目录 Contents ★★★★★★

第 1 章　安培力与洛伦兹力 …… 1

第 1 节　安培力及其应用 …… 1

专题 1　安培力的应用 …… 5

第 2 节　洛伦兹力 …… 9

第 3 节　洛伦兹力的应用 …… 13

专题 2　洛伦兹力作用下带电粒子的运动 …… 19

章末总结 …… 23

章末检测 …… 26

第 2 章　电磁感应及其应用 …… 30

第 1 节　科学探究:感应电流的方向 …… 30

第 2 节　法拉第电磁感应定律 …… 35

第 3 节　自感现象与涡流 …… 40

专题 3　法拉第电磁感应定律的应用 …… 44

章末总结 …… 51

章末检测 …… 53

第 3 章　交变电流与远距离输电 …… 57

第 1 节　交变电流的特点 …… 57

第 2 节　交变电流的产生 …… 60

第 3 节　科学探究:变压器 …… 66

第 4 节　电能的远距离输送 …… 72

章末总结 …… 76

章末检测 …… 79

山东科学技术出版社

第 4 章　电磁波 …… 83

第 1 节　电磁波的产生 …… 83
第 2 节　电磁波的发射、传播和接收 …… 86
第 3 节　电磁波谱 …… 87

第 5 章　传感器及其应用 …… 89

第 1 节　常见传感器的工作原理 …… 89
第 2 节　科学制作:简单的自动控制装置 …… 92
第 3 节　大显身手的传感器 …… 95
章末总结(第 4、5 章) …… 97
章末检测(第 4、5 章) …… 99

期末检测 …… 102
参考答案 …… 106

山东科学技术出版社

第 1 章　安培力与洛伦兹力

第1节　安培力及其应用

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能认识安培力的内涵，会计算安培力的大小，判断安培力方向，形成与安培力相关的运动与相互作用的观念。

2. 能用磁感线与匀强磁场等模型分析安培力，并能解决实际问题。

3. 通过电动机、磁电式电流表、电流天平，了解安培力在生产生活中的应用。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、安培力

1. 安培力的方向

（1）安培力：磁场对_____的作用力。

（2）左手定则：伸开左手，拇指与其余四指_____，且都与手掌处于同一个平面内，让磁感线垂直穿过_____，四指指向_____的方向，此时_____的方向即为安培力的方向。

（3）安培力方向与磁场方向、电流方向的关系：F _____B，F _____I，即 F 垂直于_____。

2. 安培力的大小

（1）垂直于磁场 B 放置、长为 l 的通电导线，当通过的电流为 I 时，所受安培力为 $F=$_____。

（2）当磁感应强度 B 的方向与电流方向成 θ 角时，通电直导线所受安培力 $F=$_____。当 $\theta=$_____时，安培力最小；当 $\theta=$_____时安培力最大。

二、安培力的应用——磁电式电流表

1. 构造

_____、_____、铁芯、游丝、指针。

2. 原理

当电流流入线圈时，线圈受到_____而转动，使游丝扭转形变，从而对线圈转动产生_____作用，二者达到_____时，指针便停在某一刻度。电流越大，安培力_____，指针偏转的角度_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 通电导线所受安培力方向一定与磁场方向垂直。（　　）

2. 一通电导线放在磁场中某处不受安培力，该处的磁感应强度一定是零。（　　）

3. 放置在匀强磁场中的某段导线，所通电流越大，所受安培力一定越大。（　　）

4. 磁电式电流表中，磁铁产生的磁场是匀强磁场。（　　）

5. 对于磁电式电流表，通电线圈中的电流越大，电流表指针偏转角度也越大。（　　）

课堂合作探究　深度解析疑难

一、安培力的方向

导学探究

1. 如图 1-1-1 所示，用研究磁感应强度的实验装置进行实验。

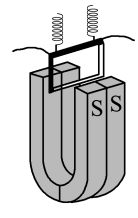


图 1-1-1

（1）将导线框的下边垂直磁场方向置于磁铁两极之间，若交换磁极的位置以改变磁场方向，导线框所受安培力的方向是否改变？若改变导线中电流的

山东科学技术出版社

方向，导线框所受安培力的方向是否改变？

（2）若磁场方向和电流方向一定，使导线框在水平面内转过一定角度，其俯视图如图 1-1-2 所示，此时导线框所受安培力方向如何？

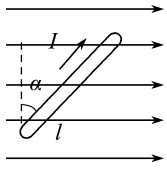


图 1-1-2

深度学习

1. 判断方法——左手定则

（1）如图 1-1-3 所示，当电流方向与磁场方向垂直时，安培力方向、磁场方向、电流方向两两垂直，应用左手定则时，磁感线垂直穿过手心。

（2）当电流方向与磁场方向不垂直时，安培力的方向仍垂直于电流方向，也垂直于磁场方向。应用左手定则时，磁感线斜穿过手心。

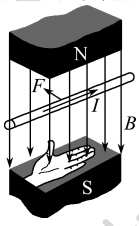


图 1-1-3

2. 方向特点

安培力的方向既垂直于电流方向，又垂直于磁场方向，即安培力垂直于电流 I 和磁场 B 所决定的平面。

3. 平行通电直导线间的相互作用

同向电流相互吸引，异向电流相互排斥。

典型例题

例1 如图 1-1-4 所示，一导体棒 ab 静止在 U 形铁芯的两臂之间。开关闭合后导体棒受到的安培力方向 （　　）

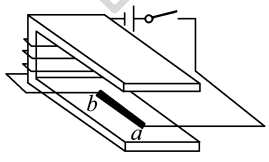


图 1-1-4

A. 向上　　B. 向下　　C. 向左　　D. 向右

素养提升

左手定则与安培定则应用的区别：

左手定则用来判断通电导线在磁场中受到的安培力的方向；安培定则又称为右手螺旋定则，用来判断通电导线周围的磁场方向。

变式训练 1 如图 1-1-5 所示，两根相互靠近的长直导线 1、2 中通有相同的电流，相互作用力为 F。若在两根导线所在空间内加一匀强磁场后，导线 2 所受安培力的合力恰好为零。则所加磁场的方向是 （　　）

A. 垂直纸面向里
B. 垂直纸面向外
C. 垂直导线向右
D. 垂直导线向左

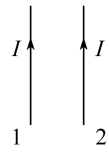


图 1-1-5

二、安培力的大小

深度学习

1. 公式　$F=IlB\sin\theta$

两种特例：

（1）当 $\theta=90°$ 时，即 $B\perp I$，$\sin\theta=1$，$F=IlB$。

（2）当 $\theta=0°$ 时，即 $B/\!/I$，$F=0$。

2. 应用公式 $F=IlB\sin\theta$ 时需注意的问题

（1）B 是外加磁场的磁感应强度，不必考虑导线自身产生的磁场对外加磁场的影响。

（2）l 指导线在磁场中的“有效长度”，弯曲导线的有效长度 l 等于连接两端点直线的长度，相应的电流沿 l 由始端流向末端。在非匀强磁场中，可以选取 l 很小的一段导线（此时的 Il 称为电流元）。

3. 若电流同时受到几个安培力，所受安培力的合力是这几个安培力的矢量和。

典型例题

例2 （多选）如图 1-1-6 所示，纸面内的金属圆环中通有电流 I，圆环圆心为 O、半径为 R，P、Q 为圆环上两点，且 OP 垂直于 OQ，磁感应强度大小为 B 的匀强磁场垂直于纸面向里，则 （　　）

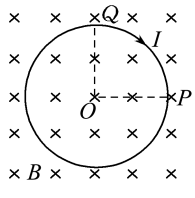


图 1-1-6

A. 整个圆环受到的安培力大小为 $2\pi BIR$

B. 整个圆环受到的安培力大小为 0

C. 圆弧 PQ 受到的安培力大小为 BIR

D. 圆弧 PQ 受到的安培力大小为 $\sqrt{2}BIR$

变式训练 2 如图 1-1-7 所示，等边三角形线框 LMN 由三根相同的导体棒连接而成，固定于匀强磁场中，线框平面与磁感应强度方向垂直，线框顶点 M、N 与直流电源两端相接。已知导体棒 MN 受到的安培

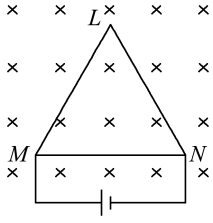


图 1-1-7

山东科学技术出版社

力大小为 F，则线框 LMN 受到的安培力的大小为　　（　　）

A. $2F$　　B. $1.5F$　　C. $0.5F$　　D. 0

三、安培力的应用

典型例题

例3　如图 1-1-8 所示的天平可用来测量磁场的磁感应强度。天平的右臂下面挂一个矩形线圈，宽为 L，共 N 匝，线圈的下部悬在匀强磁场中，磁场方向垂直于纸面。当线圈中通有电流 I（方向如图所示）时，在天平两边加上质量分别为 m_1、m_2 的砝码后，天平平衡；当电流反向（大小不变）时，右边再加上质量为 m 的砝码后，天平又重新平衡。由此可知　　（　　）

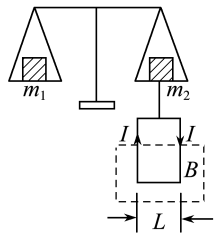


图 1-1-8

A. 磁感应强度方向垂直纸面向里，大小为 $\dfrac{(m_1-m_2)g}{NIL}$

B. 磁感应强度方向垂直纸面向里，大小为 $\dfrac{mg}{2NIL}$

C. 磁感应强度方向垂直纸面向外，大小为 $\dfrac{(m_1-m_2)g}{NIL}$

D. 磁感应强度方向垂直纸面向外，大小为 $\dfrac{mg}{2NIL}$

变式训练 3　（多选）如图 1-1-9 所示，关于直流电动机，下列说法正确的是　　（　　）

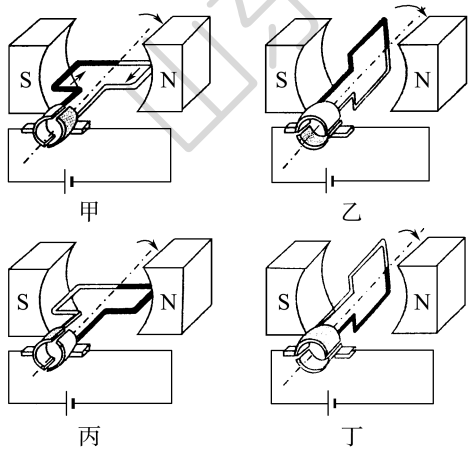


图 1-1-9

A. 直流电动机的工作原理是磁场对电流的作用

B. 直流电动机正常工作时将电能转化为磁场能

C. 当线圈在图甲所示位置时，图中线圈左边所受安培力方向向上

D. 线圈在图乙、丁所示位置时，由于惯性，线圈会继续转动

变式训练 4　磁电式电流表的结构如图 1-1-10 所示。蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀辐向分布，线圈中 a、b 两条导线长均为 l，通以图示方向的电流 I，两条导线所在处的磁感应强度大小均为 B，则　　（　　）

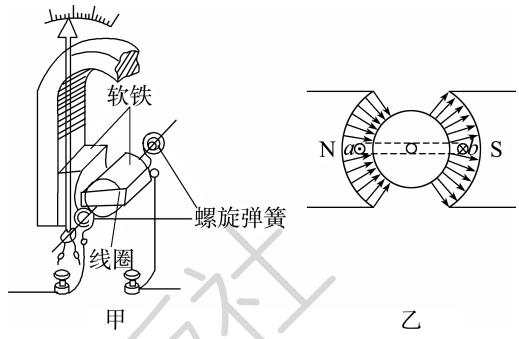


图 1-1-10

A. 该磁场是匀强磁场

B. 线圈平面总与磁场方向垂直

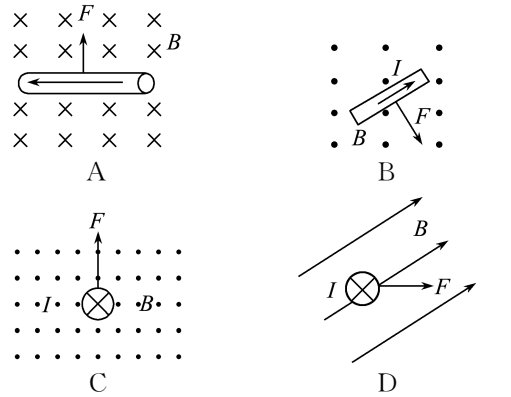
C. 线圈将逆时针转动

D. 线圈将顺时针转动

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 在下列图中，已标出磁场 B 的方向，通电直导线中电流 I 的方向，以及通电直导线所受磁场力 F 的方向，其中正确的是　　（　　）



2. 把一根柔软的螺旋形弹簧竖直悬挂起来，使它下端刚好跟杯中的水银面接触，并使它组成如图 1-1-11 所示的电路，当开关 S 接通后将看到的现象是　　（　　）

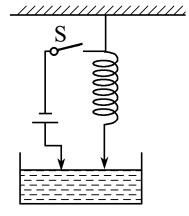


图 1-1-11

A. 弹簧向上收缩

B. 弹簧被拉长

C. 弹簧上下跳动

D. 弹簧仍静止不动

四年科学技术出版社

3. 为了降低潜艇噪声，可用电磁推进器替代螺旋桨。直线通道推进器示意图如图 1-1-12 所示。推进器前后表面导电，上下表面绝缘，规格为 $a\times b\times c=0.4\ \text{m}\times 0.3\ \text{m}\times 0.2\ \text{m}$。空间内存在由超导线圈产生的匀强磁场，其磁感应强度大小 $B=10\ \text{T}$、方向竖直向下。若在推进器前后方向通以大小 $I=100\ \text{A}$、方向垂直纸面向外的恒定电流，则下列说法正确的是 （ ）

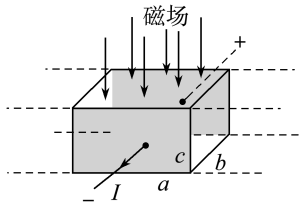


图 1-1-12

A. 推进器对潜艇提供向左的驱动力，大小为 300 N

B. 推进器对潜艇提供向右的驱动力，大小为 300 N

C. 推进器对潜艇提供向左的驱动力，大小为 200 N

D. 推进器对潜艇提供向右的驱动力，大小为 200 N

4. 如图 1-1-13 所示，导线框中电流为 I，导线框垂直于磁场放置，磁感应强度为 B，AB 与 CD 相距为 d，则 MN 所受安培力大小为 （ ）

A. $F=IdB$

B. $F=\dfrac{IdB}{\sin\theta}$

C. $F=IdB\sin\theta$

D. $F=IdB\cos\theta$

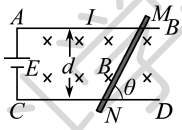


图 1-1-13

5. 通电矩形导线框 $abcd$ 与无限长通电直导线 MN 固定在同一平面内，电流方向如图 1-1-14 所示，ab 边与 MN 平行。下列说法正确的是 （ ）

A. 线框所在处的磁场方向垂直纸面向外

B. ab 边和 cd 边受到的安培力大小相等、方向相反

C. bc 边和 ad 边受到的安培力大小相等、方向相同

D. 导线 MN 受到的安培力方向水平向右

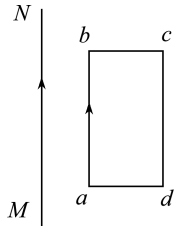


图 1-1-14

6. （多选）如图 1-1-15 所示，直导线处于足够大的磁场中，与磁感线成 $\theta=30°$ 角，导线中通过的电流为 I，为了增大导线所受的安培力，可采取的办法是 （ ）

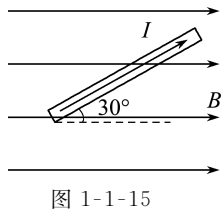


图 1-1-15

A. 增大电流 I

B. 增加直导线的长度

C. 使导线在纸面内顺时针转 30°角

D. 使导线在纸面内逆时针转 60°角

7. 在等边三角形的三个顶点 a、b、c 处，各有一条长直导线垂直穿过纸面，导线中通有大小相等的恒定电流，方向如图 1-1-16 所示。过 c 点的导线所受安培力的方向 （ ）

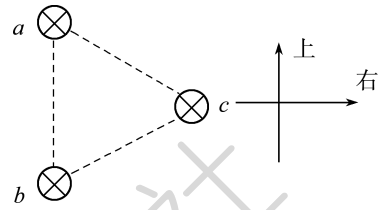


图 1-1-16

A. 与 ab 边平行，竖直向上

B. 与 ab 边平行，竖直向下

C. 与 ab 边垂直，指向左边

D. 与 ab 边垂直，指向右边

能力进阶

8. （多选）如图 1-1-17 所示装置可演示磁场对通电导线的作用，电磁铁上、下两磁极之间某一水平面内固定两条平行金属导轨，L 是置于导轨上并与导轨垂直的金属杆。当电磁铁线圈两端 a、b，导轨两端 e、f，分别接到两个不同的直流电源上时，L 便在导轨上滑动。下列说法正确的是 （ ）

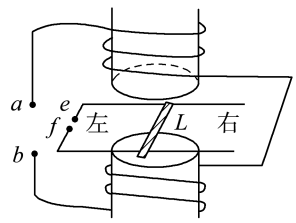


图 1-1-17

A. 若 a 接正极，b 接负极，e 接正极，f 接负极，则 L 向右滑动

B. 若 a 接正极，b 接负极，e 接负极，f 接正极，则 L 向右滑动

C. 若 a 接负极，b 接正极，e 接正极，f 接负极，则 L 向左滑动

D. 若 a 接负极，b 接正极，e 接负极，f 接正极，则 L 向左滑动

9. （多选）直流电动机原理示意图如图 1-1-18 所示。矩形线框放在匀强磁场中能绕 OO' 轴转动，当线框中通有如图所示方

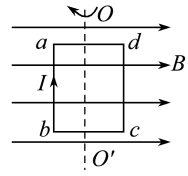


图 1-1-18

山东科学技术出版社

向的恒定电流时，在线框转动 90°的过程中（　　）

A. *ab* 边和 *cd* 边受到的安培力不变

B. *ab* 边和 *cd* 边受到的安培力逐渐变小

C. *ad* 边和 *cb* 边始终不受安培力

D. *ad* 边和 *cb* 边受到的安培力逐渐变大

10. 如图 1-1-19 所示，边长为 L 的等边三角形导线框用绝缘细线悬挂于天花板，导线框中通有逆时针方向的电流，图中虚线过 *ab* 边和 *ac* 边的中点，在虚线的下方有一垂直于导线框平面向里的匀强磁场，其磁感应强度大小为 B。此时导线框处于静止状态，导线框中的电流大小为 I，细线中的拉力为 F_1；保持其他条件不变，现将虚线下方的磁场平移至虚线上方（虚线下方不再有磁场），且磁感应强度增大到原来的两倍，此时细线中拉力大小为（　　）

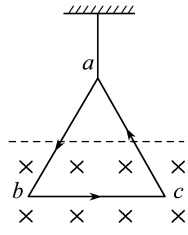


图 1-1-19

A. $\frac{3}{2}ILB+F_1$　　B. $\frac{3}{4}ILB+F_1$

C. $ILB+F_1$　　D. $\frac{5}{2}ILB+F_1$

专题1　安培力的应用

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能用磁感线、导线及磁铁周围的磁场等模型，分析导线所受安培力的方向及运动方向。

2. 能分析导体在安培力作用下的平衡问题。

3. 能利用动力学的观点分析在安培力作用下导体棒的运动问题。

课堂合作探究　深度解析疑难

一、安培力作用下导体运动方向的判断

深度学习

1. 分析思路

（1）确定导体所在位置的磁场分布情况，画出磁感线；

（2）确定通电导体所在处的磁感线的方向；

（3）利用左手定则判断导体所受安培力的方向；

（4）由导体的受力情况判定导体的运动方向。

2. 常用的分析方法

（1）电流元法

把整段电流等效为多段直线电流元，利用左手定则确定每小段电流元所受安培力的方向，从而确定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方向，从而确定运动方向。

（3）等效法

环形电流和通电螺线管可以等效为条形磁铁，条形磁铁可以等效为环形电流或通电螺线管，通电螺线管可以等效为多匝的环形电流。

（4）利用结论法

两电流相互平行时无转动趋势，同向电流相互吸引，反向电流相互排斥；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

分析磁体在电流产生的磁场中的受力时，应先分析电流在磁体的磁场中受到的安培力，再由牛顿第三定律转换为磁体所受电流的作用力。

典型例题

例1　如图 1-*z*-1 所示，一直导线平行于通电螺线管的轴线放置在螺线管的上方，如果直导线可以自由地运动且通以方向由 *a* 到 *b* 的电流，则导线 *ab* 受到安培力的作用后的运动情况为（　　）

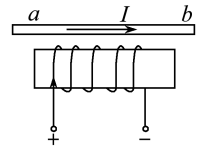


图 1-*z*-1

A. 从上向下看顺时针转动并靠近螺线管

B. 从上向下看顺时针转动并远离螺线管

C. 从上向下看逆时针转动并远离螺线管

D. 从上向下看逆时针转动并靠近螺线管

山东科学技术出版社

变式训练 1 如图 1-z-2 所示，在条形磁铁 S 极附近悬挂一个圆形线圈，线圈平面与水平磁铁位于同一平面内，当线圈中通以如图所示方向的电流时，线圈将 （ ）

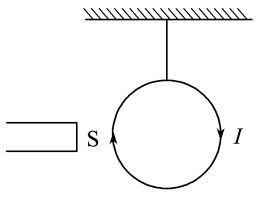


图 1-z-2

A. 向磁铁平移
B. 远离磁铁平移
C. 边转动边向左摆动
D. 边转动边向右摆动

例2 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-z-3 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 （ ）

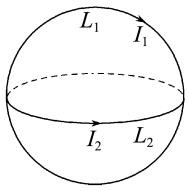


图 1-z-3

A. 不动　　B. 顺时针转动
C. 逆时针转动　　D. 在纸面内平动

变式训练 2 两个质量相同的铝环能在一个光滑的绝缘圆柱体上自由移动，设大小不同的电流按如图 1-z-4 所示的方向通入两铝环，则下列说法正确的是 （ ）

图 1-z-4

A. 右侧铝环受到安培力方向向右
B. 彼此相向运动，且具有大小相等的加速度
C. 彼此背向运动，电流大的加速度大
D. 同时改变两导线的电流方向，两导线受到的安培力方向反向

二、安培力作用下导体的平衡

深度学习

解题思路

（1）明确研究的导体和导体所处的磁场。

（2）先把立体图改画成平面图，画出通电导体所在处的磁感线，并在图中标出已知的角度、电流的方向、磁场的方向。

（3）根据左手定则确定安培力的方向，对导体进行准确的受力分析。

（4）根据平衡条件 $F_{合}=0$ 列方程求解。

典型例题

例3 如图 1-z-5 所示，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）。现垂直于导轨放一根质量为 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，如图所示。重力加速度为 g。

（1）当 ab 棒静止时，受到的支持力和摩擦力各为多少？

（2）若 B 的大小和方向均能改变，则要使 ab 棒所受支持力为零，B 的大小至少为多少？此时 B 的方向如何？

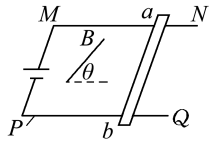


图 1-z-5

变式训练 3 （多选）如图 1-z-6 所示，质量为 m、长为 L 的直导线用两绝缘细线悬挂于 O、O'，并处于匀强磁场中。当导线中通以沿 x 轴正方向的电流 I，且导线保持静止时，悬线与竖直方向夹角为 θ。则磁感应强度方向和大小可能为 （ ）

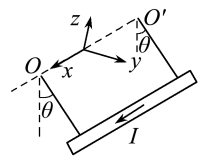


图 1-z-6

A. z 轴正方向，$\frac{mg}{IL}\tan\theta$
B. y 轴负方向，$\frac{mg}{IL}$
C. z 轴负方向，$\frac{mg}{IL}\tan\theta$
D. 沿悬线向下，$\frac{mg}{IL}\sin\theta$

三、导体棒在安培力作用下的动力学问题

深度学习

解题思路

（1）确定研究对象。

（2）把立体图转换为平面图，准确分析安培力的大小和方向，对研究对象进行受力分析。

（3）根据动力学观点，如牛顿第二定律、动能定理或动量定理，列方程求解。

典型例题

例4 如图 1-z-7 所示，光滑的平行导轨与水平面的夹角为 $\theta=30°$，两平行导轨间距为 L，整个装置处

山东科学技术出版社

在竖直向上的匀强磁场中。导轨中接入电动势为E、内阻为r的直流电源，电路中有一阻值为R的电阻，其余电阻不计。将质量为m，长度也为L的导体棒放在平行导轨上恰好处于静止状态，重力加速度为g，则：

(1) 通过ab导体棒的电流强度为多大？

(2) 匀强磁场的磁感应强度为多大？

(3) 若突然将匀强磁场的方向变为垂直导轨平面向上，求此时导体棒的加速度大小及方向。

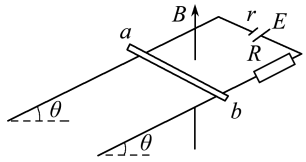


图 1-z-7

变式训练 4　电磁轨道炮工作原理图如图 1-z-8 所示。待发射弹体可在两平行轨道之间自由移动，并与轨道保持良好接触。电流I从一条轨道流入，通过导电弹体后从另一条轨道流回。轨道电流可形成在弹体处垂直于轨道面的磁场(可视为匀强磁场)，磁感应强度的大小与I成正比。通电的弹体在轨道上受到安培力的作用而高速射出。现欲使弹体的出射速度增加至原来的 2 倍，理论上可采用的方法是　(　　)

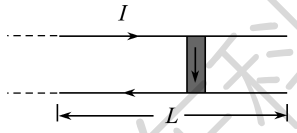


图 1-z-8

A. 只将轨道长度L变为原来的 2 倍

B. 只将电流I增加至原来的 4 倍

C. 将弹体质量减至原来的一半，电流I增加至原来的 2 倍，其他量不变

D. 将弹体质量减至原来的一半，轨道长度L变为原来的 2 倍，其他量不变

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 如图 1-z-9 所示，通有电流的导线L_1、L_2处在同一平面(纸面)内，L_1是固定的，L_2可绕垂直纸面的固定转轴O转动(O为L_2的中心)，各自的电流方向如图所示。下列哪种情况将会发生　(　　)

A. 因L_2不受磁场力的作用，故L_2不动

B. 因L_2上、下两部分所受的磁场力平衡，故L_2不动

C. L_2绕轴O按逆时针方向转动

D. L_2绕轴O按顺时针方向转动

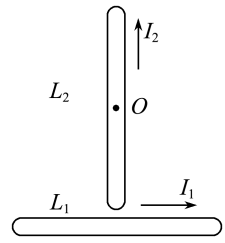


图 1-z-9

2. 如图 1-z-10 所示，在蹄形磁铁的上方放置一个可以自由运动的通电线圈$abcd$，最初线圈平面与蹄形磁铁处于同一竖直面内，则通电线圈运动的情况是　(　　)

A. ab边转向纸外，cd边转向纸里，同时向下运动

B. ab边转向纸里，cd边转向纸外，同时向下运动

C. ab边转向纸外，cd边转向纸里，同时向上运动

D. ab边转向纸里，cd边转向纸外，同时向上运动

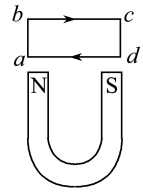


图 1-z-10

3. (多选)如图 1-z-11 所示，把柔软的铝箔条折成天桥状并用胶纸粘牢两端固定在桌面上，使蹄形磁铁横跨过“天桥”，当电池与铝箔接通时　(　　)

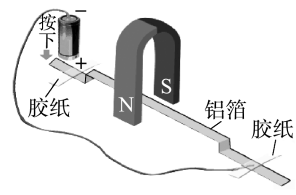


图 1-z-11

A. 铝箔条中部向下方运动

B. 铝箔条中部向上方运动

C. 蹄形磁铁对桌面的压力增大

D. 蹄形磁铁对桌面的压力减小

4. 如图 1-z-12 所示，一绝缘光滑固定斜面处于匀强磁场中，磁场的磁感应强度大小为B，方向垂直于斜面向上，通有电流I的金属细杆水平静止在斜面上。若电流变为$0.5I$，磁感应强度大小变为$3B$，电流和磁场的方向均不变，则金属细杆将　(　　)

A. 沿斜面加速上滑

B. 沿斜面加速下滑

C. 沿斜面匀速上滑

D. 仍静止在斜面上

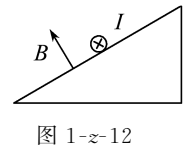


图 1-z-12

5. (多选)某兴趣小组的同学设计了一个测量电流的装置。如图 1-z-13 所示，质量$m=0.01$ kg 的

山东科学技术出版社

匀质细金属棒 MN 的中点处通过一绝缘挂钩与一竖直悬挂的劲度系数 $k=2.0\ \mathrm{N/m}$ 的弹簧相连。在矩形区域 $abcd$ 内有垂直纸面向外、大小 $B=0.20\ \mathrm{T}$ 的匀强磁场。与 MN 的右端 N 连接的一绝缘轻指针可指示标尺上的读数，MN 的长度大于 ab。当 MN 中没有电流通过且处于平衡状态时，MN 与矩形区域的 cd 边重合；当 MN 中有电流通过时，指针示数可表示电流强度。若 $ab=0.2\ \mathrm{m}$，$bc=0.05\ \mathrm{m}$，取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。(不计通电时电流产生的磁场的作用)则下列说法正确的是 (　　)

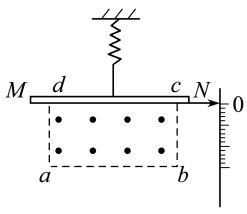


图 1-z-13

A. 若要电流表正常工作，MN 的 N 端应与电源正极相接

B. 当电流表示数为零时，弹簧长度为 0.05 m

C. 此电流表的量程是 2.5 A

D. 若将量程扩大 2 倍，磁感应强度应变为 0.1 T

6. 如图 1-z-14 所示，在倾角为 37°的光滑斜面上有一根长为 0.4 m，质量为 $6\times10^{-2}\ \mathrm{kg}$ 的通电直导线，电流 $I=1\ \mathrm{A}$，方向垂直于纸面向外，导线用平行于斜面的轻绳拴住不动，整个装置放在磁感应强度随时间变化的磁场中，其变化规律 $B=0.2t$，磁场方向竖直向上，则：

(1) 当 $t=2\ \mathrm{s}$ 时，安培力的大小和方向？

(2) 需要多长时间，斜面对导线的支持力为零？

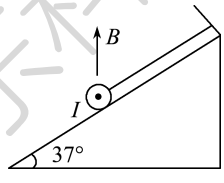


图 1-z-14

能力进阶

7. 如图 1-z-15 所示，条形磁铁放在桌面上，一根通电直导线由 S 极的上端平移到 N 极的上端的过程中，导线与磁铁保持垂直，导线的通电方向如图所示。则这个过程中磁铁受到的摩擦力(磁铁保持静止) (　　)

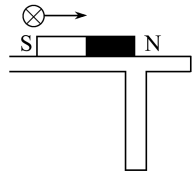


图 1-z-15

A. 为零

B. 方向由向左变为向右

C. 方向保持不变

D. 方向由向右变为向左

8. (多选)在同一光滑斜面上放同一导体棒，如图 1-z-16 是两种情况的剖面图。它们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 (　　)

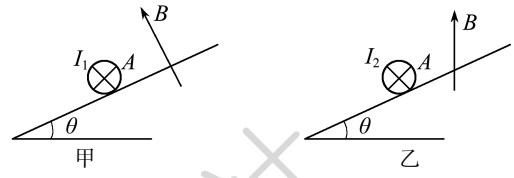


图 1-z-16

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 $F_{N1}:F_{N2}=\cos^2\theta:1$

9. 如图 1-z-17 所示，导体杆 ab 的质量为 m，电阻为 R，放置在与水平面成 θ 角的倾斜金属导轨上，导轨间距为 d，电阻不计，系统处于竖直向上的匀强磁场中，磁感应强度为 B，电源内阻不计。则：

(1) 若导轨光滑，电源电动势 E 多大时能使导体杆静止在导轨上？

(2) 若杆与导轨之间的动摩擦因数为 μ，且不通电时导体不能静止在导轨上，则要使杆静止在导轨上，求电源的电动势的范围。

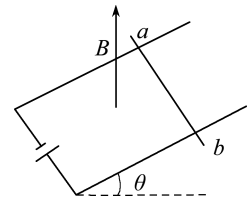


图 1-z-17

山东科学技术出版社

第2节　洛伦兹力

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能认识洛伦兹力的内涵，会计算洛伦兹力的大小、判断洛伦兹力方向，形成与洛伦兹力相关的运动与相互作用的观念。

2. 能用磁感线与匀强磁场等模型分析洛伦兹力，能用洛伦兹力解释一些自然现象。

3. 能比较安培力和洛伦兹力，能从宏观到微观进行推理。

4. 能分析带电粒子在匀强磁场中的运动问题。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、磁场对运动电荷的作用

1. 洛伦兹力的定义

物理学中，把磁场对_____的作用力称为洛伦兹力。

2. 洛伦兹力的大小

(1) 若 $v/\!/B$，洛伦兹力 $f=$_____。

(2) 若 $v\perp B$，洛伦兹力 $f=$_____。

(3) 若 v 与 B 成 θ 角，洛伦兹力 $f=$_____。

二、从安培力到洛伦兹力

1. _____是洛伦兹力的宏观表现。

2. 洛伦兹力方向也可以用_____判定，对正电荷，四指指向正电荷_____；对负电荷，四指指向负电荷_____。综上，四指指向_____的方向。

3. 运动电荷所受洛伦兹力的方向与_____垂直，与_____垂直。

三、带电粒子在匀强磁场中运动

1. 洛伦兹力的作用效果：洛伦兹力不做功，速率_____，运动电荷的运动方向_____。

2. 若 $v\perp B$，带电粒子在垂直于磁感线的平面内以入射速度 v 做_____运动。

(1) 向心力由_____提供，即_____。

(2) 轨道半径：_____。

(3) 周期：_____，周期 T 的大小与速度 v 大小_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 运动电荷在磁场中一定受洛伦兹力。　(　　)

2. 运动电荷在磁场中受到的洛伦兹力 f，电荷运动的速度 v，磁感应强度 B，三者一定两两垂直。　(　　)

3. 洛伦兹力是安培力的微观体现，安培力可以做功，洛伦兹力也可以做功。　(　　)

4. 判断运动电荷所受洛伦兹力的方向时应考虑电荷的电性。　(　　)

5. 当运动电荷垂直射入匀强磁场后做匀速圆周运动，运动周期与轨道半径无关。　(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

一、洛伦兹力

导学探究

1. 如图 1-2-1 所示，电子由阴极向阳极运动的过程中，其径迹向下偏转。

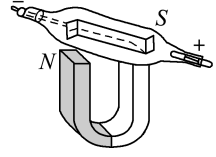


图 1-2-1

(1) 调转磁极，电子径迹会发生什么变化？

(2) 电子所受洛伦兹力方向与磁场方向、电子运动方向存在什么关系？

(3) 改变磁场的强弱，电子径迹会发生什么变化？

2. 如图 1-2-2 所示，磁场的磁感应强度为 B。设磁场中有一段长度为 L 的通电导线，横截面积为 S，单位体积中含有自由电子数为 n，每个自由电子的电荷量为 e 且定向运动的平均速率都是 v。

(1) 通电导线所受安培力向哪个方向？自由电子定向运动时所受洛伦兹力向哪个方向？

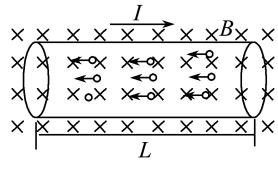


图 1-2-2

(2) 导线中的电流是多少？导线在磁场中

山东科学技术出版社

所受安培力多大？

（3）长为 L 的导线中含有的自由电荷数为多少？每个自由电荷所受洛伦兹力为多大？

深度学习

1. 洛伦兹力的大小

$f=qvB\sin\theta$，θ 为电荷运动的方向与磁感应强度方向的夹角。

（1）当 $\theta=90°$ 时，$v\perp B$，$\sin\theta=1$，$f=qvB$，即运动方向与磁场垂直时，洛伦兹力最大。

（2）当 $v/\!/B$ 时，$\theta=0°$ 或 $180°$，$\sin\theta=0$，$f=0$，即运动方向与磁场平行时，不受洛伦兹力。

2. 洛伦兹力的方向

（1）洛伦兹力方向由电荷的正负、速度方向、磁感应强度的方向三个因素决定。应用左手定则判断方向时，四指指向正电荷的运动方向，指向负电荷运动的反方向。

（2）洛伦兹力的方向既垂直于电荷运动的方向又垂直于磁场方向，即垂直于运动电荷速度方向和磁场方向决定的平面。但 B 与 v 不一定垂直。

3. 洛伦兹力与安培力的关系

（1）安培力是导体中所有定向移动的自由电荷受到的洛伦兹力的宏观表现，而洛伦兹力是安培力的微观本质。

（2）洛伦兹力对电荷不做功，但安培力却可以对导体做功。

典型例题

例1 每时每刻都有大量宇宙射线向地球射来，地磁场可以改变射线中大多数带电粒子的运动方向，使它们不能到达地面，这对地球上的生命有十分重要的意义。假设有一个带正电的宇宙射线粒子正垂直于地面向赤道射来，在地磁场的作用下，它将 （　　）

A. 向南偏转　　B. 向北偏转

C. 向东偏转　　D. 向西偏转

变式训练 1 电视机中偏转线圈的示意图如图1-2-3所示，圆心 O 表示电子束，由纸面内向纸面外射来，若接通电源给偏转线圈加上图示方向的电流时，电子束应 （　　）

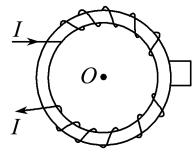


图 1-2-3

A. 不偏转，仍打在 O 点　　B. 向左偏转

C. 向上偏转　　D. 向下偏转

例2 如图 1-2-4 所示，一个质量为 $m=0.1$ g 的小滑块，带有 $q=5\times10^{-4}$ C 的电荷量，放置在倾角 $\alpha=30°$ 的光滑斜面上（绝缘），斜面置于 $B=0.5$ T 的匀强磁场中，磁场方向垂直纸面向里。小滑块由静止开始沿斜面下滑，其斜面足够长，小滑块滑至某一位置时要离开斜面。取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，则：

（1）小滑块带何种电荷？

（2）小滑块离开斜面时的瞬时速度多大？

（3）该斜面的长度至少多长？

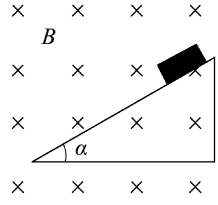


图 1-2-4

变式训练 2 （多选）如图 1-2-5 所示，足够长的绝缘棒竖直固定放置，处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于竖直平面向里，一带正电的小圆环套在竖直杆上，小圆环质量为 m，电量为 q，与杆之间的动摩擦因数为 μ，将小圆环由静止释放，下落高度 h 后运动达到稳定，则小圆环从开始运动到速度刚刚达到稳定的这一过程中，下列说法正确的是 （　　）

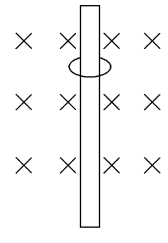


图 1-2-5

A. 小圆环运动的最大加速度等于 g

B. 小圆环运动的最大速度等于 $\dfrac{mg}{\mu qB}$

C. 从下落到稳定，小圆环所用时间小于 $\sqrt{\dfrac{2h}{g}}$

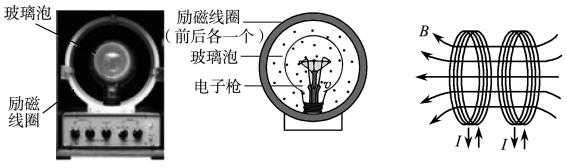
D. 从下落到稳定，由于摩擦产生的热量等于 $mgh-\dfrac{m^3g^2}{2\mu^2q^2B^2}$

山东科学技术出版社

二、带电粒子在匀强磁场中的运动

导学探究

如图 1-2-6 所示，可用洛伦兹力演示仪观察运动电子在匀强磁场中的偏转。



甲 实物照片　　乙 结构图　　丙 励磁线圈

图 1-2-6

(1) 如何调节电子射入磁场的方向才能使其轨迹是一个圆？

(2) 如果保持出射电子的速度不变，增大磁感应强度，轨迹圆半径如何变化？如果保持磁感应强度不变，增大入射电子的速度大小，圆半径如何变化？

深度学习

1. 带电粒子垂直射入匀强磁场中，若不计重力，带电粒子做匀速圆周运动，由洛伦兹力提供向心力，即 $qvB=m\frac{v^2}{r}$。

2. 轨迹圆半径

由 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 可得 $r=\frac{mv}{qB}$，由此可知，匀速圆周运动的轨迹半径与粒子运动速率 v 成正比，与粒子的比荷 $\frac{q}{m}$ 成反比，与磁感应强度 B 成反比。

3. 周期

$T=\frac{2\pi r}{v}=\frac{2\pi m}{qB}$，由此可知，$T$ 与粒子运动速率 v 无关，与半径大小无关，与粒子运动的比荷 $\frac{q}{m}$ 成反比，与磁感应强度 B 成反比。

典型例题

例3 (多选)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垂直进入匀强磁场，带电粒子仅受洛伦兹力的作用，运行的半圆轨迹如图 1-2-7 中虚线所示，下列说法正确的是　(　　)

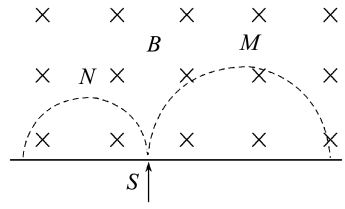


图 1-2-7

A. M 带负电，N 带正电

B. M 的速度率小于 N 的速率

C. 洛伦兹力对 M、N 不做功

D. M 的运行时间大于 N 的运行时间

变式训练 3　带电粒子的质量 $m=1.7\times10^{-27}$ kg，电荷量 $q=1.6\times10^{-19}$ C，以速度 $v=3.2\times10^{6}$ m/s 沿垂直于磁场同时又垂直于磁场边界的方向进入匀强磁场中，磁场的磁感应强度 $B=0.17$ T，磁场的宽度 $L=10$ cm，不计带电粒子的重力，其运动轨迹如图 1-2-8 所示。(取 $g=10$ m/s^2，结果保留 2 位有效数字)则：

(1) 带电粒子离开磁场时的速度多大？

(2) 带电粒子在磁场中运动多长时间？

(3) 带电粒子在离开磁场时偏离入射方向的距离 d 为多大？

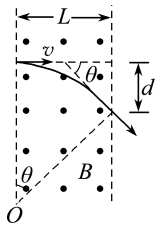


图 1-2-8

素养提升

解决带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动问题的思路如下：

1. 找圆心

圆周运动速度方向与轨迹圆相切，由几何知识可得，过轨迹圆上的点作速度的垂线，垂线必过圆心。则过入射点或出射点作相应速度的垂线，其交点就是圆心。轨迹圆上任意两点连线为圆的弦，弦的中垂线也必过圆心，再结合入射速度的垂线即可确定圆心。

2. 画轨迹

根据洛伦兹力确定带电粒子的偏转方向，画出轨迹，根据条件通过几何关系或者公式求半径。

3. 寻关联

轨道半径与磁感应强度、运动速度相联系，偏转角度与圆心角、运动时间相联系，运动的时间与周期

山东科学技术出版社

相联系。

4. 用规律

运用牛顿第二定律和圆周运动的规律，列方程求解。

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 下列关于运动电荷和磁场的说法正确的是（　　）

A. 运动电荷在某点不受洛伦兹力作用，这点的磁感应强度必为零

B. 电荷的运动方向、磁感应强度方向和电荷所受洛伦兹力的方向一定两两互相垂直

C. 电子垂直射入磁场发生偏转，这是洛伦兹力对电子做功的结果

D. 电荷与磁场间没有相对运动，电荷就一定不受磁场的作用力

2. 在匀强磁场中一带电粒子正在做匀速圆周运动，如果突然将它的速度增大到原来的3倍，则（　　）

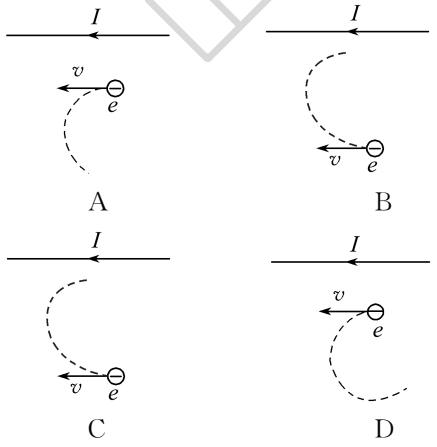
A. 粒子的运动轨迹半径不变，运动周期减为原来的三分之一

B. 粒子的运动轨迹半径是原来的3倍，周期不变

C. 粒子的运动轨迹半径和周期都是原来的3倍

D. 粒子的运动轨迹半径是原来的4倍，周期不变

3. 如图所示，水平导线中有电流 I 通过，导线正下方电子的初速度方向与电流 I 的方向相同，均平行于纸面水平向左。下列四幅图是描述电子运动轨迹的示意图，正确的是（　　）



4. 洛伦兹力演示仪的结构如图1-2-9所示。励磁线圈产生的匀强磁场方向垂直纸面向外，电子束由电子枪产生，其速度方向与磁场方向垂直。电子速度大小可通过电子枪的加速电压来控制，磁场强弱可通过励磁线圈的电流来调节。下列说法正确的是（　　）

A. 仅增大励磁线圈的电流，电子束径迹的半径变大

B. 仅提高电子枪的加速电压，电子束径迹的半径变大

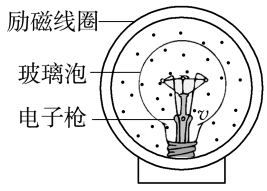


图1-2-9

C. 仅增大励磁线圈的电流，电子做圆周运动的周期将变大

D. 仅提高电子枪的加速电压，电子做圆周运动的周期将变大

5. 带电油滴以水平速度 v_0 垂直进入磁场，恰做匀速直线运动，如图1-2-10所示。若油滴质量为 m，磁感应强度为 B，重力加速度为 g，则下列说法正确的是（　　）

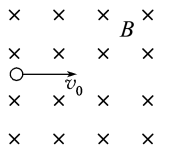


图1-2-10

A. 油滴必带正电荷，电荷量为 $\frac{mg}{v_0B}$

B. 油滴必带正电荷，比荷 $\frac{q}{m}=\frac{q}{v_0B}$

C. 油滴必带负电荷，电荷量为 $\frac{mg}{v_0B}$

D. 油滴带什么电荷都可以，只要满足 $q=\frac{mg}{v_0B}$

6. 如图1-2-11所示，一个带负电的粒子（不计重力）以速度 v 由坐标原点射入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，速度方向与 x 轴、y 轴均成45°。已知该粒子电荷量为 $-q$，质量为 m，则该粒子通过 x 轴和 y 轴的坐标分别是多少？

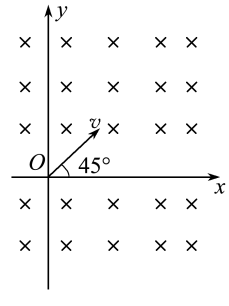


图1-2-11

山东科学技术出版社

能力进阶

7. (多选)如图 1-2-12 所示,圆柱形区域的横截面在没有磁场的情况下,带电粒子(不计重力)以某一初速度沿截面直径方向入射时,穿过此区域的时间为 t。若该区域加沿轴线方向的匀强磁场,磁感应强度为 B,带电粒子仍以同一初速度沿截面直径入射,粒子飞出此区域时,速度方向偏转了$\frac{\pi}{3}$,根据上述条件可求得的物理量为　(　　)

A. 带电粒子的初速度
B. 带电粒子在磁场中运动的半径
C. 带电粒子在磁场中运动的周期
D. 带电粒子的比荷

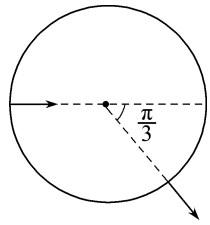


图 1-2-12

8. 如图 1-2-13 所示,MN 为铝质薄平板,铝板上方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 点穿过铝板后到达 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。则铝板上方和下方的磁感应强度大小之比为　(　　)

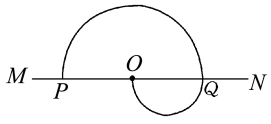


图 1-2-13

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

9. 如图 1-2-14 所示,a 为带正电的小物块,b 为不带电的绝缘物块(设 a、b 间无电荷转移),a、b 叠放于粗糙的水平地面上,地面上方有垂直于纸面向里的匀强磁场。现用水平恒力 F 拉 b 物块,使 a、b 一起无相对滑动地向左做加速运动,则在加速运动阶段　(　　)

A. a 对 b 的压力不变
B. a 对 b 的压力变大
C. a、b 物块间的摩擦力变大
D. a、b 物块间的摩擦力不变

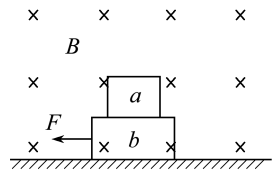


图 1-2-14

10. 如图 1-2-15 所示,空间存在方向垂直于纸面(xOy 平面)向里的磁场。在 $x\geqslant 0$ 区域,磁感应强度的大小为 B_0;在 $x<0$ 区域,磁感应强度的大小为 λB_0(常数 $\lambda>1$)。一质量为 m、电荷量为 $q(q>0)$的带电粒子以速度 v_0 从坐标原点 O 沿 x 轴正向射入磁场,此时开始计时,当粒子的速度方向再次沿 x 轴正向时,(不计重力)求:

(1) 粒子运动的时间;

(2) 粒子与 O 点间的距离。

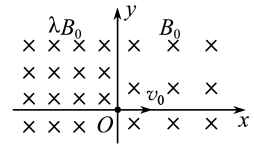


图 1-2-15

第3节　洛伦兹力的应用

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能形成与洛伦兹力相关的清晰的运动和相互作用的观念。

2. 能用洛伦兹力的大小和方向分析磁偏转技术。

3. 能认识回旋加速器和质谱仪对人类探索未知领域的重要性。

4. 能认识到磁技术应用对人类生活的影响,了解科学、技术、社会、环境的关系。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、显像管

1. 电偏转与磁偏转

通常把利用_____改变带电粒子的运动方向称为电偏转,把利用_____改变带电粒子运动方向称为磁偏转。显像管运用的是电子束的_____原理。

山东科学技术出版社

2. 显像管构造及作用

(1)_____的作用是发射电子,电子经加速电场形成_____。

(2)_____和_____偏转线圈,其作用是使电子束_____。

(3)荧光屏的作用是_____。

二、质谱仪

1. 用途:质谱仪是一种分离和检测_____的仪器。

2. 原理:离子以一定的速度垂直射入磁场,根据离子匀速圆周运动的_____大小,可以求出离子_____的大小,若已知电荷量,就可求出带电粒子的_____。

三、回旋加速器

1. 利用电场对带电粒子直线加速的缺点是_____,在回旋加速器内利用电场对带电粒子多次加速的优点是_____。

2. 回旋加速器的构造及作用

(1)两个D形盒之间留有一窄缝置于真空中,将_____电压加在两盒的狭缝处,形成_____的电场。带电粒子经过该区域时被_____。

(2)D形盒处于与盒面垂直的_____磁场中,带电粒子在洛伦兹力作用下做_____运动,从而改变_____,_____周期后再次进入电场。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 在显像管中,若仅有偏转线圈中的电流发生变化,则电子打在荧光屏上的位置也随之变化。(　　)
2. 因不同原子的质量不同,所以同位素在质谱仪中的轨迹半径不同。(　　)
3. 回旋加速器中加速电压的周期可与带电粒子在磁场中的运动周期不同。(　　)
4. 利用回旋加速器加速带电粒子,要提高加速粒子的最终能量,应尽可能增大磁感应强度 B 和D形盒的半径 R。(　　)

课堂合作探究 深度解析疑难

一、显像管

导学探究

电视显像管原理示意图如图1-3-1所示,电流通过偏转线圈,从而产生偏转磁场,电子束经过偏转磁场后运动轨迹发生偏转,不计电子的重力。

(1)欲使电子束打在荧光屏上的 A 点,偏转磁场应该向哪个方向?欲使电子束打在荧光屏上的位置由 A 点调整到 B 点,应如何调节磁场?

(2)若电子束离开电子枪的速度减小,则原先打在 B 点的电子束有可能打在 A 点吗?

