



第09讲 磁场

带电粒子在磁场中的运动

<https://shuailiu1990.github.io/>



课标内容要求

1. 认识安培力。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。了解带电粒子在匀强磁场中的偏转及其应用。

目录

C O N T E N T S

01 考情分析

02 知识构建

03 考点突破

考点一 磁场对通电导线的作用力问题

考点二 带电粒子在磁场中的运动



01

考情分析

PART ONE

考情分析

考情分析

命题规律及方法指导

- 1.命题重点：**本专题就是高考的**热点**，一是**安培力结合力学的考察**、二是**带电粒子在磁场中运动的考察**。
- 2.常用方法：**动态放缩圆、定点旋转圆、圆平移、圆对称等几何知识、立体空间图形降维法。
- 3.常考题型：**选择题，计算题。

命题预测

- 1.本专题属于**热点、难点**内容；
- 2.高考命题考察方向
 - ①磁场对通电导线的作用力问题：安培力作用下的力电综合问题。
 - ②带电粒子在磁场中的运动：在有界磁场中的运动及临界判断、电性或磁场方向不确定带来的多解问题。



02

网络构建

PART TWO





考点一 磁场对通电导线的作用力问题

核心提炼

安培力作用下导体的平衡问题

1) 求解安培力作用下导体平衡问题的基本思路

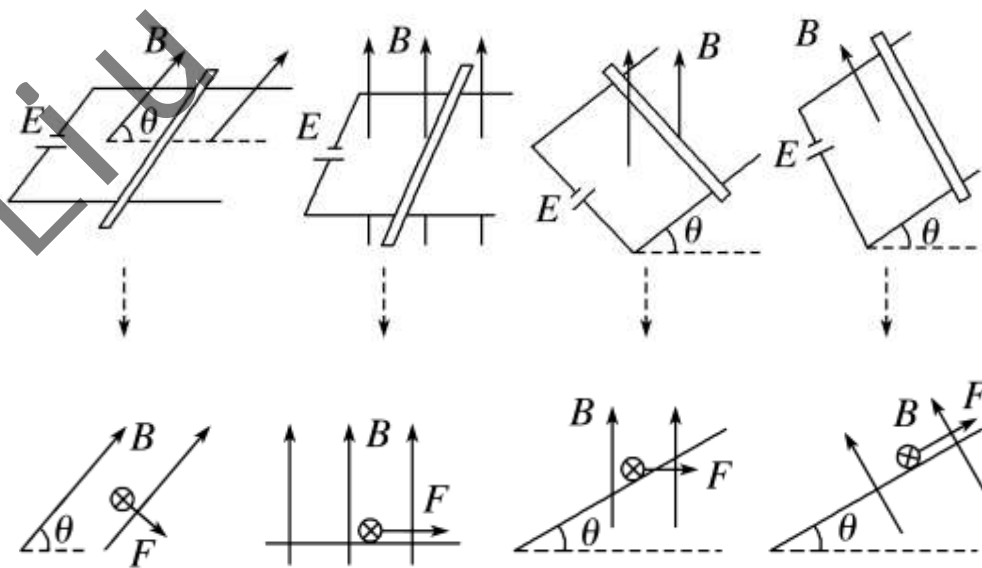
①**选对象**：通电导线或通电导体棒

②**平面化分析力**：变立体图为平面图，如侧视图、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 $F_{\text{安}} = IBL$ 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**：在其他力基础上多一个安培力，根据平衡条件列方程

2) 求解关键

①电磁问题力学化 ②立体图形平面化。



核心提炼

安培力作用下导体运动情况判定的五种方法

1) 电流元法:

