



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 LK

细分课时

分层设计

落实基础

突出重点

天津出版传媒集团
天津人民出版社

目录 Contents

01 第1章 安培力与洛伦兹力

PART ONE

第 1 节 安培力及其应用	导 103
习题课：安培力的应用	导 106
第 2 节 洛伦兹力	导 109
第 1 课时 洛伦兹力的理解	导 109
第 2 课时 带电粒子在匀强磁场中的运动	导 111
专题课：带电粒子在有界磁场中的运动	导 114
专题课：带电粒子在有界磁场中的临界问题与多解问题	导 117
第 3 节 洛伦兹力的应用	导 120
专题课：带电粒子（带电体）在磁场中的直线运动	导 124
专题课：带电粒子在复合场中的运动	导 127

02 第2章 电磁感应及其应用

PART TWO

第 1 节 科学探究：感应电流的方向	导 131
习题课：楞次定律的应用	导 134
第 2 节 法拉第电磁感应定律	导 136
专题课：电磁感应中的电路与图像问题	导 140
专题课：电磁感应中动力学和能量问题	导 142
专题课：电磁感应与动量的综合应用	导 146
第 3 节 自感现象与涡流	导 148

03 第3章 交变电流与远距离输电

PART THREE

第 1 节	交变电流的特点	导 154
第 2 节	交变电流的产生	导 157
第 3 节	科学探究：变压器	导 161
	第 1 课时 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系	导 161
	第 2 课时 理想变压器的规律及其动态分析	导 164
第 4 节	电能的远距离输送	导 167

04 第4章 电磁波

PART FOUR

第 1 节	电磁波的产生	导 169
第 2 节	电磁波的发射、传播和接收	导 172
第 3 节	电磁波谱	导 172

05 第5章 传感器及其应用

PART FIVE

第 1 节	常见传感器的工作原理	导 176
第 2 节	科学制作：简单的自动控制装置	导 181
第 3 节	大显身手的传感器	导 181

◆ 参考答案

导 185

第 1 节 安培力及其应用

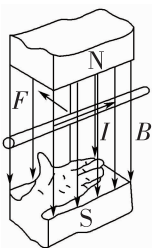
学习任务一 安培力的方向

[教材链接] 阅读教材,完成以下填空:

(1)安培力:物理学中,将_____对通电导线的作用力称为安培力.

(2)安培力的方向:用_____判断.

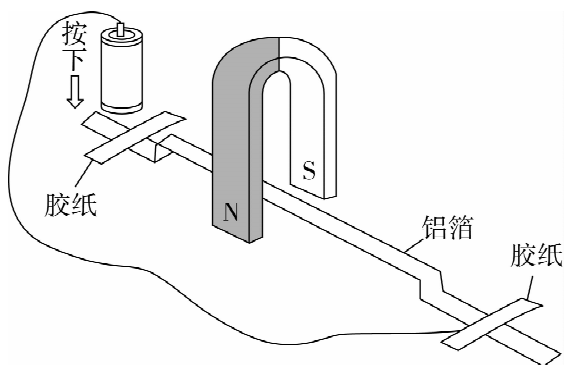
判断方法:伸开左手,拇指与其余四指_____,且都与手掌在同一个平面内,让磁感线垂直穿过_____,并使四指指向_____,此时_____所指的方向即为安培力的方向.



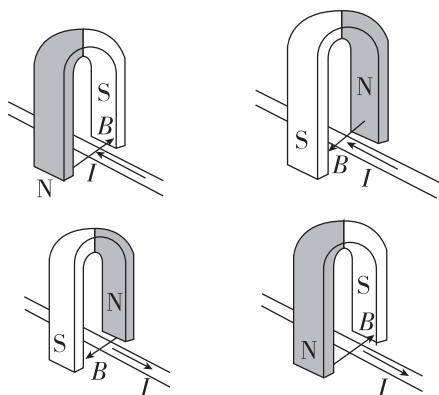
[科学探究] 按照如图所示进行铝箔“天桥”实验.

(1)左右交换磁铁磁极的位置_____ (选填“会”或“不会”)改变磁场方向,“天桥”受力的方向_____ (选填“会”或“不会”)改变.

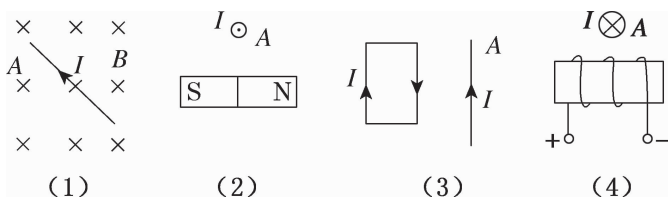
(2)改变铝箔中电流的方向,“天桥”受力的方向_____ (选填“会”或“不会”)改变.



(3)仔细分析实验结果,结合课本,画出安培力的方向.



例 1 画出图中通电直导线 A 受到的安培力的方向.



[反思感悟] _____

【要点总结】

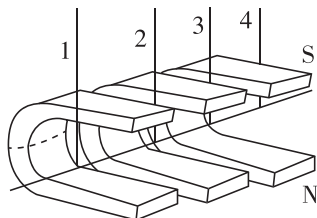
1. 通电导线所受的安培力的方向既跟磁场的方向垂直,又跟电流的方向垂直,所以安培力总是垂直于磁感线和通电导线所确定的平面. $F \perp B, F \perp I$, 但 I 与 B 不一定垂直.
2. 当电流方向跟磁场方向不垂直时,仍可用左手定则来判定安培力的方向,注意要让磁场垂直于电流方向的分量穿过掌心.

学习任务二 安培力的大小

[科学探究] 在图所示的实验中,探究安培力的大小与磁场强弱、电流大小、导线长度的关系.

(1)在 B, l 一定时,增大电流 I ,导线受力_____ (选填“变小”“变大”或“不变”).

(2)在 B, I 一定时,增大导线的长度 l ,导线受力_____ (选填“变小”“变



大”或“不变”).

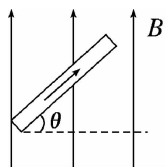
[物理观念] 长为 l 的一段导线放在匀强磁场中,磁感应强度为 B , 通以大小为 I 的电流,当导线按以下两种方式放置时,所受磁场的作用力分别是多大?

(1)导线和磁场垂直放置时, $F_{安} =$ _____.

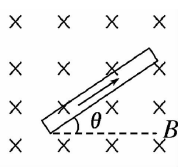
(2)导线和磁场平行放置时, $F_{安} =$ _____.

(3)导线和磁场成 θ 角放置时, $F_{安} =$ _____. 注: 此式为安培力的通式.

