动.

## 7. 答案

AB

正确率: 20%, 易错项: C

## 解析

过程分析: 假设粒子带正电, 分析粒子在电场与磁场中的受力情况以及运动情况。若粒子带负电, 所受电场力、洛伦兹力方向与正电的情况相反。

选项分析:

A项, 磁场对粒子作用力为零, 电场力与粒子运动方向在同一直线, 方向不会发生偏移, 故A项正确。

B项, 电场力方向向上, 洛伦兹力方向向下, 当这两个力平衡时, 粒子方向可以始终不变, 故B项正确。

C项, 电场力是沿x轴负方向, 洛伦兹力沿z轴负方向, 将做曲线运动, 故C项错误。

D项, 电场力沿z轴正方向, 洛伦兹力沿y轴负方向, 两力互相垂直, 二力不会平衡, 粒子将做曲线运动, 故D项错误。

综上所述, 本题正确答案为AB。