



导学案★

主编  
肖德好

全品

学  
练  
考

高中物理

选择性必修第二册 RJ

细分课时

分层设计

夯实基础

突出重点

天津出版传媒集团  
天津人民出版社

# 目录 Contents

## 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	导 109
习题课:安培力的应用	导 111
2 磁场对运动电荷的作用力	导 115
3 带电粒子在匀强磁场中的运动	导 119
专题课:带电粒子在有界磁场中的运动	导 122
专题课:带电粒子在有界磁场中的临界问题与多解问题	导 125
4 质谱仪与回旋加速器	导 128
专题课:洛伦兹力与现代科技	导 131
专题课:带电粒子在组合场中的运动	导 135
专题课:带电粒子(带电体)在叠加场中的运动	导 138

## 02 第二章 电磁感应

PART TWO

1 楞次定律	导 141
习题课:楞次定律的应用	导 144
2 法拉第电磁感应定律	导 146
专题课:电磁感应中的电路与电荷量问题	导 149
专题课:电磁感应中的图像问题	导 152
3 涡流、电磁阻尼和电磁驱动	导 155
专题课:电磁感应中的动力学和能量问题	导 159
专题课:电磁感应与动量的综合应用	导 163
4 互感和自感	导 166

---

## 03 第三章 交变电流

PART THREE

- 1 交变电流 导 170
- 2 交变电流的描述 导 173
- 3 变压器 导 176
  - 第 1 课时 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系 导 176
  - 第 2 课时 理想变压器的规律及其应用 导 179
- 4 电能的输送 导 182

## 04 第四章 电磁振荡与电磁波

PART FOUR

- 1 电磁振荡 导 185
- 2 电磁场与电磁波 导 185
- 3 无线电波的发射和接收 导 188
- 4 电磁波谱 导 188

## 05 第五章 传感器

PART FIVE

- 1 认识传感器 导 191
- 2 常见传感器的工作原理及应用 导 191
- 3 利用传感器制作简单的自动控制装置 导 194

◆ 参考答案

导 197

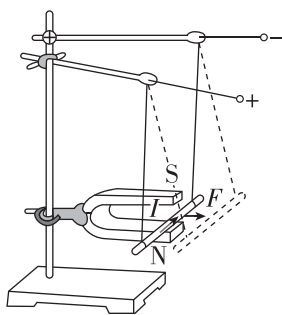
## 1 磁场对通电导线的作用力

### 学习任务一 安培力的方向

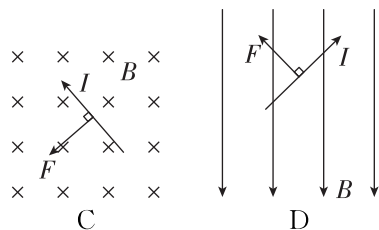
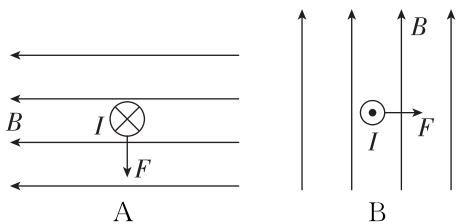
[科学探究] 按照如图所示进行实验.

(1) 上下交换磁铁磁极的位置\_\_\_\_\_改变磁场方向, 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.



**例 1** 如图所示的磁感应强度  $B$ 、电流  $I$  和磁场对电流的作用力  $F$  三者方向的相互关系中正确的是 ( )



[反思感悟]

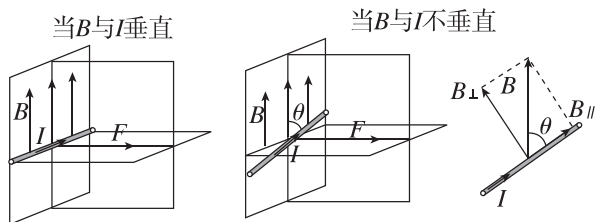
[要点总结]

- 安培力  $F$  的方向既与磁场方向垂直, 又与通电导线垂直, 即  $F$  跟  $B$ 、 $I$  所在的面垂直. 但  $B$  与  $I$  的方向不一定垂直.
- 当电流方向跟磁场方向不垂直时, 仍可用左手定则来判定安培力的方向, 要让磁感线穿过掌心 (注意: 不一定垂直穿过掌心).

### 学习任务二 安培力大小的计算

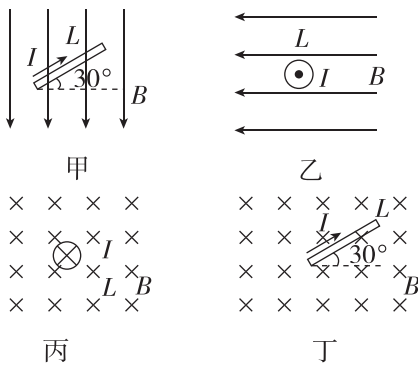
[物理观念] 长为  $l$  的一段直导线放在匀强磁场中, 磁感应强度为  $B$ , 通以大小为  $I$  的电流, 当导线按以下三种方式放置时, 所受磁场的作用力分别是多大?

- 导线和磁场垂直放置时,  $F_{安} =$  \_\_\_\_\_;
- 导线和磁场平行放置时,  $F_{安} =$  \_\_\_\_\_;
- 导线和磁场成  $\theta$  角放置时,  $F_{安} =$  \_\_\_\_\_. 注: 此式为安培力的通式.



**例 2** [2024·山西太原一中月考] 如图所示四种情况中, 匀强磁场的磁感应强度大小相等, 载流导体的长度相同, 通过的电流大小也相同, 导体受到的磁场力最大且方向沿着纸面的是 ( )

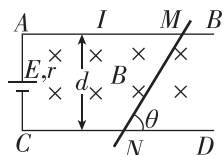
- A. 甲、乙                      B. 甲、丙  
C. 乙、丁                      D. 乙、丙



[反思感悟]

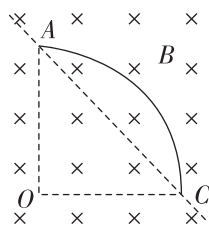
**变式 1** 如图所示, 导线框中电流为  $I$ , 导线框垂直于磁场放置, 磁感应强度为  $B$ ,  $AB$  与  $CD$  相距为  $d$ , 则  $MN$  所受安培力大小为 ( )

- A.  $IdB$   
B.  $IdB \sin \theta$   
C.  $\frac{IdB}{\sin \theta}$   
D.  $IdB \cos \theta$



**例 3** (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

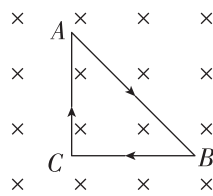


[反思感悟]

**变式 2** 通电闭合直角三角形线框  $ABC$  处在水平方向的匀强磁场中, 磁场方向垂直于线框平面向里, 线

框的  $BC$  边水平, 线框中电流方向如图所示, 那么该线框受到的安培力的合力 ( )

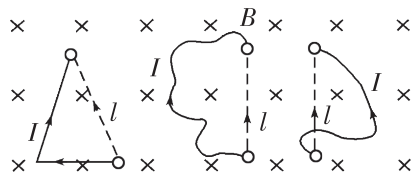
- A. 方向水平向左  
 B. 方向竖直向下  
 C. 方向垂直于  $AB$  斜向上  
 D. 为零



[反思感悟]

**【要点总结】**

公式  $F = I l B \sin \theta$  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.



