全品
— SINCE 1992 —
教育图书 功能学具 学生之家
基础教育行业专研品牌

30+年专注教育行业

全品学练考

主编 肖德好

导学案

高中物理5

北京专版

选择性必修第二册 RJ

数智教辅

全品AI学伴
7×24小时有问必答
高效预复习，吃透每一课

天津出版传媒集团
天津人民出版社

CONTENTS 目录 导学案

01 第一章 安培力与洛伦兹力
PART ONE

1 磁场对通电导线的作用力 …… 099

专题课:安培力作用下导体的运动问题 …… 101

2 磁场对运动电荷的作用力 …… 105

3 带电粒子在匀强磁场中的运动 …… 109

专题课:带电粒子在有界匀强磁场中的运动 …… 112

专题课:带电粒子(带电体)在复合场中的运动 …… 116

专题课:洛伦兹力与现代科技 …… 119

4 质谱仪与回旋加速器 …… 122

知识整合与通关(一) …… 125

02 第二章 电磁感应
PART TWO

1 楞次定律 …… 127

专题课:楞次定律的应用 …… 130

2 法拉第电磁感应定律 …… 132

专题课:电磁感应中的电路与电荷量问题 …… 136

专题课:电磁感应中的图像问题 …… 138

3 涡流、电磁阻尼和电磁驱动 …… 140

专题课:电磁感应中的动力学和能量问题 …… 144

专题课:电磁感应与动量的综合应用 …… 149

4 互感和自感 …… 152

知识整合与通关(二) …… 156

03 第三章　交变电流
PART THREE

1　交变电流 …… 158
2　交变电流的描述 …… 162
3　变压器 …… 166
第 1 课时　探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系 …… 166
第 2 课时　理想变压器的规律及其应用 …… 169
4　电能的输送 …… 172
知识整合与通关（三） …… 176

04 第四章　电磁振荡与电磁波
PART FOUR

1　电磁振荡 …… 178
2　电磁场与电磁波 …… 178
3　无线电波的发射和接收 …… 182
4　电磁波谱 …… 182
知识整合与通关（四） …… 185

05 第五章　传感器
PART FIVE

1　认识传感器 …… 186
2　常见传感器的工作原理及应用 …… 186
3　利用传感器制作简单的自动控制装置 …… 189
知识整合与通关（五） …… 192

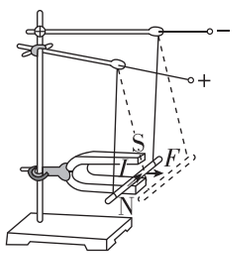
◆ 参考答案 …… 193

第一章　安培力与洛伦兹力

1　磁场对通电导线的作用力

学习任务一　安培力的方向

[科学探究] 在必修课中，我们已经知道了磁场对通电导线有作用力. 按照如图所示，把一段导体棒悬挂在蹄形磁体的两极间，研究安培力的方向与哪些因素有关.



(1)上下交换磁铁磁极的位置_____改变磁场方向，观察到导体棒受力的方向_____改变.(均选填“会”或“不会”)

(2)改变导体棒中电流的方向，导体棒受力的方向_____(选填“会”或“不会”)改变.

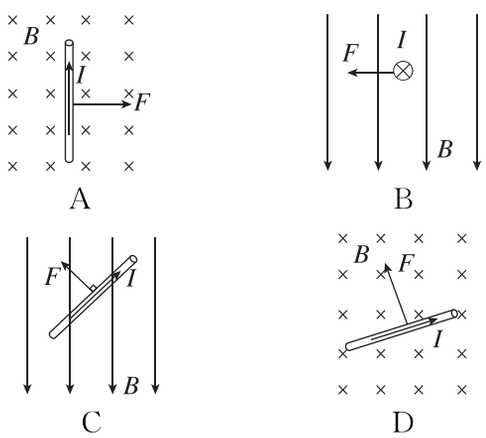
[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

1. 安培力：_____在磁场中受的力.

2. 安培力的方向与_____、_____有关.

3. 左手定则：伸开左手，使拇指与其余四个手指垂直，并且都与手掌在同一个平面内；让磁感线_____，并使四指指向_____，这时_____所指的方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向.

例 1 (多选)[2024·北京西城区高二期末] 下图中标出了匀强磁场的磁感应强度 B、通电直导线中的电流 I 和它受到的安培力 F 的方向，其中正确的是 (　　)



学习任务二　安培力的大小

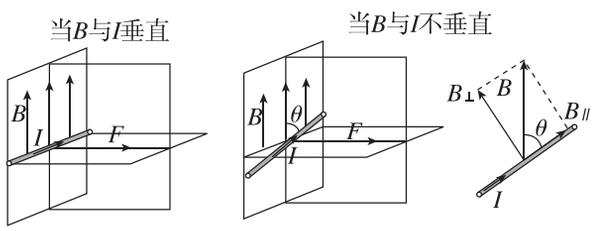
[物理观念] 长为 l 的一段直导线放在匀强磁场中，磁感应强度为 B，通以大小为 I 的电流，当导线按以下三种方式放置时，所受磁场的作用力分别是多大？

(1)导线和磁场垂直放置时，$F_{安}=$_____；

(2)导线和磁场平行放置时，$F_{安}=$_____；

(3)导线和磁场成 θ 角放置时，$F_{安}=$_____.

注：此式为安培力的通式.



例 2 [2024·北京三十五中高二月考] 以下说法中正确的是 (　　)

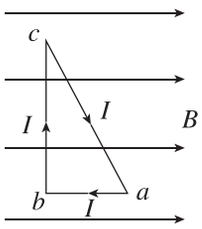
A. 通电导线不受安培力作用的地方，说明没有磁场

B. 磁感应强度为零时，通电导线受到的安培力 F 一定为零

C. 磁场中某处的磁感应强度 B 与通电导线所受的安培力 F 成正比、与导线的电流 I 和长度 L 的乘积成反比

D. 磁场中某处 B 的方向跟电流在该处受安培力 F 的方向相同

例 3 [2024·北京昌平区高二期末] 如图所示，匀强磁场的磁感应强度为 B，直角三角形导线框 abc 通以恒定电流 I，放置在磁场中. 已知 ab 边长为 l，与磁场方向平行；bc 边长为 $2l$，与磁场方向垂直. 下列说法正确的是 （ ）



A. ab 边所受安培力大小为 BIl

B. bc 边所受安培力大小为 BIl

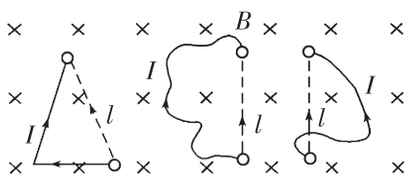
C. ca 边所受安培力大小为 $\sqrt{5}BIl$

D. 整个导线框所受安培力为 0

[反思感悟]

【要点总结】

公式 $F=IlB\sin\theta$ 中 l 指的是“有效长度”. 弯曲导线的有效长度 l 等于连接两端点的线段的长度(如图所示)，相应的电流沿线段由始端流向末端.



学习任务三　磁电式电流表

[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

1. 磁电式电流表的构造：刻度盘、指针、蹄形磁体、极靴(软铁制成)、螺旋弹簧、线圈、圆柱形铁芯(软铁制成).

