

winshare文轩教育

四川教育出版社

教师用书

点金训练

物理

选择性必修

第二册

配教科版

点金训练

教师用书

▶ 物理

选择性必修 第二册

配教科版

《点金训练》编写组 编

DIANJIN XUNLIAN
—— WULI ——
JIAOSHI YONGSHU



扫码查看本书
配套资源包

赠 品



6662025015031



四川教育出版社



四川教育出版社

点金训练

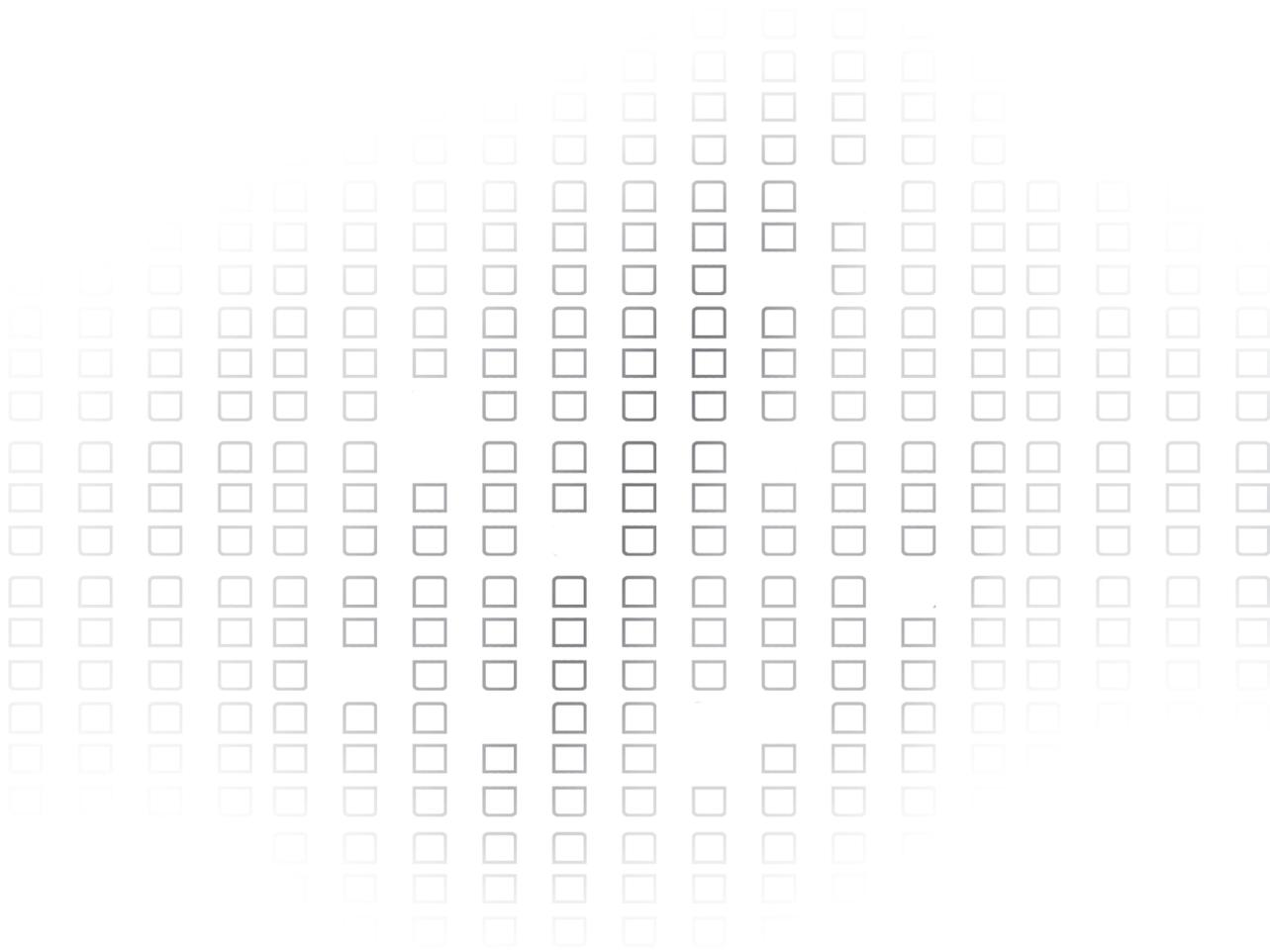
教师用书

► 物理

《点金训练》编写组 编

选择性必修 第二册

配教科版



四川教育出版社

CONTENTS

目录

第一章 磁场对电流的作用

1 安培力	1
2 安培力的应用	7
3 洛伦兹力	14
习题课(一)	20
4 洛伦兹力的应用	25
习题课(二)	36
单元活动构建	44
章末质量评估(一)	47

第二章 电磁感应及其应用

1 楞次定律	51
习题课(三)	55
2 法拉第电磁感应定律	60
习题课(四)	69
3 涡流 电磁阻尼 电磁驱动	75
4 自感	81
单元活动构建	88
章末质量评估(二)	93

第三章 交流电

1 交变电流	97
2 正弦交变电流的描述	102
3 变压器	108
习题课(五)	116
4 电能的传输	119
单元活动构建	127
章末质量评估(三)	130



第四章 电磁振荡与电磁波

1 电磁振荡	134
2 电磁波	139
3 电磁波谱	139
4 无线电波的发射、传播与接收.....	144
5 无线电波与移动互联网	144

第五章 传感器

1 认识传感器	149
2 常见传感器的工作原理	149
3 传感器的应用举例	155
4 自制简单的控制电路	155
单元活动构建.....	161
章末质量评估(四).....	164
模块综合检测(一).....	167
模块综合检测(二).....	171

第一章

磁场对电流的作用

1 安培力

学习任务目标

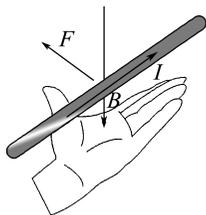
1. 知道安培力的概念,会用左手定则判断安培力的方向。(物理观念)
2. 通过实验探究匀强磁场中影响通电导线所受安培力大小和方向的因素。(科学探究)
3. 掌握安培力的计算公式 $F = ILB \sin \theta$, 并会进行有关计算。(科学思维)

问题式预习

知识点一 安培力的方向

1. 通电导线在磁场中受到力的作用是安培首先发现的。

2. 磁场对通电导线的作用力叫安培力。



3. 安培力的方向:安培力的方向可用左手定则判定。

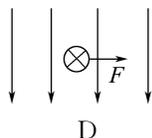
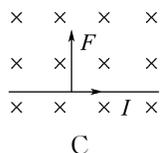
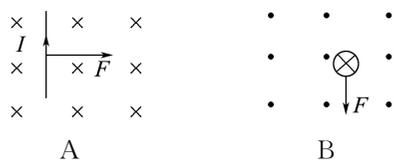
伸出左手,四指并拢,使大拇指和其余四指垂直,并且都跟手掌在同一平面内,让磁感线垂直穿过手心,四指指向电流方向,则大拇指所指方向就是通电导线所受安培力的方向。

[科学思维]

安培力方向的特点:安培力方向与电流方向、磁感应强度的方向都垂直,即垂直于导线和磁感应强度决定的平面。

[做一做]

下列各图中,表示磁场方向、电流方向及导线所受安培力方向的相互关系,其中正确的是 ()



C 解析:A图,电流的方向向上,让磁场垂直于掌心向里穿过,根据左手定则可得,安培力的方向向左,故A错误;B图,电流的方向与磁场的方向平行,电流不受到安培力的作用,故B错误;C图,电流的方向向右,让磁场垂直于掌心向里穿过,根据左手定则可得,安培力的方向向上,故C正确;D图,电流的方向向里,让磁场垂直于掌心穿过,根据左手定则可得,安培力的方向向左,故D错误。

知识点二 安培力的大小

1. 通电导线与磁场方向垂直时: $F = ILB$ 。

2. 通电导线与磁场方向夹角为 θ 时: $F = ILB \sin \theta$ 。

3. 通电导线与磁场方向平行时: $F = 0$ 。

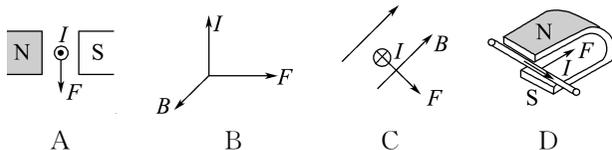
[判一判]

1. 通电的导线在磁场中一定受安培力。 (×)
2. 对处于匀强磁场中的某段导线而言,其所通电流越大,所受安培力越大。 (×)
3. 当导体在磁场中放置时,导体所受作用力为 $F = IBL$ 。 (×)

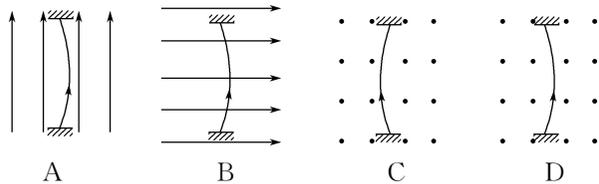
任务型课堂

任务一 对安培力方向的理解

1. (多选)下列图中,表示电流 I 的方向、磁场 B 的方向和磁场对电流作用力 F 的方向的关系正确的是 (BCD)

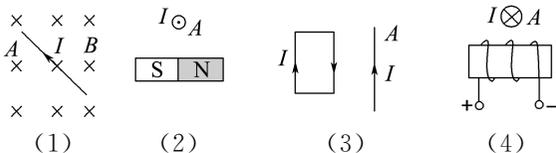


2. 一根容易发生形变的弹性导线, 两端固定, 导线中通有电流, 方向如图中箭头所示。当没有磁场时, 导线呈直线状态; 当分别加上方向竖直向上、水平向右或垂直于纸面向外的匀强磁场时, 描述导线状态的四个图示中正确的是 ()



D 解析: A 图, 当匀强磁场竖直向上和导线平行时, 导线受到的安培力为零, 故 A 选项错误; B 图, 当匀强磁场水平向右时, 根据左手定则可知导线受到的安培力向里, 故 B 选项错误; C 图和 D 图, 当匀强磁场垂直纸面向外时, 根据左手定则可知导线受到的安培力水平向右, 故 C 选项错误, D 选项正确。

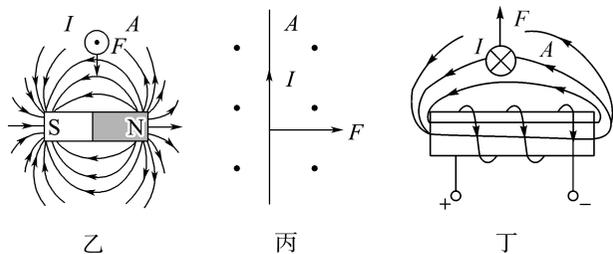
3. 画出下列图中通电直导线 A 受到的安培力的方向。



解析: (1) 中电流与磁场垂直, 由左手定则可判断出 A 所受安培力方向如图甲所示。

(2) 中条形磁体在 A 附近的磁场分布如图乙所示, 由左手定则可判断 A 受到的安培力的方向如图乙所示。

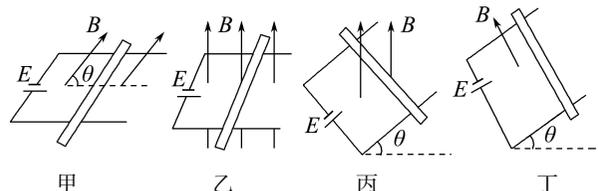
(3) 中由安培定则可判断出 A 附近磁场方向如图丙所示, 由左手定则可判断出 A 受到的安培力方向如图丙所示。



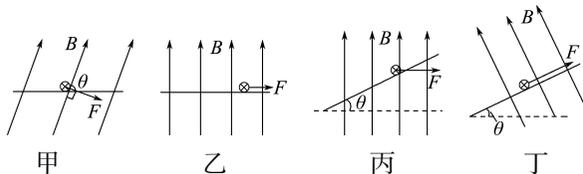
(4) 中由安培定则可判断出 A 附近磁场如图丁所示, 由左手定则可判断出 A 受到的安培力方向如图丁所示。

答案: 安培力的方向见解析图。

4. 把下面各种情况的立体图转化成平面图, 并画出导体棒所受的安培力方向。



答案: 如图所示:



任务总结

1. 安培力方向的特点

(1) 安培力的方向既与磁场方向垂直, 又与电流方向垂直, 但磁场方向与电流方向不一定垂直, 由此可知安培力的方向总是垂直于磁场和电流所决定的平面。

(2) 当磁场方向、电流方向、安培力方向两两垂直时, 只要已知其中任意两个量的方向, 就可以判断第三个量的方向。

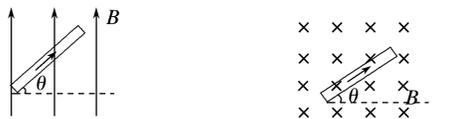
(3) 当不能确定磁场方向和电流方向是否垂直时, 若已知磁场方向(或电流方向)与安培力的方向, 电流方向(或磁场方向)不唯一。

2. 安培定则与左手定则的区别

	安培定则		左手定则
用途	判断电流的磁场方向		判断电流在磁场中的受力方向
适用对象	直线电流	环形电流或通电螺线管	电流在磁场中
应用方法	右手拇指指向电流的方向	右手四指弯曲的方向表示电流的环绕方向	磁感线穿过左手掌心, 四指指向电流的方向
结果	四指弯曲的方向表示磁感线的方向	拇指指向轴线上磁感线的方向	拇指指向电流受到的磁场力的方向

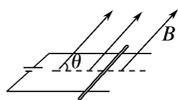
任务二 对安培力公式 $F = ILB \sin \theta$ 的理解

1. 长度为 L 、通有电流 I 的直导线放入一匀强磁场中, 电流方向与磁场方向分别如图所示, 已知磁感应强度大小均为 B , 对于下列各图中导线所受安培力的大小计算正确的是 (A)

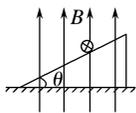


A. $F = ILB \cos \theta$

B. $F = ILB \cos \theta$

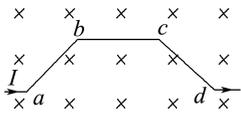


C. $F = ILB \sin \theta$



D. $F = ILB \sin \theta$

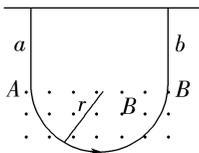
2. 如图所示,一段导线 $abcd$ 位于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中,且与磁场方向(垂直于纸面向里)垂直。线段 ab 、 bc 和 cd 的长度均为 L ,且 $\angle abc = \angle bcd = 135^\circ$,流经导线的电流为 I ,方向如图中箭头所示。导线段 $abcd$ 所受到磁场的作用力的合力 ()



- A. 方向沿纸面向上,大小为 $(\sqrt{2}+1)ILB$
 B. 方向沿纸面向上,大小为 $(\sqrt{2}-1)ILB$
 C. 方向沿纸面向下,大小为 $(\sqrt{2}+1)ILB$
 D. 方向沿纸面向下,大小为 $(\sqrt{2}-1)ILB$

A 解析: 将导线分为三段直导线,根据左手定则分别判断出各段所受安培力的方向,并计算出安培力的大小,再求合力。导线所受合力 $F_{\text{合}} = ILB + BIL2\sin 45^\circ = (\sqrt{2}+1)ILB$,方向沿纸面向上。

3. (2024·福建卷)(多选)如图所示,将半径为 r 的铜导线半圆环 AB 用两根不可伸长的绝缘绳 a 、 b 悬挂于天花板上, AB 置于垂直纸面向外、大小为 B 的磁场中,现给导线通以自 A 向 B 、大小为 I 的电流,则 ()



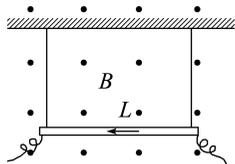
- A. 通电后两绳拉力变小
 B. 通电后两绳拉力变大
 C. 安培力为 πBIr
 D. 安培力为 $2BIr$

BD 解析: 通电流之前,铜导线半圆环处于平衡状态,根据平衡条件有 $2T = mg$,通电流之后,半圆环受到安培力,由左手定则可判断半圆环受到的安培力方向竖直向下,根据平衡条件有 $2T' = mg + F_{\text{安}}$,可知通电后两绳的拉力变大,A 错误,B 正确;半圆环的有效长度为 $2r$,由安培力公式可知 $F_{\text{安}} = 2BIr$,C 错误,D 正确。

4. 一长 10 cm 的通电直导线,通以 1 A 的电流,在匀强磁场中受到的磁场力为 0.4 N,则该磁场的磁感应强度为 ()
- A. 等于 4 T B. 大于或等于 4 T
 C. 小于或等于 4 T D. 上述说法都错误

B 解析: 通电直导线长为 $L = 0.1$ m,电流强度为 $I = 1$ A,把它置于匀强磁场中,受到的磁场力为 $F = 0.4$ N,设导线与磁场方向的夹角为 α ,由 $F = BIL \sin \alpha$ 得, $B = \frac{F}{IL \sin \alpha} \geq \frac{F}{IL} = 4$ T,故 B 正确。

5. 如图所示,在一个范围足够大、磁感应强度 $B = 0.40$ T 的水平匀强磁场中,用绝缘细线将金属棒吊起使其呈水平静止状态,且使金属棒与磁场方向垂直。已知金属棒长 $L = 0.20$ m,质量 $m = 0.020$ kg,取 $g = 10$ N/kg。



- (1) 若棒中通有 $I = 2.0$ A 的向左的电流,求此时金属棒受到的安培力 F 的大小。
 (2) 改变通过金属棒的电流大小,若细线拉力恰好为零,求此时棒中通有电流的大小。

解析: (1) 根据安培力公式 $F = BIL$ 可得,此时金属棒受到的安培力大小 $F = BIL$,代入数据解得 $F = 0.16$ N。
 (2) 以通电金属棒为研究对象,要使悬线拉力恰好为零,根据平衡条件可得 $F = BIL = mg$,解得 $I = \frac{mg}{LB}$,代入数据解得 $I = 2.5$ A。

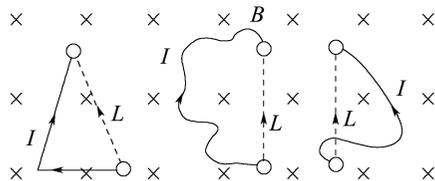
答案: (1) 0.16 N (2) 2.5 A

任务总结

1. 对安培力 $F = ILB \sin \theta$ 的理解

(1) B 对放入的通电导线来说是外磁场的磁感应强度,分析时不必考虑通电导线自身产生的磁感应强度的影响。

(2) L 是有效长度,匀强磁场中弯曲导线的有效长度 L ,等于连接两端点直线的长度(如图),相应的电流沿有效长度 L 由始端流向末端。



2. $F = ILB \sin \theta$ 的适用条件

导线所处的磁场应为匀强磁场;在非匀强磁场中,公式仅适用于很短的通电导线。

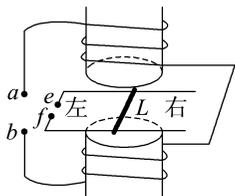
3. 电流在磁场中的受力特点

- (1) 电荷在电场中一定会受到电场力作用,但是电流在磁场中不一定受到安培力作用。当电流方向与磁场方向平行时,电流不受安培力作用。
 (2) 当电流同时受到几个安培力时,电流所受的安培力为这几个安培力的矢量和。

任务三 安培力作用下导体的运动分析

[探究活动]

图中装置可演示磁场对通电导线的作用。在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。



(1) 如果 a 、 e 接正极， b 、 f 接负极，则 L 向哪个方向滑动？

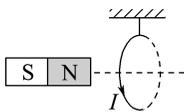
(2) 若 a 、 f 接负极， b 、 e 接正极，则 L 向哪个方向滑动？

提示：(1) 若 a 接正极， b 接负极，由安培定则(右手螺旋定则)知电磁铁上下两磁极间磁场方向向上；若 e 接正极， f 接负极，由左手定则知 L 受到的安培力向左， L 向左滑动。

(2) 若 a 接负极， b 接正极，磁场方向向下；若 e 接正极， f 接负极， L 所受的安培力向右， L 向右滑动。

[评价活动]

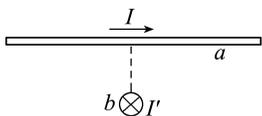
1. 如图所示，把轻质导电线圈用绝缘细线悬挂在磁体 N 极附近，磁体的轴线穿过线圈的圆心且垂直于线圈平面，线圈内通入如图方向的电流后，线圈



- A. 向左运动
- B. 向右运动
- C. 静止不动
- D. 无法确定

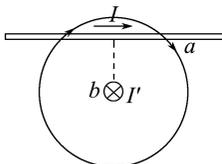
A 解析：把通电线圈等效成条形磁体。由安培定则可知，线圈等效成条形磁体后，左端是 S 极，右端是 N 极，异名磁极相互吸引，线圈向左运动。

2. 如图所示，两根固定的通电长直导线 a 、 b 相互垂直， a 平行于纸面，电流方向向右， b 垂直于纸面，电流方向向里，则导线 a 所受安培力方向是 ()

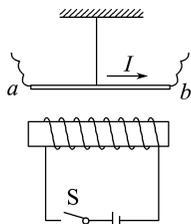


- A. 平行于纸面向上
- B. 平行于纸面向下
- C. 左半部分垂直纸面向外，右半部分垂直纸面向里
- D. 左半部分垂直纸面向里，右半部分垂直纸面向外

C 解析：根据安培定则，可判断出导线 a 左侧部分的空间磁场方向斜向右上方，右侧部分的磁场方向斜向右下方，根据左手定则可判断出导线 a 左半部分所受安培力垂直纸面向外，右半部分所受安培力垂直纸面向里。故选 C。

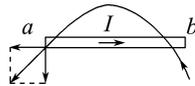


3. 如图所示，把一根通电的硬直导线 ab ，用轻绳悬挂在通电螺线管正上方，直导线中的电流方向由 a 向 b 。闭合开关 S 瞬间，导线 a 端所受安培力的方向是 ()

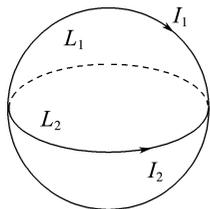


- A. 向上
- B. 向下
- C. 垂直纸面向外
- D. 垂直纸面向里

D 解析：闭合开关 S 瞬间，由右手定则知螺线管右端为 N 极，左端为 S 极，螺线管产生的磁场方向在通电导线 a 端指向左下方，由左手定则可知，导线 a 端所受安培力的方向垂直纸面向里，D 正确。



4. 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。当两线圈通以如图所示的电流时，从左向右看，则线圈 L_1 将 ()



- A. 不动
- B. 顺时针转动
- C. 逆时针转动
- D. 向纸面内平动

B 解析：方法一：直线电流元分析法
把线圈 L_1 沿转动轴分成上下两部分，每一部分又可以看成无数直线电流元，电流元处在 L_2 产生的磁场中，据安培定则可知各电流元所在处磁场均向上。由左手定则可得，上部电流元所受安培力均指向纸外，下部电流元所受安培力均指向纸内，因此从左向右看线圈 L_1 将顺时针转动。

方法二：等效分析法
把线圈 L_1 等效为小磁针，该小磁针刚好处于环形电流 I_2 的中心，通电后，小磁针的 N 极应指向该点环形电流 I_2 的磁场方向，由安培定则知 L_2 产生的磁场方向在其中心竖直向上，而 L_1 等效成小磁针

后,在转动之前,N极指向纸内,因此应由向纸内转为向上,所以从左向右看,线圈 L_1 将顺时针转动。

方法三:利用结论法

环形电流 I_1 、 I_2 之间不平行,则必有相对转动,直到两环形电流同向平行为止,据此可得从左向右看,线圈 L_1 将顺时针转动。

任务总结

1. 判断安培力作用下通电导体(或通电线圈)的运动方向的思路

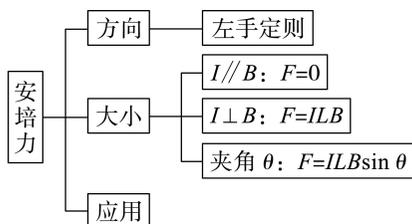
- (1) 首先应画出通电导体(或通电线圈)所在位置的磁感线方向。
- (2) 根据左手定则确定通电导体(或通电线圈)所受安培力的方向。
- (3) 由通电导体(或通电线圈)的受力情况判断通电导体(或通电线圈)的运动方向。

2. 分析导体在磁场中运动的常用方法

电流元法	把整段导线分为多段电流元,先用左手定则判断每段电流元所受安培力的方向,然后判断整段导线所受安培力的方向,从而确定导线运动方向
等效法	环形电流可等效成小磁针,通电螺线管可以等效成条形磁体或多个环形电流(反过来等效也成立),然后根据磁体间或电流间的作用规律判断

特殊位置法	通过转动通电导线到某个便于分析的特殊位置,判断其所受安培力的方向,从而确定其运动方向
结论法	两平行直线电流在相互作用过程中,无转动趋势,同向电流互相吸引,反向电流互相排斥;不平行的两直线电流相互作用时,有转到平行且电流方向相同的趋势
转换研究对象法	定性分析磁体在电流磁场作用下如何运动的问题,可先分析电流在磁体磁场中所受的安培力,然后由牛顿第三定律,确定磁体所受电流磁场的反作用力,从而确定磁体所受合力及其运动方向

► 提质归纳

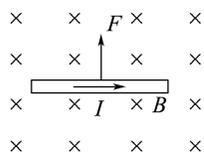


课后素养评价(一) 安培力

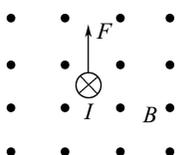
基础性·能力运用

知识点 1 安培力的方向

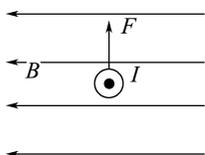
1. 下图中分别标明了通电直导线中电流 I 、匀强磁场的磁感应强度 B 和电流所受安培力 F 的方向,其中正确的是 (A)



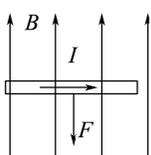
A



B



C



D

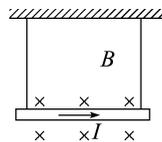
知识点 2 安培力的大小

2. (多选) 一根长为 0.2 m、电流为 2 A 的通电导线,放

在磁感应强度大小为 0.5 T 的匀强磁场中,受到的安培力大小可能是 (BCD)

- A. 0.4 N B. 0.2 N
C. 0.1 N D. 0

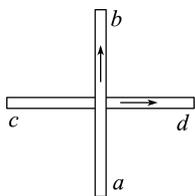
3. (多选) 一根通有电流 I 的直铜棒用悬线挂在如图所示的匀强磁场中,此时悬线中的拉力大于零而小于铜棒的重力。欲使悬线中拉力为零,可采用的方法有 (AC)



- A. 适当增大电流,方向不变
B. 适当减小电流,并使它反向
C. 电流大小、方向不变,适当增强磁场
D. 使原电流反向,并适当减弱磁场

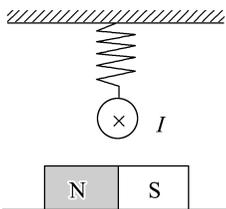
知识点 3 安培力作用下导体的运动问题

4. 如图所示, 两根互相绝缘、垂直放置的直导线 ab 和 cd , 分别通有方向如图所示的电流。若通电导线 cd 固定不动, 导线 ab 能自由运动, 则它的运动情况是



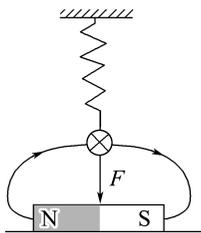
- (A)
- A. 顺时针转动, 同时靠近导线 cd
- B. 顺时针转动, 同时远离导线 cd
- C. 逆时针转动, 同时靠近导线 cd
- D. 逆时针转动, 同时远离导线 cd

5. 如图所示, 水平桌面上放置一根条形磁体, 磁体中央正上方用绝缘弹簧悬挂一水平直导线, 并与磁体垂直。当直导线中通入图中所示方向的电流时, 可以判断出



- A. 弹簧的拉力增大, 条形磁体对桌面的压力减小
- B. 弹簧的拉力减小, 条形磁体对桌面的压力减小
- C. 弹簧的拉力增大, 条形磁体对桌面的压力增大
- D. 弹簧的拉力减小, 条形磁体对桌面的压力增大

A 解析: 如图所示, 画出直导线附近的条形磁体的磁感线, 由左手定则可知, 直导线受向下的安培力, 由于力的作用是相互的, 因此条形磁体受向上的作用力, 故 A 正确。



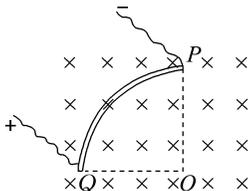
综合性 · 创新提升

6. 把一小段通电直导线放入磁场中, 导线受到安培力的作用, 关于安培力的方向。下列说法中正确的是

- ()
- A. 安培力的方向一定跟磁场的方向相同
- B. 安培力的方向一定跟磁场的方向垂直, 但不一定跟电流方向垂直
- C. 安培力的方向一定跟电流方向垂直, 但不一定跟磁场方向垂直
- D. 安培力的方向既跟磁场方向垂直, 又跟电流方向垂直

D 解析: 由左手定则知安培力的方向既垂直于磁场又垂直于电流, 即安培力垂直于磁场和电流决定的平面, B 与 I 不一定垂直。

7. 如图所示, 半径为 a 的 $\frac{1}{4}$ 圆形金属导线 PQ 处于匀强磁场中, O 是其圆心, 匀强磁场的磁感应强度为 B , 方向与平面 OPQ 垂直。当在导线中通以大小为 I 的恒定电流时, 该导线受到的安培力的大小和方向分别是

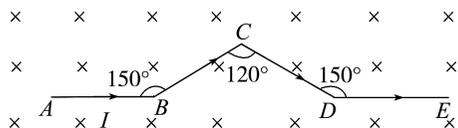


- A. Bla , 与直线 OQ 垂直

- B. Bla , 与直线 OP 垂直
- C. $\sqrt{2}Bla$, 与直线 PQ 垂直
- D. $\frac{\pi Bla}{2}$, 与直线 PQ 垂直

C 解析: 半径为 a 的 $\frac{1}{4}$ 圆形金属导线 PQ 在磁场中的有效长度 $L = \sqrt{2}a$, 则导线受到的安培力大小为 $F = BIL = \sqrt{2}Bla$ 。根据左手定则可知安培力的方向与直线 PQ 垂直。故 A、B、D 错误, C 正确。

8. 如图所示, 一根导线位于磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场中, 其中 $AB = BC = CD = DE = l$, 且 $\angle C = 120^\circ$ 、 $\angle B = \angle D = 150^\circ$ 。现给这根导线通入由 A 至 E 的恒定电流 I , 则导线受到磁场作用的合力大小为

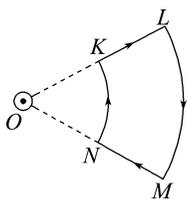


- ()
- A. $2\sqrt{3}BIl$
- B. $\left(2 + \frac{\sqrt{3}}{2}\right)BIl$
- C. $(2 + \sqrt{3})BIl$
- D. $4BIl$

C 解析: 据题图和几何关系求得 A、E 两点间的距离为 $L_{\text{等}} = (2 + \sqrt{3})l$ 。据安培力公式得 $F = BIL_{\text{等}} = (2 + \sqrt{3})BIl$, 故 A、B、D 错误, C 正确。

9. 如图所示, O 为圆心, KN 、 LM 是半径分别为 R_1 、

R_2 的同心圆弧,在 O 处垂直纸面有一通电直导线,电流方向垂直纸面向外,用一根导线围成如图 $KLMN$ 所示的回路,当回路中沿图示方向通过电流时(电源未在图中画出),回路 ()

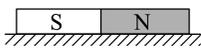


- A. 将向左平动
B. 将向右平动
C. 将在纸面内绕通过 O 点并垂直纸面的轴转动
D. KL 边受到垂直纸面向外的力, MN 边受到垂直纸面向里的力

D 解析: 因为通电直导线的磁感线是以 O 为圆心的一组同心圆,磁感线与圆弧 KN 、圆弧 LM 平行,所以圆弧 KN 、圆弧 LM 均不受力。根据左手定则可得, KL 边受到垂直纸面向外的力, MN 边受到垂直纸面向里的力,故 D 正确。

10. (多选) 如图所示, 一条形磁体放 $\otimes I$

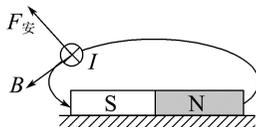
在水平桌面上, 在其左上方固定



一根与磁体垂直的长直导线。当导线通以垂直纸面向里方向的电流时, 下列判断正确的是 ()

- A. 磁体对桌面的压力增大, 且受到向左的摩擦力作用
B. 磁体对桌面的压力减小, 且受到向右的摩擦力作用
C. 若将导线移至磁体中点的正上方, 电流反向, 则磁体对桌面的压力会减小
D. 若将导线移至磁体中点的正上方, 电流反向, 则磁体对桌面的压力会增大

AC 解析: 根据条形磁体磁感线分布情况得到直线电流所在位置磁场方向, 再根据左手定则判断安培力方向, 如图所示, 根据牛顿第三定律知, 电流对磁体的作用力指向右下方, 再结合平衡条件, 可知通电后磁体对桌面的压力变大, 静摩擦力方向向左, A 正确, B 错误; 若将导线移至磁体中点的正上方, 电流反向, 导线受到的安培力竖直向下, 水平方向无作用力, 根据牛顿第三定律可知, 磁体受到向上的力, 其对桌面的压力减小, C 正确, D 错误。



2 安培力的应用

学习任务目标

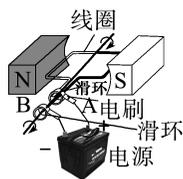
1. 知道直流电动机、电磁炮、磁电式电流表的基本构造及工作原理。(科学思维)
2. 会分析导体在安培力作用下的运动和平衡问题。(科学思维)
3. 在了解直流电动机、电磁炮、磁电式电流表的原理的过程中, 培养学科学、爱科学的科学态度。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点 安培力的应用

1. 直流电动机

(1) 构造: 如图所示是一个直流电动机的工作模型, 由磁场(磁体)、转动线圈、滑环(两个半圆环 A 和 B)、电刷及电源组成。



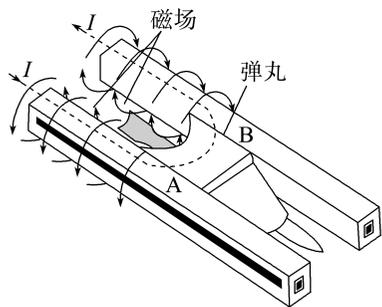
(2) 原理: 当电流由半圆环 A 流入时, 则从 B 流出; 当电流由 B 流入时, 则从 A 流出。因此, 滑环在其中起了一个换向器的作用。当线圈通电后, 由于受到安培力的作用, 线圈在磁场中旋转起来。

(3) 电动机分类: ① 直流电动机。② 交流电动机; 交流电动机应用: 电风扇、洗衣机、抽油烟机、吸尘器等。

2. 电磁炮

(1) 原理: 如图所示, 当两导轨接入电源时, 强大的

电流 I 从导轨 A 流入,经弹丸从另一导轨 B 流回,两导轨中的强电流在两导轨间产生强磁场,磁场方向竖直向上。利用左手定则可以判定,弹丸受到的安培力方向水平向右,它将在导轨上以很大的加速度做加速运动,最终高速发射出去。



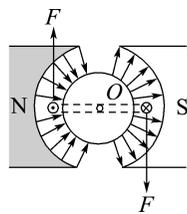
电磁轨道炮的原理示意

(2)优点:发射稳定性好,初速度大,射程远,并且具有很高的射击精度。

3.磁电式电流表

(1)装置:磁电式电流表是在蹄形永磁体的两极间有一个固定的圆柱形软铁芯,铁芯外面套有一个可以转动的铝框,在铝框上绕有线圈。铝框的转轴上装有两个游丝(即螺旋弹簧)和一个指针。线圈的两端分别接在这两个螺旋弹簧上,被测电流经过这

两个弹簧流入线圈。



(2)原理:如图所示,当电流通过线圈时,磁场对线圈产生安培力,使线圈偏转。线圈偏转时,游丝发生形变,产生的弹力阻止线圈继续偏转。当弹力与安培力的作用使线圈达到平衡时,指针所指的位置就反映出待测电流的大小。

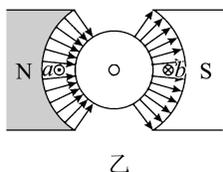
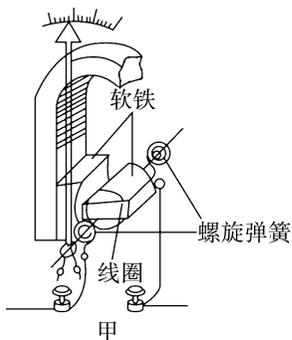
[判一判]

- 1.当电动机线圈与磁场垂直时,磁通量最大。 (√)
- 2.直流电动机通过改变输入电压很容易调节转速,交流电动机不容易调速。 (√)
- 3.电磁炮是将电能转化为机械能的装置。 (√)
- 4.磁电式电流表内的磁场是匀强磁场。 (×)
- 5.磁电式电流表表盘的刻度是均匀的。 (√)
- 6.磁电式电流表指针的偏转是由于线圈受安培力的作用。 (√)

任务型课堂

任务一 安培力在各种电器中的应用

1.(多选)实验室经常使用的电流表是磁电式电流表。这种电流表的构造如图甲所示。蹄形磁体和铁芯间的磁场均匀辐向分布。当线圈通以如图乙所示的稳恒电流(b 端电流流向垂直纸面向内),下列说法正确的是 (BD)



- A. 当线圈在如图乙所示的位置时, b 端受到的安培力方向向上
- B. 线圈转动时,螺旋弹簧被扭动,阻碍线圈转动
- C. 线圈通过的电流越大,指针偏转角度越小
- D. 该电流表表盘刻度均匀

2.如图甲所示为“海影号”电磁推进实验舰艇,舰艇下部的大洞使海水前后贯通。舰艇沿海平面的截面

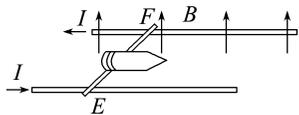
图如图乙所示,其与海水接触的两侧壁 M 和 N 分别连接舰艇内电源的正极和负极,使得 M 、 N 间海水内电流方向为 $M \rightarrow N$,此时加一定方向的磁场,可使得 M 、 N 间海水受到磁场力作用而被推出,舰艇因此向右前进,则所加磁场的方向应为 ()



- A. 水平向左
 - B. 水平向右
 - C. 垂直纸面向外
 - D. 垂直纸面向里
- C 解析:根据题意可知,舰艇向右前进,则海水受到向左的安培力,由左手定则可知,所加磁场的方向应为垂直纸面向外。故选 C。

3.我国电磁炮发射技术世界领先,现役坦克电磁炮的速度可达 $1\ 800\ \text{m/s}$,射程可达 $250\ \text{km}$ 。图为一款小型电磁炮的原理图,已知水平轨道宽 $d=2\ \text{m}$,长 $l=100\ \text{m}$,通以恒定电流 $I=1 \times 10^4\ \text{A}$,轨道间匀强磁场的磁感应强度大小 $B=10\ \text{T}$,炮弹的质量 $m=10\ \text{kg}$,不计电磁感应带来的影响。

(1)若不计轨道摩擦和空气阻力,求炮弹离开轨道时的速度大小。



(2)实际上炮弹在轨道上运动时会受到空气阻力和摩擦阻力,若其受到的阻力与速度的关系为 $f = kv^2$,其中阻力系数 $k = 0.8 \text{ N} \cdot \text{s}^2/\text{m}^2$,炮弹离开轨道前做匀速运动,求炮弹离开轨道时的速度大小。

解析:(1)炮弹受到的合力等于安培力,则有 $F = BId$

由牛顿第二定律和运动学公式可知 $a = \frac{F}{m}, v^2 = 2al$

代入相关数据解得 $v = 2\,000 \text{ m/s}$ 。

(2)炮弹离开轨道时已做匀速运动,则有

$$F = f = kv'^2, v' = \sqrt{\frac{F}{k}}$$

代入相关已知数据解得 $v' = 500 \text{ m/s}$ 。

答案:(1)2 000 m/s (2)500 m/s

任务总结

1. 直流电动机的工作原理

直流电动机是利用线圈在磁场中受力转动的原理制成的。它把电能转化为机械能。给矩形线圈通电后,线圈便在磁力矩作用下绕轴转动。

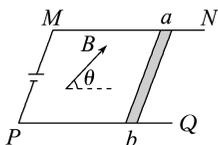
2. 磁电式电流表的工作原理

通电线圈在磁场中受到安培力作用而发生偏转。线圈偏转的角度越大,被测电流就越大;线圈偏转的方向不同,被测电流的方向不同。

任务二 安培力作用下导体的运动问题

[探究活动]

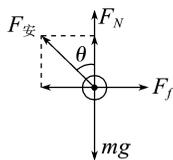
水平面上有一电阻不计的 U 形导轨 $NMPQ$,它们之间的宽度为 L , M 和 P 之间接入电动势为 E 的电源(不计内阻)。现垂直于导轨放置一根质量为 m 、电阻为 R 的金属棒 ab ,并加一个范围较大的匀强磁场,磁感应强度大小为 B ,方向与水平面夹角为 θ 且指向右上方,如图所示,取重力加速度为 g 。



(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?

提示:(1)从 b 向 a 看,对金属棒受力分析如图所示:



$$\text{水平方向: } F_f = F_{\text{安}} \sin \theta \quad \text{①}$$

$$\text{竖直方向: } F_N + F_{\text{安}} \cos \theta = mg \quad \text{②}$$

$$\text{又 } F_{\text{安}} = BIL = B \frac{E}{R} L \quad \text{③}$$

$$\text{联立①②③式解得 } F_N = mg - \frac{BLE \cos \theta}{R},$$

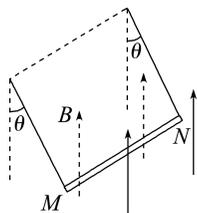
$$F_f = \frac{BLE \sin \theta}{R}.$$

(2)要使 ab 棒所受支持力为零,且让磁感应强度最小,可知安培力竖直向上,且 $F_{\text{安}}' = mg, B_{\min} = \frac{mgR}{EL}$,

根据左手定则可知此时磁场方向水平向右。

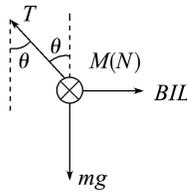
[评价活动]

1.如图所示,金属棒 MN 两端由等长的轻质细线水平悬挂,处于竖直向上的匀强磁场中,棒中通以由 M 向 N 的电流,平衡时两悬线与竖直方向夹角均为 θ 。如果仅改变下列某一个条件, θ 角的相应变化情况是 ()

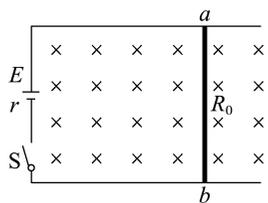


- A. 棒中的电流变大, θ 角变大
- B. 两悬线缩短相同长度, θ 角变小
- C. 金属棒质量变大, θ 角变大
- D. 磁感应强度变大, θ 角变小

A 解析:作出侧视图,并对金属棒进行受力分析,如图所示,据图可得 $\tan \theta = \frac{BIL}{mg}$,若棒中的电流 I 变大,则 θ 变大,选项 A 正确;若两悬线缩短相同长度, θ 不变,选项 B 错误;若金属棒的质量 m 变大,则 θ 变小,选项 C 错误;若磁感应强度 B 变大,则 θ 变大,选项 D 错误。



2.如图所示,在垂直于纸面向里、磁感应强度大小为 $B = 3 \text{ T}$ 的匀强磁场中水平放置两根平行金属导轨,两轨间距为 $l = 50 \text{ cm}$,左端接有电动势 $E = 2 \text{ V}$ 、内阻 $r = 0.5 \Omega$ 的电源。现将一质量 $m = 1 \text{ kg}$ 、电阻 $R_0 = 1.5 \Omega$ 的金属棒 ab 垂直放置在导轨上,金属棒与平行金属导轨间的动摩擦因数为 $\mu = 0.1$,其余电阻不计。重力加速度取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。开关闭合的瞬间,求:



(1) 金属棒 ab 的电功率;

(2) 金属棒 ab 的加速度。

解析: (1) 根据闭合电路欧姆定律得 $I = \frac{E}{R_0 + r} =$

1 A

金属棒两端的电压为 $U = IR_0 = 1.5$ V

则金属棒 ab 的电功率为 $P = UI = 1.5$ W。

(2) 根据安培力公式得 $F = BIl = 1.5$ N

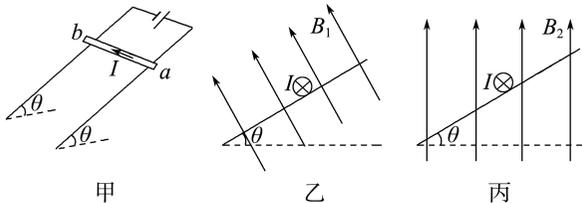
而摩擦力为 $f = \mu N = \mu mg = 1$ N

水平方向, 根据牛顿第二定律得 $F - f = ma$

所以 $a = 0.5$ m/s², 方向水平向右。

答案: (1) 1.5 W (2) 0.5 m/s², 水平向右

3. 如图甲所示, 两光滑平行金属导轨间的距离为 l , 金属导轨所在的平面与水平面夹角为 θ , 导体棒 ab 与导轨垂直并接触良好, 其质量为 m , 长度为 l , 通过的电流为 I , 重力加速度为 g 。

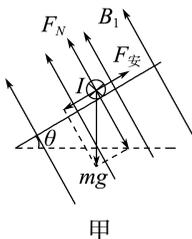


(1) 沿导体棒 ab 中电流方向观察, 侧视图如图乙所示, 为使导体棒 ab 保持静止, 需加一匀强磁场, 若磁场方向垂直于导轨平面向上, 求磁感应强度 B_1 的大小。

(2) 若(1)中磁场方向改为竖直向上, 如图丙所示, 求磁感应强度 B_2 的大小。

(3) 若只改变磁场, 且磁场的方向始终在与导体棒 ab 垂直的平面内, 欲使导体棒 ab 保持静止, 试作出磁场方向变化的最大范围图示。

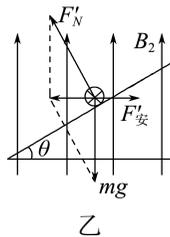
解析: (1) 对导体棒 ab 受力分析如图甲所示:



因导体棒静止, 有 $mg \sin \theta - I l B_1 = 0$

$$\text{解得 } B_1 = \frac{mg \sin \theta}{Il}.$$

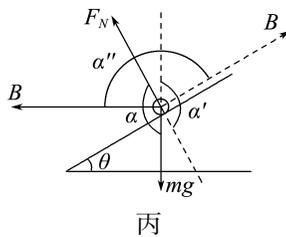
(2) 对导体棒 ab 受力分析如图乙所示:



因导体棒静止, 有 $mg \tan \theta - I l B_2 = 0$

$$\text{解得 } B_2 = \frac{mg \tan \theta}{Il}.$$

(3) 为使导体棒保持静止状态, 需 $F_{\text{合}} = 0$, 即三力平衡, 安培力与另外两个力的合力等大反向, 如图丙所示, 因为重力与斜面支持力的合力范围在 α 角范围内 (不包括垂直于斜面方向), 故安培力在 α' 角范围内 (不包括垂直于斜面方向), 根据左手定则, 磁场方向可以在 α'' 角范围内变动 (不包括沿斜面向上方向)。



答案: (1) $\frac{mg \sin \theta}{Il}$ (2) $\frac{mg \tan \theta}{Il}$ (3) 见解析

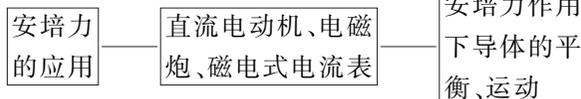
任务总结

安培力作用下导体运动的一般分析思路

(1) 解决在安培力作用下导体的运动问题, 首先对研究对象进行受力分析, 其中重要的是选定观察角度, 把立体图转化为平面图, 标出电流方向和磁场方向, 然后利用左手定则判断安培力的方向。

(2) 根据平衡条件或者牛顿第二定律、动能定理等规律列方程求解。

► 提质归纳



课后素养评价(二) 安培力的应用

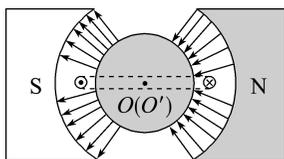
基础性·能力运用

知识点1 安培力在电器中的应用

1.(多选)几位同学课后讨论直流电动机时,有下面几种说法,你认为正确的是 (ACD)

- A. 直流电动机将电能转化为机械能
- B. 直流电动机的电源是直流电,线圈中的电流方向是不变的
- C. 直流电动机中的换向器是由彼此绝缘的两个金属半圆环制成的
- D. 直流电动机的优点是容易改变转动方向,可以连续调节转动速度

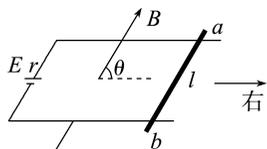
2.如图所示是磁电式电流表中的辐向磁场。假设长方形线圈的匝数为 n ,垂直于纸面的边长为 L_1 ,平行于纸面的边长为 L_2 ,线圈垂直于纸面的边所在处磁场的磁感应强度大小为 B 。当通入电流 I ,线圈以角速度 ω 绕垂直纸面的中心轴 OO' 转动到水平位置时,下列判断正确的是 (C)



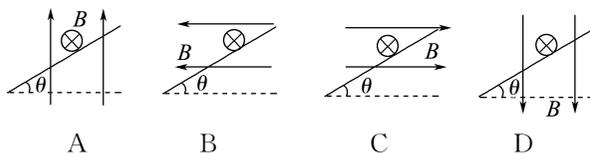
- A. 穿过线圈的磁通量为 BL_1L_2
- B. 线圈左侧边所受的安培力方向竖直向上
- C. 线圈左侧边所受的安培力大小为 $nBIL_1$
- D. 线圈左侧边转动的线速度 $v = \frac{\omega L_1}{2}$

知识点2 安培力作用下导体的运动

3.如图所示,水平面内有相距为 $l=0.4\text{ m}$ 的两平行固定金属导轨,导轨左端接有电动势 $E=3\text{ V}$ 、内阻 $r=1\ \Omega$ 的电源,金属棒 ab 跨接在金属导轨上,与两金属导轨垂直并与导轨接触良好,棒 ab 接入电路部分的电阻 $R=1\ \Omega$,金属导轨电阻不计。整个装置处于磁感应强度大小 $B=1\text{ T}$ 的匀强磁场中,磁场方向与棒 ab 垂直且与水平面成 $\theta=60^\circ$ 角斜向右上方,棒 ab 始终静止于导轨上。下列说法正确的是 (C)

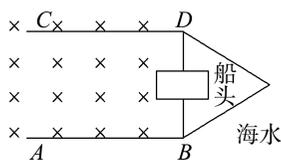


- A. 棒 ab 所受摩擦力水平向左
 - B. 通过棒 ab 的电流为 3 A
 - C. 棒 ab 所受安培力大小为 0.6 N
 - D. 棒 ab 所受摩擦力大小为 0.3 N
- 4.(多选)质量为 m 的金属细杆置于倾角为 θ 的导轨上,导轨的宽度为 d ,杆与导轨间的动摩擦因数为 μ 。若有电流通过细杆,杆恰好静止于导轨上。在如图所示的四个选项中,杆与导轨的摩擦力一定不为零的是 (CD)



综合性·创新提升

5.超导电磁船是一种不需要螺旋桨推进的低噪声新型船,如图所示是电磁船的简化原理图, AB 和 CD 是与电源相连的导体板, AB 与 CD 之间部分区域浸没在海水中并有垂直纸面向里的匀强磁场(磁场由固定在船上的超导线圈产生,其独立电路部分未画出)。下列说法正确的是 ()



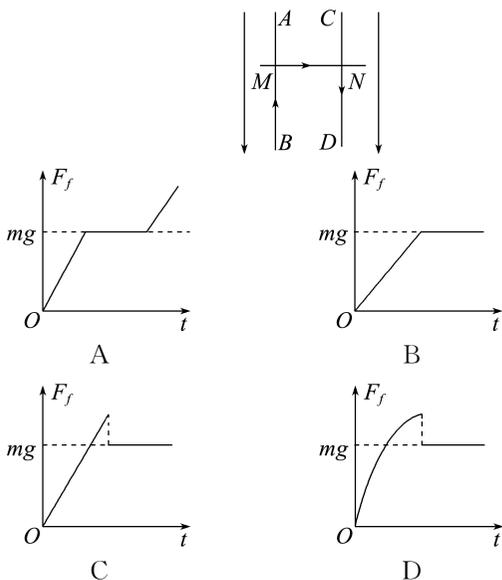
- A. 使船前进的力,是磁场对海水的安培力

- B. 要使船前进,海水中的电流方向从 CD 板流向 AB 板
- C. 同时改变磁场的方向和电源正负极,推进力方向将与原方向相反
- D. 船所获得的推力,与通过海水的电流大小和超导线圈产生的磁感应强度有关

D 解析:使船前进的力,是海水对超导线圈的作用力,A 错误;若海水的电流方向从 AB 板流向 CD 板,根据左手定则,海水所受的安培力向前,根据牛顿第三定律,海水对船的磁场力向后,使船后退,故 B 错误;同时改变超导线圈中电流的方向和电源正

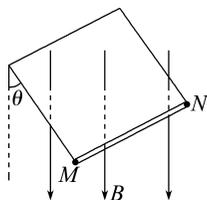
负极,海水对超导线圈的磁场力方向不变,C错误;根据 $F=BIL$,船所获得的推力,与通过海水的电流大小和超导线圈产生的磁感应强度有关,D正确。

6. 如图所示,在竖直向下的匀强磁场中,有两根竖直放置的平行导轨 AB 、 CD ,导轨外面紧贴导轨放有质量为 m 的金属棒 MN ,棒与导轨间的动摩擦因数为 μ ,重力加速度为 g 。现从 $t=0$ 时刻起,给棒通以图示方向的电流,且电流大小与时间成正比,即 $I=kt$,其中 k 为正恒量。若金属棒与导轨始终垂直,则下列表示棒所受的摩擦力 F_f 随时间 t 变化的四幅图中,正确的是 ()



C 解析:当 $F_f = \mu BIL = \mu BLkt < mg$ 时,棒沿导轨向下加速; $F_f = \mu BLkt > mg$ 时,棒沿导轨向下减速;在棒停止运动前,棒所受摩擦力为滑动摩擦力,大小为 $F_f = \mu BLkt$;当棒停止运动时,摩擦力立即变为静摩擦力,大小为 $F_f = mg$,故选 C。

7. 在竖直向下、磁感强度为 B 的匀强磁场中,有一质量为 m 、长度为 L 的金属棒 MN ,两端由等长的轻质细线竖直悬挂。若棒中通以恒定电流,金属棒从静止开始向上摆动,摆动过程中始终保持水平,最高摆到 $\theta=45^\circ$ 的位置,如图所示。不计空气阻力,则金属棒从静止开始摆到最高位置的过程,下列说法正确的是 ()



- A. 金属棒 MN 中电流的方向为从 M 流向 N
 B. 细线的拉力先增大后减小

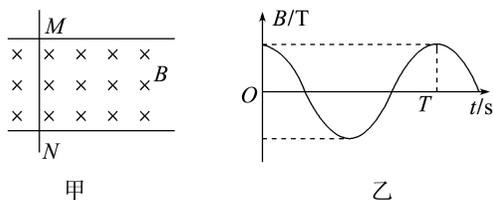
C. 金属棒 MN 中的恒定电流 $I = \frac{mg}{BL}$

D. 安培力对金属棒 MN 所做的功为 $\frac{\sqrt{2}}{2}mgL$

B 解析:根据左手定则,金属棒 MN 中电流的方向为从 N 流向 M ,A 错误;金属棒从静止开始摆到最高位置的过程,速度先增大后减小,而细线拉力及重力在细线方向上的合力提供向心力,所以速度越大时,细线拉力越大。即细线的拉力先增大后减小,B 正确;根据动能定理得 $mgL(1 - \cos \theta) - BIL \sin \theta = 0$,解得 $I = \frac{(\sqrt{2}-1)mg}{BL}$, $W =$

$(1 - \frac{\sqrt{2}}{2})mgL$,C、D 错误。

8. (多选) 如图甲所示,通电直导线 MN 垂直平放在两条相互平行的水平光滑长导轨上,电流方向由 M 指向 N ,在两轨间存在着竖直磁场,取垂直纸面向里的方向为磁感应强度的正方向,当 $t=0$ 时导线恰好静止。若磁感应强度 B 按如图乙所示的规律变化,导线在运动过程中电流保持恒定,则下列说法正确的是 ()

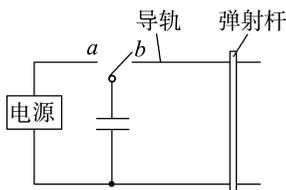


- A. 在最初的一个周期内,导线在导轨上往复运动
 B. 在最初的一个周期内,导线一直向右运动
 C. 在最初的半个周期内,导线的加速度先增大后减小
 D. 在最初的半个周期内,导线的速度先增大后减小

AD 解析:在第 1 个 $\frac{1}{4}T$ 内,由左手定则可判断出导线受到的安培力向右,导线向右做加速运动,因磁感应强度 B 减小,由 $F=BIL$ 知安培力减小,导线的加速度减小,由于导线仍做加速运动,速度增大,在 $\frac{1}{4}T$ 时刻,导线的速度最大;在第 2 个 $\frac{1}{4}T$ 内,因 B 反向,由左手定则可判断出导线受到的安培力向左,导线向右做减速运动,因磁感应强度 B 增大,由 $F=BIL$ 知安培力增大,导线的加速度增大,导线做加速度增大的减速运动,速度减小,在 $\frac{1}{2}T$ 时刻,导线的速度减小到零;在第 3 个 $\frac{1}{4}T$ 内,由左手定则可判断出导线受到的安培力向左,导线向左做加速运动,因磁感应强度 B 减小,由 $F =$

BIL 知安培力减小,导线的加速度减小,但导线仍做加速运动,速度增大,在 $\frac{3}{4}T$ 时刻,导线的速度最大;在第 4 个 $\frac{1}{4}T$ 内,因 B 反向,由左手定则可判断出导线受到的安培力向右,导线向左做减速运动,因磁感应强度 B 增大,由 $F=BIL$ 知安培力增大,导线的加速度增大,导线做加速度增大的减速运动,速度减小,在 T 时刻,导线的速度减小到零,导线回到初始位置。故 B、C 错误, A、D 正确。

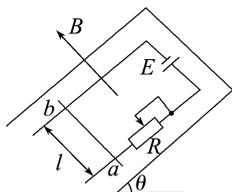
9. (多选) 如图所示为某种电磁弹射系统的简化示意图,金属弹射杆横架在两根水平放置且足够长的平行金属导轨上,使用时先把开关拨到 a 侧给储能电容器充电,然后把开关拨到 b 侧让电容器放电。回路瞬间产生巨大电流,从而产生超强磁场,弹射杆在安培力的作用下被快速弹出。若忽略空气阻力,下列说法正确的是 ()



- A. 要使图中弹射杆向右弹出,则电源必须上正下负
 B. 要使图中弹射杆向右弹出,对电源正负极的连接没要求
 C. 弹射杆将沿轨道做变加速运动
 D. 若导轨摩擦不计,电容器储存的电能全部转化为弹射杆的机械能

BC 解析:当电源上正下负时,可知充电后电容器上极板带正电,下极板带负电,则电容器放电时,回路电流为顺时针方向,产生垂直纸面向里的磁场,根据左手定则可知,弹射杆受到向右的安培力,使弹射杆向右弹出;当电源上负下正时,可知充电后电容器下极板带正电,上极板带负电,则电容器放电时,回路电流为逆时针方向,产生垂直纸面向外的磁场,根据左手定则可知,弹射杆受到向右的安培力,使弹射杆向右弹出,故要使题图中弹射杆向右弹射,对电源正负极的连接没要求,故 A 错误, B 正确;电容器放电过程,回路电流逐渐减小,弹射杆受到的安培力逐渐减小,弹射杆将沿轨道做变加速运动,故 C 正确;若导轨摩擦不计,电容器储存的电能不能全部转化为弹射杆的机械能,故 D 错误。

10. 如图所示,在倾角 $\theta=30^\circ$ 的斜面上,固定一金属框,其宽 $l=0.25\text{ m}$,接入电动势 $E=6\text{ V}$ 、内阻不计的电池。垂直框面放置一根质量 $m=0.2\text{ kg}$ 的金属棒 ab ,它与框架间的动摩擦因数 $\mu=\frac{\sqrt{3}}{6}$,整个装置放在磁感应强度 $B=0.8\text{ T}$ 、垂直框面向上的匀强磁场中。框架与金属棒的电阻不计,取 $g=10\text{ m/s}^2$ 。



- (1) 调节滑动变阻器 R 的阻值为 $3\ \Omega$,求此时的摩擦力的大小和方向。
 (2) 当调节滑动变阻器 R 的阻值在什么范围内时,可使金属棒静止在框架上。

解析:(1) 根据欧姆定律知流过 ab 的电流

$$I = \frac{E}{R} = \frac{6}{3}\text{ A} = 2\text{ A}$$

ab 棒所受安培力

$$F_{\text{安}} = BIL = 0.8 \times 2 \times 0.25\text{ N} = 0.4\text{ N}$$

由左手定则知,安培力沿金属框面向上, ab 棒的最大静摩擦力为

$$f_{\text{max}} = \mu mg \cos \theta = 0.5\text{ N}$$

由于

$$mg \sin \theta - F_{\text{安}} = 0.6\text{ N} > 0.5\text{ N}$$

所以 ab 棒所受摩擦力为滑动摩擦力,大小为 0.5 N ,沿金属框面向上。

(2) 当滑动变阻器 R 取值较大时,电流 I 较小,安培力 F 较小,金属棒在重力的分力作用下有沿金属框面下滑的趋势,金属棒所受静摩擦力沿金属框面向上,金属棒刚好不下滑时,满足平衡条件有

$$B \frac{E}{R_{\text{max}}} l + \mu mg \cos \theta = mg \sin \theta$$

代入数据解得

$$R_{\text{max}} = 2.4\ \Omega$$

当安培力较大,静摩擦力沿斜面向下时

$$B \frac{E}{R_{\text{min}}} l = \mu mg \cos \theta + mg \sin \theta$$

解得 $R_{\text{min}} = 0.8\ \Omega$

所以变阻器 R 的阻值范围为 $0.8\ \Omega \leq R \leq 2.4\ \Omega$ 。

答案:(1) $0.5\ \Omega$,沿金属框面向上

(2) $0.8\ \Omega \leq R \leq 2.4\ \Omega$

3 洛伦兹力

学习任务目标

1. 通过实验,探究磁场对运动电荷的作用力。(科学探究)
2. 知道什么是洛伦兹力,会判断洛伦兹力的方向。(物理观念)
3. 知道洛伦兹力与安培力之间的关系,能从安培力的计算公式推导出洛伦兹力的计算公式。(科学思维)
4. 能用洛伦兹力分析带电粒子在匀强磁场中的圆周运动。(科学态度与责任)

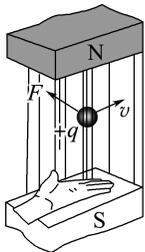
问题式预习

知识点一 洛伦兹力的方向

1. 洛伦兹力:运动电荷在磁场中受到的磁场力。

2. 洛伦兹力的方向判定——左手定则

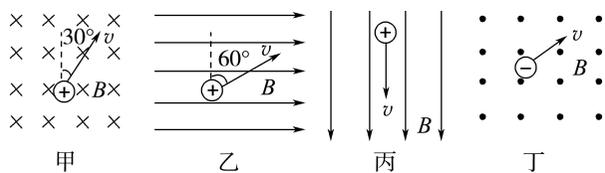
伸出左手,四指并拢,使大拇指和其余四指垂直,并且都与手掌在同一平面内,让磁感线垂直穿过手心,四指指向正电荷运动的方向,则大拇指所指方向就是正电荷所受洛伦兹力的方向。



负电荷所受洛伦兹力的方向与正电荷所受洛伦兹力的方向相反。

[科学思维]

如图所示,表示各带电粒子在匀强磁场中运动的情况,试回答各带电粒子所受洛伦兹力的方向。



甲:与 v 垂直斜向左上方,与竖直方向成 60° 角

乙:方向垂直纸面向里

丙:不受洛伦兹力

丁:方向与 v 垂直斜向左上方

[判一判]

1. 电荷在磁场中一定受洛伦兹力。 (×)
2. 洛伦兹力一定与电荷运动方向垂直。 (√)
3. 利用左手定则判断洛伦兹力的方向时,大拇指所指的方向一定是洛伦兹力的方向。 (×)

知识点二 洛伦兹力的大小

1. 洛伦兹力的推导

设导线横截面积为 S ,单位体积中含有的自由电子数为 n ,每个自由电子的电荷量为 e ,定向移动的平均速率为 v ,垂直于磁场方向放入磁感应强度为 B 的磁场中。截取一段长度 $l = v\Delta t$ 的导线,这段导线中所含的自由电子数为 N ,则 $N = nSv\Delta t$ 。在 Δt 时间内,通过导线横截面的电荷为 $\Delta q = neSv\Delta t$,通过导线的电流为 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = neSv$,这段导线所受到的安培力 $F = IlB = neSvBL$,每个自由电子所受到的洛伦兹力 $F_{洛} = \frac{F}{N} = evB$ 。

均速率为 v ,垂直于磁场方向放入磁感应强度为 B 的磁场中。截取一段长度 $l = v\Delta t$ 的导线,这段导线中所含的自由电子数为 N ,则 $N = nSv\Delta t$ 。在 Δt 时间内,通过导线横截面的电荷为 $\Delta q = neSv\Delta t$,通过导线的电流为 $I = \frac{\Delta q}{\Delta t} = neSv$,这段导线所受到的安培力 $F = IlB = neSvBL$,每个自由电子所受到的洛伦兹力 $F_{洛} = \frac{F}{N} = evB$ 。

2. 洛伦兹力的大小

- (1) 当 v 与 B 成 θ 角时, $F_{洛} = qvB \sin \theta$ 。
- (2) 当 $v \perp B$ 时, $F_{洛} = qvB$ 。
- (3) 当 $v \parallel B$ 时, $F_{洛} = 0$ 。

[做一做]

两个带电粒子以相同的速度垂直磁感线方向进入同一匀强磁场,两粒子质量之比为 $1:4$,电荷量之比为 $1:2$,则两带电粒子受洛伦兹力之比为 ()

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

C 解析:带电粒子的速度方向与磁感线方向垂直时,洛伦兹力 $F = qvB$,与电荷量成正比,与质量无关,C项正确。

知识点三 带电粒子在匀强磁场中的运动

1. 当运动电荷垂直匀强磁场方向射入后,运动电荷做匀速圆周运动。
2. 向心力由洛伦兹力提供。
3. 轨道半径与粒子的质量和速度大小成正比,与磁感应强度和粒子所带电荷量成反比。
4. 运动周期与运动速率和半径无关。

[科学思维]

- (1) 向心力: $qvB = m \frac{v^2}{r}$ 。
- (2) 轨道半径: $r = \frac{mv}{qB}$ 。
- (3) 运动周期: $T = \frac{2\pi m}{qB}$ 。

[做一做]

电子在匀强磁场中做匀速圆周运动,下列说法正确的是 ()

- A. 速率越大,周期越大
B. 速率越小,周期越大
C. 速度方向与磁场方向平行

D. 速度方向与磁场方向垂直

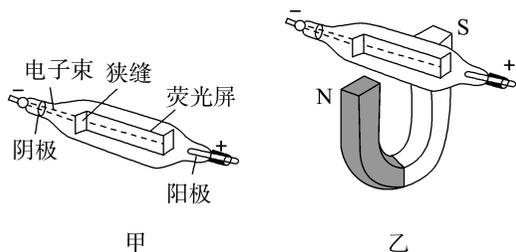
D 解析:电子在匀强磁场中做匀速圆周运动,周期 $T = \frac{2\pi m}{eB}$,与速率无关,A、B 错误;运动方向与磁场方向垂直,C 错,D 正确。

任务型课堂

任务一 对洛伦兹力的理解

[探究活动]

图甲为阴极射线管,图乙是把阴极射线管放入磁场中的情形,发现电子束向下偏转。



(1) 电子束向下偏转的原因是什么?

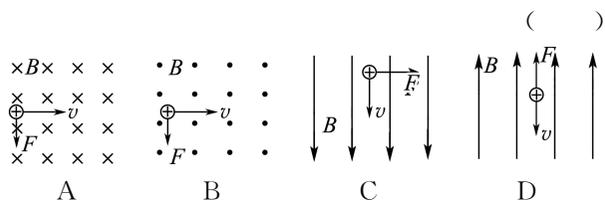
(2) 将磁体的 N 极、S 极交换位置,电子束偏转方向有什么变化? 这说明了什么?

提示:(1)根据左手定则可判断电子受到的洛伦兹力向下,所以电子束向下偏转。

(2)磁体两极交换位置,电子束向上偏转。这说明电子束受力方向与磁场方向有关。

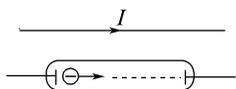
[评价活动]

1. 下列所示的各图中,运动电荷的速度方向、磁感应强度方向和电荷的受力方向之间的关系正确的是 ()



B 解析:根据左手定则,A 中 F 方向应向上,B 中 F 方向应向下,A 错误,B 正确;C、D 中都是 $v \parallel B$, $F=0$,C、D 错误。

2. 在阴极射线管中电子流方向由左向右,其上方放置一根通有如图所示电流的直导线,导线与阴极射线管平行,则电子将 ()



- A. 向上偏转
B. 向下偏转
C. 向纸里偏转
D. 向纸外偏转

B 解析:由题图可知,直线电流的方向由左向右,根据安培定则,可判定直导线下方的磁场方向为垂

直于纸面向里,而电子运动方向由左向右,由左手定则知(电子带负电荷,四指要指向电子运动方向的反方向),电子将向下偏转,故 B 选项正确。

3. 假设来自宇宙的质子流,以与地球表面垂直的方向射向赤道上空的某一点,则这些质子在进入地球周围的空间时,将 ()

- A. 竖直向下沿直线射向地面
B. 相对于预定地点,稍向东偏转
C. 相对于预定地点,稍向西偏转
D. 相对于预定地点,稍向北偏转

B 解析:质子带正电,地球表面的地磁场方向由南向北,根据左手定则可判定,质子自赤道上空的某一点竖直下落的过程中受到洛伦兹力的方向向东,故 B 选项正确。

任务总结

1. 洛伦兹力方向的特点



(2) 洛伦兹力的方向既与磁场方向垂直,又与电荷的运动方向垂直,即洛伦兹力垂直于 v 和 B 两者所决定的平面。

(3) $F_{洛} \perp v \Rightarrow$ 洛伦兹力不做功 $\Rightarrow F_{洛}$ 只改变 v 的方向,不改变 v 的大小

2. 洛伦兹力与安培力的区别和联系

(1) 区别

① 洛伦兹力是指单个运动的带电粒子所受到的磁场力,而安培力是指通电直导线所受到的磁场力。

② 洛伦兹力恒不做功,而安培力可以做功。

(2) 联系

① 安培力是洛伦兹力的宏观表现,洛伦兹力是安培力的微观解释。

② 大小关系: $F_{安} = NF_{洛}$ (N 是导体中定向运动的电荷数)。

③ 方向关系:洛伦兹力与安培力的方向均可用左手定则进行判断。

任务二 带电粒子在匀强磁场中的运动

[探究活动]

如图所示的装置叫作洛伦兹力演示仪。玻璃泡内的电子枪(即阴极)发射出阴极射线,使泡内的低压汞蒸气发出辉光,这样就可显示出电子的轨迹。



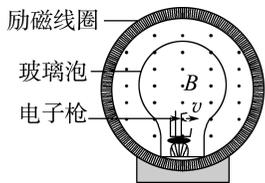
(1)如果不加磁场,电子束的运动轨迹如何?运动性质如何?

(2)加上与电子束运动速度垂直的匀强磁场后,电子束将做什么运动?

提示:(1)电子束运动轨迹为直线;其做匀速直线运动。(2)电子束将做匀速圆周运动。

[评价活动]

1.如图所示为洛伦兹力演示仪的结构图。励磁线圈产生的匀强磁场方向垂直于纸面向外,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中的电流来调节,不计重力。下列说法正确的是 (B)



- A. 仅增大励磁线圈中的电流,电子束轨迹的半径将变大
- B. 仅提高电子枪的加速电压,电子束的轨迹半径将变大
- C. 仅增大励磁线圈中的电流,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

2.若两个粒子的电荷量相等,在同一匀强磁场中只受洛伦兹力作用而做匀速圆周运动,则下列说法正确的是 (B)

- A. 若速率相等,则半径必相等
- B. 若质量相等,则周期必相等
- C. 若动能相等,则半径必相等
- D. 若动能相等,则周期必相等

3.质子(p)和 α 粒子以相同的速率在同一匀强磁场中

做匀速圆周运动,轨道半径分别为 R_p 和 R_α ,周期分别为 T_p 和 T_α ,已知 $m_\alpha=4m_p, q_\alpha=2q_p$,则下列选项正确的是 ()

- A. $R_p : R_\alpha = 1 : 2, T_p : T_\alpha = 1 : 2$
- B. $R_p : R_\alpha = 1 : 1, T_p : T_\alpha = 1 : 1$
- C. $R_p : R_\alpha = 1 : 1, T_p : T_\alpha = 1 : 2$
- D. $R_p : R_\alpha = 1 : 2, T_p : T_\alpha = 1 : 1$

A 解析:由洛伦兹力提供向心力 $F_{洛} = qvB = m \frac{v^2}{R}$

得 $R = \frac{mv}{qB}$,故 $\frac{R_p}{R_\alpha} = \frac{m_p}{m_\alpha} \times \frac{q_\alpha}{q_p} = \frac{1}{2}$;由 $qvB = m \frac{4\pi^2}{T^2} R$

得 $T = \frac{2\pi m}{qB}$,故 $\frac{T_p}{T_\alpha} = \frac{m_p}{m_\alpha} \times \frac{q_\alpha}{q_p} = \frac{1}{2}$,所以 A 项正确。

任务总结

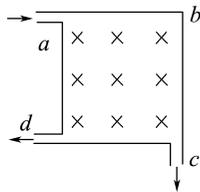
1.磁场中常见的带电粒子:电子,质子(${}^1_1\text{H}$,氕核),氘核(${}^2_1\text{H}$),氚核(${}^3_1\text{H}$), α 粒子(${}^4_2\text{He}$),正、负离子等。这些粒子所受重力比洛伦兹力小得多,除非有说明或明确的暗示,一般都不考虑重力(但不能忽略质量)。

2.有关带电粒子在匀强磁场中做匀速圆周运动的计算题中,要写明“根据牛顿第二定律

$qvB = ma = m \frac{v^2}{r}$,得 $r = \frac{mv}{qB}$ ”这一依据。

任务三 带电粒子在有界磁场中的运动

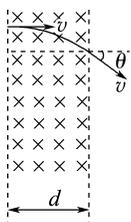
1.(多选)如图所示,横截面为正方形的容器内有垂直于纸面向里的匀强磁场,一束电子从 a 孔垂直于边界和磁场射入容器中,其中有一部分从 c 孔射出,另一部分从 d 孔射出,则 (ABD)



- A. 从两孔射出的电子速率之比为 $v_c : v_d = 2 : 1$
- B. 从两孔射出的电子在容器中运动的时间之比为 $t_c : t_d = 1 : 2$
- C. 从两孔射出的电子在容器中运动时的加速度大小之比为 $a_c : a_d = \sqrt{2} : 1$
- D. 从两孔射出的电子在容器中运动时的加速度大小之比为 $a_c : a_d = 2 : 1$

2.如图所示,一束电子的电荷量为 e ,以速度 v 垂直射入磁感应强度为 B 、宽度为 d 的有界匀强磁场中,穿出磁场时的速度方向与原来电子入射方向的夹

角是 $\theta=30^\circ$, 则电子的质量是多少? 电子穿过磁场的
时间又是多少?



解析: 电子在磁场中运动时, 只受洛伦兹力作用, 故其轨道是圆弧的一部分。又因为洛伦兹力与速度 v 垂直, 故圆心应在电子穿入和穿出磁场时所受洛伦兹力延长线的交点上。从图中可以

分析出, AB 弧所对的圆心角为 $\theta=30^\circ=\frac{\pi}{6}$, OB 即

为半径 R , 由几何关系可得 $R=\frac{d}{\sin \theta}=2d$, 由半径

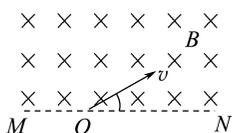
公式 $R=\frac{mv}{Bq}$ 得 $m=\frac{qBR}{v}=\frac{2deB}{v}$ 。

带电粒子通过 AB 弧所用的时间, 即穿过磁场的时

间为 $t=\frac{\theta}{2\pi}T=\frac{1}{12}\times T=\frac{1}{12}\times\frac{2\pi m}{Be}=\frac{\pi m}{6Be}=\frac{\pi d}{3v}$ 。

答案: $\frac{2deB}{v}$ $\frac{\pi d}{3v}$

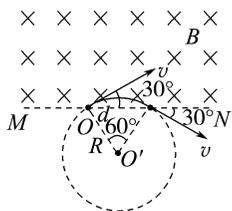
3. 如图所示, 直线 MN 上方是磁感应强度为 B 的足够大的匀强磁场, 一电子(质量为 m 、电荷量为 e)以速度 v 从 O 点与 MN 成 30° 角的方向射入磁场中, 则:



(1) 电子从磁场中射出时距 O 点多远?

(2) 电子在磁场中运动的时间是多少?