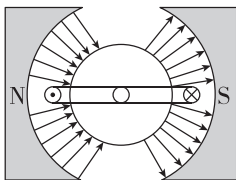
### 学习任务三 磁电式电表的工作原理

[教材链接] 阅读教材, 回答下列问题:

- (1) 当电流通过线圈时, 线圈因为受到\_\_\_\_\_力而发生转动.  
 (2) 线圈\_\_\_\_\_可以说明被测电流的强弱.

**例 4** [2024·山西大同一中月考] 磁电式电流表的线圈放在磁体的两极间, 磁体产生辐向分布的磁场(如图所示), 线圈的左右两边所在处的磁感应强度大小都相等, 当线圈中通有图示方向的电流时 ( )

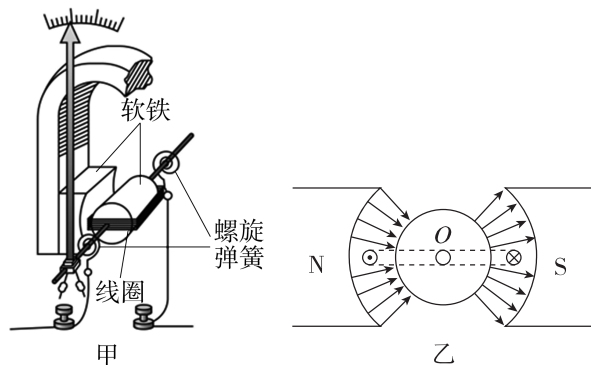
- A. 线圈左边受到向上的安培力, 右边受到向下的安培力  
 B. 线圈左、右两边受到的安培力方向相同  
 C. 线圈转到不同位置时受到的安培力大小不同  
 D. 当线圈中的电流方向发生变化时, 线圈的转动方向并不变



**变式 3** 如图甲所示为某磁电式电流表的原理图, 蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀辐向分布, 其磁感应强度

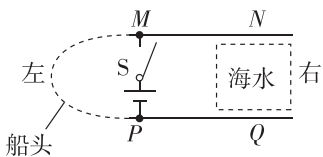
的大小处处相等, 都为  $B$ , 一边长为  $L$  的正方形线圈处在磁场中, 方向如图乙所示, 当通有大小为  $I$  的电流时, 下列说法正确的是 ( )

- A. 由于磁感应强度的大小处处相同, 则该磁场为匀强磁场  
 B. 穿过正方形线圈的磁通量大小为  $BL^2$   
 C. 正方形线圈的左边导线受到大小为  $BIL$ 、方向向上的安培力  
 D. 正方形线圈的右边导线受到大小为  $BIL$ 、方向向上的安培力



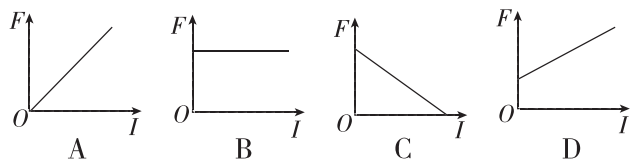
## // 随堂巩固 //

1. (安培力的方向)[2024·广东深圳中学月考] 如图所示为一种新型的电磁船的俯视图,  $MN$ 、 $PQ$  为固定在船上的竖直平行金属板, 直流电源接在  $M$ 、 $P$  之间, 船上装有产生强磁场的装置, 可在两平行金属板间海水中的虚线框内产生强磁场. 闭合开关  $S$  后, 电流通过海水从  $N$  流向  $Q$ , 若船受到海水的反作用力方向向左运动, 则虚线框中的磁场方向应该 ( )

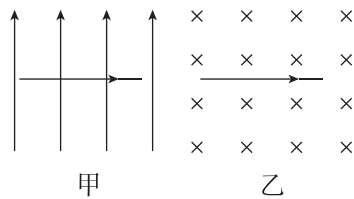


- A. 竖直向下                      B. 竖直向上  
C. 水平向左                      D. 水平向右

2. (安培力的大小) 在匀强磁场中放置一条直导线, 导线与磁场方向垂直, 则导线受到的安培力  $F$  的大小与通过导线的电流  $I$  的关系图像正确的是 ( )

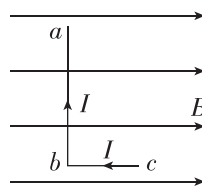


3. (安培力的大小和方向) 如图所示, 通有恒定电流的两个导体分别水平放置在两个范围无穷大的匀强磁场中, 磁场方向如图所示, 将导体在纸面内顺时针转  $180^\circ$ , 关于甲、乙两种情况下导体受到的安培力大小和方向变化, 下列说法正确的是 ( )



- A. 甲图中导体受到的安培力大小一直在变, 方向不变; 乙图中导体受到的安培力大小一直不变, 方向一直在变  
B. 甲图中导体受到的安培力大小一直在变, 方向变化一次; 乙图中导体受到的安培力大小一直不变, 方向一直在变  
C. 甲、乙两种情况下导体受到的安培力大小一直不变, 方向一直在变  
D. 甲、乙两种情况下导体受到的安培力大小一直在变, 方向一直不变

4. (安培力大小的计算)[2023·江苏卷] 如图所示, 匀强磁场的磁感应强度为  $B$ .  $L$  形导线通以恒定电流  $I$ , 放置在磁场中. 已知  $ab$  边长为  $2l$ , 与磁场方向垂直,  $bc$  边长为  $l$ , 与磁场方向平行. 该导线受到的安培力为 ( )



- A. 0                      B.  $I l B$                       C.  $2 I l B$                       D.  $\sqrt{5} I l B$

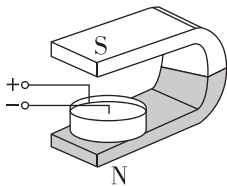
## 习题课: 安培力的应用

### 学习任务一 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.

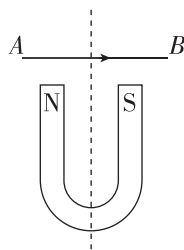
[科学探究] 在玻璃器皿的中心放一个圆柱形的电极, 沿边缘内壁放一个圆环形电极, 把它们分别与电池的两极相连, 然后再在玻璃器皿中放入导电液体, 例如盐水, 若把玻璃器皿放在磁场中, 如图所示, 那么



从上往下看, 液体沿 \_\_\_\_\_ (选填“顺时针”或“逆时针”) 方向转动.

