

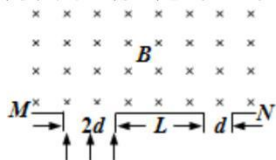
磁场：有界磁场

————袁子轩

一、动态圆

1、

利用如图所示装置可以选择一定速度范围内的带电粒子.图中板MN上方是磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场,板上有两条宽度分别为 $2d$ 和 d 的缝,两缝近端相距为 L ,一群质量为 m 、电荷量为 q ,具有不同速度的粒子从宽度为 $2d$ 的缝垂直于板MN进入磁场,对于能够从宽度为 d 的缝射出的粒子,下列说法正确的是()



- A. 粒子带正电
- B. 射出粒子的最大速度为 $\frac{qB(3d+L)}{2m}$
- C. 保持 d 和 L 不变, 增大 B , 射出粒子的最大速度与最小速度之差增大
- D. 保持 d 和 B 不变, 增大 L , 射出粒子的最大速度与最小速度之差不变

2、

例 5 (2022 · 河北邯郸检测, 多选) 如图 1-3-10 所示, 左、右边界分别为 PP' 、 QQ' 的匀强磁场的宽度为 d , 磁感应强度大小为 B , 方向垂直纸面向里. 一个质量为 m 、电荷量为

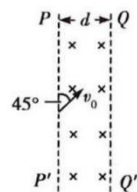


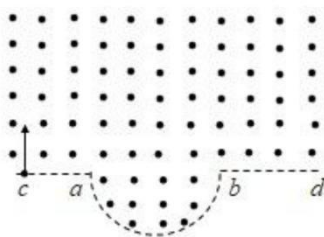
图 1-3-10

q 的粒子, 沿图示方向以速度 v_0 垂直射入磁场. 欲使粒子不能从边界 QQ' 射出, 粒子入射速度 v_0 的最大值可能是 ()

- A. $\frac{Bqd}{m}$
- B. $\frac{(2+\sqrt{2})Bqd}{m}$
- C. $\frac{(2-\sqrt{2})Bqd}{m}$
- D. $\frac{\sqrt{2}Bqd}{2m}$

3、

一匀强磁场的磁感应强度大小为 B ，方向垂直于纸面向外，其边界如图中虚线所示， \widehat{ab} 为半圆，



ac 、 bd 与直径 ab 共线， ac 间的距离等于半圆的半径。一束质量为 m 、电荷量为 q ($q > 0$) 的粒子，在纸面内从 c 点垂直于 ac 射入磁场，这些粒子具有各种速率。不计粒子之间的相互作用。在磁场中运动时间最长的粒子，其运动

时间为 () A. $\frac{7\pi m}{6qB}$

B. $\frac{5\pi m}{4qB}$

C. $\frac{4\pi m}{3qB}$

D. $\frac{3\pi m}{2qB}$

4、

如图所示， S 处有一电子源，可向纸面内任意方向发射电子，平板 MN 垂直于纸面，在纸面内的长度 $L = 9.1\text{cm}$ ，中点 O 与 S 间的距离 $d = 4.55\text{cm}$ ， MN 与 SO 直线的夹角为 θ ，板所在平面有电子源的一侧区域有方向垂直于纸面向外的匀强磁场，磁感应强度

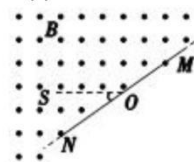
$B = 2.0 \times 10^{-4}\text{T}$ 。电子质量

$m = 9.1 \times 10^{-31}\text{kg}$ ，电荷量

$e = -1.6 \times 10^{-19}\text{C}$ ，不计电子重力。电子源

发射速度 $v = 1.6 \times 10^6\text{m/s}$ 的一个电子，该电子打在板上可能位置的区域的长度为 l ，则

()



A. $\theta = 90^\circ$ 时， $l = 4.55\text{cm}$

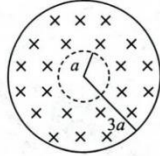
B. $\theta = 60^\circ$ 时， $l = 9.1\text{cm}$