解析: 设电子在匀强磁场中运动半径为 R , 射出时与 O 点距离为 d , 运动轨迹如图所示。



(1) 根据牛顿第二定律知

$$Bev = ma = m \frac{v^2}{R}$$

由几何关系可得, $d=2R \sin 30^\circ$

解得 $d=\frac{mv}{Be}$ 。

(2) 电子在磁场中转过角度为 $\theta=60^\circ=\frac{\pi}{3}$

$$\text{又周期 } T=\frac{2\pi m}{Be}$$

$$\text{因此运动时间 } t=\frac{\theta T}{2\pi}=\frac{\frac{\pi}{3}}{2\pi}\cdot\frac{2\pi m}{Be}=\frac{\pi m}{3Be}。$$

答案: (1) $\frac{mv}{Be}$ (2) $\frac{\pi m}{3Be}$

任务总结

带电粒子在有界磁场中的运动问题

研究带电粒子在匀强磁场中做圆周运动的问题, 应按照“一找圆心, 二求半径 $R=\frac{mv}{qB}$, 三求周

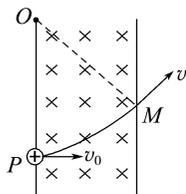
期 $T=\frac{2\pi m}{qB}$ 或时间”的基本思路分析。

(1) 圆心的确定

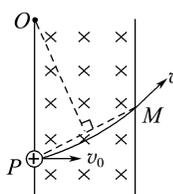
带电粒子进入一个有界磁场后的运动轨迹是一段圆弧, 其圆心一定在与速度方向垂直的直线上。通常有两种确定方法。

① 已知入射方向和出射方向时, 可以通过入射点和出射点作垂直于入射方向和出射方向的直线, 两条直线的交点就是圆弧轨迹的圆心(如图甲所示, 图中 P 为入射点, M 为出射点, O 为轨迹圆心)。

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



甲



乙

(2) 运动半径的确定

作入射点、出射点对应的半径, 并作出相应的辅助三角形, 利用三角形的解析方法或其他几何方法, 求解出半径的大小, 并与半径公式 $R=\frac{mv}{qB}$ 联立求解。

(3) 运动时间的确定

粒子在磁场中运动一周的时间为 T , 当粒子运动的圆弧所对应的圆心角为 α 时, 其运动时间可

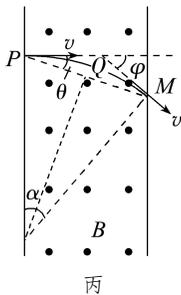
由此式表示： $t = \frac{\alpha}{360^\circ}T$ (或 $t = \frac{\alpha}{2\pi}T$)。可见粒子

转过的圆心角越大，所用时间越长。

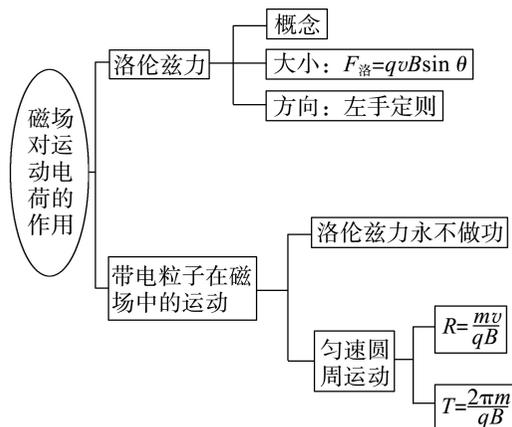
(4) 圆心角与偏向角、弦切角的关系

① 速度偏向角 φ 等于圆弧对应的圆心角 α ，即 $\alpha = \varphi$ ，如图丙所示。

② 圆弧所对应圆心角 α 等于弦切角 θ 的 2 倍，即 $\alpha = 2\theta$ ，如图丙所示。



► 提质归纳

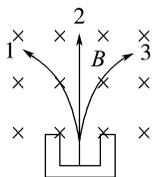


课后素养评价(三) 洛伦兹力

基础性·能力运用

知识点 1 洛伦兹力的方向

1. (多选) 一束混合粒子流从一发射源射出后，进入如图所示的磁场中，分离为 1、2、3 三束，则下列判断正确的是 (ACD)



- A. 1 带正电 B. 1 带负电
C. 2 不带电 D. 3 带负电

知识点 2 洛伦兹力的大小

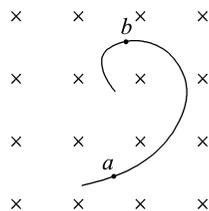
2. 关于电荷在磁场中的受力，下列说法正确的是 (C)

- A. 静止的电荷一定不受洛伦兹力的作用，运动电荷一定受洛伦兹力的作用
B. 洛伦兹力的方向有可能与磁场方向平行
C. 洛伦兹力的方向一定与带电粒子的运动方向垂直
D. 带电粒子运动方向与磁场方向平行时，可能受洛伦兹力的作用

知识点 3 带电粒子在匀强磁场中的运动

3. 一个带电粒子沿垂直于磁场方向射入匀强磁场，粒子经过的轨迹如图所示，轨迹上的每一小段都可以近似看成圆弧，由于带电粒子使沿途空气电离，粒

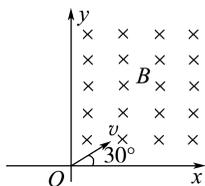
子的能量逐渐减小(带电量不变)，从图中可以确定粒子的运动方向和电性是 (C)



- A. 粒子从 a 到 b，带负电
B. 粒子从 b 到 a，带正电
C. 粒子从 a 到 b，带正电
D. 粒子从 b 到 a，带负电

知识点 4 带电粒子在有界磁场中的运动

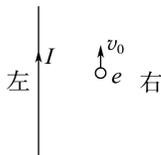
4. 如图所示，在第 I 象限内有垂直纸面向里的匀强磁场，一对质量与电荷量都相等的正、负粒子分别以相同速率沿与 x 轴成 30° 角的方向从原点射入磁场，不计重力，则正、负粒子在磁场中运动的时间之比为 (B)



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

综合性 · 创新提升

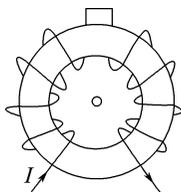
5. 初速度为 v_0 的电子, 沿平行于通电长直导线的方向射出, 直导线中电流方向与电子的初始运动方向如图所示, 则 ()



- A. 电子将向右偏转, 速率不变
B. 电子将向左偏转, 速率改变
C. 电子将向左偏转, 速率不变
D. 电子将向右偏转, 速率改变

A 解析: 由右手定则判定直线电流右侧磁场的方向垂直纸面向里, 再根据左手定则判定电子所受洛伦兹力方向向右, 由于洛伦兹力不做功, 故电子动能不变。

6. 如图所示为电视显像管偏转线圈的示意图, 当线圈通以图示方向的直流电时, 一束沿着管的中心射向纸内的电子将 ()



- A. 向上偏转
B. 向下偏转
C. 向右偏转
D. 向左偏转

C 解析: 将整个线圈分成左右两部分研究, 由安培定则可知, 两部分线圈在纸面内中心点的磁场方向都向下, 由左手定则可知电子将向右偏转, 故 C 正确。

7. 如图所示, 一个带正电 q 的小带电体处于垂直纸面向里的匀强磁场中, 磁感应强度为 B 。若小带电体的质量为 m , 为了使它对水平绝缘面正好无压力, 应该 ()

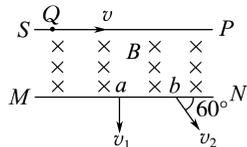


- A. 使 B 的数值增大
B. 使磁场以速率 $v = \frac{mg}{qB}$ 向上移动
C. 使磁场以速率 $v = \frac{mg}{qB}$ 向右移动
D. 使磁场以速率 $v = \frac{mg}{qB}$ 向左移动

D 解析: 为使小球对水平面无压力, 则应使它受到的洛伦兹力刚好平衡重力, 磁场不动而只增大 B , 静止电荷在磁场里不受洛伦兹力, A 错误; 磁场向上移动相当于电荷向下运动, 所受洛伦兹力向右, 不可能平衡重力, 故 B 错误; 磁场以速率 v 向右移动, 等同于电荷以速率 v 向左运动, 此时洛伦兹力向下, 也不可能平衡重力, 故 C 错误; 磁场以速率 v 向左移动, 等同于电荷以速率 v 向右运动, 此时洛伦兹力向上, 当 $qvB = mg$ 时, 带电体对绝缘水平面

无压力, 即 $v = \frac{mg}{qB}$, 选项 D 正确。

8. 如图所示, 有界匀强磁场边界线 $SP \parallel MN$, 速度不同的同种带电粒子从 Q 点沿 SP 方向同时射入磁场, 其中穿过 a 点的粒子速度 v_1 与 MN 垂直, 穿过 b 点的粒子, 其速度方向与 MN 成 60° 角。设两粒子从 Q 到 a 、 b 所需的时间分别为 t_1 、 t_2 , 不考虑重力, 则 $t_1 : t_2$ 为 ()



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

D 解析: 画出运动轨迹, 过 a 点的粒子转过 90° , 过 b 点的粒子转过 60° , 故选项 D 正确。

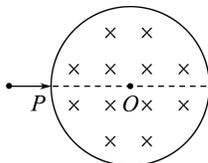
9. (2023 · 全国甲卷) (多选) 光滑刚性绝缘圆筒内存在着平行于轴的匀强磁场, 筒上 P 点开有一个小孔, 过 P 的横截面是以 O 为圆心的圆, 如图所示。一带电粒子从 P 点沿 PO 射入, 然后与筒壁发生碰撞。假设粒子在每次碰撞前后瞬间, 速度沿圆上碰撞点的切线方向的分量大小不变, 沿法线方向的分量大小不变、方向相反, 电荷量不变, 不计重力。下列说法正确的是 ()

A. 粒子的运动轨迹可能通过圆心 O

B. 最少经 2 次碰撞, 粒子就可能从小孔射出

C. 射入小孔时粒子的速度越大, 在圆内运动时间越短

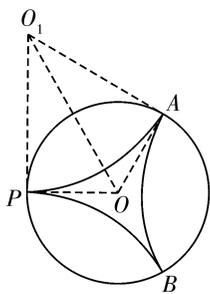
D. 每次碰撞后瞬间, 粒子速度方向一定平行于碰撞点与圆心 O 的连线



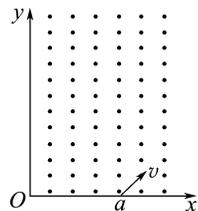
BD 解析: 带电粒子从 P 点沿圆筒的半径进入磁场区域, 若以 O_1 为圆心做圆周运动, 在 A 点与筒壁发生碰撞, 则运动轨迹如图所示, 由几何关系可知 $\angle OAO_1 = 90^\circ$, 所以粒子一定会沿圆筒的半径方向离开磁场, 与筒壁碰撞后依然沿圆筒的半径方向, 所以粒子不可能通过圆心 O , 且每次碰撞后瞬间, 粒子的速度方向一定平行于碰撞点与圆心 O 的连线, 故 A 错误, D 正确; 由对称性可知, 粒子至少需要碰撞 2 次才能从 P 点离开, 如图所示, 故 B 正确; 设粒子在磁场中运动的轨迹半径为 r , 圆筒的半径为 R , 粒子在磁场中做圆周运动, 有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$,

设 $\angle POA = \alpha$, 由几何关系有 $\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{r}{R} = \frac{mv}{qBR}$, 若粒子恰好运动一周从 P 点离开, 则粒子在磁场中运

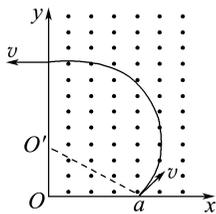
动的时间 $t = \frac{2\pi}{\alpha} \times \frac{\pi - \alpha}{2\pi} T = \left(\frac{\pi - \alpha}{\alpha} - 1\right) \frac{2\pi m}{qB}$, 则粒子的速度越大, α 越大, 粒子在磁场中运动的时间越短, 若粒子运动一周不能从 P 点离开, 则运动时间无法确定, 故 C 错误。



10. 如图所示, 一个质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子从 x 轴上的 $P(a, 0)$ 点以速度 v , 沿与 x 轴正方向成 60° 角的方向射入第一象限内的匀强磁场中, 并恰好垂直于 y 轴射出第一象限, 不计重力。求匀强磁场的磁感应强度 B 的大小和射出点的坐标。

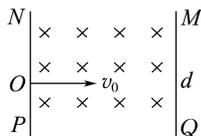


解析: 粒子轨迹示意图如图所示, 由射入、射出点的半径可找到圆心 O' , 并由几何关系得出半径为 $r = \frac{2a}{\sqrt{3}} = \frac{mv}{Bq}$, 得 $B = \frac{\sqrt{3}mv}{2aq}$, $y = r + \frac{r}{2} = \sqrt{3}a$; 射出点坐标为 $(0, \sqrt{3}a)$ 。

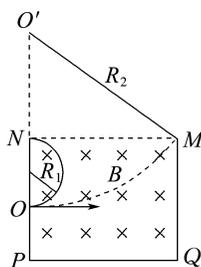


答案: $B = \frac{\sqrt{3}mv}{2aq}$ 射出点坐标为 $(0, \sqrt{3}a)$

11. 如图所示, 两个板间存在垂直纸面向里的匀强磁场, 一带正电的质子以速度 v_0 从 O 点垂直射入。已知两板之间距离为 d , 板长为 d , O 点是 NP 板的正中点。为使粒子能从两板之间射出, 试求磁感应强度 B 应满足的条件 (已知质子的电荷量为 q , 质量为 m)。



解析: 如图所示, 由于质子在 O 点的速度垂直于板 NP , 所以粒子在磁场中做圆周运动的圆心 O' 一定位于 NP 所在的直线上。如果直径小于 ON , 则轨迹将是圆心位于 ON 之间的一段半圆弧。



如果质子恰好从 N 点射出

$$R_1 = \frac{d}{4}, qv_0 B_1 = \frac{mv_0^2}{R_1}$$

$$\text{所以 } B_1 = \frac{4mv_0}{dq}.$$

如果质子恰好从 M 点射出

$$R_2^2 - d^2 = \left(R_2 - \frac{d}{2}\right)^2, qv_0 B_2 = m \frac{v_0^2}{R_2}, \text{得 } B_2 = \frac{4mv_0}{5dq}$$

$$\text{所以 } B \text{ 应满足 } \frac{4mv_0}{5dq} \leq B \leq \frac{4mv_0}{dq}.$$

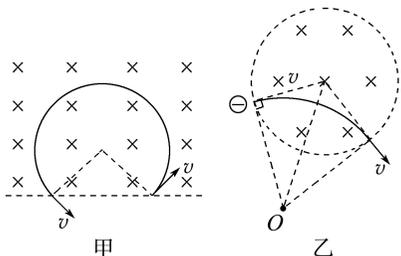
$$\text{答案: } \frac{4mv_0}{5dq} \leq B \leq \frac{4mv_0}{dq}$$

习题课(一)

任务一 几种常见磁场边界

「任务驱动」

如图甲、乙所示, 实线表示带电粒子的轨迹圆, 根据圆的对称性回答下列问题:



问题 1: 在图甲中, 带电粒子在边界为直线的匀强磁场中运动, 当带电粒子进入磁场和射出磁场时, 速度方向有什么特点?

提示: 带电粒子进入磁场和射出磁场时, 速度方向与磁场边界的夹角相等。

问题 2: 在图乙中, 虚线圆表示一个圆形匀强磁场区域, 若带电粒子沿半径方向进入磁场, 带电粒子射出磁场时速度方向有什么特点?

提示: 带电粒子沿半径方向进入圆形匀强磁场, 必定沿半径方向射出磁场。

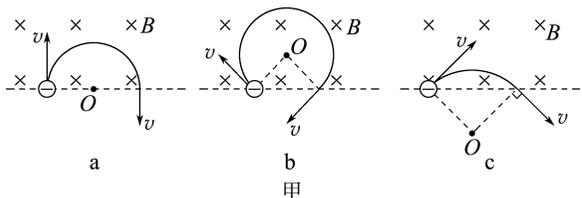
「知识链接」

1. 三步解决带电粒子在有界磁场中的运动问题

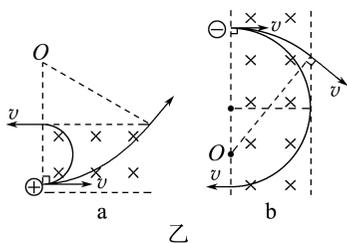
- (1) 定圆心, 画轨迹;
- (2) 找几何关系, 确定物理量;
- (3) 画动态圆, 定临界状态。

2. 带电粒子在不同边界匀强磁场中运动的几种常见情况

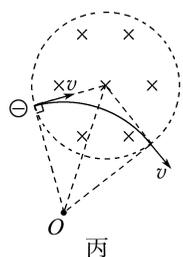
(1) 直线边界: 进出磁场具有对称性, 如图甲所示。



(2) 平行边界: 存在临界条件, 如图乙所示。



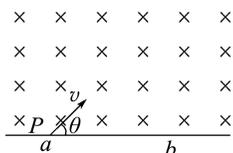
(3) 圆形边界: 沿径向射入必沿径向射出, 如图丙所示。



「任务达标」

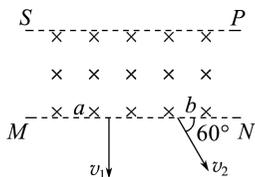
1. 如图所示, 在足够长的水平线上方有一方向垂直纸面向里的、范围足够大的匀强磁场区域, 一带负电的粒子 P 从 a 点沿与水平线成 $\theta=45^\circ$ 角方向以初速度 v 垂直磁场方向射入磁场中, 经时间 t 从 b 点射出磁场。不计粒子重力, 下列说法正确的是

(A)



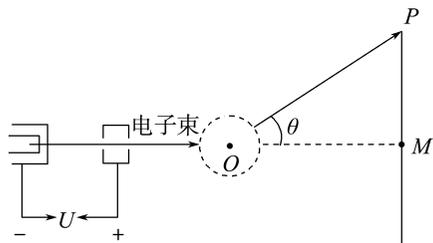
- A. 粒子射出磁场时与水平线的夹角(锐角)为 θ
- B. 若 P 的初速度增大为 $2v$, 则粒子射出磁场所需时间为 $2t$
- C. 若 P 的初速度增大为 $2v$, 粒子射出磁场时与水平线的夹角(锐角)为 2θ
- D. 若磁场方向垂直纸面向外, 粒子 P 还是从 a 点沿与水平线成 $\theta=45^\circ$ 角方向以初速度 v 垂直磁场方向射入磁场中, 则射出磁场所需时间为 $2t$

2. 如图所示, 有界匀强磁场边界线 $SP \parallel MN$, 速率不同的同种带电粒子从 S 点沿 SP 方向同时射入磁场。其中穿过 a 点的粒子的速度 v_1 与 MN 垂直, 穿过 b 点的粒子的速度 v_2 与 MN 成 60° 角。设两粒子从 S 点到 a 、 b 两点所需时间分别为 t_1 和 t_2 , 则 $t_1 : t_2$ 为(粒子的重力不计) (D)

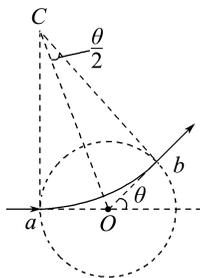


- A. 1 : 3 B. 4 : 3 C. 1 : 1 D. 3 : 2

3. 电视机的显像管中, 电子束的偏转是用磁偏转技术实现的, 电子束经过电压为 U 的加速电场后, 进入一圆形匀强磁场区域, 如图所示, 磁场方向垂直于圆面, 磁场区域的中心为 O , 半径为 r 。当不加磁场时, 电子束将通过 O 点而打到屏幕的中心 M 点。为了让电子束射到屏幕边缘 P , 需要加磁场, 使电子束偏转一已知角度 θ , 求此时磁场的磁感应强度 B 的大小。



解析: 如图所示, 电子在磁场中沿圆弧 ab 运动, 圆心为 C , 半径为 R 。 v 表示电子进入磁场时的速度, m 、 e 分别表示电子的质量和电荷量, 则由动能定理可得 $eU = \frac{1}{2}mv^2$



在磁场中洛伦兹力充当向心力, 所以根据牛顿第二定律有

$$evB = ma = m \frac{v^2}{R}$$

从图中根据几何知识可得 $R = \frac{r}{\tan \frac{\theta}{2}}$

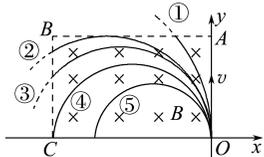
由以上各式解得 $B = \frac{1}{r} \sqrt{\frac{2mU}{e}} \tan \frac{\theta}{2}$ 。

答案: $\frac{1}{r} \sqrt{\frac{2mU}{e}} \tan \frac{\theta}{2}$

任务二 临界和极值问题

「任务驱动」

如图所示,在 xOy 平面第二象限的矩形区域 $OABC$ 内有方向垂直纸面向里的匀强磁场,现从 O 点沿 y 轴正方向射入一带正电的粒子,粒子的轨迹半径 r 不同,就会从不同的边界射出,其中②轨迹(半径为 r_2)与 AB 边相切,④轨迹(半径为 r_4)与 BC 相切于 C 点。



问题 1: 当 $r > r_2$ 时, 粒子从哪条边界射出?

提示: AB 。

问题 2: 当 $r_4 \leq r \leq r_2$ 时, 粒子从哪条边界射出?

提示: BC 。

问题 3: 当 $r < r_4$ 时, 粒子从哪条边界射出?

提示: CO 。

「知识链接」

1. 两种思路

(1) 以定理、定律为依据, 首先求出所研究问题的一般规律和一般解的形式, 然后分析、讨论处于临界条件时的特殊规律和特殊解。

(2) 直接分析、讨论临界状态, 找出临界条件, 继而通过临界条件求出临界值。

2. 两种方法

(1) 物理方法: 利用临界条件求极值; 利用边界条件求极值; 利用矢量图求极值。

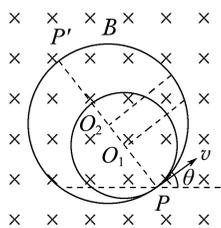
(2) 数学方法: 利用三角函数求极值; 利用二次方程的判别式求极值; 利用不等式的性质求极值。

3. 从关键词找突破口

许多临界问题, 题干中常用“恰好”“最大”“至少”“不相撞”“不脱离”等词语对临界状态给以暗示, 审题时一定要抓住这些特定的词语, 挖掘其隐藏的规律, 找出临界条件。

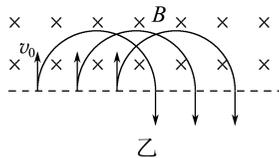
4. 动态圆模型

(1) “放缩圆”模型: 速度方向一定, 大小不同。如图甲所示, 以入射点 P 为定点, 圆心位于过入射点 P 且垂直于速度 v 的直线 PP' 上, 将半径放缩作轨迹圆, 从而探索出临界条件。



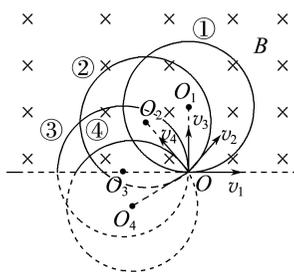
甲

(2) “平移圆”模型: 速度大小一定, 方向一定, 但入射点在同一直线上。如图乙所示, 将半径为 $R = \frac{mv_0}{qB}$ 的圆进行平移, 从而探索粒子运动的临界条件。



乙

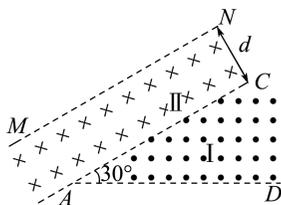
(3) “旋转圆”模型: 速度大小一定, 方向不同。如图丙所示, 将一半径为 $R = \frac{mv_0}{qB}$ 的圆以入射点 O 为圆心进行旋转, 从而探索出临界条件。



丙

「任务达标」

1. (多选) 如图所示, 在 I、II 两个区域内存在磁感应强度大小均为 B 的匀强磁场, 磁场方向分别垂直于纸面向外和向里, AD 、 AC 边界的夹角 $\angle DAC = 30^\circ$, 边界 AC 与边界 MN 平行, II 区域宽度为 d 。质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的粒子可从边界 AD 上的不同点射入, 入射速度垂直 AD 且垂直磁场。若入射速度大小为 $\frac{qBd}{m}$, 不计粒子重力, 则 (CD)

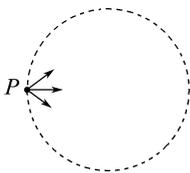


- A. 粒子在磁场中的运动半径为 $\frac{d}{2}$
- B. 粒子在距 A 点 $0.5d$ 处射入, 不会进入 II 区域
- C. 粒子在距 A 点 $1.5d$ 处射入, 在 I 区域内运动的时间为 $\frac{\pi m}{qB}$
- D. 能够进入 II 区域的粒子, 在 II 区域内运动的最短时间为 $\frac{\pi m}{3qB}$

2. 如图所示, 半径为 R 的圆形区域内存在一垂直于纸面的匀强磁场(图中未画出), P 为磁场边界上的一点, 大量相同的带电粒子以相同的速率 v 经过 P

点,在纸面内沿不同方向射入磁场,这些带电粒子在磁场边界的出射点分布在六分之一圆周上。不计带电粒子的重力及带电粒子之间的相互作用。已知带电粒子的比荷为 β ,则磁感应强度大小为

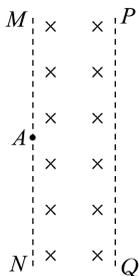
(C)



- A. $\frac{4\beta v}{R}$ B. $\frac{3v}{\beta R}$ C. $\frac{2v}{\beta R}$ D. $\frac{\sqrt{3}v}{\beta R}$

3. 如图所示,平行边界 MN 、 PQ 间有垂直纸面向里的匀强磁场,磁场的磁感应强度大小为 B ,两边界的间距为 d 。 MN 上 A 处有一粒子源,可在纸面内沿各个方向向磁场中射入质量均为 m 、电荷量均为 $+q$ 的粒子,粒子射入磁场时的速度大小 $v = \frac{2qBd}{3m}$,不计粒子的重力及粒子间的相互作用,则粒子能从 PQ 边界射出的区域长度与能从 MN 边界射出的区域长度之比为

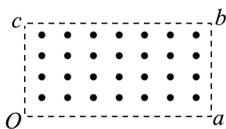
(C)



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

4. 如图所示,在矩形区域 $Oabc$ 内存在一个垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场, Oa 边长为 $\sqrt{3}l$, ab 边长为 l 。现从 O 点沿着 Ob 方向垂直磁场射入各种速率的带正电粒子。已知粒子的质量为 m 、电荷量为 q (粒子所受重力及粒子间相互作用忽略不计)。求:

- (1) 垂直 ab 边射出磁场的粒子的速率 v ;
(2) 粒子在磁场中运动的最长时间 t_{\max} 。



解析:(1) 粒子垂直 ab 边射出磁场时的运动轨迹如图中轨迹 1 所示。

设粒子做匀速圆周运动的轨迹半径为 R ,由几何关系可知

$$\tan \theta = \frac{l}{\sqrt{3}l} = \frac{\sqrt{3}}{3}$$

$$\text{则 } \theta = \frac{\pi}{6}, \sin \theta = \frac{Oa}{OO_1} = \frac{\sqrt{3}l}{R},$$

$$\text{故 } R = 2\sqrt{3}l$$

粒子在磁场中做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力有 $qvB =$

$$m \frac{v^2}{R}, \text{ 联立解得 } v = \frac{2\sqrt{3}qBl}{m}.$$

$$(2) \text{ 由粒子做匀速圆周运动可知 } T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

因此粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期不变,和速度无关,由几何关系可知,最大圆心角 $\alpha = 2\theta = \frac{\pi}{3}$

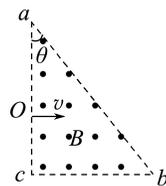
$$\text{可知粒子在磁场中运动的最长时间 } t_{\max} = \frac{\alpha}{2\pi} T = \frac{\pi m}{3qB}.$$

$$\text{答案: (1) } \frac{2\sqrt{3}qBl}{m} \quad (2) \frac{\pi m}{3qB}$$

5. 如图所示,直角三角形 abc 区域内存在方向垂直纸面向外的匀强磁场,磁感应强度大小为 B ,其中 $\theta = 37^\circ$,一质量为 m 、电荷量为 q 的正粒子(不计重力)以不同速率从 O 点垂直 ac 边界射入匀强磁场区域内, O 点到 a 点的距离为 d , ab 边长为 $2d$ 。取 $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$ 。

(1) 要使粒子能从 bc 边射出磁场,求 v 的取值范围。

(2) 求从 bc 边射出的粒子在磁场中运动时间 t 的范围。



解析:由几何关系可知

$$\overline{ac} = \overline{ab} \cos 37^\circ = 1.6d, \overline{bc} = \overline{ab} \sin 37^\circ = 1.2d$$

要使粒子从 bc 边射出磁场,

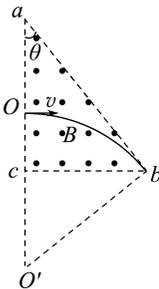
$$\text{其最小半径 } R_1 = \frac{\overline{Oc}}{2} = 0.3d$$

$$\text{由 } qvB = m \frac{v^2}{R} \text{ 得 } v_1 = \frac{qBR_1}{m} = \frac{3qBd}{10m}$$

$$\text{对应的运动时间 } t_1 = \frac{1}{2} T = \frac{1}{2} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{\pi m}{qB}$$

从 bc 边射出磁场,轨迹半径最大时,其轨迹与 ab 相切(如图所示),由几何知识可得,粒子轨迹与 ab 相切的点应在 b 点,根据几何关系得

$$\sin 37^\circ = \frac{R_2}{R_2 + d}$$



得 $R_2 = \frac{3d}{2}$, 又 $qvB = m \frac{v^2}{R}$

得 $v_2 = \frac{qBR_2}{m} = \frac{3qBd}{2m}$

对应的运动时间 $t_1 = \frac{53^\circ}{360^\circ} T = \frac{53^\circ}{360^\circ} \times \frac{2\pi m}{qB} = \frac{53\pi m}{180qB}$

所以 v 的取值范围为 $\frac{3qBd}{10m} \leq v \leq \frac{3qBd}{2m}$

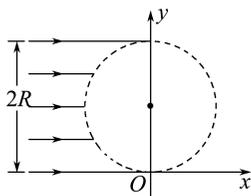
运动时间 t 的范围为 $\frac{53\pi m}{180qB} \leq t \leq \frac{\pi m}{qB}$

答案: (1) $\frac{3qBd}{10m} \leq v \leq \frac{3qBd}{2m}$ (2) $\frac{53\pi m}{180qB} \leq t \leq \frac{\pi m}{qB}$

任务三 “磁聚焦”与“磁发散”模型

「任务驱动」

带电粒子流的磁聚焦是薄膜材料制备的关键技术之一,磁聚焦原理如图所示,真空中一半径为 R 的圆形区域内存在垂直纸面的匀强磁场(图中未画出),一束宽度为 $2R$ 、沿 x 轴正方向运动的带电粒子流射入该磁场后会聚于坐标原点 O 。已知粒子的质量均为 m 、电荷量均为 q ,进入磁场的速度均为 v ,不计带电粒子的重力及粒子间的相互作用力。



问题 1: 带电粒子射入该磁场中做匀速圆周运动的轨迹半径多大?

提示: 带电粒子做匀速圆周运动的半径与圆形磁场区域的半径相等, 设粒子做匀速圆周运动的半径为 r , 则有 $r=R$ 。

问题 2: 所有带电粒子从 O 点射出时的速度方向相同吗?

提示: 不同。

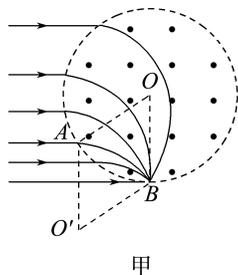
问题 3: 为实现带电粒子流的磁聚焦, 则磁场的磁感应强度的大小应为多大?

提示: 由洛伦兹力提供带电粒子做匀速圆周运动所需向心力, 则有 $qvB = m \frac{v^2}{r}$, 解得 $B = \frac{mv}{qr} = \frac{mv}{qR}$ 。

「知识链接」

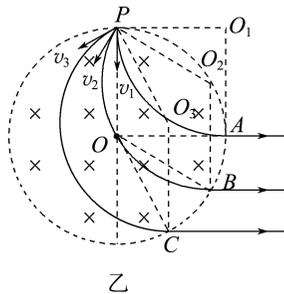
1. 磁聚焦(平入点出)

如图甲所示,大量的同种带电粒子,速度大小相同,水平入射到圆形磁场区域,如果轨迹圆半径与磁场区域圆半径相等,则所有的带电粒子将从磁场圆的最低点 B 点射出。



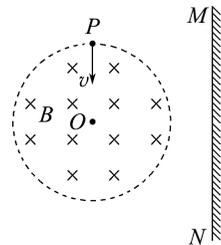
2. 磁发散(点入平出)

如图乙所示,大量的同种带电粒子,以大小相等的速度 v 从同一点 P 沿不同方向射入圆形磁场区域,如果轨迹圆半径与磁场区域圆半径相等,则所有粒子射出磁场的方向平行。



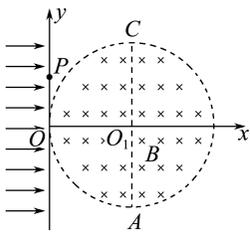
「任务达标」

1. (多选) 如图所示, 有一半径为 R 、磁感应强度为 B 的圆形匀强磁场, MN 是一竖直放置的足够长的感光板。大量相同的带正电粒子从圆形磁场最高点 P 以速率 v 沿不同方向垂直磁场方向射入。已知粒子质量为 m 、电荷量为 q , 不考虑粒子间的相互作用和粒子的重力, 不考虑速度沿圆形磁场切线方向的入射粒子。关于这些粒子的运动, 以下说法正确的是 (ACD)



- A. 对着圆心入射的粒子, 速度越大, 在磁场中运动的时间越短
- B. 对着圆心入射的粒子, 速度越大, 在磁场中运动的时间越长
- C. 若粒子速度大小均为 $v = \frac{qBR}{m}$, 则粒子出射后均可垂直打在 MN 上
- D. 若粒子速度大小均为 $v = \frac{qBR}{m}$, 则粒子在磁场中的运动时间一定小于 $\frac{\pi m}{qB}$

2. (多选) 如图所示, 在 xOy 直角坐标系第一、四象限内存在垂直坐标平面向里的圆形有界匀强磁场, 磁场边界圆与 y 轴相切于坐标原点 O , 圆心在 x 轴上 $O_1(R, 0)$ 处, 磁感应强度大小为 B , AC 是它沿 y 轴方向的直径。在第二、三象限有一粒子源(图中未画出), 垂直于 y 轴发射一束质量为 m 、电荷量大小为 q 的粒子, 从 O 点进入磁场的粒子从 A 点射出磁场。 P 点为 y 轴上一点, 坐标为 $(0, \frac{\sqrt{2}}{2}R)$, 不计粒



子的重力及相互作用。下列判断正确的是

(BC)

- A. 粒子带正电
 B. 粒子的速度大小为 $\frac{qBR}{m}$
 C. 经过 P 点后进入磁场的粒子在磁场中运动的时间为 $\frac{3\pi m}{4qB}$
 D. 经过 P 点后进入磁场的粒子射出磁场时的速度与 x 轴正方向的夹角为 45°

4 洛伦兹力的应用

学习任务目标

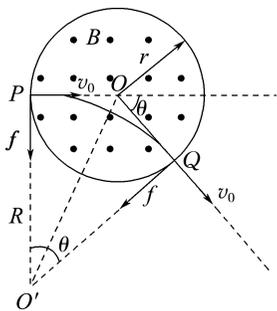
- 知道洛伦兹力只改变速度的方向, 不改变速度的大小; 知道显像管的构造和原理。(物理观念)
- 探究质谱仪和回旋加速器的工作原理。(科学探究)
- 能认识回旋加速器和质谱仪等对人类探索未知领域的重要性, 知道科学发展对实验器材的依赖性。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 利用磁场控制带电粒子运动

1. 磁偏转

如图所示为一具有圆形边界、半径为 r 的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B , 一个初速度大小为 v_0 的带电粒子(质量为 m , 电荷量为 q)沿该磁场的直径方向从 P 点射入, 在洛伦兹力作用下从 Q 点离开磁场。



(1) 可以证明, 该粒子离开磁场时速度方向的反向延长线必过圆心。

(2) 设粒子离开磁场时的速度方向与进入磁场时相比偏转了 θ 角, 则由图中几何关系可以看出 $\tan \frac{\theta}{2} =$

$$\frac{r}{R} = \frac{qBr}{mv_0}$$

可见, 对于一定的带电粒子 (m 、 q 一定), 可以通过调节 B 和 v_0 的大小来控制粒子的偏转角度 θ 。

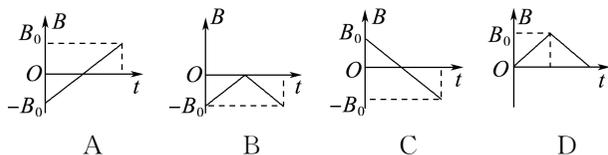
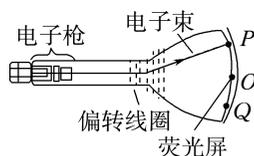
2. 特点: 利用磁场控制带电粒子的运动, 只改变粒子的运动方向, 不能改变粒子的速度大小。

[科学思维]

- 示波器利用 电场 控制带电粒子的运动, 速度大小改变, 速度方向改变。
- 显像管利用 磁场 控制带电粒子的运动, 速度大小不变, 运动方向改变。

[做一做]

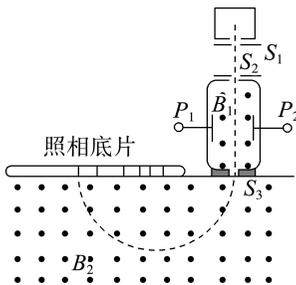
显像管的原理示意图如图所示, 当没有磁场时电子束打在荧光屏正中的 O 点。安装在管径上的偏转线圈可以产生磁场, 使电子束发生偏转。设垂直纸面向里的磁场方向为正方向, 如果要使电子束打在荧光屏上的位置由 P 点逐渐移动到 Q 点, 下列磁场能够使电子束发生上述偏转的是 ()



A 解析:要使电子束打在荧光屏上的位置由P点逐渐移动到Q点,需要电子在洛伦兹力作用下向下运动,P到O过程中洛伦兹力向上,O到Q过程中洛伦兹力向下,根据左手定则知,能够使电子束发生上述偏转的磁场是A。

知识点二 质谱仪

- 1.质谱仪:测量带电粒子比荷的仪器。
- 2.质谱仪的工作原理示意图(如图所示)。



(1)带电粒子进入加速电场(狭缝 S_1 与 S_2 之间),

满足动能定理: $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 。

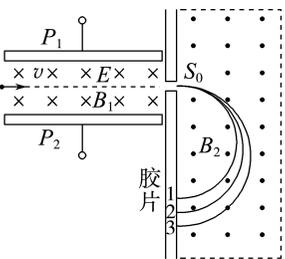
(2)带电粒子进入速度选择器(P_1 和 P_2 两平行金属板之间),满足 $qE = qvB_1$, $v = \frac{E}{B_1}$,带电粒子做匀速直线运动。

(3)带电粒子进入偏转磁场(磁感应强度为 B_2 的匀强磁场区域), $qvB_2 = m\frac{v^2}{R}$ 。

(4)带电粒子打到照相底片,偏转距离为: $L = 2R$ 。

由以上各式得带电粒子的比荷: $\frac{q}{m} = \frac{2E}{B_1 B_2 L}$ 。

[科学思维]



如图所示,有氕核、氘核、氚核、氦核四种带电粒子通过质谱仪在胶片上留下三个痕迹。

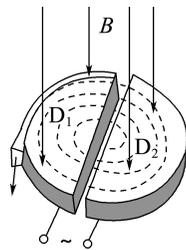
- (1)带电粒子1为氕。
- (2)带电粒子2为氘和氦。
- (3)带电粒子3为氚。

[判一判]

- 1.速度选择器既可以选择粒子的速度,也可以选择粒子的电性。 (×)
- 2.应用质谱仪可以测定带电粒子的比荷。 (√)
- 3.用同一个质谱仪能够把氕核(${}^1_1\text{H}$)与氦核(${}^4_2\text{He}$)区分开。 (×)

知识点三 回旋加速器

1.原理图(如图所示)。



- 2.回旋加速器的核心部分是D形盒。
- 3.粒子每经过一次加速,其轨迹半径就增大,但粒子做圆周运动的周期不变。
- 4.由 $qvB = \frac{mv^2}{R}$ 得 $v_m = \frac{qBR}{m}$ 。

[科学思维]

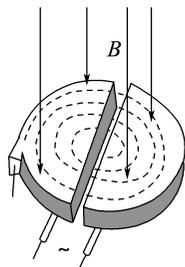
与带电粒子在回旋加速器中获得的最大动能有关的因素:

$$E_{km} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$$

粒子电荷量 ← 磁场的磁感应强度
 ← 轨迹半径
 ← 粒子质量

[做一做]

回旋加速器是加速带电粒子的装置,其主体部分是两个D形金属盒。两金属盒处在垂直于盒底的匀强磁场中,并分别与高频交流电源两极相连接,从而使粒子每次经过两盒间的狭缝时都得到加速,如图所示。现要增大带电粒子从回旋加速器射出时的动能,下列方法可行的是 ()



- A. 减小磁场的磁感应强度
- B. 减小狭缝间的距离
- C. 增大高频交流电压
- D. 增大金属盒的半径

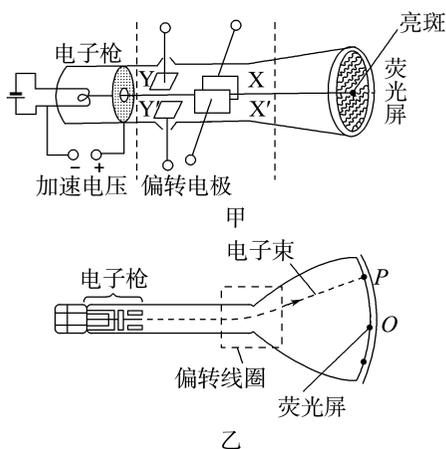
D 解析:带电粒子从D形金属盒中射出时的动能 $E_{km} = \frac{1}{2}mv_m^2$,带电粒子在磁场中做匀速圆周运动,则 $qv_m B = \frac{mv_m^2}{R}$,可得 $E_{km} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$,显然,当带电粒子 q, m 一定时,则 $E_{km} \propto R^2 B^2$,即 E_{km} 随磁场的磁感应强度 B 、D形金属盒的半径 R 的增大而增大,与加速电场的电压和狭缝距离无关,故选D。

任务型课堂

任务一 利用磁场控制带电粒子的运动

[探究活动]

图甲和图乙分别为示波管和显像管的结构图。正常工作时由二者的电子枪发射的电子束,经偏转电极(电场)和偏转线圈(磁场),电子束打在荧光屏上使荧光屏发光,不计电子的重力。



(1)在示波管中,电子垂直电场线进入匀强电场中,电子做何运动? 轨迹是怎样的?

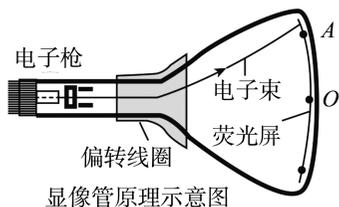
(2)在显像管中,电子垂直磁感线进入匀强磁场中,电子做何运动? 轨迹是怎样的?

提示:(1)电子做类平抛运动;轨迹是抛物线。

(2)电子做匀速圆周运动;轨迹是圆。

[评价活动]

1.电视机显像管应用了电子束磁偏转的原理。如图所示,电子束经电子枪加速后进入偏转磁场,然后打在荧光屏上产生亮点。没有磁场时,亮点在 O 点;加上磁场后,亮点的位置偏离 O 点。以下说法正确的是 ()



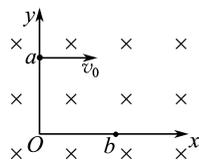
- A. 仅增大加速电压,亮点将远离 O 点
 B. 仅减小磁感应强度,亮点将远离 O 点
 C. 增大加速电压同时增大磁感应强度,亮点可能远离 O 点
 D. 增大加速电压同时减小磁感应强度,亮点可能远离 O 点

C 解析:电子在加速电场中加速,由动能定理有 $eU = \frac{1}{2}mv_0^2$,电子在偏转磁场中做匀速圆周运动,

洛伦兹力充当向心力,有 $eBv_0 = \frac{mv_0^2}{R}$,解得 $R =$

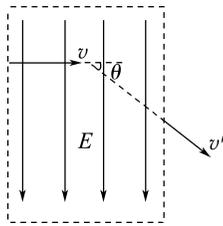
$\frac{mv_0}{eB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{e}}$, R 越大,亮点越靠近 O 点, R 越小,亮点越远离 O 点,仅增大加速电压、仅减小磁感应强度或增大加速电压同时减小磁感应强度,亮点均靠近 O 点,增大加速电压同时增大磁感应强度, R 可能增大,可能不变,可能减小,则亮点可能远离 O 点,故选项 C 正确。

- 2.如图所示,带电粒子以初速度 v_0 从 a 点垂直于 y 轴进入匀强磁场,运动中经过 b 点, $Oa = Ob$,若撤去磁场加一个与 y 轴平行的匀强电场,带电粒子仍以 v_0 从 a 点垂直于 y 轴进入电场,仍能通过 b 点,那么电场强度 E 与磁感应强度 B 之比 $\frac{E}{B}$ 为 (C)



- A. v_0 B. $\frac{1}{v_0}$ C. $2v_0$ D. $\frac{v_0}{2}$

- 3.如图所示,在宽 l 的范围内有方向如图所示的有界匀强电场,场强为 E ,一带电粒子以速度 v 垂直于电场方向和电场边界射入电场,不计重力,射出电场时,粒子速度方向偏转了 θ 角;去掉电场,改换方向垂直纸面向外的有界匀强磁场,此粒子若仍以速度 v 垂直射入磁场,它从磁场的另一侧射出时,也偏转了 θ 角。求此磁场的磁感应强度 B 的大小。



解析:粒子在电场中做类平抛运动,则运行的时间 $t = \frac{l}{v}$,加速度

$$a = \frac{qE}{m}, \text{ 则 } \tan \theta = \frac{at}{v} = \frac{qEl}{mv^2}$$

粒子在磁场中做匀速圆周运动,有

$$Bvq = m \frac{v^2}{R}$$

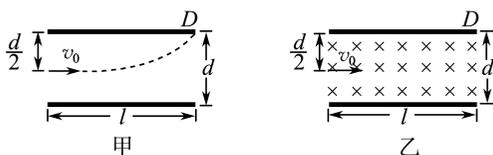
由图示几何关系,知 $\sin \theta = \frac{l}{R}$

联立以上各式,得 $B = \frac{E \cos \theta}{v}$ 。

答案: $\frac{E \cos \theta}{v}$

4. 有一平行板电容器, 内部为真空, 两个极板的间距为 d , 极板长为 l , 极板间有一匀强电场, 两极板间的电压为 U , 电子从极板左端的正中央以初速度 v_0 射入, 其方向平行于极板, 并打在极板边缘的 D 点, 如图甲所示。电子的电荷量用 e 表示, 质量用 m 表示, 重力不计。回答下列问题(结果用题中物理量表示):

- (1) 电子打到 D 点时的动能多大?
- (2) 电子的初速度 v_0 必须大于何值, 电子才能飞出极板?
- (3) 若极板间没有电场, 只有垂直纸面的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B , 电子从极板左端的正中央以平行于极板的初速度 v_0 射入, 如图乙所示, 则电子的初速度 v_0 为何值时, 电子才能飞出极板?



解析: (1) 设电子打到 D 点时的动能为 E_k , 由动能定理可得 $\frac{U}{2} \cdot e = E_k - \frac{1}{2}mv_0^2$

$$\text{解得 } E_k = \frac{1}{2}(Ue + mv_0^2).$$

(2) 电子在平行板电容器间做类平抛运动, 设其在竖直方向的加速度为 a , 在电场中的飞行时间为 t , 则由牛顿第二定律和平抛运动的规律可得

$$\frac{eU}{d} = ma \quad \frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2, \quad t = \frac{l}{v_0}$$

$$\text{联立解得 } v_0 = \frac{l}{d} \sqrt{\frac{Ue}{m}}$$

所以电子要飞出极板, 必有 $v_0 > \frac{l}{d} \sqrt{\frac{Ue}{m}}$ 。

(3) 在只有磁场的情况下电子要飞出两极板, 有两种情况。① 电子从左边飞出, 做半圆周运动, 其最大半径

$$r_1 = \frac{d}{4}$$

由牛顿第二定律和向心力公式可得 $ev_1B = m \frac{v_1^2}{r_1}$

$$\text{解得 } v_1 = \frac{eBd}{4m}$$

因此电子飞出极板的条件之一是 $v_0 < \frac{eBd}{4m}$ 。

② 电子从右边飞出, 做部分圆周运动, 其最小半径

$$r_2 \text{ 满足 } r_2^2 = l^2 + \left(r_2 - \frac{d}{2}\right)^2$$

$$\text{解得 } r_2 = \frac{4l^2 + d^2}{4d}$$

由牛顿第二定律和向心力公式可得 $ev_2B = m \frac{v_2^2}{r_2}$

$$\text{解得 } v_2 = \frac{(4l^2 + d^2)eB}{4dm}$$

电子飞出极板的另一条件是 $v_0 > \frac{(4l^2 + d^2)eB}{4dm}$ 。

$$\text{答案: (1) } \frac{1}{2}(Ue + mv_0^2) \quad (2) \frac{l}{d} \sqrt{\frac{Ue}{m}}$$

$$(3) v_0 < \frac{eBd}{4m} \text{ 或 } v_0 > \frac{(4l^2 + d^2)eB}{4dm}$$

任务总结

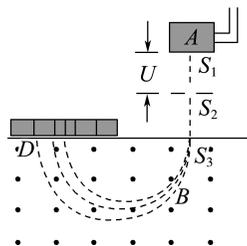
电偏转和磁偏转的对比

项目	匀强电场中偏转	匀强磁场中偏转
偏转条件	垂直电场线进入匀强电场(不计重力)	垂直磁感线进入匀强磁场(不计重力)
受力情况	电场力 $F = qE$ 的大小、方向都不变	洛伦兹力 $F_{洛} = qvB$ 的大小不变, 方向随 v 的方向的改变而改变
运动轨迹	抛物线	圆或圆的一部分
运动轨迹图		
求解方法处理	偏移量 y 和偏转角 φ 要通过类平抛运动的规律求解	偏转量 y 和偏转角 φ 要结合圆的几何关系, 通过对圆周运动的讨论求解
动能变化	动能增大	动能不变

任务二 对质谱仪的理解

[探究活动]

如图所示为质谱仪原理示意图。带电粒子从容器 A 下方的小孔 S_1 进入质谱仪后打在底片上。



(1) 速度相同、比荷不同的带电粒子打在质谱仪显示屏上的位置相同吗?

(2) 不同的带电粒子经同一电场加速, 再经同一

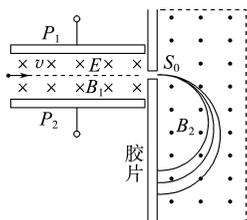
匀强磁场偏转后打在质谱仪显示屏上的位置相同吗?

提示:(1)位置不同。

(2)位置不同。

[评价活动]

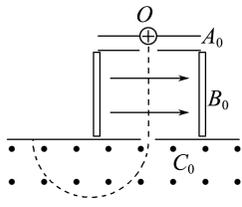
1.1922年英国物理学家和化学家阿斯顿因质谱仪的发明、同位素和质谱的研究荣获了诺贝尔化学奖。若速度相同的同一束粒子由左端射入质谱仪后的运动轨迹如图所示,则下列相关说法正确的是 ()



- A. 该束带电粒子带负电
 B. 速度选择器的 P_1 极板带负电
 C. 在 B_2 磁场中运动半径越大的粒子,比荷 $\frac{q}{m}$ 越小
 D. 在 B_2 磁场中运动半径越大的粒子,质量越大

C 解析:带电粒子在右侧磁场中向下偏转,磁场的方向垂直纸面向外,根据左手定则可知,该粒子带正电,故选项 A 错误;在平行金属板间,根据左手定则可知,带电粒子所受的洛伦兹力方向竖直向上,则电场力的方向竖直向下,知电场强度的方向竖直向下,所以速度选择器的 P_1 极板带正电,故选项 B 错误;进入 B_2 磁场中的粒子速度是一定的,根据 $qvB = \frac{mv^2}{R}$ 得 $R = \frac{mv}{qB}$,知 R 越大,比荷 $\frac{q}{m}$ 越小,而质量 m 不一定大,故选项 C 正确, D 错误。

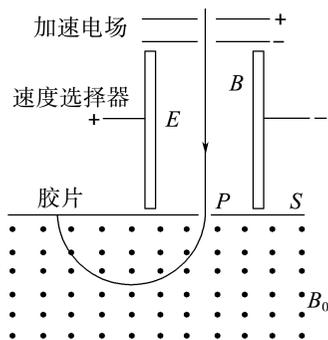
2.(多选)某一含有速度选择器的质谱仪原理如图所示, A_0 为粒子加速器, B_0 为速度选择器, C_0 为偏转分离器。磁场与电场正交,磁感应强度为 B ,速度选择器两极板间电压为 U ,板间距为 d 。现有比荷为 k 的带正电粒子(重力不计),从 O 点由静止开始经加速后沿直线通过速度选择器,粒子进入偏转分离器后做圆周运动的半径为 R ,则下列说法正确的是 ()



- A. 粒子加速器加速后的速度为 $\frac{U}{Bd}$
 B. 粒子加速器的加速电压为 $\frac{kU^2}{2B^2d^2}$
 C. 偏转分离器内的磁感应强度大小为 $\frac{U}{kRBd}$
 D. 此装置可将氦核和氦核组成的粒子束分离开

AC 解析:粒子在速度选择器 B_0 中做直线运动,受力平衡,则有 $qvB = q\frac{U}{d}$,解得粒子经加速器加速后的速度 $v = \frac{U}{Bd}$,故 A 正确;粒子在加速器 A_0 中运动时,由动能定理得 $qU' = \frac{1}{2}mv^2$,解得粒子加速器的加速电压 $U' = \frac{U^2}{2kB^2d^2}$,故 B 错误;粒子在偏转分离器中做匀速圆周运动,由牛顿第二定律得 $qvB' = ma = m\frac{v^2}{R}$,解得偏转分离器内的磁感应强度 $B' = \frac{U}{kRBd}$,故 C 正确;由上述分析可知,因为氦核和氦核的比荷相同,故该装置无法将二者组成的粒子束分离开,故 D 错误。

3.如图所示是质谱仪的工作原理示意图。带电粒子被加速电场加速后,进入速度选择器,速度选择器内存在相互正交的匀强磁场和匀强电场,匀强磁场的磁感应强度为 B ,匀强电场的电场强度为 E 。平板 S 上有可让粒子通过的狭缝 P 和记录粒子位置的胶片;平板 S 下方有磁感应强度为 B_0 的匀强磁场。下列表述不正确的是 ()



- A. 质谱仪是分析同位素的重要工具
 B. 速度选择器中的磁场方向垂直纸面向外
 C. 能通过狭缝 P 的带电粒子的速率等于 $\frac{E}{B}$
 D. 粒子打在胶片上的位置越靠近狭缝 P ,粒子的比荷越小
- D 解析:**因同位素原子的化学性质完全相同,无法用化学方法进行分析,故质谱仪就成为同位素分析的重要工具,选项 A 正确;在速度选择器中,带电粒子所受电场力和洛伦兹力在粒子沿直线运动时应等大反向,结合左手定则可知,选项 B 正确;由 $qE = qvB$,有 $v = \frac{E}{B}$,选项 C 正确;在磁感应强度为 B_0 的匀强磁场中 $R = \frac{mv}{qB_0}$,所以 $\frac{q}{m} = \frac{v}{B_0R}$,比荷与 R 成反比,选项 D 错误。

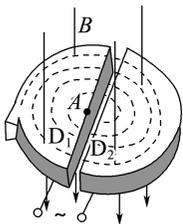
任务总结

1. 速度选择器只选择粒子的速度(大小和方向)而不选择粒子的质量、电荷量和电性,即与粒子的质量、电荷量和电性无关。
2. 从 S_1 与 S_2 之间得以加速的粒子的电性是固定的,因此进入偏转磁场空间的粒子的电性也是固定的。
3. 打在底片上同一位置的粒子,只能判断其 $\frac{q}{m}$ 是相同的,不能确定其质量或电量一定相同。

任务三 对回旋加速器工作原理的理解

[探究活动]

如图所示,回旋加速器的核心部分是两个 D 形金属盒,两盒之间留下一个窄缝,在中心附近放有粒子源, D 形盒在真空容器中,整个装置放在巨大的匀强磁场中,并把两个 D 形盒分别接在高频交变电源的两极上。



(1) 回旋加速器中磁场和电场分别起什么作用?

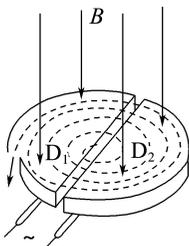
(2) 交变电场的周期改变是否要求越来越快,以便能使粒子在缝隙处刚好被加速?

提示: (1) 磁场的作用是使带电粒子回旋,电场的作用是使带电粒子加速。

(2) 交变电场的周期应等于带电粒子在磁场中运动的周期,是不变的,和粒子运动速度无关。

[评价活动]

1. (多选) 1931 年劳伦斯制成了世界上第一台回旋加速器,其原理如图所示,这台加速器由两个铜质 D 形盒 D_1 、 D_2 构成,其间留有空隙。下列说法正确的是 ()

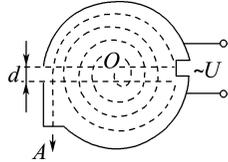


- A. 离子由加速器的中心附近进入加速器
- B. 离子由加速器的边缘进入加速器
- C. 离子从磁场中获得能量
- D. 离子从电场中获得能量

AD 解析: 回旋加速器的原理是带电粒子在电场中加速,在磁场中偏转,每转半周加速一次,因此其轨道半径越来越大。粒子是从加速器的中心附近进入加速器的,最后是从加速器的最外边缘引出的,故 A 正确, B 错误。由于洛伦兹力并不做功,而粒子通过电场时,有 $qU = \Delta E_k$, 故粒子是从电场中

获得能量,故 C 错误, D 正确。

2. (多选) 如图所示,回旋加速器 D 形盒的半径为 R , 用来加速质量为 m 、电荷量为 q 的质子,质子每次经过电场区时,都恰好在电压为 U 时被加速,且电场可视为匀强电场,使质子由静止加速到能量为 E 后,由 A 孔射出。下列说法正确的是 ()



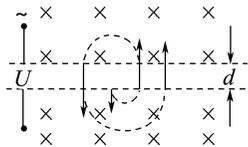
- A. D 形盒半径 R 、磁感应强度 B 均不变,若加速电压 U 越高,质子的能量 E 将越大
- B. 磁感应强度 B 不变,若加速电压 U 不变, D 形盒半径 R 越大,质子的能量 E 将越大
- C. D 形盒半径 R 、磁感应强度 B 均不变,若加速电压 U 越高,质子在加速器中的运动时间将越长
- D. D 形盒半径 R 、磁感应强度 B 均不变,若加速电压 U 越高,质子在加速器中的运动时间将越短

BD 解析: 由 $qvB = m\frac{v^2}{R}$ 得, $v = \frac{qRB}{m}$, 则最大动能

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{q^2B^2R^2}{2m},$$

知最大动能与加速器的半径、磁感应强度以及电荷的电荷量和质量有关,与加速电压无关,故 A 错误, B 正确;由动能定理得 $\Delta E_k = qU$, 加速电压越大,每次获得的动能越大,而最终的最大动能与加速电压无关,是一定的,故加速电压越大,加速次数越少,加速时间越短,故 C 错误, D 正确。

3. 回旋加速器是用于加速带电粒子流,使之获得很大动能的仪器,其核心部分是两个 D 形金属扁盒,两盒分别和一高频交流电源两极相接,以便在盒间狭缝中形成匀强电场,使粒子每穿过狭缝都能得到加速。两盒放在匀强磁场中,磁场方向垂直于盒底面,粒子源置于盒的圆心附近。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_m , 其运动轨迹如图所示,问:



- (1) 粒子在盒内做何种运动?
- (2) 粒子在两盒间狭缝内做何种运动?
- (3) 所加高频交变电源频率为多大? 粒子运动角速度为多大?
- (4) 粒子离开加速器时速度为多大?

解析: (1) D 形盒由金属导体制成,可屏蔽外电场,因而盒内无电场,盒内存在垂直盒面的磁场,故粒

子在盒内磁场中做匀速圆周运动。

(2) 两盒间狭缝内存在匀强电场,且粒子速度方向与电场方向相同,故粒子做匀加速直线运动。

(3) 粒子在电场中运动时间极短,高频交变电源频率要符合粒子回旋频率 $f = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$;

角速度 $\omega = 2\pi f = \frac{qB}{m}$ 。

(4) 粒子最大回旋半径为 R_m , $R_m = \frac{mv_m}{qB}$, 则

$v_m = \frac{qBR_m}{m}$ 。

答案:(1) 匀速圆周运动 (2) 匀加速直线运动

(3) $\frac{qB}{2\pi m}$ $\frac{qB}{m}$ (4) $\frac{qBR_m}{m}$

任务总结

解决带电粒子在回旋加速器中运动问题的几点注意

(1) 电场、磁场的作用: 电场加速, 磁场回旋(匀速圆周运动)。

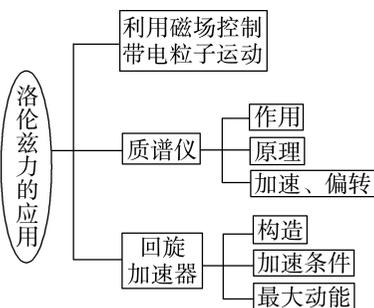
(2) 始终加速的条件: $T_{电} = T_{磁} = \frac{2\pi m}{qB}$ 。

(3) 最大动能: $E_{km} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$, 由磁感应强度 B 、盒半径 R 以及粒子的电荷量和质量共同决定。

(4) 粒子被加速的次数: 由 $nqU = \frac{1}{2}mv_m^2$ 得加速的

次数 $n = \frac{mv_m^2}{2qU} = \frac{qB^2 R^2}{2mU}$ (U 是加速电压的大小)。

提质归纳

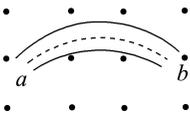


课后素养评价(四) 洛伦兹力的应用

基础性·能力运用

知识点 1 利用磁场控制带电粒子的运动

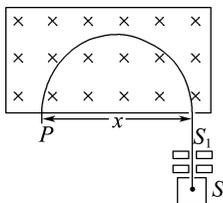
1. 如图所示, ab 是一弯管, 其中心线是半径为 R 的一段圆弧, 将它置于一给定的匀强磁场中, 磁场方向垂直于圆弧所在平面, 并且指向纸外。有一束粒子对准 a 端中心射入弯管, 粒子有不同的质量、不同的速度, 但都是一价正离子, 不计重力, 则 (C)



- A. 只有速度 v 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管
 B. 只有质量 m 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管
 C. 只有质量 m 与速度 v 的乘积大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管
 D. 只有动能 E_k 大小一定的粒子可以沿中心线通过弯管

知识点 2 质谱仪

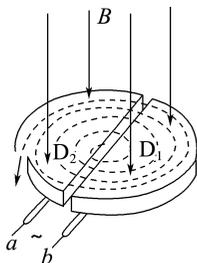
2. (多选) 质谱仪的构造原理如图所示, 从粒子源 S 射出时的粒子速度很小, 可以看作初速度为零, 粒子经过电场加速后进入有界的垂直纸面向里的匀强磁场区域, 并沿着半圆周运动而到达照相底片上的 P 点, 测得 P 点到入口的距离为 x , 则以下说法正确的是 (AC)



- A. 粒子一定带正电
 B. 粒子一定带负电
 C. x 越大, 则粒子的质量与电荷量之比一定越大
 D. x 越大, 则粒子的质量与电荷量之比一定越小

知识点 3 对回旋加速器的理解

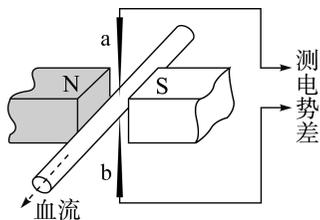
3. 如图所示, 回旋加速器是加速带电粒子的装置, 其主体部分是两个 D 形金属盒。两金属盒处在垂直于盒面的匀强磁场中, a 、 b 分别与高频交变电源两极相连接。下列说法正确的是 (C)



- A. 带电粒子从磁场中获得能量
- B. 带电粒子的运动周期是变化的
- C. 带电粒子由加速器的中心附近进入加速器
- D. 增大金属盒的半径,带电粒子射出时的最大动能不变

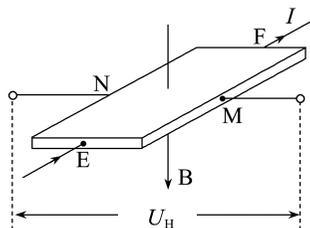
知识点 4 其他电磁仪器

4. 医生做某些特殊手术时,利用电磁流量计来监测通过动脉的血流速度。电磁流量计由一对电极 a 和 b 以及一对磁体 N 和 S 构成,磁体间的磁场是均匀的。使用时,两电极 a 、 b 均与血管壁接触,两触点的连线、磁场方向和血流速度方向两两垂直,如图所示。由于血液中的正、负离子随血流一起在磁场中运动,电极 a 、 b 之间会有微小电势差。在达到平衡时,血管内部的电场可看成匀强电场,血液中的离子所受的电场力和洛伦兹力的合力为零。在某次监测中,两触点间的距离为 3.0 mm ,血管壁的厚度可忽略,两触点间的电势差为 $160\text{ }\mu\text{V}$,磁感应强度的大小为 0.040 T ,则血流速度的近似值和电极 a 、 b 的正负分别为 (A)



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

5. 如图所示,在一个很小的矩形半导体薄片上,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 。下列关于霍尔电压大小的说法正确的是 ()

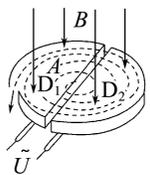


- A. B 越大则 U_H 越大,与 I 的大小无关
- B. I 越大则 U_H 越大,与 B 的大小无关
- C. 在电流 I 、磁场 B 一定时,薄片的厚度越大,则 U_H 越大
- D. 在电流 I 、磁场 B 一定时,薄片的厚度越大,则 U_H 越小

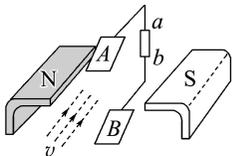
D 解析:设 M 、 N 间距离为 d ,薄片的厚度为 x ,当达到稳定状态,载流子受力平衡,满足 $q\frac{U_H}{d} = qvB$,又有电流的微观表达式 $I = nqvS = nqv \cdot dx$,联立可得 $U_H = \frac{BI}{nqx}$,与 B 、 I 均有关系, A、B 错误;由上述分析可知,在电流 I 、磁场 B 一定时,薄片的厚度 x 越大,则 U_H 越小, C 错误, D 正确。

综合性 · 创新提升

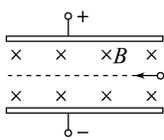
6. 关于下列四幅图的说法正确的是 ()



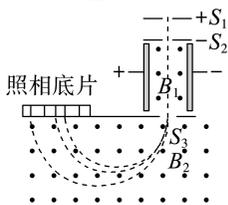
甲



乙



丙



丁

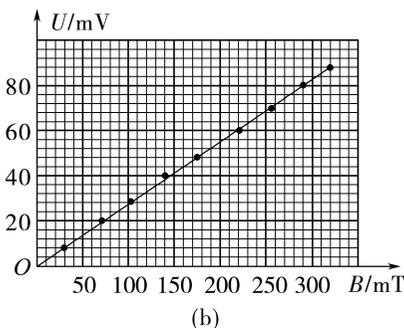
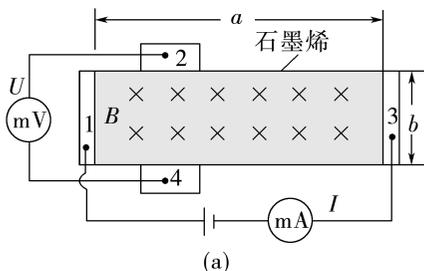
- A. 图甲是用来加速带电粒子的回旋加速器的示意图,要想粒子获得的最大动能增大,可增大电压 U
- B. 图乙是磁流体发电机的结构示意图,可以判断出通过外电阻的电流方向从 b 到 a

- C. 图丙是速度选择器的示意图,带电粒子(不计重力)能够沿直线从右侧进入并匀速通过速度选择器的条件是 $Eq = qvB$,即 $v = \frac{E}{B}$
- D. 图丁是质谱仪的结构示意图,粒子打在底片上的位置越靠近狭缝 S_3 说明粒子的比荷越小

B 解析:题图甲中,根据 $qvB = \frac{mv^2}{r}$ 可知, $v = \frac{qBr}{m}$,粒子获得的最大动能为 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\left(\frac{qBr}{m}\right)^2 = \frac{q^2B^2r^2}{2m}$,所以要想粒子获得的最大动能增大,可增加 D 形盒的半径 r 和增大磁感应强度 B ,增大电压 U 不能增大最大动能,故 A 错误;题图乙中根据左手定则,正电荷向下偏转,所以 B 极板带正电,为发电机的正极, A 极板是发电机的负极,通过外电阻的电流方向从 b 到 a ,故 B 正确;题图丙中,假如带正电的粒子从右向左运动通过复合场时,电场力竖

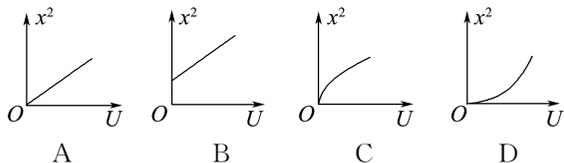
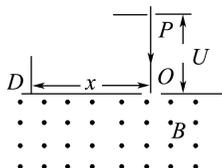
直向下,根据左手定则,洛伦兹力方向也向下,所以不可能沿直线通过复合场,故 C 错误;题图丁中,由 $qvB = m\frac{v^2}{R}$,可得 $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$,粒子打在底片上的位置越靠近狭缝 S_3 ,则 R 越小,说明比荷越大,故 D 错误。

7. (2024·江西卷) 石墨烯是一种由碳原子组成的单层二维蜂窝状晶格结构的材料,具有丰富的电学性能。现设计一电路测量某二维石墨烯样品的载流子(电子)浓度。如图(a)所示,在长为 a , 宽为 b 的石墨烯表面加一垂直向里的匀强磁场,磁感应强度为 B , 电极 1、3 间通以恒定电流 I , 电极 2、4 间将产生电压 U 。当 $I = 1.00 \times 10^{-3}$ A 时,测得 U - B 关系图线如图(b)所示。已知元电荷 $e = 1.60 \times 10^{-19}$ C, 则此样品每平方米载流子数最接近 (D)



- A. 1.7×10^{19} B. 1.7×10^{15}
C. 2.3×10^{20} D. 2.3×10^{16}

8. 质谱仪主要由加速电场和偏转磁场组成,其原理如图所示。设想有一个静止的带电粒子 P (不计重力), 经电压为 U 的电场加速后, 从 O 点垂直进入磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 最后打到底片上的 D 点。设 $OD = x$, 则图中能正确反映 x^2 与 U 之间函数关系的是 ()

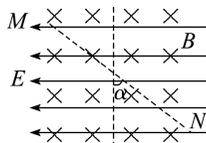


A 解析: 根据动能定理 $qU = \frac{1}{2}mv^2$ 得 $v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ 。

粒子在磁场中偏转,洛伦兹力提供向心力 $qvB = m\frac{v^2}{R}$, 则 $R = \frac{mv}{qB}$, 又 $x = 2R$, 联立以上各式得 $x =$

$\frac{2}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$, 知 $x^2 \propto U$, 故 A 正确, B、C、D 错误。

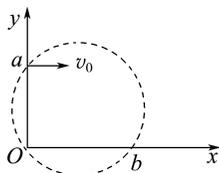
9. (多选) 地面附近空间中存在着水平方向的匀强电场和匀强磁场。已知磁场方向垂直纸面向里, 一个带电油滴沿着一条与竖直方向成 α 角的直线 MN 运动, 如图所示, 由此可以判断 ()



- A. 油滴一定做匀速运动
B. 油滴一定做匀变速运动
C. 油滴带正电, 它是从 M 点运动到 N 点
D. 油滴带负电, 它是从 N 点运动到 M 点

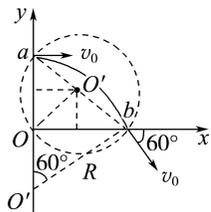
AC 解析: 油滴做直线运动, 受重力、静电力和洛伦兹力作用, 因为重力和静电力均为恒力, 可知油滴所受洛伦兹力不变, 油滴必定做匀速直线运动, 故 A 正确, B 错误。根据做匀速直线运动的条件和受力情况, 由左手定则可知, 油滴只有带正电时受力才能平衡, 且油滴的速度方向为从 M 点到 N 点, 故 C 正确, D 错误。

10. (多选) 如图所示, 在平面直角坐标系中有一个垂直纸面向里的圆形匀强磁场, 其边界过原点 O 和 y 轴上的点 $a(0, L)$ 。一质量为 m 、电荷量为 e 的电子从 a 点以初速度 v_0 平行于 x 轴正方向射入磁场, 并从 x 轴上的 b 点射出磁场, 此时速度的方向与 x 轴正方向的夹角为 60° 。下列说法正确的是 ()



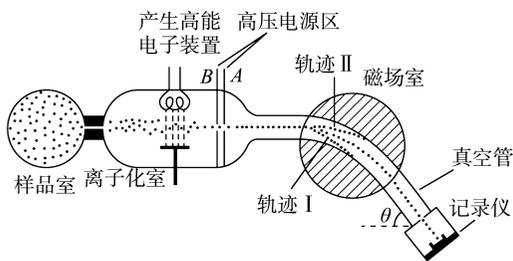
- A. 电子在磁场中运动的时间为 $\frac{\pi L}{v_0}$
B. 电子在磁场中运动的时间为 $\frac{2\pi L}{3v_0}$
C. 磁场区域的圆心坐标为 $(\frac{\sqrt{3}}{2}L, \frac{L}{2})$
D. 电子在磁场中做圆周运动的圆心坐标为 $(0, -2L)$

BC 解析: 设电子的轨迹半径为 R , 由几何知识, $R \sin 30^\circ = R - L$, 得 $R = 2L$, 电子在磁场中运动时间 $t = \frac{T}{6}$, 而 $T = \frac{2\pi R}{v_0}$,



得 $t = \frac{2\pi L}{3v_0}$, A 错误, B 正确; 设磁场区域的圆心坐标为 (x, y) , 其中 $x = \frac{1}{2}R \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}L, y = \frac{L}{2}$, 所以磁场圆心坐标为 $(\frac{\sqrt{3}}{2}L, \frac{L}{2})$, 故 C 正确; 因为 $R = 2L$, 所以电子做圆周运动的圆心坐标为 $(0, -L)$, 故 D 错误。

11. (多选) 质谱仪可以测定有机化合物的分子结构, 其过程可简化为如图所示。样品室现有某有机物气体分子在离子化室碎裂成带正电、初速度为 0 的离子, 再经过高压电源区、圆形磁场室(内为匀强磁场)、真空管, 最后打在记录仪上, 通过测量可测出离子比荷, 从而推测有机物的分子结构。已知高压电源的电压为 U , 圆形磁场区的半径为 R , 磁场室内部的磁感应强度大小为 B , 真空管与水平面夹角为 θ , 离子进入磁场室时速度方向指向圆心。下列说法正确的是 ()



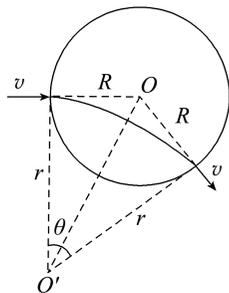
- A. 高压电源 A 端接电源的正极
- B. 磁场室内磁场方向为垂直纸面向外
- C. 磁场室内两同位素的运动轨迹分别为轨迹 I 和 II, 则轨迹 I 的同位素质量较大
- D. 记录仪接收到的信号对应的离子比荷为

$$\frac{q}{m} = \frac{2U \tan^2 \frac{\theta}{2}}{B^2 R^2}$$

BD 解析: 正离子在电场中加速, 可以判断高压电源 A 端应接负极, 同时根据左手定则知, 磁场室的磁场方向应垂直纸面向外, A 错误, B 正确; 设离子通过高压电源后的速度为 v , 由动能定理可得

$$qU = \frac{1}{2}mv^2, \text{ 离子在磁场中偏转, 则 } qvB = m \frac{v^2}{r},$$

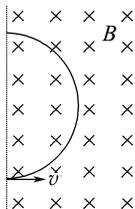
联立得出 $r = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$, 由此可见, 质量大的离子的运动轨迹半径大, 则轨迹 II 的同位素质量较大, C 错误; 离子在磁场中偏转轨迹如图所示:



由几何关系可知 $r = \frac{R}{\tan \frac{\theta}{2}}$, 可解得 $\frac{q}{m} =$

$$\frac{2U \tan^2 \frac{\theta}{2}}{B^2 R^2}, \text{ D 正确。}$$

12. 如图所示, 质量为 m 、电荷量为 $+q$ 的带电粒子, 以初速度 v 沿垂直磁场方向射入磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场, 在磁场中做匀速圆周运动。不计带电粒子所受重力。



- (1) 求粒子做匀速圆周运动的半径 R 和周期 T 。
- (2) 为使该粒子做匀速直线运动, 还需要同时存在一个与磁场方向垂直的匀强电场, 求电场强度 E 。

解析: (1) 粒子做匀速圆周运动, 洛伦兹力提供向心力, 有 $F_{洛} = qvB = m \frac{v^2}{R}$

解得粒子做匀速圆周运动的半径 $R = \frac{mv}{qB}$

粒子做匀速圆周运动的周期

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}.$$

(2) 粒子受电场力 $F = qE$

洛伦兹力 $F_{洛} = qvB$

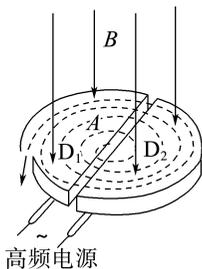
粒子做匀速直线运动, 由二力平衡可知

$$qE = qvB$$

解得电场强度的大小 $E = vB$, 方向竖直向下。

答案: (1) $\frac{mv}{qB}, \frac{2\pi m}{qB}$ (2) vB , 方向竖直向下

13. 如图所示为回旋加速器的示意图。它由两个铝制 D 形金属扁盒组成, 两个 D 形盒正中间开有一条狭缝, 两个 D 形盒处在匀强磁场中并接在高频交流电源上。在 D_1 盒中心 A 处有一粒子源, 它产生并发出的 α 粒子经狭缝电压加速后, 进入 D_2 盒中, 在磁场力的作用下运动半个圆周后, 再次经狭缝电压加速。为保证粒子每次经过狭缝都被加速, 设法使交变电压的周期与粒子在狭缝及磁场中运动的周期一致。如此周而复始, 速度越来越大, 运动半径也越来越大, 最后到达 D 形盒的边缘, 以最大速度被引出。已知 α 粒子电荷量为 q , 质量为 m , 加速时电极间电压大小恒为 U , 磁场的磁感应强度为 B , D 形盒的半径为 R , 设狭缝很窄, 粒子通过狭缝的时间可以忽略不计, 且 α 粒子从粒子源发出时的初速度为零。不计 α 粒子重力。求:



- (1) α 粒子第 1 次由 D_1 盒进入 D_2 盒中时的速度大小;
- (2) α 粒子被加速后获得的最大动能 E_k ;
- (3) 符合条件的交变电压的周期 T ;
- (4) 粒子仍在盒中活动过程中, α 粒子在第 n 次进入 D_2 盒的位置与紧接着第 $n+1$ 次进入 D_2 盒的位置之间的距离 Δx 。

解析: (1) 设 α 粒子第一次被加速后进入 D_2 盒中时的速度大小为 v_1 , 根据动能定理有

$$qU = \frac{1}{2}mv_1^2$$

$$\text{解得 } v_1 = \sqrt{\frac{2qU}{m}}.$$

(2) α 粒子在 D 形盒内做圆周运动, 轨道半径达到最大时被引出, 具有最大动能。设此时的速度为 v , 有

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

$$\text{解得 } v = \frac{qBR}{m}$$

设 α 粒子的最大动能为 E_k , 则 $E_k = \frac{1}{2}mv^2$

$$\text{解得 } E_k = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}.$$

(3) 为保证粒子每次经过狭缝都被加速, 带电粒子在磁场中运动一周的时间应等于交变电压的周期 (在狭缝的时间极短, 忽略不计), 则交变电压的周期

$$T = \frac{2\pi r}{v} = \frac{2\pi m}{Bq}.$$

(4) 离子经电场第 1 次加速后, 以速度 v_1 进入 D_2 盒, 设轨道半径为 r_1 , 则 $r_1 = \frac{mv_1}{qB} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2mU}{q}}$

离子经电场第 2 次加速后, 以速度 v_2 进入 D_1 盒, 设轨道半径为 r_2 , 则 $r_2 = \frac{mv_2}{qB} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2 \times 2mU}{q}}$

离子第 n 次进入 D_2 盒, 离子已经过电场 $(2n-1)$ 次加速, 以速度 v_{2n-1} 进入 D_2 盒, 由动能定理得

$$(2n-1)Uq = \frac{1}{2}mv_{2n-1}^2$$

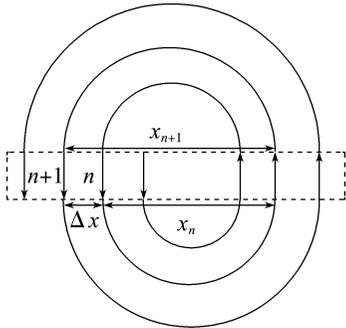
$$\text{轨道半径 } r_{2n-1} = \frac{mv_{2n-1}}{qB} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{(2n-1) \times 2mU}{q}}$$

离子第 $n+1$ 次进入 D_2 盒, 离子已经过 $(2n+1)$ 次电场加速, 以速度 v_{2n+1} 进入 D_2 盒, 但由图分析可知, 进入 D_2 盒前的轨迹半径只与前 $2n$ 次加速有关, 所以由动能定理得

$$2nUq = \frac{1}{2}mv_{2n}^2$$

$$\text{轨道半径 } r_{2n} = \frac{mv_{2n}}{qB} = \frac{1}{B}\sqrt{\frac{2n \cdot 2mU}{q}}$$

则 $\Delta x = 2(r_{2n} - r_{2n-1})$ (如图所示)



$$\text{解得 } \Delta x = \frac{2}{B}\sqrt{\frac{2Um}{q}} (\sqrt{2n} - \sqrt{2n-1}).$$

$$\text{答案: (1) } \sqrt{\frac{2qU}{m}} \quad (2) \frac{q^2 B^2 R^2}{2m} \quad (3) \frac{2\pi m}{Bq}$$

$$(4) \frac{2}{B}\sqrt{\frac{2Um}{q}} (\sqrt{2n} - \sqrt{2n-1})$$

习题课(二)

任务一 带电粒子在磁场中运动的多解问题

「任务驱动」

一质量为 m 、电荷量为 q 的粒子(重力不计),以某一速度 v 垂直进入方向垂直于纸面、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。

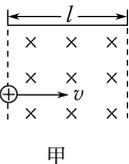
问题 1: 由于带电粒子的电性不确定,粒子的运动情况存在几种可能?

提示: 电性分正电、负电,不同电性的粒子受力方向不同,运动轨迹不同,粒子的运动情况存在两种可能。

问题 2: 由于磁场方向不确定,粒子的运动情况存在几种可能?

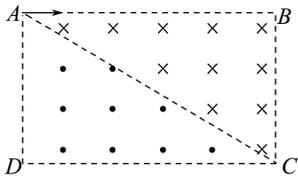
提示: 磁场方向垂直于纸面,可能向里也可能向外,粒子的运动情况存在两种可能。

问题 3: 如图甲所示,磁场中有一长度为 l 的极板,极板正下方存在一有界匀强磁场,带电粒子可能从不同位置射出磁场,带电粒子不打在极板上的临界情况有几种可能?



提示: 带电粒子速度较小时能从极板左侧飞出磁场,速度较大时能从极板右侧飞出磁场,临界情况有两种。

问题 4: 带电粒子在匀强磁场中运动的周期性也可能导致多解问题。如图乙所示,矩形 $ABCD$ 的对角线 AC 将矩形区域分成两部分,两部分区域内存在磁感应强度大小相等、方向相反的匀强磁场。某电子沿 AB 边从 A 点射入,从 C 点射出。电子的运动轨迹有多少种可能?