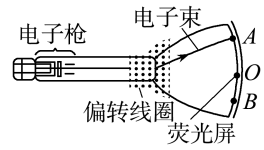


图1-3-1

深度学习

电子(基本粒子不计重力)在显像管内的运动可分为三个过程。

1. 加速过程:在电场中,电场力做正功,不计初速度,由 $eU=\frac{1}{2}mv^2$,可得射入磁场中的速度。

2. 偏转过程:在磁场中,洛伦兹力提供向心力,由 $evB=\frac{mv^2}{r}$,可分析在磁场中偏转的情况。

3. 匀速直线运动过程:电子从磁场中射出后,做匀速直线运动打到荧光屏上。

典型例题

例1 如图1-3-2所示,在半导体离子注入工艺中,初速度可忽略的磷离子 P^+ 和 P^{3+},经电压为 U 的电场加速后,垂直进入方向垂直纸面向里、宽度为 D 的匀强磁场区域,其中离子 P^+ 在磁场中转过 $\theta=30°$ 后从磁场右边界射出。已知 P^+ 和 P^{3+} 的质量均为 m,而电荷量分别为 e 和 $3e$(e 表示元电荷)。求:

(1)匀强磁场的磁感应强度 B 的大小;

(2)P^{3+} 在磁场中转过的角度 φ。

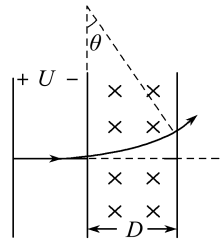


图1-3-2

变式训练1 如图1-3-3所示,一半径为 R 的圆表示一柱形区域的横截面(纸面),O 为圆心。在柱形区域内加一方向垂直于纸面向外的匀强磁场,一质量为 m、电荷量为 $+q$ 的粒子沿图中直径从圆

山东科学技术出版社

上的 A 点射入柱形区域，从圆上的 D 点离开该区域。已知图中 $\theta=120°$，现将磁场换为竖直向下的匀强电场，同一粒子以相同速度沿直径从 A 点射入柱形区域，也在 D 点离开该区域。若磁感应强度大小为 B，不计重力，求：

(1) 电场强度 E 的大小；

(2) 经磁场从 A 到 D 的时间与经电场从 A 到 D 的时间之比。

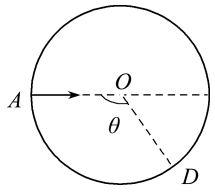


图 1-3-3

素养提升

电偏转和磁偏转的区别：

若带电粒子垂直射入匀强电场且带电粒子仅受恒定电场力 $F_E=qE$，粒子做匀变速曲线运动——类平抛运动，其运动规律可用 $v_x=v_0$，$x=v_0t$，$v_y=\dfrac{qE}{m}t$，$y=\dfrac{1}{2}\cdot\dfrac{qE}{m}t^2$ 进行描述。由于 F_E 对粒子做正功，所以其动能不断增大，并且增大得越来越快。

若带电粒子以速度 v 垂直射入匀强磁场且仅受洛伦兹力 $F_B=qvB$，粒子做匀速圆周运动，其运动规律可由 $r=\dfrac{mv}{qB}$ 和 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$ 进行描述。由于 F_B 始终不做功，所以其动能保持不变。

二、质谱仪

导学探究

质谱仪原理示意图如图 1-3-4 所示。设粒子质量为 m、电荷量为 q，加速电场电压为 U，偏转磁场的磁感应强度为 B，粒子从容器 A 下方的小孔 S_1 飘入加速电场，其初速度几乎为 0。则粒子进入磁场时的速度是多大？打在底片上的位置到 S_3 的距离多大？

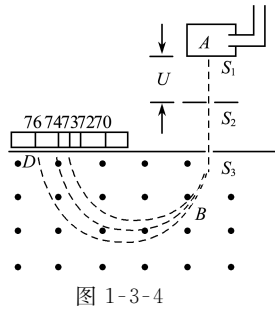


图 1-3-4

深度学习

1. 运动过程

(1) 带电粒子经过电压 U 的加速电场，做匀加速直线运动，由 $qU=\dfrac{1}{2}mv^2$ 可求得加速后获得的速度 $v=\sqrt{\dfrac{2qU}{m}}$。

(2) 垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中，做匀速圆周运动，结合 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$ 求得半径 $r=\dfrac{1}{B}\sqrt{\dfrac{2mU}{q}}$。

2. 质谱仪可根据半径大小区分同位素，同位素电荷量 q 相同，质量不同，在质谱仪照相底片上显示的半径就不同。

典型例题

例2　(多选)如图 1-3-5 所示，两平行金属板 M、N 之间有竖直向下的匀强电场，虚线下方有垂直纸面的匀强磁场，质子(带 1 个单位正电荷，质量数为 1)和α粒子(带 2 个单位正电荷，质量数为 4)分别从上板中心 S 点由静止开始运动，经电场加速后从 O 点垂直磁场边界进入匀强磁场，最后从 a、b 两点射出磁场(不计重力)，下列说法正确的是 (　　)

A. 磁场方向垂直纸面向外

B. 从 a 点离开的是 α 粒子

C. 从 b 点离开的粒子在磁场中运动的速率较大

D. 粒子从 S 出发到离开磁场，由 b 点离开的粒子所用时间较长

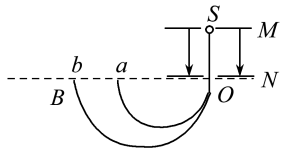


图 1-3-5

变式训练 2　现代质谱仪可用来分析比质子重很多倍的离子，其示意图如图 1-3-6 所示，其中加速电压恒定。质子在入口处从静止开始被加速电场加速，经匀强磁场偏转后从出口离开磁场。若某种一价正离子在入口处从静止开始被同一加速电场加速，为使它经匀强磁场偏转后仍从同一出口离开磁场，需将磁感应强度增加到原来的 12 倍。此离子和质子的质量比约为 (　　)

A. 11　　B. 12　　C. 121　　D. 144

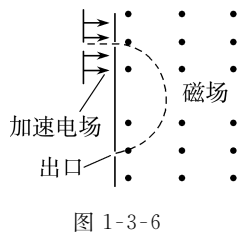


图 1-3-6

山东科学技术出版社

三、回旋加速器

导学探究

回旋加速器的结构示意图如图 1-3-7 所示，回旋加速器中磁场和电场分别起什么作用？对交流电源的周期有什么要求？带电粒子获得的最大动能由哪些因素决定？

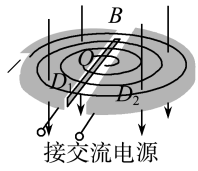


图 1-3-7

深度学习

1. 周期 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$

（1）两 D 形盒窄缝中所加的交流电的周期与粒子做圆周运动的周期相同，这样就可以保证粒子在每次经过交变电场时都被加速，一个周期内加速两次。

（2）带电粒子在匀强磁场中的运动周期 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$ 跟运动速率和轨道半径无关，若带电粒子比荷 $\dfrac{q}{m}$ 和磁感应强度 B 确定，则周期 T 是确定的。若磁感应强度 B 变化或被加速的粒子的比荷 $\dfrac{q}{m}$ 变化，交变电场周期也要随之变化。

2. 带电粒子通过回旋加速器最终获得的动能 $E_{km}=\dfrac{q^2B^2R^2}{2m}$

同种粒子的最大动能由磁感应强度 B 和 D 形盒的半径 R 决定，与加速电压 U 的大小无关。加速电压越高，带电粒子每次加速后动能增量越大，带电粒子在电场中的加速次数越少，相应在 D 形盒中的回旋次数越少，每次加速后回旋半径也增大的越多。

典型例题

例3 回旋加速器是用来加速带电粒子使它们获得很大动能的仪器，其核心部分是两个 D 形金属盒，两盒分别和一高频交流电源两极相接，以便在盒内的窄缝中形成匀强电场，使粒子每次穿过狭缝时都得到加速，两盒放在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于盒底面，粒子源置于盒的圆心附近，如图 1-3-8 所示。若粒子源射出的粒子电荷量为 q，质量为 m，粒子最大回旋半径为 R_{max}。求：

（1）粒子在盒内做何种运动；

（2）所加交变电流频率及粒子的角速度；

（3）粒子离开加速器时的最大速度及最大动能。

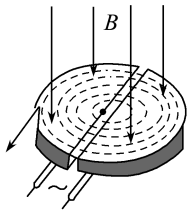


图 1-3-8

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 如图 1-3-9 所示，若 α 粒子和质子以相同速度垂直进入同一匀强磁场中，它们的质量之比是4∶1，电荷量之比是 2∶1，则 α 粒子和质子 （ ）

A. 运动半径之比是 2∶1

B. 回到磁场边界时速度大小之比是 2∶1

C. 在磁场中运动时间之比是 1∶1

D. 受到的洛伦兹力之比是 1∶1

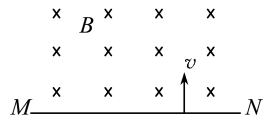


图 1-3-9

2. 处于匀强磁场中的一个带电粒子，仅在磁场力作用下做匀速圆周运动。将该粒子的运动等效为环形电流，那么此电流值 （ ）

A. 与粒子电荷量成正比

B. 与粒子速率成正比

C. 与粒子质量成正比

D. 与磁感应强度成正比

3. 如图 1-3-10 所示，在 $MNQP$ 中有一垂直纸面向里的匀强磁场。质量和电荷量都相等的带电粒子 a、b、c 以不同的速率从 O 点沿垂直于 PQ 的方向射入磁场，图中实线是它们的轨迹。已知 O 是 PQ 的中点，不计粒子重力。下列说法正确的是 （ ）

A. 射入磁场时粒子 a 的速率最小

B. 粒子 a 带负电，粒子 b、c 带正电

C. 射出磁场时粒子 b 的动能最小

D. 粒子 b 在磁场中运动的时间最短

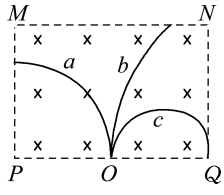


图 1-3-10

4. 圆形区域内有垂直纸面的匀强磁场，三个质量和电荷量都相同的带电粒子 a、b、c，以不同的速率

山东科学技术出版社

对准圆心 O，沿着 AO 方向射入磁场，其运动轨迹如图 1-3-11 所示。若带电粒子只受磁场力的作用，则下列说法正确的是（　　）

A. a 粒子动能最大

B. c 粒子速率最大

C. b 粒子在磁场中运动时间最长

D. 它们做圆周运动的周期 $T_a<T_b<T_c$

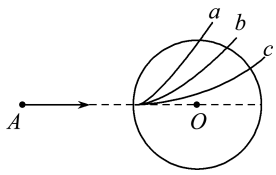


图 1-3-11

5. 如图 1-3-12 所示，ab 是一弯管，其中心线是半径为 R 的一段圆弧，将它置于一给定的匀强磁场中，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，对于从 b 端射出的粒子，下列说法正确的是（　　）

A. 粒子的速度 v 大小一定相等

B. 粒子的质量 m 大小一定相等

C. 粒子的质量 m 与速度 v 的乘积大小一定相等

D. 粒子的动能 E_k 大小一定相等

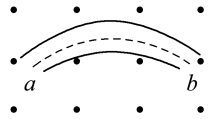


图 1-3-12

6. 回旋加速器是加速带电粒子的装置，如图 1-3-13 所示。若用回旋加速器加速质子时，匀强磁场的磁感应强度为 B，高频交流电周期为 T。设 D 形盒半径为 R，下列说法正确的是（　　）

A. 质子在磁场和电场中均被加速

B. 质子被加速后的最大速度不可能超过 $\dfrac{2\pi R}{T}$

C. 加速电压越大，粒子飞出加速器时的速度越大

D. 不改变 B 和 T，该回旋加速器也能用于加速其他不同比荷的粒子

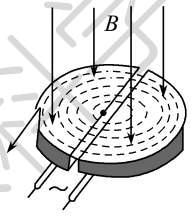


图 1-3-13

7.（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 1-3-14 所示，下列说法正确的是（　　）

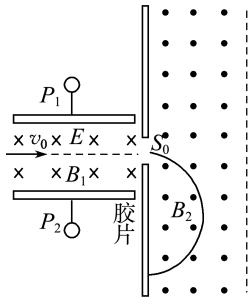


图 1-3-14

A. 该束带电粒子带正电

B. 速度选择器的 P_1 极板带负电

C. 能通过狭缝 S_0 的带电粒子的速率等于 EB_1

D. 粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 S_0，粒子的比荷越大

能力进阶

8.（多选）一种质谱仪示意图如图 1-3-15 所示，由加速电场、静电分析器和磁分析器组成。若静电分析器通道中心线的半径为 R，通道内均匀辐射电场在中心线处的电场强度大小为 E，磁分析器有范围足够大的有界匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直纸面向外。一质量为 m，带电荷量为 q 的粒子从静止开始经加速电场加速后沿中心线通过静电分析器，由 P 点垂直边界进入磁分析器，最终打到胶片上的 Q 点。不计粒子重力，下列说法正确的是（　　）

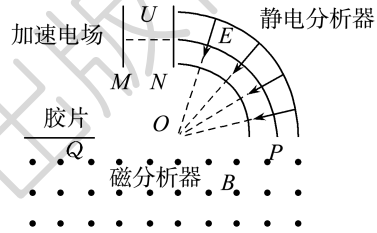


图 1-3-15

A. 粒子一定带正电

B. 加速电场的电压 $U=ER$

C. 直径 $PQ=\dfrac{2}{B}\sqrt{qmER}$

D. 若一群粒子从静止开始经过上述过程都落在胶片上同一点，则该群粒子具有相同的比荷

9. 回旋加速器的示意图如图 1-3-16 甲所示，其核心部分是两个 D 形金属盒。D 形盒与高频电源相连，且置于垂直于盒面的匀强磁场中。带电粒子在磁场中的动能 E_k 随时间 t 的变化规律如图乙所示，若忽略带电粒子在电场中的加速时间，则下列说法正确的是（　　）

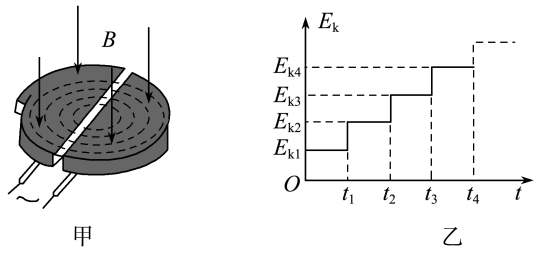


图 1-3-16

A. $t_4-t_3<t_3-t_2<t_2-t_1$

B. $E_{k4}-E_{k3}=E_{k3}-E_{k2}=E_{k2}-E_{k1}$

C. 电场的变化周期等于 t_1

D. 仅增大加速电压，射出的粒子动能会变大

山东科学技术出版社

10. 电视机显像管原理如图 1-3-17 所示，圆形磁场区域半径为 R，磁感应强度大小为 B_0，方向垂直纸面向外。在磁场右边距离圆心 $2R$ 处有一竖直放置的足够大的接收屏，过磁场区域圆心 O 的水平直线与接收屏相交于 O_1。以 O_1 为坐标原点沿接收屏竖直向上建立 y 轴，电子枪水平放置于 OO_1 连线上，电子由静止开始经电子枪加速后从 A 点射入磁场，并从磁场区域最高点 C 射出。（已知电子电荷量大小为 e，质量为 m）

（1）求电子枪加速电压 U_0；

（2）为使电子打在接收屏上的不同位置，需要调节磁感应强度，求粒子打在屏上的位置 y 和磁感应强度 B 的关系。

（参考公式：$\tan 2\theta=\dfrac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}$）

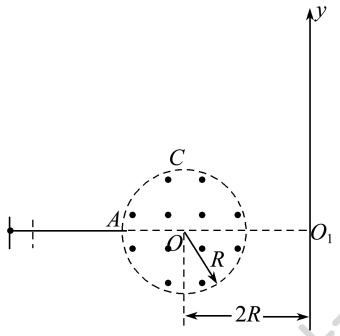


图 1-3-17

【小微专题　洛伦兹力与现代科技】

1. 霍尔元件是能够把磁感应强度这个磁学量转换为电压这个电学量的电学元件。其结构和原理如图 1-3-18 所示，在一个很小的矩形半导体薄片上，制作四个电极 E、F、M、N，它就成了一个霍尔元件。在 E、F 间通入恒定的电流 I，同时外加与薄片垂直的磁场 B，则薄片中的载流子就在洛伦兹力的作用下，向着与电流和磁场都垂直的方向漂移，使 M、N 间出现了电压，称为霍尔电压 U_H。当磁场方向和电流方向如图所示时，关于 M、N 极板电势的高低，下列说法正确的是（　　）

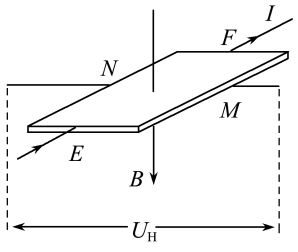


图 1-3-18

A. 不管载流子带电性质如何，电极 N 的电势一定高于电极 M

B. 不管载流子带电性质如何，电极 N 的电势一定低于电极 M

C. 只有当载流子为负电荷时，电极 M 的电势才高于电极 N

D. 只有当载流子为正电荷时，电极 M 的电势才高于电极 N

2. 如图 1-3-19 所示，水平放置的两块带电平行金属板，板间存在着方向竖直向下、场强大小为 E 的匀强电场和垂直于纸面的匀强磁场。假设电场、磁场只存在于两板间。一个带正电的粒子，以水平速度 v_0 从两极板的左端正中央沿垂直于电场、磁场的方向射入极板间，恰好做匀速直线运动。不计粒子的重力及空气阻力，则（　　）

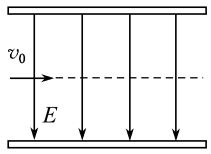


图 1-3-19

A. 板间所加的匀强磁场 $B=\dfrac{E}{v_0}$，方向垂直于纸面向里

B. 若粒子电荷量加倍，将会向下偏转

C. 若粒子从极板的右侧射入，一定沿直线运动

D. 若粒子带负电，其他条件不变，将向上偏转

3. （多选）电磁流量计广泛应用于测量导电液体（如污水）的流量。如图 1-3-20 所示，流量计是由绝缘材料制成的管道，其长、宽、高分别为 a、b、c，流量计左右两端开口。在垂直于上下底面的方向上有磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，在前后两个侧面的内侧分别固定有金属板作为电极。充满管口的污水从左向右稳定地流经流量计时，接在 M、N 两端间的电压表显示出两个电极间的电压为 U。若用 Q 表示污水流量（单位时间内排出的污水体积），则下列说法正确的是（　　）

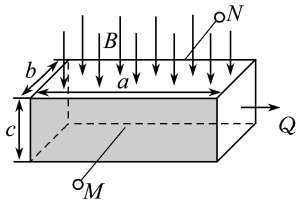


图 1-3-20

A. N 端的电势比 M 端的电势高

B. N 端的电势比 M 端的电势低

C. 污水中离子的浓度越高，电压 U 越大

D. 污水流量 Q 与电压表的示数 U 成正比，与 a、b 无关

4. （多选）磁流体发电机的发电原理如图 1-3-21 所示：将一束等离子体（即高温下电离的气体，含有大量带正电和带负电的微粒，而从整体上来说呈电中性）喷入磁场，由于等离子体在磁场力的作用下运动

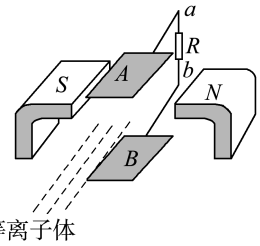


图 1-3-21

版权所有 上海科学技术出版社

方向发生偏转，磁场中的两块金属板 A 和 B 上就会聚集电荷，从而在两板间产生电压。在图示磁极配置的情况下，下列说法正确的是　　（　　）

A. 金属板 A 的电势较高

B. 通过电阻 R 的电流方向是 $b\to R\to a$

C. 等离子体在 A、B 间运动时，磁场力对等离子体做功

D. 等离子体在 A、B 间运动时，磁场力对等离子体不做功

专题2　洛伦兹力作用下带电粒子的运动

基于核心素养　定位课堂目标

1. 掌握带电粒子在磁场中运动问题的分析方法，会分析带电粒子在有界磁场中的运动。

2. 会分析带电粒子在叠加场中的运动问题。

3. 会分析带电粒子在组合场中的运动问题。

基础自主落实　即时自我诊断

一、带电粒子在有界磁场中的运动

深度学习

1. 解决带电粒子在磁场中做圆周运动问题常用的方法

(1) 轨迹圆心的确定方法：两线定一点

① 圆心一定在垂直于速度的直线上。如图 1-z-18 甲所示，已知入射点 P 和出射点 M 的速度方向，可通过入射点和出射点作速度的垂线，两条直线的交点就是圆心。

② 圆心一定在弦的中垂线上。如图 1-z-18 乙所示，作 P、M 连线的中垂线，与其中一个速度的垂线的交点为圆心。

③ 圆心一定在轨迹圆的两条切线夹角的角平分线上。如图 1-z-18 丙所示，作 $\angle POM$ 的平分线，与入射速度的垂线交点为圆心。

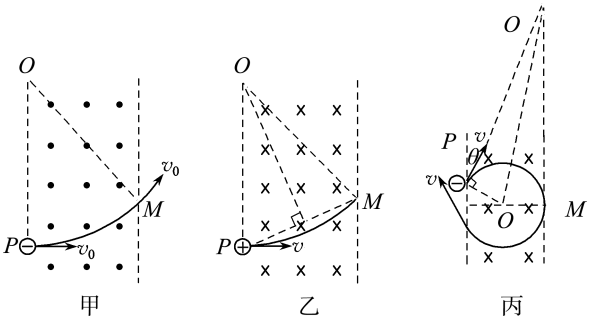


图 1-z-18

(2) 求轨迹圆半径方法

半径的计算一般利用几何知识求解。做好辅助线，借助由圆的半径、切线、磁场边界线等构成直角三角形，由直角三角形的边角关系或勾股定理求解。

(3) 各相关物理量之间的关联

① 利用半径公式找轨道半径与磁感应强度、运动速度的关系。

② 利用周期公式找周期与磁感应强度的关系。

③ 轨迹圆弧对应的圆心角等于弦切角的两倍，等于偏转角。

(4) 粒子在磁场中运动时间的计算方法

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

② 当 v 一定时，粒子在磁场中运动的时间 $t=\frac{l}{v}$，l 为带电粒子通过的弧长。

2. 常见的有界磁场

① 直线边界，带电粒子进出磁场具有对称性，如图 1-z-19 所示。

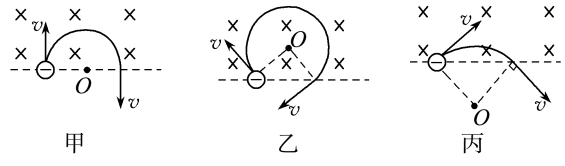


图 1-z-19

② 平行边界，一般存在临界条件，如图 1-z-20 所示。

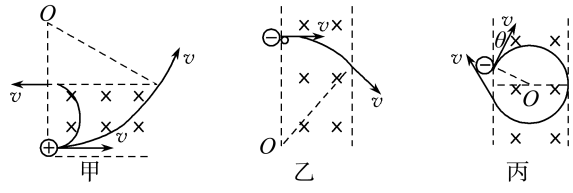


图 1-z-20

③ 圆形边界，若带电粒子沿径向射入必沿径向射出，如图 1-z-21 所示。

山东科学技术出版社

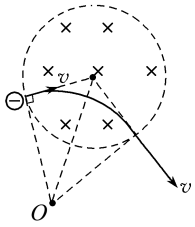


图 1-z-21

典型例题

例1 在以坐标原点 O 为圆心、r 为半径的圆形区域内，存在磁感应强度大小为 B、方向垂直于纸面向里的匀强磁场，如图 1-z-22 所示。一个不计重力的带电粒子从磁场边界与 x 轴的交点 A 处以速度 v 沿 $-x$ 方向射入磁场，它恰好从磁场边界与 y 轴的交点 C 处沿 $+y$ 方向飞出。

(1) 请判断该粒子带何种电荷，并求出其比荷 $\frac{q}{m}$；

(2) 若磁场的方向和所在空间范围不变，而磁感应强度的大小变为 B'，该粒子仍从 A 处以相同的速度射入磁场，但飞出磁场时的速度方向相对于入射方向改变了 60°角，则磁感应强度 B' 多大？此次粒子在磁场中运动所用时间 t 是多少？

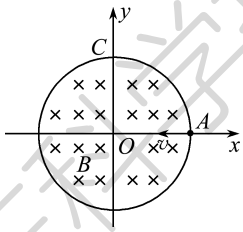


图 1-z-22

变式训练 1 如图 1-z-23 所示，在正方形空腔内有匀强磁场，不计重力的带电粒子甲、乙从 a 孔垂直磁场方向平行于 ab 边射入磁场，甲从 c 孔射出，乙从 d 孔射出，下列说法正确的是 ( )

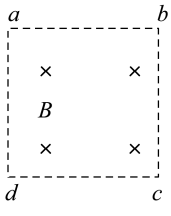


图 1-z-23

A. 若甲、乙为同种带电粒子，速率之比为 1∶1

B. 若甲、乙为同种带电粒子，角速度之比为 1∶1

C. 若甲、乙为同种带电粒子，在磁场中运动的时间之比为 1∶1

D. 甲、乙为不同种带电粒子但速率相同，它们的比荷为 2∶1

二、带电粒子在组合场中的运动

深度学习

1. 组合场

组合场一般指空间内磁场与电场同时存在，但各自位于一定区域内并不重叠，或在同一区域内交替存在。带电粒子在一定时间内只受一个场力的作用。

2. 分析思路

此类问题从运动过程看属于多过程问题，通常按时间的先后顺序分成若干个子过程，在每一子过程中分析粒子的受力和运动，相邻两个过程间以速度作为衔接量。

3. 带电粒子(不计重力)的运动情况

(1) 在匀强电场中，若初速度 v_0 与电场线平行，粒子做匀变速直线运动；若初速度 v_0 与电场线垂直，粒子做类平抛运动。

(2) 在匀强磁场中，若初速度 v_0 与磁感线平行，粒子做匀速直线运动；若初速度 v_0 与磁感线垂直，粒子做匀速圆周运动。

典型例题

例2 xOy 坐标系如图 1-z-24 所示，在第二象限内有水平向右的匀强电场，在第一、第四象限内分别存在匀强磁场，磁感应强度大小相等，方向如图所示。现有一个质量为 m、电量为 $+q$ 的带电粒子在该平面内从 x 轴上的 P 点，以垂直于 x 轴的初速度 v_0 进入匀强电场，恰好经过 y 轴上的 Q 点且与 y 轴成 45°角射出电场，再经过一段时间又恰好垂直于 x 轴进入第四象限的磁场。已知 OP 之间的距离为 d，不计粒子的重力。求：

(1) O 点到 Q 点的距离；

(2) 磁感应强度 B 的大小；

(3) 带电粒子自进入电场至在磁场中第二次经过 x 轴所用的时间。

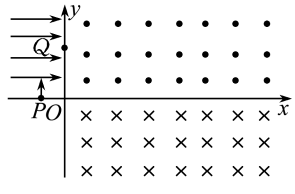


图 1-z-24

山东科学技术出版社

变式训练 2　平面直角坐标系 xOy 中，第一象限存在垂直于平面向里的匀强磁场，第三象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场，如图 1-z-25 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。

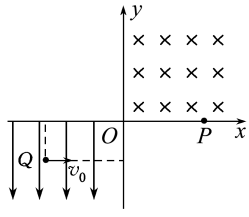


图 1-z-25

三、带电粒子在叠加场中的运动

深度学习

1. 叠加场

在空间某一个区域内存在重力场、电场和磁场中的两种或三种同时存在。

2. 分析思路

(1) 当带电粒子在叠加场中做匀速直线运动时，根据平衡条件求解。

(2) 当带电粒子在叠加场中做匀速圆运动时，重力和电场力平衡，洛伦兹力提供向心力。

(3) 当带电粒子在叠加场中做非匀变速曲线运动时，根据动能定理或能量守恒求解。

典型例题

例3　如图 1-z-26 所示，空间某区域存在匀强电场和匀强磁场，电场方向竖直向上(与纸面平行)，磁场方向垂直于纸面向里，三个带正电的微粒 a、b、c 电荷量相等，质量分别为 m_a、m_b、m_c，已知在该区域内，a 在纸面内做匀速圆周运动，b 在纸面内向右做匀速直线运动，c 在纸面内向左做匀速直线运动。下列选项正确的是　(　　)

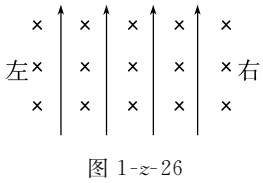


图 1-z-26

A. $m_a>m_b>m_c$　　B. $m_b>m_a>m_c$

C. $m_c>m_a>m_b$　　D. $m_c>m_b>m_a$

变式训练 3　如图 1-z-27 所示，空间存在水平向左的匀强电场和垂直纸面向里的水平匀强磁场。在该区域中，有一个竖直放置光滑绝缘圆环，环上套有一个带正电的小球。O 点为圆环的圆心，a、b、c、d 为圆环上的四个点，a 点为最高点，c 点为最低点，bd 沿水平方向。已知小球所受电场力与重力大小相等。现将小球从环的顶端 a 点由静止释放。下列判断正确的是　(　　)

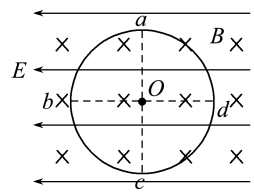


图 1-z-27

A. 小球能越过与 O 等高的 d 点并继续沿环向上运动

B. 当小球运动到 c 点时，洛伦兹力最大

C. 小球从 a 点到 b 点，重力势能减小，电势能增大

D. 小球从 b 点运动到 c 点，电势能增大，动能先增大后减小

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 比荷为 $\frac{e}{m}$ 的电子以速度 v_0 沿 AB 边射入边长为 a 的等边三角形的匀强磁场区域中，如图 1-z-28 所示。为使电子从 BC 边穿出磁场，磁感应强度 B 的取值范围为　(　　)

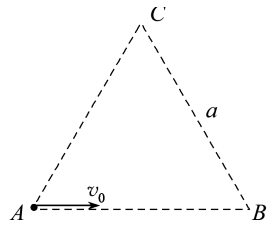


图 1-z-28

A. $B=\frac{\sqrt{3}mv_0}{ea}$　　B. $B=\frac{2mv_0}{ea}$

C. $B<\frac{\sqrt{3}mv_0}{ea}$　　D. $B<\frac{2mv_0}{ea}$

2. 如图 1-z-29 所示，正六边形 $abcdef$ 区域内有垂直于纸面的匀强磁场。一带正电的粒子从 f 点沿 fd 方向射入磁场区域，当速度大小为 v_b 时，从 b 点离开磁场，在磁场中运动的时间为 t_b，当速度大小为 v_c 时，从 c 点离开磁场，在磁场中运动的时间为 t_c，不计粒子重力。则　(　　)

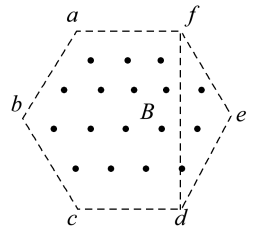


图 1-z-29

山东科学技术出版社

A. $v_b:v_c=2:1,t_b:t_c=1:2$

B. $v_b:v_c=1:2,t_b:t_c=2:1$

C. $v_b:v_c=2:1,t_b:t_c=2:1$

D. $v_b:v_c=1:2,t_b:t_c=1:2$

3. 如图 1-z-30 所示在匀强电场和匀强磁场共存的区域内，电场的场强为 E，方向竖直向下，磁场的磁感应强度为 B，方向垂直于纸面向里，一质量为 m 的带电粒子，在场区内的竖直平面内做匀速圆周运动，则可判断该带电粒子 （ ）

A. 带有电荷量为 $\frac{mg}{E}$ 的正电荷

B. 沿圆周逆时针运动

C. 运动的角速度为 $\frac{Bg}{E}$

D. 运动的速率为 $\frac{E}{B}$

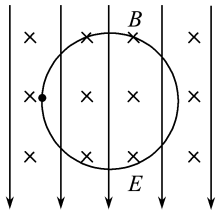


图 1-z-30

4. 如图 1-z-31 所示，光滑半圆形轨道与光滑曲面轨道在 B 处平滑连接，前者置于水平向里的匀强磁场中，有一带正电小球从 A 由静止释放，能沿轨道前进并恰能通过半圆形轨道最高点 C。若撤去磁场，使小球从静止释放仍能恰好通过半圆形轨道最高点，则释放高度 H' 与原释放高度 H 的关系是 （ ）

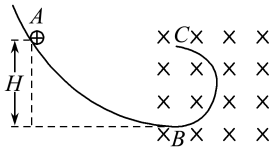


图 1-z-31

A. $H'>H$　　B. $H'=H$

C. $H'<H$　　D. 无法确定

5. 如图 1-z-32 所示的平面直角坐标系 xOy，在第一象限内有沿 y 轴正方向的匀强电场，在第四象限内有垂直于纸面向里的匀强磁场。一质量为 m，电荷量为 q 的带负电粒子，从 y 轴上的 $M(0,d)$ 点，以大小为 v_0 的速度沿 x 轴正方向射入电场，通过电场后从 x 轴的 $N(2d,0)$ 点进入第四象限内，又经过磁场垂直 y 轴进入第三象限，不计粒子的重力。求：

（1）匀强电场的电场强度 E 的大小；

（2）匀强磁场的磁感应强度 B 的大小。

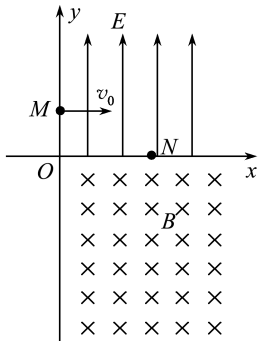


图 1-z-32

能力进阶

6. 一圆筒处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向与筒的轴平行，筒的横截面如图 1-z-33 所示。图中直径 MN 的两端分别开有小孔，筒绕其中心轴以角速度 ω 顺时针转动。在该截面内，一带电粒子从小孔 M 射入筒内，射入时的速度方向与 MN 成 30°角。当筒转过 90° 时，该粒子恰好从小孔 N 飞出圆筒，不计重力。若粒子在筒内未与筒壁发生碰撞，则带电粒子的比荷为 （ ）

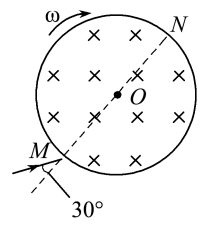


图 1-z-33

A. $\frac{\omega}{B}$　　B. $\frac{\omega}{2B}$　　C. $\frac{\omega}{3B}$　　D. $\frac{2\omega}{B}$

7. （多选）如图 1-z-34 所示，在 x 轴上方存在垂直于纸面向里且磁感应强度为 B 的匀强磁场，在 x 轴下方存在垂直于纸面向外且磁感应强度为 $\frac{B}{2}$ 的匀强磁场。一带负电的粒子从原点 O 以与 x 轴成 30°角斜向上射入磁场，且在 x 轴上方磁场中运动的半径为 R。则 （ ）

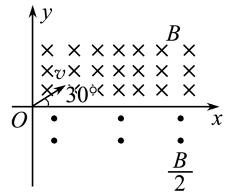


图 1-z-34

A. 粒子经偏转后一定能回到原点 O

B. 粒子在 x 轴上方和下方磁场中运动的半径之比为 2∶1

C. 粒子完成一次周期性运动的时间为 $\frac{\pi m}{qB}$

D. 粒子第二次射入 x 轴上方磁场时，沿 x 轴前进了 $3R$

8. 直线 OM 和直线 ON 之间的夹角为 30°，如图 1-z-35 所示，直线 OM 上方存在匀强磁场，磁感应强度大小为 B，方向垂直于纸面向外。一带电粒子的质量为 m，电荷量为 $q(q>0)$，粒子沿纸面以大小为 v 的速度从 OM 上的某点向左上方射入磁场，速度与 OM 成 30° 角。已知该粒子在磁场中的运动轨迹与 ON 只有一个交点，并从 OM 上另一点射出磁场。不计重力，粒子离开磁场的出射点到两直线交点 O 的距离为 （ ）

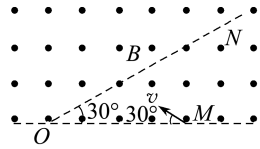


图 1-z-35

A. $\frac{mv}{2qB}$　　B. $\frac{\sqrt{3}mv}{qB}$　　C. $\frac{2mv}{qB}$　　D. $\frac{4mv}{qB}$

此为科学技术出版社

9. 如图 1-z-36 所示，坐标系 xOy 位于竖直平面内，所在空间有沿水平方向垂直于纸面向里的匀强磁场，在 $x<0$ 的空间内还有沿 x 轴负方向的匀强电场，电场强度大小为 E。一个带电油滴经图中 x 轴上的 M 点，沿着直线 MP 方向以速率 v 做匀速运动，图中直线 MP 与 x 轴夹角 $\alpha=30°$，经过 P 点后油滴进入 $x>0$ 的区域，要使油滴在 $x>0$ 的区域内做匀速圆周运动，需要在该区域内加一个匀强电场。若带电油滴沿弧 PN 做匀速圆周运动，并垂直于 x 轴通过轴上的 N 点，已知重力加速度为 g。求：

(1) 油滴的带电性质和匀强磁场的磁感应强度大小；

(2) 在 $x>0$ 的区域内所加电场的场强；

(3) 带电油滴从 P 点运动到 N 点经历的时间。

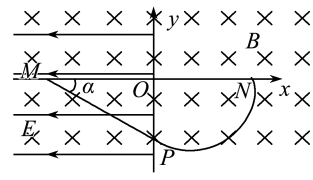
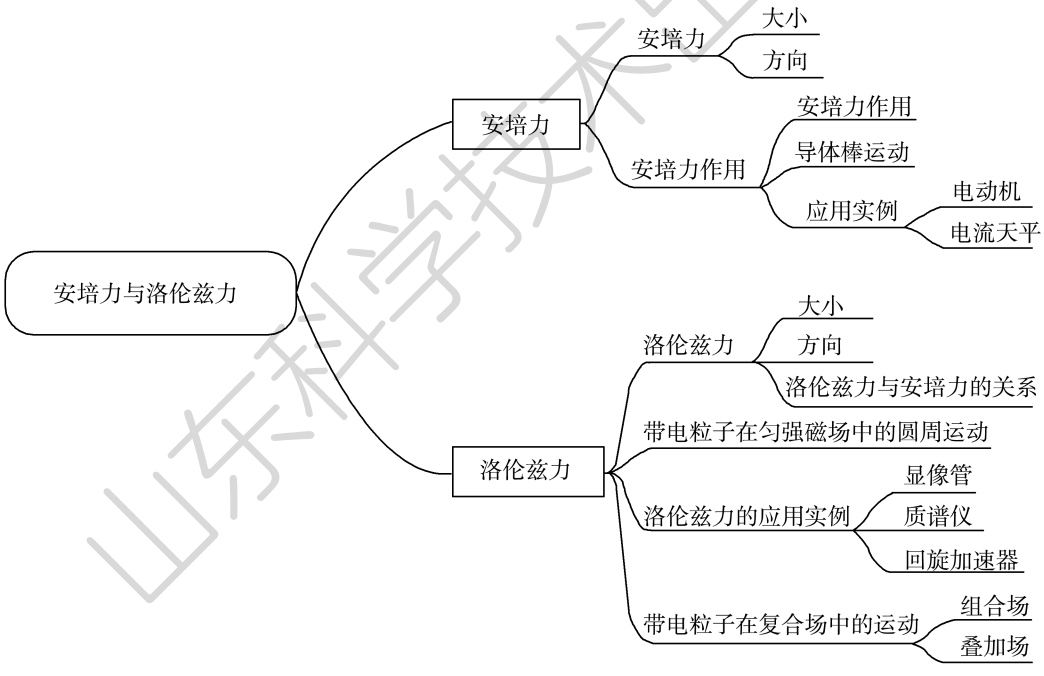


图 1-z-36

章末总结

知网建构



重点探究

一、安培力作用下的综合问题

深度学习

1. 基本思路

(1) 明确研究对象，这里的研究对象一般是通电导体。

(2) 正确进行受力分析并画出导体的受力分析图，必要时画出侧视图、俯视图等。

(3) 根据受力分析确定通电导体所处的状态或运动过程。

(4) 运用平衡条件或动力学知识列式求解。

2. 解题关键

通电导体在安培力的作用下可能处于静止状态，也可能处于运动状态。对导体进行正确的受力分析，是解决该类问题的关键。

山东科学技术出版社

典型例题

例1 如图 1-1 所示，两足够长平行金属导轨间的距离 $L=0.40$ m，金属导轨所在的平面与水平面夹角 $\theta=37°$，在导轨所在平面内，分布着磁感应强度 $B=0.50$ T，方向垂直于导轨所在平面的匀强磁场。金属导轨的一端接有电动势 $E=4.5$ V、内阻 $r=0.50\ \Omega$ 的直流电源。现把一个质量 $m=0.040$ kg 的导体棒 ab 放在金属导轨上，导体棒恰能静止。导体棒与金属导轨垂直且接触良好，导体棒与金属导轨接触的两点间的电阻 $R=2.5\ \Omega$，金属导轨电阻不计，取 $g=10$ m/s^2。已知 $\sin 37°=0.60$，$\cos 37°=0.80$。

(1) 求导体棒受到的安培力大小；

(2) 求导体棒受到的摩擦力大小；

(3) 其他条件都不变，动摩擦因数为 $\mu=0.2$，若只把匀强磁场 B 的方向改为竖直向上、大小改为 1.0 T，求 B 改变瞬间，导体棒运动的加速度大小。

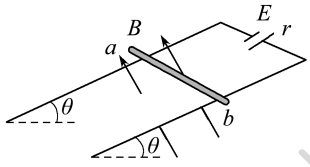


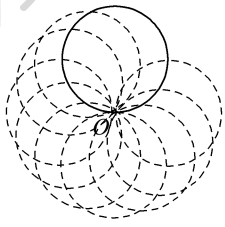
图 1-1

二、带电粒子在匀强磁场中圆周运动的临界和极值问题

深度学习

1. 旋转圆模型(如图 1-2 所示)

当带电粒子射入磁场的速率和磁场的磁感应强度一定时，轨迹圆半径确定。若入射速度方向不同，轨迹圆绕入射点旋转，旋转过程中会发现“临界点”。由数学知识可得，圆弧(弦)越长，圆心角越大，则带电粒子在有界磁场中运动的时间越长。

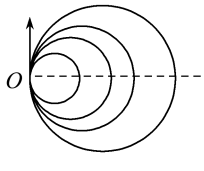


旋转圆

图 1-2

2. 扩缩圆模型(如图 1-3 所示)

当带电粒子射入磁场的速率或磁场的磁感应强度变化时，轨迹圆半径变化。若带电粒子入射速度方向不变，随圆的半径变化，轨迹圆心在过入射点的入射速度的同一条垂线上移动，形成一组切于入射点的相切圆。刚好到达或穿出磁场边界的条件是带电粒子在磁场中运动的轨迹与边界相切。

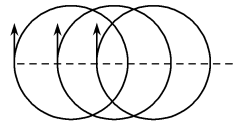


缩放圆

图 1-3

3. 平移圆模型(如图 1-4 所示)

当带电粒子入射速度大小方向确定，磁感应强度一定，但入射点发生变化时，对应的轨迹圆发生平移，在移动过程中确定临界或极值。



平移圆

图 1-4

典型例题

例2 如图 1-5 所示，一足够长的矩形区域 $abcd$ 内充满磁感应强度为 B，方向垂直纸面向里的匀强磁场。现从矩形区域 ad 边的中点 O 处，垂直磁场射入一速度方向与 ad 边夹角为 30°，大小为 v_0 的带正电的粒子。已知粒子质量为 m，电荷量为 q，ad 边长为 l，重力影响不计。

(1) 求粒子能从 ab 边射出磁场的 v_0 的范围；

(2) 在满足粒子从 ab 边射出磁场的条件下，粒子在磁场中运动的最长时间是多少？

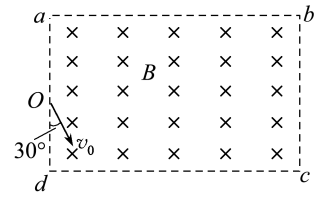


图 1-5

例3 如图 1-6 所示，粒子源 S 能在图示纸面内的 360°范围内发射速率相同、质量为 m、电量为 $+q$ 的同种粒子(重力不计)，MN 是足够大的竖直挡板，S 到板的距离为 L，挡板左侧充满垂直纸面向外的匀强磁场，磁感应强度为 B，则：

(1) 粒子速度至少为多大，才能有粒子到达挡板？

(2) 若 S 发射的粒子速率为 $\dfrac{qBL}{m}$，则挡板能被粒子击中部分的长度为多少？

(3) 若 S 发射的粒子速率为 $\dfrac{qBL}{m}$，粒子到达挡板的最短时间是多少？

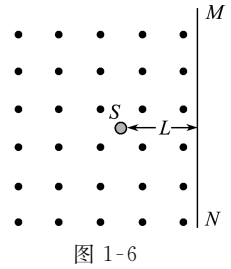


图 1-6

山东科学技术出版社

例4　如图 1-7 所示，在边长为 L 的等边三角形 ABC 区域内，存在垂直于所在平面向里的匀强磁场。大量的质量为 m、电荷量为 q 的带正电粒子以相同速度（速度大小未确定）沿垂直于 BC 的方向射入磁场，经磁场偏转后三条边均有粒子射出，其中垂直于 AB 边射出的粒子在磁场中运动的时间为 t_0。不计粒子的重力及粒子间的相互作用。求：

（1）磁场的磁感应强度大小；

（2）要确保粒子能从 BC 边射出，射入的最大速度为多少；

（3）AC、AB 边上可能有粒子射出的范围。

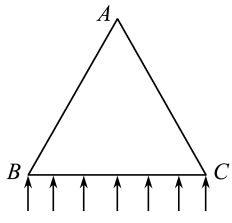


图 1-7

三、带电粒子在匀强磁场中运动的多解问题

深度学习

1. 带电粒子电性不确定形成多解

如图 1-8 所示，带电粒子可能带正电荷，也可能带负电荷，在洛伦兹力作用下，相同的初速度的正、负粒子在磁场中运动轨迹不同，形成多解。

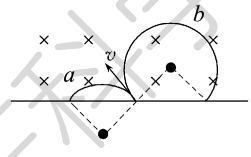


图 1-8

2. 磁场方向不确定形成多解

若只知道磁感应强度大小，而未明确磁感应强度方向，则要考虑磁感应强度方向不确定而形成多解。如图 1-9 所示，带正电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场，若 B 垂直纸面向里，其轨迹为 a，若 B 垂直纸面向外，其轨迹为 b。

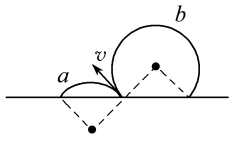


图 1-9

3. 临界状态不唯一形成多解

如图 1-10 所示，带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时，它可能从不同区域射出磁场，从而形成多解。

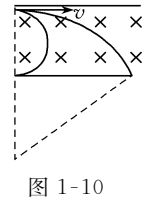


图 1-10

4. 运动的往复性形成多解

如图 1-11 所示，带电粒子在电场和磁场的组合场中运动时，可能会由运动周期性而形成多解。

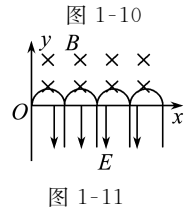


图 1-11

典型例题

例5　（多选）长为 l 的水平极板间有垂直纸面向里的匀强磁场，如图 1-12 所示，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），从左边极板间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　（　　）

A. 使粒子的速度 $v<\dfrac{Bql}{4m}$

B. 使粒子的速度 $v>\dfrac{5Bql}{4m}$

C. 使粒子的速度 $v>\dfrac{Bql}{m}$

D. 使粒子的速度 v 满足 $\dfrac{Bql}{4m}<v<\dfrac{5Bql}{4m}$

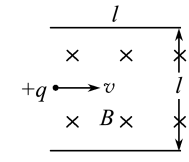


图 1-12

例6　如图 1-13 所示，宽度为 d 的有界匀强磁场，磁感应强度为 B，MM' 和 NN' 是它的两条边界。现有质量为 m、电荷量为 q 的带电粒子沿图示方向垂直磁场射入。要使粒子不能从边界 NN' 射出，求粒子入射速率 v 的最大值可能是多少？

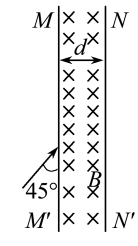


图 1-13

例7　如图 1-14 所示，在 x 轴上方有一匀强磁场，磁感应强度为 B；x 轴下方有一匀强电场，电场强度为 E。屏 MN 与 y 轴平行且相距为 L。一质量为 m，电荷量为 e 的电子，在 y 轴上某点 A 自静止释放，如果要使电子垂直打在屏 MN 上，则：

（1）电子释放位置与原点 O 的距离 s 需满足什么条件？

（2）电子从出发点到垂直打在屏上需要多长时间？

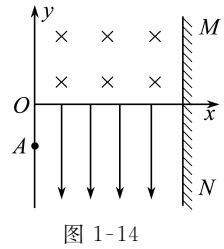


图 1-14

山东科学技术出版社

章末检测

（试卷满分100分，考试用时90分钟）

一、单项选择题：本题共8个小题，每小题3分，共24分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求的。

1. 一束等离子体（含有大量带正电和带负电的微粒，都不考虑重力），沿图中箭头所示的方向垂直于磁场方向进入一匀强磁场，磁场方向垂直纸面向里，粒子运动的轨迹如图1中a、b所示，则（　　）

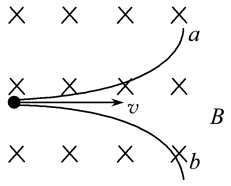


图1

A. a是带正电的微粒的运动轨迹

B. b是带正电的微粒的运动轨迹

C. a是带负电的微粒的运动轨迹

D. a是带正电微粒及带负电微粒的共同轨迹

2. 如图2所示，条形磁铁S极附近，放置一轻质等边三角形线圈abc，磁铁轴线经过三角形ab边中垂线，当线圈中通有顺时针方向电流时，则线圈运动情况是（　　）

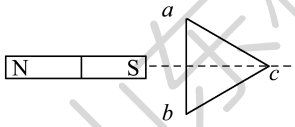


图2

A. ab边转向纸外，同时靠近S极

B. ab边转向纸外，同时远离S极

C. ab边转向纸里，同时靠近S极

D. ab边转向纸里，同时远离S极

3. 在赤道上，地磁场可以看成是沿南北方向并且与地面平行的匀强磁场，磁感应强度是5×10^{-5} T。如果赤道上有一条沿东西方向水平放置的直导线，长40 m，载有20 A自东向西的电流，地磁场对这根导线的作用力大小和方向分别是（　　）

A. 4×10^{-3} N，竖直向上

B. 4×10^{-2} N，竖直向上

C. 4×10^{-3} N，竖直向下

D. 4×10^{-2} N，竖直向下

4. 如图3是科学史上一张著名的实验照片，显示一个带电粒子在云室中穿过某种金属板运动的径迹。云室放置在匀强磁场中，磁场方向垂直照片向里。云室中横放的金属板对粒子的运动起阻碍作用。分析此径迹可知粒子（　　）

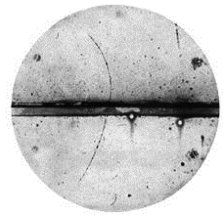


图3

A. 带正电，由上往下运动

B. 带正电，由下往上运动

C. 带负电，由上往下运动

D. 带负电，由下往上运动

5. 如图4所示，一劲度系数为k的轻质弹簧，下面挂有匝数为n的矩形线框$abcd$。bc边长为l，线框的下半部分处在匀强磁场中，磁感应强度大小为B，方向与线框平面垂直，在图中垂直于纸面向里。线框中通以电流I，方向如图所示，开始时线框处于平衡状态。令磁场反向，磁感应强度的大小仍为B，线框达到新的平衡。则在此过程中线框位移的大小Δx及方向是（　　）

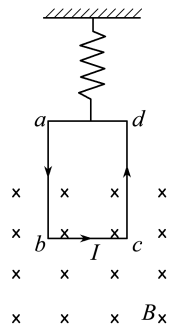


图4

A. $\Delta x=\dfrac{2nIlB}{k}$，方向向上

B. $\Delta x=\dfrac{2nIlB}{k}$，方向向下

C. $\Delta x=\dfrac{nIlB}{k}$，方向向上

D. $\Delta x=\dfrac{nIlB}{k}$，方向向下

6. 如图5所示，正方形区域内存在垂直纸面的匀强磁场。一带电粒子垂直磁场边界从a点射入，从b点射出。下列说法正确的是（　　）

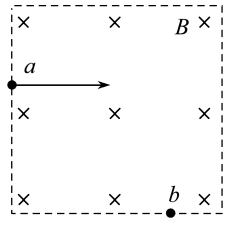


图5

山东科学技术出版社

A. 粒子带正电

B. 粒子在 b 点速率大于在 a 点速率

C. 若仅减小磁感应强度，则粒子可能从 b 点右侧射出

D. 若仅减小入射速率，则粒子在磁场中运动时间变短

7. 如图 6 所示，甲、乙是竖直面内两个相同的半圆形光滑轨道，m、n 为两轨道的最低点，匀强磁场垂直于甲轨道平面，匀强电场平行于乙轨道平面。两个完全相同的带正电小球 a、b 分别从甲、乙两轨道的右侧最高点由静止释放，在它们第一次到达最低点的过程中，下列说法正确的是　（　　）

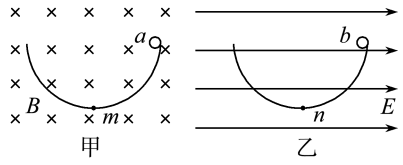


图 6

A. a 球下滑的时间比 b 球下滑时间长

B. a、b 两球的机械能均不守恒

C. a 球到 m 点的速度小于 b 球到 n 点的速度

D. a 球对 m 点的压力大于 b 球对 n 点的压力

8. 磁电式电流表的结构示意图如图 7 甲所示，蹄形磁铁和铁芯间的磁场均匀辐向分布，如图乙所示，边长为 L 的正方形线圈中通以电流 I，线圈中的某一条 a 导线电流方向垂直纸面向外，b 导线电流方向垂直纸面向里，a、b 两条导线所在的磁感应强度大小均为 B，则　（　　）

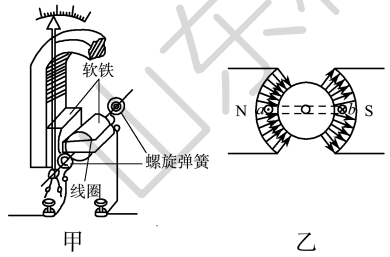


图 7

A. 该磁场是匀强磁场

B. 穿过该线圈的磁通量为 BL^2

C. a 导线受到的安培力方向向下

D. b 导线受到的安培力大小为 ILB

二、多项选择题：本题共 4 个小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 设空间存在竖直向下的匀强电场和垂直纸面向里的匀强磁场，如图 8 所示，已知一离子在电场力和洛伦兹力的作用下，从静止开始自 A 点沿曲线 ACB 运动，到达 B 点时速度为零，C 点是运动的最低点，不计重力，下列说法正确的是　（　　）

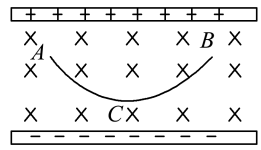


图 8

A. 该离子带负电荷

B. A 点和 B 点位于同一高度

C. 离子在 C 点时速度最大

D. 离子到达 B 点时，将沿原曲线返回 A 点

10. 如图 9 所示，在 xOy 平面的第一象限内存在垂直 xOy 平面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场，两个相同的带电粒子以相同的速度 v_0 先后从 y 轴上坐标 $(0,3L)$ 的 A 点和 B 点（坐标未知）垂直于 y 轴射入磁场，与在 x 轴上坐标 $(\sqrt{3}L,0)$ 的 C 点相遇，不计粒子重力及其相互作用。则根据题目给定的条件，可以确定　（　　）

A. 带电粒子在磁场中运动的半径

B. 带电粒子的电荷量

C. 带电粒子在磁场中运动的时间

D. 带电粒子的质量

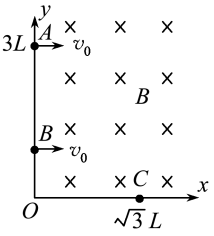


图 9

11. 如图 10 所示，两根光滑平行导轨水平放置，间距为 L，其间有竖直向下的匀强磁场，磁感应强度为 B，垂直于导轨水平对称放置一根均匀金属棒。从 $t=0$ 时刻起，棒上有如图乙所示的持续交变电流 I，周期为 T，最大值为 I_m。图甲中 I 所示方向为电流正方向。则金属棒　（　　）

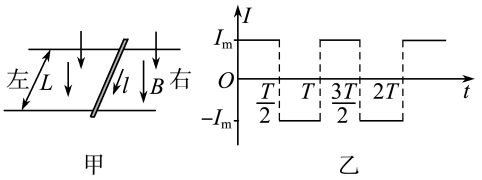


图 10

A. 一直向右移动

B. 速度随时间周期性变化

C. 受到的安培力随时间周期性变化

D. 受到的安培力在一个周期内做正功

12. A、B 两个离子同时从匀强磁场的直边界上的 P、Q 点分别以 60°和 30°（与边界的夹角）射入磁场，又同时分别从 Q、P 点穿出，如图 11 所示。

山东科学技术出版社

设边界上方的磁场范围足够大，下列说法正确的是（　　）

A. A 为正离子，B 为负离子

B. A、B 两离子运动半径之比为 $1:\sqrt{3}$

C. A、B 两离子速率之比为 $1:\sqrt{3}$

D. A、B 两离子的比荷之比为 $2:1$

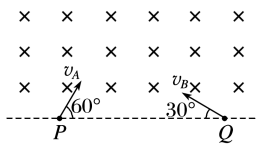
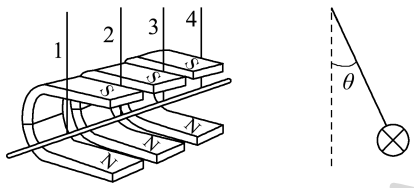


图 11

三、非选择题：本题共 6 个小题，共 60 分。

13.（6 分）“探究影响通电导线受力的因素”的实验装置图如图 12 甲所示，三块相同的 U 形磁铁并列放置，磁极间的磁场可看成是匀强磁场。实验时，先保持导体棒通电部分的长度不变，改变电流的大小；然后保持电流的大小不变，改变导体棒通电部分的长度。每次实验导体棒在场内同一位置平衡时，悬线与竖直方向的夹角记为 θ，其侧视图如图乙所示。



甲　　乙

图 12

（1）下列说法正确的是_____。

A. 该实验探究了电流大小以及磁感应强度大小对安培力的影响

B. 该实验探究了磁感应强度大小以及通电导体棒长度对安培力的影响

C. 如果把接入电路的导体棒从 1、4 两端换成 2、3 两端，则 θ 减小

D. 如果把磁铁的 N 极和 S 极对调，则 θ 增大

（2）若把电流为 I 且接通 2、3 时，导体棒受到的安培力记为 F，则当电流加倍且接通 1、4 时，导体棒的安培力为_____。

14.（8 分）图 13 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，A 为电流表，S 为开关。此外还有细沙、天平、刻度尺和若干轻质导线。

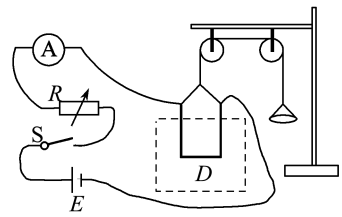


图 13

完成下列主要实验步骤中的填空：

（1）① 按图接线。

② 保持开关 S 断开，在轻质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_____，并用天平称出此时细沙的质量 m_2。

④ 用刻度尺测量 D 的底边长度 L。

（2）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 $B=$_____。

（3）判定磁感应强度方向的方法是：若_____，磁感应强度方向垂直纸面向外；反之，磁感应强度方向垂直纸面向里。

15.（8 分）如图 14 所示，在水平地面上固定一对与水平面夹角为 α 的光滑平行导电轨道，轨道间的距离为 l。两轨道底端的连线与轨道垂直，顶端接有电源（未画出）。将一根质量为 m 的直导体棒 ab 放在两轨道上，且两轨道垂直。通过导体棒的恒定电流大小为 I。若重力加速度为 g，在轨道所在空间加一竖直向上的匀强磁场，使导体棒在轨道上保持静止，则：

（1）请判断通过导体棒的恒定电流的方向；

（2）磁场对导体棒的安培力的大小；

（3）如果改变导轨所在空间的磁场方向，试确定使导体棒在轨道上保持静止的匀强磁场磁感应强度 B 的最小值的大小和方向。

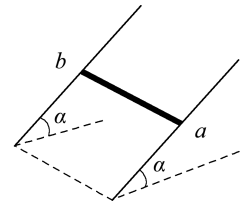


图 14

山东科学技术出版社

16.（8 分）如图 15 所示，初速度为零的负离子经电势差为 U 的匀强电场加速后，从离子枪 T 中水平射出，经过一段路程后进入水平放置的距离为 d 的两平行金属板 MN 和 PQ 之间，离子所经空间存在着磁感应强度为 B 的匀强磁场。不考虑离子重力作用，离子的荷质比 $\frac{q}{m}$ 在什么范围内，离子才能打在金属板 PQ 上？

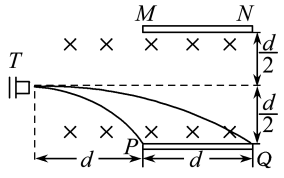


图 15

17.（14 分）如图 16 所示，空间存在垂直于 xOy 平面向里的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B。在坐标系内有一个以坐标原点为圆心，半径为 R 的圆形区域。一质量为 m，电荷量为 $q(q>0)$ 的带电粒子以一定的初速度从坐标 $(2R,0)$ 处沿 y 轴正向射入磁场。求：

（1）粒子不能进入圆形区域的速度范围；

（2）粒子进入圆形区域运动的最长时间。

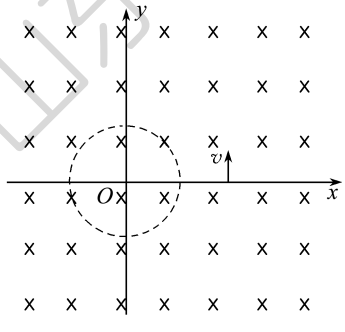


图 16

18.（16 分）如图 17 所示，在平面直角坐标系 xOy 中，第一象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场，第四象限存在垂直于坐标平面向外的匀强磁场。一质量为 m、电荷量为 q 的带正电的粒子从 y 轴正半轴上的 M 点以速度 v_0 垂直于 y 轴射入电场，经 x 轴上的 N 点射入磁场，最后从 y 轴负半轴上的 P 点垂直于 y 轴射出磁场。已知 $OM=\frac{3}{2}L$，$ON=\sqrt{3}L$，不计粒子重力，求：

（1）电场强度大小 E；

（2）带电粒子从 N 点进入磁场时的速度大小和方向；

（3）磁感应强度大小 B。

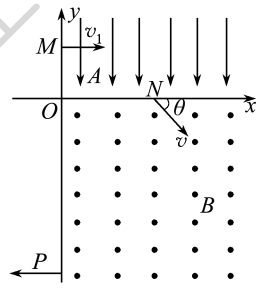


图 17

山东科学技术出版社

第 2 章　电磁感应及其应用

第1节　科学探究：感应电流的方向

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能完成“探究影响感应电流方向的因素”实验。

2. 理解楞次定律的内涵，并能灵活运用楞次定律和右手定则判断感应电流的方向。

3. 能从能量的视角分析解释楞次定律，能恰当使用证据解释生产生活中的电磁现象。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、探究影响感应电流方向的因素

1. 如图 2-1-1 所示，磁铁插入或拔出线圈的过程中，线圈中产生_____。

2. 实验现象：感应电流的磁场跟磁铁的磁场方向有时_____，有时_____。

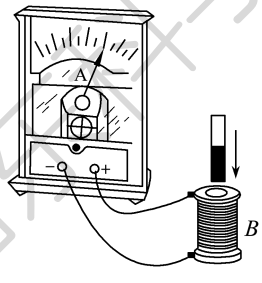


图 2-1-1

3. 归纳总结：感应电流的磁场总是_____通过线圈磁通量的变化。

二、楞次定律

由以上实验可知，感应电流具有这样的方向，感应电流的_____总要_____引起感应电流的_____。

三、右手定则

右手定则：伸开右手，让拇指与其余四指_____，且都与手掌在同一个平面内，让磁感线垂直穿过手心，使_____指向导体运动的方向，这时_____所指的方向就是感应电流的方向。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 闭合回路内只要有磁通量，就有感应电流产生。（　　）

2. 感应电流产生的磁场一定与引起感应电流的磁场方向相同。（　　）

3. 楞次定律表明感应电流的效果总与引起感应电流的原因对抗。（　　）

4. 从能量转化和守恒的角度看，外力总要克服磁体和线圈之间的相互作用做功。（　　）

课堂合作探究　深度解析疑难

一、探究影响感应电流方向的因素

根据图 2-1-2 甲、乙、丙、丁所示进行实验操作，并填好实验表格。

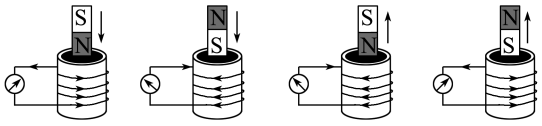


图 2-1-2

	甲	乙	丙	丁
条形磁铁运动的情况	N 极向下插入线圈	S 极向下插入线圈	N 极向上拔出线圈	S 极向上拔出线圈
原磁场方向（“向上”或“向下”）				
穿过线圈的磁通量变化情况（“增加”或“减少”）				
感应电流的方向（在螺线管上方俯视）	逆时针	顺时针	顺时针	逆时针

山东科学技术出版社

（续表）

感应电流的磁场方向（“向上”或“向下”）				
原磁场与感应电流磁场的方向关系				

请根据上表所填内容理解：甲、乙两种情况下，磁通量都_____，感应电流的磁场方向与原磁场方向_____；丙、丁两种情况下，磁通量都_____，感应电流的磁场方向与原磁场方向_____。

素养提升

感应电流的方向跟线圈内磁通量变化的关系很难概括，因为二者并无直接联系。我们可以寻找一个“中介”，这个“中介”既与感应电流有关，也与原磁场有关，这个中介就是“感应电流的磁场”。

典型例题

例1　（1）在“研究电磁感应现象”的实验中：为了研究感应电流的方向，图 2-1-3 中滑动变阻器和电源的连线已经画出，请将图中实物连成实验所需的电路图。

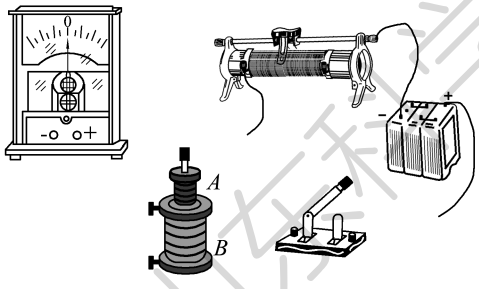


图 2-1-3

（2）连接好实验电路后，闭合开关，发现电流计的指针向右偏，则在闭合开关后，把螺线管 A 插入螺线管 B 的过程中，电流表的指针将_____（填“向左”“向右”或“不”）偏转。

（3）闭合开关后，线圈 A 放在 B 中不动，在滑动变阻器的滑片 P 向右滑动的过程中，电流表指针将_____（填“向左”“向右”或“不”）偏转。

（4）闭合开关后，线圈 A 放在 B 中不动，在突然断开 S 时，线圈 B 中产生的感应电流方向与线圈 A 中的电流方向_____（填“相同”或“相反”）。

变式训练 1　（多选）如图 2-1-4 所示，在同一铁芯上有 A 和 C 两个线圈，其中 A 线圈与滑动变阻器、电源、开关相连，C 线圈两端与灵敏电流计相连，开关闭合瞬间，灵敏电流计指针向右偏转，下列操作能使灵敏电流计向左偏转的是　（　　）

