



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 粒子在磁场中 的运动

磁场对通
电导线的
作用力

安培力

安培力下的力学问题

带电粒子在磁场
中的运动

带电粒子在磁场中的运动规律

带电粒子在有限磁场中的临界问题



磁场对通电导线的作用力问题

核心提炼

安培力

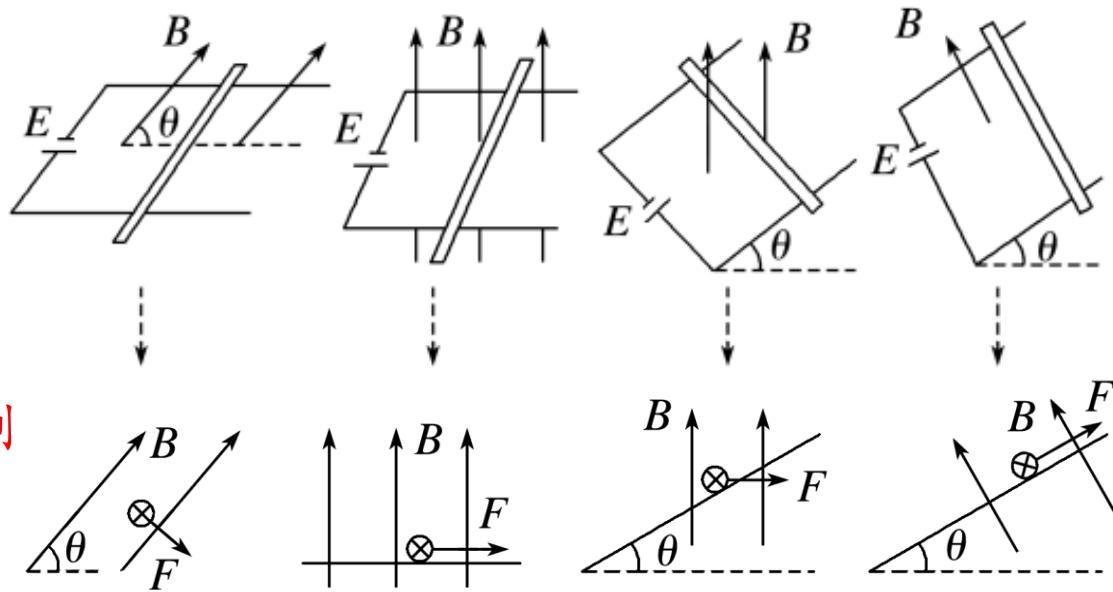
通有电流的导线在磁场中受到安培力的作用

- 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○表示，电流方向用“×”或“●”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

