第十一章

磁场

专题强化十四　带电粒子在磁场中运动的临界问题与多解问题

栏目导航

核心考点·重点突破

名师讲坛·素养提升

高考1 2025版 轮总复习

核心考点·重点突破

考点1　带电粒子在磁场中运动的临界问题

(能力考点·深度研析)

1．问题概述

带电粒子在有界匀强磁场中运动时，由于受到磁场边界的约束，经常会考查求解粒子在磁场中运动的最长或最短时间、粒子运动区域等临界问题。

2．解题思路

(1)先不考虑磁场边界，假设磁场充满整个空间，根据题给条件尝试画出粒子可能的运动轨迹圆。

(2)结合磁场边界找出临界条件。

(3)根据几何关系、运动规律求解。

根据粒子射入磁场时的特点，分析临界条件的常用技巧有三种：动态圆放缩法、定圆旋转法、平移圆法。



3．分析临界、极值问题常用的四个结论

(1)刚好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。

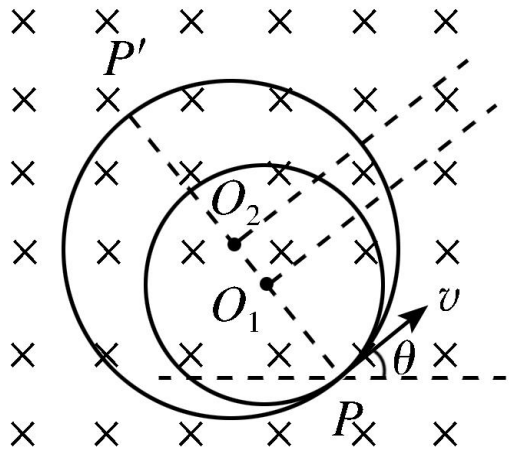
(2)当速率v一定时，弧长越长，圆心角越大，则带电粒子在有界磁场中运动的时间越长。

(3)当速率v变化时，圆心角大的，运动时间长，解题时一般要根据受力情况和运动情况画出运动轨迹的草图，找出圆心，根据几何关系求出半径及圆心角等。

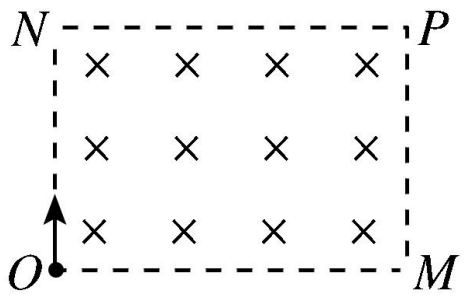
(4)在圆形匀强磁场中，当运动轨迹圆半径大于区域圆半径时，则入射点和出射点为磁场区域圆直径的两个端点时，轨迹对应的偏转角最大(所有的弦长中直径最长)。

▶考向1　动态圆放缩法

适用条件	速度方向一定、大小不同	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道半径与粒子速度大小有关

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境)，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 
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	

例① (多选)如图所示，矩形*OMPN*空间内存在垂直于平面向里、磁感应强度大小为*B*的匀强磁场。有大量速率不同的电子从*O*点沿着*ON*方向进入磁场。已知电子质量为*m*，电荷量为*e*，*OM*长度为3*d*，*ON*长度为2*d*，忽略电子之间的相互作用，电子重力不计。下列说法正确的是(**BC**)



