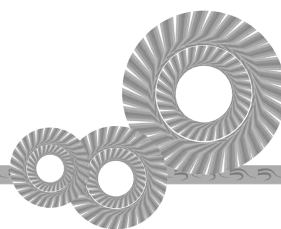


目 录

Contents ★★★★★



第一章 安培力与洛伦兹力	1
第一节 磁场对通电导线的作用力	1
第二节 磁场对运动电荷的作用力	5
第三节 带电粒子在匀强磁场中的运动	9
第四节 质谱仪与回旋加速器	13
章末总结	19
章末检测	21
第二章 电磁感应	25
第一节 楞次定律	25
第二节 法拉第电磁感应定律	28
第三节 涡流、电磁阻尼、电磁驱动	32
第四节 互感和自感	36
章末总结	40
章末检测	43
第三章 交变电流	47
第一节 交变电流	47
第二节 交变电流的描述	51
第三节 变压器	56
第四节 电能的输送	61
章末总结	66
章末检测	67
第四章 电磁振荡与电磁波	71
第一节 电磁振荡	71
第二节 电磁场与电磁波	74
第三节 无线电波的发射和接收	77
第四节 电磁波谱	80
章末总结	83
章末检测	84

第五章 传感器	87
第一节 认识传感器	87
第二节 常见传感器的工作原理及应用	90
第三节 利用传感器制作简单的自动控制装置	94
章末总结	97
章末检测	98
学业质量水平测试(A)	101
学业质量水平测试(B)	105
参考答案	109

山东科学技术出版社

第一节 磁场对通电导线的作用力

一、学科素养与学习目标

1. 知道安培力的定义及安培力大小的决定因素,在实验中体会探究新概念、新理论的思维方法。
2. 会用 $F=IlB$ 计算 B 与 I 垂直情况下的安培力,培养运用数学知识解决物理问题的意识。
3. 掌握左手定则,并会用它判定安培力的方向。
4. 了解磁电式电流表的结构和工作原理,增强用物理知识解释生产生活中现象的意识。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

1. 磁场中的一小段通电导体在该处受力为零,此处 B 一定为零吗?
2. 利用左手定则判断,两平行通电同向直导线间的安培力是引力还是斥力? 如果电流异向呢?

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 通电导线所受安培力的方向与磁场的方向相同。 ()
2. 通电导线在磁场中一定受安培力。 ()
3. 对处于匀强磁场中的某段导线而言,所通电流越大,所受安培力越大。 ()
4. 用左手定则判断安培力方向时,磁感线只要从掌心进入即可,不一定要垂直穿过掌心。 ()
5. 当导体在磁场中放置时,导体所受作用力为 $F=IlB$ 。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 安培力方向的判定——左手定则
内容:伸出左手,四指并拢,使大拇指和其余四

指垂直,并且都跟手掌在同一平面内,让磁感线从掌心垂直进入,并使四指指向电流方向,则大拇指所指方向就是通电导线在磁场中所受安培力的方向,如图 1-1-1 所示。

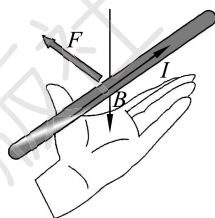


图 1-1-1

2. 安培力的大小

- (1) 定义:磁场对通电导线的作用力。
- (2) 公式: $F=IlB\sin\theta$ 。

式中比例系数 B 称为磁感应强度,单位为特斯拉(T),简称特。 θ 是 B 与 I 的方向夹角。

3. 磁电式电流表的结构和工作原理(自主阅读教材)。
4. 平行通电直导线间的作用力:同向电流相互吸引,异向电流相互排斥。

疑难突破

1. 安培力的方向

(1) 安培力方向的特点: $F \perp B, F \perp I$, 即 F 垂直于 B, I 决定的平面。

(2) 当电流方向与磁场方向不垂直时,安培力的方向仍垂直电流与磁场所决定的平面,所以仍可用左手定则来判断安培力的方向,只是磁感线不再垂直穿过掌心。

(3) 注意区别安培力的方向和电场力的方向与场的方向的关系:安培力的方向总是与磁场的方向垂直,而电场力的方向与电场的方向平行。

2. 安培力的大小

(1) 公式 $F=IlB$ 中 l 指的是“有效长度”。当 B 与 I 垂直时, F 最大;当 B 与 I 平行时, $F=0$ 。当通电导线与磁场方向成某一夹角 θ 时,安培力大小 F

满足: $0 \leq F \leq I l B$ 。

(2) 弯曲导线的有效长度 l , 等于连接两端点直线的长度(如图 1-1-2 所示); 相应的电流沿 l 由始端流向末端。

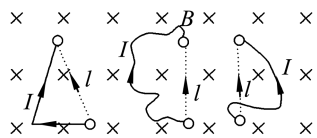


图 1-1-2

3. 判断安培力作用下导体的运动方向, 常有以下几种方法

(1) 电流元法

即把整段电流等效为多段直线电流元, 运用左手定则判断出每小段电流元所受安培力的方向, 从而判断出整段电流所受合力的方向。

(2) 特殊位置法

把电流或磁铁转到一个便于分析的特殊位置后再判断所受安培力的方向, 从而确定运动的方向。

(3) 等效法

环形电流和通电螺线管都可以等效成条形磁铁。条形磁铁也可以等效成环形电流或通电螺线管。通电螺线管也可以等效成很多匝的环形电流来分析。

(4) 利用结论法

① 两电流相互平行时无转动趋势, 同向电流相互吸引, 异向电流相互排斥;

② 两电流不平行时, 有转动到相互平行且电流方向相同的趋势。

(5) 转换研究对象法

因为电流之间、电流与磁体之间的相互作用满足牛顿第三定律。定性分析磁体在电流产生的磁场中的受力和运动时, 可先分析电流在磁体的磁场中受到的安培力, 然后由牛顿第三定律再确定磁体所受电流的作用力。

4. 安培力作用下导体的平衡

a. 解题步骤

(1) 明确研究对象;

(2) 先把立体图改画成平面图, 并将题中的角度、电流的方向、磁场的方向标注在图上;

(3) 正确受力分析(包括安培力), 然后根据平衡条件 $F_{\text{合}} = 0$ 列方程求解。

b. 分析求解安培力时需要注意的问题

(1) 首先画出通电导体所在处的磁感线的方向, 再根据左手定则判断安培力方向;

(2) 安培力的大小与导体放置的角度有关, 但一般情况下只要求求导体与磁场垂直的情况。

典型例题

例1 如图 1-1-3 所示, 导线 abc 为垂直折线, 其中电流为 I , $ab = bc = L$, 导线所在的平面与匀强磁场垂直, 匀强磁场的磁感应强度为 B , 求导线 abc 所受安培力的大小和方向。

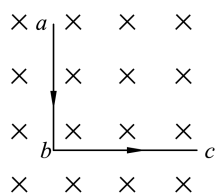
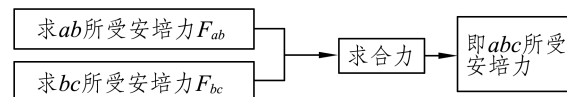


图 1-1-3

思路点拨



变式训练 1 如图 1-1-4 所示, 匀强磁场的磁感应强度大小为 B , 方向垂直纸面向里。长度为 l 的导体中通有恒定电流, 电流大小为 I 。当导体垂直于磁场方向放置时, 导体受到的安培力大小为 $I l B$ 。若将导体在纸面内顺时针转过 30° 角, 导体受到的安培力大小为 ()

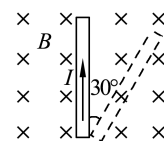


图 1-1-4

- A. $\frac{I l B}{2}$ B. $I l B$ C. $\frac{\sqrt{3}}{2} I l B$ D. $2 I l B$

例2 如图 1-1-5 所示, 把轻质导线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于线圈平面, 线圈内通入如图所示方向的电流后, 线圈 ()

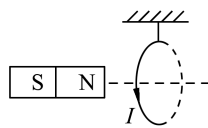


图 1-1-5

- A. 向左运动 B. 向右运动
C. 静止不动 D. 无法确定

思路点拨: (1) 熟悉条形磁铁周围空间的磁场分布。
(2) 通电线圈可等效成条形磁铁。
(3) 通电线圈也可看成由许多电流元组成。

方法提炼

等效法: 环形电流和通电螺线管都可以等效成条形磁铁。条形磁铁也可以等效成环形电流或通电螺线管。通电螺线管也可以等效成很多匝的环形电流。

电流元法: 即把整段电流等效为多段直线电流元, 运用左手定则判断出每小段电流元所受安培力的方向, 从而判断出整段电流所受合力的方向。

变式训练 2 如图 1-1-6 所示, 两根垂直纸面、平行且固定放置的直导线 M 和 N , 通有同向等值

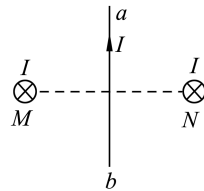


图 1-1-6

电流,沿纸面与直导线 M 、 N 等距放置另一根可自由移动的通电导线 ab ,则通电导线 ab 在安培力作用下的运动情况是 ()

- A. a 端转向纸里, b 端转向纸外
 B. 沿纸面逆时针转动
 C. a 端转向纸外, b 端转向纸里
 D. 沿纸面顺时针转动

例3 质量为 $m=0.02\text{ kg}$ 的通电细杆 ab 置于倾角为 $\theta=37^\circ$ 的平行放置的导轨上,导轨的宽度 $d=0.2\text{ m}$,杆 ab 与导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.4$,磁感应强度 $B=2\text{ T}$ 的匀强磁场与导轨平面垂直且方向向下,如图 1-1-7 所示。现调节滑动变阻器的触头,试求出为使杆 ab 静止不动,通过杆 ab 的电流范围为多少?(已知最大静摩擦力等于滑动摩擦力,取 $g=10\text{ m/s}^2$)

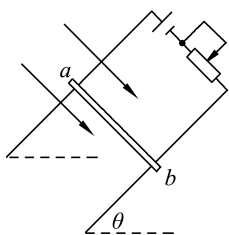
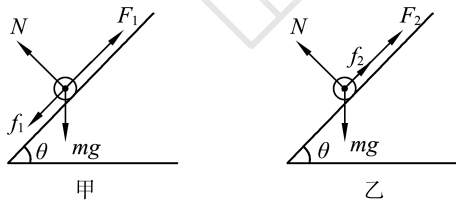


图 1-1-7

思路点拨: 解答该题应注意以下关键点:①将立体图转换为平面图进行受力分析;②静摩擦力可能有两个方向,从而可求电流的范围。

解答过程: 杆 ab 中的电流为 a 到 b ,所受的安培力方向平行于导轨向上。当电流较大时,导体有向上的运动趋势,所受静摩擦力向下;当静摩擦力达到最大时,安培力为最大值 F_1 ,此时通过 ab 的电流最大为 I_{\max} ;同理,当电流最小时,应该是导体受向上的静摩擦力,此时的安培力为 F_2 ,电流为 I_{\min} 。

正确地画出两种情况下的受力图(如图所示),由平衡条件列方程求解。



根据图甲列式如下:

$$F_1 - mg \sin \theta - f_1 = 0$$

$$N - mg \cos \theta = 0$$

$$f_1 = \mu N$$

$$F_1 = BI_{\max} d$$

$$\text{解上述方程得 } I_{\max} = 0.46\text{ A}$$

根据图乙列式如下:

$$F_2 + f_2 - mg \sin \theta = 0$$

$$N - mg \cos \theta = 0$$

$$f_2 = \mu N$$

$$F_2 = BI_{\min} d$$

$$\text{解上述方程得 } I_{\min} = 0.14\text{ A}$$

$$\text{故所求范围为 } 0.14\text{ A} \leq I \leq 0.46\text{ A}$$

方法提炼: 正确进行受力分析,静摩擦力的方向存在多解是解题的关键。极限思维、渐变思维在本题中应灵活应用。

变式训练 3 (多选)在同一光滑斜面上放同一导体棒,两种情况的剖面图如图 1-1-8 所示。所处空间有磁感应强度大小相等的匀强磁场,但方向不同,一次垂直斜面向上,另一次竖直向上,两次导体棒 A 分别通有电流 I_1 和 I_2 ,都处于静止平衡。已知斜面的倾角为 θ ,则 ()



图 1-1-8

- A. $I_1 : I_2 = \cos \theta : 1$
 B. $I_1 : I_2 = 1 : 1$
 C. 导体棒 A 所受安培力大小之比 $F_1 : F_2 = \sin \theta : \cos \theta$
 D. 斜面对导体棒 A 的弹力大小之比 $F_{N1} : F_{N2} = \cos^2 \theta : 1$

四、分层训练与能力提升

基础达标

- (多选)关于磁场对通电直导线的作用力(安培力),下列说法正确的是 ()

A. 通电直导线在磁场中一定受到安培力的作用
 B. 通电直导线在磁场中所受安培力的方向一定与磁场的方向垂直
 C. 通电直导线在磁场中所受安培力的方向一定与电流的方向垂直
 D. 通电直导线在磁场中所受安培力的方向垂直于由 B 和 I 所确定的平面
- 磁场中某区域的磁感线如图 1-1-9 所示,则 ()

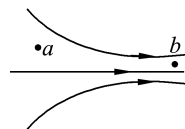


图 1-1-9

- A. 同一通电导线放在 a 处受到的磁场力一定比

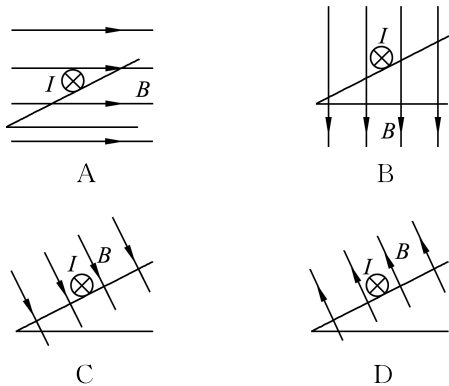
放在 b 处受到的磁场力大

B. 同一通电导线放在 a 处受到的磁场力一定比放在 b 处受到的磁场力小

C. a 、 b 两处的磁感应强度的大小不等, $B_a < B_b$

D. a 、 b 两处的磁感应强度的大小不等, $B_a > B_b$

3. 通电导体棒水平放置在光滑绝缘斜面上, 整个装置处在匀强磁场中, 在下列四种情况中导体棒可能保持静止状态的是 ()



4. 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。”进一步研究表明, 地球周围地磁场的磁感线分布示意图如图 1-1-10 所示。结合上述材料, 下列说法错误的是 ()

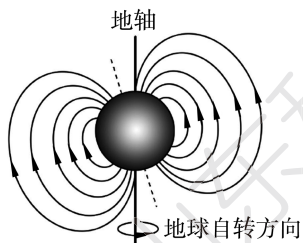


图 1-1-10

- A. 地理南、北极与地磁场的南、北极不重合
 B. 地球内部也存在磁场, 地磁南极在地理北极附近
 C. 地球表面任意位置的地磁场方向都与地面平行
 D. 形成地磁场的原因可能是带负电的地球自转引起的

5. 一个可以自由运动的线圈 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 1-1-11 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 ()

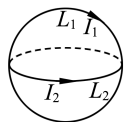


图 1-1-11

- A. 不动
 B. 顺时针转动
 C. 逆时针转动
 D. 向纸面内平动
6. (多选) 磁电式电流表的构造如图 1-1-12 甲所示, 在蹄形磁铁的两极间有一个可以绕轴转动的

线圈, 转轴上装有螺旋弹簧和指针。蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀辐向分布, 如图 1-1-12 乙所示。当电流通过线圈时, 线圈在安培力的作用下转动, 螺旋弹簧被扭动, 线圈停止转动时满足 $NBIS = k\theta$, 式中 N 为线圈的匝数, S 为线圈的面积, I 为通过线圈的电流, B 为磁感应强度, θ 为线圈(指针)偏角, k 是与螺旋弹簧有关的常量。不考虑电磁感应现象, 由题中的信息可知 ()

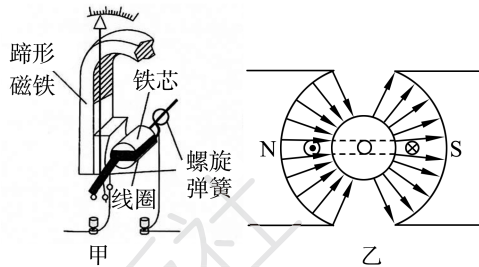


图 1-1-12

- A. 该电流表的刻度是均匀的
 B. 线圈转动过程中受到的安培力的大小不变
 C. 若线圈中通以如图乙所示的电流时, 线圈将沿逆时针方向转动
 D. 更换 k 值更大的螺旋弹簧, 可以增大电流表的灵敏度(灵敏度即 $\frac{\Delta\theta}{\Delta I}$)
7. 如图 1-1-13 所示, 平行金属导轨 PQ 与 MN 都与水平面成 θ 角, 相距为 L 。一根质量为 m 的金属棒 ab 在导轨上, 并保持水平方向, ab 棒内通有恒定电流, 电流大小为 I , 方向从 a 到 b 。空间存在着方向与导轨平面垂直的匀强磁场, ab 棒在磁场力的作用下保持静止, 并且棒与导轨间没有摩擦力。求磁感应强度 B 的大小和方向。

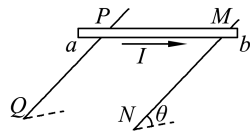


图 1-1-13

能力提升

8. 如图 1-1-14 所示, 把一通电直导线放在蹄形磁铁磁极的正上方, 导线可以自由转动。当导线中通有如图所示方向的电流 I 时, 导线将(从上往下看) ()

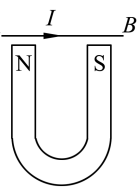


图 1-1-14

- A. 顺时针转动, 同时向下运动
 B. 顺时针转动, 同时向上运动
 C. 逆时针转动, 同时向下运动
 D. 逆时针转动, 同时向上运动

9. 如图 1-1-15 所示,长为 $3L$ 的直导线折成三段做成正三角形,并置于与其所在平面相垂直的匀强磁场中,磁场的强弱为 B ,当在该导线中通以电流强度为 I 的电流时,该通电导线受到的安培力大小为 ()

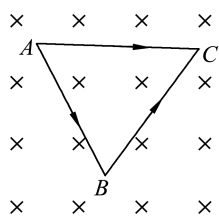


图 1-1-15

- A. $2ILB$ B. $\frac{3}{2}ILB$
C. $\frac{2+\sqrt{3}}{2}ILB$ D. 0

10. 如图 1-1-16 所示,台秤上放一光滑平板,其左边固定一挡板,一轻质弹簧将挡板和一条形磁铁连接起来,此时台秤读数为 N_1 ,现在磁铁上方中心偏左位置固定一通电导线,电流方向如图,当加上电流后,台秤读数为 N_2 ,则下列说法正确的是 ()

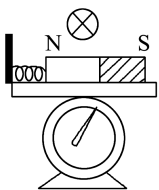


图 1-1-16

- A. $N_1 > N_2$, 弹簧长度将变长
B. $N_1 > N_2$, 弹簧长度将变短
C. $N_1 < N_2$, 弹簧长度将变长
D. $N_1 < N_2$, 弹簧长度将变短
11. 如图 1-1-17 所示,两平行的粗糙金属导轨水平固定在匀强磁场中,磁感应强度为 B ,导轨宽度为 L ,一端与电源连接。一质量为 m 的金属棒 ab 垂直于平行导轨放置并接触良好,金属棒与导轨间的动摩擦因数为 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$,在安培力的作用下,金属棒以 v_0 的速度向右匀

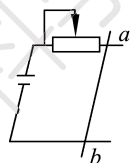


图 1-1-17

速运动,通过改变磁感应强度的方向,可使流过导体棒的电流最小,此时磁感应强度的方向与竖直方向的夹角为 ()

- A. 37° B. 30° C. 45° D. 60°

情境融合

12. 教师在课堂上做了两个小实验,让小明同学印象深刻。第一个实验叫作“旋转的液体”,在玻璃皿的中心放一个圆柱形电极,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,然后在玻璃皿中放入导电液体,如盐水。如果把玻璃皿放在磁场中,液体就会旋转起来,如图 1-1-18 甲所示。第二个实验叫作“振动的弹簧”,把一根柔软的弹簧悬挂起来,使它的下端刚好跟槽中的水银接触,通电后,发现弹簧不断上下振动,如图 1-1-18 乙所示。下列关于这两个趣味实验的说法正确的是 ()

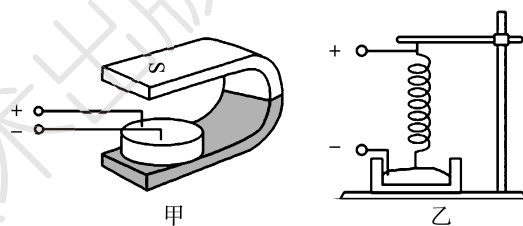


图 1-1-18

- A. 图甲中,如果改变磁场的方向,液体的旋转方向不变
B. 图甲中,如果改变电源的正负极,液体的旋转方向不变
C. 图乙中,如果改变电源的正负极,依然可以观察到弹簧不断上下振动
D. 图乙中,如果将水银换成酒精,依然可以观察到弹簧不断上下振动

第二节 磁场对运动电荷的作用力

一、学科素养与学习目标

1. 通过实验探究,认识磁场对运动电荷有洛伦兹力的作用,体会物理学研究方法,提高分析推理能力和实验观察能力。

2. 理解安培力是导线中定向运动的电荷受到的洛伦兹力的宏观表现。经历科学思维过程,在此

过程中培养严谨的科学态度。

3. 会用洛伦兹力的计算公式计算洛伦兹力的大小,能用左手定则判断洛伦兹力的方向,深化左手定则的三维空间的理念。

4. 知道电子束的磁偏转原理及其在技术中的应用,增强用物理知识解释生产生活中现象的意识。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

1. 电荷在磁场中一定受洛伦兹力的作用吗?
2. 如何用安培力的表达式推导洛伦兹力的表达式?

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 电荷在磁场中一定受洛伦兹力。 ()
2. 洛伦兹力一定与电荷运动方向垂直。 ()
3. 电荷运动速度越大,它的洛伦兹力一定越大。 ()
4. 电子束撞击荧光屏时荧光屏会发光。 ()
5. 电视机显像管中若磁场加强,电子束偏转幅度变小。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 洛伦兹力

(1)定义:运动电荷在磁场中所受的力。

(2)与安培力的关系:通电导线在磁场中所受的安培力是洛伦兹力的宏观表现,而洛伦兹力是安培力的微观解释。

2. 洛伦兹力的方向

(1)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平面内。让磁感线从掌心垂直进入,并使四指指向正电荷运动方向,这时拇指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。

(2)特点:洛伦兹力的方向与电荷运动方向和磁场方向都垂直,洛伦兹力只改变带电粒子的运动方向,不改变速度大小,对电荷不做功。

3. 洛伦兹力的大小

(1)当 $v \perp B$ 时, $F_{洛} = qvB$ 。

(2)当 $v \parallel B$ 时, $F_{洛} = 0$ 。

(3) v 与 B 夹角为 θ 时, $F_{洛} = qvB \sin \theta$ 。

4. 电视机显像管中电子束的偏转利用的就是运动电荷在磁场中受到洛伦兹力的原理。显像管中有一个阴极,工作时它能发射电子,荧光屏被电子束撞击就能发光。电子束经过水平偏转磁场和竖直偏转磁场,且偏转磁场的强弱都在不断变化,因此电子束打在荧光屏上的光点不断移动。

疑难突破

1. 洛伦兹力的特点

(1)利用左手定则判断洛伦兹力的方向,注意区分正、负电荷。

(2)当电荷运动方向发生变化时,洛伦兹力的方向也随之变化。

(3)运动电荷在磁场中不一定受洛伦兹力作用。

(4)洛伦兹力一定不做功。

2. 洛伦兹力与安培力的联系及区别

(1)安培力是洛伦兹力的宏观表现,二者性质相同,都是磁场力。

(2)安培力可以做功,而洛伦兹力对运动电荷不做功。

3. 洛伦兹力与电场力的比较

	洛伦兹力	电场力
产生条件	$v \neq 0$ 且 v 不与 B 平行	电荷处在电场中
大小	$F = qvB (v \perp B)$	$F = qE$
方向	$F \perp B$ 且 $F \perp v$	正电荷受力与电场方向相同,负电荷受力与电场方向相反
做功情况	任何情况下都不做功	可能做正功,可能做负功,也可能不做功

特别提醒:(1)判断负电荷在磁场中运动受洛伦兹力的方向,四指要指向负电荷运动的相反方向。

(2)电荷运动的方向和 B 不一定垂直,但洛伦兹力一定垂直于磁感应强度 B 和电荷的速度方向。

4. 电子束的磁偏转

借助磁场的作用,使电子束(或其他的运动电荷)改变运动方向的现象,称为磁偏转。

显像管原理示意图如图 1-2-1 所示,显像管的最前端为荧光屏,最后端是电子枪,管颈处是两个偏转线圈。当偏转线圈未加磁场时,电子枪发出的电子束将轰击在荧光屏的中心,荧光屏的中心就出现一个亮点。当显像管接收到影像信号时,磁偏转装置就会产生一个变化的磁场,使电子束从荧光屏左上角开始向右扫描出一条水平线,之后再扫描下面一条线。如此高频率地反复扫描,并利用人眼的视觉暂留效应,使荧光屏上的亮点构成我们看到的影像。

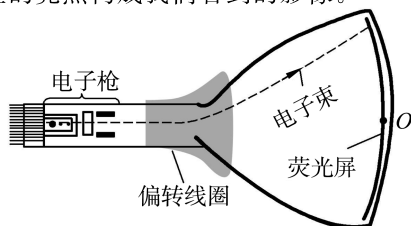


图 1-2-1

典型例题

例1 (多选) 一个电子穿过某一空间而未发生偏转, 则 ()

- A. 此空间一定不存在磁场
 B. 此空间可能有磁场, 方向与电子速度方向平行
 C. 此空间可能有磁场, 方向与电子速度方向垂直
 D. 此空间可能有正交的磁场和电场, 它们的方向均与电子速度方向垂直

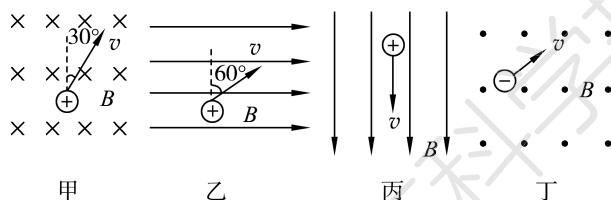
思路点拨: (1) “未发生偏转”说明电子做直线运动。

(2) 做直线运动的条件是物体所受合力为零或合力与运动方向在一条直线上。

方法提炼: (1) 电荷在电场中一定受电场力, 而在磁场中不一定受洛伦兹力。

(2) 洛伦兹力方向与速度方向一定垂直, 而电场力的方向与速度方向无必然联系。

变式训练 1 在下列各图中, 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。



例2 显像管的工作原理示意图如图 1-2-2 所示, 没有磁场时电子束打在荧光屏中心的 O 点, 为使电子束偏转, 在管颈区域加有偏转磁场(由偏转线圈产生)。

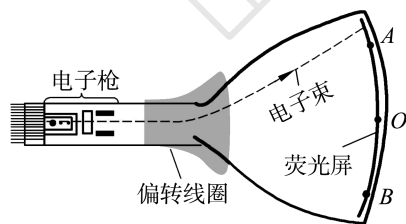


图 1-2-2

(1) 要使电子束在竖直方向偏离中心, 打在荧光屏上的 A 点, 偏转磁场应该沿什么方向?