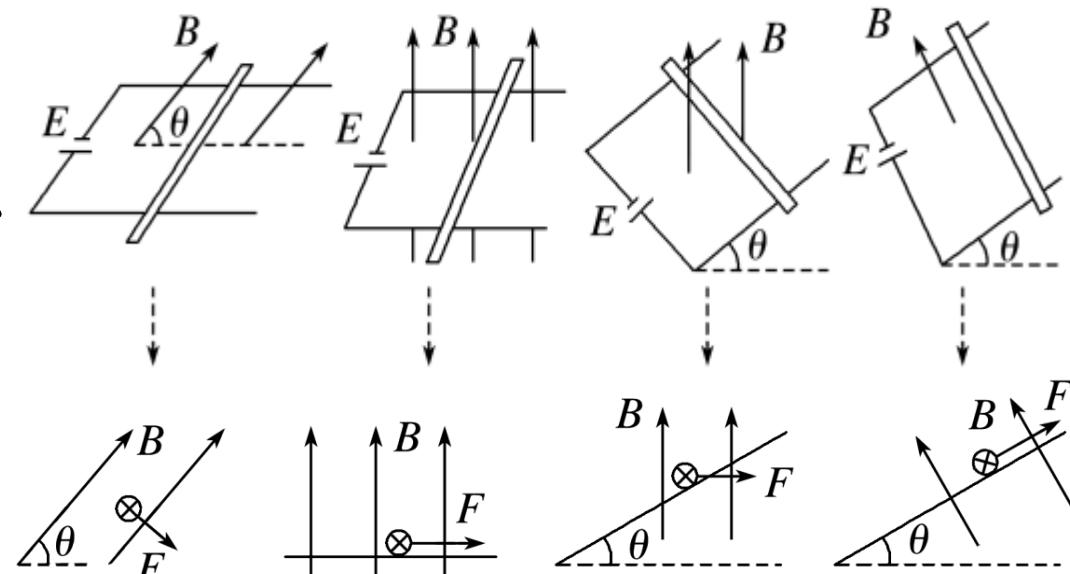
①选对象：通电导线或通电导体棒

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

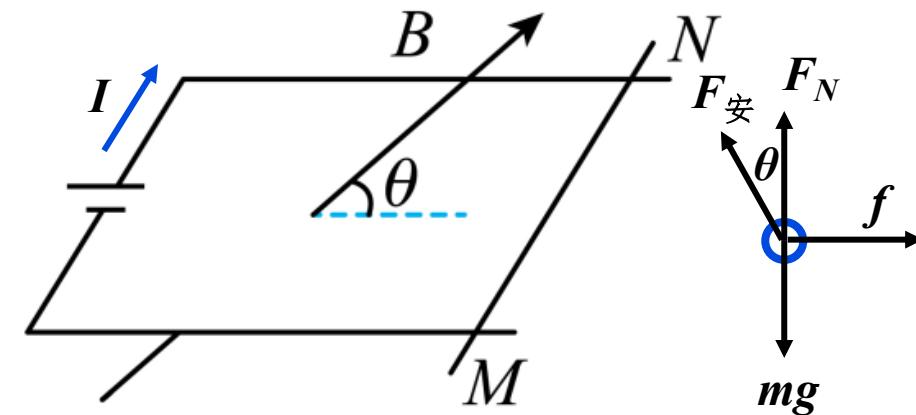
①电磁问题力学化 ②立体图形平面化



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

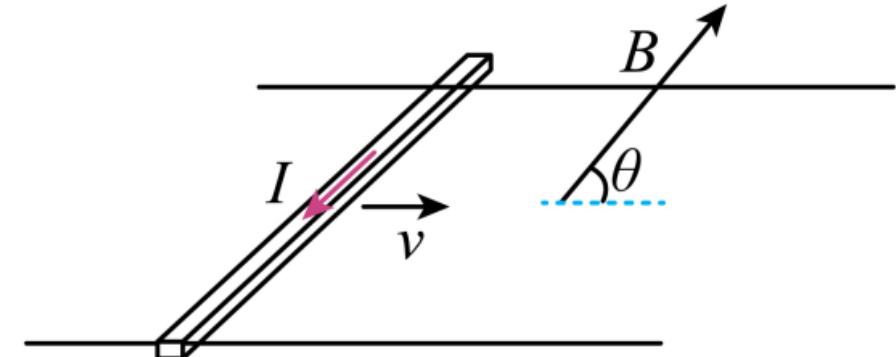
(2022·湖北·高考真题)(多选)如图所示,两平行导轨在同一水平面内。一导体棒垂直放在导轨上,棒与导轨间的动摩擦因数恒定。整个装置置于匀强磁场中,磁感应强度大小恒定,方向与金属棒垂直、与水平向右方向的夹角 θ 可调。导体棒沿导轨向右运动,现给导体棒通以图示方向的恒定电流,适当调整磁场方向,可以使导体棒沿导轨做匀加速运动或匀减速运动。已知导体棒加速时,加速度的最大值为 $\frac{\sqrt{3}}{3}g$;减速时,加速度的最大值为 $\sqrt{3}g$,其中 g 为重力加速度大小。下列说法正确的是(BC)