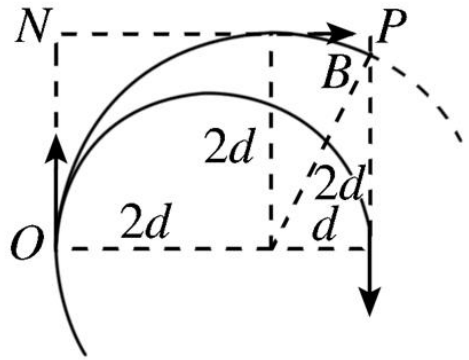
A．电子速率越小，在磁场里运动的时间一定越长

B．电子在磁场里运动的最长时间为$\frac{\pi m}{eB}$

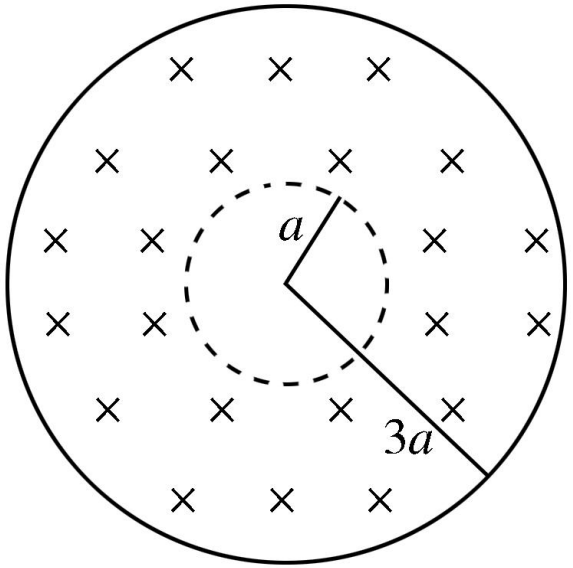
C．*MP* 上有电子射出部分的长度为$\sqrt{3}d$

D．*MP* 上有电子射出部分的长度为$(2-\sqrt{3})d$

[解析] 电子在磁场中做匀速圆周运动，则 $evB=m\frac{v^2}{r}$，则运动周期 $T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{Be}$，运动时间 $t=\frac{\theta}{2\pi}T=\frac{\theta m}{Be}$，由此可知电子运动时间与运动的圆心角有关，当电子速度较小时从 OM 边射出，圆心角均为 π，且此时对应的圆心角最大，故运动时间最长为 $t=\frac{\pi m}{eB}$，A 项错误，B 项正确；随着速度增大，电子运动半径逐渐增大，轨迹如图所示，由图可知 MP 边有电子射出的范围为 BM 长度，当电子轨迹与上边界相切时半径为 $2d$，由几何关系可知 $BM=\sqrt{(2d)^2-d^2}=\sqrt{3}d$，C 项正确，D 项错误。故选 BC。



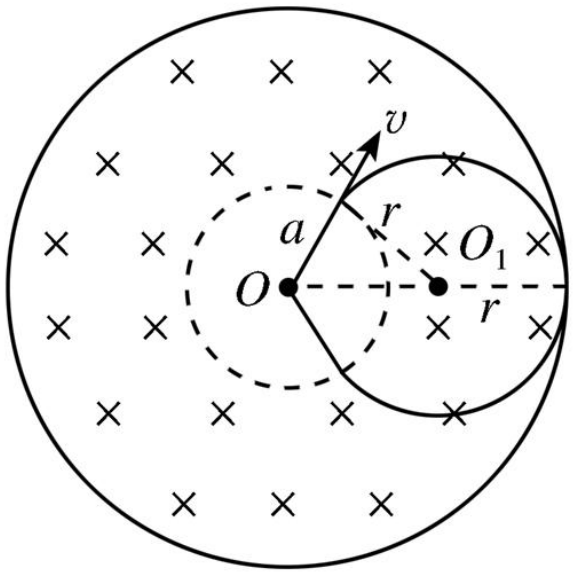
例2 (2020·全国Ⅲ卷)真空中有一匀强磁场，磁场边界为两个半径分别为a和$3a$的同轴圆柱面，磁场的方向与圆柱轴线平行，其横截面如图所示。一速率为v的电子从圆心沿半径方向进入磁场。已知电子质量为m，电荷量为e，忽略重力。为使该电子的运动被限制在图中实线圆围成的区域内，磁场的磁感应强度最小为(C)



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

C. $\frac{3mv}{4ae}$　　D. $\frac{3mv}{5ae}$

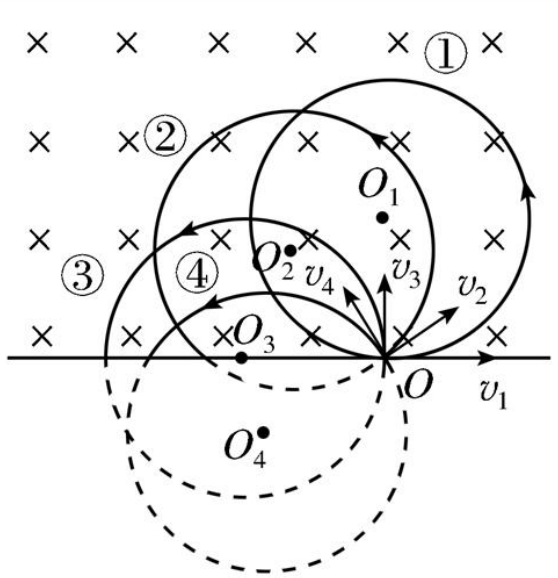
[解析]　由 $qvB=\frac{mv^2}{r}$ 可知，电子在匀强磁场中的轨迹半径 $r=\frac{mv}{eB}$，当 r 最大时，B 最小，故为使该电子的运动被限制在图中实线圆围成的区域内，且磁感应强度最小，电子运动轨迹应与有界磁场外边界相切，如图所示，由几何关系知 $a^2+r^2=(3a-r)^2$，解得 $r=\frac{4}{3}a$，联立可得磁感应强度最小为 $B=\frac{3mv}{4ae}$，选项 C 正确。