2. 磁电式电流表的工作原理：通电线圈在磁场中受安培力作用发生转动

(1)被测电流越大，_____的角度越大. 螺旋弹簧变形，反抗线圈的转动. 这两种转动的效果叠加在一起，指针随之发生偏转；最终达到平衡，指针停止偏转，所以根据指针偏转角度的大小，可以确定被测电流的大小.

(2)当线圈中电流方向改变时，_____随之改变，指针的偏转方向也随着改变. 所以，根据指针的偏转方向，可以知道_____.

3. 磁电式电流表的特点：

(1)磁体和铁芯之间是_____的磁场；

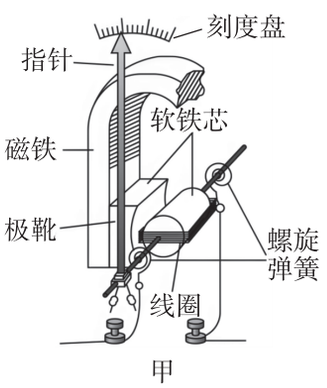
(2)线圈平面始终与磁感线_____；

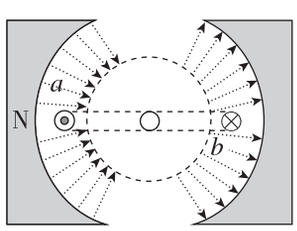
(3)表盘刻度均匀分布.

4. 优点：灵敏度高，可以测量_____的电流.

5. 缺点：线圈的导线很细，允许通过的电流_____.

例 4 (多选)[2024·北京一六一中学高二月考] 实验室经常使用的电流表是磁电式仪表. 这种电流表的构造如图甲所示. 蹄形磁铁和铁芯间的磁场是均匀辐向分布的. 当线圈通以如图乙所示的电流，下列说法正确的是 （ ）





A. 线圈转动时，在电流确定的情况下，它所受的安培力大小不变

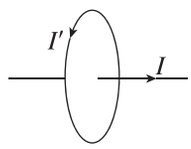
B. 线圈转动时，螺旋弹簧被扭动，阻碍线圈转动

C. 当线圈转到如图乙所示的位置，b 端受到的安培力方向向上

D. 当线圈转到如图乙所示的位置，安培力的作用使线圈沿顺时针方向转动

随堂巩固

1.（安培力的方向）如图所示，一根长直导线穿过通有恒定电流的金属环的中心，且垂直于金属环的平面. 导线和环中的电流方向如图所示. 那么金属环受到的安培力 （ ）



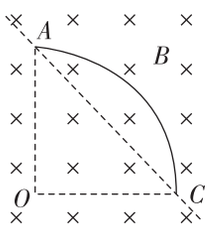
A. 沿环半径向外

B. 沿环半径向内

C. 沿直导线向右

D. 为零

2.（安培力的大小）（多选）如图所示，AC 是一个半径为 R 的四分之一圆弧，将其放置在与平面 AOC 垂直的磁感应强度为 B 的匀强磁场中. 当该导线中通以由 A 到 C、大小为 I 的恒定电流时，该导线受到安培力的大小和方向是 （ ）



A. 安培力大小为 IRB

B. 安培力大小为 $\sqrt{2}IRB$

C. 安培力方向为垂直于 AC 的连线指向左下方

D. 安培力方向为垂直于 AC 的连线指向右上方

3.（磁电式电流表）（多选）关于磁电式电流表，以下说法正确的是 （ ）

A. 指针稳定后，螺旋弹簧形变产生的阻碍效果与线圈受到的安培力的转动效果方向是相反的

B. 通电线圈中的电流越大，电流表指针偏转角度也越大

C. 在线圈转动的范围内，各处的磁场都是匀强磁场

D. 在线圈转动的范围内，线圈所受安培力大小与电流大小有关，而与所处位置无关

专题课：安培力作用下导体的运动问题

专题强化一　判断安培力作用下导体的运动情况

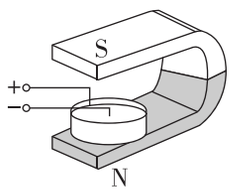
[科学思维] 判断安培力作用下通电导线和通电线圈运动方向的步骤：

(1)画出导体所在位置的磁感线方向；

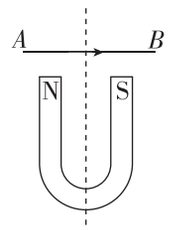
(2)由左手定则确定导体受到的安培力方向；

(3)由导体的受力情况判断导体的运动方向.

[科学探究] 在玻璃器皿的中心放一个圆柱形的电极，沿边缘内壁放一个圆环形电极，把它们分别与电池的两极相连，然后再在玻璃器皿中放入导电液体，例如盐水，若把玻璃器皿放在磁场中，如图所示，那么从上往下看，液体沿_____(选填“顺时针”或“逆时针”)方向转动.



例 1 如图所示，把一重力不计的通电直导线 AB 水平放在蹄形磁铁磁极的正上方，导线可以在空间内自由运动. 当导线通以图示方向电流 I 时，导线的运动情况是(从上往下看) （ ）



A. 顺时针方向转动，同时下降

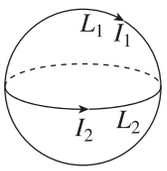
B. 顺时针方向转动，同时上升

C. 逆时针方向转动，同时下降

D. 逆时针方向转动，同时上升

[反思感悟]

例 2 一个可以自由转动的线圈 L_1 和一个固定的线圈 L_2 互相绝缘垂直放置，且两个线圈的圆心重合，如图所示. 当两线圈中通以图示方向的电流时，从左向右看，线圈 L_1 将 （ ）



A. 不动

B. 顺时针转动

C. 逆时针转动

D. 在纸面内平动

[反思感悟]

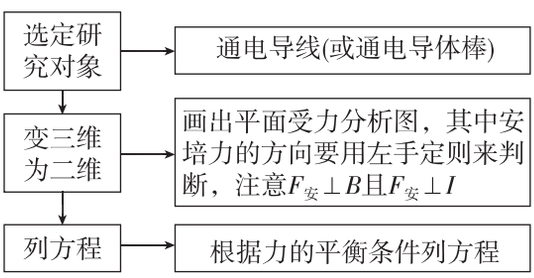
【要点总结】

安培力作用下导体运动方向判断的方法

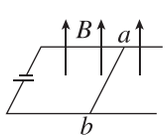
电流元法	每段电流元所受安培力方向→整段导体所受合力方向→运动方向
特殊位置法	在特殊位置→安培力方向→运动方向
等效法	(1)环形电流↔小磁针(小磁铁) (2)通电螺线管↔多个环形电流(条形磁铁)
结论法	(1)两平行电流之间无相对转动趋势，但同向电流相互靠近，反向电流相互远离；(2)两不平行电流之间有转动到平行且电流方向相同的趋势

专题强化二　安培力作用下导体的平衡问题

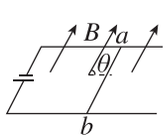
[科学思维] 求解安培力作用下导体的平衡问题的基本思路：



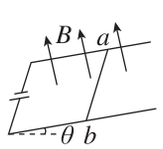
例 3 [2026·北京人大附中高二期末] 如图所示，A、B、C、D 四种情况装置相同，但轨道平面以及磁场方向不同，各图磁场的磁感应强度大小相同. A、B 轨道平面位于水平面内，A 图中磁场方向竖直向上，B 图中磁场方向与水平面成 θ 角；C、D 轨道平面与水平面成 θ 角，C 中磁场方向垂直轨道平面向上，D 中磁场方向垂直轨道平面向下. 导体棒都处于静止状态，四个导体棒所受摩擦力最大的是 （ ）



