



第09讲 磁场

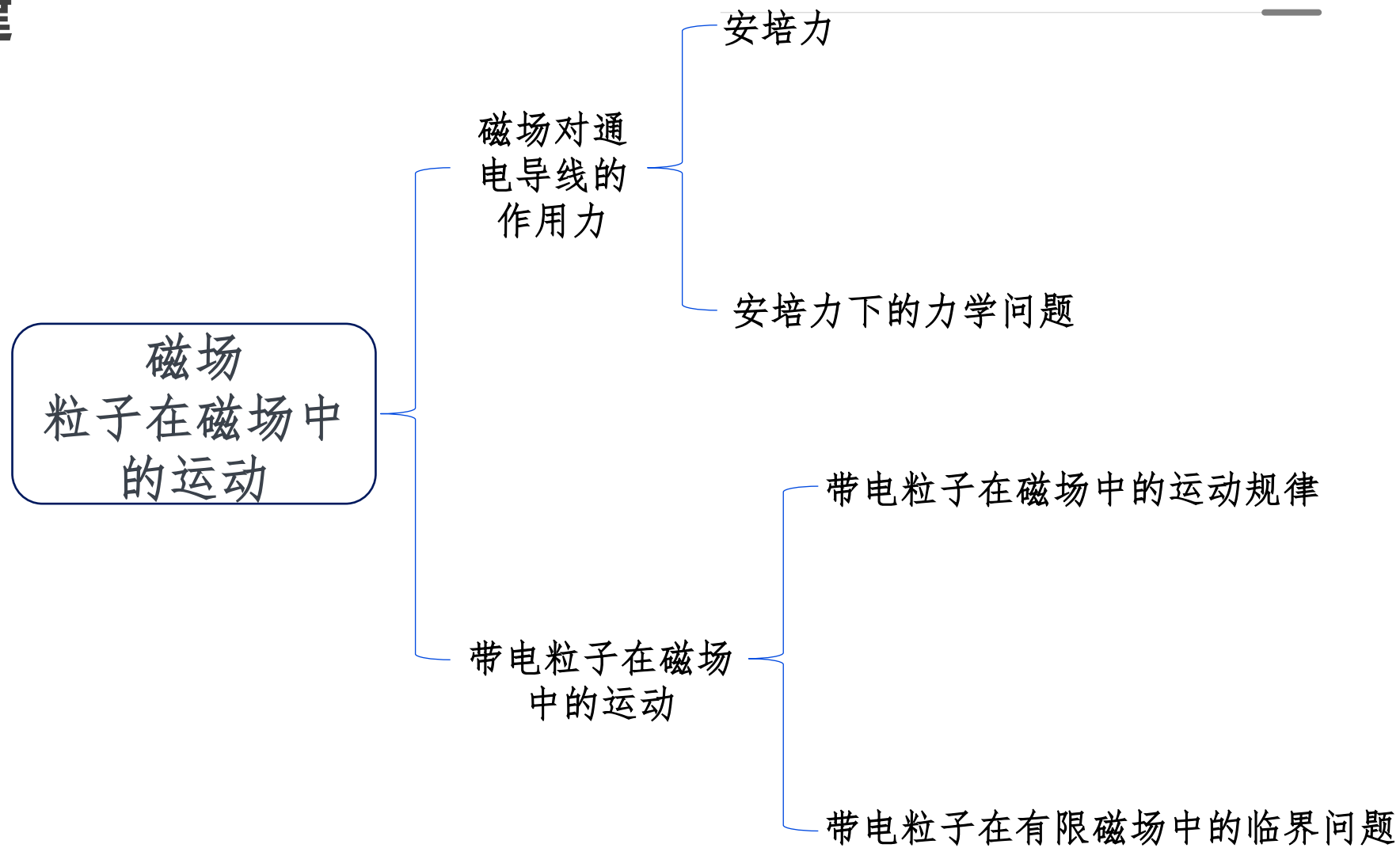
带电粒子在磁场中的运动



课标内容要求

1. 能判断安培力的方向，会计算安培力的大小。
2. 能用洛伦兹力分析带电粒子在匀强磁场中的圆周运动。

网络构建





磁场对通电导线的作用力问题

核心提炼

安培力

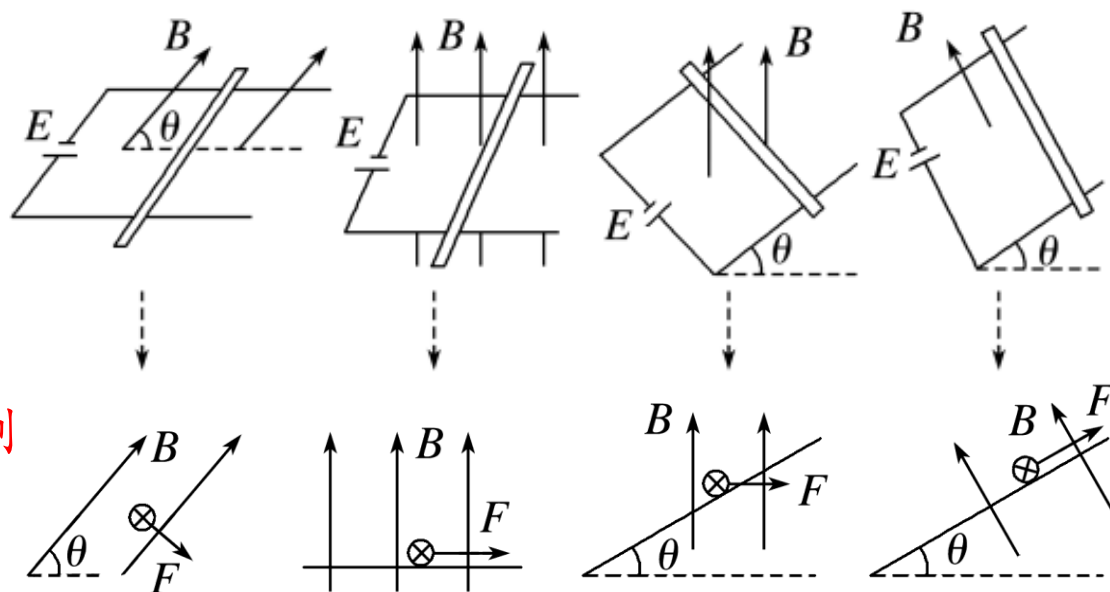
通有电流的导线在磁场中受到安培力的作用

1) 安培力的计算公式

$$F_{\text{安}} = IBL$$

2) 平面化分析安培力

变立体图为平面图（侧视图、剖面图或俯视图等），导体棒或导线用圆圈 \bigcirc 表示，电流方向用“ \times ”或“ \bullet ”表示，由**左手定则**（磁场穿过左手掌，四指指向电流的方向，拇指则指向安培力的方向）判断安培力的方向，并画出平面受力分析图。安培力 $F_{\text{安}}$ 垂直磁场 B 和电流 I