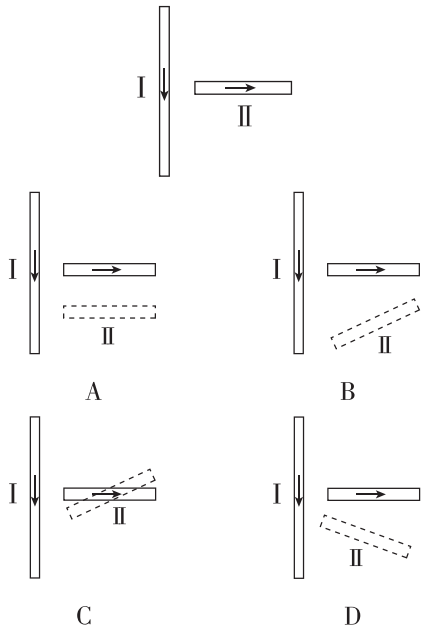
**例 1** 如图所示, 把一重力不计的通电直导线  $AB$  水平放在蹄形磁铁磁极的正上方, 导线可以在空间内自由运动. 当导线通以图示方向电流  $I$  时, 导线的运动情况是(从上往下看) ( )

- 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] \_\_\_\_\_

**变式 1** [2024·河北石家庄期末] 如图所示,导体棒 I 固定在光滑的水平面内,导体棒 II 垂直于导体棒 I 放置,且可以在水平面内自由移动. 给导体棒 I、II 通以如图所示的恒定电流,仅在两导体棒之间的相互作用下,较短时间内导体棒 II 所在位置用虚线表示,则导体棒 II 的位置可能正确的是 ( )



[反思感悟]

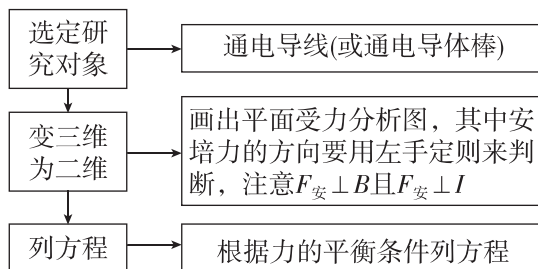
**【要点总结】**

安培力作用下导体运动方向判断的方法

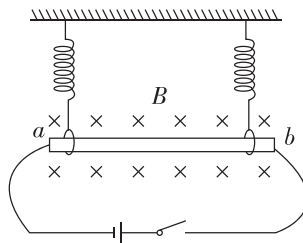
电流元法	每段电流元所受安培力方向→整段导体所受合力方向→运动方向
特殊位置法	在特殊位置→安培力方向→运动方向
等效法	(1) 环形电流 ↔ 小磁针(小磁铁) (2) 通电螺线管 ↔ 多个环形电流(条形磁铁)
结论法	(1) 两平行电流之间无相对转动趋势, 但同向电流相对靠近, 反向电流相互远离; (2) 两不平行电流之间有转动到平行且电流方向相同的趋势

## 学习任务二 安培力作用下的平衡问题

[科学思维] 求解安培力作用下导体的平衡问题的基本思路:

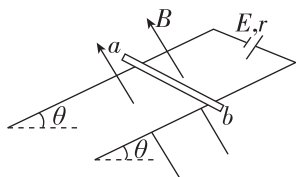


**例 2** 如图所示, 一长为 10 cm 的金属棒  $ab$  用两个完全相同的弹簧水平地悬挂在匀强磁场中, 磁场的磁感应强度大小为 0.1 T, 方向垂直于纸面向里, 弹簧上端固定, 下端通过绝缘环与金属棒连接. 金属棒通过开关与一电动势为 12 V 的电池相连, 电路总电阻为 2  $\Omega$ . 已知开关断开时两弹簧的伸长量均为 0.5 cm, 闭合开关, 系统重新平衡后, 两弹簧的伸长量与开关断开时相比均改变了 0.3 cm, 重力加速度  $g$  取 10  $\text{m/s}^2$ . 判断开关闭合后金属棒所受安培力的方向, 并求出金属棒的质量.

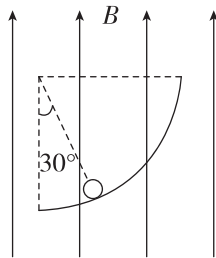


**例 3** 如图所示,两平行金属导轨间的距离为  $l=0.40\text{ m}$ ,金属导轨所在的平面与水平面夹角为  $\theta=37^\circ$ .导轨所在平面内分布着磁感应强度  $B=0.50\text{ T}$ 、方向垂直于导轨所在平面的匀强磁场,金属导轨的上端接有电动势  $E=4.5\text{ V}$ 、内阻  $r=0.5\ \Omega$  的直流电源.现把一个质量  $m=0.04\text{ kg}$  的导体棒  $ab$  放在金属导轨上,导体棒恰好静止.导体棒与金属导轨垂直且接触良好,导体棒与金属导轨接触的两点间的电阻  $R_0=2.5\ \Omega$ ,金属导轨电阻不计, $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ .已知  $\sin 37^\circ=0.60$ , $\cos 37^\circ=0.80$ ,求:

- (1)通过导体棒的电流;
- (2)导体棒受到的安培力;
- (3)导体棒受到的摩擦力.



**变式 2** [2024·山东济南期末] 质量为  $m$ 、长为  $l$  的直导体棒放置于四分之一光滑圆弧轨道上,整个装置处于竖直向上的磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中,直导体棒中通有恒定电流,平衡时导体棒和圆弧圆心的连线与竖直方向成  $30^\circ$  角,其截面图如图所示,重力加速度为  $g$ ,则导体棒中电流方向、大小分别为 ( )



- A. 垂直于纸面向外,  $\frac{\sqrt{3}mg}{3Bl}$
- B. 垂直于纸面向里,  $\frac{\sqrt{3}mg}{3Bl}$
- C. 垂直于纸面向外,  $\frac{\sqrt{3}mg}{2Bl}$
- D. 垂直于纸面向里,  $\frac{\sqrt{3}mg}{2Bl}$

[反思感悟]

### 【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.

立体图			
平面图			



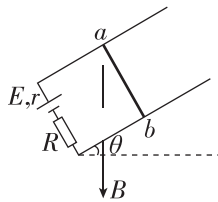
## 学习任务三 安培力作用下导体的加速问题

### [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 4** 如图所示,光滑的平行导轨倾角为  $\theta$ 、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

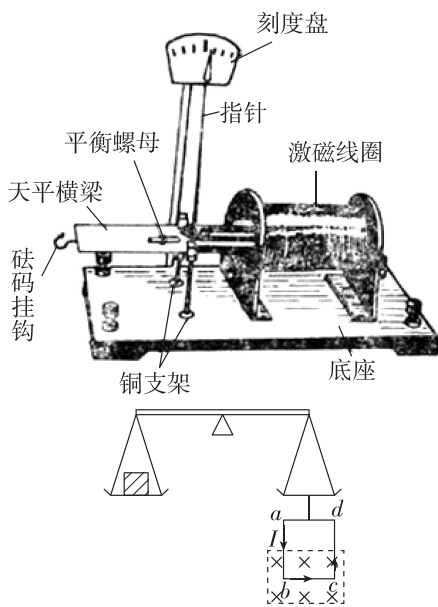
沿导轨向下运动,导体棒与导轨垂直且接触良好,求导体棒在释放瞬间的加速度大小.(重力加速度为  $g$ )



### | 素养提升 |

#### 电流天平的原理和应用

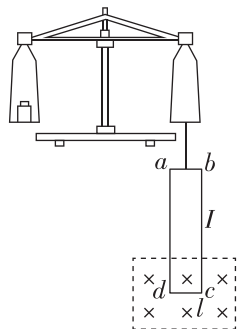
电流天平是根据等臂杠杆的原理制成的,可以用来测量导线在磁场中受到的安培力和磁场的磁感应强度.如图所示是它的原理示意图,天平左盘放砝码,右盘下悬挂线框,线框处于磁场中.当线框没有通电时,天平处于平衡状态.