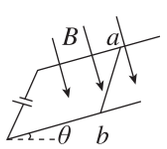
A. 磁场垂直水平面



B. 磁场与水平面成 θ 角



C. 磁场垂直于斜面



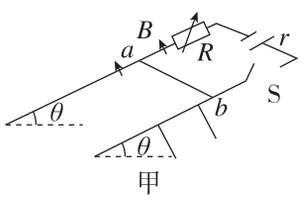
D. 磁场垂直于斜面

例 4 [2024·北京东城区高二期末] 如图所示，宽为 l 的光滑平行金属导轨与水平面成 θ 角，质量为 m、长为 l 的金属杆水平放置在导轨上. 空间存在着垂直于导轨所在平面向上的匀强磁场，闭合开关 S，调节电阻箱阻值为 R 时，金属杆恰好能静止在光滑平行导轨上. 其中电源电动势为 E，内阻为 r，不计金属杆及导轨的电阻，重力加速度为 g.

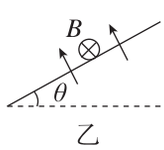
(1)在图乙(从 b 看向 a)中画出金属杆 ab 的受力分析图；

(2)求金属杆中的电流大小 I_1 和磁场磁感应强度的大小 B；

(3)若保持磁感应强度的大小不变而将方向改为竖直向上，应把回路中电流 I_2 调到多大才能使金属杆保持静止.



甲



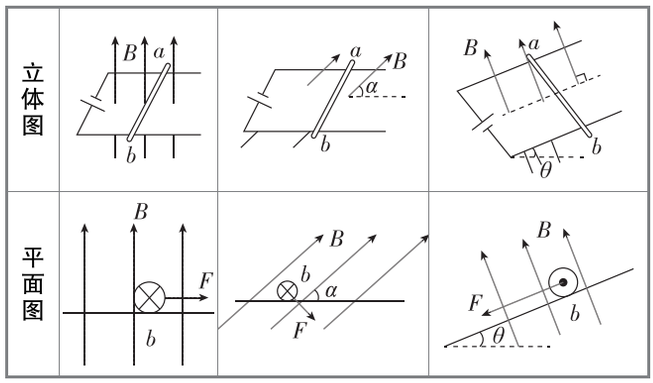
乙

【要点总结】

安培力作用下导体的平衡问题的求解关键可以简单概括为两点：

(1)电磁问题力学化，即把电磁问题通过受力分析，归结为力学问题.

(2)立体图形平面化，想很好地分析物体受力的平衡问题，把立体图形转化为平面图是关键.



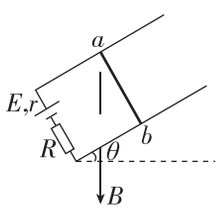
专题强化三　安培力作用下导体的加速问题

[科学思维]

1. 解决在安培力作用下导体的加速运动问题，首先要对研究对象进行受力分析(不要漏掉安培力)，然后根据牛顿第二定律列方程求解.

2. 选定观察角度画好平面图，标出电流方向和磁场方向，然后利用左手定则判断安培力的方向.

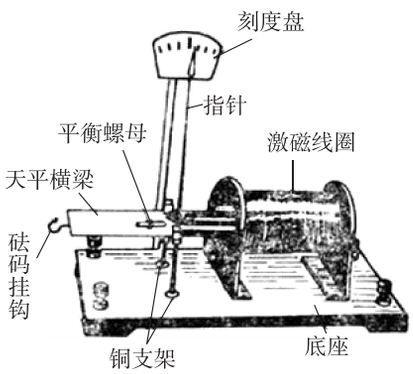
例 5 如图所示，光滑的平行导轨倾角为 θ、间距为 l，处在磁感应强度为 B、方向竖直向下的匀强磁场中，导轨一端接入电动势为 E、内阻为 r 的电源和阻值为 R 的定值电阻，其余电阻不计. 将质量为 m、电阻不计的导体棒置于导轨上并由静止释放，导体棒沿导轨向下运动，导体棒与导轨垂直且接触良好，求导体棒在释放瞬间的加速度大小.(重力加速度为 g)



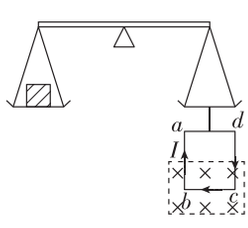
素养提升

电流天平的原理和应用

电流天平是根据等臂杠杆的原理制成的，可以用来测量导线在磁场中受到的安培力和磁场的磁感应强度. 如图乙所示是它的原理示意图，天平左盘放砝码，右盘下悬挂线框，线框处于磁场中. 当线框没有通电时，天平处于平衡状态.



甲



乙

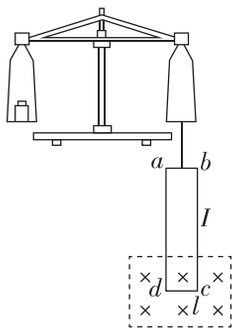
线框通电后，ab、bc、cd 边均受到安培力的作用. 根据左手定则可知，ab、cd 边受到的安培力等大反向，互相抵消，bc 边受到的安培力方向竖直向下，从而使天平平衡被破坏. 通过在左盘中加砝码可使天平重新平衡，根据所加砝码的质量可以推知线框所受安培力的大小 F. 再根据 $F=nIlB$，由线框的匝数 n、bc 边长度 l、电流 I 可求磁场的磁感应强度 B 的大小.

示例 如图所示为电流天平示意图，可以用来测量匀强磁场的磁感应强度. 它的右盘下挂着矩形线框，匝数为 n，线框的 cd 边水平，且长为 l，处于匀强磁场内，磁感应强度大小为 B 的磁场方向垂直于线框平面向里. 当线框中通有电流 I 时，调节砝码使两臂达到平衡. 然后使电流反向，大小不变. 这时需要在左盘中增加质量为 m 的砝码，才能使两臂再次达到平衡，重力加速度 g 取9.8 m/s^2.

(1) cd 边的电流在反向之后其方向为_____(选填“向左”或“向右”)；

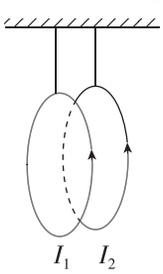
(2)导出用 n、m、l、I、g 表示磁感应强度 B 的表达式；

(3)当 $n=9$，$l=10.0$ cm，$I=0.10$ A，$m=8.78$ g 时，磁感应强度是多大？(结果保留 2 位有效数字)



随堂巩固

1. (安培力作用下导体的运动情况)用两根绝缘细线把两个完全相同的圆形导线环悬挂起来，将二者等高平行放置，如图所示，当两导线环中通入方向相同的电流 I_1、I_2 时，两导线环 (　)



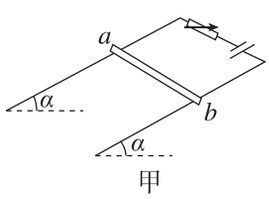
A. 相互吸引

B. 相互排斥

C. 无相互作用力

D. 先吸引后排斥

2. (安培力作用下导体的平衡问题)(多选)[2025·北京北理工附中高二月考] 如图所示，宽为 L 的光滑导轨与水平面成 α 角，质量为 m、长为 L 的金属杆水平放置在导轨上. 空间存在着匀强磁场. 当回路总电流为 I 时，金属杆恰好能静止. 则下列说法中正确的是 (　)