提示: 根据电子运动的周期性可知,有无数种可能。

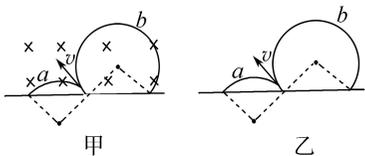
「知识链接」

导致带电粒子在磁场中运动出现多解问题的原因

(1) 带电粒子的电性不确定形成多解

受洛伦兹力作用的带电粒子,可能带正电,也可能

带负电,在相同的初速度的条件下,正、负粒子在磁场中运动轨迹不同,形成多解。如图甲所示,带电粒子以速度 v 垂直进入匀强磁场。若粒子带正电,其轨迹为 a ;若粒子带负电,其轨迹为 b 。

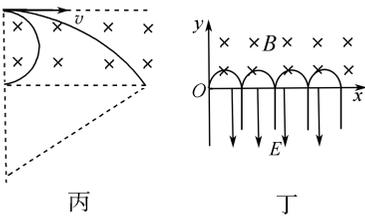


(2) 磁场方向不确定形成多解

有些题目,只告诉磁感应强度的大小,而未具体指出磁感应强度的方向,此时必须考虑磁感应强度方向不确定而形成的多解。如图乙所示,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 。

(3) 临界状态不唯一形成多解

带电粒子在洛伦兹力作用下飞越有界磁场时,由于粒子的运动轨迹呈圆弧状,因此它可能穿过去了,也可能转过 180° 从入射界面反向飞出,如图丙所示,于是形成了多解。

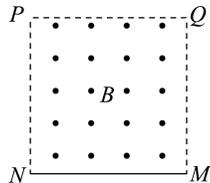


(4) 运动的往复性形成多解

带电粒子在部分是电场、部分是磁场的空间内运动时,运动往往具有往复性,从而形成多解,如图丁所示。

「任务达标」

1. (多选) 如图所示,在边长为 l 的正方形 $PQMN$ 区域内存在垂直纸面向外、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场,在 MN 边界放一刚性挡板,粒子碰到挡板后能够以原速率弹回。一质量为 m 、电荷量为 q 的粒子以某一速度从 P 点射入,恰好从 Q 点射出。下列说法正确的是 (CD)



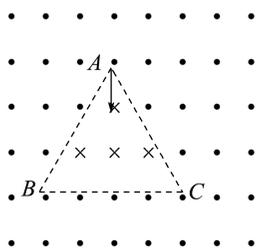
- A. 带电粒子一定带负电荷
B. 带电粒子的速度最小值为 $\frac{qBl}{4m}$

C. 若带电粒子与挡板碰撞,则受到挡板作用力的冲量大小为 $\frac{5qBl}{2}$

D. 带电粒子在磁场中的运动时间可能为 $\frac{\pi m}{3qB}$

2. (多选) 如图所示, 两方向相反、磁感应强度大小均为 B 的匀强磁场被边长为 l 的等边三角形 ABC 边界分开, 三角形内磁场方向垂直纸面向里, 三角形外磁场方向垂直纸面向外, 三角形顶点 A 处有一质子源, 能沿 $\angle BAC$ 的角平分线发射速度不同的质子(质子重力不计), 所有质子均能通过 C 点, 质子比荷 $\frac{q}{m} = \frac{1}{k}$, 则质子的速度可能为

(ABD)



A. $\frac{Bl}{k}$ B. $\frac{Bl}{2k}$ C. $\frac{2Bl}{3k}$ D. $\frac{Bl}{8k}$

3. 如图所示, 垂直纸面向里的磁场的宽度为 l , 竖直方向足够长, 磁感应强度为 B , 一电性未知的带电粒子, 其质量为 m 、电荷量为 q , 以与磁场左边界成 α 角的速度射入磁场, 为不让其从右边界飞出, 求该带电粒子的速度大小范围(不计粒子重力)。

解析: 当粒子带负电时, 为不让其从右边界飞出, 则轨迹与右边界相切, 从入射点下方射出, 此时有最大速度 v_m , 轨迹如图甲所示, 由几何关系得 $r \cos \alpha + r = l$

由洛伦兹力提供向心力, 得 $qv_m B = m \frac{v_m^2}{r}$

联立解得 $v_m = \frac{qBl}{m(1+\cos \alpha)}$

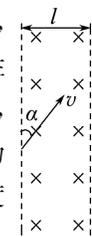
若粒子带正电, 则带电粒子的速度大小范围为

$$0 < v \leq \frac{qBl}{m(1+\cos \alpha)}$$

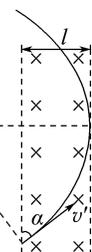
当粒子带正电时, 为不让其从右边界飞出, 则轨迹与右边界相切, 从射入点上方射出, 此时有最大速度 v'_m , 轨迹如图乙所示, 由几何关系得 $r' - l = r' \cos \alpha$

由洛伦兹力提供向心力, 得

$$qv'_m B = m \frac{v'^2_m}{r'}$$



甲



乙

$$\text{联立解得 } v'_m = \frac{qBl}{m(1-\cos \alpha)}$$

若粒子带正电, 则带电粒子的速度大小范围为

$$0 < v' \leq \frac{qBl}{m(1-\cos \alpha)}$$

答案: 若粒子带负电, $0 < v \leq \frac{qBl}{m(1+\cos \alpha)}$; 若粒子

带正电, $0 < v' \leq \frac{qBl}{m(1-\cos \alpha)}$

任务二 带电粒子在组合场中的运动

「任务驱动」

问题 1: 带电粒子在匀强电场中常见的运动形式有哪些? 常用的处理方法分别是什么?

提示: 匀加速直线运动(加速电场), 一般用动能定理或运动学公式处理; 类平抛运动(偏转电场), 一般用运动的合成和分解来处理。

问题 2: 带电粒子在匀强磁场中常见的运动形式是什么?

提示: 当带电粒子以垂直于磁场方向的速度进入匀强磁场时, 洛伦兹力提供向心力, 粒子做匀速圆周运动。

「知识链接」

1. 组合场

电场与磁场各位于一定的区域内, 并不重叠, 或在同一区域, 电场、磁场交替出现(交变场)。

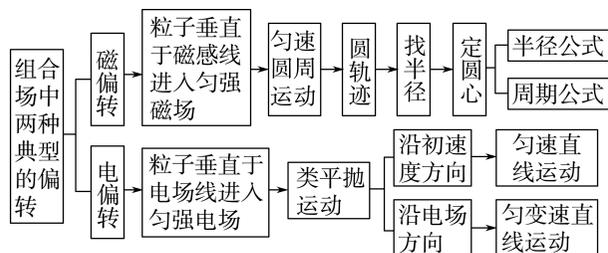
2. 带电粒子在组合场中运动的分析思路

(1) 按照时间顺序, 把粒子进入不同区域的过程分成几个不同的阶段。

(2) 进行受力和运动分析, 注意分析粒子在不同区域分界处的关联物理量。

(3) 根据运动物理规律列式求解。

3. 组合场中两种典型的偏转



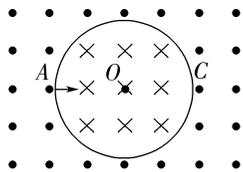
「任务达标」

1. 质子和 α 粒子从同一点由静止出发, 经过相同的匀强加速电场后, 垂直进入同一匀强磁场中做匀速圆周运动。不考虑质子与 α 粒子间的相互作用, 则质子与 α 粒子在磁场中做圆周运动的半径之比和周

期之比分别为 (B)

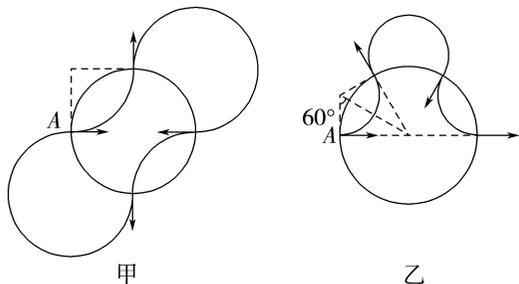
- A. $1:2, 1:2$ B. $1:\sqrt{2}, 1:2$
 C. $1:\sqrt{2}, 1:\sqrt{2}$ D. $1:2, 1:\sqrt{2}$

2. (2024·湖北卷) 如图所示, 在以 O 点为圆心、半径为 R 的圆形区域内有垂直于纸面向里的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B 。圆形区域外有大小相等、方向相反、范围足够大的匀强磁场。一质量为 m 、电荷量为 q ($q > 0$) 的带电粒子沿直径 AC 方向从 A 点射入圆形区域。不计重力, 下列说法正确的是 ()



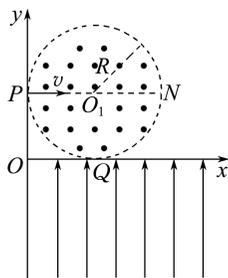
- A. 粒子的运动轨迹可能经过 O 点
 B. 粒子射出圆形区域时的速度方向不一定沿射出点的半径方向
 C. 粒子连续两次由 A 点沿 AC 方向射入圆形区域的最小时间间隔为 $\frac{7\pi m}{3qB}$
 D. 若粒子从 A 点射入到从 C 点射出圆形区域用时最短, 则粒子运动的速度大小为 $\frac{\sqrt{3}qBR}{3m}$

D 解析: 根据带电粒子在圆形边界磁场中的运动性质可知粒子的运动轨迹不可能经过 O 点, 粒子射出圆形区域时的速度方向一定沿射出点的半径方向, A 、 B 错误; 当粒子在磁场中运动的轨迹半径为 $r_1 = R$ 时, 粒子连续两次由 A 点沿 AC 方向射入磁场区域的时间间隔最短, 其运动轨迹如图甲所示, 由洛伦兹力提供向心力有 $qv_1B = m\frac{v_1^2}{r_1}$, 又 $T_1 = \frac{2\pi r_1}{v_1}$, 则最短时间间隔为 $t_{\min} = 2T = \frac{4\pi m}{qB}$, C 错误; 粒子从 A 点射入到从 C 点射出圆形区域用时最短时, 粒子的运动轨迹如图乙所示, 由几何关系可知此时粒子的轨迹半径为 $r_2 = \frac{\sqrt{3}}{3}R$, 由洛伦兹力提供向心力有 $qv_2B = m\frac{v_2^2}{r_2}$, 联立解得 $v_2 = \frac{\sqrt{3}qBR}{3m}$, D 正确。

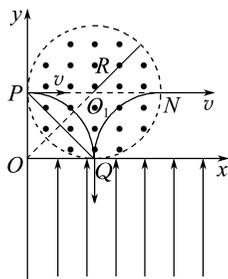


3. 如图所示, 在平面直角坐标系 xOy 第一象限内有一半径为 R 的圆形匀强磁场区域, 其边界与两坐标轴分别相切于 P 、 Q 两点, 磁场方向垂直纸面向外, 磁感应强度大小为 B ; 第四象限内存在沿 y 轴正方向的匀强电场, 电场强度大小为 E 。一带正电粒子经 P 点以速率 v 沿 x 轴正方向射入磁场, 恰好从 Q 点射出磁场。不计粒子重力。

- (1) 求带电粒子的比荷 $\frac{q}{m}$ 。
 (2) 求粒子第二次穿出磁场时的位置坐标和从由 P 点射入到第二次穿出磁场所经历的时间 t 。



解析: (1) 粒子经 P 点以速率 v 沿 x 轴正方向射入磁场, 恰好从 Q 点射出磁场, 粒子轨迹圆心在 y 轴上, 连接 P 、 Q 并作其中垂线, 得粒子轨迹圆心在坐标原点, 粒子运动轨迹半径 $r = R$ 。由牛顿第二定律得 $qvB = ma = m\frac{v^2}{r}$, 由以上各式解得带电粒子的比荷 $\frac{q}{m} = \frac{v}{BR}$ 。



(2) 分析可知, 粒子垂直 x 轴进入电场, 做匀减速运动, 减速到 0 后反向加速进入磁场, 以 R 为半径做匀速圆周运动, 从 N 点离开磁场, 其轨迹如图所示, 粒子第二次穿出磁场时的位置坐标为 $(2R, R)$

粒子在磁场中运动的时间为 $t_1 = \frac{1}{2}T = \frac{\pi R}{v}$

粒子在电场中运动的时间为 $t_2 = \frac{2v}{a} = \frac{2mv}{qE} = \frac{2BR}{E}$

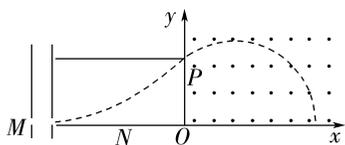
粒子从由 P 点射入到第二次穿出磁场所经历的时间

$t = t_1 + t_2 = \frac{\pi R}{v} + \frac{2BR}{E}$

答案: (1) $\frac{v}{BR}$ (2) $(2R, R)$ $\frac{\pi R}{v} + \frac{2BR}{E}$

4. (2024·福建卷) 如图所示, 一质量为 m 、电荷量为 q 的带电粒子经电容器 M 由静止开始加速后从另一电容器 N 的下极板进入偏转电场, 经电场偏转后恰从电容器 N 的上极板射出偏转电场。已知两电容器电压均为 U , 以 N 电容器下极板右侧 O 点建立坐标系, 粒子自 y 轴上距离 O 为 d 的 P 点进入右侧磁场, 粒子经磁场偏转后垂直于 x 轴方向经过 x 轴。求:

- (1) 粒子刚进入电容器 N 时的速度大小;
- (2) 粒子在 P 处的速度方向与 y 轴正方向的夹角;
- (3) 磁场的磁感应强度大小。



解析: (1) 粒子在电容器 M 两极板间受电场力做匀加速直线运动, 由动能定理得 $qU = \frac{1}{2}mv_N^2$, 解得

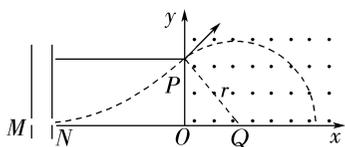
$$v_N = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

(2) 带电粒子在电容器 N 中做类平抛运动, 沿 x 轴方向以速度 $v_x = v_N = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$ 做匀速直线运动, 沿 y 轴正方向做匀加速直线运动, 加速度 $a = \frac{qU}{md}$, 运动到 P 点时沿 y 轴方向的分速度 $v_y = \sqrt{2ad} = \sqrt{\frac{2qU}{m}} = v_x$, 则带电粒子在 P 处的速度 $v_P = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = 2\sqrt{\frac{qU}{m}}$, 设粒子在 P 处的速度与 y 轴

正方向的夹角为 α , 则 $\sin \alpha = \frac{v_N}{v_P} = \frac{\sqrt{2}}{2}$, 解得 $\alpha = 45^\circ$, 故 v_P 与 y 轴正方向的夹角为 45° , 斜向右上方。

(3) 带电粒子在电容器 N 及磁场中的运动轨迹如图所示, 由几何关系得 $\angle OPQ = 45^\circ$, 带电粒子在磁场中做匀速圆周运动, 轨迹半径 $r = \frac{d}{\cos 45^\circ} = \sqrt{2}d$,

$$\text{由 } qv_P B = m \frac{v_P^2}{r} \text{ 得 } B = \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

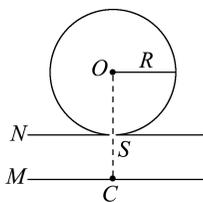


答案: (1) $\sqrt{\frac{2qU}{m}}$ (2) 斜向右上方 45°

$$(3) \frac{1}{d} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

5. 平行金属板 M 、 N 间距离为 d , 其上有一内壁光滑的半径为 R 的绝缘圆筒与 N 板相切, 切点处有一小孔 S , 圆筒内有垂直圆筒截面方向的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B 。 M 板内侧中点 C 处有一质量为 m 、电荷量为 e 的静止电子, 电子与孔 S 及圆心 O 在同一直线上, 经过 M 、 N 间的电场加速后射入圆筒, 在圆筒壁上碰撞 2 次后, 恰好沿原路返回到出发点。若电子重力及碰撞过程中能量损失均不计, 求:

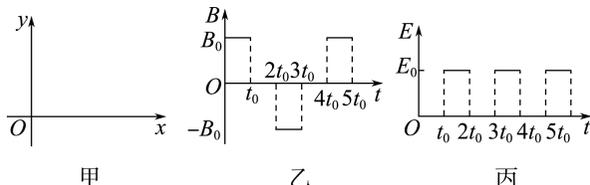
- (1) 电子在磁场中运动的速度大小;
- (2) 电子从 C 点出发到再次返回 C 点需要的时间。



$$\text{答案: (1) } \frac{\sqrt{3}eBR}{m} \quad (2) \frac{4\sqrt{3}md}{3eBR} + \frac{\pi m}{eB}$$

6. 如图甲所示, 在 xOy 平面内存在磁场和电场, 磁感应强度和电场强度大小随时间周期性变化, B 的变化周期为 $4t_0$, E 的变化周期为 $2t_0$, 变化规律分别如图乙、丙所示, 在 $t=0$ 时刻从 O 点发射一带负电的粒子(不计重力), 初速度大小为 v_0 , 方向沿 y 轴正方向。在 x 轴上有一点 A (图中未标出), 坐标为 $(\frac{48v_0 t_0}{\pi}, 0)$ 。若规定垂直纸面向里为磁感应强度的正方向, y 轴正方向为电场强度的正方向, v_0 、 t_0 、 B_0 为已知量, 磁感应强度与电场强度的大小满足 $\frac{E_0}{B_0} = \frac{v_0}{\pi}$, 粒子的比荷满足 $\frac{q}{m} = \frac{\pi}{B_0 t_0}$ 。求:

- (1) 在 $t = \frac{t_0}{2}$ 时刻, 粒子的位置坐标;
- (2) 粒子偏离 x 轴的最大距离;
- (3) 粒子运动至 A 点的时间。



解析: (1) 在 $0 \sim t_0$ 时间段, 粒子做匀速圆周运动, 根据洛伦兹力提供向心力可得

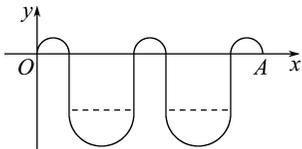
$$qv_0 B_0 = m r_1 \frac{4\pi^2}{T^2} = m \frac{v_0^2}{r_1}$$

$$\text{得 } T = \frac{2\pi m}{qB_0} = 2t_0, r_1 = \frac{mv_0}{qB_0} = \frac{v_0 t_0}{\pi}$$

则在 $0 \sim \frac{t_0}{2}$ 时间段粒子转过的圆心角 $\alpha = \frac{\pi}{2}$

所以在 $t = \frac{t_0}{2}$ 时刻, 粒子的位置坐标为 $(\frac{v_0 t_0}{\pi}, \frac{v_0 t_0}{\pi})$ 。

(2) 在 $t_0 \sim 2t_0$ 时间段, 粒子经电场加速后的速度为 v , 粒子的运动轨迹如图所示:



粒子经电场加速后的速度 $v = v_0 + \frac{E_0 q}{m} t_0 = 2v_0$

运动的位移 $x = \frac{v_0 + v}{2} t_0 = 1.5v_0 t_0$

在 $2t_0 \sim 3t_0$ 时间段粒子做匀速圆周运动

半径 $r_2 = \frac{mv}{qB_0} = \frac{2v_0 t_0}{\pi} = 2r_1$

故粒子偏离 x 轴的最大距离

$h = x + r_2 = \frac{3}{2} v_0 t_0 + \frac{2v_0 t_0}{\pi}$ 。

(3) 粒子在 xOy 平面内做周期性运动的周期为 $4t_0$, 一个周期内向右运动的距离为

$d = 2r_1 + 2r_2 = \frac{6v_0 t_0}{\pi}$

A、O 间的距离为 $\frac{48v_0 t_0}{\pi} = 8d$

所以, 粒子运动至 A 点的时间为 $t_1 = 32t_0$ 。

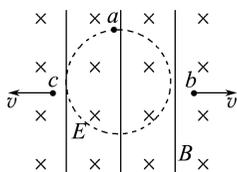
答案: (1) $(\frac{v_0 t_0}{\pi}, \frac{v_0 t_0}{\pi})$ (2) $\frac{3}{2} v_0 t_0 + \frac{2v_0 t_0}{\pi}$

(3) $32t_0$

任务三 带电粒子在叠加场中的运动

「任务驱动」

如图所示, 空间某区域存在匀强电场和匀强磁场, 电场方向在竖直方向 (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, b 、 c 的速度大小均为 v 。



问题 1: 在该区域内, 微粒 a 都受到哪些力? 什么力提供微粒 a 做匀速圆周运动的向心力? 电场方向竖直向上还是竖直向下?

提示: 微粒 a 受到重力、电场力和洛伦兹力。洛伦兹力提供向心力, 重力与电场力平衡, 即 $m_a g = qE$ 。电场力方向竖直向上, 因为微粒 a 带正电, 所以电场方向竖直向上。

问题 2: 在该区域内, 微粒 b 都受到哪些力? 这些力之间有什么关系?

提示: 微粒 b 受到重力、电场力和洛伦兹力。重力方向竖直向下, 洛伦兹力方向竖直向上, 电场力方向竖直向上, 三力平衡, 即 $m_b g = qE + qvB$ 。

问题 3: 在该区域内, 微粒 c 都受到哪些力? 这些力之间有什么关系?

提示: 微粒 c 受到重力、电场力和洛伦兹力。重力方向竖直向下, 洛伦兹力方向竖直向下, 电场力方向竖直向上, 三力平衡, 即 $m_c g + qvB = qE$ 。

问题 4: m_a 、 m_b 、 m_c 三者大小有什么关系?

提示: $m_b > m_a > m_c$ 。

「知识链接」

1. 叠加场

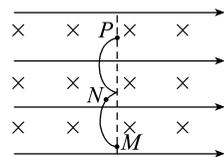
电场、磁场、重力场共存, 或其中某两个场共存。

2. 带电粒子在叠加场中常见的几种运动形式

运动性质	受力特点	方法规律
匀速直线运动	其他力的合力与洛伦兹力等大反向	平衡条件
匀速圆周运动	除洛伦兹力外, 其他力的合力为 0	牛顿第二定律、圆周运动的规律
较复杂的曲线运动	除洛伦兹力外, 其他力的合力既不为 0, 也不与洛伦兹力等大反向	动能定理、能量守恒定律

「任务达标」

1. (多选) 如图所示, 磁控管内局部区域分布有水平向右的匀强电场和垂直纸面向里的匀强磁场。电子从 M 点由静止释放, 沿图中所示轨迹依次经过 N、P 两点。已知 M、P 在同一等势面上, 则下列说法正确的有 (BC)

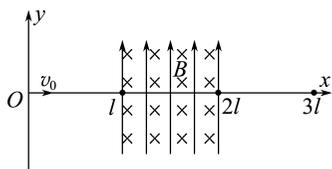


- A. 电子从 N 到 P, 电场力做正功
- B. N 点的电势高于 P 点的电势

- C. 电子从 M 到 N , 洛伦兹力不做功
 D. 电子在 M 点所受的合力大于在 P 点所受的合力

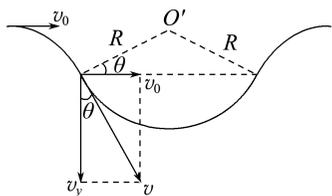
2. 如图所示, 在竖直平面内建立直角坐标系 xOy , 在 $x=l$ 到 $x=2l$ 之间存在竖直向上的匀强电场和垂直坐标平面向里的匀强磁场, 一个比荷为 k 的带电微粒从坐标原点以一定的初速度沿 x 轴正方向抛出, 进入电场和磁场后恰好在竖直平面内做匀速圆周运动, 离开电场和磁场后, 带电微粒恰好沿 x 轴正方向通过 x 轴上 $x=3l$ 的位置。已知匀强磁场的磁感应强度大小为 B , 重力加速度为 g , 不计空气阻力。求:

- (1) 电场强度 E 的大小;
 (2) 带电微粒初速度 v_0 的大小。



解析: (1) 由题意可知微粒在电场、磁场、重力场的叠加场中做匀速圆周运动时, $mg = qE$

又因为 $k = \frac{q}{m}$, 解得 $E = \frac{g}{k}$ 。



(2) 因为微粒射出叠加场后恰好沿 x 轴正方向通过 x 轴上 $x=3l$ 的位置, 根据运动的对称性, 可确定进出叠加场的位置在同一水平面。微粒的运动轨迹如图所示, 设微粒在复合场中运动的半径为 R , 速度大小为 v , v 与竖直方向夹角为 θ , 由几何关系知 $2R \cos \theta = l$

根据牛顿第二定律得 $qvB = ma = m \frac{v^2}{R}$

微粒进入复合场时的竖直分速度大小为 $v_y = v \cos \theta$

设微粒从原点抛出后经时间 t 进入电磁复合场, 根据平抛运动规律有 $v_y = gt, l = v_0 t$

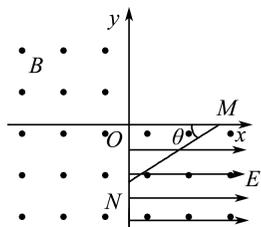
联立解得 $v_0 = \frac{2g}{kB}$ 。

答案: (1) $\frac{g}{k}$ (2) $\frac{2g}{kB}$

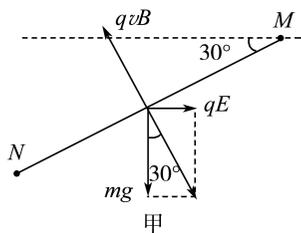
3. 如图所示, 坐标系 xOy 在竖直平面内, y 轴沿竖直方向, 第二、三和四象限有垂直纸面向外的匀强磁场, 磁感应强度为 B 。第四象限的空间内有沿 x 轴正方向的匀强电场, 电场强度为 E 。一个带正电

荷的小球从图中 x 轴上的 M 点, 沿着与 x 轴负方向成 $\theta = 30^\circ$ 角斜向下的直线做匀速运动, 经过 y 轴上的 N 点进入 $x < 0$ 的区域内, 在 $x < 0$ 区域内另加一匀强电场 E_1 (图中未画出), 小球进入 $x < 0$ 区域后能在竖直平面内做匀速圆周运动。重力加速度为 g 。

- (1) 求匀强电场 E_1 的大小和方向。
 (2) 若带电小球做圆周运动时通过 y 轴上的 P 点 (P 点未标出), 求小球从 N 点运动到 P 点所用的时间 t 。



解析: (1) 设小球质量为 m , 带电荷量为 q , 速度为 v , 小球在 MN 段受力如图甲所示, 因为在 MN 段小球做匀速直线运动, 所以小球受力平衡。



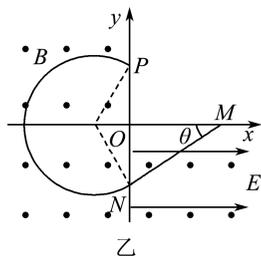
有 $mg \tan 30^\circ = qE$

$qvB \sin 30^\circ = qE$

解得 $mg = \sqrt{3} qE, v = \frac{2E}{B}$

小球在 $x < 0$ 的区域内做匀速圆周运动, 有 $mg = qE_1$

联立解得 $E_1 = \sqrt{3} E$, 方向为竖直向上。



(2) 如图乙所示, 小球在磁场中做匀速圆周运动的周期为 $T = \frac{2\pi m}{qB}$, 而 $mg = \sqrt{3} qE$, 由几何关系可得 $t = \frac{2}{3} T$

故小球从 N 到 P 经历的时间为 $t = \frac{4\sqrt{3} \pi E}{3Bg}$ 。

答案: (1) $\sqrt{3} E$ 方向竖直向上 (2) $\frac{4\sqrt{3} \pi E}{3Bg}$

易错强化练(一) 带电粒子在匀强磁场中的运动分析

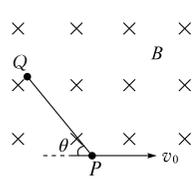
练易错

易错点 1 | 磁偏转的圆心、半径和时间问题

[防范要诀]

- (1) 带电粒子在洛伦兹力作用下做匀速圆周运动,由洛伦兹力提供向心力,注意圆心在过入射点与速度垂直的直线上,且在所受洛伦兹力的方向上。
- (2) 抓住线段间关系,利用勾股定理求解半径,应用速度偏向角求解做圆周运动的圆心角,进而求解运动时间。

[对点集训]

1. 如图所示,匀强磁场方向垂直纸面向里、磁感应强度大小为 B 。一带电粒子质量为 m 、电荷量为 $+q$,此粒子以某水平速度经过 P 点,方向如图所示,经过一段时间粒子经过 Q 点。已知 PQ 在同一平面内, P 、 Q 间距离为 L , P 、 Q 连线与过 P 点时的速度方向夹角为 θ ,不计重力,则 (B)
- 

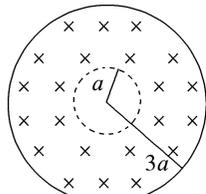
- 粒子的运动速度为 $\frac{qBL}{2m}$
- 粒子的运动速度为 $\frac{qBL}{2m \sin \theta}$
- 粒子从 P 第一次到 Q 的时间为 $\frac{2\theta m}{qB}$
- 粒子从 P 第一次到 Q 的时间为 $\frac{\theta m}{qB}$

易错点 2 | 有界磁场的临界问题

[防范要诀]

- (1) 带电粒子在有界磁场中做圆周运动的临界情况出现在相切和边界上。
- (2) 注意抓住线段关系、角度关系确定粒子做圆周运动的圆心角,进而求解运动时间和距离。

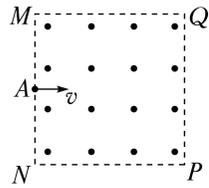
[对点集训]

2. 真空中有一匀强磁场,磁场边界为两个半径分别为 a 和 $3a$ 的同轴圆柱面,磁场的方向与圆柱轴线平行,其横截面如图所示。一速率为 v 的电子从圆心沿半径方向进入磁场,已知电子质量为 m ,电荷量为 e ,忽略重力。为使该电子的运动被限制在图中实线圆围成的区域内,磁场的磁感应强度最小为 (C)
- 

- $\frac{3mv}{2ae}$
- $\frac{mv}{ae}$
- $\frac{3mv}{4ae}$
- $\frac{3mv}{5ae}$

3. 如图所示,在空间存在一个边长为 L 的正方形匀强

磁场区域,磁场垂直纸面向外,磁感应强度大小为 B , A 为 MN 的中点。现让一质量为 m 、电荷量为 $-q$ 的不计重力的带电粒子从 A 点沿纸面垂直于 MN 进入匀强磁场区域。欲使粒子不从 MQ 和 NP 边射出,则对初速度 v 的要求是 (B)



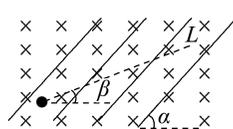
- $\frac{qBL}{4m} < v < \frac{5qBL}{4m}$
- $v > \frac{5qBL}{4m}$ 或 $v < \frac{qBL}{4m}$
- $v > \frac{qBL}{4m}$
- $v < \frac{qBL}{4m}$

易错点 3 | 对带电粒子运动性质及条件分析不清

[防范要诀]

- (1) 确定是否考虑重力。
- (2) 根据运动轨迹分析受力情况,若粒子做直线运动,要满足直线运动的条件;若粒子做匀速圆周运动,要满足匀速圆周运动的条件。
- (3) 注意洛伦兹力随速度变化而变化的特点。

[对点集训]

4. 如图所示,实线表示在竖直平面内的电场线,电场线与水平方向成 α 角,垂直纸面向里的匀强磁场与电场正交,有一带电液滴沿斜向上的虚线 L 做直线运动, L 与水平方向成 β 角,且 $\alpha > \beta$,则下列说法不正确的是 (D)
- 

- 液滴一定做匀速直线运动
- 液滴一定带正电
- 电场线方向一定斜向上
- 液滴有可能做匀变速直线运动

易错点 4 | 对回旋加速器的工作原理理解不清

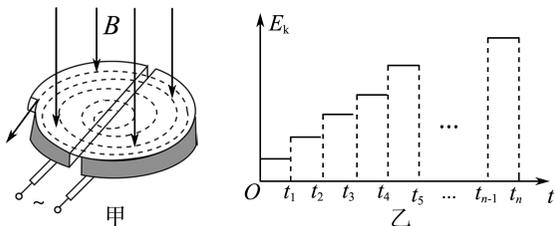
[防范要诀]

- (1) 磁场的作用:使带电粒子在洛伦兹力的作用下做匀速圆周运动。
- (2) 电场的作用:使带电粒子在电场力的作用下加速。
- (3) 带电粒子的最终能量:由 $E_{\text{km}} = \frac{q^2 B^2 R^2}{2m}$ 知,回旋

加速器中粒子的最终能量由磁感应强度 B 和 D 形盒的半径决定,与加速电压的大小无关。

[对点集训]

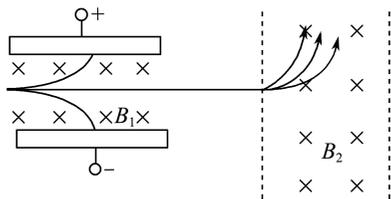
5. 如图甲所示是用来加速带电粒子的回旋加速器的示意图,其核心部分是两个 D 形金属盒,在加速带电粒子时,两金属盒置于匀强磁场中,两盒分别与高频电源相连。带电粒子在磁场中运动的动能 E_k 随时间 t 的变化规律如图乙所示。忽略带电粒子在电场中的加速时间,则下列判断正确的是 (D)



- A. 在 E_k-t 图像中应有 $t_4-t_3 < t_3-t_2 < t_2-t_1$
 B. 加速电压越大,粒子最后获得的动能就越大
 C. 粒子加速次数越多,粒子最大动能一定越大
 D. 要想粒子获得的最大动能增大,可增大 D 形盒的面积

练疑难

6. 如图所示,一束质量、速度和电荷量不同的正离子垂直地射入匀强磁场和匀强电场正交的区域里,结果发现有些离子保持原来的运动方向,有些发生偏转。如果让这些不偏转的离子进入另一匀强磁场中,发现这些离子又各自分裂成几束。关于这些进入另一磁场的离子,下列结论正确的是 ()



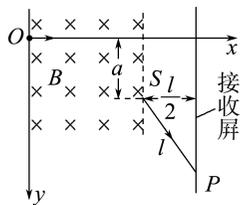
- A. 它们的动能一定各不相同
 B. 它们的电荷量一定各不相同
 C. 它们的质量一定各不相同
 D. 它们的电荷量与质量之比一定各不相同
 D 解析:从第一个磁场不偏转地进入另一磁场的

离子一定满足 $qE = qvB_1$, 即 $v = \frac{E}{B_1}$, 这些离子速度相同。在另一磁场中, $r = \frac{mv}{qB_2}$, 由于 v, B_2 相同, 而

r 不同, 所以 $\frac{q}{m}$ 一定不同, 故 D 正确。

7. (2023 · 全国乙卷) 如图所示, 磁感应强度大小为 B 的匀强磁场, 方向垂直于纸面 (xOy 平面) 向里, 磁场右边界与 x 轴垂直。一带电粒子由 O 点沿 x 轴正方

向射入到磁场中, 在磁场另一侧的 S 点射出, 粒子离开磁场后, 沿直线运动打在垂直于 x 轴的接收屏上的 P 点。已知 $SP = l$, S 与屏的距离为 $\frac{l}{2}$, 与 x 轴的距离为 a 。如果保持所有条件不变, 在磁场区域再加上电场强度大小为 E 的匀强电场, 该粒子入射后则会沿 x 轴到达接收屏。该粒子的比荷为 ()



- A. $\frac{E}{2aB^2}$ B. $\frac{E}{aB^2}$ C. $\frac{B}{2aE^2}$ D. $\frac{B}{aE^2}$

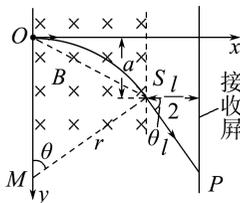
A 解析: 画出带电粒子仅在磁场中运动时的运动轨迹, 如图所示, 设带电粒子仅在磁场中运动的轨迹半径为 r , 运动轨迹对应的圆心角为 θ , 由几何知

识得 $\cos \theta = \frac{l}{2r}$, $r - a = r \cos \theta$, 解得 $r = 2a$, 由洛伦

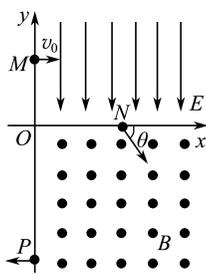
兹力提供向心力有 $qvB = \frac{mv^2}{r}$, 解得 $r = 2a = \frac{mv}{qB}$,

在匀强磁场区域加上匀强电场后带电粒子沿 x 轴运动, 则此时粒子受力平衡, 有 $Eq = qvB$, 联立解得

$\frac{q}{m} = \frac{E}{2aB^2}$, A 正确。



8. 如图所示, 在平面直角坐标系 xOy 中, 第 I 象限存在沿 y 轴负方向的匀强电场, 第 IV 象限存在垂直于坐标平面 (纸面) 向外的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B 。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 点且与 x 轴正方向成 $\theta = 60^\circ$ 角射入磁场, 最后从 y 轴负半轴上的 P 点垂直于 y 轴射出磁场。不计粒子重力, 求:



- (1) M, N 两点间的电势差 U_{MN} ;

- (2) 粒子在磁场中运动的轨道半径 r ;
 (3) 粒子从 M 点运动到 P 点的总时间 t 。

解析: (1) 设粒子过 N 点时的速度为 v , 有

$$\frac{v_0}{v} = \cos \theta$$

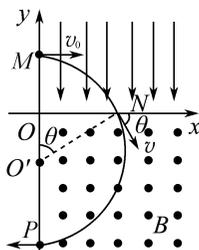
解得 $v = 2v_0$

粒子从 M 点运动到 N 点的过程, 有

$$qU_{MN} = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_0^2$$

$$\text{解得 } U_{MN} = \frac{3mv_0^2}{2q}$$

(2) 如图所示, 粒子在磁场中以 O' 为圆心做匀速圆周运动, 半径为 $O'N$, 有



$$qvB = \frac{mv^2}{r}, \text{ 解得 } r = \frac{2mv_0}{qB}$$

(3) 由几何关系得 $ON = r \sin \theta$

设粒子在电场中运动的时间为 t_1 , 有

$$ON = v_0 t_1, \text{ 解得 } t_1 = \frac{\sqrt{3}m}{qB}$$

粒子在磁场中做匀速圆周运动的周期 $T = \frac{2\pi m}{qB}$

设粒子在磁场中运动的时间为 t_2 , 有 $t_2 = \frac{\pi - \theta}{2\pi} T$

$$\text{解得 } t_2 = \frac{2\pi m}{3qB}$$

$$\text{所以 } t = t_1 + t_2 = \frac{(3\sqrt{3} + 2\pi)m}{3qB}$$

$$\text{答案: (1) } \frac{3mv_0^2}{2q}$$

$$(2) \frac{2mv_0}{qB}$$

$$(3) \frac{(3\sqrt{3} + 2\pi)m}{3qB}$$

单元活动构建

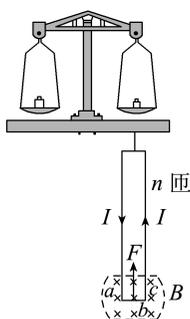
单元活动 1 安培力与洛伦兹力的实际应用问题

「单元任务」

任务内容	
任务一	安培力的实际应用问题
任务二	洛伦兹力的实际应用问题

「任务引导」

资料 1: 电流天平的原理: 如图所示, 天平左盘放砝码, 右盘下悬挂线圈, 线圈处于磁场中。当线圈没有通电时, 天平处于平衡状态。线圈通上沿逆时针方向的电流后, 在磁场中的导线 a 、 b 、 c 段均受安培力作用。由左手定则和安培力公式可知, a 、 c 段导线所受的安培力大小相等、方向相反, 互相抵消, 而 b 段导线所受的安培力方向向上, 从而使天平的平衡被破坏。通过在右盘加砝码 (或移动游码) 使天平重新平衡, 根据砝码的质量可推知线圈所受安培力的大小。进一步由线圈的匝数、电流的大小、磁场中导线的长度, 还可确定磁感应强度的大小。

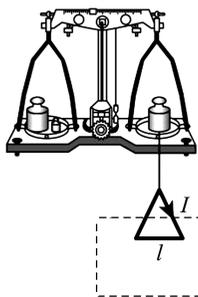


资料 2: 霍尔效应在应用技术中特别重要。霍尔发现, 如果对位于磁场 (B) 中的导体 (d) 施加一个电流 (I_v), 该磁场的方向垂直于所施加电压的方向, 那么则在既与磁场垂直又和所施加电流方向垂直的方向上会产生另一个电压 (U_H), 人们将这个电压叫作霍尔电压, 产生这种现象被称为霍尔效应。好比一条路, 本来大家 (电荷) 是均匀地分布在路面上, 往前移动, 当有磁场时, 大家可能会被推到道路的右边 (或左边) 行走, 故路 (导体) 的两侧就会产生电压差, 这个就叫“霍尔效应”。根据霍尔效应做成的霍尔器件, 就是以磁场为工作媒介, 将物体的运动参量转变为数字电压的形式输出, 如在汽车领域可用于监视和测量汽车各部件运行参数的变化, 例如位置、位移、角度、角速度、转速等等, 并可把这些变量进行二次变换; 还可测量压力、质量、液位、流速、流量等。

任务一 安培力的实际应用问题

活动 如图所示为电流天平, 它的右臂挂着边长为 l 的正三角形线圈, 匝数为 n , 线圈的底边水平, 一半的高度处于虚线框内的匀强磁场中, 虚线框中的磁感应强度 B 的方向与线圈平面垂直。当线圈中通有如图所示方向的电流 I 时, 调节砝码使两臂达到平衡; 然

后使电流反向,大小不变,这时需要在左盘中增加质量为 m 的砝码,才能使两臂再达到新的平衡。求磁场的磁感应强度大小和方向。



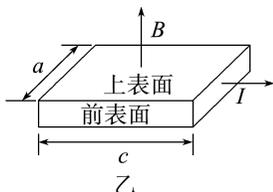
提示:线圈高度的一半处于匀强磁场中,则有效长度为 $\frac{l}{2}$,线圈所受安培力大小为 $F = nBI \frac{l}{2}$,电流反向时,需要在左盘中增加质量为 m 的砝码,说明原来的安培力方向向上,根据左手定则,可知虚线框内的磁场方向垂直纸面向外。当电流反向,线圈所受安培力变为向下时,再次平衡,说明安培力等于 mg 的一半,即 $nBI \frac{l}{2} = \frac{mg}{2}$,解得 $B = \frac{mg}{nIl}$ 。

任务二 洛伦兹力的实际应用问题

活动 图甲中的笔记本电脑机身和显示屏对应部位分别有磁体和霍尔元件。当显示屏翻开时磁体远离霍尔元件,电脑正常工作;当显示屏闭合时磁体靠近霍尔元件,屏幕熄灭,电脑进入休眠状态。其工作原理如图乙所示,一块宽为 a 、长为 c 的矩形半导体霍尔元件,元件内的导电粒子是电荷量为 e 的自由电子,通入方向向右的电流时,电子的定向移动速度为 v 。当显示屏闭合时元件处于垂直于上表面、方向向上的匀强磁场中,于是元件的前、后表面间出现电压 U ,以此控制屏幕的熄灭。



甲



乙

(1) 元件的前表面电势高,还是后表面的电势高?

(2) 前、后表面间的电压 U 与什么因素有关?

提示:(1) 电流方向向右,电子向左定向移动,根据左手定则判断可知,电子所受的洛伦兹力方向向外,则前表面积累了电子,后表面的电势比前表面的电势高。(2) 由电子受力平衡可得 $\frac{eU}{a} = evB$,解得 $U =$

Bva ,所以前、后表面间的电压 U 与 B 、 v 、 a 成正比。

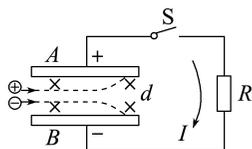
「知识链接」

一、安培力的应用主要在电流天平、磁电式电流表与直流发动机等。

二、洛伦兹力的应用

1. 磁流体发电机

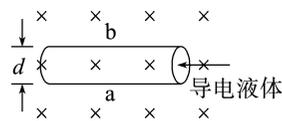
(1) 原理图



(2) 工作原理:高速的等离子流射入平行板中间的匀强磁场区域,在洛伦兹力作用下使正、负电荷分别聚集在 A、B 两板,于是在板间形成电场。当满足 $qvB = qE$ 时,两板间形成一定的电势差,合上开关 S 后,就能对负载供电。

2. 电磁流量计

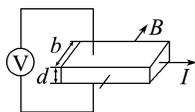
(1) 原理图



(2) 工作原理:导电液体进入加有匀强磁场的管道后,在洛伦兹力作用下使正、负电荷分别聚集在 b、a 两极,于是在两极间形成电场。当 ab 间电场对电荷的作用力等于电荷所受的洛伦兹力时,两极间形成一定的电势差 U 。由 $U = Bvd$ 和 $Q = S_0 v$ 、 $S_0 = \pi(\frac{d}{2})^2$,可得管道内液体的流量 Q 。

3. 霍尔元件

(1) 原理图

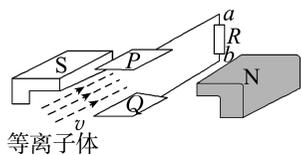


(2) 工作原理:导体板放在垂直于它的磁感应强度为 B 的匀强磁场中,当电流通过导体板时,电子在洛伦兹力作用下发生偏转,当电场力与洛伦兹力达到平衡时,导体板上下两侧面之间会形成稳定的电势差,这种现象称为霍尔效应。

「活动达标」

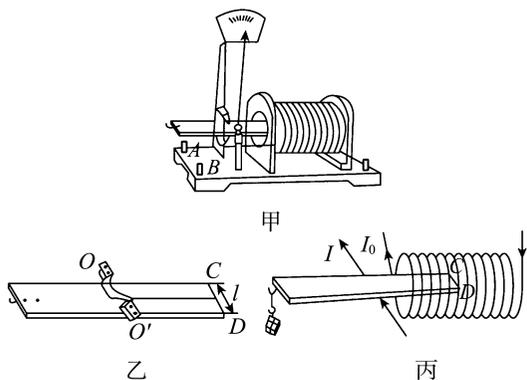
1. 如图所示是磁流体发电机的示意图,两平行金属板 P、Q 之间有一个很强的磁场。一束等离子体(即高温下电离的气体,含有大量正、负带电粒子)沿垂

直于磁场的方向喷入磁场。把 P 、 Q 与电阻 R 相连接, 下列说法正确的是 (D)



- A. Q 板的电势高于 P 板的电势
- B. R 中有由 b 向 a 方向的电流
- C. 若仅改变磁场强弱, 则 R 中电流不变
- D. 若增大粒子入射速度, 则 R 中电流增大

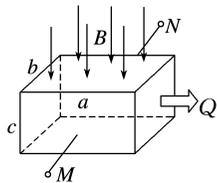
2. (多选) 如图甲所示为电流天平, 此装置可以测定通电螺线管中的磁感应强度。它的横臂(图乙)能绕转轴 OO' 自由转动, 轴的两侧臂长度相等。沿着横臂的边缘固定着 n 匝矩形绝缘导线圈, 导线圈最右端的长度为 l 。先调整天平处于平衡, 把矩形导线框右端放入待测的磁场中(如图丙所示), 给矩形导线圈和螺线管分别通以大小为 I 和 I_0 的电流。 CD 段导线由于受到安培力作用而使天平右臂向下倾斜, 在天平的左端可以加上适当的砝码, 使天平恢复平衡。设当地重力加速度为 g 。下列说法正确的是 ()



- A. CD 段导线中的电流方向为 $D \rightarrow C$, 若在电流天平左端加的砝码质量为 m , 则螺线管内部的磁感应强度 $B = \frac{mg}{nIl}$
- B. 左端加适当的砝码使天平恢复平衡时, 则在螺线管内部与螺线管轴线平行的一条通电导线所受安培力的大小不一定为零
- C. 电流天平平衡时左端加的砝码质量为 m , 若螺线管内磁感应强度 $B = kI_0$, 调整 I 和 I_0 的大小, 当 $I_0 = \frac{mg}{kIl}$ 时, 电流天平始终平衡
- D. 若矩形导线框和螺线管分别通以大小仍为 I 和 I_0 的电流, 同时改变电流方向, 要使天平恢复平衡, 则左端砝码质量为原来平衡时所加砝码质量的 1 倍

AD 解析: 根据安培定则可以判断出螺线管内部磁场从螺线管左侧指向右侧, 且平行于螺线管轴线, CD 段导线圈由于受到安培力作用而使天平右臂向下倾斜, 则由左手定则可判断出电流方向为 $D \rightarrow C$, 当电流天平两端平衡时, 由于力臂相等, 两端受力相等, 则有 $mg = nBIl$, 解得螺线管内部的磁感应强度为 $B = \frac{mg}{nIl}$, 故 A 正确; 螺线管内部的磁场方向平行于螺线管, 对同样平行于螺线管轴线的导线没有力的作用, 故 B 错误; 若螺线管内磁感应强度为 $B = kI_0$, 要使电流天平平衡有 $mg = nkI_0Il$, 解得 $I_0 = \frac{mg}{nkIl}$, 故 C 错误; 若矩形导线框和螺线管分别通以大小仍为 I 和 I_0 的电流, 同时改变电流方向, 则安培力的大小和方向均没有发生变化, 所以要使天平恢复平衡则左端砝码的质量应保持不变, 故 D 正确。

3. 为监测某化工厂的污水排放量, 技术人员在该厂的排污管末端安装了如图所示的长方体流量计。该装置由绝缘材料制成, 其长、宽、高分别为 a 、 b 、 c , 左右两端开口。在垂直于上下底面方向加一竖直向下的匀强磁场, 前后两个内侧面分别固定有金属板作为电极。污水充满管口从左向右流经该装置时, 接在 M 、 N 两端间的电压表将显示两个电极间的电压 U 。 M 、 N 两端哪端电势高? 若用 Q 表示污水流量(单位时间内排出的污水体积), 电压表示数 U 与 a 、 b 、 c 以及 Q 有什么关系?



解析: 根据左手定则, 正离子所受的洛伦兹力方向向里, 则正离子向里偏转, N 端带正电, M 端带负, 则 M 端的电势比 N 端电势低; 最终离子在电场力和洛伦兹力作用下平衡, 有 $qvB = q \frac{U}{b}$, 解得 $U = vBb$, 电压表的示数 U 与 b 成正比, 与污水中的正、负离子数无关; 因 $v = \frac{U}{Bb}$, 则流量 $Q = vbc = \frac{Uc}{B}$, 因此 $U = \frac{BQ}{c}$, 与污水流量成正比。

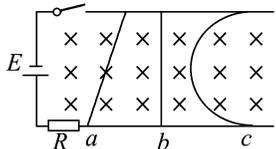
答案: N 端 $U = \frac{BQ}{c}$

章末质量评估(一)

(时间:90分钟 分值:100分)

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的。

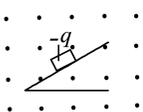
- 1.如图所示,水平导轨接有电源,导轨上固定有三根导体棒 a 、 b 、 c ,长度关系为 c 最长, b 最短。将 c 弯成一直径与 b 等长的半圆,将装置置于向下的匀强磁场中,在接通电源后,三根导体棒中有等大的电流通过,则三根棒所受安培力的大小关系为 (D)



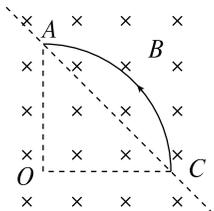
- A. $F_a > F_b > F_c$ B. $F_a = F_b = F_c$
C. $F_b < F_a < F_c$ D. $F_a > F_b = F_c$

- 2.如图所示,一个带负电的物体从绝缘粗糙斜面顶端由静止滑到底端时的速度为 v 。若加上一个垂直纸面向外的磁场,则该物体滑到底端时 (A)

- A. v 变小
B. v 变大
C. v 不变
D. 不能确定 v 的变化



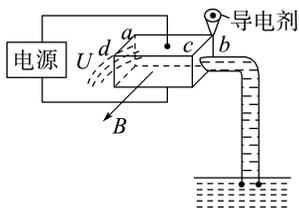
- 3.如图所示,AC是一个用长为 l 的导线弯成、以O为圆心的四分之一圆弧,将其放置在与平面AOC垂直的磁感应强度为 B 的匀强磁场中。当在该导线中通以由C到A、大小为 I 的恒定电流时,该导线受到的安培力的大小和方向分别是 (B)



- A. IlB , 平行于OC向左
B. $\frac{2\sqrt{2}IlB}{\pi}$, 垂直于A、C的连线指向左下方
C. $\frac{2\sqrt{2}IlB}{\pi}$, 平行于OC向右
D. $2\sqrt{2}IlB$, 垂直于A、C的连线指向左下方

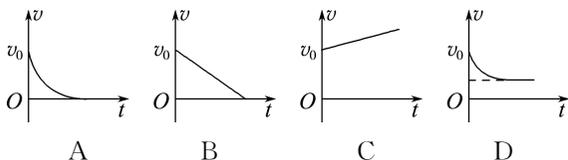
- 4.电磁泵在目前的生产、科技中得到了广泛应用。如

图所示,泵体是一个长方体, ab 棱长为 L_1 ,左、右侧端面是边长为 L_2 的正方形,在泵头通入导电剂后液体的电导率为 σ (电阻率的倒数),泵体所在处有方向垂直泵体向外的匀强磁场 B ,把泵体的上、下两表面接在电压为 U (内阻不计)的电源上,则 (D)



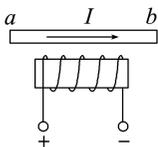
- A. 泵体上表面应接电源负极
B. 通过泵体的电流 $I = UL_2\sigma$
C. 仅将磁场方向反向,电磁泵仍能正常工作
D. 仅增大液体的电导率 σ ,电磁泵可获得更大的抽液高度

- 5.如图所示,一质量为 m 、电荷量为 q 的带正电的圆环,在水平放置的足够长粗糙绝缘细杆上滑动,细杆处于磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。现给圆环一水平向右的初速度 v_0 ,不计空气阻力,在之后的运动过程中,圆环运动的速度-时间图像可能是 (D)

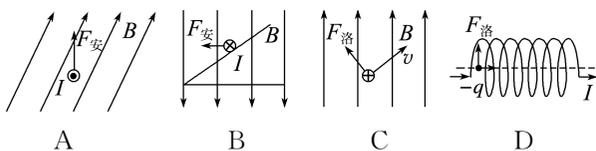


- 6.如图所示,直导线平行于通电螺线管的轴线放置在螺线管的上方,如果直导线可以自由地运动,且通以从 a 到 b 的电流,则导线 ab 受磁场力后的运动情况是 (D)

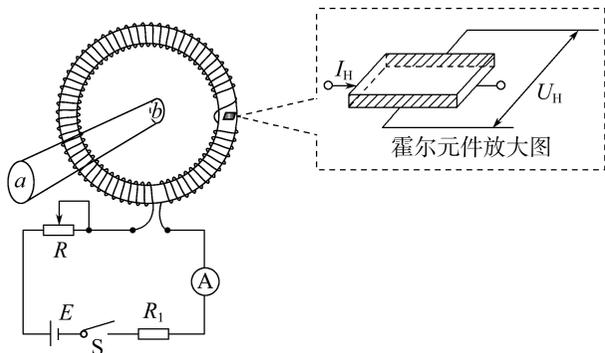
- A. 从上向下看,顺时针转动并靠近螺线管
B. 从上向下看,顺时针转动并远离螺线管
C. 从上向下看,逆时针转动并远离螺线管
D. 从上向下看,逆时针转动并靠近螺线管



- 7.下列四幅图中,关于各物理量方向的关系正确的是 (B)



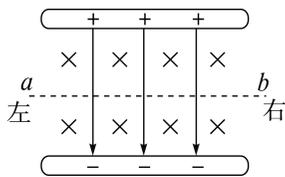
8. (2023·浙江卷) 某物理小组设计的测量大电流的装置如图所示, 通有电流 I 的螺绕环在霍尔元件处产生的磁场 $B = k_1 I$, 通有待测电流 I' 的直导线 ab 垂直穿过螺绕环中心, 在霍尔元件处产生的磁场 $B' = k_2 I'$. 调节电阻 R , 当电流表示数为 I_0 时, 元件输出霍尔电压 U_H 为 0, 则待测电流 I' 的方向和大小分别为 (D)



- A. $a \rightarrow b, \frac{k_2}{k_1} I_0$ B. $a \rightarrow b, \frac{k_1}{k_2} I_0$
 C. $b \rightarrow a, \frac{k_2}{k_1} I_0$ D. $b \rightarrow a, \frac{k_1}{k_2} I_0$

二、多项选择题: 本题共 4 小题, 每小题 5 分, 共 20 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 5 分, 选对但不全的得 2 分, 有选错的得 0 分。

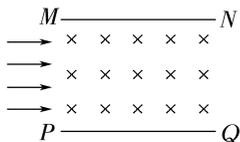
9. 粒子速度选择器的原理图如图所示, 不计重力, 如果粒子所具有的速率 $v = \frac{E}{B}$, 那么 (AC)



- A. 带正电粒子必须沿 ab 方向从左侧入场区, 才能沿直线通过选择器
 B. 带负电粒子必须沿 ba 方向从右侧入场区, 才能沿直线通过选择器
 C. 不论粒子电性如何, 沿 ab 方向从左侧入场区, 都能沿直线通过选择器
 D. 不论粒子电性如何, 沿 ba 方向从右侧入场区, 都能沿直线通过选择器

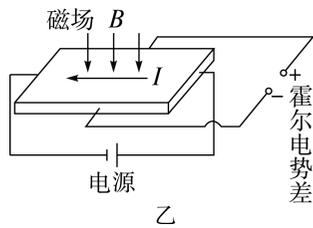
10. (2024·湖北卷) 磁流体发电机的原理如图所示, MN 和 PQ 是两平行金属极板, 匀强磁场垂直于纸面向里。等离子体(即高温下电离的气体, 含有

大量正、负带电粒子) 从左侧以某一速度平行于极板喷入磁场, 极板间便产生电压。下列说法正确的是 (AC)



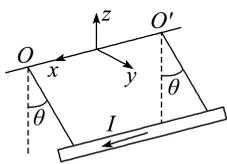
- A. 极板 MN 是发电机的正极
 B. 仅增大两极板间的距离, 极板间的电压减小
 C. 仅增大等离子体的喷入速率, 极板间的电压增大
 D. 仅增大喷入等离子体的正、负带电粒子数密度, 极板间的电压增大

11. 自行车速度计利用霍尔效应传感器获得自行车的运动速率。如图甲所示, 在自行车前轮上安装一块磁体, 车轮每转一圈, 这块磁体就靠近霍尔传感器一次, 传感器会输出一个脉冲电压。图乙为霍尔元件的工作原理图, 当磁场靠近霍尔元件时, 导体内定向运动的自由电荷在磁场力作用下偏转, 最终使导体在与磁场、电流方向都垂直的方向上出现电势差, 即为霍尔电势差。下列说法正确的是 (AD)



- A. 根据单位时间内的脉冲数和自行车车轮的半径即可获知车速大小
 B. 自行车的车速越大, 霍尔电势差越高
 C. 图乙中霍尔元件中的电流 I 是由正电荷定向移动形成的
 D. 如果长时间不更换传感器的电源, 霍尔电势差将减小

12. 如图所示, 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 . 磁感应强度的方向和大小可能分别为 (BC)

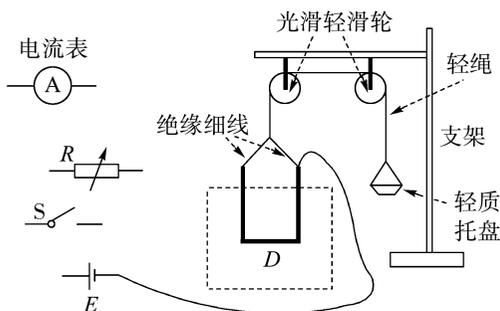


- A. 沿 z 轴正方向, $\frac{mg}{Il} \tan \theta$
 B. 沿 y 轴正方向, $\frac{mg}{Il}$
 C. 沿 z 轴负方向, $\frac{mg}{Il} \tan \theta$
 D. 沿悬线向上, $\frac{mg}{Il} \sin \theta$

三、非选择题:共 4 小题,共 56 分。

13. (14 分) 如图所示, 虚线框内存在一沿水平方向、与纸面垂直的匀强磁场(图中未画出)。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。

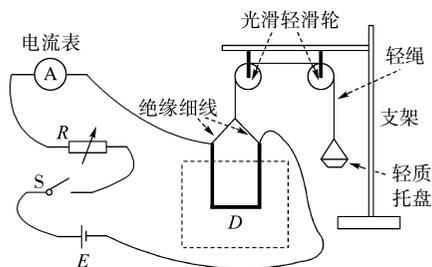
(1) 在图中画线连接实验电路图。



(2) 完成下列主要实验步骤中的填空:

- 按图接线。
 - 保持开关 S 断开, 在托盘内加入适量细沙, 使 D 处于平衡状态; 然后用天平称出细沙质量 m_1 。
 - 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(或取出)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 。
 - 用刻度尺测量 D 的底边长度 l 。
- (3) 用测量的物理量和重力加速度 g 表示磁感应强度的大小, 可以得出 $B =$ _____。
- (4) 判定磁感应强度方向的方法: 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。

解析: (1) 如图所示。



(2) 本题考查安培力作用下物体的平衡问题, 金属框平衡时测量才有意义, 故应使 D 重新处于平衡状态; 两次细沙的重力差与 D 的底边所受安培力大小相等, 安培力与电流大小有关, 故还需读出电流表的示数 I 。

(3) 两次细沙的重力差与 D 的底边所受安培力大小相等, 即

$$IlB = |m_2 - m_1|g$$

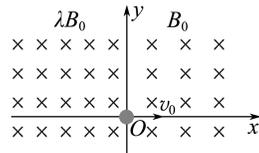
所以磁感应强度

$$B = \frac{|m_2 - m_1|g}{Il}$$

(4) 磁感应强度方向垂直纸面向外时, 根据左手定则和磁感应强度的方向可判断 m_1 和 m_2 的关系为 $m_2 > m_1$ 。

答案: (1) 见解析图 (2) 重新处于平衡状态 电流表的示数 I (3) $\frac{|m_2 - m_1|g}{Il}$ (4) $m_2 > m_1$

14. (12 分) 如图所示, 空间存在方向垂直于纸面(xOy 平面)向里的磁场。在 $x \geq 0$ 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 轴正方向射入磁场, 从此时开始计时, 当粒子(不计重力)的速度方向再次沿 x 轴正方向时, 求:



- 粒子运动的时间;
- 粒子与 O 点间的距离。

解析: (1) 在匀强磁场中, 带电粒子做圆周运动。设在 $x \geq 0$ 区域, 运动半径为 R_1 ; 在 $x < 0$ 区域, 运动半径为 R_2 。由洛伦兹力公式及牛顿运动定律得

$$qB_0v_0 = m \frac{v_0^2}{R_1}$$

$$q\lambda B_0v_0 = m \frac{v_0^2}{R_2}$$

粒子速度方向转过 180° 时,所需时间 t_1 为

$$t_1 = \frac{\pi R_1}{v_0}$$

粒子再转过 180° 时,所需时间 t_2 为

$$t_2 = \frac{\pi R_2}{v_0}$$

联立各式得,所求时间为

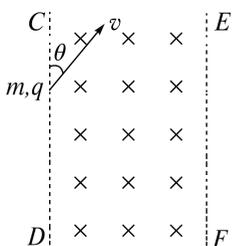
$$t_0 = t_1 + t_2 = \frac{\pi m}{B_0 q} \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right).$$

(2) 由几何关系及以上各式得,所求距离为

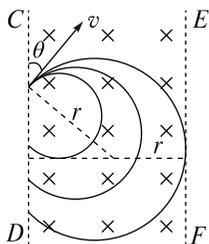
$$d = 2(R_1 - R_2) = \frac{2mv_0}{B_0 q} \left(1 - \frac{1}{\lambda} \right).$$

答案:(1) $\frac{\pi m}{B_0 q} \left(1 + \frac{1}{\lambda} \right)$ (2) $\frac{2mv_0}{B_0 q} \left(1 - \frac{1}{\lambda} \right)$

15. (14分) 如图所示,匀强磁场的磁感应强度为 B ,宽度为 l ,边界为 CD 和 EF 。一电子从 CD 边界外侧以速率 v 垂直射入匀强磁场,入射方向与 CD 的夹角为 θ 。已知电子的质量为 m ,电荷量为 q ,为使电子从 EF 边界射出,求电子的速率 v 满足的条件。



解析: 电子速率不同,其轨迹半径也不同,随着速率增加,其轨迹构成如图所示的一簇动态圆,可知为使电子从 EF 边界射出,轨迹半径至少大于与 EF 边界相切的圆的半径。



对于恰好相切的轨迹圆,由几何关系得 $r + r \cos \theta = l$

又因为 $qvB = m \frac{v^2}{r}$

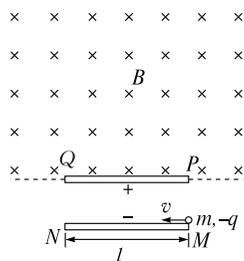
所以 $v = \frac{Bqr}{m} = \frac{Bql}{m(1 + \cos \theta)}$

为使电子从 EF 边界射出,其速率

$$v > \frac{Bql}{m(1 + \cos \theta)}.$$

答案: $v > \frac{Bql}{m(1 + \cos \theta)}$

16. (16分) 如图所示, MN 、 PQ 是平行金属板,板长为 l , 两板间距离为 $\frac{l}{2}$, PQ 板带正电, MN 板带负电, 在 PQ 板的上方有垂直纸面向里的匀强磁场。一个电荷量为 q 、质量为 m 的带负电的粒子, 以速度 v 从 MN 板边缘沿平行于板的方向射入两板间, 结果粒子恰好从 PQ 板左边缘飞进磁场, 然后又恰好从 PQ 板的右边缘飞进电场, 不计粒子重力。求:



- (1) 两金属板间所加电场的电场强度 E 的大小;
(2) 匀强磁场的磁感应强度 B 的大小。

解析: (1) 粒子在平行金属板间做类平抛运动, 有

$$t = \frac{l}{v}, \quad Eq = ma$$

在沿电场方向上, 有

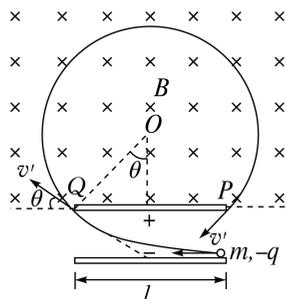
$$\frac{l}{2} = \frac{1}{2} \cdot \frac{qE}{m} t^2$$

解得 $E = \frac{mv^2}{ql}$ 。

(2) 粒子射出电场时沿电场方向上的速度

$$v_y = \frac{qE}{m} t = v$$

则进入磁场时的速度 $v' = \sqrt{v^2 + v_y^2} = \sqrt{2}v$, 速度与水平方向的夹角为 $\theta = 45^\circ$, 粒子在磁场中的运动轨迹如图所示:



根据几何关系, 得 $r = \frac{\sqrt{2}l}{2}$

根据 $qv'B = m \frac{v'^2}{r}$ 得 $B = \frac{mv'}{qr}$

解得 $B = \frac{2mv}{ql}$ 。

答案: (1) $\frac{mv^2}{ql}$ (2) $\frac{2mv}{ql}$

第二章

电磁感应及其应用

1 楞次定律

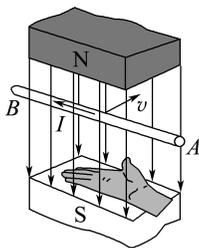
学习任务目标

1. 通过实验探究影响感应电流方向的因素,并归纳总结楞次定律。(科学探究)
2. 理解楞次定律的内容,能运用楞次定律判断感应电流的方向。(物理观念)
3. 掌握右手定则,并理解右手定则的实质。(科学思维)
4. 理解楞次定律是能量守恒定律在电磁感应现象中的体现。(科学思维)

问题式预习

知识点一 右手定则

1. 内容:伸开右手,使大拇指与其余并拢的四指垂直,并与手掌在同一平面内,让磁感线垂直从手心穿入,并使拇指指向导线运动的方向,这时四指所指的方向就是感应电流的方向。如图所示。



2. 适用范围

只适用于判定导体切割磁感线运动而产生感应电流的情况。

[科学思维]

下列图中表示闭合电路中的一部分导体 ab 在磁场中做切割磁感线运动的情景。(感应电流的方向均选填从“ a 到 b ”或从“ b 到 a ”)

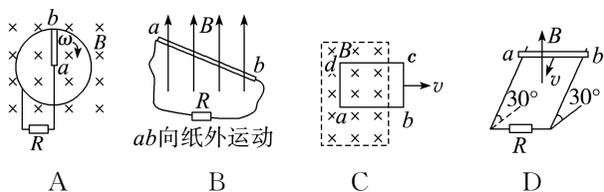


图 A 中感应电流的方向为 a 到 b 。

图 B 中感应电流的方向为 b 到 a 。

图 C 中感应电流的方向为 b 到 a 。

图 D 中感应电流的方向为 b 到 a 。

[判一判]

1. 右手定则只适用于闭合电路中的部分导体切割磁感线产生感应电流的情况。 ()

2. 使用右手定则时必须让磁感线垂直穿过掌心。 ()

3. 使用右手定则时,四指指向导线运动的方向。 ()

知识点二 楞次定律及其应用

1. 探究感应电流方向的实验结论

表述一:当穿过线圈的磁通量增加时,感应电流的磁场与原磁场的方向相反;当穿过线圈的磁通量减少时,感应电流的磁场与原磁场的方向相同。

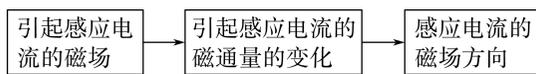
表述二:当磁体靠近线圈时,两者相斥;当磁体远离线圈时,两者相吸。

2. 楞次定律

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

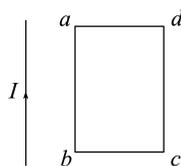
[科学思维]

应用楞次定律时应依次确定的物理量



[做一做]

(多选)如图所示,足够长的通电导线旁边同一平面内有矩形线圈 $abcd$,则 ()



- A. 若线圈向右平动,其中感应电流的方向是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$
- B. 若线圈竖直向下平动,无感应电流产生
- C. 当线圈以 ad 边为轴转动时(转动角度小于 90°),其中感应电流的方向是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$

D. 当线圈向导线靠近时,其中感应电流的方向是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$

BD **解析:**线圈所在处的磁场垂直纸面向里,当线圈向右平动或以 ad 边为轴转动时,穿过线圈的磁通量减少,感应电流产生的磁场与原磁场同向,根据安培定则可知,感应电流方向为 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b$,

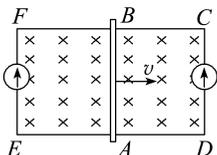
A、C 错误;若线圈竖直向下平动,穿过线圈的磁通量不变,无感应电流产生,B 正确;当线圈向导线靠近时,穿过线圈的磁通量增大,感应电流产生的磁场与原磁场反向,垂直纸面向外,感应电流方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d$,D 正确。

任务型课堂

任务一 右手定则的理解及应用

[探究活动]

如图所示,有界磁场刚好处于矩形线框 $CDEF$ 内,导体棒 AB 放在矩形线框 $CDEF$ 上,且能与线框导电。



(1)当磁场不动,导体棒 AB 向右运动时, AB 中的电流方向如何?

(2)当导体棒和矩形线框固定不动,磁场向右运动时, AB 中的电流方向如何?

提示:(1)导体棒向右运动时,根据右手定则可判断电流从 A 流向 B 。

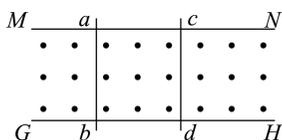
(2)导体棒不动时,磁场向右运动,回路 $ABCD$ 中的磁通量不变,回路 $ABFE$ 中的磁通量减少,可知电流从 B 流向 A 。

[评价活动]

1.家住成都的张同学周末来到郊外的公园游玩,一架飞机由西向东匀速飞过张同学的头顶。下列说法正确的是 (C)

- A. 两机翼电势一样高
- B. 南边的机翼电势高
- C. 北边的机翼电势高
- D. 无法判断

2. MN 、 GH 为光滑的水平平行金属导轨, ab 、 cd 为跨在导轨上的两根金属杆,匀强磁场垂直穿过 MN 、 GH 所在的平面,如图所示,则 ()



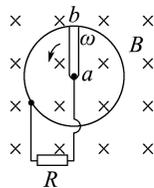
- A. 若固定 ab ,使 cd 向右滑动,则 $abcd$ 回路有电流,电流方向为 $abcd$
- B. 若 ab 、 cd 以相同的速度一起向右滑动,则 $abcd$ 回路有电流,电流方向为 $acdb$

C. 若 ab 向左、 cd 向右同时运动,则 $abcd$ 回路电流为 0

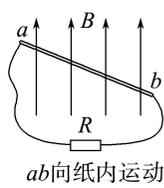
D. 若 ab 、 cd 都向右运动,且两棒速度 $v_{cd} > v_{ab}$,则 $abcd$ 回路有电流,电流方向为 $acdb$

D **解析:**若固定 ab ,使 cd 向右滑动,由右手定则知产生的电流方向为 $acdb$,故 A 错误;若 ab 、 cd 沿导轨同向运动且速度大小相等, ab 、 cd 与导轨所围的面积不变,磁通量不变,不产生感应电流,故 B 错误;若 ab 向左、 cd 向右同时运动,则 $abcd$ 回路中磁通量变化,产生感应电流,故 C 错误;若 ab 、 cd 都向右运动,且 $v_{cd} > v_{ab}$,则 ab 、 cd 与导轨所围的面积发生变化,磁通量也发生变化,由右手定则可判断出产生的电流方向为 $acdb$,故 D 正确。

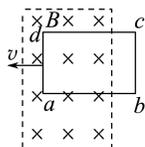
3.闭合回路中的一部分导体在磁场中做切割磁感线运动的情境如图所示,导体 ab 上的感应电流方向为 $b \rightarrow a$ 的是 ()



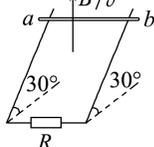
A



B



C



D

A **解析:**题图 A 中, ab 逆时针转动,运用右手定则, ab 上的感应电流方向为 $b \rightarrow a$,A 正确;题图 B 中, ab 向纸内运动,运用右手定则,导体 ab 上的感应电流方向为 $a \rightarrow b$,B 错误;题图 C 中,线框向左运动时,穿过线框的磁通量增加,由楞次定律可知,线框中感应电流方向为 $abcd$,则导体 ab 上的感应电流方向为 $a \rightarrow b$,C 错误;题图 D 中, ab 沿导轨向上运动,由右手定则判断可知,导体 ab 上的感应电流方向为 $a \rightarrow b$,D 错误。

任务总结

1. 右手定则应用的两点说明

- (1) 当导体不动而磁场运动时, 拇指的指向是导体相对磁场的运动方向。
- (2) 做“切割”运动的那段导体中, 感应电流方向就是感应电动势方向, 由低电势指向高电势, 因为这段导体相当于电源。

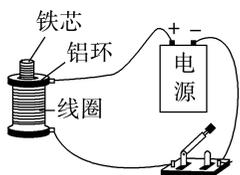
2. 三个定则的比较

比较项目	左手定则	右手定则	安培定则
应用	磁场对运动电荷与电流作用力方向的判断	对因导体切割磁感线而产生的感应电流方向的判断	电流产生的磁场方向的判断
涉及方向的物理量	磁场方向、电流(电荷运动)方向、安培力(洛伦兹力)方向	磁场方向、导体切割磁感线的方向、感应电流的方向	电流方向、磁场方向
各物理量方向间的关系图例			
因果关系	电流 → 运动	运动 → 电流	电流 → 磁场
应用实例	电动机	发电机	电磁铁

任务二 楞次定律的理解及应用

[探究活动]

如图所示, 绕有线圈的铁芯直立在水平桌面上, 铁芯上套有一个铝环, 线圈与电源、开关相连, 线圈上端与电源正极相连, 闭合开关的瞬间, 铝环向上跳起。



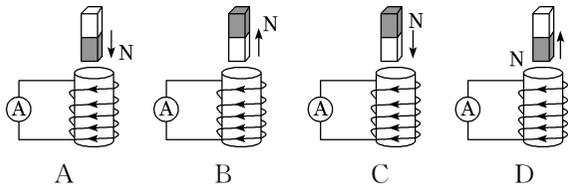
- (1) 闭合开关瞬间, 穿过铝环的磁通量如何变化?
- (2) 铝环向上跳起的原因是什么?

提示: (1) 穿过铝环的磁通量增加。

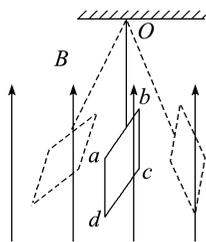
(2) 闭合开关瞬间, 穿过铝环的磁通量增加, 铝环中产生感应电流, 铝环受到向上的安培力作用, 所以向上跳起。

[评价活动]

1. (多选) 验证楞次定律实验的示意图如下列选项图所示, 竖直放置的线圈固定不动, 将磁体从线圈上方插入或拔出, 线圈和电流表构成的闭合回路中就会产生感应电流。各选项图中分别标出了磁体的极性、磁体相对线圈的运动方向以及线圈中产生的感应电流的方向等情况, 其中表示正确的是 (CD)



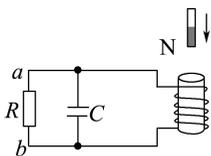
2. 如图所示, 在磁感应强度大小为 B 、方向竖直向上的匀强磁场中, 有一质量为 m 、阻值为 R 的闭合矩形金属线框 $abcd$ 用绝缘轻质细杆悬挂在 O 点, 并可绕 O 点摆动。金属线框从右侧某一位置由静止开始释放, 在摆动到左侧最高点的过程中, 细杆和金属线框平面始终处于同一平面, 且垂直纸面, 则线框中感应电流的方向是 ()



- A. $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$
- B. $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow d$
- C. 先是 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow d$, 后是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$
- D. 先是 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$, 后是 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow d$

B 解析: 线框从右侧开始由静止释放到最低点的过程中, 穿过线框平面的磁通量逐渐减少, 由楞次定律可得感应电流的方向为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow d$; 过最低点所在的竖直线后继续向左摆动过程中, 穿过线框平面的磁通量逐渐增大, 由楞次定律可得感应电流的方向仍为 $d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow d$, 故 B 选项正确。

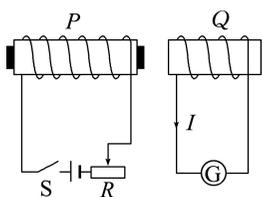
3. 电阻 R 、电容 C 与一线圈连成闭合电路, 条形磁体静止于线圈的正上方, N 极朝下, 如图所示。现使磁体开始自由下落, 在 N 极接近线圈上端的过程中, 流过 R 的电流方向和电容器极板的带电情况分别是 ()



- 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

D 解析: 在磁体自由下落, N 极接近线圈上端的过程中, 通过线圈的磁通量方向向下且在增大, 根据楞次定律可判断出线圈中感应电流的磁场方向向上, 利用安培定则可判知线圈中感应电流方向为逆时针(由上向下看), 流过 R 的电流方向从 b 到 a , 电容器下极板带正电。选项 D 正确。

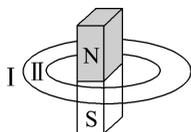
4. 如图所示, 要使 Q 线圈产生图示方向的电流, 可采用的方法有 ()



- A. 闭合开关 S 的瞬间
- B. 闭合开关 S 后, 把 R 的滑片向右移
- C. 闭合开关 S 后, 把 P 中的铁芯从左边抽出
- D. 闭合开关 S 后, 把 Q 远离 P

A 解析: 闭合开关 S 时, 线圈 P 中电流从无到有, 铁芯中产生向右的磁场, 穿过 Q 的磁通量增加, 根据楞次定律, Q 中产生图示方向的电流, A 正确; 闭合开关 S 后, R 的滑片向右移时, P 中电流减小, 穿过 Q 的磁通量减小, 根据楞次定律, Q 中产生与图示方向相反的电流, B 错误; 闭合开关 S 后, 将铁芯抽出或 Q 远离 P 时, 穿过 Q 的磁通量都减小, 根据楞次定律, Q 中产生与图示方向相反的电流, C、D 错误。

5. 如图所示, 若套在条形磁体上的弹性金属线圈 I 突然缩小为线圈 II, 则关于线圈的感应电流及其方向(从上往下看)是 ()



- A. 有顺时针方向的感应电流
- B. 有逆时针方向的感应电流
- C. 有先逆时针后顺时针方向的感应电流
- D. 无感应电流

A 解析: 穿过线圈的磁通量包括磁体内全部和磁体外的一部分, 合磁通量是向上的。当线圈突然缩小时合磁通量增加, 原因是磁体外向下穿过线圈的磁通量减少。由楞次定律判断, 感应电流的方向为

顺时针方向, 选项 A 正确。

任务总结

1. 因果关系

闭合回路中原磁通量的变化是产生感应电流的原因, 而感应电流的磁场的产生是感应电流存在的结果, 即只有当闭合回路中的原磁通量发生变化时, 才会有感应电流的磁场出现。

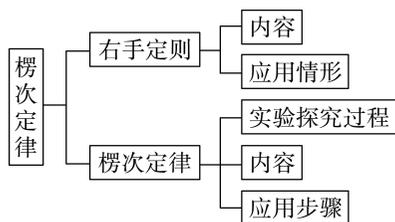
2. 应用楞次定律判断感应电流方向的步骤

- (1) 明确所研究的闭合回路。
- (2) 判断原磁场方向及磁通量变化情况。
- (3) 依据楞次定律判断感应电流产生的磁场方向。
- (4) 利用安培定则(右手螺旋定则)判断感应电流的方向。

3. 楞次定律与右手定则的比较

比较内容	楞次定律	右手定则
研究对象	整个闭合回路	闭合回路的一部分, 即切割磁感线的导体
适用范围	各种电磁感应现象	只适用于部分导体在磁场中做切割磁感线的运动的情况
应用	用于磁感应强度 B 随时间变化而产生的电磁感应现象较方便	用于导体切割磁感线产生的电磁感应现象较方便
联系	右手定则是楞次定律的特例	

► 提质归纳



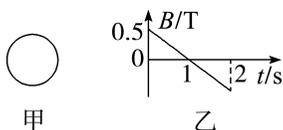
习题课(三)

任务一 楞次定律的应用技巧一——

“增反减同”

「任务驱动」

如图甲所示的闭合圆线圈放在匀强磁场中, $t=0$ 时磁感应强度垂直线圈平面向里, 磁感应强度随时间变化的关系图像如图乙所示。



问题 1: 请说出 $0\sim 1\text{ s}$ 和 $1\sim 2\text{ s}$ 线圈中磁场的方向。

提示: $0\sim 1\text{ s}$, 线圈中磁场的方向垂直线圈平面向里; $1\sim 2\text{ s}$ 线圈中磁场的方向垂直线圈平面向外。

问题 2: $0\sim 1\text{ s}$ 和 $1\sim 2\text{ s}$ 穿过线圈的磁通量如何变化?