核心提炼

安培力作用下导体的力学问题

1) 求解安培力作用下导体力学问题的基本思路

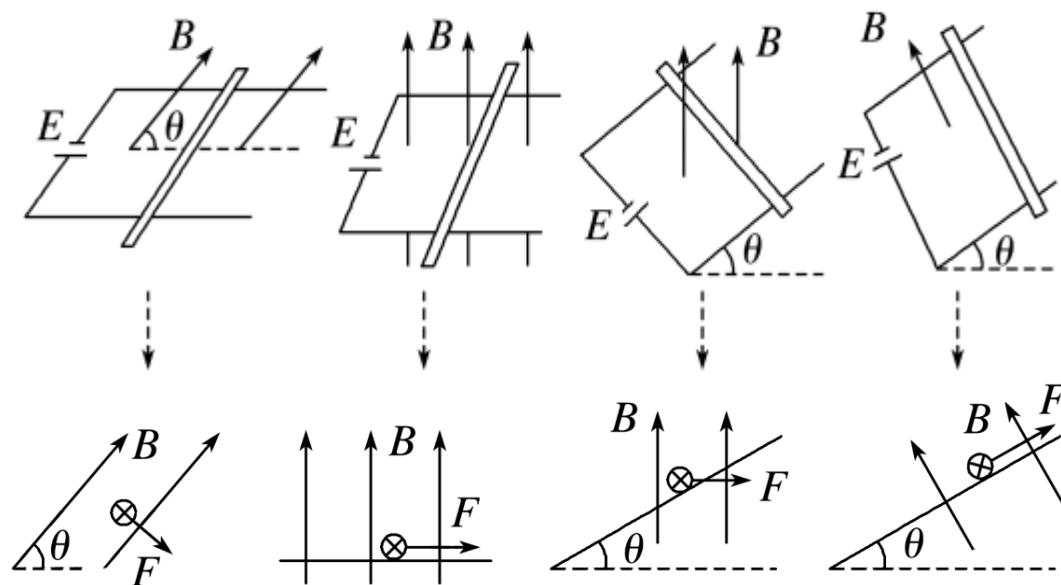
①**选对象**：通电导线或通电导体棒

②**平面化分析力**：判断安培力 $F_{\text{安}}$ 的方向，并画出平面受力分析图，安培力的方向 $F_{\text{安}} \perp B$ 、 $F_{\text{安}} \perp I$ 。

③**列方程**：在其它力基础上多一个安培力，根据平衡条件列方程或牛顿第二定律方程

2) 求解关键

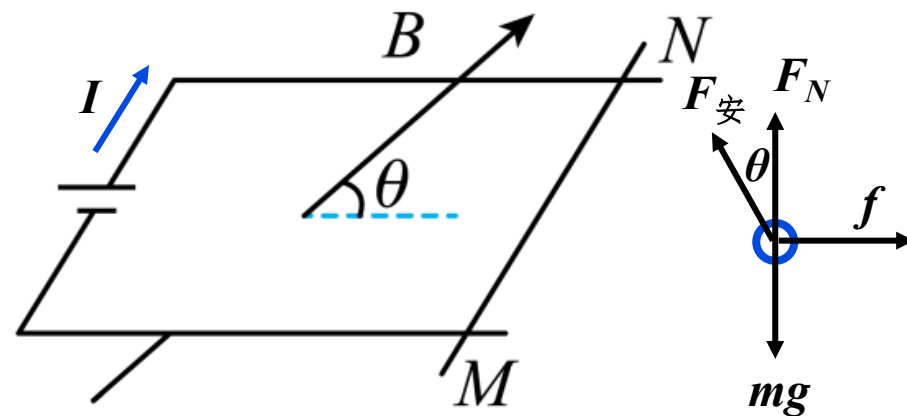
①电磁问题力学化 ②立体图形平面化



题型特训

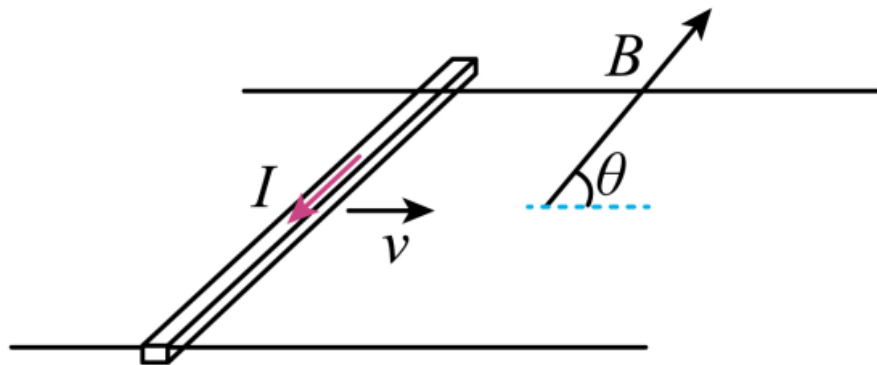
(2024·陕西西安·校联考模拟预测) (多选) 如图所示，水平绝缘桌面上有两平行导轨与一电源及导体棒 MN 构成的闭合回路，已知两导轨间距为 L ，质量为 m 的导体棒 MN 与两导轨垂直，通过导体棒的电流为 I ，匀强磁场的磁感应强度大小为 B ，方向与水平面成 θ 角斜向上，导体棒 MN 静止，重力加速度大小为 g ，则导体棒 MN 受到的 (**AD**)