甲

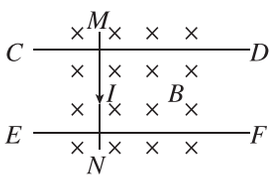
A. 磁场方向可能为竖直向上

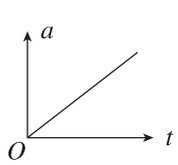
B. 磁场方向可能为水平向右

C. 磁感应强度大小最小为 $\dfrac{mg\sin\alpha}{IL}$

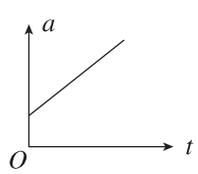
D. 磁感应强度大小最小为 $\dfrac{mg}{IL}$

3. (安培力作用下导体的加速问题)如图所示，在竖直向下的匀强磁场中有两根水平放置的平行粗糙金属导轨 CD、EF，导轨上放有一金属棒 MN，现从 $t=0$ 时刻起，给金属棒通以图示方向的电流且电流 I 的大小与时间 t 成正比，即 $I=kt$，其中 k 为常量，不考虑电流对匀强磁场的影响，金属棒与导轨始终垂直且接触良好，下列关于金属棒的加速度 a、速度 v 随时间 t 变化的关系图像，可能正确的是 (　)

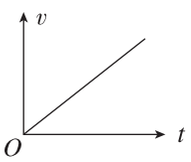




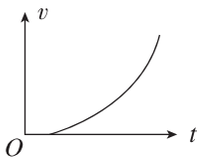
A



B



C

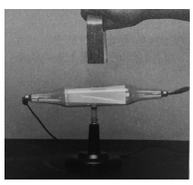


D

2　磁场对运动电荷的作用力

学习任务一　洛伦兹力的方向

[科学探究] 如图所示，电子由阴极向阳极运动（向右运动）过程中向下偏转.



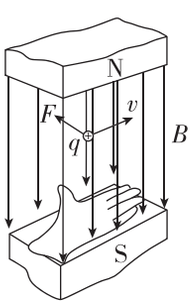
(1)_____力使电子向下偏转，该力的方向_____.

(2)电子运动轨迹附近的磁场方向_____.电子所受洛伦兹力与磁场方向、电子运动方向存在什么关系？

[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

1. 洛伦兹力：_____在_____中受到的力.

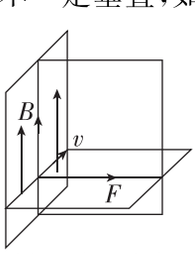
2. 左手定则：伸开左手，使拇指与其余四个手指_____，并且都与手掌在同一个平面内；让磁感线从_____垂直进入，并使_____指向_____运动的方向，这时_____所指的方向就是运动的正电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向.



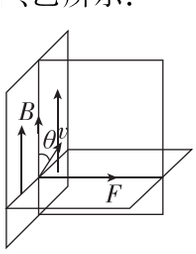
说明：①对于负电荷，四指指向电荷运动的反方向.

②洛伦兹力的方向总是与电荷运动的方向和磁场方向垂直，即洛伦兹力的方向总是垂直于运动电荷速度方向和磁场方向所决定的平面.

F、B、v 三个量的方向关系是：$F\perp B$，$F\perp v$，但 B 与 v 不一定垂直，如图甲、乙所示.



甲　v与B垂直



乙　v与B不垂直

③洛伦兹力不做功，它只改变电荷的运动方向，不改变电荷的速度大小.

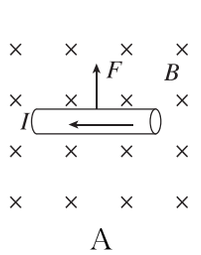
【辨别明理】

1. 带电粒子在磁场中运动时一定会受到洛伦兹力的作用.　（　）

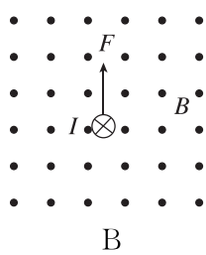
2. 洛伦兹力的方向在特殊情况下可能与带电粒子的速度方向不垂直.　（　）

3. 荷兰物理学家洛伦兹提出磁场对运动电荷有作用力的观点.　（　）

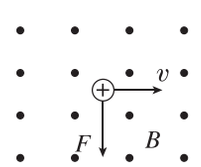
例 1　如图所示，通电导线所受安培力或运动电荷所受洛伦兹力示意图正确的是　（　）



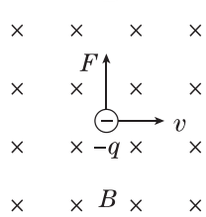
A



B

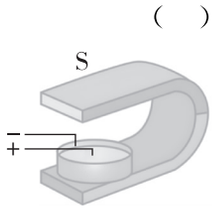


C



D

例 2 [2026·北京西城区高二期末] 如图所示，玻璃皿置于S极在上的蹄形磁铁的磁场中.在玻璃皿的中心放一个圆柱形电极，内壁沿边缘放一个圆环形电极，两电极分别与电池组的正负极相连，在玻璃皿中倒入硫酸铜溶液，俯视发现溶液旋转，下列判断正确的是　（　）



A. 正离子按顺时针方向旋转，负离子按顺时针方向旋转

B. 正离子按顺时针方向旋转，负离子按逆时针方向旋转

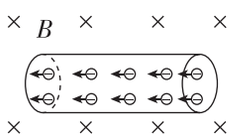
C. 正离子按逆时针方向旋转，负离子按顺时针方向旋转

D. 正离子按逆时针方向旋转，负离子按逆时针方向旋转

学习任务二　洛伦兹力的大小

[科学推理] 安培力是洛伦兹力的宏观表现，一段静止在磁场中的通电导线受到的安培力等于该段导线内所有电荷定向移动的洛伦兹力的矢量和.

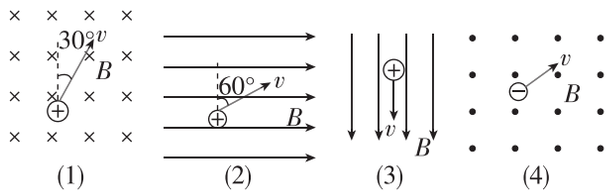
(1)如图所示，设有一段长度为 l 的通电导线垂直放入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，若导线中的电流为 I，则该导线所受的安培力的大小为_____.



(2)设导线的横截面积为 S，单位体积内的自由电荷数为 n，每个自由电荷的电荷量为 q，定向移动的速度都是 v，根据电流的定义式推导电流的表达式.

(3)根据 $F_{安}=NF_{洛}$ 推导每个电荷受到的洛伦兹力的大小，并说明推导结果的适用条件.

例 3 如图所示，各图中的匀强磁场的磁感应强度均为 B，带电粒子的速度均用 v 表示，带电荷量大小均为 q. 试求出图中带电粒子所受洛伦兹力的大小，并指出洛伦兹力的方向.



【要点总结】

1. 洛伦兹力与安培力的关系

(1)洛伦兹力是单个运动电荷在磁场中受到的力，安培力是导体中所有定向移动的自由电荷受到的洛伦兹力的宏观表现.