提示: $0\sim 1\text{ s}$, 穿过线圈的磁通量减小, $1\sim 2\text{ s}$ 穿过线圈的磁通量增大。

问题 3: 试根据“增反减同”判断 $0\sim 1\text{ s}$ 和 $1\sim 2\text{ s}$ 线圈中产生的感应磁场方向。

提示: 根据“增反减同”可知, $0\sim 1\text{ s}$, 线圈中感应磁场的方向垂直线圈平面向里; $1\sim 2\text{ s}$ 线圈中感应磁场的方向垂直线圈平面向里。

问题 4: 在 $0\sim 2\text{ s}$, 如何判断感应电流的方向?

提示: 在 $0\sim 2\text{ s}$, 由于感应磁场的方向垂直线圈平面向里, 根据安培定则可知, 感应电流的方向为顺时针。

「知识链接」

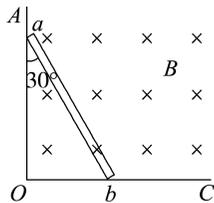
“增反减同”的理解——阻碍原磁通量的变化

当穿过线圈的磁通量增加时, 感应磁场与原磁场反向; 当穿过线圈的磁通量减小时, 感应磁场与原磁场同向。

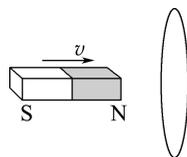
「任务达标」

1. 如图所示, AOC 是光滑的金属导轨, AO 沿竖直方向, OC 沿水平方向, ab 是一根金属棒, 与导轨接触良好, 它从图示位置由静止开始在重力作用下运动, 运动过程中 b 端始终在 OC 上, a 端始终在 OA 上, 直到完全落在 OC 上。空间存在着匀强磁场, 磁场方向垂直于纸面向里, 则 ab 棒在上述过程中

(C)



- A. 感应电流方向是 $b\rightarrow a$
 B. 感应电流方向是 $a\rightarrow b$
 C. 感应电流方向先是 $b\rightarrow a$, 后是 $a\rightarrow b$
 D. 感应电流方向先是 $a\rightarrow b$, 后是 $b\rightarrow a$
2. 如图所示, 一根条形磁体从左向右靠近闭合金属环的过程中(始终在金属环左侧), 环中的感应电流(自左向右看) ()



- A. 沿顺时针方向
 B. 先沿顺时针方向后沿逆时针方向
 C. 沿逆时针方向
 D. 先沿逆时针方向后沿顺时针方向

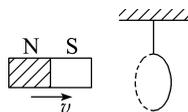
C 解析: 条形磁体从左向右靠近闭合金属环的过程中, 向右的磁通量一直增加, 根据“增反减同”可知闭合金属环产生的感应磁场向左, 再由安培定则可判断环中的感应电流(自左向右看)为逆时针方向, C 项正确。

任务二 楞次定律的应用技巧二——

“来拒去留”

「任务驱动」

如图所示, 当条形磁体突然向闭合铜环运动时:



问题 1: 铜环中是否产生感应电流?

提示: 当条形磁体靠近闭合铜环时, 穿过铜环的磁通量增加, 铜环中会产生感应电流。

问题 2: 根据“来拒去留”, 条形磁体靠近闭合铜环时, 两者之间是引力还是斥力?

提示: 斥力。

问题 3: 试说明条形磁体和闭合铜环之间产生作用力的实质。

提示: 条形磁体和闭合铜环之间产生的作用力为安培力。

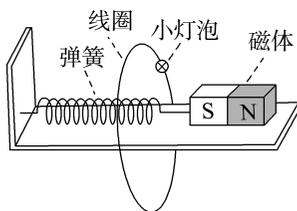
「知识链接」

“来拒去留”的理解——阻碍导体间的相对运动

内容	例证
感应电流与磁场间的作用力,阻碍磁场与导体间的相对运动——“来拒去留”	

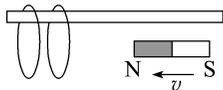
「任务达标」

1. 如图所示,右端为 N 极的磁体置于粗糙水平桌面上并与轻质弹簧相连,弹簧一端固定在竖直墙面上,当弹簧处于原长时,磁体的中心恰好是接有一盏小灯泡的竖直固定线圈的圆心。用力将磁体向右拉到某一位置,撤去作用力后磁体穿过线圈来回振动。关于这个振动过程,以下说法正确的是



- A. 灯泡的亮暗不会发生变化
- B. 磁体接近线圈时,线圈对磁体产生排斥力
- C. 从左往右看线圈中的电流一直沿逆时针方向
- D. 若忽略摩擦力和空气阻力,磁体振动的幅度不会减小

2. 如图所示,两个相同的轻质铝环套在一根水平光滑的绝缘杆上,当一条形磁体向左运动靠近两环时,两环的运动情况是 ()

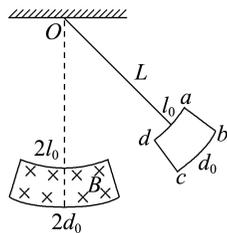


- A. 同时向左运动,间距变大
- B. 同时向左运动,间距变小
- C. 同时向右运动,间距变小
- D. 同时向右运动,间距变大

B 解析: 磁体向左运动靠近两环,根据楞次定律的“来拒去留”,两环都受到向左的作用力,两环都向左运动。另外,两环产生的感应电流方向相同,依据安培定则和左手定则可以判断两个环之间是相互吸引的,所以选项 A、C、D 错误, B 正确。

3. 如图所示,用一根长为 L ,质量不计的细杆与一个上弧长为 l_0 、下弧长为 d_0 的金属线框上弧的中点连接并悬挂于 O 点,悬点正下方存在一个上弧长为

$2l_0$ 、下弧长为 $2d_0$ 的方向垂直于纸面向里的有界匀强磁场,且 $d_0 < L$,先将线框拉到如图所示位置,松手后让线框进入磁场,忽略空气阻力和摩擦。下列说法正确的是 ()



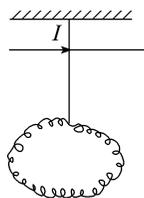
- A. 金属线框进入磁场时感应电流的方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$
- B. 金属线框离开磁场时感应电流的方向为 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$
- C. 金属线框 dc 边进入磁场与 ab 边离开磁场的速度大小总是相等
- D. 金属线框最终将在有界磁场中做往复运动

D 解析: 金属线框进入磁场时,线框切割磁感线的有效面积增大,磁通量增大,因此产生感应电流,根据楞次定律和安培定则判断电流的方向为 $a \rightarrow d \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$,故 A 错误;金属线框离开磁场时,线框切割磁感线的有效面积减小,磁通量减小,因此产生感应电流,根据楞次定律和安培定则判断电流的方向为 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$,故 B 错误;根据能量守恒定律,线框每次经过磁场边界时都会有热量产生,机械能减少,可知金属线框 dc 边进入磁场与 ab 边离开磁场的速度大小不相等,故 C 错误;当线框不再穿出磁场时,就没有能量损失,故线框最终将在有界磁场中做往复运动,故 D 正确。

任务三 楞次定律的应用技巧三——“增缩减扩”

「任务驱动」

如图所示,一个有弹性的金属环被一根橡皮绳吊于通电直导线的正下方,直导线与金属环在同一竖直面内。



问题 1: 当通电直导线中电流增大时,穿过金属环的磁通量如何变化?

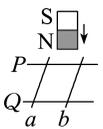
提示: 穿过金属环的磁通量增大。

问题 2: 当通电直导线中电流增大时,试根据“增缩减扩”判断金属环的面积如何变化。

提示: 根据“增缩减扩”可知,金属环的面积缩小。

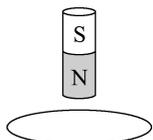
「知识链接」

“增缩减扩”的理解——阻碍原磁通量的变化

内容	例证
回路中 Φ 变化时, 产生的感应电流使回路面积有扩大或缩小的趋势——“增缩减扩”	 <p>P、Q是光滑固定导轨, a、b是可动金属棒, 磁体下移, 面积应减小, a、b靠近</p>
	 <p>B减小, 线圈扩张</p>
说明: 此方法适用于回路中只有一个方向的磁感线穿过的情况	

「任务达标」

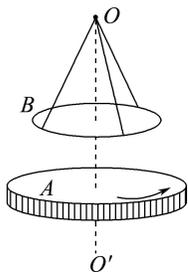
1. 如图所示, 水平桌面上放着一个圆形金属线圈, 在其圆心的正上方固定一个柱形磁体, 现通过加热的方式使柱形磁体磁性减弱, 圆形金属线圈始终保持静止。下列说法正确的是



(D)

- A. 线圈中感应电流产生的磁场方向向上
B. 从上往下看, 线圈中感应电流沿逆时针方向
C. 水平桌面对线圈的支持力增大
D. 线圈有扩张的趋势

2. 如图所示, A 为水平放置的胶木圆盘, 在其侧面均匀分布着负电荷, 在 A 的正上方用绝缘丝线悬挂一个金属圆环 B , 使 B 的环面水平且与圆盘面平行, 其轴线与胶木盘 A 的轴线 OO' 重合。现使胶木盘 A 由静止开始绕其轴线 OO' 按箭头所示方向加速转动, 则

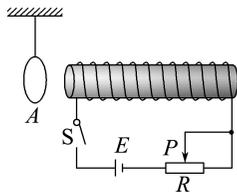


()

- A. 金属环 B 的面积有扩大的趋势, 丝线受到的拉力增大
B. 金属环 B 的面积有缩小的趋势, 丝线受到的拉力减小
C. 金属环 B 的面积有扩大的趋势, 丝线受到的拉力减小
D. 金属环 B 的面积有缩小的趋势, 丝线受到的拉力增大

B 解析: 使胶木盘 A 由静止开始绕其轴线 OO' 按箭头所示方向加速转动, 通过金属环 B 内的磁通量增大, 根据“增缩减扩”, 金属环 B 的面积有缩小的趋势, 且 B 有向上方运动的趋势, 丝线受到的拉力减小, B 正确。

3. 如图, 弹性金属环 A 用绝缘轻绳悬挂, 与长直螺线管共轴, 并位于其左侧。若变阻器的滑片 P 向左移动, 则 ()



- A. 金属环 A 向左运动, 同时向外扩张
B. 金属环 A 向左运动, 同时向里收缩
C. 金属环 A 向右运动, 同时向外扩张
D. 金属环 A 向右运动, 同时向里收缩

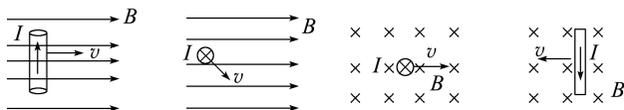
B 解析: 变阻器滑片 P 向左移动, 电阻变小, 电流变大, 根据楞次定律, 感应电流的磁场方向与原电流磁场方向相反, 故相互排斥, 则金属环 A 将向左运动, 因磁通量增大, 金属环 A 有收缩趋势, 故 B 正确, A 、 C 、 D 错误。

课后素养评价(五) 楞次定律

基础性·能力运用

知识点 1 右手定则的理解及应用

1. 闭合电路的一部分导体在磁场中因切割磁感线而产生了感应电流, 在如图所示的图中, B 、 v 、 I 方向均正确的是 (D)



A

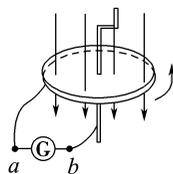
B

C

D

2. (多选) 如图所示, 在竖直向下的匀强磁场中, 有一

个带铜轴的铜盘, 用铜刷把盘边缘和轴连接, 外接一电流表, 当铜盘按图示匀速转动, 则 (BD)

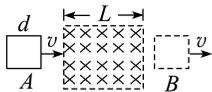


- A. G 中有 $a \rightarrow b$ 的电流
B. G 中有 $b \rightarrow a$ 的电流
C. 盘面磁通量不变, 不产生感应电流

D. 有从盘边缘向盘中心的电流

知识点 2 楞次定律的理解及应用

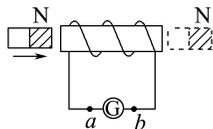
3. 如图所示, 边长为 d 的正方形线圈, 从位置 A 开始向右运动, 并穿过宽为 $L(L > d)$ 的匀强磁场区域到达位置 B , 则 (D)



- A. 整个过程中, 线圈中始终有感应电流
- B. 整个过程中, 线圈中始终没有感应电流
- C. 线圈进入磁场和离开磁场的过程中, 有感应电流, 方向都是逆时针方向
- D. 线圈进入磁场的过程中, 感应电流的方向为逆时

针方向; 离开磁场的过程中, 感应电流的方向为顺时针方向

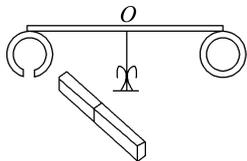
4. 如图所示, 一根条形磁体自左向右穿过一个闭合螺线管, 则电路中 (C)



- A. 始终有感应电流自 a 向 b 流过电流表 G
- B. 始终有感应电流自 b 向 a 流过电流表 G
- C. 先有 $a \rightarrow G \rightarrow b$ 方向的感应电流, 后有 $b \rightarrow G \rightarrow a$ 方向的感应电流
- D. 不会产生感应电流

综合性 · 创新提升

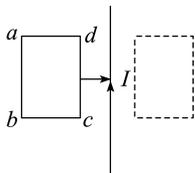
5. 如图所示, 老师做了一个物理小实验让学生观察: 一轻质横杆两侧各固定一金属环, 横杆可绕中心点自由转动, 老师拿一条形磁体插向其中一个小环, 后又取出插向另一个小环。同学们看到的现象是 ()



- A. 磁体插向左环, 横杆发生转动
- B. 磁体插向右环, 横杆发生转动
- C. 无论磁体插向左环还是右环, 横杆都不发生转动
- D. 无论磁体插向左环还是右环, 横杆都发生转动

B 解析: 左环没有闭合, 在磁体插入过程中, 不产生感应电流, 故横杆不发生转动。右环闭合, 在磁体插入过程中, 产生感应电流, 在安培力的作用下横杆将发生转动, 故 B 正确。

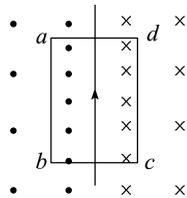
6. 如图所示, 导线框 $abcd$ 与直导线在同一平面内, 直导线通有恒定电流 I 。在线框由左向右匀速通过直导线的过程中, 线框中感应电流的方向是 ()



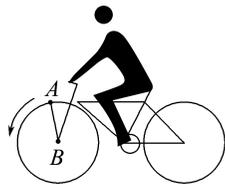
- A. 先 $abcd$, 后 $dcba$, 再 $abcd$
- B. 先 $abcd$, 后 $dcba$
- C. 始终 $dcba$
- D. 先 $dcba$, 后 $abcd$, 再 $dcba$

D 解析: 线框在直导线左侧时, 随着线框向右运动, 穿过线框的磁通量增大, 根据楞次定律知, 线框中感应电流的方向为 $dcba$ 。当线框的 cd 边跨过直

导线后, ab 边运动到直导线之前, 如图所示, 根据右手定则知 ab 边产生的感应电流方向为 $a \rightarrow b$, cd 边产生的感应电流方向为 $c \rightarrow d$ 。线框全部跨过直导线后, 随着向右运动, 穿过线框的磁通量减小, 根据楞次定律知, 线框中感应电流的方向为 $dcba$ 。故选项 D 正确。



7. (多选) 如图所示, 某人在自行车道上从东往西沿直线骑行, 该处地磁场的水平分量方向由南向北, 竖直分量方向竖直向下。自行车车把为直把、金属材质, 且带绝缘把套, 只考虑自行车在地磁场中的电磁感应现象, 则下列结论正确的是 ()

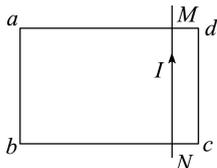


- A. 图示位置中辐条 A 点电势比 B 点电势低
- B. 图示位置中辐条 A 点电势比 B 点电势高
- C. 自行车左车把的电势比右车把的电势高
- D. 自行车在十字路口左拐改为南北骑向, 则自行车右车把电势高

AC 解析: 自行车从东往西行驶时, 辐条切割地磁场水平分量的磁感线, 根据右手定则判断可知, 题图所示位置中辐条 A 点电势比 B 点电势低, 故 A 正确, B 错误; 自行车车把切割地磁场竖直分量的磁感线, 由右手定则知, 左车把的电势比右车把的电势高, 故 C 正确; 自行车左拐改为南北骑向, 自行

车把仍切割地磁场竖直分量的磁感线,由右手定则可左车把的电势仍然高于右车把的电势,故 D 错误。

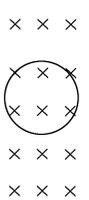
8. 如图所示, MN 是一根固定在光滑水平面上的通电细长直导线, 电流方向由 N 到 M 。今将一矩形金属线框 $abcd$ 放在导线上, ab 边平行于 MN , 让线框的位置偏向导线的左边, 两者彼此绝缘, 当导线上的电流突然增大时, 线框整体受力方向为 ()



- A. 向右
B. 向左
C. 向上
D. 受力为零

解析: 金属线框放在导线 MN 上, 导线中电流产生磁场, 根据安培定则判断可知, 导线左右两侧磁场方向相反, 导线左侧线框的磁通量大于右侧线框的磁通量。当导线中电流增大时, 穿过线框的磁通量增大, 线框产生感应电流, 根据楞次定律可知, 感应电流的磁场要阻碍原磁通量的变化, 则线框将向使磁通量减小的方向运动, 即向右移动, 线框整体受力向右, 故 A 正确, B、C、D 错误。

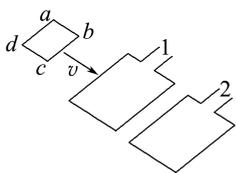
9. (多选) 如图所示, 闭合金属圆环沿垂直于磁场方向放置在有界匀强磁场中, 现将它从匀强磁场中匀速拉出, 以下各种说法正确的是 ()



- A. 向左拉出和向右拉出时, 环中的感应电流方向相反
B. 向左或向右拉出时, 环中感应电流方向都是沿顺时针方向的
C. 向左或向右拉出时, 环中感应电流方向都是沿逆时针方向的
D. 将圆环左右拉动, 当环全部处在磁场中运动时, 圆环中无感应电流

BD 解析: 将金属圆环不管从哪边拉出磁场, 穿过闭合圆环的磁通量都要减少, 根据楞次定律可知, 感应电流的磁场要阻碍原磁通量的减少, 感应电流的磁场方向与原磁场方向相同, 应用右手螺旋定则可以判断出感应电流的方向是顺时针方向的, 选项 B 正确, A、C 错误; 当圆环全部处在磁场中运动时, 穿过圆环的磁通量没有改变, 该种情况无感应电流, D 正确。

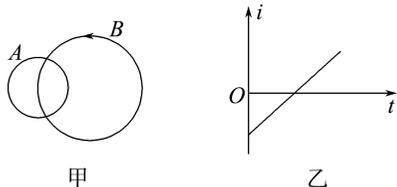
10. (2023·海南卷) 汽车测速利用了电磁感应现象, 如图所示, 汽车可简化为一个矩形线圈 $abcd$, 埋在地下的线圈分别为 1、2, 通上顺时针(俯视)方向电流, 当汽车经过线圈时 ()



- A. 线圈 1、2 产生的磁场方向竖直向上
B. 汽车进入线圈 1 过程产生感应电流方向为 $abcd$
C. 汽车离开线圈 1 过程产生感应电流方向为 $abcd$
D. 汽车进入线圈 2 过程受到的安培力方向与速度方向相同

C 解析: 由题意知, 埋在地下的线圈 1、2 通顺时针(俯视)方向的电流, 根据右手螺旋定则, 可知线圈 1、2 产生的磁场方向竖直向下, A 错误; 汽车进入线圈 1 过程中, 磁通量增大, 根据楞次定律可知产生的感应电流方向为 $adcb$ (逆时针), B 错误; 汽车离开线圈 1 过程中, 磁通量减小, 根据楞次定律可知, 产生的感应电流方向为 $abcd$ (顺时针), C 正确; 汽车进入线圈 2 过程中, 磁通量增大, 根据楞次定律可知, 产生的感应电流方向为 $adcb$ (逆时针), 再根据左手定则, 可知汽车受到的安培力方向与速度方向相反, D 错误。

11. 如图甲所示, 在同一平面内有两个彼此绝缘的金属细圆环 A、B, 两环重叠部分的面积为圆环 A 面积的一半, 圆环 B 中电流 i 随时间 t 的变化关系如图乙所示, 以图甲中圆环 B 中所示的电流方向为负方向, 则 A 环中 ()



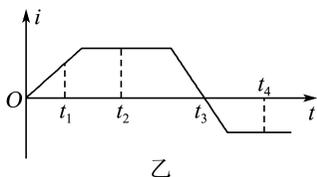
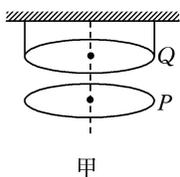
- A. 没有感应电流
B. 有逆时针方向的感应电流
C. 有顺时针方向的感应电流
D. 感应电流先沿顺时针方向, 后沿逆时针方向

B 解析: 由于 B 环的电流发生变化, A 环中的磁通量发生变化, 所以 A 环中有感应电流, 选项 A 错误; 根据楞次定律知, A 环中整体的磁通量先垂直纸面向外减少, 后垂直纸面向里增多, 故根据安培定则可知 A 环中产生沿逆时针方向的感应电流, 选项 B 正确, C、D 错误。

12. (多选) 如图甲所示, 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 共轴且平行, Q 中通有变化的电流, 电流随时间变化的规律如图乙所示, P 所受的重力为 G , 桌面对 P 的支

持力为 F_N , 则

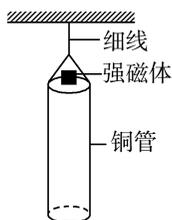
(AD)



- A. t_1 时刻, $F_N > G$ B. t_2 时刻, $F_N > G$
 C. t_3 时刻, $F_N < G$ D. t_4 时刻, $F_N = G$

13. 如图所示, 一个质量为 M 、长为 l 的铜管用细线悬挂在天花板上, 现让一强磁体(可视为质点)从铜管上端由静止下落, 强磁体在下落过程中与铜管不接触, 不计空气阻力, 在强磁体穿过铜管的过程中

()



- A. 铜管中没有感应电流
 B. 整个系统机械能守恒
 C. 细线中的拉力 $F = Mg$

D. 强磁体穿过铜管的时间 $t > \sqrt{\frac{2l}{g}}$

D 解析: 强磁体穿过铜管, 导致铜管中的磁通量发生变化, 从而产生感应电流; 感应电流产生的磁场阻碍原磁通量的变化, 导致强磁体受到一定的阻力, 强磁体对铜管有向下的作用力, 则细线中的拉力 $F > Mg$, 故 A、C 错误; 强磁体在铜管中运动的过程中, 虽不计空气阻力, 但在此过程中, 出现安培力做功产生内能, 所以系统机械能不守恒, 故 B 错误; 因为铜管对强磁体有阻力, 所以强磁体不能做自由落体运动, 其下落的加速度小于 g , 则其

穿过铜管的时间 $t > \sqrt{\frac{2l}{g}}$, 故 D 正确。

2 法拉第电磁感应定律

学习任务目标

1. 理解和掌握法拉第电磁感应定律的内容和表达式。(物理观念)
2. 能够运用法拉第电磁感应定律定量计算感应电动势的大小。(科学思维)
3. 能够运用 $E = BLv$ 或 $E = BLv \sin \theta$ 计算导体切割磁感线时的感应电动势。(科学思维)

问题式预习

知识点一 法拉第电磁感应定律

1. 感应电动势

(1) 产生条件: 穿过电路的磁通量发生变化, 与电路是否闭合无关。

(2) 产生感应电动势的那部分导体相当于电源。

2. 法拉第电磁感应定律

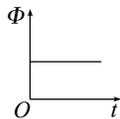
(1) 内容: 电路中感应电动势的大小, 跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比。

(2) 大小: $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ (单匝线圈); $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ (n 匝线圈)。

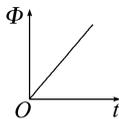
(3) 在国际单位制中, 磁通量的单位是韦伯(Wb), 感应电动势的单位是伏特(V)。

[科学思维]

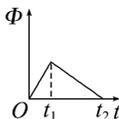
闭合回路的磁通量 Φ 随时间 t 的变化图像分别如图甲、乙、丙所示, 试分析下列关于回路中产生的感应电动势。



甲



乙



丙

- (1) 甲图产生的感应电动势: 零。
 (2) 乙图产生的感应电动势: 定值。
 (3) 丙图产生的感应电动势: 先大后小。

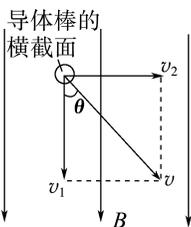
[判一判]

1. 产生感应电动势, 不一定产生感应电流。 (√)
2. 感应电动势的大小与磁通量大小有关。 (×)
3. 磁通量变化越大, 感应电动势也越大。 (×)
4. 磁通量变化越快, 感应电动势也越大。 (√)

知识点二 导线切割磁感线的感应电动势

1. 磁场方向、导体棒与导体棒的运动方向三者两两相互垂直时, $E = BLv$ 。
2. 如图所示, 导体棒与磁场方向垂直, 导体棒的运动方向与导体棒本身垂直, 但与磁场方向夹角为 θ

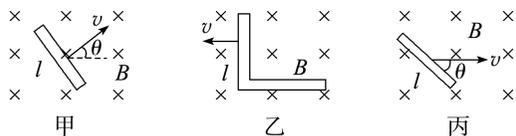
时, $E = BLv \sin \theta$ 。



3. 单位关系: $1 \text{ V} = 1 \text{ T} \cdot 1 \text{ m} \cdot 1 \text{ m/s}$ 。

[科学思维]

如图所示的情况中, 金属导体在磁场中做切割磁感线的运动。



(1) 甲图中产生的感应电动势:

$$E = Blv.$$

(2) 乙图中产生的感应电动势:

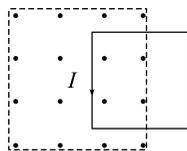
$$E = Blv.$$

(3) 丙图中产生的感应电动势:

$$E = Blv \sin \theta.$$

[做一做]

如图所示, 把一阻值为 R 、边长为 L 的正方形金属线框, 从磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 以速度 v 向右匀速拉出。在此过程中线框中产生了电流, 此电流



- A. 方向与图示箭头方向相同, 大小为 $\frac{BLv}{R}$
 B. 方向与图示箭头方向相同, 大小为 $\frac{2BLv}{R}$
 C. 方向与图示箭头方向相反, 大小为 $\frac{BLv}{R}$
 D. 方向与图示箭头方向相反, 大小为 $\frac{2BLv}{R}$

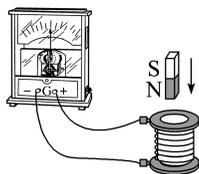
A 解析: 利用右手定则可判断感应电流是逆时针方向。因为 $E = BLv$, 所以电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{BLv}{R}$, A 正确。

任务型课堂

任务一 对法拉第电磁感应定律的理解和应用

[探究活动]

如图所示, 在将条形磁体从同一高度插入线圈的实验中:



(1) 快速插入和缓慢插入磁通量的变化量 $\Delta\Phi$ 相同吗? 指针偏转角度相同吗?

(2) 分别用一根磁体和两根磁体以同样速度快速插入, 磁通量的变化量 $\Delta\Phi$ 相同吗? 指针偏转角度相同吗?

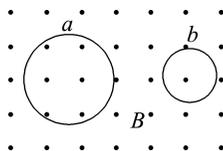
提示: (1) 磁通量变化相同, 但磁通量变化快慢不同, 快速插入比缓慢插入时指针偏转角度更大。

(2) 用两根磁体快速插入时磁通量变化量较大, 磁通量变化率也较大, 指针偏转角度更大。

[评价活动]

1. 如图所示, 匀强磁场中有两个导体圆环 a 、 b , 磁场方向与圆环所在平面垂直。磁感应强度 B 随时间均匀增大。两圆环半径之比为 $2:1$, 圆环中产生的

感应电动势分别为 E_a 和 E_b 。不考虑两圆环间的相互影响。下列说法正确的是 (B)



- A. $E_a : E_b = 4 : 1$, 感应电流均沿逆时针方向
 B. $E_a : E_b = 4 : 1$, 感应电流均沿顺时针方向
 C. $E_a : E_b = 2 : 1$, 感应电流均沿逆时针方向
 D. $E_a : E_b = 2 : 1$, 感应电流均沿顺时针方向

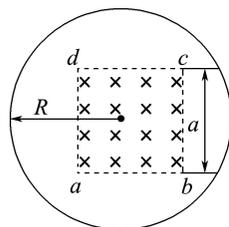
2. 如图所示, 半径为 R 的 n 匝线圈套在边长为 a 的正方形 $abcd$ 之外, 匀强磁场垂直穿过该正方形。当

磁场以 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 的变化率变化时, 线圈产生的感应电动势的大小为 ()

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

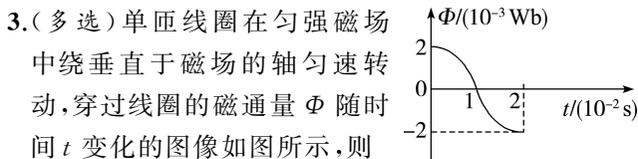
D. $na^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$

D 解析: 由题意可知, 线圈中磁场的面积为 a^2 , 根



据法拉第电磁感应定律可知,线圈中产生的感应电动

势大小为 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = na^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$,故选项 D 正确。

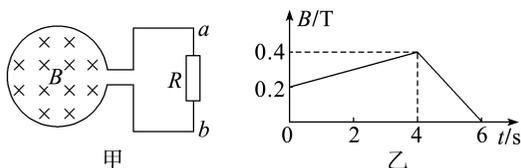


()

- A. 在 $t=0$ 时,线圈中磁通量最大,感应电动势也最大
- B. 在 $t=1 \times 10^{-2}$ s 时,感应电动势最大
- C. 在 $t=2 \times 10^{-2}$ s 时,感应电动势为零
- D. 在 $0 \sim 2 \times 10^{-2}$ s 时间段,线圈中感应电动势的平均值为零

BC 解析:由法拉第电磁感应定律知, $E \propto \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,故 $t=0$ 及 $t=2 \times 10^{-2}$ s 时, $E=0$,选项 A 错误,选项 C 正确; $t=1 \times 10^{-2}$ s 时, E 最大,选项 B 正确; $0 \sim 2 \times 10^{-2}$ s 时间段, $\Delta\Phi \neq 0$, $E \neq 0$,选项 D 错误。

4.如图甲所示,一个圆形线圈匝数 $n=1\ 000$ 匝、面积 $S=2 \times 10^{-2}$ m²、电阻 $r=1 \ \Omega$,在线圈外接一阻值 $R=4 \ \Omega$ 的电阻。把线圈放入一个匀强磁场中,磁场方向垂直线圈平面向里,磁场的磁感应强度 B 随时间 t 变化规律如图乙所示。



- (1)求 $0 \sim 4$ s,回路中的感应电动势。
- (2) $t=5$ s 时, a 、 b 两点哪点电势高?
- (3)求 $t=5$ s 时,电阻 R 两端的电压 U 。

解析:(1)根据法拉第电磁感应定律得, $0 \sim 4$ s,回路中的感应电动势

$$E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 1\ 000 \times \frac{(0.4 - 0.2) \times 2 \times 10^{-2}}{4} \text{ V} = 1 \text{ V}.$$

(2) $t=5$ s 时,磁感应强度正在减弱,根据楞次定律,感应电流的磁场方向与原磁场方向相同,即感应电流产生的磁场方向是垂直纸面向里,故 a 点的电势高。

(3)在 $t=5$ s 时,线圈的感应电动势

$$E' = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 1\ 000 \times \frac{|0 - 0.4| \times 2 \times 10^{-2}}{2} \text{ V} = 4 \text{ V}$$

根据闭合电路欧姆定律得,电路中的电流

$$I = \frac{E'}{R+r} = \frac{4}{4+1} \text{ A} = 0.8 \text{ A}$$

故电阻 R 两端的电压 $U = IR = 0.8 \times 4 \text{ V} = 3.2 \text{ V}$ 。

答案:(1)1 V (2) a 点 (3)3.2 V

任务总结

1. Φ 、 $\Delta\Phi$ 与 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的比较

	磁通量 Φ	磁通量的变化量 $\Delta\Phi$	磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$
物理意义	某时刻穿过磁场中某个面的磁感线条数	在某一过程中穿过某个面的磁通量的变化量	穿过某个面的磁通量变化的快慢
大小计算	$\Phi = BS_{\perp}$	$\Delta\Phi = \begin{cases} \Phi_2 - \Phi_1 \\ B \cdot \Delta S \\ S \cdot \Delta B \end{cases}$	$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \begin{cases} \frac{ \Phi_2 - \Phi_1 }{\Delta t} \\ B \cdot \frac{\Delta S}{\Delta t} \\ \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot S \end{cases}$
注意	若穿过某个面有方向相反的磁场,则不能直接用 $\Phi = BS_{\perp}$ 计算。应考虑相反方向的磁通量抵消以后所剩余的磁通量	开始和转过 180° 时平面都与磁场垂直,则穿过平面的磁通量是不同的,一正一负, $\Delta\Phi = 2BS$, 而不是零	既不表示磁通量的大小,也不表示变化的多少。在 $\Phi-t$ 图像中,图线的斜率表示磁通量的变化率

2. 对公式 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 的理解

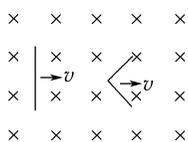
(1)感应电动势的大小取决于穿过电路的磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,而与 Φ 、 $\Delta\Phi$ 的大小没有必然关系;感应电流的大小与 E 和回路总电阻 R 有关。

(2)用公式 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 所求的感应电动势为整个闭合电路的感应电动势,而不是回路中某部分导体两端的电动势。

(3)公式 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 只表示感应电动势的大小,不涉及其正负,计算时 $\Delta\Phi$ 应取绝对值,至于感应电流的方向,可以用楞次定律去判定。

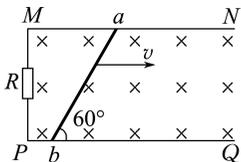
任务二 导线切割磁感线时的感应电动势

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



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

2. 如图所示, 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° ,金属棒以速度 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 ()

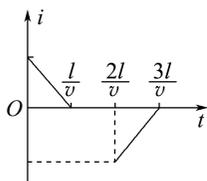
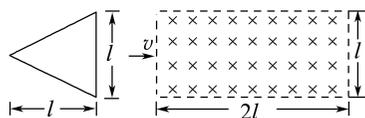


- A. $I = \frac{BLv}{R}$ B. $I = \frac{\sqrt{3}BLv}{2R}$
C. $I = \frac{BLv}{2R}$ D. $I = \frac{\sqrt{3}BLv}{3R}$

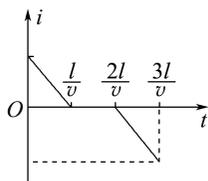
B 解析: 金属棒匀速运动,所以平均感应电动势的大小等于瞬时感应电动势的大小。题中金属棒的有效长度为 $\frac{\sqrt{3}L}{2}$,故 $E = Bv \frac{\sqrt{3}L}{2}$ 。根据闭合电路

欧姆定律得 $I = \frac{\sqrt{3}BLv}{2R}$,故 B 正确。

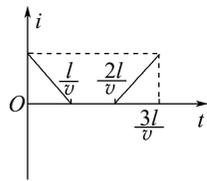
3. 如图所示,一底边为 l 、底边上的高也为 l 的等腰三角形导体线框以恒定的速度 v 沿垂直于磁场区域边界的方向穿过长为 $2l$ 、宽为 l 的匀强磁场,磁场方向垂直纸面向里。 $t=0$ 时刻,三角形导体线框的底边刚进入磁场,取沿逆时针方向的感应电流为正,则在三角形导体线框穿过磁场区域的过程中,感应电流 i 随时间 t 变化的图线可能是 (A)



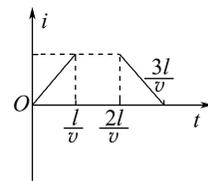
A



B

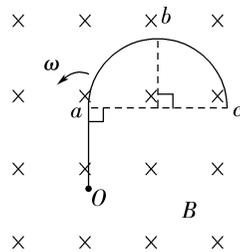


C



D

4. 如图,有一硬质导线 $Oabc$,其中 \widehat{abc} 是半径为 R 的半圆弧, b 为圆弧的中点,直线段 Oa 长为 R 且垂直于直径 ac 。该导线在纸面内绕 O 点逆时针转动,导线始终在垂直纸面向里的匀强磁场中。则 O 、 a 、 b 、 c 各点电势关系为 ()



- A. $\varphi_O > \varphi_a > \varphi_b > \varphi_c$ B. $\varphi_O < \varphi_a < \varphi_b < \varphi_c$
C. $\varphi_O > \varphi_a > \varphi_b = \varphi_c$ D. $\varphi_O < \varphi_a < \varphi_b = \varphi_c$

C 解析: 由题及几何关系可知 $Oa = R$, $Ob = \sqrt{5}R$, $Oc = \sqrt{5}R$,根据 $E = \frac{1}{2}Bl^2\omega$ 可得 $E_{Oa} = \frac{1}{2}BR^2\omega$, $E_{Ob} = \frac{1}{2}B \cdot 5R^2\omega = \frac{5}{2}BR^2\omega$, $E_{Oc} = \frac{1}{2}B \cdot 5R^2\omega = \frac{5}{2}BR^2\omega$,又 $E_{Oa} = \varphi_O - \varphi_a$, $E_{Ob} = \varphi_O - \varphi_b$, $E_{Oc} = \varphi_O - \varphi_c$,故 $\varphi_O > \varphi_a > \varphi_b = \varphi_c$,C 正确。

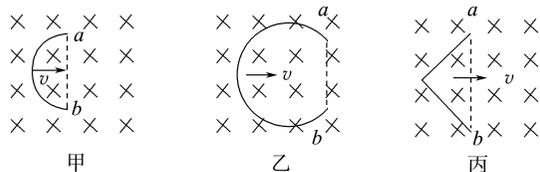
任务总结

1. 对公式 $E = BLv \sin \theta$ 中各量的理解

(1) 对 θ 的理解: 当 B 、 L 、 v 三个量方向互相垂直时, $\theta = 90^\circ$, 感应电动势最大; 当有任意两个量的方向互相平行时, $\theta = 0^\circ$, 感应电动势为零。

(2) 对 L 的理解: 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 应是导线在与磁场垂直方向投影的长度;

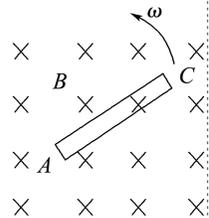
如果切割磁感线的导线是弯曲的,如图甲、乙、丙所示,则应取与 B 和 v 垂直的等效直线长度,即直线段 ab 的长度。



(3)对 v 的理解:

①公式中的 v 应理解为导线和磁场间的相对速度,当导线不动而磁场运动时,也有电磁感应现象产生。

②公式 $E = BLv$ 一般用于导线各部分切割磁感线速度相同的情况,若导线各部分切割磁感线的速度不同,可取其平均速度求电动势。如图所示,导体棒在磁场中绕 A 点在纸面内以角速度 ω 匀速转动,磁感应强度为 B ,平均切割速度 $\bar{v} = \frac{1}{2}v_c = \frac{\omega L}{2}$,则 $E = \overline{BLv} = \frac{1}{2}B\omega L^2$ 。



2. 公式 $E = BLv \sin \theta$ 与 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 的对比

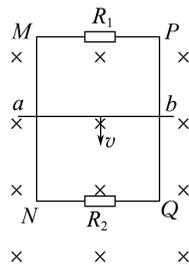
项目	$E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$	$E = BLv \sin \theta$	
区别	研究对象	整个闭合回路	回路中做切割磁感线运动的那部分导体
	适用范围	各种电磁感应现象	只适用于导体切割磁感线的运动情况
	计算结果	Δt 内的平均感应电动势	某一时刻的瞬时感应电动势
联系	$E = BLv \sin \theta$ 是由 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 在一定条件下推导出来的,该公式可看作法拉第电磁感应定律的一个推论		

任务三 电磁感应现象中的电路问题

[探究活动]

如图所示, MN 和 PQ 为竖直方向的两平行长直

金属导轨,间距为 l ,两电阻分别为 R_1 、 R_2 ,导轨所在平面与磁感应强度为 B 的匀强磁场垂直,导体棒 ab 以速率 v 匀速下滑(棒的电阻为 r)。

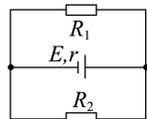


(1)画出等效电路图。

(2)求 R_1 两端的电压。

提示:(1)等效电路图如图所示。

(2)电源电动势 $E = Blv$, 电路中总电阻为 $R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + r$, 由闭合

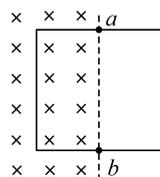


电路欧姆定律得 $I = \frac{E}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + r}$, 则 R_1 两端电压为

$$U = \frac{Blv}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + r} \cdot \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

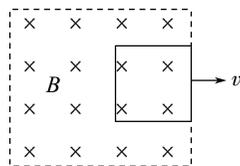
[评价活动]

1.用均匀导线做成的正方形线框边长为 0.2 m ,正方形的一半放在垂直纸面向里的匀强磁场中,如图所示。当磁感应强度以 10 T/s 的变化率增大时,线框中点 a 、 b 两点间的电势差是 (B)



- A. $U_{ab} = 0.1 \text{ V}$ B. $U_{ab} = -0.1 \text{ V}$
C. $U_{ab} = 0.2 \text{ V}$ D. $U_{ab} = -0.2 \text{ V}$

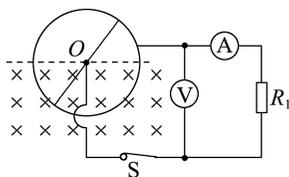
2.先后以 $3v$ 和 v 的速度匀速把一矩形线圈拉出如图所示的匀强磁场区域,则下列说法正确的是 (A)



- A. 两次线圈中的感应电动势之比为 $3 : 1$
B. 两次线圈中的感应电流之比为 $1 : 3$
C. 两次通过线圈同一截面的电荷量之比为 $3 : 1$
D. 两次线圈中产生的焦耳热之比为 $1 : 3$

3.(多选)如图所示,一不计电阻的导体圆环半径为 r 、圆心在 O 点,过圆心放置有一长度为 $2r$ 、电阻为 R 的辐条,辐条与圆环紧密接触,将此装置放置于磁

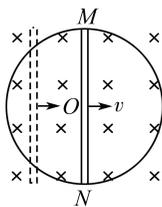
感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的有界匀强磁场中,磁场上边界恰与圆环直径在同一直线上。现使辐条以角速度 ω 绕 O 点逆时针转动,右侧电路通过电刷与圆环中心和圆环边缘相接触, $R_1 = \frac{R}{2}$, S 处于闭合状态,不计其他电阻,则下列判断正确的是 (AC)



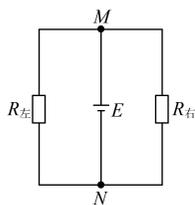
- A. 通过 R_1 的电流方向为自下而上
 B. 电路的电动势大小为 $2Br^2\omega$
 C. 理想电压表的示数为 $\frac{1}{6}Br^2\omega$
 D. 理想电流表的示数为 $\frac{4Br^2\omega}{3R}$

4. 把总电阻为 $2R$ 的均匀电阻丝焊接成一半径为 a 的圆环,水平固定在方向垂直纸面向里、磁感应强度为 B 的匀强磁场中,如图所示,一长度为 $2a$ 、电阻等于 R 、粗细均匀的金属棒 MN 放在圆环上,并与圆环始终保持良好的接触。当金属棒以恒定速度 v 向右移动经过圆心 O 时,求:

- (1) 流过金属棒的电流的大小、方向及金属棒两端的电压 U_{MN} ;
 (2) 在圆环和金属棒上消耗的总热功率。



解析: (1) 金属棒 MN 右移时,切割磁感线,产生感应电动势,金属棒 MN 相当于一个电源,流过金属棒的电流即电源内的电流。当金属棒过圆心 O 时,金属棒两端的电压即路端电压,由右手定则可判断出,金属棒上的电流方向为 $N \rightarrow M$,此时的等效电路如图所示。



金属棒经过圆心时,金属棒中产生的感应电动势 $E = B \cdot 2a \cdot v = 2Bav$
 此时,圆环的左、右两部分构成并联电路,且 $R_{左} = R_{右} = R$,故并联部分的电阻 $R_{并} = \frac{R}{2}$

由闭合电路欧姆定律得流过金属棒的电流

$$I = \frac{E}{R_{并} + R} = \frac{2E}{3R} = \frac{4Bav}{3R}$$

$$\text{金属棒两端的电压 } U_{MN} = IR_{并} = I \cdot \frac{R}{2} = \frac{2}{3}Bav。$$

(2) 圆环和金属棒上消耗的总热功率等于电路中感应电流的电功率,即 $P = IE = \frac{8B^2a^2v^2}{3R}$ 。

$$\text{答案: (1) } \frac{4Bav}{3R} \quad N \rightarrow M \quad \frac{2}{3}Bav \quad (2) \frac{8B^2a^2v^2}{3R}$$

任务总结

1. 解决与电路相联系的电磁感应问题的基本方法

- (1) 产生感应电动势的导体相当于一个电源,感应电动势等效于电源电动势,产生感应电动势的导体的电阻等效于电源的内阻。
- (2) 电源内部电流的方向是从负极流向正极,即从低电势流向高电势。
- (3) 产生感应电动势的导体跟用电器连接,可以对用电器供电。
- (4) 解决电磁感应中的电路问题,尽量按题意画出等效电路图,其余问题用电路分析和闭合电路欧姆定律等进行解答。

2. 与电路问题相关的几个知识点

- (1) 电源电动势: $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 或 $E = BLv$ 。
- (2) 闭合电路欧姆定律: $I = \frac{E}{R+r}$ 。

$$\text{部分电路欧姆定律: } I = \frac{U}{R}。$$

$$\text{电源内电压: } U_{内} = Ir。$$

$$\text{电源的路端电压: } U = IR = E - Ir \text{ 或}$$

$$U = \frac{R}{R+r} \cdot E。$$

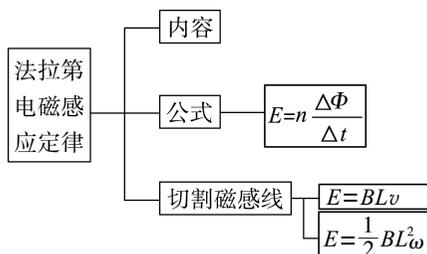
(3) 恒定电流通过导体产生的焦耳热:

$$Q_R = I^2 R t \text{ 或 } Q_R = \frac{R}{R+r} Q_{总}。$$

(4) 通过导体截面的电荷量:

$$q = \bar{I} \Delta t = n \frac{\Delta\Phi}{R+r}。$$

► 提质归纳



课后素养评价(六) 法拉第电磁感应定律

基础性·能力运用

知识点 1 法拉第电磁感应定律

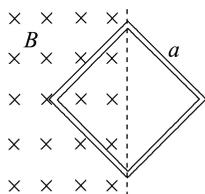
1. 关于感应电动势的大小, 下列说法正确的是

(D)

- A. 穿过闭合电路的磁通量最大时, 其感应电动势一定最大
- B. 穿过闭合电路的磁通量为零时, 其感应电动势一定为零
- C. 穿过闭合电路的磁通量由不为零变为零时, 其感应电动势一定为零
- D. 穿过闭合电路的磁通量由不为零变为零时, 其感应电动势一定不为零

2. 如图所示, 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

(B)

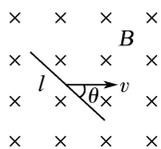


- A. $\frac{Ba^2}{2\Delta t}$
- B. $\frac{nBa^2}{2\Delta t}$
- C. $\frac{nBa^2}{\Delta t}$
- D. $\frac{2nBa^2}{\Delta t}$

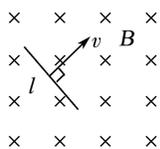
知识点 2 导线切割磁感线的感应电动势

3. (多选) 如图所示的几种情况, 金属导体中产生的感应电动势为 Blv 的是

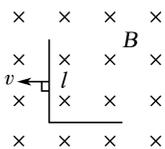
(BCD)



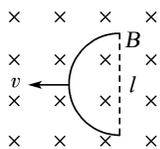
A



B



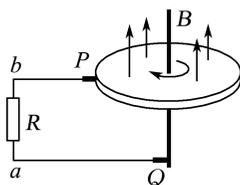
C



D

4. (多选) 一圆盘发电机的示意图如图所示, 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、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。圆盘旋转时, 关于流过电阻 R 的电流, 下列说法正确的是

(AB)

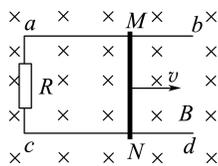


- A. 若圆盘转动的角速度恒定, 则电流大小恒定
- B. 若从上往下看, 圆盘顺时针转动, 则电流沿 a 经 R 到 b 的方向流动
- C. 若圆盘转动方向不变, 角速度大小发生变化, 则电流方向可能发生变化
- D. 若圆盘转动的角速度变为原来的 2 倍, 则电流在 R 上的热功率也变为原来的 2 倍

知识点 3 电磁感应中的电路问题

5. 如图所示, 在磁感应强度为 B 、方向垂直纸面向里的匀强磁场中, 金属杆 MN 在平行金属导轨上以速度 v 向右匀速滑动, MN 中产生的感应电动势为 E_1 ; 若磁感应强度增大为 $2B$, 其他条件不变, MN 中产生的感应电动势变为 E_2 。通过电阻 R 的电流方向及 E_1 与 E_2 之比分别为

()

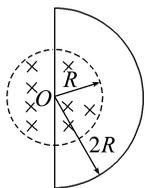


- A. $c \rightarrow a, 2 : 1$
- B. $a \rightarrow c, 2 : 1$
- C. $a \rightarrow c, 1 : 2$
- D. $c \rightarrow a, 1 : 2$

C 解析: 由右手定则判断可得, 电阻 R 上的电流方向为 $a \rightarrow c$, 由 $E = Blv$ 知 $E_1 = Blv, E_2 = 2Blv$, 则 $E_1 : E_2 = 1 : 2$, 故选项 C 正确。

综合性·创新提升

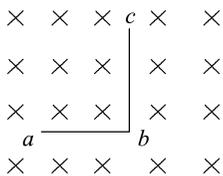
6. 如图所示,在半径为 R 的虚线圆内有垂直纸面向里的匀强磁场,磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系为 $B=B_0+kt$ 。在磁场外距圆心 O 为 $2R$ 处有一半径恰为 $2R$ 的半圆导线环(图中实线),则导线环中的感应电动势大小为 ()



- A. 零
B. $k\pi R^2$
C. $\frac{k\pi R^2}{2}$
D. $2k\pi R^2$

C 解析: 由 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{\Delta BS}{\Delta t}=\frac{k\pi R^2}{2}$, 可知选项 C 正确。

7. 一根弯成直角的导线放在 $B=0.4\text{ T}$ 的匀强磁场中,如图所示,导线 $ab=30\text{ cm}$, $bc=40\text{ cm}$ 。当导线以 5 m/s 的速度做切割磁感线运动时能产生的最大感应电动势的值为 ()



- A. 1.4 V
B. 1.0 V
C. 0.8 V
D. 0.6 V

B 解析: 由 $ab=30\text{ cm}$, $bc=40\text{ cm}$ 则 $ac=50\text{ cm}$ 。当切割磁感线的有效长度 $l=ac=50\text{ cm}$ 时,产生的感应电动势最大, $E_m=Blv=0.4\times 0.5\times 5\text{ V}=1.0\text{ V}$, 故选项 B 正确。

8. 一矩形线框置于匀强磁场中,线框平面与磁场方向垂直。先保持线框的面积不变,将磁感应强度在 1 s 时间内均匀地增大到原来的两倍。接着保持增大后的磁感应强度不变,在 1 s 时间内,再将线框的面积均匀地减小到原来的一半。这两个过程中,线框中感应电动势的比值为 ()

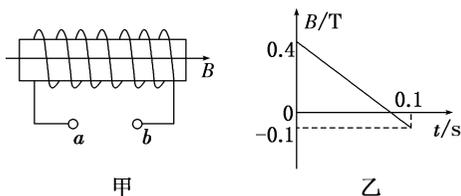
- A. $\frac{1}{2}$ B. 1 C. 2 D. 4

B 解析: 根据法拉第电磁感应定律 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 设线框匝数为 n , 面积为 S_0 , 初始时刻磁感应强度为 B_0 , 则第一种情况下的感应电动势为 $E_1=$

$n\frac{(2B_0-B_0)S_0}{1\text{ s}}$; 第二种情况下的感应电动势为

$E_2=n\frac{2B_0\left(S_0-\frac{S_0}{2}\right)}{1\text{ s}}=E_1$ 。所以两种情况下线框中的感应电动势相等, 比值为 1, 故选项 B 正确。

9. 如图甲所示线圈的匝数 $n=100$ 匝, 横截面积 $S=50\text{ cm}^2$, 线圈总电阻 $r=10\ \Omega$, 沿轴线方向有匀强磁场, 设图甲中磁场方向为正, 磁场的磁感应强度随时间变化的规律如图乙所示, 则在开始的 0.1 s 内 ()

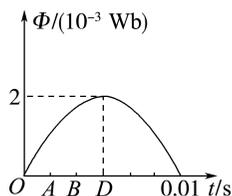


- A. 磁通量的变化量为 0.25 Wb
B. 磁通量的变化率为 $2.5\times 10^2\text{ Wb/s}$
C. a 、 b 间电压为零
D. 在 a 、 b 间接一个理想电流表时, 电流表的示数为 0.25 A

D 解析: 通过线圈的磁通量与线圈的匝数无关, 若设 $\Phi_2=B_2S$ 为正, 则线圈中磁通量的变化量 $\Delta\Phi=B_2S-(-B_1S)$, 代入数据即 $\Delta\Phi=(0.1+0.4)\times 50\times 10^{-4}\text{ Wb}=2.5\times 10^{-3}\text{ Wb}$, A 错误; 磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{2.5\times 10^{-3}}{0.1}\text{ Wb/s}=2.5\times 10^{-2}\text{ Wb/s}$, B 错误;

根据法拉第电磁感应定律可知, 当 a 、 b 间断开时, 其间电压等于线圈产生的感应电动势, 感应电动势大小 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=2.5\text{ V}$, C 错误; 在 a 、 b 间接一个理想电流表时相当于 a 、 b 间接通而形成回路, 回路总电阻即为线圈的总电阻, 故感应电流大小 $I=\frac{E}{r}=0.25\text{ A}$, 选项 D 正确。

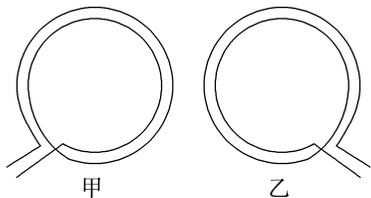
10. (多选) 单匝矩形线圈在匀强磁场中匀速转动, 转轴垂直于磁场, 若穿过线圈所围面积的磁通量随时间变化的规律如图所示, 则 $O\sim D$ 过程中 ()



- A. 线圈中 O 时刻感应电动势最大
- B. 线圈中 D 时刻感应电动势为零
- C. 线圈中 D 时刻感应电动势最大
- D. 线圈中 O 至 D 时间段的平均感应电动势为 0.4 V

ABD 解析: 由于 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 为 $\Phi-t$ 图线切线的斜率的大小, 故 A、B 正确, C 错误; 线圈中 O 至 D 时间段的平均感应电动势 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = 1 \times \frac{2 \times 10^{-3} - 0}{0.005} \text{ V} = 0.4 \text{ V}$, 所以 D 正确。

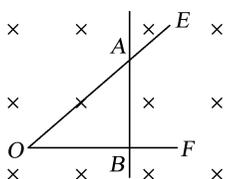
11. (多选) 如图所示为一种非接触式电源供应系统的示意图, 这种系统基于电磁感应原理可无线传输电能, 两个感应线圈可以放置在左右相邻或上下相对的位置。下列说法正确的是 ()



- A. 若甲线圈中输入电流, 乙线圈中就会产生感应电动势
- B. 只有甲线圈中输入变化的电流, 乙线圈中才会产生感应电动势
- C. 甲中电流越大, 乙中感应电动势越大
- D. 甲中电流变化越快, 乙中感应电动势越大

BD 解析: 根据产生感应电动势的条件可知, 只有处于变化的磁场中, 乙线圈才能产生感应电动势, A 错误, B 正确; 根据法拉第电磁感应定律, 感应电动势的大小取决于磁通量的变化率, 所以 C 错误, D 正确。

12. (多选) 如图所示, 金属导轨 EOF 上放有一金属杆 AB , 在外力作用下, 使 AB 保持与 OF 垂直, 并以速度 v 匀速从 O 点开始右移。若导轨与金属杆均由粗细相同的同种金属制成, 则下列判断正确的是 ()

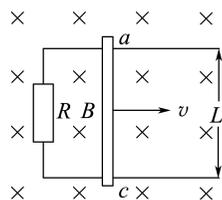


- A. 电路中的感应电流大小不变
- B. 电路中的感应电动势大小不变
- C. 电路中的感应电动势逐渐增大

- D. 电路中的感应电流逐渐减小

AC 解析: 设金属杆从 O 点开始运动到题图所示位置所经历时间为 t , $\angle EOF = \theta$, 则金属杆切割磁感线的有效长度 $l_{\perp} = \overline{OB} \cdot \tan \theta$, 故有 $E = Bl_{\perp} v_{\perp} = Bvt \tan \theta \cdot v = Bv^2 t \tan \theta$, 即电路中的感应电动势与时间成正比, B 错误, C 正确; 电路中的感应电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{Bv^2 t \tan \theta}{\frac{\rho l}{S}}$, 而 l 为 $\triangle OAB$ 的周长, 即 $l = \overline{OB} + \overline{AB} + \overline{OA} = vt + vt \cdot \tan \theta + \frac{vt}{\cos \theta} = vt \left(1 + \tan \theta + \frac{1}{\cos \theta} \right)$, 所以 $I = \frac{BvS \tan \theta}{\rho \left(1 + \tan \theta + \frac{1}{\cos \theta} \right)}$, 即为恒量, A 正确, D 错误。

13. 如图所示, 水平放置的两平行金属导轨相距 $L = 0.50 \text{ m}$, 左端接一电阻 $R = 0.20 \Omega$, 磁感应强度 $B = 0.40 \text{ T}$ 的匀强磁场的方向垂直于导轨平面向下, 导体棒 ac 垂直放在导轨上, 并能无摩擦地沿导轨滑动, 导轨和导体棒的电阻均可忽略不计。当 ac 棒以 $v = 4.0 \text{ m/s}$ 的速度水平向右匀速滑动时, 求:



- (1) ac 棒中感应电动势的大小;
- (2) 回路中感应电流的大小;
- (3) 维持 ac 棒做匀速运动的水平外力的大小。

解析: (1) ac 棒垂直切割磁感线, 产生的感应电动势的大小为

$$E = BLv = 0.40 \times 0.50 \times 4.0 \text{ V} = 0.80 \text{ V}.$$

(2) 回路中感应电流的大小为

$$I = \frac{E}{R} = \frac{0.80}{0.20} \text{ A} = 4.0 \text{ A}.$$

(3) 由右手定则知, ac 棒中的感应电流由 c 流向 a , ac 棒受到的安培力大小为

$$F_{\text{安}} = BIL = 0.40 \times 4.0 \times 0.50 \text{ N} = 0.80 \text{ N},$$

由左手定则知, 安培力方向向左。由于导体棒匀速运动, 水平方向受力平衡,

$$\text{则 } F_{\text{外}} = F_{\text{安}} = 0.80 \text{ N}, \text{ 方向水平向右。}$$

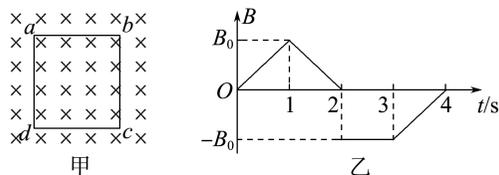
答案: (1) 0.80 V (2) 4.0 A (3) 0.80 N

习题课(四)

任务一 电磁感应中的图像问题

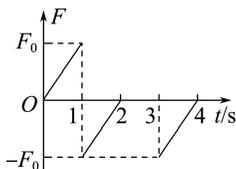
「任务驱动」

如图甲所示,闭合矩形导线框 $abcd$ 固定在匀强磁场中,磁场的方向与导线框所在平面垂直,磁感应强度 B 随时间 t 变化的规律如图乙所示,规定垂直纸面向里为磁场的正方向, $abcda$ 方向为导线框中感应电流的正方向,水平向右为安培力的正方向。



问题 1: 试画出导线框中的电流 i 随时间 t 变化的大致图像。

提示: 由 $B-t$ 图像可知, $0\sim 1$ s, 导线框中垂直纸面向里的磁通量增大, 由楞次定律可知, 电路中电流方向为逆时针, 即电流为负方向; $1\sim 2$ s, 导线框中垂直纸面向里的磁通量减小, 由楞次定律可知, 电路中电流方向为顺时针方向, 即电流为正方向; $2\sim 3$ s, 磁通量不变, 没有感应电流; $3\sim 4$ s, 导线框中垂直纸面向外的磁通量减小, 由楞次定律可知, 电路中电流方向为逆时针方向, 即电流为负方向。根据法拉第电磁感应定律 $E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta BS}{\Delta t}$, 由于磁感应强度发生变化时是均匀变化的, 且变化率 $\frac{\Delta B}{\Delta t}$ 大小相等, 故产生的感应电流保持不变且大小相等, 导线框中的电流 i 随时间 t 的变化如图所示。



问题 2: 试画出 ad 边所受的安培力 F 随时间 t 变化的大致图像。

提示: $0\sim 1$ s, 电路中电流方向为逆时针, 根据左手定则可知, ad 边受到的安培力的方向水平向右, 为正值; $1\sim 2$ s, 电流方向为顺时针, ad 边受到的安培力的方向水平向左, 为负值; $2\sim 3$ s, 没有感应电流, 不受安培力; $3\sim 4$ s, 电路中电流方向为逆时针, 根据左手定则可知, ad 边受到的安培力的方向水平向左, 为负值。根据安培力的公式 $F = I l B$ 可知, 安培力的大小与磁感应强度成正比, ad 边所受的安培力 F 随时间 t 变化的图像如图所示。

「知识链接」

1. 电磁感应中的图像问题

图像类型	(1)磁感应强度 B 、磁通量 Φ 、感应电动势 E 和感应电流 I 随时间 t 变化的图像, 即 $B-t$ 图像、 $\Phi-t$ 图像、 $E-t$ 图像和 $I-t$ 图像等; (2)对于导体切割磁感线产生感应电动势和感应电流的情况, 还常涉及感应电动势 E 和感应电流 I 随导体位移 x 变化的图像, 即 $E-x$ 图像和 $I-x$ 图像等
问题类型	(1)由给定的电磁感应过程选出或画出正确的图像; (2)由给定的图像分析电磁感应过程, 求解相应的物理量
应用知识	安培定则、左手定则、楞次定律、右手定则、法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律、能量守恒定律及数学知识等
注意事项	(1)电磁感应中的图像能够定性分析或定量地表示出所研究问题的函数关系; (2)在图像中 E 、 I 、 B 等物理量的方向通过物理量的正负来反映; (3)看、画图像时要注意横、纵坐标的物理量、单位、坐标原点等

2. 解决电磁感应中图像问题的一般步骤

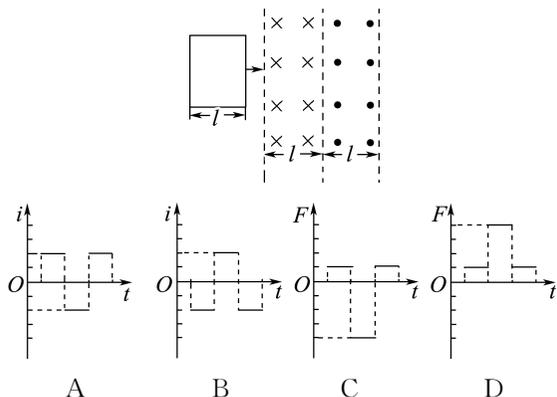
解决电磁感应中图像问题常采用定性分析与定量计算相结合的方法分段处理。需特别注意物理量的大小、正负, 图像为直线还是曲线, 有什么样的变化趋势等。具体步骤如下:

- 第一步 | 明确图像类型, 是 $B-t$ 、 $\Phi-t$ 图像, 还是 $E-t$ 、 $I-t$ 图像, 或者是其他图像
- 第二步 | 分析电磁感应的具体过程
- 第三步 | 结合法拉第电磁感应定律、欧姆定律、牛顿运动定律等写出方程
- 第四步 | 根据方程, 进行数学分析
- 第五步 | 画图像或判断图像, 分析解的合理性

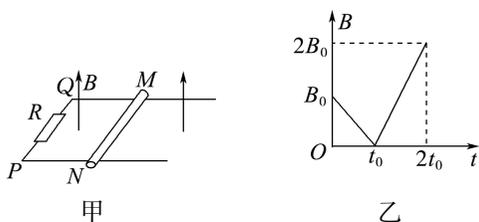
「任务达标」

1. 如图所示, 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, 从图中所示

位置垂直于磁场方向匀速拉过磁场区域,则在该过程中,下列图像能正确反映线圈中所产生的感应电流或其所受的安培力随时间变化的是 (D)

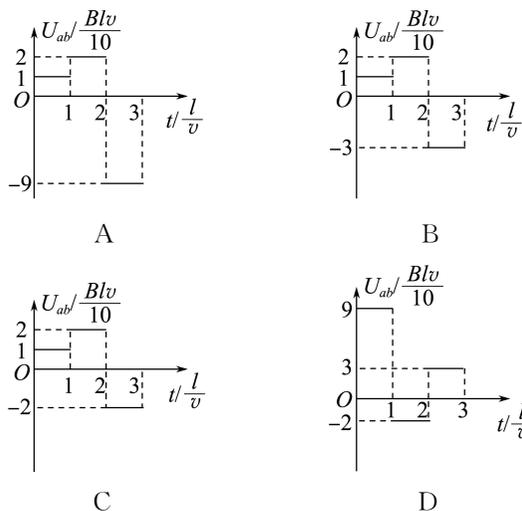
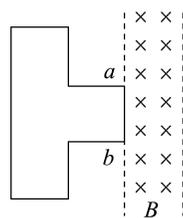


- 2.如图甲所示,导体棒 MN 置于水平导轨上, $PQMN$ 所围的面积为 S , P 、 Q 之间有阻值为 R 的电阻,不计导轨和导体棒的电阻。导轨所在区域内存在沿竖直方向的匀强磁场,规定磁场方向竖直向上为正,在 $0 \sim 2t_0$ 时间段磁感应强度的变化情况如图乙所示,导体棒 MN 始终处于静止状态。下列说法正确的是 (B)

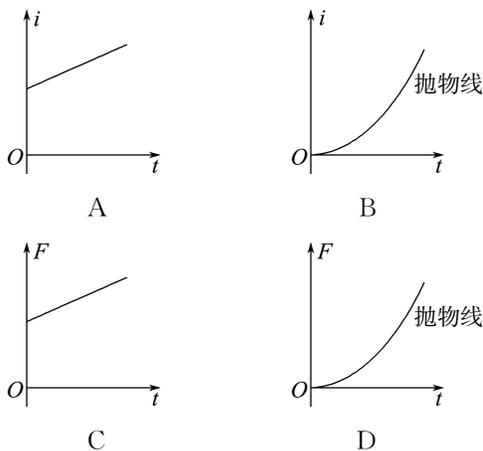
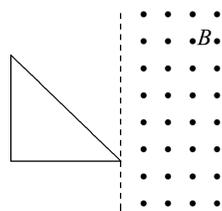


- A. 在 $0 \sim t_0$ 和 $t_0 \sim 2t_0$ 时间段,导体棒受到的导轨的摩擦力方向相同
 B. 在 $0 \sim t_0$ 时间段,通过导体棒的电流方向为 N 到 M
 C. 在 $t_0 \sim 2t_0$ 时间段,通过电阻 R 的电流大小为 $\frac{SB_0}{Rt_0}$
 D. 在 $0 \sim 2t_0$ 时间段,通过电阻 R 的电荷量为 $\frac{SB_0}{2R}$

- 3.如图所示,一个短边边长均为 l 、长边边长为 $3l$ 的线框(线框内电阻分布均匀),以速度 v 匀速通过宽度为 l 的匀强磁场区域,磁场方向垂直于纸面向里。线框沿纸面运动,开始时线框右侧短边 ab 恰好与磁场左边界重合,此过程中最右侧短边两端点 a 、 b 两点间电势差 U_{ab} 随时间 t 变化关系图像正确的是 (D)



- 4.如图所示,在竖直平面内的虚线右侧有垂直于纸面向外的匀强磁场,一个等腰直角三角形金属线框(重力不计)在水平向右的拉力作用下匀速进入磁场区域。已知三角形平面始终与磁场方向垂直,且三角形一直角边与磁场左边界垂直。则关于回路中的电流 i 、水平拉力 F 随时间 t 变化的图像正确的是 (D)



任务二 电磁感应中的动力学问题

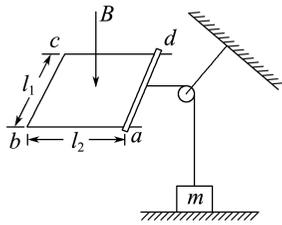
「任务驱动」

如图所示,两根竖直放置的光滑平行导轨,其中一部分处于方向垂直导轨所在平面并且有水平上边界的匀强磁场中。一根金属杆 MN 保持水平并沿导轨滑下(导轨电阻不计),当金属杆 MN 到达磁场边缘时有多种情况。

OO' 位置过程中, MN 中电流方向由 M 到 N , D 正确; 从释放到第一次到达 OO' 位置过程中, 在即将到达 OO' 位置的时刻, MN 所受安培力水平向左, 沿速度方向的分力一定大于 MN 所受重力沿速度方向的分力, 处于减速状态, C 错误。

3. 如图所示, 固定在磁场中的水平导轨 ab 、 cd 的间距 $l_1 = 0.5 \text{ m}$, 金属棒 ad 与导轨左端 bc 的距离为 $l_2 = 0.8 \text{ m}$, 整个闭合回路的电阻为 $R = 0.2 \Omega$, 匀强磁场竖直向下穿过整个回路。 ad 杆通过滑轮和轻绳(上端水平, 下端竖直)连接着一个放在地面上质量为 $m = 0.04 \text{ kg}$ 的物体, 不计一切摩擦。开始时磁感应强度 $B_0 = 1 \text{ T}$, 现使磁感应强度以 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0.2 \text{ T/s}$ 的变化率均匀地增大。求:

- (1) 金属棒中电流的方向;
- (2) 感应电动势的大小;
- (3) 物体刚好离开地面的时间(取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)。



解析: (1) 由楞次定律可以判断, 金属棒中的电流由 a 到 d 。

(2) 由法拉第电磁感应定律得

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = S \frac{\Delta B}{\Delta t} = 0.08 \text{ V}.$$

(3) 物体刚好离开地面时, 其受到的拉力 $F = mg$

而拉力 F 又等于金属棒所受的安培力, 即

$$mg = F_{\text{安}} = Il_1 B$$

$$\text{其中 } B = B_0 + \frac{\Delta B}{\Delta t} t, I = \frac{E}{R}$$

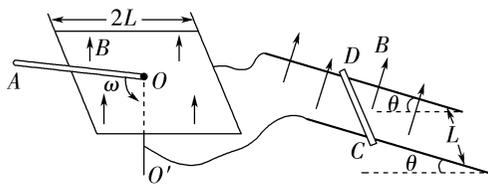
联立解得 $t = 5 \text{ s}$ 。

答案: (1) $a \rightarrow d$ (2) 0.08 V (3) 5 s

4. (2024·河北卷) 如图, 边长为 $2L$ 的正方形金属细框固定放置在绝缘水平面上, 细框中心 O 处固定一竖直细导体轴 OO' 。间距为 L 、与水平面成 θ 角的平行导轨通过导线分别与细框及导体轴相连。导轨和细框分别处在与各自所在平面垂直的匀强磁场中, 磁感应强度大小均为 B 。足够长的细导体棒 OA 在水平面内绕 O 点以角速度 ω 匀速转动, 水平放置在导轨上的导体棒 CD 始终静止。 OA 棒在转动过程中, CD 棒在所受安培力达到最大和最小时均恰好能静止。已知 CD 棒在导轨间的电阻值为 R , 电路中其余部分的电阻均不计, CD 棒始终与导

轨垂直, 各部分始终接触良好, 不计空气阻力, 重力加速度大小为 g 。

- (1) 求 CD 棒所受安培力的最大值和最小值。
- (2) 锁定 OA 棒, 推动 CD 棒下滑, 撤去推力瞬间, CD 棒的加速度大小为 a , 所受安培力大小等于(1)问中安培力的最大值。求 CD 棒与导轨间的动摩擦因数。



解析: (1) 当 OA 棒切割磁感线的有效长度为 $l_1 = \sqrt{2}L$ 时, 该棒产生的感应电动势最大, 有

$$E_{\text{max}} = \frac{Bl_1^2 \omega}{2} = BL^2 \omega$$

此时 CD 棒所受的安培力最大, 结合 $I = \frac{E}{R}$ 和安培

$$\text{力公式有 } F_{\text{Amax}} = I_{\text{max}} BL = \frac{B^2 L^3 \omega}{R}$$

当 OA 棒切割磁感线的有效长度为 $l_2 = L$ 时, 该棒产生的感应电动势最小, 有

$$E_{\text{min}} = \frac{Bl_2^2 \omega}{2} = \frac{BL^2 \omega}{2}$$

此时 CD 棒所受的安培力最小, 有

$$F_{\text{Amin}} = I_{\text{min}} BL = \frac{B^2 L^3 \omega}{2R}.$$

(2) 设 CD 棒的质量为 m , CD 棒与平行导轨间的最大静摩擦力为 f

OA 棒在转动过程中, CD 棒在所受安培力达到最大和最小时均恰好静止, 则有

$$F_{\text{Amax}} = mg \sin \theta + f$$

$$F_{\text{Amin}} + f = mg \sin \theta$$

$$\text{结合(1)问分析有 } F_{\text{Amax}} = \frac{4}{3} mg \sin \theta$$

则撤去推力瞬间, CD 棒的加速度方向沿平行导轨向上, 对 CD 棒由牛顿第二定律有

$$F_{\text{Amax}} + \mu mg \cos \theta - mg \sin \theta = ma$$

联立解得 CD 棒与导轨间的动摩擦因数为

$$\mu = \frac{3a - g \sin \theta}{3g \cos \theta}.$$

$$\text{答案: (1) } \frac{B^2 L^3 \omega}{R} \quad \frac{B^2 L^3 \omega}{2R}$$

$$(2) \frac{3a - g \sin \theta}{3g \cos \theta}$$

易错强化练(二) 楞次定律与法拉第电磁感应定律

练易错

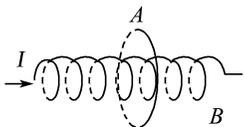
易错点 1 | 不理解楞次定律中的“阻碍”

[防范要诀]

- (1)磁通量变化引起感应电流时,记住“增反减同”。
- (2)导体相对运动引起感应电流时,记住“来拒去留”。
- (3)产生安培力使线圈面积变化时,记住“增缩减扩”。

[对点集训]

- 1.(多选)如图所示,线圈 B 置于闭合金属圆环 A 的轴线上,当 B 中通过的电流 I 减小时 (AD)



- 环 A 有缩小的趋势
- 环 A 有扩张的趋势
- 线圈 B 有缩短的趋势
- 线圈 B 有伸长的趋势

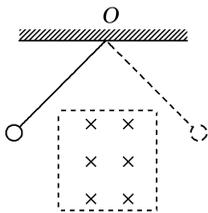
易错点 2 | 易忽略电磁感应过程中的能量损耗

[防范要诀]

在分析和处理关于电磁感应的具体问题时,要理解楞次定律的能量本质。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,其他形式的能转化为电能。

[对点集训]

- 2.(多选)用一根轻质绝缘细杆将圆形导体环悬挂在 O 点,导体环可以在竖直平面内来回摆动,空气阻力和摩擦力均可不计。在如图所示的正方形区域内存在匀强磁场,磁场方向垂直于圆环的摆动平面向里。下列说法正确的有 (BD)



- 导体环在摆动过程中机械能守恒
- 导体环进入磁场和离开磁场时,环中电流的方向肯定相反
- 导体环通过最低点时,环中感应电流最大
- 最终导体环在匀强磁场中来回摆动,此时机械能守恒

易错点 3 | 不清楚图像中相关物理量间的关系

[防范要诀]

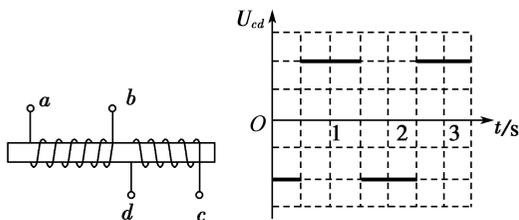
- (1)注意纵、横坐标轴表示的物理量及其单位。

- (2)注意矢量或有方向的量的正方向的规定。

- (3)注意纵、横坐标轴所表示的物理量间的对应关系。

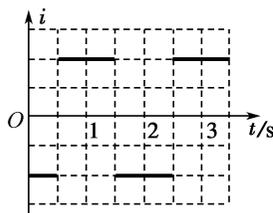
[对点集训]

- 3.如图甲所示,线圈 ab 、 cd 绕在同一软铁芯上。在线圈 ab 中通以变化的电流,用示波器测得线圈 cd 两端电压如图乙所示。已知线圈内部的磁场与流经线圈的电流成正比,则描述线圈 ab 中电流随时间变化关系的图像可能正确的是 (C)

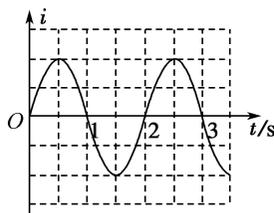


甲

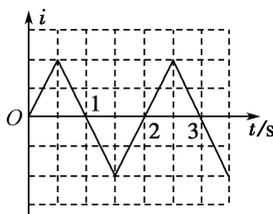
乙



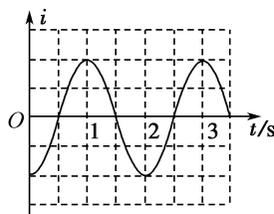
A



B



C



D

易错点 4 | 未能理顺电磁感应中的功能关系

[防范要诀]

- (1)注意“杆+轨道”模型中杆速度最大的条件。

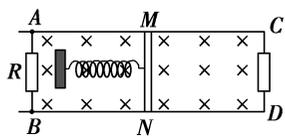
- (2)注意电路的连接关系,明确串、并联电路中焦耳热的分配规律。

- (3)要理顺能量转化关系,正确列出方程。

[对点集训]

- 4.(多选)如图所示, $ABDC$ 为固定的水平光滑矩形金属导轨,处在方向竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中, A 、 B 间距为 l ,左、右两端均接有阻值为 R 的电阻,质量为 m 、长为 l 且不计电阻的导体棒 MN 放在导轨上,与导轨接触良好,并与左端固定的轻质弹簧组成弹簧振动系统。开始时,弹簧处于自然长度,导体棒 MN 具有水平向左的初速度 v_0 ,经过一段时间后,导体棒 MN 第一次运动到最