C. $\theta = 45^\circ$ 时， $l = 4.55\text{cm}$

D. $\theta = 30^\circ$ 时， $l = 4.55\text{cm}$

5、

8. 真空中有一匀强磁场, 磁场边界为两个半径分别为 a 和 $3a$ 的同轴圆柱面, 磁场的方向与圆柱轴线平行, 其横截面如图所示. 一速率为 v 的电子从圆心沿半径方向进入磁场. 已知电子质量为 m , 电荷量为 e , 忽略重力. 为使该电子的运动被限制在图中实线圆围成的区域内, 磁场的磁感应强度最小为 ()



A. $\frac{3mv}{2ae}$

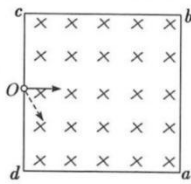
B. $\frac{mv}{ae}$

C. $\frac{3mv}{4ae}$

D. $\frac{3mv}{5ae}$

6、

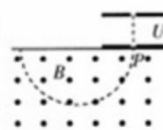
[例 2] (多选) 如图所示, 垂直于纸面向里的匀强磁场分布在正方形 $abcd$ 区域内, O 点是 cd 边的中点. 一个带正电的粒子仅在磁场力的作用下, 从 O 点沿纸面以垂直于 cd 边的速度射入正方形内, 经过时间 t_0 后刚好从 c 点射出磁场. 现设法使该带电粒子从 O 点沿纸面以与 Od 成 30° 角的方向, 以大小不同的速率射入正方形内, 下列说法中正确的是 ()



- A. 若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{3}t_0$, 则它一定从 cd 边射出磁场
- B. 若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{2}{3}t_0$, 则它一定从 ad 边射出磁场
- C. 若该带电粒子在磁场中经历的时间是 $\frac{5}{4}t_0$, 则它一定从 bc 边射出磁场
- D. 若该带电粒子在磁场中经历的时间是 t_0 , 则它一定从 ab 边射出磁场

7、

质谱仪又称质谱计，是根据带电粒子在电磁场中能够偏转的原理，按物质原子、分子或分子碎片的质量差异进行分离和检测物



质组成的一类仪器。如图所示为某品牌质谱仪的原理示意图，初速度为零的粒子在加速电场中，经电压 U 加速后，经小孔 P 沿垂直极板方向进入垂直纸面的磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中，旋转半周后打在荧光屏上形成亮点。但受加速场实际结构的影响，从小孔 P 处射出的粒子方向会有相对极板垂线左右相等的微小角度的发散（其他方向的忽略不计），光屏上会出现亮线，若粒子电量均为 q ，其中质量分别为 m_1 、 m_2 ($m_2 > m_1$) 的两种粒子在屏上形成的亮线部分重合，粒子重力忽略不计，则下列判断正确的是（ ）

A. 小孔 P 处粒子速度方向相对极板垂线最大发散角 θ 满足

$$\cos \theta = \sqrt{\frac{m_1}{m_2}}$$

B. 小孔 P 处粒子速度方向相对极板垂线最大发散角 θ 满足

$$\sin \theta = \frac{m_1}{m_2}$$

C. 两种粒子形成亮线的最大总长度为

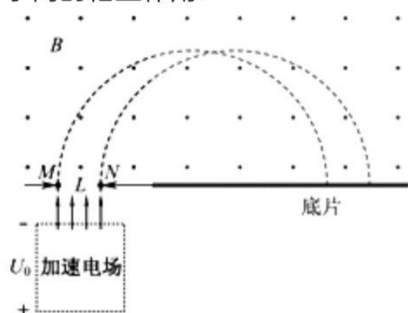
$$\frac{2(m_2 - m_1)}{B} \sqrt{\frac{2U}{qm_1}}$$

D. 两种粒子形成亮线的最大总长度为

$$\frac{2(m_2 - m_1)}{B} \sqrt{\frac{2U}{qm_2}}$$

8、

一台质谱仪的工作原理如图所示.大量的甲、乙两种离子飘入电压为 U_0 的加速电场,其初速度几乎为0,经过加速后,通过宽为 L 的狭缝 MN 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,最后打到照相底片上.已知甲、乙两种离子的电荷量均为 $+q$,质量分别为 $2m$ 和 m ,图中虚线为经过狭缝左、右边界 M 、 N 的甲种离子的运动轨迹.不考虑离子间的相互作用.