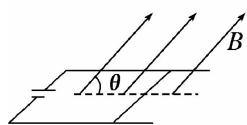
例 2 长度为 l 、电流为 I 的通电直导线放入一匀强磁场中, 电流方向与磁场方向如图所示, 已知磁感应强度为 B , 对于各图中导线所受安培力的大小计算正确的是 ()



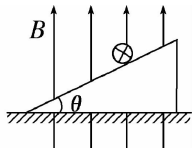
A. $F = IlB \cos \theta$



B. $F = IlB \cos \theta$



C. $F = IlB \sin \theta$



D. $F = IlB \sin \theta$

[反思感悟]

例 3 [2024 · 福州一中月考] 如图所示, 将长为 $2l$ 的直导线折成边长相等、夹角为 60° 的 V 形, 并置于与其所在平面垂直的匀强磁场中, 磁感应强度为 B . 当在该导线中通以大小为 I 的电流时, 该 V 形通电导线受到的安培力大小为 ()

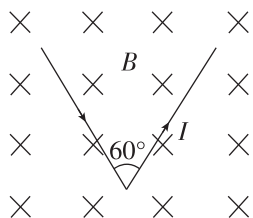
A. 0

B. $\frac{1}{2} IlB$

C. IlB

D. $2IlB$

[反思感悟]



变式 1 [2023 · 泉州五中月考] 如图所示, 闭合直角三角形线框 abc 处在匀强磁场中, 通有图示方向的恒定电流, 下列说法中正确的是 ()

A. ab 边在磁场中受到的安培力 \times 向右

B. ac 边受到的安培力与 ab 边受到的安培力大小相等

C. ab 边与 bc 边受到的安培力的合力大于 ac 边受到的安培力

D. 整个线框受到安培力的合力为零

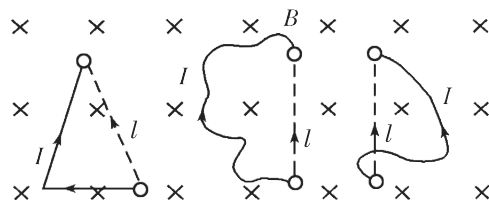
【要点总结】

1. 在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 长为 l 的导线通入电流 I .

(1) 若磁场方向和电流方向垂直, 则 $F = IlB$;

(2) 若磁场方向和电流方向平行, 则 $F = 0$.

注意: 公式中 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.

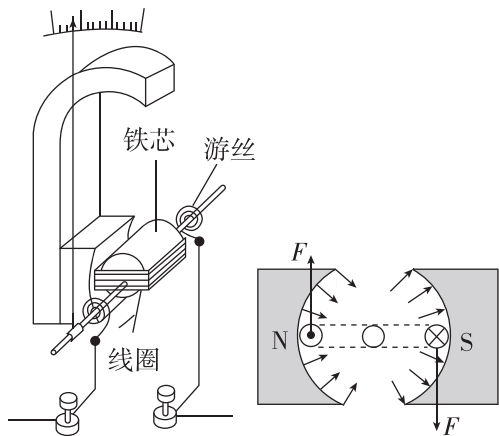


2. 当通电导线同时受到几个安培力时, 导线受到的安培力为这几个安培力的矢量和.

学习任务三 磁电式电表的工作原理

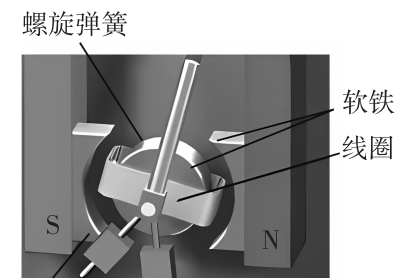
[教材链接] 阅读教材, 完成以下填空:

(1) 构造: 如图所示, 圆柱形铁芯固定于 _____ 间, 铁芯外面套有缠绕着线圈并可转动的铝框, 铝框的转轴上装有指针和游丝(又称螺旋弹簧).

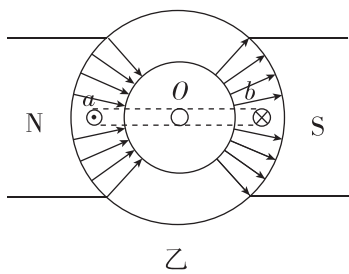


(2) 原理: 当电流流入线圈时, 线圈受 _____ 作用而转动, 使游丝扭转形变, 从而对线圈的转动产生阻碍. 当 _____ 产生的转动与游丝形变产生的阻碍达到平衡时, 指针便停留在某一时刻. 电流越大, _____ 就越大, _____ 就越大.

例 4 (多选) [2023 · 莆田一中月考] 如图甲所示为磁电式电流表的结构, 图乙为极靴和铁质圆柱间的磁场分布情况, 线圈的 a 、 b 两边通以图示方向电流, a 、 b 两边所在处的磁感应强度大小相等. 下列说法正确的是 ()



甲

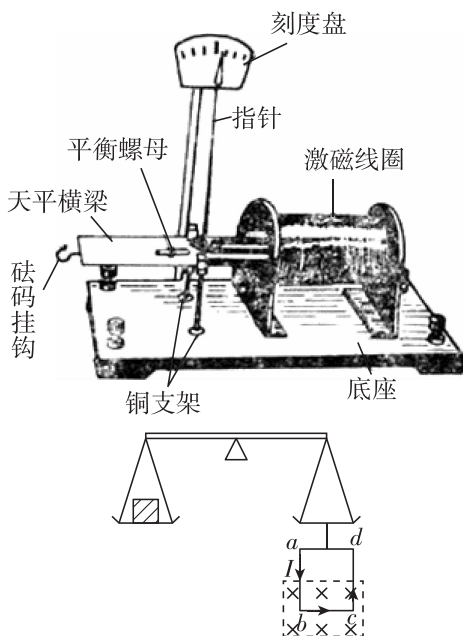


- A. 该磁场为匀强磁场
 - B. 线圈将顺时针转动
 - C. 线圈平面总与磁场方向垂直
 - D. 图示位置线圈的 b 边所受安培力方向竖直向下
- [反思感悟]

| 素养提升 |

电流天平的原理和应用

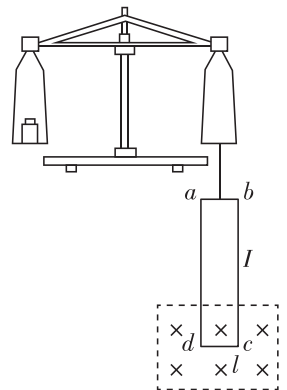
电流天平(如图所示)是根据等臂杠杆的原理制成的,可以用来测量导线在磁场中受到的磁场力和磁感应强度.图是它的原理示意图,天平左盘放砝码,右盘下悬挂线框,线框处于磁场中.当线框没有通电时,天平处于平衡状态.



线框通电后, ab 、 bc 、 cd 边均受到安培力的作用.根据左手定则, 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 [鲁科版教材改编] 如图所示为电流天平,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 的方向与线框平面垂直.当线框中通过电流 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,才能使两臂再达到新的平衡.

- (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 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,磁感应强度是多少? (g 取 9.8 m/s^2)

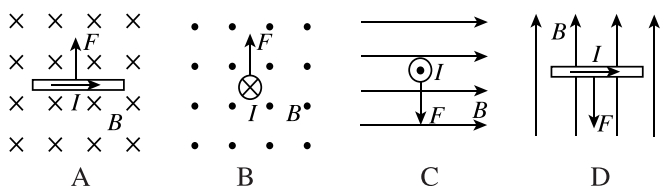


【要点总结】

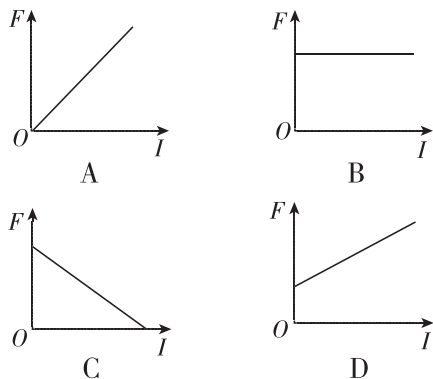
用电流天平测定磁感应强度的大小实质是利用物体的平衡条件,分析解决问题的关键是要弄清因电流反向时安培力的变化.