(2) 电子束打在图中的 B 点, 偏转磁场应该沿什么方向?

思路点拨: 解此题关键是电子枪发出电子带负电, 应用左手定则时四指指向运动反方向。

方法提炼: (1) 磁偏转的实际应用。(2) 用左手定则分析判定负电荷的偏转。

变式训练 2 电视机显像管偏转线圈作用的示意图

如图 1-2-3 所示。当线圈中通以图示方向的电流时, 一束沿中心轴线 O 自纸内射向纸外的电子流将 ()

- A. 向左偏转
 B. 向右偏转
 C. 向上偏转
 D. 向下偏转

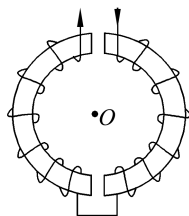


图 1-2-3

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. (多选) 关于洛伦兹力的方向的判定, 下列说法正确的是 ()

- A. 用左手定则判定洛伦兹力的方向时, “四指指向”与电荷定向运动的方向相同
 B. 用左手定则判定洛伦兹力的方向时, “四指指向”与电荷运动形成等效电流的方向相同
 C. 正电荷在磁场中所受洛伦兹力的方向即该处磁场方向
 D. 若将在磁场中的运动电荷 $+q$ 换为 $-q$ 且速度方向反向, 则洛伦兹力方向不变

2. 如图 1-2-4 所示, 匀强磁场水平向右, 电子在磁场中的运动方向水平向右, 则该电子 ()

- A. 不受洛伦兹力
 B. 受洛伦兹力, 方向向上
 C. 受洛伦兹力, 方向向下
 D. 受洛伦兹力, 方向向左

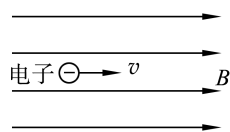


图 1-2-4

3. (多选) 如图 1-2-5 所示, 一阴极射线管左侧不断有电子射出, 若在管的正下方放一通电直导线 AB 时, 发现射线的径迹向下弯曲, 则 ()

- A. 导线中的电流从 A 到 B
 B. 导线中的电流从 B 到 A
 C. 若要使电子束的径迹向上弯曲, 可以改变 AB 中的电流方向来实现

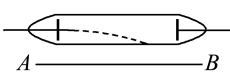


图 1-2-5

D. 电子束的径迹与 AB 中的电流方向无关

4. (多选) 关于安培力和洛伦兹力, 下列说法正确的是 ()

- A. 安培力和洛伦兹力是性质完全不同的两种力
 B. 安培力和洛伦兹力, 其本质都是磁场对运动电荷的作用力
 C. 安培力和洛伦兹力, 二者是等价的
 D. 安培力能对通电导体做功, 但洛伦兹力不能对运动电荷做功

5. 带电质点在匀强磁场中运动,某时刻速度方向如图 1-2-6 所示,所受的重力和洛伦兹力的合力恰好与速度方向相反,不计阻力,则在此后的一小段时间内,带电质点将 ()

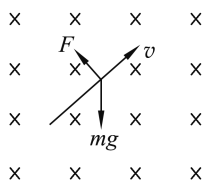


图 1-2-6

- A. 可能做直线运动 B. 可能做匀减速运动
C. 一定做曲线运动 D. 可能做匀速圆周运动
6. 航天员若要走出舱外,所穿的航天服必须要能阻挡宇宙射线的辐射。而射向地球的绝大多数宇宙射线在地磁场洛伦兹力的作用下发生偏转,基本到达不了地球表面。如图 1-2-7 所示,一束带正电粒子流(类似于宇宙射线)沿图中箭头所示方向通过两磁极间时,其偏转方向为 ()
- A. 向上 B. 向下
C. 向 N 极 D. 向 S 极
7. 试判断下列各图中带电粒子所受洛伦兹力的方向或粒子的带电性。

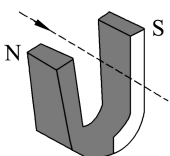
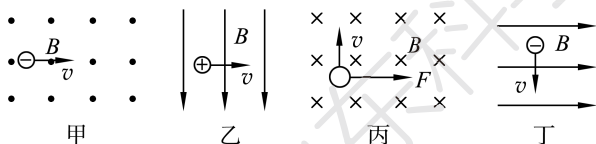


图 1-2-7



甲

乙

丙

丁

能力提升

8. 带电油滴以水平速度 v_0 垂直进入磁场,恰好做匀速直线运动。如图 1-2-8 所示,若油滴质量为 m ,磁感应强度为 B ,则下列说法正确的是 ()

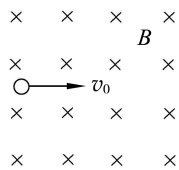


图 1-2-8

- A. 油滴必带正电荷,电荷量为 $\frac{2mg}{v_0 B}$
B. 油滴必带负电荷,比荷 $\frac{q}{m} = \frac{g}{v_0 B}$
C. 油滴必带正电荷,电荷量为 $\frac{mg}{v_0 B}$

D. 油滴带什么电荷都可以,只要满足 $q = \frac{mg}{v_0 B}$

9. 关于静电力与洛伦兹力,下列说法正确的是 ()
- A. 静电场中的电荷一定会受到静电力的作用,磁场中的运动电荷一定会受到洛伦兹力的作用
B. 静电力一定会对电场中的运动电荷做功,而洛伦兹力对磁场中的运动电荷则一定不做功
C. 静电力方向与电场线方向平行,洛伦兹力方向也与磁感线方向平行
D. 静电力和洛伦兹力的大小均与电荷的电量大小成正比
10. 下列关于洛伦兹力的说法,正确的是 ()
- A. 只要速度大小相同,所受洛伦兹力就相同
B. 如果把 $+q$ 改为 $-q$,且速度反向,大小不变,则洛伦兹力的大小、方向均不变
C. 洛伦兹力方向一定与电荷速度方向垂直,磁场方向一定与电荷运动方向垂直
D. 粒子在只受到洛伦兹力作用下运动的动能、速度均不变
11. 图 1-2-9 中 a, b, c, d 为四根与纸面垂直的长直导线,其横截面位于正方形的四个顶点上,导线中通以大小相同的电流,方向如图所示。一带正电的粒子从正方形中心 O 点沿垂直于纸面的方向向外运动,它所受洛伦兹力的方向是 ()

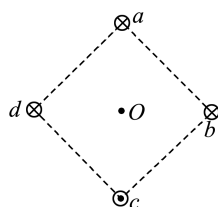


图 1-2-9

- A. 向上 B. 向下
C. 向左 D. 向右

情境融合

12. 某市处在北纬 30 度附近,一束带负电的粒子从太空沿地球半径方向飞向该市一座塔,由于受到地磁场的作用,粒子的运动方向将会发生偏转,该束带电粒子偏转方向是 ()
- A. 向东 B. 向西
C. 向南 D. 向北

第三节 带电粒子在匀强磁场中的运动

一、学科素养与学习目标

1. 进一步理解洛伦兹力总是与粒子的运动方向垂直,只改变粒子速度的方向,不改变粒子速度的大小,深化物理观念并能用其解决实际问题。

2. 通过演示实验理解带电粒子的初速度方向与磁感应强度的方向垂直时,粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动。体验科学探究过程,通过科学探究,提出合理猜想,构建物理模型。

3. 会利用匀速圆周运动的动力学方程,推导出带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的半径、周期公式,知道它们与哪些因素有关。能运用科学思维方法定量地对问题进行科学推理、找出规律、形成结论,定量地分析半径与哪些因素有关。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

1. 探究电子在磁场中的偏转(洛伦兹力演示仪示意图如图 1-3-1 所示)

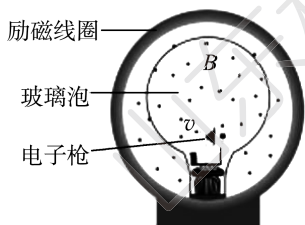


图 1-3-1

洛伦兹力演示仪演示实验:用洛伦兹力演示仪观察运动电子在磁场中的偏转。在做以下每项观察之前,首先根据洛伦兹力的知识预测电子束的径迹,然后观察,并检验你的预测。

(1) 不加磁场时观察电子束的径迹是什么?

(2) 给励磁线圈通电,在玻璃泡中产生沿线圈中心连线方向、由纸面指向读者的磁场,观察电子束的径迹。

(3) 保持出射电子的速度不变,磁感应强度越大,观察电子束径迹有哪些变化。

(4) 保持磁感应强度不变,出射电子的速度越大,观察电子束径迹有哪些变化。

2. 带电粒子在匀强磁场中的运动

(1) 带电粒子(不计重力)的运动方向与磁场方向平行,带电粒子在磁场中做什么运动?

(2) 带电粒子的运动方向与磁场方向垂直,带电粒子在磁场中做什么运动?谁提供了带电粒子的向心力?推导半径和周期的表达式:

$$qvB = m \frac{v^2}{r} = m\omega v = m \frac{2\pi}{T}v$$

$$\text{可得 } r = \frac{mv}{qB}, \omega = \frac{qB}{m}, T = \frac{2\pi m}{qB}$$

(3) 带电粒子的运动方向与磁场方向成 θ 角,粒子在垂直于磁场方向做什么运动?在平行磁场方向做什么运动?叠加后粒子做等距螺旋曲线运动,且速率不变。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 带电粒子进入匀强磁场后一定做匀速圆周运动。 ()
2. 根据公式 $T = \frac{2\pi r}{v}$,说明带电粒子在匀强磁场中的运动周期 T 与 v 成反比。 ()
3. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动时,其运动半径与带电粒子的比荷有关。 ()
4. 运动电荷进入磁场后(无其他场)可能做匀速圆周运动,也可能做类平抛运动。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 用洛伦兹力演示仪观察运动电子在磁场中的运动

实验操作	轨迹特点
不加磁场时	电子束的径迹是直线
给励磁线圈通电后	电子束的径迹是圆
保持电子速度不变,改变磁感应强度	磁感应强度越大,轨迹半径越小
保持磁感应强度不变,改变电子速度	电子速度越大,轨迹半径越大

2. 洛伦兹力的作用效果

洛伦兹力只改变带电粒子速度的方向,不改变带电粒子速度的大小,或者说洛伦兹力不对带电粒子做功,不改变粒子的能量。

3. 带电粒子的运动规律

沿着与磁场垂直的方向射入磁场的带电粒子,在匀强磁场中做匀速圆周运动。洛伦兹力总与速度方向垂直,正好起到了向心力的作用。

$$\text{公式: } qvB = m \frac{v^2}{r}$$

$$\text{半径: } r = \frac{mv}{qB}$$

$$\text{周期: } T = \frac{2\pi m}{qB}$$

(1)由半径的公式可知,半径与带电粒子的质量、电量、磁感应强度和速度都有关系,对于确定的粒子和确定的磁场,半径与速度成正比。

(2)由角速度和周期公式可知,角速度和周期与带电粒子的质量、电量和磁感应强度有关,与带电粒子的速度和半径无关。

疑难突破

1. 带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的思想方法和理论依据

一般来说,要把握好“一找圆心,二定半径,三求时间”的分析方法。在具体问题中,要依据题目条件和情景而定。解题的理论依据主要是牛顿第二定律列式: $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 求半径 $r = \frac{mv}{qB}$ 及运动周期 $T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ 。

(1)圆心的确定:因为洛伦兹力始终与电荷运动方向垂直,洛伦兹力为粒子做圆周运动提供了向心力,总是指向圆心。根据此点,我们可以很容易地找到圆周的圆心。在实际问题中,圆心位置的确定极为重要,通常有两种方法:

①画出粒子运动中的任意两点(一般是射入和射出磁场的两点)的洛伦兹力的方向,其延长线的交点即为圆心,如图 1-3-2 甲所示。

②通过入射点或出射点作速度方向的垂线,再连接入射点和出射点,作其中垂线,这两条线的交点就是圆弧轨道的圆心,如图 1-3-2 乙所示。

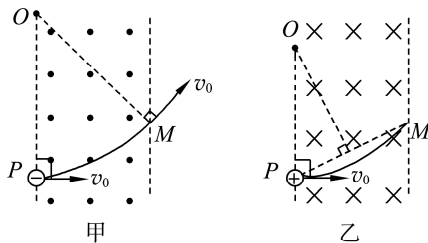


图 1-3-2

(2)半径的确定和计算

①由物理方法求:半径 $R = \frac{mv}{qB}$

②由几何方法求:一般由数学公式(勾股定理、三角函数等)计算来确定。

(3)运动时间的确定

①粒子在磁场中运动一周的时间为 T ,当粒子运动的圆弧所对应的圆心角为 α 时,其运动时间由下式表示:

$$t = \frac{\alpha}{360^\circ} T \text{ (或 } t = \frac{\alpha}{2\pi} \cdot T \text{)}$$

②用弧长与线速度的比 $t = \frac{s}{v}$

2. 带电粒子在不同边界磁场中的运动

(1)直线边界(进出磁场具有对称性,如图 1-3-3 甲所示)。

(2)平行边界(存在临界条件,如图乙所示)。

(3)圆形边界(沿径向射入必沿径向射出,如图丙所示)。

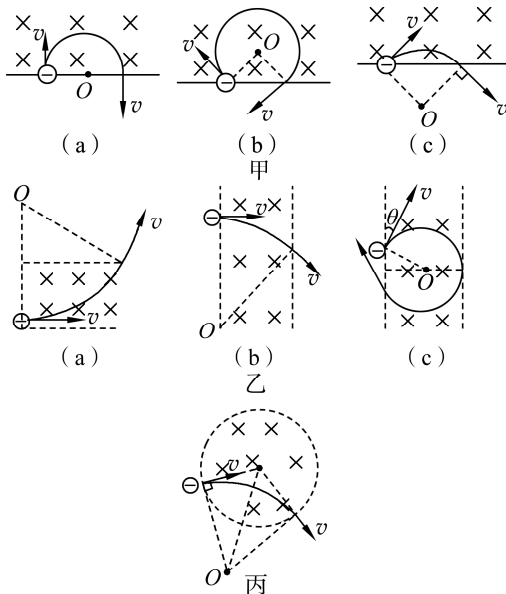


图 1-3-3

典型例题

例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,运行的

半圆轨迹如图 1-3-4 中虚线所示,下列表述正确的是 ()

- A. M 带负电, N 带正电
 B. M 的速率小于 N 的速率
 C. 洛伦兹力对 M 、 N 做正功
 D. M 的运行时间大于 N 的运行时间

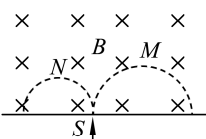


图 1-3-4

思路点拨: (1) 由粒子偏转方向确定洛伦兹力方向,再由左手定则判断粒子的电性。

(2) 带电粒子只在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动的时间由转过的圆心角决定,与速度无关。

方法提炼: (1) 充分利用圆周运动的性质,如周期特点、对称性等。

(2) 要画好运动示意图,这样有利于物理情境的形成和问题的解答。

变式训练 1 两相邻匀强磁场区域的磁感应强度大小不同、方向平行。一速度方向与磁感应强度方向垂直的带电粒子(不计重力),从较强磁场区域进入到较弱磁场区域后,粒子的 ()

- A. 轨道半径减小,角速度增大
 B. 轨道半径减小,角速度减小
 C. 轨道半径增大,角速度增大
 D. 轨道半径增大,角速度减小

例 2 如图 1-3-5 所示,一带电量为 q 、质量为 m 的粒子,在直线上一点 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,经过时间 t 后到达直线上另一点 P 。

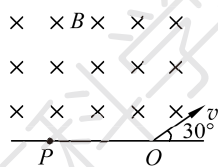


图 1-3-5

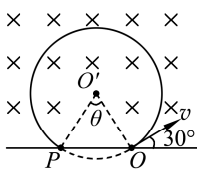
- (1) 求粒子在磁场中运动的周期;
 (2) 求磁感应强度 B 的大小;
 (3) 若 O 、 P 之间的距离为 L ,则粒子的运动速度多大?

思路点拨: (1) 画出粒子由 O 点到 P 点的运动轨迹,确定圆心、圆心角。

(2) 确定粒子运动时间与周期的关系。

(3) 确定粒子运动的半径及其与 OP 之间的关系。

解答过程: (1) 作出粒子轨迹,如图所示,由图可知粒子由 O 到 P 的大圆弧所对的圆心角为 300° ,则 $t = \frac{300^\circ}{360^\circ} T$



所以,周期 $T = \frac{6}{5} t$

(2) 由于粒子做圆周运动所需的向心力为洛伦

兹力,得 $Bqv = \frac{mv^2}{R}$,又 $T = \frac{2\pi r}{v}$

$$\text{所以 } B = \frac{2\pi m}{qT} = \frac{5\pi m}{3qt}$$

(3) 由几何知识可知,半径 $R = OP = L$

由于粒子做圆周运动所需的向心力为洛伦兹力,得 $Bqv = \frac{mv^2}{R}$

故粒子的速度

$$v = \frac{BqR}{m} = \frac{BqL}{m}$$

方法提炼: (1) 确定粒子的运动轨迹、半径、圆心角等是解决此类问题的关键。

(2) 掌握粒子在匀强磁场中做圆周运动的轨迹半径公式和周期公式是分析此类问题的依据。

变式训练 2 如图 1-3-6 所示,一束电子(电荷量为 e)以速度 v 由 A 点垂直射入磁感应强度为 B 、宽度为 d 的有界匀强磁场中,在 C 点穿出磁场时的速度方向与电子原来的入射方向成 30° 夹角,则电子的质量是多少? 电子穿过磁场的的时间是多少?

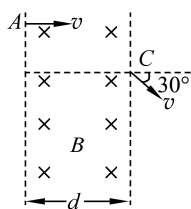


图 1-3-6

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. 如图 1-3-7 所示, ab 是一弯管,其中心线是半径为 R 的一段圆弧,将它置于一定的匀强磁场中,磁场方向垂直于圆弧所在平面,并且指向纸外。有一束粒子对准 a 端射入弯管,粒子有不同的质量、不同的速度,但都是一价正离子,则 ()
- A. 只有速度 v 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管
 B. 只有质量 m 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管
 C. 只有质量 m 与速度 v 的乘积大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管
 D. 只有动能 E_k 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管

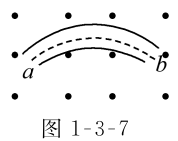


图 1-3-7

2. 水平长直导线中通有恒定电流 I , 导线正下方的电子的初速度方向与电流方向相同, 如图 1-3-8 所示, 则电子的运动情况是 ()

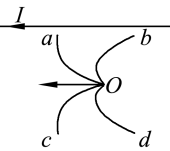


图 1-3-8

- A. 沿路径 Oa 运动
 B. 沿路径 Ob 运动
 C. 沿路径 Oc 运动
 D. 沿路径 Od 运动
3. (多选) 有两个匀强磁场区域 I 和 II, I 中的磁感应强度是 II 中的 k 倍。两个速率相同的电子分别在两磁场区域做圆周运动。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

4. 如图 1-3-9 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, 其速度方向与 MN 成 60° 角, 设两粒子从 S 到 a、b 所需的时间分别为 t_1, t_2 , 则 $t_1 : t_2$ 为 ()

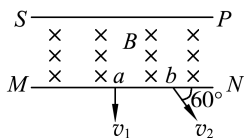


图 1-3-9

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

5. 如图 1-3-10 所示, MN 为铝质薄平板, 铝板上表面和下方分别有垂直于图平面的匀强磁场 (未画出)。一带电粒子从紧贴铝板上表面的 P 点垂直于铝板向上射出, 从 Q 点穿越铝板后到达 PQ 的中点 O。已知粒子穿越铝板时, 其动能损失一半, 速度方向和电荷量不变。不计重力。铝板上表面和下方的磁感应强度大小之比为 ()

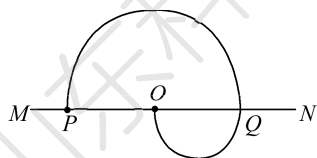


图 1-3-10

- A. 2
 B. $\sqrt{2}$
 C. 1
 D. $\frac{\sqrt{2}}{2}$

6. (多选) 如图 1-3-11 所示, 两个初速度大小相同的同种离子 a 和 b, 从 O 点沿垂直磁场方向进入匀强磁场, 最后打到屏 P 上。不计重力。下列说法正确的是 ()

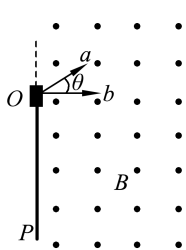


图 1-3-11

- A. a、b 均带正电

- B. a 在磁场中飞行的时间比 b 的近
 C. a 在磁场中飞行的路程比 b 的近
 D. a 在 P 上的落点与 O 点的距离比 b 的近

7. (多选) 如图 1-3-12 所示, 洛伦兹力演示仪由励磁线圈、玻璃泡、电子枪等部分组成。励磁线圈是一对彼此平行的共轴的圆形线圈, 它能够在两线圈之间产生匀强磁场。玻璃泡内充有稀薄的气体, 电子枪在加速电压下发射电子, 电子束通过泡内气体时能够显示出电子运动的径迹。若电子枪垂直磁场方向发射电子, 给励磁线圈通电后, 能看到电子束的径迹呈圆形。若只增大电子枪的加速电压或励磁线圈中的电流, 下列说法正确的是 ()

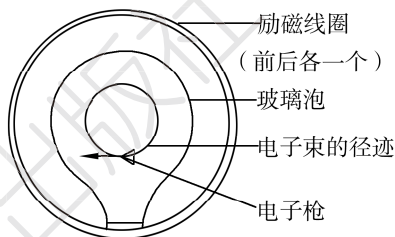


图 1-3-12

- A. 增大电子枪的加速电压, 电子束的轨道半径变大
 B. 增大电子枪的加速电压, 电子束的轨道半径变小
 C. 增大励磁线圈中的电流, 电子束的轨道半径变大
 D. 增大励磁线圈中的电流, 电子束的轨道半径变小

能力提升

8. (多选) 如图 1-3-13 所示, 长为 l 的水平极板间有垂直纸面向里的匀强磁场, 磁感应强度为 B , 板间距离也为 l , 极板不带电。现有质量为 m 、电荷量为 q 的带正电粒子 (不计重力), 从两极板间边界中点处垂直磁感线以速度 v 水平射入磁场, 欲使粒子不打在极板上, 可采用的办法是 ()

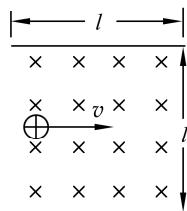


图 1-3-13

- A. 使粒子的速度 $v < \frac{Bql}{4m}$
 B. 使粒子的速度 $v > \frac{5Bql}{4m}$
 C. 使粒子的速度 $v > \frac{Bql}{m}$
 D. 使粒子的速度 $\frac{Bql}{4m} < v < \frac{5Bql}{4m}$

9. 如图 1-3-14 所示, 虚线所示的圆形区域内存在一垂直于纸面的匀强磁场, P 为磁场边界上的一点。

大量相同的带电粒子以相同的速率经过 P 点,在纸面内沿不同方向射入磁场。若粒子射入速率为 v_1 ,这些粒子在磁场边界的出射点分布在六分之一圆周上;若粒子射入速率为 v_2 ,相

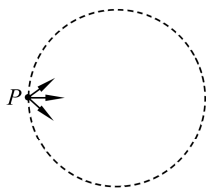


图 1-3-14

应的出射点分布在三分之一圆周上。不计重力及带电粒子之间的相互作用。则 $v_2 : v_1$ 为 ()

- A. $\sqrt{3} : 2$ B. $\sqrt{2} : 1$
C. $\sqrt{3} : 1$ D. $3 : \sqrt{2}$

10. 如图 1-3-15 所示,圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场,一个带电粒子以速度 v 从 A 点沿直径 AOB 方向射入磁场,经过 t 时间从 C 点射出磁场, OC 与 OB 成 60° 角。现将带电粒子的速度变为 $\frac{v}{3}$,仍从 A 点沿原方向射入磁场,不计重力,则粒子在磁场中的运动时间是多少?