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上,从而使天平平衡被破坏.通过在右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.

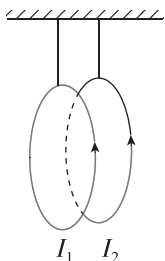
**示例** [教材改编] 如图所示为电流天平示意图,可以用来测量匀强磁场的磁感应强度.它的右盘下挂着矩形线框,匝数为  $n$ ,线框的  $dc$  边水平,且长为  $l$ ,处于匀强磁场内,磁感应强度  $B$  的方向垂直于线框平面向里.当线框中通有电流  $I$  时,调节砝码使两臂达到平衡.然后使电流反向,大小不变.这时需要在左盘中增加质量为  $m$  的砝码,才能使两臂再次达到平衡,重力加速度  $g$  取  $9.8 \text{ m/s}^2$ .

- (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  $n=9$ ,  $l=10.0 \text{ cm}$ ,  $I=0.10 \text{ A}$ ,  $m=8.78 \text{ g}$  时,磁感应强度是多大?



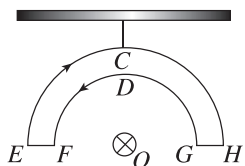
## // 随堂巩固 //

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

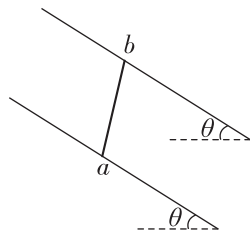
2. (安培力作用下导体的运动情况)[2024·天津一中月考] 如图所示,用绝缘细线悬挂一个导线框,导线框是由两同心半圆弧导线和在同一条水平直线上的直导线  $EF$ 、 $GH$  连接而成的闭合回路,导线框中通有图示方向的电流,处于静止状态.在半圆弧导线的圆心处沿垂直于导线框平面的方向放置一根长直导线  $O$ .当  $O$  中通以垂直纸面方向向里的电流时 ( )



- A. 导线框保持静止状态
- B. 长直导线  $O$  产生的磁场方向沿着电流方向看为逆时针方向
- C. 半圆弧导线  $ECH$  受的安培力大于半圆弧导线  $FDG$  受的安培力
- D. 从上往下看,导线框将顺时针转动

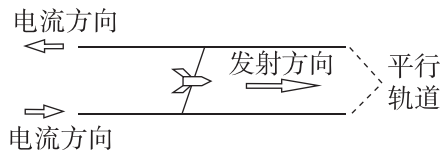
3. (安培力作用下导体的平衡问题)如图所示,间距为  $L$  的足够长的平行光滑金属导轨所在平面与水平面之

间的夹角为  $\theta$ ,匀强磁场的方向沿竖直方向,磁感应强度大小为  $B$ .将一根长为  $l$ 、质量为  $m$  的导体棒垂直放置在导轨上,导体棒中通以方向从  $a$  向  $b$  的电流,此时导体棒静止在导轨上,重力加速度为  $g$ ,则下列说法正确的是 ( )



- A. 匀强磁场的方向竖直向下
- B. 导体棒所受的安培力方向竖直向上
- C. 导体棒中的电流大小为  $\frac{mg}{Bl \tan \theta}$
- D. 其他条件不变,仅电流方向突然反向,则导体棒可能继续保持静止

4. (安培力作用下导体的平衡问题)[2024·湖南长沙期末] 电磁炮是利用电磁发射技术制成的一种先进的动能杀伤武器.如图所示为某试验采用的电磁轨道,该轨道长  $7.5 \text{ m}$ ,宽  $1.5 \text{ m}$ .现发射质量为  $50 \text{ g}$  的炮弹从轨道左端由静止开始加速,当回路中的电流恒为  $20 \text{ A}$  时,最大速度可达  $3 \text{ km/s}$ .轨道间所加磁场为匀强磁场,不计空气及摩擦阻力.下列说法正确的是 ( )

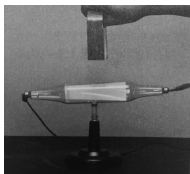


- A. 磁场方向为竖直向下
- B. 磁场方向为水平向右
- C. 磁感应强度的大小为  $10^3 \text{ T}$
- D. 电磁炮的加速度大小为  $3 \times 10^5 \text{ m/s}^2$

## 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?

---



---

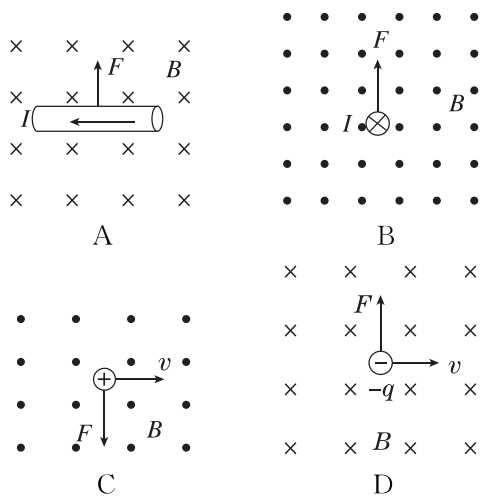


---



---

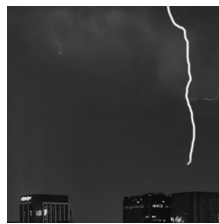
**例 1** [2024·湖南长沙一中月考] 如图所示, 通电导线所受安培力或运动电荷所受洛伦兹力示意图正确的是 ( )



[反思感悟]

**变式 1** [2024·辽宁沈阳期末] 雷雨天气会经常发生闪电击中建筑物的情况. 假设发生闪电的云层带负电, 则在闪电瞬间, 在中国北方建筑物受到地磁场的

在水平方向的作用力方向是 ( )



- A. 向西                      B. 向南  
C. 向东                      D. 向北

[反思感悟]

**【要点总结】**

- 洛伦兹力的方向总是与电荷运动的方向和磁场的方向垂直, 即洛伦兹力的方向总是垂直于运动电荷的速度方向和磁场方向确定的平面.  $F$ 、 $B$ 、 $v$  三个量的方向关系是:  $F \perp B$ ,  $F \perp v$ , 但  $B$  与  $v$  不一定垂直.
- 用左手定则判定负电荷在磁场中运动所受的洛伦兹力方向时, 应注意将四指指向负电荷运动的反方向.
- 使用左手定则时让磁感线穿过手心 (不一定垂直穿过).