// 随堂巩固 //

1. (安培力的方向)[2024·厦门双十中学月考] 描述磁场对直线电流的作用力的示意图中正确的是图中的 ()

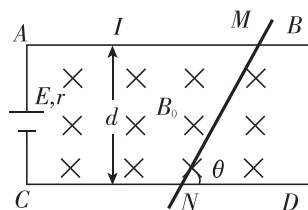


2. (安培力的大小)在匀强磁场中放置一条直导线,导线与磁场方向垂直,则描述导线受到的安培力 F 的大小与通过导线的电流 I 的关系图像正确的是图中的 ()

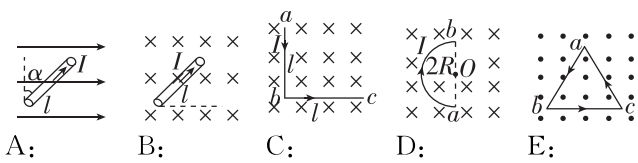


3. (安培力的大小)如图所示,导体棒 MN 中电流为 I 且垂直于磁场放置,磁感应强度大小为 B_0 , AB 与 CD 平行,相距为 d ,则棒 MN 所受安培力大小为 ()

- A. IdB_0
 B. $IdB_0 \sin \theta$
 C. $\frac{IdB_0}{\sin \theta}$
 D. $IdB_0 \cos \theta$



4. (安培力的大小)[2024·厦门外国语学校月考] 如图所示,在匀强磁场中放有下列各种形状的通电导线,电流均为 I ,磁感应强度均为 B ,求各导线所受到的安培力的大小.



习题课：安培力的应用

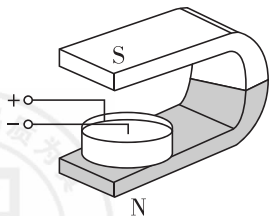
学习任务一 安培力作用下导体的运动情况

[科学思维] 如果通电导体放置非匀强磁场中,则不能运用 $F = IlB$ 进行定量的计算,但可用 $F = IlB$ 和左手定则进行定性讨论.

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)画出通电导线所在位置的磁感线方向;
- (2)由左手定则确定导线受到的安培力方向;
- (3)由导线的受力情况判断导体的运动方向.

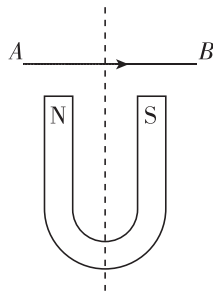
[科学探究] 在玻璃器皿的中心放一个圆柱形的电极,沿边缘内壁放一个圆环形电极,把它们分别与电池的两极相连,然后再在玻璃器皿中放入导电液体,例如盐水,若把玻璃器皿放在磁场中,如图所示,那么从上往下看液体沿_____ (选填“顺时针”或“逆时针”)方向转动.



例1 [2023·福清一中月考] 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

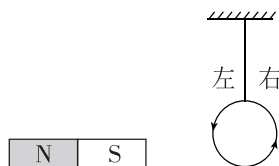
电流 I 时,导线的运动情况是(从上往下看) ()

- 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 [2024·三明二中月考] 如图所示,在固定放置的条形磁铁 S 极附近悬挂一个金属线圈,线圈与水平磁铁位于同一竖直平面内.当在线圈中通入沿图示方向的电流时,将会看到 ()



- A. 线圈向左平移
 B. 线圈向右平移
 C. 从上往下看,线圈顺时针转动,同时靠近磁铁
 D. 从上往下看,线圈逆时针转动,同时靠近磁铁

[反思感悟]

【要点总结】

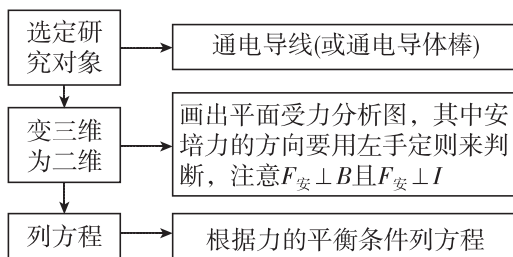
安培力作用下导体运动方向判断的方法

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	环形电流→小磁针→条形磁铁 通电螺线管→多个环形电流

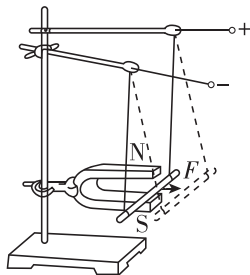
结论法	同向电流互相吸引, 异向电流互相排斥; 两个不平行的直线电流相互作用时, 有转到平行且电流方向相同的趋势
转换研究对象法	分析磁体与电流磁场作用下如何运动或运动趋势, 可根据牛顿第三定律, 通过分析一个物体的受力情况, 确定另一个物体所受磁场的作用力

学习任务二 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:

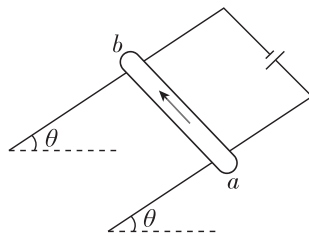


【科学探究】用如图所示装置研究磁场对通电导线的安培力. 已知两根轻细金属丝将质量为 m 的金属棒悬挂在蹄形磁铁的两极间, 当棒两端连接电源后, 棒的位置如图中虚线所示, 两悬线偏离竖直方向 θ 角而处于平衡状态. 请说明此实验中如何“测量”安培力的大小.

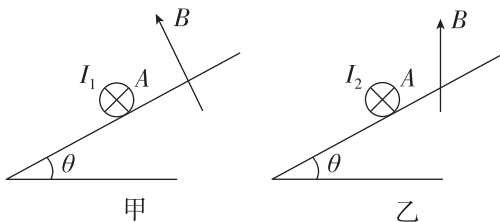


例 2 如图所示, 通电导体棒 ab 的质量为 m , 接入电路中的部分长为 l , 水平放置在倾角为 θ 的光滑斜面上, 通以图示方向的电流 I , 要求导体棒 ab 静止在斜面上, 重力加速度为 g .

- 若磁场的方向竖直向上, 则磁感应强度应为多大?
- 若要求磁感应强度最小, 则磁感应强度的大小和方向如何?



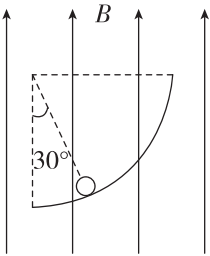
例 3 (多选) 在倾角 $\theta = 37^\circ$ 的光滑斜面上放一导体棒 A , 如图甲、乙所示是两种情况的剖面图, 所在空间均有磁感应强度大小相等的匀强磁场, 但方向不同, 一次垂直于斜面向上, 另一次竖直向上, 两次导体棒中通有方向相同的电流 I_1 和 I_2 , 都处于静止状态. 已知 $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$, 则 ()



- $I_1 : I_2 = 3 : 5$
- $I_1 : I_2 = 4 : 5$
- 导体棒 A 所受安培力大小之比 $F_1 : F_2 = 4 : 5$
- 斜面对导体棒 A 的弹力大小之比 $N_1 : N_2 = 3 : 4$

变式 2 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,平衡时导体棒与圆弧圆心的连线与竖直方向成 30° 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 ()