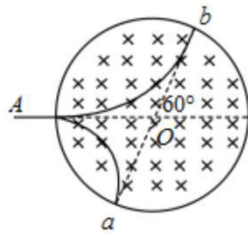


- (1) 求甲种离子打在底片上的位置到 N 点的最小距离 x ;
- (2) 在答题卡的图中用斜线标出磁场中甲种离子经过的区域,并求该区域最窄处的宽度 d ;
- (3) 若考虑加速电压有波动,在 $(U_0 - \Delta U)$ 到 $(U_0 + \Delta U)$ 之间变化,要使甲、乙两种离子在底片上没有重叠,求狭缝宽度 L 满足的条件.

二、多种粒子比较

1、

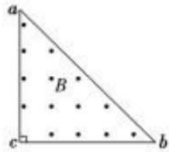
两个比荷相等的带电粒子 a 、 b ，以不同的速率 v_a 、 v_b 对准圆心 O 沿着 AO 方向射入圆形匀强磁场区域，其运动轨迹如图所示。不计粒子的重力，则下列说法正确的是（ ）



- A. a 粒子带正电， b 粒子带负电
 B. 粒子射入磁场中的速率 $v_a : v_b = 1 : 2$
 C. 粒子在磁场中的运动时间 $t_a : t_b = 2 : 1$
 D. 若将磁感应强度变为原来的 $\sqrt{3}$ 倍， b 粒子在磁场中运动的时间将变为原来的 $\frac{3}{4}$

2、

如图所示，在直角三角形 abc 区域中，有垂直纸面的匀强磁场，磁感应强度为 B 。三个电荷量为 q ($q > 0$)、质量为 m 的同种粒子，从 b 点沿 bc 方向分别以速度 v_1 、 v_2 、 v_3 射入磁场，在磁场中运动的时间分别为 t_1 、 t_2 、 t_3 ，且 $t_1 : t_2 : t_3 = 3 : 3 : 1$ 。已知 $\angle a = 45^\circ$ ， $ac = L$ ，不计粒子的重力，下列说法正确的是（ ）



- A. 粒子的比荷 $\frac{q}{m} = \frac{\pi}{Bt_1}$
 B. 三个速度的大小关系一定是 $v_1 = v_2 < v_3$
 C. 以速度 v_2 射入的粒子运动的时间

$$t_2 = \frac{2\pi m}{3qB}$$

 D. 运动时间为 t_3 的粒子，其速度 $v_3 = \frac{2qBL}{m}$

三、磁聚焦

1、

如图 1-3-42 所示,长方形 $abcd$ 的长 $ad=0.6\text{ m}$,宽 $ab=0.3\text{ m}$, O 、 e 分别是 ad 、 bc 的中点,长方形与以 e 为圆心、 eb 为半径的四分之一圆弧,和以 O 为圆心、 Od 为半径的四分之一圆弧组成的区域内有垂直纸面向里的匀强磁场(边界上无磁场),磁感应强度 $B=0.25\text{ T}$. 一束不计重力、质量为 $m=3\times 10^{-11}\text{ kg}$ 、电荷量为 $q=2\times 10^{-7}\text{ C}$ 的带正电粒子,以速度 $v=5\times 10^2\text{ m/s}$ 沿垂直 ad 方向射入磁场区域,则下列判断正确的是

()

- A. 从 O 、 d 之间(含 O 、 d 点)射入的粒子,出射点全部分布在 Oa 边
- B. 从 a 、 O 之间(含 a 、 O 点)射入的粒子,出射点全部分布在 ab 边
- C. 从 O 、 d 之间(含 O 、 d 点)射入的粒子,出射点分布在 ab 边
- D. 从 a 、 d 之间(含 a 、 d 点)射入的粒子,出射点一定是 b 点