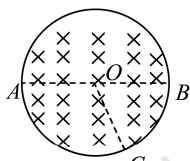


图 1-3-15

11. 如图 1-3-16 所示,在 xOy 平面内, $y \geq 0$ 的区域有垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场,磁感应强度为 B ,一质量为 m 、带电量大小为 q 的粒子从原点 O 沿与 x 轴正方向成 60° 角方向以 v_0 射入,粒子的重力不计,求带电粒子在磁场中运动的时间和带电粒子离开磁场时的位置。

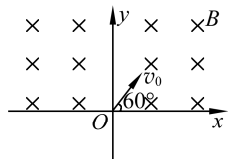
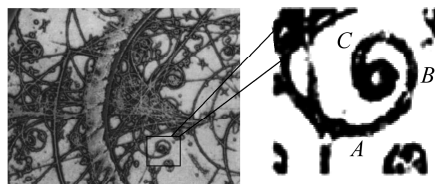


图 1-3-16

情境融合

12. (多选)带电粒子在处于磁场中的气泡室运动径迹的照片如图 1-3-17 甲所示,图乙是图甲照片中某条径迹的放大图, A 、 B 、 C 是径迹上的三点,若该粒子在运动过程中质量和电量保持不变,不断克服阻力做功。则关于此径迹,下列说法正确的是 ()



甲

乙

图 1-3-17

- A. 粒子由 A 经 B 向 C 的方向运动
B. 若粒子带负电,磁场方向垂直纸面向里
C. 若粒子带正电,磁场方向垂直纸面向里
D. 粒子由 C 经 B 向 A 的方向运动

第四节 质谱仪与回旋加速器

一、学科素养与学习目标

- 进一步熟练掌握质谱仪和回旋加速器的构造和工作原理,构建物理模型,解决实际问题。
- 通过科学探究进一步掌握带电粒子在匀强磁场中的匀速圆周运动,并能解决确定圆心、半径、运动轨迹、周期、运动时间等相关问题。
- 以科学的态度与责任实事求是地分析研究

物理问题,会分析计算带电粒子在复合场中的运动。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

- 质谱仪是一种十分精密的仪器,是测量带电粒子的质量和分析同位素的重要工具。试推导带电粒子的偏转半径与比荷的关系。

2. 回旋加速器

(1) 使带电粒子加速的方法

① 经过多次电场直线加速, 弊端是什么?

② 利用电场加速和磁场的偏转作用, 回旋加速, 优点是什么?

(2) 回旋加速器核心部件是什么?

(3) 回旋加速器是利用电场对电荷的加速作用和磁场对运动电荷的偏转作用, 在有限的空间范围内来获得高能粒子的装置。为了保证每次带电粒子经过狭缝时均被加速, 使之能量不断提高, 要在狭缝处加一个交变电压, 产生交变电场的频率跟粒子运动的频率有什么关系?

(4) 带电粒子获得的最大能量与什么有关?

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 利用回旋加速器可以将带电粒子的速度无限制地增大。 ()
2. 质谱仪是一种测量带电粒子质量并分析同位素的仪器。 ()
3. 利用质谱仪可以测得带电粒子的比荷。 ()
4. 经过回旋加速器加速的带电粒子的最大动能是由 D 形盒的最大半径、磁感应强度 B 、加速电压的大小共同决定的。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 质谱仪

(1) 原理图: 如图 1-4-1 所示。

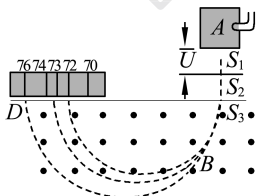


图 1-4-1

(2) 加速

带电粒子进入质谱仪的加速电场, 由动能定理得

$$qU = \frac{1}{2}mv^2 \quad ①$$

(3) 偏转

带电粒子进入质谱仪的偏转磁场做匀速圆周运

动, 洛伦兹力提供向心力: $qvB = \frac{mv^2}{r}$ ②

(4) 由①②两式可以求出粒子的运动半径 r 、质量 m 、比荷 $\frac{q}{m}$ 等。其中由 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$ 可知电荷量相同时, 半径将随质量变化。

(5) 质谱仪的应用

可以测定带电粒子的质量和分析同位素。

2. 回旋加速器的结构和原理

(1) 两个中空的半圆金属盒 D_1 和 D_2 , 处于与盒面垂直的匀强磁场中, D_1 和 D_2 间有一定的电势差, 如图 1-4-2 所示。

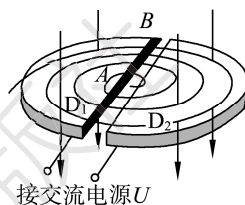


图 1-4-2

(2) 带电粒子在 D 形盒中只受洛伦兹力的作用做匀速圆周运动, 运动半周后带电粒子到达 D 形盒的狭缝处, 并被狭缝间的电场加速, 加速后的带电粒子进入另一 D 形盒, 由粒子在洛伦兹力作用下做圆周运动, 由半径公式 $r = \frac{mv}{Bq}$ 知, 它运动的半径将增大, 由周期公式 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 可知, 其运动周期与速度无关, 即它运动的周期不变, 它运动半个周期后又到达狭缝再次被加速, 如此继续下去, 带电粒子不断地被加速, 在 D 形盒中做半径逐渐增大, 但周期不变的圆周运动。

(3) 交变电压的周期: 带电粒子做匀速圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 与速率、半径均无关, 运动相等的时间(半个周期)后进入电场, 为了保证带电粒子每次经过狭缝时都被加速, 须在狭缝两侧加上跟带电粒子在 D 形盒中运动周期相同的交变电压, 所以交变电压的周期也与粒子的速率、半径无关, 由带电粒子的比荷和磁场的磁感应强度决定。

(4) 带电粒子的最终能量: 由 $r = \frac{mv}{qB}$ 知, 当带电粒子的运动半径最大时, 其速度也最大, 若 D 形盒半径为 R , 则带电粒子的最终动能 $E_{km} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ 。可见, 要提高加速粒子的最终能量, 应尽可能地增大磁感应强度 B 和 D 形盒的半径 R 。

(5) 粒子被加速次数的计算: 粒子在回旋加速器盒中被加速的次数 $n = \frac{E_{km}}{Uq}$ (U 是加速电压的大小), 一个周期加速两次。

疑难突破

带电粒子在复合场中的运动

1. 复合场

(1) 叠加场: 电场、磁场、重力场共存, 或其中某两场共存。

(2) 组合场: 电场与磁场各位于一定的区域内, 并不重叠, 或同一区域, 电场、磁场分时间段或分区域交替出现。

2. 带电粒子在叠加场中运动情况分类

(1) 静止或匀速直线运动: 当带电粒子在复合场中所受合外力为零时, 将处于静止状态或匀速直线运动状态。

(2) 匀速圆周运动: 当带电粒子所受的重力与电场力大小相等, 方向相反时, 带电粒子在洛伦兹力的作用下, 在垂直于匀强磁场的平面内做匀速圆周运动。

(3) 较复杂的曲线运动: 当带电粒子所受合外力的大小和方向均变化, 且与初速度方向不在一条直线上时, 粒子做非匀变速曲线运动, 这时粒子的运动轨迹既不是圆弧, 也不是抛物线。

(4) 分阶段运动: 带电粒子可能依次通过几个情况不同的复合场区域, 其运动情况随区域发生变化, 其运动过程由几种不同的运动阶段组成。

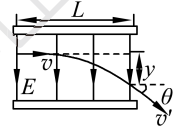
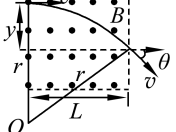
3. 带电粒子在组合场中的运动

这类问题的特点是电场、磁场或重力场依次出现, 包含空间上先后出现和时间上先后出现, 磁场或电场与无场区交替出现相组合的场等。其运动形式包含匀速直线运动、匀变速直线运动、类平抛运动、圆周运动等, 涉及牛顿运动定律、功能关系等知识的应用。

(1) 在匀强电场、匀强磁场中可能的运动性质

	在电场强度为 E 的匀强电场中	在磁感应强度为 B 的匀强磁场中
初速度为零	做初速度为零的匀加速直线运动	保持静止
初速度垂直场线	做匀变速曲线运动 (类平抛运动)	做匀速圆周运动
初速度平行场线	做匀变速直线运动	做匀速直线运动
特点	受恒力作用, 做匀变速运动	洛伦兹力不做功, 动能不变

(2) “电偏转”和“磁偏转”的比较

	电偏转	磁偏转
偏转条件	带电粒子以 $v \perp E$ 进入匀强电场	带电粒子以 $v \perp B$ 进入匀强磁场
受力情况	只受恒定的电场力	只受大小恒定的洛伦兹力
运动情况	类平抛运动	匀速圆周运动
运动轨迹	抛物线	圆弧
物理规律	类平抛规律、牛顿第二定律	牛顿第二定律、向心力公式
基本公式	$L = vt, y = \frac{1}{2}at^2$ $a = \frac{qE}{m}, \tan \theta = \frac{at}{v}$	$qvB = \frac{mv^2}{r}, r = \frac{mv}{qB}$ $T = \frac{2\pi m}{qB}, t = \frac{\theta T}{2\pi}, \sin \theta = \frac{L}{r}$
做功情况	电场力既改变速度方向, 也改变速度大小, 对电荷做正功	洛伦兹力只改变速度方向, 不改变速度大小, 对电荷永不做功
物理图像		

典型例题

例1 (多选) 1932年, 劳伦斯制成了世界上第一台回旋加速器, 其原理如图 1-4-3 所示, 这台加速器由两个铜质 D 形盒 D_1 、 D_2 构成, 其间留有空隙, 下列说法正确的是 ()

- A. 离子由加速器的中心附近进入加速器
B. 离子由加速器的边缘进入加速器
C. 离子从磁场中获得能量
D. 离子从电场中获得能量

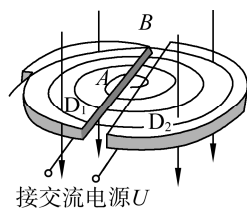


图 1-4-3

思路点拨: 电场力做功, 洛伦兹力不做功。

方法提炼: (1) 回旋加速器所加高频交流电压的周期等于粒子做圆周运动的周期且不随粒子半径的变化而变化。

(2) 由 $r = \frac{mv}{qB}$ 知粒子的最终能量与加速电压的大小无关, 由磁感应强度 B 和 D 形盒的半径决定。

变式训练 1 (多选) 回旋加速器是加速带电粒子的装置, 其核心部分是分别与高频交流电极相连接的两个 D 形金属盒, 两盒间的狭缝中形成的周期

性变化的电场,使粒子在通过狭缝时都能得到加速,两D形金属盒处于垂直于盒底的匀强磁场中,如图1-4-4所示,要增大带电粒子射出时的动能,下列说法正确的是 ()

- A. 增大匀强电场的加速电压
- B. 增大磁场的磁感应强度
- C. 减小狭缝间的距离
- D. 增大D形金属盒的半径

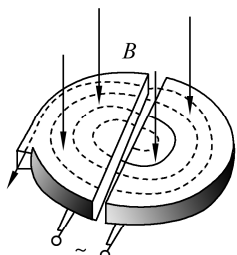


图 1-4-4

例2 质谱仪示意图如图1-4-5所示,它可以测定单个离子的质量,图中离子源S产生带电荷量为 q 的离子,经电压为 U 的电场加速后垂直射入磁感应强度为 B 的匀强

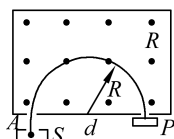


图 1-4-5

磁场中,沿半圆轨道运动到记录它的照相底片P上,测得它在P上位置与A处水平距离为 d ,则该离子的质量 m 大小为 ()

- A. $\frac{qB^2 d^2}{8U}$
- B. $\frac{qB^2 d^2}{4U}$
- C. $\frac{qB^2 d^2}{2U}$
- D. $\frac{qB^2 d^2}{U}$

思路点拨:带电粒子在电场加速获得速度,进入质谱仪的偏转磁场做匀速圆周运动,洛伦兹力提供向心力。

方法提炼:电场加速: $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 磁场偏转:

$$qvB = \frac{mv^2}{r}$$

变式训练2 质谱仪的两大重要组成部分是加速电场和偏转磁场。质谱仪的原理图如图1-4-6所示,设想有一个静止的带电粒子(不计重力)P,经电压为 U 的电场加速后,垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中,最后打到底片上的D点。设 $OD=x$,则下列能正确反映 x^2 与 U 之间函数关系的是 ()

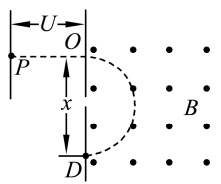
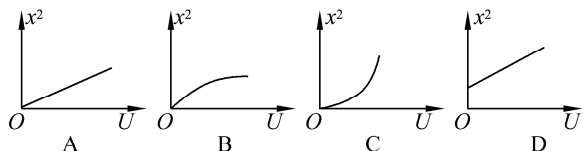


图 1-4-6



例3 如图1-4-7所示,匀强电场方向水平向右,匀强磁场方向垂直纸面向里,一质量为 m 、带电荷量为 q 的微粒以速度 v 与磁场垂直,与电场成 45° 角射入复合场中恰能做匀速直线运动,求电场强度

E 、磁感应强度 B 的大小。

思路点拨:(1)带电微粒恰能做匀速直线运动,说明受力平衡。

(2)分析微粒受力情况,画出受力图。

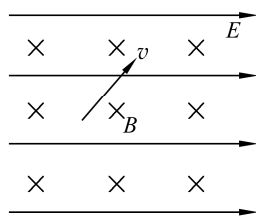


图 1-4-7

解答过程:由题图中微粒的入射方向和微粒做匀速直线运动判断知,粒子只能带正电。

对微粒进行受力分析,如图1-4-8所示,由于带电微粒所受洛伦兹力与 v 垂直,静电力与 v 成 45° 角,因而 mg 与 qE 的合力与 F 等大反向。

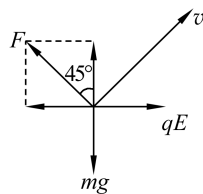


图 1-4-8

$$qE = mg \tan 45^\circ$$

$$\text{解得 } E = \frac{mg \tan 45^\circ}{q} = \frac{mg}{q}$$

$$F = qvB = \frac{mg}{\cos 45^\circ}$$

$$\text{解得 } B = \frac{mg}{qv \cos 45^\circ} = \frac{\sqrt{2}mg}{qv}$$

方法提炼:带电体在复合场中的运动问题仍是一个力学问题,求解思路与力学问题的求解思路基本相同,仍然按照对带电体进行受力分析,运动过程分析,充分挖掘题目中的隐含条件,根据不同的运动情况建立相应的方程。

变式训练3 平面直角坐标系 xOy 中,第I象限存在垂直于平面向里的匀强磁场,第III象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场,如图1-4-9所示。一带负电的粒子从电场中的Q点以速度 v_0 沿 x 轴正方向开始运动,Q点到 y 轴的距离为到 x 轴距离的2倍。粒子从坐标原点O离开电场进入磁场,最终从 x 轴上的P点射出磁场,P点到 y 轴距离与Q点到 y 轴距离相等。不计粒子重力,求:

- (1)粒子到达O点时速度的大小和方向;
- (2)电场强度和磁感应强度的大小之比。

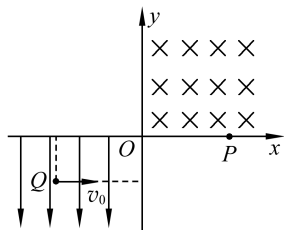


图 1-4-9

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. (多选)速度相同的一束带电粒子由左端射入质谱仪后的运动轨迹如图 1-4-10 所示,则下列说法正确的是 ()

- A. 该束带电粒子带负电
 B. 速度选择器的 P_1 极板带正电
 C. 能通过狭缝 S_0 的带电粒子的速率等于 $\frac{E}{B_1}$
 D. 粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 S_0 , 粒子的比荷越小

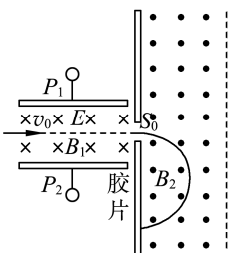


图 1-4-10

2. 如图 1-4-11 所示,一回旋加速器 D 形盒的半径为 R , 两盒间的距离为 d , 匀强磁场的磁感应强度大小为 B , 高频电场的电压为 U , 若被加速的粒子质量为 m , 电量为 q , 不考虑粒子从粒子源射出时的能量。下列说法正确的是 ()

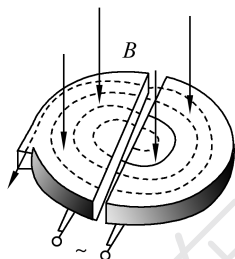


图 1-4-11

- A. 高频电压的频率与粒子运动的速度有关
 B. 粒子的最大速度与电压 U 成正比
 C. 粒子的最大动能与回旋加速次数有关
 D. 粒子的最大动能与 D 形盒半径 R 有关
3. 如图 1-4-12 所示,甲是一个带正电的小物块,乙是一个不带电的绝缘物块,甲、乙叠放在一起,置于粗糙的水平地板上,地板上方有水平方向的匀强磁场。现用水平恒力拉乙物块,使甲、乙无相对滑动地一起水平向左加速运动,在加速运动阶段 ()

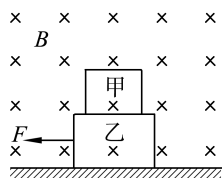


图 1-4-12

- A. 乙物块与地之间的摩擦力不断增大
 B. 乙物体与地之间的摩擦力不断减小
 C. 甲、乙两物块间的摩擦力大小不变
 D. 甲、乙两物块间的摩擦力不断增大
4. 如图 1-4-13 所示,一带电塑料小球质量为 m , 用丝线悬挂于 O 点,并在竖直平面内摆动,最大摆角为 60° , 水平磁场垂直于小球摆动的平面。当小球自左方摆到最低点时,悬线上的张力恰为零,则小球自右方最大摆角处摆到最低点时悬线上的张力为 ()

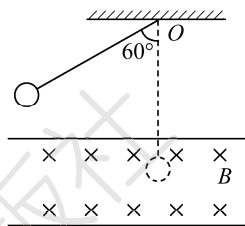


图 1-4-13

- A. 0 B. $2mg$ C. $4mg$ D. $6mg$
5. 如图 1-4-14 所示,界面 MN 与水平地面之间有足够大正交的匀强磁场 B 和匀强电场 E , 磁感线和电场线都处在水平方向且互相垂直。在 MN 上方有一个带正电的小球由静止开始下落,经电场和磁场到达水平地面。若不计空气阻力,小球在通过电场和磁场的过程中,下列说法正确的是 ()
- A. 小球做匀变速曲线运动
 B. 小球的电势能一定减少
 C. 洛伦兹力对小球做负功
 D. 小球的动能增量等于其重力势能的减少量
6. 如图 1-4-15 所示,在互相垂直的匀强电场和匀强磁场中,电荷量为 q 的液滴在竖直面内做半径为 R 的匀速圆周运动。已知电场强度为 E , 磁感应强度为 B , 重力加速度为 g , 则液滴的带电性质和环绕速度分别为 ()

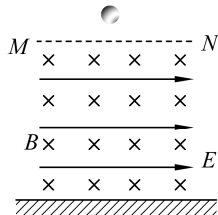


图 1-4-14

- A. 带正电, $\frac{E}{B}$
 B. 带正电, $\frac{BqR}{E}$
 C. 带负电, \sqrt{qgR}
 D. 带负电, $\frac{BqR}{E}$

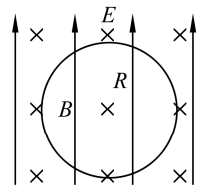


图 1-4-15

7. (多选)回旋加速器的工作原理图如图 1-4-16 甲所示。 D_1 和 D_2 是两个中空的半圆金属盒,它们之间有一定的电势差, A 处的粒子源产生的带电粒子在两盒之间被电场加速。两半圆盒处于与盒面垂直的匀强磁场中,所以粒子在半圆盒中做匀速圆周运动。若带电粒子在磁场中运动的动能 E_k 随时间 t 的变化规律如图乙所示,不计带电粒子在电场中的加速时间,不考虑由相对论效应带来的影响,下列判断正确的是 ()

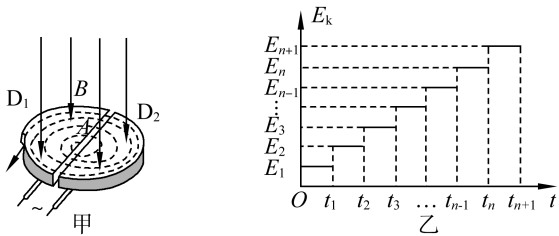


图 1-4-16

- A. 在 E_k-t 图中应该有 $t_{n+1}-t_n=t_n-t_{n-1}$
- B. 在 E_k-t 图中应该有 $t_{n+1}-t_n < t_n-t_{n-1}$
- C. 在 E_k-t 图中应该有 $E_{n+1}-E_n=E_n-E_{n-1}$
- D. 在 E_k-t 图中应该有 $E_{n+1}-E_n < E_n-E_{n-1}$

能力提升

8. (多选)如图 1-4-17 所示,虚线所围矩形区域 $abcd$ 内充满磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向外的匀强磁场。某一粒子以最小速度 v 从 ab 边的中点 O 处垂直于磁场射入,当方向垂直于 ab 时,恰能从 ab 边穿出。若在此矩形区域内只存在竖直向下的匀强电场,使该粒子以原来的初速度在 O 处垂直于电场方向射入,通过该区域后从距 d 点 l 处穿出,已知此粒子的质量为 m ,电荷量为 q ,其重力不计; ab 边长为 $2l$, ad 边长为 $4l$,则下列说法正确的是 ()

- A. 匀强磁场的磁感应强度大小与匀强电场的电场强度大小之比 $\frac{B}{E} = \frac{9}{v}$
- B. 匀强磁场的磁感应强度大小与匀强电场的电场强度大小之比 $\frac{B}{E} = \frac{4}{v}$
- C. 粒子穿过磁场和电场的的时间之比 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\pi}{4}$
- D. 粒子穿过磁场和电场的的时间之比 $\frac{t_1}{t_2} = \frac{\pi}{6}$

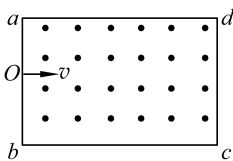


图 1-4-17

9. 如图 1-4-18 所示,套在足够长的绝缘粗糙直棒上的带正电小球,其质量为 m ,带电荷量为 q ,小

球可在棒上滑动。现将此棒竖直放入如图所示相互垂直的匀强磁场和匀强电场中,设小球电荷量不变,在小球由静止下滑的过程中 ()

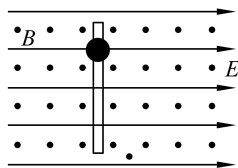


图 1-4-18

- A. 小球加速度一直增大
 - B. 小球速度一直增大,直到最后匀速
 - C. 小球速度先增大,再减小,直到停止运动
 - D. 杆对小球的弹力一直减小
10. 如图 1-4-19 所示,有一对平行金属板,板间加有恒定电压;两板间有匀强磁场,磁感应强度大小为 B_0 ,方向垂直于纸面向里。金属板右下方以 MN 、 PQ 为上下边界, MP 为左边界的区域内,存在垂直纸面向外的匀强磁场,磁场宽度为 d , MN 与下极板等高, MP 与金属板右端在同一竖直线上。一电荷量为 q 、质量为 m 的正离子,以初速度 v_0 沿平行于金属板面、垂直于板间磁场的方向从 A 点射入金属板间,不计离子的重力。

- (1) 已知离子恰好做匀速直线运动,求金属板间电场强度的大小和方向;
- (2) 若撤去板间磁场 B_0 ,已知离子恰好从下极板的右侧边缘射出电场,方向与水平方向成 30° 角,求 A 点离下极板的高度;
- (3) 在(2)的情形中,为了使离子进入磁场运动后从边界 MP 的 P 点射出,磁场的磁感应强度 B 应为多大?