(2)洛伦兹力对电荷不做功，但安培力却可以对导体做功.

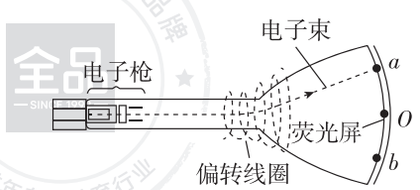
2. 洛伦兹力的大小：$F=qvB\sin\theta$，θ 为电荷的运动方向与磁感应强度方向的夹角.

(1)当 $v\perp B$ 时，$F=qvB$，即运动方向与磁场方向垂直时，洛伦兹力最大.

(2)当 $v/\!/B$ 时，$F=0$，即运动方向与磁场方向平行时，不受洛伦兹力.

学习任务三　电子束的磁偏转

[科学探究] 如图所示为电视机显像管原理示意图. 没有磁场时，电子束打在荧光屏正中的 O 点. 为使电子束偏转，由安装在管颈的偏转线圈产生偏转磁场.



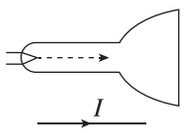
(1)要使电子束偏离中心 O，打在荧光屏上的 a 点，偏转磁场应该沿_____方向.

(2)要使电子束打在 b 点，偏转磁场应该沿_____方向.

(3)要使电子束打在荧光屏上的位置由 b 点逐渐向 a 点移动，偏转磁场应该_____.

全品 一SIN 专注教育行业 30年专注教育行业

例 4 如图所示，在示波器下方有一根与示波器轴线平行放置的通电直导线，直导线中的电流方向向右，在该电流的影响下，关于示波器中电子束的说法正确的是（示波器内两个偏转电场的偏转电压都为零，不考虑地磁场的影响）（　）



A. 电子束将向下偏转，电子的速率保持不变
B. 电子束将向外偏转，电子的速率逐渐增大
C. 电子束将向上偏转，电子的速率保持不变
D. 电子束将向里偏转，电子的速率逐渐减小

[反思感悟]

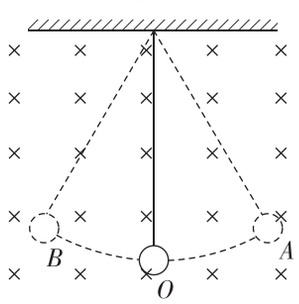
【要点总结】

磁偏转：带电粒子在磁场中受到洛伦兹力的作用时，由于洛伦兹力与运动电荷的速度垂直，会不断改变电荷的运动方向，因此可以利用磁场控制带电粒子的运动方向．把利用磁场改变带电粒子运动方向的现象称为磁偏转．

学习任务四　带电体在洛伦兹力作用下的运动

[科学论证] 洛伦兹力对运动电荷运动的速度有什么影响？洛伦兹力对运动电荷是否做功？

例 5（多选）如图所示，用细线吊一个质量为 m 的带电绝缘小球，小球处于匀强磁场中，空气阻力不计．小球分别从 A 点和 B 点向最低点 O 运动，当小球两次经过 O 点时（　）



A. 小球的动能相同
B. 细线所受的拉力相同
C. 小球所受的洛伦兹力相同
D. 小球的向心加速度大小相同

[反思感悟]

【要点总结】

带电体受洛伦兹力动力学综合问题：

(1)以带电体为模型，分析带电体的受力情况，可能有重力、弹力、摩擦力、洛伦兹力等．

(2)带电体的运动可能为直线运动、圆周运动等，其中洛伦兹力的大小和方向都可能随速度的变化而变化，但洛伦兹力永远不做功．

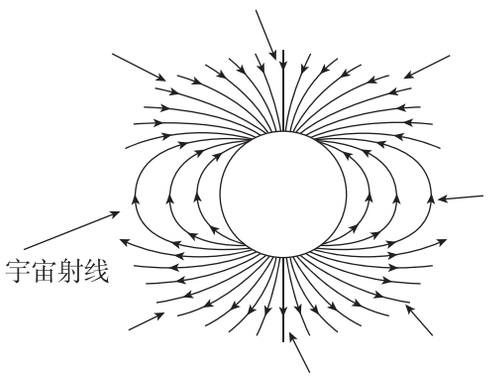
(3)根据不同的运动情况可以选择平衡条件、牛顿第二定律、动能定理等列方程求解．

素养提升

极光和地磁场

极光是在地球两极常见的一种自然现象．地磁场向地球周围的太空延伸很远，它对太阳射出的带电粒子（主要由质子、电子、α 粒子等组成）具有阻挡作用，可使地球上的生物免受伤害．但在接近两极的地区，有些高能粒子能射向地球的表面．它们通常以 2000 km/s 的速度击穿大气层，与大气中的原子和分子碰撞并激发，产生光芒，形成极光．

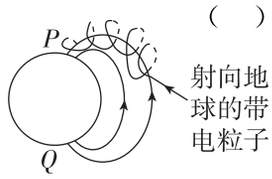
示例 宇宙射线中含有大量的高能带电粒子，而地磁场可以有效抵御宇宙射线的侵入.地磁场的磁感线分布如图所示，可以认为两极处地磁场的方向垂直于地面，赤道处地磁场的方向由地理南极指向地理北极.



(1)对于垂直射向地面的宇宙射线，赤道和两极相比，哪个区域的地磁场阻挡效果更好？

(2)若赤道上空某处的磁感应强度大小为 1.1×10^{-4} T，有一速率为 5.0×10^{5} m/s、电荷量为 1.6×10^{-19} C 的质子竖直向下运动穿过此处的地磁场，则该质子受到的洛伦兹力是多大？向哪个方向偏转？

变式 科学研究发现，在地球的南极或北极所看到的美丽极光，是由来自太阳的高能带电粒子受到地磁场的作用后与大气分子剧烈碰撞或摩擦所产生的结果，如图所示.下列关于地磁场的说法中正确的是 (　　)



A. 若不考虑磁偏角的因素，则地理南极处的磁场方向竖直向下

B. 若不考虑磁偏角的因素，则地理北极处的磁场方向竖直向上

C. 在地球赤道表面，小磁针静止时南极指向北方

D. 在地球赤道表面，小磁针静止时南极指向南方

随堂巩固

1. (洛伦兹力的理解)关于洛伦兹力，下列说法中正确的是 (　　)

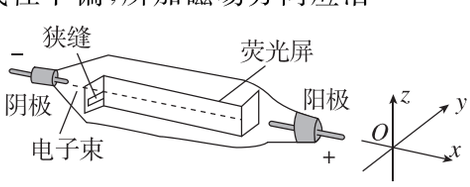
A. 洛伦兹力方向与磁场方向一定平行

B. 洛伦兹力方向与磁场方向一定垂直

C. 运动电荷在磁感应强度不为零的地方，一定受洛伦兹力作用

D. 运动电荷在某处不受洛伦兹力作用，该处的磁感应强度一定为零

2. (洛伦兹力的方向)[2024·北京清华附中高二月考] 在利用电子射线管探究洛伦兹力方向的实验中，接通电源后，电子射线由阴极沿 $+x$ 轴方向射出，在荧光屏上会看到一条亮线.现要使亮线往下偏，所加磁场方向应沿 (　　)