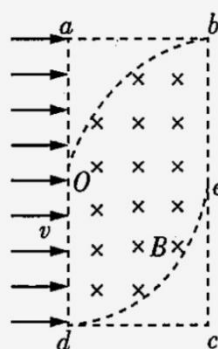
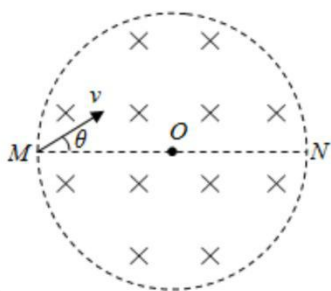


图 1-3-42

2、

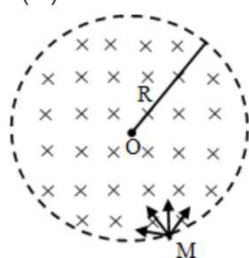
空间有一圆柱形匀强磁场区域，其横截面的半径为 R ，圆心为 O ，磁场方向垂直横截面（纸面向里）。一质量为 m 、电荷量为 q 的负电粒子从 M 点平行于横截面以速率 D 射入磁场，速度方向与直径 MN 的夹角为 $\theta = 30^\circ$ ，离开磁场时速度方向与 MN 垂直，不计粒子重力，该磁场的磁感应强度大小为（ ）

- A. $\frac{\sqrt{3}mv}{qR}$
 B. $\frac{\sqrt{3}mv}{3qR}$
 C. $\frac{mv}{qR}$



3、

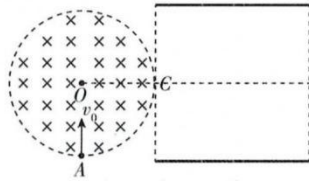
如图，半径为 R 的圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B 。 M 为磁场边界上一点，有无数个带电荷量为 q 、质量为 m 的相同粒子（不计重力）在纸面内向各个方向以相同的速率通过 M 点进入磁场，这些粒子射出边界的位置均处于边界的某一段圆弧上，这段圆弧的弧长是圆周长的 $\frac{1}{4}$ 。下列说法正确的是（ ）



- A. 粒子从 M 点进入磁场时的速率为 $v = \frac{BqR}{m}$
 B. 粒子从 M 点进入磁场时的速率为 $v = \frac{\sqrt{2}BqR}{2m}$
 C. 若将磁感应强度的大小增加到 $\sqrt{2}B$ ，则粒子射出边界的圆弧长度变为原来 $\frac{\sqrt{2}}{2}$
 D. 若将磁感应强度的大小增加到 $\sqrt{2}B$ ，则粒子射出边界的圆弧长度变为原来 $\frac{2}{3}$

4、

1. [安徽宿州 2021 高二上期末] (多选) 如图所示, 半径为 R 的圆形区域内存在垂直纸面向里的匀强磁场, A 为圆的最低点, OC 水平; 紧靠磁场右侧有带等量异种电荷的平行金属板, 板长为 L , 极板间距也为 L ($L > 2R$), 两金属板的中轴线与 OC 共线. 一带电粒子 (不计重力) 质量为 m 、电荷量为 q , 以速度 v_0 从 A 点沿 AO 方向射入磁场, 从 C 点射出磁场, 恰好从下极板右边缘射出电场. 下列说法正确的是 ()

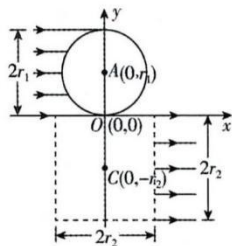


- A. 粒子带负电, 且磁感应强度 $B = \frac{mv_0}{qR}$
- B. 下极板带正电, 且电场对粒子做功为 $\frac{1}{2}mv_0^2$
- C. 该粒子若以速度 v_0 自 A 点沿 AO 连线偏左方向射入磁场, 仍能从平行金属板右侧射出电场
- D. 该粒子若以速度 v_0 自 A 点沿 AO 连线偏右方向射入磁场, 仍能从平行金属板右侧射出电场

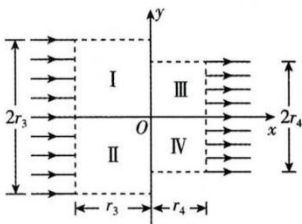
5、

例1 [湖南 2021 · 13, 13 分] 带电粒子流的磁聚

焦和磁控束是薄膜材料制备的关键技术之一. 带电粒子流(每个粒子的质量为 m 、电荷量为 $+q$)以初速度 v 垂直进入磁场, 不计重力及带电粒子之间的相互作用. 对处在 xOy 平面内的粒子, 求解以下问题.