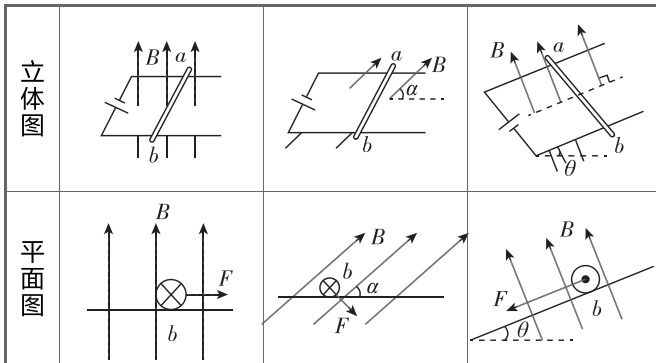
- A. 垂直于纸面向外, $\frac{\sqrt{3}mg}{3BL}$
 B. 垂直于纸面向里, $\frac{\sqrt{3}mg}{3BL}$
 C. 垂直于纸面向外, $\frac{\sqrt{3}mg}{2BL}$
 D. 垂直于纸面向里, $\frac{\sqrt{3}mg}{2BL}$



【要点总结】

安培力作用下导体棒平衡问题的求解关键可以简单概括为两点:

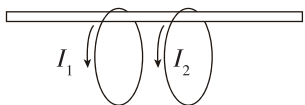
- (1) 电磁问题力学化,即把电磁问题通过受力分析,归结为力学问题。
 (2) 立体图形平面化,想很好地分析物体受力的平衡问题,把立体图形转化为平面图是关键。



// 随堂巩固 //

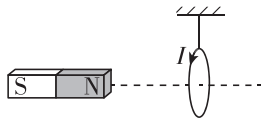
1. (安培力作用下导体的运动情况) [2024·三明一中月考] 如图所示,两个完全相同的闭合导线环挂在光滑绝缘的水平横杆上,当导线环中通有同向电流时,两导线环的运动情况是 ()

- A. 互相吸引,电流大的环其加速度也大
 B. 互相排斥,电流小的环其加速度较大
 C. 互相吸引,两环加速度大小相同
 D. 互相排斥,两环加速度大小相同



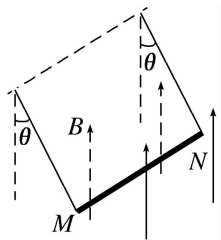
2. (安培力作用下导体的运动情况) 如图所示,把轻质导线圈用绝缘细线悬挂在磁铁 N 极附近,磁铁的轴线穿过线圈的圆心且垂直线圈平面.当线圈内通以图示方向的电流后,线圈的运动情况是 ()

- A. 线圈向右运动
 B. 线圈向左运动
 C. 从上往下看线圈顺时针转动
 D. 从上往下看线圈逆时针转动

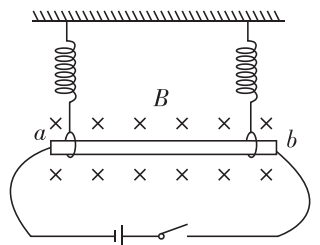


3. (安培力作用下导体的平衡问题) [2023·上杭一中月考] 如图所示,金属棒 MN 两端由等长的轻质绝缘细线水平悬挂,处于竖直向上的匀强磁场中,棒中通以由 M 向 N 方向的电流,平衡时两悬线与竖直方向的夹角均为 θ . 如果仅改变下列某一个条件,则 θ 角的相应变化情况正确的是 ()

- A. 棒中的电流变大时, θ 角变大
 B. 两悬线等长变短时, θ 角变小
 C. 金属棒质量变大时, θ 角变大
 D. 磁感应强度变大时, θ 角变小



4. (安培力作用下导体的平衡问题) 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 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.

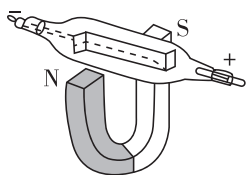


第2节 洛伦兹力

第1课时 洛伦兹力的理解

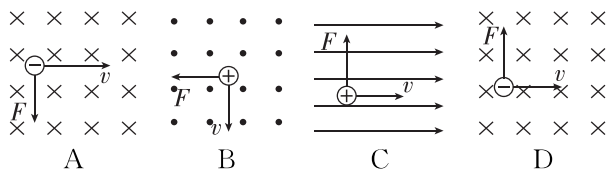
学习任务一 洛伦兹力的方向

[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.



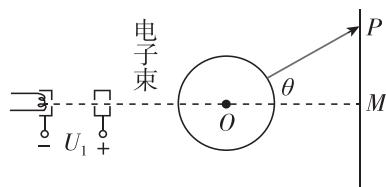
- (1) _____ 力使电子向下偏转,该力的方向 _____.
- (2) 电子运动轨迹附近的磁场方向 _____.
- 电子所受洛伦兹力与磁场方向、电子运动方向之间的关系是 _____.

例1 (多选)[2024·泉州五中月考] 一带电粒子(重力不计,图中已标明粒子所带电荷的正负)进入磁场中,下列关于磁场方向、速度方向及带电粒子所受的洛伦兹力方向的标示正确的是 ()



[反思感悟] _____

变式1 如图所示,电子枪发射电子经加速后沿虚线方向进入匀强磁场区域(图中圆内),沿图中实线方向射出磁场,最后打在屏上P点,则磁场的方向为 ()



- A. 垂直于纸面向外 B. 垂直于纸面向内
C. 平行于纸面向上 D. 平行于纸面向右

[反思感悟] _____

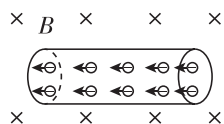
【要点总结】

- 洛伦兹力的方向总是与电荷的运动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.
- 当电荷运动方向发生变化时,洛伦兹力的方向也随之变化.
- 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.

学习任务二 洛伦兹力的大小

[科学论证] 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.

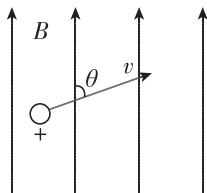
(1) 如图所示,设有一段长度为 l 的通电导线垂直放入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,若导线中的电流为 I ,则该导线所受的安培力 F 的大小为 _____.



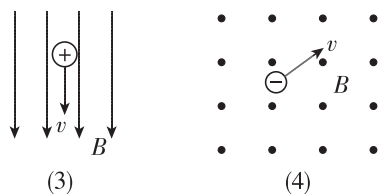
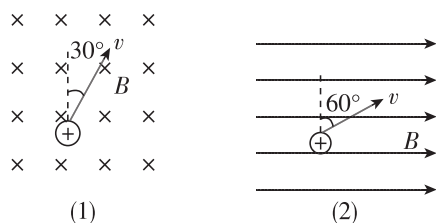
(2) 设导线的横截面积为 S ,单位体积内的自由电荷数为 n ,每个自由电荷的电荷量为 q ,定向运动速度都是 v ,根据电流的定义式推导电流的表达式.

(3) 根据 $F = Nf$ (N 为导线中所含的自由电子数)推导每个电荷受到的洛伦兹力 f 的大小,并说明推导结果的适用条件.

[科学推理] 如图所示,当电荷量为 q 的运动电荷的速度 v 的方向与磁场的磁感应强度 B 的方向的夹角为 θ 时,电荷受到的洛伦兹力 $f =$ _____.



例 2 [2023·福州一中月考] 如图所示,各图中的匀强磁场的磁感应强度均为 B ,带电粒子的速率均为 v ,带电荷量均为 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 为电荷运动的方向与磁感应强度方向的夹角.