## 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.

---

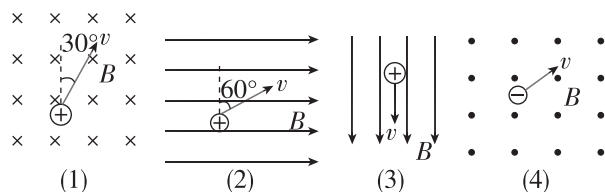


---



---

**例 2** 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.



**例 3** 某区域存在一竖直向上的匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为  $1.2 \times 10^{-3} \text{ T}$ ;动能为  $5.3 \text{ MeV}$  的质子由南向北水平通过磁场区域,则质子受到的洛伦兹力的大小和方向如何?(质子质量为  $1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ,带电荷量为  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ ,忽略地球磁场)

**【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:  $F = qvB \sin \theta$ ,  $\theta$  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 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?

---

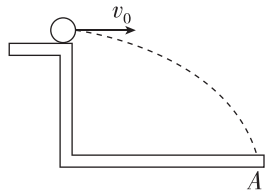


---



---

**例 4** [2024·山东青岛二中月考] 如图所示,在竖直绝缘的平台上,一个带少量正电荷的小球以水平速度  $v_0$  抛出,落在地面上的 A 点.若加一垂直于纸面向里的匀强磁场,则小球的落点 ( )

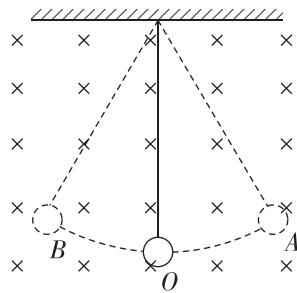


- A. 仍在 A 点
- B. 在 A 点左侧
- C. 在 A 点右侧
- D. 无法确定

[反思感悟]

---

**变式 2** (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 ( )



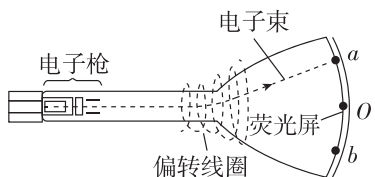
- A. 小球的动能相同
- B. 细线所受的拉力相同
- C. 小球所受的洛伦兹力相同
- D. 小球的向心加速度大小相同

**【要点总结】**

洛伦兹力的方向随电荷运动方向的变化而变化,但无论怎样变化,洛伦兹力都与运动方向垂直,故洛伦兹力永不做功,它只改变电荷运动方向,不改变电荷速度大小.注意在进行受力分析时,不要漏掉洛伦兹力.

**学习任务四 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.



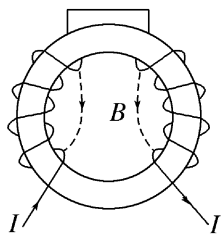
(1)要使电子束偏离中心 O,打在荧光屏上的 a 点,偏转磁场应该沿 \_\_\_\_\_ 方向.

(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 \_\_\_\_\_.

---

**例 5** 如图所示为电视机显像管偏转线圈的示意图,当线圈中通以图示方向的直流电流时,形成的磁场如图所示,一束沿着管径轴线射



- 向纸内的电子将 ( )
- A. 向上偏转  
B. 向下偏转  
C. 向左偏转  
D. 向右偏转

[反思感悟]

【要点总结】

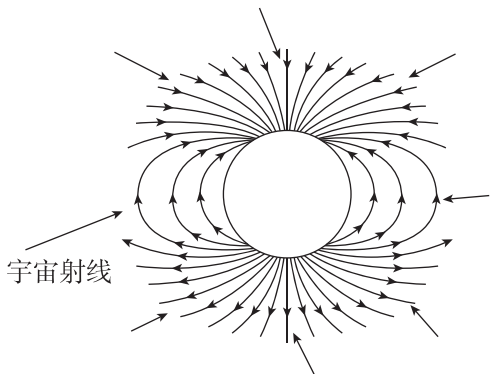
磁偏转:带电粒子在磁场中受到洛伦兹力的作用时,由于洛伦兹力与运动电荷的速度垂直,会不断改变电荷的运动方向,因此可以利用磁场控制带电粒子的运动方向.把利用磁场改变带电粒子运动方向的现象称为磁偏转.

## | 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、 $\alpha$ 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  $2000 \text{ km/s}$  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.

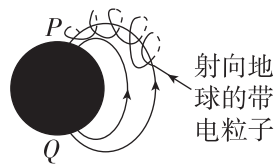


- (1) 对于垂直射向地面的宇宙射线,赤道和两极相比,哪个区域的地磁场阻挡效果更好?
- (2) 若赤道上空某处的磁感应强度大小为  $1.1 \times 10^{-4} \text{ T}$ ,有一速率为  $5.0 \times 10^5 \text{ m/s}$ 、电荷量为  $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$  的质子竖直向下运动穿过此处的地

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 3** [2024·天津南开中学月考] 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

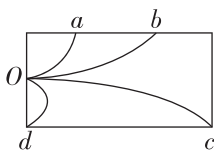
## // 随堂巩固 //

1. (洛伦兹力的理解)关于洛伦兹力,下列说法正确的是 ( )

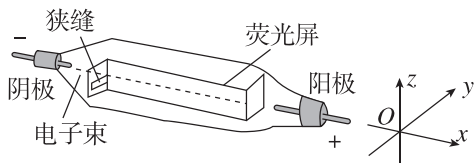
- A. 洛伦兹力方向与磁场方向一定平行
- B. 洛伦兹力方向与磁场方向一定垂直
- C. 运动电荷在磁感应强度不为零的地方,一定受洛伦兹力作用
- D. 运动电荷在某处不受洛伦兹力作用,该处的磁感应强度一定为零

2. (洛伦兹力的方向)带电粒子(重力不计)穿过饱和蒸汽时,在它走过的路径上饱和蒸汽便凝成小液滴,从而显示粒子的径迹,这是云室的原理. 如图所示是云室原理的示意图,云室中加了垂直于纸面向外的匀强磁场(未画出),图中  $Oa$ 、 $Ob$ 、 $Oc$ 、 $Od$  是从  $O$  点发出的四种粒子的径迹,下列说法中正确的是 ( )

- A. 四种粒子都带正电
- B. 四种粒子都带负电
- C. 打到  $a$ 、 $b$  点的粒子带正电
- D. 打到  $c$ 、 $d$  点的粒子带正电

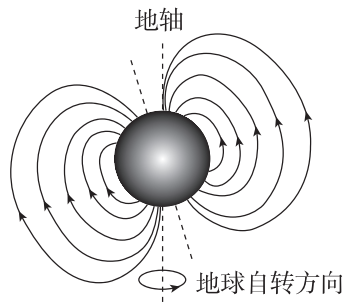


3. (洛伦兹力的方向)[2024·浙江杭州期末] 在利用电子射线管探究洛伦兹力的方向实验中,接通电源后,电子射线由阴极沿  $+x$  轴方向射出,在荧光屏上会看到一条亮线. 现要使亮线往下偏,所加磁场方向应沿 ( )