分割为电流元 $\xrightarrow{\text{左手定则}}$ 安培力方向 \rightarrow 整段导体所受合力方向 \rightarrow 运动方向

2) 特殊位置法: 在特殊位置 \rightarrow 安培力方向 \rightarrow 运动方向

3) 等效法

① 环形电流 \rightleftharpoons 小磁针

② 条形磁铁 \rightleftharpoons 通电螺线管 \rightleftharpoons 多个环形电流

4) 结论法: 同向电流互相吸引, 异向电流互相排斥; 两不平行的直线电流相互作用时, 有转到平行且电流方向相同的趋势

5) 转换研究对象法: 先分析电流所受的安培力, 然后由牛顿第三定律, 确定磁体所受电流磁场的作用力

真(模拟)题研析

【考向】磁场对通电导线的作用力问题

1. (2022·江苏·高考真题) 两根固定的通电长直导线 a 、 b 相互垂直， a 平行于纸面，电流方向向右， b 垂直于纸面，电流方向向里，则导线 a 所受安培力方向 (C)

A. 平行于纸面向上

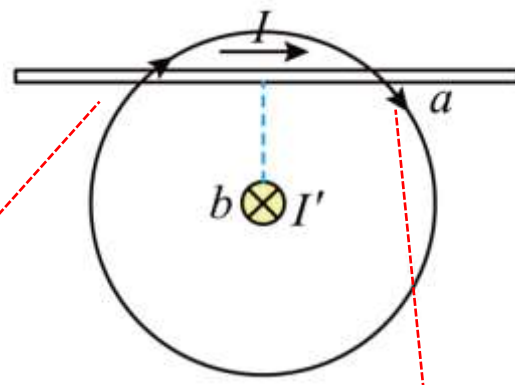
B. 平行于纸面向下

C. 左半部分垂直纸面向外，右半部分垂直纸面向里

D. 左半部分垂直纸面向里，右半部分垂直纸面向外

左半部分安培力
垂直纸面向外

右半部分安培力
垂直纸面向里

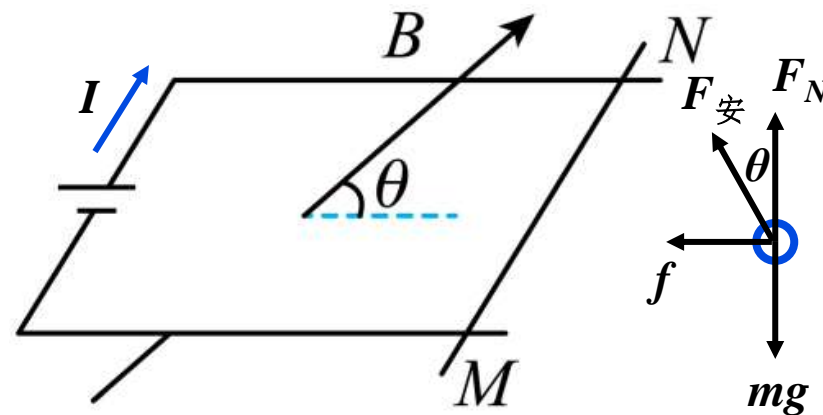


真(模拟)题研析

【考向】磁场对通电导线的作用力问题

2. (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)

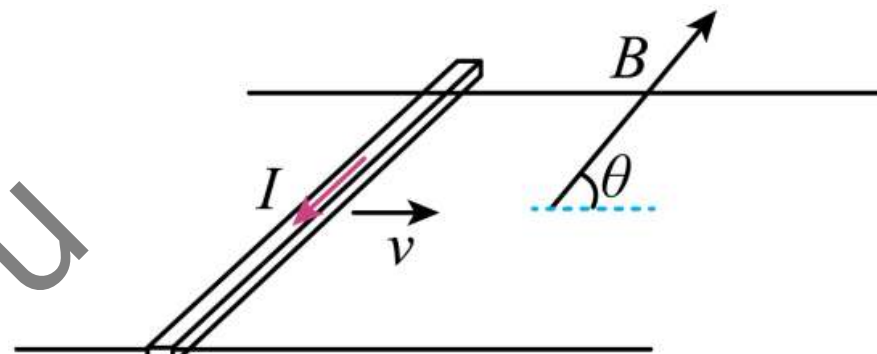
- A. 摩擦力大小为 $ILB\sin\theta$
- B. 摩擦力大小为 $ILB\cos\theta$
- C. 支持力大小为 $mg+ILB\sin\theta$
- D. 支持力大小为 $mg-ILB\cos\theta$