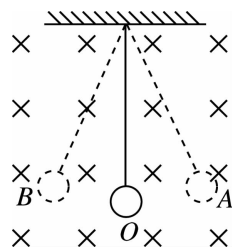
(1) 当 $v \perp B$ 时, $F = qvB$, 即运动方向与磁场方向垂直时,洛伦兹力最大.

(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 洛伦兹力的特点

[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 3 (多选) 如图所示,用绝缘细线吊一个质量为 m 的带电小球,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

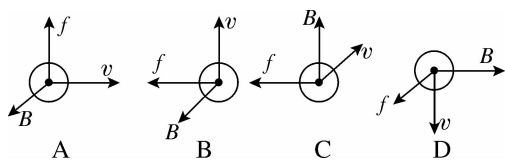
[反思感悟] _____

【要点总结】

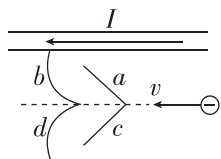
洛伦兹力的方向始终与运动电荷的速度方向垂直,只改变速度的方向,不改变速度的大小,洛伦兹力不做功.

// 随堂巩固 //

1. (洛伦兹力的方向) 下列各图是表示磁场磁感应强度 B 、负电荷运动速度 v 和磁场对电荷的洛伦兹力 f 相互关系的立体示意图, 其中不正确的是 (B 、 v 、 f 两两垂直) ()



2. (洛伦兹力的方向) [2024·莆田一中月考] 如图所示, 在真空中, 水平导线中有恒定电流 I 通过, 导线的正下方有一束电子初速度方向与电流方向相同, 则电子可能的运动情况是 ()



- A. 沿路径 a 运动 B. 沿路径 b 运动
C. 沿路径 c 运动 D. 沿路径 d 运动

3. (洛伦兹力及其特点)(多选) 下列有关带电粒子(不计重力)运动的说法中正确的是 ()

A. 沿着电场线方向飞入匀强电场, 动能一定变化
B. 沿着磁感线方向飞入匀强磁场, 动能一定变化
C. 垂直于电场线方向飞入匀强电场, 动能一定不变
D. 垂直于磁感线方向飞入匀强磁场, 动能一定不变

4. (洛伦兹力的大小)[2024·福州三中月考] 一电子以速率 $v=3.0 \times 10^6$ m/s 沿着与磁场方向垂直的方向射入磁感应强度大小为 $B=0.10$ T 的匀强磁场中. 已知电子质量 $m=9.1 \times 10^{-31}$ kg, 电荷量 $e=1.6 \times 10^{-19}$ C, 重力加速度 g 取 10 m/s².

- (1) 电子受到的洛伦兹力为多大?
(2) 分析说明在解决电子在磁场中运动时忽略电子所受重力的原因.

第 2 课时 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?

- 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] _____

【要点总结】

- 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 $F=0$)
- 若 $v \perp B$, 则带电粒子在垂直于磁感线的平面内以入射速度 v 做匀速圆周运动.

例 1 [2024·厦门一中月考] 一质子在匀强磁场中运动, 不考虑其他场力(重力)作用, 下列说法中正确的是 ()

学习任务二 带电粒子在磁场中做圆周运动的半径和周期

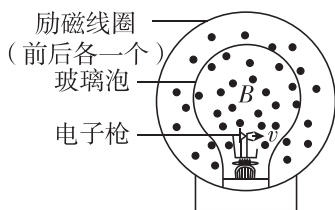
[教材链接] 阅读教材,完成以下填空:

(1)向心力:若 $v \perp B$,则向心力由洛伦兹力 f 提供,即 $\underline{\hspace{2cm}} = m \frac{v^2}{r}$.

(2)轨道半径: $r = \underline{\hspace{2cm}}$.由半径公式可知,带电粒子运动的轨道半径与运动的速率、粒子的质量成正比,与电荷量和磁感应强度成反比.

(3)运动周期:由 $T = \frac{2\pi r}{v}$ 可得 $T = \underline{\hspace{2cm}}$.由周期公式可知,带电粒子的运动周期与粒子的质量成正比,与电荷量和磁感应强度成反比,而与 $\underline{\hspace{2cm}}$ 和 $\underline{\hspace{2cm}}$ 无关.

[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.



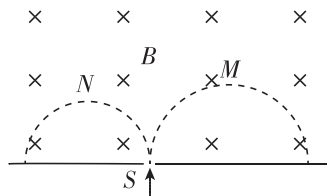
- 不加磁场时,电子束的运动轨迹为 $\underline{\hspace{2cm}}$.
- 加上磁场时,电子束的运动轨迹为 $\underline{\hspace{2cm}}$.
- 如果保持出射电子的速度不变,增大磁感应强度,轨迹圆的半径将 $\underline{\hspace{2cm}}$,如果保持磁感应强度不变,增大出射电子的速度,轨迹圆的半径将 $\underline{\hspace{2cm}}$.

例 2 [2024·福州四中月考] 两个粒子带电荷量相等,在同一匀强磁场中只受洛伦兹力而做匀速圆周运动.下列说法正确的是 ()

- 若速率相等,则轨道半径必相等
- 若质量相等,则周期必相等
- 若质量相等,则轨道半径必相等
- 若动能相等,则周期必相等

变式 1 质量和电荷量都相等的带电粒子 M 和 N 以不同的速率经小孔 S 垂直进入匀强磁场,运动的轨迹如图中虚线所示,下列说法正确的是 ()

- M 带负电, N 带正电
- M 的速率小于 N 的速率
- 洛伦兹力对 M 、 N 做正功
- M 在磁场中运动的时间大于 N 在磁场中运动的时间



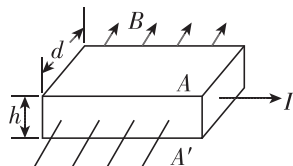
[反思感悟] $\underline{\hspace{4cm}}$

【要点总结】

- 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 $qvB = m \frac{v^2}{r}$.
- 轨道半径: $r = \frac{mv}{qB}$.同一粒子在同一磁场中, r 与 v 成正比.
- 周期: $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}$. T 与速度 v 无关,与半径 r 无关.

学习任务三 霍尔效应

[模型建构] 如图所示,高为 h 、宽为 d 的金属导体(自由电荷是电子)置于磁感应强度为 B 的匀强磁场中,当电流通过金属导体时,在金属导体的上表面 A 和下表面 A' 之间产生电势差,这种现象称为霍尔效应,此电压称为霍尔电压.