反思提升

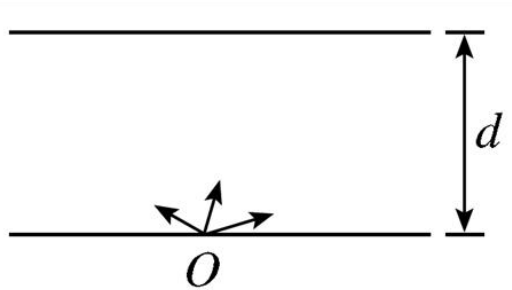
根据初速度方向确定粒子轨迹圆心所在的直线是解题的关键；由轨迹圆与边界相切找出临界状态求解。

▶考向2　定圆旋转法

适用条件	速度大小一定、方向不同	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，若射入初速度大小为 v_0，则圆周运动半径为 $r=\frac{mv_0}{qB}$，如图所示 

特点	轨迹圆圆心共圆	带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在以入射点 O 为圆心、半径 $r=\frac{mv_0}{qB}$ 的圆上
界定方法	将半径为 $r=\frac{mv_0}{qB}$ 的轨迹圆以入射点为圆心进行旋转，从而探索粒子的临界条件，这种方法称为“旋转圆”法	

例③ 如图实线所示区域内有垂直于纸面的匀强磁场，磁场宽度大小为 d，磁场下边界一点 O 为粒子源，能向各个方向发射速度大小相等的同种粒子，已知从上边界穿出的粒子其出射点分布在长为$\frac{2\sqrt{3}}{3}d$的线段上这些粒子在磁场中做圆周运动的半径是(　D　)



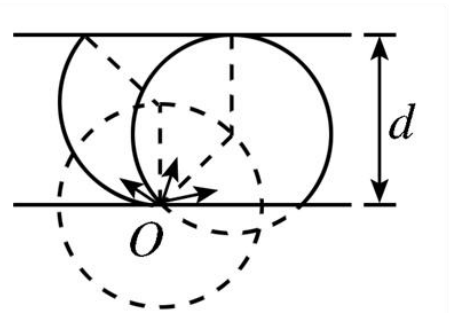
A. $\frac{\sqrt{3}}{3}d$

B. $\frac{d}{2}$

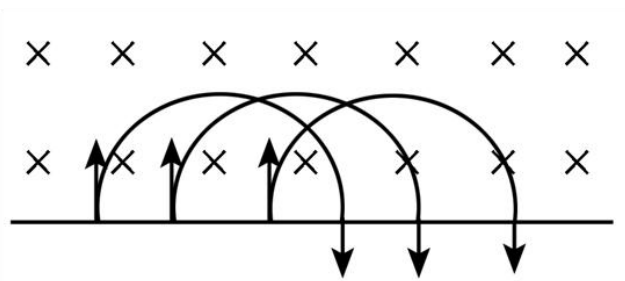
C. $\frac{2\sqrt{3}}{3}d$

D. $\frac{2}{3}d$

[解析]　以粒子在磁场中顺时针旋转圆周运动为例来说明(逆时针旋转结果相同)。粒子从上边界射出两种临界情况如图所示。一种临界情况为从 O 点水平射出，打在上边界最左边；一种临界情况为轨迹恰好与上边界相切。因为粒子速度大小不变，则轨迹半径不变，则粒子的轨迹中心必然在以射出点为圆心，轨迹半径为半径的虚线圆上，根据几何关系可知，O 点到两临界点的距离相等，则两临界点与 O 的水平距离均为 $x=\frac{\sqrt{3}}{3}d$，根据几何关系 $R+\sqrt{R^2-x^2}=d$，解得 $R=\frac{2}{3}d$，故选 D。



▶考向3　平移圆法

适用条件	速度大小一定，方向一定，但入射点在同一直线上	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，它们进入匀强磁场时，做匀速圆周运动的半径相同，若入射速度大小为 v_0，则运动半径 $r=\frac{mv_0}{qB}$，如图所示 

特点	轨迹圆圆心共线	带电粒子在磁场中做匀速圆周运动的圆心在同一直线
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	