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 $\frac{\sqrt{3}}{3}$

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, $\theta=150^\circ$



加速时,加速度最大,合力向右最大

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

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

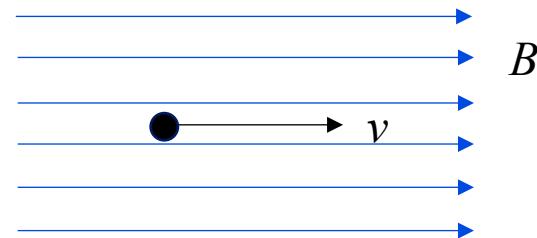
核心提炼

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）

$$F=qvB$$

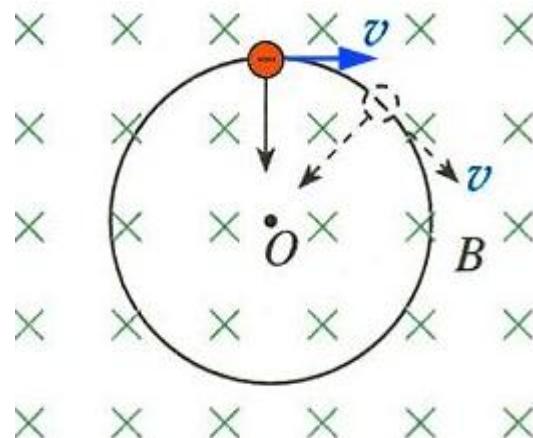
- 1) 若带电粒子的速度方向与磁场方向平行（相同或相反），带电粒子以入射速度 v 做匀速直线运动



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

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

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 $t = \frac{\theta}{2\pi} T$.

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

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。

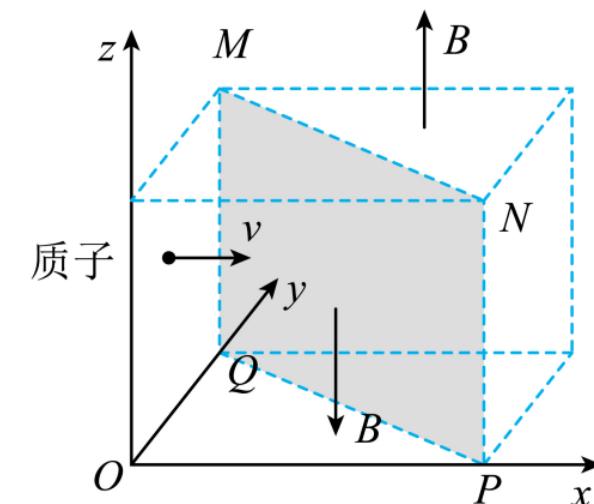
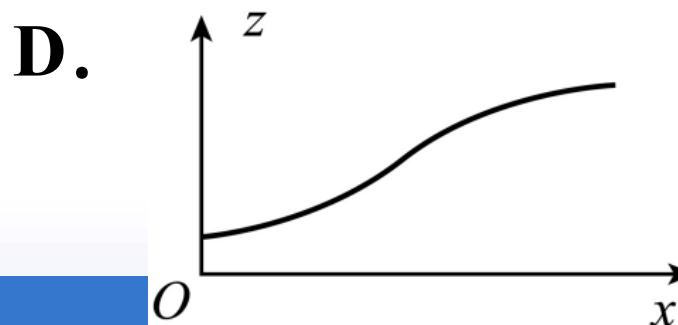
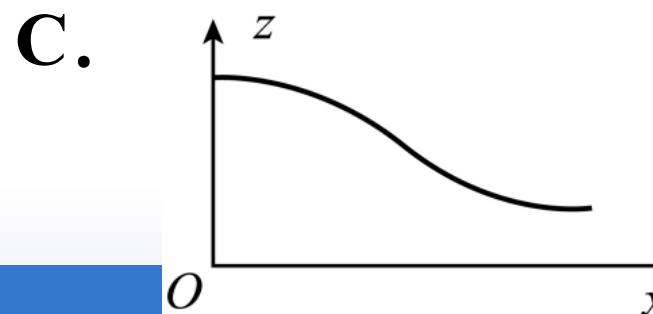
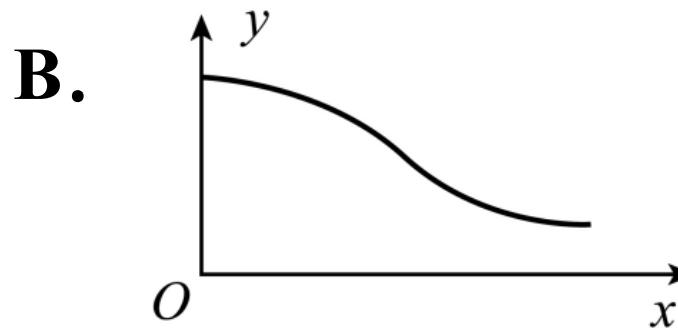
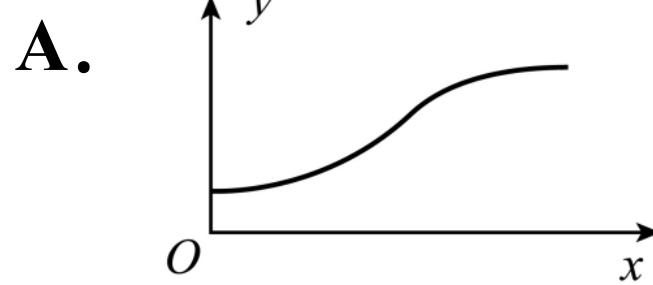
1) 临界条件