真(模拟)题研析

【考向】磁场对通电导线的作用力问题

3. (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。



加速时, 加速度最大, 合力向右最大

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

恒定, 方向与金属棒垂直。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)

减速时, 加速度最大, 合力向左最大

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

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。

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, $\theta=150^\circ$



考点二 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

在带电粒子只受洛伦兹力 $F=qvB$ 作用的条件下（电子、质子、 α 粒子等微观粒子的重力通常忽略不计）

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

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

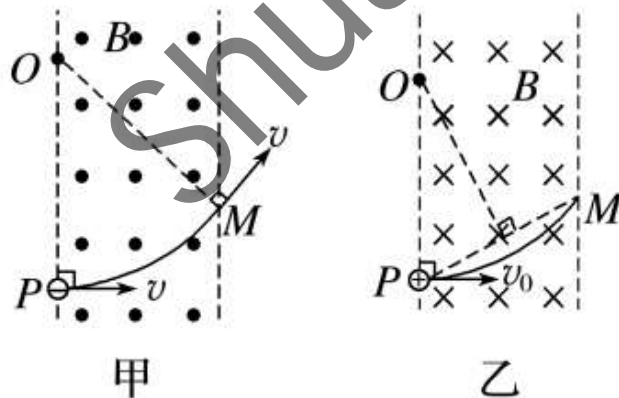
核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中的运动

1) 圆心的确定方法

① 若已知粒子轨迹上的两点的速度方向，分别确定两点处洛伦兹力 F 的方向，其交点即为圆心，如图甲。

② 若已知粒子运动轨迹上的两点和其中某一点的速度方向，**弦的中垂线与速度垂线的交点即为圆心**，如图乙。



核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中的运动

2) 半径的确定和计算

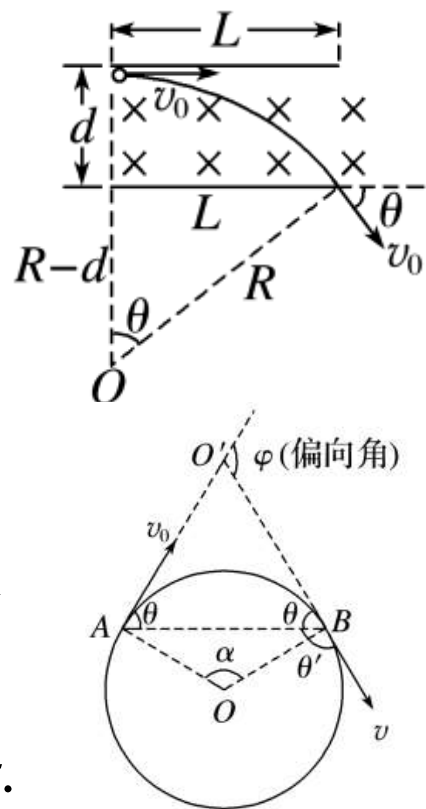
①连接圆心和轨迹圆与边界的交点，确定半径，然后用几何知识求半径，常用解三角形法，如图

$$R = \frac{L}{\sin \theta} \text{ 或由 } R^2 = L^2 + (R-d)^2 \text{ 求得 } R = \frac{L^2 + d^2}{2d}$$

②在分析几何关系时，特别要掌握以下两点

I、粒子速度的偏向角 φ 等于圆心角 α ，且等于AB弦与切线的夹角(弦切角 θ)的2倍(如图所示)，即 $\varphi = \alpha = 2\theta = \omega t$

II、相对的弦切角 θ 相等，与相邻的弦切角 θ' 互补，即 $\theta + \theta' = \pi$.



核心提炼

带电粒子在电场中的直线运动

3) 运动时间的确定

粒子在磁场中运动一周的时间为 T ，当粒子运动的圆弧所对应的圆心角为 α 时，其运动时间： $t = \frac{\theta}{2\pi}T$ 或 $t = \frac{l}{v}$ (l 为弧长).