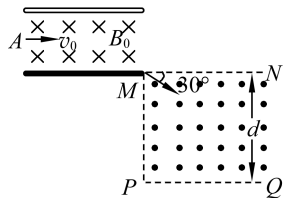


图 1-4-19

11. 如图 1-4-20 所示,从离子源产生的甲、乙两种离子,由静止经加速电压 U 加速后在纸面内水平向右运动,自 M 点垂直于磁场边界射入匀强磁场,磁场方向垂直于纸面向里,磁场左边界竖直。已知甲种离子射入磁场的速度大小为 v_1 ,并在磁场边界的 N 点射出;乙种离子在 MN 的中点射出; MN 长为 l 。不计重力影响和离子间的相互作用。求:

- (1) 磁场的磁感应强度大小;
- (2) 甲、乙两种离子的比荷之比。

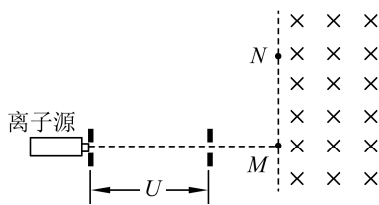


图 1-4-20

情境融合

12. 一台质谱仪的工作原理如图 1-4-21 所示,电荷量均为 $+q$ 、质量不同的离子飘入电压为 U_0 的加速电场,其初速度几乎为零。这些离子经加速后通过狭缝 O 沿着与磁场垂直的方向进入磁感应强度为 B 的匀强磁场,最后打在底片上。已知放置底片的区域 $MN=L$,且 $OM=L$ 。某次测量发现 MN 中左侧 $\frac{2}{3}$ 区域 MQ 损坏,检测

不到离子,但右侧 $\frac{1}{3}$ 区域 QN 仍能正常检测到离子。在适当调节加速电压后,原本打在 MQ 的离子即可在 QN 检测到。

- (1) 求原本打在 MN 中点 P 的离子质量 m ;
- (2) 为使原本打在 P 的离子能打在 QN 区域,求加速电压 U 的调节范围。

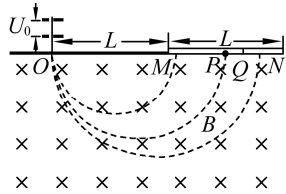


图 1-4-21

章末总结

知网建构

安培力	大小: $F = IlB \sin \theta$, θ 为 B 与 I 的夹角, l 为有效长度
	方向: 由左手定则判断
洛伦兹力	大小: $F = qvB \sin \theta$, θ 为 B 与 v 的夹角
	方向: 由左手定则判断
	特点: 洛伦兹力不做功
	特例: 沿着与磁场垂直的方向射入磁场的带电粒子, 在匀强磁场中做匀速圆周运动: $qvB = m \frac{v^2}{r}$, $r = \frac{mv}{qB}$, $T = \frac{2\pi m}{qB}$
	应用: 质谱仪、回旋加速器

重点探究

【小微专题 现代科技中的电磁场问题】

1. 速度选择器

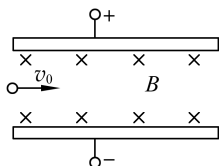


图 1-1

若 $qv_0B = Eq$, 即 $v_0 = \frac{E}{B}$, 粒子做匀速直线运动。

2. 磁流体发电机

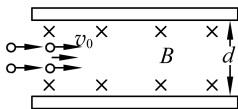


图 1-2

等离子体射入, 受洛伦兹力偏转, 使两极板带正、负电, 两极电压为 U 时稳定, $q \frac{U}{d} = qv_0B, U = v_0Bd$ 。

3. 电磁流量计

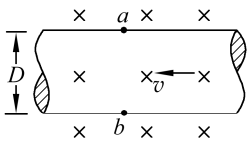


图 1-3

$\frac{U}{D}q = qvB$, 所以 $v = \frac{U}{DB}$, 所以 $Q = vS = \frac{\pi DU}{4B}$

4. 霍尔元件

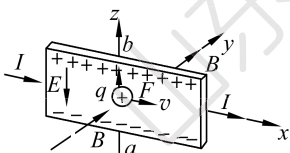


图 1-4

当磁场方向与电流方向垂直时, 导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差。

例1 质谱仪测定带电粒子质量的装置示意图如图 1-5 所示。速度选择器(也称滤速器)中电场强度 E 的方向竖直向下, 磁感应强度 B_1 的方向垂直纸面向里, 分离器中磁感应强度 B_2 的方向垂直纸面向外。在 S 处有甲、乙、丙、丁四个一价正离子垂直于 E 和 B_1 入射到速度选择器中, 若 $m_{\text{甲}} = m_{\text{乙}} < m_{\text{丙}} = m_{\text{丁}}, v_{\text{甲}} < v_{\text{乙}} = v_{\text{丙}} < v_{\text{丁}}$, 在不计重力的情况下, 打在 $P_1、P_2、P_3、P_4$ 四点的离子分别是 ()

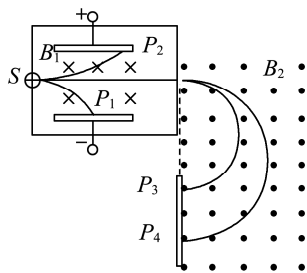


图 1-5

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

解析: 在速度选择器中, 若 $qE = qvB$ 即 $v = \frac{E}{B}$,

离子沿直线运动; 若 $v < \frac{E}{B}$, 则离子向下极板偏转,

故 P_1 应为甲; 若 $v > \frac{E}{B}$, 则离子向上极板偏转, 故 P_2

应为丁; 又由 $r = \frac{mv}{qB}$, 质量越大, r 越大, P_4 应为丙,

P_3 应为乙。B 正确。

例2 如图 1-6 所示, 平行金属板之间有一个很强的磁场, 将一束含有大量正、负带电粒子的等离子体, 沿图中所示方向喷入磁场。图中虚线框部分相当于发电机, 把两个极板与用电器相连, 则 ()

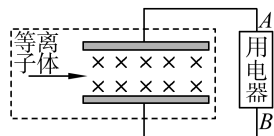


图 1-6

- A. 用电器中的电流方向从 B 到 A
B. 用电器中的电流方向从 A 到 B
C. 若只减小磁感应强度, 发电机的电动势增大
D. 若只增大喷入粒子的速度, 发电机的电动势增大

解析: 首先对等离子体进行动态分析: 两板间产生了电势差, 即金属板变为一电源, 且上板为正极, 下板为负极, 所以通过用电器的电流方向从 A 到 B , 故 B 正确, A 错误; 此后的正离子除受到向上的洛伦兹力 $F_{\text{洛}}$ 外, 还受到向下的电场力 F , 最终二力达到平衡, 即最终等离子体将匀速通过磁场区域, 由 $qvB = q \frac{E}{d}$, 解得 $E = Bdv$, 所以电动势 E 与喷入粒子的速度大小 v 及磁感应强度大小 B 成正比, 故 D 正确, C 错误。

例3 医生做某些特殊手术时, 利用电磁流量计来监测通过动脉的血流速度。电磁流量计由一对

电极 a 和 b 以及一对磁极 N 和 S 构成,磁极间的磁场是均匀的。使用时,两电极 a 、 b 均与血管壁接触,两触点的连线、磁场方向和血流速度方向两两垂直,如图 1-7 所示。由于血液中的正负离子随血流一起在磁场中运动,电极 a 、 b 之间会有微小电势差。在达到平衡时,血管内部的电场可看作匀强电场,血液中的离子所受的电场力和磁场力的合力为零。在某次监测中,两触点间的距离为 3.0 mm ,血管壁的厚度可忽略,两触点间的电势差为 $160\text{ }\mu\text{V}$,磁感应强度的大小为 0.040 T 。则血流速度的近似值和电极 a 、 b 的正负为 ()

- A. 1.3 m/s , a 正、 b 负
 B. 2.7 m/s , a 正、 b 负
 C. 1.3 m/s , a 负、 b 正
 D. 2.7 m/s , a 负、 b 正

答案:选 A。

例 4 如图 1-8 所示, R_1 和 R_2 是同种材料、厚度相同、上下表面为正方形的金属导体,但 R_1 的尺寸比 R_2 的尺寸大。将两导体同时放置在同一

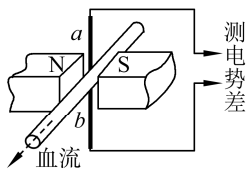


图 1-7

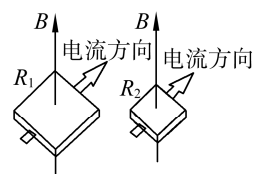


图 1-8

匀强磁场 B 中,磁场方向垂直于两导体正方形表面,在两导体上加相同的电压,形成如图所示方向的电流;电子由于定向移动,会在垂直于电流方向受到洛伦兹力作用,从而产生霍尔电压,当电流和霍尔电压达到稳定时,下列说法正确的是 ()

- A. R_1 中的电流大于 R_2 中的电流
 B. R_1 中的电流小于 R_2 中的电流
 C. R_1 中产生的霍尔电压小于 R_2 中产生的霍尔电压
 D. R_1 中产生的霍尔电压等于 R_2 中产生的霍尔电压

解析:根据电阻 $R = \frac{\rho L}{S}$,设正方形金属导体边长为 a ,厚度为 b ,则 $R = \frac{\rho a}{ab} = \frac{\rho}{b}$,则 $R_1 = R_2$,在两导体上加上相同电压,则 R_1 中的电流等于 R_2 中的电流, A、B 错误;由 $evB = \frac{eU_H}{a}$, $U_H = Bav = Ba \cdot \frac{I}{neab} = \frac{1}{ne} \cdot \frac{BI}{b}$,则 R_1 中产生的霍尔电压等于 R_2 中产生的霍尔电压, C 错误, D 正确。

章末检测

一、选择题(本题共 12 小题,每小题 4 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项符合题目要求)

- 如图 1 所示, a 和 b 是两条靠得很近的平行通电直导线,电流方向如图所示,且 $I_a > I_b$,当垂直于 a 、 b 所在平面向里加一匀强磁场 B 时,导线 a 恰好不再受安培力,跟加磁场 B 以前相比较,则导线 b ()

A. 不再受安培力
 B. 受到的安培力为原来的两倍
 C. 受到的安培力小于原来的两倍
 D. 受到的安培力大于原来的两倍
- 关于洛伦兹力,下列说法正确的是 ()

A. 运动电荷在磁场中不受洛伦兹力,该位置的磁感应强度为 0
 B. 带电粒子只有在磁场中做匀速圆周运动,洛伦兹力才不对电荷做功
 C. 由 $B = \frac{F}{qv}$ 可知,带电粒子以一定速率进入磁

场,所受洛伦兹力越大的地方磁场越强

- D. 正、负电荷在同一磁场中所受的洛伦兹力方向不一定相反
- 实验室里用来测量磁场力的一种仪器——电流天平如图 2 甲所示,其部分结构如图乙所示。某同学在实验室里,用电流天平测算通电螺线管中的磁感应强度。若他测得 CD 段导线长度为 $4 \times 10^{-2}\text{ m}$,天平(等臂)平衡时钩码重力为 $4 \times 10^{-5}\text{ N}$,通过导线的电流 $I = 0.5\text{ A}$ 。由此,测得通电螺线管中的磁感应强度 B 为 ()

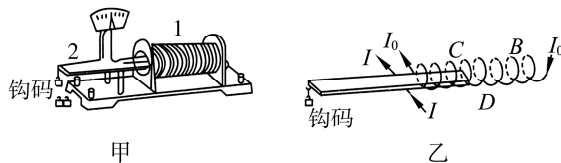


图 2

- A. $2 \times 10^{-3}\text{ T}$, 方向水平向右
 B. $5 \times 10^{-3}\text{ T}$, 方向水平向右
 C. $2 \times 10^{-3}\text{ T}$, 方向水平向左
 D. $5 \times 10^{-3}\text{ T}$, 方向水平向左

4. 如图 3 所示,蹄形磁铁用悬线悬于 O 点,在磁铁的正下方有一水平放置的长直导线,当导线中通以由左向右的电流时,蹄形磁铁的运动情况将是 ()

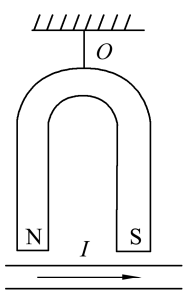


图 3

- A. 静止不动,拉力不变
B. 向纸外平动,拉力增大
C. N 极向纸外、S 极向纸内转动,拉力增大
D. N 极向纸内、S 极向纸外转动,拉力减小

5. 如图 4 所示,在坐标系的第一和第二象限内存在磁感应强度大小分别为 $\frac{1}{2}B$ 和 B 、方向垂直于纸面向外的匀强磁场。

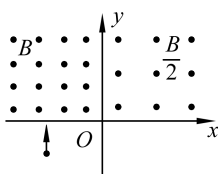


图 4

一质量为 m 、电荷量为 $q(q>0)$ 的粒子垂直于 x 轴射入第二象限,随后垂直于 y 轴进入第一象限,最后经过 x 轴离开第一象限。粒子在磁场中运动的时间为 ()

- A. $\frac{5\pi m}{6qB}$ B. $\frac{7\pi m}{6qB}$ C. $\frac{11\pi m}{6qB}$ D. $\frac{13\pi m}{6qB}$
6. 磁电式电流表的内部结构示意图如图 5 所示。当电流通过线圈时,导线受到安培力的作用带动线圈转动。从而引起图中的螺旋弹簧变形,以反抗线圈的转动。电流越大,安培力就越大,螺旋弹簧的形变也就越大,线圈偏转的角度也越大,达到新的平衡。现有一只用电流表改装的电压表读数偏小,为纠正这一偏差,可以采取的措施是 ()

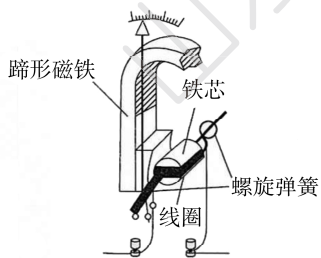


图 5

- A. 减少表头线圈的匝数
B. 增大表内的串联电阻
C. 增强表头的永久磁铁的磁性
D. 转紧表内的螺旋弹簧

7. 一根金属棒通以由 A 到 B 的电流,棒的中部处于如图 6 所示的磁铁中,磁铁

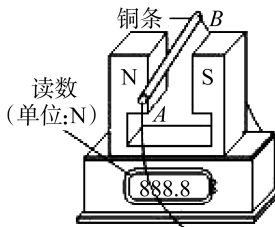


图 6

放在台称上,下列能减小台称示数的做法是 ()

- A. 适当减小磁感应强度
B. 使磁场反向
C. 适当增大电流强度
D. 使电流反向

8. 显像管原理的示意图

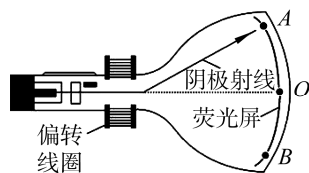
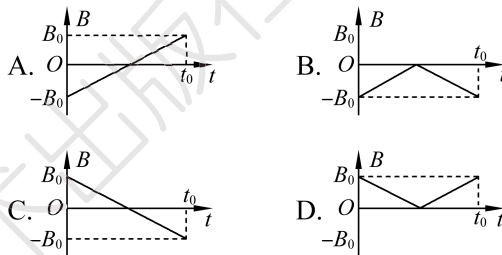


图 7

如图 7 所示,当没有磁场时,电子束将打在荧光屏正中的 O 点,安装在管径上的偏转线圈可以产生磁场,使电子束发生偏转。设垂直纸面向里的磁场方向为正方向,若使电子打在荧光屏上的位置由 A 点逐渐移动到 B 点,下列变化的磁场能够使电子发生上述偏转的是 ()



9. 阿尔法磁谱仪是我国科学家研制的物质探测器,用于探测宇宙中的暗物质和反物质(即反粒子——如质子 ${}^1_1\text{H}$ 和反质子 ${}^1_{-1}\text{H}$)。该磁谱仪核心部分的截面是半径为 r 的圆柱形区域,其中充满沿圆柱轴向的匀强磁场。 P 为入射窗口, a 、 b 、 c 、 d 、 e 五处装有粒子接收器, P 与 a 、 b 、 c 、 d 、 e 是圆周上的 6 个等分点,各粒子从 P 点射入的速度相同,均沿直径方向,如图 8 所示。如果反质子 ${}^1_{-1}\text{H}$ 射入后被 a 处接收器接收,则

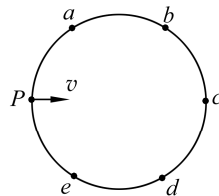


图 8

- A. 磁场方向垂直纸面向里
B. 反质子 ${}^1_{-1}\text{H}$ 的轨道半径为 $\frac{1}{2}r$
C. 氦核 ${}^3_2\text{He}$ 将被 e 处接收器接收
D. 反氦核 ${}^3_{-2}\text{He}$ 将被 b 处接收器接收

10. 为了诊断病人心脏功能和动脉血液粘滞情况,需测量血管中血液的流量,电磁流量计测量原理如图 9 所示,将血管置于磁感强度为 B 的磁场中,测得血管两侧 a 、 b 两点电压为 U ,已知管的直径为 d ,则血管中血液的流量 Q 为(单位为

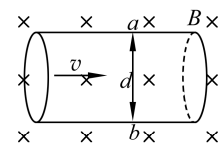


图 9

间内流过的体积) ()

- A. $\frac{dU}{4B}$ B. $\frac{\pi dU}{4B}$ C. $\frac{\pi d^3 U}{B}$ D. $\frac{\pi d^3 U}{4B}$

11. 电动自行车是一种应用广泛的交通工具,其速度控制是通过转动右把手实现的,这种转动把手称“霍尔转把”,属于传感器非接触控制。转把内部有永久磁铁和霍尔器件等,截面如图 10 甲所示。开启电源时,在霍尔器件的上下面之间加一定的电压,形成电流,如图 10 乙所示。随着转把的转动,其内部的永久磁铁也跟着转动,霍尔器件能输出控制车速的电压,已知电压与车速关系如图 10 丙所示。下列关于“霍尔转把”的叙述正确的是 ()

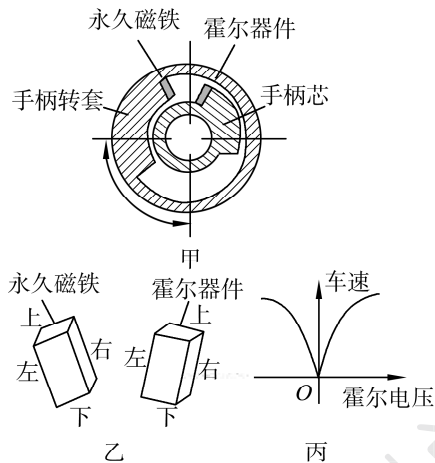


图 10

- A. 为提高控制的灵敏度,永久磁铁的上、下端分别为 N、S 极
 B. 按图甲顺时针转动电动车的右把手,车速将变快
 C. 图乙中从霍尔器件的左右侧面输出控制车速的霍尔电压
 D. 若霍尔器件的上下面之间所加电压正负极性对调,将影响车速控制
12. 如图 11 所示,带电平行板间匀强电场方向竖直向下,匀强磁场方向水平向里,一带电小球从光滑绝缘轨道上的 a 点自由滑下,经过轨道端点 P 进入板间恰好沿水平方向做直线运动。现使小球从轨道上较低的 b 点开始滑下,经 P 点进入板间,在之后运动的一小段时间内 ()

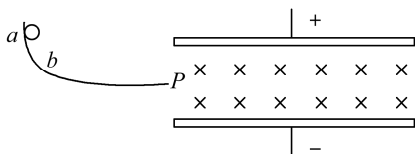


图 11

- A. 小球的重力势能一定增加

- B. 小球动能可能减小
 C. 小球的电势能一定会减小
 D. 小球的机械能可能不变

二、实验题(本题共 2 小题,16 分。把答案填在题中的横线上或按题目要求作答)

13. 为了研究青岛海洋中海水的运动,海洋工作者有时依靠水流通过地磁场所产生的感应电动势测量水的流速。现测量队员正在某海域测量某处水流速度,假设青岛地磁场的竖直分量已测出为 B ,该处的水流是南北流向的。测量时,测量队员首先将两个探测电极插入水中,两探测电极的另一端与一个能测量微小电压的电压表相连,则这两个电极的连线应沿 _____ 方向,读出电压表的示数 U ; 还需测出的数据是 _____; 最后就可根据 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ 计算出该处的水流速度了。
14. 图 12 中虚线框内存在一沿水平方向、且与纸面垂直的匀强磁场。现通过测量通电导线在磁场中所受的安培力,来测量磁场的磁感应强度大小、并判定其方向。所用部分器材已在图中给出,其中 D 为位于纸面内的 U 形金属框,其底边水平,两侧边竖直且等长; E 为直流电源; R 为电阻箱; Ⓐ 为电流表; S 为开关。此外还有细沙、天平、米尺和若干轻质导线。

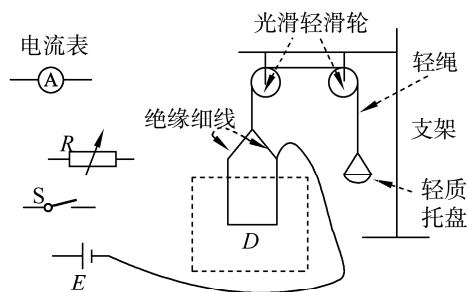


图 12

- (1) 在图中画线连接成实验电路图。
 (2) 完成下列主要实验步骤中的填空。
 ① 按图接线。
 ② 保持开关 S 断开,在托盘内加入适量细沙,使 D 处于平衡状态;然后用天平称出细沙质量 m_1 。
 ③ 闭合开关 S ,调节 R 的值使电流大小适当,在托盘内重新加入适量细沙,使 D _____; 然后读出 _____,并用天平称出 _____。
 ④ 用米尺测量 D 的底边长度 l 。
 (3) 用测量的物理量和重力加速度 g 表示磁感

应强度的大小,可以得出 $B = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

(4) 判定磁感应强度方向的方法是:若 $\underline{\hspace{2cm}}$, 磁感应强度方向垂直纸面向里;反之,磁感应强度方向垂直纸面向外。

三、计算题(本题共 4 小题,36 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤。只写出最后答案的不能得分。有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位)

15. 如图 13 所示,在直角三角形 OPN 区域内存在匀强磁场,磁感应强度大小为 B 、方向垂直于纸面向外。一带正电的粒子从静止开始经电压 U 加速后,沿平行于 x 轴的方向射入磁场;一段时间后,该粒子在 OP 边上某点以垂直于 x 轴的方向射出。已知 O 点为坐标原点, N 点在 y 轴上, OP 与 x 轴的夹角为 30° ,粒子进入磁场的入射点与离开磁场的出射点之间的距离为 d ,不计重力。求:
- (1) 带电粒子的比荷;
 - (2) 带电粒子从射入磁场到运动至 x 轴的时间。

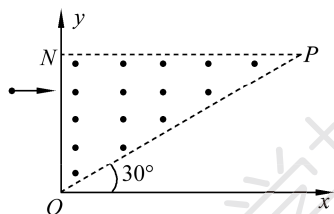


图 13

16. 如图 14 所示,一长为 10 cm 的金属棒 ab 用两个完全相同的弹簧水平悬挂在匀强磁场中;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,下端与金属棒绝缘。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 Ω 。已知开关断开时两弹簧的伸长量为 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。重力加速度大小取 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。

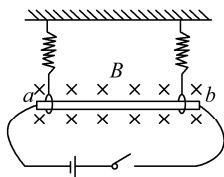


图 14

17. 如图 15 所示,两个界面 S_1 和 S_2 互相平行,间距为 d ,将空间分为三个区域。I 和 III 两区域内有方向指向纸内的匀强磁场,磁感应强度分别为 B_1 和 B_2 。区域 II 内是匀强电场 E ,方向从 S_1 垂直指向 S_2 。一质量为 m 、电量为 $-q$ 的粒子(重力不计)以平行于电场线的初速度 v_0 从与 S_1 相距为 $\frac{d}{4}$ 的 O 点开始运动,为使该粒子沿图中的轨迹运动(轨迹的两个半圆的半径相等)。求:

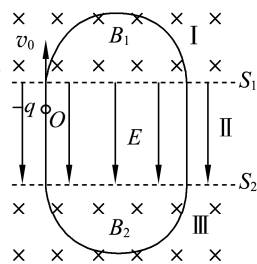


图 15

- (1) 磁感应强度 $B_1 : B_2$ 之比;
- (2) 场强 E 应满足什么条件。

18. 水平面上有电阻不计的 U 形导轨 $NMPQ$,它们之间的宽度为 L , M 和 P 之间接入电动势为 E 的电源(不计内阻)。现垂直于导轨搁一根质量为 m 、电阻为 R 的金属棒 ab ,并加一个范围较大的匀强磁场,磁感应强度大小为 B ,方向与水平面夹角为 θ 且指向右上方,如图 16 所示。问:

- (1) 当 ab 棒静止时,受到的支持力和摩擦力各为多少?
- (2) 若金属棒与导轨间的动摩擦因数 $\mu = \frac{\sqrt{3}}{3}$,在安培力的作用下,金属棒以 v_0 的速度向左匀速运动,磁感应强度的最小值和此时对应的磁场方向是什么?