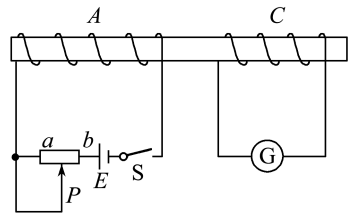


图 2-1-4

A. 开关 S 闭合后，变阻器滑片 P 向左滑动

B. 开关 S 闭合后，变阻器滑片 P 向右滑动

C. 开关 S 闭合后，变阻器滑片 P 保持不动

D. 开关 S 断开的瞬间

二、楞次定律的理解和应用

深度学习

1. 对楞次定律的理解

（1）因果关系：闭合回路中磁通量的变化是产生感应电流的原因，结果是出现了感应电流。

（2）楞次定律中两磁场间的关系：闭合回路中有两个磁场，一是引起感应电流的磁场，即原磁场；二是感应电流产生的磁场。当引起感应电流的磁通量（原磁场磁通量）增加时，感应电流产生的磁场要阻碍它的增加，两个磁场方向相反；原磁场磁通量减少时，感应电流产生的磁场阻碍它的减少，两个磁场方向相同。

（3）楞次定律中“阻碍”的含义

① 谁阻碍——感应电流产生的磁场。

② 阻碍谁——阻碍引起感应电流的磁通量的变化。

③ 如何阻碍——当原磁场磁通量增加时，感应电流产生的磁场方向与原磁场方向相反；当原磁场磁通量减少时，感应电流产生的磁场方向与原磁场方向相同。

④ 阻碍效果——阻碍并不是阻止，只是延缓了磁通量的变化，这样变化将持续进行，最终结果增加的还是增加，减少的还是减少。

⑤ “阻碍”的表现形式：从磁通量的角度看，感应电流的效果是阻碍磁通量的变化；从相对运动的角度看，感应电流的效果是阻碍相对运动。

（4）从能量视角理解楞次定律

在电磁感应现象中，感应电流的能量（电能）不是凭空产生的，而是从其他形式的能量转化来的，如图 2-1-5 所示，当条形磁铁靠近线圈时，线圈中

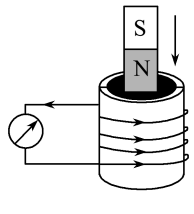


图 2-1-5

山东科学技术出版社

产生图示方向的感应电流，这个感应电流对条形磁铁产生斥力，阻碍其靠近，必有外力克服这个斥力做功，它才能靠近线圈；当条形磁铁离开线圈时，感应电流与图中所示电流方向相反，这个感应电流对条形磁铁产生引力，阻碍其离开，必有外力克服这个引力做功，它才能离开线圈；这里外力做功的过程就是其他形式的能转化为电能的过程。由此可见，楞次定律中的“阻碍”作用，正是能量守恒定律的反映，在克服这种“阻碍”的过程中，其他形式的能量转化为电能。

2. 应用楞次定律判断感应电流方向的一般步骤是：

（1）明确所研究的闭合回路，判断原磁场的方向；

（2）判断闭合回路内原磁场的磁通量的变化情况；

（3）由楞次定律判断感应电流的磁场方向；

（4）由安培定则根据感应电流的磁场方向，判断出感应电流的方向。

以上步骤可概括为四句话：“明确增减和方向，增反减同切莫忘，安培定则来判断，四指环绕是流向”。

典型例题

例2 某磁场的磁感线如图 2-1-6 所示，有一闭合铝质线圈自图示位置 A 落至位置 B，在下落的过程中，自上向下看，铝质线圈中的感应电流方向是（　　）

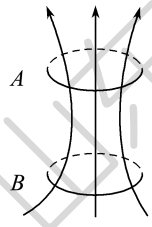


图 2-1-6

A. 先顺时针方向，再逆时针方向

B. 先逆时针方向，再顺时针方向

C. 始终顺时针方向

D. 始终逆时针方向

变式训练 2 如图 2-1-7 所示，圆环形导体线圈 a 平放在水平桌面上，在 a 的正上方固定一竖直螺线管，二者轴线重合，螺线管与电源和滑动变阻器连接成如图所示的电路。若将滑动变阻器的滑片 P 向下滑动，则下列说法正确的是（　　）

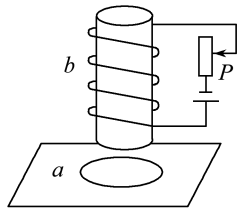


图 2-1-7

A. 线圈 a 中将产生顺时针方向（俯视）的感应电流

B. 穿过线圈 a 的磁通量变小

C. 线圈 a 有扩张的趋势

D. 线圈 a 对水平桌面的压力 F_N 将增大

三、右手定则

导学探究

如图 2-1-8 所示，导体棒 ab 向右做切割磁感线运动，导体棒中感应电流方向是 $a\to b$ 还是 $b\to a$？在图中标出方向。

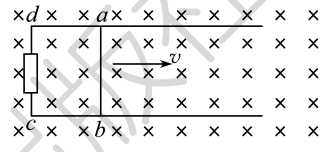


图 2-1-8

垂直放入磁场中的通电导体受到的安培力、磁感线方向、电流方向两两垂直，我们可以用左手定则来判定安培力方向；当闭合电路的一部分导体切割磁感线时，感应电流的方向、磁感线方向、导体运动方向也满足两两垂直的关系，怎样用右手来判定感应电流的方向？

深度学习

1. 右手定则和楞次定律都可用来判断感应电流的方向，两种方法本质是相同的，但是研究对象和适用范围有所不同：右手定则研究的是切割磁感线的局部导体，而楞次定律的研究对象是磁通量发生变化的整个闭合回路。导体不切割时，只能用楞次定律。

2. 在应用右手定则判断感应电流方向时应注意以下两点。

（1）导体棒切割磁感线，既可以是导体运动而磁场未动，也可以是导体未动而磁场运动，还可以是二者以不同速度同时运动，故大拇指所指的方向应该是导体相对磁场的运动方向。

（2）四指指向电流方向，切割磁感线的导体相当于电源。

典型例题

例3 如图 2-1-9 所示，$CDEF$ 是金属框，金属框上

山东科学技术出版社

垂直放置一根金属棒 AB，棒与金属框接触良好，整个装置放在匀强磁场中。当金属棒向右移动时，下列说法正确的是　　（　　）

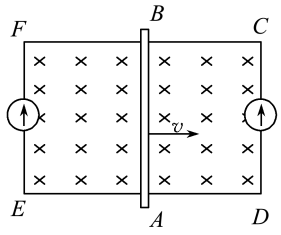


图 2-1-9

A. 穿过框的磁通量不变，框内没有感应电流
B. 框内有感应电流，电流方向沿顺时针方向绕行
C. 框内有感应电流，电流方向沿逆时针方向绕行
D. 框内有感应电流，左半边逆时针方向绕行，右半边顺时针方向绕行

素养提升

左手定则和右手定则很容易混淆，为了便于区分，可把两定则简单地总结为“通电受力用左手，运动生电用右手”。

变式训练 3　如图 2-1-10 所示，金属棒 ab、金属导轨和螺线管组成闭合回路，金属棒 ab 在匀强磁场 B 中沿导轨向右运动，则　　（　　）

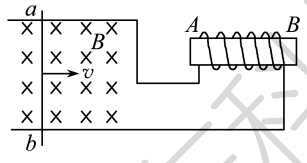


图 2-1-10

A. ab 棒不受安培力作用
B. ab 棒所受安培力的方向向右
C. ab 棒中感应电流的方向由 b 到 a
D. 螺线管产生的磁场，A 端为 N 极

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 如图 2-1-11 所示，套在条形磁铁外的三个线圈，其面积 $S_1>S_2=S_3$，线圈 1、2 在同一位置，线圈 3 在磁铁的正中间。设各线圈中的磁通量依次为 Φ_1、Φ_2、Φ_3，则它们的大小关系是　　（　　）

A. $\Phi_1>\Phi_2>\Phi_3$
B. $\Phi_1>\Phi_2=\Phi_3$
C. $\Phi_1<\Phi_2<\Phi_3$
D. $\Phi_1<\Phi_2=\Phi_3$

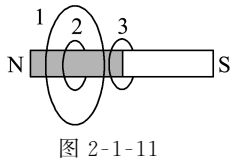


图 2-1-11

2. （多选）如图 2-1-12 所示，一根长导线弯曲成 U 形，通以直流电流 I，正中间用绝缘线悬挂一金属环 C，环与导线处于同一竖直平面内。在电流 I 增大的过程中，下列判断正确的是　　（　　）

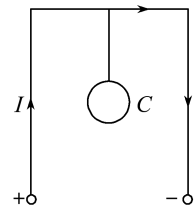


图 2-1-12

A. 金属环 C 中无感应电流产生
B. 金属环 C 中有逆时针方向的感应电流
C. 悬挂金属环 C 的竖直线的拉力大于环的重力
D. 悬挂金属环 C 的竖直线的拉力小于环的重力

3. 电阻 R、电容 C 与一个线圈连成闭合回路，条形磁铁静止在线圈的正上方，N 极朝下，如图 2-1-13 所示，现使磁铁开始自由下落，在 N 极接近线圈上端过程中，流过 R 的电流方向和电容器极板的带电情况是　　（　　）

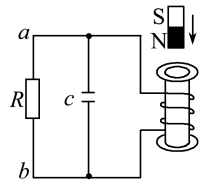


图 2-1-13

A. 从 a 到 b，上极板带正电
B. 从 a 到 b，下极板带正电
C. 从 b 到 a，上极板带正电
D. 从 b 到 a，下极板带正电

4. （多选）如图 2-1-14 所示，光滑平行金属导轨 PP' 和 QQ' 都处于同一水平面内，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 中感应电流方向和它所受安培力方向的说法正确的是　　（　　）

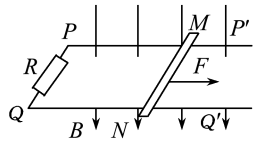


图 2-1-14

A. 感应电流方向是 $N\to M$
B. 感应电流方向是 $M\to N$
C. 安培力水平向左
D. 安培力水平向右

山东科学技术出版社

5. 如图 2-1-15 所示，导线框 $abcd$ 所在平面略高于导线 AB，直导线 AB 中通有恒定电流，当线框由左向右匀速通过直导线上方的过程中，线框中感应电流的方向是 （ ）

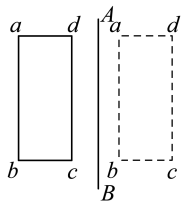


图 2-1-15

A. 先 $abcda$，再 $dcbad$，后 $abcda$

B. 先 $abcda$，后 $dcbad$

C. 始终是 $dcbad$

D. 先 $dcbad$，再 $abcda$，后 $dcbad$

6. 如图 2-1-16 甲所示的装置，它由一块安装在列车车头底部的强磁体和埋设在轨道地面的一组线圈及电流测量记录仪组成（测量记录仪未画出）。当列车经过线圈上方时，线圈中产生的电流被记录下来，P、Q 为接测量仪器的端口。若俯视轨道平面，磁场垂直地面向里（如图乙），则在列车经过测量线圈的过程中，流经线圈的电流方向 （ ）

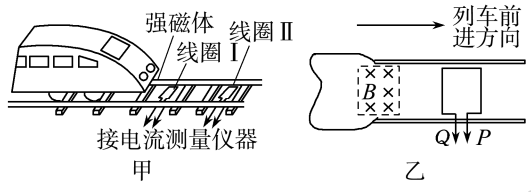


图 2-1-16

A. 始终沿逆时针方向

B. 先沿逆时针，再沿顺时针方向

C. 先沿顺时针，再沿逆时针方向

D. 始终沿顺时针方向

7. 如图 2-1-17 甲所示，两个闭合圆形线圈 A、B 圆心重合，放在同一水平面内，线圈 A 中通以如图乙所示的变化电流，$t=0$ 时电流的方向为顺时针（如图中箭头所示），在 $t_1\sim t_2$ 时间内，对于线圈 B，下列说法正确的是 （ ）

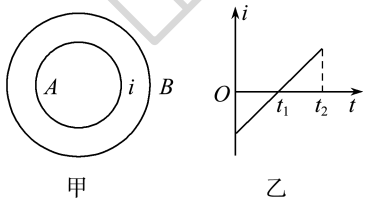


图 2-1-17

A. 线圈 B 内有顺时针方向的电流，线圈有扩张的趋势

B. 线圈 B 内有顺时针方向的电流，线圈有收缩的趋势

C. 线圈 B 内有逆时针方向的电流，线圈有扩张的趋势

D. 线圈 B 内有逆时针方向的电流，线圈有收缩的趋势

能力进阶

8. （多选）研究性学习小组的同学设计的防止电梯坠落的应急安全装置如图 2-1-18 所示，在电梯轿厢上安装永久磁铁，电梯的井壁上铺设线圈，能在电梯突然坠落时减小对人的伤害。关于该装置，下列说法正确的是 （ ）

A. 当电梯突然坠落时，该安全装置可起到阻碍电梯下落的作用

B. 当电梯突然坠落时，该安全装置可使电梯停在空中

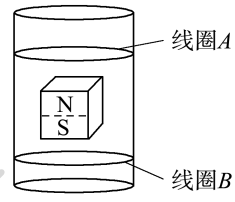


图 2-1-18

C. 当电梯坠落至永久磁铁在图示位置时，闭合线圈 A、B 中电流方向相同

D. 当电梯坠落至永久磁铁在图示位置时，闭合线圈 A、B 都在阻碍电梯下落

9. 如图 2-1-19 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 （ ）

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

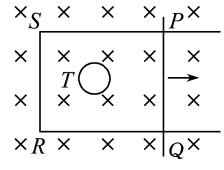


图 2-1-19

D. $PQRS$ 中沿逆时针方向，T 中沿顺时针方向

10. 一长直铁芯上绕有一固定线圈 M，铁芯右端与一木质圆柱密接，木质圆柱上套有一闭合金属环 N，N 可在木质圆柱上无摩擦移动，M 连接在如图 2-1-20 所示的电路中，其中 R 为滑动变阻器，E_1 和 E_2 为直流电流，S 为单刀双掷开关，下列情况中，可观测到 N 向左运动的是 （ ）

A. 在 S 断开的情况下，S 向 a 闭合的瞬间

B. 在 S 断开的情况下，S 向 b 闭合的瞬间

C. 在 S 已向 a 闭合的情况下，将 R 的滑片向 c 端移动时

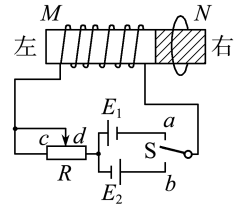


图 2-1-20

D. 在 S 已向 a 闭合的情况下，将 R 的滑片向 d 端移动时

山东科学技术出版社

第2节　法拉第电磁感应定律

基于核心素养　定位课堂目标

1. 理解法拉第电磁感应定律的内涵，能运用电磁感应定律解释生产生活中电磁技术的应用。

2. 能用磁感线与匀强磁场等模型综合分析电磁感应问题，能用电路分析电磁感应问题，能解释生产生活中的电磁现象。具有与电磁感应定律相关的相互作用观念和能量观念。

3. 通过法拉第电磁感应定律的应用，能体会科学家的不断创造推动了社会进步；能体会法拉第电磁感应定律等物理定律之美；能体会电磁感应技术的应用对人类生活和社会发展的影响。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、感应电动势

1. 概念

在电磁感应现象中，若闭合回路中有感应电流，则必然存在_____，这种在电磁感应现象中产生的电动势被称为_____。产生感应电动势的那部分导体相当于_____。

2. 实验与探究

感应电动势是由闭合回路中_____的变化产生的。如图 2-2-1 所示。

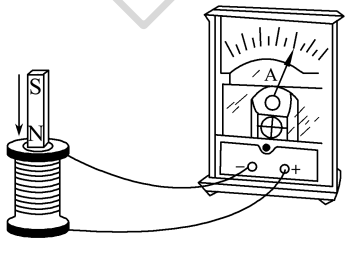


图 2-2-1

(1) 若条形磁铁插入线圈时，灵敏电流计指针向右偏转；则拔出线圈时，灵敏电流计指针应向_____偏转。

(2) 快速将条形磁铁插入线圈时，灵敏电流计指针偏角比较_____(填“大”或“小”)；缓慢将条形磁铁插入线圈时，灵敏电流计指针偏角比较_____(填“大”或“小”)。

二、法拉第电磁感应定律

1. 内容：电路中感应电动势的大小与穿过这一电路的磁通量的_____成正比。

2. 表达式：_____(单匝)；_____(多匝)。

在国际单位制中，感应电动势 E 的单位是_____；磁通量 Φ 的单位是_____；时间 t 的单位是_____。

3. 感应电动势是_____(填“矢量”或“标量”)，但有_____。其方向规定为：从电源的_____经过电源内部指向电源的_____，与电源内部_____方向一致。

三、导体棒切割磁感线

1. 导体棒在匀强磁场中运动，如图 2-2-2 甲所示，B、l、v 两两垂直时，E=_____。

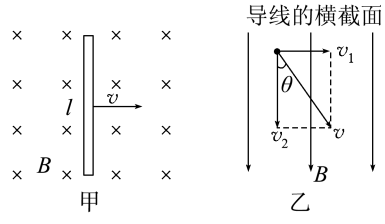


图 2-2-2

2. 如图 2-2-2 乙所示，导体棒的运动方向与导体棒本身垂直，但与磁感线方向夹角为 θ 时，感应电动势 E=_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 回路中的磁场越强，感应电动势越大。　(　　)
2. 回路中的磁通量越大，感应电动势越大。(　　)
3. 回路中磁通量变化越快，感应电动势越大。(　　)
4. 产生感应电流则一定产生感应电动势；产生感应电动势则一定产生感应电流。　(　　)
5. 磁通量与线圈匝数无关，感应电动势与线圈匝数有关。　(　　)
6. 导体棒在磁场中运动时一定产生感应电动势。(　　)

山东科学技术出版社

课堂合作探究 深度解析疑难

一、法拉第电磁感应定律

深度学习

对法拉第电磁感应定律的理解：

(1) 感应电动势 E 的大小取决于穿过该电路的磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，而与 Φ、$\Delta\Phi$ 的大小没有必然联系，与电路中的电阻无关；感应电流的大小和回路总电阻 R 有关。

(2) 磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 是 Φ-t 图像上某点切线的斜率。

(3) 在高中阶段所涉及的磁通量发生变化通常有两种情况：一是磁感应强度 B 不变，垂直于磁场的回路面积发生变化，$\Delta S=|S_2-S_1|$，此时 $E=nB\frac{\Delta S}{\Delta t}$；二是垂直于磁场的回路面积 S 不变，磁感应强度发生变化，$\Delta B=|B_2-B_1|$，此时 $E=nS\frac{\Delta B}{\Delta t}$，其中 S 为线圈在磁场范围内的有效面积，$\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 为磁感应强度的变化率，等于 B-t 图像上某点切线的斜率。

典型例题

例1 (多选)关于感应电动势、磁通量、磁通量的变化量，下列说法正确的是 ( )

A. 穿过回路的磁通量越大，磁通量的变化量不一定越大，回路中的感应电动势也不一定越大

B. 穿过回路的磁通量的变化量与线圈的匝数无关，回路中的感应电动势与线圈的匝数有关

C. 穿过回路的磁通量的变化率为 0，回路中的感应电动势一定为 0

D. 某一时刻穿过回路的磁通量为 0，回路中的感应电动势一定为 0

素养提升

磁通量的变化率有以下四种等效的说法：磁通量的变化量与发生这些变化所用时间的比值；单位时间内磁通量的变化量；在 Φ-t 图像中，图线的斜率表示磁通量的变化率；磁通量变化的快慢。

变式训练 1 有一匝数为 100 匝的闭合线圈，单匝线圈的面积为 100 cm^2。线圈的总电阻为 0.1 Ω，线圈中磁场均匀变化，其变化规律为 $B=0.2+0.1t$ (T)，且磁场方向垂直于线圈平面向里，则线圈中产生的感应电动势多大？感应电流多大？

二、导线切割磁感线时的感应电动势

导学探究

如图 2-2-3 所示，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，矩形线框 $abcd$ 平面与磁感线垂直，设线框中可移动部分 ab 的长度为 l，以速率 v 匀速向右做垂直磁感线运动。请利用法拉第电磁感应定律求回路中产生的感应电动势。

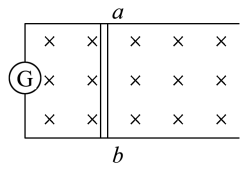


图 2-2-3

深度学习

(1) 对公式 $E=Blv\sin\theta$ 的理解：

① 该公式可看成法拉第电磁感应定律的一个推论，通常用来求导线运动速度为 v 时的瞬时感应电动势，随着 v 的变化，E 也相应变化；若 v 为平均速度，则 E 也为平均感应电动势。

② 当 B、l、v 三个量方向互相垂直时，$\theta=90°$，感应电动势最大，$E=Blv$；当有任意两个量的方向互相平行时，$\theta=0°$，感应电动势为零，$E=0$。

(2) 公式中的 l 应理解为导线切割磁感线时的有效长度。如果导线不和磁场垂直，l 应是导线在垂直磁场方向投影的长度；如果切割磁感线的导线是弯曲的，l 应取导线两端点的连线在与 B 和 v 都垂直的直线上的投影长度。例如，如图 2-2-4 所示的三幅图中切割磁感线的导线是弯曲的，则切割磁感线的有效长度应取与 B 和 v 垂直的等效直线长度，即 ab 的长。

山东科学技术出版社

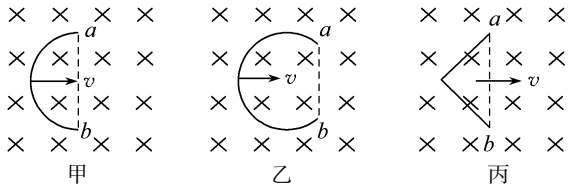


图 2-2-4

(3) 导体转动切割磁感线产生的感应电动势：如图 2-2-5 所示，当导体绕一端匀速转动时，导体上各点的速度不同，自圆心向外随着半径的增大，速度是均匀增加的，所以导体运动的平均速度为$\overline{v}=\frac{0+\omega l}{2}=\frac{\omega l}{2}$，由公式$E=Bl\overline{v}$得，$E=Bl\frac{\omega l}{2}=\frac{1}{2}Bl^2\omega$。

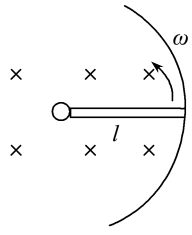


图 2-2-5

典型例题

例2　如图 2-2-6 所示，MN、PQ 为两条平行的水平放置的金属导轨，左端接有定值电阻 R，金属棒 ab 斜放在两导轨之间，与导轨接触良好，磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直于导轨平面。设金属棒与两导轨接触点之间的距离为 L，金属棒与导轨间夹角为 60°，以速度 v 水平向右匀速运动，不计导轨和金属棒的电阻，则流过金属棒中的电流为（　　）

A. $I=\frac{BLv}{R}$

B. $I=\frac{\sqrt{3}BLv}{2R}$

C. $I=\frac{BLv}{2R}$

D. $I=\frac{\sqrt{3}BLv}{3R}$

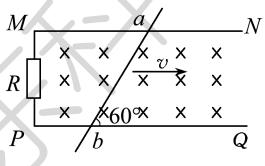


图 2-2-6

变式训练 2　如图 2-2-7 所示，在竖直向下的匀强磁场中，将一个水平放置的金属棒 ab 以水平初速度 v_0 抛出，设运动的整个过程中棒的取向不变且不计空气阻力，则金属棒在运动过程中产生的感应电动势大小将（　　）

A. 越来越大　　B. 越来越小

C. 保持不变　　D. 无法确定

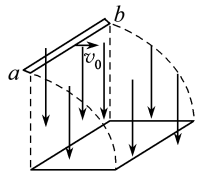


图 2-2-7

素养提升

随时间变化的磁场在空间激发出感生电场（或称为涡旋电场），感生电场对自由电荷的作用力充当了非静电力，使自由电荷运动起来，形成了电流，或者说产生了感生电动势。

在不随时间变化的磁场 B 中，导体中的自由电荷因导体以速度 v 运动而受到的洛伦兹力，是产生动生电动势的非静电力。

三、两公式的简单应用

深度学习

公式 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 与 $E=Blv\sin\theta$ 的区别与联系：

	$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$	$E=Blv\sin\theta$
区别	求的是 Δt 时间内的平均感应电动势，E 与某段时间或某个过程相对应	求的是瞬时感应电动势，E 与某个时刻或某个位置相对应
	求的是整个电路的感应电动势，整个电路的感应电动势为零时，其电路中某段导体的感应电动势不一定为零	求的是电路中的一部分导体切割磁感线时产生的感应电动势
	由于是整个电路的感应电动势，因此电源部分不容易确定	由一部分导体切割磁感线的运动产生的，该部分导体就相当于电源
联系	公式 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 和 $E=Blv\sin\theta$ 是统一的，当 $\Delta t\to 0$ 时，E 为瞬时感应电动势，只是由于高中数学知识所限，现在还不能这样求瞬时感应电动势，而公式 $E=Blv\sin\theta$ 中的 v 若代入平均速度，则求出的 E 为平均感应电动势	

典型例题

例3　如图 2-2-8 甲所示的螺线管，匝数 $n=1\,500$ 匝，横截面积 $S=20\ \text{cm}^2$，电阻 $r=1.5\ \Omega$，与螺线管串联的外电阻 $R_1=3.5\ \Omega$，$R_2=25\ \Omega$，方向向右穿过螺线管的匀强磁场的磁感应强度按图乙所示规律变化，试计算电阻 R_2 的电功率。

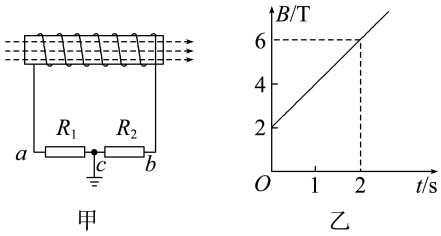


图 2-2-8

山东科学技术出版社

素养提升

（1）本题 S 不变，B 均匀变化，会根据图像求 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$。

（2）螺线管的作用相当于电源。

变式训练 3 长为 l 的金属棒 ab 以 a 点为轴在垂直于匀强磁场的平面内以角速度 ω 做匀速转动，如图 2-2-9 所示，磁感应强度为 B，则：

（1）ab 两端的电势差为多大？

（2）经时间 Δt，金属棒 ab 所扫过面积的磁通量为多少？此过程中平均感应电动势多大？

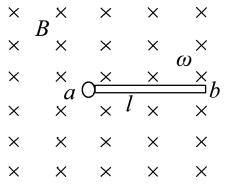


图 2-2-9

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 下列家电或设备利用了电磁感应定律的是（　　）

A. 电热水壺　　B. 交流发电机

C. 电热毯　　D. 电风扇

2. 如图 2-2-10 所示，在垂直于纸面的范围足够大的匀强磁场中，有一个矩形线圈 $abcd$，线圈平面与磁场垂直，O_1O_2 是线圈的对称轴，应使线圈怎样运动才能使其产生感生电流（　　）

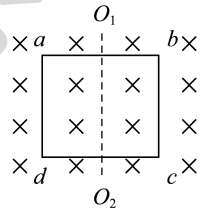


图 2-2-10

A. 线圈向右匀速移动

B. 线圈向右加速移动

C. 线圈垂直于纸面向里平动

D. 线圈绕 O_1O_2 轴转动

3. 法拉第通过精心设计的一系列实验，发现了电磁感应定律，将历史上认为各自独立的学科“电学”与“磁学”联系起来。在下列几个典型的实验设计思想中，所作的推论后来被实验否定的是（　　）

A. 既然磁铁可使近旁的铁块带磁，静电荷可使近旁的导体表面感应出电荷，那么静止导线上的稳恒电流也可在近旁静止的线圈中感应出电流

B. 既然磁铁可在近旁运动的导体中感应出电动势，那么稳恒电流也可在近旁运动的线圈中感应出电流

C. 既然运动的磁铁可在近旁静止的线圈中感应出电流，那么静止的磁铁也可在近旁运动的导体中感应出电动势

D. 既然运动的磁铁可在近旁的导体中感应出电动势，那么运动导线上的稳恒电流也可在近旁的线圈中感应出电流

4. 如图 2-2-11 所示，边长为 L 的正方形导线框 $abcd$，处在磁感应强度为 B 的匀强磁场中，线框平面与磁场方向垂直，磁场区域足够大。当线框以垂直于 dc 边的速度 v 在线框平面内运动，线框中磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 和 c、d 两点间的电势差 U_{cd} 分别是（　　）

A. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0$，$U_{cd}=0$

B. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=BLv$，$U_{cd}=BLv$

C. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=0$，$U_{cd}=-BLv$

D. $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=BLv$，$U_{cd}=-BLv$

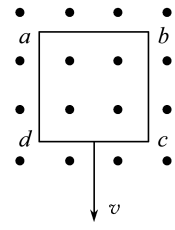


图 2-2-11

5.（多选）空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场，其边界如图 2-2-12 甲中虚线 MN 所示，一硬质细导线的电阻率为 ρ、横截面积为 S，将该导线做成半径为 r 的圆环固定在纸面内，圆心 O 在 MN 上。$t=0$ 时磁感应强度的方向如图甲所示，磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图乙所示，则在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内（　　）

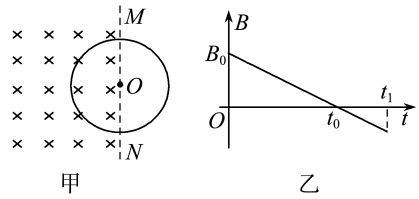


图 2-2-12

A. 圆环所受安培力的方向始终不变

B. 圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

C. 圆环中的感应电流大小为 $\frac{B_0rS}{4t_0\rho}$

D. 圆环中的感应电动势大小为 $\frac{B_0\pi r^2}{4t_0}$

山东科学技术出版社

6. （多选）某地的地磁场磁感应强度的竖直分量方向向下，大小为 4.5×10^{-5} T。一灵敏电压表连接在当地入海河段的两岸，河宽 100 m，该河段涨潮和落潮时有海水（视为导体）流过。设落潮时，海水自西向东流，流速为 2 m/s。下列说法正确的是（　　）

A. 河北岸的电势较高

B. 河南岸的电势较高

C. 电压表记录的电压为 9 mV

D. 电压表记录的电压为 5 mV

7. 如图 2-2-13 所示，纸面内有一矩形导体闭合线框 $abcd$，置于垂直纸面向里的有界匀强磁场之外，线框的 ab 边与磁场的边界 MN 重合。现用外力将线框拉入磁场中，经过时间 $\Delta t=0.4$ s，线框恰好全部进入磁场，穿过线框的磁通量由 $\Phi_1=0$ 变为 $\Phi_2=0.2$ Wb。则在线框进入磁场的过程中：

（1）线框中是否有感应电流产生？

（2）求穿过线框的磁通量变化量 $\Delta\Phi$。

（3）求线框中产生的平均感应电动势 E。

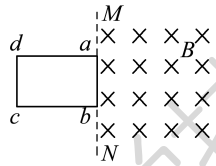


图 2-2-13

能力进阶

8. 如图 2-2-14 所示，匀强磁场中有一由半圆弧及其直径构成的导线框，半圆直径与磁场边缘重合；磁场方向垂直于半圆面（纸面）向里，磁感应强度大小为 B_0。使该线框从静止开始绕过圆心 O、垂直于半圆面的轴以角速度 ω 匀速转动半周，在线框中产生感应电流。现使线框保持图中所示位置，磁感应强度大小随时间线性变化。为了产生与线框转动半周过程中同样大小的电流，磁感应强度随时间的变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 的大小应为（　　）

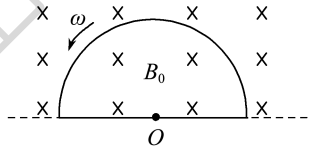


图 2-2-14

A. $\frac{4\omega B_0}{\pi}$　　B. $\frac{2\omega B_0}{\pi}$　　C. $\frac{\omega B_0}{\pi}$　　D. $\frac{\omega B_0}{2\pi}$

9. （多选）两条平行虚线间存在一匀强磁场，磁感应强度方向与纸面垂直。边长为 0.1 m、总电阻为 0.005 Ω 的正方形导线框 $abcd$ 位于纸面内，cd 边与磁场边界平行，如图 2-2-15 甲所示。已知导线框一直向右做匀速直线运动，cd 边于 $t=0$ 时刻进入磁场。线框中感应电动势随时间变化的图线如图乙所示（感应电流的方向为顺时针时，感应电动势取正）。下列说法正确的是（　　）

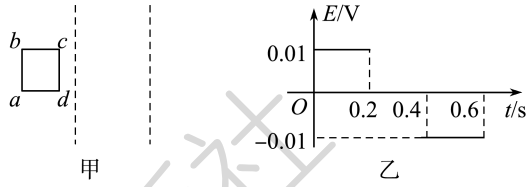


图 2-2-15

A. 磁感应强度的大小为 0.5 T

B. 导线框运动速度的大小为 0.5 m/s

C. 磁感应强度的方向垂直于纸面向外

D. 在 $t=0.4$ s 至 $t=0.6$ s 这段时间内，导线框所受的安培力大小为 0.1 N

10. （多选）法拉第圆盘发电机的示意图如图 2-2-16 所示。铜圆盘安装在竖直的铜轴上，两铜片 P、Q 分别与圆盘的边缘和铜轴接触，圆盘处于方向竖直向上的匀强磁场 B 中。圆盘旋转时，关于流过电阻 R 的电流，下列说法正确的是（　　）

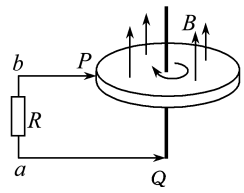


图 2-2-16

A. 若圆盘转动的角速度恒定，则电流大小恒定

B. 若从上向下看，圆盘顺时针转动，则电流沿 a 到 b 的方向流动

C. 若圆盘转动方向不变，角速度大小发生变化，则电流方向可能发生变化

D. 若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍，则电流在 R 上的热功率也变为原来的 2 倍

11. 如图 2-2-17 所示，质量 $m_1=0.1$ kg，电阻 $R_1=0.3$ Ω，长度 $l=0.4$ m 的导体棒 ab 横放在 U 形金属框架上。框架质量 $m_2=0.2$ kg，放在绝缘水平面上，与水平面间的动摩擦因数 $\mu=0.2$，相距 0.4 m 的 MM'、NN' 相互平行，电阻不计且足够长。电阻 $R_2=0.1$ Ω 的 MN 垂直于 MM'。

山东科学技术出版社

整个装置处于竖直向上的匀强磁场中，磁感应强度$B=0.5\ \mathrm{T}$。垂直于ab施加$F=2\ \mathrm{N}$的水平恒力，ab从静止开始无摩擦地运动，始终与MM'、NN'保持良好接触。当ab运动到某处时，框架开始运动。设框架与水平面间最大静摩擦力等于滑动摩擦力，取$g=10\ \mathrm{m/s^2}$。

(1) 求框架开始运动时ab速度v的大小；

(2) 从ab开始运动到框架开始运动的过程中，MN上产生的热量$Q=0.1\ \mathrm{J}$，求该过程ab位移x的大小。

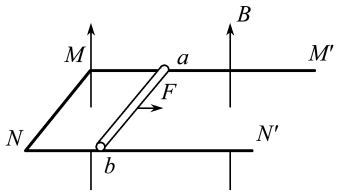


图 2-2-17

【小微专题　电磁感应与电荷量】

闭合回路中磁通量发生变化时，电荷发生定向移动而形成感应电流，在Δt内迁移的电荷量(感应电荷量)$q=I\cdot\Delta t=\dfrac{E}{R_{总}}\cdot\Delta t=n\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}\cdot\dfrac{1}{R_{总}}\cdot\Delta t=\dfrac{n\Delta\Phi}{R_{总}}$。

(1) 从上式可知，线圈匝数一定时，感应电荷量仅由回路电阻和磁通量的变化量决定，与时间无关。

(2) 求解电路中通过的电荷量时，I、E均为平均值。

1. 如图 2-2-18 所示，将一个闭合金属圆环从有界磁场中匀速拉出，第一次速度为v，通过金属圆环某一横截面的电荷量为q_1，第二次速度为$2v$，通过金属圆环某一横截面的电荷量为q_2，则 (　　)

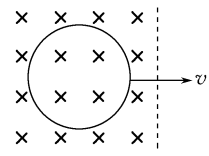


图 2-2-18

A. $q_1:q_2=1:2$　　B. $q_1:q_2=1:4$

C. $q_1:q_2=1:1$　　D. $q_1:q_2=2:1$

2. 如图 2-2-19 所示，空间存在垂直于纸面的匀强磁场，在半径为a的圆形区域内部及外部，磁场方向相反，磁感应强度的大小均为B。一半径为$b(b>a)$、电阻为R的圆形导线环放置在纸面内，其圆心与圆形区域的中心重合。当内、外磁场同时由B均匀地减小到零的过程中，通过导线环截面的电荷量为 (　　)

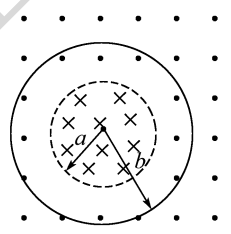


图 2-2-19

A. $\dfrac{\pi B|b^2-2a^2|}{R}$

B. $\dfrac{\pi B(b^2+2a^2)}{R}$

C. $\dfrac{\pi B(b^2-a^2)}{R}$

D. $\dfrac{\pi B(b^2+a^2)}{R}$

第3节　自感现象与涡流

基于核心素养　定位课堂目标

1. 了解自感现象和涡流现象。

2. 了解自感系数的物理意义和决定因素。

3. 能说明自感现象与涡流现象在生产生活中的应用。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、自感和自感电动势

1. 自感现象：由线圈_____所产生的电磁感应现象称为自感现象。

2. 自感电动势：自感现象中产生的_____称为自感电动势。

中国科学技术出版社

3. 自感电动势对电流的作用：当线圈中的电流增大时，自感电动势_____电流的增大，自感电动势方向与原电流方向_____；当线圈中电流减小时，自感电动势_____电流减小，自感电动势方向与原电流方向_____。

4. 自感电动势大小：E=_____，式中 L 是比例系数，叫作自感系数，简称_____或_____。单位是_____简称_____。常用较小单位还有毫亨(mH)和微亨(μH)。1 mH=_____H，1 μH =_____H。

5. 自感系数的决定因素：线圈的形状、_____、_____、_____、是否有铁芯等。

6. 自感现象的应用：广播电台和电视台的无线电设备、电焊等。

二、涡流及其应用

1. 定义：放在变化的磁场中的导体，由于电磁感应，在金属块内部就会产生感应电流，这种电流在金属块内部形成_____，就像旋涡一样，因此叫作涡电流，简称涡流。

2. 应用

(1) 涡流_____效应的应用：如电磁炉。

(2) 涡流_____效应的应用：安检门、金属探测器。

3. 防止：为防止变压器、电动机、发电机的铁芯因涡流损失大量电能，应增大铁芯材料的_____。用相互绝缘的薄硅钢片叠成铁芯代替整块硅钢铁芯。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 当线圈中电流不变时，线圈中没有自感电动势。(　　)

2. 当线圈中电流减小时，线圈中自感电动势的方向与线圈中电流方向相反。(　　)

3. 线圈的自感系数的大小与线圈中通入电流的大小有关。(　　)

4. 涡流是因为穿过导体的磁通量变化而产生的。(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

一、自感现象

导学探究

实验 1：通电自感

如图 2-3-1 所示，A_1、A_2 是规格完全一样的灯泡。闭合开关 S，调节变阻器 R，使 A_1、A_2 亮度相同，再调节 R_1，使两灯正常发光，然后断开开关 S。重新闭合 S，观察到什么现象？思考为什么两灯泡发光情况不同？

实验 2：断电自感

如图 2-3-2 所示，接通电路，灯泡 A 正常发光。然后断开电路，观察到什么现象？为什么会出现这种现象？

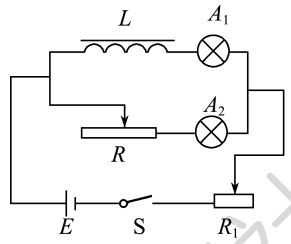


图 2-3-1

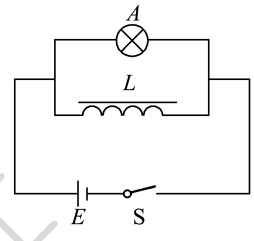
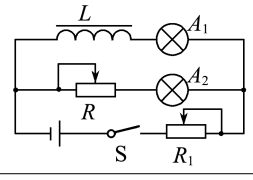
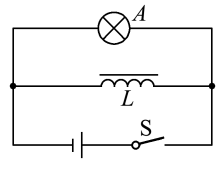


图 2-3-2

总结上述两个实验得出什么结论？

深度学习

	通电自感	断电自感
电路图		
器材要求	A_1、A_2 同规格，$R=R_L$，L 较大(有铁芯)	L 很大(有铁芯)
现象	在 S 闭合的瞬间，A_2 灯立即亮起来，A_1 灯逐渐变亮，最终一样亮	在开关 S 断开时，灯 A 渐渐熄灭或突然闪亮一下后再渐渐熄灭
原因	由于开关闭合时，流过电感线圈的电流迅速增大，使线圈产生自感电动势，阻碍了电流的增大，使流过 A_1 灯的电流比流过 A_2 灯的电流增加得慢	断开开关 S 时，流过线圈 L 的电流减小，产生自感电动势，阻碍了电流的减小，使电流继续存在一段时间；在 S 断开后，通过 L 的电流反向通过灯 A，若 $R_L<R_A$，原来的 $I_L>I_A$，则 A 灯熄灭前要闪亮一下。若 $R_L\geqslant R_A$，原来的电流 $I_L\leqslant I_A$，则灯 A 逐渐熄灭不再闪亮一下
能量转化	电能转化为磁场能	磁场能转化为电能

山东科学技术出版社

典型例题

例1 （多选）如图 2-3-3 所示，a、b 灯分别标有“3.6 V 2.5 W”和“3.6 V 4.0 W”字样。闭合开关，调节滑动变阻器 R，能使灯泡 a、b 都正常发光。断开开关后重做实验，则 （ ）

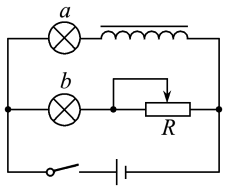


图 2-3-3

A. 闭合开关，a 将慢慢亮起来，b 立即发光

B. 闭合开关，a、b 同时发光

C. 断开开关，a、b 都逐渐熄灭

D. 断开开关，a 逐渐熄灭，b 灯闪亮一下再熄灭

变式训练 1 如图 2-3-4 所示的电路中，S 闭合且稳定后流过电感线圈的电流是 2 A，流过灯泡的电流是 1 A，现将 S 突然断开，S 断开前后，能正确反映流过灯泡的电流 i 随时间 t 变化关系的图像是 （ ）

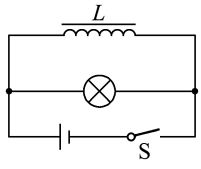
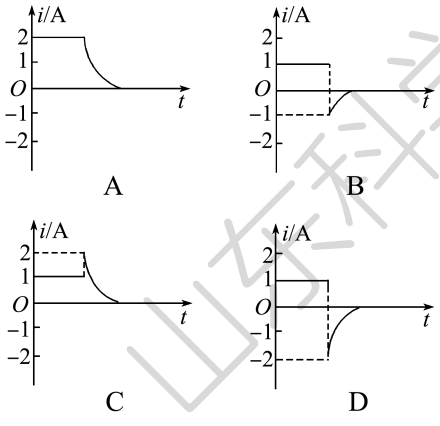


图 2-3-4



素养提升

自感现象的“三种状态”“一个特点”

（1）三种状态

① 线圈通电瞬间可把自感线圈看成断路。

② 断电时，若自感线圈能组成闭合回路，自感线圈中电流由原值逐渐减小，不能发生突变，而且电流方向也不变；若自感线圈不能组成闭合回路，自感线圈中电流立即变为 0。

③ 电流稳定后，自感线圈相当于一般导体，理想线圈的电阻为 0，相当于短路。

（2）一个特点

在发生自感现象时，电流不发生“突变”。

二、涡流

深度学习

1. 对涡流的理解

涡流现象的本质是电磁感应现象，涡流与一般导体或线圈的最大区别是金属块内自成闭合回路，但它同样遵循法拉第电磁感应定律。

2. 能量变化

伴随着涡流现象，其他形式的能转化成电能并最终在金属块中转化成内能。

（1）如果把金属块放在变化的磁场中，则磁场能转化为电能并最终转化为内能。

（2）如果让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并最终转化为内能。

典型例题

例2 （多选）如图 2-3-5 所示，在线圈正上方放置一盛有冷水的金属杯，现接通交流电源，几分钟后，杯中的水沸腾起来，t_0 时刻的电流方向已在图中标出，且此时电流正在增大，则下列关于把水烧开的过程中发生的电磁感应现象的说法正确的有 （ ）

A. 金属杯中产生涡流，涡流的热效应使水沸腾起来

B. t_0 时刻，从上往下看，金属杯中的涡流沿顺时针方向

C. t_0 时刻，从上往下看，金属杯中的涡流沿逆时针方向

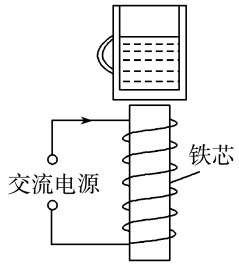


图 2-3-5

D. 将交流电源断开的瞬间，金属杯中的涡流也瞬间消失

变式训练 2 （多选）如图 2-3-6 所示，闭合金属环从光滑曲面上 h 高处滚下，又沿曲面的另一侧上升，设环的初速度为零，摩擦不计，曲面完全处在图中磁场中，则 （ ）

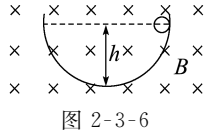


图 2-3-6

A. 若是匀强磁场，环上升的高度小于 h

B. 若是匀强磁场，环上升的高度等于 h

C. 若是非匀强磁场，环上升的高度等于 h

D. 若是非匀强磁场，环上升的高度小于 h

山东科学技术出版社

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. (多选)关于自感电动势的大小和方向,下列说法正确的是　(　　)
   A. 在自感系数一定的条件下,通过导体的电流越大,产生的自感电动势越大
   B. 在自感系数一定的条件下,通过导体的电流变化越快,产生的自感电动势越大
   C. 自感电动势的方向总与原电流的方向相反
   D. 当通过导体的电流减小时,自感电动势的方向与原电流方向相同

2. 如图 2-3-7 所示的电路中,电源的电动势为 E,内阻为 r,自感线圈 L 的直流电阻不计,电阻 R 的阻值大于灯泡 D 的阻值,在 $t=0$ 时刻闭合开关 S,经过一段时间后,在 $t=t_1$ 时刻断开开关 S,下列表示 A、B 两点间电压 U_{AB} 随时间 t 变化的图像正确的是　(　　)

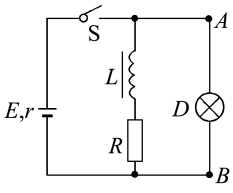
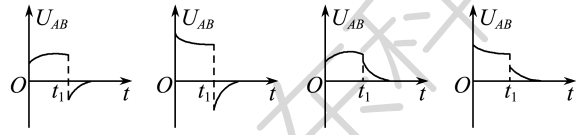


图 2-3-7



3. 下列关于线圈自感系数的说法错误的是　(　　)
   A. 自感电动势越大,自感系数也越大
   B. 把线圈中的铁芯抽出一些,自感系数减小
   C. 把线圈匝数增加一些,自感系数变大
   D. 电感是自感系数的简称

4. 如图 2-3-8 所示,将两端刮掉绝缘漆的导线绕在一把锉刀上,一端接上电池(电池另一极与锉刀接触),手执导线的另一端,将裸露的导线头在锉刀上来回划动,由于锉刀表面凹凸不平,就会产生电火花。下列说法正确的是　(　　)

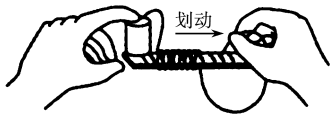


图 2-3-8

   A. 火花是由于摩擦生热引起的
   B. 若导线端只向一个方向划动也能产生电火花
   C. 要产生电火花,锉刀必须由铁磁性材料做成
   D. 事实上,导线另一端只要保持与锉刀良好接触而不滑动,也会产生电火花

5. (多选)如图 2-3-9 所示,L 是自感系数很大、电阻很小的线圈,若先闭合 S_1,再闭合 S_2,然后再断开 S_1,可能发生的情况是　(　　)

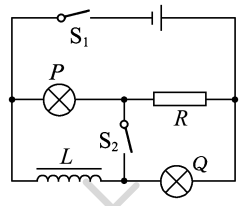


图 2-3-9

   A. S_1 闭合的瞬间,Q 灯逐渐亮起来
   B. 再闭合 S_2 稳定后,P 灯是暗的
   C. 断开 S_1 的瞬间,Q 灯立即熄灭,P 灯亮一下再熄灭
   D. 断开 S_1 的瞬间,P 灯和 Q 灯立即熄灭

6. (多选)如图 2-3-10 是磁控健身车的车轮处结构示意图,在金属飞轮的外侧有一些磁铁(与飞轮不接触),人用力蹬车带动飞轮旋转时,磁铁会对飞轮产生阻碍,拉动旋钮拉线可改变磁铁与飞轮间的距离。下列说法正确的是　(　　)

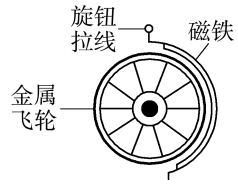


图 2-3-10

   A. 飞轮受到的阻力主要来源于磁铁对它的安培力
   B. 飞轮转速一定时,磁铁越靠近飞轮,飞轮受到的阻力越小
   C. 磁铁和飞轮间的距离一定时,飞轮转速越大,受到的阻力越小
   D. 磁铁和飞轮间的距离一定时,飞轮转速越大,内部的涡流越强

能力进阶

7. 如图 2-3-11 所示,两相同灯泡 A_1、A_2,A_1 与一理想二极管 D 连接,线圈 L 的直流电阻不计。下列说法正确的是　(　　)

山东科学技术出版社

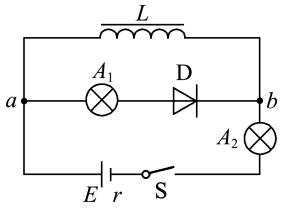


图 2-3-11

A. 闭合开关 S 后，A_1 会逐渐变亮

B. 闭合开关 S 稳定后，A_1、A_2 亮度相同

C. 断开 S 后，A_1 会逐渐熄灭

D. 断开 S 的瞬间，a 点的电势比 b 点低

8. (多选)用电流传感器研究自感现象的电路如图 2-3-12 甲所示，线圈 L 中未插入铁芯，直流电阻为 R。闭合开关 S，传感器记录了电路中电流 i 随时间 t 变化的关系图像，如图乙所示，t_0 时刻电路中电流达到稳定值 I。下列说法正确的是 (　　)

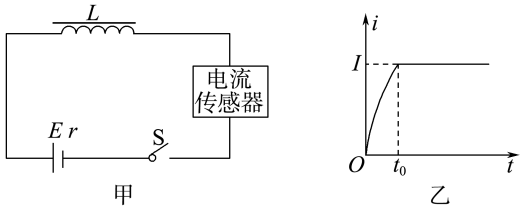


图 2-3-12

A. $t=t_0$ 时刻，线圈中自感电动势最大

B. 若线圈中插入铁芯，上述过程中电路中电流达到稳定值经历的时间大于 t_0

C. 若线圈中插入铁芯，上述过程中电路达到稳定时电流值仍为 I

D. 若将线圈匝数加倍，上述过程中电路达到稳定时电流值仍为 I

9. 图 2-3-13 中电感线圈 L 的直流电阻为 R_L，小灯泡的电阻为 R，小量程电流表 G_1、G_2 的内阻不计，当开关 S 闭合且稳定后，电流表 G_1、G_2 的指针均偏向右侧(电流表的零刻度在表盘的中央)，则当开关 S 断开时，下列说法正确的是 (　　)

A. G_1、G_2 的指针都立即回到零点

B. G_1 缓慢回到零点，G_2 立即左偏，然后缓慢回到零点

C. G_1 立即回到零点，G_2 缓慢回到零点

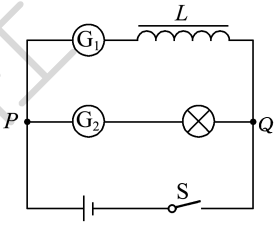


图 2-3-13

D. G_1 立即回到零点，G_2 缓慢回到零点

专题3　法拉第电磁感应定律的应用

基于核心素养　定位课堂目标

1. 掌握电磁感应现象中电路问题的分析方法和基本解题思路。

2. 综合应用楞次定律和法拉第电磁感应定律解决电磁感应中的图像问题。

3. 掌握电磁感应中动力学问题的分析方法。

4. 理解电磁感应过程中能量的转化情况，能用动量、能量的观点分析和解决电磁感应问题。

课堂合作探究　深度解析疑难

一、电磁感应中的电路问题

深度学习

解决电磁感应中的电路问题三步曲

1. 确定电源。切割磁感线的导体或磁通量发生变化的回路产生感应电动势，相当于“电源”，该部分导体(或线圈)的电阻相当于“内电阻”，其余部分是外电路。利用 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 或 $E=Blv$ 求感应电动势的大小，用楞次定律或右手定则确定感应电流的方向。在等效电源内部，电流方向从负极流向正极。

2. 分析电路结构(内、外电路及外电路的串、并联关系)，画出等效电路图。

3. 利用电路规律求解。主要应用欧姆定律及串、并联电路的基本性质等列式求解。

典型例题

例1　用均匀导线做成的正方形线框边长为 0.2 m，线框的一半放在垂直于纸面向里的匀强磁场中，如图 2-z-1 所示。当磁场以 10 T/s 的变化率增强时，线框中 a、b 两点间的电势差是 (　　)

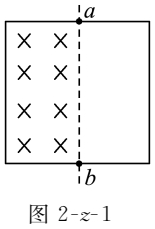


图 2-z-1

A. $U_{ab}=0.1$ V

B. $U_{ab}=-0.1$ V

山东科学技术出版社

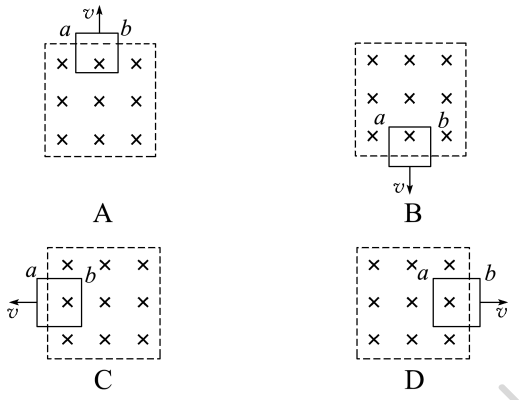
C. $U_{ab}=0.2$ V

D. $U_{ab}=-0.2$ V

素养提升

“电源”两端的电压为路端电压，一般不等于感应电动势的大小。

变式训练 1　粗细均匀的电阻丝围成的正方形线框置于有界匀强磁场中，磁场方向垂直于线框平面，其边界与正方形线框的边平行。现使线框以同样大小的速度沿四个不同方向平移出磁场，如图所示，则在移出过程中线框 a、b 两点间的电势差绝对值最大的是　（　　）



二、电磁感应中的图像问题

深度学习

电磁感应中的图像问题综合了法拉第电磁感应定律——计算感应电动势的大小、楞次定律——判断感应电流方向、运动学知识——判定运动时间以及作图能力，是对电磁感应知识的综合考查。如图 2-z-2 所示。

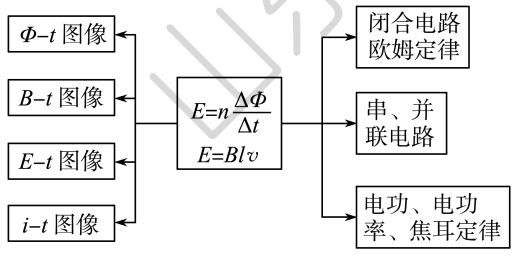


图 2-z-2

典型例题

例2　如图 2-z-3 甲所示，矩形线圈 $abcd$ 位于匀强磁场中，磁场方向垂直线圈所在平面，磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图乙所示。以图中箭头所示方向为线圈中感应电流 i 的正方向，以垂直于线圈所在平面向里为磁感应强度 B 的正方向，则下列图像中能正确表示线圈中感应电流 i 随时间 t 变化规律的是　（　　）

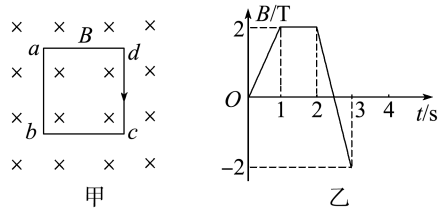
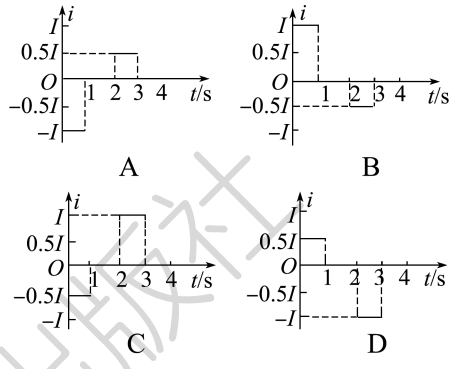


图 2-z-3



素养提升

解决电磁感应中的图像问题的步骤

1. 明确图像的种类，即是 B-t 图像还是 Φ-t 图像，或者 E-t 图像、i-t 图像等。

2. 分析电磁感应的具体过程。

3. 用右手定则或楞次定律确定方向对应关系。

4. 结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律等规律写出函数关系式。

5. 根据函数关系式，进行数学分析，如分析斜率的变化、截距等。

6. 画图像或判断图像。

变式训练 2　如图 2-z-4 所示，在空间中存在两个相邻的、磁感应强度大小相等、方向相反的有界匀强磁场，其宽度均为 L。现将宽度也为 L 的矩形闭合线圈，从图示位置垂直于磁场方向匀速拉过磁场区域，则在该过程中，能正确反映线圈中所产生的感应电流或其所受的外力随时间变化的图像是　（　　）

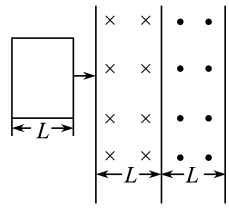
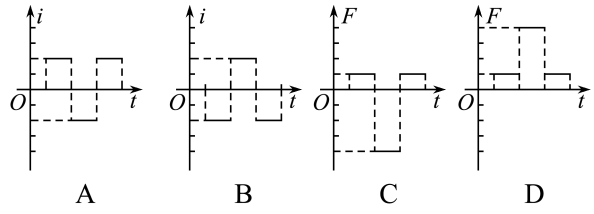


图 2-z-4



山东科学技术出版社

三、电磁感应中的动力学问题

深度学习

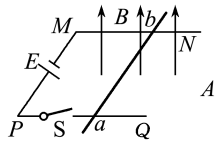
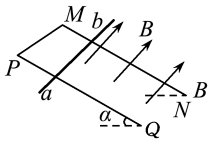
解决电磁感应中的动力学问题的一般思路是：

“先电后力”，即先做“源”的分析——分离出电路中由电磁感应所产生的电源，求出电源电动势 E 和内阻 r；

再进行“路”的分析——分析电路结构，弄清串、并联关系，求出相应部分的电流大小，以便求解安培力；

然后是“力”的分析——分析研究对象（常是金属杆、导体线圈等）的受力情况，尤其注意其所受的安培力；

最后进行“运动”状态的分析——根据力和运动的关系，判断出正确的运动模型。

类型	“电—动—电”型	“动—电—动”型
示意图	 棒 ab 长为 l，质量 m，电阻 R，导轨光滑，电阻不计	 棒 ab 长 l，质量 m，电阻 R，导轨光滑，电阻不计
分析	S闭合时，棒 ab 受安培力 $F=\frac{BlE}{R}$，此时 $a=\frac{BlE}{mR}$，棒 ab 速度 $v\uparrow\rightarrow$感应电动势 $Blv\uparrow\rightarrow$与电源电动势反接使回路中电流 $I\downarrow\rightarrow$安培力 $F=IlB\downarrow\rightarrow$加速度 $a\downarrow$，当安培力 $F=0$ 时，$a=0$，v 最大	棒 ab 释放后下滑，此时 $a=g\sin\alpha$，棒 ab 速度 $v\uparrow\rightarrow$感应电动势 $E=Blv\uparrow\rightarrow$电流 $I=\frac{E}{R}\uparrow\rightarrow$安培力 $F=IlB\uparrow\rightarrow$加速度 $a\downarrow$，当安培力 $F=mg\sin\alpha$ 时，$a=0$，v 最大
运动形式	变加速运动	变加速运动
最终状态	匀速运动 $v_{max}=\frac{E}{Bl}$	匀速运动 $v_{max}=\frac{mgR\sin\alpha}{B^2l^2}$