4) 数学原理

①几何模型：圆与直线相交、圆与圆相交.

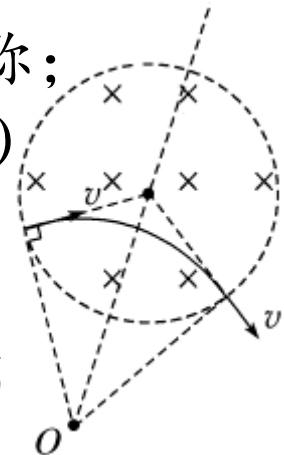
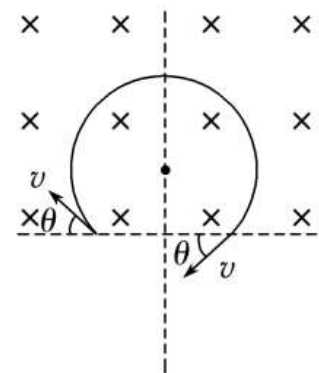
②对称性：圆与直线相交，轨迹(圆弧)关于圆心到边界的垂线轴对称；
轨迹圆和磁场圆相交，轨迹(圆弧)关于两圆心的连线轴对称。(如图)

③构造三角形

④确定角度

I、有已知角度：利用互余、互补、偏向角与圆心角的关系、弦切角与圆心角的关系确定；

II、没有已知角度：利用边长关系确定.



核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中的临界及极值问题

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的临界问题的关键，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

核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中的临界及极值问题

3) 解题方法

①物理方法

- I、利用临界条件求极值;
- II、利用问题的边界条件求极值;
- III、利用矢量图求极值;

②数学方法

- I、利用三角函数求极值;
- II、利用二次方程的判别式求极值;
- III、利用不等式的性质求极值;
- IV、利用图像法、等效法、数学归纳法求极值;

核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中的临界及极值问题

4) 典型模型

直线边界(进出磁场具有对称性, 如图所示):

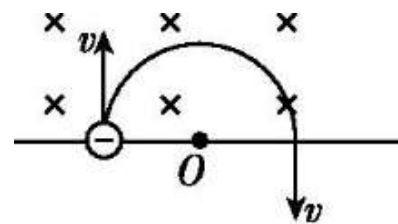
图甲中粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{T}{2} = \frac{\pi m}{Bq}$;

图乙中粒子在磁场中运动的时间 $t = (1 - \frac{\theta}{\pi})T = (1 - \frac{\theta}{\pi}) \frac{2\pi m}{Bq} = \frac{2m(\pi - \theta)}{Bq}$;

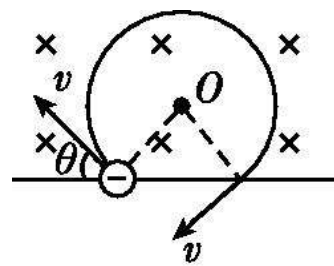
图丙中粒子在磁场中运动的时间 $t = \frac{\theta}{\pi}T = \frac{2\theta m}{Bq}$.

最长时间: 弧长最长, 一般为轨迹与直线边界相切.

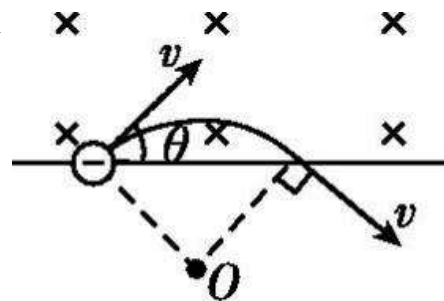
最短时间: 弧长最短(弦长最短), 入射点确定, 入射点和出射点连线与边界垂直.