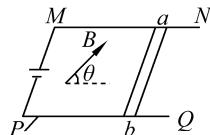


图 16

第二章 电磁感应

第一节 楞次定律

一、学科素养与学习目标

1. 通过实验探究归纳出判断感应电流方向的规律——楞次定律,经历科学思维过程,培养科学探究核心素养。

2. 理解楞次定律中“阻碍”的含义,深化运动与相互作用的物理概念,熟练运用楞次定律和右手定则判断感应电流方向。

3. 理解楞次定律符合能量守恒定律,明确能量转化的方向,深化能量物理观念。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

1. 按如图 2-1-1 所示的四种情况顺序进行实验操作,并将实验过程中的有关项目记录在下面的表格中。

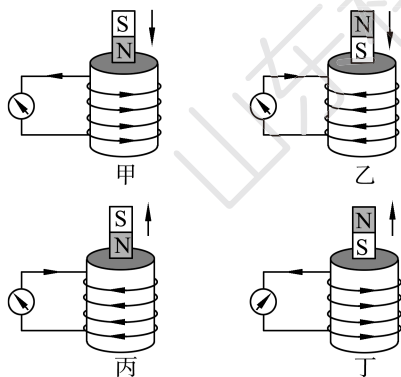


图 2-1-1

2. 实验记录

相对运动情况	图甲	图乙	图丙	图丁
原磁场方向				
磁通量变化情况				
感应电流的方向	逆时针	顺时针	逆时针	顺时针
感应电流的磁场方向				
感应电流磁场方向与磁通量变化的关系				

通过上述实验,认识到:凡是由磁通量的增加引起的感应电流,它所激发的磁场一定阻碍原来磁通量的_____;凡是由磁通量的减少引起的感应电流,它所激发的磁场一定阻碍原来磁通量的_____。在两种情况中,感应电流的磁场都阻碍了原磁通量的变化。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 感应电流的磁场总与原磁场方向相反。 ()
2. 感应电流的磁场总是阻碍原磁场的磁通量。 ()
3. 感应电流的磁场有可能阻止原磁通量的变化。 ()
4. 导体棒不垂直切割磁感线时,也可以用右手定则判断感应电流方向。 ()
5. 凡可以用右手定则判断感应电流方向的,均能用楞次定律判断。 ()
6. 右手定则即右手螺旋定则。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 楞次定律:感应电流具有这样的方向,即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

2. 感应电流产生的因果关系:闭合导体回路中原磁通量的变化是产生感应电流的原因,而感应电流的磁场的产生是感应电流存在的结果,即只有闭合导体回路中的磁通量发生变化时才会有感应电流的磁场出现。

3. 右手定则适用范围:闭合电路的部分导体切割磁感线产生感应电流方向的判断。

疑难突破

1. 楞次定律中“阻碍”的含义

(1)谁在阻碍?起阻碍作用的是“感应电流的磁场”。

(2)阻碍什么?感应电流的磁场阻碍的是“引起感应电流磁通量的变化”,而不是阻碍原磁场,也不是阻碍原磁通量。

(3)如何阻碍?当引起感应电流的磁通量增加时,感应电流的磁场就与原磁场的方向相反。当原磁通量减少时,感应电流的磁场就与原磁场方向相同,即“增反减同”。

(4)阻碍效果?阻碍并不是阻止,只是延缓了磁通量的变化,这种变化将继续进行。

(5)为何阻碍?产生感应电流的过程也必须遵守能量守恒定律,这是能量转化的必然结果。阻碍的作用是克服磁场力做功,把其他形式的能量(或其他电路的电能)转化(或转移)为感应电流所在回路的电能,没有这种阻碍就不能实现能量的转化(或转移)。

2. “一定律三定则”的应用技巧

(1)应用现象及规律比较

基本现象		应用的定则或定律
运动电荷、电流产生磁场		安培定则
磁场对运动电荷、电流有作用力		左手定则
电磁感应	闭合回路磁通量变化	楞次定律+安培定则
	部分导体做切割磁感线运动	右手定则

(2)应用技巧:无论是“安培力”还是“洛伦兹力”,只要是“力”都用左手判断。“电生磁”或“磁生电”均用右手判断。

典型例题

例1 关于楞次定律,下列说法正确的是 ()

- A. 感应电流的磁场总是要阻碍引起感应电流的磁通量的变化
- B. 闭合电路的一部分导体在磁场中运动时,必受磁场阻碍作用
- C. 原磁场穿过闭合回路的磁通量增加时,感应电流的磁场与原磁场同向
- D. 感应电流的磁场总是跟原磁场反向,阻碍原磁场的变化

思路点拨:深入理解楞次定律基本内容。

变式训练1 关于感应电流,下列说法正确的是 ()

- A. 感应电流的方向总是与原电流的方向相反
- B. 感应电流的方向总是与原电流的方向相同
- C. 感应电流的磁场总是阻碍闭合电路内原磁场的磁通量的变化
- D. 感应电流的磁场总是与原线圈内的磁场方向相反

例2 (多选)如图 2-1-2 所示,一条形磁体在线圈正上方,当条形磁铁做下列运动时,线圈中的感应电流方向(从左向右看)应是 ()

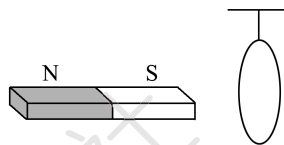


图 2-1-2

- A. 磁铁靠近线圈时,电流方向是逆时针的
- B. 磁铁靠近线圈时,电流方向是顺时针的
- C. 磁铁向上平动时,电流方向是逆时针的
- D. 磁铁向上平动时,电流方向是顺时针的

思路点拨:判断出图中磁铁穿过线圈的磁场方向及变化情况,结合楞次定律判断线圈中感应电流方向。

变式训练2 (多选)如图 2-1-3 所示,线圈一条形磁铁在线圈正上方,当磁铁运动时,流过电阻的电流是由 A 经 R 到 B,则磁铁可能 ()

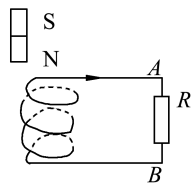


图 2-1-3

- A. 向下运动
- B. 向上运动
- C. 向左运动
- D. 以上都可能

例3 (多选)如图 2-1-4 所示,光滑平行金属导轨 PP' 和 QQ' 处于同一水平面内, P 和 Q 之间连接一电阻 R ,整个装置处于竖直向下的匀强磁场中。现垂直于导轨放置一根导体棒 MN ,用一水平向右的力 F 拉动导体棒 MN ,下列关于导体棒 MN 中感应电流的方向和它所受安培力的方向的说法正确的是 ()

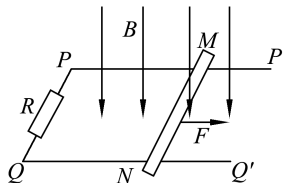
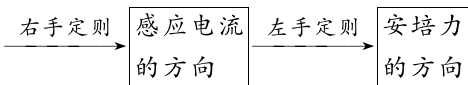


图 2-1-4

- A. 感应电流的方向是 $N \rightarrow M$

- B. 感应电流的方向是 $M \rightarrow N$
 C. 安培力水平向左
 D. 安培力水平向右

方法提炼:



变式训练 3 (多选) 如图 2-1-5

所示, 导体 ab 、 cd 可在水平轨道上自由滑动, 且两水平轨道在中央交叉处互不相通。当导体棒 ab 向左移动时

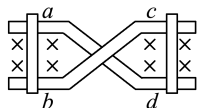


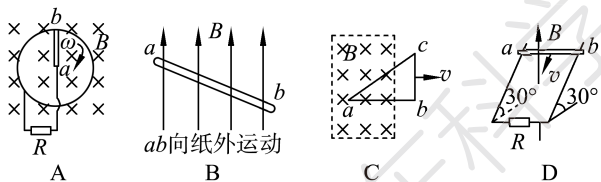
图 2-1-5

- A. ab 中感应电流的方向为 a 到 b
 B. ab 中感应电流的方向为 b 到 a
 C. cd 向左移动
 D. cd 向右移动

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. 下列四幅图分别表示闭合电路中的一部分导体 ab 在磁场中做切割磁感线运动的情景, 其中能产生由 a 到 b 的感应电流的是 ()



2. (多选) 两根互相平行的金属导轨水平放置于如图 2-1-6 所示的匀强磁场中, 在导轨上导体棒 ab 和 cd 可以自由滑动。当 ab 在外力 F 作用下向右运动时, 下列说法正确的是 ()

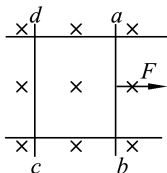


图 2-1-6

3. 如图 2-1-7 所示, 当磁场的磁感应强度 B 增强时, 内、外金属环上的感应电流的方向应为 ()
- A. 内环顺时针, 外环逆时针
 B. 外环顺时针, 内环逆时针
 C. 内、外环均为顺时针
 D. 内、外环均为逆时针

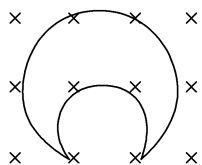


图 2-1-7

4. 如图 2-1-8 所示, 一根条形磁铁自左向右穿过一个闭合螺线管, 则电路中 ()

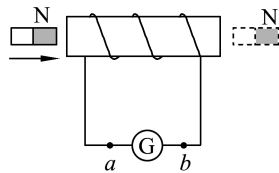


图 2-1-8

- A. 始终有感应电流自 a 向 b 流过电流表 G
 B. 始终有感应电流自 b 向 a 流过电流表 G
 C. 先有 $a \rightarrow \text{G} \rightarrow b$ 方向的感应电流, 后有 $b \rightarrow \text{G} \rightarrow a$ 方向的感应电流
 D. 将不会产生感应电流
5. (多选) 如图 2-1-9 所示, 将一条形磁铁插入一闭合螺线管中, 螺线管固定在停在光滑水平面的车中, 在插入过程中 ()

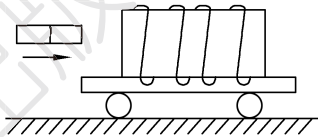


图 2-1-9

- A. 车将向右运动
 B. 条形磁铁会受到向左的力
 C. 由于没标明条形磁铁极性, 因此无法判断受力情况
 D. 车会受向左的力
6. 如图 2-1-10 所示, 导线框 $abcd$ 与直导线在同一平面内, 直导线通有恒定电流 I , 在线框由左向右匀速通过直导线的过程中, 线框中感应电流的方向是 ()

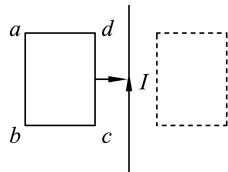


图 2-1-10

- A. 先 $abcd$, 后 $dcba$, 再 $abcd$
 B. 先 $abcd$, 后 $dcba$
 C. 始终 $dcba$
 D. 先 $dcba$, 后 $abcd$, 再 $dcba$
7. (多选) 如图 2-1-11 所示, 螺线管 B 置于闭合金属圆环 A 的轴线上, 当 B 中通过的电流 I 减小时 ()

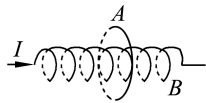


图 2-1-11

- A. 环 A 有缩小的趋势
 B. 环 A 有扩张的趋势
 C. 螺线管 B 有缩短的趋势
 D. 螺线管 B 有伸长的趋势

能力提升

8. (多选)如图 2-1-12 所示,放入金属环 P 中的 Q 是用毛皮摩擦过的橡胶圆盘,由于橡胶圆盘绕其圆心转动,金属环 B 中产生了逆时针方向的电流。那么 Q 盘的转动是 ()

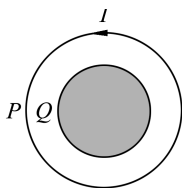


图 2-1-12

- A. 顺时针加速转动 B. 逆时针加速转动
C. 顺时针减速转动 D. 逆时针减速转动

9. 如图 2-1-13 所示,在方向垂直于纸面向里的匀强磁场中有一 U 形金属导轨,导轨平面与磁场垂直。金属杆 PQ 置于导轨上并与导轨形成闭合回路 $PQRS$,一圆环形金属线框 T 位于回路围成的区域内,线框与导轨共面。现让金属杆 PQ 突然向右运动,在运动开始的瞬间,关于感应电流的方向,下列说法正确的是 ()

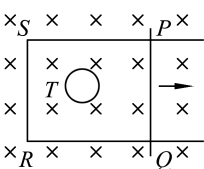


图 2-1-13

- A. $PQRS$ 中沿顺时针方向, T 中沿逆时针方向
B. $PQRS$ 中沿顺时针方向, T 中沿顺时针方向
C. $PQRS$ 中沿逆时针方向, T 中沿逆时针方向
D. $PQRS$ 中沿逆时针方向, T 中沿顺时针方向

10. (多选)如图 2-1-14 所示,矩形闭合线圈放置在水平薄板上,有一块蹄形磁铁置于薄板的正下方(磁极间距略大于矩形线圈的宽度)。当磁铁匀速向右通过线圈正下方时,线圈仍静止不动,那么线圈受到薄板的摩擦力方向和线圈中产生的感应电流的方向(从上向下看)是 ()

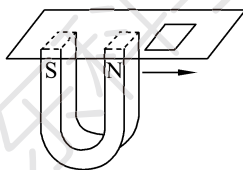


图 2-1-14

- A. 摩擦力方向一直向左
B. 摩擦力方向先向左、后向右
C. 感应电流的方向为顺时针→逆时针→顺时针
D. 感应电流的方向为顺时针→逆时针

11. A 和 B 都是很轻的铝环。环 A 是闭合的,环 B 是断开的。用磁铁的任一极去接近 A 环,会产生什么现象? 把磁铁从 A 环移开,会产生什么现象? 磁极移近或远离 B 环时,又会产生什么现象? 解释所发生的现象。

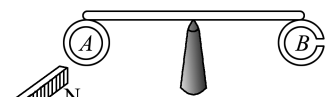


图 2-1-15

情境融合

12. 如图 2-1-16 所示,平行金属导轨的左端连有电阻 R ,金属导线框 $ABCD$ 的两端用金属棒跨在导轨上,匀强磁场方向指向纸内。当线框 $ABCD$ 沿导轨向右运动时,线框 $ABCD$ 中有无闭合电流? 电阻 R 上有无电流通过?

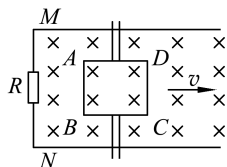


图 2-1-16

第二节 法拉第电磁感应定律

一、学科素养与学习目标

1. 知道感应电动势的概念,能判断其方向。
2. 通过实验,理解决定感应电动势大小的因素,并能区别其物理意义。

3. 理解法拉第电磁感应定律内容及数学表达式。
4. 掌握不同条件下感应电动势的表达式及其应用。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

感应电动势方向

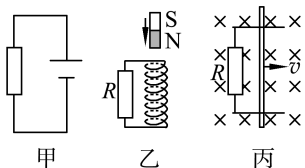


图 2-2-1

问题 1: 电路中存在持续电流的条件是_____。

问题 2: 产生感应电流的条件是_____。

感应电流的方向怎么判断?

试比较甲、乙、丙电路结构的异同。

思考:(1)试着找出乙和丙电路中等效电源的部分,并标出等效电源的正负极。

(2)电路不闭合,乙和丙电路中有电流吗?有电动势吗?

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 线圈中磁通量越大,产生的感应电动势越大。()
2. 线圈中磁通量变化越大,产生的感应电动势越大。()
3. 线圈中磁通量变化越快,产生的感应电动势越大。()
4. 线圈匝数越多,磁通量越大,产生的感应电动势越大。()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 感应电动势

(1)概念:在电磁感应现象中产生的电动势。

(2)产生条件:穿过回路的磁通量发生变化,与电路是否闭合无关。

(3)方向判断:楞次定律或右手定则。

2. 法拉第电磁感应定律

(1)内容:闭合电路中感应电动势的大小,跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

$$(2) \text{公式: } E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

(3)感应电流与感应电动势的关系:遵循闭合电路欧姆定律,即 $I = \frac{E}{R+r}$

3. 导体棒切割磁感线的情形

导体棒切割磁感线情形	感应电动势的计算方式
当 B 、 l 、 v 相互垂直时	$E = Blv$
当 $B \perp l$, $l \perp v$, 而 B 与 v 成 θ 角时	$E = Blv \sin \theta$
若 v 是一段时间内的平均速度	$E = Blv$
当 $B \perp l$, 导体棒绕一端以角速度 ω 匀速转动切割磁感线时	$E = \frac{1}{2} Bl^2 \omega$

疑难突破

磁通量 Φ 、磁通量的变化量 $\Delta \Phi$ 、磁通量的变化率 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 有何不同? 它们有什么联系?

1. 含义是否相同?
2. 大小有何联系?
3. 单位是否相同?
4. 三个量与感应电动势的关系?

5. 从图 2-2-2 $\Phi-t$ 图像上看,图像上某点切线的斜率表示什么?

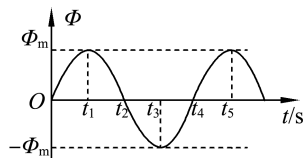


图 2-2-2

典型例题

例 1 一个直径为 20 cm、匝数为 1 000 匝的线圈放在磁场中,线圈平面与磁场垂直。匀强磁场垂直纸面向外,磁感应强度在 2 s 内由 0 增大到 2×10^{-2} T。2 s 内磁通量的变化量是_____,磁通量的变化率是_____,感应电动势的大小为_____。(用 π 表示)

解答过程:磁通量的变化量 $\Delta \Phi = \Delta B \cdot S = 2\pi \times 10^{-4}$ wb,磁通量的变化率 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \pi \times 10^{-4}$ wb,感应电动势 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = 0.1\pi$ V。

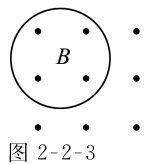


图 2-2-3

方法提炼:(1)根据法拉第电磁感应定律求解相关问题,注意各物理量之间的区别与联系。

(2)计算电动势大小时, $\Delta\Phi$ 取绝对值,不涉及正、负。

变式训练 1 一个直径为 20 cm,匝数为 1 000 匝的线圈放在垂直纸面向外的匀强磁场中,线圈平面垂直磁场,磁感应强度为 2×10^{-2} T,线圈阻值为 0.1 Ω ,

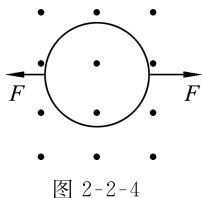


图 2-2-4

在线圈某一直径用力拉线圈,1 s 内使线圈面积变为零,则在这一过程中,电流方向为_____,平均电流为_____,通过导线某横截面的电量为_____。(用 π 表示)

例 2 闭合电路的一部分导体 ab 处于匀强磁场中,磁感应强度为 B , ab 的长度为 L ,以速度 v 匀速切割磁感线。

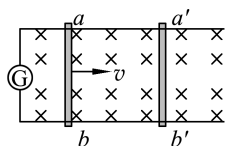


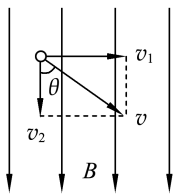
图 2-2-5

(1)试用法拉第电磁感应定律推导产生的感应电动势。

(2)当导体的运动方向跟磁感线方向有一个夹角 θ 时,如何计算感应电动势?

解答过程:(1)设在 Δt 时间内导体棒由原来的位置运动到 $a'b'$, $\Delta\Phi = B\Delta S = BLv\Delta t$, 得 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BLv$ 。

(2)可以把速度 v 分解为两个分量:垂直于磁感线的分量 $v_1 = v\sin\theta$ 和平行于磁感线的分量 $v_2 = v\cos\theta$ 。 $v_2 \parallel B$, 不产生感应电动势; $v_1 \perp B$, 产生的感应电动势为 $E = Blv_1 = BLv\sin\theta$ 。



方法提炼:(1)明确各量的物理意义, θ 为 B 与 v 的夹角。

(2)此公式不但可用于计算瞬时感应电动势,还可以计算平均感应电动势。 v 为瞬时速度,算出的是瞬时感应电动势, v 为平均速度,则算出的是平均感应电动势。

变式训练 2 如图 2-2-6 所示,空间有一匀强磁场,一直金属棒与磁感应强度方向垂直,当它以速度 v 沿与棒和磁感应强度都垂直的方向运动时,棒两端的感应电动势大小为 E ;将此棒弯成两段长度相等且相互垂直的折线,置于与磁感应强度相垂直的平面内,当它沿两段折线夹角平分线的方向以速度 v 运动时,棒两端的感应电动势大小为 E' ,则 $\frac{E'}{E}$ 等于 ()

图 2-2-6

- A. $\frac{1}{2}$ B. $\frac{\sqrt{2}}{2}$ C. 1 D. $\sqrt{2}$

例 3 如图 2-2-7 所示,直角三角形金属框 abc 放置在匀强磁场中,磁感应强度大小为 B ,方向平行于 ab 边向上。当金属框绕 ab 边以角速度 ω 逆时针转动时, a 、 b 、 c 三点的电势分别为 U_a 、 U_b 、 U_c 。已知 bc 边的长度为 l 。下列判断正确的是 ()

- A. $U_a > U_c$, 金属框中无电流
 B. $U_b > U_c$, 金属框中电流方向沿 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$
 C. $U_b = -\frac{1}{2}Bl^2\omega$, 金属框中无电流
 D. $U_c = \frac{1}{2}Bl^2\omega$, 金属框中电流方向沿 $a \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$

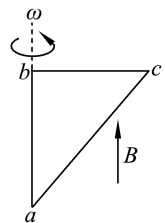


图 2-2-7

答案:C

变式训练 3 如图 2-2-8 所示,导线 OA 长为 l ,在方向竖直向上、磁感应强度为 B 的匀强磁场中以角速度 ω 沿图中所示方向绕通过悬点 O 的竖直轴旋转,导线 OA 与竖直方向的夹角为 θ 。则 OA 导线中的感应电动势大小和 O 、 A 两点电势高低情况分别是 ()

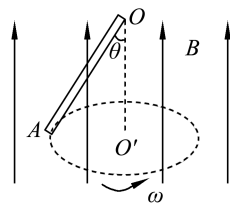


图 2-2-8

- A. $Bl^2\omega$, O 点电势高
 B. $Bl^2\omega$, A 点电势高
 C. $\frac{1}{2}Bl^2\omega\sin^2\theta$, O 点电势高
 D. $\frac{1}{2}Bl^2\omega\sin^2\theta$, A 点电势高

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. 关于物理学发展过程中的认识, 下列说法正确的是 ()

- A. 奥斯特发现了电流的磁效应, 并发现了电磁感应现象
- B. 法拉第在分析了许多实验事实后提出, 感应电流应具有这样的方向, 即感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量的变化
- C. 楞次发现了电流的磁效应, 揭示了磁现象和电现象之间的联系
- D. 在法拉第、纽曼、韦伯等人工作的基础上, 人们认识到: 电路中感应电动势的大小, 跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比, 后人称之为法拉第电磁感应定律

2. 将闭合多匝线圈置于仅随时间变化的磁场中, 线圈平面与磁场方向垂直, 关于线圈中产生的感应电动势和感应电流, 下列表述正确的是 ()

- A. 穿过线圈的磁通量大小与线圈的匝数无关
- B. 感应电动势的大小与线圈的匝数无关
- C. 穿过线圈的磁通量越大, 感应电动势越大
- D. 感应电流产生的磁场方向与原磁场方向始终相同

3. 如图 2-2-9 所示, 一个圆形线圈的匝数为 N , 半径为 a , 线圈平面与匀强磁场垂直, 且一半处在磁场中。在 Δt 时间内, 磁感应强度的方向不变, 大小由 B 均匀地增大到 $2B$ 。

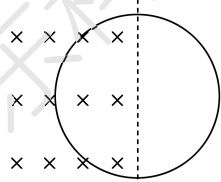


图 2-2-9

在此过程中, 线圈中产生的感应电动势为 ()

- A. $\frac{\pi N B a^2}{\Delta t}$
- B. $\frac{\pi N B a^2}{2 \Delta t}$
- C. $\frac{\pi B a^2}{\Delta t}$
- D. $\frac{\pi B a^2}{2 \Delta t}$