典型例题

例3 如图 2-z-5 所示，空间存在 $B=0.5$ T、方向竖直向下的匀强磁场，MN、PQ 是水平放置的平行长直导轨，其间距 $L=0.2$ m，电阻 $R=0.3\ \Omega$ 接在导轨一端，ab 是跨接在导轨上质量 $m=0.1$ kg、接入电路的电阻 $r=0.1\ \Omega$ 的导体棒，已知导体棒和导轨间的动摩擦因数为 0.2。从零时刻开始，对 ab 棒施加一个大小为 $F=0.45$ N、方向水平向左的恒定拉力，使其从静止开始沿导轨滑动，滑动过程中棒始终保持与导轨垂直且接触良好，取 $g=10\ \text{m/s}^2$。

(1) 求导体棒所能达到的最大速度的大小；

(2) 试定性画出导体棒运动的速度—时间图像。

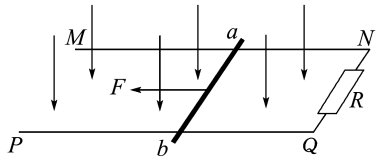


图 2-z-5

素养提升

电磁感应动力学问题中，要把握好受力情况、运动情况的动态分析。基本思路是：导体受外力运动 $\xrightarrow{E=Blv}$ 产生感应电动势 $\xrightarrow{I=\frac{E}{R+r}}$ 产生感应电流 $\xrightarrow{F=IlB}$ 导体受安培力 $\longrightarrow$ 合外力变化 $\xrightarrow{F_{合}=ma}$ 加速度变化 $\longrightarrow$ 速度变化 $\longrightarrow$ 感应电动势变化 $\cdots\cdots\rightarrow$ $a=0$，v 达到最大值。

变式训练 3 （多选）用一段横截面半径为 r、电阻率为 ρ、密度为 d 的均匀导体材料做成一个半径为 R（$r\ll R$）的圆环。圆环竖直向下落入如图 2-z-6 所示的径向磁场中，圆环的圆心始终在 N 极的轴线上，圆环所在位置的磁感应强度大小均为 B。圆环在加速下滑过程中某一时刻的速度为 v，忽略其他影响，则 （ ）

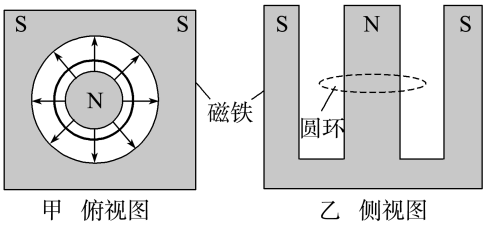


图 2-z-6

A. 此时在圆环中产生了（俯视）顺时针方向的感应电流

B. 圆环因受到了向下的安培力而加速下落

C. 此时圆环的加速度 $a=\frac{B^2v}{\rho d}$

D. 如果径向磁场足够长，则圆环的最大速度 $v_{max}=\frac{\rho dg}{B^2}$

山东科学技术出版社

四、电磁感应中的能量问题

深度学习

1. 电磁感应中能量的转化

电磁感应过程的实质是不同形式的能量相互转化的过程，其能量转化方式如图 2-z-7 所示。

图 2-z-7

2. 求解电磁感应现象中能量问题的一般思路

(1) 确定回路，分清电源和外电路。

(2) 分析清楚有哪些力做功，明确有哪些形式的能量发生了转化。如：

① 有滑动摩擦力做功，必有内能产生；

② 有重力做功，重力势能必然发生变化；

③ 克服安培力做功，必然有其他形式的能转化为电能，并且克服安培力做多少功，就产生多少电能，如果安培力做正功，就是电能转化为其他形式的能。

(3) 列动能定理或能量守恒定律方程求解。

典型例题

例4　(多选)如图 2-z-8 所示，竖直放置的两根足够长平行金属导轨相距为 L，导轨间接有一阻值为 R 的电阻，质量为 m，电阻为 r 的金属棒与两导轨始终保持垂直并良好接触，且无摩擦，整个装置放在匀强磁场中，磁场方向与导轨平面垂直，现将金属棒由静止释放，金属棒下落高度为 h 时开始做匀速运动，在此过程中　(　　)

A. 导体棒的最大速度为 $\sqrt{2gh}$

B. 通过电阻的电荷量为 $\dfrac{BLh}{R+r}$

C. 导体棒克服安培力做的功等于电阻 R 上产生的热量

D. 重力和安培力对导体棒做功的代数和等于导体棒动能的增加量

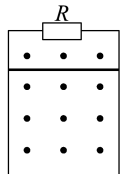


图 2-z-8

变式训练 4　如图 2-z-9 所示，MN、PQ 为足够长的平行金属导轨，间距 $L=0.50$ m，导轨平面与水平面间夹角 $\theta=37°$，N、Q 间连接一个电阻 $R=5.0\ \Omega$，匀强磁场垂直于导轨平面向上，磁感应强度 $B=1.0$ T。将一根质量为 $m=0.050$ kg 的金属棒放在导轨的 ab 位置，金属棒及导轨的电阻不计。现由静止释放金属棒，金属棒沿导轨向下运动过程中始终与导轨垂直，且与导轨接触良好。已知金属棒与导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.50$，当金属棒滑行至 cd 处时，其速度大小开始保持不变，位置 cd 与 ab 之间的距离 $s=2.0$ m。取 $g=10$ m/s^2，$\sin 37°=0.60$，$\cos 37°=0.80$。求：

(1) 金属棒沿导轨开始下滑时的加速度大小；

(2) 金属棒到达 cd 处的速度大小；

(3) 金属棒由位置 ab 运动到 cd 的过程中，电阻 R 产生的热量。

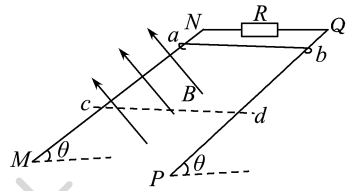


图 2-z-9

五、电磁感应中的动量问题

深度学习

1. 动量定理的应用

模型 1　棒变速切割：水平光滑导轨与电阻 R 连接，处在竖直向上的磁感应强度为 B 的匀强磁场中，一质量为 m、长为 L、电阻也为 R 的导体棒以速度 v_0 向右运动，如图 2-z-10 所示。

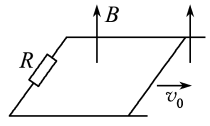


图 2-z-10

模型 2　框进出磁场：边长为 L 的正方形线框以初速度 v_0 沿光滑水平面进入宽度为 d、磁感应强度为 B 的有界匀强磁场中(如图 2-z-11 所示)。

上述模型中棒或框都在磁场中受安培力的作用而做变速运动，此时用牛顿运动定律或运动学公式无法求解，只能对棒或框运用动量定理求解。

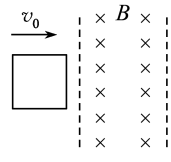


图 2-z-11

$$-F\Delta t=-mv_0,\ -ILB\cdot\Delta t=mv-mv_0,\ \bar{I}=\frac{q}{\Delta t}$$

所以 $q=\dfrac{mv-mv_0}{BL}$　①

而对回路利用法拉第电磁感应定律，有

$$\bar{E}=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t},\ \bar{I}=\frac{\bar{E}}{R},\ q=\bar{I}\cdot\Delta t$$

得 $q=\dfrac{\Delta\Phi}{R}=\dfrac{B\Delta S}{R}$　②

在此我们得到了截面电荷量的两种求解方法，再联立①②两式即可求出其他任意相关物理量，如任意时刻速度 v，位移 x 等。

2. 动量守恒定律的应用

如图 2-z-12 所示，在相互平行的水平轨道间的

山东科学技术出版社

双棒做切割磁感线运动时，由于这两根导体棒所受的安培力等大反向，合力为零，若不受其他外力，则两导体棒的总动量守恒，故解决此类问题往往应用动量守恒定律来处理。动量守恒定律的运用通常是两个或几个物体组成的一个系统，在确定研究对象时，必须全面分析研究对象（系统）的受力情况，必须满足动量守恒定律的条件才能应用动量守恒定律。

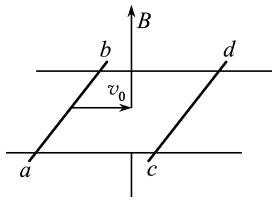


图 2-z-12

典型例题

例5 （多选）如图 2-z-13 所示，两根平行光滑金属导轨的间距为 $d=1$ m，导轨平面与水平面成 $\theta=30°$角，其底端接有阻值为 $R=2\ \Omega$ 的电阻，整个装置处在垂直斜面向上、磁感应强度大小为 $B=2$ T的匀强磁场中。一质量为 $m=1$ kg（质量分布均匀）的导体杆 ab 垂直于导轨放置，且与两导轨保持良好接触。现杆在沿导轨平面向上、垂直于杆的恒力 $F=10$ N 作用下从静止开始沿导轨向上运动，当运动距离为 $L=6$ m 时速度恰好达到最大（运动过程中杆始终与导轨保持垂直）。导体杆的电阻为 $r=2\ \Omega$，导轨电阻不计（取 $g=10\ \text{m/s}^2$）。在此过程中 （ ）

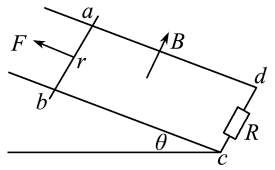


图 2-z-13

A. 导体杆的速度最大值为 5 m/s

B. 流过电阻 R 的电荷量为 6 C

C. 导体杆两端电压的最大值为 10 V

D. 安培力对导体杆的冲量大小为 6 N·s

变式训练 5 如图 2-z-14 所示，一个质量为 m、电阻不计、足够长的光滑 U 形金属框架 $MNQP$，位于光滑绝缘水平桌面上，平行导轨 MN 和 PQ 相距为 L。空间存在着足够大的方向竖直向下的匀强磁场，磁感应强度的大小为 B。另有质量也为 m 的金属棒 CD，垂直于 MN 放置在导轨上，并用一根与 CD 棒垂直的绝缘细线系在定点 A。已知细线能承受的最大拉力为 F_{T0}，CD 棒接入导轨间的有效电阻为 R。现从 $t=0$ 时刻开始对 U 形框架施加水平向右的拉力，使其从静止开始做加速度为 a 的匀加速直线运动。

（1）求从框架开始运动到细线断裂所需的时间 t_0 及细线断裂时框架的瞬时速度 v_0 大小；

（2）若在细线断裂时，立即撤去拉力，求此后过程中回路产生的总焦耳热 Q。

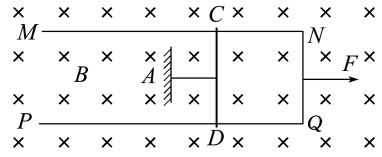


图 2-z-14

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 如图 2-z-15 所示，两光滑平行金属导轨间距为 L，直导线 MN 垂直跨在导轨上，且与导轨接触良好，整个装置处在垂直于纸面向里的匀强磁场中，磁感应强度为 B。电容器的电容为 C，除电阻 R 外，导轨和导线的电阻均不计。现给导线 MN 一初速度，使导线 MN 向右运动，当电路稳定后，MN 以速度 v 向右做匀速运动时 （ ）

A. 电容器两端的电压为零

B. 电阻两端的电压为 BLv

C. 电容器所带的电荷量为 $CBLv$

D. 为保持 MN 匀速运动，需对其施加的拉力大小为 $\dfrac{B^2L^2v}{R}$

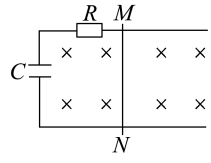


图 2-z-15

2. 如图 2-z-16 所示，在光滑水平桌面上有一边长为 L、电阻为 R 的正方形导线框；在导线框右侧有一宽度为 d（$d>L$）的条形匀强磁场区域，磁场的边界与导线框的一边平行，磁场方向竖直向下。导线框以某一初速度向右运动，$t=0$ 时导线框的右边恰与磁场的左边界重合，随后导线框进入并通过磁场区域。下列 v-t 图像中，可能正确描述上述过程的是 （ ）

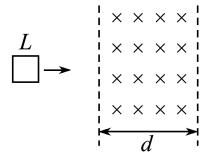
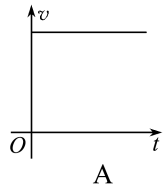
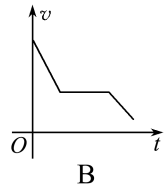


图 2-z-16

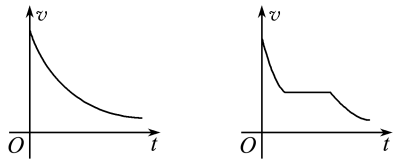


A



B

山东科学技术出版社



3. 一个矩形铜制线圈从高处自由下落，进入一水平的匀强磁场区域，然后穿出磁场区域继续下落，如图 2-z-17 所示，则（　　）

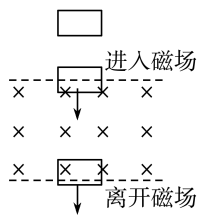


图 2-z-17

A. 若线圈进入磁场过程是匀速运动，则离开磁场过程也是匀速运动

B. 若线圈进入磁场过程是加速运动，则离开磁场过程也是加速运动

C. 若线圈进入磁场过程是减速运动，则离开磁场过程也是减速运动

D. 若线圈进入磁场过程是减速运动，则离开磁场过程是加速运动

4. 如图 2-z-18 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、接入电路的电阻也为 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（　　）

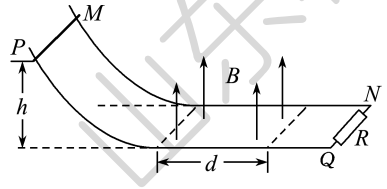


图 2-z-18

A. 流过金属棒的最大电流为 $\dfrac{Bd\sqrt{2gh}}{2R}$

B. 通过金属棒的电荷量为 $\dfrac{BdL}{R}$

C. 克服安培力所做的功为 mgh

D. 金属棒产生的焦耳热为 $\dfrac{1}{2}mg(h-\mu d)$

5.（多选）如图 2-z-19 所示，两根平行光滑金属导轨间距为 L，导轨电阻不计，下端 PQ 接有阻值为 R 的电阻，导轨平面与水平面的夹角为 θ，且处在磁感应强度大小为 B、方向垂直于导轨平面斜向上的匀强磁场中。一质量为 m、接入电路的电阻也为 R 的导体棒与固定弹簧相连后放在导轨上，静止时导体棒处于导轨的 MN 处。已知弹簧的劲度系数为 k，弹簧的中心轴线与导轨平行。现将导体棒从弹簧处于自然长度时由静止释放，整个运动过程中导体棒始终与导轨垂直并保持良好接触。则下列说法正确的是（　　）

A. 当导体棒沿导轨向下运动时流过电阻 R 的电流方向为由 P 到 Q

B. 当导体棒的速度最大时，弹簧的伸长量为 $\dfrac{mg\sin\theta}{k}$

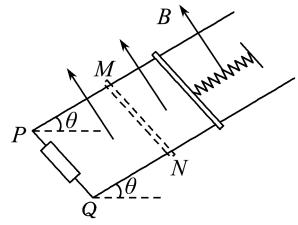


图 2-z-19

C. 导体棒最终静止时弹簧的弹性势能为 E_p，则导体棒从开始运动到停止运动的过程中，回路中产生的焦耳热为 $\dfrac{m^2g^2\sin^2\theta}{k}-E_p$

D. 若导体棒第一次运动到 MN 处时速度为 v，则此时导体棒的加速度大小为 $\dfrac{B^2L^2v}{2mR}$

6. 如图 2-z-20 甲所示，两根足够长的直金属导轨 MN、PQ 平行放置在倾角为 θ 的绝缘斜面上，两导轨间距为 L，M、P 两点间接有阻值为 R 的电阻，一根质量为 m 的均匀直金属杆 ab 放在两导轨上，并与导轨垂直，整套装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于斜面向下，导轨和金属杆的电阻可忽略，让 ab 杆沿导轨由静止开始下滑，导轨和金属杆接触良好，不计它们之间的摩擦。（重力加速度为 g）

（1）由 b 向 a 方向看到的装置如图乙所示，请在此图中画出 ab 杆下滑过程中某时刻的受力示意图；

（2）在加速下滑过程中，当 ab 杆的速度大小为 v 时，求此时 ab 杆中的电流及其加速度的大小；

（3）求在下滑过程中，ab 杆可以达到的速度最大值的大小。

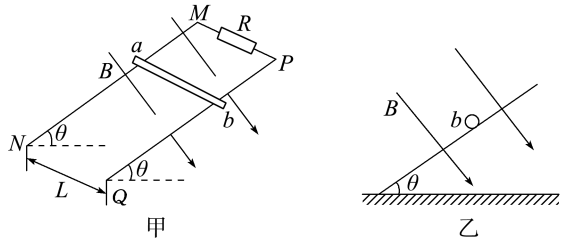


图 2-z-20

山东科学技术出版社

能力进阶

7. 如图 2-z-21 所示，在水平面（纸面）内有三根相同的均匀金属棒 ab、ac 和 MN，其中 ab、ac 在 a 点接触，构成“V”字形导轨，空间存在垂直于纸面的均匀磁场。用力使 MN 向右匀速运动，从图示位置开始计时，运动中 MN 始终与∠bac 的平分线垂直且和导轨保持良好接触。下列关于回路中电流 i 与时间 t 的关系图线，可能正确的是 （ ）

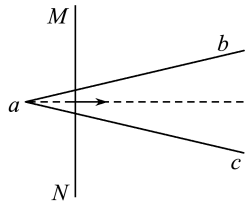
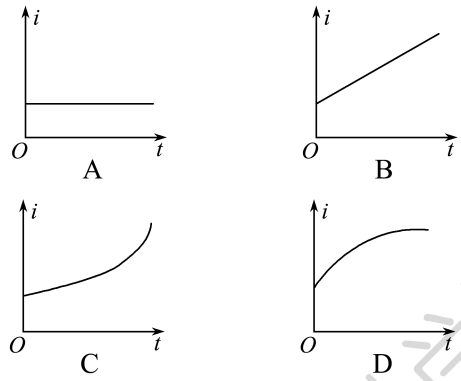


图 2-z-21



8. （多选）如图 2-z-22 所示，在光滑的水平面上方，有两个磁感应强度大小均为 B，方向相反的水平匀强磁场，PQ 为两个磁场的边界，磁场范围足够大。一个边长为 a、质量为 m、电阻为 R 的金属正方形线框，以速度 v 垂直磁场方向从如图所示实线位置Ⅰ开始向右运动，当线框运动到分别有一半面积在两个磁场中的位置Ⅱ时，线框的速度为 $\frac{v}{2}$。下列说法正确的是 （ ）

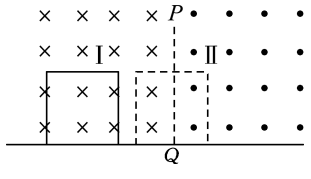


图 2-z-22

A. 在位置Ⅱ时线框中的电功率为 $\frac{B^2a^2v^2}{R}$

B. 此过程中回路产生的电能为 $\frac{3}{8}mv^2$

C. 在位置Ⅱ时线框的加速度为 $\frac{B^2a^2v}{2mR}$

D. 此过程中通过导线横截面的电荷量为 $\frac{2Ba^2}{R}$

9. （多选）如图 2-z-23 所示，在倾角为 θ 的斜面上固定两根足够长的光滑平行金属导轨 PQ、MN，相距为 L，导轨处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直导轨平面向下。有两根质量均为 m 的金属棒 a、b，先将 a 棒垂直导轨放置，用跨过光滑定滑轮的细线与物块 c 连接，连接 a 棒的细线平行于导轨，由静止释放 c，此后某时刻，将 b 也垂直导轨放置，a、c 此刻起做匀速运动，b 棒刚好能静止在导轨上。a 棒在运动过程中始终与导轨垂直，两棒与导轨接触良好，导轨电阻不计，则 （ ）

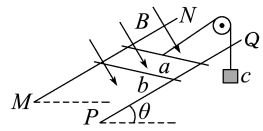


图 2-z-23

A. 物块 c 的质量是 $2m\sin\theta$

B. b 棒放上导轨前，物块 c 减少的重力势能等于 a、c 增加的动能

C. b 棒放上导轨后，物块 c 减少的重力势能等于回路消耗的电能

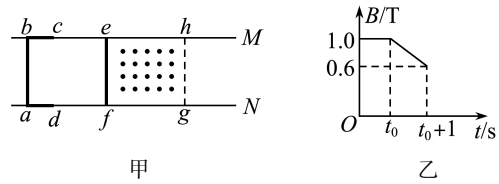
D. b 棒放上导轨后，a 棒中电流大小是 $\frac{mg\sin\theta}{BL}$

10. 如图 2-z-24 甲所示，光滑的水平绝缘轨道 M、N 上搁放着质量 $m_1=0.2$ kg、电阻 $R_1=0.02\ \Omega$ 的“[”形金属框 $dabc$，轨道间有一有界磁场，变化关系如图乙所示。一根长度等于 ab，质量 $m_2=0.1$ kg、$R_2=0.01\ \Omega$ 的金属棒 ef 搁在轨道上并静止在磁场的左边界上。已知轨道间距与 ab 长度相等，均为 $L_1=0.3$ m，$ad=bc=L_2=0.1$ m，其余电阻不计。0 时刻，给“[”形金属框一初速度 $v_0=3$ m/s，与金属棒碰撞后合在一起成为一闭合导电金属框（碰撞时间极短）。t_0 时刻整个框刚好全部进入磁场，(t_0+1) s 时刻，框右边刚要出磁场。求：

（1）碰撞结束时金属框的速度大小；

（2）0～t_0 时间内整个框产生的焦耳热；

（3）t_0～(t_0+1) s 时间内，安培力对 ab 边的冲量。



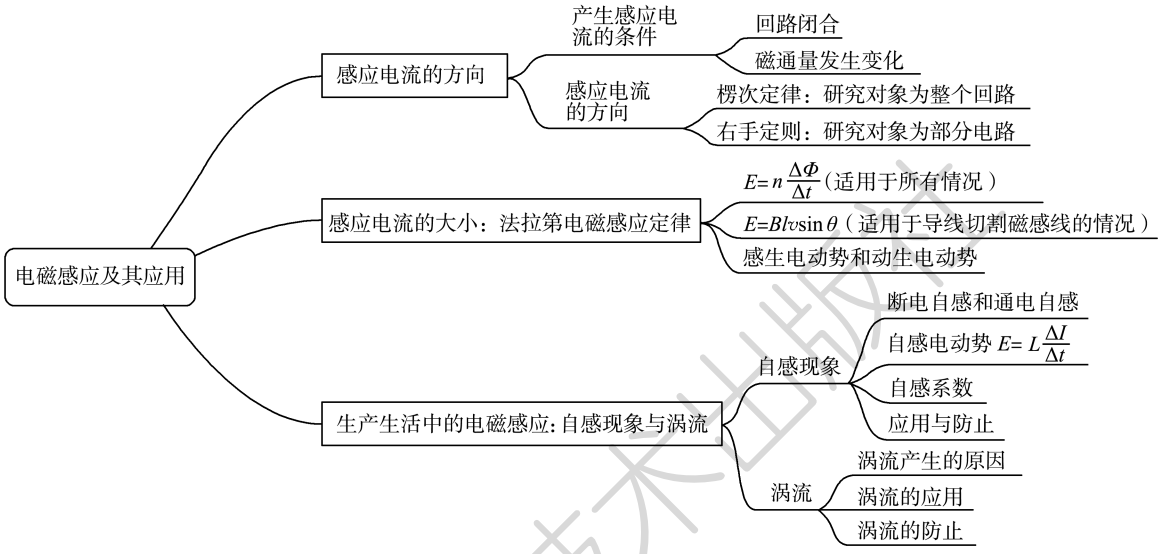
甲 乙

图 2-z-24

山东科学技术出版社

章末总结

知网建构



重点探究

一、楞次定律的重要结论

深度学习

1.“增反减同”法

感应电流的磁场总要阻碍引起感应电流的磁通量(原磁场磁通量)的变化。

(1) 当原磁场磁通量增加时,感应电流的磁场方向与原磁场方向相反。

(2) 当原磁场磁通量减少时,感应电流的磁场方向与原磁场方向相同。

口诀记为“增反减同”。

2.“来拒去留”法

由于磁场与导体的相对运动产生电磁感应现象时,产生的感应电流与磁场间有力的作用,这种力的作用会“阻碍”相对运动。

口诀记为“来拒去留”。

3.“增缩减扩”法

就闭合回路的面积而言,收缩或扩张是为了阻碍穿过电路的原磁通量的变化。若穿过闭合回路的磁通量增加,面积有收缩趋势;若穿过闭合回路的磁通量减少,面积有扩张趋势。

口诀记为“增缩减扩”。

说明:此法只适用于回路中只有一个方向的磁感线的情况。

4.“增离减靠”法

当磁场变化且线圈回路可移动时,由于磁场增强使得穿过线圈回路的磁通量增加,线圈将通过远离磁体来阻碍磁通量增加;反之,由于磁场减弱使线圈中的磁通量减少时,线圈将靠近磁体来阻碍磁通量减少。

口诀记为“增离减靠”。

典型例题

例1　如图 2-1 所示,当磁铁突然向铜环运动时,铜环的运动情况是　(　　)

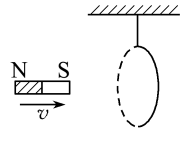


图 2-1

A. 向右摆动　　B. 向左摆动

C. 静止　　D. 无法判定

变式训练 1　(多选)如图 2-2 所示,闭合圆形金属环竖直固定,光滑水平导轨穿过圆环,条形磁铁沿导轨以初速度 v_0 向圆环运动,其轴线穿过圆环圆心,与环面垂直,则磁铁在穿过圆环的整个过程中,下

山东科学技术出版社

列说法正确的是(　　)

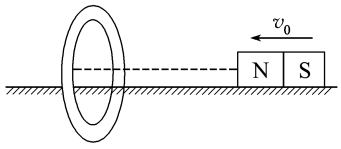


图 2-2

A. 磁铁靠近圆环的过程中,做加速运动
B. 磁铁靠近圆环的过程中,做减速运动
C. 磁铁远离圆环的过程中,做加速运动
D. 磁铁远离圆环的过程中,做减速运动

二、感应电动势的两种算法

深度学习

应用 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 或 $E=Blv$ 求感应电动势是本章的重点和难点知识,在解题时若能合理选取公式,将为解题带来极大的便利。弄清两个公式的区别和联系是突破这一难点的关键。二者相比:

1. 研究对象不同

$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 是研究一个回路;$E=Blv$ 是研究一段直导线(或能等效为直导线)。

2. 适用范围不同

$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 具有普遍性,无论什么方式引起 Φ 的变化都适用;而 $E=Blv$ 只适用于一段导线切割磁感线的情况。

3. 条件不同

$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 适用于任意磁场,不一定是匀强磁场;$E=Blv$ 只适用于匀强磁场。

4. 物理意义不同

$E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 求解的是 Δt 时间内的平均感应电动势;$E=Blv$ 既能求导体做切割磁感线运动的平均感应电动势(v 为平均速度),也能求瞬时感应电动势(v 为瞬时速度)。

典型例题

例2 如图 2-3 所示,一正方形线圈的匝数为 n,边长为 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 $2B$。在此过程中,线圈中产生的感应电动势为(　　)

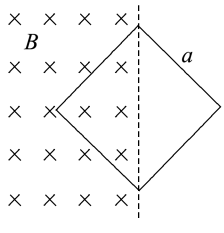


图 2-3

A. $\frac{Ba^2}{2\Delta t}$　　B. $\frac{nBa^2}{2\Delta t}$

C. $\frac{nBa^2}{\Delta t}$　　D. $\frac{2nBa^2}{\Delta t}$

变式训练 2 如图 2-4 所示的区域内有垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度为 B。电阻为 R、半径为 L、圆心角为 45°的扇形闭合导线框绕垂直于纸面的 O 轴以角速度 ω 匀速转动(O 轴位于磁场边界)。则线框进入磁场过程中产生的感应电流为(　　)

A. $\frac{BL^2\omega}{2R}$

B. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{2R}$

C. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{4R}$

D. $\frac{BL^2\omega}{4R}$

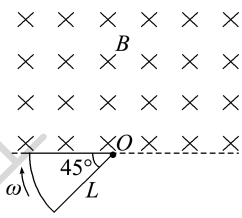


图 2-4

三、电磁感应现象的应用

典型例题

例3 (多选)如图 2-5 所示,在线圈上端放置一盛有冷水的金属杯,现接通交流电源,过了几分钟,杯内的水沸腾起来。若要缩短上述加热时间,下列措施可行的有(　　)

A. 增加线圈的匝数
B. 提高交流电源的频率
C. 将金属杯换为瓷杯
D. 取走线圈中的铁芯

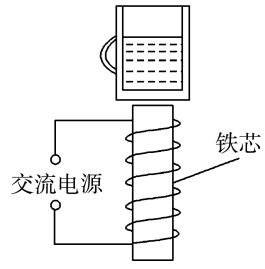


图 2-5

变式训练 3 如图 2-6 所示,在光滑的水平面上有一半径 $r=10$ cm、电阻 $R=1$ Ω、质量 $m=1$ kg 的金属环,以速度 $v=10$ m/s 向一有界磁场滑去,匀强磁场方向垂直于纸面向里,$B=0.5$ T,从环刚进入磁场算起,到刚好有一半进入磁场时,圆环释放了 32 J 的热量,求:

(1) 此时圆环中电流的瞬时功率;
(2) 此时圆环运动的加速度大小。

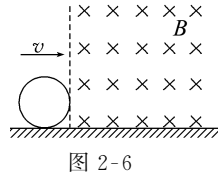


图 2-6

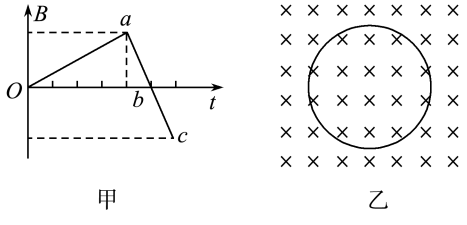
山东科学技术出版社

章末检测

（试卷满分 100 分，考试用时 90 分钟）

一、单项选择题：本题共 8 小题，每小题 3 分，共 24 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项是符合题目要求。

1. 航天员登月后想探测一下月球表面是否有磁场，他手边有一只灵敏电流表和一个小线圈，则下列推断正确的是（　　）
   A. 直接将电流表放于月球表面，看是否有示数来判断磁场有无
   B. 将电流表与线圈组成闭合回路，使线圈沿某一方向运动，如果电流表无示数，则判断月球表面无磁场
   C. 将电流表与线圈组成闭合回路，使线圈沿某一方向运动，如果电流表有示数，则可判断月球表面有磁场
   D. 将电流表与线圈组成闭合回路，使线圈在某个平面内沿两个互相垂直的方向运动，月球表面若有磁场，则电流表至少有一次示数不为零
2. 下列说法正确的是（　　）
   A. 电磁炉中的线圈通高频电流时，在铝金属锅上产生涡流，使锅体发热从而加热食物
   B. 磁电式电表的线圈常常用铝框做骨架，把线圈绕在铝框上，是为了防止电磁感应
   C. 精密线绕电阻常采用双线绕法，可以增强线绕电阻通电时产生的磁场
   D. 车站的安检门可以探测人身携带的金属物品，利用了电磁感应原理
3. 匀强磁场方向垂直纸面，规定向里的方向为正，磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律如图 1 甲所示。在磁场中有一细金属圆环，圆环平面位于纸面内，$t=0$ 时刻磁场的方向垂直纸面向里，如图乙所示，令 I_1、I_2、I_3 分别表示 Oa、ab、bc 段的感应电流，F_1、F_2、F_3 分别表示感应电流为 I_1、I_2、I_3 时金属圆环上很小一段受到的安培力，则（　　）



甲　　乙

图 1

   A. I_1 沿逆时针方向，I_2 沿顺时针方向
   B. I_2 沿逆时针方向，I_3 沿顺时针方向
   C. F_1 方向指向圆心，F_2 方向指向圆心
   D. F_2 方向背离圆心向外，F_3 方向背离圆心向外
4. 粗细均匀的电阻丝围成如图 2 所示的线框，置于正方形有界匀强磁场中，磁感应强度为 B，方向垂直于线框平面，图中 $ab=bc=2cd=2de=2ef=2fa=2L$。现使线框以同样大小的速度 v 匀速沿四个不同方向平动进入磁场，并且速度方向始终与线框先进入磁场的那条边垂直，则在通过如图所示位置时，下列说法正确的是（　　）

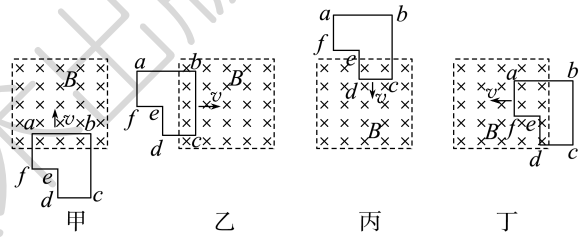


图 2

   A. ab 两点间的电势差图甲中最大
   B. ab 两点间的电势差图乙中最大
   C. 回路电流图丙中最大
   D. 回路电流图丁中最小
5. 两块水平放置的金属板间的距离为 d，用导线与一个 n 匝线圈相连，线圈电阻为 r，线圈中有竖直方向的磁场，电阻 R 与金属板连接，如图 3 所示，两板间有一个质量为 m、电荷量为 $+q$ 的油滴恰好处于静止状态。则线圈中的磁感应强度 B 的变化情况和磁通量的变化率分别是（　　）

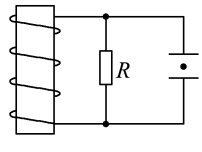


图 3

   A. 磁感应强度 B 竖直向上且正增强，$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{dmg}{nq}$
   B. 磁感应强度 B 竖直向下且正增强，$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{dmg}{nq}$
   C. 磁感应强度 B 竖直向上且正减弱，$\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\dfrac{dmg(R+r)}{nqR}$

山东科学技术出版社

D. 磁感应强度 B 竖直向下且正减弱，$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{dmgr(R+r)}{nqR}$

6. 如图 4 所示，一个闭合三角形导线框 ABC 位于竖直平面内，其下方（略靠前）固定一根与导线框平面平行的水平直导线，导线中通以图示方向的恒定电流。释放导线框，它由实线位置下落到虚线位置未发生转动，在此过程中 （ ）

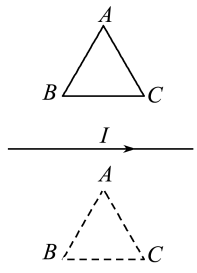


图 4

A. 导线框中感应电流的方向依次为 $ACBA\to ABCA\to ACBA$

B. 导线框的磁通量为零时，感应电流也为零

C. 导线框所受安培力的合力方向依次为向上→向下→向上

D. 导线框所受安培力的合力为零，做自由落体运动

7. 光滑曲面与竖直平面的交线是抛物线，如图 5 所示，抛物线的方程是 $y=x^2$，下半部处在一个水平方向的匀强磁场中，磁场的上边界是 $y=a$ 的直线（图中的虚线所示），一个小金属块从抛物线上 $y=b(b>a)$ 处以速度 v 沿抛物线下滑，假设抛物线足够长，金属块沿抛物线下滑后产生的焦耳热总量是 （ ）

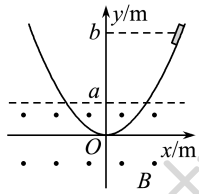


图 5

A. mgb　　B. $\frac{1}{2}mv^2$

C. $mg(b-a)$　　D. $mg(b-a)+\frac{1}{2}mv^2$

8. 演示自感现象的两个电路图如图 6 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 （ ）

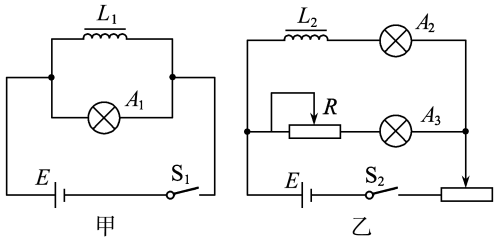


图 6

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

二、多项选择题：本题共 4 小题，每题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 如图 7 甲所示，圆形线圈 P 静止在水平桌面上，其正上方悬挂一相同的线圈 Q，P 和 Q 共轴，Q 中通有变化电流，电流随时间变化的规律如图乙所示，P 所受重力为 G，桌面对 P 的支持力为 N，则 （ ）

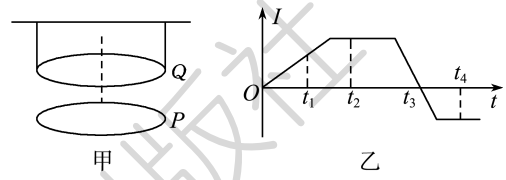


图 7

A. t_1 时刻 $N>G$　　B. t_2 时刻 $N>G$

C. t_3 时刻 $N<G$　　D. t_4 时刻 $N=G$

10. 如图 8 所示，水平光滑的平行金属导轨，左端接有电阻 R，匀强磁场 B 竖直向下分布在导轨所在的空间内，质量一定的金属棒 PQ 垂直导轨放置。现使棒以一定的初速度 v_0 向右运动，当其通过位置 a、b 时，速率分别为 v_a、v_b，到位置 c 时棒刚好静止，设导轨与棒的电阻均不计，a 到 b 与 b 到 c 的间距相等，则金属棒在由 a 到 b 和由 b 到 c 的两个过程中 （ ）

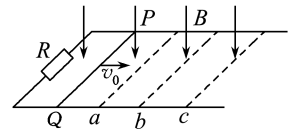


图 8

A. 回路中产生的内能不相等

B. 棒运动的加速度相等

C. 安培力做功相等

D. 通过棒横截面积的电荷量相等

11. 如图 9 所示，粗细均匀的电阻丝绕制的矩形导线框 $abcd$ 处于一匀强磁场中，另一种材料的导体棒 MN 可与导线框保持良好接触并做无摩擦滑动。当导体棒 MN 在外力作用下从导线框左端开始做切割磁感线的匀速运动一直滑到右端的过程中，导线框上消耗的电功率的变化情况可能为 （ ）

山东科学技术出版社

A. 逐渐增大
B. 先增大后减小
C. 先减小后增大
D. 先增大后减小，再增大，接着再减小

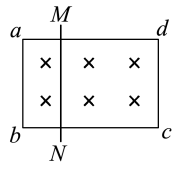
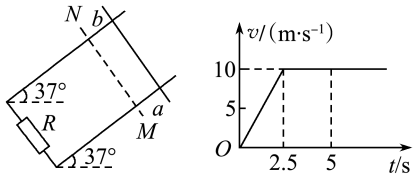


图 9

12. 如图 10 甲所示，两根足够长，电阻不计的平行金属导轨相距 1 m，导轨平面与水平面的夹角为 37°，下端接有阻值为 1.5 Ω 的电阻 R。虚线 MN 下侧有与导轨平面垂直、磁感应强度大小为 0.4 T 的匀强磁场。现将金属棒 ab 从 MN 上方某处垂直导轨由静止释放，金属棒运动过程中始终与导轨保持良好接触，已知金属棒接入电路的有效阻值为 0.5 Ω，金属棒运动的 v-t 图像如图乙所示，取 $\sin 37°=0.6$，$\cos 37°=0.8$，$g=10\ \mathrm{m/s^2}$，下列判断正确的是　（　　）



甲　　乙

图 10

A. 金属棒的质量为 0.2 kg
B. 0～5 s 内系统产生的热量为 20 J
C. 0～5 s 内通过电阻 R 的电荷量为 5 C
D. 金属棒匀速运动时，ab 两端的电压为 1 V

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13. (6 分)(1) 学习楞次定律的时候，可以做如图 11 所示的实验。图中，a、b 都是很轻的铝环，环 a 是闭合的，环 b 是不闭合的。a、b 环都固定在一根可以绕 O 点自由转动的水平细杆上，开始时整个装置静止。当条形磁铁 N 极垂直 a 环靠近 a 时，a 环将_____；当条形磁铁 N 极垂直 b 环靠近 b 时，b 环将_____(均填“靠近磁铁”“远离磁铁”或“静止不动”)。

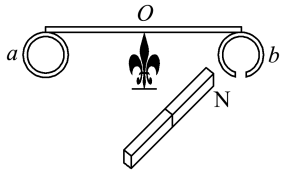
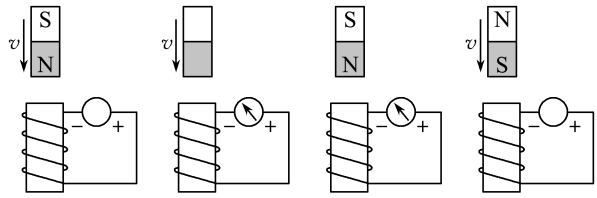


图 11

(2) 一灵敏电流计，当电流从它的正接线柱流入时，指针向正接线柱一侧偏转。现把它与一个线圈串联，请依图 12 所示填空：



甲　　乙　　丙　　丁

图 12

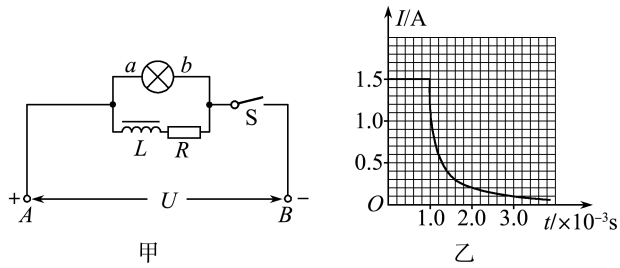
① 图甲中磁铁向下运动，灵敏电流计指针的偏转方向为_____(填“偏向正极”或“偏向负极”)。

② 图乙中磁铁向下运动，磁铁下方的极性是_____(填“N 极”或“S 极”)。

③ 图丙中磁铁的运动方向是_____(填“向上”或“向下”)。

④ 图丁中磁铁向下运动，线圈从上向下看的电流方向是_____(填“顺时针”或“逆时针”)。

14. (8 分)某同学研究自感现象的实验电路图如图 13 甲所示，用电流传感器显示各时刻通过线圈 L 的电流。电路中电灯的电阻 $R_1=500\ \Omega$，定值电阻 $R=1.0\ \Omega$，A、B 间的电压稳定，$U=6.0$ V。开关 S 原来闭合，电路处于稳定状态，在 $t_1=1.0\times10^{-3}$ s 时刻断开开关 S，该时刻前后电流传感器显示的电流 I 随时间 t 变化的图线如图乙所示。



甲　　乙

图 13

(1) 线圈 L 的直流电阻 $R_L=$_____ Ω。

(2) 闭合开关瞬间，看到电灯_____。

A. 逐渐变亮
B. 立即变亮，然后变暗
C. 立即变亮，亮度不变

(3) 闭合开关一段时间后，再断开开关瞬间，看到电灯_____。

A. 立即熄灭
B. 闪亮一下再逐渐熄灭
C. 逐渐熄灭

(4) 断开开关后，通过电灯的电流方向_____(填“$a\to b$”或“$b\to a$”)。

山东科学技术出版社

15. (8 分)轻质细线吊着一质量为 $m=0.32$ kg,边长为 $L=0.8$ m,匝数 $n=10$ 的正方形线圈,总电阻为 $r=1\ \Omega$。边长为 $\frac{L}{2}$ 的正方形磁场区域对称分布在线圈下边的两侧,如图 14 甲所示,磁场方向垂直纸面向里,大小随时间变化关系如图乙所示,从 $t=0$ 开始经 t_0 时间细线开始松弛,取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。求:

(1) 在前 t_0 时间内线圈中产生的电动势;

(2) 在前 t_0 时间内线圈的电功率;

(3) t_0 的值。

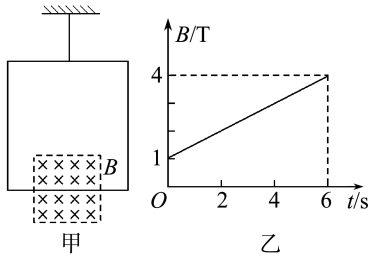


图 14

16. (8 分)如图 15 所示,匀强磁场竖直向上穿过水平放置的金属框架,框架宽为 L,右端接有电阻 R,磁感应强度为 B,一根质量为 m、电阻不计的金属棒以 v_0 的初速度沿框架向左运动,棒与框架的动摩擦因数为 μ,测得棒在整个运动过程中,通过任一截面的电量为 q,求:

(1) 棒能运动的距离;

(2) R 上产生的热量。

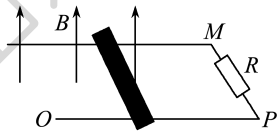


图 15

17. (14 分)半径为 a 的圆形导线框如图 16 甲所示,电阻为 R,虚线是圆的一条弦,虚线左右两侧导线框内磁场的磁感应强度随时间变化如图乙所示。设垂直线框向里的磁场方向为正,求:

(1) 线框中 $0\sim t_0$ 时间内的感应电流大小和方向;

(2) 线框中 $0\sim t_0$ 时间内产生的热量。

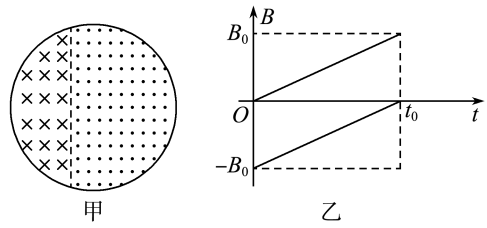


图 16

18. (16 分)磁动力电梯示意图如图 17 所示,即在竖直平面上有两根很长的平行竖直轨道,轨道间有垂直轨道平面交替排列的匀强磁场 B_1 和 B_2,$B_1=B_2=1.0$ T,B_1 和 B_2 的方向相反,两磁场始终竖直向上做匀速运动。电梯轿厢固定在如图所示的金属框 $abcd$ 内(电梯轿厢在图中未画出),并且与之绝缘。已知电梯载人时的总质量为 4.75×10^3 kg,所受阻力 $f=500$ N,金属框垂直轨道的边长 $L_{cd}=2.0$ m,两磁场的宽度均与金属框的边长 L_{ad} 相同,金属框整个回路的电阻 $R=9.0\times10^{-4}\ \Omega$,取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。假如设计要求电梯以 $v_1=10$ m/s 的速度匀速上升,求:

(1) 金属框中感应电流的大小及图示时刻感应电流的方向;

(2) 磁场向上运动速度 v_0 的大小;

(3) 该磁动力电梯以速度 v_1 向上匀速运动时,提升轿厢的效率。

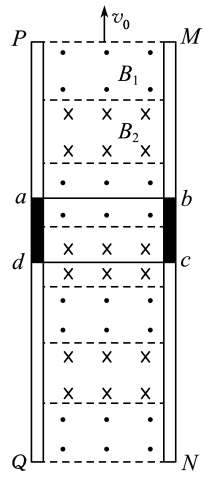


图 17

山东科学技术出版社

第3章　交变电流与远距离输电

第1节　交变电流的特点

基于核心素养　定位课堂目标

1. 知道交变电流的特点，能够根据电流（或电压）的波形图区分直流电流和交变电流。

2. 知道交变电流的周期和频率的含义，掌握周期和频率的关系，能够在交变电流的图像中分析周期和频率。

3. 知道正弦式交变电流的特点，理解有效值和最大值，知道各自的应用范围。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、直流电流与交变电流

1. 直流电流：电流的_____不随时间变化的电流为直流电流，俗称_____。

2. 恒定电流：电流_____、_____都不随时间变化。

3. 交变电流：电流大小和方向随时间做_____变化，俗称_____。

二、交变电流的周期和频率

1. 周期：交变电流完成一次_____所需的时间，用符号_____表示，在国际单位制中的单位为_____。

2. 频率：交变电流在一段时间内完成_____与_____之比，用符号 f 表示，在国际单位制中的单位为_____。

3. 周期（T）和频率（f）的关系：_____。

4. 周期和频率的含义：都是描述交变电流_____的物理量。周期 T 越_____，频率 f 越_____，变化越快，反之则变化越慢。

5. 正弦式交变电流：电流的大小和方向按照_____变化，简称正弦交变电流，我国日常居民用电的周期为_____，频率为_____。

三、最大值和有效值

1. 最大值：我们用 U_m、I_m 分别表示交变电压和交变电流能达到的最大值，又称_____。

2. 有效值：

（1）定义：让恒定电流和交变电流分别通过_____的电阻，如果它们在_____产生的_____相等，就把该恒定电流的数值规定为这个交变电流的有效值。

（2）正弦式交变电流的有效值与峰值的关系：_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 电流大小不变的电流一定是恒定电流。（　　）
2. 如果电流的大小做周期性变化，则一定是交变电流。（　　）
3. 正弦式交变电流的正负两部分是对称的，所以有效值为零。（　　）
4. 交变电流的电压的有效值就是一个周期内电压的平均值。（　　）
5. 在交变电流电路中，电压表、电流表的测量值都是有效值。（　　）

课堂合作探究　深度解析疑难

一、直流电流与交变电流

导学探究

图 3-1-1

如图 3-1-1 所示，手摇式发电机接入一个灯泡，当手缓慢转动手柄时，灯泡忽明忽暗，这说明了什么问题呢？当将灯泡换成电流计后，缓慢转动手柄，发现指针来回摆动，这又说明了什么问题呢？

山东科学技术出版社

深度学习

1. 判断直流电流和交变电流的依据

电流的方向是否改变。

无论大小是否变化，只要电流方向随时间周期性变化就是交变电流；若电流方向不变，则是直流电流；若电流大小、方向都不变，则为恒定电流。

2. 交变电流具有周期性

周期和频率都是描述交变电流变化快慢的物理量，周期和频率的关系为 $T=\frac{1}{f}$。日常生活中所用市电的频率为 50 Hz，周期为 0.02 s。

3. 常见的几种交变电流的波形图（如图 3-1-2 所示）

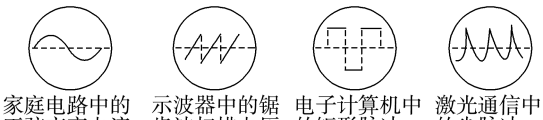
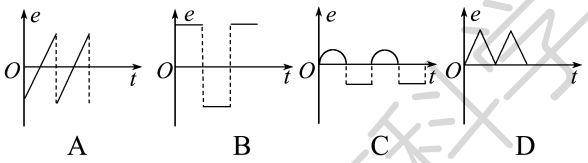


图 3-1-2

典型例题

例1 （多选）下列图像中可表示交变电流的有（　　）



二、峰值与有效值

导学探究

将耐压值为 40 V 的电容器分别接入 36 V 的直流电路和正弦式交变电流电路中，电容器皆能够正常工作吗？

深度学习

1. 峰值与有效值的理解

（1）峰值是交变电流在一个周期内达到的最大值，当电路中电容器耐压值大于电压峰值时，电容器才安全。

（2）用电器铭牌上标出的额定电流、额定电压、保险丝的熔断电流等都是指有效值；一般交流电流表、电压表测量的数值也是有效值；提到交变电流的数值，凡没有特别说明的，均为有效值。

2. 有效值的计算

（1）交变电流的有效值是根据电流的热效应定义的，利用了“等效”的思想。计算交变电流有效值时要注意“三同”：相同电阻、相同时间、产生相同热量。

（2）对于正弦式交变电流，可根据有效值和峰值的关系 $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$、$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 进行计算。

（3）若交变电流图像部分为正弦（余弦）式交变电流，其中 $\frac{1}{4}$（必须从零到最大值或者从最大值到零）和 $\frac{1}{2}$ 个周期部分，可直接应用正弦式交变电流有效值和峰值的关系 $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$、$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 求解。

（4）对于非正弦式交变电流，必须根据有效值的定义进行计算。

典型例题

例2 一交变电流的图像如图 3-1-3 所示，其中电流为正值的图像为正弦式交变电流的一部分，则该交变电流的有效值为（　　）

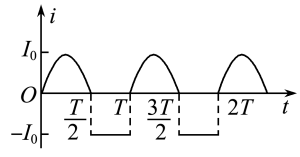


图 3-1-3

A. $I=I_0$　　B. $I=\frac{\sqrt{3}}{2}I_0$

C. $I=\frac{I_0}{2}$　　D. $I=\frac{\sqrt{2}}{2}I_0$

变式训练 通过一阻值 $R=100\ \Omega$ 的电阻的交变电流如图 3-1-4 所示，其周期为 1 s，电阻两端电压的有效值为（　　）

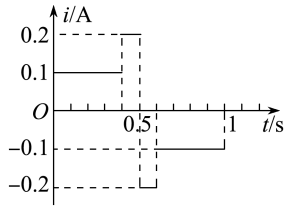


图 3-1-4

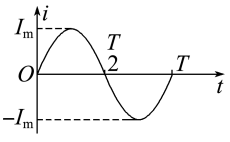
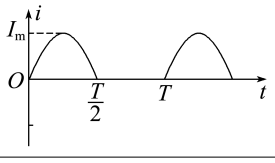
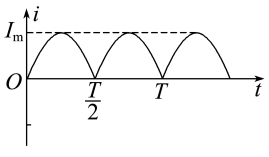
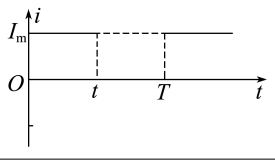
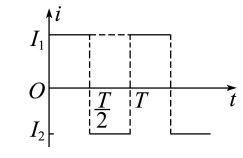
A. 12 V　　B. $4\sqrt{10}$ V

C. 15 V　　D. $8\sqrt{5}$ V

山东科学技术出版社

素养提升

几种常见电流的有效值

电流名称	电流图像	有效值
正弦式交变电流		$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$
正弦半波电流		$I=\frac{I_m}{2}$
正弦单向脉动电流		$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$
矩形脉动电流		$I=\frac{t}{T}I_m$
非对称性交变电流		$I=\sqrt{\frac{I_1^2+I_2^2}{2}}$

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 下列关于交变电流与直流电流的说法错误的是（　　）

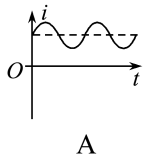
A. 如果电流大小做周期性变化，则不一定是交变电流

B. 直流电流的大小可以变化，但方向一定不变

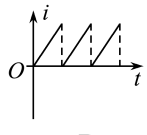
C. 交变电流一定是按正弦或余弦规律变化的

D. 交变电流的最大特征就是电流的方向发生周期性变化

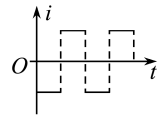
2. 下列图像中可表示交变电流的是（　　）



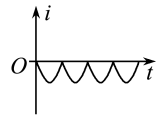
A



B



C



D

3. （多选）下列关于交变电流的说法正确的是（　　）

A. 交流电气设备上所标的额定电压值和额定电流值是交变电流的峰值

B. 用交流电流表和电压表测定的数值是交变电流的瞬时值

C. 给定的交流数值，在没有特别说明的情况下是指有效值

D. 跟交变电流有相同热效应的恒定电流的数值是交变电流的有效值

4. 某种交变电流的波形如图 3-1-5 所示，每半个周期按各自的正弦规律变化，其有效值为（　　）

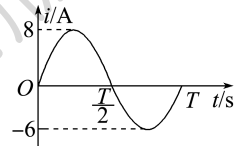


图 3-1-5

A. 7 A　　B. 5 A

C. $3\sqrt{2}$ A　　D. $4\sqrt{2}$ A

5. 阻值为 R 的电炉丝通以大小为 I 的恒定电流时，其电功率为 P；当把它接在某正弦式交变电流电源两端时，其电功率也为 P。则该交变电流电源电压最大值为（　　）

A. $\frac{\sqrt{2}}{2}IR$　　B. $\sqrt{2}IR$

C. IR　　D. $2IR$

6. 匝数为 100 匝的线圈通有如图 3-1-6 所示的交变电流（图中曲线为余弦曲线的四分之一），单匝线圈电阻 $r=0.02\ \Omega$，则在 0～10 s 内线圈产生的焦耳热为（　　）

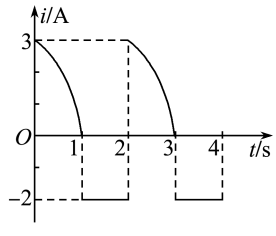


图 3-1-6

A. 80 J　　B. 85 J

C. 90 J　　D. 125 J

山东科学技术出版社

能力进阶

7. (多选)图 3-1-7 甲、乙分别为两种电压的波形图,其中图甲所示的电压按正弦规律变化,图乙所示的电压的波形是正弦函数的一部分。下列说法正确的是 ( )

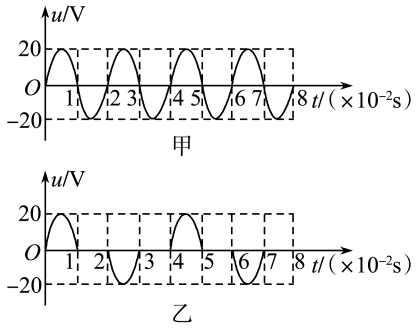


图 3-1-7

A. 图甲、图乙均表示交变电流
B. 图乙所示电压的周期为 0.02 s
C. 图甲所示电压的有效值为 10 V
D. 图乙所示电压的有效值为 10 V

8. (多选)某种正弦式交变电压的波形图如图 3-1-8 所示,由图可确定 ( )

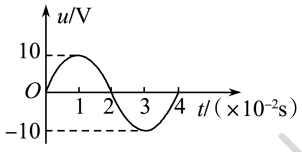


图 3-1-8

A. 交变电流频率为 50 Hz
B. 电压的峰值为 10 V
C. 该交变电流电源与 10 Ω 的电阻串联,电流为 1 A
D. 该交变电流电源与 10 Ω 电阻串联,电阻的发热功率为 5 W

9. 如图 3-1-9 所示的区域内有垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度为 B。电阻为 R、半径为 L、圆心角为 45°的扇形闭合导线框绕垂直于纸面的 O 轴以角速度 ω 匀速转动(O 轴位于磁场边界)。则线框内产生的感应电流的有效值为 ( )

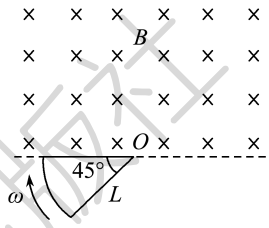


图 3-1-9

A. $\frac{BL^2\omega}{2R}$　　B. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{2R}$

C. $\frac{\sqrt{2}BL^2\omega}{4R}$　　D. $\frac{BL^2\omega}{4R}$

第2节　交变电流的产生

基于核心素养　定位课堂目标

1. 认识交流发电机,了解交流发电机的结构。

2. 理解交变电流的产生原理,知道中性面的概念,掌握中性面的特点。

3. 掌握交变电流的变化规律,熟悉正弦式交变电流的瞬时值表达式和图像。

4. 能够运用交变电流的图像和表达式解决问题。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、交流发电机

1. 原理:闭合导体与磁极发生_____,穿过闭合导体的_____发生变化。

2. 构造:_____和_____两部分。

3. 分类:

	转子	定子	特点
旋转电枢式			电压低,功率小
旋转磁极式			电压高,功率大

山东科学技术出版社

二、正弦式交变电流的产生原理

1. 产生条件：让闭合线圈在匀强磁场中绕_____于磁场的轴_____转动，感应电流的大小和方向都随时间做_____变化。

2. 中性面：线圈平面与磁感线_____，线圈经过中性面时，感应电动势、感应电流_____，磁通量最大；经过中性面时，电流方向_____；线圈每转动一周，感应电流方向改变_____次。

三、正弦式交变电流的变化规律

1. 线圈匝数为 N，面积为 S，磁感应强度为 B，转动角速度为 ω，线圈转动过程中最大值 $E_m=$_____。

2. 从中性面开始计时，电动势的瞬时值表达式为_____；从垂直于中性面开始计时，电动势的瞬时值表达式为_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 只要线圈在磁场中转动，就可以产生交变电流。（　　）
2. 线圈经过中性面时，穿过线圈的磁通量最大，感应电动势也最大。（　　）
3. 正弦式交变电流在一周期内，电流方向改变两次。（　　）
4. 线圈绕垂直磁场的转轴匀速转动的过程中产生了正弦式交变电流，峰值越大，则瞬时值也越大。（　　）
5. 交变电流的图像均为正弦函数图像或余弦函数图像。（　　）
6. 从线圈转至与磁场方向平行开始计时，线圈所产生的感应电动势 $e=E_m\cos\omega t$。（　　）

课堂合作探究　深度解析疑难

一、正弦式交变电流的产生

导学探究

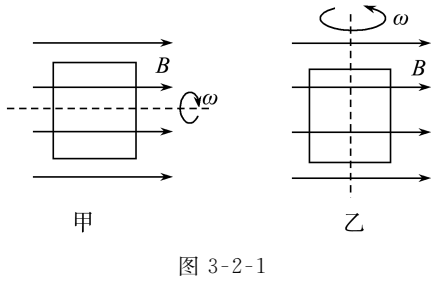


图 3-2-1

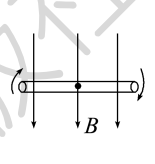
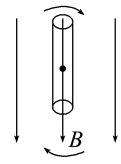
图 3-2-1 中线框甲、乙在磁场中匀速转动，都能够产生交变电流吗？

深度学习

中性面的特点：

（1）线圈位于中性面时，穿过线圈的磁通量最大，磁通量的变化率为零，感应电动势为零，感应电流为零。

（2）中性面与中性面的垂直面的对比：

比较内容 \ 两个位置	中性面	中性面的垂直面
图示		
位置	线圈平面与磁场垂直	线圈平面与磁场平行
磁通量	最大	0
磁通量变化率	0	最大
感应电动势	0	最大
感应电流	0	最大
电流方向	改变	不变

典型例题

例1　（多选）某交流发电机示意图如图 3-2-2 所示，线圈的 AB 边连在金属滑环 K 上，CD 边连在滑环 L 上，导体制作的两个电刷 E、F 分别压在两个滑环上，线圈在转动时可以通过滑环和电刷保持与外电路的连接。关于其工作原理，下列分析正确的是（　　）

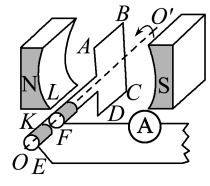


图 3-2-2

A. 当线圈平面转到中性面的瞬间，穿过线圈的磁通量最大

B. 当线圈平面转到中性面的瞬间，线圈中的磁通量变化率最大

C. 当线圈平面转到跟中性面垂直的瞬间，线圈的感应电动势最大

D. 当线圈平面转到跟中性面垂直的瞬间，线圈中的感应电流方向改变

山东科学技术出版社

二、交变电流的变化规律

深度学习

1. 正弦式交变电流瞬时值的推导(如图 3-2-3 所示)

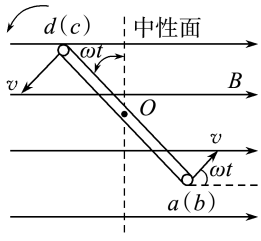


图 3-2-3

(1) 线圈转过的角度 $\theta=\omega t$。

(2) ab 边的线速度跟磁感线方向的夹角 $\theta=\omega t$。

(3) ab 边转动的线速度 $v=\omega\dfrac{L_{ad}}{2}$。

(4) ab 边产生的感应电动势 $e_{ab}=BL_{ab}v\sin\theta=BL_{ab}\omega\dfrac{L_{ad}}{2}\sin\omega t=\dfrac{BS\omega}{2}\sin\omega t$。

(5) 整个线圈产生的感应电动势 $e=2e_{ab}=BS\omega\sin\omega t$,若线圈为 n 匝,$e=nBS\omega\sin\omega t$。

(6) 若线圈给外电阻 R 供电,设线圈本身电阻为 r,由闭合电路欧姆定律得 $i=\dfrac{E_m}{R+r}\sin\omega t$,即 $i=I_m\sin\omega t$,R 两端的电压可记为 $u=U_m\sin\omega t=\dfrac{E_m}{R+r}R\sin\omega t$。

2. 正弦式交变电流的峰值

(1) $E_m=nBS\omega$,$I_m=\dfrac{E_m}{R+r}=\dfrac{nBS\omega}{R+r}$,$U_m=I_mR=\dfrac{E_mR}{R+r}$

(2) 交变电动势的最大值由线圈匝数 n、磁感应强度 B、转动角速度 ω 及线圈面积 S 共同决定,与线圈的形状及转轴的位置无关。如图 3-2-4 所示的几种情况,若 n、B、S、ω 相同,则电动势的最大值相同。

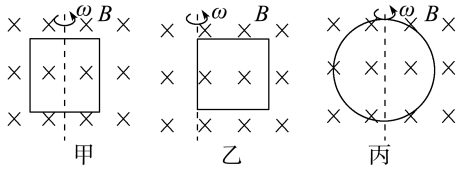


图 3-2-4

3. 正弦式交变电流瞬时值表达式的两种形式

(1) 从中性面位置开始计时 $e=E_m\sin\omega t$,$i=I_m\sin\omega t$,$u=U_m\sin\omega t$

(2) 从与中性面垂直的位置开始计时 $e=E_m\cos\omega t$,$i=I_m\cos\omega t$,$u=U_m\cos\omega t$

典型例题

例2 有一匝数为 10 匝的正方形线圈,边长为 20 cm,线圈总电阻为 1 Ω,线圈绕 OO' 轴以 10 π rad/s 的角速度匀速转动,如图 3-2-5 所示,垂直于线圈平面向里的匀强磁场的磁感应强度为 0.5 T。(取 $\pi=3.14$)

(1) 该线圈产生的交变电流的电动势最大值、电流最大值分别为多少?