- A. 摩擦力大小为 $ILB\sin\theta$
- B. 摩擦力大小为 $ILB\cos\theta$
- C. 支持力大小为 $mg+ILB\sin\theta$
- D. 支持力大小为 $mg-ILB\cos\theta$



题型特训

(2022·湖北·高考真题) (多选) 如图所示, 两平行导轨在同一水平面内。一导体棒垂直放在导轨上, 棒与导轨间的动摩擦因数恒定。整个装置置于匀强磁场中, 磁感应强度大小恒定, 方向与金属棒垂直、与水平向右方向的夹角 θ 可调。导体棒沿导轨向右运动, 现给导体棒通以图示方向的恒定电流, 适当调整磁场方向, 可以使导体棒沿导轨做匀加速运动或匀减速运动。已知导体棒加速时, 加速度的最大值为 $\frac{\sqrt{3}}{3}g$; 减速时, 加速度的最大值为 $\sqrt{3}g$, 其中 g 为重力加速度大小。下列说法正确的是 (**BC**)



- A. 棒与导轨间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{6}$
- B. 棒与导轨间的动摩擦因数为 $\frac{\sqrt{3}}{3}$

加速时, 加速度最大, 合力向右最大

$$F \sin \theta_1 - \mu(mg - F \cos \theta_1) = ma_1$$

- C. 加速阶段加速度大小最大时, 磁场方向斜向下, $\theta=60^\circ$
- D. 减速阶段加速度大小最大时, 磁场方向斜向上, $\theta=150^\circ$

减速时, 加速度最大, 合力向左最大

$$F \sin \theta_2 + \mu(mg + F \cos \theta_2) = ma_2$$



带电粒子在磁场中的运动

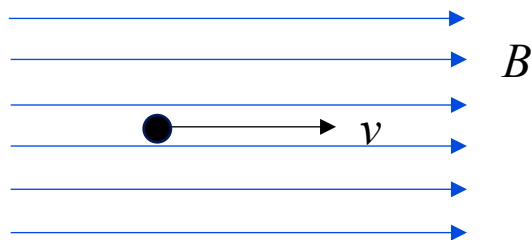
核心提炼

带电粒子在磁场中的运动规律

带电粒子在磁场中受到洛伦兹力（方向判定遵循左手定则）

$$F=qvB$$

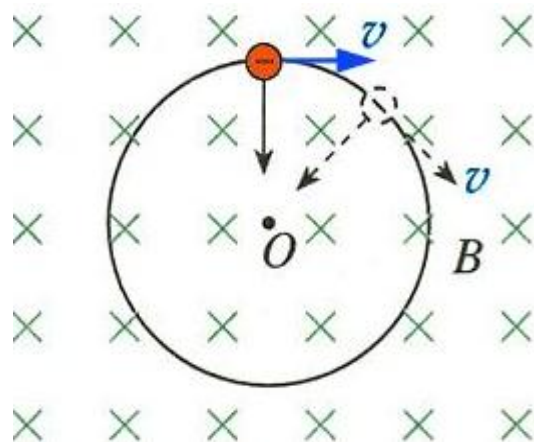
1) 若带电粒子的速度方向与磁场方向**平行**（相同或相反），带电粒子以入射速度 v 做**匀速直线运动**