甲



乙



丙

核心提炼

带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题

带电粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动，由于带电粒子电性不确定、磁场方向不确定、临界状态不确定、运动的往复性造成带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题。

①找出多解的原因：磁场方向不确定形成多解、临界状态不唯一形成多解、运动的周期性形成多解

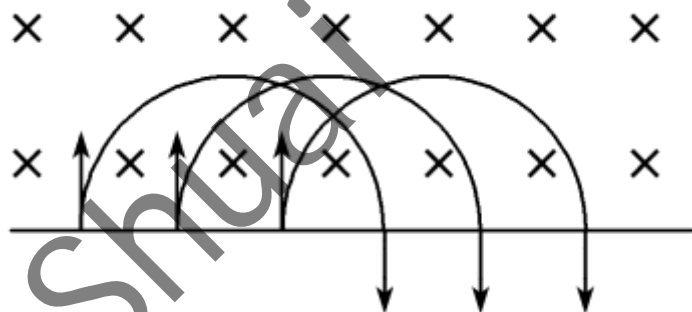
②画出粒子的可能轨迹，找出圆心、半径的可能情况。

核心提炼

“平移圆”模型

1) 适用条件：速度大小一定，方向一定，但入射点在同一直线上

例：粒子源发射速度大小、方向一定，入射点不同但在同一直线上的带电粒子进入匀强磁场时，它们做匀速圆周运动的半径相同，若入射速度大小为 v_0 ，则半径 $R = \frac{mv_0}{qB}$ ，如图所示



2) 特点：轨迹圆圆心共线，带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的圆心在同一直线上，该直线与入射点的连线平行

3) 界定方法：将半径为 $R = \frac{mv_0}{qB}$ 的圆进行平移，从而探索粒子的临界条件，这种方法叫“平移圆”法

核心提炼

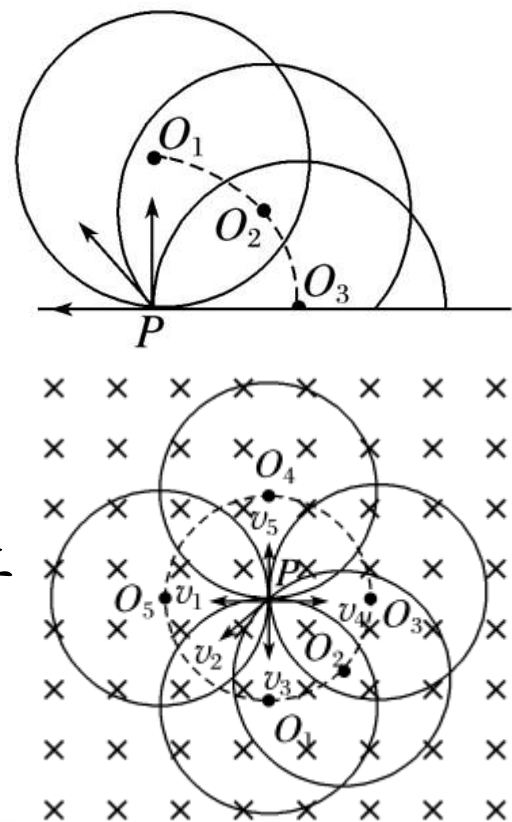
“旋转圆”模型

1) 适用条件：速度大小一定，方向不同

例：粒子源发射速度大小一定、方向不同的带电粒子进入匀强磁场时，它们在磁场中做匀速圆周运动的半径相同，若入射初速度大小为 v_0 ，则圆周运动轨迹半径为 $R = \frac{mv_0}{qB}$ ，如图所示

2) 特点：轨迹圆圆心共圆，如图，带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在以入射点P为圆心、半径 $R = \frac{mv_0}{qB}$ 的圆上

3) 界定方法：将一半径为 R 的圆以入射点为圆心进行旋转，从而探索出临界条件，这种方法称为“旋转圆”法



核心提炼

“放缩圆”模型

1) 适用条件：速度方向一定，大小不同

例：粒子源发射速度方向一定，大小不同的带电粒子进入匀强磁场时，这些带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径随速度的变化而变化

2) 特点：轨迹圆圆心共线，如图所示(图中只画出粒子带正电的情景)，速度 v 越大，运动半径也越大。可以发现这些带电粒子射入磁场后，它们运动轨迹的圆心在垂直初速度方向的直线 PP' 上