(2) 线圈从图示位置转过 30°时,感应电动势的瞬时值是多大?

(3) 从如图所示位置开始计时,写出感应电动势随时间变化的表达式。

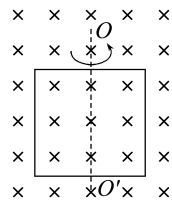


图 3-2-5

变式训练 1 实验室里的交流发电机可简化为如图 3-2-6 所示的模型,正方形线圈在水平匀强磁场中绕垂直于磁感线的 OO' 轴匀速转动。在发电机的输出端接一个电阻 R 和理想电压表,并让线圈每秒转 25r,电压表的示数为 10 V。已知 $R=10$ Ω,线圈电阻忽略不计,下列说法正确的是 (　　)

A. 线圈位于图中位置时,线圈中的电流为零

B. 从中性面开始计时,线圈中电流瞬时值表达式为 $i=\sqrt{2}\sin 50\pi t$ A

C. 流过电阻 R 的电流每秒方向改变 100 次

D. 电阻 R 的热功率等于 20 W

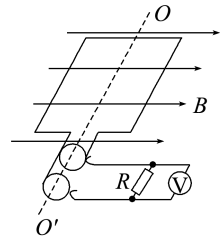


图 3-2-6

素养提升

求解瞬时值时要注意:

(1) 确定从哪个位置开始计时。

(2) 确定表达式是正弦函数还是余弦函数。

(3) 确定转动的角速度 $\omega=\dfrac{2\pi}{T}=2\pi f=2\pi n$($n$ 的单位为 r/s)、峰值 $E_m=nBS\omega$。

(4) 写出表达式,代入时间求瞬时值。

山东科学技术出版社

变式训练 2　一矩形线圈，面积是0.05 m^2，共 100 匝，线圈电阻 $r=2\ \Omega$，外接电阻 $R=8\ \Omega$，线圈在磁感应强度 $B=\frac{1}{\pi}$ T 的匀强磁场中以 $n=300$ r/min 的转速绕垂直于磁感线的轴匀速转动，如图 3-2-7 所示。若从中性面开始计时，求：

(1) 线圈中感应电动势的瞬时值表达式；

(2) 线圈从开始计时经 $\frac{1}{30}$ s 时感应电流大小；

(3) 外电路 R 两端电压瞬时值的表达式。

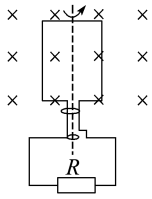
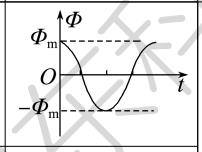
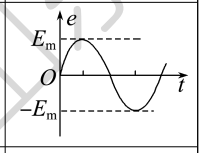
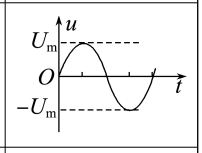
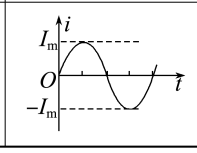


图 3-2-7

三、交变电流的图像

深度学习

1. 交变电流图像

	函数	图像	说明
磁通量	$\Phi=\Phi_m\cos\omega t=BS\cos\omega t$		S 为线圈的面积，n 为线圈的匝数，r 为线圈的电阻(内阻)，R 为外电阻
感应电动势	$e=E_m\sin\omega t=nBS\omega\sin\omega t$		
导体两端的电压	$u=U_m\sin\omega t=\frac{E_m}{R+r}R\sin\omega t$		
感应电流	$i=I_m\sin\omega t=\frac{E_m}{R+r}\sin\omega t$		

2. 从图像中可以读到的信息

(1) 交变电流的最大值 I_m、U_m、E_m。

(2) 因线圈在中性面时感应电动势、感应电流均为零，磁通量最大，所以可确定线圈位于中性面的时刻。

(3) 可找出线圈平行磁感线的时刻。

(4) 判断线圈中磁通量的变化情况。

(5) 分析判断 i、u、e 随时间的变化规律。

3. 解决图像问题的基本方法

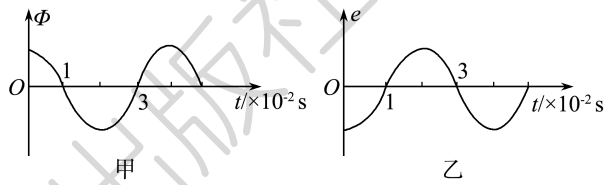
一看：看轴、看线、看斜率、看点。

二变：掌握“图与图”“图与式”和“图与物”之间的对应情况。

三判断：结合图像和公式进行正确分析和判断。

典型例题

例3　一个矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁感线的轴匀速转动，穿过线圈的磁通量随时间变化的图像如图 3-2-8 甲所示，则下列说法正确的是 (　　)



甲　　乙

图 3-2-8

A. $t=0$ 时刻，线圈平面与中性面垂直

B. $t=0.01$ s 时刻，Φ 的变化率达到最大

C. $t=0.02$ s 时刻，感应电动势达到最大

D. 该线圈相应的感应电动势图像如图乙所示

素养提升

根据图像找出线圈位于中性面位置对应的时刻，然后根据中性面的特点进行判断，能将 Φ-t 图像转化成为 e-t 图像。

变式训练 3　在垂直纸面向里的有界匀强磁场中放置一个矩形线圈 $abcd$，线圈 cd 边沿竖直方向且与磁场的右边界重合，线圈平面与磁场方向垂直。从 $t=0$ 时刻起，线圈以恒定角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}$ 绕 cd 边沿如图 3-2-9 所示方向转动，规定线圈中电流沿 $abcda$ 方向为正方向，则从 $t=0$ 到 $t=T$ 时间内，线圈中的电流 i 随时间 t 变化关系图像为 (　　)

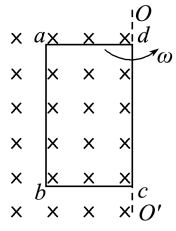
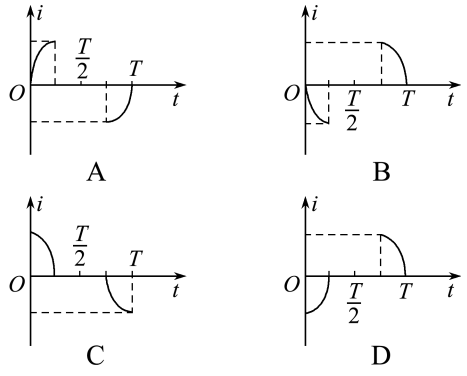


图 3-2-9

山东科学技术出版社



四、交变电流中的“四值”

交变电流中的“四值”是指瞬时值、最大值、有效值和平均值。它们的区别和适用情况如下：

物理量	物理含义	重要关系	适用情况及说明
瞬时值	交变电流某一时刻的值	$e=E_m\sin\omega t$ $i=I_m\sin\omega t$	计算线圈某时刻的受力情况
最大值	最大瞬时值	$E_m=nBS\omega$ $I_m=\frac{E_m}{R+r}$	电容器的击穿电压
有效值	跟交变电流的热效应等效的恒定电流的值	对正（余）弦交变电流 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$ $U=\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$	（1）计算与电流的热效应有关的量(如功、功率、热量等) （2）电气设备“铭牌”上所标值 （3）保险丝的熔断电流 （4）交流电流表、电压表的示数
平均值	交变电流图像中图线与时间轴所围的面积与时间的比值	$\overline{E}=\frac{n\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R+r}$	计算通过电路横截面的电荷量

典型例题

例4 如图 3-2-10 所示，矩形线圈面积为 S，匝数为 N，线圈电阻为 r，在磁感应强度为 B 的匀强磁场中绕 OO' 轴以角速度 ω 匀速转动，外电路电阻为 R，当线圈由图示位置转过 90°的过程中，求：

（1）通过电阻 R 的电荷量 q；

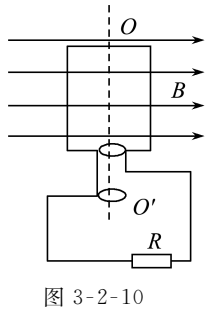


图 3-2-10

（2）电阻 R 上所产生的热量 Q。

变式训练 4 （多选）实验室有一台手摇交流发电机，内阻 $r=1.0\ \Omega$，外接 $R=9.0\ \Omega$ 的电阻。闭合开关 S，当发电机转子以某一转速匀速转动时，产生的电动势 $e=10\sqrt{2}\sin 10\pi t$ V，则 （ ）

A. 该交变电流的频率为 5 Hz

B. 外接电阻 R 两端电压的有效值为 10 V，电流为 1.0 A

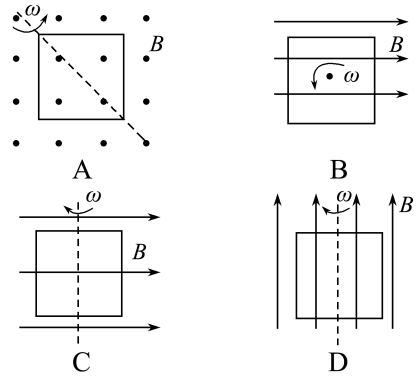
C. 在 0.2 s 内通过电阻 R 的电荷量为 0

D. 串联在外电路中理想交流电流表的示数为 1.0 A

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 面积均为 S 的单匝线圈均绕其对称轴或中心轴在匀强磁场 B 中以角速度 ω 匀速转动。从图示位置开始计时，下列选项所表示的转动方式中，能产生电动势表达式为 $e=BS\omega\sin\omega t$ 的正弦式交变电流的是 （ ）



2. 下列关于交变电流的说法正确的是 （ ）

A. 若交变电流的峰值为 5 A，则它的最小值为 −5 A

B. 用交流电流表测交变电流时，指针来回摆动

C. 我国工农业生产和生活用的交变电流频率为 50 Hz，电流方向每秒改变 100 次

D. 正弦交变电流 $i=20\sin 10\pi t$ A 的峰值为 20 A，频率为 100 Hz

3. 交流发电机工作时电动势为 $e=E_m\sin\omega t$，若将发电机的转速变为原来的 2 倍，同时将电枢所围面积变为原来的 $\frac{1}{2}$，其他条件不变，则其电动势

山东科学技术出版社

变为　　（　　）

A. $e'=E_m\sin\frac{\omega t}{2}$　　B. $e'=2E_m\sin\frac{\omega t}{2}$

C. $e'=E_m\sin 2\omega t$　　D. $e'=\frac{E_m}{2}\sin 2\omega t$

4. 如图 3-2-11 所示，一矩形线圈绕与匀强磁场垂直的中心轴 OO' 顺时针转动，引出线的两端分别与相互绝缘的两个半圆形铜环 M 和 N 相连。M 和 N 又通过固定的电刷 P 和 Q 与电阻 R 相连。在线圈转动过程中，通过电阻 R 的电流　　（　　）

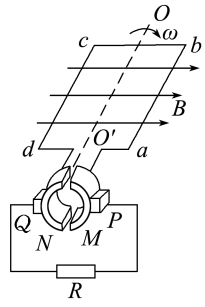


图 3-2-11

A. 大小和方向都随时间做周期性变化

B. 大小和方向都不随时间做周期性变化

C. 大小不断变化，方向总是 $P\to R\to Q$

D. 大小不断变化，方向总是 $Q\to R\to P$

5. 某研究小组成员设计了一个如图 3-2-12 所示的电路，已知电阻 R 的阻值不随温度变化，与 R 并联的是一个理想交流电压表，D 是理想二极管（它的导电特点是正向电阻为零，反向电阻为无穷大）。在 A、B 间加一交流电压，其瞬时值的表达式为 $u=20\sqrt{2}\sin 100\pi t$ V，则交流电压表示数为　　（　　）

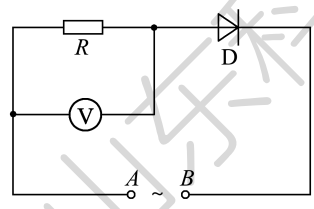


图 3-2-12

A. 10 V　　B. 20 V

C. 15 V　　D. 14.1 V

6. 如图 3-2-13 所示电路中，电源电压 $u=311\sin 100\pi t$ V，A、B 间接有“220 V　440 W”的电暖宝、“220 V　220 W”的抽油烟机、交流电压表及保险丝。下列说法正确的是　　（　　）

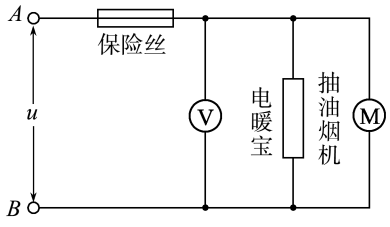


图 3-2-13

A. 交流电压表的示数为 311 V

B. 电路要正常工作，保险丝的额定电流不能小于 $3\sqrt{2}$ A

C. 电暖宝发热功率是抽油烟机发热功率的 2 倍

D. 1 min 内抽油烟机消耗的电能为 1.32×10^4 J

能力进阶

7. （多选）如图 3-2-14 所示，有一矩形线圈，面积为 S，匝数为 N，内阻为 r，绕垂直磁感线的对称轴 OO' 以角速度 ω 匀速转动，从图示位置转过 90° 的过程中，下列说法正确的是　　（　　）

A. 通过电阻 R 的电量 $Q=\frac{\pi NBS}{2\sqrt{2}(R+r)}$

B. 通过电阻 R 的电量 $Q=\frac{NBS}{R+r}$

C. 外力做功平均功率 $P=\frac{N^2B^2S^2\omega^2}{2(R+r)}$

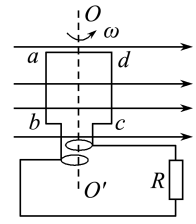


图 3-2-14

D. 从图示位置开始计时，则感应电动势随时间变化的规律为 $e=NBS\omega\sin\omega t$

8. （多选）如图 3-2-15 所示，图线 a 是线圈在匀强磁场中匀速转动时所产生正弦交流电的图像，当调整线圈转速后，所产生正弦交流电的图像如图线 b 所示。下列关于这两个正弦交流电的说法正确的是　　（　　）

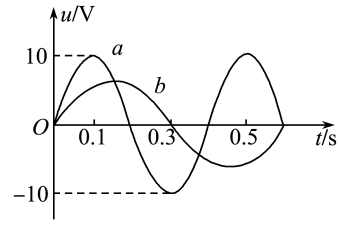


图 3-2-15

A. 在图中 $t=0$ 时刻穿过线圈的磁通量均为 0

B. 线圈先后两次转速之比为 3∶2

C. 交流电 a 的瞬时值表达式为 $u=10\sin 5\pi t$ V

D. 交流电 b 的最大值为 $\frac{20}{3}$ V

9. （多选）如图 3-2-16 所示，一交流发电机的矩形线圈匝数 $n=10$，其电阻 $r=2\ \Omega$，面积 $S=0.2\ \text{m}^2$，在磁感应强度 $B=\frac{2}{\pi}$ T 的匀强磁场中。若线圈从中性面位置开始绕垂直于磁场方向的对称轴 OO' 以 $\omega=10\pi$ rad/s 的角速度匀速转动，向 $R=18\ \Omega$ 的电阻供电，则下列说法正确的是　　（　　）

山东科学技术出版社

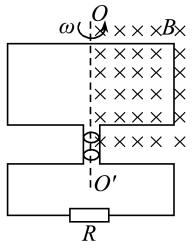


图 3-2-16

A. 该线圈产生的是正弦式交变电流

B. 线圈在转动过程中产生的最大感应电动势为 40 V

C. 线圈开始转动 $\frac{1}{60}$ s 时流过电阻 R 的瞬时电流大小为 $\frac{\sqrt{2}}{2}$ A

D. 电阻 R 上消耗的电功率为 9 W

10. 某兴趣小组设计了一种发电装置，如图 3-2-17 所示。在磁极和圆柱状铁芯之间形成的两磁场区域的圆心角均为 $\frac{4}{9}\pi$，磁场均沿半径方向。匝数为 N 的矩形线圈 $abcd$ 的边长 $ab=cd=l$、$bc=ad=2l$。线圈以角速度 ω 绕中心轴匀速转动，bc 和 ad 边同时进入磁场。在磁场中，两条边所经过处的磁感应强度大小均为 B、方向始终与两边的运动方向垂直。线圈的总电阻为 r，外接电阻为 R。求：

(1) 线圈切割磁感线时，感应电动势的大小 E_m；

(2) 线圈切割磁感线时，bc 边所受安培力的大小 F；

(3) 外接电阻上电流的有效值 I。

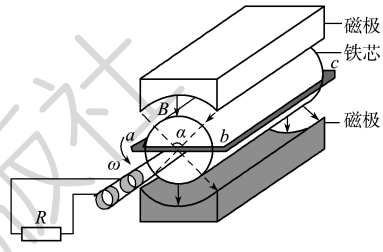


图 3-2-17

第3节 科学探究：变压器

基于核心素养 定位课堂目标

1. 了解变压器的构造，知道原线圈(初级线圈)、副线圈(次级线圈)的概念，理解变压器的工作原理。

2. 能够根据实验目的设计实验方案，探究变压器电压和线圈匝数的关系，分析实验数据得出实验结论。

3. 掌握理想变压器的电压、电流与匝数的关系，并能够应用此规律解决实际问题。

4. 了解电压互感器和电流互感器，了解自耦变压器的特点。

基础自主落实 即时自我诊断

自主落实

一、变压器的工作原理

1. 构造：由闭合铁芯和绕在铁芯上的两个或两个以上线圈组成，与交流电源连接的线圈称为_____，与负载连接的线圈称为_____，铁芯由涂有绝缘漆的_____而成。

2. 原理：_____是变压器工作的基础，原线圈中电流的大小、方向不断变化，在铁芯中激发的_____也不断变化，变化的磁场在副线圈中产生_____，能够输出电压和电流。

二、电压与匝数的关系

1. 理想变压器：没有_____的变压器叫作理想变压器，它是一个理想化模型。

2. 电压与匝数的关系：原、副线圈的电压与匝数成_____，即_____。

3. 理想变压器原、副线圈的功率关系：_____。

4. 两类变压器：

当 $n_1>n_2$，则 $U_1>U_2$，变压器叫_____；当 $n_1<n_2$，则 $U_1<U_2$，变压器叫_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 理想变压器原、副线圈的电压之比等于两个线圈的匝数之比。 (　　)

2. 原副线圈匝数比为 2∶1，在原线圈中接入 48 V 的铅酸蓄电池组，则在副线圈中测的电压为 24 V。 (　　)

3. 闭合铁芯采用硅钢片叠合而成，主要目的是为了减少涡流。 (　　)

山东科学技术出版社

4. 学校中用的变压器工作时没有能量损失。（　　）

5. 变压器可以改变交变电流的电压、电流、功率和频率。（　　）

课堂合作探究　深度解析疑难

一、理想变压器的基本规律

导学探究

如图 3-3-1 所示，把两个没有导线相连的线圈套在同一个闭合铁芯上，一个线圈连接到交流电源的两端，另一个线圈连接到小灯泡上，小灯泡能发光吗？若把一个线圈接在直流电源的两端，另一个线圈还连接到小灯泡上，小灯泡能发光吗？为什么？

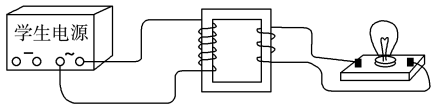


图 3-3-1

深度学习

1. 理想变压器

（1）没有能量损失的变压器叫作理想变压器。

（2）原、副线圈中的电流产生的磁场全部束缚在闭合铁芯内，即“无漏磁”。

（3）原、副线圈不计电阻，电流通过时不产生焦耳热，即无“铜损”。

（4）闭合铁芯中的涡流为零，即无“铁损”。

（5）实际的变压器（特别是大型变压器）一般都可以近似看成理想变压器。

2. 理想变压器的电压与匝数的关系

（1）原理：由于原、副线圈的互感现象，穿过理想变压器原、副线圈的磁通量始终相同，因而这两个线圈中每匝有相同的磁通量的变化率，即在原、副线圈上每匝产生的感应电动势相等。

（2）原、副线圈的感应电动势 $E_1=n_1\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，$E_2=n_2\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，所以 $\dfrac{E_1}{n_1}=\dfrac{E_2}{n_2}=\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t}$，原线圈两端电压 $U_1=E_1$，副线圈两端电压 $U_2=E_2$，所以 $\dfrac{U_1}{n_1}=\dfrac{U_2}{n_2}$。

3. 理想变压器的功率、电流与匝数的关系

（1）输入功率等于输出功率，即 $P_{入}=P_{出}$。

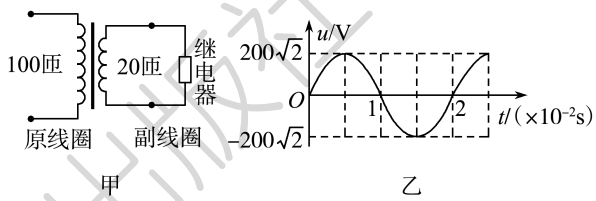
（2）因为 $U_1I_1=U_2I_2$，且 $U_1:U_2=n_1:n_2$，所以 $n_1I_1=n_2I_2$（适用一个副线圈）。

4. 变压器中的能量转换

原线圈电能→磁场能→副线圈电能。

典型例题

例1　（多选）如图 3-3-2 甲所示的理想变压器原、副线圈的匝数分别为 100 匝和 20 匝，现在变压器原线圈两端接入如图乙所示规律变化的正弦交变电压，则（　　）



甲　　乙

图 3-3-2

A. 变压器的输出电压为 40 V

B. 变压器的输出功率小于输入功率

C. 变压器副线圈中通过的电流的频率为 50 Hz

D. 变压器原线圈两端电压的瞬时值表达式为 $u=200\sqrt{2}\sin 100\pi t$ V

变式训练 1　（多选）理想变压器原、副线圈匝数比为 10∶1，下列说法正确的是（　　）

A. 穿过原、副线圈每一匝磁通量之比是 10∶1

B. 穿过原、副线圈每一匝磁通量的变化率相等

C. 原、副线圈每一匝产生的电动势瞬时值之比为 10∶1

D. 正常工作时，原、副线圈的输入、输出功率之比为 1∶1

素养提升

变压器是根据互感现象工作的，变压器的铁芯是闭合的，闭合是为了使原、副线圈的磁通量变化率相同，变压器不能改变交变电流的频率，不能改变恒定电流的电压，能改变交变电流的电压。

二、理想变压器的动态分析问题

深度学习

1. 理想变压器的制约关系

（1）电压制约关系：当变压器原、副线圈的匝数比 $\dfrac{n_1}{n_2}$ 一定时，输入电压 U_1 决定输出电压 U_2，即

山东科学技术出版社

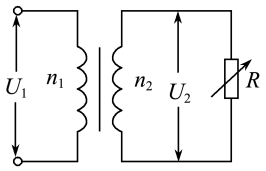
$U_2=U_1\frac{n_2}{n_1}$。

(2) 功率制约关系：$P_{出}$决定$P_{入}$，$P_{出}$增大，$P_{入}$增大；$P_{出}$减小，$P_{入}$减小；$P_{出}$为0，$P_{入}$为0。

(3) 电流制约关系：当变压器原、副线圈的匝数比$\frac{n_1}{n_2}$和输入电压U_1一定时，副线圈中电流I_2决定原线圈中电流I_1。

2. 理想变压器的两类动态分析问题

(1) 情形一：原、副线圈匝数比不变，负载变化



$\frac{n_1}{n_2}$不变，负载R变化

图3-3-3

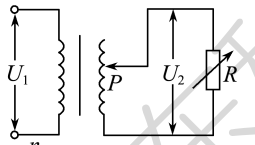
如图3-3-3所示。

① 输入电压U_1不变，根据$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$U_1$决定$U_2$，无论负载电阻$R$如何变化，$U_2$不变；

② 负载电阻变化时，输出电流I_2变化，I_2决定输入电流I_1，故I_1发生变化；

③ I_2变化引起P_2变化，$P_1=P_2$，故P_1发生变化。

(2) 情形二：负载不变，原副线圈匝数比改变



$\frac{n_1}{n_2}$改变，负载R不变

图3-3-4

如图3-3-4所示。

① U_1不变，$\frac{n_1}{n_2}$发生改变，故U_2变化；

② R不变，U_2改变，故I_2发生变化；

③ 根据$P_2=\frac{U_2^2}{R}$，P_2发生变化；根据$P_1=P_2$，故P_1变化；根据$P_1=U_1I_1$，U_1不变，故I_1发生变化。

(3) 动态分析的一般思路：

$$U_1 \xrightarrow{\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}} U_2 \xrightarrow{I_2=\frac{U_2}{R_{负载}}} I_2 \xrightarrow{I_1U_1=I_2U_2} I_1 \xrightarrow{P_1=U_1I_1} P_1$$

典型例题

例2 (多选)如图3-3-5所示，R是一个光敏电阻，其阻值随光照强度的增加而减小。理想变压器原、副线圈的匝数比为10∶1，电压表和电流表均为理想交流电表，从某时刻开始在原线圈两端加上交变电压，其瞬时值表达式为$u_1=220\sqrt{2}\sin100\pi t$ V，则 (　　)

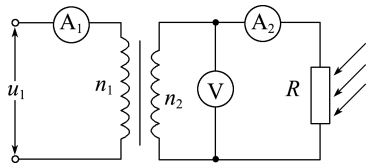


图3-3-5

A. 电压表的示数为$22\sqrt{2}$ V

B. 在天逐渐变黑的过程中，电流表A_2的示数变小

C. 在天逐渐变黑的过程中，电流表A_1的示数变大

D. 在天逐渐变黑的过程中，理想变压器的输入功率变小

变式训练2 (多选)如图3-3-6所示，将原线圈接到电压有效值不变的正弦交流电源上，副线圈连接电阻R_0、R_1和R_2。电路中分别接了理想交流电压表V_1、V_2和理想交流电流表A_1、A_2，导线电阻不计，当开关S闭合后 (　　)

A. V_1、V_2示数变小，变压器的输出功率减小

B. A_1、A_2示数变大，变压器的输出功率增大

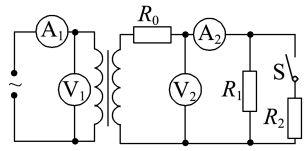


图3-3-6

C. A_1示数不变、A_2示数变大，变压器的输出功率减小

D. V_1示数不变、V_2示数变小，变压器的输出功率增大

例3 (多选)一理想变压器如图3-3-7所示，S为单刀双掷开关，P为滑动变阻器的滑动触头，U_1为加在原线圈两端的电压，I_1为原线圈中的电流，则 (　　)

A. 保持U_1及P的位置不变，S由a合到b，I_1将增大

B. 保持P的位置及U_1不变，S由b合到a，R消耗的功率减小

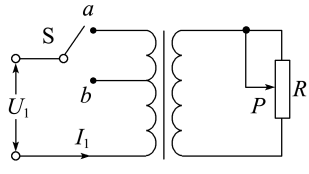


图3-3-7

C. 保持U_1不变，S合在a处，使P上滑，I_1将增大

D. 保持P的位置不变，S合在a处，若U_1增大，I_1将增大

变式训练3 (多选)如图3-3-8所示，变压器的输入电压恒定，下列措施能使电流表示数变大的是 (　　)

山东科学技术出版社

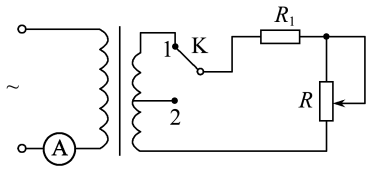


图 3-3-8

A. 保持变阻器的滑片不动，将 K 从 2 拨向 1

B. 保持变阻器的滑片不动，将 K 从 1 拨向 2

C. 保持 K 与 1 相连接，将变阻器的滑片向上移

D. 保持 K 与 1 相连接，将变阻器的滑片向下移

素养提升

1. 首先抓住三个决定原则：输入电压 U_1 决定输出电压 U_2；输出电流 I_2 决定输入电流 I_1；输出功率 P_2 决定输入功率 P_1。

2. 把副线圈当作电源，研究副线圈电路电阻变化。

3. 根据闭合电路的欧姆定律，判定副线圈电流的变化、功率的变化。

4. 根据理想变压器的电压、电流、功率与匝数的关系判定原线圈电流的变化及输入功率的变化。

三、几种常见的变压器

深度学习

1. 自耦变压器(如图 3-3-9 所示)

铁芯上只绕一个线圈，低压线圈是高压线圈的一部分，既可以作为升压变压器使用，也可以作为降压变压器使用。

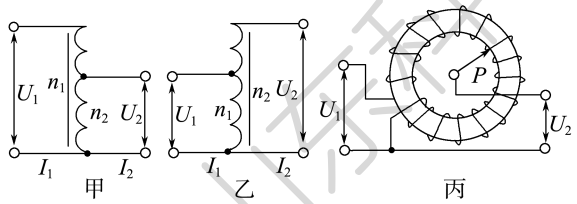


图 3-3-9

2. 电压互感器

(1) 构造：小型降压变压器，如图 3-3-10 甲所示。

(2) 接法：原线圈并联在高压电路中，副线圈接电压表。为了安全，外壳和副线圈应接地。

(3) 作用：将高电压变为低电压，通过测量低电压，计算出高压电路的电压。

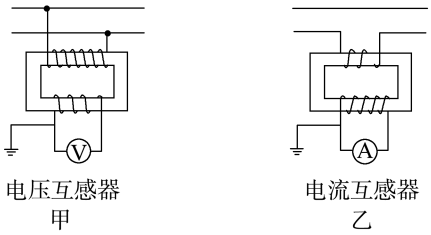


图 3-3-10

3. 电流互感器

(1) 构造：小型升压变压器，如图 3-3-10 乙所示。

(2) 接法：原线圈串联在被测电路中，副线圈接电流表。为了安全，外壳和副线圈应接地。

(3) 作用：将大电流变成小电流，通过测量小电流，计算出被测电路中的大电流。

典型例题

例4　自耦变压器铁芯上只绕有一个线圈，原、副线圈都只取该线圈的某部分，一升压式自耦调压变压器的电路如图 3-3-11 所示，其副线圈匝数可调。已知变压器线圈总匝数为1 900匝；原线圈为 1 100 匝，接在有效值为 220 V 的交流电源上。

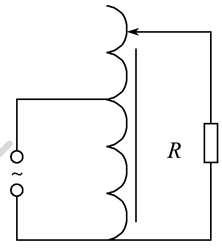


图 3-3-11

当变压器输出电压调至最大时，负载 R 上的功率为 2.0 kW。设此时原线圈中电流有效值为 I_1，负载两端电压的有效值为 U_2，且变压器是理想变压器，则 U_2 和 I_1 分别约为　(　　)

A. 380 V 和 5.3 A　　B. 380 V 和 9.1 A

C. 240 V 和 5.3 A　　D. 240 V 和 9.1 A

变式训练 4　一自耦变压器如图 3-3-12 所示，环形铁芯上只绕有一个线圈，将其接在 a、b 间作为原线圈。通过滑动触头取该线圈的一部分，接在 c、d 间作为副线圈，在 c、d 间接定值电阻 R。在 a、b 间输入电压为 U_1 的交变电流时，c、d 间的输出电压为 U_2。在将滑动触头从 M 点顺时针旋转到 N 点的过程中　(　　)

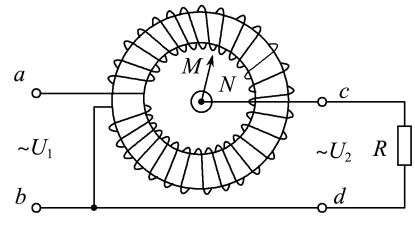


图 3-3-12

A. $U_2>U_1$，U_2 降低

B. $U_2>U_1$，U_2 升高

C. 变压器输入功率增大

D. 变压器输入功率减小

例5　如图 3-3-13 所示，T_1、T_2 是监测交流高压输电参数的互感器，其中 a、b 是交流电压表或交流电流表。若高压输电线间的电压为 220 kV，T_1 的原、副线圈匝数比为 1∶100，交流电压表的示数为 100 V，交流电流表的示数为 1 A，则　(　　)

山东科学技术出版社

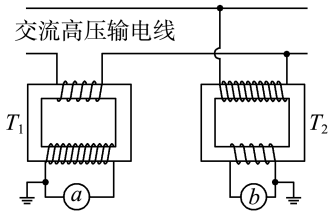


图 3-3-13

A. b 是交流电压表

B. T_2 的原、副线圈匝数比为 100∶1

C. 高压线路输送的电流为 1 A

D. 高压线路输送的电功率为 220 kW

变式训练 5 钳形电流表的外形和结构如图 3-3-14 甲所示。图甲中电流表的读数为 0.9 A，图乙中用同一电缆线绕了 3 匝，则 ( )

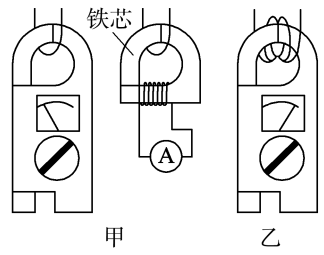


图 3-3-14

A. 这种电流表能测直流电流，图乙的读数为 0.9 A

B. 这种电流表能测交变电流，图乙的读数为 0.3 A

C. 这种电流表能测交变电流，图乙的读数为 2.7 A

D. 这种电流表既能测直流电流，又能测交变电流，图乙的读数为 2.7 A

素养提升

1. 电压互感器应并联接入电路；电流互感器应串联接入电路。

2. 电压互感器是把高电压变成低电压，故原线圈匝数 n_1 大于副线圈匝数 n_2。

3. 电流互感器是把大电流变成小电流，故原线圈匝数 n_1 小于副线圈匝数 n_2。

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 理想变压器正常工作时，匝数不同的原、副线圈中不相同的物理量为 ( )

A. 每匝线圈中磁通量的变化率

B. 交变电流的频率

C. 原线圈的输入功率和副线圈的输出功率

D. 原线圈中的感应电动势和副线圈中的感应电动势

2. 在如图 3-3-15 所示的两个电路中，当 a、b 两端与 e、f 两端分别加上 220 V 的交流电压时，测得 c、d 间与 g、h 间的电压均为 110 V；若分别在 c、d 与 g、h 的两端加上 110 V 的交流电压，则 a、b 间与 e、f 间的电压分别为 ( )

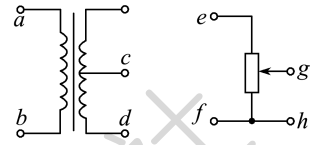


图 3-3-15

A. 220 V、220 V　　B. 220 V、110 V

C. 110 V、110 V　　D. 220 V、0

3. 如图 3-3-16 所示，理想变压器的原线圈接在 $u=220\sqrt{2}\sin 100\pi t$ V 的交流电源上，副线圈接有 $R=55\ \Omega$ 的负载电阻，原、副线圈匝数之比为 2∶1，电流表、电压表均为理想电表，下列说法正确的是 ( )

A. 原线圈的输入功率为 $220\sqrt{2}$ W

B. 电流表的读数为 1 A

C. 电压表的读数为 $110\sqrt{2}$ V

D. 副线圈输出交流电的周期为 50 s

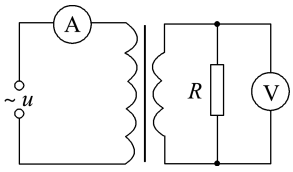


图 3-3-16

4. 如图 3-3-17 所示，匝数为 100 匝的矩形线圈 $abcd$ 处于磁感应强度 $B=\frac{6\sqrt{2}}{25\pi}$ T 的水平匀强磁场中，线圈面积 $S=0.5\ \text{m}^2$，内阻不计。线圈绕垂直于磁场的轴 OO' 以角速度 $\omega=10\pi$ rad/s 匀速转动。线圈通过金属滑环与理想变压器原线圈相连，变压器的副线圈接一只“12 V　12 W”的灯泡，灯泡正常发光。下列说法正确的是 ( )

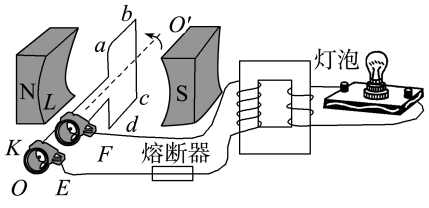


图 3-3-17

A. 通过灯泡的交变电流的频率是 50 Hz

B. 矩形线圈中产生的电动势的最大值为 120 V

C. 变压器原、副线圈匝数之比为 10∶1

山东科学技术出版社

D. 若将该灯泡更换为“12 V　24 W”的灯泡且保证其正常发光，需要增大矩形线圈的转速

5. 教学用发电机能够产生正弦式交变电流，利用该发电机（内阻可忽略）通过理想变压器向定值电阻 R 供电，电路如图 3-3-18 所示，理想交流电流表 A、理想交流电压表 V 的读数分别为 I、U，R 消耗的功率为 P。若发电机线圈的转速变为原来的 $\frac{1}{2}$，则　（　　）

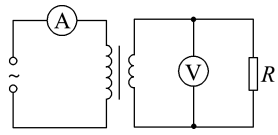


图 3-3-18

A. R 消耗的功率变为 $\frac{1}{2}P$

B. 电压表 V 的读数变为 $\frac{1}{2}U$

C. 电流表 A 的读数变为 $2I$

D. 通过 R 的交变电流频率不变

6. 为保证用户电压稳定在 220 V，变电所需适时进行调压。图 3-3-19 甲为调压变压器示意图，保持输入电压 u_1 不变，当滑动触头 P 上下移动时可改变输出电压。某次检测得到用户电压 u_2 随时间 t 变化的曲线如图乙所示，下列选项正确的是　（　　）

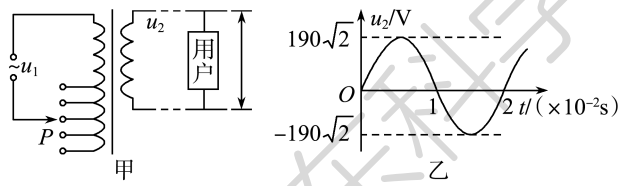


图 3-3-19

A. $u_2=380\sin 100\pi t$ V

B. $u_2=190\sin 50\pi t$ V

C. 为使用户电压稳定在 220 V，应将 P 适当下移

D. 为使用户电压稳定在 220 V，应将 P 适当上移

7. （多选）如图 3-3-20 所示，L_1、L_2 是高压输电线，图中两电表示数分别是 220 V 和 10 A，已知甲图中原、副线圈匝数比为 100∶1，乙图中原、副线圈匝数比为 1∶10，则　（　　）

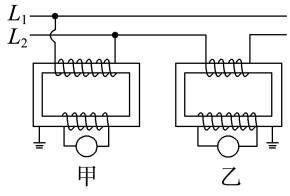


图 3-3-20

A. 甲图中的电表是电压表，输电电压为 22 000 V

B. 甲图是电流互感器，输电电流是 100 A

C. 乙图中的电表是电压表，输电电压为 22 000 V

D. 乙图是电流互感器，输电电流是 100 A

能力进阶

8. 如图 3-3-21 所示，甲图中两导轨不平行，而乙图中两导轨平行，其余物理条件都相同，金属棒 MN 正在导轨上向右匀速运动，在金属棒运动过程中，将观察到　（　　）

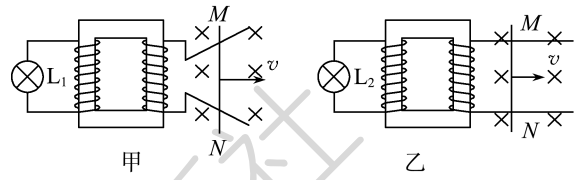


图 3-3-21

A. L_1 发光，L_2 不发光

B. L_1、L_2 都不发光

C. L_2 发光，L_1 不发光

D. L_1、L_2 都发光，只是亮度不同

9. 气流加热装置的示意图如图 3-3-22 所示，使用电阻丝加热导气管（导气管阻值不变），视变压器为理想变压器。原线圈接入电压恒定的交流电并保持匝数不变，调节触头 P，使输出电压由 220 V降至 110 V，调节前后　（　　）

A. 副线圈中的电流比为 1∶2

B. 副线圈输出功率比为 2∶1

C. 副线圈的接入匝数比为 2∶1

D. 原线圈输入功率比为 1∶2

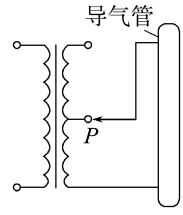


图 3-3-22

10. 理想变压器原线圈接如图 3-3-23 甲所示的正弦交流电压，变压器原线圈匝数 $n_1=270$ 匝，P 是副线圈上的滑动触头，当 P 处于图乙所示位置时，副线圈连入电路的匝数 $n_2=135$ 匝，电容器 C 恰好被击穿，灯泡 L 恰能正常发光，R 是滑动变阻器，下列判断正确的是　（　　）

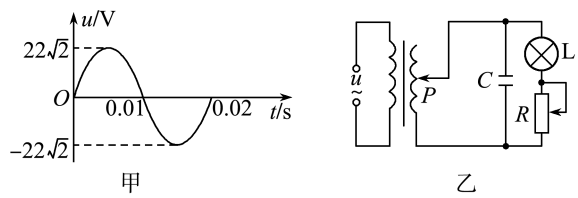


图 3-3-23

A. 若向下移动 P，电容器的最大电荷量增加

山东科学技术出版社

B. 若保持 P 不动，向下移动 R 的滑片，灯泡变暗

C. 若保持 R 的滑片不动，向下移动 P，灯泡变亮

D. 电容器的击穿电压为 $11\sqrt{2}$ V

11. （多选）某燃气炉点火装置的原理图如图 3-3-24 甲所示。转换器将直流电压转换为如图乙所示的正弦交流电压，并加在一理想变压器的原线圈上，变压器原、副线圈的匝数分别为 n_1、n_2。V 为交流电压表。当变压器副线圈电压的瞬时值大于5 000 V 时，就会在钢针和金属板间引发电火花进而点燃气体。下列判断正确的是（　　）

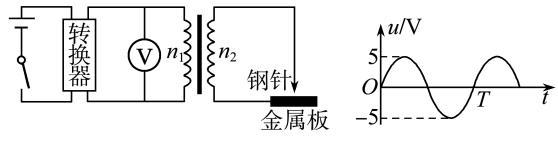


图 3-3-24

A. 电压表的示数等于 5 V

B. 电压表的示数等于 $\frac{5}{\sqrt{2}}$ V

C. 实现点火的条件是 $\frac{n_2}{n_1}>1\,000$

D. 实现点火的条件是 $\frac{n_2}{n_1}<1\,000$

第4节　电能的远距离输送

基于核心素养　定位课堂目标

1. 理解降低电功率损失的两种方式，了解各自的优缺点。

2. 知道远距离输电线路的基本构成，区别输电电压 U 和输电线上损失电压 ΔU，会对简单的远距离输电线路进行定量计算。

3. 了解电网供电的要求，了解高压交流和高压直流输电的优缺点及两种系统的区别和联系。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、采用高压输电的原因

1. 在电能输送的过程中，电流的_____会引起电功率的损失。

2. 降低输电损耗的两个途径

（1）减小输电线的_____：在输电距离一定的情况下，为了减小_____，应当选用_____的金属材料，还要尽可能增加导线的_____。

（2）减小输电导线中的_____：为了减小输电_____，同时又要保证向用户提供一定的电功率，就要提高输电_____。

二、高压交流输电与直流输电

1. 高压交流输电

（1）远距离输电基本原理：远距离输电的基本电路如图 3-4-1 所示。

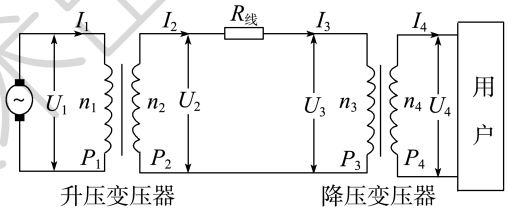


图 3-4-1

在发电站内用_____变压器进行_____，然后进行远距离输电，在用电区域通过_____变压器降压到所需的电压。

（2）交流高压输电损失来源：输电线上除_____外，电感和电容产生的感抗和容抗也会造成交流输电线路上电能和电压的损失。

（3）电网供电时，网中各台发电机发出的交变电流必须做到_____，而且交变电流的频率必须_____。

2. 高压直流输电

（1）工作流程：交变电流升压后输送到_____，把高压交变电流变换成_____，由高压直流电路输送到用电地区后，将高压直流电流变换成_____，再经过降压变压器降压。

（2）优点：

① 适用于_____和_____电缆输电，不受_____影响；

② 输送相同功率的电能时所用的线材_____；

③ 直流输电杆塔比同容量的交流输电_____、_____；

④ 直流输电时，不用考虑电网中各台交流发电机的_____问题。

山东科学技术出版社

3. 电能的利用与社会

(1) _____的使用,引发了第二次工业革命。

(2) 发电机、电动机在工业中的运用,克服了蒸汽机在使用过程中存在的不少难题。

(3) 电能为二次能源,发电机是将其他形式的能量转化为_____,电动机是将电能转化为_____输出。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 输电线上电功率的损失,与输电线的电阻成正比,与输电电流的平方成正比。(　　)
2. 减小输电损失可通过减小输电线的电阻和降低输电电流来实现。(　　)
3. 高压交流输电不存在感抗和容抗引起的损耗。(　　)
4. 高压交流输电时,电压越高,输送损失的功率越小,所以输送电压越高越好。(　　)
5. 远距离输电时,若升压变压器匝数比为 $1:n$,降压变压器匝数比为 $n:1$,则升压变压器的输入电压和降压变压器的输出电压相等。(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

一、输电线上的电压、电功率损失

深度学习

1. 电压损失和功率损失的原因

电阻、电容和电感都会造成损失,高中阶段我们只考虑输电线上电阻造成的损失。电流通过导线时,会产生电势降落,电阻会发热,所以造成电压损失和功率损失。

2. 导线上的电压损失

$$\Delta U=Ir=U-U'=U-\frac{P}{U}r$$

3. 输电导线上的电功率损失

$$\Delta P=I^2r=\left(\frac{P}{U}\right)^2r=\frac{\Delta U^2}{r}=\frac{(U-U')^2}{r}$$

4. 减少输电线路电压损失的两种方法

① 减小输电线路电阻:由 $R=\rho\frac{L}{S}$ 可知,距离一定时,输电导线使用电阻率较小的材料,目前一般用电阻率较小的铜或铝作为导线材料、增大导线横截面积 S,可减小电阻。但是增大横截面积会消耗更多的材料,而且架设导线更加困难。

② 减小输电电流:由 $I=\frac{P}{U}$ 可知,当输送功率一定时,升高输电电压可以减小输电电流。假设电压提高 n 倍,电流变为原来的 $\frac{1}{n}$,损失电压变为原来的 $\frac{1}{n}$,损失功率变为原来的 $\frac{1}{n^2}$。

典型例题

例1　(多选)在远距离输电中,输电导线的总电阻为 R,升压变压器输出的电压为 U_1,输出功率为 P,降压变压器得到的电压为 U_2,则能正确表示图 3-4-2 导线上的功率损失的式子是(　　)

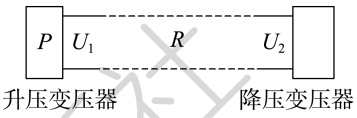


图 3-4-2

A. $\frac{U_1^2}{R}$　　B. $\left(\frac{P}{U_1}\right)^2R$

C. $\frac{(U_1-U_2)^2}{R}$　　D. $\frac{U_1^2}{R}-\frac{U_2^2}{R}$

素养提升

1. 计算输电线上损失的电功率可以有多种方法:$P_{损}=I^2R_{线}=\frac{U_{损}^2}{R_{线}}=U_{损}I$,$U_{损}$ 不是输电电压。

2. 用户得到的功率可以根据用户所用的用电器求解,也可以根据公式 $P_{用}=P_{输}-P_{损}$ 求解。

二、交变电流高压输电的分析与计算

导学探究

高压交流输电可以减少输电线上的电压和能量损失。

1. 如何完成高压输电和低压用电?

2. 若两个变压器均为理想变压器,则每个变压器中的电流、电压、功率有什么关系?