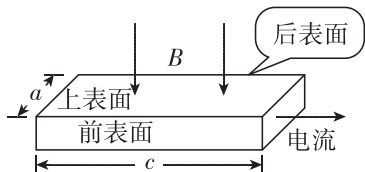


- 分析说明霍尔电压产生的原因.
 $\underline{\hspace{4cm}}$
 $\underline{\hspace{4cm}}$
- 如图所示,金属导体中的电流 I 向右时,上表面 A 和下表面 A' 谁的电势高?
 $\underline{\hspace{4cm}}$

(3) 设电子电荷量为 e ,金属导体单位体积中的自由电子数为 n ,电流大小为 I ,请推导 AA' 间的霍尔电压 U 的表达式.
 $\underline{\hspace{4cm}}$
 $\underline{\hspace{4cm}}$

例 3 [2023·福建师大附中月考] 笔记本电脑机身和显示屏对应部位分别有磁体和霍尔元件.当显示屏开启时磁体远离霍尔元件,电脑正常工作;当显示屏闭合时磁体靠近霍尔元件,屏幕熄灭,电脑进入休眠状态.如图所示,有一块宽为 a 、长为 c 的矩形半导体霍尔元件,元件内的导电粒子是电荷量为 e 的自由电子,通入方向向右的电流时,电子的定向移动

速度为 v . 当显示屏闭合时, 元件处于垂直于上表面向下的匀强磁场中, 于是元件的前、后表面间出现电压 U , 以此控制屏幕的熄灭. 由此可知 ()



- A. 元件的前表面的电势比后表面的电势低
 B. 元件前、后表面间的电压 U 与 v 无关
 C. 元件前、后表面间的电压 U 与 c 成正比
 D. 元件中的自由电子受到的洛伦兹力大小为 $\frac{eU}{a}$

[反思感悟]

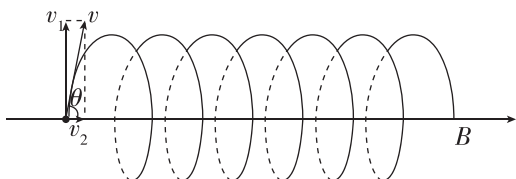
【要点总结】

1. 当磁场方向与电流方向垂直时, 由于电子受到洛伦兹力的作用发生偏转, 导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差.
2. 根据左手定则判断电势的高低.
3. 根据静电力与洛伦兹力平衡, 有 $qE = qvB$, 电流的微观表达式为 $I = nqvS$, 又知 $S = hd$, 则霍尔电压 $U = Eh = Bhv = \frac{BI}{nqd}$. 利用霍尔效应可以测量磁感应强度 B , $B = \frac{Unqd}{I} \propto U$.

| 素养提升 |

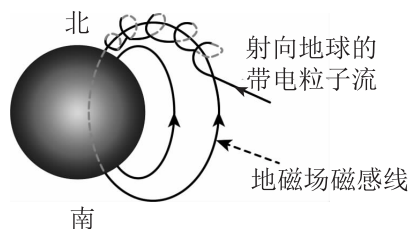
带电粒子斜射入匀强磁场时的运动情况

带电粒子以某一角度 θ 斜射入匀强磁场时, 在垂直于磁场的方向上以分速度 v_1 做匀速圆周运动, 在平行于磁场的方向上以分速度 v_2 做匀速直线运动, 因此带电粒子沿着磁感线方向做螺旋形运动.



分析带电粒子做螺旋形运动示意图

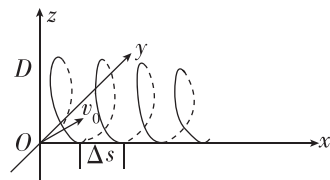
示例 1 [2024·漳州一中月考] 2023 年 12 月 1 日晚, 我国多地出现绝美极光, 实际上极光是太阳风和地球磁场相互作用产生的. 地磁产生至少有 35 亿年历史, 它通过地球内部延伸到宇宙中, 形成地球磁层, 这个磁层可以阻挡太阳带电粒子流的侵害, 保护地球的大气层和自然生态. 如图所示是来自太阳的高能带电粒子流被地磁场俘获后的运动轨迹示意图. 忽略引力和带电粒子间的相互作用, 以下说法正确的是 ()



- A. 极光现象只能出现在北半球
 B. 带电粒子在靠近地球北极过程中旋转周期变大

- C. 带电粒子在靠近地球北极过程中动能增大
 D. 图中所示的带电粒子流带负电

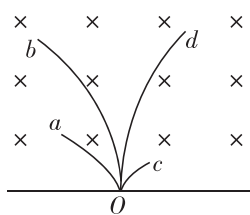
示例 2 [2024·湖南长郡中学月考] 我国最北的城市漠河地处高纬度地区, 在晴朗的夏夜偶尔会出现美丽的彩色“极光”. 极光是宇宙中高速运动的带电粒子受地球磁场影响, 与空气分子作用的发光现象, 若宇宙粒子带正电, 因入射速度与地磁方向不垂直, 故其轨迹偶成螺旋状, 如图所示 (相邻两个旋转圆之间的距离称为螺距 Δs). 下列说法正确的是 ()



- A. 带电粒子进入大气层后与空气发生相互作用, 在地磁场作用下的旋转半径会越来越大
 B. 若越靠近两极地磁场越强, 则随着纬度的增加, 以相同速度入射的宇宙粒子的旋转半径增大
 C. 漠河地区看到的“极光”将以逆时针方向 (从下往上看) 向前螺旋进
 D. 当不计空气阻力时, 若入射粒子的速率不变, 仅减小与地磁场的夹角, 则旋转半径减小, 而螺距 Δs 增大

// 随堂巩固 //

1. (半径公式的应用)[2023·福州一中月考] 电子与质子速度相同,都从 O 点射入匀强磁场区,画出了其四个粒子的运动轨迹如图所示,关于电子和质子运动的可能轨迹,下列判断正确的是 ()



- A. a 是电子的运动轨迹, d 是质子的运动轨迹
- B. b 是电子的运动轨迹, c 是质子的运动轨迹
- C. c 是电子的运动轨迹, b 是质子的运动轨迹
- D. d 是电子的运动轨迹, a 是质子的运动轨迹

2. (半径公式和周期公式) 质子和 α 粒子以相同的速率在同一匀强磁场中做匀速圆周运动,轨迹半径分别为 R_1 和 R_2 ,周期分别为 T_1 和 T_2 ,则 ()

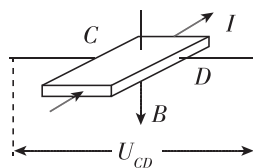
- A. $R_1 : R_2 = 1 : 2, T_1 : T_2 = 1 : 2$
- B. $R_1 : R_2 = 1 : 1, T_1 : T_2 = 1 : 1$
- C. $R_1 : R_2 = 1 : 1, T_1 : T_2 = 1 : 2$
- D. $R_1 : R_2 = 1 : 2, T_1 : T_2 = 1 : 1$

3. (带电粒子在匀强磁场中的运动)[2024·三明一中月考] 某带电粒子以速度 v 垂直射入匀强磁场中,粒子

做半径为 R 的匀速圆周运动;若粒子的速度变为 $2v$,则下列说法正确的是 ()

- A. 粒子运动的周期变为原来的 $\frac{1}{2}$
- B. 粒子运动的半径仍为 R
- C. 粒子运动的加速度变为原来的 4 倍
- D. 粒子运动轨迹所包围的磁通量变为原来的 4 倍

4. (霍尔效应)[2024·福州一中月考] 利用霍尔效应制作的霍尔元件广泛应用于测量和自动控制等领域.如图所示是霍尔元件的工作原理示意图,磁感应强度 B 方向垂直于霍尔元件的表面向下,通入图示方向的电流 I , C 、 D 两侧面会形成电势差 U_{CD} .下列说法中正确的是 ()



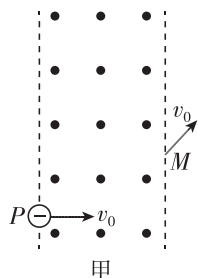
- A. 霍尔元件的上、下表面的距离越大,则 U_{CD} 越大
- B. 若霍尔元件的载流子是自由电子,则电势差 $U_{CD} < 0$
- C. 仅增大电流 I 时,电势差 U_{CD} 不变
- D. 如果仅将霍尔元件改为电解质溶液,其他条件不变,则电势差 U_{CD} 将变大

专题课：带电粒子在有界磁场中的运动

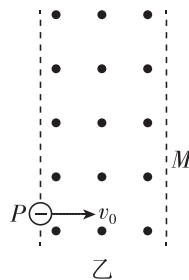
学习任务一 带电粒子在直线有界匀强磁场中的运动

[模型建构] 一电子以垂直于磁场方向并垂直于磁场边界的速度 v_0 从 P 点射入宽度为 d 的匀强磁场中,从 M 点离开磁场,如图所示.思考下列两种情况中如何确定电子做匀速圆周运动的圆心位置.