3) 界定方法：以入射点 P 为定点，圆心位于 PP' 直线上，将半径放缩作轨迹圆，从而探索出临界条件，这种方法称为“放缩圆”法

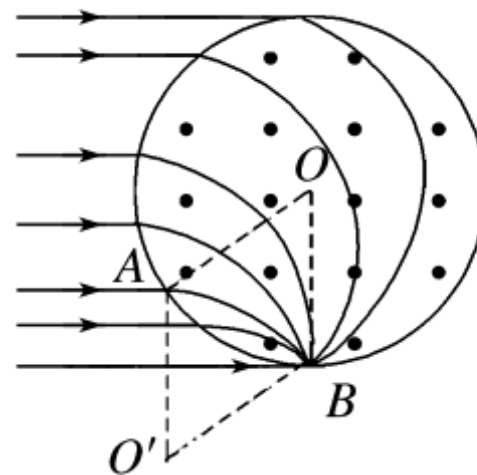


核心提炼

“磁聚焦”与“磁发散”模型：

条件：当圆形磁场的半径与圆轨迹半径相等时，存在两条特殊规律

- 1) 磁聚焦：平行射入圆形有界磁场的相同带电粒子，如果圆形磁场的半径与圆轨迹半径相等，则所有粒子都从磁场边界上的同一点射出，并且出射点的切线与入射速度方向平行

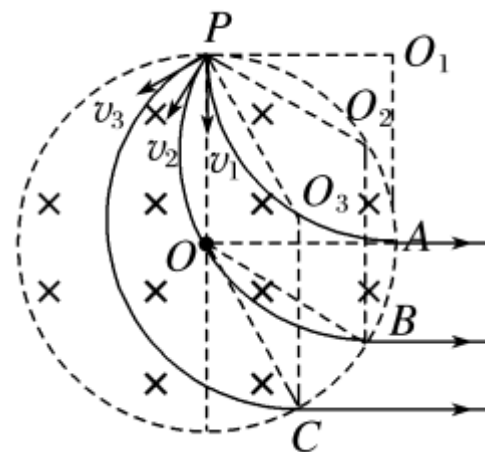


核心提炼

“磁聚焦”与“磁发散”模型：

条件：当圆形磁场的半径与圆轨迹半径相等时，存在两条特殊规律

2) 磁发散：带电粒子从圆形有界磁场边界上某点射入磁场，如果圆形磁场的半径与圆轨迹半径相等，则粒子的出射速度方向与圆形磁场上入射点的切线方向平行



真(模拟)题研析

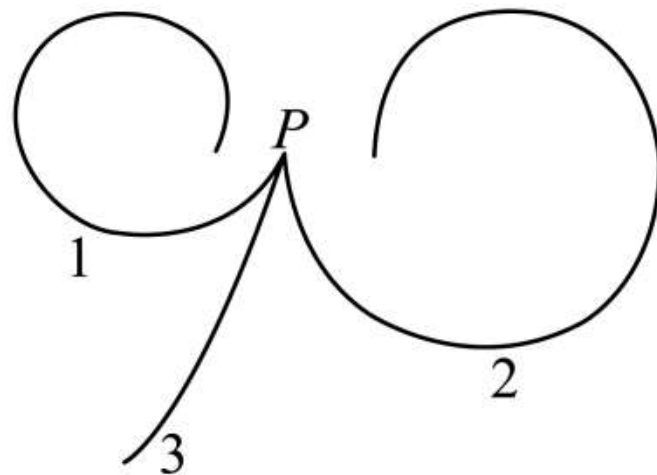
云室内填充物质的阻力作用，
粒子速度越来越小

【向】带电粒子在磁场中的圆周运动

1. (2022·北京·高考真题) 正电子是电子的反粒子，与电子质量相同、带等量正电荷。在云室中有垂直于纸面的匀强磁场，从P点发出两个电子和一个正电子，三个粒子运动轨迹如图中1、2、3所示。下列说法正确的是 (A)