深度学习

掌握远距离输电问题,要掌握一个输电线路示意图、三个回路、三个关系、两个损失。

1. 一个输电线路示意图(如图 3-4-3 所示)

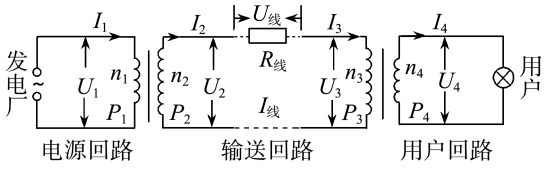


图 3-4-3

山东科学技术出版社

2. 三个回路

电路可划分为三个回路，变压器的电压、电流、功率关系是联系不同回路的桥梁。

3. 三个关系

(1) 电压关系：$\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$，$\frac{U_3}{U_4}=\frac{n_3}{n_4}$，$U_2=U_3+U_{线}$

(2) 电流关系：$\frac{I_1}{I_2}=\frac{n_2}{n_1}$，$\frac{I_3}{I_4}=\frac{n_4}{n_3}$，$I_2=I_3$

(3) 功率关系：$P_1=P_2$，$P_3=P_4$，$P_2=P_3+P_{损}$

4. 两个损失计算

(1) 输电线上的电压损失：$U_{线}=I_2R_{线}=\frac{P}{U_2}R_{线}=U_2-U_3$

(2) 输电线上的电功率损失：$P_{线}=I_2U_{线}=\left(\frac{P}{U_2}\right)^2R_{线}=I_2(U_2-U_3)$

典型例题

例2 风力发电作为新型环保能源，近几年来得到了快速发展。如果风车阵中某发电机输出功率为100 kW，输出电压是250 V，先后经过升压变压器和降压变压器传输后送到用户，设用户得到的电压是220 V，输电线总电阻为10 Ω。若输电线中因发热而损失的功率为输送功率的4%，则：

(1) 在输电线路中设置的升、降压变压器原、副线圈的匝数比各为多少？

(2) 用户得到的电功率是多少？

变式训练 远距离输电的简化电路图如图3-4-4所示。发电厂的输出电压是U，用等效总电阻是r的两条输电线输电，输电线路中的电流是I_1，其末端间的电压为U_1，在输电线与用户间连有一理想变压器，流入用户端的电流为I_2，则 ( )

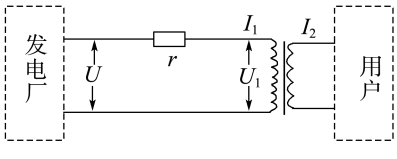


图3-4-4

A. 输电线路上损失的电功率为I_1U

B. 输电线上的电压降为U

C. 理想变压器的输入功率为I_1^2r

D. 用户端的电压为$\frac{I_1U_1}{I_2}$

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 若某输电线路经过改造后输电电压变为原来的2倍，线路电阻变为原来的0.8，在输送的总功率不变的条件下，线路损耗功率将变为原来的 ( )

A. 0.16　　B. 0.2

C. 0.32　　D. 0.4

2. 为减少电能损失，发电厂发出的电通常是经过升压变电站升压后通过远距离输送，再经过降压变电站将高压变为低压。某降压变电站将电压$U_0=11\,000\sqrt{2}\sin 100\pi t$ V的交流电降为220 V供居民小区用电，则下列说法错误的是 ( )

A. 降压变电站原、副线圈匝数比为50∶1

B. 输电电流的频率为50 Hz

C. 降压变电站副线圈的中电流大，线圈导线可以粗一些

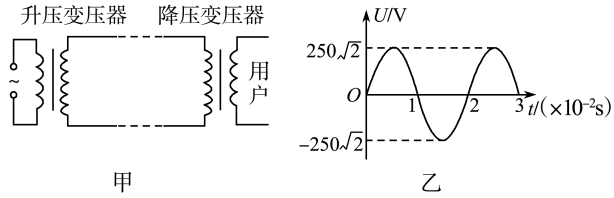
D. 输入原线圈的电流等于居民小区各用电器电流的总和

3. 随着社会发展，人类对能源的需求日益增加，节能变得愈加重要。甲、乙两地采用电压U进行远距离输电，输电线上损耗的电功率为输入功率的$k(0<k<1)$倍。在保持输入功率和输电线电阻都不变的条件下，现改用$5U$的电压输电，若不考虑其他因素的影响，输电线上损耗的电功率将变为输入功率的 ( )

A. $\frac{k}{25}$倍　　B. $\frac{k}{5}$倍

C. $5k$倍　　D. $25k$倍

4. 远距离输电示意图如图3-4-5甲所示，理想升压变压器原、副线圈匝数比为1∶1 000，理想降压变压器原、副线圈匝数比为1 000∶1，输电线的总电阻为1 000 Ω，若升压变压器的输入电压如图乙所示，用户端电压为220 V，下列说法正确的是 ( )



甲　　乙

图3-4-5

山东科学技术出版社

A. 输电线中的电流为 3 A
B. 发电站输出的功率为 7 500 kW
C. 输电线路损耗功率为 90 kW
D. 用户端交变电流的频率为 100 Hz

5. 如图 3-4-6 所示，学校有一台应急备用发电机，内阻为 $r=1\ \Omega$，升压变压器匝数比为 $n_1:n_2=1:4$，降压变压器的匝数比为 $n_3:n_4=4:1$，输电线总电阻为 $R_{线}=4\ \Omega$，全校有 22 间教室，每间教室安装“220 V　40 W”的电灯 6 盏，要求所有的电灯都正常发光，求：
(1) 输电线上损耗的电功率 $P_{损}$ 的大小；
(2) 发电机的电动势 E 的大小。

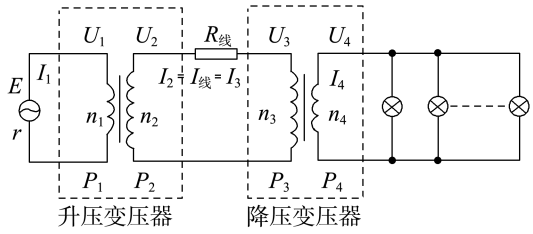


图 3-4-6

能力进阶

6. (多选)在远距离输电时，输送的电功率为 P，输电电压为 U，所用导线的电阻率为 ρ，横截面积为 S，总长度为 l，输电线损失的电功率为 ΔP，用户得到的电功率为 P'，则下列关系式正确的是　(　　)

A. $\Delta P=\dfrac{U^2S}{\rho l}$　　B. $\Delta P=\dfrac{P^2\rho l}{U^2S}$

C. $P'=P-\dfrac{U^2S}{\rho l}$　　D. $P'=P\left(1-\dfrac{P\rho l}{U^2S}\right)$

7. 远距离输电示意图如图 3-4-7 所示，两变压器均为理想变压器，升压变压器 T 的原、副线圈匝数分别为 n_1、n_2。在 T 的原线圈两端接入一电压 $u=U_m\sin\omega t$ 的交流电源，若输送电功率为 P，输电线的总电阻为 $2r$，不考虑其他因素的影响，则输电线上损失的电功率为　(　　)

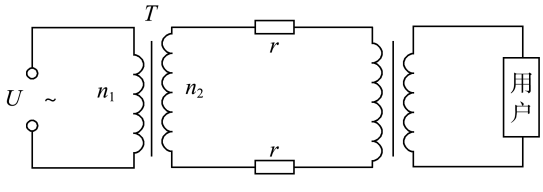


图 3-4-7

A. $\left(\dfrac{n_1}{n_2}\right)\dfrac{U_m^2}{4r}$　　B. $\left(\dfrac{n_2}{n_1}\right)\dfrac{U_m^2}{4r}$

C. $4\left(\dfrac{n_1}{n_2}\right)^2\left(\dfrac{P}{U_m}\right)^2r$　　D. $4\left(\dfrac{n_2}{n_1}\right)^2\left(\dfrac{P}{U_m}\right)^2r$

8. 某发电站电能输送示意图如图 3-4-8 所示。已知发电机的输出电压、输电线的电阻及理想升压、降压变压器匝数均不变。若用户电阻 R_0 减小，下列说法正确的是　(　　)

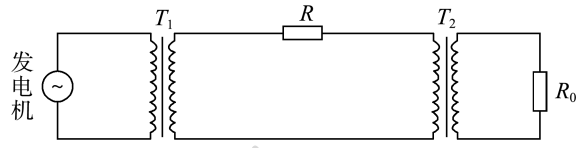


图 3-4-8

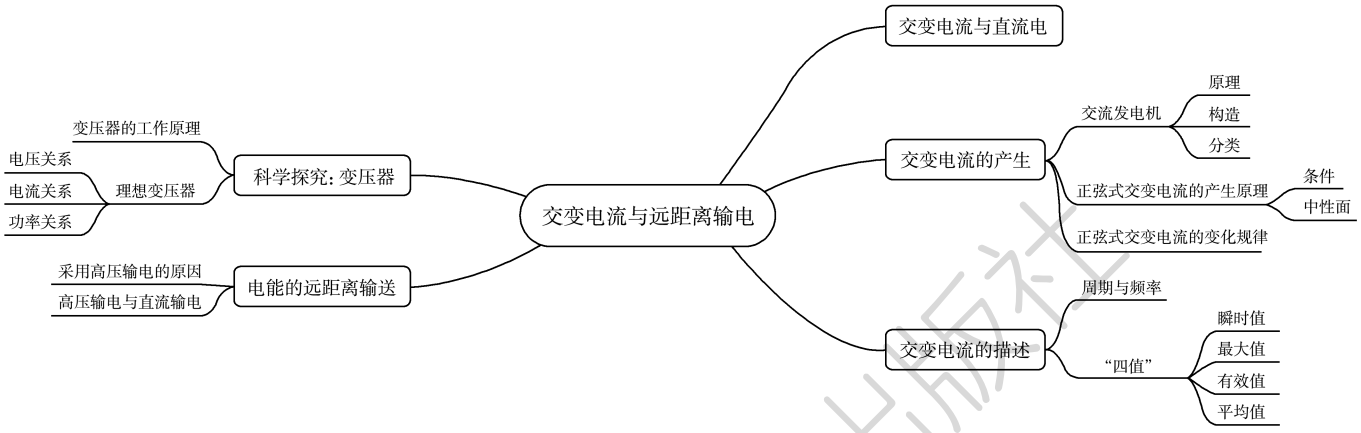
A. 发电机的输出功率减小
B. 输电线上的功率损失减小
C. 用户得到的电压减小
D. 输电线输电电压减小

9. 发电站通过升压变压器、输电导线和降压变压器把电能输送到用户(升压变压器和降压变压器都可视为理想变压器)。
(1) 画出上述输电全过程的示意图；
(2) 若发电机的输出功率是 100 kW，输出电压是 250 V，升压变压器的原、副线圈的匝数比为 1∶25，求升压变压器的输出电压和输电导线中的电流；
(3) 在(2)中条件下，若输电导线中的电功率损耗为输入功率的 4%，求输电导线的总电阻和降压变压器原线圈两端的电压；
(4) 计算(3)中降压变压器的输出功率。

山东科学技术出版社

章末总结

知网建构



重点探究

一、交变电流的描述

深度学习

1. 交变电流的图像

正弦交流电的图像是一条正弦曲线，从图像中可以得到以下信息：

(1) 周期(T)和角速度(ω)：线圈转动的角速度 $\omega=\frac{2\pi}{T}$。

(2) 峰值(E_m、I_m)：图像上的最大值，可计算出有效值 $E=\frac{E_m}{\sqrt{2}}$、$I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}$。

(3) 瞬时值：每个“点”的纵坐标表示该时刻交变电流的瞬时值。

(4) 可确定线圈位于中性面的时刻，也可确定线圈平行于磁感线的时刻。

(5) 判断线圈中磁通量 Φ 及磁通量变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的变化情况。

2. 交变电流“四值”的比较

交变电流的四值，即峰值、有效值、瞬时值、平均值，在不同情况下的应用：

(1) 在研究电容器的耐压值时，只能用峰值。

(2) 在研究交变电流做功、电功率及产生的热量时，只能用有效值，交流电表显示的也是有效值。

(3) 在研究交变电流通过导体横截面的电荷量时，只能用平均值。

(4) 在研究某一时刻线圈受到的安培力时，只能用瞬时值。

典型例题

例1 (多选)如图 3-1 甲所示，单匝矩形线圈 $abcd$ 在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴转动。改变线圈的转速，穿过该线圈的磁通量随时间分别按图线 1、2 的正弦规律变化。设线圈的电阻为 1.0 Ω，则(　　)

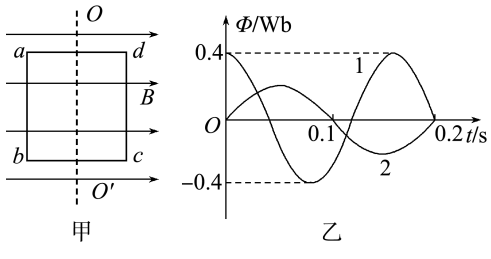


图 3-1

A. 图线 1 对应线圈在 $t=0$ 时产生的感应电动势最大

B. 图线 1、2 对应的线圈在 $t=2.0$ s 时，线圈平面均平行于磁感线

C. 图线 1、2 对应的线圈转速之比为 5∶4

D. 图线 1 对应的线圈中交变电流的峰值为 2.5π A

例2 如图 3-2 所示，边长为 L、阻值为 R 的等边三角形单匝金属线圈 abc 从图示位置开始绕轴 EF 以角速度 ω 匀速转动，EF 的左侧有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度为 B，右侧没有磁场，下

山东科学技术出版社

列说法正确的是　　（　　）

A. 图示位置线圈的磁通量最大，磁通量的变化率也最大

B. 从图示位置转出磁场的过程中，线圈中产生逆时针方向的感应电流

C. 线圈中产生的感应电动势的最大值为 $\frac{\sqrt{3}BL^2\omega}{4}$

D. 转动一周，外力做功的功率为 $\frac{3B^2L^4\omega^2}{32R}$

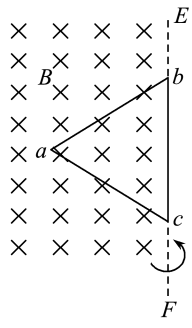


图 3-2

二、原线圈含有用电器的问题

深度学习

1. 对于原线圈电路接用电器的问题，电源输出的功率 P 等于原线圈中负载的功率 P_0 和变压器输入功率 P_1 之和，即 $P=P_0+P_1$，理想变压器的输入功率 P_1 等于输出功率 P_2。要注意电压与匝数成正比关系成立的条件，此时 $\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}$ 中 U_1 指的是变压器原线圈两端电压，而不一定是电源电压。

2. 常见的模型（如图 3-3 所示）

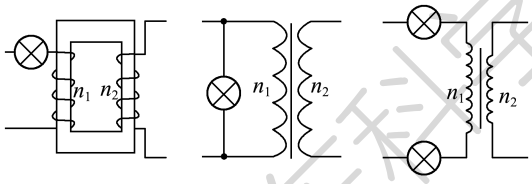


图 3-3

3. 处理方法

首先计算出通过副线圈的电流，由电流比关系可知原线圈的电流；其次根据欧姆定律可表示出与原线圈串联的电阻两端的电压；最后结合题意，列出原线圈两端电压的表达式，根据电压比关系求出副线圈两端电压。

典型例题

例3　一理想变压器的原、副线圈的匝数比为 3∶1，在原、副线圈的回路中分别接有阻值相同的电阻，原线圈一侧接在电压为 220 V 的正弦交流电源上，如图 3-4 所示。设副线圈回路中电阻两端的电压为 U，原、副线圈回路中电阻消耗的功率的比值为 k，则　　（　　）

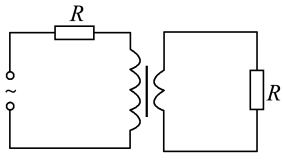


图 3-4

A. $U=66$ V、$k=\frac{1}{9}$　　B. $U=22$ V、$k=\frac{1}{9}$

C. $U=66$ V、$k=\frac{1}{3}$　　D. $U=22$ V、$k=\frac{1}{3}$

变式训练 1　如图 3-5 所示，理想变压器原、副线圈匝数比为 1∶2，接有四个阻值相同的定值电阻，变压器初级线圈接到交流电源上，下列说法正确的是　　（　　）

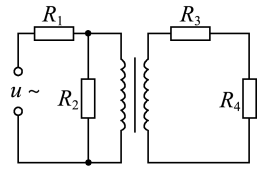


图 3-5

A. 副线圈电压是电源电压的 2 倍

B. 流过 R_1 的电流是副线圈上电流的 2 倍

C. R_1 上的电功率是 R_2 上电功率的 2 倍

D. R_1 上的电功率是 R_2 上电功率的 9 倍

三、多个副线圈问题

深度学习

1. 电压关系

单个副线圈时 $\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}$；多个副线圈时 $\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}=\frac{U_3}{n_3}=\cdots$

2. 功率关系

单个副线圈时 $P_1=P_2$，多个副线圈时 $P_1=P_2+P_3+\cdots$

3. 电流关系

单个副线圈时 $I_1n_1=I_2n_2$，多个副线圈时 $I_1n_1=I_2n_2+I_3n_3+\cdots$

典型例题

例4　如图 3-6 所示，一理想变压器由一个原线圈和两个副线圈组成，匝数比 $n_1∶n_2∶n_3=3∶2∶1$，a、b 端接正弦交流电，电路中电阻 $R_1=R_2=R_3$，其余电阻均不计。若 R_3 消耗的功率为 P，则 R_1 消耗的功率为　　（　　）

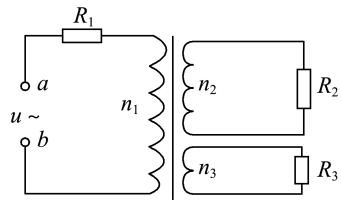


图 3-6

A. $9P$　　B. $\frac{25}{9}P$　　C. $\frac{5}{3}P$　　D. $\frac{1}{9}P$

变式训练 2　某同学设计的一个用电器的内部电路

北京科学技术出版社

图如图 3-7 所示。理想变压器的匝数比 $n_1:n_2:n_3=4:2:1$。原线圈回路中接一阻值恒为 0.1 Ω 的监控指示灯;副线圈 n_2 中接有两只均标有“6 V 6 W”的灯泡,都正常发光;副线圈 n_3 中接有四只额定功率均为 3 W 的灯泡,也都正常发光。则下列说法正确的是 ( )

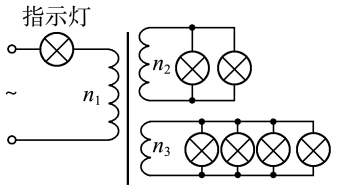


图 3-7

A. 原线圈 n_1 两端的电压为 3 V

B. 副线圈 n_3 中所接灯泡的额定电压均为 12 V

C. 交流电源电压为 9 V

D. 监控指示灯消耗的电功率为 0.4 W

四、远距离输电的动态变化问题

深度学习

1. 三个关系

电压关系:升压变压器 $\frac{U_1}{n_1}=\frac{U_2}{n_2}$,输电线 $U_2=U_3+U_{损}$,降压变压器 $\frac{U_3}{n_3}=\frac{U_4}{n_4}$。

电流关系:升压变压器 $I_1n_1=I_2n_2$,输电线 $I_2=I_3$,降压变压器 $I_3n_3=I_4n_4$。

功率关系:升压变压器 $P_1=P_2$,输电线 $P_2=P_3+P_{损}$,降压变压器 $P_3=P_4$。

2. 分析思路

负载阻值变化→用户功率 P_4 的变化→用户电流 I_4 变化→输送电流 I_2、I_3 变化→输入电流 I_1 和输入功率 P_1 的变化→升压变压器 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 分析 U_2→降压变压器 $U_3=U_2-I_2R_{线}$ 变化→用户电压 U_4 变化→负载电流、电压变化。

典型例题

例5 (多选)远距离输电示意图如图 3-8 所示,其中 T_1、T_2 为理想变压器,r 是输电线电阻,灯 L_1、L_2 相同且阻值不变。现保持变压器 T_1 的输入电压不变,滑片 P 位置不变,当开关 S 断开时,灯 L_1 正常发光,则 ( )

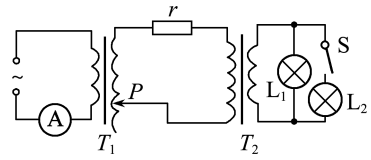


图 3-8

A. 仅闭合 S,灯 L_1 会变亮

B. 仅闭合 S,r 消耗的功率会变大,变压器 T_1 的输入功率会变大

C. 仅将滑片 P 下移,r 消耗的功率会变大

D. 仅将滑片 P 上移,电流表示数会变小

变式训练 3 (多选)某小型水电站的电能输送示意图如图 3-9 甲所示,发电机输出的电压恒定,通过升压变压器 T_1 和降压变压器 T_2 向用户供电,已知输电线的总电阻为 R,降压变压器 T_2 的原、副线圈匝数之比为 4∶1,它的副线圈两端的交变电压如图乙所示,若将变压器视为理想变压器,则下列说法正确的是 ( )

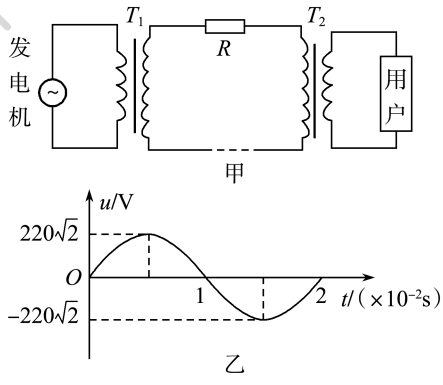


图 3-9

A. 降压变压器 T_2 原线圈的输入电压为 880 V

B. 降压变压器 T_2 的输入功率与输出功率之比为 4∶1

C. 当用户端用电量增大时,输电线上损耗的功率减小

D. 当用户端用电量增大时,发电厂输出的功率也增大

山东科学技术出版社

章末检测

（试卷满分100分，考试用时90分钟）

一、单项选择题：本题共8小题，每小题3分，共24分。在每小题给出的四个选项中，只有一项符合题目要求。

1. 下列关于交变电流的说法正确的是　　（　　）
   A. 矩形线圈绕垂直于磁场方向的轴在匀强磁场中匀速转动时产生的电流
   B. 按正弦规律变化的电流
   C. 大小随时间做周期性变化的电流
   D. 方向随时间做周期性变化的电流

2. 图1甲、乙分别表示两种电压的波形，其中图甲所示电压按正弦规律变化，下列说法正确的是　　（　　）

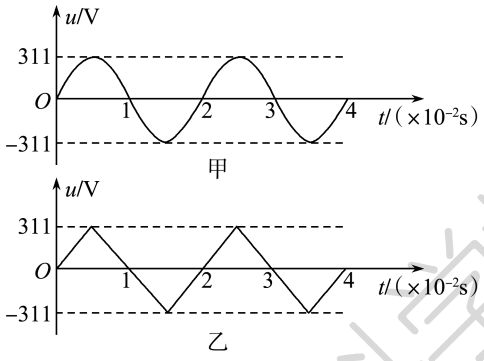


图1

   A. 图甲表示交流电，图乙表示直流电
   B. 两种电压的最大值和有效值都相等
   C. 图甲所示电压的瞬时值表达式为 $u=311\sin 100\pi t$ V
   D. 图甲所示电压经原、副线圈匝数比为10∶1的变压器变压后，频率变为原来的 $\frac{1}{10}$

3. 图2甲为小型发电机的结构简图，通过线圈在两磁极间转动给小灯泡供电，已知小灯泡获得的交变电压如图乙所示。则下列说法正确的是　　（　　）

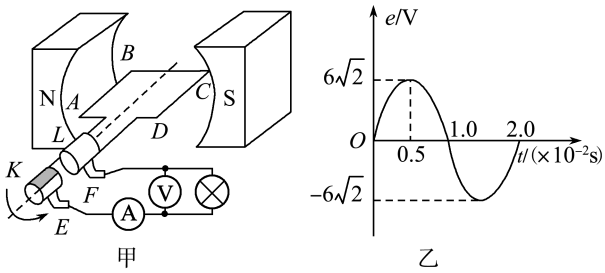


图2

   A. 图甲中电压表的示数为 $6\sqrt{2}$ V
   B. 图乙中的0时刻就是图甲所示时刻
   C. 图乙中 0.5×10^{-2} s时刻，穿过图甲中线圈的磁通量最小
   D. 图乙中 1.0×10^{-2} s时刻，穿过图甲中线圈的磁通量最小

4. 一只矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的轴匀速转动，产生的感应电动势为 $e=10\sin 4\pi t$ V，下列说法正确的是　　（　　）
   A. 交流电的频率为 4π Hz
   B. 当 $t=0$ 时线圈平面跟磁感线垂直，磁通量变化率最小
   C. 当 $t=0.5$ s时，电动势有最大值
   D. 交流电的电动势有效值为10 V

5. 一个匝数为100匝，电阻为0.5 Ω的闭合线圈处于某一磁场中，磁场方向垂直于线圈平面，从某时刻起穿过线圈的磁通量按图3所示规律变化，则线圈中产生交变电流的有效值为　　（　　）

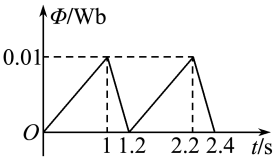


图3

   A. $5\sqrt{2}$ A　　B. $2\sqrt{5}$ A　　C. 6 A　　D. 5 A

6. 如图4所示，在自耦变压器（可看作理想变压器）输入端 ab 间加一正弦式交流电压，输出端 cd 间接灯泡和滑动变阻器。转动滑片 P 可以改变副线圈的匝数，移动滑片 Q 可以改变接入电路电阻的阻值，则　　（　　）

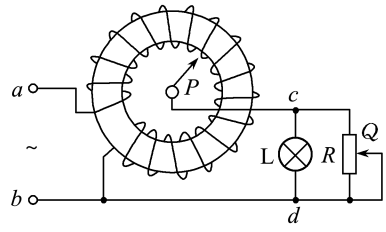


图4

   A. 只将 P 顺时针转动，灯泡变亮
   B. 只将 P 逆时针转动，灯泡变亮
   C. 只将 Q 向上移动，灯泡变亮
   D. 只将 Q 向下移动，灯泡变亮

7. 输电线的电阻为 r，输送的电功率为 P，用电压 U 输送电，则用户得到的功率为　　（　　）

山东科学技术出版社

A. P　　B. $P-\frac{P^2r}{U^2}$　　C. $P-\frac{U^2}{r}$　　D. $\frac{P^2}{U^2}r$

8. 矩形线圈 $abcd$ 在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的轴匀速转动，线圈 $abcd$ 的阻值为 1 Ω，外接电阻 R 的阻值为 9 Ω。图 5 甲中理想交流电压表的示数为 18 V；若外电路接一理想变压器，图乙中理想交流电压表的示数为 10 V，则该理想变压器原、副线圈的匝数之比为（　　）

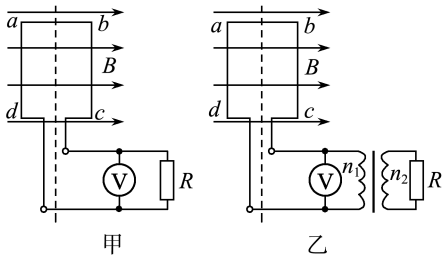


图 5

A. 1∶9　　B. 1∶3

C. 3∶1　　D. 9∶1

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 一矩形线圈绕其平面内的固定轴匀速转动，匀强磁场与轴垂直，线圈产生的感应电动势 e 随时间 t 的变化规律如图 6 所示，下列说法正确的是（　　）

A. t_1 时刻通过线圈的磁通量最小

B. t_2 时刻线圈平面与磁场方向平行

C. t_3 时刻线圈处于中性面位置

D. t_4 时刻通过线圈的磁通量变化率最小

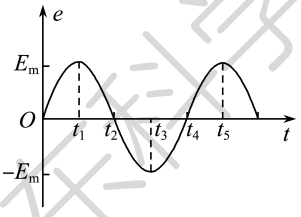


图 6

10. 如图 7 甲所示，理想变压器原、副线圈的匝数之比为44∶15。原线圈与正弦交变电流连接，输入电压 u 如图乙所示，副线圈仅接入一个 50 Ω 的电阻，则下列结论正确的是（　　）

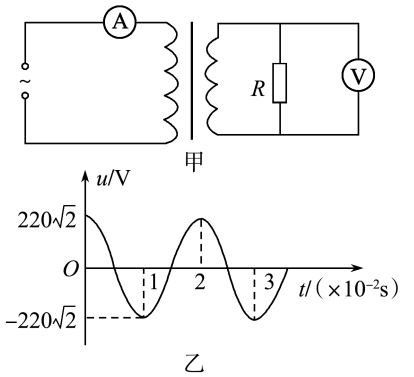


图 7

A. 副线圈中电压表的读数为 75 V

B. 原线圈中电流表的读数为 1.5 A

C. 副线圈输出的交流电的频率为 50 Hz

D. 每分钟电阻产生的焦耳热为 6 750 J

11. 远距离输电示意图如图 8 所示，电站的输出电压恒为 $U_1=250$ V，输出功率 $P_1=100$ kW，输电线电阻 $R=8$ Ω。则进行远距离输电时，下列说法正确的是（　　）

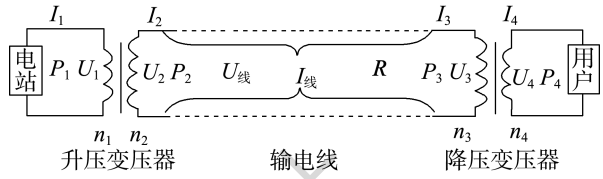


图 8

A. 若电站的输出功率突然增大，则降压变压器的输出电压减小

B. 若电站的输出功率突然增大，则升压变压器的输出电压增大

C. 输电线损耗比例为 5%时，所用升压变压器的匝数之比 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{1}{16}$

D. 用 10 000 V 的高压输电，输电线损耗功率为 800 W

12. 单相电流互感器型触电保护器由电流互感器 B、灵敏继电器 J 和交流接触器 JC（开关）组成，如图 9 甲所示（R_b 为人体等效电阻）。其中电流互感器 B 如图乙所示，有两个匝数相同的初级绕组①（粗线）和②（细线），一个次级绕组③。正常工作时，相线中的电流和零线中的电流相等，铁芯中没有净磁通量，绕组③中也没有感应电动势和电流。当人体触及相线时，通过人体的电流 I_b 经大地回到电源，此时，互感器 B 的绕组①和②中的电流失去平衡，铁芯中出现净磁通量，绕组③中即产生感应电流（触、漏电控制信号电流），此感应电流启动继电器 J 使交流接触器 JC 常闭触点打开，从而切断电源。根据触电保护器的工作原理，下列说法正确的是（　　）

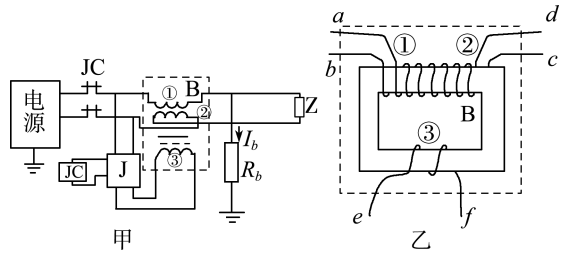


图 9

A. 电流互感器的 a 端接电源相线时，必须将 c 端接电源零线

B. 电流互感器的 a 端接电源相线时，必须将 b

山东科学技术出版社

端接电源零线

C. 连接时电流互感器初级线圈串联在电路中

D. 线圈③的匝数越少，触电保护器的灵敏度越高

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13. (6 分)利用数字化信息处理系统“探究手摇发电机的线圈产生的交变电流”。

实验步骤如下：

① 将电压传感器接入数据采集器；

② 电压传感器的测量夹与发电机的输出端并联；

③ 点击“数据采集设置”设定“采样点时间间隔”；

④ 缓慢摇动发电机的手柄，观察工作界面上的信号。

(1) 屏上出现的电压波形如图 10 所示，从图中可以看出，手摇发电机产生的电压波形不是正弦波，其原因可能有_____

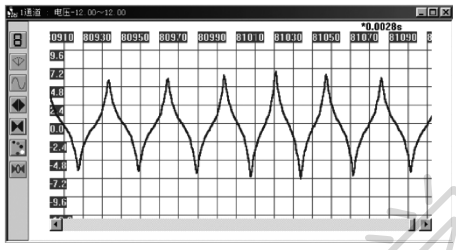


图 10

A. 转子不是在匀强磁场中转动

B. 手摇动发电机的转速不均匀

C. 线圈的电阻不稳定

(2) 研究交变电流的波形时，发现在用手摇动发电机手柄的 2 min 内屏上出现了 61 个向上的“尖峰”，则交变电流的平均周期为_____。如果发电机手摇大轮的半径是转子小轮半径的 2 倍，则手摇大轮转动的平均角速度为_____。

14. (8 分)在学校实验周活动中，某实验小组同学选用可拆变压器做“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”的实验，实验电路图如图 11 所示。实验时 $n_1=800$ 匝，$n_2=400$ 匝，断开 K，接通电源，观察电压表读数为6 V，则

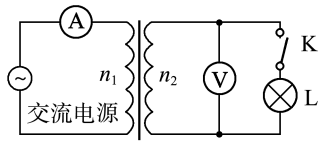


图 11

(1) 可拆变压器的输入电压有效值是　(　　)

A. 3 V　　B. $6\sqrt{2}$ V

C. 12 V　　D. 15 V

(2) 灯泡的额定电压也为 6 V，闭合 K，灯泡_____(填“能”或“不能”)正常发光。

15. (8 分)如图 12 所示，矩形线圈 $abcd$ 匝数 $n=100$ 匝、面积 $S=0.5\ \mathrm{m}^2$、电阻不计，处于磁感应强度 $B=\frac{\sqrt{2}}{10}$ T 的匀强磁场中。线圈通过金属滑环 E、F 与理想变压器原线圈相连，变压器副线圈接一只“10 V　10 W”的灯泡。接在矩形线圈和原线圈间的熔断器的熔断电流有效值 $I=1.5$ A，电阻忽略不计。现使线圈 $abcd$ 绕垂直于磁场方向的轴 OO' 以角速度 $\omega=10$ rad/s 匀速转动，灯泡正常发光。求：

(1) 线圈 $abcd$ 中电动势的有效值；

(2) 变压器原、副线圈的匝数之比；

(3) 副线圈中最多可以并联多少盏这样灯泡。

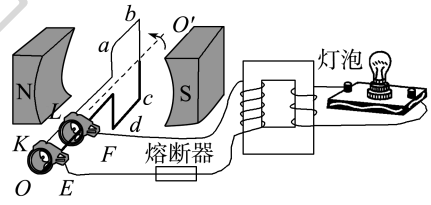


图 12

山东科学技术出版社

16.（8 分）某交流发电机和外接负载的示意图如图 13 所示。发电机电枢线圈 $abcd$ 为 $n=20$ 匝的矩形线圈，其面积 $S=0.02\ \mathrm{m}^2$，线圈绕 OO' 轴以角速度 $\omega=50\ \mathrm{rad/s}$ 逆时针匀速转动（不计一切摩擦）。矩形线圈的电阻 $r=2.0\ \Omega$，外电路负载电阻 $R=8.0\ \Omega$，匀强磁场 B 只分布在转轴 OO' 的左侧，垂直纸面向里，$B=0.5\ \mathrm{T}$。求：

（1）线圈产生感应电动势的峰值 E_m；

（2）线圈由中性面转过 90° 的过程中，产生的平均感应电动势 $\overline{E}$；

（3）线圈转动过程中，交流电压表的示数 U。

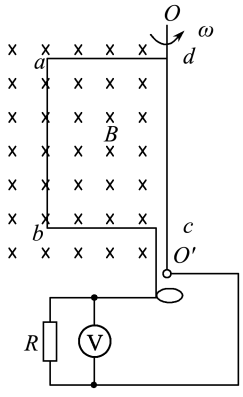


图 13

17.（14 分）如图 14 所示的变压器的原线圈 1 接到 220 V 的交流电源上；副线圈 2 的匝数 $n_2=30$ 匝，与一个“12 V　12 W”的灯泡 L 连接，L 能正常发光；副线圈 3 的输出电压 $U_3=110\ \mathrm{V}$，与电阻 R 连接，通过 R 的电流为 0.4 A。求：

（1）副线圈 3 的匝数 n_3；

（2）原线圈 1 的匝数 n_1 和电流 I_1。

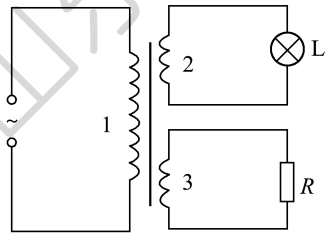


图 14

18.（16 分）发电机的端电压为 220 V，输出电功率为 44 kW，输电导线的电阻为 0.2 Ω，如果用原、副线圈匝数比为 1∶10 的升压变压器升压，经输电线路后，再用原、副线圈匝数比为 10∶1 的降压变压器降压供给用户。

（1）画出全过程的线路图；

（2）求用户得到的电压和功率；

（3）若不经过变压而直接送给用户，求用户得到的功率和电压。

山东科学技术出版社

第4章　电磁波

第1节　电磁波的产生

基于核心素养　定位课堂目标

1. 了解麦克斯韦电磁场理论的基本思想及意义，感受麦克斯韦电磁理论的美妙。

2. 能体会理论预言在科学发展中的作用，知道赫兹实验的意义，了解实验证据对新理论的支撑作用。

3. 了解振荡电流、振荡电路，能够用能量观点分析 LC 振荡电路的振荡过程，会求 LC 振荡电路的周期与频率。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、麦克斯韦的预言

1. 麦克斯韦提出的两个重要假设

(1) _____的磁场周围会产生电场；

(2) _____的电场周围会产生磁场。

2. 电磁波

在空间_____并传播出去的_____形成电磁波。

二、赫兹实验

1888 年，德国物理学家_____第一次用实验证明了麦克斯韦的预言，为麦克斯韦的_____理论奠定了坚实的实验基础。

三、电磁振荡

1. 振荡电流和 LC 振荡电路

(1) 振荡电流：_____和_____都周期性变化的电流；

(2) LC 振荡电路：产生_____的电路称为振荡电路，由_____和_____所组成的电路称为 LC 振荡电路。

2. 电磁振荡

与振荡电流相联系的_____和_____也_____交替变化，_____和_____相互转化的现象。

3. 电磁振荡的周期和频率

(1) 电磁振荡的周期：完成_____的时间，周期 T 与自感 L、电容 C 的关系_____；

(2) 电磁振荡的频率：一段时间内完成周期性变化的_____与这段时间_____，频率 f 与自感 L、电容 C 的关系_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 恒定的磁场可以产生电场。　(　　)

2. 恒定的电场和恒定的磁场会在空间形成一个统一的、不可分割的电磁场。　(　　)

3. 赫兹第一次用实验证实了电磁波的存在。　(　　)

4. 振荡电流的大小变化，方向不变。　(　　)

5. 只要改变振荡电路中电感线圈的自感或电容器的电容，就能改变其周期和频率。　(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

一、对麦克斯韦的预言的理解

导学探究

变化的磁场产生涡旋电场、变化的电场产生涡旋磁场的示意图如图 4-1-1 所示，回答问题：

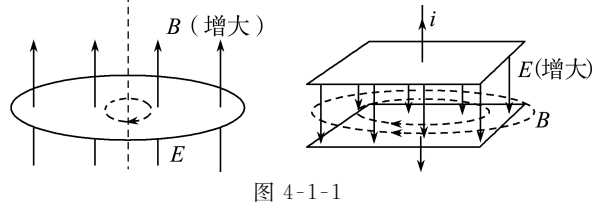


图 4-1-1

(1) 如果磁场随时间均匀变化，产生的涡旋电场变化吗？

(2) 如果磁场随时间不均匀变化，产生的涡旋电场变化吗？

(3) 如果电场随时间均匀变化，产生的涡旋磁场变化吗？

(4) 如果电场随时间不均匀变化，产生的涡旋磁场变化吗？

山东科学技术出版社

深度学习

对麦克斯韦的预言的理解

1. 变化的磁场周围会产生电场

(1) 恒定的磁场不产生电场。

(2) 均匀变化的磁场产生恒定的电场。

(3) 非均匀变化的磁场产生变化的电场。

(4) 交变的磁场产生同频率交变的电场。

2. 变化的电场周围会产生磁场

(1) 静电场不产生磁场。

(2) 均匀变化的电场产生恒定的磁场。

(3) 非均匀变化的电场产生变化的磁场。

(4) 交变的电场产生同频率交变的磁场。

典型例题

例1 关于电磁场理论,下列说法正确的是 ( )

A. 在电场周围一定产生磁场,磁场周围一定产生电场

B. 在变化的电场周围一定产生变化的磁场

C. 均匀变化的电场周围一定产生均匀变化的磁场

D. 周期性变化的电场周围一定产生周期性变化的磁场

变式训练 1 电磁波与声波比较,下列说法错误的是 ( )

A. 电磁波的传播不需要介质,声波的传播需要介质

B. 由空气进入水中,电磁波速度变小,声波速度变大

C. 由空气进入水中时,电磁波波长变短,声波波长变长

D. 电磁波和声波在介质中的传播速度都是由介质决定的,与频率无关

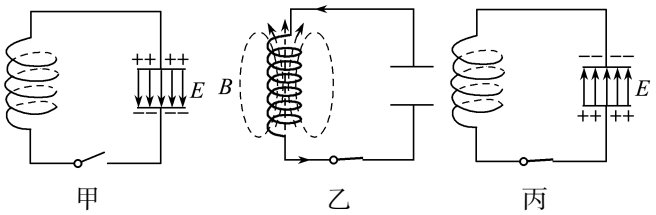
素养提升

电磁波和声波都具有波的特性:干涉、衍射等,但他们具有本质的不同。声波是机械波,它的传播依赖于介质的存在;而电磁波是电磁现象,它的传播不需要介质。

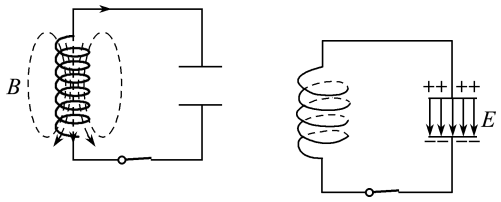
二、电磁振荡

深度学习

振荡电路中能量变化及电路分析:(如图 4-1-2 所示)



甲 乙 丙



丁 戊

图 4-1-2

甲图:电场能达到最大,磁场能为零,电路中电流 $i=0$,电容器电荷量最大。

甲→乙:电场能减少,磁场能增加,电路中电流 i 增加,电容器电荷量减小,电路中电场能向磁场能转化,叫放电过程。

乙图:磁场能达到最大,电场能为零,电路中电流 i 达到最大,电容器电荷量为零。

乙→丙:电场能增加,磁场能减少,电路中电流 i 减小,电容器电荷量增大,电路中磁场能向电场能转化,叫反向充电。

丙图:电场能达到最大(与甲图的电场反向),磁场能为零,电路中电流 $i=0$,电容器中电荷量最大。

丙→丁:电场能减少,磁场能增加,电路中电流 i 增加,电容器电荷量减小,电路中电场能向磁场能转化,叫反向放电。

丁图:磁场能达到最大,电场能为零,电路中电流 i 达到最大,电容器电荷量为零。

丁→戊:电场能增加,磁场能减少,电路中电流 i 减小,电容器电荷量增大,电路中磁场能向电场能转化。

戊与甲状态相同,上述过程周而复始地进行,就产生了方向和大小随时间做周期性变化的振荡电流,电场能与磁场能也周期性交替转化。

素养提升

1. 同步同向变化

电容器上的物理量:电荷量 q、电场强度 E、电场能 $E_{电}$ 是同步变化的,即 $q\downarrow\rightarrow E\downarrow\rightarrow E_{电}\downarrow$(或 $q\uparrow\rightarrow E\uparrow\rightarrow E_{电}\uparrow$)。

振荡线圈上的物理量:振荡电流 i、磁感应强度 B、磁场能 $E_{磁}$ 也是同步变化的,即 $i\downarrow\rightarrow B\downarrow\rightarrow E_{磁}\downarrow$(或 $i\uparrow\rightarrow B\uparrow\rightarrow E_{磁}\uparrow$)。

2. 同步异向变化

电容器上的物理量 q、E、$E_{电}$ 与线圈中的物理量 i、B、$E_{磁}$ 是同步异向变化的,即 q、E、$E_{电}$ 同时减小时,i、B、$E_{磁}$ 同时增大,且它们的变化是同步的,即 $(q、E、E_{电})\uparrow\rightarrow(i、B、E_{磁})\downarrow$。

典型例题

例2 (多选)在 LC 回路产生电磁振荡的过程中,下列说法正确的是 ( )

A. 电容器放电完毕时,回路中磁场能最小

山东科学技术出版社

B. 回路中电流值最大时，磁场能最大
C. 电容器极板上电荷量最多时，电场能最大
D. 回路中电流值最小时，电场能最小

变式训练 2　(多选)某振荡电流变化图像如图 4-1-3 所示，下列说法正确的是　(　　)

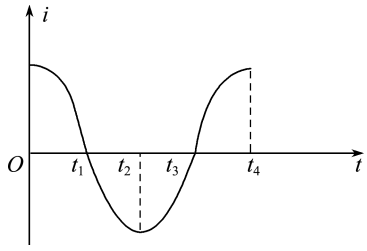


图 4-1-3

A. 0～t_1，电容器正在充电
B. t_1～t_2，电容器正在充电
C. 在 t_3 时刻，线圈中的自感电动势最大
D. 在 t_4 时刻，线圈中的自感电动势最大

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 建立完整的电磁场理论并首先预言电磁波存在的科学家是　(　　)
A. 麦克斯韦　　B. 奥斯特
C. 赫兹　　D. 法拉第

2. 下列说法正确的是　(　　)
A. 教室中开亮的日光灯周围不存在磁场和电场
B. 电场随时间变化时一定产生电磁波
C. 做变速运动的电荷会在空间产生电磁波
D. 赫兹第一次用实验证实了电磁波的存在

3. (多选)关于 *LC* 振荡电路中电容器两极板上的电荷量，下列说法正确的是　(　　)
A. 电荷量为零时，线圈中振荡电流最大
B. 电荷量最大时，线圈中振荡电流也最大
C. 电荷量增大的过程中，电路中的磁场能转化为电场能
D. 电荷量减少的过程中，电路中的磁场能转化为电场能

4. (多选)某时刻 *LC* 振荡电路的状态如图 4-1-4 所示，磁场正在增加，则在此时刻　(　　)
A. 振荡电流方向 $a\to b$
B. 振荡电流方向 $b\to a$
C. 电场能正在向磁场能转化
D. 磁场能正在向电场能转化

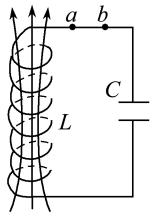
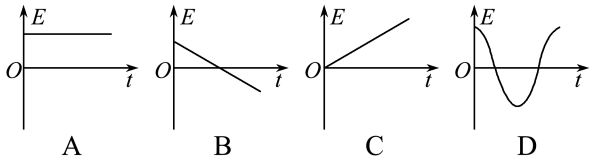


图 4-1-4

能力进阶

5. 某电路中电场随时间变化的图像如图所示，能发射电磁波的电场是　(　　)



A　　B　　C　　D

6. *LC* 振荡电路的电流随时间变化的图像如图4-1-5所示。在 $t=0$ 时刻，回路中电容器的 *M* 板带正电，在某段时间内，回路的磁场能在减小，而 *M* 板仍带正电，则这段时间对应图像中的　(　　)

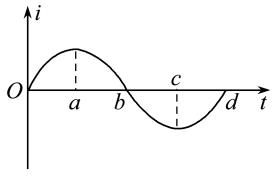


图 4-1-5

A. *Oa* 段　　B. *ab* 段
C. *cd* 段　　D. *bc* 段

7. 如图 4-1-6 所示的振荡电路中，自感系数 $L=300\ \mu$H，电容 *C* 的范围为 25～270 pF。
(1) 求振荡电流的频率范围。
(2) 若自感系数 $L=10$ mH，要产生周期 $T=0.02$ s 的振荡电流，应配置多大的电容？

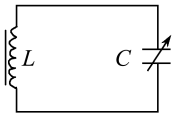


图 4-1-6

【小微专题　*LC* 图像专题】

如图 4-1-7 所示，*L* 是不计电阻的电感器，*C* 是电容器，闭合开关 K，待电路达到稳定状态后，再断开开关 K，*LC* 电路中将产生电磁振荡。如果规定电感器 *L* 中的电流方向从 *a* 到 *b* 为正，断开开关 K 的时刻为 $t=0$，那么下列四个图中能够正确表示电感器中的电流随时间变化规律的是　(　　)

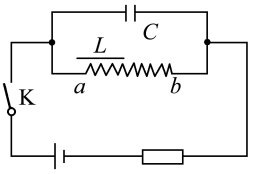
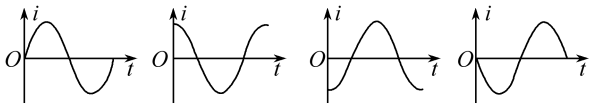


图 4-1-7



A　　B　　C　　D

西安科技大出版社

第2节 电磁波的发射、传播和接收

基于核心素养 定位课堂目标

1. 了解开放电路，知道电磁波有效发射的条件，知道场的统一性和多样性。

2. 了解如何发射电磁波，了解电磁波的三种传播途径及其特点。

3. 了解如何接收电磁波。

基础自主落实 即时自我诊断

自主落实

一、电磁波的发射

1. 有效发射电磁波的振荡电路必须满足的两个条件：

(1) 振荡频率足够_____。

(2) 电场、磁场尽可能分布到_____的空间。

2. 开放电路

为了满足有效发射的条件，可_____电容器的极板面积，_____极板间距，使电容器变成两条长的直导线，一条伸入高空成为_____，另一条接入地下成为_____。

3. 调制

把_____加载到_____振荡电流上。常用的调制方式有_____和_____两种。

二、电磁波的传播

1. 无线电波通常有三种传播途径：_____、_____和_____。

2. 地波：沿_____空间传播的无线电波。

3. 天波：靠大气中电离层的_____传播的无线电波。

4. 空间波：像光束那样_____传播的无线电波。

三、电磁波的接收

1. 电谐振现象：当接收电路的固有频率跟收到的电磁波的频率_____时，接收电路中产生最强电流，与机械振动中的_____类似。

2. 调谐：在无线电技术中，对空间存在的各种频率的电磁波，需要选择某一种特定的_____接收的选择过程。

3. LC 调谐电路的主要部分由_____和_____组成。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 增大振荡电路的频率可以更有效地发射电磁波。(　　)

2. 调频广播在传递过程中比调幅广播抗干扰能力强。(　　)

3. 手机信号采用的是天波传播。(　　)

4. 接收电路处于电谐振时，其他频率的电磁波不能被接收。(　　)

课堂合作探究 深度解析疑难

一、对电磁波的发射条件的理解

深度学习

1. 发射电路的特点及理解

为了有效地发射电磁波，振荡电路的振荡频率必须足够高，电场、磁场尽可能分布到较大的空间。实际应用中的开放电路：通常线圈的一端用导线与大地相连，这条导线叫作地线；线圈的另一端与高高架在空中的天线相连。

2. 调制的理解

调制就是把传递的信号“加”到载波上的过程，其中载波是用来“运载”信号的高频等幅波。

调制方式：

(1) 调幅(AM)：电磁波的振幅随信号改变，频率始终保持不变。

(2) 调频(FM)：电磁波的频率随信号改变而改变。

典型例题

例1 (多选)要使 LC 振荡电路更有效地发射电磁波，应该采取的措施是(　　)

A. 减小电容器极板间距

B. 减小线圈 L 的自感

C. 使振荡电容器两极板的正对面积足够大

D. 尽可能使电场和磁场分散开

素养提升

$f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 和 $C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 这两个公式是分析这类问题的基础。由 $C=\dfrac{\varepsilon_r S}{4\pi kd}$ 可清楚地判断影响电容 C 大小的因素，同时也应清楚影响自感系数 L 大小的因素，如增加自感线圈的匝数可增大自感系数 L，将铁芯取走可减小自感系数 L 等。再由公式 $f=\dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 进行综合分析即可。

变式训练 1 (多选)关于无线电波的发射过程，下列说法正确的是(　　)

A. 必须使用开放回路

山东科学技术出版社

B. 必须对信号进行调制
C. 必须把传输信号加到高频电流上
D. 可以直接传输声音、图像等信号

二、电磁波的接收

深度学习

当处于电谐振时，所有的电磁波仍能在接收电路中产生感应电流，只不过频率跟谐振电路固有频率相等的电磁波，在接收电路中激发的感应电流最强。而其他频率的电磁波在这个电路中激起的电流很小，甚至可完全忽略。这样把需要的无线电波接收下来，但通过耳机仍然听不到声音，还需检波、放大两个过程。

典型例题

例2　(多选)关于电磁波的接收，下列说法正确的是（　　）
A. 当处于电谐振时，所有的电磁波仍能在接收电路中产生感应电流
B. 当处于电谐振时，只有被接收的电磁波才能在接收电路中产生感应电流
C. 由调谐电路接收的感应电流，再经过耳机就可以听到声音了
D. 由调谐电路接收的感应电流，再经过耳机仍然听不到声音

变式训练 2　接收电路要减小接收电磁波的频率，对接收电路可行的是（　　）
A. 增大线圈的匝数
B. 抽出线圈中的磁芯
C. 降低电容器的充电电压
D. 减小电容器的电容

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 为了使需要传递的信息(如声音、图像等)加载在载波上，必须进行（　　）
A. 调谐　　B. 放大　　C. 调制　　D. 检波
2. 下列关于信息传递的说法正确的是（　　）
A. 微波通信、卫星通信、光纤通信、网络通信都可以用来传递信息
B. 固定电话、移动电话、广播和电视都是利用导线中的电流传递信息的
C. 摄像机拍得的物体图像，直接通过发射天线发射传播信息
D. 声、光和电磁波中，只有电磁波能够传递信息
3. 传送电视信号的无线电波波段是（　　）
A. 长波　　B. 中波　　C. 短波　　D. 微波
4. 雷达使用的电磁波是（　　）
A. 长波　　B. 短波　　C. 微波　　D. 超声波
5. (多选)下列说法正确的是（　　）
A. 收音机信号需要经过“调制”，加到高频的等幅电磁波(载波)上才能有效地发射出去
B. 一部手机既是电磁波发射装置，同时又是电磁波接收装置
C. 调频是使高频振荡信号的振幅随低频信号变化
D. 当电磁波停止发射时，电磁波立即停止传播
6. 某 LC 振荡回路的频率为 100 Hz，电容为0.2 μF，则电感线圈的自感是多大？如果 LC 振荡回路的频率为 1 000 Hz，电容不变，线圈的自感又是多大？

能力进阶

7. 一台简单收音机的收音过程至少要经过的两个过程是（　　）
A. 调幅和检波　　B. 调制和检波
C. 调谐和解调　　D. 调谐和调幅
8. 收音机调谐电路中是采用改变电容的方式来改变回路固有频率的。当接收的电磁波的最长波长是最短波长的 3 倍时，电容器的最大电容量与最小电容量之比为（　　）
A. 3∶1　　B. 1∶3　　C. 1∶9　　D. 9∶1

第3节　电磁波谱

基于核心素养　定位课堂目标

1. 了解电磁波谱的内涵，知道电磁波谱中各波段的主要特性。

2. 了解电磁波在科技、经济、社会发展中的主要应用，能体会其对人类生活和社会发展的影响。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、认识电磁波谱

1. 电磁波包括_____、_____、_____、

山东科学技术出版社

_____、_____、_____等。

2. 电磁波按_____或_____顺序排列起来就构成电磁波谱。

3. 电磁波都具有反射、_____、_____和干涉特性，在真空中的传播速度均等于_____。

二、不同波段电磁波的应用

1. 无线电波的应用

长波主要用于_____及_____；中波主要用于_____及_____；短波主要用于_____及_____；微波主要用于_____、_____、_____和_____。

2. 红外线和紫外线的应用

红外线具有较强的感光能力，热效应明显。人们应用它来加热物体，如_____、_____烹饪食物等。人们还利用红外线可使特制底片感光的性质，制成了_____、_____等。紫外线能使很多物质发出荧光，很容易让底片感光，银行利用紫外线灯鉴别钞票的_____。当适量的紫外线照射人体时，能促使人体合成维生素_____，可预防_____，但过量的紫外线会对人体造成_____。紫外线具有杀菌作用，如医院常常利用紫外线_____。

3. X 射线和 γ 射线的应用

X 射线的_____较强，用于辅助疾病诊断；γ 射线_____较高，_____很强，用来杀死癌细胞。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 各种电磁波有明显的频率和波长区域界限。（　　）
2. 一切物体都在不停地辐射红外线。（　　）
3. 微波炉利用红外线热效应来加热物体。（　　）
4. 利用紫外线的荧光效应来做防伪标识。（　　）
5. γ 射线可以用来杀死癌细胞，所以不会干扰人体正常的化学过程。（　　）

课堂合作探究 深度解析疑难

典型例题

例 （多选）关于电磁波谱，下列说法正确的是（　　）

A. 电磁波都能发生干涉、衍射现象

B. 紫外线能促使体内维生素 D 的合成

C. 紫外线有显著的热效应，红外线有显著的化学作用

D. 温度较低的物体不能辐射红外线

素养提升

电磁波在生产生活等方面应用广泛，实际应用的题较多，需要提高自己运用知识的能力，更应该留心自然中、生活中、现代技术中应用了什么物理现象和规律，是如何应用的。

变式训练 电磁波在生活中有着广泛的应用，不同波长的电磁波具有不同的特性，因此也有不同的应用，下列器材与其所应用的电磁波对应关系不正确的是（　　）

A. 雷达——无线电波

B. 手机——X 射线

C. 紫外消毒柜——紫外线

D. 遥控器——红外线

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 在电磁波谱中，红外线、可见光和伦琴射线（X 射线）三个波段的频率大小关系是（　　）

A. 红外线的频率最大，可见光的频率最小

B. 伦琴射线的频率最大，红外线的频率最小

C. 可见光的频率最大，红外线的频率最小

D. 伦琴射线的频率最大，可见光的频率最小

2. 装有某种遥感照相机的卫星能拍到晚上关灯行驶的汽车，即使车队离开了，也瞒不过它。这种遥感照相机敏感的电磁波属于（　　）

A. 红外波段　　B. 可见光波段

C. 紫外波段　　D. X 射线波段

3. 医院常用 X 光机检查人的身体。X 光机利用了 X 射线的（　　）

A. 荧光效应　　B. 灭菌消毒作用

C. 显著热效应　　D. 强穿透能力

4. 配戴“红外夜视仪”能清楚地看清目标，这主要是因为（　　）

A. “红外夜视仪”发射出强大的红外线，照射被视物体

B. 一切物体均不停地辐射红外线

C. 一切高温物体不停地辐射红外线

D. “红外夜视仪”发射出 γ 射线，放射性物体受到激发而发出红外线

能力进阶

5. 理疗医用“神灯”照射伤口，可使伤口愈合得较好，这里的“神灯”是利用（　　）

A. 紫外线具有很强的荧光效应

B. 紫外线具有杀菌消毒作用

C. X 射线具有较强的贯穿力

D. 红外线具有显著的热效应

6. 太阳表面温度约为 6 000 K，主要发射可见光；人体温度约为 310 K，主要发射红外线；宇宙间的温度约为 3 K，所发出的辐射称为“3 K 背景辐射”。它是宇宙“大爆炸”之初在空间上保留下的余热，若要进行“3 K 背景辐射”的观测，应该选择下列哪一个波段（　　）

A. 无线电波　　B. 紫外线

C. X 射线　　D. γ 射线

山东科学技术出版社

第5章　传感器及其应用

第1节　常见传感器的工作原理

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能了解常见传感器的工作原理，知道非电学量转换成电学量的技术意义。

2. 能解释传感器在生产生活中的应用。具有与传感器相关的运动与相互作用观念。

3. 能尝试将实际问题中的对象与过程转换成物理模型，能分析传感器中非电学量转换成电学量的原理。

4. 能用证据说明光敏元件、热敏元件和霍尔元件的作用，能对一些传感器提出改进措施。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、初识传感器

1. 传感器

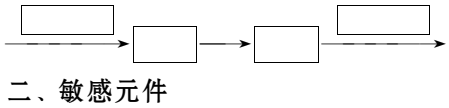
(1) 定义：能够感受_____，并将其按照一定的规律转换成可用输出信号(主要是_____)的器件或装置，称之为传感器。

(2) 传感器应用在自动测量和自动控制系统中，担负着信息采集和转换的任务。通常传感器需要把_____转换为_____。

2. 传感器工作原理

(1) 传感器主要由_____元件和_____元件组成。

(2) 非电学量转换为电学量示意图：



二、敏感元件

1. 光敏元件

(1) 功能：把_____转换为电学量。

(2) 工作原理：利用某些物质在光照射下电学特性随之变化的特性制成。

(3) 比较常见的光敏元件有光敏电阻、光敏晶体管、光电池等。

2. 热敏元件

(1) 功能：把_____转换为电学量。

(2) 工作原理：利用敏感元件的某种电学特性随温度变化而变化的规律制成。

(3) 热敏电阻是利用半导体的电阻会随温度的变化而改变的特性制成。

3. 磁敏元件

(1) 功能：把_____转换为电学量。

(2) 霍尔元件可将磁感应强度的测量转换为电压的测量。

(3) 霍尔电压：$U_H = k\dfrac{IB}{d}$

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 传感器接收到非电学量能自己产生电压从而进行测量。(　　)
2. 当有光照射到光敏电阻上时，会激发光敏电阻内部受束缚的电子，其阻值会改变。(　　)
3. 热敏元件的电阻值都是随温度升高而逐渐变小。(　　)
4. 光敏电阻能够把电信号转换成光信号。(　　)
5. 温度、压力、声音、位移等非电学量可以通过传感器转换成电学量。(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

一、传感器

导学探究

传感器在我们生活中很常见，如某些温度计、电子秤、声控灯中都用到了传感器，它们能够感受外界信息，并将其按照一定的规律转换成可用输出信号。请问我们学过哪些非电学物理量，我们学习的电学

山东科学技术出版社

中又有哪些物理量？传感器接收到的是什么物理量，输出的又是什么物理量，这样有什么好处？

深度学习

传感器的工作原理

传感器感受的通常是非电学量，如压力、温度、位移、浓度、速度、酸碱度等，而它输出的通常是电学量，如电压值、电流值、电荷量等，这些输出信号是非常微弱的，通常要经过放大后再送给控制系统产生各种控制动作。

典型例题

例1 关于传感器工作的一般流程，下列说法正确的是 （ ）

A. 非电学量→敏感元件→转换电路→电学量→转换元件

B. 电学量→敏感元件→转换电路→转换元件→非电学量

C. 非电学量→敏感元件→转换元件→转换电路→电学量

D. 非电学量→转换电路→转换元件→敏感元件→电学量

变式训练 1 （多选）关于传感器的作用，下列说法正确的是 （ ）

A. 通常的传感器可以直接用来进行自动控制

B. 传感器可以用来采集信息

C. 传感器可以将感受到的一些信号转换为电学量

D. 传感器可以将所有感受到的信号转换为电学量

二、敏感元件

深度学习

1. 光敏电阻

（1）原理：光敏电阻一般由硫化镉等半导体材料制成，无光照时导电性能不好，随着光照增强，导电性能变好。

（2）特性：光敏电阻的阻值随光照的增强而减小，这样光敏电阻可以把光照强弱转换为电阻大小这个电学量。光敏电阻在被光照射时电阻值发生变化，原因是构成物质为半导体材料，当光照射到光敏电阻上时，会激发光敏电阻内部受束缚的电子，随光照的增强，被激发的电子数变多，导电性能变好，电阻值减小。

2. 热敏电阻

（1）分类：热敏电阻的电阻率随温度的升高而升高或降低。热敏电阻主要有两种：

正温度系数热敏电阻（PTC）：指随温度的上升电阻值急剧增加。具有正温度系数的热敏电阻，可专门用作恒定温度传感器（如图 5-1-1 甲所示）。

负温度系数热敏电阻（NTC）：指随温度的上升电阻值减小。具有负温度系数的热敏电阻（如图乙所示）。

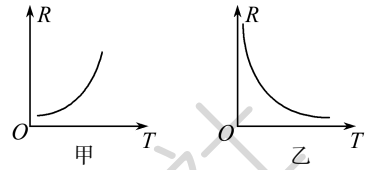


图 5-1-1

注意：若题目中无特别说明，一般是指负温度系数的热敏电阻（NTC）。

（2）用途：热敏电阻是一种灵敏度极高的温度传感器，在测温过程中反应非常快。电子体温计及家用电器（电脑、空调、冰箱等）的温度传感器，主要使用热敏电阻。

3. 金属热电阻

有些金属的电阻率随温度的升高而增大，这样的电阻也可以制作温度传感器，称为金属热电阻，如铂电阻温度计。某金属导线的 R-T 特性曲线如图 5-1-2 所示。

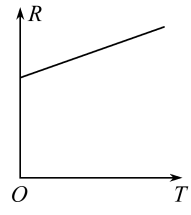


图 5-1-2

热敏电阻或金属热电阻都能够把温度这个热学量转换为电阻这个电学量。相比而言，金属热电阻的化学稳定性好，测温范围大，但灵敏度较差，而热敏电阻的灵敏度较好。

4. 磁敏电阻

（1）原理：外部磁场使运动的电荷受到洛伦兹力，在导体板的一侧聚集，在导体板的另一侧会出现另一种电荷，从而形成电场；电场对电荷施加与洛伦兹力方向相反的静电力，当静电力与洛伦兹力达到平衡时，导体板左右两侧会形成稳定的电压。

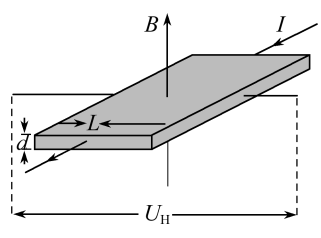


图 5-1-3

（2）推导：设霍尔元件厚度为 d，宽度为 L，如图 5-1-3 所示：

则 $q\dfrac{U_H}{L}=qvB$

山东科学技术出版社

根据电流的微观表达式 $I=nqSv$，整理后，得 $U_{\mathrm{H}}=\dfrac{IB}{nqd}$。

令 $k=\dfrac{1}{nq}$，称为霍尔系数，则 $U_{\mathrm{H}}=k\dfrac{IB}{d}$。

因为 n 为材料单位体积的带电粒子个数，q 为单个带电粒子的电荷量，对于某种确定的材料来说，它们均为常数，所以 U_H 与 B 成正比，这就是霍尔元件能把磁学量转换成电学量的原因。

典型例题

例2　对于确定的一个霍尔元件，若保持通入的恒定电流不变，当磁感应强度增加时，霍尔电压 U_{H} 应（　　）

A. 不变　　B. 减小

C. 增大　　D. 不确定

素养提升

利用霍尔效应做成的霍尔元件有很多方面的用途。例如，测量磁场；测量直流和交流电路中的电流强度和功率；转换信号，如把直流电流转换成交流电流并对它进行调制，放大直流或交流信号等。

变式训练 2　如图 5-1-4 所示，电流 I 流过长方体金属块，金属块宽度为 d，高为 h，有一磁感应强度为 B 的匀强磁场，垂直于纸面向里，金属块单位体积内的自由电子数为 n，试问金属块上表面电势高还是下表面电势高？电势差是多少？

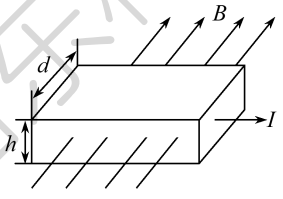


图 5-1-4

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 下列器件应用力传感器的是（　　）

A. 鼠标器　　B. 火灾报警器

C. 测温仪　　D. 电子秤

2. 传感器是把非电学量（如高度、温度、压力等）的变化转换成电学量变化的一种元件，它在自动控制中有着广泛的应用。图 5-1-5 是一种测定液面高度的电容式传感器的示意图，金属棒与导电液体构成一个电容器，将金属棒和导电液体分别与直流电源的两极相连接，从电容 C 和导电液与金属棒间的电压 U 的变化就能反映液面的升降情况，即

① 电源接通后，电容 C 减小，反映 h 减小

② 电源接通后，电容 C 减小，反映 h 增大

③ 电源接通再断开后，电压 U 减小，反映 h 减小

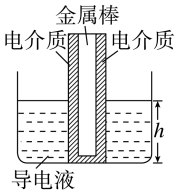


图 5-1-5

④ 电源接通再断开后，电压 U 减小，反映 h 增大

以上判断正确的是（　　）

A. ①③　　B. ①④

C. ②③　　D. ②④

3. 如图 5-1-6 所示，R_{T} 为半导体热敏电阻（随温度升高，电阻阻值逐渐变小），其他电阻都是普通的电阻，当灯泡 L 的亮度变暗时，说明（　　）

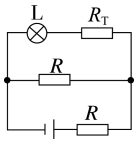


图 5-1-6

A. 环境温度变高

B. 环境温度变低

C. 环境温度不变

D. 都有可能

4. 传感器的种类多种多样，其性能也各不相同。空调机在室内温度达到设定的温度后，会自动停止工作，空调机内使用的传感器是（　　）

A. 生物传感器　　B. 红外传感器

C. 温度传感器　　D. 压力传感器

5. 下列关于传感器的说法正确的是（　　）

A. 所有传感器都是由半导体材料制成的

B. 金属材料也可以制成传感器

C. 传感器主要是通过感知电压的变化来传递信号的

D. 以上说法都不正确

能力进阶

6. 温度传感器广泛应用于室内空调、电冰箱等家用电器中，它是利用热敏电阻的阻值随温度变化的特殊性来工作的。如图 5-1-7 甲所示，电源的电动势 $E=9$ V，内阻不计；G 为灵敏电流表，内阻保持不变；R 为热敏电阻，其电阻阻值与温度的变化关系如图乙所示。闭合开关 S，当 R 的温度等于 20 ℃时，电流表示数 $I_1=2$ mA。当电流表的示数 $I_2=3.6$ mA 时，热敏电阻的温度是（　　）

山东科学技术出版社

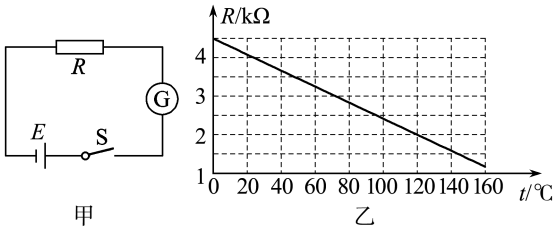


图 5-1-7

A. 60 ℃　　B. 80 ℃

C. 100 ℃　　D. 120 ℃

7. 如图 5-1-8 所示，用光敏电阻 LDR（光照越强阻值越小）和灯泡制成的一种简易水污染指示器，下列说法正确的是（　　）

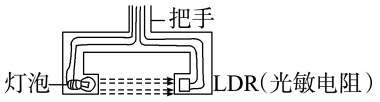


图 5-1-8

A. 严重污染时，LDR 是高电阻

B. 轻度污染时，LDR 是高电阻

C. 无论污染程度如何，LDR 的电阻不变，阻值大小由材料本身因素决定

D. 该仪器的使用不会受到白天或晚上影响

8. 按如图 5-1-9 所示接好电路，R_T 随温度升高电阻变小。闭合 S_1、S_2，发现小灯泡不亮，用电吹风对热敏电阻吹一会儿热风，发现小灯泡亮了，原因是_____；停止吹风，把热敏电阻放入冷水中会发现小灯泡_____。

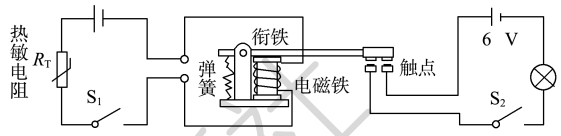


图 5-1-9

第2节　科学制作：简单的自动控制装置

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能完成“利用传感器制作简单的自动控制装置”的物理实验。

2. 能针对真实情境提出与实验有关的物理问题，能对一些传感器设计提出质疑。

3. 能阐述实验原理，设计实验方案和实验步骤，能动手制作简单的自动控制装置，能用证据说明自制自动控制装置的优势与问题。

4. 能撰写研究报告，在报告中能呈现实验原理、实验方案、实验步骤、实验表格、数据分析过程及实验结论，能提出改进措施，能与他人分享制作成果。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、实验的目的

1. 设计并制作光报警装置。

2. 设计并制作温度报警装置。

3. 了解制作的报警装置的工作原理。

二、实验器材

光敏电阻、热敏电阻、温度计、干电池、手电筒、蜂鸣器、开关、导线、变阻器。

三、实验原理与设计

1. 光报警装置和温度报警装置的原理图（如图 5-2-1 所示）

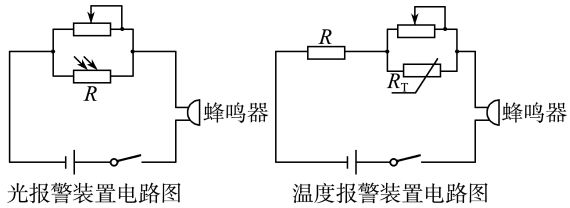


图 5-2-1

2. 光报警装置和温度报警装置的工作原理

当光报警装置中的光敏电阻受到更强的光照时，阻值会变小，电路中的电流会变大，当电流增大到一定值时，蜂鸣器就会报警。

当温度报警装置中的热敏电阻温度升高时，阻值会变小，电路中的电流会变大，当电流增大到一定值时，蜂鸣器就会报警。

四、实验步骤

1. 设计并制作光报警装置

（1）根据光报警装置实验原理图组装电路。

（2）闭合开关，用手电筒照射光敏电阻，同时调节滑动变阻器阻值直到蜂鸣器刚好报警。

（3）改变手电筒光照强度，再次调节滑动变阻器阻值直到蜂鸣器刚好报警，重复几次，根据实验现象定性分析蜂鸣器刚好报警时光照强度与滑动变阻器阻值的关系。

山东科学技术出版社

2. 设计并制作温度报警装置

(1) 根据温度报警装置实验原理图组装电路。

(2) 闭合开关,将热敏电阻放入热水中,同时调节滑动变阻器阻值直到蜂鸣器刚好报警。

(3) 改变热敏电阻所处热水温度,再次调节滑动变阻器阻值直到蜂鸣器刚好报警,重复几次,根据实验现象定性分析蜂鸣器刚好报警时温度与滑动变阻器阻值的关系。

五、实验结论

结论一:光报警装置的滑动变阻器阻值越大,蜂鸣器报警时光照强度_____。

结论二:温度报警装置的滑动变阻器阻值越大,蜂鸣器报警时温度_____。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 在光报警装置的电路中,光照越强通过蜂鸣器的电流越小。(　　)
2. 在实验过程中接通电路之前滑动变阻器阻值应调到最大。(　　)
3. 在温度报警装置中,滑动变阻器阻值越大蜂鸣器报警所需的温度越低。(　　)
4. 温度报警装置可用于火灾报警。(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

导学探究

请根据如图 5-2-2 所示电路图分析:

怎样才能让光报警装置更灵敏(在更弱的光照下能报警)?