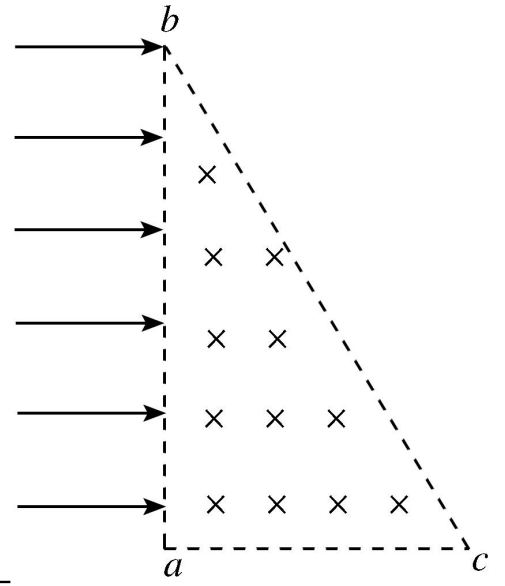
例④ (多选)如图所示，在直角三角形abc区域内存在垂直于纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为B。大量质量为m、电荷量为$+q$的同种粒子以相同的速度沿纸面垂直于ab边射入磁场区，结果在bc边仅有一半的区域内有粒子射出。已知bc边的长度为L，bc和ac的夹角为60°，不计粒子重力及粒子间的相互作用力。下列说法正确的是(　AC　)

A．粒子的入射速度为$\frac{BqL}{4m}$

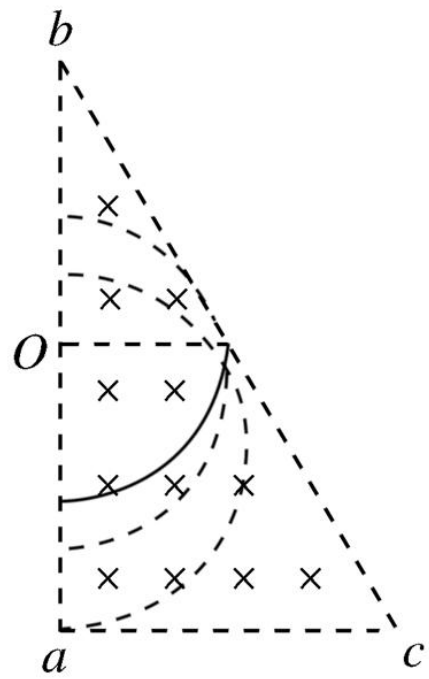
B．粒子的入射速度为$\frac{\sqrt{3}BqL}{6m}$

C．粒子在磁场中运动的最大轨迹长度为$\frac{\pi L}{4}$

D．从 bc 边射出的粒子在磁场内运动的最长时间为$\frac{\pi m}{2Bq}$



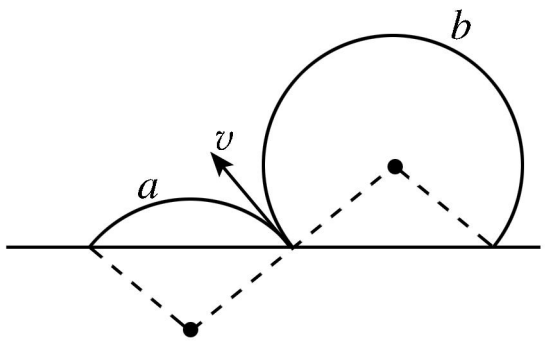
[解析] 粒子进入磁场后做匀速圆周运动，洛伦兹力提供向心力，$r=\frac{mv}{Bq}$，因 bc 边只有一半区域有粒子射出，在 bc 边中点射出的粒子轨迹如图中实线所示，由几何关系可得 $r=\frac{L}{4}$，则粒子的入射速度 $v=\frac{BqL}{4m}$，所以 A 项正确，B 项错误；粒子在磁场中运动的最长轨迹为 $s=\pi r=\frac{\pi L}{4}$，所以 C 项正确；与 bc 边相切，恰从 bc 边射出的粒子对应的圆心角最大为 $\frac{2\pi}{3}$，从 bc 边射出的粒子在磁场内运动的最长时间为 $t=\frac{2\pi m}{3Bq}$，所以 D 项错误。



考点2　带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题

(能力考点·深度研析)

▶考向1　磁场方向不确定形成多解

磁场方向不确定形成多解	磁感应强度是矢量，如果题述条件只给出磁感应强度的大小，而未说明磁感应强度的方向，则应考虑因磁场方向不确定而导致的多解。如图所示，带正电的粒子以速度v垂直进入匀强磁场，若B垂直纸面向里，其轨迹为a，若B垂直纸面向外，其轨迹为b 

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/188011112130007010