$$qvB = m \frac{v^2}{r} \Rightarrow r = \frac{mv}{qB}$$

- A. 磁场方向垂直于纸面向里
- B. 轨迹1对应的粒子运动速度越来越大
- C. 轨迹2对应的粒子初速度比轨迹3的大
- D. 轨迹3对应的粒子是正电子

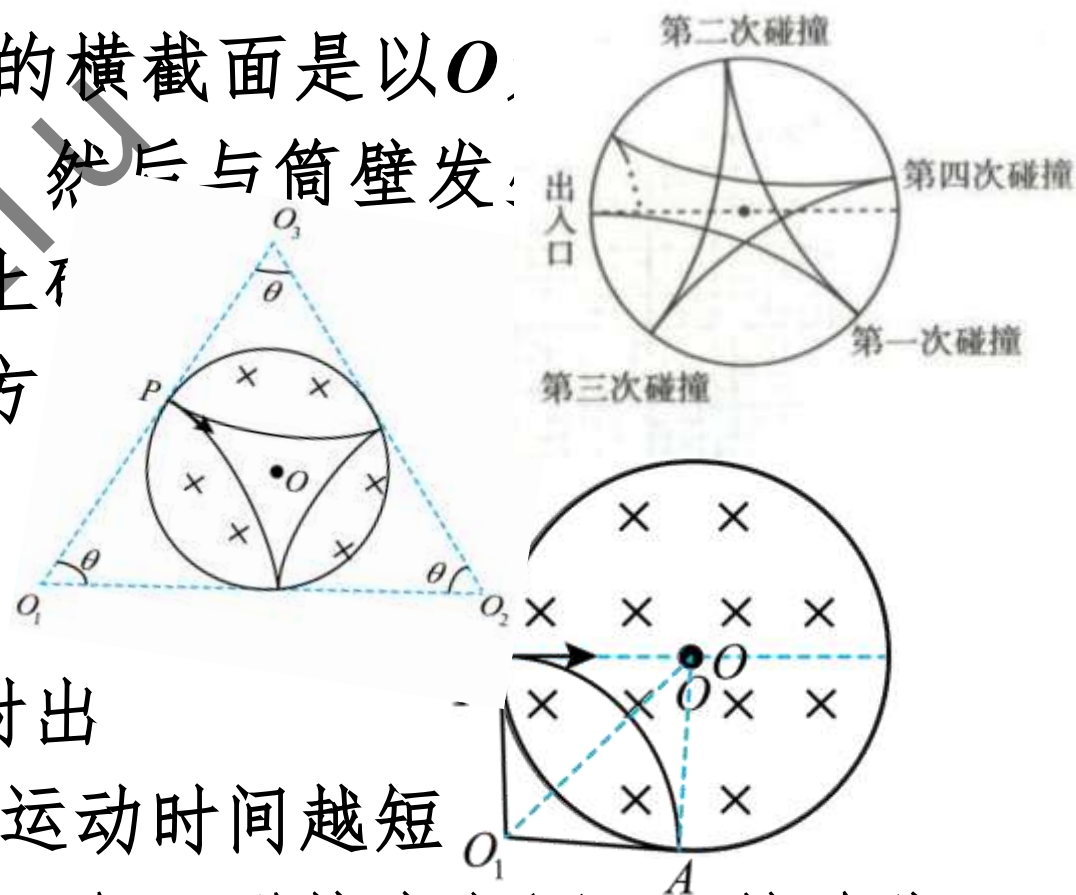


真(模拟)题研析

【考向】带电粒子在磁场中的多解问题

2. (2023·全国·高考真题) (多选) 光滑刚性绝缘圆筒内存在着平行于轴的匀强磁场，筒上 P 点开有一个小孔，过 P 的横截面是以 O ，如图所示。一带电粒子从 P 点沿 PO 射入，然后与筒壁发。粒子在每次碰撞前、后瞬间，速度沿圆上切线小不变，沿法线方向的分量大小不变、方向重力。下列说法正确的是 (BD)