怎样才能让温度报警装置更灵敏(在更低的温度下能报警)?

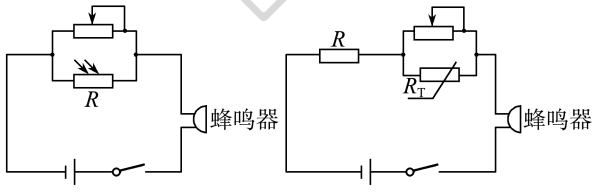


图 5-2-2

深度学习

报警装置在我们生活中比较常见。火灾探测器是在消防火灾自动报警系统中,对现场进行探查,发现火灾的设备。火灾探测器是系统的“感觉器官”,它的作用是监视环境中有没有火灾的发生。一旦有了火情,敏感元件就将火灾的特征物理量,如温度、烟雾、气体和辐射光强等转换成电信号,并立即向火灾报警控制器发送报警信号。

典型例题

例　(多选)在温控电路中,通过热敏电阻阻值随温度的变化可实现对电路相关物理量的控制,如图 5-2-3 所示电路,R_1 为定值电阻,R_2 为半导体热敏电阻(温度越高电阻阻值越小),C 为电容器。当环境温度降低时(　　)

A. 电容器 C 的带电荷量增大

B. 电压表的读数增大

C. 电容器 C 两板间的电场强度减小

D. R_1 消耗的功率增大

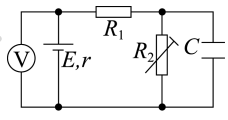


图 5-2-3

变式训练　酒精测试仪用于机动车驾驶人员是否酗酒及其他严禁酒后作业人员的现场检测。它利用的是一种二氧化锡半导体型酒精气体传感器,酒精气体传感器的电阻随酒精气体浓度的变化而变化,在如图 5-2-4 所示的电路中,不同的酒精气体浓度对应着传感器的不同电阻,这样,电压表的指针就与酒精气体浓度有了对应关系。如果二氧化锡半导体型酒精气体传感器电阻的倒数 r' 与酒精气体的浓度成正比,那么,电压表示数 U 与酒精气体浓度 c 之间的对应关系正确的是(　　)

A. U 越大,表示 c 越大,c 与 U 成正比

B. U 越大,表示 c 越大,但是 c 与 U 不成正比

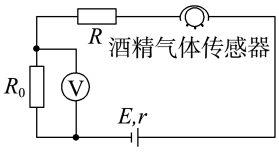


图 5-2-4

C. U 越大,表示 c 越小,c 与 U 成反比

D. U 越大,表示 c 越小,但是 c 与 U 不成反比

分层进阶训练　课后总结提升

水平达标

1. 在输液时,药液有时会从针口流出体外,为了及时发现,设计了一种报警装置,电路如图 5-2-5 所示。M 是贴在针口处的传感器,接触到药液时其电阻 R_M 发生变化,导致 S 两端电压 U 增大,装置发出警报,R_M 和 S 可看成纯电阻。当药液流出时(　　)

山东科学技术出版社

A. R_M变大，电路中电流变大
B. R_M变大，电路中电流变小
C. R_M变小，电路中电流变大
D. R_M变小，电路中电流变小

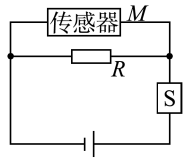


图 5-2-5

2. （多选）在一些学校的教室里，为了保证照明条件，采用了智能照明系统，在自然光不足时接通电源启动日光灯，而在自然光充足时，自动关闭日光灯。其原理图如图 5-2-6 所示，R 为一光敏电阻，L 为一带铁芯的螺线管。在螺线管上方有一用细弹簧悬着的轻质衔铁，衔铁的一端用铰链固定使其可以自由转动，另一端用一绝缘棒连接两动触头。关于该智能照明系统的工作原理，下列说法正确的是（　　）

A. 光照越强时，光敏电阻的阻值越大，衔铁被吸引下来
B. 光线不足时，光敏电阻的阻值变大，所在电路电流变小，衔铁被弹簧拉上去，日光灯接通
C. 上面的两接线柱应该和日光灯电路连接
D. 下面的两接线柱应该和日光灯电路连接

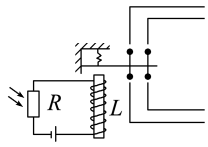


图 5-2-6

3. 一种温度自动报警器的原理图如图 5-2-7 所示，在水银温度计的顶端封入一段金属丝，下列说法正确的是（　　）

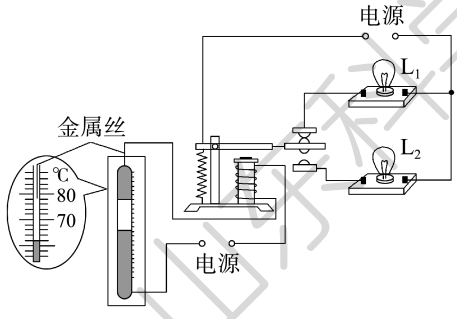


图 5-2-7

A. 温度升高至 74 ℃ 时，L_1灯亮，报警
B. 温度升高至 74 ℃ 时，L_2灯亮，报警
C. 温度升高至 78 ℃ 时，L_1灯亮，报警
D. 温度升高至 78 ℃ 时，L_2灯亮，报警

能力进阶

4. 某同学设计的防盗门报警器的简化电路示意图如图 5-2-8 所示。门打开时，红外光敏电阻 R_3 受到红外线照射，电阻阻值减小；门关闭时，就会遮蔽红外线源（红外线源没有画出）。经实际实验，灯的亮、灭能反映门的开、关状态。门打开时两灯的发光情况以及 R_2 两端电压 U_{R_2} 与门关闭时相比（　　）

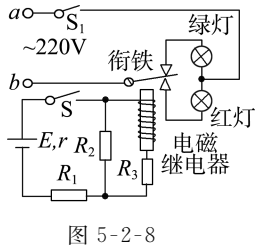


图 5-2-8

A. 红灯亮，U_{R_2} 变大
B. 绿灯亮，U_{R_2} 变大
C. 绿灯亮，U_{R_2} 变小
D. 红灯亮，U_{R_2} 变小

5. 某同学根据所学的电学知识，想设计一个汽车超载自动报警电路。他查阅了相关资料了解到压敏电阻是阻值随压力变化而变化的元件，并了解到压敏电阻在生活中的一种应用——压力传感器。压力传感器受到的压力越大，输出的电压就越大，用它可以称量汽车的重量。某压力传感器输出电压与压力的关系如表：

压力/$\times10^5$ N	0	1.2	2.4	3.6	4.8	6.0
输出电压/V	0	1	2	3	4	5

小明利用该压力传感器和电阻箱 R'（最大电阻为 999.9 Ω）及其他器材设计了如图 5-2-9 甲所示的电路，闭合开关 S，当线圈中电流大于或等于 20 mA 时，电磁继电器的衔铁被吸合。已知继电器线圈的电阻为 25 Ω，继电器电路的电源电压由传感器的输出电压 U 提供。（假设 U 不受继电器电路影响）

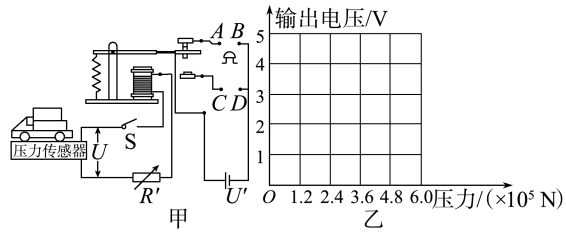


图 5-2-9

（1）根据表格中数据，请在图乙给定的坐标系中描绘出压力传感器的输出电压随压力变化的图像。
（2）当压力增大到一定程度时，电铃报警，说明汽车超载，则图甲中电铃应接在_____（填“A、B”或“C、D”）两端。
（3）小明希望压力大于或等于 2.4×10^5 N 时，启动报警系统，则电阻箱 R' 的电阻应调节到多大？
（4）要使该装置报警，汽车的最小重力为多少？

山东科学技术出版社

第3节　大显身手的传感器

基于核心素养　定位课堂目标

1. 能体会传感技术的应用给人类社会带来的挑战。

2. 有较强的将所学内容应用于日常生活实际的热情。

3. 认同物理的技术应用应考虑道德与规范的要求，能认识传感技术应用与人类社会发展的关系。

基础自主落实　即时自我诊断

自主落实

一、自动感应门

1. 控制自动感应门的开关使用了_____传感器。

2. 在人进入大厅的过程中，自动感应门系统主要经历了三个环节：首先，检测门前是否有人；其次，判断检测结果，发出相关指令；最后，执行指令(开、关门)。

二、洗衣机水位控制

全自动洗衣机的水位控制装置使用了_____传感器。当水位达到设定的高度时接通控制电路关闭进水电磁阀门，同时接通洗涤电动机电源。

三、指纹识别器

有一种指纹识别器是通过_____传感器来识别指纹的。手指皮肤与电容传感器表面构成了电容器，由于指纹的凹凸导致不同位置的电容器的电容值也不相同。

四、传感器与机器人

1. 机器人组成

由机械系统、传感器系统、信息处理和控制系统组成。

2. 机器人传感器的分类

分为外部传感器和内部传感器。

3. 传感器用途

(1) 外部传感器用于感知外部工作环境和外界事物对机器人的刺激。包括视觉传感器、超声波传感器、温度传感器、压力传感器、位移传感器等。

(2) 内部传感器用于检测机器人自身的状态。包括角度传感器、关节传感器等。

自我诊断

判断下列说法的正误。

1. 自动感应门是通过人靠近时温度的变化来控制门的开关的。(　　)

2. 洗衣机水位控制装置应用了压力传感器。(　　)

3. 指纹识别器是通过压力传感器来识别指纹的。(　　)

课堂合作探究　深度解析疑难

导学探究

当手指放在指纹识别器传感器的表面时，为什么指纹的脊和谷相对于另一个极板的距离不同，电容阵列中不同位置的电容器的电容值就不同？

深度学习

传感器与机器人感觉对应表

感觉	所用传感器	效果	当前发展水平
视觉	视觉传感器(摄像机)	使机器人拥有人眼的视觉功能	离自然人的视觉水平相差甚远
听觉	超声波传感器、语音识别装置	使机器人拥有类似人耳的听觉功能	能理解一些简单的语句，不能真正实现人机对话
嗅觉	气体传感器	使机器人拥有类似人的鼻子的功能	只能识别有限的几种气体，一般机器人没有嗅觉
触觉	压力传感器、温度传感器、位移传感器	使机器人拥有类似人的皮肤和手的功能	发展水平较高，虽不如人的感觉敏锐，但能完成大部分要求

山东科学技术出版社

与当代的传感器相比，人类的感觉能力好得多，但也有一些传感器比人的感觉功能优越，例如，人类没有能力感知紫外线或红外线辐射，感觉不到电磁场、无色无味的气体等。

典型例题

例 办公大楼的大门能“看到”人的到来或离开而自动开或关，利用的传感器是 （ ）

A. 生物传感器　　B. 红外传感器

C. 温度传感器　　D. 压力传感器

素养提升

自动门实际使用的是红外线传感器，红外线属于不可见光，人在白天或黑夜均发出红外线。自动门的自动控制要求灵敏、可靠，若以温度控制，人的体温与夏季气温接近，在夏季自动门可能做出错误动作。

变式训练 类人型机器人装有作为眼睛的“传感器”，犹如大脑的“控制器”，以及可以行走的“执行器”，在它碰到障碍物前会自动避让并及时转弯。下列有关该机器人“眼睛”的说法正确的是（ ）

A. 是力传感器　　B. 是光传感器

C. 是温度传感器　　D. 是声音传感器

分层进阶训练 课后总结提升

水平达标

1. 机器人技术发展迅速，下列哪方面是现有的机器人不能很好地完成的 （ ）

A. 汽车工业中自动焊接

B. 深水探险

C. 艺术体操和与人对话

D. 机械加工

2. 下列和电视机遥控器中使用同一类传感器的是 （ ）

A. 红外报警装置

B. 火灾报警装置

C. 自动洗衣机中的压力传感装置

D. 电饭煲中控制加热和保温的温控器

3. 有一种在光照或温度升高时排气扇都能启动的自动控制装置，下列说法正确的是 （ ）

A. 两个传感器都是光电传感器

B. 两个传感器分别是光电传感器和温度传感器

C. 两个传感器可能分别是温度传感器、电容式传感器

D. 只有光照和温度都适合时排气扇才能工作

能力进阶

4. 一种利用电磁原理制作的充气泵的结构示意图如图 5-3-1 所示，其工作原理类似打点计时器。当电流从电磁铁的接线柱 a 流入，吸引小磁铁向下运动时，下列选项正确的是 （ ）

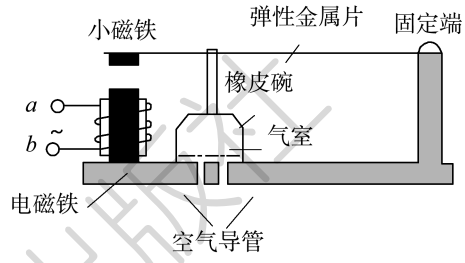


图 5-3-1

A. 电磁铁的上端为 N 极，小磁铁的下端为 N 极

B. 电磁铁的上端为 S 极，小磁铁的下端为 S 极

C. 电磁铁的上端为 S 极，小磁铁的下端为 N 极

D. 电磁铁的上端为 N 极，小磁铁的下端为 S 极

5. （多选）利用硫化镉制成的光敏电阻自动计数的示意图如图 5-3-2 所示，其中 A 是发光仪器，B 是光敏电阻（有光照时电阻变小），R 是普通定值电阻，电源有内阻，下列说法正确的是 （ ）

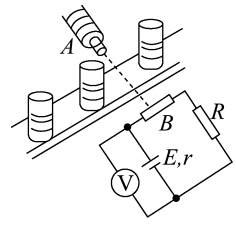


图 5-3-2

A. 当传送带上没有物品挡住由 A 射向 B 的光信号时，电压表读数较小

B. 当传送带上没有物品挡住由 A 射向 B 的光信号时，电压表读数较大

C. 当传送带上有物品挡住由 A 射向 B 的光信号时，流过 R 的电流较大

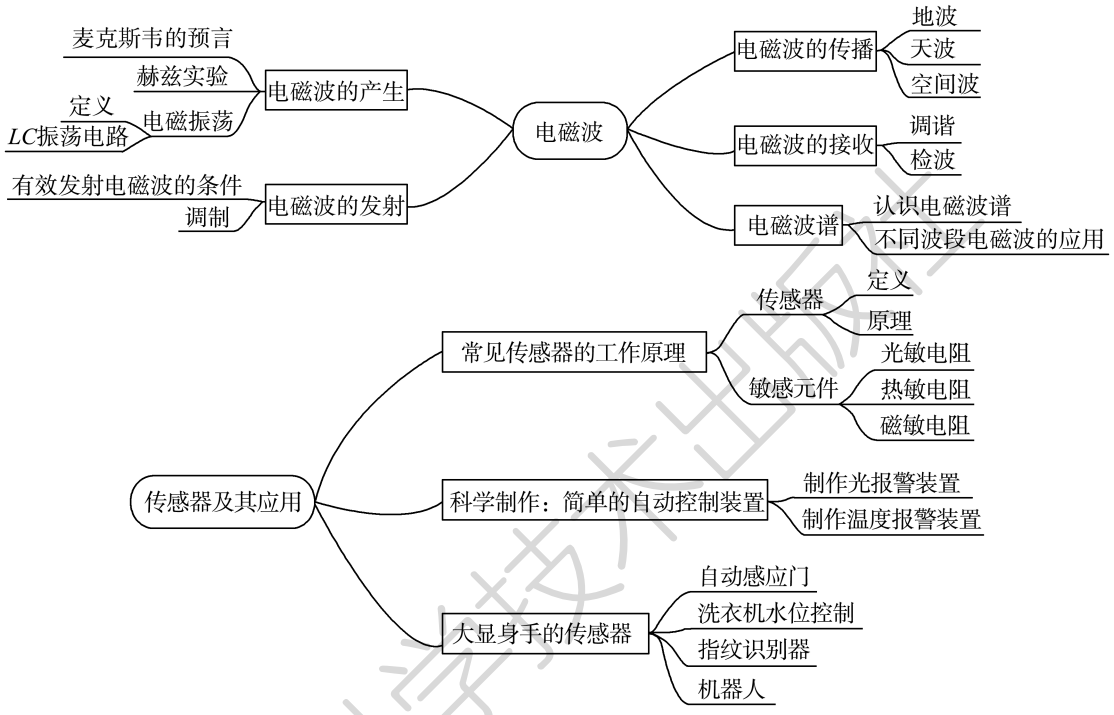
D. 当传送带上有物品挡住由 A 射向 B 的光信号时，光敏电阻 B 两端的电压较大

山东科学技术出版社

章末总结

(第4、5章)

知网建构



重点探究

一、电磁波特点

深度学习

1. 周期性

电场强度 E 和磁感应强度 B 随时间和空间做周期性变化。

2. 产生机理

由电磁振荡激发的横波，能发生干涉、衍射等现象。

3. 传播情况

传播无需介质，在真空中波速等于光速 c，在介质中传播时，波速与介质和频率都有关。

典型例题

例1　(多选)下列关于电磁波的说法正确的是(　　)

A. 电磁波是由电磁场从发生区域向远处传播

B. 电磁波在任何介质中的传播速度均为 $c=3.0\times10^8$ m/s

C. 电磁波由真空进入介质传播时，波长将变短

D. 电磁波不能产生干涉和衍射现象

变式训练1　有一 LC 振荡电路能产生一定波长的电磁波，若要产生波长比原来短的电磁波，应　(　　)

A. 增加线圈的匝数

B. 在线圈中插入铁芯

C. 减小电容器两极板的正对面积

D. 减小电容器两极板间的距离

二、电磁波谱问题

深度学习

电磁波谱	无线电波	红外线	可见光	紫外线	X射线	γ射线
频率	由左向右，频率变化为由小到大					
真空中的波长	由左向右，波长变化为由长到短					
特性	波动性强	热效应强	感光性强	化学作用、荧光效应强	穿透力强	穿透力最强
用途	通信、导航、广播	遥控、加热、红外摄像、红外制导	照明、照相等	杀菌、防伪、治疗皮肤病等	检查、探测、透视	探测、治疗

山东科学技术出版社

典型例题

例2 以下列出一些医疗器械的名称和这些器械运用的物理现象，请将相应的字母填写在运用这种现象的医疗器械后面的空格上。

(1) X光机：_____。

(2) 紫外线灯：_____。

A. 光的全反射

B. 紫外线具有很强的荧光作用

C. 紫外线具有杀菌消毒作用

D. X射线的很强的贯穿力

变式训练2 (多选)关于电磁波的特性和应用，下列说法正确的是 ( )

A. 红外线比红光波长长，它的热作用很强

B. 过强的紫外线照射有利于人的皮肤健康

C. 电磁波频率最高的是γ射线，最容易用它来观察衍射现象

D. 紫外线和X射线都可以使感光底片感光

三、传感器在电路动态分析及实验中的应用

深度学习

1. 基本思路

(1) 解决传感器在电路动态分析及实验中的应用问题时，首先要明确传感器元件某一电学特性的变化规律，然后根据闭合电路欧姆定律及串、并联电路的特点来分析电路中各部分电学量的变化情况。传感器在电路中的作用一般来说就是接受某一非电学量，转换成电学量，做题时一定要分析清楚传感器到底是怎样在电路中发挥作用的。

(2) 在霍尔现象中要明确定向移动的电荷是哪种电荷，才能分清电势的高低，注意负电荷向某一方向定向移动与正电荷向相反方向定向移动不等效。

2. 解题关键

通过审题明确到底是哪种传感器，传感器的特性是什么，将题目条件的变化与电学量的变化统一起来。

典型例题

例3 图5-1甲表示某电阻R随摄氏温度t变化的关系，图中R_0表示0 ℃时的电阻阻值，K表示图线的斜率。若用该电阻与电池(E,r)、电流表R_g、变阻器R'串联起来，连接成如图乙所示的电路，用该电阻做测温探头，把电流表的电流刻度改为相应的温度刻度，就可以得到一个简单的“电阻测温计”。

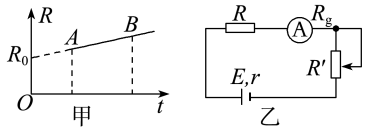


图5-1

(1) 实际使用时要把电流表的刻度值改为相应的温度刻度值，若温度$t_1<t_2$，则t_1的刻度应在t_2的_____(填“左”或“右”)侧。

(2) 在标识“电阻测温计”的温度刻度时，需要弄清所测温度和电流的对应关系。请用E、R_0、K等物理量表示所测温度t与电流I的关系式：t=_____。

(3) 由(2)知，计算温度和电流的对应关系，需要测量电流表的内阻(约200 Ω)。已知实验室有下列器材：A. 电阻箱(0～99.99 Ω)；B. 电阻箱(0～999.9 Ω)；C. 滑动变阻器(0～20 Ω)；D. 滑动变阻器(0～20 kΩ)。此外，还有电动势合适的电源、开关、导线等。

请在方框内设计一个用“半偏法”测电流表内阻R_g的电路；

在这个实验电路中，电阻箱应选_____；滑动变阻器应选_____。(只填代码)

变式训练3 实验室备有以下器材：电压传感器、电流传感器、滑动变阻器R_1(阻值变化范围0～20 Ω)、滑动变阻器R_2(阻值变化范围0～1 000 Ω)、电动势适当的电源、小灯泡(“4 V 2 W”)、开关、导线若干。

(1) 要完整地描绘小灯泡的U-I曲线，请在方框中画出实验电路图，并标出所用滑动变阻器的符号。

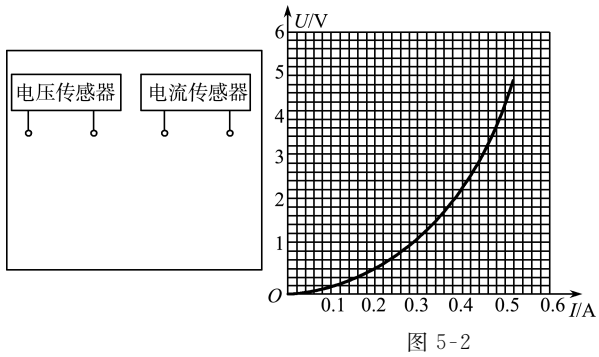


图5-2

中科大技术出版社

(2) 实验中描绘出的小灯泡 U-I 曲线如图 5-2 所示。由图可知，小灯泡灯丝电阻随温度升高而_____(填“增大”“减小”或“不变”)。

(3) 如果用上述器材测量所给电源的电动势和内电阻，实验电路如图 5-3 甲所示。图中 R_0 是阻值为 9.0 Ω 的保护电阻，实验中测得多组数据记录在表中，试在同一坐标系图 5-2 中画出等效电源的 U-I 图像，由图像可求出电源自身内阻约为_____Ω。

序号	1	2	3	4	5	6
U/V	4.00	3.40	2.80	2.00	1.50	0.80
I/A	0.20	0.26	0.33	0.40	0.46	0.52

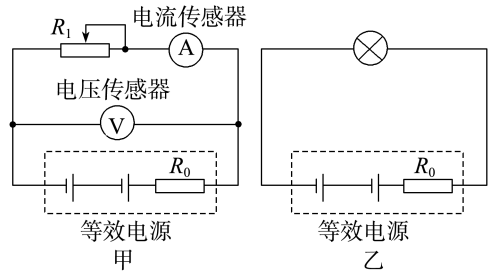


图 5-3

(4) 若将上述小灯泡直接与电源和保护电阻组成串联电路，如图 5-3 乙所示，此时小灯泡消耗的电功率约为_____W。

章末检测

(第 4、5 章)

(试卷满分 100 分，考试用时 90 分钟)

一、单项选择题：本题共 8 小题，每小题 3 分，共 24 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项符合题目要求。

1. 关于生活中遇到的各种波，下列说法正确的是 (　　)
   A. 电磁波可以传递信息，声波不能传递信息
   B. 手机在通话时涉及的波既有电磁波又有声波
   C. 太阳光中的可见光和医院“B 超”中的超声波传播速度相同
   D. 遥控器发出的红外线波长和医院“CT”中的 X 射线波长相同

2. 随着生活质量的提高，自动干手机已进入了部分家庭。洗手后，将湿手靠近自动干手机，机内的传感器便驱动电热器加热，有热空气从机内喷出，将湿手烘干。手靠近干手机能使传感器工作，是因为 (　　)
   A. 改变了湿度　　B. 改变了温度
   C. 改变了磁场　　D. 改变了电容

3. 如图 1 所示，将一光敏电阻(光照越强电阻越小)接入多用电表两表笔上，将多用电表的选择开关置于欧姆挡，用光照射光敏电阻时，表针的偏角为 θ；现用手掌挡住部分光线，表针的偏角为 θ'，则可判断 (　　)
   A. $\theta'=\theta$　　B. $\theta'<\theta$
   C. $\theta'>\theta$　　D. 不能确定

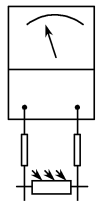


图 1

4. 堪称“隐身飞机的克星”的反隐身先进米波雷达如图 2 所示，它发射无线电波的波长范围为 1～10 m，则下列对该无线电波的判断正确的是 (　　)
   A. 米波的频率比厘米波频率高
   B. 和机械波一样须靠介质传播
   C. 同光波一样会发生反射现象
   D. 不可能产生干涉和衍射现象

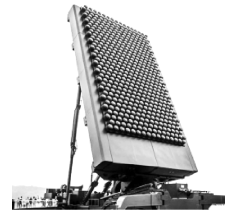


图 2

5. 下列关于电磁波的说法正确的是 (　　)
   A. 只要有电场和磁场，就能产生电磁波
   B. 电磁波会发生偏振现象，是纵波
   C. 电磁波和机械波都能产生干涉和衍射现象
   D. 紫外线的频率比红外线的频率小

6. 图 3 是一自动控制电路示意图，R_1 为光敏电阻(光照越强阻值越小)，当照射到 R_1 处的光消失时，电流表 A 中的电流 I 及 ab 间的电压 U 的变化情况是 (　　)

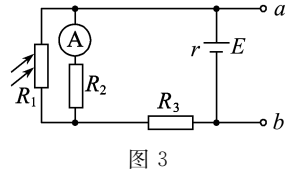


图 3

   A. I 变大，U 变大　　B. I 变小，U 变小
   C. I 变小，U 变大　　D. I 变大，U 变小

山东科学技术出版社

7. 关于麦克斯韦的电磁场理论，下列说法正确的是（　　）

A. 稳定的电场产生稳定的磁场

B. 均匀变化的电场产生均匀变化的磁场，均匀变化的磁场产生均匀变化的电场

C. 变化的电场产生的磁场一定是变化的

D. 振荡的电场在周围空间产生的磁场也是振荡的

8. 位移传感器的工作原理示意图如图 4 所示，物体 M 在导轨上平移时，带动滑动变阻器的滑片 P，通过电压表显示的数据来反映物体位移的大小。假设电压表是理想的，则下列说法正确的是（　　）

A. 物体 M 运动时，电源内的电流会发生变化

B. 物体 M 运动时，电压表的示数会发生变化

C. 物体 M 不动时，电路中没有电流

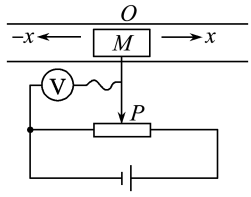


图 4

D. 物体 M 不动时，电压表没有示数

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 关于电磁波及其应用，下列说法正确的是（　　）

A. 麦克斯韦首次通过实验证实了电磁波的存在

B. 电磁波是横波且能够发生干涉和衍射现象

C. 电磁波的接收要经过调谐和调制两个过程

D. 微波能使食物中的分子的热运动加剧从而实现加热食物的目的

10. 如图 5 为电阻 R 随温度 T 变化的 R-T 图线，下列说法正确的是（　　）

A. 图线 1 是金属热电阻的 R-T 图线，它是用金属材料制成的

B. 图线 2 是热敏电阻的 R-T 图线，它是用半导体材料制成的

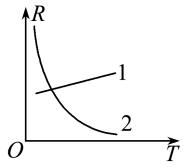


图 5

C. 图线 1 的材料测温范围大、灵敏度高

D. 图线 2 的材料测温范围小、灵敏度高

11. 关于电磁波，下列说法正确的是（　　）

A. 红外线的波长比紫外线的波长更长

B. 红外线的频率比紫外线的频率更高

C. 电磁波在真空中自由传播时，其传播方向与电场强度、磁感应强度均垂直

D. 电磁波不能发生衍射

12. 电熨斗装有双金属片温度传感器，这种传感器由两种不同膨胀系数的材料组成，其上层材料的热膨胀系数大于下层材料的热膨胀系数（受热时膨胀得更快），作用是控制电路的通断。图 6 是自动控温式电熨斗的电路示意图，下列说法正确的是（　　）

A. 双金属片是利用金属的热胀冷缩性质制成的

B. 双金属片温度升高时，上金属片形变较大，双金属片将向下弯曲

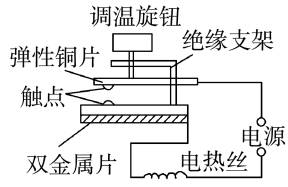


图 6

C. 原来温度控制在 80 ℃时断开电源，现要求 60 ℃时断开电源，应使调温旋钮往下调一些

D. 原来温度控制在 80 ℃时断开电源，现要求 60 ℃时断开电源，应使调温旋钮往上调一些

三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13. (6 分)英国物理学家_____建立了完整的电磁场理论，预言了电磁波的存在，德国物理学家_____用实验成功地验证了麦克斯韦的预言，为电磁理论奠定了实验基础。发射电磁波前常用的调制方式有_____和_____。医院常用来杀菌消毒的电磁波是_____。波长比可见光更长，常常用于摄影仪、遥控器的电磁波是_____。

14. (8 分)现要组装一个由热敏电阻控制的报警系统，要求当热敏电阻的温度达到或超过 60 ℃时，系统报警。提供的器材有：热敏电阻、报警器(内阻很小，流过的电流超过 I_c 时就会报警)、电阻箱(最大阻值为 999.9 Ω)、直流电源(输出电压为 U，内阻不计)、滑动变阻器 R_1(最大阻值为 1 000 Ω)、滑动变阻器 R_2(最大阻值为 2 000 Ω)、单刀双掷开关一个、导线若干。

在室温下对系统进行调节。已知 U 约为 18 V，I_c 约为 10 mA；流过报警器的电流超过 20 mA 时，报警器可能损坏；该热敏电阻的阻值随温度升高而减小，在 60 ℃时阻值为 650.0 Ω。

(1) 在图 7 中完成待调节的报警系统原理电路图的连线。

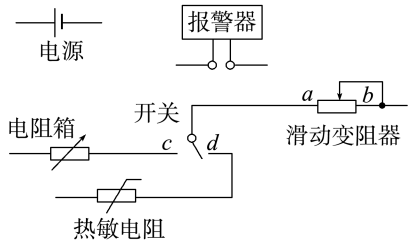


图 7

山东科学技术出版社

(2) 电路中应选用滑动变阻器_____(填“R_1”或“R_2”)。

(3) 按照下列步骤调节此报警系统:

① 电路接通前,需将电阻箱调到一固定的阻值,根据实验要求,这一阻值为_____Ω;滑动变阻器的滑片应置于_____(填“a”或“b”)端附近,不能置于另一端的原因是_____。

② 将开关向_____(填“c”或“d”)端闭合,缓慢移动滑动变阻器的滑片,直至_____。

(4) 保持滑动变阻器滑片的位置不变,将开关向另一端闭合,报警系统即可正常使用。

15. (8 分)已知某电磁波频率为 4×10^6 Hz,在真空中的传播速度为 3.0×10^8 m/s(假设在空气中传播速度与真空中相同),求:

(1) 该电磁波的波长大小;

(2) 该电磁波传播 9 000 km 所需的时间。

16. (8 分)用如图 8 所示的装置可以测量汽车在水平路面上做匀加速直线运动的加速度。该装置是在矩形箱子的前、后壁上各安装一个由力敏电阻组成的压力传感器。用两根相同的轻弹簧夹着一个质量为 2.0 kg 的滑块,滑块可无摩擦滑动,两弹簧的另一端分别压在传感器 a、b 上,其压力大小可直接从传感器的液晶显示屏上读出。现将装置沿运动方向固定在汽车上,传感器 b 在前,传感器 a 在后。汽车静止时,传感器 a、b 的示数均为 10 N(取 $g=10$ m/s^2)。

(1) 传感器 a 的示数为 14 N,b 的示数为6 N 时,求汽车加速度的大小和方向;

(2) 传感器 a 的示数为零时,求汽车加速度的大小和方向。

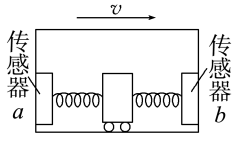


图 8

17. (14 分)波长分别为 290 m、397 m、566 m 的无线电波同时传向收音机的接收天线,当把收音机的调谐电路的频率调到 756 kHz 时,则:

(1) 哪种波长的无线电波在收音机激起的感应电流最强?

(2) 如果想接收到波长为 290 m 的无线电波,应该把调谐电路中可变电容器的动片旋进一些,还是旋出一些?

18. (16 分)角速度计可测量飞机、航天器、潜艇的转动角速度,其结构如图 9 所示。当系统绕 OO' 转动时,元件 A 发生位移并输出电压信号,成为飞机、卫星等的制导系统的信息源。已知 A 的质量为 m;轻弹簧劲度系数为 k,自然长度为 L;电源电动势为 E,内阻不计;滑动变阻器总长度也为 L,电阻分布均匀。系统静止时 P 在 B 点(滑动变阻器最左侧),当系统以角速度 ω 转动时,请写出输出电压 U 和 ω 的函数式。

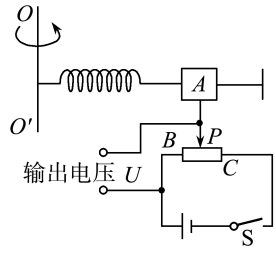


图 9

北京科学技术出版社

期末检测

（试卷满分 100 分，考试用时 90 分钟）

一、单项选择题：本题共 8 小题，每小题 3 分，共 24 分。在每小题给出的四个选项中，只有一项符合题目要求。

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，揭示了磁现象和电现象之间的联系

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. 回路中的磁场发生变化时产生感生电动势，其本质是变化的磁场能在其周围空间激发感生电场，通过电场力对自由电荷做功实现能量的转移或转化

D. 导体在磁场中做切割磁感线运动时产生动生电动势，其本质是导体中的自由电荷受到洛伦兹力作用，通过洛伦兹力对自由电荷做功实现能量的转化

2. 如图 1 所示，边长为 L 的正三角形 ABC 区域内有垂直纸面向里的匀强磁场，磁感应强度大小为 B_0。BC 边的中点 O 有一粒子源，可以在 ABC 平面内沿任意方向发射速率为 v 的相同的正粒子。

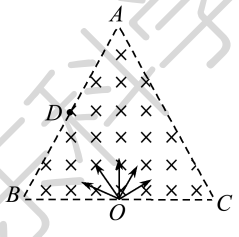


图 1

若从 AB 边中点 D 射出磁场的粒子，从 O 到 D 的过程中速度方向偏转了 60°，不计粒子的重力及带电粒子之间的相互作用，下列说法正确的是（　　）

A. 粒子运动的轨道半径为 L

B. 粒子可能从 A 点射出磁场

C. 粒子的比荷为 $\frac{q}{m}=\frac{2v}{B_0L}$

D. 从 B 点射出的粒子在磁场中的运动时间为 $\frac{\pi L}{3v}$

3. 法拉第在 1831 年发现了“磁生电”现象。如图 2 所示，他把两个线圈绕在同一个软铁环上，线圈 A 和电池连接，线圈 B 用导线连通，导线下面平行放置一个小磁针。实验中可能观察到的现象是（　　）

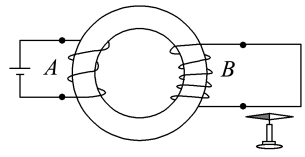


图 2

A. 用一节电池作电源小磁针不偏转，用十节电池作电源小磁针会偏转

B. 线圈 B 匝数较少时小磁针不偏转，匝数足够多时小磁针会偏转

C. 线圈 A 和电池连接瞬间，小磁针会偏转

D. 线圈 A 和电池断开瞬间，小磁针不偏转

4. 如图 3 所示，足够长的 U 形光滑金属导轨平面与水平面成 θ 角（$0<\theta<90°$），其中 MN 与 PQ 平行且间距为 L，导轨平面与磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直，导轨电阻不计。金属棒 ab 由静止开始沿导轨下滑，并与两导轨始终保持垂直且良好接触，ab 棒接入电路的电阻为 R，当流过 ab 棒某一横截面的电量为 q 时，棒的速度大小为 v，则金属棒 ab 在这一过程中（　　）

A. 运动的平均速度大小为 $\frac{1}{2}v$

B. 下滑的位移大小为 $\frac{qR}{BL}$

C. 产生的焦耳热为 $qBLv$

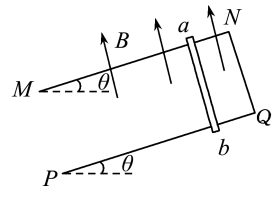
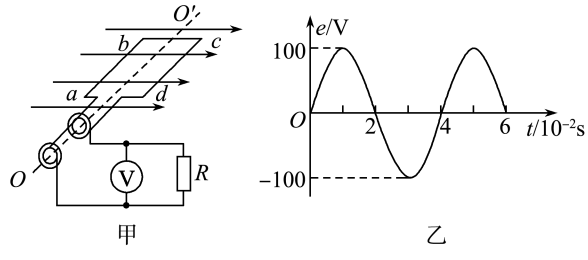


图 3

D. 受到的最大安培力大小为 $\frac{B^2L^2v}{R}\sin\theta$

5. 如图 4 甲所示，矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁感线的中心轴 OO' 匀速转动，从某时刻开始计时，产生的感应电动势 e 随时间 t 的变化曲线如图乙所示，若线圈匝数 $N=100$ 匝，外接电阻 $R=70\ \Omega$，线圈电阻 $r=10\ \Omega$，则下列说法正确的是（　　）



甲　　乙

图 4

A. 通过线圈的最大电流为 1.25 A
B. 线圈的角速度为 50 rad/s
C. 电压表的示数为 $50\sqrt{2}$ V
D. 穿过线圈的最大磁通量为 $\frac{2}{\pi}$ Wb

6. 有一种测量人体重的电子秤，其原理如图 5 所示，它的主要结构为：踏板、压力传感器 R（是一个阻值可随压力大小而变化的电阻器）、滑动变阻器 R'、显示体重的仪表 G（实质是理想电流表）。设踏板的质量可忽略不计，已知理想电流表的量程为 3 A，电源电动势为 12 V，内阻为 2 Ω，电阻 R 随压力变化的函数式为 $R=30-0.02F$（F 和 R 的单位分别是 N 和 Ω）。下列说法错误的是 （ ）

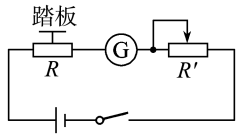


图 5

A. 当 $R'=0$ 时，该秤能测量的最大体重是 1 400 N
B. 如果要增加电子秤的量程，滑动变阻器 R' 接入电路中的电阻应调大
C. 当 $R'=0$ 时，该秤踏板空载时的刻度线应标在电流表 G 刻度盘 0.375 A 处
D. 如果要增加电子秤的灵敏度，滑动变阻器 R' 接入电路中的电阻应调大

7. 如图 6 所示的理想变压器电路中，原、副线圈匝数比为 3∶1，电阻 R_1 与 R_2 阻值相等。a、b 两端接电压恒定的正弦交流电源。在滑动变阻器滑片 P 向右移动的过程中 （ ）

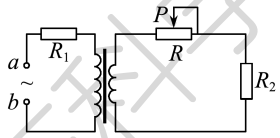


图 6

A. R_1 消耗的功率增大
B. 电源的输入功率增大
C. R_1、R_2 两端的电压之比恒为 3∶1
D. R_1、R_2 消耗的功率之比恒为 1∶9

8. 如图 7 所示，三个完全相同的带正电的小球，从一高度开始自由落下，其中 a 直接落地，b 下落过程中经过一个水平方向的匀强电场区，c 下落时经过一个水平方向的匀强磁场区，不计空气阻力，设它们落地的速度大小分别为 v_a、v_b、v_c，则 （ ）

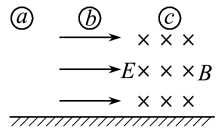


图 7

A. $v_a=v_b=v_c$　　B. $v_b>v_a>v_c$
C. $v_a<v_b=v_c$　　D. $v_a=v_c<v_b$

二、多项选择题：本题共 4 小题，每小题 4 分，共 16 分。在每小题给出的四个选项中，有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分，选对但不全的得 2 分，有选错的得 0 分。

9. 如图 8 所示，在光滑的水平面上方有两个磁感应强度大小均为 B、方向相反的水平匀强磁场区域，磁场宽度均为 L。一个边长为 L、电阻为 R 的单匝正方形金属线框，在水平外力作用下沿垂直磁场方向运动，从如图实线位置Ⅰ进入磁场开始到线框运动到分别有一半面积在两个磁场中的位置Ⅱ时，线框的速度始终为 v，则下列说法正确的是 （ ）

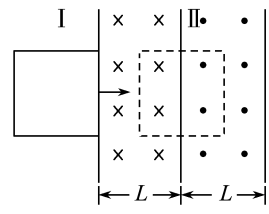


图 8

A. 在位置Ⅱ时外力为 $\frac{2B^2L^2v}{R}$
B. 在位置Ⅱ时线框中的电功率为 $\frac{4B^2L^2v^2}{R}$
C. 此过程中产生的电能为 $\frac{3B^2L^3v}{R}$
D. 此过程中通过导线横截面的电荷量为 $\frac{BL^2}{R}$

10. 下列关于电磁波的说法正确的是 （ ）
A. 电磁波在真空中的传播速度与电磁波的频率无关
B. 周期性变化的电场和磁场可以相互激发，形成电磁波
C. 利用电磁波传递信号可以实现无线通信，但电磁波不能通过电缆、光缆传输
D. 电磁波可以由电磁振荡产生，若波源的电磁振荡停止，空间的电磁波随即消失

11. 如图 9 所示，电路中有一段金属导体，它的横截面是宽为 a、长为 b 的长方形，放在沿 y 轴正方向的匀强磁场中，导体中通有沿 a 轴正方向、大小为 I 的电流。已知金属导体中单位体积的自由电子数为 n，电子电荷量为 e，金属导电过程中，自由电子做定向移动可视为匀速运动，测出金属导体前后两个侧面间的电势差的大小为 U，则下列说法正确的是 （ ）

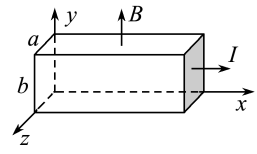


图 9

A. 前侧面电势较高
B. 后侧面电势较高
C. 磁感应强度的大小为 $\frac{nebU}{I}$
D. 磁感应强度的大小为 $\frac{2nebU}{I}$

12. 如图 10 所示，均匀金属圆环的总电阻为 $4R$，磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直穿过圆环。金属杆 OM 的长为 l，阻值为 R，M 端与环接触良好，绕过圆心 O 的转轴以恒定的角速度 ω 顺时针转动。阻值为 R 的电阻一端用导线和环上的 A 点连接，另一端和金属杆的转轴 O 处的

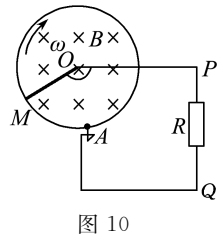


图 10

山东科学技术出版社

端点相连接。下列判断正确的是 （ ）

A. 金属杆 OM 旋转产生的感应电动势恒为 $\frac{1}{2}Bl^2\omega$

B. 通过电阻 R 的电流的最小值为 $\frac{Bl^2\omega}{8R}$，方向从 Q 到 P

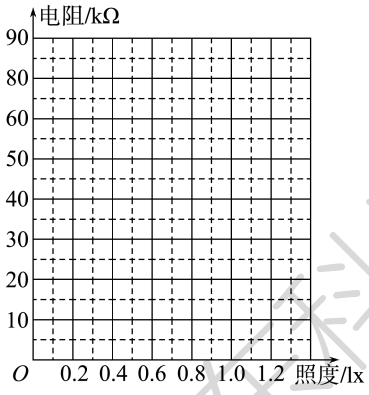
C. 通过电阻 R 的电流的最大值为 $\frac{Bl^2\omega}{4R}$，且 P、Q 两点电势满足 $\Phi_P>\Phi_Q$

D. OM 两点间电势差绝对值的最大值为 $\frac{Bl^2\omega}{3}$

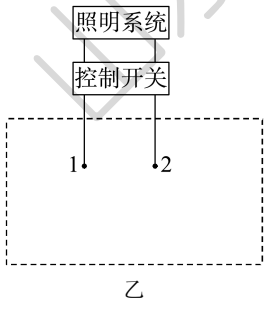
三、非选择题：本题共 6 小题，共 60 分。

13.（6 分）为了节能和环保，一些公共场所使用光控开关控制照明系统。光控开关可采用光敏电阻来控制，光敏电阻是阻值随着光的照度而发生变化的元件（照度可以反映光的强弱，光越强照度越大，照度单位为 lx）。某光敏电阻 R_p 在不同照度下的阻值如表：

照度(lx)	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2
电阻(kΩ)	75	40	28	23	20	18



甲



乙

图 11

（1）根据表中数据，请在给定的坐标系图 11 甲中描绘出阻值随照度变化的曲线，并说明阻值随照度变化的特点_____。

（2）如图乙所示，当 1、2 两端所加电压上升至 2 V 时，控制开关自动启动照明系统，请利用下列器材设计一个简单电路。给 1、2 两端提供电压，要求当天色渐暗照度降低至 1.0(lx)时启动照明系统，在虚线框内完成电路原理图（不考虑控制开关对所设计电路的影响）。

提供的器材如下：

光敏电源 E（电动势 3 V，内阻不计）；

定值电阻：$R_1=10\ \text{k}\Omega$，$R_2=20\ \text{k}\Omega$，$R_3=40\ \text{k}\Omega$（限选其中之一并在图中标出）；

开关 S 及导线若干。

14.（8 分）电吉他是利用电磁感应原理工作的一种乐器。图 12 甲为电吉他的拾音器的原理图，在金属弦的下方置有一个连接到放大器的螺线管。一条形磁铁固定在管内，当拨动金属弦后，螺线管内就会产生感应电流，经一系列转换后可将电信号转为声音信号。

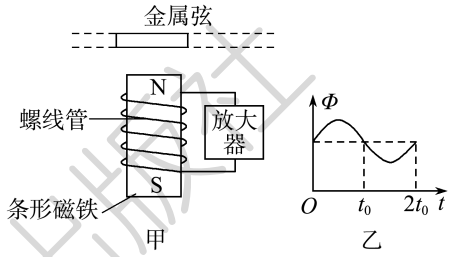


图 12

（1）金属弦的作用类似“研究电磁感应现象”实验中铁芯的作用，则被拨动后远离螺线管的过程中，通过放大器的电流方向为_____（以图甲为准，填“向上”或“向下”）

（2）下列说法正确的是_____

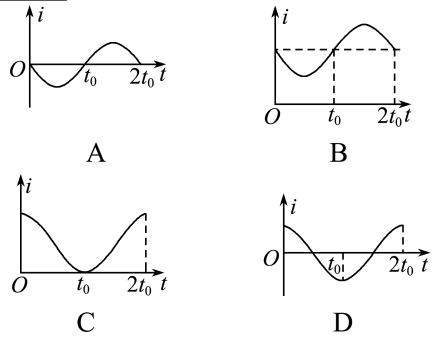
A. 金属弦上下振动过程中，经过相同位置时速度越大，螺线管中感应电动势也越大

B. 金属弦上下振动的周期越大，螺线管内感应电流的方向变化也越快

C. 电吉他通过扩音器发出声音随感应电流强度增大而变响，增减螺线管匝数会起到调节音量的作用

D. 电吉他通过扩音器发出的声音频率和金属弦振动频率不相同

（3）若金属弦振动时，螺线管内磁通量随时间的变化规律如图乙所示，则对应感应电流的变化为_____。



15.（8 分）如图 13 所示，相距 20 cm 的平行金属导轨所在平面与水平面夹角 $\theta=37°$。现在导轨上放一质量为 330 g 的金属棒 ab，它与导轨间动摩擦因数为 0.50。整个装置处于磁感应强度为

出版科学技术出版社

2 T 的竖直向上匀强磁场中，导轨所接的电源电动势为 15 V，内阻不计，滑动变阻器的阻值满足要求，其他部分电阻不计。取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$，为了保证 ab 处于静止状态，则：

(1) ab 通入的最大电流为多少？

(2) ab 通入的最小电流为多少？

(3) R 的调节范围是多大？

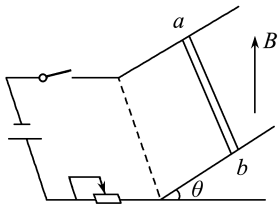


图 13

16. (8 分)如图 14 所示，在 xOy 坐标平面的第一象限内有一沿 y 轴负方向的匀强电场，在第四象限内有一垂直于平面向外的匀强磁场，一质量为 m、带电量为 $+q$ 的粒子(重力不计)经过电场中坐标为 $(3L,L)$ 的 P 点时速度大小为 v_0。方向沿 x 轴负方向，然后以与 x 轴负方向成 45°角的方向进入磁场，最后从坐标原点 O 射出磁场。求：

(1) 匀强电场的场强 E 的大小；

(2) 匀强磁场的磁感应强度 B 的大小；

(3) 粒子从 P 点运动到原点 O 所用的时间。

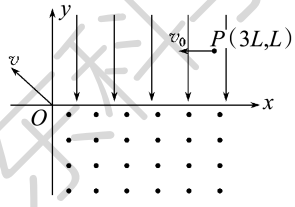


图 14

17. (14 分)如图 15 甲所示，水平虚线下方有垂直于纸面方向的有界匀强磁场，磁感应强度 B 随时间 t 的变化规律如图乙所示。规定磁场方向垂直于纸面向里为正，边长分别为 L、$2L$ 的单匝长方形导体闭合线框用绝缘细线悬挂，线框一半位于磁场内，力传感器记录了细线拉力 F 随时间 t 的变化关系如图丙所示，设重力加速度为 g，图中 B_0、F_0、T 是已知量。

(1) 求 $0\sim T$ 时间内线框内的感应电动势 E 和线框的电阻 R；

(2) 若某时刻起磁场不再变化，磁感应强度恒为 B_0，剪断细线，结果线框在上边进入磁场前已经做匀速运动，求线框从开始下落到上边刚到虚线位置过程中产生的电热 Q。

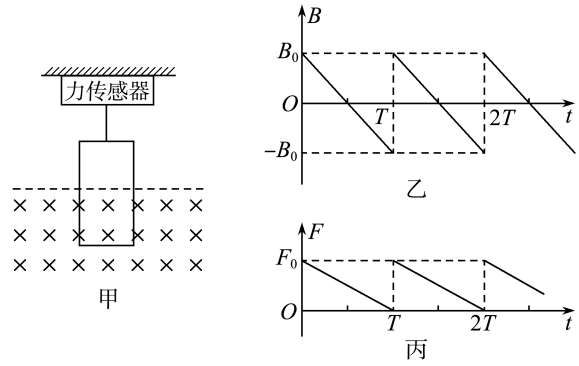


图 15

18. (16 分)如图 16 甲所示，两根光滑固定导轨相距 0.4 m 竖直放置，导轨电阻不计，在导轨末端 P、Q 两点用两根等长的细导线悬挂金属棒 cd。棒 cd 的质量为 0.01 kg，长为 0.2 m，处于磁感应强度为 $B_0=0.5$ T 的匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨平面向里。相距 0.2 m 的水平虚线 MN 和 JK 之间的区域内存在着垂直于导轨平面向里的匀强磁场，且磁感应强度 B 随时间变化的规律如图乙所示。在 $t=0$ 时刻，质量为 0.02 kg、阻值为 0.3 Ω 的金属棒 ab 从虚线 MN 上方 0.2 m 高度处，由静止开始释放，下落过程中保持水平，且与导轨接触良好。结果棒 ab 在 t_1 时刻从上边界 MN 进入磁场，并在磁场中做匀速运动，在 t_2 时刻从下边界 JK 离开磁场，取 $g=10\ \mathrm{m/s^2}$。求：