4. 如图 2-2-10 所示, 在磁感应强度大小为 B , 方向垂直纸面向里的匀强磁场中, 金属杆 MN 在平行金属导轨上以速度 v 向右匀速滑动。金属

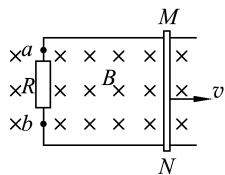


图 2-2-10

导轨间距为 L , 电阻不计, 金属杆的电阻为 $2R$, ab 间电阻为 R , MN 两点间电势差为 U , 则通过电阻 R 的电流方向及 U 的大小为 ()

- A. $a \rightarrow b, BLv$
- B. $a \rightarrow b, \frac{BLv}{3}$
- C. $a \rightarrow b, \frac{2BLv}{3}$
- D. $b \rightarrow a, \frac{2BLv}{3}$

5. 如图 2-2-11 甲所示, 线圈两端 a, b 与一电阻 R 相连, 线圈内有垂直于线圈平面向里的磁场, $t=0$ 时刻起, 穿过线圈的磁通量按图乙所示的规律变化, 下列说法正确的是 ()

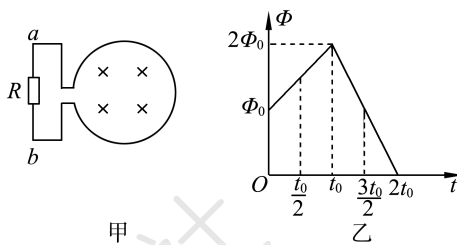


图 2-2-11

- A. $\frac{1}{2}t_0$ 时刻, R 中电流方向为由 b 到 a
- B. $\frac{3}{2}t_0$ 时刻, R 中电流方向为由 a 到 b
- C. $0 \sim t_0$ 时间内 R 的电流小于 $t_0 \sim 2t_0$ 时间内 R 的电流
- D. $0 \sim t_0$ 时间内 R 的电流大于 $t_0 \sim 2t_0$ 时间内 R 的电流

6. (多选) 如图 2-2-12 所示, 在光滑水平面上, 边长为 L 、由同种材料制成的粗细均匀的正方形金属线框 $abcd$ 以恒定的速度 v 通过匀强磁场区域, 已知 cd 边平行磁场边界, v 垂直边界, 线框总电阻为 $4R$, 磁场的磁感应强度大小为 B , 方向垂直纸面向里, 宽度为 L , 下列说法正确的是 ()

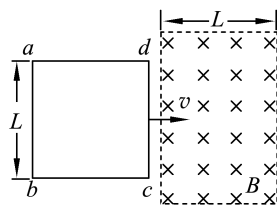


图 2-2-12

- A. 在 cd 边刚进入磁场时, ab 两端的电压为 $\frac{BLv}{4}$
- B. 在 cd 边刚离开磁场时, ab 两端的电压为 $\frac{BLv}{4}$
- C. 为使线框匀速运动, 水平拉力大小为 $\frac{B^2 L^2 v}{R}$
- D. 通过磁场的整个过程中线框产生的热量为 $\frac{B^2 L^3 v}{2R}$

能力提升

7. (多选)如图 2-2-13 所示, MN 和 PQ 是电阻不计的平行金属导轨, 其间距为 L , 导轨弯曲部分光滑, 平直部分粗糙, 二者平滑连接。右端接一个阻值为 R 的定值电阻。平直部分导轨左边区域有宽度为 d 、方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。质量为 m 、电阻也为 R 的金属棒从高度为 h 处由静止释放, 到达磁场右边界处恰好停止。已知金属棒与平直部分导轨间的动摩擦因数为 μ , 金属棒与导轨间接触良好。则金属棒穿过磁场区域的过程中 ()

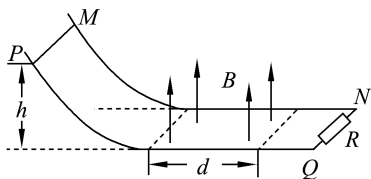


图 2-2-13

- A. 流过金属棒的最大电流为 $\frac{Bd\sqrt{2gh}}{2R}$
- B. 通过金属棒的电荷量为 $\frac{BdL}{2R}$
- C. 克服安培力所做的功为 mgh
- D. 金属棒产生的焦耳热为 $\frac{mgh - \mu mgd}{2}$
8. 法拉第发明了世界上第一台发电机。如图 2-2-14 所示, 圆形金属盘安置在电磁铁的两个磁极之间, 两电刷 MN 分别与金属盘的边缘和中心接触良好, 且与灵敏电流计相连, 金属盘绕中心轴沿图示方向转动, 则下列说法正确的是 ()
- A. 电刷 M 的电势低于电刷 N 的电势

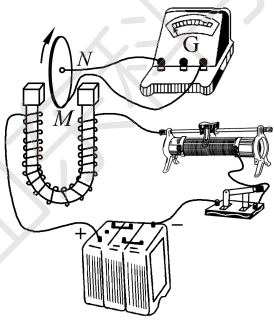


图 2-2-14

- B. 若只将电刷 M 移近 N , 电流计的示数变大
- C. 若只提高金属盘转速, 电流计的示数变小
- D. 若只将滑动变阻器的滑片向左滑动, 电流计的示数变大

9. 如图 2-2-15 所示, A 、 B 两个闭合线圈用同样的导线制成, 匝数均为 10 匝, 半径 $r_A = 2r_B$, 图示区域内有匀强磁场, 且磁感应强度随时间均匀减小。
- (1) A 、 B 线圈中产生的感应电动势之比为多少?
- (2) 两线圈的感应电流之比为多少?

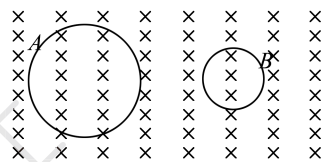


图 2-2-15

情境融合

10. (多选)如图 2-2-16 所示, 某人在自行车道上从东往西沿直线以速度 v 骑行, 该处地磁场的水平分量大小为 B_1 , 方向由南向北, 竖直分量大小为 B_2 , 方向竖直向下。自行车把为直把, 金属材质, 且带有绝缘把套, 两把手间距为 L 。只考虑自行车在地磁场中的电磁感应, 下列结论正确的是 ()
- A. 图示位置中辐条 A 点电势比 B 点电势低
- B. 图示位置中辐条 A 点电势比 B 点电势高
- C. 自行车左车把的电势比右车把的电势高 B_2Lv
- D. 自行车在十字路口左拐改为南北骑向, 则自行车车把两端电势差要降低

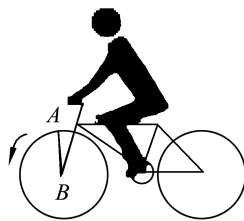


图 2-2-16

第三节 涡流、电磁阻尼、电磁驱动

一、学科素养与学习目标

1. 通过实验了解涡流的产生过程以及涡流现象的利用和危害。

2. 通过对涡流实例的分析, 了解涡流现象在生活和生产中的应用。

3. 通过实验了解电磁阻尼、电磁驱动。建立电

磁阻尼和电磁驱动的思维模型,加深对电磁阻尼和电磁驱动的理解和区分。

4. 通过对各种生活实例的分析,提高实验学习的观察能力,养成严谨的科学态度,增强用物理知识解释生产生活中现象的意识。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

1. 块状金属在匀强磁场中运动时,能否产生涡流?
2. 利用涡流加热时,为什么使用高频交流电源?
3. 电磁炉的原理是什么?

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 涡流不是感应电流,而是一种有别于感应电流的特殊电流。 ()
2. 变压器的铁芯用硅钢片叠成是为了减小涡流。 ()
3. 电磁阻尼和电磁驱动均遵循楞次定律。 ()
4. 在电磁阻尼与电磁驱动中安培力所起的作用相同。 ()
5. 电磁阻尼发生的过程中,存在机械能向内能的转化。 ()
6. 电磁驱动时,被驱动的导体中有感应电流。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 涡流的特点

当电流在金属块内自成闭合回路(产生涡流)时,由于整块金属的电阻很小,涡流往往很强,根据公式 $P = I^2 R$ 知,热功率的大小与电流的平方成正比,故金属块的发热功率很大。

2. 涡流中的能量转化

涡流现象中,其他形式的能转化成电能,并最终在金属块中转化为内能。如果金属块放在变化的磁场中,则磁场能转化为电能,最终转化为内能;如果金属块进出磁场或在非匀强磁场中运动,则由于克服安培力做功,金属块的机械能转化为电能,最终转化为内能。

注意

(1) 涡流是整块导体发生的电磁感应现象,同样遵循法拉第电磁感应定律。

(2) 磁场变化越快 ($\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 越大),导体的横截面积 S 越大,导体材料的电阻率越小,形成的涡流就越大。

3. 涡流的应用与防止

(1) 应用:真空冶炼炉、探雷器、安检门等。

(2) 防止:为了减小电动机、变压器铁芯上的涡流,常用电阻率较大的硅钢做材料,而且用相互绝缘的硅钢片叠成铁芯来代替整块硅钢铁芯。

疑难突破

1. 电磁阻尼

(1) 当导体在磁场中运动时,感应电流会使导体受到安培力,安培力的方向总是阻碍导体运动的现象。

(2) 应用:磁电式仪表中利用电磁阻尼使指针迅速停止到某位置,便于读数。

2. 电磁驱动

(1) 磁场相对导体转动时,导体中产生感应电流,感应电流使导体受到安培力的作用,安培力使导体运动起来的现象就是电磁驱动。

(2) 应用:交流感应电动机。

注意:电磁驱动中,导体的运动速度要小于磁场的运动速度。

3. 电磁阻尼与电磁驱动的比较

	电磁阻尼	电磁驱动
成因	由于导体在磁场中运动而产生感应电流,从而使导体受到安培力的作用	由于磁场运动引起磁通量的变化而产生感应电流,从而使导体受到安培力的作用
不同点	安培力的方向与导体运动方向相反,阻碍导体运动	导体受安培力的方向与导体运动方向相同,推动导体运动
能量转化	导体克服安培力做功,其他形式的能转化为电能,最终转化为内能	由于电磁感应,磁场能转化为电能,通过安培力做功,电能转化为导体的机械能,从而对外做功
相同点	二者都是电磁感应现象,都遵循楞次定律,都是安培力阻碍引起感应电流的导体与磁场间的相对运动	

4. 从两个角度区分电磁阻尼与电磁驱动

(1) 从安培力与导体运动的方向来看:电磁阻尼中安培力的方向与导体运动方向相反,阻碍导体运动;电磁驱动中导体所受安培力的方向与导体运动

方向相同,推动导体运动。

(2)从能量转化的角度来看:电磁阻尼中克服安培力做功,其他形式的能转化为电能,最终转化为内能;电磁驱动中由于电磁感应,磁场能转化为电能,通过安培力做功,部分电能转化为导体的机械能而对外做功。

典型例题

例1 (多选)“电磁感应铝箔封口机”被广泛应用于医药、食品、化工等生产行业的产品封口环节中,一手持式封口机如图 2-3-1 所示,它的工作原理是:当接通电源时,内置线圈产生磁场,当磁感线穿过封口铝箔材料时,瞬间产生大量小涡流,致使铝箔自行快速发热,熔化复合在铝箔上的溶胶,从而粘贴在待封容器的封口处,达到迅速封口的目的。下列有关说法正确的是 ()



图 2-3-1

- A. 封口材料可用普通塑料来代替铝箔
 B. 该封口机可用于干电池作为电源以方便携带
 C. 封口过程中温度过高,可通过适当减小所通电流的频率来解决
 D. 该封口机适用于玻璃、塑料等多种材质的容器封口,但不适用于金属容器

思路点拨:涡流是金属导体发生的电磁感应现象,同样遵循法拉第电磁感应定律。

解答过程:选 C、D。由于封口机利用了电磁感应原理,故封口材料必须是金属类材料,而且电源必须是交流电源,选项 A、B 错误;减小内置线圈中所通电流的频率可降低封口过程中产生的热量,即控制温度,选项 C 正确;封口材料应是金属类材料,但对应被封口的容器不能是金属,否则同样会被熔化,只能是玻璃、塑料等材质,选项 D 正确。

方法提炼:1. 涡流的本质:电磁感应现象。

2. 产生涡流的两种情况:

(1)块状金属放在变化的磁场中。

(2)块状金属进出磁场或在非匀强磁场中运动。

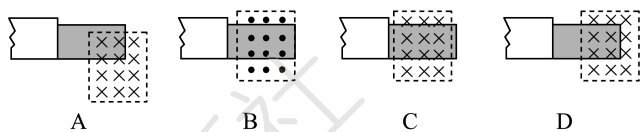
变式训练 1 (多选)下列哪些措施是为了防止涡流的危害 ()

- A. 电磁炉所用的锅要用平厚底金属锅
 B. 机场、车站和重要活动场所的安检门可以探测人身携带的金属物品
 C. 变压器的铁芯不做成整块,而是用许多电阻率

很大的硅钢片叠合而成

- D. 变压器的铁芯每片硅钢片表面有不导电的氧化层

例2 扫描隧道显微镜 (STM) 可用来探测样品表面原子尺度上的形貌。为了有效隔离外界振动对 STM 的扰动,在圆底盘周边沿其径向对称地安装若干对紫铜薄板,并施加磁场来快速衰减其微小振动,如图所示。无扰动时,按下列四种方案对紫铜薄板施加恒磁场;出现扰动后,对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是 ()



思路点拨:施加磁场来快速衰减 STM 的微小振动,其原理是电磁阻尼,在振动时通过紫铜薄板的磁通量变化,紫铜薄板中产生感应电动势和感应电流,则其受到安培力作用,该作用阻碍紫铜薄板振动,即促使其振动衰减。

解答过程:A 中,无论紫铜薄板上下振动还是左右振动,通过它的磁通量都发生变化;B 中,当紫铜薄板上下振动时,通过它的磁通量可能不变,当紫铜薄板向右振动时,通过它的磁通量不变;C 中,紫铜薄板上下振动、左右振动时,通过它的磁通量可能不变;D 中,当紫铜薄板上下振动时,紫铜薄板中磁通量可能不变。综上可知,对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是 A。

方法提炼:电磁阻尼是一种十分普遍的物理现象,任何在磁场中运动的导体,只要给感应电流提供回路,就会存在电磁阻尼作用。

例3 (多选)位于光滑水平面的小车上水平固定一螺线管,一个比螺线管长的条形磁铁沿着螺线管的轴线以初速度 v_0 穿入螺线管,并最终穿出,如图 2-3-2 所示,在此过程中 ()

- A. 磁铁做匀速直线运动
 B. 磁铁做减速运动
 C. 小车向右做加速运动
 D. 小车先加速后减速

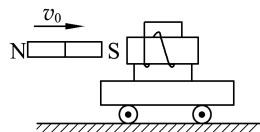


图 2-3-2

思路点拨:(1)“光滑水平面”说明小车运动中不受摩擦力作用。

(2)磁铁穿过螺线管说明磁铁相对螺线管运动,属于电磁阻尼现象。螺线管相对磁铁的运动属于电磁驱动现象。

解答过程:选 B、C。磁铁水平穿入螺线管时,螺线管中将产生感应电流,由楞次定律可知产生的感应电流将阻碍磁铁的运动;同理,磁铁穿出时,由楞次定律可知产生的感应电流将阻碍磁铁的运动,故整个过程中,磁铁做减速运动,选项 A 错误, B 正确;对于小车上的螺线管来说,螺线管受到的安培力方向始终为水平向右,这个安培力使螺线管和小车向右运动,且一直做加速运动,选项 C 正确, D 错误。

方法提炼:电磁阻尼和电磁驱动中阻碍的结果,都是减小导体与磁场的相对速度,但要注意区分二者的用途。

变式训练 2 (多选)如图 2-3-3 所示,磁电式仪表的线圈通常是用铝框做骨架,把线圈绕在铝框上,这样做的目的是 ()

- A. 防止涡流而设计的
B. 利用涡流而设计的
C. 起电磁阻尼的作用
D. 起电磁驱动的作用

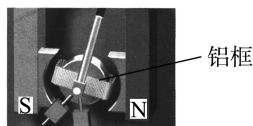


图 2-3-3

变式训练 3 (多选)如图 2-3-4 所示,蹄形磁铁和矩形线圈均可绕竖直轴 OO' 转动。从上向下看,当磁铁逆时针转动时,则 ()

- A. 线圈将逆时针转动,转速与磁铁相同
B. 线圈将逆时针转动,转速比磁铁小
C. 线圈转动时将产生感应电流
D. 线圈转动时感应电流的方向始终是 $abcda$

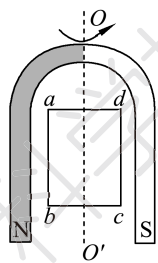


图 2-3-4

四、分层训练与能力提升

基础达标

1. 电磁炉热效率高达 90%, 炉面无明火, 无烟, 无废气, “火力”强劲。描述电磁炉工作原理的示意图如图 2-3-5 所示, 下列说法正确的是 ()

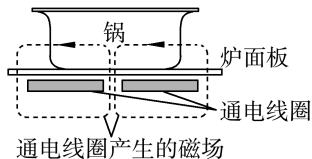


图 2-3-5

- A. 当恒定电流通过线圈时, 会产生恒定磁场, 恒定磁场越强, 电磁炉加热效果越好
B. 电磁炉通电线圈加交流电后, 在锅底产生涡流, 进而发热工作

- C. 在锅和电磁炉中间放一纸板, 则电磁炉不能起到加热作用
D. 电磁炉的锅不能用陶瓷锅或耐热玻璃锅, 主要原因是这些材料的导热性能较差

2. (多选)电表中的指针和电磁阻尼器如图 2-3-6 所示, 下列说法正确的是 ()

- A. 2 是磁铁, 在 1 中产生涡流
B. 1 是磁铁, 在 2 中产生涡流
C. 该装置的作用是使指针能够转动
D. 该装置的作用是使指针能很快地稳定

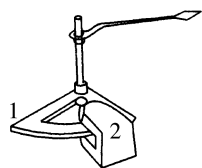


图 2-3-6

3. 如图 2-3-7 所示, 闭合线框 $ABCD$ 和 $abcd$ 可分别绕轴 OO' 转动。当线框 $abcd$ 绕 OO' 轴逆时针转动时 (俯视图), 下列关于线框 $ABCD$ 的转动情况的说法正确的是 ()

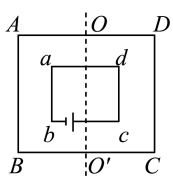


图 2-3-7

- A. 线框 $ABCD$ 也随 $abcd$ 逆时针转动, 只不过稍微慢了些
B. 线框 $ABCD$ 也随 $abcd$ 逆时针转动, 只不过稍微快了些
C. 线框 $ABCD$ 顺时针转动, 只不过稍微慢了些
D. 线框 $ABCD$ 顺时针转动, 只不过稍微快了些

能力提升

4. (多选)涡流检测是工业上无损检测的方法之一, 如图 2-3-8 所示, 线圈中通以一定频率的周期性变化的电流, 靠近待测工件时, 工件内会产生涡流, 同时线圈中的电流受涡流影响也会发生变化。下列说法正确的是 ()

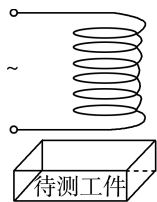


图 2-3-8

- A. 涡流的磁场总是要阻碍穿过工件的磁通量的变化
B. 涡流的频率等于通入线圈的周期性变化的电流频率
C. 通电线圈和待测工件间存在周期性变化的作用力
D. 待测工件可以是塑料或橡胶制品
5. 如图 2-3-9 所示, 使一个铜盘绕其竖直的轴 OO' 转动, 且假设摩擦等阻力不计, 转动是匀速的。现把一个蹄形磁铁移近铜盘, 则 ()

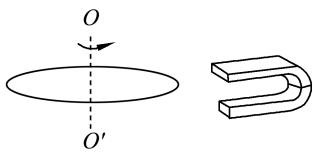


图 2-3-9

- A. 铜盘的转动将变慢
- B. 铜盘的转动将变快
- C. 铜盘仍以原来的转速转动
- D. 铜盘的转动速度是否变化,要根据磁铁上下两端的极性来决定

情境融合

6. (多选)地球是一个巨大的磁体,具有金属外壳的人造地球卫星环绕地球做匀速圆周运动,若不能忽略所经之处地磁场的强弱差别,则 ()
- A. 运行速率将越来越小

- B. 运行周期将越来越小
 - C. 轨道半径将越来越小
 - D. 向心加速度将越来越小
7. 电磁炉利用电流通过线圈产生磁场,该磁场使铁质锅底部产生无数小涡流,使锅体发热。下列相关说法正确的是 ()
- A. 锅体发热是由于电磁炉本身发热且传导给锅体
 - B. 锅体中的涡流是由恒定的磁场产生的
 - C. 恒定磁场的磁感应强度越大,电磁炉的热功率越大
 - D. 只提高磁场变化频率,可提高电磁炉的热功率

第四节 互感和自感

一、学科素养与学习目标

1. 知道互感与自感现象及其产生原因,并且知道互感和自感是一种特殊的电磁感应现象,了解自感系数的意义和决定因素,知道磁场具有能量,深化运动与相互作用及能量观念。

2. 基于对实验的观察讨论与体验,解释通电自感与断电自感两类物理现象,认识自感电动势对电路中电流的影响,并能对含线圈的电路进行分析,经历科学思维过程,培养科学探究能力。

二、自主探究与自我诊断

自主探究

1. 如图 2-4-1 甲所示,开关接通时,可以看到灯泡 A_2 立即正常发光,而灯泡 A_1 是逐渐亮起来的,为什么会出现这种现象呢?为什么自感电动势不是使灯泡 A_1 突然变得很亮,而是使它慢慢变亮呢?
2. 如图 2-4-1 乙所示,接通电路,灯泡正常发光后,迅速断开开关,可以看到灯泡闪亮一下再逐渐熄灭。灯泡闪亮一下,说明了什么问题?在开关断开这一瞬间,增大的电压从哪里来的?