(1)如图甲所示,电子从 M 点射出时速度的方向已知.

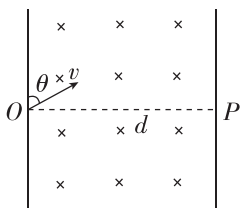


(2)如图乙所示,电子从 M 点射出时速度的方向未知.



例 1 (多选)[2024·山东青岛期末] 如图所示,带电粒子从 O 点以速度 v 射入宽度为 d 的有界匀强磁场,粒子的入射方向垂直于磁场方向且与磁场边界的夹角为 θ ,并垂直于磁场的右边界离开. 已知粒子仅受磁场力作用. 下列说法正确的是 ()

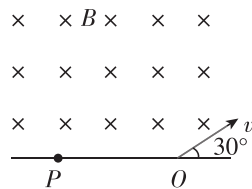
- A. 可以求出粒子在磁场中运动的轨迹半径
 B. 可以求出粒子带的电荷量
 C. 可以求出粒子在磁场中运动的时间
 D. 可以求出粒子的比荷



[反思感悟]

变式 1 如图所示,一带电荷量为 2.0×10^{-9} C、质量为 1.8×10^{-16} kg 的粒子从直线上一点 O 沿与直线夹角为 30° 方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,经过 1.5×10^{-6} s 后到达直线上另一点 P ,粒子重力不计.

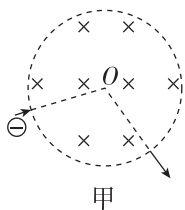
- (1) 求粒子做圆周运动的周期 T ;
 (2) 求磁感应强度 B 的大小;
 (3) 若 O 、 P 之间的距离为 0.1 m,则粒子的运动速度为多大?



学习任务二 带电粒子在圆弧有界匀强磁场中的运动

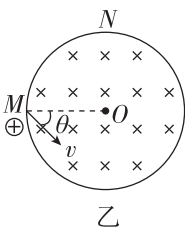
[模型建构] 思考下列两种圆形有界匀强磁场中,如何确定带电粒子做匀速圆周运动的圆心位置.

(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并穿出磁场.



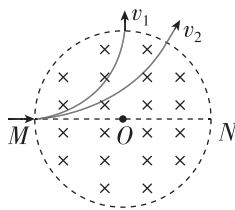
甲

(2) 如图乙所示,带正电粒子射入时粒子速度方向与半径的夹角为 θ ,以一定速度垂直于磁场方向射入圆形匀强磁场区并穿出磁场.



乙

例 2 [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° ;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° . 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]

【要点总结】

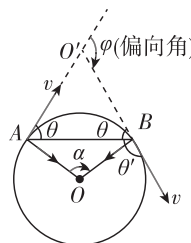
1. 分析解决带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动问题的基本思路:定圆心、找半径、画轨迹、求时间.

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,粒子速度的偏向角 φ 等于圆心角 α ,并且等于 AB 弦与切线的夹角 θ 的 2 倍,即 $\varphi = \alpha = 2\theta$.

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

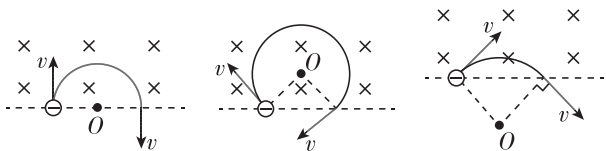


3. 运动时间的确定

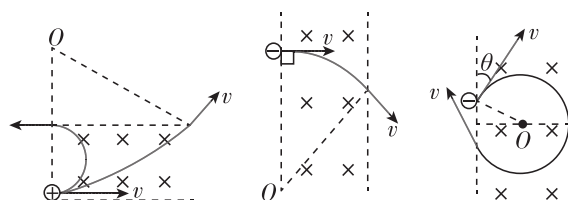
粒子在磁场中运动一周的时间为 T , 当粒子运动的轨迹所对应的圆心角为 α 时, 其运动时间可以由下式表示: $t = \frac{\alpha}{360^\circ}T, t = \frac{\alpha}{2\pi}T$ 或 $t = \frac{l}{v}$ (l 为弧长).

4. 各种有界模型举例如下:

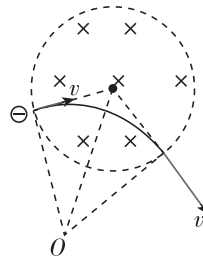
(1) 直线有界(进、出磁场具有对称性, 以多大的角进, 就以多大的角出, 如图所示).



(2) 平行有界(存在临界条件, 如图所示).



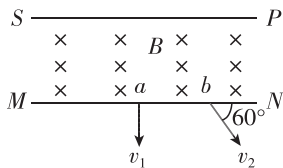
(3) 圆形边界(沿径向射入必沿径向射出, 如图所示).



// 随堂巩固 //

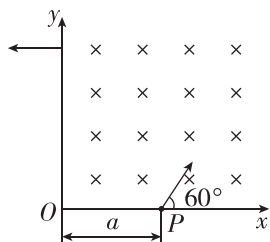
1. (直线边界问题) 如图所示, 有界匀强磁场边界线 $SP \parallel MN$, 速度不同的同种带电粒子从 S 点沿 SP 方向同时射入磁场, 其中穿过 a 点的粒子速度 v_1 与 MN 垂直, 穿过 b 点的粒子速度方向与 MN 成 60° 角, 设两粒子从 S 运动到 a, b 所需的时间分别为 t_1, t_2 , 则 $t_1 : t_2$ 为 ()

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



2. (直线边界问题) [2021 · 北京卷] 如图所示, 在 xOy 坐标系的第一象限内存在匀强磁场. 一带电粒子在 P 点以与 x 轴正方向成 60° 的方向垂直磁场射入, 并恰好垂直于 y 轴射出磁场. 已知带电粒子质量为 m 、电荷量为 q 、 $OP = a$. 不计重力. 根据上述信息可以得出 ()

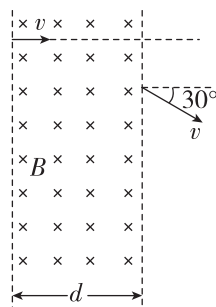
- A. 带电粒子在磁场中运动的轨迹方程
- B. 带电粒子在磁场中运动的速率
- C. 带电粒子在磁场中运动的时间
- D. 该匀强磁场的磁感应强度



3. (直线边界问题) 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 ()

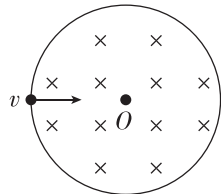
- A. 该粒子带正电

- 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 $t = \frac{\pi d}{3v}$



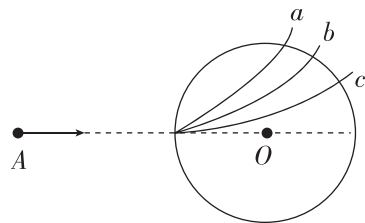
4. (圆弧边界问题) [2024 · 南平一中月考] 如图所示, 半径为 R 的圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场. 重力不计、电荷量一定的带电粒子以速度 v 正对着圆心 O 射入磁场, 若粒子射入、射出磁场点间的距离为 R , 则粒子在磁场中的运动时间为 ()