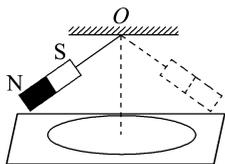
右端,这一过程中均无碰撞,A、B间电阻R上产生的焦耳热为Q,则 (AC)



- A. 初始时刻MN棒所受的安培力大小为 $\frac{2B^2 l^2 v_0}{R}$
- B. 从初始时刻至棒MN第一次到达最左端的过程中,整个回路产生的焦耳热为 $\frac{2Q}{3}$
- C. 当棒MN第一次到达最右端时,弹簧具有的弹性势能为 $\frac{1}{2}mv_0^2 - 2Q$
- D. 当棒MN再一次回到初始位置时,A、B间电阻R的热功率为 $\frac{B^2 l^2 v_0^2}{R}$

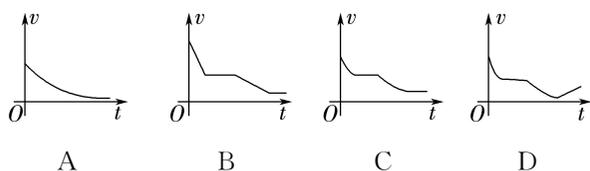
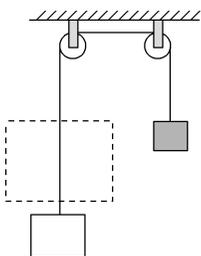
练疑难

5. 如图所示,条形磁体由一细线悬挂于O点,一金属圆环放置在O点正下方的水平绝缘桌面上。现将磁体拉至左侧某一高度后由静止释放,磁体在竖直面内摆动,在其第一次摆至右侧最高点的过程中,圆环始终静止,则下列说法正确的是 (D)



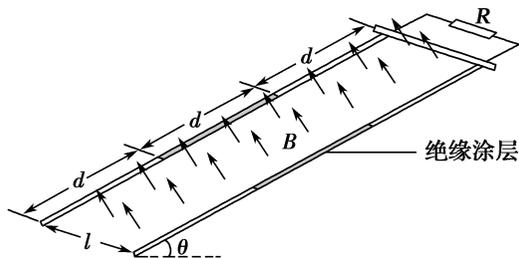
- A. 磁体始终受到圆环的斥力作用
- B. 圆环中的感应电流方向保持不变
- C. 桌面对圆环始终有摩擦力作用
- D. 磁体在O点两侧最高点的重力势能不相等

6. (2024·全国甲卷)(多选)如图所示,一绝缘细绳跨过两个在同一竖直面(纸面)内的光滑定滑轮,绳的一端连接一矩形金属线框,另一端连接一物块。线框与左侧滑轮之间的虚线区域内有方向垂直纸面的匀强磁场,磁场上下边界水平。在 $t=0$ 时刻线框的上边框以不同的初速度从磁场下方进入磁场。运动过程中,线框始终在纸面内且上下边框保持水平。以向上为速度的正方向,下列线框的速度 v 随时间 t 变化的图像可能正确的是 ()



AC 解析:线框在减速进入磁场的过程中,对线框受力分析,根据牛顿第二定律有 $mg + \frac{B^2 L^2 v}{R} - T = ma$,对物块受力分析,根据牛顿第二定律有 $T - Mg = Ma$,联立解得 $a = \frac{B^2 L^2 v}{(M+m)R} - \frac{M-m}{M+m}g$,则随着速度的减小,加速度不断减小,B错误;结合B项的分析可知,若匀强磁场区域高度与线框宽度相等且物块质量与线框质量相等,则线框在磁场中一直做加速度逐渐减小的减速运动,出磁场后匀速运动,则A选项的图像可能正确;若匀强磁场区域高度大于线框宽度且物块质量与线框质量相等,则线框进磁场和出磁场阶段均做加速度逐渐减小的减速运动,完全在磁场中运动时不受安培力,做匀速运动,完全出磁场后,也做匀速运动,则C选项的图像可能正确;D选项的图像中线框出磁场后匀加速,说明物块质量大于线框质量,但在此情况下,结合B项的分析可知,存在第二段匀速阶段时,不会存在第三段减速阶段,D错误。

7. 如图所示,在匀强磁场中有一倾斜的平行光滑金属导轨,导轨间距为 l ,长为 $3d$,导轨平面与水平面的夹角为 θ ,在导轨的中部刷有一段长为 d 的薄绝缘涂层。匀强磁场的磁感应强度大小为 B ,方向与导轨平面垂直。质量为 m 的导体棒从导轨的顶端由静止释放,在滑上涂层之前已经做匀速运动,并一直匀速滑到导轨底端。导体棒始终与导轨垂直,且仅与涂层间有摩擦,接在两导轨间的电阻为 R ,其他部分的电阻均不计,重力加速度为 g 。求:



- (1) 导体棒与涂层间的动摩擦因数 μ ;
- (2) 导体棒匀速运动的速度大小 v ;
- (3) 整个运动过程中,电阻产生的焦耳热 Q 。

解析:(1)在绝缘涂层上,导体棒受力平衡有 $mg \sin \theta = \mu mg \cos \theta$ 解得 $\mu = \tan \theta$ 。

(2)在光滑导轨上,有

感应电动势 $E = Blv$

感应电流 $I = \frac{E}{R}$

安培力 $F_{安} = IlB$

根据受力平衡得 $F_{安} = mg \sin \theta$

解得 $v = \frac{mgR \sin \theta}{B^2 l^2}$ 。

(3) 摩擦生热

$Q_{摩} = \mu mgd \cos \theta$

由能量守恒定律得

$$3mgd \sin \theta = Q + Q_{摩} + \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{解得 } Q = 2mgd \sin \theta - \frac{m^3 g^2 R^2 \sin^2 \theta}{2B^4 l^4}。$$

答案: (1) $\tan \theta$ (2) $\frac{mgR \sin \theta}{B^2 l^2}$

$$(3) 2mgd \sin \theta - \frac{m^3 g^2 R^2 \sin^2 \theta}{2B^4 l^4}$$

3 涡流 电磁阻尼 电磁驱动

学习任务目标

1. 了解涡流的产生过程。(物理观念)
2. 了解涡流现象的利用和危害。(物理观念)
3. 了解电磁阻尼、电磁驱动。(物理观念)
4. 通过对涡流实例的分析,了解涡流现象在生活和生产中的应用。(科学态度与责任)

问题式预习

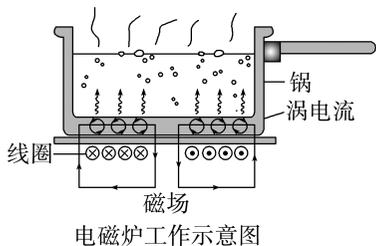
知识点一 涡流

1. 定义: 由于电磁感应, 在大块金属中会形成感应电流, 电流在金属块内组成闭合回路, 很像水的漩涡, 因此叫作涡电流, 简称涡流。

2. 特点: 大块金属沿涡流路径的电阻一般很小, 会形成很强大的涡电流, 释放出大量的焦耳热。

3. 应用

涡流热效应: 如高频感应炉和电磁炉。



4. 防止

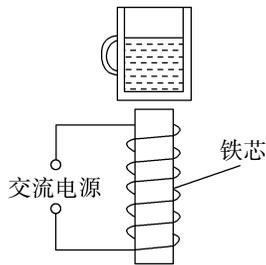
(1) 危害: 涡流的热效应。对于通交变电流、有铁芯的变压器、电动机等设备中应防止铁芯中涡流过大, 否则不但会消耗很多能量, 而且会导致铁芯温度升高, 损坏电器。

(2) 采取措施: 用相互绝缘的薄硅钢片叠成的铁芯代替整个铁芯。

[科学思维]

(多选) 如图所示, 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

AB 解析: 增大线圈的匝数, 可以增大通过金属杯的磁通量及磁通量的变化率, 从而增大金属杯中产生感应电流的大小, 增大加热功率, 缩短加热时间, A 正确; 提高交流电的频率, 最大磁通量不变, 但电流交替变化加快也能提高磁通量的变化率, 产生更大的感应电流, 达到缩短加热时间的目的, B 正确; 瓷杯是绝缘体, 不能产生感应电流, 不能加热, C 错误; 取走铁芯, 金属杯中的磁通量变小, 磁通量的变化率也变小, 从而导致加热功率变小, 加热时间加长, D 错误。

[判一判]

1. 涡流是由整块导体发生的电磁感应现象, 不遵从电磁感应定律。 (×)
2. 通过增大铁芯材料的电阻率可以减小涡流。 (√)

3. 变压器的铁芯用硅钢片叠成是为了减小涡流。

(√)

知识点二 电磁阻尼和电磁驱动

1. 电磁阻尼

(1) 概念: 当闭合电路的一部分导体在磁场中做切割磁感线的运动时, 导体中会产生感应电流, 感应电流使导体受到安培力, 安培力总是阻碍导体运动的现象。

(2) 应用

① 磁电式仪表中利用电磁阻尼使线圈很快停止摆动, 使指针能很快稳定指到读数位置上。

② 目前, 电动列车已经普遍使用了电磁制动这项技术。

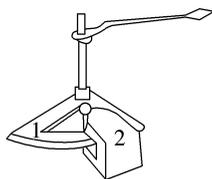
2. 电磁驱动

(1) 概念: 感应电流受到安培力使物体运动起来的现象。

(2) 应用: 感应电动机。

[科学思维]

(多选) 如图所示是电表中的指针和电磁阻尼器, 下列说法中正确的是 ()



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

AD 解析: 当电表的指针摆动时, 金属框 1 在蹄形磁体 2 中同时转动, 则 1 中产生感应电流——即涡流, 磁场对涡流产生安培力阻碍其指针的相对运动, 使指针很快稳定下来, 故 A、D 正确。

[判一判]

- 1. 电磁阻尼、电磁驱动都是电磁感应现象, 都遵循楞次定律和法拉第电磁感应定律。 (√)
- 2. 电磁阻尼是由于电磁感应中安培力阻碍导体与磁场的相对运动产生的, 而电磁驱动是由于电磁感应现象中安培力增强磁场与导体间的相对运动产生的。 (×)

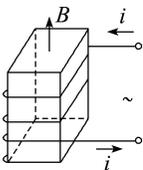
任务型课堂

任务一 对涡流的理解及应用

[探究活动]

在一铁块的外面绕有如图所示的线圈, 当线圈通有如图所示的交变电流时。

此时铁块中会产生感应电流吗? 如果有, 它的形状像什么? 如果没有, 说明不产生感应电流的原因。



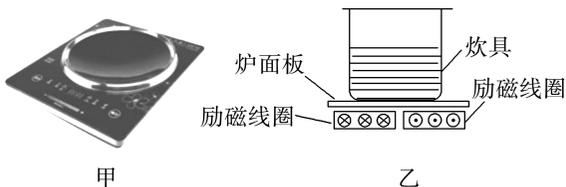
提示: 会产生感应电流, 其形状像水中的旋涡。

[评价活动]

1. 下列关于涡流的说法正确的是 (A)

- A. 涡流跟平时常见的感应电流一样, 都是因为穿过导体的磁通量变化而产生的
- B. 涡流不是感应电流, 而是一种有别于感应电流的特殊电流
- C. 涡流有热效应, 但没有磁效应
- D. 在硅钢片中不能产生涡流

2. 如图甲所示, 是一种高效节能厨具——电磁炉, 又名电磁灶。电磁炉是利用电磁感应加热原理制成的电气烹饪器具, 如图乙所示是电磁炉的工作原理示意图, 它不需要明火或传导式加热, 而是直接让锅底发热, 因此热效率得到了极大的提高。下列关于电磁炉的说法正确的是 ()



- A. 提高励磁线圈中电流变化的频率, 可提高电磁炉的加热效果
- B. 炊具中的涡流是由励磁线圈中的恒定电流的磁场产生的
- C. 利用陶瓷材料制成的炊具可以在电磁炉上正常加热
- D. 电磁炉工作时, 炉面板中将产生强大的涡流

A 解析: 提高励磁线圈中电流变化的频率, 可以提高产生的交变磁场变化的频率, 从而提高穿过炊具底面磁通量的变化率, 进而增大涡流, 提高电磁炉的加热效果, 故 A 正确; 炊具中的涡流是由励磁线圈中的交变电流的磁场产生的, 故 B 错误; 陶瓷是绝缘体, 无法形成涡流, 所以利用陶瓷材料制成的炊具无法在电磁炉上正常加热, 故 C 错误; 电磁炉工作时, 炊具底面将产生强大的涡流, 故 D 错误。

3. (多选) “电磁感应铝箔封口机”被广泛应用于医药、食品、化工等生产行



业的产品封口环节中。如图所示为一手持式封口机,它的工作原理是:当接通电源时,内置线圈产生磁场,当磁感线穿过封口铝箔材料时,瞬间产生大量小涡流,致使铝箔自行快速发热,熔化复合在铝箔上的溶胶,从而粘贴在待封容器的封口处,达到迅速封口的目的。下列有关说法正确的是 ()

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

CD 解析:由于封口机利用了电磁感应原理,故封口材料必须是金属类材料,而且电源必须是交变电源,A、B错误;减小内置线圈中所通电流的频率可降低封口过程中产生的热量,即控制温度,C正确;封口材料应是金属类材料,但对应被封口的容器不能是金属,否则同样可能会被熔化或发热而对其内部产品产生影响,所以只能是玻璃、塑料等材质,D正确。

- 4.(多选)四川三星堆遗址的考古工作仍在进行,某次挖掘之前考古人员用如图所示涡流金属探测器在地面上进行探测定位。下列说法正确的是 ()

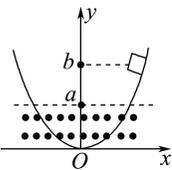


- A. 探测器内的探测线圈会产生变化的磁场
 B. 只有有磁性的金属物才会被探测器探测到
 C. 探测到地下的金属物是因为探头中产生了涡流
 D. 探测到地下的金属物是因为金属物中产生了涡流

AD 解析:探测器内探测线圈产生变化的磁场,使金属物中产生涡流,A、D正确。

- 5.如图所示,光滑曲面与竖直平面的交线是抛物线,抛物线的方程为 $y = x^2$,其下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(如图中的虚线所示)。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,假设曲面足够长,则金属块在曲面上滑动的过程中产生的焦耳热总量是 ()

- A. $mg b$
 B. $\frac{1}{2} m v^2$
 C. $mg (b - a)$
 D. $mg (b - a) + \frac{1}{2} m v^2$



D 解析:金属块在进入磁场和出磁场的过程中产生感应电流,从而产生焦耳热,由初状态到末状态(金属块在磁场区域内做往复运动)能量守恒。初状态机械能 $E_1 = mgb + \frac{1}{2} m v^2$,末状态机械能 $E_2 = mga$,焦耳热 $Q = E_1 - E_2 = mg(b - a) + \frac{1}{2} m v^2$ 。

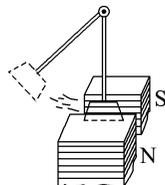
任务总结

1. 涡流的本质:电磁感应现象。
2. 产生涡流的两种情况
 - (1) 块状金属放在变化的磁场中。
 - (2) 块状金属进出磁场或在非匀强磁场中运动。
3. 产生涡流时的能量转化:伴随着涡流现象,其他形式的能转化成电能,最终在金属块中转化为内能。
 - (1) 金属块放在变化的磁场中,磁场能转化为电能,最终转化为内能。
 - (2) 如果是金属块进出磁场或在非匀强磁场中运动,由于克服安培力做功,金属块的机械能转化为电能,最终转化为内能。

任务二 对电磁阻尼与电磁驱动的理解

[探究活动]

如图所示装置可以用来演示电磁阻尼现象。把铜片悬挂在电磁铁的两极间,形成一个“摆”。



(1) 在电磁铁线圈未通电时,铜片可以自由摆动,要经过较长时间才会停下,请解释产生这种现象的原因。

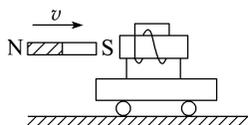
(2) 当电磁铁线圈通电后,铜片会很快稳定并停下来,请解释产生这种现象的原因。

提示:(1) 当电磁铁线圈未通电时,铜片在摆动过程中,所受阻力很小,要经过较长时间才会停下来。

(2) 当电磁铁线圈通电后,穿过运动的铜片的磁通量发生变化,铜片内将产生感应电流。根据电磁阻尼的原理,铜片的摆动因受到较大阻力而迅速停止。

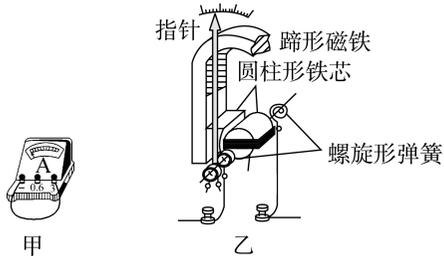
[评价活动]

- 1.(多选)位于光滑水平面的小车上水平固定一螺线管,一个比螺线管长的条形磁体沿着螺线管的轴线以初速度 v 水平穿入螺线管,并最终穿出,如图所示,在此过程中 (BC)
- A. 磁体做匀速直线运动



- B. 磁体做减速运动
- C. 小车向右做加速运动
- D. 小车先加速后减速

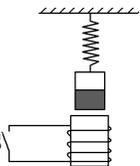
2. 实验室使用的电流表是某种磁电式电流表,其外观如图甲所示,内部构造如图乙所示。该表的骨架用铝框做成,运输时常用短路片连接正负接线柱来保护电路。下列关于其结构和运输做法的叙述正确的是 ()



- A. 用铝框做成骨架,主要是因为铝的密度小,转动轻巧
- B. 因线圈是铜质的,故除铜外的其他材质均可做骨架
- C. 仪器运输时短接,能避免指针受损
- D. 仪器运输时短接,使之成为一体,可避免雷击

C 解析:线圈的框架选择铝质材料,不仅考虑铝的密度小、强度高,更主要的是因为铝框转动时产生涡流,阻碍线圈的转动,这样有利于指针很快地稳定指到读数位置上,A 错误;塑料等绝缘体做骨架时,骨架转动时不能产生涡流,从而不能阻碍线圈的转动,不利于指针很快地稳定指到读数位置上,B 错误;在仪器运输时用导线将电流表的两个接线柱连在一起,电流表短路,指针摆动时产生感应电流,感应电流受安培力作用,从而可减缓指针的晃动,C 正确,D 错误。

3. 如图所示,弹簧上端固定,下端挂一个条形磁体,使磁体上下振动,磁体的振幅不变。若在振动过程中把线圈靠近磁体,调节开关 S,观察磁体的振幅将会发现 ()

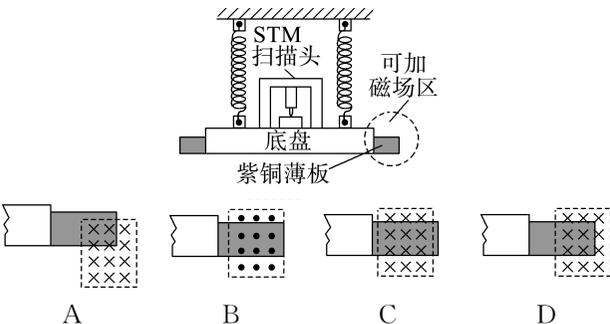


- A. S 闭合时振幅逐渐减小,S 断开时振幅不变
- B. S 闭合时振幅逐渐增大,S 断开时振幅不变
- C. S 闭合或断开,振幅变化相同
- D. S 闭合或断开,振幅都不发生变化

A 解析:开关 S 断开时,磁体振动使穿过线圈的磁通量发生变化,但线圈中无感应电流,振幅不变;开关 S 闭合时,线圈中有感应电流,电路要消耗电能,磁体的机械能越来越少,振幅逐渐减小。选项 A 正确。

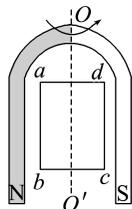
4. 扫描隧道显微镜(STM)可用来探测样品表面原子尺度上的形貌。为了有效隔离外界振动对 STM 的

扰动,在圆底盘周边沿其径向对称地安装若干对紫铜薄板,并施加磁场来快速衰减其微小振动,如图所示。无扰动时,按下列四种方案对紫铜薄板施加恒定磁场;出现扰动后,对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是 ()



A 解析:施加磁场来快速衰减 STM 的微小振动,其原理是电磁阻尼,在振动时通过紫铜薄板的磁通量发生变化,紫铜薄板中产生感应电动势和感应电流,使其受到安培力作用,其受到的安培力将阻碍紫铜薄板振动,即促使其振动衰减。方案 A 中,无论紫铜薄板上下振动还是左右振动,通过它的磁通量都发生变化。方案 B 中,当紫铜薄板上下振动时,通过它的磁通量可能不变;当紫铜薄板向右振动时,通过它的磁通量不变。方案 C 中,紫铜薄板上下振动、左右振动时,通过它的磁通量可能不变。方案 D 中,当紫铜薄板上下振动时,紫铜薄板中磁通量可能不变。综上可知,对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的是方案 A。

5. 如图所示,蹄形磁体和矩形线圈均可绕竖直轴 OO' 转动。从上向下看,当磁体逆时针转动时,则 ()



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

C 解析:由楞次定律的推广含义可知,线圈将与磁体同向转动,但转动的角速度一定小于磁体转动的角速度。如果两者的角速度相同,磁感线与线圈处于相对静止,线圈不切割磁感线,无感应电流产生,故 A、B 错误;当磁体逆时针转动时,相当于磁体不动而线圈顺时针旋转切割磁感线,线圈中产生感应电流,故 C 正确;当线圈相对磁体转过 90° 时电流方向不再是 $abcd$,D 错误。

任务总结

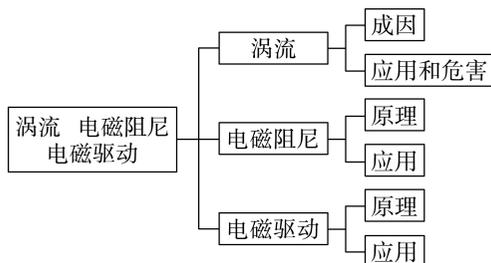
电磁阻尼与电磁驱动的比较

项目	电磁阻尼	电磁驱动
不同点	成因	由导体在磁场中运动形成
	效果	由磁场运动形成
	能量转化	导体克服安培力做功,其他形式的能转化为电能,最终转化为内能

续表

项目	电磁阻尼	电磁驱动
相同点	两者都是电磁感应现象,导体受到的安培力都阻碍导体与磁场的相对运动	

► 提质归纳



课后素养评价(七) 涡流 电磁阻尼 电磁驱动

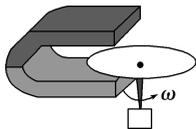
基础性·能力运用

知识点 1 涡流

- 1.(多选)变压器的铁芯是利用薄硅钢片叠压而成的,而不是采用一整块硅钢,这是为了 (BD)
- A. 增大涡流,提高变压器的效率
B. 减小涡流,提高变压器的效率
C. 增大涡流,减小铁芯的发热量
D. 减小涡流,减小铁芯的发热量

知识点 2 电磁阻尼和电磁制动

- 2.如图所示,在蹄形磁体的两极间有一可以自由转动的铜盘(不计各种摩擦),现让铜盘转动。下列对观察到的现象描述及解释正确的是 (C)

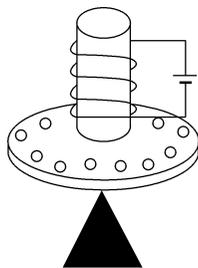


- A. 铜盘中没有感应电动势、没有感应电流,铜盘将一直转动下去
B. 铜盘中有感应电动势、没有感应电流,铜盘将一直转动下去
C. 铜盘中既有感应电动势又有感应电流,铜盘将很快停下

- D. 铜盘中既有感应电动势又有感应电流,铜盘将越转越快

知识点 3 电磁驱动

- 3.如图所示,在一块绝缘圆盘上中部安装一个线圈,并接有电源,圆盘的四周固定有许多带负电的小球,将整个装置支撑起来便于转动。忽略各处的摩擦,当电源接通的瞬间,下列关于圆盘的说法正确的是 (A)



- A. 圆盘将逆时针转动
B. 圆盘将顺时针转动
C. 圆盘不会转动
D. 无法确定圆盘是否会动

综合性·创新提升

- 4.(多选)关于涡流,下列说法正确的是 (ABC)



冶炼炉



电磁炉



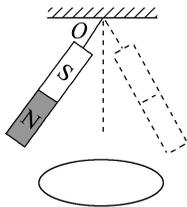
阻尼摆



硅钢片

- A. 真空冶炼炉是利用涡流来熔化金属的装置
B. 家用电磁炉是利用涡流使锅体发热的
C. 阻尼摆摆动时产生的涡流总是阻碍其运动
D. 变压器的铁芯用相互绝缘的硅钢片叠成能增大涡流

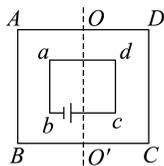
5. 如图所示,条形磁体用细线悬挂在 O 点, O 点正下方固定一个水平放置的铝线圈。让磁体在竖直面内摆动,下列说法正确的是 ()



- A. 磁体左右摆动一个周期,线圈内感应电流的方向改变 2 次
 B. 磁体始终受到感应电流磁场的斥力作用
 C. 磁体所受到的感应电流对它的作用力始终是阻力
 D. 磁体所受到的感应电流对它的作用力有时是阻力有时是动力

C 解析:磁体向下摆动时,根据楞次定律,线圈中产生逆时针方向感应电流(从上往下看),并且磁体受到感应电流对它的作用力为阻力,阻碍它靠近;磁体向上摆动时,根据楞次定律,线圈中产生顺时针方向感应电流(从上往下看),磁场受感应电流对它的作用力仍为阻力,阻碍它远离,所以磁体在左右摆动一个周期过程中,电流方向改变 4 次,感应电流对它的作用力始终是阻力,C 项正确。

6. 如图所示,闭合线框 $ABCD$ 和 $abcd$ 可分别绕轴线 OO' 转动。当接有电源的线框 $abcd$ 绕 OO' 轴逆时针转动时(俯视图),下列关于线框 $ABCD$ 的转动情况的说法正确的是 ()



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

A 解析:由于线框 $abcd$ 旋转时会使线框 $ABCD$ 中产生感应电流,根据楞次定律可知,线框 $ABCD$ 中的感应电流将阻碍 $abcd$ 的相对转动,因此线框 $ABCD$ 也随 $abcd$ 逆时针转动,只不过稍微慢了些,选项 A 正确。

7. 如图所示,一根两端开口、长为 1 m 的铜管竖直放置,把一个磁性很强的圆柱形磁体从管上端竖直放入管中,磁体直径略小于铜管内径,磁体过了较长

时间才从铜管下端落出,比自由落体慢了许多。下列说法正确的是 ()



- A. 磁体下落变慢,主要是因为磁体受到空气阻力作用
 B. 磁体下落变慢,主要是因为磁体受到金属铜的吸引
 C. 铜管内电流方向保持不变
 D. 铜管对磁体的作用力方向始终向上

D 解析:磁体穿过铜管下落的过程中,穿过铜管的磁通量发生变化,铜管产生感应电流,对于任何一段铜管,磁体靠近和远离时,磁通量变化情况相反,产生的电流方向也相反,根据楞次定律推论“来拒去留”,感应电流的磁场对磁体的作用力向上,从而导致磁体下落的时间变长,D 正确,A、B、C 错误。

8. (多选)图甲为磁控健身车,图乙为其车轮处的结构示意图,在金属飞轮的外侧有一些磁体(与飞轮不接触),人用力蹬踏板带动飞轮旋转时,磁体会对飞轮产生阻碍作用,拉动旋钮拉线可以改变磁体与飞轮间的距离。下列说法正确的有 ()

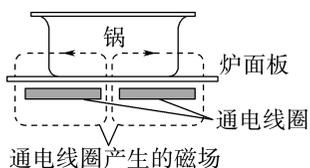


- A. 飞轮受到的阻力主要来源于磁体对它的安培力
 B. 飞轮转速一定时,磁体越靠近飞轮,飞轮受到的阻力越小
 C. 磁体和飞轮间的距离一定时,飞轮转速越大,受到的阻力越小
 D. 磁体和飞轮间的距离一定时,飞轮转速越大,内部的涡流越强

AD 解析:根据题意,人用力蹬踏板带动飞轮旋转时,磁体会对飞轮产生阻碍作用,飞轮受到的阻力主要来源于磁体对它的安培力,选项 A 正确;飞轮转速一定时,磁体越靠近飞轮,飞轮受到安培力越大,即阻力越大,选项 B 错误;磁体和飞轮间的距离一定时,飞轮转速越大,磁通量的变化率越大,则飞轮内部的涡流越强,产生的安培力越大,受到的阻力越大,选项 C 错误,D 正确。

9. 电磁炉热效率可高达 90% ,炉面无明火,无烟,无废

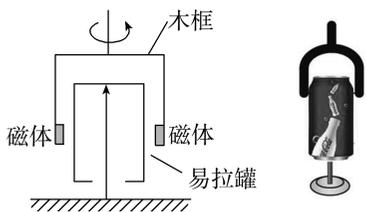
气,是厨房常用的电器。如图所示是描述电磁炉工作原理的示意图,下列说法正确的是 ()



- A. 当恒定电流通过线圈时,会产生恒定磁场,恒定磁场越强,电磁炉加热效果越好
 B. 电磁炉通电线圈加交流电后,在锅底产生涡流,进而发热工作
 C. 在锅和电磁炉中间放一纸板,则电磁炉不能起到加热作用
 D. 电磁炉的锅不能用陶瓷锅或耐热玻璃锅,主要原因是这些材料的导热性能较差

B 解析: 锅体中的涡流是由变化的磁场产生的,所加的电流是交流电,不是直流电,故 A 错误;根据电磁炉的工作原理可知,电磁炉通电线圈加交流电后,在锅底产生涡流,进而发热工作,故 B 正确;在锅和电磁炉中间放一纸板,磁场仍然存在,不会影响电磁炉的加热作用,故 C 错误;金属锅自身产生无数小涡流而直接加热,陶瓷锅或耐热玻璃锅属于绝缘材料,里面不会产生涡流,故 D 错误。

10. 如图所示,将一空的铝质易拉罐倒扣于笔尖上,在“门”形木框两侧各固定一个强磁体,用电钻控制木框匀速转动,发现木框虽然不与易拉罐接触,但易拉罐也会随木框转动。下列说法正确的是 ()

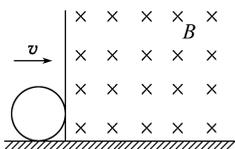


- A. 木框的转速总比易拉罐的大
 B. 易拉罐与木框的转动方向相反

- C. 易拉罐与木框保持相同的转速同方向转动
 D. 两个磁体必须异名磁极相对

A 解析: 根据电磁驱动原理,易拉罐与木框的转动方向相同,木框的转速总比易拉罐的大, A 正确; B、C 错误; 两个磁体异名磁极或同名磁极相对均可,在磁极附近的易拉罐导体中都会切割磁感线产生涡流,使易拉罐受安培力跟着木框转动起来, D 错误。

11. 如图所示,在光滑的水平面上有一半径 $r=10\text{ cm}$ 、电阻 $R=1\ \Omega$ 、质量 $m=1\text{ kg}$ 的金属圆环,以速度 $v=10\text{ m/s}$ 向一有界匀强磁场滑去。匀强磁场方向垂直于纸面向里, $B=0.5\text{ T}$ 。从环刚开始进入磁场到刚好有一半进入磁场时圆环共释放了 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。

解析: (1) 取金属圆环为研究对象,从刚进入磁场至一半进入磁场的过程中,由能量守恒定律可知,环减少的动能全部转化为热能,设此时的速度为 v_1 , 则有

$$Q = \frac{1}{2}mv^2 - \frac{1}{2}mv_1^2, \text{ 又因为}$$

$$P = \frac{E^2}{R} = \frac{(B \cdot 2rv_1)^2}{R},$$

由以上两式联立,代入数据解得 $P=0.36\text{ W}$ 。

(2) 由楞次定律可知环此时受到的安培力方向向左,由牛顿第二定律得 $\frac{B^2(2r)^2v_1}{R} = ma,$

$$\text{即 } a = \frac{B^2(2r)^2v_1}{mR} = 6 \times 10^{-2}\text{ m/s}^2, \text{ 方向向左。}$$

答案: (1) 0.36 W (2) $6 \times 10^{-2}\text{ m/s}^2$, 方向向左

4 自感

学习任务目标

1. 了解自感现象,知道自感电动势大小的决定因素。(物理观念)
2. 了解自感系数的意义和决定因素。(物理观念)
3. 通过实验观察通电自感和断电自感现象,并能解释其工作原理。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 自感现象

1. 自感

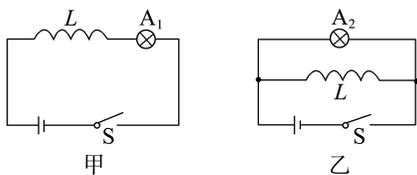
由于导体线圈本身的电流发生变化而引起的电磁感应现象。

2. 自感电动势

在自感现象中产生的电动势。

[科学思维]

下图中两个电路是研究自感现象的电路,设线圈的直流电阻很小,请回答下列问题:



(1)在甲图中,闭合开关后,灯泡逐渐变亮。

(2)在甲图中,闭合开关稳定后,再断开开关,灯泡立即熄灭。

(3)在乙图中,闭合开关的一瞬间,灯泡先达到最亮,后慢慢变暗。

(4)在乙图中,闭合开关稳定后,再断开开关,灯泡先闪亮一下,再慢慢熄灭。

[判一判]

1. 自感现象是由于导体本身的电流发生变化而产生的电磁感应现象。 (√)

2. 线圈中电流最大的瞬间可能没有自感电动势。 (√)

3. 自感现象中,感应电流的方向一定与引起自感的原电流的方向相反。 (×)

知识点二 自感系数及自感现象的应用

1. 自感电动势的大小

$E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$, 自感电动势跟电流的变化率成正比。

2. 自感系数大小的决定因素

(1) L 是自感系数,简称自感或电感,单位:亨利,符号为 H。

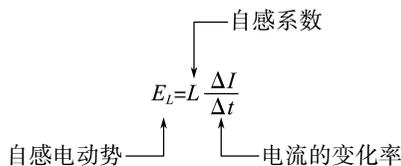
(2)自感系数是由线圈本身决定的,跟线圈的形状、直径、匝数以及是否有铁芯等因素有关。

3. 自感现象的应用

(1)应用:自感现象在各种电气设备和无线电技术中有广泛的应用。比如日光灯,在日光灯启动时,镇流器产生瞬时高电压,正常工作时,镇流器起着降压限流的作用。

(2)危害:在自感系数很大而电流又很强的电路中,切断电路的瞬间,由于电流在很短的时间内发生很大的变化,会产生很高的自感电动势,使开关的闸刀和固定夹片之间的空气电离而变成导体,形成电弧。这会烧坏开关,甚至还会危害到操作人员的安全,因此,切断这种电路时必须采用特制的安全开关。

[科学思维]



[判一判]

1. 通过线圈的电流越大,自感电动势越大。 (×)

2. 自感系数与电流大小无关。 (√)

3. 日光灯在正常工作时,启动器处于导通状态。 (×)

4. 日光灯在启动时,镇流器会产生与电源电压方向相反的瞬时高压。 (×)

5. 日光灯在正常工作时,镇流器不再工作。 (×)

任务型课堂

任务一 对自感现象的理解

[探究活动]

如图所示,无轨电车在行驶过程中,由于车身颠簸,车顶上的集电弓瞬间脱离电网线,这时可以观察到有电火花闪现。



(1)请说明这是什么现象。

(2)试解释产生电火花的原因。

提示:(1)这种现象叫自感。

(2)集电弓脱离电网线的瞬间电流减小,由于自感产生的自感电动势很大,在集电弓与电网线的空隙处产生电火花。

[评价活动]

1. 关于线圈中自感电动势大小的说法,下列正确的是 (B)

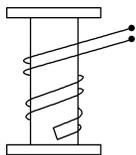
- A. 电感一定时, 电流变化越大, 自感电动势越大
 B. 电感一定时, 电流变化越快, 自感电动势越大
 C. 通过线圈的电流为零的瞬间, 自感电动势为零
 D. 通过线圈的电流为最大值的瞬间, 自感电动势最大

2. 关于线圈的自感系数, 下列说法正确的是 ()

- A. 线圈的自感系数越大, 自感电动势一定越大
 B. 线圈中电流等于零时, 自感系数也等于零
 C. 线圈中电流变化越快, 自感系数越大
 D. 线圈的自感系数由线圈本身的特征及有无铁芯决定

D 解析: 自感系数是线圈本身的固有属性, 只取决于线圈长短、粗细、匝数、有无铁芯等因素, 而与电流变化快慢等外部因素无关。自感电动势的大小与线圈自感系数及电流变化率有关。A、B、C 错误, D 正确。

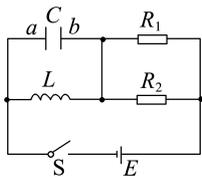
3. 在制作精密电阻时, 为了消除使用过程中由于电流变化而引起的自感现象, 采取了双线绕法, 如图所示, 其中的原理是 ()



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

C 解析: 由于采用了双线绕法, 两股导线中的电流反向, 它们产生的磁场方向相反, 磁通量相互抵消, 不论导线中的电流如何变化, 线圈中的磁通量始终为 0, 所以消除了自感现象的影响。故 C 正确。

4. 在如图所示的电路中, 电源电动势为 E , 线圈 L 的电阻不计。以下判断正确的是 ()



- A. 闭合 S, 稳定后, 电容器两端电压为 E
 B. 闭合 S, 稳定后, 电容器的 a 极板带正电
 C. 断开 S 的瞬间, 电容器的 a 极板将带正电
 D. 断开 S 的瞬间, 电容器的 a 极板将带负电

C 解析: 闭合 S, 稳定后, 线圈 L 相当于导线, 则电容器被短路, 则其电压为零, 故 A 错误; 此时电容器

的电压为零, a 极板不带电, 故 B 错误; 断开 S 的瞬间, 线圈 L 中电流减小, 产生自感电动势, 相当于电源, 给电容器充电, 根据线圈的电流方向不变, 则电容器的 a 极板将带正电, 故 C 正确, D 错误。

任务总结

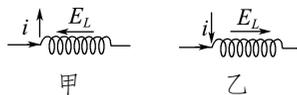
1. 对自感现象的理解

自感现象是一种电磁感应现象, 遵从法拉第电磁感应定律和楞次定律。

2. 对自感电动势的理解

(1) 产生原因: 通过线圈的电流发生变化, 导致穿过线圈的磁通量发生变化, 因而在线圈上产生感应电动势。

(2) 自感电动势的方向: (如图甲所示) 当原电流增大时, 自感电动势的方向与原电流方向相反; (如图乙所示) 当原电流减小时, 自感电动势方向与原电流方向相同(增反减同)。



(3) 自感电动势的作用: 阻碍原电流的变化, 而不是阻止, 电流仍在变化, 只是使原电流的变化时间变长, 即总是起着推迟电流变化的作用。

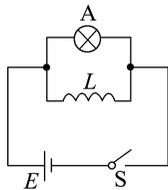
3. 自感系数大小的决定因素

自感系数与线圈的大小、形状、匝数以及是否有铁芯等因素有关。

任务二 对通电自感和断电自感的理解

[探究活动]

如图所示, 当开关 S 断开时, 电路中会产生自感现象, 称为断电自感。



(1) 电源断开时, 通过线圈 L 的电流减小, 这时会出现感应电动势。感应电动势的作用是使线圈 L 中的电流减小得更快些还是更慢些?

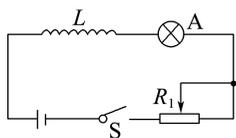
(2) 产生感应电动势的线圈可以看作一个电源, 它能向外供电。由于开关已经断开, 线圈提供的感应电流将沿什么途径流动?

提示: (1) 开关断开后, 感应电动势使线圈 L 中电流 I_L 减小得更慢些。

(2) 开关断开后, 感应电流将沿线圈 L 向右流动, 经灯泡 A 后流到线圈的左端, 即线圈 L 和灯泡 A 构成闭合回路, 回路中电流沿逆时针方向。

[评价活动]

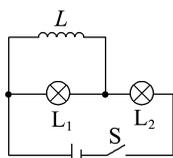
1. 如图所示, L 为自感系数较大的线圈, 电路稳定后小灯泡正常发光, 当断开开关 S 的瞬间会有



(A)

- A. 灯 A 立即熄灭
- B. 灯 A 慢慢熄灭
- C. 灯 A 突然闪亮一下再慢慢熄灭
- D. 灯 A 突然闪亮一下再突然熄灭

2. 如图所示, 灯 L_1 、 L_2 完全相同, 带铁芯的线圈 L 的电阻可忽略, 则

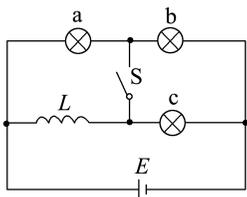


()

- A. S 闭合瞬间, L_1 、 L_2 同时发光, 接着 L_1 变暗, L_2 变亮, 最后 L_1 熄灭
- B. S 闭合瞬间, L_1 不亮, L_2 立即变亮
- C. S 闭合瞬间, L_1 、 L_2 都不立即变亮
- D. 稳定后再断开 S 的瞬间, L_2 熄灭, L_1 比 L_2 (原先亮度) 更亮

A 解析: S 接通的瞬间, 线圈 L 支路中电流从无到有发生变化, 线圈 L 中产生的自感电动势阻碍电流增加。由于有铁芯, 自感系数较大, 对电流的阻碍作用也就较强, 所以 S 接通的瞬间线圈 L 中的电流非常小, 即干路中的电流几乎全部流过 L_1 、 L_2 , 所以 L_1 、 L_2 会同时变亮。又由于线圈 L 中电流很快稳定, 感应电动势很快消失, L 的阻值可忽略, 对 L_1 起到“短路”作用, 因此, L_1 熄灭。这时电路的总电阻比刚接通时小, 由恒定电流知识可知, L_2 会比以前更亮。稳定后再断开 S 的瞬间, L_2 立即熄灭, L_1 由于线圈产生感应电动势而亮一下再熄灭, 断开 S 前流过线圈 L 的电流和流过灯 L_2 的电流相同, 所以断开 S 时, L_1 与 L_2 断开前的亮度一样, 故 A 正确, B、C、D 错误。

3. 如图所示, a、b、c 为三个相同的灯泡, 额定电压稍大于电源的电动势, 电源内阻可以忽略。 L 是一个本身电阻可忽略的电感线圈。开关 S 闭合, 现突然断开, 已知在这一过程中灯泡都不会烧坏, 则下列关于 c 灯泡的说法正确的是



()

- A. 亮度保持不变
- B. 将闪亮一下, 而后逐渐熄灭
- C. 将闪亮一下, 而后逐渐恢复到原来的亮度
- D. 将变暗一下, 而后逐渐恢复到原来的亮度

C 解析: 当开关 S 合上, 电路稳定后, 灯泡 a 短路, 不亮, b、c 两灯的电压为电源电压, 通过 L 的电流, 为 E 电压下灯泡工作电流的 2 倍。开关 S 断开后, a、b 灯串联后与 c 灯并联接到电路中, 由于自感电动势的作用, 断电瞬间, 通过 L 的电流成为通过 c 的电流, 即原电流的 2 倍, c 灯闪亮, 但是稳定后 c 两端的电压仍是 E , 所以最终恢复到原亮度, 故 A、B、D 错误, C 正确。

4. 图 1 和图 2 是演示自感现象的两个电路图, L_1 和 L_2 为电感线圈。实验时, 图 1 中断开开关 S_1 瞬间, 灯 A_1 突然闪亮, 随后逐渐变暗; 图 2 中闭合开关 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

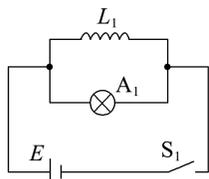


图 1

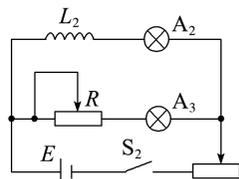


图 2

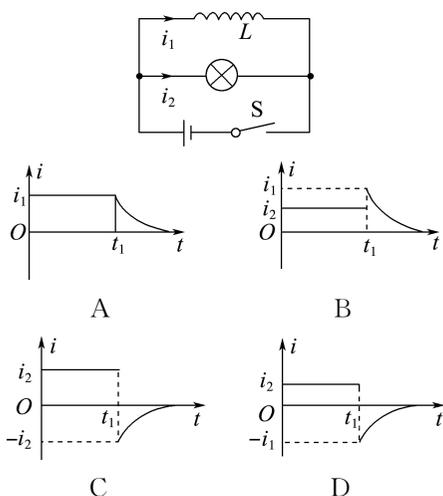
()

- A. 图 1 中, A_1 与 L_1 的电阻值相同
- B. 图 1 中, 闭合 S_1 , 电路稳定后, A_1 中电流大于 L_1 中电流
- C. 图 2 中, 滑动变阻器 R 与 L_2 的电阻值相同
- D. 图 2 中, 闭合 S_2 瞬间, L_2 中电流与滑动变阻器 R 中电流相等

C 解析: 题图 1 中, 稳定时通过 A_1 的电流记为 I_1 , 通过 L_1 的电流记为 I_L 。 S_1 断开瞬间, A_1 突然变亮, 可知 $I_L > I_1$, 因此 A_1 和 L_1 电阻阻值不相等, 所以 A、B 错误。由于最终 A_2 与 A_3 亮度相同, 所以两支路电流 I 相同, 根据部分电路欧姆定律可知, 两支路电压 U 与电流 I 均相同, 所以两支路电阻相同。由于 A_2 、 A_3 完全相同, 故滑动变阻器 R 与 L_2 的电阻阻值相同, 所以 C 正确。题图 2 中, 闭合 S_2 时, 由于自感作用, 通过 L_2 与 A_2 的电流 I_2 会逐渐增大, 而通过 R 与 A_3 的电流 I_3 立即变大, 因此电流不相等, 所以 D 错误。

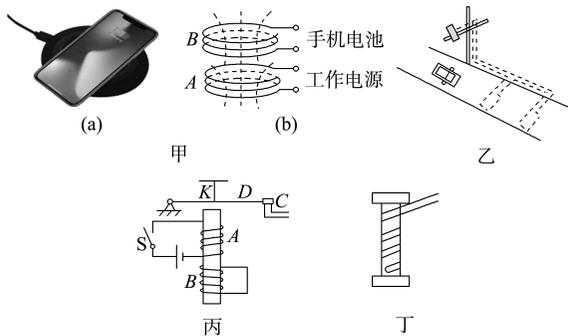
5. 如图所示电路, 若开关 S 是闭合的, 流过线圈 L 的电流为 i_1 , 流过灯泡的电流为 i_2 , 且 $i_1 > i_2$ 。若 t_1 时刻断开 S , 下列四个图中能正确表示流过灯泡的电流 i_2 随时间 t 变化关系的是

()



D 解析:断开开关瞬间,由于线圈的自感作用,流过线圈的电流这一瞬间没变,但流过灯泡的电流这一瞬间方向发生改变,且大小变为 i_1 ,然后随电感线圈能量的减小,电流再逐渐减小,故 D 正确, A、B、C 错误。

6. 下列关于自感和互感应用的说法正确的是 ()



- A. 图甲手机无线充电技术中,只要线圈 A 中输入电流,线圈 B 中就会产生感应电动势
- B. 公路上的测速装置示意图如图乙所示,在路面下方间隔一定距离埋设有两个通电线圈,线圈与检测抓拍装置相连,当汽车从线圈上方匀速通过时,线圈中不会产生感应电流
- C. 如图丙所示,是一种延时继电器的示意图,开始时开关 S 闭合,断开开关 S,弹片 K 立刻将衔铁 D 拉起
- D. 在制作精密电阻时,为了消除使用过程中由于电流变化而引起的自感现象,采取了双线绕法,如图丁所示,其原理是当电路中的电流变化时,两股导线中产生的磁通量相互抵消

D 解析:题图甲中手机无线充电技术属于互感现象,只要线圈 A 中输入变化的电流,线圈 B 中就会产生感应电动势,根据产生感应电动势的条件,只有处于变化的磁场中,线圈 B 才能产生感应电动势,若线圈 A 中输入电流恒定,则线圈 B 就不会产生感应电动势,故 A 错误。汽车经过通电线圈上方

时,汽车底盘的金属部件通过线圈所产生的磁场,金属部件中的磁通量发生变化,在金属部件中产生感应电流,金属部件中的感应电流产生磁场,此磁场随汽车的运动,使穿过线圈的磁通量变化,所以即使汽车匀速运动,线圈中也会产生感应电流,故 B 错误。如题图丙所示,是一种延时继电器的示意图,闭合开关时,线圈 A 会产生磁场,且通过了线圈 B,使得线圈 B 会产生感应电流,同时该电流会产生一个磁场反过来使得在弹片 K 附近的磁场的增强变慢,达到延时的效果;当断开开关时,线圈 A 产生的磁场使线圈 B 磁通量减少,使得线圈 B 又会产生感应电流,阻碍通过 B 的磁场的减弱,同时使得在弹片 K 附近的磁场的减弱变慢,达到延时的效果,故 C 错误。如题图丁所示,由于采用的双线绕法,两根平行导线中的电流反向,它们产生的磁通量互相抵消,不论导线中的电流如何变化,线圈中的磁通量始终为零,所以消除了自感现象的影响,故 D 正确。

任务总结

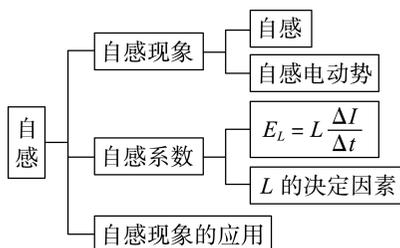
1. 对通电自感和断电自感问题的三点理解

- (1) 通电时线圈产生的自感电动势阻碍电流的增加且与原电流方向相反。
- (2) 断电时线圈产生的自感电动势与原来线圈中的电流方向相同,且在是与线圈串联的回路中,线圈相当于电源,它提供的电流大小从原来的值逐渐变小。
- (3) 自感电动势只是延缓了电流的变化,但它不能阻止原电流的变化,更不能使原电流反向。

2. 自感现象的“三种状态”“一个特点”

- (1) 三种状态
 - ① 线圈通电瞬间可把线圈看成断路;
 - ② 断电时自感线圈相当于电源;
 - ③ 电流稳定后,自感线圈相当于导体电阻,理想线圈电阻为零,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”。

► 提质归纳



课后素养评价(八) 自感

基础性·能力运用

知识点 1 自感现象和自感电动势

1. 关于自感现象, 下列说法正确的是 (D)

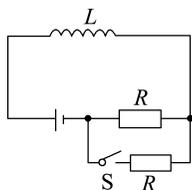
- A. 感应电流一定和原来的电流方向相反
- B. 对于同一线圈, 当电流变化越大时, 线圈产生的自感电动势也越大
- C. 对于同一线圈, 当电流变化越快时, 线圈的自感系数也越大
- D. 对于同一线圈, 当电流变化越快时, 线圈中的自感电动势也越大

知识点 2 通电自感和断电自感的理解

2. 如图所示, 线圈 L 的电阻和电源内阻都很小, 可忽略不计, 电路中两个电阻的阻值均为 R , 开始时开关 S 断开, 此时电路中电流为 I_0 。现将开关 S 闭合, 线圈 L 中有自感电动势产生。下列说法中正确

的是

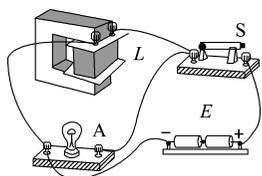
(D)



- A. 由于自感电动势有阻碍电流的作用, 电路中电流最终由 I_0 减小到零
- B. 由于自感电动势有阻碍电流的作用, 电路中电流最终小于 I_0 。
- C. 由于自感电动势有阻碍电流的作用, 电路中电流将保持 I_0 不变
- D. 自感电动势有阻碍电流增大的作用, 但电路中电流最终还是要增大到 $2I_0$ 。

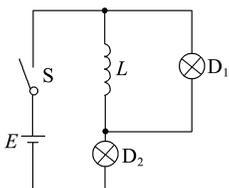
综合性·创新提升

3. 某同学为了验证断电自感现象, 自己找来带铁芯的线圈 L 、小灯泡 A 、开关 S 和电池组 E , 用导线将它们连接成如图所示的电路。检查电路后, 闭合开关 S , 小灯泡发光; 再断开开关 S , 小灯泡仅有不显著的延时熄灭现象。虽经多次重复, 但仍未见老师演示时出现的小灯泡闪亮现象。你认为最有可能造成小灯泡未闪亮的原因是 (C)



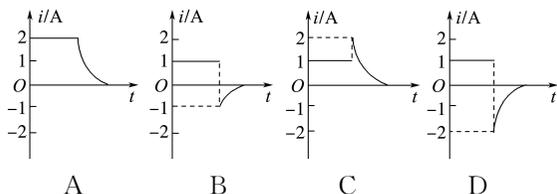
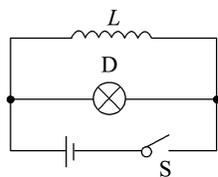
- A. 电源的内阻较大
- B. 小灯泡电阻偏大
- C. 线圈电阻偏大
- D. 线圈的自感系数较大

4. 如图所示, E 为电池, L 是电阻可忽略不计、自感系数足够大的线圈, D_1 、 D_2 是两个规格相同且额定电压足够大的灯泡, S 是控制电路的开关。关于这个电路, 下列说法正确的是 (C)



- A. 刚闭合开关 S 的瞬间, 通过 D_1 电流大于通过 D_2 的电流
- B. 刚闭合开关 S 的瞬间, 通过 D_1 电流小于通过 D_2 的电流
- C. 闭合开关 S 待电路达到稳定, D_1 熄灭, D_2 比原来更亮
- D. 闭合开关 S 待电路达到稳定, 再将 S 断开, D_1 、 D_2 均闪亮一下再熄灭

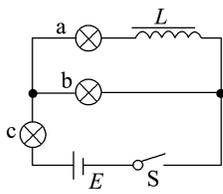
5. 在如图所示的电路中, S 闭合且电路稳定后流过电感线圈的电流是 2 A , 流过灯泡的电流是 1 A 。现将 S 突然断开, S 断开前后, 能正确反映流过灯泡的电流 i 随时间 t 变化的关系图像是 ()



D 解析: 开关 S 断开前, 通过灯泡 D 的电流是稳定的, 其值为 1 A 。开关 S 断开瞬间, 自感线圈的支路由于自感现象会产生与线圈中原电流方向相同的自感电动势, 使线圈中的电流从原来的 2 A 逐渐减小, 方向不变, 且同灯泡 D 构成回路, 通过灯泡 D 的

电流和线圈 L 中的电流相同,也应该是从 2 A 逐渐减小到零,但是方向与原来通过灯泡 D 的电流方向相反,故选 D 。

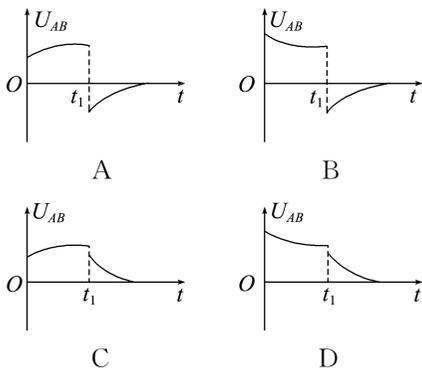
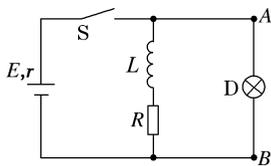
6. 在如图所示的电路中, a 、 b 、 c 为三个完全相同的灯泡, L 是一个自感系数很大、直流电阻为零的自感线圈, E 为电源, S 为开关。关于这三个灯泡, 下列说法正确的是 ()



- A. 合上开关, c 、 b 先亮, a 后亮
 B. 合上开关一会后, a 、 b 、 c 一样亮
 C. 断开开关, b 、 c 同时熄灭, a 缓慢熄灭
 D. 断开开关, c 马上熄灭, b 闪一下后和 a 一起缓慢熄灭

A 解析: 开关 S 闭合瞬间, 因线圈 L 的电流增大, 导致出现自感电动势, 阻碍电流的增大, 则 b 、 c 先亮, a 后亮, 故 A 正确; 合上开关一会后, 因线圈中电流恒定, 则线圈 L 相当于导线, 所以 a 、 b 一样亮, c 的电流是 a 、 b 的电流之和, 故 c 比 a 、 b 更亮, 故 B 错误; 断开开关 S 的瞬间, 由自感的特性可知线圈 L 和 a 、 b 组成的回路中有电流, 导致 a 、 b 一起缓慢熄灭, 而 c 没有电流通过, 则马上熄灭, a 、 b 、 c 为三个完全相同的灯泡, 因此 a 与 b 的电流是相等的, b 不会闪一下, 故 C 、 D 错误。

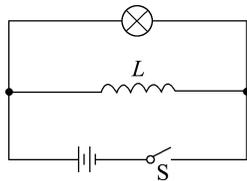
7. 在如图所示的电路中, 电源的电动势为 E 、内阻为 r , 电感为 L 的直流电阻不计, 电阻 R 的阻值大于灯泡 D 的阻值, 在 $t=0$ 时刻闭合开关 S , 经过一段时间后, 在 $t=t_1$ 时刻断开 S , 则下列表示 A 、 B 两点间电压 U_{AB} 随时间 t 变化的图像正确的是 ()



B 解析: 开关闭合时, 线圈由于自感对电流的阻碍作用, 此时可看作电阻, 线圈电阻逐渐减小, 并联电路电阻逐渐减小, 电压 U_{AB} 逐渐减小; 开关闭合后再断开时, 线圈的感应电流与原电流方向相同, 形

成回路, 通过灯泡的电流与原电流方向相反, 并逐渐减小到 0 。综上所述可知 B 选项正确。

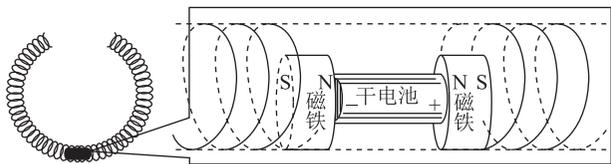
8. 某同学在做如图所示的自感实验中, 灯泡两端并联了自感系数 L 很大的自感线圈, 其直流电阻大于灯泡电阻。关于该实验, 下列说法正确的是 ()



- A. S 接通瞬间, 灯泡会逐渐变亮
 B. S 接通稳定时, 灯泡会熄灭
 C. S 断开后的瞬间, 灯泡的电流从右向左
 D. S 断开后, 灯泡会闪亮一下再熄灭

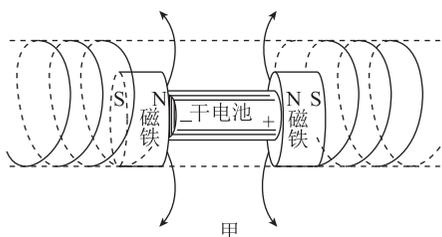
C 解析: 闭合开关的瞬间, 电压直接加到灯泡两端, 所以灯泡立即亮, 故 A 错误; 由于线圈中自感电动势的阻碍, 流过线圈的电流逐渐增大, 闭合开关稳定后, 自感作用消失, 通过灯泡的电流比开始时略小, 但灯泡不会熄灭, 故 B 错误; 闭合开关, 待电路稳定后断开开关, 线圈产生的自感电动势维持自身的电流且逐渐减小, 线圈与灯泡构成自感回路, 电流的方向从右向左流过灯泡, 灯泡逐渐熄灭, 故 C 正确; 由于线圈的直流电阻大于灯泡电阻, 则电路中的电流稳定时灯泡中的电流大于线圈中的电流, 线圈产生的自感电动势维持自身的电流且逐渐减小, 所以灯泡逐渐熄灭, 不会闪亮一下, 故 D 错误。

9. (多选) 小明模仿科技小视频制作电磁“小车”, 用裸铜导线绕制成长螺线管当作轨道, 固定在水平桌面上(轨道平放), 将两个磁性很强的磁铁(该磁铁能导电)固定在一节新干电池的两极上, 制成“小车”, 磁极与电极如图所示。把“小车”从右侧入口完全推入螺线管, 但“小车”并没有像视频那样向前运动。为了使“小车”运动, 以下方法可行的是 ()

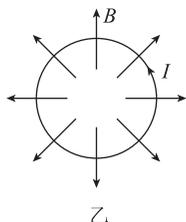


- A. 仅将“小车”掉头从右侧入口完全推入螺线管, “小车”可能会向前运动
 B. 仅将“小车”两端磁铁都反向与电池固定后从右侧入口完全推入, “小车”可能会向前运动
 C. 仅将左端磁铁反向与电池固定后从右侧入口完全推入, “小车”可能会运动
 D. 仅将“小车”放入包有绝缘层的铝制长螺线管中, “小车”可能会运动

AB 解析: 两磁极间的磁感线如图甲所示:



干电池与磁铁及部分线圈组成了闭合回路,在两磁极间的线圈中产生电流,左端磁极的左侧线圈和右端磁极的右侧线圈中没有电流,中间线圈中电流方向的右视图如图乙所示:



由左手定则可知中间线圈所受的安培力向左,根据牛顿第三定律有小车受向右的作用力,但由题意可知,“小车”还受重力、摩擦力等其他力,则把“小车”从右侧入口完全推入螺线管而处于平衡未向前运动,肯定也不会向左运动。若仅将“小车”掉头从右侧入口完全推入螺线管,电流反向,所受安培力反向,则“小车”可能会向前运动,A项正确;若仅将“小车”两端磁铁都反向与电池固定后从右侧入口完全推入,磁场反向,安培力反向,“小车”可能会向前运动,B项正确;若仅将左端磁铁反向与电源粘连,则磁感线不会向外发散,“小车”左右两部分受到方向相反的力,合力为零,不能运动,C项错误;若仅将“小车”放入包有绝缘层的铝制长螺线管中,在螺线管中不会产生闭合电流,则“小车”不会受到安培力的作用,更不能运动,D项错误。

单元活动构建

单元活动 2 电磁感应规律的综合应用

「单元任务」

任务内容	
任务一	动生电动势和感生电动势的比较
任务二	“杆+导轨”模型中的能量问题
任务三	“杆+导轨”模型中的动量问题

「任务引导」

资料:

朝辞白帝彩云间,千里江陵一日还。

两岸猿声啼不住,轻舟已过万重山。

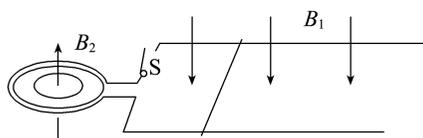
这首人们耳熟能详的唐诗,让我们仿佛置身于三峡的美景之中。如今,诗人笔下的三峡,不仅风景秀丽依然,在其上修建的三峡水电站也在为祖国的建设做着巨大的贡献。电厂里巨大的发电机怎么会发出这么多电来?能量怎么实现的转化?它又是怎么传输给高速行驶的列车的呢?

电磁感应在现实中的应用总是和各种其他技术相结合,以至于很难理解,但是我们可以将其抽离出来建立起独立的模型,那么这类问题就比较简单了。

任务一 动生电动势与感生电动势

活动 如图所示,水平面上有足够长的两平行导轨,导轨间距为 L ,导轨上垂直放置一个质量为 m 、电阻

为 R 、长度为 L 的导体棒,导体棒与导轨始终良好接触,导体棒与导轨间的动摩擦因数为 μ ,垂直于导轨平面有竖直向下的匀强磁场,磁感应强度大小为 B_1 。在导轨左端通过导线连接一水平放置的面积为 S 、总电阻为 r 、匝数为 N 的圆形线圈,线圈内有一面积为 S_0 的圆形磁场区域,磁场沿线圈轴线方向向上且大小随时间变化规律为 $B_2 = kt$ (T) ($k > 0$)。已知重力加速度为 g ,不计导轨电阻,两磁场互不影响。



(1)在上述情境中,求闭合开关 S 瞬间,导体棒所受的安培力。

(2)上述情境中,闭合开关 S 后,若导体棒能运动,求导体棒运动的最大速度。

提示:(1)左侧线圈中产生的感生电动势 $E = N \frac{\Delta B_2}{\Delta t} S_0 = NkS_0$, 闭合 S 瞬间,回路中电流 $I =$

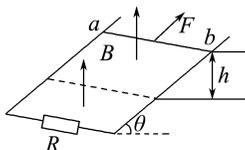
$\frac{E}{R+r}$, 故导体棒受到的安培力 $F = B_1 IL =$

$B_1 \frac{NkS_0}{R+r} L$ 。

(2)当导体棒受力平衡时,速度最大,即 $\mu mg = \frac{E - B_1 L v_m}{R+r} B_1 L$, 故 $v_m = \frac{E}{B_1 L} - \frac{\mu mg (R+r)}{B_1^2 L^2}$ 。

任务二 “杆+导轨”模型中的能量问题

活动 如图所示,两根光滑金属导轨平行放置在倾角为 θ 的斜面上,导轨下端接有电阻 R ,导轨电阻不计,斜面处在竖直向上的匀强磁场中。电阻可忽略不计的金属棒 ab 质量为 m ,受到沿斜面向上且与金属棒垂直的恒力 F 的作用,金属棒沿导轨匀速向上滑动竖直高度 h 。



(1)在此过程中,作用在金属棒上各力的合力所做的功为多少?

(2)该过程中,恒力 F 做功情况如何?

(3)该过程中,安培力做什么功?能量如何转化?做了多少功?

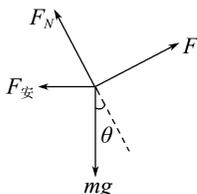
提示:(1)金属棒做匀速运动,则 $F_{\text{合}}=0, W_{\text{合}}=0$ 。

(2)该过程中, $W_F = F \frac{h}{\sin \theta}$ 。

(3)对金属棒受力分析,如图所示,

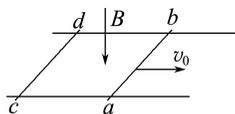
外力 F 做功,将其他形式的能一部分转化为金属棒的机械能,一部分转化为电路的电功;安培力做负功,将系统的电能转化为 R 上产生的焦耳热。斜面支持力做功为0,由动能定理得 $W_F - W_G - W_{\text{安}} = 0$,所以

$$W_{\text{安}} = F \frac{h}{\sin \theta} - mgh。$$



任务三 “杆+导轨”模型中的动量问题

活动 方向竖直向下的匀强磁场中有两根位于同一水平面内的足够长的平行金属导轨,两相同的光滑导体棒 ab 、 cd 静止在导轨上。 $t=0$ 时, ab 棒以初速度 v_0 向右滑动,运动过程中, ab 棒、 cd 棒始终与导轨垂直并接触良好。



(1)运动过程中, ab 棒与 cd 棒所受安培力有什么关系?

(2) ab 棒与 cd 棒的运动状态将会怎样变化?最终两棒的速度为多少?

(3)若导轨不平行,两棒组成的系统是否还满足动量守恒?

提示:(1)平行金属导轨与两导体棒组成闭合回路,通过两导体棒的感应电流相等,两导体棒所受安培力大小相等, ab 棒受到水平向左的安培力, cd 棒受到水

平向右的安培力。

(2) ab 棒向右运动过程中,速度在减小, cd 棒向右的速度在增大,闭合回路总电动势 $E = Blv_{ab} - Blv_{cd}$ 在减小,直到 $v_{ab} = v_{cd}$,由于两棒组成的系统动量守恒,则 $mv_0 = mv_{ab} + mv_{cd}$,联立可得 $v_{ab} = v_{cd} = \frac{v_0}{2}$ 。

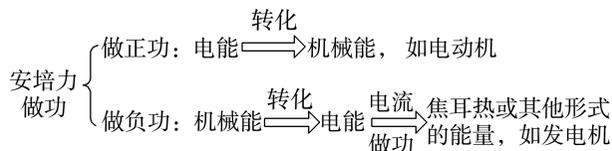
(3)若金属导轨不平行, ab 棒与 cd 棒切割磁感线的有效长度不同,则由 $F_{\text{安}} = IlB$ 知,两棒所受安培力不同,系统所受合外力不为零,不满足动量守恒的条件。

「知识链接」

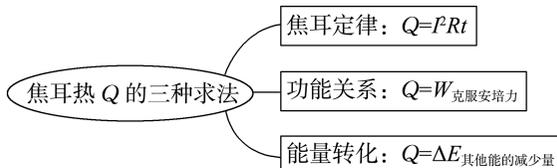
1. 感生电动势与动生电动势的比较和联系

项目	感生电动势	动生电动势
产生原因	磁场变化	导体做切割磁感线运动
移动电荷的非静电力	感生电场对自由电荷的电场力	导体中自由电荷所受洛伦兹力沿导体方向的分力
回路中相当于电源的部分	处于变化磁场中的导体部分	做切割磁感线运动的导体部分
方向判断方法	由楞次定律判断	通常由右手定则判断,也可由楞次定律判断
大小计算方法	用 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$ 计算	通常用 $E = Blv \sin \theta$ 计算,也可用 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 计算
相互联系	感生电动势与动生电动势的本质是相同的,都遵从法拉第电磁感应定律,体现能量的转化与守恒	

2. 电磁感应中的能量转化



3. 求解焦耳热 Q 的三种方法



4. 动量定理应用于单杆切割磁感线运动,可求解变力的作用时间、速度、位移和电荷量。

(1)求速度或时间

$$\text{合力的冲量 } I_{\text{合}} = \bar{F}_{\text{合}} \cdot \Delta t = mv_2 - mv_1。$$

(2)求电荷量

$$\text{安培力的冲量 } I_{\text{安}} = \bar{F}_{\text{安}} \cdot \Delta t = \bar{I}lB \cdot \Delta t, \text{ 且}$$

$$q = \bar{I} \cdot \Delta t。$$

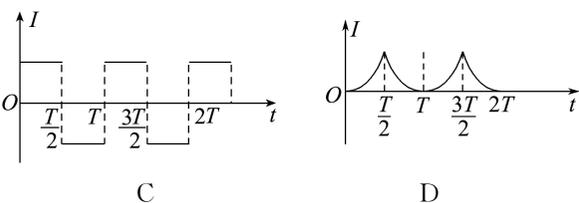
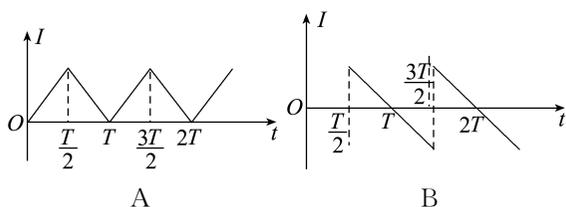
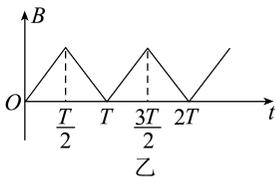
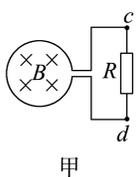
(3)求位移

$$\text{安培力的冲量 } I_{\text{安}} = \bar{F}_{\text{安}} \cdot \Delta t = \frac{B^2 l^2 \bar{v}}{R_{\text{总}}} \cdot \Delta t, \text{ 且 } x = \bar{v} \cdot \Delta t。$$

5. 在等宽轨道上的双导体棒运动过程中, 将两棒视为一个整体, 于是磁场对两棒的安培力始终大小相等、方向相反, 合力为零, 将不影响整体的动量守恒, 因此解题的突破口是运用动量守恒(并结合动量定理)和能量守恒求解。

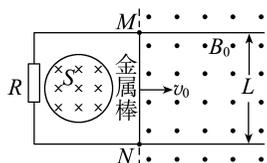
「活动达标」

1. 如图甲所示, 圆形金属框内有如图乙所示周期性变化的磁场(规定垂直纸面向里为磁场的正方向), 导线上 cd 间接有一定值电阻 R , 则流过电阻 R 的电流随时间变化的图像正确的是 (C)



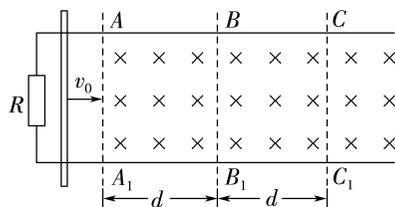
2. (多选) 如图所示, 间距 $L=1 \text{ m}$ 、足够长的平行金属导轨固定在绝缘水平面上, 其左端接一阻值 $R=1 \ \Omega$ 的定值电阻。直线 MN 垂直于导轨, 在其左侧面积 $S=0.5 \text{ m}^2$ 的圆形区域内存在垂直于导轨所在平面向里的磁场, 磁感应强度 B 随时间的变化关系为 $B=6t \text{ (T)}$, 在其右侧(含边界 MN)存在磁感应强度大小 $B_0=1 \text{ T}$ 、方向垂直导轨所在平面向外的匀强磁场。 $t=0$ 时, 某金属棒从 MN 处以 $v_0=8 \text{ m/s}$ 的初速度开始水平向右运动, 已知金属棒质量 $m=1 \text{ kg}$, 与导轨之间的动摩擦因数 $\mu=0.2$, 导轨、金属棒电阻不计, 金属棒与导轨始终垂直且接触良好, 取 $g=10 \text{ m/s}^2$ 。下列说法正确的是

(ACD)



- A. $t=0$ 时, 闭合回路中有大小为 5 A 的顺时针方向的电流
 B. 闭合回路中一直存在顺时针方向的电流
 C. 金属棒在运动过程中受到的安培力方向先向左再向右
 D. 金属棒最终将以 1 m/s 的速度匀速运动

3. (2024 · 湖南卷)(多选) 某电磁缓冲装置如图所示, 两足够长的平行金属导轨置于同一水平面内, 导轨左端与一阻值为 R 的定值电阻相连, 导轨 BC 段与 B_1C_1 段粗糙, 其余部分光滑, AA_1 右侧处于竖直向下的匀强磁场中, 一质量为 m 的金属杆垂直导轨放置。现让金属杆以初速度 v_0 沿导轨向右经过 AA_1 进入磁场, 最终恰好停在 CC_1 处。已知金属杆接入导轨之间的阻值为 R , 与粗糙导轨间的动摩擦因数为 μ , $AB=BC=d$ 。导轨电阻不计, 重力加速度为 g 。下列说法正确的是 ()

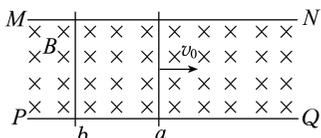


- A. 金属杆经过 BB_1 时的速度大小为 $\frac{v_0}{2}$
 B. 在整个过程中, 定值电阻 R 上产生的热量为 $\frac{1}{2}mv_0^2 - \frac{1}{2}\mu mgd$
 C. 金属杆经过 AA_1B_1B 与 BB_1C_1C 区域, 金属杆所受安培力的冲量相同
 D. 若将金属杆的初速度加倍, 则金属杆在磁场中运动的距离大于原来的 2 倍

CD 解析: 设金属杆经过 BB_1 的速度大小为 v_1 , 则对金属杆从 AA_1 运动到 BB_1 的过程, 由动量定理有 $\frac{B^2 L^2 \bar{v}_1}{2R} t_1 = m(v_0 - v_1)$, 又 $\bar{v}_1 t_1 = d$, 则 $\frac{B^2 L^2 d}{2R} = m(v_0 - v_1)$, 对金属杆从 BB_1 运动到 CC_1 的过程, 由动量定理有 $\frac{B^2 L^2 \bar{v}_2}{2R} t_2 + \mu mg t_2 = mv_1$, 又 $\bar{v}_2 t_2 = d$, 则 $\frac{B^2 L^2 d}{2R} + \mu mg t_2 = mv_1$, 分析可知 $v_0 - v_1 < v_1$, 解得 $v_1 > \frac{v_0}{2}$, 即金属杆经过 BB_1 的速度大于 $\frac{v_0}{2}$, A 错误; 整个过程, 由能量守恒定律可得

$\frac{1}{2}mv_0^2 = Q_R + Q_{\#} + \mu mgd$, 由于通过定值电阻 R 和金属杆的电流时刻相等, 则由焦耳定律可知 $Q_R = Q_{\#}$, 联立可得 $Q_R = \frac{1}{4}mv_0^2 - \frac{1}{2}\mu mgd$, B 错误; 规定水平向左为正方向, 则结合 A 项分析可知, 金属杆经过 AA_1B_1B 区域, 金属杆所受安培力的冲量 $I_1 = \frac{B^2L^2\bar{v}_1}{2R}t_1 = \frac{B^2L^2d}{2R}$, 金属杆经过 BB_1C_1C 区域, 金属杆所受安培力的冲量 $I_2 = \frac{B^2L^2\bar{v}_2}{2R}t_2 = \frac{B^2L^2d}{2R}$, 可得 $I_1 = I_2$, 即金属杆经过 AA_1B_1B 与 BB_1C_1C 区域, 金属杆所受安培力的冲量相同, C 正确; 若将金属杆的初速度加倍, 则对金属杆从 AA_1 运动到 BB_1 的过程, 由动量定理有 $\frac{B^2L^2\bar{v}_3}{2R}t_3 = \frac{B^2L^2d}{2R} = m(2v_0 - v_B)$, 对金属杆从 BB_1 运动到 CC_1 的过程, 由动量定理有 $\frac{B^2L^2\bar{v}_4}{2R}t_4 + \mu mgt_4 = m(v_B - v_C)$, 即 $\frac{B^2L^2d}{2R} + \mu mgt_4 = m(v_B - v_C)$, 又由运动学知识有 $t_4 < t_2$, 则结合 A 项分析, 联立可得金属杆经过 CC_1 的速度 $v_C > v_0$, 对金属杆经过 CC_1 之后的运动过程, 由动量定理有 $\frac{B^2L^2\bar{v}_5}{2R}t_5 = \frac{B^2L^2\Delta x}{2R} = mv_C > mv_0$, 又由 A 项分析有 $\frac{B^2L^2d}{2R} < m \cdot \frac{1}{2}v_0$, 则 $\Delta x > 2d$, 故金属杆在磁场中运动的距离为 $x = 2d + \Delta x > 4d = 2 \times 2d$, 即金属杆在磁场中运动的距离大于原来的 2 倍, D 正确。

4. (多选) 如图所示, 水平面上有足够长的平行光滑金属导轨 MN 和 PQ , 导轨间距为 L , 电阻不计, 导轨所处空间存在竖直向下的匀强磁场, 磁感应强度大小为 B 。导轨上放有质量均为 m 、电阻均为 R 的金属棒 a 、 b 。开始时金属棒 b 静止, 金属棒 a 获得向右的初速度 v_0 , 从金属棒 a 开始运动到最终两棒以相同的速度匀速运动的过程中, 两金属棒始终与导轨垂直且接触良好。下列说法正确的是 ()

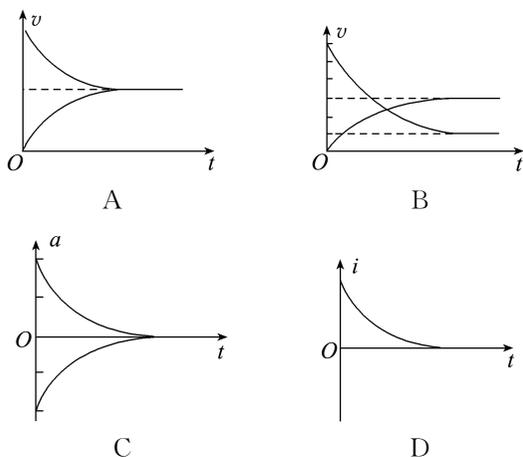
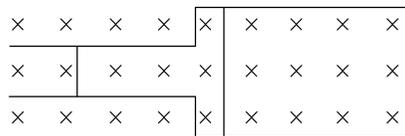


- A. a 做匀减速直线运动, b 做匀加速直线运动
 B. 最终两金属棒匀速运动的速度大小为 $\frac{v_0}{2}$
 C. 金属棒 a 上产生的焦耳热为 $\frac{mv_0^2}{4}$

D. a 和 b 的距离增加量为 $\frac{mv_0R}{B^2L^2}$

BD 解析: 金属棒 a 向右运动时, 受向左的安培力, 则金属棒 a 向右做减速运动, 随速度的减小, 感应电流减小, 安培力减小, a 的加速度减小, 则 a 做加速度减小的减速直线运动, 同理可得 b 做加速度减小的加速直线运动, 最终两棒达到共速的稳定状态, 故 A 错误; 当两金属棒共速时, 由动量守恒定律可知 $mv_0 = 2mv$, 解得 $v = \frac{v_0}{2}$, 故 B 正确; 两金属棒产生的焦耳热为 $Q = \frac{1}{2}mv_0^2 - 2 \times \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{4}mv_0^2$, 由于两金属棒的电阻相等, 故 a 上产生的焦耳热为 $Q_1 = \frac{Q}{2} = \frac{1}{8}mv_0^2$, 故 C 错误; 设从开始运动到两金属棒最终达到稳定过程中, 磁通量的变化量为 $\Delta\Phi$, 时间为 Δt , 平均电流为 \bar{I} , 有 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BL \frac{x}{\Delta t}$, $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{2R}$, 对金属棒 b 由动能定理有 $B\bar{I}L \cdot \Delta t = mv - 0$, 联立方程可解得 $x = \frac{mv_0R}{B^2L^2}$, 故 D 正确。

5. (多选) 如图所示, 间距分别为 L 和 $3L$ 的平行光滑导轨水平放置, 其间存在竖直向下的匀强磁场, 左右两侧导轨上分别放置长度与导轨间距相等的两导体棒, 两导体棒的材质相同, 粗细相同。现给右侧导体棒一沿导轨向右的水平初速度, 已知导轨足够长, 导轨电阻不计, 两导体棒与导轨始终垂直并接触良好, 左侧导体棒始终未运动到右侧导轨, 则下列所描绘两导体棒的速度、加速度和感应电流随时间变化的图像可能正确的是 ()

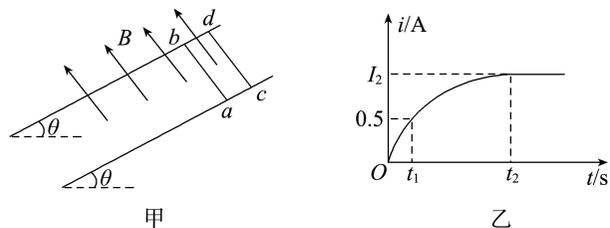


CD 解析: 设左侧导体棒的阻值为 R , 则右侧导体棒阻值为 $3R$, 右侧导体棒的速度为 v_1 , 左侧导体棒

的速度为 v_2 , 根据法拉第电磁感应定律, 回路中的感应电流 $I = \frac{3BLv_1}{R} - \frac{BLv_2}{R}$, 对于两导体棒分别有 $3BIL = 3ma_1$ 、 $BIL = ma_2$, 可得两导体棒加速度大小相等, 并且最终减小到零, 故右侧导体棒做加速度减小的减速运动直到匀速运动, 左侧导体棒将做加速度减小的加速运动直到匀速运动。两导体棒最终做匀速运动时, 回路中没有感应电流产生, 且此时 $v_2 = 3v_1$, 故 A 项错误, C、D 项正确; 由于两棒加速度大小相等, 在两导体棒速度相等时, 速度大小一定等于初始时刻右侧导体棒速度大小的一半, 故 B 项错误。

6. 如图甲所示, 两根足够长、电阻不计且相距 $L = 1 \text{ m}$ 的平行金属导轨固定在倾角为 $\theta = 37^\circ$ 的绝缘斜面上(斜面未画出), 两导轨间有一磁感应强度大小 $B = 1 \text{ T}$ 、方向垂直斜面向上的匀强磁场。现将两根质量为 $m = 1 \text{ kg}$ 、电阻均 $R = 1 \Omega$ 、长度为 $L = 1 \text{ m}$ 的相同金属棒放置在导轨顶端附近, 两金属棒与导轨接触良好, 金属棒 ab 与导轨间的摩擦忽略不计, 金属棒 cd 与导轨间的动摩擦因数为 $\mu = 0.75$ 。在 $t = 0$ 时刻将金属棒 ab 由静止释放, 此时金属棒 cd 锁定在导轨上; $t = t_1$ 时刻将金属棒 cd 由静止释放。已知金属棒 ab 中的电流随时间变化的关系如图乙所示, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$, $\sin 37^\circ = 0.6$, $\cos 37^\circ = 0.8$ 。

- (1) 求 $t = t_1$ 时刻, 金属棒 ab 的加速度大小 a_1 及金属棒 cd 的加速度大小 a_2 。
- (2) 若在 $0 \sim t_1$ 时间段, 金属棒 ab 沿着斜面下滑的距离为 $x_1 = 0.5 \text{ m}$, 求这段时间内金属棒 ab 产生的焦耳热 Q 。
- (3) 若 $t = t_2$ 时, 金属棒 ab 的速度为 $v_2 = 9 \text{ m/s}$, 求当 $t = t_2 + 1 \text{ s}$ 时, 金属棒 cd 的速度 v 的大小。



解析: (1) 由题图乙可知 $t = t_1$ 时刻金属棒 ab 中的电流大小为 $I_1 = 0.5 \text{ A}$

则对金属棒 ab 应用牛顿第二定律, 可得

$$mg \sin \theta - BI_1 L = ma_1$$

解得金属棒 ab 加速度大小为 $a_1 = 5.5 \text{ m/s}^2$

对金属棒 cd 应用牛顿第二定律, 可得

$$mg \sin \theta + BI_1 L - \mu mg \cos \theta = ma_2$$

解得金属棒 cd 加速度大小为 $a_2 = 0.5 \text{ m/s}^2$ 。

(2) 设 t_1 时刻金属棒 ab 的速度为 v_1 , 则此时有

$$I_1 = \frac{BLv_1}{2R}, \text{ 解得 } v_1 = 1 \text{ m/s}$$

在 $0 \sim t_1$ 时间段, 设金属棒 ab 克服安培力做功为

$$W_{克}, \text{ 应用动能定理可得 } mgx_1 \sin \theta - W_{克} = \frac{1}{2}mv_1^2$$

故在此过程整个回路产生的焦耳热为 $Q_{总} = W_{克} = 2.5 \text{ J}$

所以这段时间内金属棒 ab 产生的焦耳热 Q 为

$$Q = \frac{1}{2}Q_{总} = 1.25 \text{ J}。$$

(3) 由题图乙可知 $t = t_2$ 时刻之后电路中的电流保持不变, 即两金属棒速度差保持不变, 此时两金属棒加速度相等, 对金属棒 ab 应用牛顿第二定律可得 $mg \sin \theta - BI_2 L = ma$

对金属棒 cd 应用牛顿第二定律可得

$$mg \sin \theta + BI_2 L - \mu mg \cos \theta = ma$$

联立可得 $a = 3 \text{ m/s}^2$, $I_2 = 3 \text{ A}$

设 $t = t_2$ 时金属棒 cd 的速度为 v_3 , 则电路中的电

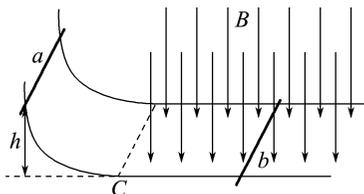
$$\text{流可表示为 } I_2 = \frac{BL(v_2 - v_3)}{2R}$$

联立可得 $v_3 = 3 \text{ m/s}$, 故 $t = t_2 + 1 \text{ s}$ 时, 金属棒 cd 的速度为 $v = v_3 + a(t - t_2) = (3 + 3 \times 1) \text{ m/s} = 6 \text{ m/s}$ 。

答案: (1) 5.5 m/s^2 0.5 m/s^2 (2) 1.25 J (3) 6 m/s

7. 如图所示, 光滑平行金属导轨的水平部分(C 处右侧)处于竖直向下的匀强磁场中, 磁感应强度 $B = 3 \text{ T}$, 两导轨间距为 $l = 0.5 \text{ m}$, 轨道足够长。金属棒 a 和 b 的质量分别为 $m_a = 1 \text{ kg}$ 、 $m_b = 0.5 \text{ kg}$, 有效电阻分别为 $R_a = 1 \Omega$ 、 $R_b = 2 \Omega$ 。 b 棒静止于轨道水平部分, 现将 a 棒从 $h = 1.8 \text{ m}$ 高处由静止沿弧形轨道下滑, 通过 C 点进入轨道的水平部分。已知两棒在运动过程中始终保持与导轨垂直且接触良好, 两棒始终不相碰, 不计导轨电阻, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$ 。求:

- (1) a 棒刚进入磁场时, b 棒的加速度;
- (2) 从 a 棒进入磁场到 a 棒匀速运动的过程中, 流过 a 棒的电荷量;
- (3) 从 a 棒进入磁场到 a 棒匀速运动的过程中, a 棒中产生的焦耳热。



解析: (1) a 棒沿弧形轨道下滑至 C 处的过程中, 根据机械能守恒有 $m_a g h = \frac{1}{2}m_a v^2$

a 棒进入磁场瞬间产生的感应电动势 $E = Blv$

由右手定则可知, 电流方向为顺时针(从上往下看), 根据闭合电路欧姆定律有 $I = \frac{E}{R_a + R_b}$

对 b 棒有 $F_{安} = IlB$

根据牛顿第二定律有 $F_{安} = m_b a$, 联立解得 $a = 9 \text{ m/s}^2$

由左手定则可知, b 棒加速度的方向向右。

(2) a 棒进入磁场之后因受安培力作用逐渐减速, b

棒逐渐加速,直至两棒速度相同。对 a 、 b 棒组成的系统,由动量守恒定律得 $m_a v = (m_a + m_b) v_{共}$, 解得 $v_{共} = 4 \text{ m/s}$

对 b 棒,应用动量定理,有 $\bar{I} L B t = m_b v_{共}$, 即 $B l q = m_b v_{共}$

解得 $q = \frac{4}{3} \text{ C}$ 。

(3) a 、 b 棒在水平面内运动过程中,由能量守恒定律得

$$\frac{1}{2} m_a v^2 - \frac{1}{2} (m_a + m_b) v_{共}^2 = Q$$

根据焦耳定律有 $Q = I^2 (R_a + R_b) t$, $Q_a = I^2 R_a t$

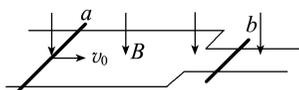
得 $Q_a = \frac{R_a}{R_a + R_b} Q$, 联立解得 $Q_a = 2 \text{ J}$ 。

答案:(1) 9 m/s^2 , 方向向右 (2) $\frac{4}{3} \text{ C}$ (3) 2 J

8. 如图所示,足够长的光滑平行金属直导轨固定在水平面上,左侧轨道间距为 $2d$,右侧轨道间距为 d 。轨道处于竖直向下、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场中。质量为 $2m$ 、有效电阻为 $2R$ 的金属棒 a 静止在左侧轨道上,质量为 m 、有效电阻为 R 的金属棒 b 静止在右侧轨道上。现给金属棒 a 一水平向右的初速度 v_0 ,经过一段时间后两金属棒达到稳定状态。已知两金属棒运动过程中始终相互平行且与导轨良好接触,导轨电阻忽略不计,金属棒 a 始终在左侧轨道上运动。

(1) 求达到稳定状态时, a 、 b 两棒的速度之比。

(2) 整个运动过程中金属棒 a 产生的焦耳热为多大?