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)



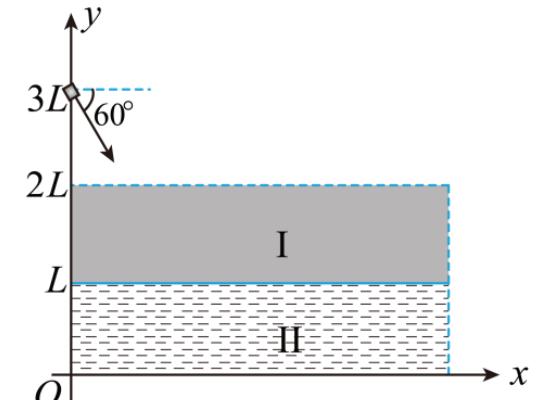
题型特训

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个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I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。

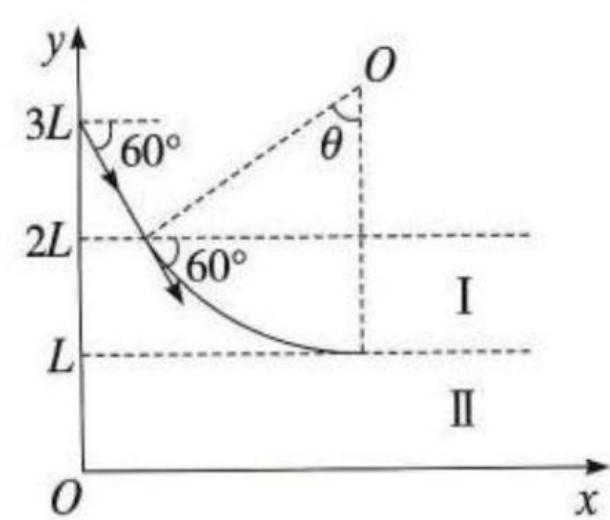
- (1) 求离子不进入区域II的最大速度 v_1 及其在磁场中的运动时间 t ;
- (2) 若 $B_2=2B_1$, 求能到达 $y=\frac{L}{2}$ 处的离子的最小速度 v_2 ;
- (3) 若 $B_2=\frac{B_1}{L}y$, 且离子源射出的离子数按速度大小均匀地分布在 $\frac{B_1 q L}{m} \sim \frac{6 B_1 q L}{m}$ 范围, 求进入第四象限的离子数与总离子数之比 η 。



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

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



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

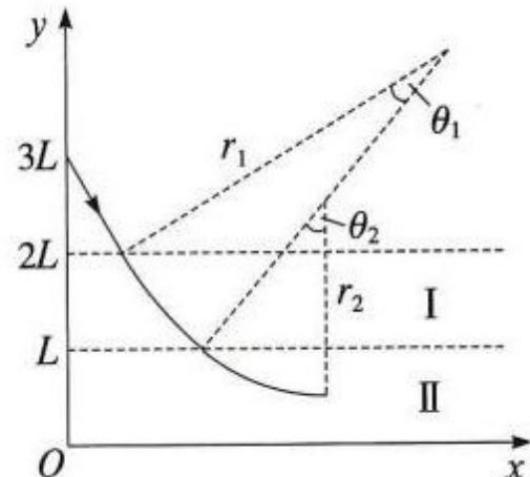
题型特训

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

$$v_2 = \frac{4qB_1 L}{m}$$



【答案】(2) $v_2 = \frac{4B_1 q L}{m}$