核心提炼

带电粒子在磁场中的运动规律

2) 若带电粒子的速度方向与磁场方向**垂直**, 带电粒子在垂直于磁感线的平面内, 以入射速率 v 做**匀速圆周运动**



①洛伦兹力提供向心力

②轨迹半径: $qvB = m \frac{v^2}{r} \implies r = \frac{mv}{qB}$

③周期: $T = \frac{2\pi r}{v}$ 、 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 可知 T 与运动速度和轨迹半径无关, 只和粒子的比荷和磁场的磁感应强度有关.

④运动时间: 当带电粒子转过的圆心角为 θ (弧度)时, 所用时间 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$.

⑤动能: $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{p^2}{2m} = \frac{Bqr^2}{2m}$

核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中的临界问题

带电粒子在有边界的磁场中运动时，由于边界的限制往往会出现临界问题。解决带电粒子在磁场中运动临界问题的关键，通常以题目中的“恰好”“最大”“至少”等为突破口，寻找临界点，确定临界状态，根据磁场边界和题设条件画好轨迹，建立几何关系求解。

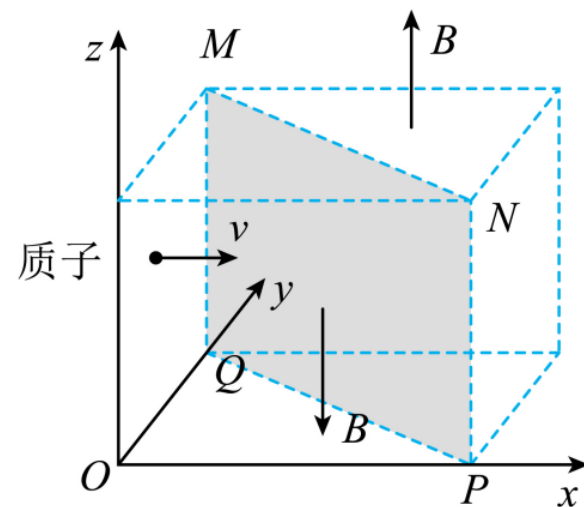
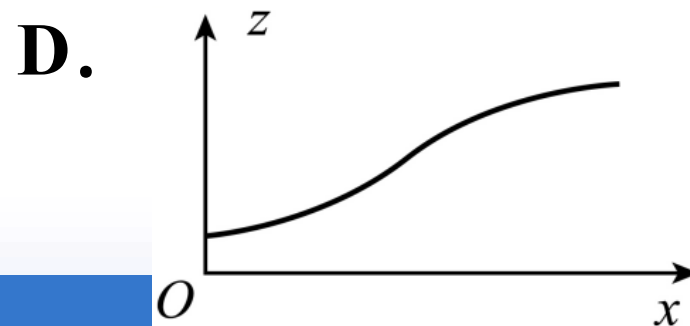
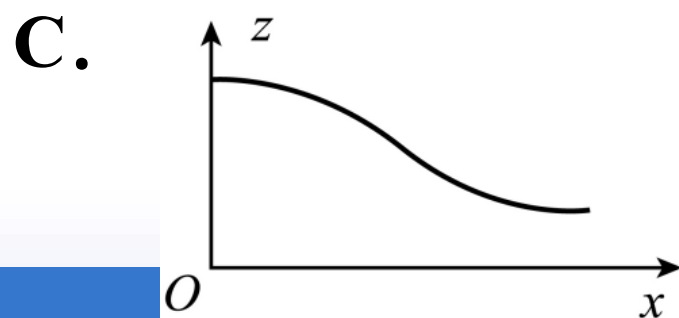
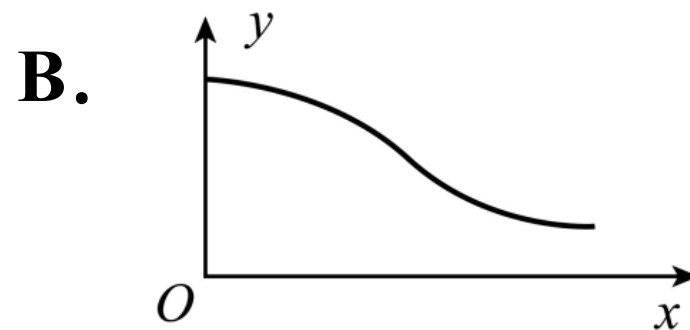
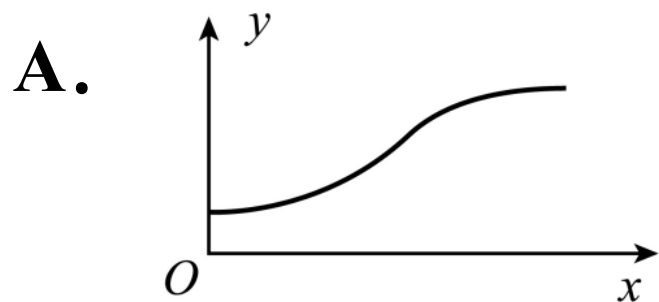
1) 临界条件