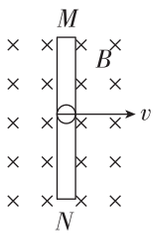
A. $-y$ 轴

B. $+y$ 轴

C. $+z$ 轴

D. $-z$ 轴

3. （洛伦兹力的大小）如图所示，金属棒 MN 中的自由电荷为电子，电子随着金属棒以速度 v 向右匀速运动，同时沿着金属棒以速度 u 匀速运动，匀强磁场的磁感应强度大小为 B，下列说法中正确的是（　）



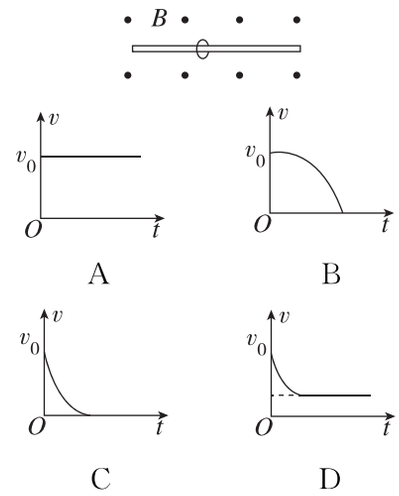
A. 电子受到的洛伦兹力为 evB

B. 电子受到的洛伦兹力为 euB

C. 电子受到的沿棒方向的洛伦兹力大小为 evB

D. 电子受到的沿棒方向的洛伦兹力大小为 euB

4. （带电体在洛伦兹力作用下的运动）一个质量为 m、电荷量为 $-q$ 的圆环套在水平且足够长的粗糙绝缘细杆上，整个装置处于方向如图所示的磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中. 现给圆环向左的初速度 v_0，重力加速度为 g，在以后的运动过程中圆环运动的速度图像可能是（　）



3　带电粒子在匀强磁场中的运动

学习任务一　带电粒子在匀强磁场中的运动规律

[问题导学]

如果沿着与磁场垂直的方向发射一束带电粒子（不计重力），这束粒子在匀强磁场中的运动轨迹会是什么样的呢？

[教材链接] 阅读教材，完成下列填空.

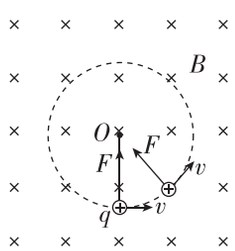
1. 若 $v/\!/B$，带电粒子（不计重力）所受洛伦兹力 $F=$_____，所以粒子在磁场中做_____.

2. 若 $v\perp B$，此时初速度方向、洛伦兹力的方向均与磁场方向_____，粒子在垂直于_____方向的平面内运动.

（1）洛伦兹力与粒子的运动方向_____，只改变粒子速度的_____，不改变粒子速度的_____.

（2）带电粒子在垂直于磁场的平面内做_____运动，_____提供向心力.

[科学推理] 如图所示，设电荷量为 q 的粒子在磁感应强度大小为 B 的磁场中做匀速圆周运动，运动速度为 v，匀速圆周运动的轨道半径为 r，周期为 T.



（1）带电粒子受到的洛伦兹力 $F=qvB$，由洛伦兹力提供向心力得 $F=m\dfrac{v^2}{r}$，联立得匀速圆周运动的轨道半径 $r=\dfrac{mv}{qB}$. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的轨道半径与它的质量、速度成正比，与电荷量、磁感应强度成反比.

（2）匀速圆周运动的轨道半径 $r=\dfrac{mv}{qB}$，周期 $T=\dfrac{2\pi r}{v}$，联立得 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$. 从公式可以看出周期由磁感应强度和粒子的比荷决定，而与粒子的速度和轨道半径无关.

【辨别明理】

1. 运动电荷进入磁场后(无其他场)可能做类平抛运动. (　)

2. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动时,轨道半径跟粒子的速率成正比. (　)

3. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的周期与轨道半径成正比. (　)

4. 带电粒子在匀强磁场中做圆周运动的周期随速度的增大而减小. (　)

例 1 [2024·北京四中高二月考] 一质子在匀强磁场中运动,不考虑重力作用,下列说法中正确的是 (　)

A. 可能做匀变速直线运动

B. 可能做匀变速曲线运动

C. 可能做匀速直线运动

D. 只能做匀速圆周运动

[反思感悟]

例 2 [2026·北京大兴一中高二月考] 高纬度地区的高空,大气稀薄,常出现美丽的彩色“极光”.极光是由太阳发射的高速带电粒子受地磁场的影响,进入两极附近时,撞击并激发高空中的空气分子和原子引起的.假如我们在北极地区仰视,发现正上方如图所示的弧状极光,则关于这一现象中高速粒子的说法正确的是 (　)



A. 高速粒子带负电

B. 粒子轨迹半径逐渐增大

C. 仰视时,粒子沿逆时针方向运动

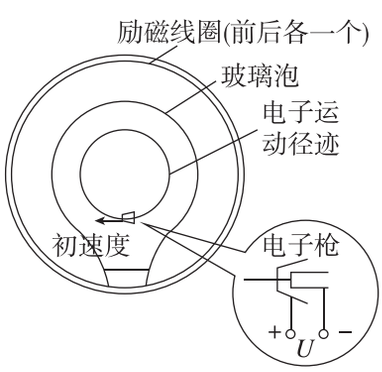
D. 仰视时,粒子沿顺时针方向运动

[反思感悟]

例 3 [2025·北京西城区高二期末] 用洛伦兹力演示仪可以观察电子在磁场中的运动径迹.图甲是洛伦兹力演示仪的实物图,图乙是结构示意图.励磁线圈通电后可以产生垂直纸面的匀强磁场,励磁线圈中的电流越大,产生的磁场越强.图乙中电子经电子枪中的加速电场加速后水平向左垂直磁感线方向射入磁场.下列关于实验现象和分析正确的是 (　)



甲



乙

A. 仅增大励磁线圈中的电流,电子束径迹的半径变小

B. 仅升高电子枪加速电场的电压,电子束径迹的半径变小

C. 仅升高电子枪加速电场的电压,电子做圆周运动的周期将变小

D. 要使电子形成如图乙中的运动径迹,励磁线圈应通以逆时针方向的电流

[反思感悟]

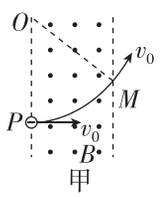
学习任务二　带电粒子在匀强磁场中运动的基本分析思路

[科学思维]

1. 圆心的确定

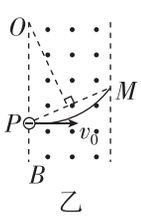
圆心位置的确定通常有以下两种基本方法：

(1)已知入射方向、出射点的位置和出射方向时，可以过入射点和出射点作垂直于入射方向和出射方向的直线，两条直线的交点就是圆弧轨道的圆心(如图甲所示，P 为入射点，M 为出射点).



甲

(2)已知入射方向和出射点的位置时，可以过入射点作入射方向的垂线，连接入射点和出射点，作连线的中垂线，这两条垂线的交点就是圆弧轨道的圆心(如图乙所示，P 为入射点，M 为出射点).



乙

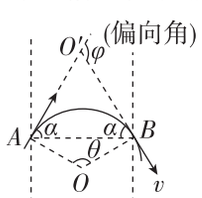
2. 半径的确定

(1)由半径公式 $r=\dfrac{mv}{qB}$ 确定；

(2)由几何关系确定.