- A.  $-y$  轴
- B.  $+y$  轴
- C.  $+z$  轴
- D.  $-z$  轴

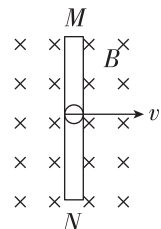
4. (洛伦兹力的特点)(多选)[2024·福建厦门一中月考] 中国宋代科学家沈括在《梦溪笔谈》中最早记载了地磁偏角:“以磁石磨针锋,则能指南,然常微偏东,不全南也”. 研究表明:鸽子利用体内所含有的微量强磁性物质在地磁场中所受的作用力来帮助它辨别方向. 关于鸽子识途与地磁场,下列说法正确的是 ( )



- A. 若在鸽子的身上绑一块磁感应强度比地磁场更强的磁体材料,鸽子会迷失方向
- B. 若在鸽子的身上绑一块磁感应强度比地磁场更强的磁体材料,鸽子更容易辨别方向
- C. 地磁场一定不会对运动的带电粒子做功
- D. 地球表面任意位置的地磁场方向都与地面平行

5. (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为  $B$ ,下列说法正确的是 ( )

- 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  $euB$



## 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

[物理观念] 如果沿着与磁场垂直的方向发射一带电粒子(带电粒子的重力忽略不计),则:

- (1)粒子\_\_\_\_\_ (选填“一定”或“不一定”)在与磁场垂直的平面内运动.
- (2)粒子在磁场中做\_\_\_\_\_ 运动,判断的依据是什么?

---



---



---



---

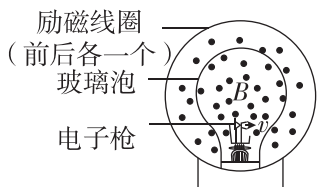
- 例 1** [2024·北京四中月考] 一质子在匀强磁场中运动, 不考虑重力作用, 下列说法正确的是 ( )
- A. 可能做匀变速直线运动  
B. 可能做匀变速曲线运动  
C. 可能做匀速直线运动  
D. 只能做匀速圆周运动

**【要点总结】**

1. 若  $v \parallel B$ , 则带电粒子以速度  $v$  做匀速直线运动. (此情况下洛伦兹力  $F=0$ )
2. 若  $v \perp B$ , 则带电粒子在垂直于磁感线的平面内做匀速圆周运动.

**学习任务二 带电粒子在磁场中做圆周运动的半径和周期**

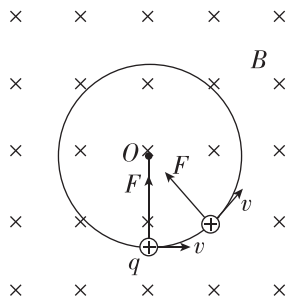
[科学探究] 如图所示, 可用洛伦兹力演示仪观察带电粒子在匀强磁场中的运动轨迹.



- (1) 不加磁场时, 电子束的运动轨迹为 \_\_\_\_\_.
- (2) 加上磁场时, 电子束的运动轨迹为 \_\_\_\_\_.
- (3) 如果保持出射电子的速度不变, 增大磁感应强度, 轨迹圆的半径将 \_\_\_\_\_; 如果保持磁感应强度不变, 增大出射电子的速度, 轨迹圆的半径将 \_\_\_\_\_.

[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  $F = m \frac{v^2}{r}$ , 联立得匀速圆周运动的轨道半径  $r = \frac{mv}{qB}$ . 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.



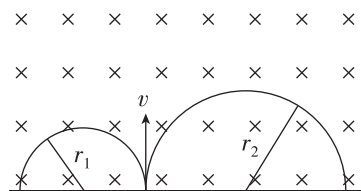
- (2) 匀速圆周运动的轨道半径  $r = \frac{mv}{qB}$ , 周期  $T = \frac{2\pi r}{v}$ , 联立得  $T = \frac{2\pi m}{qB}$ . 从公式可以看出周期由磁感应强度和粒子的比荷决定, 而与粒子的速度和轨道半径无关.

**例 2** 在匀强磁场中, 一个带电粒子做匀速圆周运动, 若该粒子又垂直于磁场方向进入另一磁感应强度是原来一半的匀强磁场, 则 ( )

- A. 粒子的速率加倍, 周期减半  
B. 粒子的速率不变, 轨迹半径减半  
C. 粒子的速率不变, 周期变为原来的 2 倍  
D. 粒子的速率减半, 轨迹半径变为原来的 2 倍

**[反思感悟]**

**变式 1** [2024·河北石家庄期末] 一束带电粒子以同一速度  $v$  从同一位置进入匀强磁场, 在磁场中它们的轨迹如图所示. 若粒子 A 的轨迹半径为  $r_1$ , 粒子 B 的轨迹半径为  $r_2$ , 且  $r_2 = 2r_1$ ,  $q_1$ 、 $q_2$  分别是它们带的电荷量,  $m_1$ 、 $m_2$  分别是它们的质量, 则下列分析正确的是 ( )

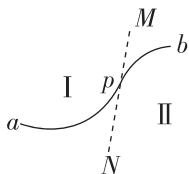


- A. A 带负电、B 带正电, 比荷之比为  $\frac{q_1}{m_1} : \frac{q_2}{m_2} = 1 : 1$
- B. A 带正电、B 带负电, 比荷之比为  $\frac{q_1}{m_1} : \frac{q_2}{m_2} = 1 : 1$
- C. A 带正电、B 带负电, 比荷之比为  $\frac{q_1}{m_1} : \frac{q_2}{m_2} = 2 : 1$
- D. A 带负电、B 带正电, 比荷之比为  $\frac{q_1}{m_1} : \frac{q_2}{m_2} = 2 : 1$

**[反思感悟]**

**变式 2** 如图所示,  $MN$  为区域 I、II 的分界线, 在区域 I 和区域 II 内分别存在着与纸面垂直的匀强磁场, 一带电粒子沿着弧线  $apb$  由区域 I 运动到区域 II. 已知圆弧  $ap$  与圆弧  $pb$  的弧长之比为 2:1, 不计粒子重力, 下列说法正确的是 ( )

- A. 粒子在区域 I 和区域 II 中运动的速率之比为 2:1  
 B. 粒子通过圆弧  $ap$ 、 $pb$  的时间之比为 1:2  
 C. 圆弧  $ap$  与圆弧  $pb$  对应的圆心角之比为 2:1  
 D. 区域 I 和区域 II 的磁场方向相反



[反思感悟]

【要点总结】

1. 分析带电粒子在磁场中的匀速圆周运动, 要紧抓洛伦兹力提供向心力, 即  $qvB = m \frac{v^2}{r}$ .
2. 轨迹半径:  $r = \frac{mv}{qB}$ . 同一粒子在同一磁场中,  $r$  与  $v$  成正比.
3. 周期:  $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ .  $T$  与速度  $v$  无关, 与半径  $r$  无关.

学习任务三 带电粒子在匀强磁场中运动的基本分析思路

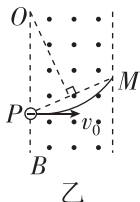
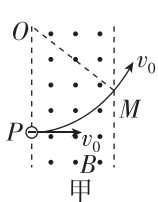
[科学思维]

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).