带电粒子刚好穿出(不穿出)磁场边界的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切，故边界(边界的切线)与轨迹过切点的半径(直径)垂直。

2) 解题步骤：分析情景→作基础图→作动态图→确定临界轨迹→分析临界状态→构建三角形→解三角形

题型特训

(2022·广东高考真题)如图所示，一个立方体空间被对角平面MNPQ划分成两个区域，两区域分布有磁感应强度大小相等、方向相反且与 z 轴平行的匀强磁场。一质子以某一速度从立方体左侧垂直 Oyz 平面进入磁场，并穿过两个磁场区域。下列关于质子运动轨迹在不同坐标平面的投影中，可能正确的是（ **A** ）

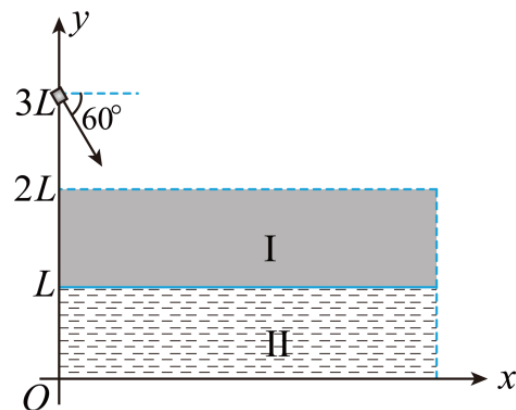


题型特训

解析：AB. 由题意知当质子射出后先在MN左侧运动，刚射出时根据左手定则可知在MN受到 y 轴正方向的洛伦兹力，即在MN左侧会向 y 轴正方向偏移，做匀速圆周运动， y 轴坐标增大；在MN右侧根据左手定则可知洛伦兹力反向，质子在 y 轴正方向上做减速运动，故A正确，B错误；
CD. 根据左手定则可知质子在整個运动过程中都只受到平行于 xOy 平面的洛伦兹力作用，在 z 轴方向上没有运动， z 轴坐标不变，故CD错误。
故选A。

题型特训

(2023·浙江·高考真题) 利用磁场实现离子偏转是科学仪器中广泛应用的技术。如图所示， Oxy 平面（纸面）的第一象限内有足够长且宽度均为 L 、边界均平行 x 轴的区域 I 和 II ，其中区域存在磁感应强度大小为 B_1 的匀强磁场，区域 II 存在磁感应强度大小为 B_2 的磁场，方向均垂直纸面向里，区域 II 的下边界与 x 轴重合。位于 $(0, 3L)$ 处的离子源能释放出质量为 m 、电荷量为 q 、速度方向与 x 轴夹角为 60° 的正离子束，沿纸面射向磁场区域。不计离子的重力及离子间的相互作用，并忽略磁场的边界效应。