解析:金属棒 a 开始向右做减速运动,金属棒 b 开始向右做加速运动,当两金属棒产生的感应电动势大小相等时,回路感应电流为零,两金属棒不受安培力,两金属棒做匀速直线运动。

(1) 设达到稳定状态,两金属棒做匀速直线运动时,金属棒 a 与金属棒 b 的速度大小分别为 v_1 和 v_2 , 金属棒切割磁感线产生的感应电动势 $E = BLv$, $B \times 2d v_1 = B d v_2$

解得 $v_2 = 2v_1$, 即此时 a 、 b 两棒的速度之比为 $1:2$ 。

(2) 由动量定理,对金属棒 a 有 $-B \bar{I} \cdot 2d \Delta t = 2m v_1 - 2m v_0$

对金属棒 b 有 $B \bar{I} d \Delta t = m v_2$, 解得 $v_1 = \frac{1}{3} v_0$, $v_2 = \frac{2}{3} v_0$

设回路产生的总焦耳热为 Q , a 产生的焦耳热为 Q_a , 金属棒由能量守恒有

$$\frac{1}{2} \times 2m v_0^2 = \frac{1}{2} \times 2m v_1^2 + \frac{1}{2} m v_2^2 + Q$$

由 $\frac{Q_a}{Q} = \frac{2R}{2R+R}$ 解得 $Q_a = \frac{4}{9} m v_0^2$ 。

答案:(1) $1:2$ (2) $\frac{4}{9} m v_0^2$

章末质量评估(二)

(时间:90分钟 分值:100分)

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的。

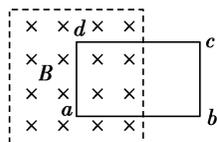
1. 下列验证“由磁产生电”设想的实验中,能观察到感应电流的是 (D)

- 将绕在磁体上的线圈与电流表组成一闭合回路,然后观察电流表的变化
- 在一通电线圈旁放置一连有电流表的闭合线圈,然后观察电流表的变化
- 将一房间内的线圈两端与相邻房间的电流表连接,往线圈中插入条形磁体后,再到相邻房间去观察电流表的变化
- 绕在同一铁环上的两个线圈,分别接电源和电流表,在给线圈通电或断电的瞬间,观察电流表的变化

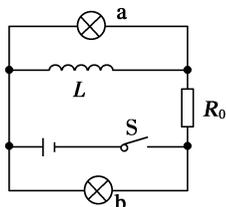
2. 如图所示,矩形闭合金属框 $abcd$ 的平面与匀强磁场垂直,若 ab 边受竖直向上的磁场力作用,则可知

金属框的运动情况是 (A)

- 向左平动进入磁场
- 向右平动退出磁场
- 沿竖直方向向上平动
- 沿竖直方向向下平动



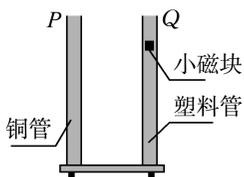
3. 如图所示, L 是自感系数很大的理想线圈, a 、 b 为两只完全相同的小灯泡, R_0 是一个定值电阻,则下列有关说法正确的是 (C)



- 在 S 闭合瞬间, a 灯比 b 灯亮
- 当 S 闭合待电路稳定后,两灯亮度相同
- 在 S 突然断开瞬间, a 灯比 b 灯亮些

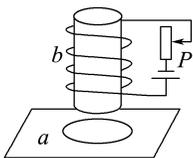
D. 在 S 突然断开瞬间, b 灯立即熄灭

4. 如图所示, 上下开口、内壁光滑的铜管 P 和塑料管 Q 竖直放置, 小磁块先后在两管中从相同高度处由静止释放, 并落至底部, 则小磁块 (C)



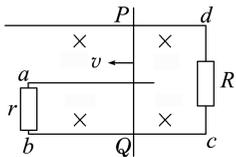
- A. 在 P 和 Q 中都做自由落体运动
 B. 在两个下落过程中的机械能都守恒
 C. 在 P 中的下落时间比在 Q 中的长
 D. 落至底部时在 P 中的速度比在 Q 中的大

5. 如图所示, 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 b, 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 向上动, 则下列说法正确的是 (C)



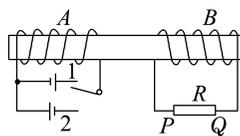
- A. 穿过线圈 a 的磁通量变大
 B. 线圈 a 有收缩的趋势
 C. 线圈 a 中将产生顺时针方向(从上往下看)的感应电流
 D. 线圈 a 对水平桌面的压力 F_N 将增大

6. 如图所示, 同一平面内的三条平行导线接有两个电阻 R 和 r, 导体棒 PQ 与三条导线接触良好, 匀强磁场的方向垂直纸面向里, 导体棒的电阻可忽略。当导体棒向左滑动时, 下列说法正确的是 (B)



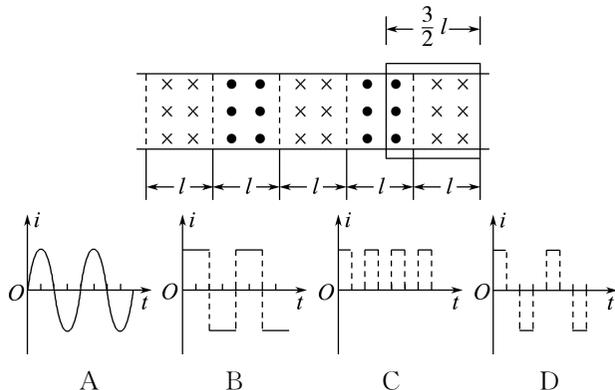
- A. 流过 R 的电流为由 d 到 c, 流过 r 的电流为由 b 到 a
 B. 流过 R 的电流为由 c 到 d, 流过 r 的电流为由 b 到 a
 C. 流过 R 的电流为由 d 到 c, 流过 r 的电流为由 a 到 b
 D. 流过 R 的电流为由 c 到 d, 流过 r 的电流为由 a 到 b

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



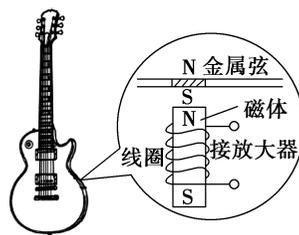
- A. 先由 P → Q, 再由 Q → P
 B. 先由 Q → P, 再由 P → Q
 C. 始终由 Q → P
 D. 始终由 P → Q

8. 如图所示, 在同一水平面内有两根平行长导轨, 导轨间存在依次相邻的矩形匀强磁场区域, 区域宽度均为 l, 磁感应强度大小相等、方向交替向上或向下。一边长为 $\frac{3}{2}l$ 的正方形金属线框在导轨上向左匀速运动。下列线框中感应电流 i 随时间 t 变化的图线可能正确的是 (D)



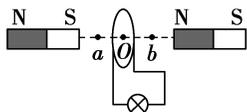
二、多项选择题: 本题共 4 小题, 每小题 5 分, 共 20 分。在每小题给出的四个选项中, 有多项符合题目要求。全部选对的得 5 分, 选对但不全的得 2 分, 有选错的得 0 分。

9. 电吉他中拾音器的基本结构如图所示, 磁体附近的金属弦被磁化, 因此弦振动时, 在线圈中产生感应电流, 电流经电路放大后传送到音箱发出声音。下列说法正确的有 (BCD)



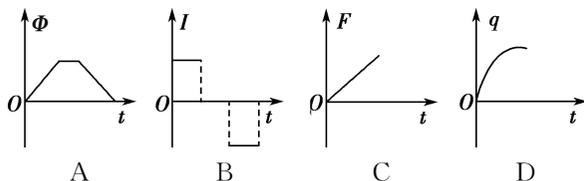
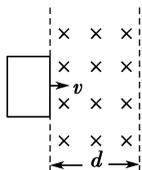
- A. 选用铜质弦, 电吉他仍能正常工作
 B. 取走磁体, 电吉他将不能正常工作
 C. 增加线圈匝数可以增大线圈中的感应电动势
 D. 弦振动的过程中, 线圈中的电流方向不断变化
10. 某同学在学习了法拉第电磁感应定律之后, 自己制作了一个手动手电筒。手电筒的简易结构示意图如图所示, 左右两端是两块完全相同的条形磁体, 中间是一根绝缘直杆(未画出), 由绝缘细铜丝绕制的多匝环形线圈只可在直杆上自由滑动, 线

圈两端接一灯泡。晃动手电筒时,线圈也来回匀速滑动,灯泡就会发光。其中 O 点是两磁极连线的中点, a 、 b 两点关于 O 点对称,则下列说法正确的是 (AC)

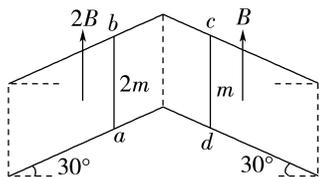


- A. 线圈经过 O 点时磁通量最小
 B. 线圈经过 O 点时受到的磁场力最大
 C. 线圈沿不同方向经过 b 点时所受的磁场力方向相反
 D. 线圈沿同一方向经过 a 、 b 两点时其中的电流方向相同

11. 如图所示,矩形线圈是闭合的,在外力作用下,匀速向右通过宽为 d (大于线圈边长)的匀强磁场时,设穿过线圈的磁通量为 Φ ,线圈中感应电流为 I ,线圈所受磁场力为 F ,通过线圈导线横截面的电荷量为 q 。若描述此过程中以上各物理量随时间变化的图像如下图所示,其中可能正确的是 (AB)



12. (2024·吉林卷)如图,两条“ \wedge ”形的光滑平行金属导轨固定在绝缘水平面上,间距为 L ,左右两导轨面与水平面夹角均为 30° ,均处于竖直向上的匀强磁场中,磁感应强度大小分别为 $2B$ 和 B 。将有一定阻值的导体棒 ab 、 cd 放置在导轨上,同时由静止释放,两棒在下滑过程中始终与导轨垂直并接触良好。 ab 、 cd 的质量分别为 $2m$ 和 m ,长度均为 L 。导轨足够长且电阻不计,重力加速度大小为 g ,两棒在下滑过程中 (AB)

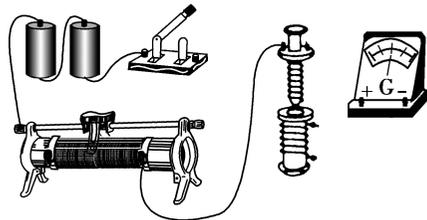


- A. 回路中的电流方向为 $abcd$
 B. ab 中电流趋于 $\frac{\sqrt{3}mg}{3BL}$
 C. ab 与 cd 加速度大小之比始终为 $2:1$
 D. 两棒产生的电动势始终相等

三、非选择题,共4小题,共56分。

13. (12分)“研究电磁感应现象”的实验装置如图所示。

(1)将图中所缺的导线补接完整。



(2)如果在闭合开关时发现灵敏电流表的指针向右偏转了一下,那么合上开关后可能出现的情况有:

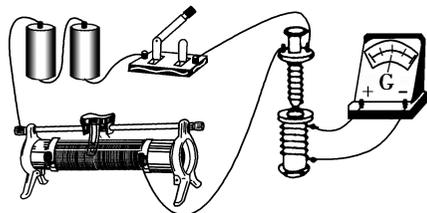
①将小螺线管迅速插入大螺线管时,灵敏电流表指针将_____ (选填“向右”“向左”或“不会”)偏转一下。

②小螺线管插入大螺线管后,将滑动变阻器的滑片迅速向左拉时,灵敏电流表指针将_____ (选填“向右”“向左”或“不会”)偏转一下。

解析:(1)将电源、开关、滑动变阻器、小螺线管串联成一个回路,再将灵敏电流表与大螺线管串联成另一个回路,如答图所示。

(2)依照楞次定律及灵敏电流表的指针偏转方向与流过它的电流方向之间的关系来判定,①中指针向右偏转一下,②中指针向左偏转一下。

答案:(1)如图所示:

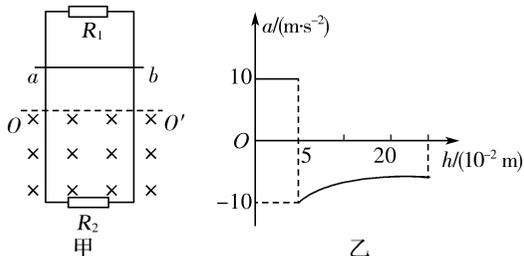


(2)①向右 ②向左

14. (14分)如图甲所示,平行光滑金属导轨竖直放置,导轨间距 $l=1$ m,上端接有电阻 $R_1=3\ \Omega$,下端接有电阻 $R_2=6\ \Omega$,虚线 OO' 下方是垂直于导轨平面向里的匀强磁场。现将质量 $m=0.1$ kg、电阻不计的金属杆 ab 从 OO' 上方某处垂直导轨由静止释放,杆下落 0.2 m过程中始终与导轨保持良好接触且相互垂直,加速度 a 与下落距离 h 的关系图像如图乙所示。取 $g=10$ m/s²。求:

(1)磁感应强度 B ;

(2)杆下落 0.2 m过程中通过金属杆的电荷量。



解析:(1)由题图乙可知, $h_1 = 0.05 \text{ m}$ 时杆刚要进入磁场, 所以杆刚进入磁场时的速度 $v = \sqrt{2gh_1} = 1 \text{ m/s}$

回路中的电动势 $E = Blv$

杆中的电流 $I = \frac{E}{R_{\text{并}}}$

其中 $R_{\text{并}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$

则安培力 $F = IlB = \frac{B^2 l^2 v}{R_{\text{并}}}$

杆刚进入磁场时的加速度 $a = -g = -10 \text{ m/s}^2$

由牛顿第二定律得 $mg - F = ma$

联立解得 $B = \sqrt{\frac{2mgR_{\text{并}}}{l^2 v}} = 2 \text{ T}$.

(2)杆在磁场中运动产生的平均感应电动势

$$\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{B \cdot \Delta S}{\Delta t}$$

其中 $\Delta S = l(x - h_1)$, $x = 0.2 \text{ m}$

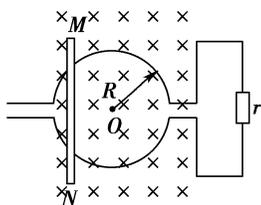
杆中的平均电流 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R_{\text{并}}}$

通过杆的电荷量

$$q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{\bar{E}}{R_{\text{并}}} \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R_{\text{并}}} = \frac{B \cdot \Delta S}{R_{\text{并}}} = 0.15 \text{ C}.$$

答案:(1)2 T (2)0.15 C

15. (14分) 如图所示, 半径为 R 的光滑圆形导轨处在垂直于圆平面的匀强磁场中, 磁感应强度为 B , 方向垂直于纸面向里。一根长度略大于导轨直径的导体棒 MN 以速率 v 在圆形导轨上匀速从左端滑到右端, 电路中的定值电阻为 r , 其余电阻不计。导体棒与圆形导轨始终接触良好。求:



- (1)在滑动过程中通过电阻 r 的电流的平均值;
- (2) MN 从左端到右端的整个过程中, 通过 r 的电荷量;
- (3)当 MN 通过圆形导轨中心时, 通过 r 的电流大小。

解析:(1)整个过程磁通量的变化量

$$\Delta\Phi = BS = \pi BR^2$$

所用的时间 $\Delta t = \frac{2R}{v}$

根据法拉第电磁感应定律得 $\bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\pi BRv}{2}$

则平均电流 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{r} = \frac{\pi BRv}{2r}$.

(2)通过 r 的电荷量 $q = \bar{I} \Delta t = \frac{\pi BR^2}{r}$.

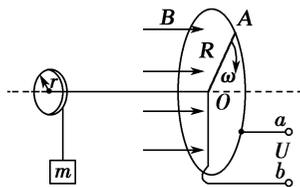
(3)当 MN 通过圆形导轨中心时, 切割磁感线的有效长度最大, $l = 2R$, 根据导体切割磁感线产生的电动势公式得 $E' = Blv = 2BRv$

此时通过 r 的电流 $I' = \frac{E'}{r} = \frac{2BRv}{r}$.

答案:(1) $\frac{\pi BRv}{2r}$ (2) $\frac{\pi BR^2}{r}$ (3) $\frac{2BRv}{r}$

16. (16分) 某同学设计了一个发电测速装置, 工作原理如图所示。一个半径 $R = 0.1 \text{ m}$ 的圆形金属导轨固定在竖直平面上, 一根长为 R 的金属棒 OA 的 A 端与导轨接触良好, O 端固定在金属导轨圆心处的转轴上。转轴的左端有一个半径 $r = \frac{R}{3}$ 的圆盘, 圆盘和金属棒能随轴一起转动。圆盘上绕有不可伸长的细线, 下端挂着一个质量 $m = 0.5 \text{ kg}$ 的铝块。在金属导轨区域内存在垂直于导轨平面向右的匀强磁场, 磁感应强度 $B = 0.5 \text{ T}$ 。导轨上的 a 点与导轨相连, b 点通过电刷与 O 端相连。测量 a 、 b 两点间的电势差 U 可算得铝块的速度大小。铝块由静止释放, 下落 $h = 0.3 \text{ m}$ 时, 测得 $U = 0.15 \text{ V}$ 。(细线与圆盘间没有滑动, 金属导轨、导线与电刷的电阻均不计, 取 $g = 10 \text{ m/s}^2$)

- (1)测 U 时, 与 a 点相接的是电压表的“正极”还是“负极”?
- (2)求此时铝块的速度大小;
- (3)求此下落过程中铝块损失的机械能。



解析:(1)金属棒 OA 切割磁感线产生感应电动势, 相当于电源, 根据右手定则可知, A 端相当于电源正极, 故与 a 点相接的是电压表的“正极”。

(2)由电磁感应定律得 $U = E = \frac{1}{2} BR^2 \omega$

$$v = \omega r = \frac{1}{3} \omega R$$

所以 $v = \frac{2U}{3BR} = 2 \text{ m/s}$ 。

(3)根据能量守恒可得, 下落过程中铝块损失的机械能 $\Delta E = mgh - \frac{1}{2} mv^2$

解得 $\Delta E = 0.5 \text{ J}$ 。

答案:(1)正极

(2)2 m/s

(3)0.5 J

第三章

交流电

1 交变电流

学习任务目标

1. 知道交变电流、恒定电流的概念。(物理观念)
2. 知道交流发电机的原理,会用公式描述正弦交流电。(科学思维)
3. 知道发电机和电动机中的能量转化情况。(科学探究)

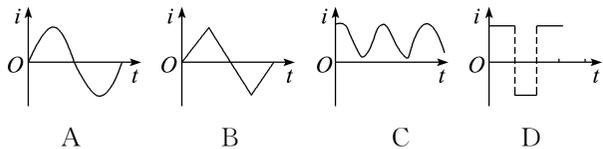
问题式预习

知识点一 认识交变电流

1. 恒定电流:大小和方向都不随时间改变的电流。
2. 交变电流:大小和方向都随时间做周期性变化的电流,简称交流电。
3. 正弦交流电:大小和方向都随时间按正弦函数规律变化的交变电流。

[科学思维]

如图所示为四种电流的波形图,试回答下列问题:



(1) 属于交变电流的是 ABD。

(2) 属于直流电的是 C。

[判一判]

1. 方向不随时间变化的电流是恒定电流。 (×)
2. 大小不变的电流一定是直流。 (×)
3. 方向周期性变化、大小不变的电流是交变电流。 (√)

知识点二 正弦交流电的产生和变化规律

1. 产生条件:闭合矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的轴匀速转动。

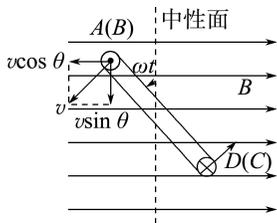
2. 两个特殊位置

(1) $S \perp B$ (中性面):线圈中的磁通量最大, $\Phi_m = BS$,线圈中的感应电动势为零,感应电流为零,方向改变。

(2) $S // B$:线圈中的磁通量 $\Phi = 0$,线圈中的感应电动势最大,感应电流最大,方向不变。

3. 正弦交流电的变化规律

如果从中性面位置开始计时,则经过时间 t 后,线圈的正视图如图所示:



(1) 线圈转过的角度为 $\theta = \omega t$ 。

(2) AB 边转动的线速度大小 $v = \frac{\omega L_{AD}}{2}$ 。

(3) AB 边垂直磁感线的分速度 $v_{\perp} = v \sin \theta$ 。

(4) AB 边产生的感应电动势 $e_{AB} = BL_{AB} v_{\perp} =$

$$BL_{AB} v \sin \theta = \frac{BS\omega}{2} \sin \omega t。$$

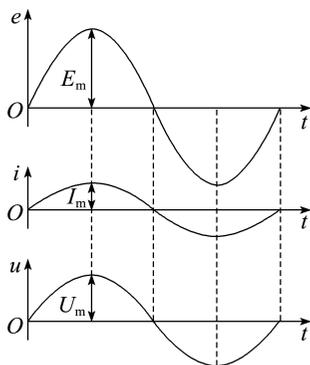
(5) 整个线圈(一匝)产生的感应电动势 $e = 2e_{AB} = BS\omega \sin \omega t$ 。若线圈为 N 匝,则 $e = NBS\omega \sin \omega t$ 。

(6) 线圈给外电阻 R 供电,线圈本身电阻为 r ,由闭合电路欧姆定律得 $i = \frac{e}{R+r} = \frac{E_m}{R+r} \sin \omega t$,即 $i =$

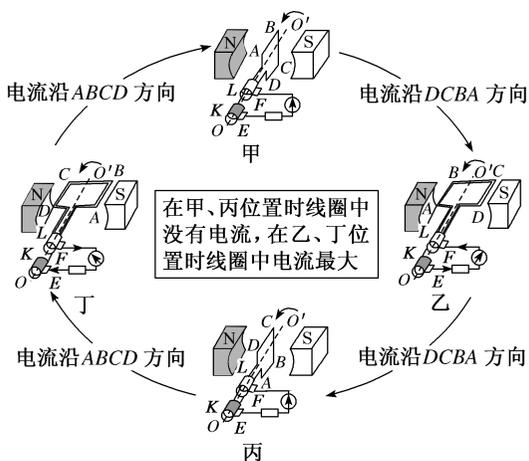
$$I_m \sin \omega t。$$

(7) R 两端的电压可记为 $u = U_m \sin \omega t$ 。

4. 正弦交流电图像如图所示:



[科学思维]



[做一做]

关于线圈在匀强磁场中转动产生的交变电流, 下列说法中正确的是 ()

- A. 线圈每转动一周, 感应电流方向就改变一次
- B. 线圈平面每经过中性面一次, 感应电流方向就改变一次, 感应电动势方向不变
- C. 线圈平面每经过中性面一次, 感应电流和感应电动势方向都要改变一次
- D. 线圈转动一周, 感应电流和感应电动势方向都要改变一次

C 解析: 当线圈在匀强磁场中转动产生交变电流时, 线圈平面每经过中性面一次, 感应电流与感应电动势方向均改变一次, 转动一周, 感应电流与感应电动势方向改变两次。故 C 正确。

知识点三 交流发电机与电动机

1. 发电机

- (1) 定义: 把机械能转化为电能的装置。
- (2) 发电方式: 火力发电、水力发电、风力发电、太阳能发电、核能发电等。
- (3) 发电机的能量转化方式
 - ① 水力发电和风力发电是把机械能转化为电能。
 - ② 太阳能发电是把光能转化为电能。

2. 电动机

- (1) 定义: 把电能转化成机械能的装置。
- (2) 特点: 高效易控、清洁无污染等。

[科学思维]

发电机和电动机有什么相同点和不同点?

提示: (1) 相同点: 两者构造相同, 都由线圈、磁体组成。

(2) 不同点: ① 发电机的工作原理是电磁感应现象, 电动机的工作原理是通电导体在磁场中受力而运动。② 发电机是把机械能转化为电能的装置, 电动机是把电能转化为机械能的装置。

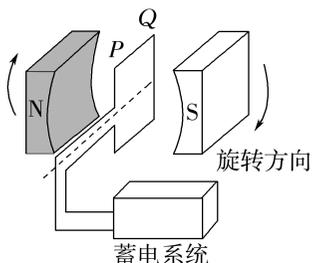
[判一判]

- 1. 发电机是将其他形式的能转化为电能的装置。 (√)
- 2. 电动机把机械能转化成电能的装置。 (×)
- 3. 交流发电机的原理都是利用线圈切割磁感线而产生正弦交变电流。 (√)

任务型课堂

任务一 正弦交流电的产生

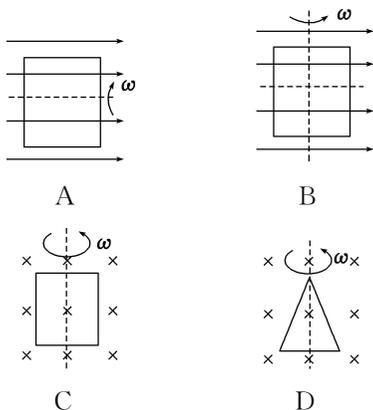
1. (2024·新课标卷) (多选) 电动汽车制动时可利用车轮转动将其动能转换成电能储存起来。车轮转动时带动磁极绕固定的线圈旋转, 在线圈中产生电流。磁极匀速转动的某瞬间, 磁场方向恰与线圈平面垂直, 如图所示。将两磁极间的磁场视为匀强磁场, 则磁极再转过 90° 时, 线圈中 (BD)



- A. 电流最小
- B. 电流最大

- C. 电流方向由 P 指向 Q
- D. 电流方向由 Q 指向 P

2. (多选) 如图所示, 线圈(匀速转动)中产生了正弦式交变电流的是 ()



BCD 解析: 根据正弦式交变电流产生的条件可知, 在匀强磁场中, 线圈转轴垂直于磁场方向, 运动时产生正弦式交变电流, B、C、D 正确。

任务总结

1. 两个特殊位置的特点

	中性面	中性面的垂面
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	零
磁通量变化率	零	最大
感应电动势	零	最大
感应电流	零	最大
电流方向	改变	不变

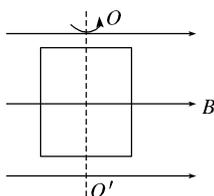
2. 正弦交变电流的产生条件

- (1) 匀强磁场。
- (2) 线圈匀速转动。
- (3) 线圈的转轴垂直于磁场方向。

3. 线圈每次经过中性面时, 感应电流的方向都要改变, 线圈转动一周, 感应电流的方向改变两次。

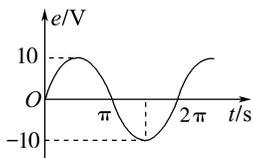
任务二 交变电流规律的理解和应用

1. 一矩形线圈在匀强磁场中匀速转动时, 产生的感应电动势最大值为 50 V。那么该线圈从如图所示的位置转过 30° 时, 线圈中的感应电动势大小为 (B)



- A. 50 V B. $25\sqrt{3}$ V C. 25 V D. 10 V

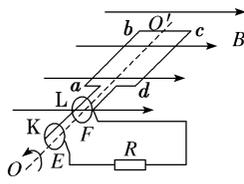
2. 一矩形线圈在匀强磁场中匀速转动时, 产生的交变电动势的图像如图所示, 则 ()



- A. 交流电的频率是 4π Hz
 B. 当 $t=0$ 时, 线圈平面与磁感线垂直, 磁通量最大
 C. 当 $t=\pi$ s 时, e 有最大值
 D. $t=\frac{3}{2}\pi$ s 时, $e=-10$ V 最小, 磁通量变化率最小

B 解析: 从题图像可知交流电的周期为 2π s, 频率为 $\frac{1}{2\pi}$ Hz, $t=\pi$ s 时, $e=0$ 最小, A、C 错误; $t=0$ 时, e 最小, Φ 最大, B 正确; $t=\frac{3}{2}\pi$ s 时, $e=-10$ V, e 最大, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 最大, “-”号表示方向, D 错误。

3. 在如图所示的交流发电机线圈中, 如果 ab 边长为 L_1 , bc 边长为 L_2 , 线圈转动的角速度为 ω , 线圈匝数为 n , 磁感应强度为 B , 从图示位置开始转动, 线圈电阻不计。求:



- (1) 交变电动势的峰值 E_m ;
- (2) 通过电阻 R 的电流的瞬时值表达式。

解析: (1) 线圈转动产生的感应电动势的峰值为 $E_m = nBS\omega = nBL_1L_2\omega$ 。

(2) 线圈从垂直于中性面位置开始转动, 感应电动势表达式可写为 $e = E_m \cos \omega t$

通过电阻 R 的电流的瞬时值表达式为

$$i = \frac{e}{R} = \frac{nBL_1L_2\omega}{R} \cos \omega t。$$

答案: (1) $nBL_1L_2\omega$ (2) $\frac{nBL_1L_2\omega}{R} \cos \omega t$

任务总结

1. 交变电流瞬时值表达式的书写技巧

(1) 确定正弦式交变电流的最大值: 根据已知图像读出或用公式 $E_m = NBS\omega$ 求出相应最大值。

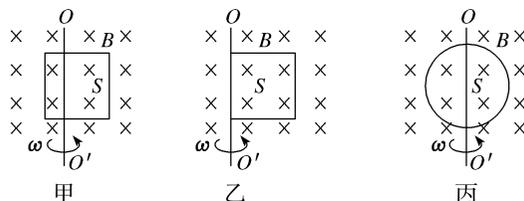
(2) 确定线圈的角速度: 可根据线圈的转速或周期由 $\omega = 2\pi n$ 求出, n 表示线圈的转速。

(3) 明确线圈的初始位置, 找出对应的函数关系式。

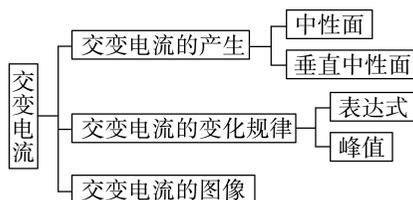
① 线圈从中性面位置开始转动, 则函数式为正弦函数;

② 线圈从垂直中性面位置开始转动, 则函数式为余弦函数。

2. 交变电流的感应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, 与线圈的形状无关, 与转轴的位置无关。如图所示的几种情况, 若几个线圈的 N 、 B 、 S 、 ω 相同, 则感应电动势的最大值相同。



► 提质归纳

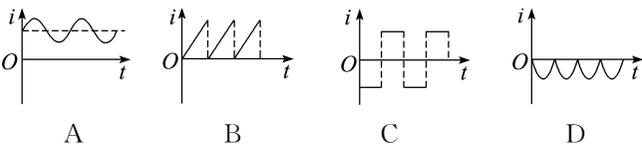


课后素养评价(九) 交变电流

基础性·能力运用

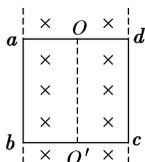
知识点 1 认识交变电流

1. 如图所示, 下列属于交变电流的是 (C)



知识点 2 交变电流的产生

2. (多选) 如图所示, 一面积为 S 的单匝矩形线圈处于有界匀强磁场中, 下列措施能使线圈中产生交变电流的是 (BCD)



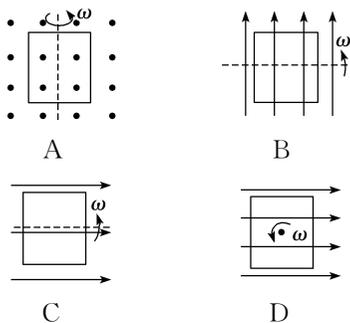
- A. 将线圈水平向右匀速拉出磁场
- B. 使线圈以 OO' 为轴匀速转动

C. 使线圈以 ab 边为轴匀速运动

D. 使磁感应强度以 $B = B_0 \sin \omega t$ 的规律变化

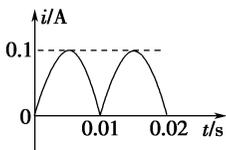
知识点 3 正弦交变电流的变化规律

3. 如图所示, 面积均为 S 的单匝线圈绕所示轴在磁感应强度为 B 的匀强磁场中以角速度 ω 匀速转动。从图中所示位置开始计时, 下图中能产生正弦式交变电动势 $e = BS\omega \sin \omega t$ 的是 (A)



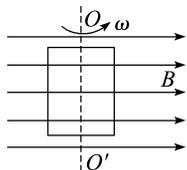
综合性·创新提升

4. 对于如图所示的电流 i 随时间 t 做周期性变化的图像, 下列描述正确的是 (B)



- A. 电流的大小变化, 方向也变化, 是交流电
- B. 电流的大小变化, 方向不变, 不是交流电
- C. 电流的大小不变, 方向不变, 是直流电
- D. 以上说法都不正确

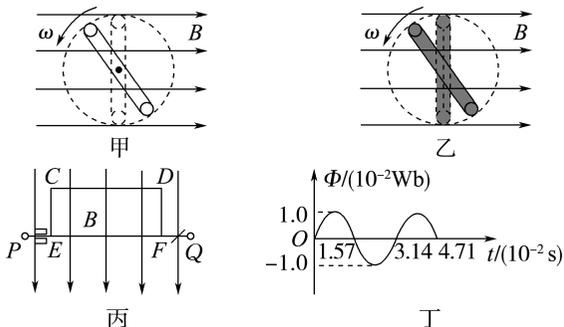
5. (多选) 如图所示, 一矩形闭合线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场方向的转轴 OO' 以恒定的角速度 ω 转动。从线圈平面与磁场方向平行时开始计时, 则在 $0 \sim \frac{\pi}{2\omega}$ 这段时间 ()



- A. 线圈中的感应电流一直在减小
- B. 线圈中的感应电流先增大后减小
- C. 穿过线圈的磁通量一直在减小
- D. 穿过线圈的磁通量的变化率一直在减小

AD 解析: 根据题图位置可知, 线圈平面与磁场方向平行, 感应电流最大。因为 $\frac{\pi}{2\omega} = \frac{T}{4}$, 在 $0 \sim \frac{\pi}{2\omega}$ 时间段线圈转过四分之一周, 感应电流从最大减小为零, 穿过线圈的磁通量逐渐增大, 穿过线圈的磁通量的变化率一直在减小, 故 A、D 正确。

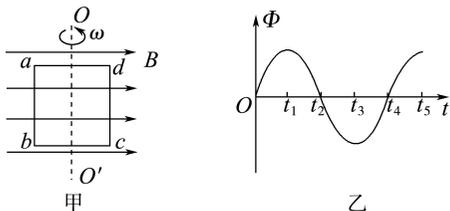
6. (多选) 下列方法中能够产生交变电流的是 ()



- A. 甲图中, 线圈在匀强磁场中按逆时针方向匀速转动
- B. 乙图中, 金属棒绕过中心且与磁场垂直的轴逆时针匀速转动
- C. 丙图中, 由一条导线折成的折线框绕 PQ 在匀强磁场中匀速转动
- D. 丁图中, 闭合线圈垂直磁感线不动, 穿过线圈的磁通量按照正弦规律变化

ACD **解析**:甲图中能产生交变电流,乙图中的金属棒不切割磁感线,不产生感应电动势,丙图中的折线与矩形线圈的效果是相同的,丁图中能产生按余弦规律变化的交变电流。

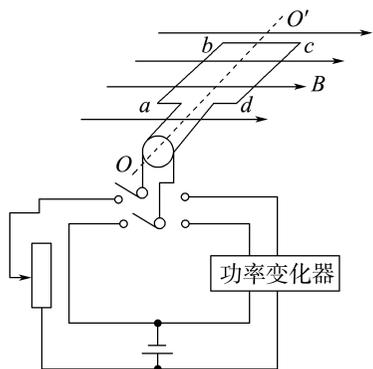
- 7.一闭合矩形线圈 $abcd$ 绕垂直于磁感线的固定轴 OO' 匀速转动,线圈平面位于如图甲所示的匀强磁场中,通过线圈的磁通量 Φ 随时间 t 的变化规律如图乙所示。下列说法正确的是 ()



- A. t_1 、 t_3 时刻通过线圈的磁通量变化率最大
 B. t_1 、 t_3 时刻线圈中感应电流方向改变
 C. t_2 、 t_4 时刻线圈中磁通量最大
 D. t_2 、 t_4 时刻线圈中感应电动势最小

B 解析:从题图乙可以看出, t_1 、 t_3 时刻通过线圈的磁通量最大,线圈经过中性面位置时线圈中感应电流方向改变,A 错误,B 正确; t_2 、 t_4 时刻通过线圈的磁通量为零,线圈处于与中性面垂直的位置,此时感应电动势和感应电流均为最大,故 C、D 错误。

- 8.(多选)制动能量回收是现代电动汽车以及混合动力汽车重要的技术之一。汽车正常行驶时,电池组给直流电动机供电,电动机带动汽车行驶;当电动汽车减速和制动时,电路切换,断开电池组,车轮由于惯性转动,通过调节装置带动电动机的线圈反转,直流电动机就成了直流发电机,所产生的电流通过功率变化器接入蓄电池,即为能量回馈,达到节省能源的目的(如图所示为其原理简化图,汽车正常行驶时双刀双掷开关都拨向左边,汽车减速和制动时双刀双掷开关都拨向右边)。以下说法正确的是 ()



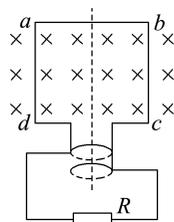
- A. 汽车正常行驶时,若线圈中电流恒定,线圈中 ab 和 cd 部分的导线在线圈转至任意位置时所受的安培力大小不变
 B. 汽车减速和制动时,若线圈转速恒定,线圈中 ab 和 cd 部分的导线在线圈转至任意位置时产生的

感应电动势的大小不变

- C. 汽车减速和制动时,由于线圈输出的是直流电,大小和方向均不变
 D. 汽车减速和制动时,线圈在磁场中运动除了能产生电能,还有助于制动

AD 解析:线圈中 ab 和 cd 部分的导线在线圈转至任意位置时,导线与磁场方向均垂直,若电流恒定,则所受的安培力大小均相等,故 A 正确;线圈中 ab 和 cd 部分的导线在线圈转至不同位置切割磁感线时,切割速度与磁场方向的夹角不相同,则产生的感应电动势大小不同,故 B 错误;汽车减速和制动时,线圈转动产生的虽然是直流电,但是电动势大小是变化的,故 C 错误;汽车减速和制动时,线圈转动产生感应电流,磁场对线圈中感应电流的安培力将阻碍线圈转动,从而对制动有辅助作用,故 D 正确。

- 9.如图所示,线圈 $abcd$ 的面积是 0.05 m^2 ,共 100 匝,线圈的总电阻 $r=1 \Omega$,外接电阻 $R=9 \Omega$,其余电阻不计。匀强磁场的磁感应强度 $B=\frac{1}{\pi} \text{ T}$,垂直纸面向里,线圈恰好处于磁场内,线圈以角速度 $\omega=100\pi \text{ rad/s}$ 匀速转动。



(1)若线圈经过图示位置(线圈平面与磁感线垂直)时开始计时,写出线圈中感应电动势瞬时值的表达式;

(2)写出交变电流瞬时值的表达式。

解析:(1)线圈中感应电动势的最大值

$$E_m = NBS\omega = 100 \times \frac{1}{\pi} \times 0.05 \times 100\pi \text{ V} = 500 \text{ V}$$

线圈中感应电动势瞬时值 $e = E_m \sin \omega t$

所以感应电动势瞬时值表达式为 $e = 500 \sin 100\pi t \text{ (V)}$ 。

(2)交变电流的最大值 $I_m = \frac{E_m}{R+r} = \frac{500}{9+1} \text{ A} = 50 \text{ A}$

所以交变电流瞬时值的表达式为

$$i = 50 \sin 100\pi t \text{ (A)}。$$

答案:(1) $e = 500 \sin 100\pi t \text{ (V)}$

(2) $i = 50 \sin 100\pi t \text{ (A)}$

2 正弦交变电流的描述

学习任务目标

1. 知道描述交变电流的周期、频率等物理量,以及正弦交流电的图像。(物理观念)
2. 理解交变电流有效值的含义,会根据有效值的定义求交变电流的有效值。(科学思维)
3. 会用正弦式交变电流的公式和图像解决交变电流的周期、频率、峰值、瞬时值和有效值的相关问题。(科学思维)

问题式预习

知识点一 周期和频率

1. 周期

(1) 定义: 交变电流完成 一次周期性变化 所需的时间。

(2) 通常用 T 表示, 单位是秒。

2. 频率

(1) 定义: 交变电流完成周期性变化的次数与所用时间之比。

(2) 通常用 f 表示, 单位是赫兹。

3. 周期(T)、频率(f)及角速度(ω)之间的关系

(1) 周期和频率之间的关系为 $T = \frac{1}{f}$ 或 $f = \frac{1}{T}$ 。

(2) 角速度与周期、频率之间的关系为 $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$ 。

4. 我国使用的交流电频率标准为 50 Hz(相应周期为 0.02 s)。

[科学思维]

某小型发电机产生的交变电动势 $e = 50\sin 100\pi t$ (V), 其周期为 0.02 s, 频率为 50 Hz。

[判一判]

1. 各国交变电流的周期都是 0.02 s。 (×)

2. 交变电流的周期越大, 交变电流变化就越快。 (×)

知识点二 峰值 有效值

1. 峰值

(1) 定义: 交变电流在一个周期内电压、电流所能达到的最大值。

(2) 应用: 电容器所能承受的电压要 高于 交流电压的峰值。

2. 有效值

(1) 定义: 让交流电与某一直流电通过同一电阻, 在交流电的一个周期内产生的热量两者相等, 则这个直流电的电流和电压值就分别称为相应交流电电流和电压的有效值。

(2) 应用

① 我们平常所说的交流电的电压和电流值, 指的都是有效值。

② 交流电流表和交流电压表表盘上标示的数值是有效值, 它只适用于测量正弦交流电。

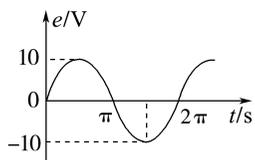
3. 正弦交变电流的有效值与峰值的关系

(1) 电流的有效值: $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 。

(2) 电压的有效值: $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ 。

[科学思维]

一矩形线圈在匀强磁场中匀速转动时, 产生的交变电动势的图像如图所示, 则该交变电流的电动势:



(1) 最大值: 10 V。

(2) 有效值: $5\sqrt{2}$ V。

(3) 瞬时值表达式: $e = 10\sin t$ V。

[做一做]

下列说法正确的是 ()

- A. 使用交流电的用电器铭牌上所标示的额定电压、额定电流的数值均为最大值
- B. 用交流电流表和电压表测得的数值是瞬时值
- C. 照明电路电压 220 V 指的是有效值
- D. 所有交变电流的有效值和最大值之间均存在

$$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \text{ 和 } I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \text{ 的关系}$$

C 解析: 各种使用交流电的用电器铭牌上所标示的数值均为有效值, 故 A 项错误; 交流电表测得的数值为有效值, 故 B 项错误; 照明电路电压 220 V 指的是有效值, 故 C 项正确; $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I =$

$\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 是正弦式交变电流有效值和最大值的关系, 故 D

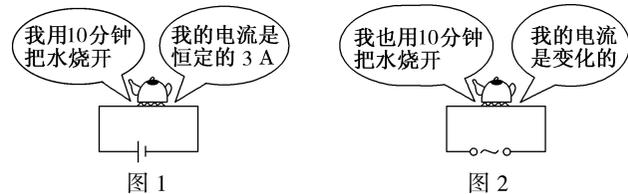
项错误。

任务型课堂

任务一 交变电流有效值的理解和计算

[探究活动]

如图 1、2 所示,两个电炉烧水,设其他条件都相同,水的质量相等,水的初温相同。若用 $I=3\text{ A}$ 的恒定电流 10 分钟把水烧开,而用正弦交变电流也 10 分钟把水烧开。



(1) 两种情况的通电时间内,电阻产生的热量相同吗?

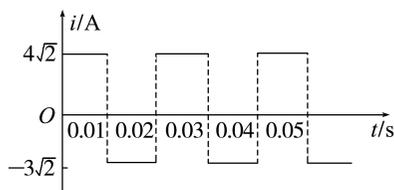
(2) 正弦交变电流的电流有效值是多少? 电流峰值是多少?

提示: (1) 产生的热量相同。

(2) 恒定电流 3 A 能等效替代正弦交变电流计算热量,所以交变电流的有效值为 3 A,峰值是 $3\sqrt{2}\text{ A}$ 。

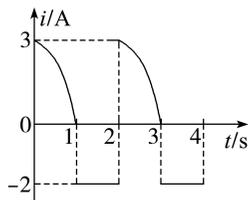
[评价活动]

1. 一交变电流随时间而变化的图像如图所示,此交变电流的有效值是 (B)



- A. $5\sqrt{2}\text{ A}$ B. 5 A
C. $3.5\sqrt{2}\text{ A}$ D. 3.5 A

2. 匝数为 100 的线圈通有如图所示的交变电流(图中曲线为余弦曲线的一部分),单匝线圈电阻 $r=0.02\ \Omega$,则在 $0\sim 10\text{ s}$ 线圈产生的焦耳热为 ()



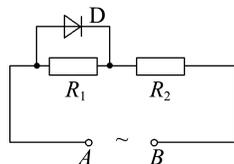
- A. 80 J B. 85 J C. 90 J D. 125 J

B 解析: 由交变电流的有效值定义知 $\left(\frac{3}{\sqrt{2}}\text{ A}\right)^2 R \cdot$

$\frac{T}{2} + (2\text{ A})^2 R \cdot \frac{T}{2} = I^2 RT$, 则该交变电流的有效值

$I = \frac{\sqrt{17}}{2}\text{ A}$, 线圈的总电阻 $R_{\text{总}} = 100 \times 0.02\ \Omega = 2\ \Omega$, 由 $Q = I^2 R_{\text{总}} t$ 得 $Q = 85\text{ J}$, 选项 B 正确。

3. 如图所示电路中,电阻 R_1 与电阻 R_2 串联接在交变电源上,且 $R_1 = R_2 = 10\ \Omega$,正弦式交流电的电压表达式为 $u = 20\sqrt{2} \cdot \sin(100\pi t)\text{ V}$, R_1 和理想二极管 D(正向电阻可看作 0,反向电阻可看作无穷大) 并联,则 R_2 上的电功率为 ()



- A. 10 W B. 15 W
C. 25 W D. 30 W

C 解析: 由题图可知,当电流从 A 端经外电路流向 B 端时, R_1 被短路,则此时 R_2 两端电压的有效值为 $U_2 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 20\text{ V}$,当电流从 B 端经外电路流向

A 端时, R_1 、 R_2 串联,则此时 R_2 两端电压有效值为 $U'_2 = \frac{U_2}{2} = 10\text{ V}$,在一个周期内 R_2 两端的电压有效

值为 U , 则 $\frac{U_2^2}{R_2} \times \frac{T}{2} + \frac{U'^2_2}{R_2} \times \frac{T}{2} = \frac{U^2}{R_2} \times T$, 解得 $U = 5\sqrt{10}\text{ V}$, 则有 $P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{250}{10}\text{ W} = 25\text{ W}$, 故选 C。

4. (2024 · 河北卷) R_1 、 R_2 为两个完全相同的定值电阻, R_1 两端的电压随时间周期性变化的规律如图 1 所示(三角形脉冲交流电压的峰值是有效值的 $\sqrt{3}$ 倍), R_2 两端的电压随时间按正弦规律变化如图 2 所示,则两电阻在一个周期 T 内产生的热量之比 $Q_1 : Q_2$ 为 ()

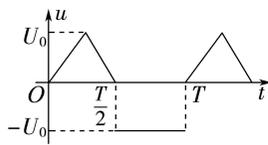


图 1

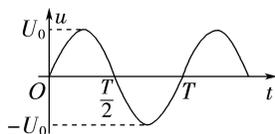


图 2

- A. 2 : 3 B. 4 : 3 C. 2 : $\sqrt{3}$ D. 5 : 4

B 解析: 结合 $Q = \frac{U^2}{R} t$ 可得 $Q_1 = \left(\frac{U_0}{\sqrt{3}}\right)^2 \frac{1}{R_1} \cdot \frac{T}{2} +$

$(U_0)^2 \frac{1}{R_1} \cdot \frac{T}{2} = \frac{2U_0^2 T}{3R_1}$, $Q_2 = \left(\frac{U_0}{\sqrt{2}}\right)^2 \frac{1}{R_2} T = \frac{U_0^2 T}{2R_2}$,

又 $R_1 = R_2$, 所以 $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{4}{3}$, B 正确。

任务总结

1. 交变电流有效值的理解

- (1) 交变电流的有效值是根据电流的热效应定义的。
- (2) 等效是指恒定电流和交变电流在相同的时间内, 在相同的电阻上产生的热量相同。
- (3) 通常所说的交变电流的电压、电流, 用电表测量的交变电流的电压、电流, 以及用电器的额定电压、额定电流, 还有保险丝的熔断电流, 都指其有效值。

2. 交变电流有效值的计算

- (1) 若是正弦式交变电流, 可利用交变电流的有效值与峰值间的关系求解, 即 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}, U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ 。
- (2) 若不是正弦式交变电流, 则必须根据焦耳定律来求解其有效值, 且时间取一个周期。
- (3) 求解思路: 假设让交变电流通过电阻 R , 计算交变电流在一个周期内产生的热量 Q (可分段计算), 其中热量 Q 用相应的物理量 I 或 U 来表示, 如 $Q = I^2 R t$ 或 $Q = \frac{U^2 t}{R}$, 则 I 或 U 为交变电流相应的有效值。

3. 几种常见电流的有效值

电流图像	有效值
	$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$
	$I = \frac{I_m}{2}$
	$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$

任务二 交变电流的四值比较

[探究活动]

已知某交变电流电压的瞬时值表达式为

$$u = 6\sqrt{2} \sin 100\pi t \text{ (V)}.$$

- (1) 把标有“6 V 2 W”的小灯泡接在此电源上, 小灯泡会不会被烧坏?
- (2) 把标有 6 V 的电容器接在此电源上, 电容器会不会被击穿?

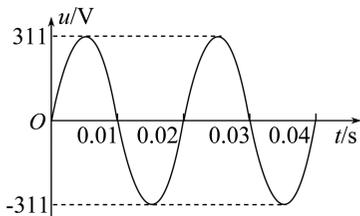
提示: (1) 小灯泡是否被烧坏, 决定于加在灯泡两

端电压的有效值, 该交变电流电压的有效值 $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 6 \text{ V}$, 与小灯泡额定电压相等, 因此不会被烧坏。

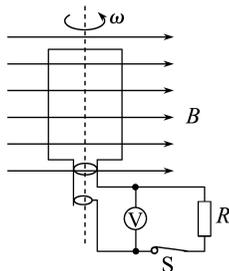
(2) 电容器是否被击穿, 决定于加在电容器两端电压的最大值, 显然该交变电压的峰值大于电容器的额定电压, 因而会被击穿。

[评价活动]

1. 如图是某种正弦交变电压的波形图, 由图可确定该电压的 (C)



- 周期是 0.01 s
 - 最大值是 220 V
 - 有效值是 220 V
 - 瞬时值表达式为 $u = 220 \sin(100\pi t) \text{ V}$
2. 假设一交流发电机线圈电阻 $r = 1 \Omega$, 用电器电阻 $R = 9 \Omega$, 电压表示数为 9 V, 如图所示, 那么该交流发电机 ()



- 电动势的峰值为 10 V
- 电动势的有效值为 9 V
- 交流发电机的线圈通过中性面时电动势的瞬时值为 $10\sqrt{2} \text{ V}$
- 交流发电机的线圈自中性面转过 90° 的过程中的平均感应电动势为 $\frac{20\sqrt{2}}{\pi} \text{ V}$

D 解析: 因电压表示数为 9 V, 所以电路中的电流 $I = \frac{9}{9} \text{ A} = 1 \text{ A}$, 故电动势的有效值 $E = I(r + R) = 10 \text{ V}$, 其最大值 $E_m = \sqrt{2}E = 10\sqrt{2} \text{ V}$, 故 A、B 错误; 线圈通过中性面时电动势的瞬时值为零, C 错误; 从中性面转过 90° 的过程中的平均感应电动势, 应用公式 $\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 求解, $\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n \frac{|\Phi_2 - \Phi_1|}{\Delta t} = n \frac{|0 - BS|}{\frac{\pi}{2\omega}} = \frac{2nBS\omega}{\pi}$, 又 $nBS\omega = 10\sqrt{2} \text{ V}$, 故 $\bar{E} = \frac{20\sqrt{2}}{\pi} \text{ V}$

$$\frac{20\sqrt{2}}{\pi} \text{ V}, D \text{ 正确.}$$

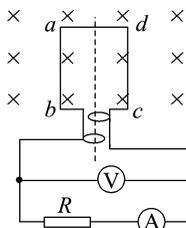
3. 如图所示, 线圈 $abcd$ 的面积是 0.05 m^2 , 共 100 匝, 线圈电阻为 1Ω , 外接电阻 R 为 9Ω , 匀强磁场的磁感应强度 $B = \frac{1}{\pi} \text{ T}$, 电表均为理想电表。当线圈以 300 r/min 的转速匀速旋转时。

(1) 若从线圈处于中性面开始计时, 写出线圈中感应电动势的瞬时值表达式。

(2) 线圈转过 $\frac{1}{30} \text{ s}$ 时, 电动势的瞬时值为多大 (结果保留一位小数)?

(3) 电路中, 电压表和电流表的示数各是多少?

(4) 从中性面开始计时, 经 $\frac{1}{30} \text{ s}$ 通过电阻 R 的电荷量为多少?



解析: (1) $e = E_m \sin \omega t = NBS2\pi n \sin(2\pi nt) = 100 \times \frac{1}{\pi} \times 0.05 \times 2\pi \times \frac{300}{60} \sin\left(2\pi \times \frac{300}{60}t\right) \text{ V} = 50 \sin(10\pi t) \text{ V}$ 。

(2) 当 $t = \frac{1}{30} \text{ s}$ 时, $e = 50 \sin\left(10\pi \times \frac{1}{30}\right) \text{ V} \approx 43.3 \text{ V}$ 。

(3) 电动势的有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{50}{\sqrt{2}} \text{ V} \approx 35.4 \text{ V}$

电流表示数 $I = \frac{E}{R+r} = \frac{35.4}{9+1} \text{ A} = 3.54 \text{ A}$

电压表示数 $U = IR = 3.54 \times 9 \text{ V} = 31.86 \text{ V}$ 。

(4) $\frac{1}{30} \text{ s}$ 内线圈转过的角度

$$\theta = \omega t = \frac{300}{60} \times 2\pi \times \frac{1}{30} = \frac{\pi}{3}$$

该过程中, $\Delta\Phi = BS - BS \cos \theta = \frac{1}{2} BS$

所以由 $\bar{I} = \frac{q}{\Delta t}$, 且 $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R+r}$, $\bar{E} = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t}$

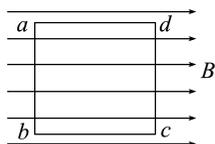
联立得 $q = \frac{N\Delta\Phi}{R+r} = \frac{NBS}{2(R+r)} = \frac{100 \times \frac{1}{\pi} \times 0.05}{2 \times (9+1)} \text{ C} =$

$$\frac{1}{4\pi} \text{ C}。$$

答案: (1) $e = 50 \sin(10\pi t) \text{ V}$ (2) 43.3 V

(3) 31.86 V 3.54 A (4) $\frac{1}{4\pi} \text{ C}$

4. 如图所示, 在水平方向的匀强磁场中, 有一个正方形闭合线圈绕垂直于磁感线的轴匀速转动。已知正方形线圈的匝数 $N = 100$ 、边长 $l = 20 \text{ cm}$ 、电阻 $R = 10 \Omega$ 、转动频率 $f = 50 \text{ Hz}$ 、磁场的磁感应强度 $B = 0.5 \text{ T}$ 。求:



(1) 外力驱动线圈转动的功率 (结果保留三位有效数字);

(2) 当线圈转至线圈平面与中性面的夹角为 30° 时, 线圈产生的感应电动势及感应电流的大小;

(3) 线圈由中性面转至与中性面成 60° 角的过程中, 通过导线横截面的电荷量。

解析: (1) 线圈中产生的感应电动势的最大值

$$E_m = NBS\omega = 100 \times 0.5 \times (0.2)^2 \times 2\pi \times 50 \text{ V} \approx 628 \text{ V}$$

$$\text{感应电动势的有效值 } E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 314\sqrt{2} \text{ V}$$

外力驱动线圈转动的功率与线圈中交变电流的功率

$$\text{相等, 即 } P_{\text{外}} = \frac{E^2}{R} = \frac{(314\sqrt{2})^2}{10} \text{ W} \approx 1.97 \times 10^4 \text{ W}。$$

(2) 当线圈转至线圈平面与中性面的夹角为 30° 时, 线圈产生的感应电动势的瞬时值

$$e = E_m \sin 30^\circ \approx 314 \text{ V}$$

$$\text{感应电流的瞬时值 } i = \frac{e}{R} = \frac{314}{10} \text{ A} = 31.4 \text{ A}。$$

(3) 在线圈由中性面转过 60° 的过程中, 线圈中的平均感应电动势 $\bar{E} = N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

$$\text{平均感应电流 } \bar{I} = N \frac{\Delta\Phi}{R\Delta t}$$

故通过导线横截面的电荷量

$$q = \bar{I}\Delta t = N \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{NBl^2(1 - \cos 60^\circ)}{R} = 0.1 \text{ C}。$$

答案: (1) $1.97 \times 10^4 \text{ W}$ (2) 314 V 31.4 A

(3) 0.1 C

任务总结

正弦式交变电流的四值对比

	物理含义	重要关系	适用情况
瞬时值	交变电流某一时刻的值	$e = E_m \sin \omega t$ $i = I_m \sin \omega t$	计算线圈某一时刻的受力情况
最大值	最大的瞬时值	$E_m = NBS\omega$ $I_m = \frac{E_m}{R+r}$	确定电容器的耐压值

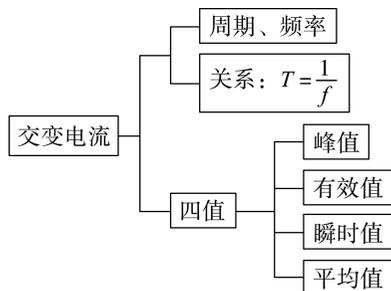
续表

物理含义	重要关系	适用情况
跟交变电流的热效应等效的恒定电流值、电压值	$E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}$ $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$	(1) 计算与电流热效应相关的量(如功率、热量); (2) 交流电表的测量值; (3) 电气设备标注的额定电压、额定电流; (4) 保险丝的熔断电流

续表

物理含义	重要关系	适用情况
交变电流图像中图线与时间轴所围面积与时间之比	$\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R+r}$	计算通过电路横截面的电荷量

► 提质归纳



课后素养评价(十) 正弦交变电流的描述

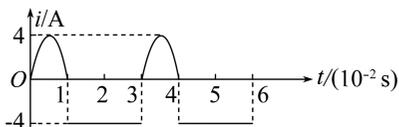
基础性 · 能力运用

知识点 1 对周期、频率的理解

1. 已知交变电流瞬时值的表达式为 $i = 311\sin 314t$ (A), 从 $t = 0$ 到第一次电流出现峰值的时间为 (A)
- A. 0.005 s B. 0.001 s
 C. 0.02 s D. 0.01 s

知识点 2 交变电流有效值的理解和计算

2. 如图所示是一交变电流的 $i-t$ 图像, 则该交变电流的有效值为 (D)



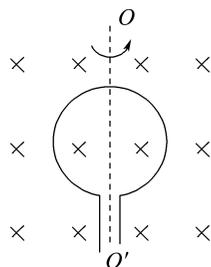
- A. 4 A B. $2\sqrt{2}$ A
 C. $\frac{8}{3}$ A D. $\frac{2\sqrt{30}}{3}$ A

知识点 3 交变电流的四值比较

3. 如图所示, 一半径为 $r = 10$ cm 的圆形线圈共 100 匝, 在磁感应强度 $B = \frac{5}{\pi^2}$ T 的匀强磁场中, 绕垂直于磁场方向的中心轴线 OO' 以 $n = 600$ r/min 的转

速匀速转动, 当线圈转至中性面位置(图中位置)时开始计时。

- (1) 写出线圈内所产生的交变电动势瞬时值的表达式;
 (2) 求线圈从图示位置开始, 在 $\frac{1}{60}$ s 时的电动势的瞬时值;
 (3) 求线圈从图示位置开始, 在 $\frac{1}{60}$ s 时间内的电动势的平均值。



- 答案: (1) $e = 100\sin 20\pi t$ (V)
 (2) $50\sqrt{3}$ V
 (3) 47.8 V

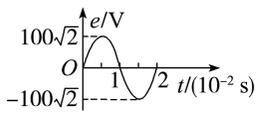
综合性 · 创新提升

4. 某家用柴油发电机正常工作时能够产生与我国

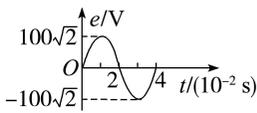
电网相同的交变电流。现在该发电机出现了故

障,转子匀速转动时的转速只能达到正常工作时的一半,则它产生的交变电动势随时间变化的图像是

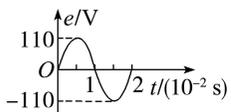
(B)



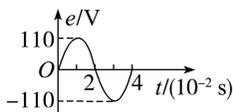
A



B



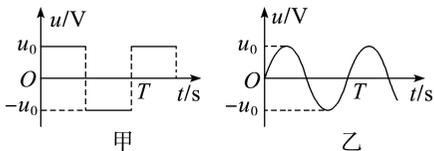
C



D

5. 一电阻接到方波(图甲)交变电源上,在一个周期内产生的热量为 $Q_{\text{方}}$;若该电阻接到正弦式(图乙)交变电源上,在一个周期内产生的热量为 $Q_{\text{正}}$ 。已知该电阻上电压的峰值均为 u_0 ,周期均为 T ,则 $Q_{\text{方}} : Q_{\text{正}}$ 等于

()



甲

乙

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

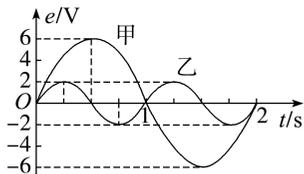
D 解析:由焦耳定律和有效值概念知,一个周期内产生的热量 $Q_{\text{方}} = \frac{u_0^2}{R} \cdot \frac{T}{2} + \frac{u_0^2}{R} \cdot \frac{T}{2} = \frac{u_0^2}{R} T$, $Q_{\text{正}} =$

$$\frac{U_{\text{有效}}^2}{R} T = \frac{\left(\frac{u_0}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} T = \frac{1}{2} \cdot \frac{u_0^2}{R} T, \text{故 } Q_{\text{方}} : Q_{\text{正}} = 2 : 1,$$

故 D 正确。

6. 甲、乙两矩形单匝金属线圈分别绕与磁感线垂直的轴在同一匀强磁场中匀速转动,输出交流电的感应电动势随时间变化的图像如图中甲、乙所示,则

()

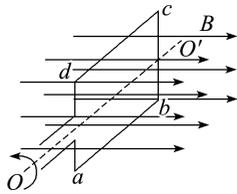


- A. 甲线圈的频率是乙线圈频率的 2 倍
B. 甲线圈的面积是乙线圈面积的 6 倍
C. $t = 1 \text{ s}$ 时,两线圈中的磁通量均为零
D. $t = 2 \text{ s}$ 时,两线圈均与磁感线平行

B 解析:由题图知,甲的周期为 2 s,乙的周期为 1 s,所以 $f_{\text{甲}} : f_{\text{乙}} = 1 : 2$,选项 A 错误。甲的电动势峰值为 6 V,乙的电动势峰值为 2 V,由 $E_m = BS\omega$ 可知 $S_{\text{甲}} : S_{\text{乙}} = 6 : 1$,选项 B 正确。当线圈处于中性面时,通过线圈的磁通量最大,而感应电动势为

零;当线圈处于中性面的垂面位置时,通过线圈的磁通量为零,而感应电动势最大。 $t = 1 \text{ s}$ 和 $t = 2 \text{ s}$ 时,两线圈均处于中性面位置,选项 C、D 错误。

7. (多选) 如图所示,一矩形金属线圈面积为 S 、匝数为 N ,在磁感应强度为 B 的匀强磁场中,以角速度 ω 绕垂直于磁场的固定轴匀速转动,则



- A. 感应电动势的峰值是 $NBS\omega$
B. 感应电动势的有效值是 $\frac{1}{2}NBS\omega$
C. 从中性面开始转过 30° 时,感应电动势的瞬时值是 $\frac{1}{2}NBS\omega$
D. 从中性面开始转过 90° 的过程中,感应电动势的平均值是 $\frac{NBS\omega}{\pi}$

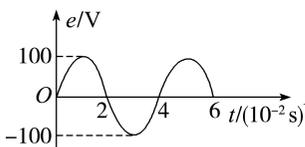
AC 解析:感应电动势的峰值 $E_m = NBS\omega$,故 A 正确;正弦式交变电流的有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} =$

$\frac{\sqrt{2}}{2}NBS\omega$,故 B 错误;当线圈转到中性面位置时开始计时,线圈中感应电动势随时间变化的表达式为 $e = E_m \sin \omega t = NBS\omega \sin \omega t$,当 $\omega t = \frac{\pi}{6}$ 时, $e =$

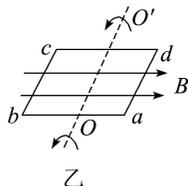
$\frac{NBS\omega}{2}$,故 C 正确;根据法拉第电磁感应定律可知,

在线圈转过 90° 的过程中,线圈中感应电动势的平均值 $\bar{E} = \frac{N\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{NBS}{\frac{\pi}{2\omega}} = \frac{2NBS\omega}{\pi}$,故 D 错误。

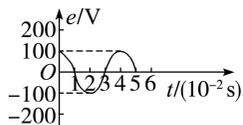
8. 一矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴匀速转动时产生正弦式交变电流,其电动势随时间的变化规律如图甲所示。现若将线圈转速增加为原来的 2 倍,并以线圈平面与磁场平行时(如图乙)为计时起点,则下列关于电动势随时间变化规律的四幅图像正确的是



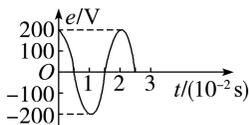
甲



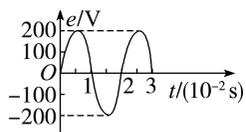
乙



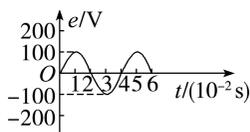
A



B



C

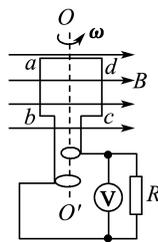


D

B 解析:由题图甲可知,周期 $T=4 \times 10^{-2}$ s,则角速度 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{4 \times 10^{-2}}$ rad/s $= 50\pi$ rad/s,电动势最大值 $E_m = NBS\omega = 100$ V。当线圈转速增加为原来的 2 倍之后,角速度 $\omega' = 2\omega = 100\pi$ rad/s,周期变为 $T' = \frac{1}{2}T = 2 \times 10^{-2}$ s,电动势最大值变为 $E'_m = 2E_m = 200$ V。以线圈平面与磁场平行时(如题图乙)为计时起点,电动势瞬时值表达式为 $e' = E'_m \cos \omega't = 200 \cos 100\pi t$ (V),故 B 正确,A、C、D 错误。

9. 如图所示,匀强磁场的磁感应强度 $B=0.5$ T,处于磁场内的边长 $L=10$ cm 的正方形线圈 $abcd$ 共 100 匝,线圈电阻 $r=1 \Omega$,线圈绕垂直于磁感线的对称轴 OO' 匀速转动,角速度 $\omega=2\pi$ rad/s,外电路电阻 $R=4 \Omega$,其余电阻不计。求:

- (1) 转动过程中感应电动势的最大值;
- (2) 由图示位置(线圈平面与磁感线平行)转过 60° 时的瞬时感应电动势;
- (3) 由图示位置转过 60° 的过程中产生的平均感应电动势;
- (4) 交流电压表的示数。



解析:(1) 感应电动势的最大值为

$$E_m = nB\omega S = 100 \times 0.5 \times 2\pi \times (0.1)^2 \text{ V} \approx 3.14 \text{ V}.$$

(2) 转过 60° 时的瞬时感应电动势为

$$e = E_m \cos 60^\circ = 3.14 \times 0.5 \text{ V} \approx 1.57 \text{ V}.$$

(3) 由题图所示位置转过 60° 的过程中产生的平均感应电动势为 $\bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = n \frac{BS \sin 60^\circ}{\frac{1}{6}T} = 100 \times$

$$\frac{0.5 \times 0.1 \times 0.1 \times \frac{\sqrt{3}}{2}}{\frac{1}{6} \times \frac{2\pi}{2\pi}} \text{ V} \approx 2.6 \text{ V}.$$

(4) 电压表示数为外电路电压的有效值

$$U = \frac{E}{R+r} \cdot R = \frac{\frac{E_m}{\sqrt{2}}}{R+r} \cdot R = \frac{3.14}{4+1} \times 4 \text{ V} \approx 1.78 \text{ V}.$$

答案:(1) 3.14 V (2) 1.57 V (3) 2.6 V

(4) 1.78 V

3 变压器

学习任务目标

1. 了解变压器的构造,理解变压器的工作原理。(物理观念)
2. 通过实验探究电压、电流与变压器原、副线圈匝数的关系。(科学探究)
3. 掌握变压器原、副线圈中电压、电流及功率的关系及其制约关系。(科学思维)

问题式预习

知识点一 变压器的结构与原理

1. 结构:由闭合铁芯及绕在铁芯上的两个线圈组成。与电源连接的线圈称为原线圈,也叫初级线圈;与负载连接的线圈称为副线圈,也叫次级线圈。

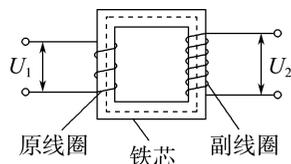
2. 原理

- (1) 互感现象是变压器的工作基础。
- (2) 当变压器的原线圈加上交变电压时,原线圈中的交变电流在铁芯中激发交变的磁场,交变的磁场线穿过原线圈,也穿过副线圈,在原、副线圈中都产生感应电动势,当副线圈与负载连接组成闭合回路时,在副线圈中就会有交流电通过,电能从原线圈

通过磁场传输给副线圈。

[科学思维]

如图所示为变压器的结构原理:



(1) 变压器中闭合铁芯的作用是形成一个闭合磁路。

(2) 如果将变压器的原线圈接到恒定电源上,变压器在副线圈上不能(选填“能”或“不能”)输出电压。

(3)穿过原、副线圈的磁通量相同。

[判一判]

1. 变压器中与交变电源连接的线圈叫原线圈,也叫初级线圈。 (√)
2. 变压器中闭合铁芯是由很薄的硅钢片叠合而成的。 (√)
3. 变压器的两个线圈间是绝缘的,但通过磁场联系在一起,利用互感现象实现了电能向磁场能再到电能的转化。 (√)
4. 变压器既能改变交变电流的电压,也能改变恒定电流的电压。 (×)

知识点二 变压器的电压与匝数的关系

1. 理想变压器

(1)严格满足关系式 $\frac{U}{n}=C$ 的变压器。

(2)解释

- ①忽略一切能量损耗;
- ②忽略漏磁。

2. 电压与匝数的关系:理想变压器原、副线圈两端的

电压跟它们的匝数成正比,即 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$ 。

3. 两类变压器

- (1)当 $n_2 < n_1$ 时, $U_2 < U_1$,这种变压器称为降压变压器。
- (2)当 $n_2 > n_1$ 时, $U_2 > U_1$,这种变压器称为升压变压器。

[科学思维]

$$\frac{\text{原线圈电压}}{\text{副线圈电压}} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\text{原线圈匝数}}{\text{副线圈匝数}}$$

[做一做]

某理想变压器原、副线圈的匝数之比为1:10,当输入电压增加20 V时,输出电压 ()

- A. 降低2 V
- B. 增加2 V
- C. 降低200 V
- D. 增加200 V

D **解析**:假设理想变压器原线圈的输入电压为

U_1 ,由变压器的工作原理可知 $\frac{U_1}{U_2}=\frac{n_1}{n_2}$,则变压器副

线圈的输出电压 $U_2=10U_1$;当输入电压增加20 V时,即输入电压为 U_1+20 V时,变压器的输出电压 $U_2'=10(U_1+20$ V),则输出电压的增加量

$\Delta U=U_2'-U_2=10U_1+200$ V $-10U_1=200$ V。故A、B、C错误,D正确。

知识点三 认识电压互感器和电流互感器

1. 电压互感器

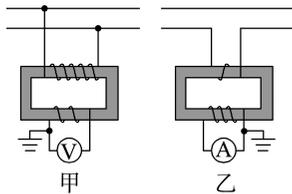
- (1)性质:降压变压器。
- (2)作用:利用输入电压与输出电压之比等于变压比,测量高压线两端的电压值。
- (3)安全:副线圈必须接地。

2. 电流互感器

- (1)性质:是升压变压器。
- (2)作用:把大电流变成小电流。
- (3)安全:副线圈必须接地,且不允许副线圈开路。

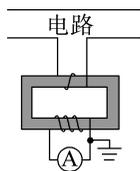
[科学思维]

甲、乙两图中,甲为电压互感器,乙为电流互感器。



[做一做]

电流互感器是一种测量电路中电流的变压器,工作原理如图所示。其原线圈匝数较少,串联在电路中,副线圈匝数较多,两端接在电流表上。则电流互感器 ()



- A. 是一种降压变压器
- B. 能测量直流电路的电流
- C. 原、副线圈电流的频率不同
- D. 副线圈的电流小于原线圈的电流

D **解析**:原线圈匝数较少,电流互感器是一种升压变压器,A选项错误;电流互感器的工作原理是电磁感应中的互感现象,只可以测量交变电流,B选项错误;电流互感器不会改变电流的频率,只改变电流的大小,故原、副线圈电流的频率相同,C选项错误;原线圈匝数较少,根据 $I_1 n_1 = I_2 n_2$,电流互感器是一种降电流的变压器,副线圈的电流小于原线圈的电流,D正确。

任务型课堂

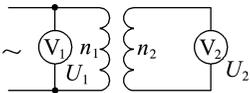
任务一 探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

1. 实验目的

探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系。

2. 实验原理

(1) 实验电路图如图所示。



(2) 实验方法采用控制变量法

① n_1 一定, 研究 n_2 和 U_2 的关系;

② n_2 一定, 研究 n_1 和 U_2 的关系。

3. 数据分析

(1) 用表格的形式把原、副线圈的匝数与电压进行比较, 寻找它们之间的关系。

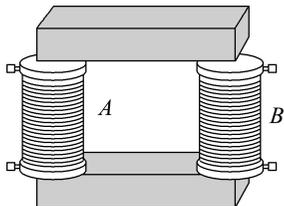
(2) 得出探究的结果后, 力求用准确而精练的语言把它们表述出来。如果可能, 最好用数学关系式来表达。

4. 实验结论

理想变压器原、副线圈的电压之比等于原、副线圈的匝数之比。

[评价活动]

1. 有一个教学用的可拆变压器, 如图所示, 它有两个外观基本相同的线圈 A 和 B, 线圈外部还可以绕线。



(1) 某同学用多用电表的电阻挡测量了 A、B 线圈的电阻值, 发现 B 线圈电阻约为 A 线圈电阻的 3 倍, 则可推断(选填“A”或“B”)线圈的匝数多。

(2) 如果把它看作理想变压器, 现要测量 A、B 线圈的匝数, 提供的器材有: 一根足够长的绝缘导线、一只多用电表和一只低压交流电源(输出电压的有效值不变)。

现采用如下方法进行测量。请补充实验步骤, 完成 A、B 线圈匝数的测量(需要测量的物理量请用字母表示, 并说明其含义)。

① 将绝缘导线一端与 A 线圈上方接线柱相连, 顺着原来的绕制方向在变压器的铁芯上再绕制 n 匝线圈;

② 将绝缘导线的另一端和 A 线圈下方接线柱分别与低压交流电源两端相连接;

③ 用多用电表的交流电压挡先后测量低压交流电

源两端的电压 U_0 和 B 线圈的输出电压 U ;

④ _____;

⑤ 拆除电路并整理器材。

A、B 线圈的匝数 n_A 和 n_B 的表达式为 $n_A = \underline{\hspace{2cm}}$, $n_B = \underline{\hspace{2cm}}$ 。

解析: (1) 根据电阻定律, 导线越长, 电阻越大, 因为 B 线圈电阻约为 A 线圈电阻的 3 倍, 即 B 的电阻比 A 的大, 所以 B 线圈匝数多。

(2) 由实验步骤知④应为: 用多用电表的交流电压挡测量 A 线圈两端的电压 U_1 。根据变压器原、副线圈电压比等于匝数比, 有 $\frac{U_1}{U_0 - U_1} = \frac{n_A}{n}$, $\frac{U}{U_0 - U} = \frac{n_B}{n_A + n}$, 联立解得 A 线圈的匝数 $n_A = \frac{nU_1}{U_0 - U_1}$, B 线圈的匝数 $n_B = \frac{nU}{U_0 - U_1}$ 。

答案: (1) B (2) ④用多用电表的交流电压挡测量 A 线圈两端的电压 U_1 $\frac{nU_1}{U_0 - U_1}$ $\frac{nU}{U_0 - U_1}$

2. 在“探究变压器线圈两端的电压与匝数的关系”的实验中:

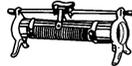
(1) 下列器材在实验中不需要用到的有 _____ (多选)。



A



B



C



D

(2) 若在实验中用匝数 $N_1 = 400$ 和 $N_2 = 800$ 的变压器, 对应的电压测量数据如下表所示。根据测量数据, 下列说法正确的是 _____。

实验次数	1	2	3	4
U_1/V	0.90	1.40	1.90	2.40
U_2/V	2.00	3.01	4.02	5.02

A. N_1 一定是原线圈 B. N_2 一定是原线圈

C. N_1 可能是副线圈 D. N_2 可能是副线圈

解析: (1) 实验中需用交流电源, 不需干电池; 通过改变原、副线的匝数探究变压器两端的电压与匝数关系, 不需要滑动变阻器。

(2) 根据变压器两端的电压与匝数关系 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 和表格数据, 同时考虑到变压器有一定的能量损失, 所以 N_2 一定为原线圈。

答案: (1) AC

(2) B

任务总结

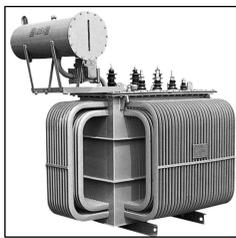
探究变压器原、副线圈电压与匝数的关系

- (1) 实验电源: 交流电源, 电压不超过 12 V。
 (2) 实验思路: 控制变量法。
 (3) 实验结论: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。

任务二 理想变压器的特点及规律

[探究活动]

变压器线圈中的电流越大, 所用的导线应当越粗。街头见到的变压器是降压变压器, 如图所示。



(1) 该变压器原线圈与副线圈的电压关系是怎样的?