3. 粒子速度偏向角的确定

速度的偏向角 φ = 圆弧所对的圆心角(回旋角)θ = 弦切角 α 的 2 倍.(如图所示)



4. 粒子在匀强磁场中运动时间的确定

(1)周期一定时，由圆心角求：$t=\dfrac{\theta}{2\pi}\cdot T$；

(2)v 一定时，由弧长求：$t=\dfrac{s}{v}=\dfrac{\theta R}{v}$.

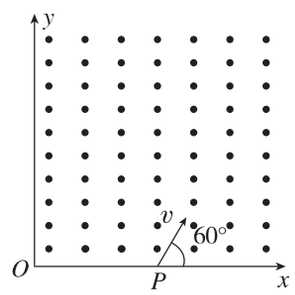
例 4　如图所示，一质量为 m、带电荷量为 $-q$、不计重力的粒子，从 x 轴上的 $P(a,0)$ 点以速度大小为 v、沿与 x 轴正方向成 60°角的方向射入第一象限内的匀强磁场中，并恰好垂直于 y 轴射出第一象限.

(1)画出带电粒子运动的轨迹并标出圆心；

(2)求轨迹圆的几何半径；

(3)求匀强磁场的磁感应强度 B 的大小；

(4)求带电粒子穿过第一象限所用的时间 t.



随堂巩固

1. （带电粒子在匀强磁场中的运动）[2025·北京顺义区高二期末] 在真空中，一带电粒子以速度 v 沿与磁场垂直的方向射入磁感应强度为 B 的匀强磁场. 不计粒子的重力，关于该粒子在磁场中运动下列说法正确的是 （ ）

A. 粒子的动量大小随时间逐渐增大

B. 粒子所受洛伦兹力的冲量方向始终与速度方向一致

C. 粒子做匀速圆周运动的周期与磁感应强度的大小 B 成正比

D. 粒子运动的轨道半径与速度 v 的大小成正比

2. （带电粒子在匀强磁场中的运动规律）（多选）有两个匀强磁场区域Ⅰ和Ⅱ，Ⅰ中的磁感应强度大小是Ⅱ中磁感应强度大小的 k 倍. 两个速率相同的电子分别在两磁场区域中做圆周运动. 与Ⅰ中运动的电子相比，Ⅱ中的电子 （ ）

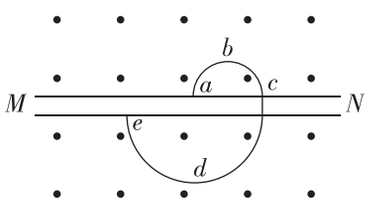
A. 运动轨迹的半径是Ⅰ中的 k 倍

B. 加速度的大小是Ⅰ中的 k 倍

C. 做圆周运动的周期是Ⅰ中的 k 倍

D. 做圆周运动的角速度与Ⅰ中的相等

3. （带电粒子在匀强磁场中的运动规律）MN 是匀强磁场中的一块薄金属板，一带电粒子（不计重力）在磁场中运动并穿过金属板后，速率将会减小，若电荷量保持不变，其运动轨迹如图所示，则下列说法中正确的是 （ ）



A. 粒子带正电

B. 粒子的运动方向是 $edcba$

C. 粒子的运动方向是 $abcde$

D. 粒子通过上半周所用时间比下半周所用时间短

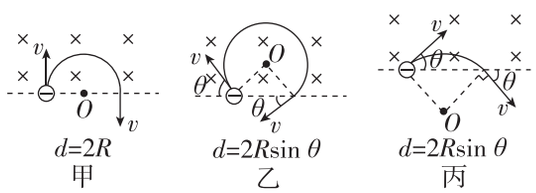
专题课：带电粒子在有界匀强磁场中的运动

专题强化一　直线边界

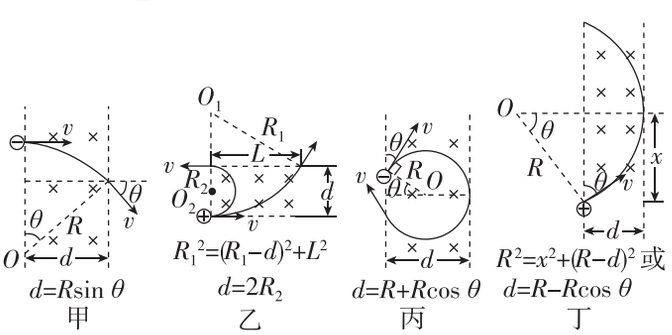
[模型建构]

1. 直线边界

从某一直线边界射入的粒子再从这一边界射出时，速度与边界的夹角相等，如图所示.



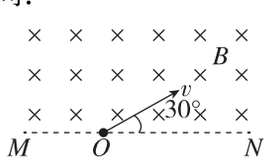
2. 平行边界（存在临界条件，如图所示）



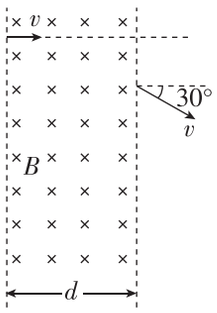
例 1 如图所示，直线 MN 上方为磁感应强度为 B 的足够大的匀强磁场，一质量为 m、电荷量为 e 的电子（不计重力）从 O 点以方向与 MN 成 30°角的速度 v 射入磁场中，求：

（1）电子从磁场中射出时距 O 点的距离；

（2）电子在磁场中运动的时间.



例 2 如图所示，一质量为 m、带电荷量为 q 的粒子（不计重力）以速度 v 垂直射入一有界匀强磁场区域内，速度方向跟磁场左边界垂直，从右边界离开磁场时速度方向偏转角 $\theta=30°$，磁场区域的宽度为 d，则下列说法中正确的是 （ ）



A. 该粒子带正电

B. 磁感应强度 $B=\dfrac{\sqrt{3}mv}{2dq}$

C. 粒子在磁场中做圆周运动的半径 $R=\dfrac{2\sqrt{3}}{3}d$

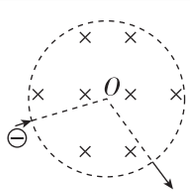
D. 粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{\pi d}{3v}$

[反思感悟]

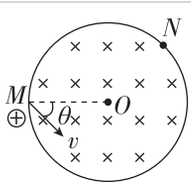
专题强化二　圆弧边界

[模型建构] 在下列两种圆形有界匀强磁场中，如何确定带电粒子做匀速圆周运动的圆心位置？

(1)如图甲所示，电子沿径向以一定速度垂直于磁场方向射入圆形匀强磁场区域并穿出磁场.



甲

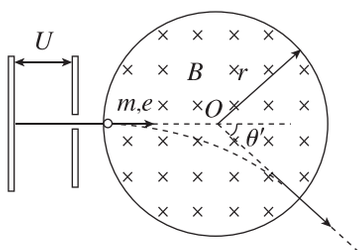


乙

(2)如图乙所示，带正电粒子以一定速度沿与圆半径成 θ 角且垂直于磁场方向射入圆形匀强磁场区域并穿出磁场.

例 3 [2023·北京北师大二附高二期末] 利用电场和磁场控制电子的运动，在现代科学实验和设备中有广泛应用. 已知电子质量为 m、电荷量为 e，由静止经电压为 U 的加速电场加速后射出.