图(a)



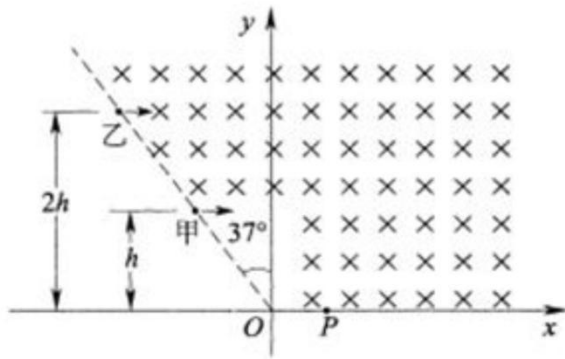
图(b)

- (1) 如图(a), 宽度为 $2r_1$ 的带电粒子流沿 x 轴正方向射入圆心为 $A(0, r_1)$ 、半径为 r_1 的圆形匀强磁场中, 若带电粒子流经过磁场后都汇聚到坐标原点 O , 求该磁场磁感应强度 B_1 的大小;
- (2) 如图(a), 虚线框为边长等于 $2r_2$ 的正方形, 其几何中心位于 $C(0, -r_2)$. 在虚线框内设计一个区域面积最小的匀强磁场, 使汇聚到 O 点的带电粒子流经过该区域后宽度变为 $2r_2$, 并沿 x 轴正方向射出. 求该磁场磁感应强度 B_2 的大小和方向, 以及该磁场区域的面积(无需写出面积最小的证明过程);
- (3) 如图(b), 虚线框 I 和 II 均为边长等于 r_3 的正方形, 虚线框 III 和 IV 均为边长等于 r_4 的正方形. 在 I、II、III 和 IV 中分别设计一个区域面积最小的匀强磁场, 使宽度为 $2r_3$ 的带电粒子流沿 x 轴正方向射入 I 和 II 后汇聚到坐标原点 O , 再经过 III 和 IV 后宽度变为 $2r_4$, 并沿 x 轴正方向射出, 从而实现带电粒子流的同轴控束. 求 I 和 III 中磁场磁感应强度的大小, 以及 II 和 IV 中匀强磁场区域的面积(无需写出面积最小的证明过程).

四、复杂计算

1、

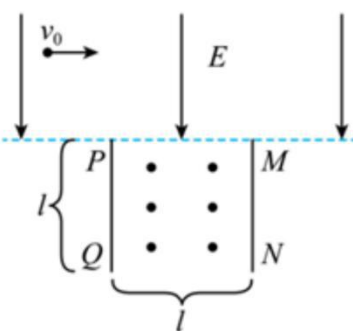
如图， x 轴正半轴与虚线所围区域内存在着磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，方向垂直纸面向里。甲、乙两粒子分别从距 x 轴 h 与 $2h$ 的高度以速率 v_0 平行于 x 轴正向进入磁场，并都从 P 点离开磁场， $OP=\frac{1}{2}h$ 。则甲、乙两粒子比荷的比值为（不计重力， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ ）（ ）



- | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A. 32: 41 | B. 56: 41 | C. 64: 41 | D. 41: 28 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|

2、

如图，长度均为 l 的两块挡板竖直相对放置，间距也为 l ，两挡板上边缘 P 和 M 处于同一水平线上，在该水平



线的上方区域有方向竖直向下的匀强电场，电场强度大小为 E ；两挡板间有垂直纸面向外、磁感应强度大小可调节的匀强磁场。一质量为 m ，电荷量为 q ($q > 0$) 的粒子自电场中某处以大小为 v_0 的速度水平向右发射，恰好从 P 点处射入磁场，从两挡板下边缘 Q 和 N 之间射出磁场，运动过程中粒子未与挡板碰撞。已知粒子射入磁场时的速度方向与 PQ 的夹角为 60° ，不计重力。

- (1) 求粒子发射位置到 P 点的距离；
- (2) 求磁感应强度大小的取值范围。