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



5. (圆弧边界问题) [2023 · 厦门六中月考] 如图所示, 圆形区域内有垂直于纸面的匀强磁场, 三个质量和电荷量相同的带电粒子 a, b, c 以不同的速率对准圆心 O 沿着 AO 方向射入磁场, 其运动轨迹如图所示. 若带电粒子只受磁场力的作用, 则下列说法正确的是 ()

- A. a 粒子的动能最大
- B. c 粒子的速率最大
- C. b 粒子在磁场中运动的时间最长
- D. 它们做圆周运动的周期 $T_a < T_b < T_c$



专题课：带电粒子在有界磁场中的临界问题与多解问题

学习任务一 带电粒子在有界匀强磁场中运动的临界问题

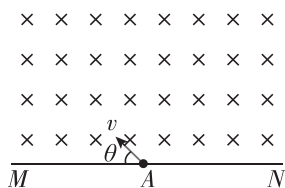
[科学思维] 这类题目中往往含有“最大”“最高”“至少”“恰好”等词语,关键是从轨迹入手找准临界状态及其条件.

(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.

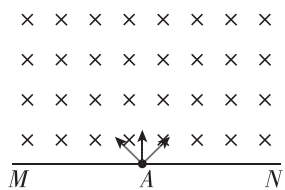
(2)当粒子的入射速度大小确定而方向不确定时,轨迹圆大小不变,只是位置绕入射点发生了旋转,可从确定圆的动态旋转中发现临界点.

[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?

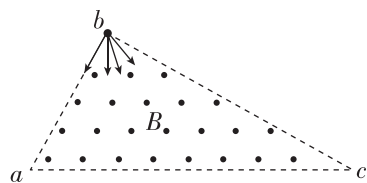


(2)如图所示,若可从 A 点向挡板上方任意方向发射粒子,但速度大小 v 不变,试通过画图判断粒子能射到挡板上的范围.不同入射方向的粒子运动轨迹的圆心有何特点?



例 1 [2024·福州高级中学月考] 如图所示,在直角三角形 abc 区域内存在垂直于纸面向外的匀强磁场,磁感应强度大小为 B , $\angle a = 60^\circ$, $\angle b = 90^\circ$, 边长 $ab = L$. 一个粒子源在 b 点将质量为 m 、电荷量为 q 的带负电粒子以大小和方向不同的速度射入磁场,在磁场中运动时间最长的粒子中,速度的最大值是 ()

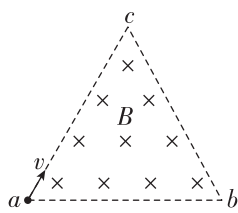
- A. $\frac{qBL}{3m}$
- B. $\frac{\sqrt{3}qBL}{3m}$
- C. $\frac{\sqrt{3}qBL}{2m}$
- D. $\frac{qBL}{2m}$



[反思感悟] _____

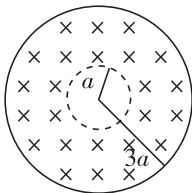
变式 [2023·平潭一中月考] 如图所示,在边长为 L 的正三角形 abc 区域内存在方向垂直于纸面向里的匀强磁场,磁感应强度大小为 B , 有一群质量为 m 、电荷量为 q 的粒子以大小不同的速度从 a 点沿 ac 方向进入磁场,从 ab 边或 bc 边射出磁场. 不计粒子重力和粒子间的相互作用. 下列说法正确的是 ()

- A. 粒子带正电
- B. 粒子在磁场中运动的最长时间为 $\frac{\pi m}{3qB}$
- C. 从 b 点飞出的粒子的轨迹半径为 $\frac{\sqrt{3}}{3}L$
- D. 从 bc 边飞出的粒子的飞出点越靠近 c , 则在磁场中运动的时间越长



[反思感悟] _____

例 2 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 ()

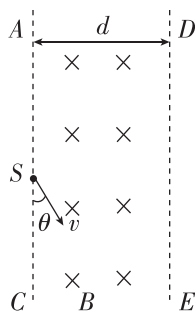


- A. $\frac{3mv}{2ae}$ B. $\frac{mv}{ae}$
C. $\frac{3mv}{4ae}$ D. $\frac{3mv}{5ae}$

[反思感悟]

例 3 [2024·江苏南通期中] 真空区域有宽度为 d 、磁感应强度为 B 的匀强磁场,磁场方向如图所示, AC 、 DE 是磁场的边界. S 是位于 AC 边界上的一个粒子源,可以发出质量为 m 、电荷量为 q 的同种带电粒子.某一粒子以速率 v 沿与 AC 成 $\theta=37^\circ$ 角的方向垂直射入磁场,恰能垂直于 DE 边界射出磁场,不计粒子的重力. ($\sin 37^\circ=0.6, \cos 37^\circ=0.8$)

- (1) 求粒子射入磁场时的速率 v .
(2) 若粒子均以 $\frac{v}{2}$ 的速率沿不同方向垂直射入磁场,仅考虑能从 DE 边界射出磁场的粒子.求:
① 粒子在磁场中运动的最短时间 t_{\min} ;
② 粒子从 DE 边界射出的区域的长度 l .

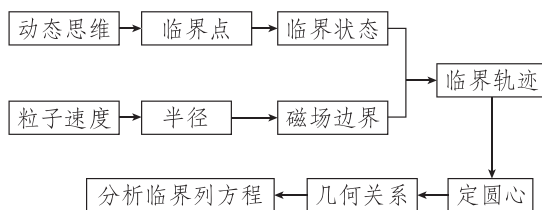


【要点总结】

1. 寻找临界点常用的结论

- (1) 带电粒子刚好穿出或刚好不穿出磁场的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切.
(2) 当运动速度 v 不变时,弧长(或弦长)越长,则圆心角越大,带电粒子在有界磁场中运动的时间越长.
(3) 当速度 v 变化时,圆心角越大,则运动时间越长.

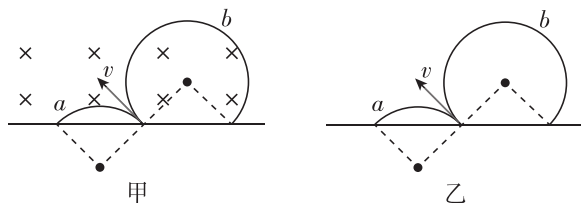
2. 解决带电粒子的临界问题的技巧方法



学习任务二 带电粒子在有界匀强磁场中运动的多解问题

[科学思维] 带电粒子在匀强磁场中运动形成多解的常见情况如下:

- (1) 带电粒子电性不确定形成多解.
受洛伦兹力作用的带电粒子,由于电性不同,当速度相同时,正、负粒子在磁场中运动轨迹不同,形成多解.
如图甲所示,带电粒子以速率 v 垂直磁场方向进入匀强磁场.若粒子带正电,则其轨迹为 a ;若粒子带负电,则其轨迹为 b .



- (2) 磁场方向不确定形成多解.
有些题目只知道磁感应强度的大小,而不知道其方向,此时必须要考虑磁感应强度方向不确定而形成的多解.