(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).

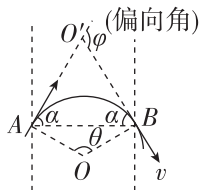


2. 半径的确定

- (1) 由半径公式  $r = \frac{mv}{qB}$  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  $\varphi =$  圆弧所对的圆心角(回旋角)  $\theta =$  弦切角  $\alpha$  的 2 倍.(如图所示)

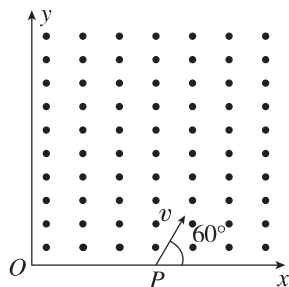


4. 粒子在匀强磁场中运动时间的确定

- (1) 周期一定时, 由圆心角求:  $t = \frac{\theta}{2\pi} \cdot T$ ;
- (2)  $v$  一定时, 由弧长求:  $t = \frac{s}{v} = \frac{\theta R}{v}$ .

**例 3** 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  $60^\circ$  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  $t$ .

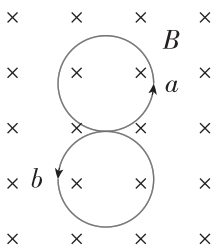




## // 随堂巩固 //

1. (带电粒子在匀强磁场中的运动)(多选)[2021·湖北卷] 一电中性微粒静止在垂直纸面向里的匀强磁场中,在某一时刻突然分裂成  $a$ 、 $b$  和  $c$  三个微粒,

$a$  和  $b$  在磁场中做半径相等的匀速圆周运动,环绕方向如图所示, $c$  未在图中标出. 仅考虑磁场对带电微粒的作用力,下列说法正确的是 ( )

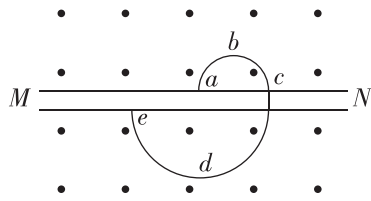


- A.  $a$  带负电荷  
 B.  $b$  带正电荷  
 C.  $c$  带负电荷  
 D.  $a$  和  $b$  的动量大小一定相等

2. (带电粒子在磁场中做圆周运动的半径和周期)(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 ( )

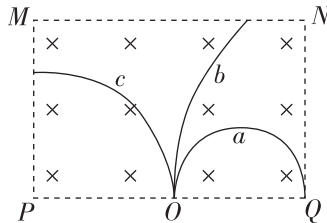
- A. 运动轨迹的半径是 I 中的  $k$  倍  
 B. 加速度的大小是 I 中的  $k$  倍  
 C. 做圆周运动的周期是 I 中的  $k$  倍  
 D. 做圆周运动的角速度与 I 中的相等

3. [2024·湖北武汉期末] (带电粒子在磁场中做圆周运动的半径和周期)  $MN$  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

4. (带电粒子在磁场中做圆周运动)如图所示,在  $MNQP$  中有一垂直于纸面向里的匀强磁场,质量和电荷量都相等的带电粒子  $a$ 、 $b$ 、 $c$  以不同的速率从  $O$  点沿垂直于  $PQ$  的方向射入磁场,图中实线是它们的轨迹. 已知  $O$  是  $PQ$  的中点,不计粒子的重力. 下列说法中正确的是 ( )



- A. 粒子  $c$  带负电,粒子  $a$ 、 $b$  带正电  
 B. 射入磁场时,粒子  $b$  的速率最小  
 C. 粒子  $a$  在磁场中运动的时间最长  
 D. 若匀强磁场的磁感应强度增大,其他条件不变,则粒子  $a$  在磁场中运动的时间不变

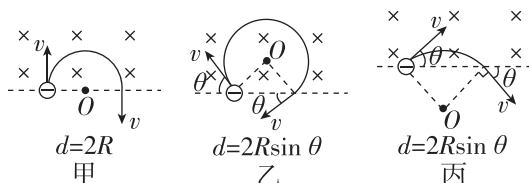
## 专题课：带电粒子在有界磁场中的运动

### 学习任务一 带电粒子在直线有界匀强磁场中运动

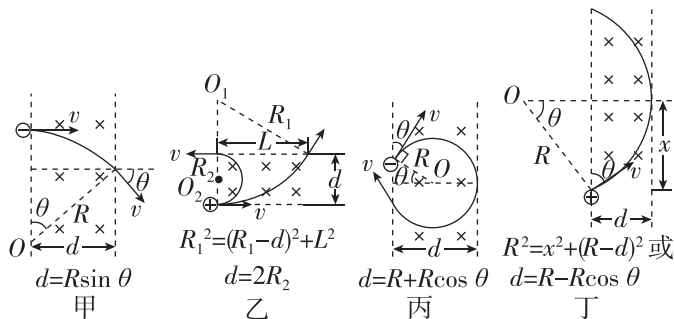
[模型建构]

#### 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).



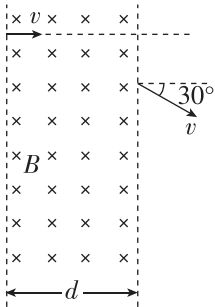
**例 1** 如图所示,一质量为  $m$ 、带电荷量为  $q$  的粒子以速度  $v$  垂直射入一有界匀强磁场区域内,速度方向跟磁场左边界垂直,从右边界离开磁场时速度方向偏转角  $\theta = 30^\circ$ ,磁场区域的宽度为  $d$ ,则下列说法正确的是 ( )

A. 该粒子带正电

B. 磁感应强度  $B = \frac{\sqrt{3}mv}{2dq}$

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

D. 粒子在磁场中运动的时间  $t = \frac{\pi d}{3v}$



[反思感悟]

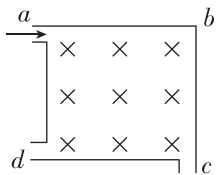
**例 2** (多选)[2024·福建厦门一中月考] 如图所示,正方形容器处于匀强磁场中,一束电子从孔  $a$  垂直于磁场沿  $ab$  方向射入容器中,一部分从  $c$  孔射出,一部分从  $d$  孔射出.若小孔足够小,容器处于真空中,则下列结论中正确的是 ( )

A. 从两孔射出的电子速率之比  $v_c : v_d = 1 : 2$

B. 从两孔射出的电子在容器中运动的时间之比  $t_c : t_d = 1 : 2$

C. 从两孔射出的电子在容器中运动的加速度大小之比  $a_c : a_d = 1 : 2$

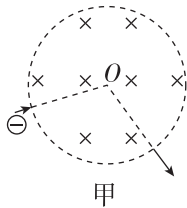
D. 从两孔射出的电子在容器中运动的角速度之比  $\omega_c : \omega_d = 1 : 1$



## 学习任务二 带电粒子在圆弧有界匀强磁场中运动

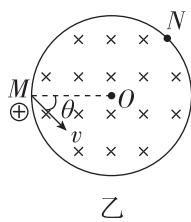
[模型建构] 在下列两种圆形有界匀强磁场中,如何确定带电粒子做匀速圆周运动的圆心位置?