电视机显像管是利用磁场来控制电子的运动，若电子从加速电场射出后沿直径方向进入半径为 r 的圆形磁场区域，该磁场的磁感应强度大小为 B、方向垂直纸面向里，如图所示，设电子射出磁场时的速度方向与射入时相比偏转了 θ' 角，请推导 $\tan\dfrac{\theta'}{2}$ 的表达式.



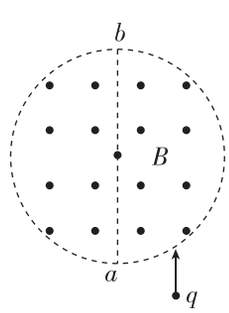
例 4 [2024·北京四中高二月考] 如图所示，半径为 R 的圆是一圆柱形匀强磁场区域的横截面（纸面），磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外. 一电荷量为 $q(q>0)$、质量为 m 的粒子（不计重力）沿平行于直径 ab 的方向射入磁场区域，入射点与 ab 的距离为 $\dfrac{R}{2}$，已知粒子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为 60°，则粒子的速率为 （ ）

A. $\dfrac{qBR}{2m}$

B. $\dfrac{qBR}{m}$

C. $\dfrac{3qBR}{2m}$

D. $\dfrac{2qBR}{m}$



带电粒子在有界磁场中运动的临界与多解问题

1. 带电粒子在有界匀强磁场中运动的临界问题

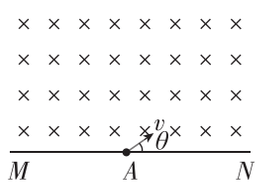
这类题目中往往含有“最大”“最高”“至少”“恰好”等词语，关键是从轨迹入手找准临界状态及其条件.

(1)当粒子的入射方向不变而速度大小可变时，由于半径不确定，可从轨迹圆的缩放中发现临界点.

(2)当粒子的入射速度大小确定而方向不确定时，轨迹圆大小不变，只是位置绕入射点发生了旋转，可从确定圆的动态旋转中发现临界点.

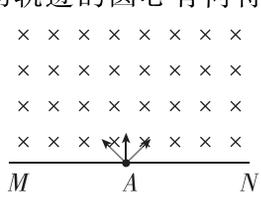
[**模型建构**] 质量为 m、电荷量为 $+q$(重力不计)的带电粒子从 A 点垂直射入匀强磁场，磁场的磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向里，MN 是一块足够大的挡板.

(1)如图甲所示，若发射粒子的速度方向不变、大小变化，试着画出几条不同速率下粒子运动的轨迹. 这些运动轨迹的圆心有何联系？



甲

(2)如图乙所示，若可从 A 点向挡板上方任意方向发射粒子，但速度大小 v 不变，试通过画图判断粒子能射到挡板上的范围. 不同入射方向的粒子运动轨迹的圆心有何特点？



乙

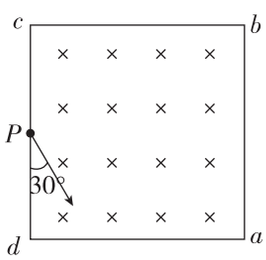
示例 1 如图所示，边长为 L 的正方形 $abcd$ 区域内分布磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向里的匀强磁场. 从 cd 边的中点 P 处发射速率不同、质量为 m、电荷量为 q 的带正电的粒子，粒子沿纸面与 Pd 成 $30°$ 角的方向射入该磁场区域，不计粒子的重力及粒子间的相互作用. 已知某一速率的粒子恰好能从 bc 边离开磁场，则该粒子入射的速度大小是 (　　)

A. $\dfrac{qBL}{3m}$

B. $\dfrac{qBL}{4m}$

C. $\dfrac{3qBL}{m}$

D. $\dfrac{4qBL}{m}$



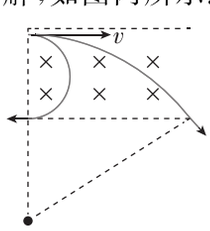
[**反思感悟**]

2. 带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题

带电粒子在匀强磁场中运动形成多解的常见情况如下：

(1)临界状态不唯一形成多解.

带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时，由于粒子运动的轨迹是圆弧，因此它可能穿过去，也可能转过 $180°$ 从入射界面这边反向飞出，从而形成多解，如图丙所示.

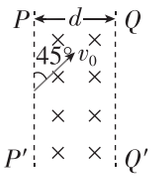


丙

(2)运动的往复性形成多解.

带电粒子在部分是电场、部分是磁场的空间中运动时,运动往往具有往复性,从而形成多解.

示例 2 (多选)如图所示,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,方向垂直于纸面向里,一个质量为 m、电荷量为 q 的粒子(不计重力)从 PP'边界的某处沿图示方向以速度 v_0 垂直于磁场方向射入磁场,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. $\dfrac{qBd}{m}$

B. $\dfrac{(2+\sqrt{2})qBd}{m}$

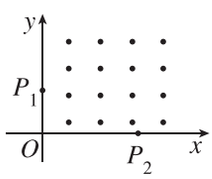
C. $\dfrac{(2-\sqrt{2})qBd}{m}$

D. $\dfrac{\sqrt{2}qBd}{2m}$

[反思感悟]

随堂巩固

1. (直线边界)如图所示,在平面坐标系 xOy 的第一象限内,存在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场.一带正电的粒子,沿 x 轴正方向以速度 v_0 从 y 轴上的点 $P_1(0,a)$射入磁场,从 x 轴上的点 $P_2(2a,0)$射出磁场,不计粒子受到的重力,则粒子的比荷为 (　)



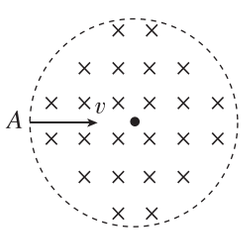
A. $\dfrac{v_0}{5aB}$

B. $\dfrac{2v_0}{5aB}$

C. $\dfrac{3v_0}{5aB}$

D. $\dfrac{4v_0}{5aB}$

2. (圆弧边界)如图所示,在虚线所围的圆形区域内有方向垂直圆面向里的匀强磁场,从边缘 A 点处有一束速率各不相同的质子沿半径方向射入磁场区域,这些质子在磁场中运动的过程中,下面说法中正确的是 (　)



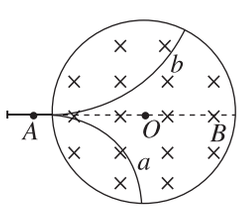
A. 运动时间越长的,其轨迹也越长

B. 运动时间越长的,其轨迹所对的圆心角越小

C. 运动时间越长的,射出磁场时的速率也越大

D. 运动时间越长的,射出磁场时速度方向偏转也越大

3. (圆弧边界)(多选)[2026·北京一六一中学高二月考] 如图所示,在一个圆形区域内有垂直于圆平面的匀强磁场,现有两个质量相等、所带电荷量大小也相等的带电粒子 a 和 b,先后以不同的速率从圆边沿的 A 点对准圆形区域的圆心 O 射入圆形磁场区域,它们穿过磁场区域的运动轨迹如图所示.粒子之间的相互作用力及所受重力和空气阻力均可忽略不计,下列说法中正确的是 (　)



A. a、b 两粒子所带电荷的电性一定不同

B. 射入圆形磁场区域时 a 粒子的速率较大

C. 穿过磁场区域的过程洛伦兹力对 a 做功较多

D. 穿过磁场区域的过程 a 粒子运动的时间较长