(2) 假设它只有一个原线圈和一个副线圈, 哪个线圈应该使用较粗的导线? 为什么?

提示: (1) 原、副线圈两端的电压跟它们的匝数成正比, 即 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。

(2) 副线圈, 因为副线圈的电流大于原线圈的电流。

[评价活动]

1. 关于理想变压器, 下列说法正确的是 (D)
- A. 理想变压器可以改变交流电的频率
 B. 理想变压器可以改变输送电功率的大小
 C. 理想变压器副线圈空载相当于电阻为 0
 D. 输送的电能经理想变压器先转化为磁场能, 再转化为电能

2. 如图所示, 理想变压器的原线圈接在 $u = 220\sqrt{2} \sin 100\pi t$ (V) 的交变电源上, 副线圈接有 $R = 55 \Omega$ 的负载, 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 ()

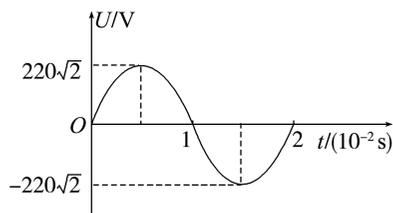
- A. 原线圈的输入功率为 $220\sqrt{2}$ W
 B. 电流表的读数为 1 A
 C. 电压表的读数为 $110\sqrt{2}$ V
 D. 副线圈输出交流电的周期为 50 s

B 解析: 由交变电压的表达式可知, 原线圈两端所加的电压最大值为 $220\sqrt{2}$ V, 故有效值 $U_1 = 220$ V;

由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2}{1}$ 知, 副线圈电压的有效值 $U_2 =$

110 V, 故输出功率 $P_2 = \frac{U_2^2}{R} = 220$ W; 再由输入功率等于输出功率知 $P_1 = P_2 = 220$ W, A 项错误。根据欧姆定律知 $I_2 = \frac{U_2}{R} = 2$ A, 由 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 得 $I_1 = 1$ A, 故电流表读数为 1 A, B 项正确。电压表的读数为有效值, 即 $U_2 = 110$ V, C 项错误。由交变电压的表达式可知, $\omega = 100\pi$ rad/s, 又 $T = \frac{2\pi}{\omega}$, 解得 $T = 0.02$ s, D 项错误。

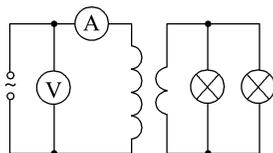
3. 某理想变压器原、副线圈匝数之比为 55 : 9, 原线圈所接电源电压的变化规律如图所示, 副线圈接有负载。下列判断正确的是 ()



- A. 输出电压的最大值为 36 V
 B. 原、副线圈中电流之比为 55 : 9
 C. 该理想变压器的输入、输出功率之比为 55 : 9
 D. 原线圈两端电压有效值为 220 V, 频率为 50 Hz
- D 解析: 由题图可知原线圈两端电压的有效值 $U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 220$ V, 频率 $f = \frac{1}{T} = 50$ Hz, D 正确; 输

出电压的有效值 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 = 36$ V, 故输出电压的最大值 $U_{2\max} = 36\sqrt{2}$ V, A 错误; 由于 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{9}{55}$, B 错误; 理想变压器的输入功率与输出功率相等, C 错误。

4. 如图所示, 理想变压器原、副线圈匝数之比为 20 : 1, 两个标有“12 V 6 W”的小灯泡并联在副线圈的两端。当两灯泡都正常工作时, 原线圈电路中电压表和电流表(可视为理想的电表)的示数分别是 ()



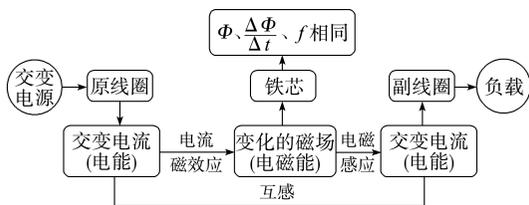
- A. 120 V, 0.10 A B. 240 V, 0.025 A
 C. 120 V, 0.05 A D. 240 V, 0.05 A

D 解析: 灯泡正常发光, 所以 $U_2 = 12$ V, 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, 代入数据解得 $U_1 = 240$ V。两个灯泡均正

常发光, $I_2 = 2 \frac{P}{U_2} = 1 \text{ A}$, 根据 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, 代入数据解得 $I_1 = 0.05 \text{ A}$ 。故 D 正确。

任务总结

1. 工作原理



2. 理想变压器的基本规律

(1) 电压关系: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 。

(2) 功率关系: 对于理想变压器, 不考虑能量损失, $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ 。

(3) 电流关系: 根据功率关系计算。当只有一个副线圈时, $I_1 U_1 = I_2 U_2$, 得 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}$ 。

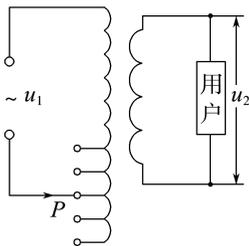
3. 关于理想变压器的四点说明

- (1) 变压器不能改变直流电压。
- (2) 变压器只能改变交变电流的电压和电流, 不能改变交变电流的频率和周期。
- (3) 理想变压器本身不消耗能量, 所以输入功率等于输出功率。
- (4) 理想变压器基本关系中的 U_1 、 U_2 、 I_1 、 I_2 均为有效值。

任务三 理想变压器的动态变化

[探究活动]

为保证用户电压稳定在 220 V, 变压器需要适时进行调压, 如图所示为调压变压器示意图, 保持输入电压 u_1 不变。当滑动接头 P 上下移动时可改变输出电压。



(1) 若用户两端电压减小, 为使用户电压稳定在 220 V, 滑动接头 P 应向哪个方向移动?

(2) 用户两端电压不变时, 变压器的输入功率不变吗?

提示: (1) 由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$, 现在 U_2 减小,

所以要使 U_2 保持 220 V 不变, 需要减小原线圈匝数, 故 P 向上移动。

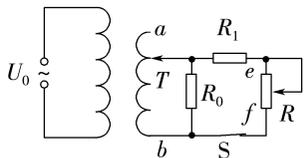
(2) 用户两端电压不变时, 若输出电流变化, 则输出功率变化, 输入功率等于输出功率, 则输入功率变化。

[评价活动]

1. 如图所示, 理想变压器的输入端接正弦交流电, 副线圈上通过输电线接有两个相同的灯泡 L_1 和 L_2 。输电线的等效电阻为 R , 开始时, 开关 S 断开。当 S 闭合时, 以下说法正确的是 (D)

- A. 副线圈的两端 M 、 N 的输出电压减小
- B. 副线圈输电线等效电阻 R 上的功率减小
- C. 通过灯泡 L_1 的电流不变
- D. 理想变压器的输入功率增大

2. (2024 · 全国甲卷) (多选) 如图所示, 理想变压器的副线圈接入电路的匝数可通过滑动触头 T



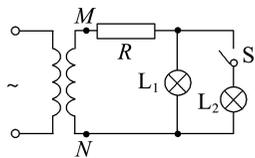
调节, 副线圈回路接有滑动变阻器 R 、定值电阻 R_0 和 R_1 、开关 S 。 S 处于闭合状态, 在原线圈电压 U_0 不变的情况下, 为提高 R_1 的热功率, 可以 ()

- A. 保持 T 不动, 滑动变阻器 R 的滑片向 f 端滑动
- B. 将 T 向 b 端移动, 滑动变阻器 R 的滑片位置不变
- C. 将 T 向 a 端移动, 滑动变阻器 R 的滑片向 f 端滑动
- D. 将 T 向 b 端移动, 滑动变阻器 R 的滑片向 e 端滑动

AC 解析: 保持 T 不动, 则原、副线圈匝数比不变, 又变压器的输入电压不变, 根据变压器的变压规律可知, 变压器的输出电压不变, 滑动变阻器的滑片向 f 端滑动时, 其接入电路的电阻减小, 根据欧姆定律可知通过 R_1 的电流增大, 根据 $P = I^2 R$ 可知, R_1 的热功率增大, A 正确; 仅将 T 向 b 端移动, 则原、副线圈的匝数比增大, 又变压器的输入电压不变, 根据变压器的变压规律可知, 变压器的输出电压减小, 则 R_1 两端的电压减小, 根据 $P = \frac{U^2}{R}$ 可知, R_1 的热功率减小, B 错误; 同理, 将 T 向 a 端移动, R_1 的热功率增大, 结合 A 项分析可知, 再将滑动变阻器的滑片向 f 端滑动, R_1 的热功率进一步增大, C 正确; 经以上分析可知, 将 T 向 b 端移动, 滑动变阻器的滑片向 e 端滑动, R_1 的热功率减小, D 错误。

3. (多选) 如图所示, 理想变压器的副线圈上通过输电线接有两个相同的灯泡 L_1 和 L_2 , 输电线的等效电

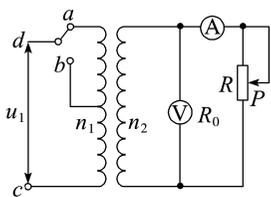
阻为 R 。开始时,开关 S 断开。当开关 S 闭合时,以下说法正确的是 ()



- A. 副线圈两端 MN 的输出电压减小
 B. 副线圈输电线等效电阻 R 上的电压增大
 C. 通过灯泡 L_1 的电流减小
 D. 原线圈中的电流增大

BCD 解析: 由于输入电压不变,当 S 闭合时,理想变压器副线圈 MN 两端输出电压不变,并联灯泡 L_2 ,总电阻变小,由欧姆定律知,流过 R 的电流增大,等效电阻上的电压 $U_R = IR$ 增大。副线圈输出电流增大,根据输入功率等于输出功率 $I_1 U_1 = I_2 U_2$,得原线圈输入电流 I_1 也增大。 U_{MN} 不变, U_R 变大,所以 U_{L1} 变小,流过灯泡 L_1 的电流减小。故 A 错误,B、C、D 正确。

4. 如图所示,理想变压器原、副线圈的匝数之比为 $10:1$, b 是原线圈的中心抽头,电压表和电流表均为理想电表。从某时刻开始在原线圈 c 、 d 两端加上交变电压,其瞬时值表达式为 $u_1 = 220\sqrt{2} \cdot \sin 100\pi t$ (V),则 ()



- A. 当单刀双掷开关与 a 连接时,电压表的示数为 22 V
 B. 当 $t = \frac{1}{600}$ s 时, c 、 d 间电压的瞬时值为 110 V
 C. 单刀双掷开关与 a 连接,在滑动变阻器滑片 P 向上移动的过程中,电压表和电流表的示数均变小
 D. 当单刀双掷开关由 a 扳向 b 后,电压表和电流表的示数均变小

A 解析: 原、副线圈的匝数之比为 $10:1$,原线圈两端的电压有效值 $U_1 = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{2}}\text{ V} = 220\text{ V}$,根据

$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$,代入数据得 $U_2 = 22\text{ V}$,故电压表的示数为

22 V ,A 正确;当 $t = \frac{1}{600}$ s 时, c 、 d 间电压的瞬时值

$u = 220\sqrt{2} \sin \left(100\pi \times \frac{1}{600} \right)\text{ V} = 110\sqrt{2}\text{ V}$,故 B 错

误;当单刀双掷开关与 a 连接,滑动变阻器滑片 P 向上移动的过程中,滑动变阻器接入电路中的阻值变大,副线圈输出电压不变,电流减小,即电压表示数不变,电流表示数减小,故 C 错误;当单刀双掷开

关由 a 扳向 b 后,原线圈匝数减小,根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 知

U_2 变大,电压表和电流表的示数均变大,故 D 错误。

任务总结

1. 电压制约

当变压器原、副线圈的匝数之比 $\frac{n_1}{n_2}$ 一定时,输

出电压 U_2 由输入电压 U_1 决定,即 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$ 。

2. 电流制约

当变压器原、副线圈的匝数之比 $\frac{n_1}{n_2}$ 一定,且输入

电压 U_1 确定时,原线圈中的电流 I_1 由副线圈中的输出电流 I_2 决定,即 $I_1 = \frac{n_2}{n_1} I_2$ 。

3. 功率制约

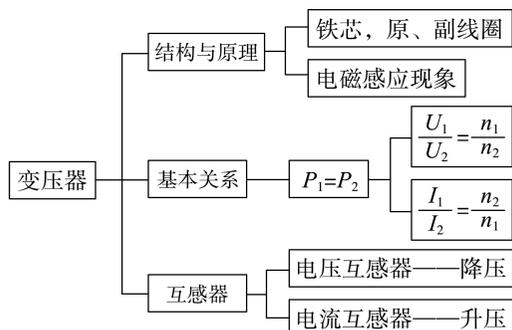
理想变压器的功率 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$,即变压器的输入功率是由输出功率决定的。

4. 对理想变压器进行动态分析的两种常见情况

(1) 原、副线圈匝数之比不变,分析各物理量随负载电阻 R 变化而变化的情况,进行动态分析的顺序是 $R \rightarrow I_2 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow I_1$ 。

(2) 负载电阻不变,分析各物理量随原、副线圈匝数之比的变化而变化的情况,进行动态分析的顺序是 $n_1, n_2 \rightarrow U_2 \rightarrow I_2 \rightarrow P_2 \rightarrow P_1 \rightarrow I_1$ 。

► 提质归纳



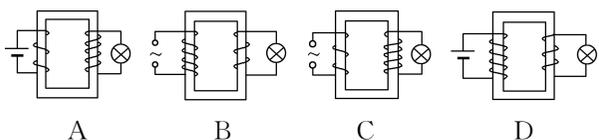
课后素养评价(十一) 变压器

基础性·能力运用

知识点1 变压器的结构和工作原理

1. 下图中可以将电压升高供给电灯的变压器是

(C)



知识点2 理想变压器的特点与规律

2. 一理想变压器原线圈接交变电源,副线圈接电阻,下列方法可使输入功率增加为原来的2倍的是 (D)

- A. 副线圈的匝数增加为原来的2倍
- B. 原线圈的匝数增加为原来的2倍
- C. 负载电阻变为原来的2倍
- D. 副线圈匝数和负载电阻均变为原来的2倍

3. 某理想变压器的原线圈接在220 V的正弦交变电源上,副线圈输出电压为22 000 V,输出电流为

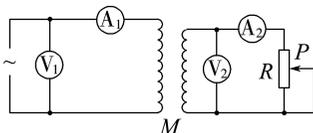
300 mA. 该变压器

(B)

- A. 原、副线圈的匝数之比为100 : 1
- B. 输入电流为30 A
- C. 输入电流的最大值为 $15\sqrt{2}$ A
- D. 原、副线圈交流电的频率之比为1 : 100

知识点3 变压器的动态分析

4. (多选) 如图所示, M 为理想变压器, 电表均可视为理想电表, 电源电压 U 不变, 输电线电阻忽略不计. 当变阻器滑片 P 向上移动时, 读数发生变化的电表是 (AB)



- A. A_1
- B. A_2
- C. V_1
- D. V_2

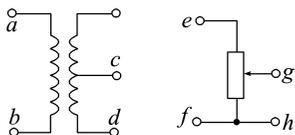
综合性·创新提升

5. 下列关于理想变压器特点的说法正确的是 ()

- A. 理想变压器能够使电压升高, 同时电流变大
- B. 原、副线圈具有相同的磁通量及变化率, 产生的感应电动势也相同
- C. 原、副线圈没有电阻, 铁芯中不会产生涡流
- D. 原线圈往往匝数少, 绕线粗, 电流大

C 解析: 理想变压器原、副线圈功率相等, 即 $U_1 I_1 = U_2 I_2$, 不可能同时使电压升高, 电流增大, A 错误; 原、副线圈匝数不同, 感应电动势不同, B 错误; 理想变压器不考虑绕线的“铜损”和铁芯的“热损”, 所以要求线圈无电阻和铁芯不产生涡流, C 正确; 原、副线圈中匝数少的一边, 电流大, 绕线粗, 但不一定作为原线圈使用, D 错误。

6. 在如图所示的两电路中, 变压器均为理想变压器. 当 a, b 两端与 e, f 两端分别加上 220 V 的交变电压时, 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 ()



- A. 220 V, 220 V
- B. 220 V, 110 V

C. 110 V, 110 V

D. 220 V, 0

B 解析: 对理想变压器, 当 c, d 间接上 110 V 电压时, 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 可得 $U_{ab} = 220$ V; 对滑动变阻器来说, 当 g, h 间接上 110 V 电压时, e, f 间电压 $U_{ef} = 110$ V. 故选项 B 正确。

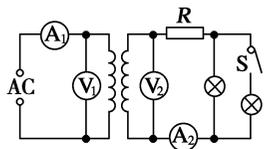
7. (多选) 如图所示, 在某交流电路中, 有一正在工作的变压器, 原、副线圈匝数分别为 $n_1 = 600, n_2 = 120$, 交变电源电压 $U_1 = 220$ V, 原线圈中串联一个熔断电流为 0.2 A 的保险丝, 为保证保险丝不被烧断, 则 ()

- A. 负载功率不能超过 44 W
- B. 副线圈电流最大值不能超过 1 A
- C. 副线圈电流有效值不能超过 1 A
- D. 副线圈电流有效值不能超过 0.2 A

AC 解析: $P_{\lambda} = U_1 I_1 = 220 \times 0.2$ W = 44 W, 由 $P_{\lambda} = P_{\text{出}}$ 可知负载功率不能超过 44 W, A 正确; 由 $n_1 I_1 = n_2 I_2$, 得 $I_2 = 1$ A, 故 I_2 不能大于 1 A, I_2 为有效值, 故 C 正确, B、D 错误。

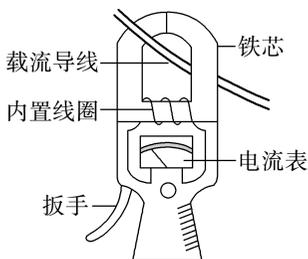
8. (多选) 如图所示是街头变压器给用户供电的示意图, 将此变压器视为理想变压器, 输入端接入的电压 $u = 2200\sqrt{2} \sin(100\pi t)$ V, 输出电压通过输电

线输送给用户,输电线的电阻用 R 表示,理想变压器原、副线圈的匝数比为 $10:1$,电表均为理想交流电表,则下列说法正确的是 (BCD)



- A. V_2 表的示数为 $220\sqrt{2}$ V
 B. A_1 表的示数随 A_2 表示数的增大而增大
 C. 副线圈中交变电流的频率为 50 Hz
 D. 用户端闭合开关 S, 则 V_2 表示数不变, A_1 表示数变大, 变压器的输入功率增大

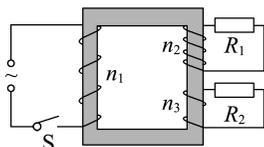
9. 钳形电流测量仪的结构图如图所示, 其铁芯在捏紧扳手时会张开, 可以在不切断被测载流导线的情况下, 通过内置线圈中的电流值 I 和匝数 n 获知载流导线中的电流大小 I_0 。下列关于该钳形电流测量仪的说法正确的是 ()



- A. 该测量仪可测量直流电的电流
 B. 载流导线中电流大小 $I_0 = \frac{I}{n}$
 C. 若钳形部分铁芯没有完全闭合, 测量出的电流将小于实际电流
 D. 若将载流导线在铁芯上多绕几匝, 钳形电流测量仪的示数将变小

C 解析: 直流电产生的磁场, 通过内置线圈的磁通量不变, 线圈中不产生感应电动势, 即无感应电流, 选项 A 错误; 由 $\frac{I_0}{I} = \frac{n}{1}$ 可知, 载流导线中电流大小 $I_0 = nI$, 选项 B 错误; 若钳形部分铁芯没有完全闭合, 则通过内置线圈中的磁通量变小, 磁通量的变化率也变小, 故产生的感应电流变小, 测量出的电流将小于实际电流, 选项 C 正确; 由 $\frac{I}{I_0} = \frac{n_0}{n}$ 可知, 钳形电流测量仪的示数将变大, 选项 D 错误。

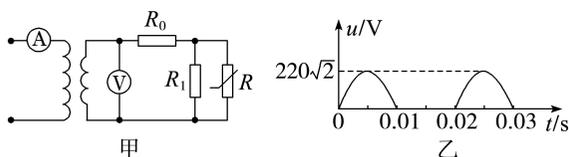
10. 如图所示, 阻值相同的定值电阻 R_1 与 R_2 连接在理想变压器副线圈两端, 原线圈接输出电压有效值恒定的交变电源, 原、副线圈匝数比 $n_1:n_2:n_3=2:2:1$ 。闭合开关 S 后, 若电阻 R_2 功率为 P , 则该交变电源输出功率为 ()



- A. 5P B. 4P C. 3P D. 2P

A 解析: 设 R_2 两端电压为 U , 通过 R_2 的电流为 I , 则 $P=UI$, 根据变压器原副线圈的电压比等于匝数比可知, R_1 两端电压为 $2U$, 根据 $P = \frac{U^2}{R}$ 可知, R_1 的电功率为 $4P$, 该交流电源的输出功率为 $5P$ 。故选 A。

11. 如图甲所示的电路中, 理想变压器原、副线圈匝数之比为 $10:1$, 原线圈左侧接入图乙所示的不完整的正弦式电流, 副线圈接火灾报警系统(报警器未画出), 电压表和电流表均为理想电表, R_0 和 R_1 为定值电阻, R 为半导体热敏电阻, 其阻值随温度的升高而减小。下列说法正确的是 ()

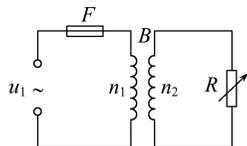


- A. R 处出现火情时电压表示数增大
 B. R 处出现火情时电流表示数减小
 C. 图乙中电压的有效值为 220 V
 D. 电压表的示数为 $11\sqrt{2}$ V

D 解析: 根据焦耳定律可知 $\frac{220^2}{R} \cdot \frac{T}{2} + 0 = \frac{U_1^2}{R} T$,

可求得电压的有效值 $U_1 = 110\sqrt{2}$ V, 由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 可得电压表示数 $U_2 = 11\sqrt{2}$ V, C 错误, D 正确; R 处出现火情时, R 阻值变小, 副线圈电流增大, 原线圈电流也随之增大, 电流表示数增大, 但电压表示数不变, 故 A、B 均错误。

12. 如图所示, 理想变压器 B 的原线圈跟副线圈的匝数比 $n_1:n_2=2:1$, 交变电源电压 $u_1=311\sin 100\pi t$ (V), F 为熔断电流为 $I_0=1.0$ A 的保险丝, 副线圈负载一可变电阻 R 。



- (1) 当电阻 $R=100 \Omega$ 时, 保险丝能否被熔断?
 (2) 要使保险丝不被熔断, 电阻 R 的阻值应不小于多少? 变压器输出的电功率不能超过多少?

解析: (1) 原线圈电压的有效值为 $U_1 = \frac{311}{\sqrt{2}} \text{ V} \approx 220 \text{ V}$

由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 得副线圈两端的电压

$$U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 = \frac{1}{2} \times 220 \text{ V} = 110 \text{ V}.$$

当 $R=100 \Omega$ 时, 副线圈中电流

$$I_2 = \frac{U_2}{R} = \frac{110}{100} \text{ A} = 1.10 \text{ A}$$

由 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ 得原线圈中的电流为

$$I_1 = \frac{U_2}{U_1} I_2 = \frac{110}{220} \times 1.10 \text{ A} = 0.55 \text{ A}$$

由于 $I_1 < I_0$ (熔断电流), 故保险丝不会熔断。

(2) 设电阻 R 取某一值 R_0 时, 原线圈中的电流 I_1' 刚好达到熔断电流 I_0 , 即 $I_1' = 1.0 \text{ A}$, 则副线圈中的

电流为 $I_2' = \frac{U_1}{U_2} I_1' = 2 \times 1.0 \text{ A} = 2.0 \text{ A}$

电阻 R 的阻值为: $R_0 = \frac{U_2}{I_2'} = \frac{110}{2.0} \Omega = 55 \Omega$

此时变压器的输出功率为

$$P_2 = I_2' U_2 = 2.0 \times 110 \text{ W} = 220 \text{ W}$$

可见, 要使保险丝 F 不被熔断, 电阻 R 的阻值不能小于 55Ω , 变压器输出的电功率不能超过 220 W 。

答案: (1) 不会熔断

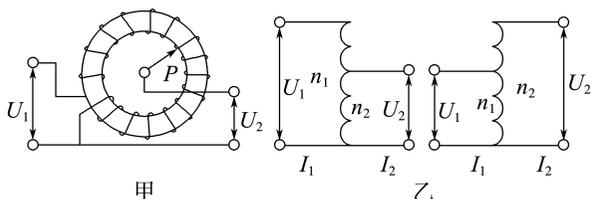
(2) 55Ω 220 W

习题课(五)

任务一 自耦变压器和互感器

「任务驱动」

读图, 认真分析下列问题。



问题 1: 题图中甲为环形自耦变压器示意图, 分析图甲所示变压器的构造, 只有一个线圈是如何构成变压器的?

提示: 题图中甲为环形自耦变压器示意图, 副线圈是原线圈的一部分, 如左边接电源, 右边接负载; 或者原线圈是副线圈的一部分, 如右边接电源, 左边接负载。

问题 2: 分析图乙中 U_1 、 U_2 的大小关系。

提示: 题图乙左侧, 因为 $n_1 > n_2$, 所以 $U_1 > U_2$; 题图乙右侧, 因为 $n_1 < n_2$, 所以 $U_1 < U_2$ 。

问题 3: 输电线路两条线之间的电压很高, 如何借助变压器利用量程有限的交流电压表测量线路电压?

提示: 将变压器原线圈的两端分别接两根输电线, 通过变压器降压, 副线圈接交流电压表测小电压, 可根据变压器的匝数比算出线路电压。

问题 4: 输电线路中的电流很强, 如何借助变压器利用量程有限的交流电流表测量线路电流?

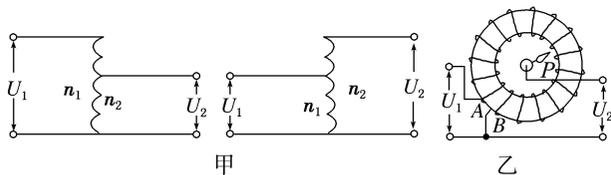
提示: 将变压器的原线圈的两端接在同一根输电线上, 通过变压器减小电流, 副线圈接交流电流表测小电流, 可根据变压器的匝数比算出线路电流。

「知识链接」

1. 自耦变压器

这种变压器的特点是铁芯上只绕有一个线圈。如果把整个线圈作原线圈, 副线圈只取原线圈的一部分, 就可以降低电压; 如果把线圈的一部分作原线

圈, 整个线圈作副线圈, 就可以升高电压。

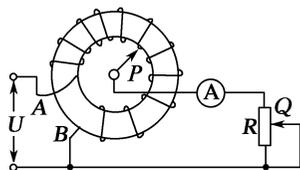


2. 互感器

电压互感器		$n_1 > n_2$, 把高电压变为低电压, 并联在被测电路中, 用电压表测得低电压 U_2 , 再根据铭牌上变压之比 $\frac{U_1}{U_2}$, 算出被测高电压	应用于实际测量高电压的器材
电流互感器		$n_1 < n_2$, 把大电流变成小电流, 串联在被测电路中, 用电流表测得小电流 I_2 , 再根据铭牌上变流之比 $\frac{I_1}{I_2}$, 算出被测大电流	测量大电流的一种方法

「任务达标」

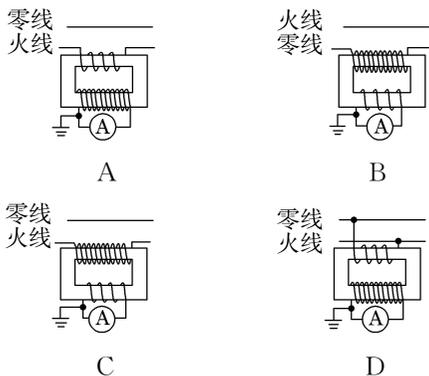
1. (多选) 调压变压器是一种自耦变压器, 它的构造如图所示。线圈 AB 绕在一个圆环形的铁芯上, A 、 B 间加一电压为 U 的正弦式交变电流, 移动滑动触头 P 的位置, 就可以调节输出电压。在输出端连接滑动变阻器 R 和理想交流电流表, 滑动变阻器的滑片为 Q , 则 (BC)



- A. 保持 P 的位置不动, 将 Q 向下移动时, 电流表的示数变大

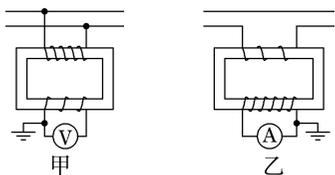
- B. 保持 P 的位置不动, 将 Q 向下移动时, 电流表的示数变小
- C. 保持 Q 的位置不动, 将 P 沿逆时针方向移动时, 电流表的示数变大
- D. 保持 Q 的位置不动, 将 P 沿逆时针方向移动时, 电流表的示数变小

2. 在变电站里, 经常要用交流电表监测电网上的强电流, 所用的器材叫电流互感器。如图所示, 能正确反映其工作原理的是 ()



- A 解析: 电流互感器把大电流变成小电流, 测量时更安全, 根据变压器原理, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, $I_2 = \frac{n_1}{n_2} I_1$, 所以要求线圈匝数 $n_2 > n_1$, 原线圈要接在火线上, 故选项 A 正确。

3. 如图所示, 甲、乙两图中的理想变压器以不同的方式接在高压电路中, 甲图中变压器原、副线圈的匝数比为 k_1 , 电压表读数为 U , 乙图中变压器原、副线圈的匝数比为 k_2 , 电流表读数为 I , 则甲图中高压线电压和乙图中高压线电流分别为 ()



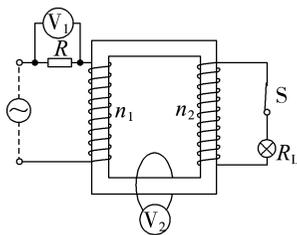
- A. $k_1 U, k_2 I$ B. $k_1 U, \frac{I}{k_2}$
- C. $\frac{U}{k_1}, k_2 I$ D. $\frac{U}{k_1}, \frac{I}{k_2}$
- B 解析: 根据原、副线圈的电压、电流与线圈匝数关系可知 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = k_1$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{k_2}$, 由此可知 $U_1 = k_1 U, I_1 = \frac{I}{k_2}$, 选项 B 正确。

任务二 原线圈含负载的变压器的分析与计算

「任务驱动」

如图所示, 理想变压器原线圈接有一阻值为 R

的电阻, 电压表 V_1 接在电阻 R 两端, 副线圈接有一个阻值恒为 R_L 的灯泡, 绕过铁芯的单匝线圈接有一理想电压表 V_2 。



问题 1: 电压表 V_1 测的是原线圈两端的电压吗?

提示: 电压表 V_1 测的是电阻 R 的电压, 而不是原线圈两端的电压。

问题 2: 电源电压等于原线圈两端的电压吗?

提示: 电源电压减去电阻 R 上的电压等于原线圈两端的电压。

问题 3: 理想电压表 V_2 测的是副线圈两端的电压吗?

提示: 不是, 理想电压表 V_2 测的是单匝线圈的电压。

「知识链接」

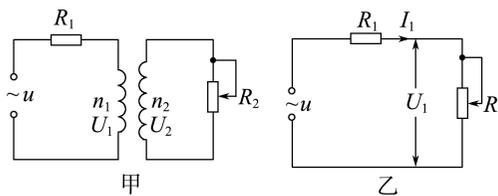
分析原线圈接负载问题的方法

(1) 从电流入手分析

原线圈和负载串联, 依然满足串联电路规律: 电流相等, 电压相加。

(2) 等效电阻法

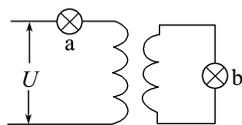
我们可以把图甲等效画成图乙。



设 $\frac{U_1}{I_1} = R$, 由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, $\frac{U_2}{I_2} = R_2$, 联立得 $R = \frac{U_1}{I_1} = \frac{n_1 U_2}{n_2 I_1} = \frac{n_1 I_2 R_2}{n_2 I_1} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 R_2$ 。

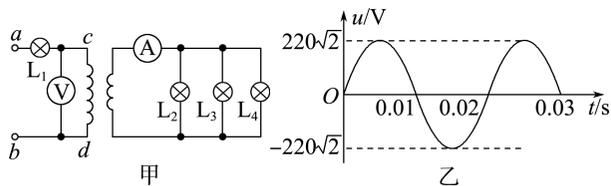
「任务达标」

1. 如图所示, 理想变压器原、副线圈分别接有额定电压相同的灯泡 a 和 b, 当输入电压 U 为灯泡额定电压的 7 倍时, 两灯泡均能正常发光, 则灯泡 a 与 b 的功率之比为 (D)



- A. 3 : 1 B. 1 : 3
- C. 6 : 1 D. 1 : 6

2. (多选) 如图甲所示, 理想变压器原、副线圈的匝数比为 $4:1$, 电压表、电流表均为理想电表。 L_1 、 L_2 、 L_3 、 L_4 为四个规格均为“ $220\text{ V } 60\text{ W}$ ”的相同灯泡。如果副线圈电压按图乙所示规律变化, 则下列说法正确的是 ()



- A. 电压表的示数为 660 V
 B. 电流表的示数约为 0.82 A
 C. a 、 b 两点间的电压是 $1\ 045\text{ V}$
 D. a 、 b 两点间的电压是 $1\ 100\text{ V}$

BC 解析: 根据题图乙所示的副线圈电压图像, 可知副线圈电压有效值为 $U_2 = 220\text{ V}$ 。由变压器变压公式可知, 原线圈输入电压 $U_1 = 4U_2 = 4 \times 220\text{ V} = 880\text{ V}$, A 错误。副线圈所接的每个灯泡中电流均为 $I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220}\text{ A} = \frac{3}{11}\text{ A}$, 电流表的示数为 $I_2 = 3I = 3 \times \frac{3}{11}\text{ A} \approx 0.82\text{ A}$, B 正确。由 $U_1 I_1 = U_2 I_2$,

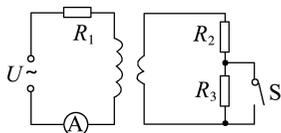
解得原线圈中电流 $I_1 = \frac{I_2}{4} = \frac{9}{44}\text{ A}$, 灯泡电阻 $R =$

$\frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{60}\ \Omega = \frac{2\ 420}{3}\ \Omega$, 与原线圈串联的灯泡两端

电压为 $U_{L_1} = I_1 R = \frac{9}{44} \times \frac{2\ 420}{3}\text{ V} = 165\text{ V}$, 故 a 、 b

两点间的电压 $U_{ab} = U_{L_1} + U_1 = 165\text{ V} + 880\text{ V} = 1\ 045\text{ V}$, C 正确, D 错误。

3. 一含有理想变压器的电路如图所示, 图中电阻 R_1 、 R_2 和 R_3 的阻值分别为 $3\ \Omega$ 、 $1\ \Omega$ 和 $4\ \Omega$, (A) 为理想交流电流表, U 为正弦交变电源, 输出电压的有效值恒定。当开关 S 断开时, 电流表的示数为 I ; 当 S 闭合时, 电流表的示数为 $4I$ 。该变压器原、副线圈匝数的比值为 ()



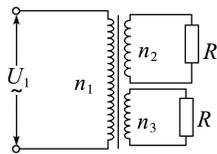
- A. 2 B. 3 C. 4 D. 5

B 解析: 设原、副线圈的匝数比值为 k , 根据变压器匝数比与电流大小成反比的关系, 则原线圈电流为 I 时, 副线圈电流为 kI ; 原线圈电流为 $4I$ 时, 副线圈电流为 $4kI$ 。根据变压器的输入功率等于输出功率得 $UI - I^2 R_1 = (kI)^2 \cdot (R_2 + R_3)$, $4UI - (4I)^2 R_1 = (4kI)^2 R_2$, 联立两式代入数据解得 $k = 3$, 选项 B 正确。

任务三 含有多个副线圈的变压器的电路分析

「任务驱动」

如图所示, 电路中变压器原线圈匝数为 n_1 , 两个副线圈匝数分别为 n_2 、 n_3 , 分别接一个阻值为 R 的电阻, 在原线圈上接入交变电压 U_1 , 两个副线圈两端的电压分别为 U_2 、 U_3 。



问题 1: 试写出原、副线圈的电压关系。

提示: $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} = \frac{U_3}{n_3}$ 。

问题 2: 试写出原、副线圈的电流关系。

提示: $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3$ 。

问题 3: 试写出原、副线圈的功率关系。

提示: $P_1 = P_2 + P_3$ 或 $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3$ 。

「知识链接」

含有多个副线圈的变压器的电路分析

(1) 副线圈有两个或两个以上时, 一般从原、副线圈的功率相等入手。

利用 $P_1 = P_2 + P_3 + \dots$, 结合电压匝数比关系、欧姆定律等分析。

(2) 有多个副线圈时的电压关系: $\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_2}{n_2} =$

$\frac{U_3}{n_3} = \dots$ 。

由能量守恒推出有多个副线圈时: $U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 + \dots + U_n I_n$ 。

电流关系: $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3 + \dots$ 。

「任务达标」

1. 如图所示, 电路中变压器原线圈匝数 $n_1 = 1\ 000$, 两个副线圈匝数分别为 $n_2 = 500$ 、 $n_3 = 200$, 并分别接一个 $R = 55\ \Omega$ 的电阻, 在原线圈上接入 $U_1 = 220\text{ V}$ 的交变电源。两副线圈输出功率之比 $\frac{P_2}{P_3}$ 和原线圈中的电流 I_1 分别是 (C)

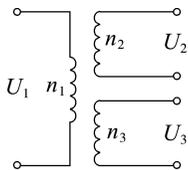
A. $\frac{P_2}{P_3} = \frac{5}{2}$, $I_1 = 2.8\text{ A}$

B. $\frac{P_2}{P_3} = \frac{2}{5}$, $I_1 = 2.8\text{ A}$

$$C. \frac{P_2}{P_3} = \frac{25}{4}, I_1 = 1.16 \text{ A}$$

$$D. \frac{P_2}{P_3} = \frac{4}{25}, I_1 = 1.16 \text{ A}$$

2. 如图所示, 一台有两个副线圈的变压器, 原线圈匝数 $n_1 = 1\ 100$, 接入电压 $U_1 = 220 \text{ V}$ 的交流电路中。



(1) 要求在两个副线圈上分别得到电压 $U_2 = 6 \text{ V}$ 、 $U_3 = 110 \text{ V}$, 它们的匝数 n_2 、 n_3 分别为多少?

(2) 若在两副线圈上分别接上“6 V 20 W”“110 V

60 W”的两个用电器, 原线圈的输入电流为多少?

解析: (1) 根据原、副线圈间电压与匝数的关系,

$$\text{由 } \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} \text{ 得 } n_2 = \frac{U_2}{U_1} n_1 = \frac{6}{220} \times 1\ 100 = 30$$

$$\text{同理, } n_3 = \frac{U_3}{U_1} n_1 = \frac{110}{220} \times 1\ 100 = 550.$$

(2) 设原线圈输入电流为 I_1 , 由 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ 得

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 + U_3 I_3 = P_2 + P_3$$

$$\text{所以 } I_1 = \frac{P_2 + P_3}{U_1} = \frac{20 + 60}{220} \text{ A} = \frac{4}{11} \text{ A}.$$

答案: (1) 30 550 (2) $\frac{4}{11} \text{ A}$

4 电能的传输

学习任务目标

1. 了解输电线上电压损失和电能损耗的影响因素。(物理观念)
2. 知道远距离输电线路的基本构成, 会对简单的远距离输电线路进行分析和计算。(科学思维)
3. 知道交变电流从发电站到用户的输电过程, 体会电力调度对电网供电的重要意义。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 电能输送中的电压损失和电能损失

1. 输电损耗

(1) 输电线上的电压损失: $U_{\text{损}} = Ir$, I 为输电电流, r 为输电线的电阻。

(2) 输电线上的功率损耗: $P_{\text{损}} = I^2 r$ 。

2. 降低输电损耗的两个途径

(1) 减小输电线的电阻: 在输电距离一定的情况下, 为了减小输电线的电阻, 应当选用电阻率小的金属材料, 还要尽可能增加输电线的横截面积。

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

3. 高压输电

(1) 现代远距离输电都采用高压输电。

(2) 输电电压并不是越高越好。电压越高, 线路及变压器等设备的绝缘要求也越高, 线路修建和维护输电线路的成本也越多。

(3) 实际输送电能时, 要综合考虑各种因素, 包括距离的远近、输送功率的大小、建造和维护设备方面的技术问题, 选择合适的输电电压及相应的设计方案。

[科学思维]

输电导线上损失的功率 $P_{\text{损}} = I^2 r$;

输送的总功率 $P_{\text{总}} = UI$;

用户得到的有用功率 $P_{\text{用户}} = P_{\text{总}} - P_{\text{损}}$ 。

[判一判]

1. 一般情况下高压输电的导线是铜铝合金而不是银, 原因是同种情况下, 使用银材料输电线损失的功率更大。 (×)
2. 现实中通常主要用增加导线的横截面积来减小输电损耗。 (×)
3. 远距离输电时, 输电电压越高越好。 (×)

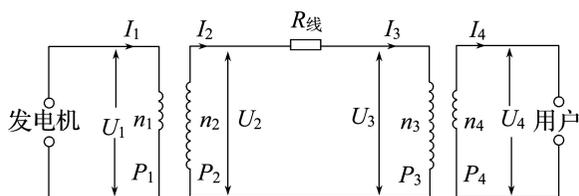
知识点二 远距离输电系统

1. 远距离输电基本原理: 在发电站附近经变压器把电压升高到 220 kV 或更高的超高压, 用输电线送到远方, 在用电集中的地方将电压降到需要的低电压, 分送给不同的用户使用。
2. 我国家庭用户电压为 220 V; 输电电压超过 220 kV, 称为超高压; 1 000 kV 以上的电压等级, 称为特高压; 世界上最高的输电电压已达 1 150 kV。
3. 交流输电的局限性: 当交流输电功率很大时, 电感、电容引起的电压及电能损失很大; 同一电网供电的发电机同步运行, 技术上存在困难等。
4. 直流输电的原理: 发电机发出的交流电, 经过变压器升高电压, 再使用整流设备变成直流电, 用输电线把高压直流电输送出去, 到用户附近, 使用逆变

器把直流电变回到交流电,再通过变压器降压后供用户使用。

[科学思维]

远距离输电示意图:



[判一判]

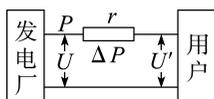
- 1.从发电厂发出的电输送到用户均需要采用高压输电。(×)
- 2.使用升压变压器和降压变压器进行远距离输电时,用户得到的电压可以高于发电机输出的电压。(√)
- 3.远距离输电时,若升压变压器匝数之比为 1 : n,降压变压器匝数之比为 n : 1,则升压变压器的输入电压和降压变压器的输出电压相等。(×)

任务型课堂

任务一 输电线上的电压和功率损失问题

[探究活动]

如图所示,假定发电厂输出的电压为 U ,输送功率为 P ,输电线路中的电流是 I ,两条导线的总电阻是 r (在图中把导线电阻集中画为 r)。



(1)输送到用户两端的电压 U' 与 U 、 P 、 I 及 r 之间有哪些关系?

(2)用户得到的电能与发电厂输出的电能相等吗?为什么?

(3)功率损失的表达式是什么?降低功率损失有哪些途径?

提示:(1) $U' = U - \Delta U = U - Ir = U - \frac{P}{U}r$ 。

(2)不相等。由于输电线有电阻,有一部分电能转化为焦耳热损耗掉了。

(3) $\Delta P = I^2 r = \frac{P^2}{U^2} r$ 。降低功率损失的两个途径:

①减小输电线的电阻 r ; ②减小输电电流 I ,即提高输电电压 U 。

[评价活动]

1.远距离输电,若输电功率一定,当输电电压为 U_0 时,输电线上的电流为 I_0 ,损失的电功率为 P_0 。当输电电压提高为 $2U_0$ 时,则 (B)

- A. 由 $I = \frac{U}{R}$ 得,输电线上的电流变为 $2I_0$ 。
- B. 由 $I = \frac{P}{U}$ 得,输电线上的电流变为 $\frac{I_0}{2}$ 。
- C. 由 $P = \frac{U^2}{R}$ 得,输电线上损失的电功率为 $4P_0$ 。
- D. 由 $P = IU$ 得,输电线上损失的电功率为 $2P_0$ 。

2.(多选)在远距离输电时,输送的电功率为 P ,输送电压为 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 P' ,用户得到的电功率为 $P_{用}$ 。下列 P' 和 $P_{用}$ 的关系式正确的是 ()

- A. $P' = \frac{U^2 S}{\rho L}$
- B. $P' = \frac{P^2 \rho L}{U^2 S}$
- C. $P_{用} = P - \frac{U^2 S}{\rho L}$
- D. $P_{用} = P \left(1 - \frac{P \rho L}{U^2 S} \right)$

BD 解析:输电线电阻 $R = \rho \frac{L}{S}$,输电电流 $I = \frac{P}{U}$,

故输电线上损失的功率 $P' = I^2 R = \left(\frac{P}{U} \right)^2 \rho \frac{L}{S} = \frac{P^2 \rho L}{U^2 S}$,用户得到的电功率 $P_{用} = P - P' = P$

$\left(1 - \frac{P \rho L}{U^2 S} \right)$ 。故选项 B、D 正确。

3.某变电站用 220 V 的电压输电,导线上损失的功率为输送功率的 20%。若要使导线上损失的功率降为输送功率的 5%,则输电电压应为多少?

解析:设输送功率为 P ,输电电压 $U_1 = 220$ V 时,损失功率 $\Delta P_1 = 20\% P$

又因为 $\Delta P_1 = I_1^2 R_{线}$, $I_1 = \frac{P}{U_1}$,解得 $\Delta P_1 = \frac{P^2}{U_1^2} R_{线}$

现要求 $\Delta P_2 = 5\% P$,同理 $\Delta P_2 = \frac{P^2}{U_2^2} R_{线}$

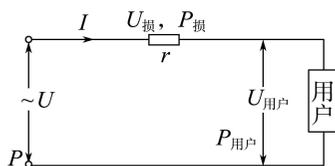
因此可得 $\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{20\%}{5\%} = \frac{U_2^2}{U_1^2}$

所以 $U_2 = 2U_1 = 440$ V。

答案:440 V

任务总结

1.输电电路



输电电压 $U = U_{\text{损}} + U_{\text{用}} \text{ 户}$;

输送功率 $P = UI, P = P_{\text{损}} + P_{\text{用}} \text{ 户}$;

输电电流 $I = \frac{P}{U} = \frac{P_{\text{用}} \text{ 户}}{U_{\text{用}} \text{ 户}}, I = \frac{U_{\text{损}}}{r}$.

2. 输电线上的电功率损失

(1) 原因: 输电导线有电阻 r , 电流流过输电线时, 电流的热效应引起电功率的损失。

(2) 计算式: ① $P_{\text{损}} = I^2 r$; ② $P_{\text{损}} = IU_{\text{线}}$;

③ $P_{\text{损}} = \frac{U_{\text{线}}^2}{r}$.

3. 输电线上的电压损失

若用 U 表示输电线始端电压, U' 表示输电线末端电压, 则 $U_{\text{损}} = U_{\text{线}} = U - U'$ 或 $U_{\text{线}} = Ir$.

任务二 远距离输电的理解

[探究活动]

若发电机的输出电压为 220 V, 输出功率为 44 kW, 每条输电线的电阻为 0.2Ω 。

(1) 此时用户得到的电压和电功率各为多少?

(2) 如果发电站先用变压比为 1:10 的升压变压器将电压升高, 经同样的输电线路后用变压比为 10:1 的降压变压器将电压降低后供给用户, 则用户得到的电压和电功率各是多少?

提示: (1) 输电线上的电流

$$I_R = \frac{P}{U} = \frac{44\,000}{220} \text{ A} = 200 \text{ A}$$

损失的电压 $U_R = I_R R = 2 \times 0.2 \times 200 \text{ V} = 80 \text{ V}$

损失的功率

$$P_R = U_R I_R = 80 \times 200 \text{ W} = 16\,000 \text{ W} = 16 \text{ kW}$$

故用户得到的电压 $U_{\text{用户}} = U - U_R = 140 \text{ V}$

用户得到的功率 $P_{\text{用户}} = P - P_R = 28 \text{ kW}$ 。

(2) 已知升压变压器的匝数之比 $n_1 : n_2 = 1 : 10$

输入电压 $U_1 = 220 \text{ V}$

因此, 升压变压器的输出电压 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1 =$

2 200 V

输电线上的电流 $I'_R = \frac{P}{U_2} = \frac{44\,000}{2\,200} \text{ A} = 20 \text{ A}$

损失的电压 $U'_R = I'_R R = 2 \times 0.2 \times 20 \text{ V} = 8 \text{ V}$

损失的功率 $P'_R = U'_R I'_R = 8 \times 20 \text{ W} = 160 \text{ W}$

因此, 降压变压器的输入电压 $U_3 = U_2 - U'_R = 2\,192 \text{ V}$

已知降压变压器的匝数比 $n_3 : n_4 = 10 : 1$

所以用户得到的电压 $U_4 = \frac{n_4}{n_3} U_3 = 219.2 \text{ V}$

用户得到的功率 $P'_{\text{用户}} = P - P'_R = 43.84 \text{ kW}$ 。

[评价活动]

1. 小明分别按照图 1 和图 2 电路探究远距离输电的输电损耗, 将长导线卷成相同的两卷线圈 A、B 来模拟输电线路, 忽略导线的自感作用。其中 T_1 为理想升压变压器, T_2 为理想降压变压器, 两次实验中使用的灯泡相同, 灯泡的电压相等。两次实验中

(D)

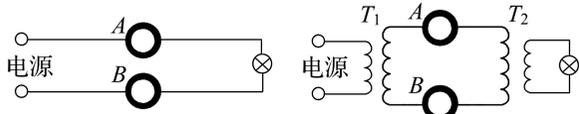


图1

图2

A. 都接直流电源

B. A 两端的电压相等

C. A 损耗的功率相等

D. 图 1 实验中通过 A 的电流更大

2. 某发电机输电电路的原理如图所示, 发电机的矩形

线框 ABCD 处于磁感应强度大小为 $B = \frac{\sqrt{2}}{10\pi} \text{ T}$ 的

水平匀强磁场中, 线框面积为 $S = 0.5 \text{ m}^2$, 匝数为

100, 电阻不计。线框绕垂直于磁场的轴 OO' 以角

速度 $\omega = 100\pi \text{ rad/s}$ 匀速转动, 并与升压变压器的

原线圈相连, 升压变压器原、副线圈的匝数之比为

1:10, 降压变压器的副线圈接入若干“220 V 100 W”

的灯泡, 两变压器间的输电线等效电阻 $R = 10 \Omega$, 变

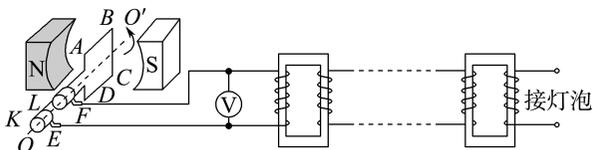
压器均为理想变压器。当发电机输出功率为 $5 \times$

10^4 W 时, 灯泡正常发光。求:

(1) 电压表示数;

(2) 输电线上损失的功率;

(3) 降压变压器原、副线圈的匝数之比。



解析: (1) 矩形闭合导线框 ABCD 在匀强磁场中转动时, 产生的交变电压的最大值为

$$E_m = NBS\omega = 100 \times \frac{\sqrt{2}}{10\pi} \times 0.5 \times 100\pi = 500\sqrt{2} \text{ V}$$

电压表读数为

$$U = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{500\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{ V} = 500 \text{ V}.$$

(2) 升压变压器原线圈的电流

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{5 \times 10^4}{500} \text{ A} = 100 \text{ A}$$

设输电线上的电流为 I_2 , 则有 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$

输电线上损失的功率 $P = I_2^2 R$

解得 $P=1\ 000\ \text{W}$ 。

(3) 设升压变压器的副线圈电压为 U_2 , 则有

$$\frac{U}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

输电线上的电压损失

$$U' = I_2 R$$

则降压变压器的原线圈电压

$$U_3 = U_2 - U'$$

由题意知, 降压变压器的副线圈的电压 $U_4 =$

$$220\ \text{V}, \text{ 则有 } \frac{n_3}{n_4} = \frac{U_3}{U_4}$$

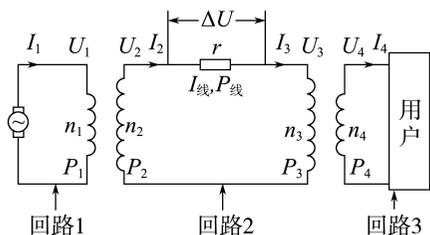
$$\text{联立解得 } \frac{n_3}{n_4} = \frac{245}{11}.$$

答案: (1) 500 V (2) 1 000 W (3) 245 : 11

任务总结

1. 远距离输电问题的“三二一”

(1) 三个回路



(2) 两个联系

① 理想的升压变压器联系着回路 1 和回路 2。

② 理想的降压变压器联系着回路 2 和回路 3。

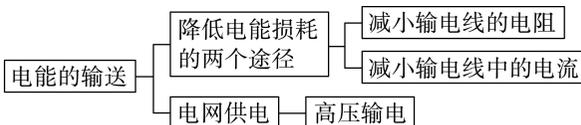
(3) 一个关键

$$\text{输电电流 } I_{\text{线}} = \frac{P_2}{U_2} = \frac{U_2 - U_3}{r} = \frac{P_3}{U_3}.$$

2. 远距离输电问题的功率、电压、电流关系

项目	升压变压器	闭合回路	降压变压器
功率	$P_{\text{发电厂}} = P_1 = P_2$	$P_2 = P_{\text{线}} + P_3$	$P_3 = P_4 = P_{\text{用户}}$
电压、电流	$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1}$	$U_2 = U_{\text{线}} + U_3$ $I_2 = I_{\text{线}} = I_3$	$\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4} = \frac{I_4}{I_3}$
P 、 U 、 I 关系	$P_1 = U_1 I_1$ $P_2 = U_2 I_2$	$U_{\text{线}} = I_2 r$ $P_{\text{线}} = U_{\text{线}} I_2$ $P_{\text{线}} = I_2^2 r$	$P_3 = U_3 I_3$ $P_4 = U_4 I_4$
输电电流	$I_{\text{线}} = I_2 = \frac{P_2}{U_2}$	$I_{\text{线}} = \frac{U_{\text{线}}}{r}$	$I_{\text{线}} = I_3 = \frac{P_3}{U_3}$

► 提质归纳



课后素养评价(十二) 电能的传输

基础性·能力运用

知识点 1 输电线上的电压和功率损失

1. 为改变农村电网陈旧老化的状况而进行农村电网改造, 其中为了减少远距离输电的损耗而降低电费价格, 下列可采取的措施是 (C)

- A. 提高输送功率
- B. 增加输电导线的长度
- C. 提高输电的电压
- D. 减小输电导线的横截面积

2. 已知输电导线的电阻为 R , 输送电功率为 P , 现分别用 U_1 和 U_2 两种电压来输电, 则两次输电线上损失的电压之比和功率之比分别为 (C)

- A. $U_2^2 : U_1^2, U_1 : U_2$
- B. $U_2^2 : U_1^2, U_2^2 : U_1^2$
- C. $U_2 : U_1, U_2^2 : U_1^2$
- D. $U_2 : U_1, U_2 : U_1$

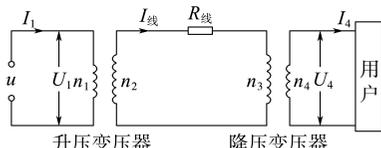
知识点 2 远距离输电

3. 某发电厂通过升压变压器和降压变压器远距离输送电能, 假设输电线路电阻发热是电能损失的唯一原因。若远距离输电电压加倍, 其他条件不变, 则

下列说法正确的是 (D)

- A. 输电线上的电流加倍
- B. 输电线上的电能损失加倍
- C. 输电线上的电能损失是原来的 $\frac{1}{2}$
- D. 输电线上的电能损失是原来的 $\frac{1}{4}$

4. 如图所示, 某小型水电站发电机的输出功率 $P = 100\ \text{kW}$, 发电机的电压 $U_1 = 250\ \text{V}$, 经变压器升压后向远处输电, 输电线总电阻 $R_{\text{线}} = 8\ \Omega$, 在用户端用降压变压器把电压降为 $U_4 = 220\ \text{V}$ 。已知输电线上损失的功率 $P_{\text{线}} = 5\ \text{kW}$, 假设两个变压器均是理想变压器, 下列说法正确的是 (C)



- A. 发电机输出的电流 $I_1 = 40 \text{ A}$
 B. 输电线上的电流 $I_{\text{线}} = 625 \text{ A}$

- C. 降压变压器的匝数比 $n_3 : n_4 = 190 : 11$
 D. 用户得到的电流 $I_4 = 455 \text{ A}$

综合性 · 创新提升

5. 某用电器离供电电源的距离为 l , 线路上的电流为 I . 若要求线路上的损失电压不超过 U . 已知输电导线的电阻率为 ρ , 那么该输电导线的横截面积的最小值是 ()

- A. $\frac{\rho l I}{U}$ B. $I^2 \rho$ C. $\frac{2 \rho l I}{U}$ D. $\frac{2 U I}{I \rho}$

C 解析: 因为导线的总长度为 $2l$, 所以损失电压 $U = IR = I \rho \frac{2l}{S}$, 解得 $S = \frac{2 \rho l I}{U}$, 故选项 C 正确.

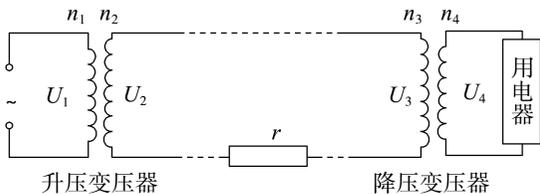
6. 下列关于电能输送的分析正确的是 ()

- A. 由公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 知, 输电电压越高, 输电线上功率损失越少
 B. 由公式 $P = \frac{U^2}{R}$ 知, 输电导线电阻越大, 输电线上功率损失越少
 C. 由公式 $P = I^2 R$ 知, 输电电流越大, 输电导线上功率损失越大
 D. 由公式 $P = UI$ 知, 输电导线上的功率损失与电流成正比

C 解析: 输电线上损失的功率 $P_{\text{损}} = I^2 R_{\text{线}} = \frac{U_{\text{损}}^2}{R_{\text{线}}}$,

$U_{\text{损}}$ 指输电线上的分压, 而不是输电电压, 选项 C 正确.

7. (多选) 如图为远距离输电示意图, 发电机的输出电压 U_1 、输电线的总电阻 r 和理想变压器匝数均不变, 且 $n_1 : n_2 = n_4 : n_3$. 当用户用电器的总功率增大时 ()



- A. $U_1 : U_2 = U_4 : U_3$
 B. 用户的电压 U_4 增加
 C. 输电线上的损失功率增大
 D. 输电线上损耗的功率占总输送功率的比例增大

ACD 解析: 根据 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$, $\frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$ 以及 $n_1 : n_2 =$

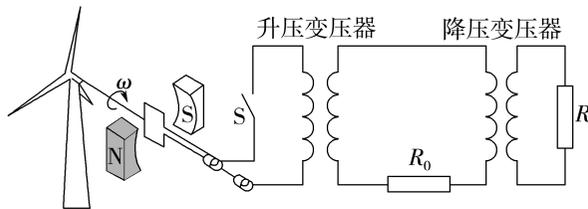
$n_4 : n_3$, 知 $U_1 : U_2 = U_4 : U_3$, 故 A 正确. 用户用电器总功率增大时, 输送功率变大, 输电线上的电流增大, 根据 $P_{\text{损}} = I^2 r$ 知, 输电线上损耗的功率增大, 根据 $\Delta U = Ir$ 知, 输电线上的电压损失变大; 发电机的输出电压 U_1 不变, 则升压变压器的输出电压

U_2 不变, 降压变压器的输入电压 U_3 变小, 用户的电

压 U_4 减小, 故 B 错误, C 正确. $\frac{P_{\text{损}}}{P} = \frac{\left(\frac{P}{U_2}\right)^2 r}{P} =$

$\frac{P}{U_2^2} r$, 输送电压 U_2 和线路电阻 r 不变, 所以损耗功率占总功率比例增大, 故 D 正确.

8. (2024 · 湖南卷) 根据国家能源局统计, 截止到 2023 年 9 月, 我国风电装机 4 亿千瓦, 连续 13 年居世界第一位, 湖南在国内风电设备制造领域居于领先地位. 某实验小组模拟风力发电厂输电网络供电的装置如图所示. 已知发电机转子以角速度 ω 匀速转动, 升、降压变压器均为理想变压器, 输电线路上的总电阻可简化为一个定值电阻 R_0 . 当用户端接一个定值电阻 R 时, R_0 上消耗的功率为 P . 不计其余电阻, 下列说法正确的是 ()



- A. 风速增加, 若转子角速度增加一倍, 则 R_0 上消耗的功率为 $4P$
 B. 输电线路距离增加, 若 R_0 阻值增加一倍, 则 R_0 上消耗的功率为 $4P$
 C. 若升压变压器的副线圈匝数增加一倍, 则 R_0 上消耗的功率为 $8P$
 D. 若在用户端再并联一个完全相同的电阻 R , 则 R_0 上消耗的功率为 $6P$

A 解析: 设升压变压器原、副线圈匝数分别为 n_1 、 n_2 , 降压变压器原、副线圈匝数分别为 n_3 、 n_4 , 将降压变压器和用户端所接定值电阻 R 等效为一个电

阻 $R_{\text{等效}}$, 则 $R_{\text{等效}} = \frac{U_3}{I_3} = \frac{\left(\frac{n_3}{n_4}\right) U_4}{\left(\frac{n_4}{n_3}\right) I_4} = \frac{n_3^2}{n_4^2} R$. 发电机转

子以角速度 ω 匀速转动时, 产生的电动势的最大值 $E_m = NBS\omega$, 则升压变压器输入端的电压有效值 $U_1 = \frac{NBS\omega}{\sqrt{2}}$, 转子角速度增加一倍, 则升压变压器

输出端电压为 $U_2 = \frac{n_2}{n_1} U_1$ 增加一倍, 根据闭合电路

欧姆定律知定值电阻 R_0 中的电流变为原来的 2 倍, 结合 $P = I_0^2 R_0$ 可知, 转子角速度增加一倍, R_0 上消耗的功率变为 $4P$, 选项 A 正确; 结合 $P =$

$\left(\frac{U_2}{R_0 + R_{\text{等效}}}\right)^2 \cdot R_0$, 若 R_0 增加一倍, 则 R_0 上消耗

的功率为 $\left(\frac{U_2}{2R_0 + R_{\text{等效}}}\right)^2 \cdot 2R_0 \neq 4P$, 选项 B 错误;

若升压变压器的副线圈增加一倍, 根据理想变压器

变压规律知, 升压变压器副线圈两端的电压变为原

来的 2 倍, 由 $I_0 = \frac{U_2}{R_0 + R_{\text{等效}}}$ 可知, 定值电阻 R_0 中

的电流变为原来的 2 倍, R_0 上消耗的功率变为

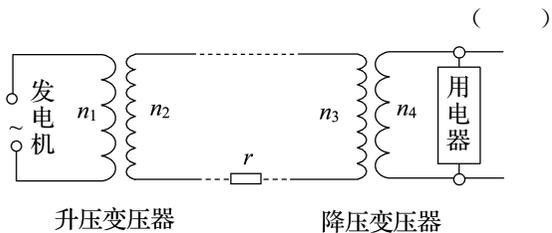
$4P$, 选项 C 错误; 若在用户端再并联一个完全相同

的电阻 R , 降压变压器和用户端所接定值电阻的等

效电阻变为 $\frac{1}{2} R_{\text{等效}}$, R_0 上消耗的功率变为

$\left(\frac{U_2}{R_0 + \frac{1}{2} R_{\text{等效}}}\right)^2 \cdot R_0 \neq 6P$, 选项 D 错误。

9. (多选) 某小型水电站的电能输送示意图如图所示, 发电机的输出电压为 200 V, 输电线总电阻为 r , 升压变压器原、副线圈匝数分别为 n_1 、 n_2 , 降压变压器原、副线圈匝数分别为 n_3 、 n_4 , 变压器均为理想变压器。要使额定电压为 220 V 的用电器正常工作, 则



- ()
- A. $\frac{n_2}{n_1} > \frac{n_3}{n_4}$
- B. $\frac{n_2}{n_1} < \frac{n_3}{n_4}$
- C. 升压变压器的输出电压等于降压变压器的输入电压

D. 升压变压器的输出功率大于降压变压器的输入功率

AD 解析: $\frac{U_2}{U_1} = \frac{n_2}{n_1}, \frac{U_3}{U_4} = \frac{n_3}{n_4}$, 因为 $U_1 = 200 \text{ V} <$

$U_4 = 220 \text{ V}, U_2 > U_3 = U_2 - U_{\text{线}}$, 故 $\frac{n_2}{n_1} > \frac{n_3}{n_4}$, 选项 B、

C 错误, A 正确; 由于输电线上的功率损耗, 故升压

变压器的输出功率大于降压变压器的输入功率, $P_{\text{出}} - P_{\text{损}} = P_{\text{入}}$, 故 D 正确。

10. 输送 $4.0 \times 10^6 \text{ W}$ 的电能, 若发电机输出电压为 2 000 V, 选用变压器升压后应用横截面积为 4.25 cm^2 的铜导线, 把电能送到 400 km 远处, 线路损耗的功率为 $5.0 \times 10^5 \text{ W}$ 。若已知铜的电阻率 $\rho = 1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$, 则:

(1) 应选用匝数比为多少的升压变压器?

(2) 在用户方使用降压变压器, 其原线圈两端的电压为多大?

解析: (1) 由 $P = I^2 R$ 得 $I = \sqrt{\frac{P}{R}}$, 式中 P 为线路

损耗功率, R 为线路总电阻, 两条导线总电阻

$$R = \rho \frac{L'}{S} = \rho \frac{2L}{S}$$

$$\text{则 } R = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{4 \times 10^5 \times 2}{4.25 \times 10^{-4}} \Omega = 32 \Omega$$

$$\text{所以 } I = \sqrt{\frac{P}{R}} = 125 \text{ A}$$

因为 $P_{\text{输入}} = P_{\text{输出}}$, 所以在升压变压器副线圈两端的电压为

$$U_2 = \frac{P_2}{I} = 3.2 \times 10^4 \text{ V}$$

$$\text{故 } \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{1}{16}。$$

(2) 设 U'_2 为降压变压器原线圈两端的电压, 则

$$U'_2 = U_2 - IR = 2.8 \times 10^4 \text{ V}。$$

答案: (1) 1 : 16 (2) $2.8 \times 10^4 \text{ V}$

易错强化练(三) 变压器及电能的传输

练易错

易错点 1 | 对理想变压器的基本规律理解错误

[防范要诀]

(1) 不要认为无论何种类型的电流(交流或直流)输入变压器, 电压比一定等于匝数比。

(2) 当副线圈为多个时, 公式 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$ 不再成立。

(3) 有多个副线圈时, 电流与匝数的关系是 $n_1 I_1 = n_2 I_2 + n_3 I_3 + \dots$ 。

[对点集训]

1. 收音机的变压器初级线圈有 1 210 匝, 接在 $U_1 = 220 \text{ V}$ 的交变电源上, 变压器有两个次级线圈。次级线圈 II 的匝数为 35 匝, 次级线圈 III 的匝数是 1 925 匝。如果不计变压器自身的能量损耗, 当变压器工作时, 线圈 II 的电流是 0.3 A, 初级线圈的电流 $I_1 = 0.114 \text{ A}$ 。求线圈 III 中的电流和输出电压。(结果均保留三位有效数字)

答案: 0.066 2 A 350 V

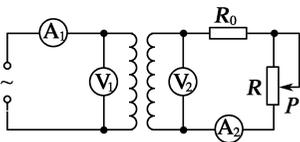
易错点 2 | 对负载变化对整个电路的影响判断错误

[防范要诀]

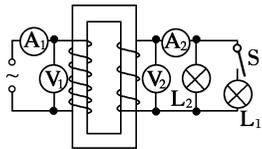
- (1) 负载减少, 不等于电阻变小。比如并联的负载减少, 对应的用电器减少, 消耗的功率减小, 其总电阻增大。
- (2) 负载发生变化时, 电流和电压如何变化的判断, 先要由 $\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$ 判断 U_2 是否变化, 再根据 U_2 及负载电阻变大或变小的情况, 由欧姆定律确定副线圈中的电流 I_2 的变化情况, 最后再由 $P_{\text{入}} = P_{\text{出}}$ 判断原线圈中电流的变化情况。

[对点集训]

2. (多选) 如图所示是通过变压器给用户供电的示意图, 变压器的输入电压是电网电压, 基本稳定, 输出电压通过输电线输送给用户, 电表均为理想电表, 输电线的电阻用 R_0 表示, 用变阻器的电阻 R 表示用户用电器的总电阻。当变阻器的滑片 P 向上移动时, 以下说法正确的是 (CD)



- A. 相当于增加用电器的个数
 B. V_1 的示数随 V_2 示数的增大而增大
 C. A_1 的示数随 A_2 示数的减小而减小
 D. 变压器的输入功率减小
3. 用一理想变压器给负载供电, 变压器输入端的电压不变, 如图所示。开始时开关 S 是断开的, 现将开关 S 闭合, 则图中所有理想交流电表的示数以及输入功率的变化情况是 (B)



- A. V_1 、 V_2 的示数不变, A_1 的示数增大, A_2 的示数减小, $P_{\text{入}}$ 增大
 B. V_1 、 V_2 的示数不变, A_1 、 A_2 的示数增大, $P_{\text{入}}$ 增大
 C. V_1 、 V_2 的示数不变, A_1 、 A_2 的示数减小, $P_{\text{入}}$ 减小
 D. V_1 的示数不变, V_2 的示数增大, A_1 的示数减小, A_2 的示数增大, $P_{\text{入}}$ 减小

易错点 3 | 混淆输电电压 U 和损失电压 ΔU

[防范要诀]

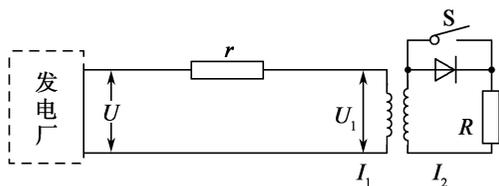
- (1) 输电电压为升压变压器的输出电压, 电压损失为

输电导线上损失的电压 ΔU , 求解输电导线上的电流时要用 $I = \frac{P}{U}$ 或 $I = \frac{\Delta U}{r}$, 而不能用 $I = \frac{U}{r}$ 。

- (2) 可以用公式 $P_{\text{损}} = \left(\frac{P}{U}\right)^2 r$ 计算输电线上损失的电功率, 输电线路为纯电阻电路时, 也可以用 $P_{\text{损}} = \frac{(\Delta U)^2}{r}$, 但 ΔU 与 U 是两个不同的电压, 一般情况下, 不要用公式 $P_{\text{损}} = \frac{(\Delta U)^2}{r}$, 以避免混淆出错。

[对点集训]

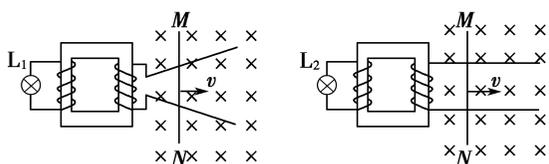
4. 某变电站用 11 kV 的交变电压输电, 输送功率一定, 输电线的电阻为 r 。现若用变压器将电压升高到 220 kV 送电, 下列说法正确的是 (B)
- A. 因为 $I = \frac{U}{r}$, 所以输电线上的电流增大为原来的 20 倍
 B. 因为 $I = \frac{P}{U}$, 所以输电线上的电流减小为原来的 $\frac{1}{20}$
 C. 因为 $P = \frac{U^2}{r}$, 所以输电线上损失的功率增大为原来的 400 倍
 D. 若要使输电线上损失的功率不变, 可将输电线的直径减小为原来的 $\frac{1}{400}$
5. 如图所示为电能输送的简化电路图, 发电厂的输出电压为 U , 用 r 表示两条输电线上的电阻, 用 R 表示负载电阻, 在输电线与负载电阻之间有一理想变压器, 当与二极管并联的开关 S 断开时, 输电线路中的电流为 I_1 , 变压器的输入电压为 U_1 , 流入负载电阻的电流为 I_2 。假设二极管的正向电阻为 0, 反向电阻无穷大, 则开关 S 闭合后, 下列说法正确的是 (D)



- A. 输电线上的电流一定变为原来的 2 倍
 B. 输电线上损失的电压一定变为原来的 2 倍
 C. 输电线上损失的功率一定变为原来的 4 倍
 D. 输电线上的电流与流过负载电阻的电流的比值一定不变

练疑难

6. 如图所示, 图甲中两导轨不平行, 而图乙中两导轨平行, 其余条件都相同, 金属棒 MN 分别在导轨上向右做匀速运动。在金属棒运动过程中, 将观察到 (D)

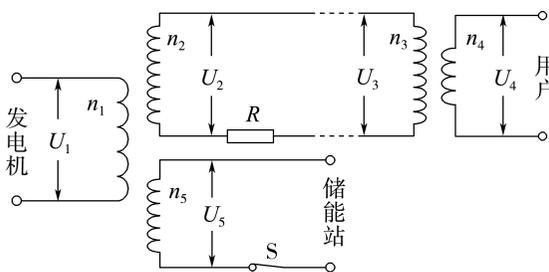


甲

乙

- A. L_1 、 L_2 都发光,只是亮度不同
- B. L_1 、 L_2 都不发光
- C. L_2 发光, L_1 不发光
- D. L_1 发光, L_2 不发光

7. (2023·山东卷) 如图为某节能储能输电网络的示意图,发电机的输出电压 $U_1 = 250\text{ V}$,输出功率为 500 kW 。降压变压器的匝数比 $n_3 : n_4 = 50 : 1$,输电线总电阻 $R = 62.5\ \Omega$,其余线路电阻不计,用户端电压 $U_4 = 220\text{ V}$,功率为 88 kW ,所有变压器均为理想变压器。下列说法正确的是 (C)



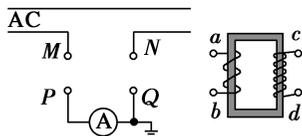
- A. 发电机的输出电流为 368 A
- B. 输电线上损失的功率为 4.8 kW
- C. 输送给储能站的功率为 408 kW
- D. 升压变压器的匝数比 $n_1 : n_2 = 1 : 44$

8. 某水电站用总电阻为 $2.5\ \Omega$ 的输电线输电给 500 km 外的用户,其输出电功率是 $3 \times 10^6\text{ kW}$ 。现用 500 kV 电压输电,则下列说法正确的是 ()

- A. 输电线上输送的电流大小为 $2 \times 10^5\text{ A}$
- B. 输电线上由电阻造成的电压损失为 15 kV
- C. 若改用 5 kV 电压输电,则输电线上损失的功率为 $9 \times 10^8\text{ kW}$
- D. 输电线上损失的功率为 $\Delta P = \frac{U^2}{r}$, U 为输电电压, r 为输电线的电阻

B 解析: 输出电功率 $P = 3 \times 10^6\text{ kW}$,输电电压 $U = 500\text{ kV}$,则输电线上输送的电流大小为 $I = \frac{P}{U} = 6 \times 10^3\text{ A}$,所以 A 错误;输电线上由电阻造成的电压损失 $\Delta U = Ir = 15\text{ kV}$,所以 B 正确;输电线上损失的功率 $\Delta P_{\text{损}} = \Delta U \cdot I = \frac{P^2}{U^2} r = \frac{(\Delta U)^2}{r}$,所以 D 错误;改用 5 kV 电压输电,若其损失的功率为 $9 \times 10^8\text{ kW}$,则其损失的功率高于输出功率,违反能量守恒定律,所以 C 错误。

9. 普通的交流电流表不能直接接在高压输电线路测量电流,通常要通过电流互感器来连接,图中电流互感器的 ab 一侧线圈的匝数较少,工作时电流为 I_{ab} , cd 一侧线圈的匝数较多,工作时电流为 I_{cd} ,为了使电流表能正常工作,则 ()



- A. a 、 b 接 M 、 N , c 、 d 接 P 、 Q ; $I_{ab} < I_{cd}$
- B. a 、 b 接 M 、 N , c 、 d 接 P 、 Q ; $I_{ab} > I_{cd}$
- C. a 、 b 接 P 、 Q , c 、 d 接 M 、 N ; $I_{ab} < I_{cd}$
- D. a 、 b 接 P 、 Q , c 、 d 接 M 、 N ; $I_{ab} > I_{cd}$

B 解析: 高压输电线上的电流较大,测量时需把电流变小,根据 $\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$, M 、 N 应接匝数较少的线圈,故 a 、 b 接 M 、 N , c 、 d 接 P 、 Q ,且 $I_{ab} > I_{cd}$,选项 B 正确。

10. 在远距离输电时,如果升压变压器的输出电压是 $2\ 000\text{ V}$,输出功率是 10 kW ,输电线的电阻是 $20\ \Omega$ 。求:

- (1) 输电线上损失的功率和损失的电压;
- (2) 用户能得到的功率和电压。

解析: (1) 由 $P_{\text{出}} = I_{\text{线}} U_{\text{出}}$

$$\text{得 } I_{\text{线}} = \frac{P_{\text{出}}}{U_{\text{出}}} = \frac{10 \times 10^3}{2\ 000}\text{ A} = 5\text{ A}$$

则输电线上损失的功率 $P_{\text{损}} = I_{\text{线}}^2 R = 5^2 \times 20\text{ W} = 500\text{ W}$
损失的电压 $\Delta U = I_{\text{线}} R = 5 \times 20\text{ V} = 100\text{ V}$ 。

(2) 用户得到的电压和功率分别为

$$U_{\text{用}} = U_{\text{出}} - \Delta U = 2\ 000\text{ V} - 100\text{ V} = 1\ 900\text{ V}$$

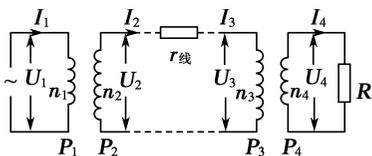
$$P_{\text{用}} = P_{\text{出}} - P_{\text{损}} = 10 \times 10^3\text{ W} - 500\text{ W} = 9\ 500\text{ W}。$$

答案: (1) 500 W 100 V (2) $9\ 500\text{ W}$ $1\ 900\text{ V}$

11. 一小型发电站通过升压变压器、降压变压器把电能输送给用户。已知发电机的输出功率是 500 kW ,原线圈两端电压为 500 V ,升压变压器原、副线圈的匝数比为 $1 : 5$,两变压器间输电线的总电阻为 $1.5\ \Omega$,降压变压器的输出电压为 220 V ,不计变压器的能量损耗。求:

- (1) 升压变压器的副线圈两端的电压;
- (2) 输电导线上的功率损失;
- (3) 降压变压器原、副线圈的匝数比;
- (4) 用户得到的功率。

解析: 输电线路原理图如图所示。



(1) 升压变压器副线圈两端的电压

$$U_2 = \frac{n_2 U_1}{n_1} = 2\,500 \text{ V}.$$

(2) 理想变压器的输出功率 $P_2 = 500 \text{ kW}$

$$\text{输电导线上的电流 } I_2 = \frac{P_2}{U_2} = 200 \text{ A}$$

输电导线上的功率损失为 $P_{\text{损}} = I_2^2 r_{\text{线}} = 60 \text{ kW}$ 。

(3) 输电导线上损失的电压 $\Delta U = I_2 r_{\text{线}} = 300 \text{ V}$

降压变压器原线圈两端的电压

$$U_3 = U_2 - \Delta U = 2\,200 \text{ V}$$

降压变压器原、副线圈的匝数比为 $\frac{n_3}{n_4} = \frac{U_3}{U_4} = \frac{10}{1}$ 。

(4) 用户得到的功率 $P_{\text{用}} = P_1 - P_{\text{损}} = 440 \text{ kW}$ 。

答案: (1) 2 500 V (2) 60 kW (3) 10 : 1

(4) 440 kW



单元活动构建

单元活动 3 交变电流 变压器 电能的输送

「单元任务」

任务内容	
任务一	交变电流的描述和变压器
任务二	变压器和电能的输送

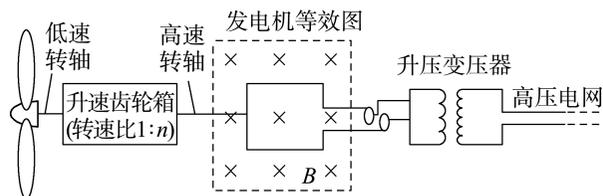
「任务引导」

资料: 因为风力发电没有燃料问题, 也不会产生辐射或空气污染, 是一种特别好的发电方式, 所以风力发电正在世界上形成一股热潮, 其在芬兰、丹麦等国家很流行, 我国也在西部地区大力提倡。

风力发电的原理是利用风力带动风车叶片旋转, 再通过增速机将旋转的速度提升, 来促使发电机发电。依据目前的风车技术, 大约 3 m/s 的微风速度 (微风的程度), 便可以开始发电。风力发电机因风量不稳定, 故其输出的是 $13 \sim 25 \text{ V}$ 变化的交变电流, 须经充电器整流, 再对蓄电池充电, 使风力发电机产生的电能变成化学能, 然后用有保护电路的逆变电源, 把蓄电池里的化学能转变成 220 V 的交流电, 才能保证稳定使用。

任务一 交变电流的描述和变压器

活动 1 风力发电机模型如图所示。风轮机叶片转速为 $m \text{ r/s}$, 并形成半径为 r 的圆面, 通过 $1:n$ 转速比的升速齿轮箱带动面积为 S 、匝数为 N 的发电机线圈高速转动, 产生的交变电流经过理想变压器升压后, 输出电压为 U 。已知空气密度为 ρ , 风速为 v , 匀强磁场的磁感应强度为 B , 忽略线圈电阻。试求单位时间内冲击风轮机叶片气流的动能为多少? 原、副线圈的匝数比为多少? 输出交变电流的频率是多少?