(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.



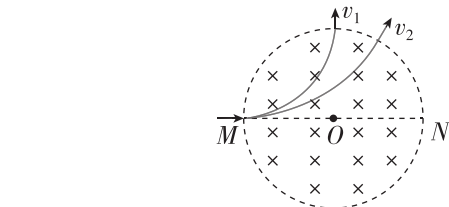
甲

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



乙

**例 3** [2021·全国乙卷] 如图所示,圆形区域内有垂直纸面向里的匀强磁场,质量为  $m$ 、电荷量为  $q$  ( $q > 0$ ) 的带电粒子从圆周上的  $M$  点沿直径  $MON$  方向射入磁场.若粒子射入磁场时的速度大小为  $v_1$ ,则离开磁场时速度方向偏转  $90^\circ$ ;若粒子射入磁场时的速度大小为  $v_2$ ,则离开磁场时速度方向偏转  $60^\circ$ .不计重力,则  $\frac{v_1}{v_2}$  为 ( )



A.  $\frac{1}{2}$

B.  $\frac{\sqrt{3}}{3}$

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

D.  $\sqrt{3}$

[反思感悟]

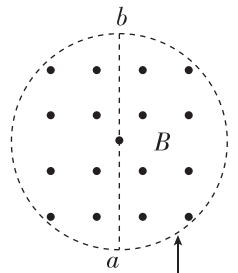
**例 4** [2024·北京四中月考] 如图所示,半径为  $R$  的圆是一圆柱形匀强磁场区域的横截面(纸面),磁感应强度大小为  $B$ ,方向垂直于纸面向外.一电荷量为  $q$  ( $q > 0$ )、质量为  $m$  的粒子(不计重力)沿平行于直径  $ab$  的方向射入磁场区域,入射点与  $ab$  的距离为  $\frac{R}{2}$ ,已知粒子射出磁场与射入磁场时运动方向间的夹角为  $60^\circ$ ,则粒子的速率为 ( )

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

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

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

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



### 【要点总结】

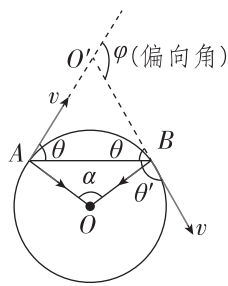
1. 分析解决带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动问题的基本思路:定圆心、找半径、画轨迹、求时间.

2. 半径的确定和计算

一般利用几何关系,通过解三角形的办法求半径.求解时注意:

(1)如图所示,粒子速度的偏转角  $\varphi$  等于轨迹对应的圆心角  $\alpha$ ,并且等于  $AB$  弦与切线的夹角  $\theta$  的 2 倍,即  $\varphi = \alpha = 2\theta$ .

(2)相对的弦切角( $\theta$ )相等,与相邻的弦切角( $\theta'$ )互补,即  $\theta + \theta' = 180^\circ$ .



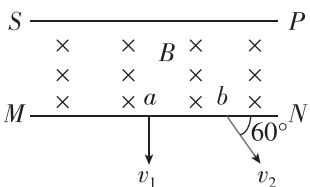
3. 运动时间的确定

粒子在磁场中运动一周的时间为  $T$ ,当粒子运动的轨迹对应的圆心角为  $\alpha$  时,其运动时间  $t$  可以由下式表示: $t =$

$$\frac{\alpha}{360^\circ}T, t = \frac{\alpha}{2\pi}T \text{ 或 } t = \frac{l}{v} (l \text{ 为轨迹的弧长}).$$

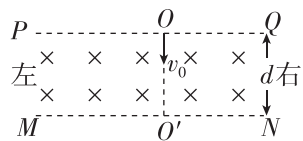
### // 随堂巩固 //

1. (直线边界问题)如图所示,有界匀强磁场边界线  $SP \parallel MN$ ,速度不同的同种带电粒子从  $S$  点沿  $SP$  方向同时射入磁场,其中穿过  $a$  点的粒子速度  $v_1$  与  $MN$  垂直,穿过  $b$  点的粒子速度方向与  $MN$  成  $60^\circ$  角,设两粒子从  $S$  运动到  $a$ 、 $b$  所需的时间分别为  $t_1$ 、 $t_2$ ,则  $t_1 : t_2$  为 ( )



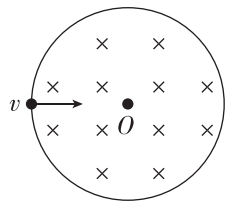
- A. 1 : 3                      B. 4 : 3  
C. 1 : 1                      D. 3 : 2

2. (直线边界问题)[2024·山西晋城一中月考] 如图所示,有一个理想边界为  $PQ$ 、 $MN$  的匀强磁场区域,磁场宽度为  $d$ ,方向垂直于纸面向里.一电子从  $O$  点沿纸面垂直于  $PQ$  以速度  $v_0$  进入磁场.若电子在磁场中运动的轨迹半径为  $2d$ , $O'$  在  $MN$  上,且  $OO'$  与  $MN$  垂直,则下列判断正确的是 ( )



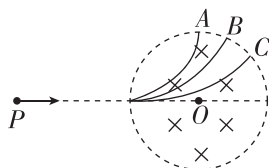
- A. 电子将向右偏转  
B. 电子打在  $MN$  上的点与  $O'$  点的距离为  $d$   
C. 电子打在  $MN$  上的点与  $O'$  点的距离为  $\sqrt{3}d$   
D. 电子在磁场中运动的时间为  $\frac{\pi d}{3v_0}$

3. (圆弧边界问题)[2024·山东烟台一中月考] 如图所示,半径为  $R$  的圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场.重力不计、电荷量一定的带电粒子以速度  $v$  正对着圆心  $O$  射入磁场,若粒子射入、射出磁场点间的距离为  $R$ ,则粒子在磁场中运动的时间为 ( )



- A.  $\frac{2\sqrt{3}\pi R}{9v}$                       B.  $\frac{2\pi R}{3v}$   
C.  $\frac{2\sqrt{3}\pi R}{3v}$                       D.  $\frac{\pi R}{3v}$

4. (圆弧边界问题)(多选)如图所示,圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场,三个质量和电荷量都相同的带电粒子  $a$ 、 $b$ 、 $c$  以不同的速率对准圆心  $O$  沿着  $PO$  方向射入磁场,运动轨迹如图所示,出射点分别为  $A$ 、 $B$ 、 $C$ ,其中  $\angle POA = 90^\circ$ ,  $\angle POB = 120^\circ$ ,  $\angle POC = 150^\circ$ .若带电粒子只受磁场力的作用,则下列说法正确的是 ( )



- A. 三个粒子都带正电  
B.  $b$  粒子的速率是  $a$  粒子速率的  $\sqrt{3}$  倍  
C.  $a$  粒子在磁场中运动的时间最短  
D. 三个粒子在磁场中运动的时间之比为 3 : 4 : 5