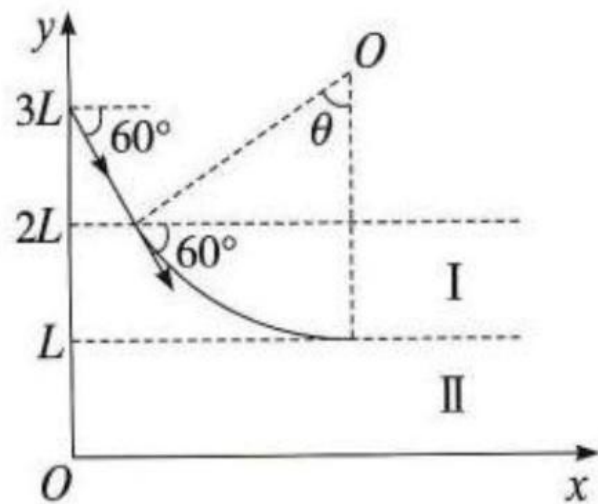


- (1) 求离子不进入区域 II 的最大速度 v_1 及其在磁场中的运动时间 t ;
- (2) 若 $B_2 = 2B_1$ ，求能到达 $y = \frac{L}{2}$ 处的离子的最小速度 v_2 ;
- (3) 若 $B_2 = \frac{B_1}{L}y$ ，且离子源射出的离子数按速度大小均匀地分布在 $\frac{B_1 q L}{m} \sim \frac{6B_1 q L}{m}$ 范围，求进入第四象限的离子数与总离子数之比 η 。

题型特训

解析 (1) 离子刚好不进入区域II的轨迹如图所示, 根据几何关系得, 离子运动半径 $r=2L$, 偏转角 $2\theta=120^\circ$, 根据

$$\begin{cases} qv_1B_1 = m\frac{v_1^2}{r} \\ T = \frac{2\pi r}{v_1} \\ t = \frac{2\theta}{360^\circ}T \end{cases} \Rightarrow v_1 = \frac{2B_1qL}{m}, t = \frac{2\pi m}{3qB_1}$$



【答案】(1) $v_1 = \frac{2B_1qL}{m}$; $t = \frac{2\pi m}{3qB_1}$

题型特训

解析 (2) 若 $B_2=2B_1$, 根据 $r=mv/qB$, 得 $r_1=r_2$, 离子运动轨迹如图所示, 设离子达到 $y=1/2L$ 时, 在区域II中由

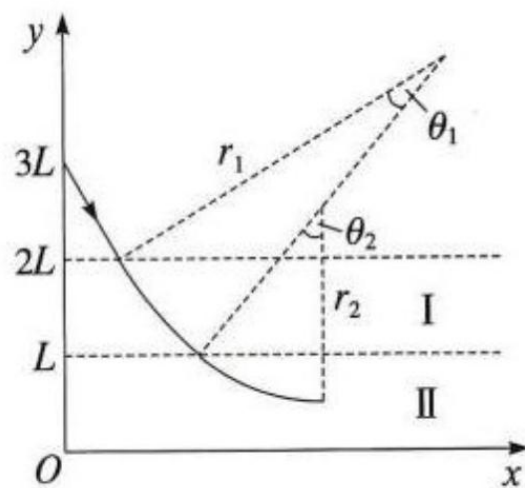
几何关系得 $r_2(1-\cos\theta_2)=\frac{1}{2}L$

在区域I中由几何关系得 $r_2(\cos\theta_2-\cos 60^\circ)=L$, 得

$$\cos\theta_2=\frac{3}{4}, r_1=4L, r_2=2L$$

根据 $r_1=\frac{mv_2}{qB_1}$, 得

$$v_2=\frac{4qB_1L}{m}$$



【答案】(2) $v_2=\frac{4B_1qL}{m}$