(1) 在 $0\sim t_1$ 时间内，电路中感应电动势的大小；

(2) 在 $t_1\sim t_2$ 时间内，棒 cd 受到细导线的总拉力的大小；

(3) 棒 cd 在 $0\sim t_2$ 时间内产生的焦耳热。

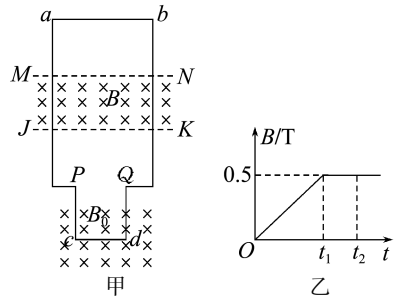


图 16

山东科学技术出版社

参考答案

第 1 章　安培力与洛伦兹力

第 1 节　安培力及其应用

【自我诊断】

1. √　**2.** ×　**3.** ×　**4.** ×　**5.** √

【典型例题】

例 1　D

变式训练 1　B

例 2　BD

变式训练 2　B

例 3　B

变式训练 3　ACD

变式训练 4　D

【水平达标】

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

【能力进阶】

8. BD　**9.** AD　**10.** A

专题 1　安培力的应用

【典型例题】

例 1　D

变式训练 1　C

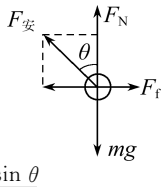
例 2　B

变式训练 2　B

例 3　（1）支持力为 $mg-\dfrac{ELB\cos\theta}{R}$，摩擦力为 $\dfrac{ELB\sin\theta}{R}$

（2）B 的大小至少为 $\dfrac{mgR}{EL}$，此时 B 的方向水平向右

解析：(1) 从 b 向 a 看侧视图如图所示



水平方向：$F_f=F_{安}\sin\theta$

竖直方向：$F_N+F_{安}\cos\theta=mg$

又 $F_{安}=ILB=\dfrac{E}{R}LB$

联立得：$F_N=mg-\dfrac{ELB\cos\theta}{R}$，$F_f=\dfrac{ELB\sin\theta}{R}$

（2）要使 ab 棒受支持力为零，且让磁场最小，可知安培力竖直向上，则有 $F_{安}'=mg$，

得到 $B_{min}=\dfrac{mgR}{EL}$，根据左手定则判定磁场方向水平向右。

变式训练 3　CD

例 4　（1）$\dfrac{E}{R+r}$　（2）$\dfrac{\sqrt{3}mg(R+r)}{3EL}$　（3）$\left(\dfrac{\sqrt{3}}{3}-\dfrac{1}{2}\right)g$ 方向沿斜面向上

解析：(1) 由闭合电路的欧姆定律可得 $I=\dfrac{E}{R+r}$

（2）导体棒静止，根据共点力平衡可得 $ILB\cos 30^\circ=mg\sin 30^\circ$

$B=\dfrac{\sqrt{3}mg(R+r)}{3EL}$

（3）由牛顿第二定律可得 $ILB-mg\sin 30^\circ=ma$

解得 $a=(\dfrac{\sqrt{3}}{3}-\dfrac{1}{2})g$，方向沿斜面向上

变式训练 4　D

【水平达标】

1. C　**2.** B　**3.** BC　**4.** A　**5.** CD

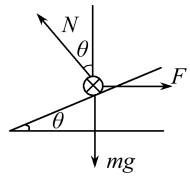
6. (1) 0.16 N　方向水平向左　(2) 10 s

【能力进阶】

7. B　**8.** AD

9. （1）$E=\dfrac{Rmg\tan\theta}{Bd}$　（2）$\dfrac{Rmg(\sin\theta-\mu\cos\theta)}{Bd(\cos\theta+\mu\sin\theta)}\leqslant E\leqslant\dfrac{Rmg(\sin\theta+\mu\cos\theta)}{Bd(\cos\theta-\mu\sin\theta)}$

解析：(1) 将空间立体图改画为如图所示的侧视图，



并对杆进行受力分析，由平衡条件得 $F-N\sin\theta=0$，$N\cos\theta-mg=0$

而 $F=IdB=\dfrac{E}{R}dB$

由以上三式解得 $E=\dfrac{Rmg\tan\theta}{Bd}$

（2）有两种可能性：一种是 E 偏大，I 偏大，F 偏大，导体杆有上滑趋势，摩擦力 f 沿斜面向下，选沿斜面向上为正方向，根据平衡条件有

$F\cos\theta-mg\sin\theta-\mu(mg\cos\theta+F\sin\theta)=0$

根据安培力公式有 $F=B\dfrac{E_1}{R}d$

以上两式联立解得 $E_1=\dfrac{Rmg(\sin\theta+\mu\cos\theta)}{Bd(\cos\theta-\mu\sin\theta)}$

另一种可能是 E 偏小，摩擦力 f 沿斜面向上，同理可得 $E_2=\dfrac{Rmg(\sin\theta-\mu\cos\theta)}{Bd(\cos\theta+\mu\sin\theta)}$

综上所述，电源电动势的取值范围是：$\dfrac{Rmg(\sin\theta-\mu\cos\theta)}{Bd(\cos\theta+\mu\sin\theta)}\leqslant E\leqslant\dfrac{Rmg(\sin\theta+\mu\cos\theta)}{Bd(\cos\theta-\mu\sin\theta)}$

第 2 节　洛伦兹力

【自我诊断】

1. ×　**2.** ×　**3.** ×　**4.** √　**5.** √

【典型例题】

例 1　C

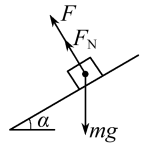
变式训练 1　C

例 2　（1）负电荷　（2）$2\sqrt{3}$ m/s　（3）1.2 m

解析：(1) 小滑块在沿斜面下滑的过程中，受重力 mg、斜面支持力 F_N 和洛伦兹力 F 作用，若要使小滑块离开斜面，则洛伦兹力 F 应垂直斜面向上，如图所示，根据左手定则可知，小滑块应带负电荷；

山东科学技术出版社

(2) 小滑块沿斜面下滑的过程中，由平衡条件得 $F+F_N=mg\cos\alpha$



当支持力 $f_N=0$ 时，小滑块脱离斜面。设此时小滑块速度为 v_{max}，

则此时小滑块所受洛伦兹力 $F=qv_{max}B$

所以 $v_{max}=\dfrac{mg\cos\alpha}{qB}=\dfrac{0.1\times10^{-3}\times10\times\frac{\sqrt{3}}{2}}{5\times10^{-4}\times0.5}$ m/s$=2\sqrt{3}$ m/s

(3) 设该斜面长度至少为 l，则小滑块离开斜面的临界情况为小滑块刚滑到斜面底端时。因为下滑过程中只有重力做功，由动能定理得 $mgl\sin\alpha=\dfrac{1}{2}mv_{max}^2-0$

所以斜面长至少为 $l=\dfrac{v_{max}^2}{2g\sin\alpha}=\dfrac{12}{2\times10\times0.5}$ m$=1.2$ m

变式训练 2 ABD

例 3 AC

变式训练 3 (1) 3.2×10^6 m/s (2) 3.3×10^{-8} s (3) 2.7×10^{-2} m

解析：(1) 由于洛伦兹力不做功，所以带电粒子离开磁场时速度仍为 3.2×10^6 m/s。

(2) 由 $qvB=m\dfrac{v^2}{r}$ 得轨道半径 $r=\dfrac{mv}{qB}=\dfrac{1.7\times10^{-27}\times3.2\times10^6}{1.6\times10^{-19}\times0.17}$ m$=0.2$ m。由题图可知偏转角 θ 满足：$\sin\theta=\dfrac{L}{r}=\dfrac{0.1\text{ m}}{0.2\text{ m}}=0.5$，所以 $\theta=30°=\dfrac{\pi}{6}$，带电粒子在磁场中运动的周期 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$，所以带电粒子在磁场中运动的时间 $t=\dfrac{\theta}{2\pi}\cdot T=\dfrac{1}{12}T$，所以 $t=\dfrac{\pi m}{6qB}=\dfrac{3.14\times1.7\times10^{-27}}{6\times1.6\times10^{-19}\times0.17}$ s$\approx3.3\times10^{-8}$ s。

(3) 带电粒子在离开磁场时偏离入射方向的距离 $d=r(1-\cos\theta)=0.2\times\left(1-\dfrac{\sqrt{3}}{2}\right)$ m$\approx2.7\times10^{-2}$ m

【水平达标】

1. D **2.** B **3.** A **4.** B **5.** A

6. $\left(\dfrac{\sqrt{2}mv}{qB},0\right)$ $\left(0,-\dfrac{\sqrt{2}mv}{qB}\right)$

【能力进阶】

7. CD **8.** D **9.** B

10. (1) $\dfrac{\pi m}{B_0q}\left(1+\dfrac{1}{\lambda}\right)$ (2) $\dfrac{2mv_0}{B_0q}\left(1-\dfrac{1}{\lambda}\right)$

解析：(1) 在匀强磁场中，带电粒子做圆周运动。设在 $x\geqslant0$ 区域，圆周半径为 R_1；在 $x<0$ 区域，圆周半径为 R_2。由洛伦兹力公式及牛顿运动定律得

$qB_0v_0=m\dfrac{v_0^2}{R_1}$ ①　　$q\lambda B_0v_0=m\dfrac{v_0^2}{R_2}$ ②

粒子速度方向转过 180°时，所需时间 t_1 为 $t_1=\dfrac{\pi R_1}{v_0}$ ③

粒子速度方向再转过 180°时，所需时间 t_2 为 $t_2=\dfrac{\pi R_2}{v_0}$ ④

联立①②③④式得，所求时间为 $t=t_1+t_2=\dfrac{\pi m}{B_0q}\left(1+\dfrac{1}{\lambda}\right)$ ⑤

(2) 由几何关系及①②式得，所求距离为 $d=2(R_1-R_2)=\dfrac{2mv_0}{B_0q}\left(1-\dfrac{1}{\lambda}\right)$ ⑥

第 3 节　洛伦兹力的应用

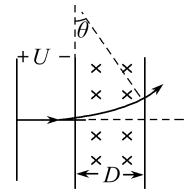
【自我诊断】

1. √ **2.** √ **3.** × **4.** √

【典型例题】

例 1 (1) $\dfrac{\sqrt{2meU}}{2eD}$ (2) 60°

解析：(1) 对离子 P^+ 在电场中的加速运动，有动能定理 $eU=\dfrac{1}{2}mv_1^2$



在磁场中由洛伦兹力提供向心力 $ev_1B=m\dfrac{v_1^2}{r_1}$

由几何关系可得 $r_1\sin\theta=D$

联立各式解得，匀强磁场的磁感应强度 B 的大小为 $B=\dfrac{\sqrt{2meU}}{2eD}$

(2) 对离子 P^{3+} 在电场中的加速运动，由动能定理得 $3eU=\dfrac{1}{2}mv_2^2$

在磁场中，洛伦兹力提供向心力，$3ev_2B=m\dfrac{v_2^2}{r_2}$

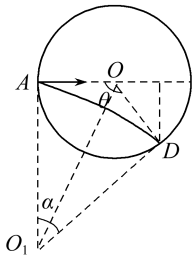
由几何关系可得，$r_2\sin\varphi=D$

联立以上各式解得，P^{3+} 在磁场中转过的角度 $\varphi=60°$。

变式训练 1 (1) $\dfrac{4\sqrt{3}B^2qR}{3m}$ (2) $2\sqrt{3}\pi:9$

解析：(1) 加磁场时，粒子从 A 到 D 有 $qBv_0=m\dfrac{v_0^2}{r}$ ①

由几何关系得 $r=R\tan\dfrac{\theta}{2}=\sqrt{3}R$ ②



加电场时，粒子从 A 到 D 有：

$R+R\cos60°=v_0t$ ③

$R\sin60°=\dfrac{qEt^2}{2m}$ ④

由①～④得 $E=\dfrac{4\sqrt{3}B^2qR}{3m}$

(2) 粒子在磁场中运动，由几何关系可知，圆心角 $\alpha=60°$

圆运动周期 $T=\dfrac{2\pi r}{v_0}=\dfrac{2\pi m}{qB}$ ⑤

经磁场的运动时间 $t'=\dfrac{1}{6}T=\dfrac{\pi m}{3qB}$ ⑥

由①～④得粒子经电场的运动时间 $t=\dfrac{\sqrt{3}m}{2qB}$ ⑦

即 $\dfrac{t'}{t}=\dfrac{2\sqrt{3}\pi}{9}$

例 2 AD

变式训练 2 D

例 3 (1) 匀速圆周运动 (2) $\dfrac{qB}{2\pi m}$ $\dfrac{qB}{m}$ (3) $\dfrac{qBR_{max}}{m}$ $\dfrac{q^2B^2R_{max}^2}{2m}$

解析：(1) 带电粒子在盒内做匀速圆周运动，每次加速之后半径变大。

(2) 粒子在电场中运动时间极短，因此高频交变电流频率要符合粒子回旋频率，因为 $T=\dfrac{2\pi m}{qB}$，回旋频率 $f=\dfrac{1}{T}=$

山东科学技术出版社

$\frac{qB}{2\pi m}$，角速度 $\omega=2\pi f=\frac{qB}{m}$。

(3) 由牛顿第二定律知 $\frac{mv_{max}^2}{R_{max}}=qBv_{max}$，则 $v_{max}=\frac{qBR_{max}}{m}$

最大动能 $E_{kmax}=\frac{1}{2}mv_{max}^2=\frac{q^2B^2R_{max}^2}{2m}$

【水平达标】

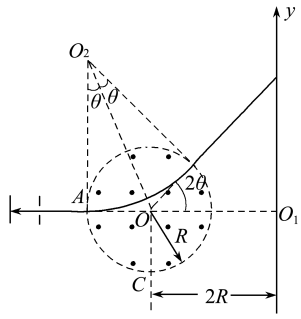
1. A **2**. D **3**. D **4**. B **5**. C **6**. B **7**. AD

【能力进阶】

8. AD **9**. B

10. (1) $\frac{eR^2B_0^2}{2m}$ (2) $y=4R\frac{BB_0}{B_0^2-B^2}$ ($|B|<B_0$)

解析：(1) 根据几何关系可知，粒子做匀速圆周运动的半径 $r=R$，又由于洛伦兹力提供向心力，可得 $evB=m\frac{v^2}{r}$，根据功能关系，粒子经电场加速 $eU_0=\frac{1}{2}mv^2$，最后可得 $U_0=\frac{eR^2B_0^2}{2m}$



(2) 几何关系如图所示，$y=2R\tan 2\theta=2R\frac{2\tan\theta}{1-\tan^2\theta}$

由 $r=\frac{mv}{qB}\propto\frac{1}{B}$

可得 $\tan\theta=\frac{R}{r}=\frac{B}{B_0}$

故 $y=4R\frac{BB_0}{B_0^2-B^2}$ ($|B|<B_0$)

【小微专题】

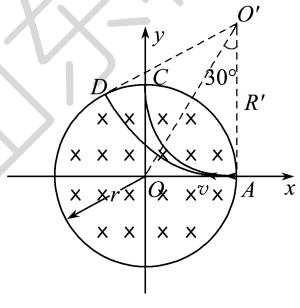
1. C **2**. A **3**. AD **4**. AD

专题 2　洛伦兹力作用下带电粒子的运动

【典型例题】

例 1 (1) 负电荷　$\frac{v}{Br}$　(2) $\frac{\sqrt{3}}{3}B$　$\frac{\sqrt{3}\pi r}{3v}$

解析：(1) 粒子的运动轨迹如图所示，利用左手定则可知，该粒子带负电荷。



粒子由 A 点射入，由 C 点飞出，其速度方向改变了 90°，则粒子轨迹半径 $R=r$，

又 $qvB=m\frac{v^2}{r}$

则粒子的比荷 $\frac{q}{m}=\frac{v}{Br}$

(2) 设粒子从 D 点飞出磁场，速度方向改变了 60° 角，故 AD 弧所对圆心角为 60°，粒子做圆周运动的半径 $R'=\frac{r}{\tan 30^\circ}=\sqrt{3}r$，又 $R'=\frac{mv}{qB'}$，所以 $B'=\frac{\sqrt{3}}{3}B$，粒子在磁场中运动所用时间 $t=\frac{1}{6}T=\frac{1}{6}\times\frac{2\pi R'}{v}=\frac{\sqrt{3}\pi r}{3v}$

变式训练 1　B

例 2 (1) $2d$　(2) $\frac{mv_0}{2qd}$　(3) $\frac{7\pi+4d}{2v_0}$

解析：(1) 设 Q 点的纵坐标为 h，到达 Q 点的水平分速度为 v_x，P 到 Q 受到恒定的电场力与初速度垂直，为类平抛运动，则由类平抛运动的规律可知

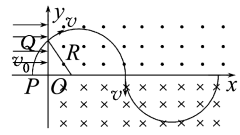
竖直方向匀速直线运动，$h=v_0t_1$

水平方向匀加速直线运动的平均速度 $\overline{v}=\frac{0+v_x}{2}$，则 $d=\frac{v_xt_1}{2}$

根据速度的矢量合成 $\tan 45^\circ=\frac{v_x}{v_0}$，解得 $h=2d$

(2) 粒子运动轨迹如图所示，由几何知识可得，粒子在磁场中的运动半径 $R=2\sqrt{2}d$

由牛顿第二定律 $qvB=m\frac{v^2}{R}$，解得 $R=\frac{mv}{qB}$



由(1)可知 $v=\frac{v_0}{\cos 45^\circ}=\sqrt{2}v_0$

联立解得 $B=\frac{mv_0}{2qd}$

(3) 在电场中的运动时间为 $t_1=\frac{2d}{v_0}$

在磁场中，由运动学公式 $T=\frac{2\pi R}{v}$

在第一象限中的运动时间为 $t_2=\frac{135^\circ}{360^\circ}T=\frac{3}{8}T$

在第四象限内的运动时间为 $t_3=\frac{T}{2}$

带电粒子自进入电场至在磁场中第二次经过 x 轴所用的时间为 $t=t_1+t_2+t_3=\frac{7\pi+4d}{2v_0}$

变式训练 2　(1) $\sqrt{2}v_0$　方向与 x 轴正方向成 45°角斜向上　(2) $\frac{v_0}{2}$

解析：(1) 在电场中，粒子做类平抛运动，设 Q 点到 x 轴距离为 L，到 y 轴距离为 $2L$，粒子的加速度为 a，运动时间为 t，有

$2L=v_0t$　①

$L=\frac{1}{2}at^2$　②

设粒子到达 O 点时沿 y 轴方向的分速度为 $v_y=at$　③

设粒子到达 O 点时速度方向与 x 轴正方向夹角为 α，有

$\tan\alpha=\frac{v_y}{v_0}$　④

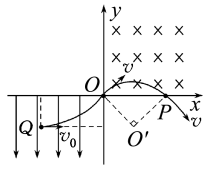
联立①②③④式得 $\alpha=45^\circ$　⑤

即粒子到达 O 点时速度方向与 x 轴正方向成 45°角斜向上。

设粒子到达 O 点时速度大小为 v，由运动的合成有 $v=\sqrt{v_0^2+v_y^2}$　⑥

联立①②③⑥式得 $v=\sqrt{2}v_0$　⑦

(2) 设电场强度为 E，粒子电荷量为 q，质量为 m，粒子在电场中受到的电场力为 F，由牛顿第二定律可得 $F=ma$　⑧



又 $F=qE$　⑨

设磁场的磁感应强度大小为 B，粒子在磁场中做匀速圆周运动的半径为 R，所受的洛伦兹力提供向心力，有 $qvB=m\frac{v^2}{R}$　⑩

山东科学技术出版社

由几何关系可知 $R=\sqrt{2}L$ ⑪

联立①②⑦⑧⑨⑩⑪式得 $\frac{E}{B}=\frac{v_0}{2}$ ⑫

例 3 B

变式训练 3 D

【水平达标】

1. C **2.** B **3.** C **4.** C

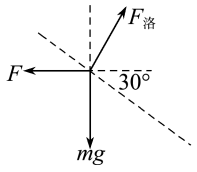
5. (1) $\frac{mv_0^2}{2qd}$ (2) $\frac{mv_0}{2qd}$

【能力进阶】

6. C **7.** CD **8.** D

9. (1) $\frac{2E}{v}$ (2) $\sqrt{3}E$ (3) $\frac{\sqrt{3}\pi v}{3g}$

解析:(1) 油滴在 $x<0$ 区域做匀速直线运动,又因为油滴在此区域受重力 mg、电场力 F 和洛伦兹力 $F_{洛}$ 作用,故三个力的合力为 0;油滴在 $x>0$ 区域做匀速圆周运动,根据油滴轨迹和左手定则可知油滴带正电。在 $x<0$ 区域对粒子受力分析,如图所示



有 $F=F_{洛}\sin 30°$

即 $Eq=qvB\sin 30°$

所以磁感应强度 $B=\frac{qE}{qv\sin 30°}=\frac{2E}{v}$

(2) 在 $x<0$ 区域油滴受力平衡有

$F_{洛}\cos 30°=mg$

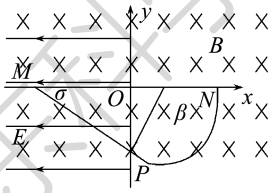
又有 $F_{洛}\sin 30°=qE$

所以 $mg=\sqrt{3}qE$

在 $x>0$ 区域油滴做匀速圆周运动,所以油滴受到的电场力与重力平衡,令此时电场强度为 E',则有 $qE'=mg=\sqrt{3}qE$

所以 $E'=\sqrt{3}E$

(3) 由题意作出油滴在 $x>0$ 区域的轨迹如下图所示,根据几何关系有



$\beta=180°-(90°-\alpha)=120°$

油滴做圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$

所以油滴从 P 至 BN 所用时间 $t=\frac{120°}{360°}\times T=\frac{1}{3}\times\frac{2\pi m}{qB}=\frac{2\pi m}{3qB}$

又因为 $mg=qvB\cos 30°$,所以 $t=\frac{2\pi m}{3qB}=\frac{\sqrt{3}\pi v}{3g}$

章末总结

【典型例题】

例 1 (1) 0.3 N (2) 0.06 N (3) 2.6 m/s²

解析:(1) 导体棒、金属导轨和直流电源构成闭合电路,根据闭合电路欧姆定律有

$I=\frac{E}{R+r}=\frac{4.5}{2.5+0.5}$ A=1.5 A

导体棒受到的安培力 $F_{安}=ILB=0.3$ N

(2) 导体棒所受重力沿斜面向下的分力 $F_1=mg\sin 37°=0.24$ N

由于小于安培力,故导体棒受沿斜面向下的摩擦力 f

根据共点力平衡条件,$mg\sin 37°+f=F_{安}$,解得 $f=0.06$ N

(3) 匀强磁场 B 的方向改为竖直向上时,安培力水平向右,将其沿导轨所在平面与垂直导轨所在平面分解,可得

$F_{安}'\cos 37°=ILB'\cos 37°=0.48$ N

而重力沿斜面向下的分力 $F_1=mg\sin 37°=0.24$ N

金属棒受摩擦力为 $f'=\mu(mg\cos 37°)+ILB'\sin 37°=0.136$ N

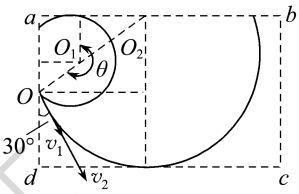
有牛顿第二定律得 $F_{安}'\cos 37°-F_1-f'=ma$

解得 $a=2.6$ m/s²

例 2 (1) $\frac{qBl}{3m}<v_0<\frac{qBl}{m}$ (2) $\frac{4\pi m}{3qB}$

解析:由于磁场边界的限制,粒子从 ab 边射出磁场时速度有一定的范围。当 v_0 有最小值 v_1 时,粒子速度恰与 ab 边相切;当 v_0 有最大值 v_2 时,粒子速度恰与 cd 边相切,如图所示。

(1) 当 v_0 有最小值 v_1 时,有 $R_1+R_1\sin 30°=\frac{1}{2}l$



由 $qv_1B=\frac{mv_1^2}{R_1}$ 得

$v_1=\frac{qBl}{3m}$

当 v_0 有最大值 v_2 时,有 $R_2=R_2\sin 30°+\frac{l}{2}$

由 $qv_2B=\frac{mv_2^2}{R_2}$ 得 $v_2=\frac{qBl}{m}$

所以,带电粒子从磁场中 ab 边射出时,其速度范围应为 $\frac{qBl}{3m}<v_0<\frac{qBl}{m}$

(2) 要使粒子在磁场中运动时间最长,其轨迹对应的圆心角应最大,由(1)知,当速度为 v_1 时粒子在磁场中运动时间最长,对应轨迹的圆心角 $\theta=\frac{4}{3}\pi$

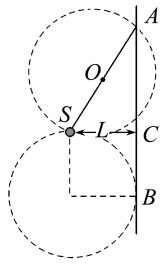
则 $t_{max}=\frac{\frac{4}{3}\pi}{2\pi}\cdot\frac{2\pi m}{qB}=\frac{4\pi m}{3qB}$

例 3 (1) $\frac{BqL}{2m}$ (2) $(\sqrt{3}+1)L$ (3) $\frac{\pi m}{3qB}$

解析:(1) 挡板上的点到 S 的距离最小为 L,所以要保证有粒子打在板上,粒子做圆周运动的最小半径 $R=\frac{L}{2}$

此时粒子速度最小,设为 v,$qvB=\frac{mv^2}{R}$,则 $v=\frac{BqL}{2m}$

(2) 当粒子速度 $v=\frac{BqL}{m}$ 时,粒子圆周运动半径 $R=L$

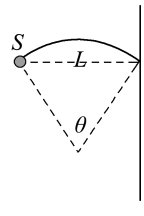


粒子能打在挡板上的点与 S 的距离最大为 $2R=2L$

如图打到 A 点,$AC=\sqrt{(2R)^2-L^2}=\sqrt{3}L$

当粒子向右水平射出时,刚好能打在挡板上如图 B 点,$BC=R$ 所以被粒子击中的部分长度为 $AB=AC+BC=(\sqrt{3}+1)L$

(3) 粒子到达挡板的最短距离为 L,此时所对圆心角最小,所用时间最短,如图,由几何关系得圆心角 $\theta=\frac{\pi}{3}$



粒子做圆周运动的周期 $T=\frac{2\pi R}{v}=\frac{2\pi m}{Bq}$

粒子到达挡板的最短时间 $t=\frac{\theta}{2\pi}T=\frac{\pi m}{3qB}$

例 4 (1) $\frac{\pi m}{3qt_0}$ (2) $v\leqslant\frac{\sqrt{3}\pi L}{12t_0}$

(3) AC 边上粒子射出范围为 CE 段,AB 边上粒子射出

山东科学技术出版社

范围为 BD 段，$x_{CE}=\frac{L}{4}$，$x_{BD}=\frac{L}{2}$

解析：(1) 洛伦兹力提供向心力，有 $qvB=m\frac{v^2}{r}$

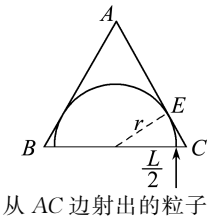
周期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$

当粒子垂直 AB 边射出时，根据几何关系，圆心角为 60° 的时间 $t_0=\frac{T}{6}$

联立解得 $B=\frac{\pi m}{3qt_0}$

(2) 当轨迹圆与 AC、AB 都相切时，粒子能从 BC 边射出，半径最大，速度为最大值，此时 $r=\frac{L}{2}\sin 60°=\frac{\sqrt{3}}{4}L$

根据 $qvB=m\frac{v^2}{r}$ 得，$r=\frac{mv}{qB}$，联立解得 $v=\frac{\sqrt{3}\pi L}{12t_0}$

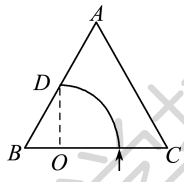


所以，粒子射入的最大速度为 $\frac{\sqrt{3}\pi L}{12t_0}$

(3) 由(2)知，当轨迹圆与 AC 相切时，从 AC 边射出的粒子距 C 最远，故有粒子射出的范围为 CE 段：$x_{CE}=\frac{L}{2}\cos 60°=\frac{L}{4}$

当轨迹圆与 AB 边的交点 D 恰在圆心 O 正上方时，射出的粒子距 B 点最远。

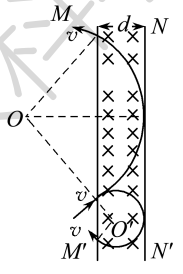
故有粒子射出的范围为 BD 段：$x_{BD}=\frac{r}{\sin 60°}=\frac{L}{2}$



例 5 AB

例 6 $(2+\sqrt{2})\frac{Bqd}{m}$（$q$ 为正电荷）或 $(2-\sqrt{2})\frac{Bqd}{m}$（$q$ 为负电荷）

解析：若 q 为正电荷，轨迹是如图所示的上方与 NN' 相切的 $\frac{1}{4}$ 圆弧，轨道半径 $R=\frac{mv}{Bq}$



又 $d=R-\frac{R}{\sqrt{2}}$

解得 $v=\frac{(2+\sqrt{2})Bqd}{m}$

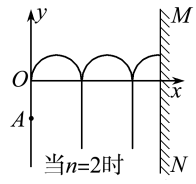
若 q 为负电荷，轨迹是如图所示的下方与 NN' 相切的 $\frac{3}{4}$ 圆弧，则有 $R'=\frac{mv'}{Bq}$

$d=R'+\frac{R'}{\sqrt{2}}$，解得 $v'=\frac{(2-\sqrt{2})Bqd}{m}$

例 7 (1) $s=\frac{eL^2B^2}{2Em(2n+1)^2}(n=0,1,2,3,\cdots)$

(2) $\frac{BL}{E}+(2n+1)\frac{\pi m}{2eB}(n=0,1,2,3,\cdots)$

解析：(1) 在电场中，电子从 $A\to O$，动能增加 $eEs=\frac{1}{2}mv_0^2$



在磁场中，电子偏转，半径为 $r=\frac{mv_0}{eB}$，根据题意，有 $(2n+1)r=L$

所以 $s=\frac{eL^2B^2}{2Em(2n+1)^2}(n=0,1,2,3,\cdots)$

(2) 在电场中匀变速直线运动的时间与在磁场中做部分圆周运动的时间之和为电子总的运动时间 $t=(2n+1)\sqrt{\frac{2s}{a}}+\frac{T}{4}+n\frac{T}{2}$，其中 $a=\frac{Ee}{m}$，$T=\frac{2\pi m}{eB}$

整理后得 $t=\frac{BL}{E}+(2n+1)\frac{\pi m}{2eB}(n=0,1,2,3,\cdots)$

章末检测

1. A **2.** A **3.** D **4.** B **5.** B **6.** C **7.** D **8.** D **9.** BC **10.** AC **11.** ABC **12.** BD

13. (1) C (2) $6F$

14. (1) 重新处于平衡状态　电流表的示数

(2) $\frac{|m_2-m_1|g}{IL}$　(3) $m_2>m_1$

15. (1) $a\to b$　(2) $mg\tan\alpha$　(3) $\frac{mg\sin\alpha}{Il}$，垂直轨道平面斜向上

16. $\frac{32U}{289B^2d^2}\leqslant\frac{q}{m}\leqslant\frac{32U}{25B^2d^2}$

17. (1) $v_1<\frac{qBR}{2m}$　$v_2>\frac{3qBR}{2m}$　(2) $\frac{2\pi m}{3qB}$

18. (1) $\frac{mv_0^2}{qL}$　(2) $2v_0$　与 x 轴正方向成 60° 角

(3) $\frac{mv_0}{qL}$

第 2 章　电磁感应及其应用

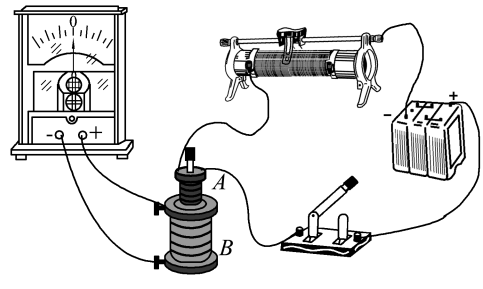
第 1 节　科学探究：感应电流的方向

【自我诊断】

1. ×　**2.** ×　**3.** √　**4.** √

【典型例题】

例 1 (1)如图所示　(2)向右　(3)向左　(4)相同



山东科学技术出版社

变式训练 1 AD

例 2 A

变式训练 2 D

例 3 D

变式训练 3 C

【水平达标】

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

【能力进阶】

8. AD **9.** D **10.** C

第 2 节 法拉第电磁感应定律

【自我诊断】

1. × **2.** × **3.** √ **4.** × **5.** √ **6.** ×

【典型例题】

例 1 ABC

变式训练 1 0.1 V 1 A

例 2 B

变式训练 2 C

例 3 1 W

变式训练 3 (1) $\frac{1}{2}Bl^2\omega$ (2) $\frac{1}{2}Bl^2\omega\Delta t$ $\frac{1}{2}Bl^2\omega$

【水平达标】

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

7. (1) 有 (2) 0.2 Wb (3) 0.5 V

【能力进阶】

8. C **9.** BC **10.** AB

11. (1) 6 m/s (2) 1.1 m

解析:(1) 由题意,最大静摩擦力等于滑动摩擦力,则框架受到最大静摩擦力

$F=\mu F_N=\mu(m_1+m_2)g$

ab 中的感应电动势 $E=Blv$

MN 中电流 $I=\frac{E}{R_1+R_2}$

MN 受到的安培力 $F_{安}=IlB$

框架开始运动时有 $F_{安}=F$

由上述各式代入数据,解得 $v=6$ m/s

(2) 导体棒 ab 与 MN 中感应电流时刻相等,由焦耳定律 $Q=I^2Rt$ 得知,$Q\propto R$

则闭合回路中产生的总热量 $Q_{总}=\frac{R_1+R_2}{R_2}Q=\frac{0.3+0.1}{0.1}\times 0.1\text{ J}=0.4\text{ J}$

由能量守恒定律,得 $Fx=\frac{1}{2}m_1v^2+Q_{总}$

代入数据解得 $x=1.1$ m

【小微专题】

1. C **2.** A

第 3 节 自感现象与涡流

【自我诊断】

1. √ **2.** × **3.** × **4.** √

【典型例题】

例 1 AC

变式训练 1 D

例 2 ACD

变式训练 2 BD

【水平达标】

1. BD **2.** B **3.** A **4.** B **5.** ABC **6.** AD

【能力进阶】

7. D **8.** BC **9.** B

专题 3 法拉第电磁感应定律的应用

【典型例题】

例 1 B

变式训练 1 B

例 2 C

变式训练 2 D

例 3 (1) 10 m/s (2) 见解析图

解析:(1) 导体棒切割磁感线运动,产生的感应电动势

$E=BLv$ ①

回路中的感应电流 $I=\frac{E}{R+r}$ ②

导体棒受到的安培力 $F_{安}=ILB$ ③

导体棒运动过程中受到拉力 F、安培力 $F_{安}$ 和摩擦力 F_f 的作用,根据牛顿第二定律

$F-\mu mg-F_{安}=ma$ ④

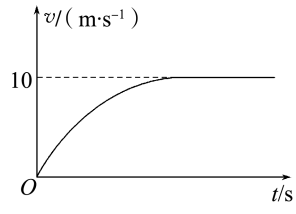
由①②③④得 $F-\mu mg-\frac{B^2L^2v}{R+r}=ma$ ⑤

由⑤可知,随着速度的增大,安培力增大,加速度 a 减小,当加速度 a 减小到 0 时,速度达到最大。

此时有 $F-\mu mg-\frac{B^2L^2v_{max}}{R+r}=0$ ⑥

可得 $v_{max}=\frac{(F-\mu mg)(R+r)}{B^2L^2}=10$ m/s ⑦

(2) 由(1)中分析可知,导体棒运动的速度-时间图像如图所示。



变式训练 3 AD

例 4 BD

变式训练 4 (1) 2.0 m/s² (2) 2.0 m/s (3) 0.10 J

解析:(1) 设金属棒开始下滑时的加速度大小为 a,则

$mg\sin\theta-\mu mg\cos\theta=ma$

解得 $a=2.0$ m/s²

(2) 设金属棒到达 cd 位置时速度大小为 v、通过金属棒的电流为 I,金属棒受力平衡,有

$mg\sin\theta=ILB+\mu mg\cos\theta$

$I=\frac{BLv}{R}$

解得 $v=2.0$ m/s

(3) 设金属棒从 ab 运动到 cd 的过程中,电阻 R 上产生的热量为 Q,由能量守恒,有 $mgs\sin\theta=\frac{1}{2}mv^2+\mu mgs\cos\theta+Q$

解得 $Q=0.10$ J

例 5 AD

山东科学技术出版社

变式训练 5 (1) $\frac{F_{T0}R}{B^2L^2a}$ $\frac{F_{T0}R}{B^2L^2}$ (2) $\frac{mF_{T0}{}^2R^2}{4B^4L^4}$

解析:(1) 细线断裂时,

对棒有 $F_{T0}=F_{安}$,$F_{安}=ILB$,$I=\frac{E}{R}$,$E=BLv_0$,$v_0=at_0$

联立解得 $t_0=\frac{F_{T0}R}{B^2L^2a}$

细线断裂时框架的速度 $v_0=\frac{F_{T0}R}{B^2L^2}$

(2) 在细线断裂时立即撤去拉力,框架向右做减速运动,棒向右做加速运动,设二者最终速度大小均为 v,设向右为正方向,由系统动量守恒可得 $mv_0=2mv$

得 $v=\frac{v_0}{2}=\frac{F_{T0}R}{2B^2L^2}$

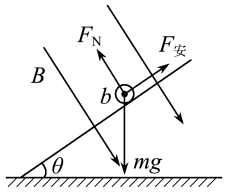
撤去拉力后,系统总动能的减少量等于回路消耗的电能,最终在回路中产生的总焦耳热 $Q=\frac{1}{2}mv_0{}^2-\frac{1}{2}\times2mv^2$

联立得 $Q=\frac{mF_{T0}{}^2R^2}{4B^4L^4}$

【水平达标】

1. C **2.** D **3.** C **4.** D **5.** ACD

6. (1) 受力示意图如图所示:



(2) $\frac{BLv}{R}$ $g\sin\theta-\frac{B^2L^2v}{mR}$ (3) $\frac{mgR\sin\theta}{B^2L^2}$

【能力进阶】

7. A **8.** AB **9.** AD

10. (1)2 m/s (2) 0.45 J (3) 0.096 N·s

章末总结

【典型例题】

例 1 A

变式训练 1 BD

例 2 B

变式训练 2 A

例 3 AB

变式训练 3 (1) 0.36 W (2) 0.06 m/s^2

解析:(1) 由能量守恒定律 $Q=\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}mv_t{}^2$

此时圆环中感应电动势 $E=B\cdot2rv_t$

此时圆环中电流 $I=\frac{E}{R}$

此时圆环中电流的瞬时功率 $P=I^2R$

联立以上四式得 $P=0.36$ W

(2) 由牛顿第二定律 $F=ma$,又 $F=BI\cdot2r$

故 $a=\frac{F}{m}=\frac{BI\cdot2r}{m}=0.06$ m/s^2

章末检测

1. C **2.** D **3.** A **4.** A **5.** C **6.** A **7.** D **8.** C **9.** AD **10.** AD **11.** BCD **12.** AC

13. (1) 远离磁铁 静止不动 (2) ① 偏向正极 ② S 极 ③ 向上 ④ 顺时针

14. (1) 3.0 (2) C (3) B (4) $b\to a$

15. (1) 0.4 V (2) 0.16 W (3) 2 s

16. (1) $\frac{qR}{BL}$ (2) $\frac{1}{2}mv_0{}^2-\frac{\mu mgqR}{BL}$

17. (1) $\frac{\pi a^2B_0}{Rt_0}$ 方向为逆时针方向 (2) $\frac{\pi^2a^4B_0{}^2}{Rt_0}$

18. (1) 1.2×10^4 A 逆时针 (2) 12.7 m/s (3) 77.9%

第 3 章 交变电流与远距离输电

第 1 节 交变电流的特点

【自我诊断】

1. × **2.** × **3.** × **4.** × **5.** √

【典型例题】

例 1 ABC

例 2 B

变式训练 B

【水平达标】

1. C **2.** C **3.** CD **4.** B **5.** B **6.** B

【能力进阶】

7. AD **8.** BD **9.** D

第 2 节 交变电流的产生

【自我诊断】

1. × **2.** × **3.** √ **4.** × **5.** × **6.** √

【典型例题】

例 1 AC

例 2 (1) 6.28 V 6.28 A (2) 3.14 V (3) $e=6.28\sin10\pi t$ V

解析:(1) 交变电流电动势最大值为 $E_{max}=NBs\omega=10\times0.5\times0.04\times10\pi$ V$=2\pi$ V≈6.28 V

电流的最大值为 $I_{max}=\frac{E_{max}}{r}=\frac{NBs\omega}{r}=2\pi$ A≈6.28 A

(2) 线圈转过 30°时,感应电动势 $e=E_{max}\sin30°=3.14$ V

(3) 由于线圈转动是从中性面开始计时的,所以瞬时值表达式为 $e=E_{max}\sin\omega t=6.28\sin10\pi t$ V

变式训练 1 B

变式训练 2 (1) $e=50\sin10\pi t$ V (2) $\frac{5\sqrt{3}}{2}$ A (3) $u=40\sin10\pi t$ V

解析:(1) 线圈转速 $n=300$ r/min$=5$ r/s

山东科学技术出版社

角速度 $\omega=2\pi n=10\pi$ rad/s

线圈产生的感应电动势最大值 $E_{max}=NBS\omega=50$ V

由此得到的感应电动势瞬时值表达式为

$e=E_{max}\sin\omega t=50\sin 10\pi t$ V

(2) 将 $t=\frac{1}{30}$ s 代入感应电动势瞬时值表达式中，

得 $e'=50\sin\left(10\pi\times\frac{1}{30}\right)$ V$=25\sqrt{3}$ V

对应的感应电流 $i'=\frac{e'}{R+r}=\frac{5\sqrt{3}}{2}$ A

(3) 由闭合电路欧姆定律得 $u=\frac{e}{R+r}R=40\sin 10\pi t$ V

例 3 B

变式训练 3 B

例 4 (1) $\frac{NBS}{R+r}$ (2) $\frac{N^2B^2S^2\omega R\pi}{4(R+r)^2}$

解析：(1) 依题意磁通量的变化量 $\Delta\Phi=BS$

线圈转过 90°的时间 $\Delta t=\frac{T}{4}=\frac{2\pi}{4\omega}=\frac{\pi}{2\omega}$

平均感应电动势 $\overline{E}=N\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{2NBS\omega}{\pi}$

平均感应电流 $\overline{I}=\frac{\overline{E}}{R+r}=\frac{2NBS\omega}{\pi(R+r)}$

通过电阻 R 的电荷量 $q=\overline{I}\cdot\Delta t=\frac{NBS}{R+r}$

(2) 线圈中感应电动势的有效值 E 和最大值 E_{max} 的关系为 $E=\frac{E_{max}}{\sqrt{2}}=\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$

电路中电流的有效值 $I=\frac{E}{R+r}=\frac{NBS\omega}{\sqrt{2}(R+r)}$

电阻 R 上产生的热量 $Q=I^2R\Delta t=\frac{N^2B^2S^2\omega R\pi}{4(R+r)^2}$

变式训练 4 ACD

【水平达标】

1. A **2.** C **3.** C **4.** C **5.** D **6.** D

【能力进阶】

7. BC **8.** BCD **9.** AD

10. (1) $2NBl^2\omega$ (2) $\frac{4N^2B^2l^3\omega}{r+R}$ (3) $\frac{4NBl^2\omega}{3(r+R)}$

解析：(1) bc、ad 边的运动速度 $v=\frac{l\omega}{2}$，感应电动势 $E_{max}=4NBlv$

解得 $E_{max}=2NBl^2\omega$

(2) 电流 $I_{max}=\frac{E_{max}}{r+R}$，安培力 $F=2NI_{max}lB$

解得 $F=\frac{4N^2B^2l^3\omega}{r+R}$

(3) 一个周期内，通电时间 $t=\frac{4}{9}T$

R 上消耗的电能 $W=I_{max}{}^2Rt$ 且 $W=I^2RT$

解得 $I=\frac{4NBl^2\omega}{3(r+R)}$

第 3 节　科学探究：变压器

【自我诊断】

1. √ **2.** × **3.** √ **4.** × **5.** ×

【典型例题】

例 1 ACD

变式训练 1 BD

例 2 BD

变式训练 2 BD

例 3 ABD

变式训练 3 AD

例 4 B

变式训练 4 D

例 5 A

变式训练 5 C

【水平达标】

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

【能力进阶】

8. A **9.** C **10.** D **11.** BC

第 4 节　电能的远距离输送

【自我诊断】

1. √ **2.** √ **3.** × **4.** × **5.** ×

【典型例题】

例 1 BC

例 2 (1) $\frac{1}{20}$ $\frac{240}{11}$ (2) 96 kW

解析：(1) 输电线中损失的功率 $P_{损}=P_1\times4\%=I_2{}^2R$，得 $I_2=20$ A

由 $I_1=\frac{P_1}{U_1}$ 得 $I_1=400$ A

故升压变压器原、副线圈匝数比 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{I_2}{I_1}=\frac{1}{20}$

输电线上损失的电压 $U_{损}=I_2R=200$ V

输送电压为 U_2，由 $\frac{n_1}{n_2}=\frac{U_1}{U_2}$ 得 $U_2=5\,000$ V

降压变压器原线圈两端的电压 $U_3=U_2-U_{损}=4\,800$ V

故降压变压器原、副线圈匝数比 $\frac{n_3}{n_4}=\frac{U_3}{U_4}$，即 $\frac{n_3}{n_4}=\frac{240}{11}$

(2) 用户得到的电功率

$P_{用}=P_1-P_{损}$，即 $P_{用}=96$ kW

变式训练 D

【水平达标】

1. B **2.** D **3.** A **4.** B

5. (1) 144 W (2) 250 V

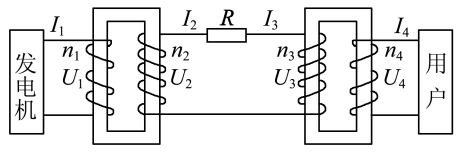
【能力进阶】

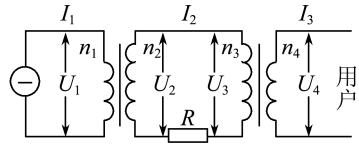
6. BD **7.** C **8.** C

9. (1) 见解析图 (2) 6 250 V　16 A (3) 15.625 Ω　6 000 V (4) 96 kW

解析：

(1)





(2) 对升压变压器，据公式 $\frac{U_2}{U_1}=\frac{n_2}{n_1}$，有

$U_2=\frac{n_2}{n_1}U_1=\frac{25}{1}\times 250\ \text{V}=6\ 250\ \text{V}$

$I_2=\frac{P_2}{U_2}=\frac{P_1}{U_2}=\frac{1\times 10^5}{6\ 250}\ \text{A}=16\ \text{A}$

(3) $P_{损}=I_2{}^2R_{线}$，$P_{损}=0.04P_1$

所以 $R_{线}=\frac{0.04P_1}{I_2{}^2}=\frac{4\ 000}{16^2}\ \Omega=15.625\ \Omega$

因为 $U_{损}=U_2-U_3=I_2R_{线}$

所以 $U_3=U_2-I_2R_{线}=(6\ 250-16\times 15.625)\ \text{V}=6\ 000\ \text{V}$

(4) $P_4=P_1-P_{损}=0.96P_1=0.96\times 1\times 10^5\ \text{W}=9.6\times 10^4\ \text{W}=96\ \text{kW}$

章末总结

【典型例题】

例 1 BC

例 2 C

例 3 A

变式训练 1 D

例 4 B

变式训练 2 D

例 5 BCD

变式训练 3 AD

章末检测

1. D **2.** C **3.** C **4.** B **5.** B **6.** B **7.** B **8.** B **9.** AD **10.** ACD **11.** ACD **12.** BCD

13. (1) AB (2) 2 s 0.5π rad/s

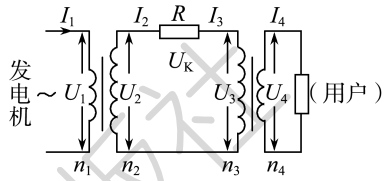
14. (1) D (2) 不能

15. (1) 50 V (2) 5∶1 (3) 7

16. (1) 10 V (2) 6.37 V (3) 4 V

17. (1) 275 匝 (2) 550 匝 0.25 A

18. (1)



(2) 219.6 V 43.92 kW (3) 36 kW 180 V

第 4 章 电磁波

第 1 节 电磁波的产生

【自我诊断】

1. × **2.** × **3.** √ **4.** × **5.** √

【典型例题】

例 1 D 解析：恒定的电场不产生磁场，均匀变化的电场产生稳定的磁场，不均匀变化的电场产生变化的磁场。

变式训练 1 D

例 2 BC 解析：放电完毕时，极板电量为零，电流最大，电场能完全转化成磁场能；充电完毕时，极板电量最大，电流最小，磁场能完全转化成电场能。

变式训练 2 AC

【水平达标】

1. A **2.** D **3.** AC **4.** BC

【能力进阶】

5. D **6.** C

7. (1) $0.56\times 10^6\sim 1.8\times 10^6$ Hz (2) $C=10^{-3}$ F

解析：(1) 由 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 知，当 C 最小时，则 f 最大，

所以 $f_{max}=\frac{1}{2\pi\sqrt{300\times 10^{-6}\times 25\times 10^{-12}}}\ \text{Hz}=1.8\times 10^6\ \text{Hz}$

当 C 最大时，则 f 最小

所以 $f_{min}=\frac{1}{2\pi\sqrt{300\times 10^{-6}\times 270\times 10^{-12}}}\ \text{Hz}=5.6\times 10^5\ \text{Hz}$

(2) 由 $T=2\pi\sqrt{LC}$，得 $C=\frac{T^2}{4\pi^2L}$，代入数据可得 $C=10^{-3}$ F

【小微专题】

B

第 2 节 电磁波的发射、传播和接收

【自我诊断】

1. √ **2.** √ **3.** × **4.** ×

【典型例题】

例 1 BD

变式训练 1 ABC

例 2 AD

变式训练 2 A

【水平达标】

1. C **2.** A **3.** D **4.** C **5.** AB

6. 12.5 H 0.125 H

【能力进阶】

7. C **8.** D

第 3 节 电磁波谱

【自我诊断】

1. × **2.** √ **3.** × **4.** √ **5.** ×

【典型例题】

例 AB 解析：电磁波都具有反射、折射、衍射和干涉的特性，当适量的紫外线照射人体时，能促使人体合成维生素 D，可预防佝偻病，红外线有显著热效应，所有物体都能辐射红外线。

变式训练 B

【水平达标】

1. B **2.** A **3.** D **4.** B

【能力进阶】

5. D **6.** A

山东科学技术出版社

第 5 章　传感器及其应用

第 1 节　常见传感器的工作原理

【自我诊断】

1. × **2.** √ **3.** × **4.** × **5.** √

【典型例题】

例 1　C

变式训练 1　BC

例 2　C

变式训练 2　下表面电势高　电势差 $U_H=\frac{IB}{ned}$

解析：因为载流子是自由电子，根据左手定则，让磁感线垂直穿过手心，四指指向电子运动的反方向（即电流方向），拇指指向即电子受洛伦兹力的方向，则上表面积累负电荷，下表面就多余等量的正电荷，即下表面的电势高。当电场力与洛伦兹力平衡时，上、下表面的电压稳定，即

$eE=e\frac{U}{h}=evB$

又知导体中电流 $I=nevS=nevhd$

联立方程得 $U_H=\frac{IB}{ned}$

【水平达标】

1. D **2.** B **3.** B **4.** C **5.** B

【能力进阶】

6. D **7.** A

8. 热敏电阻温度升高阻值变小时，电路中电流增大，电磁铁吸住衔铁，使右侧电路接通　熄灭

解析：根据热敏电阻的性质进行分析，由于热敏电阻在常温时阻值较大，左侧电路中电流较小，电磁铁磁性较弱吸不住衔铁；当用电吹风对热敏电阻加热使其阻值变小时，电路中电流增大，电磁铁吸住衔铁，使右侧电路接通，小灯泡亮了；当把热敏电阻放入冷水后，热敏电阻温度降低很快，阻值变大，故小灯泡熄灭。

第 2 节　科学制作：简单的自动控制装置

【自我诊断】

1. × **2.** √ **3.** × **4.** √

【典型例题】

例　AB

变式训练　B

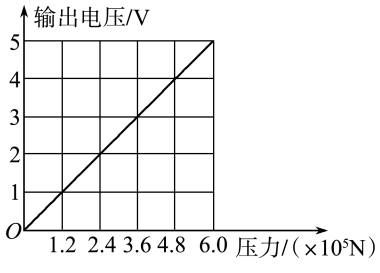
【水平达标】

1. C **2.** BC **3.** D

【能力进阶】

4. D

5. (1)如图所示



(2) C、D　(3) 75 Ω　(4) 6×10^4 N

解析：(1) 横坐标表示压力，纵坐标表示输出电压，对应表中数据，绘制图像。

(2) 当压力增大到一定程度，压力传感器输出电压达到一定数值，线圈中电流大于或等于 20 mA 时，电磁继电器的衔铁被吸合，C、D 间的电路就会被接通，因此电铃应接在 C、D 之间。

(3) 由图像可知，当压力为 2.4×10^5 N 时，输出电压 $U=2$ V，使电磁继电器衔铁闭合的最小电流 $I=20$ mA$=0.02$ A

所以此时电路的总电阻 $R_{总}=\frac{U}{I}=100$ Ω

又因为继电器线圈的电阻 $R_{线}=25$ Ω

所以电阻箱接入电路的阻值 $R'=R_{总}-R_{线}=100$ Ω-25 Ω$=75$ Ω

(4) 使电磁继电器衔铁闭合的最小电流 $I=20$ mA$=0.02$ A

电磁继电器线圈的电阻 $R_{线}=25$ Ω

$U_{小}=IR_{线}=0.5$ V

由图像可知，电压为 0.5 V 时，对应的压力为 6×10^4 N

第 3 节　大显身手的传感器

【自我诊断】

1. × **2.** √ **3.** ×

【典型例题】

例　B

变式训练　B

【水平达标】

1. C **2.** A **3.** B

【能力进阶】

4. C **5.** AD

章末总结(第 4、5 章)

【典型例题】

例 1　AC

解析：变化的磁场和变化的电场形成电磁场，电磁场由发生区域向远处传播形成电磁波；电磁波在真空中的传播速度才是 $c=3.0\times10^8$ m/s，在其他介质中的传播速度小于 $c=3.0\times10^8$ m/s，由 $c=\lambda f$ 可知，当电磁波由真空进入其他介质，频率不变，速度减小，波长变短；电磁波也是一种波，具有波的一切特征。

变式训练 1　C

例 2　(1) D　(2) C

解析：(1) X 光机是用来透视人体内部器官的，因此需要具有较强穿透力的电磁波，但又不能对人体造成太大的伤害，因此采用了 X 射线，故选择 D。

(2) 紫外线灯主要是用来杀菌的，因此它应用的是紫外线的杀菌作用而非荧光作用，故选择 C。

变式训练 2　AD

例 3　(1) 右　(2) $\frac{E}{KI}-\frac{1}{K}(R_g+r+R'+R_0)$

(3) 电路图见解析　B　D

解析：(1) 由题图甲可知，金属温度升高，电阻增大，电流

山东科学技术出版社

计电流减小，可知 t_1 刻度应在 t_2 的右侧。

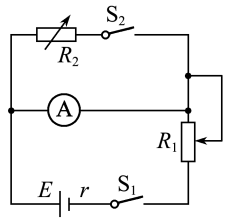
（2）由闭合电路欧姆定律知

$E=I(R+R'+R_g+r)$

由甲图知 $R=R_0+Kt$

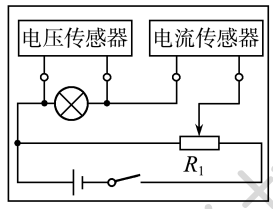
解得 $t=\frac{E}{KI}-\frac{1}{K}(R_g+r+R'+R_0)$

（3）采用半偏法测电阻时，电阻箱的最大阻值应该大于电流表的内阻，同时滑动变阻器应该选择阻值较大的，故电阻箱选择 B，滑动变阻器选择 D。电路图如图所示。



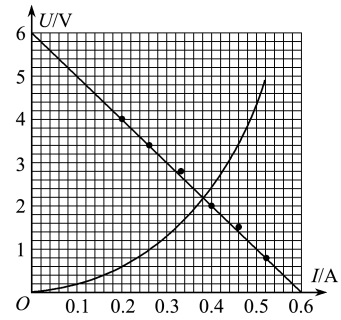
变式训练 3 （1）电路图见解析 （2）增大 （3）1 Ω （4）0.84 W

解析：(1) 描绘灯泡的伏安特性曲线，电压与电流应从零开始变化，滑动变压器要采用分压接法，由于灯泡的阻值较小，电流应用外接法，电路图如图所示。



（2）由题图所示 U-I 图像可知，随电压和电流的增大，灯泡实际功率增大，灯丝温度升高，电压与电流的比值增大，由此可知，灯丝电阻随温度升高而增大。

（3）根据表中数据作出电源 U-I 图像如图所示，由图示图像可知，电源内阻 $r=\frac{\Delta U}{\Delta I}-R_0=\frac{6}{0.6}\ \Omega-9\ \Omega=1\ \Omega$。



（4）由图示图像可知，灯泡两端电压为 2.2 V，电流为 0.38 A，灯泡的电功率为 $P=UI=2.2\times0.38$ W≈0.84 W。

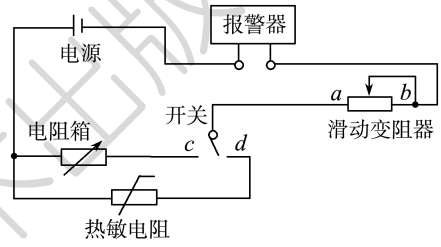
章末检测(第 4、5 章)

1. B **2.** D **3.** B **4.** C **5.** C **6.** A **7.** D **8.** B

9. BD **10.** ABD **11.** AC **12.** ABD

13. 麦克斯韦 赫兹 调幅 调频 紫外线 红外线

14. (1) 电路图如图所示



(2) R_2 (3) ① 650.0 b 接通电源后，流过报警器的电流会超过 20 mA，报警器可能损坏 ② c 报警器开始报警

15. (1) 75 m (2) 0.03 s

16. (1) 4.0 m/s² 向右 (2) 10 m/s² 向左

17. (1) 波长为 397 m 的无线电波 (2) 旋出一些

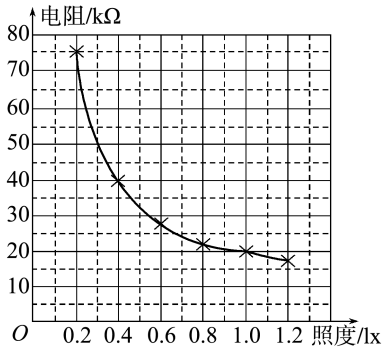
18. $U=\frac{mE\omega^2}{k-m\omega^2}$

期末检测

1. C **2.** C **3.** C **4.** B **5.** A **6.** D **7.** D **8.** D

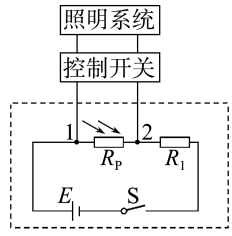
9. BC **10.** AB **11.** BC **12.** AD

13. (1)



光敏电阻的阻值随光照强度的增大非线性减小

(2)



14. (1) 向上 (2) AC (3) D

15. (1) 16.5 A (2) 1.5 A (3) 0.91 ～10 Ω

16. (1) $\frac{mv_0^2}{2qL}$ (2) $\frac{2mv_0}{qL}$ (3) $\frac{(8+\pi)L}{4v_0}$

17. (1) $\frac{2B_0L^2}{T}$ $\frac{4B_0^2L^3}{F_0T}$ (2) $\frac{F_0L}{2}-\frac{F_0L^2}{gT^2}$

18. (1) 0.2 V (2) 0.2 N (3) 0.015 J

山东科学技术出版社