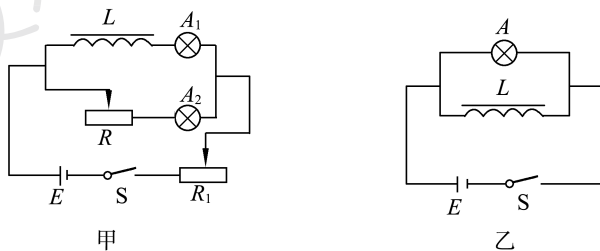


图 2-4-1

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 自感现象中,感应电流的方向一定和原电流方向相反。 ()
2. 线圈产生的自感电动势较大时,其自感系数一定较大。 ()
3. 对于同一线圈,当电流变化较快时,线圈中的自感电动势较大。 ()
4. 一个线圈中的电流均匀增大,自感电动势也均匀增大。 ()
5. 两线圈相距较近时,可以产生互感现象,相距较远时,不产生互感现象。 ()
6. 只有闭合的回路才能产生互感。 ()

三、合作探究与疑难剖析

重点解读

1. 互感现象:互感现象是一种常见的电磁感应现象,它不仅发生于绕在同一铁芯上的两个线圈之间,还可以发生于任何相互靠近的电路之间。互感现象可以把能量由一个电路传到另一个电路。

2. 自感现象:由于通过导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象。

3. 自感电动势:总是阻碍导体中原电流的变化,即总是起着推迟电流变化的作用,同样遵循“增反减同”的规律。自感电动势大小: $E=L\frac{\Delta I}{\Delta t}$,其中 L 是自感系数,简称自感或电感,与线圈的大小、形状、圈数,以及是否有铁芯等因素有关。

4. 自感现象中的磁场能量

(1)线圈中电流从无到有时:磁场从无到有,电源的能量输送给磁场,储存在磁场中。

(2)线圈中电流减小时:磁场中的能量释放出来转化为电能。

疑难突破

1. 通电自感和断电自感

	电路	现象	自感电动势的作用
通电自感		接通电源的瞬间,灯泡 A_1 逐渐亮起来	阻碍电流的增加
断电自感		断开开关的瞬间,灯泡闪亮一下后逐渐变暗或灯泡A逐渐变暗,直至熄灭	阻碍电流的减小

2. 自感现象中,灯泡亮度变化的问题

	与线圈串联的灯泡	与线圈并联的灯泡
电路图		

(续表)

	与线圈串联的灯泡	与线圈并联的灯泡
通电时	电流逐渐增大,灯泡逐渐变亮	电流 I_1 突然变大,然后逐渐减小达到稳定,灯泡突然变亮然后逐渐变暗,最后亮度不变
断电时	电流逐渐减小,灯泡逐渐变暗,电流方向不变	电路中稳态电流为 $I_1、I_2$, ①若 $I_2 \leq I_1$,灯泡逐渐变暗; ②若 $I_2 > I_1$,灯泡闪亮一下后逐渐变暗,两种情况灯泡电流方向均改变

典型例题

例1 如图2-4-2甲所示,A、B两绝缘金属环套在同一铁芯上,A环中电流 i_A 随时间 t 的变化规律如图乙所示,下列说法正确的是 ()

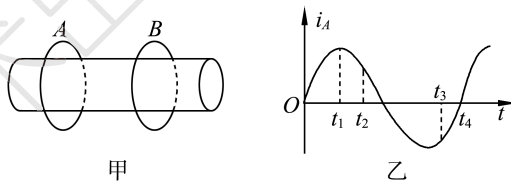


图2-4-2

- A. t_1 时刻,两环作用力最大
B. t_2 和 t_3 时刻,两环相互吸引
C. t_2 时刻两环相互吸引, t_3 时刻两环相互排斥
D. t_3 和 t_4 时刻,两环相互吸引

思路点拨:互感现象是一种常见的电磁感应现象,遵循楞次定律。

方法提炼:研究互感现象,先要找到产生磁场的原线圈,通过原线圈中磁场的变化,结合楞次定律,判断另一线圈中感应磁场的变化,根据楞次定律解答。

变式训练1 在同一铁芯上绕着两个线圈,单刀双掷开关原来接在1处,现把它从1扳到2,如图2-4-3所示,试判断在此过程中,在电阻 R 上的电流方向是 ()

- A. 先由 $P \rightarrow Q$,再由 $Q \rightarrow P$
B. 先由 $Q \rightarrow P$,再由 $P \rightarrow Q$
C. 始终由 $Q \rightarrow P$
D. 始终由 $P \rightarrow Q$

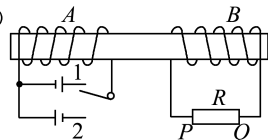


图2-4-3

例2 如图2-4-4所示,灯 $A_1、A_2$ 完全相同,带铁芯的线圈 L 的电阻可忽略,则 ()

- A. S 闭合的瞬间, A_1 、 A_2 同时发光, 接着 A_1 变暗, A_2 更亮, 最后 A_1 熄灭
- B. S 闭合瞬间, A_1 不亮, A_2 立即亮
- C. S 闭合瞬间, A_1 、 A_2 都不立即亮
- D. 稳定后再断开 S 的瞬间, A_2 熄灭, A_1 比 A_2 (原先亮度) 更亮

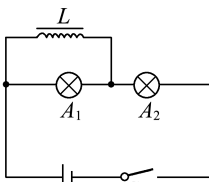


图 2-4-4

思路点拨: (1) 闭合 S 瞬间, 线圈 L 由于自感, 对电流有阻碍作用, 等稳定后, 由于线圈 L 的电阻可忽略, 所以相当于短路。

(2) 断开 S 的瞬间, 线圈 L 由于自感, 且线圈 L 与灯泡 L_1 组成了回路, 所以电流不会立即消失。

方法提炼: (1) 当流过线圈的电流从零开始增大, 也可理解为线圈的电阻由无穷大逐渐减小到零。

(2) 当流过线圈中的电流稳定后, 线圈相当于导线; 如果线圈对电流有阻碍作用, 则相当于纯电阻。

变式训练 2 如图 2-4-5 所示, 电路中电源内阻不能忽略, R 阻值和 L 的自感系数都很大, A、B 为两个完全相同的灯泡, 当 S 闭合时, 下列说法正确的是 ()

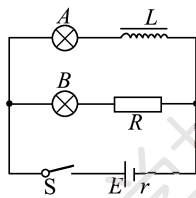


图 2-4-5

- A. A 比 B 先亮, 然后 A 熄灭
- B. B 比 A 先亮, 然后 A 逐渐变亮
- C. A、B 一起亮, 然后 A 熄灭
- D. A、B 一起亮, 然后 B 熄灭

例 3 如图 2-4-6 所示的电路中, 电源的电动势为 E, 内阻为 r, 电感 L 的电阻不计, 电阻 R 的阻值大于灯泡 D 的阻值。在 $t=0$ 时

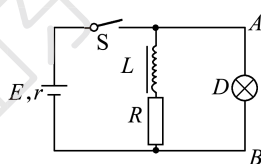
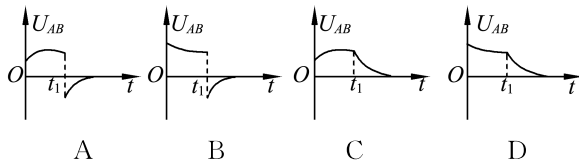


图 2-4-6

刻闭合开关 S, 经过一段时间后, 在 $t=t_1$ 时刻断开开关 S。如选项图所示, 表示 A、B 两点间电压 U_{AB} 随时间 t 变化的图像中, 正确的是 ()



思路点拨: 根据图判断 A、B 部分与自感线圈并联, 断电后电流方向与电路稳定时相反。

方法提炼: (1) L 中电流变化时, 自感电动势对电流有阻碍作用, 随时间延续, 其阻碍作用逐渐变小。

(2) U_{AB} 有正负之分, 根据流过灯泡 D 的电流方向确定 U_{AB} 的正负。

变式训练 3 在如图 2-4-7 所示的电路中, 两个相同的小灯泡 A_1 和 A_2 分别串联一个带铁芯的电感线圈 L 和一个滑动变阻器 R。闭合开关 S 后, 调整 R, 使 A_1 和 A_2 发光的亮度一样, 此时流过两个灯泡的电流均为 I。然后, 断开开关 S。若 t' 时刻再闭合开关 S, 则在 t' 前后的一小段时间内, 选项图中正确反映流过 A_1 的电流 i_1 、流过 A_2 的电流 i_2 随时间 t 变化的图像是 ()

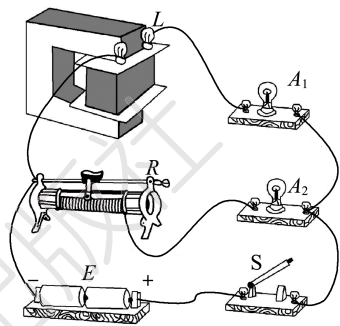
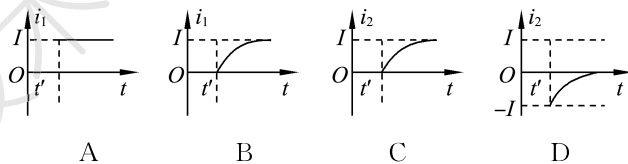


图 2-4-7



四、分层训练与能力提升

基础达标

- 关于线圈的自感系数, 下列说法正确的是 ()

A. 线圈的自感系数越大, 自感电动势一定越大

B. 线圈中电流等于零时, 自感系数也等于零

C. 线圈中电流变化越快, 自感系数越大

D. 线圈的自感系数由线圈本身的因素及有无铁芯决定
- 教材中演示自感现象的两个电路图如图 2-4-8 甲和乙所示, L_1 和 L_2 为电感线圈。实验时, 断开开关 S_1 瞬间, 灯 A_1 突然闪亮, 随后逐渐变暗; 闭合开关 S_2 , 灯 A_2 逐渐变亮, 而另一个相同的灯 A_3 立即变亮, 最终 A_2 与 A_3 的亮度相同。下列说法正确的是 ()

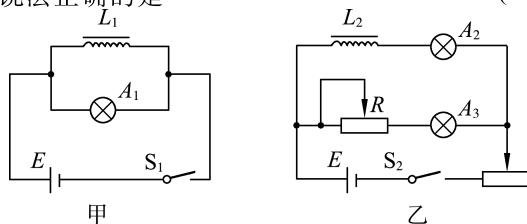


图 2-4-8

- A. 图甲中, A_1 与 L_1 的电阻值相同
 B. 图甲中, 闭合 S_1 , 电路稳定后, A_1 中电流大于 L_1 中电流
 C. 图乙中, 变阻器 R 与 L_2 的电阻值相同
 D. 图乙中, 闭合 S_2 瞬间, L_2 中电流与变阻器 R 中电流相等

3. 某同学为了验证断电自感现象, 自己找来带铁芯的线圈 L 、小灯泡 A 、开关 S 和电池组 E , 用导线将它们连接成如图 2-4-9 所示的电路。检查电路后, 闭合

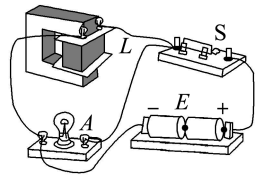


图 2-4-9

开关 S , 小灯泡发光; 再断开开关 S , 小灯泡仅有不显著的延时熄灭现象。虽经多次重复, 仍未见老师演示时出现的小灯泡闪亮现象, 他冥思苦想找不出原因。你认为最有可能造成小灯泡未闪亮的原因是 ()

- A. 电源的内阻较大 B. 小灯泡电阻偏大
 C. 线圈电阻偏大 D. 线圈的自感系数较大
4. 下列说法正确的是 ()
- A. 当线圈中电流不变时, 线圈中的自感电动势也不变
 B. 当线圈中电流反向时, 线圈中自感电动势的方向与线圈中原电流的方向相反
 C. 当线圈中电流减小时, 线圈中自感电动势的方向与线圈中原电流的方向相反
 D. 当线圈中电流增大时, 线圈中自感电动势的方向与线圈中原电流的方向相反

5. 如图 2-4-10 所示的电路中, S 闭合时流过电感线圈的电流是 2A , 流过灯泡的电流是 1A , 将 S 突然断开, 则 S 断开前后, 能正确反映流过灯泡的电流 I 随时间 t 变化的图像是图中的 ()

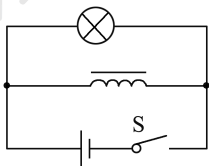
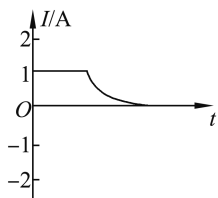
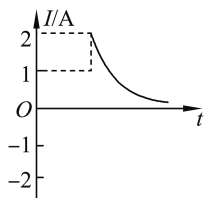


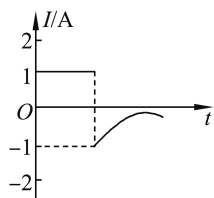
图 2-4-10



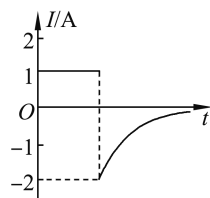
A



B



C



D

6. 如图 2-4-11 所示, 电感线圈 L 的直流电阻 $R_L = 3.0\ \Omega$, 小灯泡 A 的电阻 $R = 6.0\ \Omega$, 闭合开关 S , 待电路稳定后再断开开关, 则在断开开关 S 的瞬间, 小灯泡 A ()

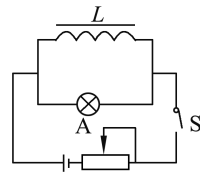


图 2-4-11

- A. 不熄灭 B. 立即熄灭
 C. 逐渐熄灭 D. 闪亮一下再逐渐熄灭

7. 无线充电技术已经广泛应用于生活中。感应充电是无线充电技术的一种, 常用于小功率电器的无线充电。某电子购物平台中的一款电动牙刷



图 2-4-12

采用了无线充电技术, 充电座内含一套线圈和一个金属芯, 牙刷柄内含有另一套线圈, 如将牙刷座于基座上, 就能够实现无线感应充电。关于此款电动牙刷的无线充电过程, 下列说法正确的是 ()

- A. 利用恒定电流和交变电流都可以实现充电过程
 B. 充电过程中, 能量从电能转化为磁场能再转化为电能
 C. 感应充电技术为无线充电, 充电效率可以达到 100%
 D. 感应充电的原理和磁电式电表的工作原理相同

能力提升

8. 如图 2-4-13 所示, A 和 B 是两个相同的小灯泡, L 是一个自感系数相当大的线圈, 其电阻与 R 相同, 由于存在自感现象, 在开关 S 接通和断开时, A 、 B 先后亮暗的顺序是 ()

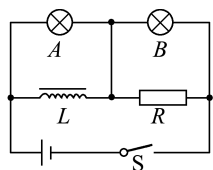


图 2-4-13

- A. 接通时, A 先达最亮; 断开时, A 后暗
 B. 接通时, B 先达最亮; 断开时, B 后暗

- C. 接通时, A 先达最亮; 断开时, A 先暗
- D. 接通时, B 先达最亮; 断开时, B 先暗

9. 如图 2-4-14 所示, 电路中 A、B 是两个完全相同的灯泡, L 是一个自感系数很大、电阻可忽略的自感线圈, C 是电容很大的电容器。当 S 刚闭合与闭合之后, A、B 灯泡的发光情况是 ()

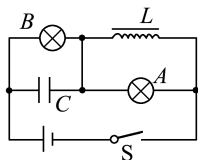


图 2-4-14

- A. S 刚闭合后, A 亮一下又逐渐熄灭, B 逐渐变亮
 - B. S 刚闭合后, B 亮一下又逐渐变暗, A 逐渐变亮
 - C. S 闭合足够长时间后, A 和 B 一样亮
 - D. S 闭合足够长时间后, A、B 都熄灭
10. 如图 2-4-15 所示, 多匝线圈和电池的内阻均为零, 两个电阻的阻值均为 R , 开关 S 断开时, 电路中的电流为 I 。现将 S 闭合, 于是电路中产生自感电动势, 此自感电动势的作用是 ()

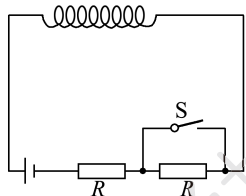


图 2-4-15

- A. 使电路中的电流减小, 最后由 I 减小到零
- B. 有阻碍电流的作用, 最后电流小于 I
- C. 有阻碍电流增大的作用, 故电流总保持不变
- D. 有阻碍电流增大的作用, 但电流还是增大, 最后变为 $2I$

11. (多选) 如图 2-4-16 所示, A、B 为两个相同的灯泡, 线圈 L 的直流电阻不计, 灯泡 A 与理想二极管相连, 下列说法正确的是 ()

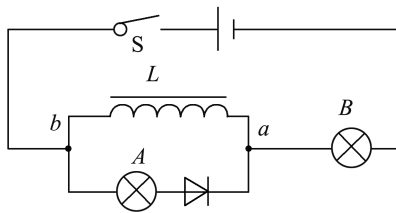


图 2-4-16

- A. 闭合开关 S 后, A 会逐渐变亮
- B. 闭合开关 S 稳定后, A 不亮
- C. 断开 S 的瞬间, A 会逐渐熄灭
- D. 断开 S 的瞬间, a 点的电势比 b 点高

情境融合

12. 在制作精密电阻时, 为了消除使用过程中由于电流变化而引起的自感现象, 采取了双线绕法, 如图 2-4-17 所示, 其道理是 ()

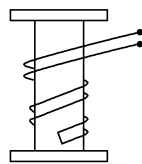
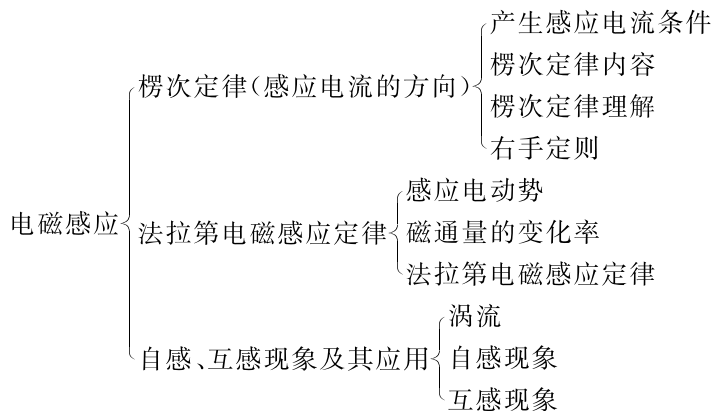


图 2-4-17

- A. 当电路中的电流变化时, 两股导线中产生的自感电动势互相抵消
- B. 当电路中的电流变化时, 两股导线中产生的感应电流互相抵消
- C. 当电路中的电流变化时, 两股导线中产生的磁通量互相抵消
- D. 以上说法均不对

章末总结

知网建构



重点探究

【小微专题】

一、楞次定律的推广应用

利用电磁感应的效果进行判断的方法

方法 1: 阻碍原磁通量的变化——“增反减同”

例 1 如图 2-1 所示的电路, 将滑

动变阻器滑片向上移动, a 、 b 环中感应电流的方向是 ()

- A. a 环顺时针, b 环顺时针
B. a 环顺时针, b 环逆时针
C. a 环逆时针, b 环顺时针
D. a 环逆时针, b 环逆时针

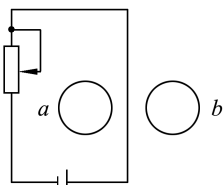


图 2-1

答案: 选 C。

方法 2: 阻碍相对运动——“来拒去留”

例 2 电磁冲击钻的原理示意图如图 2-2 所示, 若钻头 M 突然向左运动, 可能是 ()

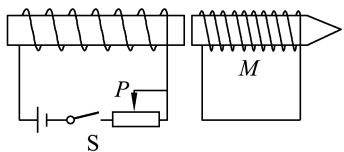


图 2-2

- A. 开关 S 由断开到闭合的瞬间
B. 开关 S 由闭合到断开的瞬间
C. 保持开关 S 闭合, 变阻器滑片 P 加速向左滑动
D. 保持开关 S 闭合, 变阻器滑片 P 匀速向左滑动

答案: 选 B。

方法 3: 使线圈面积有扩大或缩小的趋势——“增缩减扩”

例 3 如图 2-3 所示, 通电螺线管 N 置于闭合金属环 M 的轴线上, 当 N 中的电流突然减小时, 则 ()

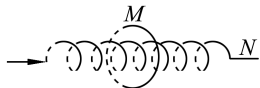


图 2-3

- A. 环 M 有缩小的趋势, 螺线管 N 有缩短的趋势
B. 环 M 有扩张的趋势, 螺线管 N 有伸长的趋势
C. 环 M 有扩张的趋势, 螺线管 N 有缩短的趋势
D. 环 M 有缩小的趋势, 螺线管 N 有伸长的趋势

解答过程: 选 D。当 N 中通过的电流逐渐减小时, 电流产生的磁场逐渐减小, 故穿过 M 的磁通量减小, 为阻碍磁通量减小, 根据楞次定律可知, 环 M 应向

磁通量增大的方向形变。由于 M 环中有两种方向的磁场: 线圈 N 外的磁感线方向与线圈内的磁感线方向相反, 线圈 N 外的磁通量要将线圈 N 内的磁通量抵消一些, 当 M 的面积减小时, 穿过 M 的磁通量会增大, 所以可知环 M 应有减小的趋势; 当 N 中电流突然减小时, N 内各匝线圈之间的作用力减小; 由于同向电流相互吸引, 所以当 N 中电流突然减小时, 螺线管 N 有伸长的趋势。故 D 正确。

方法 4: 阻碍原电流的变化 (自感现象)——“增反减同”

例 4 在如图 2-4 所示的电路

中, A_1 和 A_2 是两个完全相同的灯泡, 线圈 L 的自感系数足够大, 电阻可以忽略不计。下列说法正确的是 ()

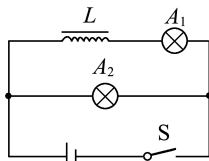


图 2-4

- A. 合上开关 S , A_1 先亮, A_2 后亮, 最后一样亮
B. 断开开关 S , A_1 和 A_2 都要过一会儿才熄灭
C. 断开开关 S , A_2 闪亮一下再熄灭
D. 断开开关 S , 流过 A_2 的电流方向向右

解答过程: 选 B。当开关 S 闭合时, 灯 A_2 立即发光, 通过线圈 L 的电流增大, 穿过线圈的磁通量增大, 根据楞次定律线圈产生的感应电动势与原来电流方向相反, 阻碍电流的增大, 电路的电流只能逐渐增大, A_1 逐渐亮起来, 线圈直流电阻忽略不计, 当电流逐渐稳定时, 线圈不产生感应电动势, 两灯电流相等, 亮度相同, 选项 A 错误; 稳定后当开关 S 断开后, 由于自感, 线圈中的电流只能慢慢减小, 其相当于电源, 与灯泡 A_1 、 A_2 构成闭合回路放电, 两灯都过一会儿熄灭, 由于当电流逐渐稳定时, 两灯电流相等, 所以断开开关 S 时, A_2 不会再闪亮一下再熄灭, 选项 B 正确, C 错误; 稳定后当开关 S 断开后, 由于自感, 线圈中的电流只能慢慢减小, 其相当于电源, 流过 A_2 的电流方向向左, 选项 D 错误。

二、电磁感应中的图像问题

关键是分析磁通量的变化是否均匀, 从而判断感应电动势 (感应电流) 或安培力的大小是否恒定, 再根据楞次定律或左手定则判断力的方向。

图像的初始条件, 方向与正、负对应, 物理量的变化趋势, 物理量的增、减和方向正、负的转折点都是判断图像的关键。

例 5 (多选) 面积 $S=4 \times 10^{-2} \text{ m}^2$,

匝数 $n=100$ 匝的线圈, 放在匀强磁场中且磁场方向垂直

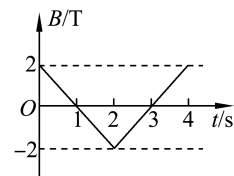


图 2-5

于线圈平面,磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图 2-5 所示,下列说法正确的是 ()

- A. 在开始的 2 s 内穿过线圈的磁通量变化率等于 0.08 Wb/s
- B. 在开始的 2 s 内穿过线圈的磁通量的变化量等于零
- C. 在开始的 2 s 内线圈中产生的感应电动势等于 8 V
- D. 在第 3 s 末线圈中的感应电动势等于零

解答过程:选 AC。由图像看出,磁感应强度随时间均匀增大,从而得出磁通量的变化率,再由法拉第电磁感应定律求出线圈中产生的感应电动势,从而即可求解。

由图像的斜率求得: $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{-2-2}{2} \text{ T/s} = -2 \text{ T/s}$,

因此 $\frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S = -2 \times 4 \times 10^{-2} \text{ V} = -8 \times 10^{-2} \text{ Wb/s}$,

故 A 正确;开始的 2 s 内穿过线圈的磁通量的变化量不等于零,故 B 错误;根据法拉第电磁感应定律得: $E =$

$n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \frac{\Delta B}{\Delta t} S = 100 \times 2 \times 4 \times 10^{-2} \text{ V} = 8 \text{ V}$,可知它们的

感应电动势大小为 8 V ,故 C 正确;由图看出,第 3 s 末线圈中的磁通量为零,但磁通量的变化率不为零,感应电动势也不等于零,故 D 错误。

变式训练 1 如图 2-6 甲所示,矩形导线框 $abcd$ 固定在变化的磁场中,产生了如图乙所示的电流(电流方向以 $abcd$ 为正方向)。若规定垂直纸面向里的方向为磁场正方向,能够产生如图乙所示电流的磁场为 ()

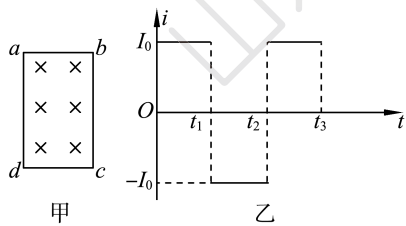
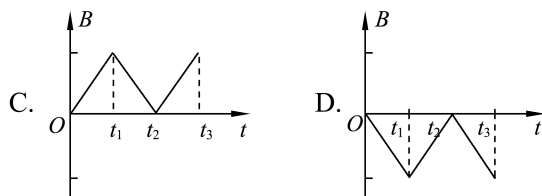
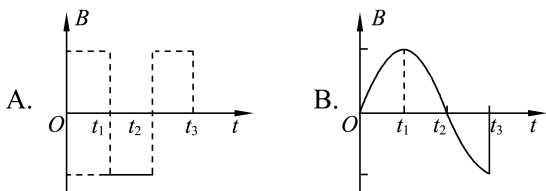


图 2-6



解答过程:选 D。由题图乙可知, $0 \sim t_1$ 内,线圈中的电流的大小与方向都不变,根据法拉第电磁感应定律可知,线圈中的磁通量的变化率相同,故 $0 \sim t_1$ 内磁感应强度与时间的关系是一条斜线,A、B 错误;又由于 $0 \sim t_1$ 时间内电流的方向为正,即沿 $abcd$ 方向,由楞次定律可知,电路中感应电流的磁场方向向里,故 $0 \sim t_1$ 内原磁场方向向里减小或向外增大,D 正确,C 错误。

三、电磁感应中的综合问题

此类问题涉及牛顿运动定律、电路知识、功能关系等知识,综合性较强。解决此类问题应该注意以下几点:

1. 分析电路

(1) 确定电磁感应所产生的“电源”,求出电源电动势和内阻。

(2) 弄清串、并联关系,利用闭合电路欧姆定律求出相关部分的电流大小,为求安培力做铺垫。

2. 分析力和运动

(1) 分析受力:确定研究对象,分析受力情况,注意安培力的方向。

(2) 分析运动:根据牛顿第二定律,确定运动模型,根据模型特点,找到解决方法。

3. 分析能量转化

(1) 分析做功:找出全部力做功,弄清功的正、负,为分析能量转化做铺垫。

(2) 分析能量转化:根据功能关系、能量守恒定律分析哪些能量增加,哪些能量减少,并列出发方程式。

例 6 如图 2-7 所示,相距为 L 的两条足够长的光滑平行金属导轨与水平面的夹角为 θ ,上端接有定值电阻 R ,其余电路电阻都不计,匀强磁场

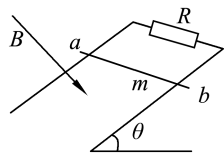


图 2-7

垂直于导轨平面向下,磁感应强度大小为 B 。现将质量为 m 的导体棒由静止释放,当棒下滑到稳定状态时,速度为 v 。下列说法错误的是 ()

- A. 导体棒达到稳定状态前做加速度减小的加速运动

- B. 当导体棒速度达到 $\frac{v}{3}$ 时加速度为 $\frac{2}{3}g\sin\theta$
- C. 导体棒 a 端电势比 b 端电势高
- D. 导体棒达到稳定状态后,电阻 R 产生的焦耳热等于重力所做的功

解答过程:选 C。A. 根据牛顿第二定律可得金属棒下滑过程中的加速度

$$a = \frac{mg\sin\theta - ILB}{m} = g\sin\theta - \frac{B^2L^2v'}{mR}$$

由此可知,速度增大、加速度减小,所以导体棒达到稳定状态前做加速度减小的加速运动,故 A 正确,不符合题意;

B. 根据牛顿第二定律可得金属棒下滑过程中的加速度

$$a = g\sin\theta - \frac{B^2L^2v'}{mR}$$

当速度为 $v' = v$ 时加速度为零,即

$$g\sin\theta = \frac{B^2L^2v}{mR}$$

当导体棒速度达到 $\frac{v}{3}$ 时,加速度

$$a = g\sin\theta - \frac{B^2L^2v'}{mR} = g\sin\theta - \frac{B^2L^2 \cdot \frac{v}{3}}{mR} =$$

$$\frac{2}{3}g\sin\theta$$

故 B 正确,不符合题意;

C. 根据右手定则可得金属棒中的电流方向 $a \rightarrow b$,由于金属棒为电源,所以 b 端电势高,故 C 错误,符合题意;

D. 导体棒达到稳定状态后,根据能量守恒定律可得,电阻 R 产生的焦耳热等于重力所做的功,故 D 正确,不符合题意。

方法提炼:在电磁感应题目中,公式 $q = \frac{N\Delta\Phi}{R_{\text{总}}}$ 常考,要牢记,选择题中可直接应用,计算题中要写出推导过程;对于电磁感应能量问题一般有三种方法求解:①利用电路中产生的热量等于克服安培力做的功;②利用动能定理;③利用能量守恒;具体哪种方法,要看题目中的已知条件。

章末检测

一、选择题(本题共 12 小题,每小题 4 分。在每小题给出的四个选项中,只有一项符合题目要求)

- 下列关于电磁感应现象的说法,正确的是()
 - 只要穿过闭合电路中的磁通量不为零,闭合电路中就一定有感应电流产生
 - 穿过闭合电路中的磁通量减少,则闭合电路中感应电流减小
 - 穿过闭合电路中的磁通量变化越快,则闭合电路中感应电动势越大
 - 穿过闭合电路中的磁通量越大,则闭合电路中的感应电动势越大
- 在下列情况中,导体一定产生感应电流的是()
 - 导体在磁场中静止
 - 导体在磁场中做切割磁感线运动时
 - 闭合电路的部分导体在磁场中运动时
 - 闭合电路的部分导体在磁场中做切割磁感线运动时
- 如图 1 所示,通有恒定电流的导线 MN 与闭合金属框共面,第一次将金属框由 I 平移到 II,第二

次将金属框绕 cd 边翻转到 II,设先后两次通过金属框的磁通量变化分别为 $\Delta\Phi_1$ 和 $\Delta\Phi_2$,则 ()

- $\Delta\Phi_1 > \Delta\Phi_2$
- $\Delta\Phi_1 = \Delta\Phi_2$
- $\Delta\Phi_1 < \Delta\Phi_2$
- 不能判断

- 如图 2 所示,在载流直导线近旁固定有两平行光滑导轨 A 、 B ,导轨与直导线平行且在同一水平面内,在导轨上有两可自由滑动的导体 ab 和 cd 。当载流直导线中的电流逐渐增强时,导体 ab 和 cd 的运动情况是 ()

- 一起向左运动
- 一起向右运动
- ab 和 cd 相向运动,相互靠近
- ab 和 cd 相背运动,相互远离

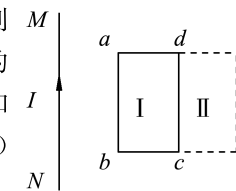


图 1

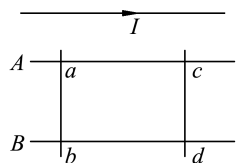


图 2

5. 如图 3 所示,条形磁铁用细线悬挂于 O 点,一金属圆环放置在 O 点正下方的水平绝缘桌面上。现将磁铁拉至左侧某一高度后由静止释放,磁铁在竖直面内摆动,在其第一次摆至右侧最高点的过程中,圆环始终静止。

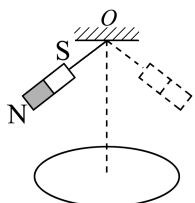


图 3

- 下列说法正确的是 ()
- 磁铁始终受到圆环的斥力作用
 - 圆环中的感应电流方向保持不变
 - 桌面对圆环始终有摩擦力作用
 - 磁铁在 O 点两侧最高点的重力势能不相等

6. 用一根横截面积为 S ,电阻率为 ρ 的硬质导线做成一个半径为 r 的圆环, ab 为圆环的一条直径。如图 4 所示,在 ab 的左侧存在一个匀强磁场,磁场垂直圆环所在平面,方向如图。磁感应强度大小随时间的变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = k(k < 0)$ 则 ()

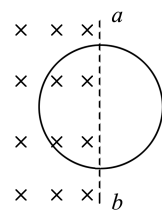


图 4

- 圆环中产生逆时针方向的感应电流
 - 圆环具有收缩的趋势
 - 圆环中感应电流的大小为 $\frac{krs}{2\rho}$
 - 图中 a, b 两点间的电势差大小 $U_{ab} = \frac{1}{4}k\pi r^2$
7. 随着科技的不断发展,无线充电已经进入人们的视线。小到手表、手机,大到电脑、电动汽车的充电,都已经实现了从理论研发到实际应用的转化。图 5 给出了某品牌的无线充电手机利用电磁感应方式无线充电的原理图。关于无线充电,下列说法正确的是 ()

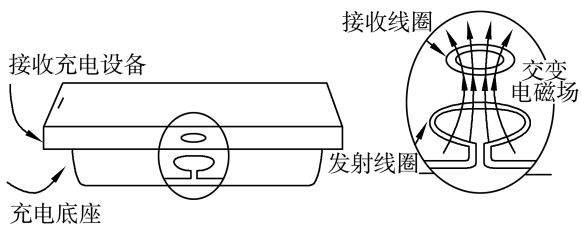
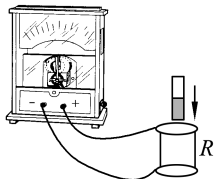


图 5

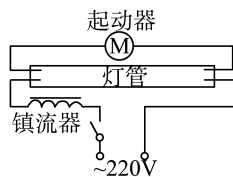
- 无线充电时手机接收线圈部分的工作原理是“电流的磁效应”
- 只有将充电底座接到直流电源上才能对手机进行充电
- 接收线圈中交变电流频率与发射线圈中交变电流频率相同

- D. 只要有无线充电底座,所有手机都可以进行无线充电

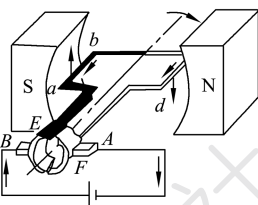
8. 下列实验或器件应用涡流现象的是 ()



A. 电磁感应实验



B. 日光灯电路



C. 直流电动机



D. 电磁灶

9. 如图 6 所示,灯泡 A, B 与固定电阻的阻值均为 R, L 是带铁芯的理想线圈,电源的内阻不计。开关 S_1, S_2 均闭合且电路达到稳定。已知电路中的各种元件均在安全范围之内。下列判断正确的是 ()

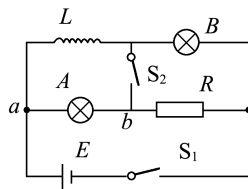


图 6

- 灯泡 A 中有电流通过,方向为 $a \rightarrow b$
- 将 S_1 断开的瞬间,灯泡 A, B 同时熄灭
- 将 S_1 断开的瞬间,通过灯泡 A 的电流最大值要比原来通过灯泡 B 的电流大
- 将 S_2 断开,电路达到稳定,灯泡 A, B 的亮度相同

10. 如图 7 所示,边长为 L 的正三角形闭合金属框架,全部处于垂直于框架平面的匀强磁场中,现把框架匀速拉出磁场,图像中 E 为回路电动势, I 为回路电流, F 为所加外力, P 为回路电功率, x 为框架位移。则框架拉出磁场过程中,正确的图像是 ()

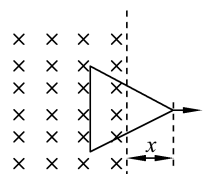
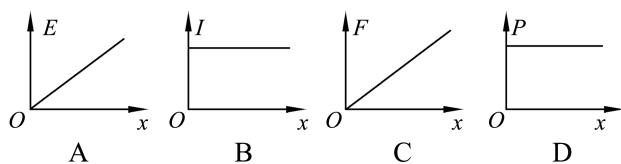


图 7



11. 如图 8 所示,固定于水平面上的金属架 $abcd$ 处在竖直方向的匀强磁场中,初始时的磁感应强度为 B_0 。导体棒 MN 以恒定速度 v 向右运动,从图示位置开始计时,为使棒 MN 中不产生感应电流,磁感应强度 B 随时间 t 变化的示意图应为 ()

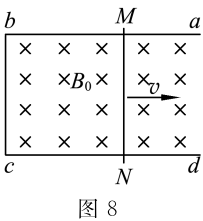
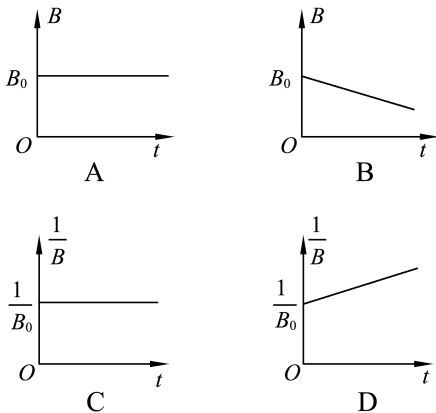


图 8



12. 如图 9 所示,边长为 L 的正方形导线框其质量为 m ,在距磁场上边界高 H 处自由下落,其下边框 ab 进入匀强磁场后,线圈开始做减速运动,直到其上边框 cd 刚穿出磁场时,其速度减为 ab 边刚进入磁场时的一半,磁场的宽度也为 L ,则线框穿越匀强磁场过程中产生的焦耳热为 ()
- A. $2mgL$ B. $2mgL + mgH$
C. $2mgL + \frac{3}{4}mgH$ D. $2mgL + \frac{1}{4}mgH$

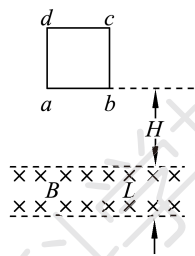


图 9

二、实验题(本题共 2 小题,12 分。把答案填在题中的横线上或按题目要求作答)

13. 要研究回路中感应电动势大小与磁通量变化快慢的关系,实验装置如图 10 甲所示,将螺线管和光电门固定在导轨上,带有挡光片的磁铁放在倾斜导轨上,调整光电门的位置,当挡光片经过光电门时磁铁插入螺线管。从导轨的不同位置释放磁铁,记录挡光片经光电门的挡光时间 Δt ,同时通过电压传感器读出此时的感应电动势 E ,作出 $E - \frac{1}{\Delta t}$ 图线如图乙所示。

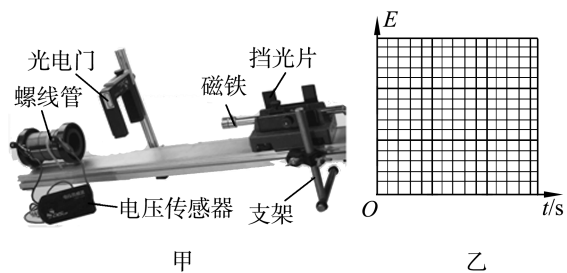


图 10

- (1) 在实验中需保持不变的是_____。
A. 挡光片的宽度 B. 小车的释放位置
C. 导轨倾斜的角度 D. 光电门的位置

(2) 由图乙中的 $E - \frac{1}{\Delta t}$ 图像可以得到的实验结论是_____。

(3) 线圈匝数增加一倍后重做该实验,请在图乙中画出实验的图线。

14. 演示地磁场存在的实验装置(由环形线圈、微电流传感器、DIS 等组成)如图 11 所示,首先将线圈竖直放置,以竖直方向为轴转动,屏幕上的电流指针_____ (填“有”或“无”)偏转;然后仍将线圈

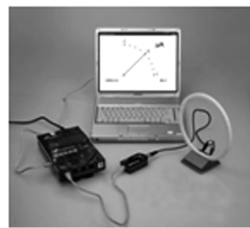


图 11

竖直放置,使其平面与东西向平行,并从东向西移动,电流指针_____ (填“有”或“无”)偏转;最后将线圈水平放置,使其从东向西移动,电流指针_____ (填“有”或“无”)偏转。

三、计算题(本题共 4 小题,40 分。解答应写出必要的文字说明、方程式和重要演算步骤。只写出最后答案的不能得分。有数值计算的题,答案中必须明确写出数值和单位)

15. 如图 12 所示,线圈为 100 匝,在 2 s 内穿过线圈的磁通量由 2 Wb 均匀增大到 4 Wb,求:
(1) 这 2 s 时间内线圈产生的感应电动势;
(2) 线圈回路的总电阻为 100 Ω 时的感应电流的大小。

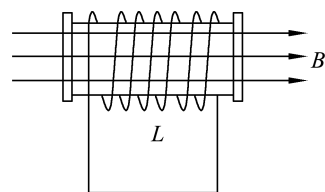


图 12

16. 如图 13 甲所示,水平放置的线圈匝数 $n=200$ 匝,直径 $d_1=40\text{ cm}$,电阻 $r=2\ \Omega$,线圈与阻值 $R=6\ \Omega$ 的电阻相连。在线圈的中心有一个直径 $d_2=20\text{ cm}$ 的有界匀强磁场,磁感应强度按图乙所示规律变化,规定垂直纸面向里的磁感应强度方向为正方向。求:

- (1)通过电阻 R 的电流方向;
- (2)电压表的示数;
- (3)若撤去原磁场,在图中虚线的右侧空间加磁感应强度 $B=0.5\text{ T}$ 的匀强磁场,方向垂直纸面向里,试证明将线圈向左拉出磁场的过程中,通过电阻 R 上的电荷量为定值,并求出其值。

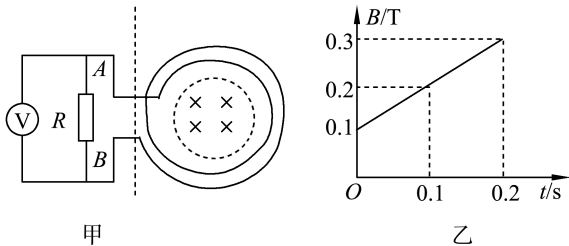


图 13

17. 如图 14 所示,导线框 $abcd$ 固定在竖直平面内,导线框 ab 和 dc 的宽度为 l , bc 段的电阻为 R ,其他电阻均可忽略。 ef 是一电阻可忽略的水平放置的导电杆,杆的质量为 m ,杆的两端分别与 ab 和 cd 保持良好接触,且能沿导线框 ab 和 dc 无摩擦地滑动,磁感应强度为 B 的匀强磁场,方向垂直纸面向外。现用一恒力 F 竖直向上拉导体杆 ef ,当导体杆 ef 上升高度为 h 时,导体杆 ef 恰好匀速上升。求:

- (1)此时通过电阻 R 上的电流大小与方向;
- (2)导体杆 ef 匀速上升的速度 v 的大小;

(3)导体杆 ef 上升 h 的整个过程中产生的焦耳热 Q 的大小。

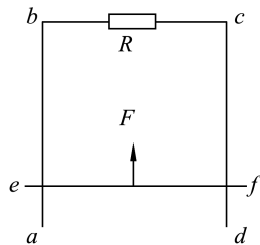


图 14

18. 如图 15 所示,把总电阻为 $2R$ 的均匀电阻丝焊接成一半径为 a 的圆环,水平固定在竖直向下的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,一长度为 $2a$ 、电阻等于 R 、粗细均匀的金属棒 MN 放在圆环上,与圆环始终保持良好的接触。当金属棒以恒定速度 v 向右移动,且经过圆心时,求:

- (1)棒上电流的大小和方向及棒两端的电压 u_{MN} ;
- (2)在圆环和金属棒上消耗的总功率。

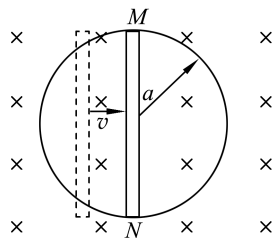


图 15

参考答案

第一章 安培力与洛伦兹力

第一节 磁场对通电导线的作用力

【自我诊断】

1. × 2. × 3. × 4. √ 5. ×

【典型例题】

变式训练 1 B

变式训练 2 A

变式训练 3 AD

【基础达标】

1. BCD 2. C 3. D 4. C 5. B 6. AB

7. $\frac{mg\sin\theta}{IL}$ 方向垂直导轨平面向下

【能力提升】

8. C 9. A 10. B 11. B

【情境融合】

12. C

第二节 磁场对运动电荷的作用力

【自我诊断】

1. × 2. √ 3. × 4. √ 5. ×

【典型例题】

变式训练 1 (1) qvB 垂直 v 向左上方

(2) $\frac{1}{2}qvB$ 垂直纸面向里 (3) 不受洛伦兹力

(4) qvB 垂直 v 向左上方

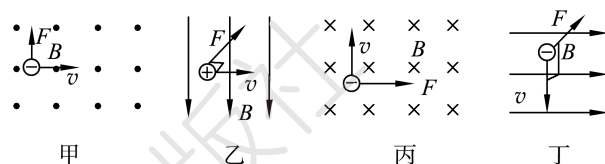
变式训练 2 B

【基础达标】

1. BD 2. A 3. BC 4. BD 5. C 6. A

7. 解析: 图甲、乙中已知 B 、 v 的方向, 由左手定则可判定洛伦兹力方向, 图甲竖直向上, 图乙垂直纸面向里, 如解析图甲、乙所示; 图丙中已知 B 、 v 和 F ,

由左手定则可判定粒子带负电; 同理图丁中由左手定则可判断洛伦兹力方向垂直纸面向里, 如解析图丁所示。



【能力提升】

8. C 9. D 10. B 11. B

【情境融合】

12. B

第三节 带电粒子在匀强磁场中的运动

【自我诊断】

1. × 2. × 3. √ 4. ×

【典型例题】

变式训练 1 D

变式训练 2 $\frac{2dB_e}{v}$ $\frac{\pi d}{3v}$

【基础达标】

1. C 2. D 3. AC 4. D 5. D 6. AD

7. AD

【能力提升】

8. AB 9. C

10. $2t$

11. $\frac{4\pi m}{3qB}$ $(-\frac{\sqrt{3}mv_0}{qB}, 0)$ 或 $\frac{2\pi m}{3qB}$ $(\frac{\sqrt{3}mv_0}{qB}, 0)$

【情境融合】

12. AC

第四节 质谱仪与回旋加速器

【自我诊断】

1. × 2. √ 3. √ 4. ×

【典型例题】

变式训练 1 BD

变式训练 2 A

变式训练 3 (1) $\sqrt{2}v_0$, 速度方向与 x 轴正方向

成 45° 角斜向上 (2) $\frac{v_0}{2}$

【基础达标】

1. BC 2. D 3. A 4. C 5. B 6. B
7. AC

【能力提升】

8. AD 9. B

10. (1) $v_0 B_0$, 方向竖直向下 (2) $\frac{mv_0}{6qB_0}$

(3) $\frac{2mv_0}{qd}$

11. (1) $B = \frac{4U}{lv_1}$ (2) $\frac{q_1}{m_1} : \frac{q_2}{m_2} = 1 : 4$

【情境融合】

12. (1) $m = \frac{9qB^2L^2}{32U_0}$ (2) $\frac{100U_0}{81} \leq U \leq \frac{16U_0}{9}$

章末检测

1. C 2. D 3. A 4. C 5. B 6. C 7. C

8. A 9. D 10. B 11. B 12. C

13. 东西 河宽 $d \frac{U}{Bd}$

14. (1) 图略

(2) ③重新处于平衡状态 电流表的示数 I 此时细沙的质量 m_2

(3) $\frac{|m_2 - m_1|g}{Il}$

(4) $m_2 < m_1$

15. (1) $\frac{q}{m} = \frac{4U}{B^2d^2}$ (2) $t = (\frac{\pi}{2} + \frac{\sqrt{3}}{3}) \frac{Bd^2}{4U}$

16. 金属棒受到安培力方向竖直向下, $m = 0.01 \text{ kg}$

17. (1) $\frac{B_1}{B_2} = \frac{v_1}{v_2} = \sqrt{\frac{2mv_0^2 + qEd}{2mv_0^2 - 3qEd}}$

(2) $E < \frac{2mv_0^2}{3qd}$

18. (1) $f = \frac{BEL \sin \theta}{R}$; $F_N = mg - \frac{BEL \cos \theta}{R}$

(2) $\theta = 60^\circ$ 时, $B_{\min} = \frac{mgR}{2EL}$; 磁场方向与水平成 60° 角斜向右上方

第二章 电磁感应

第一节 楞次定律

【自我诊断】

1. × 2. × 3. × 4. √ 5. √ 6. ×

【典型例题】

变式训练 1 C

变式训练 2 BC

变式训练 3 AD

【基础达标】

1. A 2. AD 3. A 4. C 5. AB 6. D
7. AD

【能力提升】

8. BC 9. D 10. AC 11. B 环将不移动

【情境融合】

12. 无 有

第二节 法拉第电磁感应定律

【自我诊断】

1. × 2. × 3. √ 4. ×

【典型例题】

变式训练 1 逆时针 $2\pi A$ $2\pi C$

变式训练 2 B

变式训练 3 D

【基础达标】

1. D 2. A 3. B 4. B 5. C 6. AD

【能力提升】

7. BD 8. A

9. (1)4:1 (2)2:1

【情境融合】

10. AC

第三节 涡流、电磁阻尼、电磁驱动

【自我诊断】

1. × 2. √ 3. √ 4. × 5. √ 6. √

【典型例题】

变式训练 1 CD

变式训练 2 BC

变式训练 3 BC

【基础达标】

1. B 2. AD 3. A

【能力提升】

4. ABC 5. A

【情境融合】

6. BC 7. D

第四节 互感和自感

【自我诊断】

1. × 2. × 3. √ 4. × 5. × 6. √

【典型例题】

变式训练 1 C

变式训练 2 B

变式训练 3 B

【基础达标】

1. D 2. C 3. C 4. D 5. D 6. D 7. B

【能力提升】

8. A 9. A 10. D 11. BD

【情境融合】

12. C

章末检测

1. C 2. D 3. C 4. C 5. D 6. D 7. C

8. D 9. C 10. A 11. D 12. C

13. (1)AD (2)感应电动势与磁通量的变化率成正比 (3)略

14. 有 无 无

15. (1) $E = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{100 \times (4-2)}{2} \text{ V} = 100 \text{ V}$

(2) $I = \frac{E}{R} = \frac{100}{100} \text{ A} = 1 \text{ A}$

16. (1)电流方向从 A 流向 B

(2) $U = IR = \frac{3\pi}{2} \text{ V}$

(3) $q = 200 \times \frac{0.5 \times \pi \times \left(\frac{0.4}{2}\right)^2}{6+2} \text{ C} = \frac{\pi}{2} \text{ C}$

17. (1) $I = \frac{F-mg}{BL}$, 方向由 b 到 c

(2) $v = \frac{R(F-mg)}{B^2 l^2}$

(3)导体杆上升 h 的整个过程中, 根据能量守恒定律有

$$Q = (F-mg)h - \frac{1}{2}mv^2 = (F-mg)h -$$

$$\frac{mR^2(F-mg)^2}{2B^4 l^4}$$

18. (1) $U_{MN} = \frac{IR}{2} = \frac{2Bav}{3}$ $I = \frac{4}{3} \frac{Bav}{R}$

(2) $P = EI = \frac{8B^2 a^2 v^2}{3R}$