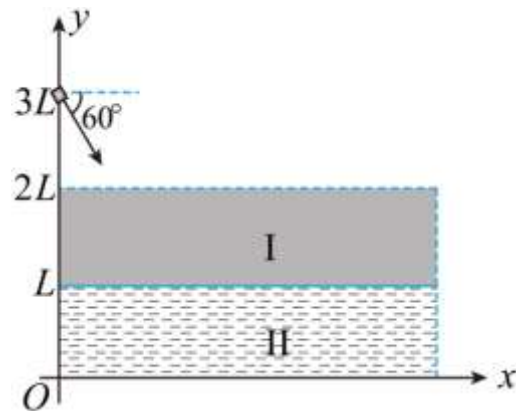
- A. 粒子的运动轨迹可能通过圆心 O
- B. 最少经2次碰撞，粒子就可能从小孔射出
- C. 射入小孔时粒子的速度越大，在圆内运动时间越短
- D. 每次碰撞后瞬间，粒子速度方向一定平行于碰撞点与圆心 O 的连线



真(模拟)题研析

【考向】带电粒子在有界磁场运动的临界或极值问题

3. (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。



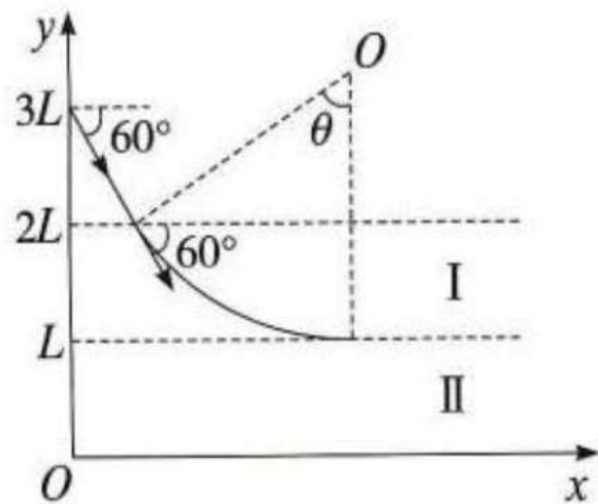
- (1) 求离子不进入区域 II 的最大速度 v_1 及其在磁场中的运动时间 t ;
- (2) 若 $B_2 = 2B_1$, 求能到达 $y = \frac{L}{2}$ 处的离子的最小速度 v_2 ;
- (3) 若 $B_2 = \frac{B_1}{L}y$, 且离子源射出的离子数按速度大小均匀地分布在 $\frac{B_1 q L}{m} \sim \frac{6B_1 q L}{m}$ 范围, 求进入第四象限的离子数与总离子数之比 η 。

真(模拟)题研析

【考向】带电粒子在有界磁场运动的临界或极值问题

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) $v_1 = \frac{2B_1qL}{m}$; $t = \frac{2\pi m}{3qB_1}$

真(模拟)题研析

【考向】带电粒子在有界磁场运动的临界或极值问题

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

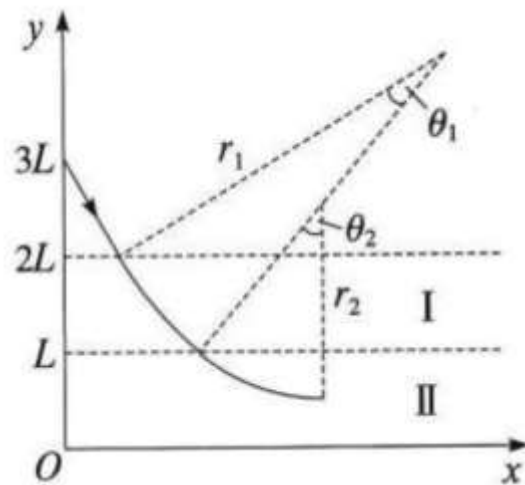
几何关系得 $r_2(1-\cos\theta_2)=\frac{1}{2}L$

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) $v_2=\frac{4B_1qL}{m}$



Liu
THANK YOU!