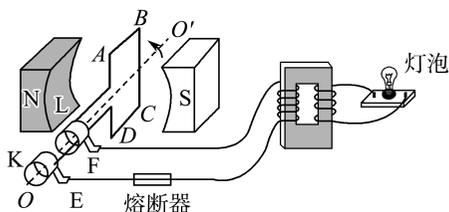


提示: 风轮机叶片面积 $S_{\text{风}} = \pi r^2$, 单位时间内冲击风轮机叶片气流的体积 $V = S_{\text{风}} h = S_{\text{风}} v \cdot \Delta t = \pi r^2 v \Delta t$, 气体质量 $M = \rho V = \rho \pi r^2 v \Delta t$, 动能 $E_k = \frac{1}{2} M v^2 = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \Delta t$;

变压器原线圈两端电压最大值 $U_m = NBS\omega = 2\pi NBSmn$, 有效值 $U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} \pi NBSmn$,

则变压器原、副线圈的匝数比为 $\sqrt{2} \pi NBSmn : U$; 发电机线圈转速为 mn , 则 $\omega = 2\pi mn$, 频率 $f = \frac{\omega}{2\pi} = mn$, 经升压变压器后, 输出交变电流的频率仍为 mn 。

活动 2 如图所示, 50 匝矩形闭合导线框 $ABCD$ 处于磁感应强度大小 $B = \frac{\sqrt{2}}{10} \text{ T}$ 的水平匀强磁场中, 线框面积 $S = 0.5 \text{ m}^2$, 线框电阻不计。线框绕垂直于磁场的轴 OO' 以角速度 $\omega = 200 \text{ rad/s}$ 匀速转动, 并与理想变压器原线圈相连, 副线圈中接入一只“ $220 \text{ V } 60 \text{ W}$ ”的灯泡, 且灯泡正常发光, 熔断器允许通过的最大电流为 10 A 。求变压器原、副线圈匝数比为多少? 产生交变电压的有效值为多少? 最多能并联多少只灯泡?



提示: 闭合线圈产生的电动势的最大值 $E_m = NBS\omega = 50 \times \frac{\sqrt{2}}{10} \times 0.5 \times 200 \text{ V} = 500\sqrt{2} \text{ V}$, 所以产生的交变电

压有效值 $E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = 500 \text{ V}$, 变压器原线圈的电压

$U_1 = E = 500 \text{ V}$, 副线圈的电压 $U_2 = 220 \text{ V}$, 则变压器

原、副线圈匝数比为 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{500}{220} = \frac{25}{11}$ 。熔断器允许

通过的最大电流为 10 A , 即原线圈中最大电流为

10 A , 副线圈中最大电流满足 $\frac{I_{1\max}}{I_{2\max}} = \frac{n_2}{n_1}$, 即 $I_{2\max} =$

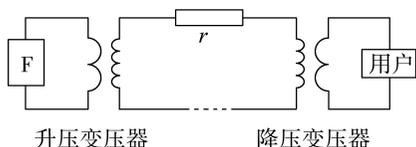
$\frac{n_1}{n_2} \times I_{1\max} = \frac{250}{11} \text{ A}$, 一只灯泡的额定电流为 $I = \frac{P}{U} =$

$\frac{60}{220} \text{ A} = \frac{3}{11} \text{ A}$, 所以最多并联的灯泡数 $N = \frac{I_{2\max}}{I} =$

$\frac{250}{11} \times \frac{11}{3} \approx 83$ (只)。

任务二 变压器和电能的输送

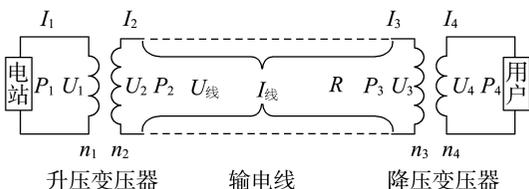
活动 1 交流发电机的输出电压为 U , 采用如图所示理想变压器输电, 升压变压器原、副线圈匝数的比值为 m , 降压变压器原、副线圈匝数的比值为 n , 输电线电阻为 r , 用户的工作电压为 U , 比较 m 、 n 与 1 的大小, 并求输电线上损失的功率。



提示: 升压变压器原线圈匝数小于副线圈匝数, 原、副线圈匝数的比值 $m < 1$, 降压变压器原线圈匝数大于副线圈匝数, 原、副线圈匝数的比值 $n > 1$; 根据变压器的规律, 升压变压器副线圈两端的电压为 $U_2 = \frac{1}{m}U$,

降压变压器原线圈两端的电压 $U_3 = nU$, 线路损失的电压为 $\Delta U = U_2 - U_3$, 所以损失的功率为 $\Delta P = \frac{(\Delta U)^2}{r}$, 联立解得 $\Delta P = \frac{(1-mn)^2 U^2}{m^2 r}$ 。

活动 2 如图所示是远距离输电示意图, 电站的输出电压 $U_1 = 250 \text{ V}$, 输出功率 $P_1 = 100 \text{ kW}$, 输电线电阻 $R = 8 \Omega$ 。进行远距离输电时, 若电站的输出功率突然增大, 则升压变压器与降压变压器的输出电压如何变化? 输电线损耗比例为 5% 时, 所用升压变压器的匝数比为多少?



提示: 电站的输出电压不变, 升压变压器的匝数比不变, 所以升压变压器的输出电压不变, 电站的输出功率突然增大, 则根据 $P = UI$, 输电线上的电流增大,

根据 $U_{\text{损}} = I_{\text{线}} R, U_3 = U_2 - U_{\text{损}}$ 可知降压变压器的输入电压 U_3 减小, 降压变压器的匝数比不变, 所以降压变压器的输出电压减小; 输电线损耗比例为 5% 时, 根据 $\Delta P = I_{\text{线}}^2 R, \Delta P = 5\% P_1$, 解得 $I_{\text{线}} = 25 \text{ A}$, 升压

变压器原线圈的电流为 $I_1 = \frac{P_1}{U_1} = 400 \text{ A}$, 升压变压器

的匝数比为 $\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_{\text{线}}}{I_1} = \frac{1}{16}$ 。

「知识链接」

1. 交变电流“四值”的应用

(1) 交变电流的平均值不一定等于始、末两时刻瞬时值的平均值。

交变电流的平均值与交变电流的方向及所取时间长短均有关, 其数值可根据法拉第电磁感应定律 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$ 计算, 不能用 $\bar{E} = \frac{E_1 + E_2}{2}$ 来求。

(2) 在计算通过导体某一横截面的电荷量时, 只能用交变电流的平均值计算, $q = \bar{I} \cdot \Delta t = n \frac{\Delta \Phi}{R}$ 。

(3) 有效值是根据电流的热效应定义的, 而平均值是根据法拉第电磁感应定律来计算的。

(4) 当提到某一交流物理量的时候, 如果没有特别说明, 都指有效值。

2. 远距离输电问题的分析方法

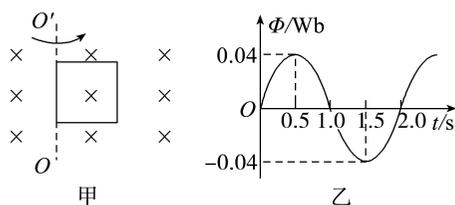
(1) 首先画出输电电路示意图。

(2) 以变压器为界划分好各个回路, 对各个回路独立运用欧姆定律、焦耳定律和电功率公式进行计算。

(3) 抓住各回路之间的物理量关系, 如变压器两侧的功率关系和两端电压、电流与匝数的关系。

「活动达标」

1. 如图甲所示, 边长为 10 cm 的 100 匝正方形线框, 在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴 OO' 匀速转动, 线框中的磁通量随时间变化的规律如图乙所示, 则下列说法正确的是 (D)



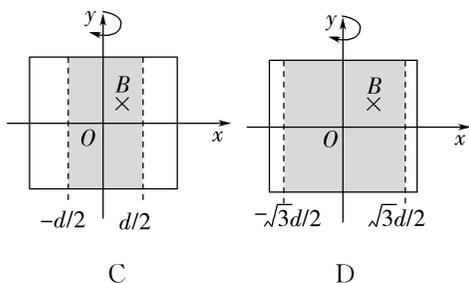
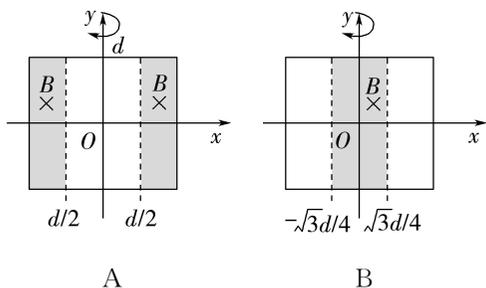
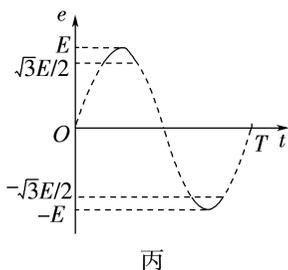
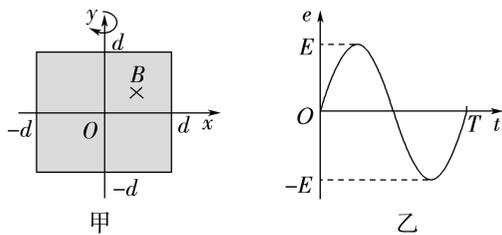
- A. $t = 1 \text{ s}$ 时刻, 线圈中的电流方向发生改变
- B. 匀强磁场的磁感应强度大小为 0.04 T
- C. 线框转动的角速度为 $\frac{\pi}{2} \text{ rad/s}$
- D. 线框中感应电动势的最大值为 $4\pi \text{ V}$

2. 某发电站输电时输出的功率为 200 kW, 输电线的总电阻为 0.05Ω 。若用 11 kV 和 1 100 V 两种电压输电, 则两种情况下输电线上由电阻造成的电压损失和功率损失之比分别是 ()

- A. 1 : 10, 1 : 100
 B. 1 : 10, 1 : 10
 C. 1 : 100, 1 : 100
 D. 1 : 100, 1 : 10

A 解析: 输电电流为 $I = \frac{P}{U}$, 电压损失和功率损失分别可表示为 $\Delta U = IR = \frac{P}{U} \cdot R$, $\Delta P = I^2 R = \left(\frac{P}{U}\right)^2 R$, 可得 $\frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{10}$, $\frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} = \frac{U_2^2}{U_1^2} = \frac{1}{100}$, 故选 A。

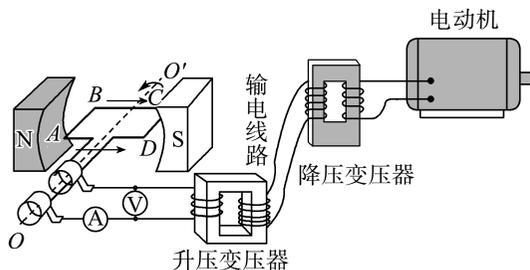
3. (2024 · 山东卷) 如图甲所示, 在 $-d \leq x \leq d$ 、 $-d \leq y \leq d$ 的区域中存在垂直 xOy 平面向里、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场(用阴影表示磁场的区域), 边长为 $2d$ 的正方形线圈与磁场边界重合。线圈以 y 轴为转轴匀速转动时, 线圈中产生的交变电动势如图乙所示。若仅磁场的区域发生了变化, 线圈中产生的电动势变为图丙所示实线部分, 则变化后磁场的区域可能为 ()



C 解析: 根据题意可知, 磁场区域变化前线圈产生的感应电动势为 $e = E \sin \omega t$, 由题图丙可知, 磁场区域变化后, 当 $E \sin \omega t = \frac{\sqrt{3}E}{2}$ 时, 线圈的侧边开始切割磁感线, 即当线圈旋转 $\frac{\pi}{3}$ 时开始切割磁感线, 由几何关系可知磁场区域平行于 x 轴的边长变为 $d' = 2d \cos \frac{\pi}{3} = d$, C 正确。

4. 杭州亚运会在亚运史上首次实现 100% 绿色电力供应。为确保杭州亚运会的绿电供应, 浙江电力交易中心组织将青海柴达木盆地、甘肃嘉峪关等古丝绸之路沿线生产的绿色电能, 通过特高压线路输送至浙江。如图为某组同学研究远距离输电过程的装置图, 矩形导线框 $ABCD$ 绕垂直于磁场的轴匀速转动, 产生的交变电动势 $e = 222\sqrt{2} \sin(100\pi t) \text{ V}$ 。导线框与理想升压变压器相连进行远距离输电, 输电线路总电阻 $R = 25 \Omega$, 理想降压变压器的原、副线圈匝数之比为 25 : 11, 降压变压器副线圈接入一台内阻 $r = 8.8 \Omega$ 的电动机, 其两端的电压 $U = 220 \text{ V}$, 效率 $\eta = 80\%$ 。导线框及其余导线电阻不计, 电表均为理想电表。求:

- (1) 电动机的机械功率 $P_{\text{机}}$;
- (2) 输电线上损失的功率 ΔP ;
- (3) 电流表的读数 I_A 。



解析: (1) 设通过电动机的电流为 I , 电动机内阻损耗的功率为 $P_{\text{损}}$, 由题意得 $P_{\text{损}} = I^2 r$, $P_{\text{损}} = (1 - \eta)P = (1 - \eta)UI$ 代入数据解得 $I = 5 \text{ A}$, $P = UI = 1\,100 \text{ W}$ 可得 $P_{\text{机}} = \eta P = 880 \text{ W}$ 。

(2) 设降压变压器原线圈两端的电压为 U_1 , 通过输电线的电流为 I_1 , 由题意得 $\frac{I}{I_1} = \frac{25}{11}$, 解得 $I_1 = 2.2 \text{ A}$

输电线上损耗的功率为 $\Delta P = I_1^2 R = 2.2^2 \times 25 \text{ W} = 121 \text{ W}$.

(3) 两变压器均为理想变压器, 则升压变压器的输入功率为 $P_1 = \Delta P + P = 1\ 100 \text{ W} + 121 \text{ W} = 1\ 221 \text{ W}$

由交变电动势的表达式可知, 发电机的输出电压峰值为 $222\sqrt{2} \text{ V}$, 则升压变压器的输入电压为

$$U_0 = \frac{222\sqrt{2}}{\sqrt{2}} \text{ V} = 222 \text{ V}$$

电流表的读数 I_A 为升压变压器的输入电流, 可得

$$I_A = \frac{P_1}{U_0} = \frac{1\ 221 \text{ W}}{222 \text{ V}} = 5.5 \text{ A}.$$

答案: (1) 880 W

(2) 121 W

(3) 5.5 A

章末质量评估(三)

(时间: 90 分钟 分值: 100 分)

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的。

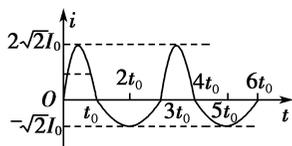
1. 根据交变电流瞬时值表达式 $i = 5\sin(500t) \text{ A}$ 可知, 从开始计时起, 第一次出现电流峰值所需的时间是 (D)

- A. 2 ms B. 1 ms
C. 6.28 ms D. 3.14 ms

2. 矩形线圈在匀强磁场中匀速转动, 从中性面开始转动 180° 的过程中, 平均感应电动势和最大感应电动势之比为 (A)

- A. $2 : \pi$ B. $\pi : 2$
C. $2\pi : 1$ D. $1 : 2\pi$

3. 如图所示是某种交流电的电流随时间变化的图线, $i > 0$ 部分的图线是一个正弦曲线的正半周, $i < 0$ 部分的图线是另一个正弦曲线的负半周, 其最大值如图所示, 则这种交变电流的有效值为 (C)

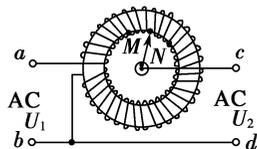


- A. I_0 B. $\sqrt{3}I_0$
C. $\sqrt{2}I_0$ D. $\sqrt{6}I_0$

4. 一自耦变压器如图所示, 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 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

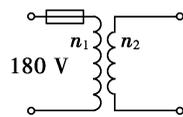
点的过程中

(C)



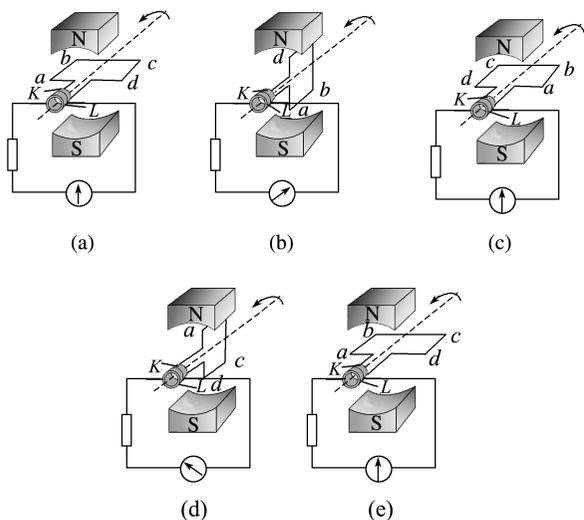
- A. $U_2 > U_1, U_2$ 降低
B. $U_2 > U_1, U_2$ 升高
C. $U_2 < U_1, U_2$ 降低
D. $U_2 < U_1, U_2$ 升高

5. 在如图所示的电路图中, 变压器是理想变压器, 原线圈匝数 $n_1 = 600$, 其上装有熔断电流为 0.5 A 的保险丝, 副线圈的匝数 $n_2 = 120$ 。要使整个电路正常工作, 当原线圈接在 180 V 的交变电源上时, 副线圈 (B)



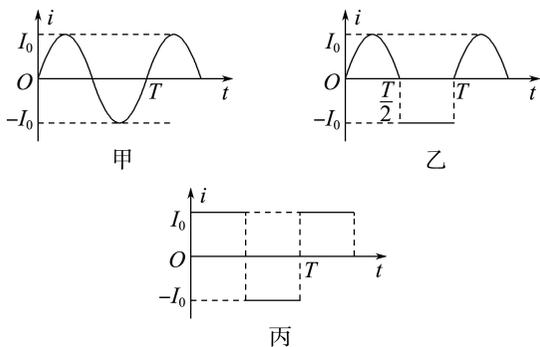
- A. 可接耐压值为 36 V 的电容器
B. 可接“ $36 \text{ V } 40 \text{ W}$ ”的安全灯两盏
C. 可接电阻为 14Ω 的电烙铁
D. 可串联量程为 $0 \sim 0.6 \text{ A}$ 的电流表测量其电路的总电流

6. 如图所示, (a) \rightarrow (b) \rightarrow (c) \rightarrow (d) \rightarrow (e) 过程是交流发电机发电的示意图, 线圈的 ab 边连在金属滑环 K 上, cd 边连在金属滑环 L 上, 用导体制成的两个电刷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连接。下列说法正确的是 (C)



- A. 图(a)中,线圈平面与磁感线垂直,磁通量变化率最大
- B. 若从图(b)开始计时,线圈中电流 i 随时间 t 的变化关系是 $i = I_m \sin \omega t$
- C. 当线圈转到图(c)位置时,感应电流最小,且感应电流方向改变
- D. 当线圈转到图(d)位置时,感应电动势最小, ab 边感应电流方向为 $b \rightarrow a$

7. 如图所示,图甲为正弦式交流电,图乙正值部分电流按正弦规律变化,负值部分电流恒定,图丙为方波式交流电,三幅图中的 I_0 和周期 T 相同。三种交流电的有效值之比为 (A)



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

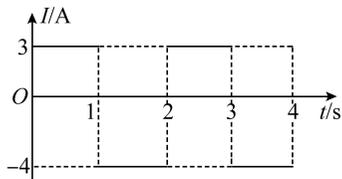
8. 我国新能源汽车的发展和 5G 网络的普及,都需要大量的电力支持。假设我国东部某省份新增电动汽车 400 万辆,其中 $\frac{1}{16}$ 的车处于充电状态,平均每个充电桩需要 40 千瓦的供电;5G 基站的数量是 500 万个,一个 5G 基站需要 4 千瓦的供电。利用“西电东送”的战略,把西部以清洁能源为主所发的电,采用 800 kV 超高压直流输电,送到东部省份,输电导线电阻为 1Ω 。若既要满足新增电动汽车

充电需求,又要满足 5G 基站供电需求,发电场所发电的总功率中,这两部分电能所消耗在输电导线上的电功率约为 (B)

- A. 10 万千瓦 B. 141 万千瓦
- C. 2 000 万千瓦 D. 3 000 万千瓦

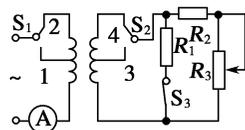
- 二、多项选择题:本题共 4 小题,每小题 4 分,共 16 分。在每小题给出的四个选项中,有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分,选对但不全的得 2 分,有选错的得 0 分。

9. 在一阻值为 $R = 10 \Omega$ 的定值电阻中通入如图所示的交变电流,则 (ABC)

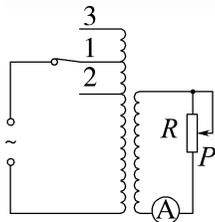


- A. 此交变电流的频率为 0.5 Hz
- B. 此交变电流的有效值约为 3.5 A
- C. 在 2~4 s 通过该电阻的电荷量为 1 C
- D. 在 0~2 s 电阻产生的焦耳热为 25 J

10. 如图所示,变压器原线圈接电压一定的交变电源,下列措施能使原线圈所接电流表的示数变小的是 (BC)

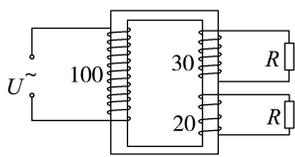


- A. 只将 S_1 从 2 拨向 1
- B. 只将 S_2 从 4 拨向 3
- C. 只将 S_3 从闭合改为断开
- D. 只将滑动变阻器 R_3 的滑片下移
11. 在如图所示的电路中,要使电流表读数变大,可采用的方法有 (BC)

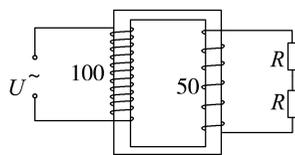


- A. 将 R 的滑片 P 向上移动
- B. 将 R 的滑片 P 向下移动
- C. 将开关 S 由 1 掷向 2
- D. 将开关 S 由 1 掷向 3
12. 如图甲、乙所示,理想变压器原线圈的输入电压均为 U ,匝数均为 100,副线圈上所连接的每个电阻的阻值均为 R 。图甲中两个副线圈的匝数分别为

30、20,图乙中副线圈的匝数为 50。下列说法正确的是 (BC)



甲

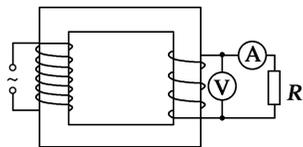


乙

- A. 图甲、乙中变压器的输入功率相等
- B. 图乙中每个电阻的功率为 $\frac{U^2}{16R}$
- C. 通过图甲、乙中原线圈的电流之比为 26 : 25
- D. 图甲中上、下两个电阻的功率之比为 4 : 9

三、非选择题:共 5 小题,共 60 分。

13.(12 分)一台理想变压器,其原线圈有 2 200 匝,副线圈有 440 匝,并接有一个 100Ω 的负载电阻,所有电表均为理想电表,如图所示。



- (1)当原线圈接在 44 V 的恒定电源上时,电压表示数为 _____ V,电流表示数为 _____ A。
- (2)当原线圈接在 220 V 的交变电源上时,电压表示数为 _____ V,电流表示数为 _____ A,此时输入功率为 _____ W,变压器效率为 _____。

答案:(1)0 0 (2)44 0.44 19.36 100%

14.(8 分)一居民小区有 440 户,以前每户平均消耗的电功率为 100 W,输入电压为 6 600 V,使用的降压变压器匝数比为 165 : 6,恰好能使额定电压为 220 V 的用电器正常工作。现在因家用电器增加,每户平均消耗的电功率为 250 W,若变压器的输入电压仍为 6 600 V,区间输电线路不变,为了使家用电器正常工作,需更换区间变压器,则此变压器的匝数比为多少?

答案:220 : 9

15.(12 分)某发电厂通过两条输电线向远处的用电设备供电,当发电厂输出的功率为 P_0 时,额定电压为 U 的用电设备消耗的功率为 P_1 。若发电厂先用一台升压变压器 T_1 把电压升高,仍通过原来的输电线供电,到达用电设备所在地,再通过一台降

压变压器 T_2 把电压降到用电设备的额定电压供用电设备使用。这样改变后,当发电厂输出的功率仍为 P_0 时,用电设备的数量可增加,其总功率增加至 P_2 。试求所用升压变压器 T_1 的原线圈与副线圈的匝数比 $\frac{n_1}{n_2}$ 以及降压变压器 T_2 的原线圈

与副线圈的匝数比 $\frac{n_3}{n_4}$ 各为多少。

解析:设输电线的电阻为 R ,当发电厂直接向用电设备供电时,输电线中的电流为 I_1 ,则有

$$P_1 = I_1 U, P_0 - P_1 = I_1^2 R$$

$$\text{解得 } I_1 = \frac{P_1}{U}, R = \frac{P_0 - P_1}{P_1^2} U^2$$

设降压变压器 T_2 的输入电流为 I_2' ,输出电流为 I_2 ,则有 $P_2 = I_2 U, P_0 - P_2 = I_2'^2 R$

$$\text{由此得 } I_2 = \frac{P_2}{U}$$

$$I_2' = \sqrt{\frac{P_0 - P_2}{R}} = \frac{P_1}{U} \sqrt{\frac{P_0 - P_2}{P_0 - P_1}}$$

故降压变压器 T_2 原线圈与副线圈的匝数比

$$\frac{n_3}{n_4} = \frac{I_2}{I_2'} = \frac{P_2}{P_1} \sqrt{\frac{P_0 - P_1}{P_0 - P_2}}$$

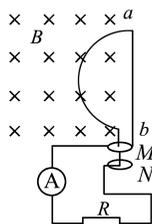
升压变压器 T_1 的原线圈与副线圈的匝数比

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2'}{I_1} = \sqrt{\frac{P_0 - P_2}{P_0 - P_1}}$$

$$\text{答案: } \sqrt{\frac{P_0 - P_2}{P_0 - P_1}} \quad \frac{P_2}{P_1} \sqrt{\frac{P_0 - P_1}{P_0 - P_2}}$$

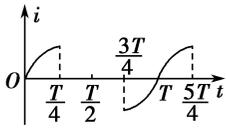
16.(14 分)如图所示,一个半径为 r 的半圆形线框,以直径 ab 为轴匀速转动,转速为 n , ab 的左侧有垂直于纸面向里(与 ab 垂直)的匀强磁场,磁感应强度为 B 。 M 和 N 是两个集流环(金属滑环)并带有电刷,负载电阻为 R ,线框、电流表和连接导线的电阻不计。求:

- (1)从图示位置起转过 $\frac{1}{4}$ 转的时间内负载电阻 R 上产生的热量;
- (2)从图示位置起转过 $\frac{1}{4}$ 转的时间内通过负载电阻 R 的电荷量;
- (3)电流表的示数。



解析:线框绕轴匀速转动时,在电路中产生如图所示的交变电流。此交变电动势的最大值为

$$E_m = BS\omega = B \cdot \frac{\pi r^2}{2} \cdot 2\pi n = \pi^2 Bnr^2。$$



(1)在线框从题图所示位置转过 $\frac{1}{4}$ 转的时间内,电

$$\text{动势的有效值为 } E = \frac{E_m}{\sqrt{2}} = \frac{\sqrt{2}\pi^2 Bnr^2}{2}$$

电阻 R 上产生的热量

$$Q = \frac{E^2}{R} \cdot \frac{T}{4} = \frac{\pi^4 B^2 r^4 n}{8R}。$$

(2)在线框从题图所示位置转过 $\frac{1}{4}$ 转的时间内,电

$$\text{动势的平均值 } \bar{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

通过 R 的电荷量

$$q = \bar{I} \cdot \Delta t = \frac{\bar{E}}{R} \cdot \Delta t = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{\pi Br^2}{2R}。$$

(3)设此交变电动势在一个周期内的有效值为 E' ,

$$\text{由有效值的定义,得 } \frac{\left(\frac{E_m}{\sqrt{2}}\right)^2}{R} \cdot \frac{T}{2} = \frac{E'^2}{R} T$$

$$\text{解得 } E' = \frac{E_m}{2} = \frac{\pi^2 Bnr^2}{2}$$

$$\text{故电流表的示数为 } I = \frac{E'}{R} = \frac{\pi^2 r^2 nB}{2R}。$$

$$\text{答案: (1) } \frac{\pi^4 B^2 r^4 n}{8R} \quad (2) \frac{\pi Br^2}{2R} \quad (3) \frac{\pi^2 r^2 nB}{2R}$$

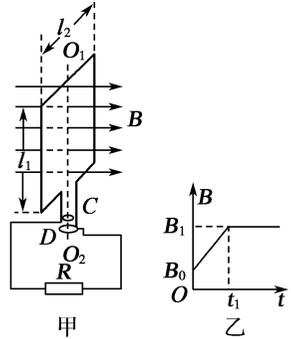
17. (14分)如图甲所示,长、宽分别为 l_1 、 l_2 的矩形金属线圈置于竖直平面内,其匝数为 n ,总电阻为 r ,可绕其竖直中心轴 O_1O_2 转动。线圈的两个末端分别与两个彼此绝缘的铜环 C 、 D (集流环) 焊接在一起,并通过电刷和定值电阻 R 相连。线圈所在空间有水平向右的匀强磁场,磁感应强度 B 的大小随时间 t 的变化规律如图乙所示,其中 B_0 、 B_1 和 t_1 均为已知量。在 $0 \sim t_1$ 的时间段,线圈保持静止,且线圈平面和磁场垂直; t_1 时刻后线圈在外力的驱动下开始绕其竖直中心轴以角速度 ω 匀速

转动。求:

(1) $0 \sim t_1$ 时间段通过电阻 R 的电流大小;

(2) 线圈匀速转动后,在转动一周的过程中电流通过电阻 R 产生的热量;

(3) 线圈匀速转动后,从图甲所示位置转过 90° 的过程中,通过电阻 R 的电荷量。



解析:(1) $0 \sim t_1$ 时间段,线圈中的感应电动势

$$E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{nl_1l_2(B_1 - B_0)}{t_1}$$

根据闭合电路欧姆定律可知,通过电阻 R 的电流

$$I = \frac{E}{R+r} = \frac{nl_1l_2(B_1 - B_0)}{(R+r)t_1}。$$

(2) 线圈产生感应电动势的最大值 $E_m = nB_1l_1l_2\omega$

$$\text{感应电动势的有效值 } E = \frac{\sqrt{2}}{2} nB_1l_1l_2\omega$$

$$\text{通过电阻 } R \text{ 的电流的有效值 } I = \frac{\sqrt{2}nB_1l_1l_2\omega}{2(R+r)}$$

$$\text{线圈转动一周所需的时间 } t = \frac{2\pi}{\omega}$$

转动一周的过程中,电阻 R 产生的热量

$$Q = I^2 R t = \pi R \omega \left(\frac{nB_1l_1l_2}{R+r} \right)^2。$$

(3) 线圈从题图甲所示位置转过 90° 的过程中,

$$\text{平均感应电动势 } \bar{E} = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{nB_1l_1l_2}{\Delta t}$$

$$\text{平均感应电流 } \bar{I} = \frac{nB_1l_1l_2}{\Delta t(R+r)}$$

$$\text{通过电阻 } R \text{ 的电荷量 } q = \bar{I} \Delta t = \frac{nB_1l_1l_2}{R+r}。$$

$$\text{答案: (1) } \frac{nl_1l_2(B_1 - B_0)}{(R+r)t_1} \quad (2) \pi R \omega \left(\frac{nB_1l_1l_2}{R+r} \right)^2$$

$$(3) \frac{nB_1l_1l_2}{R+r}$$

第四章

电磁振荡与电磁波

1 电磁振荡

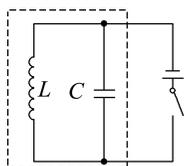
学习任务目标

1. 知道 LC 振荡电路及其电流、周期、频率。(物理观念)
2. 会分析 LC 振荡电路中电荷量、电场、电流、磁场的动态变化情况以及电场能与磁场能的转化情况。(科学思维)
3. 培养实验能力和分析推理能力。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 电磁振荡的产生和理解

1. 振荡电流:大小和方向都随时间做周期性迅速变化的电流。
2. 振荡电路:能够产生振荡电流的电路。
3. LC 振荡电路:由线圈 L 和 电容器 C 组成的电路,是最简单的振荡电路,称为 LC 振荡电路。如图所示:

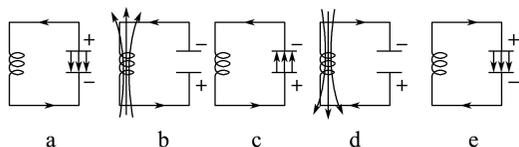


LC 振荡电路

4. 电磁振荡:在 LC 振荡电路中,电场能和磁场能在周期性地相互转化,这种现象叫作电磁振荡。
5. 电磁振荡中的能量变化
 - (1) 电容器放电过程中,电场能向磁场能转化。
 - (2) 电容器充电过程中,磁场能向电场能转化。
6. 无阻尼振荡和阻尼振荡
 - (1) 阻尼振荡:在电磁振荡中,振荡电路中的能量逐渐损耗,振荡电流的振幅逐渐减小,直到停止振荡。
 - (2) 无阻尼振荡:在电磁振荡中,如果没有能量损失,振荡将永远持续下去,振荡电流的振幅永远保持不变。

[科学思维]

试判断下面电磁振荡过程,各图电容器属于充电过程还是放电过程。



电磁振荡过程

- (1) 图 a 属于放电过程。
- (2) 图 b 属于充电过程。
- (3) 图 c 属于充电过程。
- (4) 图 d 属于放电过程。
- (5) 图 e 属于充电过程。

[判一判]

1. 要产生持续变化的电流,可以通过线圈和电容器组成的电路实现。 ()
2. LC 振荡电路的电容器放电完毕时,回路中磁场能最小,电场能最大。 ()
3. LC 振荡电路中电流增大时,电容器上的电荷量一定减少。 ()
4. LC 振荡电路中,电容器里的电场强度 E 、线圈里的磁感应强度 B 都在周期性的变化。 ()

知识点二 电磁振荡的周期和频率

1. 周期:电磁振荡完成一次周期性变化需要的时间。
2. 频率:1 s 内完成周期性变化的次数。
3. 振荡电路里发生无阻尼振荡时的周期和频率叫作振荡电路的固有周期和固有频率。
4. LC 振荡电路的周期和频率公式: $T = 2\pi\sqrt{LC}$, $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 。其中周期 T 、频率 f 、电感 L 、电容 C 的单位分别是秒(s)、赫兹(Hz)、亨利(H)、法拉(F)。

[科学思维]

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

\swarrow LC 振荡电路的频率
 \searrow 电容器的电容
 \swarrow 线圈的自感系数

[做一做]

要想增大 LC 振荡电路中产生的振荡电流的频率,可采用的方法是 ()

- A. 增大电容器两极板的间距
 B. 升高电容器的充电电压
 C. 增加线圈的匝数
 D. 在线圈中插入铁芯

A 解析: LC 振荡电路中产生的振荡电流的频率

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \text{ 要想增大频率, 应该减小电容 } C, \text{ 或减}$$

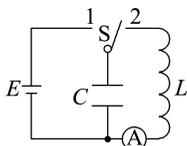
小线圈的自感系数 L , 再根据 $C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知增大电容器两极板的间距, 电容减小, 所以 A 正确; 升高电容器的充电电压, 电容不变, B 错误; 增加线圈的匝数、在线圈中插入铁芯, 自感系数增大, 频率减小, 故 C、D 错误。

任务型课堂

任务一 电磁振荡的变化规律

[探究活动]

如图所示, 将开关 S 掷向 1 端, 先给电容器充电; 再将开关 S 掷向 2 端, 使电容器通过线圈放电。



(1) 电容器通过线圈放电过程中, 线圈中的电流怎样变化? 电容器的电场能转化为什么形式的能?

(2) 在电容器反向充电过程中, 线圈中的电流如何变化? 电容器和线圈中的能量是如何转化的?

(3) 线圈中自感电动势的作用是什么?

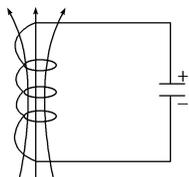
提示: (1) 电容器放电过程中, 线圈中的电流逐渐增大; 电容器的电场能转化为磁场能。

(2) 在电容器反向充电过程中, 线圈中的电流逐渐减小, 线圈中的磁场能转化为电容器的电场能。

(3) 线圈中电流变化时, 产生的自感电动势阻碍电流的变化。

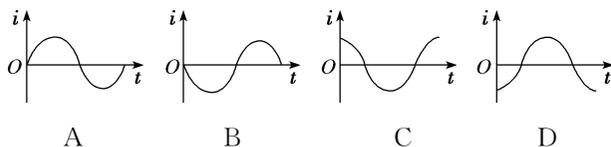
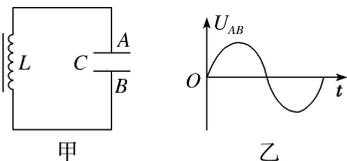
[评价活动]

1. 如图所示为 LC 振荡电路某时刻的情况, 以下说法正确的是 (D)



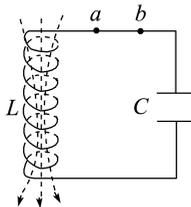
- A. 电容器正在充电
 B. 电感线圈中的磁场能正在减小
 C. 电感线圈中的电流正在减小
 D. 此时自感电动势正在阻碍电流的增加

2. 在如图甲所示的振荡电路中, 电容器极板间电压随时间的变化规律如图乙所示, 则电路中振荡电流随时间的变化图像是(振荡电流以电路中逆时针方向为正) ()



D 解析: 电容器极板间的电压 $U = \frac{Q}{C}$, 随电容器电荷量的增加而增大, 随电容器电荷量的减少而减少。从图乙可以看出, 在 $0 \sim \frac{T}{4}$ 这段时间电容器充电, 且 $U_{AB} > 0$, 即 $U_A > U_B$, A 板应带正电, 只有顺时针方向的电流才能使 A 板被充电后带正电, 同时考虑到 $t=0$ 时刻电压为零, 电容器电荷量为零, 电流最大, 可知 $t=0$ 时刻, 电流为负向最大, 所以选项 D 正确。

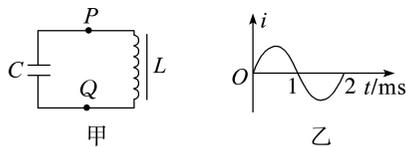
3. (多选) 在 LC 振荡电路中, 某时刻线圈中磁场方向如图所示, 则下列说法正确的是 ()



- A. 若磁场正在加强, 则电容器正在放电, 电流方向为 $a \rightarrow b$
 B. 若磁场正在减弱, 则电场能正在减小, 电容器下极板带负电荷
 C. 若磁场正在减弱, 则电场能正在增大, 电容器下极板带负电荷
 D. 若磁场正在加强, 则电容器正在充电, 电流方向为 $b \rightarrow a$

AC 解析:在电磁振荡的一个周期内,磁场加强的过程,必定是电容器放电过程,振荡电流增大而电场能减小,根据线圈磁感线方向,用安培定则可确定线圈上振荡电流的方向,从而得知回路中电流方向是 $a \rightarrow b$,注意到这是放电电流,故电容器下极板带正电荷;磁场正在减弱的过程,必定是电容器充电过程,振荡电流减小而电场能增大,用安培定则判断此时电流方向仍是 $a \rightarrow b$,但这是充电电流,故负电荷不断聚到下极板,上极板则出现等量正电荷,电容器两极板的电荷不断增加。由以上分析可知,故 A、C 正确,B、D 错误。

4.(多选)在如图甲所示的 LC 振荡电路中,通过 P 点的电流随时间变化的图像如图乙所示,若把通过 P 点向右的电流规定为 i 的正方向,则 ()

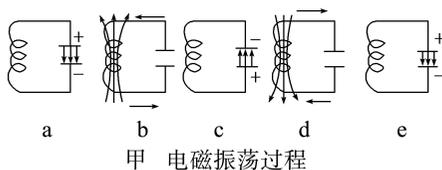


- A. 0 至 0.5 ms, 电容器 C 正在充电
- B. 0.5 ms 至 1 ms, 电容器上极板带正电
- C. 1 ms 至 1.5 ms, Q 点比 P 点电势高
- D. 1.5 ms 至 2 ms, 磁场能在减少

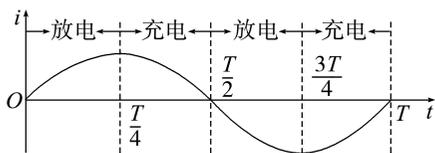
CD 解析:由题图乙知 0 至 0.5 ms 时间段 i 在增大,电容器正在放电,A 错误;0.5 ms 至 1 ms 内,电流在减小,应为充电过程,电流方向不变,电容器上极板带负电,B 错误;在 1 ms 至 1.5 ms 内,为放电过程,电流方向改变,Q 点比 P 点电势高,C 正确;1.5 ms 至 2 ms 内为充电过程,磁场能在减少,D 正确。

任务总结

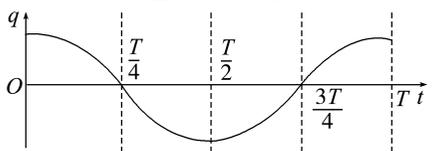
1. 振荡电流、极板的电荷量随时间的变化图像



甲 电磁振荡过程



乙 以逆时针方向电流为正



丙 图中 q 为上极板的电荷量

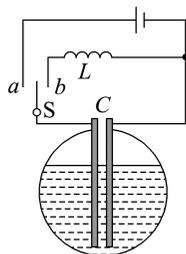
2. LC 电路振荡过程中各物理量的对应关系

时间	电荷量 q	电场强度 E	电压 u	电场能 $E_{电}$	电流 i	磁感应强度 B	磁场能 $E_{磁}$
$0 \sim \frac{T}{4}$ 电容器放电	减小	减小	减小	减小	增大	增大	增大
$t = \frac{T}{4}$ 时刻	零	零	零	零	最大	最大	最大
$\frac{T}{4} \sim \frac{T}{2}$ 反向充电	增大	增大	增大	增大	减小	减小	减小
$t = \frac{T}{2}$ 时刻	最大	最大	最大	最大	零	零	零
$\frac{T}{2} \sim \frac{3T}{4}$ 反向放电	减小	减小	减小	减小	增大	增大	增大
$t = \frac{3T}{4}$ 时刻	零	零	零	零	最大	最大	最大
$\frac{3T}{4} \sim T$ 电容器充电	增大	增大	增大	增大	减小	减小	减小

任务二 影响电磁振荡的周期和频率的因素

[探究活动]

为了测量储罐中不导电液体的高度,将与储罐外壳绝缘的两块平行金属板构成的电容 C 置于储罐中,通过开关 S 与电感 L 或电源相连。当开关从 a 端拨到 b 端时,由电感 L 与电容 C 构成的回路中产生振荡电流。



当储罐内的液面高度降低时,所测得的 LC 回路振荡电流的频率如何变化?

提示:当储罐内的液面高度降低时,电容器两极板之间的电解质减少,则电容器电容变小,因为电感不变,根据 $T = 2\pi\sqrt{LC}$ 可知周期 T 变小,则频率增大。

[评价活动]

1.(多选)电子钟的原理类似于摆钟,摆钟是利用单摆的周期性运动计时的,电子钟是利用 LC 振荡电路

来计时的。现有一台电子钟在家使用一段时间后，发现每昼夜总是快 1 min。造成这种现象的原因可能是 (BCD)

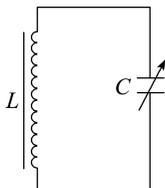
- A. L 不变, C 变大了 B. L 不变, C 变小了
C. L 变小了, C 不变 D. L 、 C 均减小了

2. 在 LC 振荡电路中, 电容器上的电荷量从最大值变化到零所需的最短时间是 ()

- A. $\frac{\pi}{4}\sqrt{LC}$ B. $\frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$
C. $\pi\sqrt{LC}$ D. $2\pi\sqrt{LC}$

B 解析: LC 振荡电路的周期 $T=2\pi\sqrt{LC}$, 其电容器上的电荷量从最大值变化到零的最短时间 $t=\frac{T}{4}$, 故 $t=\frac{\pi}{2}\sqrt{LC}$, B 正确。

3. 如图所示, LC 电路的 L 不变, C 可调, 要使振荡的频率从 700 Hz 变为 1 400 Hz, 则可以采用的办法有 ()



- A. 把电容增大到原来的 4 倍
B. 把电容增大到原来的 2 倍
C. 把电容减小到原来的 $\frac{1}{2}$
D. 把电容减小到原来的 $\frac{1}{4}$

D 解析: 由题意可知, 频率变为原来的 2 倍, 则周

期就变为原来的 $\frac{1}{2}$, 由 $T=2\pi\sqrt{LC}$ 知, L 不变, 当 $C=\frac{1}{4}C_0$ 时符合要求, 其中 C_0 为原电容, 故正确选项为 D。

任务总结

1. 影响线圈自感系数 L 的因素

影响线圈自感系数 L 的因素有线圈的匝数、有无铁芯及线圈截面积和长度等。匝数越多, 自感系数 L 越大, 有铁芯的线圈自感系数比无铁芯的线圈自感系数大。

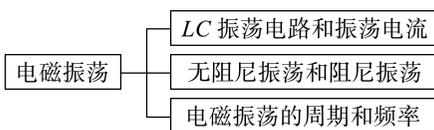
2. 影响电容器的电容 C 的因素

影响电容器的电容 C 的因素有两极板正对面积 S 、两板间介电常数 ϵ 以及两板间距 d 等。

由 $C=\frac{\epsilon S}{4\pi kd}$ (平行板电容器的电容), 不难判断 ϵ 、 S 、 d 变化时, 电容 C 变化。

一般来说, 改变电容器两极板间的正对面积较为方便, 只需要将可变电容器的动片旋出或旋入, 便可改变电容 C 的大小, 所以, 通常用改变电容器正对面积的方法改变 LC 振荡电路的振荡周期和频率。

提质归纳



课后素养评价(十三) 电磁振荡

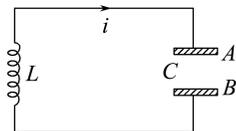
基础性·能力运用

知识点 1 LC 振荡电路

1. 关于 LC 振荡电路中的振荡电流, 下列说法中正确的是 (D)

- A. 振荡电流最大时, 电容器两极板间的电场强度最大
B. 振荡电流为零时, 线圈中自感电动势为零
C. 振荡电流增大的过程中, 线圈中的磁场能转化为电场能
D. 振荡电流减小的过程中, 线圈中的磁场能转化为电场能

2. 在如图所示的 LC 振荡电路中, 某时刻电流 i 的方向为顺时针, 则以下判断正确的是 (D)



- A. 若 A 板带正电, 则电流 i 在增大
B. 若电容器在放电, 则电流 i 在减小
C. 若电流 i 减小, 则线圈两端电压减小
D. 若只减小电容 C , 则振荡电路周期变小

知识点 2 电磁振荡的周期和频率

3. 要增大 LC 振荡电路的频率, 可采取的办法是 (D)

- A. 增大电容器两极板正对面积
B. 减少极板所带的电荷量
C. 在线圈中放入软铁棒

D. 减少线圈匝数

4. (多选) 电子钟是利用 LC 振荡电路来工作计时的, 现发现电子钟每天要慢 30 s, 造成这一现象的原因可能是 (BC)

- A. 电池用久了
B. 振荡电路中电容器的电容变大了
C. 振荡电路中线圈的电感变大了
D. 振荡电路中电容器的电容变小了

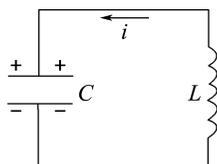
综合性 · 创新提升

5. (多选) 一个 LC 振荡电路中, 线圈的自感系数为 L , 电容器电容为 C , 从电容器上电压达到最大值 U 开始计时, 则 ()

- A. 至少经过 $\pi\sqrt{LC}$, 磁场能达到最大
B. 至少经过 $\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$, 磁场能达到最大
C. 在 $\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$ 时间内, 电路中的平均电流是 $\frac{2U}{\pi}\sqrt{\frac{C}{L}}$
D. 在 $\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$ 时间内, 电容器放电电量为 CU

BCD 解析: LC 振荡电路周期 $T=2\pi\sqrt{LC}$, 电容器电压最大时, 开始放电, 经 $\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}$ 时间, 放电结束, 此时电容器电量为零, 电路中电流最大, 磁场最强, 磁场能最大。因为 $q=CU, i=\frac{q}{t}$, 所以 $i=\frac{CU}{\frac{1}{2}\pi\sqrt{LC}}$, 得 $i=\frac{2U}{\pi}\sqrt{\frac{C}{L}}$ 。

6. 如图所示为某时刻 LC 振荡电路所处的状态, 则该时刻 ()



- A. 振荡电流 i 在增大
B. 电容器正在放电
C. 磁场能正在向电场能转化
D. 电场能正在向磁场能转化

C 解析: 从图中电容器两极板的带电情况和电流方向可知电容器正在充电, 故磁场能正在向电场能转化, C 正确。

7. (多选) 在 LC 回路中, 电容器充电后向线圈放电发生电磁振荡时, 若将电容器两极板间距离增大, 则振荡过程中 ()

- A. 电容器两板间最大电压变大
B. 振荡电流的最大值变大
C. 振荡电流的频率变大
D. 电容器所带电量最大值变大

ABC 解析: 在 LC 回路中, 电容器充电后向线圈

放电发生电磁振荡时, 若将电容器两极板间距离增大, 则其电容减小, 由电磁振荡周期公式 $T=2\pi\sqrt{LC}$ 得频率为 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, 振荡电流的频率变大, 电容器极板上所带的最大电量总是等于充电时的电量, 保持不变, 根据 $U=\frac{Q}{C}$ 知, 电容减小时, 两极板上的最大电压 U_m 变大。因为 LC 回路的振荡频率增大, 振荡周期变小, 而极板上所带最大电量不变, 所以在 $\frac{1}{4}T$ 内振荡电流的平均值 $\bar{I}=\frac{Q_m}{\frac{1}{4}T}$

$\frac{4Q_m}{T}$ 增大, 因为正弦式交变电流最大电流和平均电流有确定的对应关系, 所以振荡电流的最大值也变大, 故 A、B、C 选项正确, D 错误。故选 ABC。

8. 某 LC 电路的振荡频率为 520 kHz, 为使其提高到 1 040 kHz, 以下说法正确的是 ()
- A. 调节可变电容, 使电容增大为原来的 4 倍
B. 调节可变电容, 使电容减小为原来的 $\frac{1}{4}$
C. 调节电感线圈, 使线圈匝数增加到原来的 4 倍
D. 调节电感线圈, 使线圈电感变为原来的 $\frac{1}{2}$

B 解析: 由振荡频率公式 $f=\frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 可知, 要使频率提高到原来的 2 倍, 则可以减小电容使之变为原来的 $\frac{1}{4}$, 或减小电感使之变为原来的 $\frac{1}{4}$, 故 B 正确, A、C、D 错误。

9. 某 LC 振荡电路中, 已知振荡电流变化规律为 $i=0.14\sin(1\ 000t)$ A, 电路中线圈的自感系数 $L=50$ mH, 则电容器的电容 $C=$ _____, 该振荡电流的有效值为 _____。($\sqrt{2}\approx 1.4$)

解析: 由 $\omega=\frac{2\pi}{T}$, 得 $T=\frac{2\pi}{\omega}=\frac{2\pi}{1\ 000}$ s $=2\pi\times 10^{-3}$ s

又因 $T=2\pi\sqrt{LC}$
得 $C=\frac{T^2}{4\pi^2L}=\frac{(2\pi\times 10^{-3})^2}{4\pi^2\times 50\times 10^{-3}}$ F $=2.0\times 10^{-5}$ F

因振荡电流最大值 $I_m=0.14$ A

所以有效值为 $I=\frac{I_m}{\sqrt{2}}=\frac{0.14}{1.4}$ A $=0.10$ A。

答案: 2.0×10^{-5} F 0.10 A

10. LC 振荡电路的电容 $C=556$ pF, 电感 $L=1$ mH,

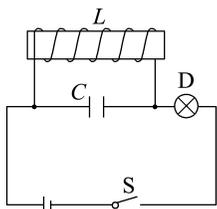
若其能向外发射电磁波,则其周期是多少? 电容器极板所带电荷量从最大变为零,经过的最短时间是多少? (取 $\pi=3.14$,结果保留三位有效数字)

解析: $T = 2\pi \sqrt{LC} = 2 \times 3.14 \times \sqrt{1 \times 10^{-3} \times 556 \times 10^{-12}} \text{ s} \approx 4.68 \times 10^{-6} \text{ s}$

LC 振荡电路周期即其发射的电磁波的周期,电容器极板上所带电荷量由最大变为零,经过的最短时间为 $\frac{T}{4}$,则 $t = \frac{T}{4} = 1.17 \times 10^{-6} \text{ s}$ 。

答案: $4.68 \times 10^{-6} \text{ s}$ $1.17 \times 10^{-6} \text{ s}$

11. 如图所示,线圈 L 的自感系数为 25 mH ,电阻为零,电容器 C 的电容为 $40 \mu\text{F}$,灯泡 D 的规格是“ $4 \text{ V } 2 \text{ W}$ ”。开关 S 闭合后,灯泡正常发光, S 断开后,LC 中产生振荡电流。若从 S 断开开始计时,求:



(1) 当 $t = \frac{\pi}{2} \times 10^{-3} \text{ s}$ 时,电容器的右极板所带电荷性;

(2) 当 $t = \pi \times 10^{-3} \text{ s}$ 时,LC 回路中的电流大小。

解析: (1) S 断开后,LC 回路中产生振荡电流,振荡周期为

$$T = 2\pi \sqrt{LC} = 2\pi \times 10^{-3} \text{ s}$$

则 $t = \frac{\pi}{2} \times 10^{-3} \text{ s} = \frac{T}{4}$ 时,电容器充电完毕,右极板带正电荷。

(2) 开关 S 闭合后,灯泡正常发光时电路中的电流

$$I = \frac{P}{U} = \frac{2}{4} \text{ A} = 0.5 \text{ A}$$

当 $t = \pi \times 10^{-3} \text{ s} = \frac{T}{2}$ 时,LC 回路中的电流达到反向最大,即 $I = 0.5 \text{ A}$ 。

答案: (1) 正电荷

(2) 0.5 A

2 电磁波

3 电磁波谱

学习任务目标

1. 了解电磁场理论和电磁波的特点;了解电磁波谱的构成,知道各波段的电磁波的主要作用及应用。(物理观念)
2. 通过查阅与电磁波谱中各种频段波应用的相关资料,培养收集信息、加工处理信息的能力。(科学思维)
3. 体会电磁波的应用对现代社会的影响,明确不同的电磁波具有的不同用途和危害,感悟现代科技的正反两个方面,培养辩证唯物主义的价值观。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 电磁波

1. 麦克斯韦电磁理论的两个基本假设

- (1) 变化的磁场能够在周围空间产生电场。
- (2) 变化的电场能够在周围空间产生磁场。

2. 电磁波

(1) 定义:变化的电场和磁场交替产生而形成的电磁场由近及远传播形成电磁波。

(2) 传播特点

- ① 电磁波的传播不需要介质,可以在真空中传播。
- ② 电磁波的电场和磁场的方向都与传播方向垂直,所以电磁波是横波。

(3) 电磁波在传播过程中,频率不变,始终与振荡电路的频率相同,在真空中的波速等于光速 c 。

3. 赫兹实验证实了电磁波的存在。

知识点二 电磁波谱

1. 电磁波谱

电磁波包括无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线等,把这些电磁波按波长或频率排列起来,就形成了电磁波谱。

2. 电磁波的应用

项目	波长范围	用途
无线电波	几毫米到几十千米	通信、广播、导航
红外线	$760 \sim 10^6 \text{ nm}$	加热、遥控、遥感
可见光	$400 \sim 760 \text{ nm}$	引起视觉
紫外线	$60 \sim 400 \text{ nm}$	杀菌消毒、荧光作用
X射线	$10^{-11} \sim 10^{-8} \text{ m}$	检查工件、探测、透视

续表

项目	波长范围	用途
γ 射线	$10^{-16} \sim 10^{-11} \text{ m}$	工业探伤、 <u>治疗</u>

[科学思维]

请描述下列应用中所用到的电磁波种类。



- (1)甲: 紫外线。
- (2)乙: X 射线。
- (3)丙: 红外线。
- (4)丁: 无线电波。

[判一判]

- 1. 可见光是整个电磁波谱中极狭窄的一段, 其中红光波长最长。 ()
- 2. 红外线属于可见光。 ()
- 3. 紫外线有明显的热效应。 ()

任务型课堂

任务一 麦克斯韦电磁理论与电磁波

1. 建立了完整的电磁场理论并首先预言电磁波存在的科学家是 (D)

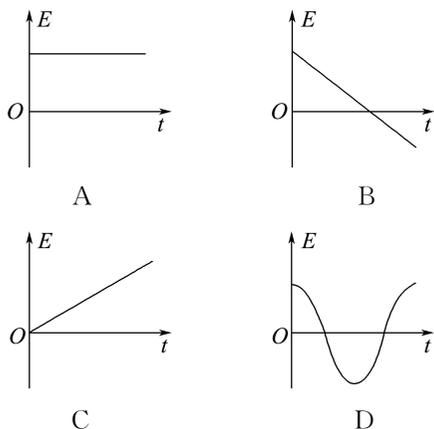
- A. 法拉第
- B. 奥斯特
- C. 赫兹
- D. 麦克斯韦

2. (多选) 关于电磁场的理论, 下列说法中正确的是 ()

- A. 变化的电场周围产生的磁场一定是变化的
- B. 变化的电场周围产生的磁场不一定是变化的
- C. 均匀变化的磁场周围产生的电场也是均匀变化的
- D. 振荡电场在周围空间产生同样频率的振荡磁场

BD 解析: 变化的电场产生磁场有两层含义, 即均匀变化的电场产生恒定的磁场, 非均匀变化的电场产生变化的磁场; 振荡的电场产生同频率的振荡磁场, 均匀变化的磁场产生恒定的电场, 故 B、D 正确, A、C 错误。

3. 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 ()



D 解析: 由麦克斯韦电磁场理论知, 当空间出现恒定的电场时(如 A 图), 由于其不激发磁场, 故无电磁波产生; 当出现均匀变化的电场时(如 B 图、C

图), 会激发出磁场, 但磁场恒定, 不会再在较远处激发起电场, 故也不会产生电磁波; 只有周期性变化的电场(如 D 图), 才会激发出周期性变化的磁场, 其又激发出周期性变化的电场……如此不断激发, 便会形成电磁波。

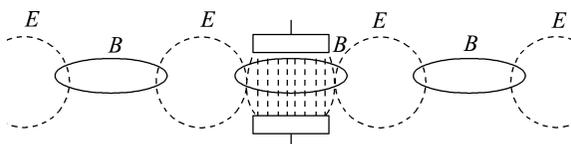
任务总结

1. 对麦克斯韦电磁场理论的理解

恒定的电场不产生磁场	恒定的磁场不产生电场
均匀变化的电场在周围空间产生恒定的磁场	均匀变化的磁场在周围空间产生恒定的电场
不均匀变化的电场在周围空间产生变化的磁场	不均匀变化的磁场在周围空间产生变化的电场
振荡电场产生同频率的振荡磁场	振荡磁场产生同频率的振荡电场

2. 对电磁场的理解

(1) 电磁场的产生: 振荡电场产生同频率的振荡磁场, 振荡磁场产生同频率的振荡电场, 周期性变化的电场、磁场相互激发, 形成的电磁场一环套一环, 如图所示。



(2) 电磁场并非简单地将电场、磁场相加, 而是相互联系、不可分割的统一整体。在电磁场示意图中, 电场 E 矢量和磁场 B 矢量, 在空间相互激发时, 相互垂直, 以光速 c 在空间传播。

任务二 电磁波的特点及应用

[探究活动]

当今许多医院的医疗器械应用了一些物理知识,了解其原理对这些器械的使用能有很大帮助。

理疗常用理疗烤灯照射伤口,可使伤口愈合得较好,这里的烤灯是利用什么物理知识? X光机和紫外线灯呢?

提示:该烤灯又称红外线烤灯,主要用于促进局部血液循环,它利用的是红外线的热效应,使人体局部受热,血液循环加快。X光机是用来透视人的体内器官的,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,所以采用了X射线。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效应。

[评价活动]

1.(多选)关于电磁波谱,下列说法中正确的是

(AB)

- A. X射线对生命物质有较强的辐射作用,过量的X射线辐射会引起生物体的病变
- B. γ 射线是波长最短的电磁波,它比X射线的频率还要高
- C. 紫外线比紫光更容易发生干涉和衍射
- D. 在电磁波谱中,最容易发生衍射现象的是 γ 射线

2.关于电磁波的特性和应用,下列说法正确的是

()

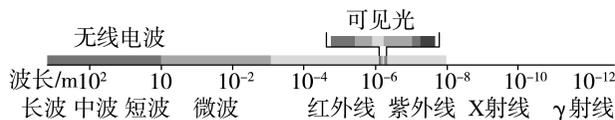
- A. 红外线和X射线都有很高的穿透本领,常用于医学上透视人体
- B. 过强的紫外线照射有利于人体皮肤的健康
- C. 电磁波中频率最大的为 γ 射线,最容易发生衍射现象
- D. 紫外线和X射线都可以使感光底片感光

D 解析:X射线有很高的穿透本领,常用于医学透视人体,红外线没有,选项A错误;过强的紫外线照射对人的皮肤有害,选项B错误;电磁波中频率最大的为 γ 射线,其波长最短,最不容易发生衍射现象,选项C错误。

3.电磁波的频率范围很广,按电磁波的波长或频率大小的顺序把它们排列成谱,叫电磁波谱,如图所示。

下列说法正确的是

()



- A. 移动电话使用可见光进行Wi-Fi联网
- B. 冷物体的红外辐射比热物体的红外辐射强
- C. 紫外线具有的能量足以破坏细胞中的物质
- D. X射线的频率比 γ 射线的频率高

C 解析:移动电话经常使用Wi-Fi联网,也会用蓝牙传输数据,两种方式均是利用电磁波来传输信息的,属于电磁波中的微波,故A错误;根据辐射的特点可知,所有物体都发射红外线,热物体的红外辐射比冷物体的红外辐射强,故B错误;紫外线频率较高,所以具有较高的能量,可以破坏细胞中的物质,通常用于杀菌,故C正确;在电磁波谱中,常见电磁波有无线电波、红外线、可见光、紫外线、X射线、 γ 射线,它们的波长是依次变短,频率依次变高,故D错误。

任务总结

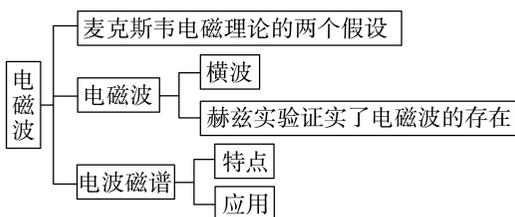
1.电磁波的共性

- (1)不同频率的电磁波,它们的行为服从相同的规律,各波段都有重叠,不能严格区分。
- (2)都遵守公式 $v = \lambda f$,它们在真空中的传播速度都是 $c = 3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$ 。
- (3)它们都可以在真空中传播。
- (4)它们都具有反射、折射、衍射和干涉的特性。

2.电磁波的个性

- (1)不同电磁波的频率或波长不同,表现出不同的特性。波长越长越容易产生干涉、明显衍射现象,波长越短穿透能力越强。
- (2)同频率的电磁波,在不同介质中速度不同。不同频率的电磁波,在同一种介质中传播时,频率越高,折射率越大,速度越小。

► 提质归纳



课后素养评价(十四) 电磁波 电磁波谱

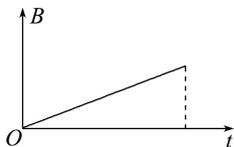
基础性·能力运用

知识点 1 麦克斯韦电磁理论

1. 如图所示带电的平行板电容器 C , 在用绝缘工具缓慢且匀速地拉大板间距离的过程中, 在电容器周围空间 (A)



- A. 会产生变化的磁场
 B. 会产生稳定的磁场
 C. 不产生磁场
 D. 会产生周期性变化的磁场
2. 如图所示是空间某区域的磁感应强度 B 随时间 t 的变化图像, 在其周围空间产生的电场中的某一点场强 E (C)



- A. 逐渐增强
 B. 逐渐减弱
 C. 不变
 D. 无法确定

知识点 2 电磁波

3. 电磁波与机械波具有的共同性质是 (B)
- A. 都是横波
 B. 都能传输能量
 C. 都能在真空中传播
 D. 都具有恒定的波速
4. 关于电磁波, 下列说法中正确的是 (A)
- A. 电磁波是电磁场由发生区域向远处的传播
 B. 电磁波在任何介质中的传播速度均为 3×10^8 m/s
 C. 电磁波由真空进入某种介质传播时, 波长将变长
 D. 电磁波只能在真空中传播

知识点 3 电磁波谱

5. (多选) 关于生活中遇到的各种波, 下列说法不正确的是 (ACD)
- 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

综合性·创新提升

6. 侦察卫星上装有某种遥感照相机, 可用来探测军用和民用目标。这种照相机能拍到晚上关灯行驶的汽车, 其利用的电磁波属于 ()

- A. 可见光波段 B. 红外波段
 C. 紫外波段 D. X 射线波段

B 解析: 所有的物体都能发出红外线, 高温物体的红外线辐射比低温物体的强, 侦察卫星上装的遥感照相机, 实际上是红外线探测器, 它能在较冷的背景下探测出较热物体的红外线辐射, 这是红外线摄影的基础。再者, 红外线波长比其他波(如可见光、紫外线、X 射线)的波长长, 有较好的穿透云雾的能力, 故 B 正确。其他选项的光不具备以上特点, 故 A、C、D 错误。

7. 下列关于紫外线的说法正确的是 ()

- A. 照射紫外线可促进人体对钙的吸收, 因此人们应尽可能多地接受紫外线的照射
 B. 一切高温物体发出的光都含有紫外线
 C. 紫外线有很强的荧光效应, 常被用来防伪
 D. 紫外线有杀菌消毒的作用, 是因为其有热效应

C 解析: 紫外线有显著的生理作用, 杀菌能力较强, 是由于紫外线频率较高, 具有较高的能量, 并不是因为热效应, 在医疗上有其应用, 但是过多地接受紫外线的照射, 对人体来说也是有害的, A、D 错误; 并不是所有的高温物体发出的光都含有紫外线, B 错误; 紫外线有很强的荧光效应, 可用来防伪, C 正确。

8. 验钞机发出的光能使钞票上的荧光物质发光, 电视机、空调的遥控器发出的光能控制电视机、空调的

工作状态。对于它们发出的光,以下判断正确的是 ()

- A. 它们发出的都是红外线
 B. 它们发出的都是紫外线
 C. 验钞机发出的是红外线,遥控器发出的是紫外线
 D. 验钞机发出的是紫外线,遥控器发出的是红外线
- 解析:** 紫外线有较强的荧光作用,能使荧光物质发出荧光,验钞机发出的是紫外线;红外线波长较长,容易发生衍射,能很方便地遥控家用电器。故 D 正确。

9. (多选) 下列说法中符合实际的是 ()

- A. 在医院里常用 X 射线对病房和手术室消毒
 B. 医院里常用紫外线对病房和手术室消毒
 C. 在人造地球卫星上对地球进行拍摄是利用紫外线有较好的分辨能力
 D. 在人造地球卫星上对地球进行拍摄是利用红外线有较好的穿透云雾烟尘的能力

BD 解析: 紫外线具有杀菌消毒的作用, X 射线穿透能力较强,因此医院里常用紫外线对病房和手术室进行消毒,用 X 射线透视人体;在人造地球卫星上对地球进行拍摄是利用红外线的衍射能力较强,容易透过云雾烟尘的特点,所以 B、D 正确。

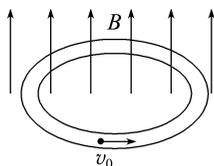
10. (多选) 关于电磁波与声波的比较,下列说法正确的是 ()

- A. 电磁波的传播不需要介质,声波的传播需要介质
 B. 由空气进入水中后,电磁波速度变小,声波速度变大
 C. 由空气进入水中后,电磁波波长变短,声波波长变长
 D. 由空气进入水中后,电磁波波长变长,声波波长变短

ABC 解析: 电磁波传播不需要介质,而声波属于机械波,声波传播离不开介质, A 正确;电磁波在空气中的速度接近光在真空中的速度,进入水中速度变小,而声波进入水中后速度反而比空气中大, B 正确;由 $v = \lambda f$,电磁波或声波由一种介质进入另一种介质时,频率不变,可见波速 v 与波长 λ 成正比, C 正确, D 错误。

11. (多选) 如图所示,在内壁光滑、水平放置的玻璃圆环内,有一直径略小于环口径的带正电的小球,正以速率 v_0 沿逆时针方向匀速运动。若在此空间内突然加上方向竖直向上、磁感应强度 B 随时间成正比增加的变化磁场,设运动过程中小球所带

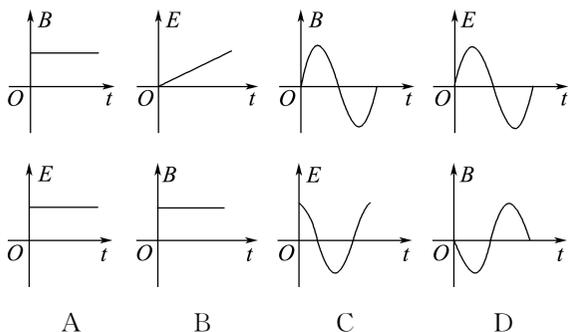
的电荷量不变,那么 ()



- A. 小球对玻璃圆环的压力不断增大
 B. 小球受到的磁场力不断增大
 C. 小球先沿逆时针方向做减速运动,过一段时间后,其又沿顺时针方向做加速运动
 D. 磁场力对小球一直不做功

CD 解析: 因为玻璃圆环所在处有均匀变化的磁场,在周围产生稳定的涡旋电场,对带正电的小球做功。由楞次定律,判断电场方向为顺时针方向。在电场力的作用下,小球先沿逆时针方向做减速运动,后沿顺时针方向做加速运动。小球在水平面内沿轨迹半径方向受两个力作用:环的弹力 F_N 和磁场的洛伦兹力 $f = Bqv$,而且两个力的矢量和时刻等于小球做圆周运动的向心力。考虑到小球速度大小的变化和方向的变化以及磁场强弱的变化,弹力 F_N 和洛伦兹力 f 不一定始终在增大。磁场力始终与圆周运动的线速度方向垂直,所以磁场力对小球不做功。故选项 C、D 正确。

12. (多选) 应用麦克斯韦的电磁场理论判断下列表示电场产生磁场(或磁场产生电场)的关系图像(每个选项中的上图是表示变化的场,下图是表示变化的场产生的另外的场)正确的是 ()



BC 解析: A 图中的上图磁场是稳定的,由麦克斯韦的电磁场理论可知周围空间不会产生电场, A 图中的下图是错误的。B 图中的上图是均匀变化的电场,应该产生恒定的磁场,下图的磁场是恒定的,所以 B 图正确。C 图中的上图是振荡的磁场,它能产生同频率的振荡电场,且相位相差 $\frac{\pi}{2}$, C 图是正确的。D 图的上图是振荡的电场,在其周围空间产生振荡的磁场,但是下图中的图像与上图相比较,相位相差 π ,故 D 图错误。所以只有 B、C 两图正确。

4 无线电波的发射、传播与接收

5 无线电波与移动互联网

学习任务目标

1. 知道有效地发射电磁波的两个条件。(物理观念)
2. 了解调制、调幅、调频、调谐、解调、电谐振在电磁波发射、接收过程中的作用。(物理观念)
3. 了解移动通信技术发展情况,并了解蓝牙、Wi-Fi 等无线通信设备的原理、使用的电磁波频段和常用频率。(科学态度与责任)

问题式预习

知识点一 无线电波的发射、传播与接收

1. 电磁波的有效发射条件

- (1) 振荡电路产生的电场、磁场必须分布到广大的开放空间中,才能有效地把电磁场的能量传播出去。
- (2) 要有足够高的振荡频率。

2. 电磁波的调制

- (1) 定义:把传递的信号“加”到载波上的过程称为调制。
- (2) 分类
 - ① 调幅:使高频振荡的振幅随信号而变的方法。
 - ② 调频:使高频振荡的频率随信号而变的方法。

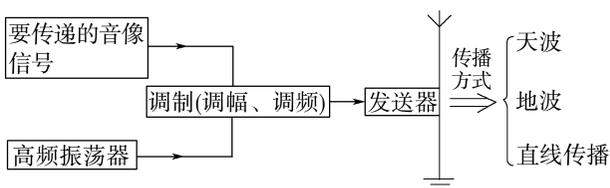
3. 电磁波的三种传播方式

- (1) 地波:沿地球表面空间传播的无线电波。在无线电技术中,通常采用地波的形式传播长波、中波和中短波。
- (2) 天波:依靠电离层的反射来传播的无线电波。短波最适合采用天波的形式传播。
- (3) 直线传播:像光束那样沿直线传播的电磁波。

4. 电磁波的接收

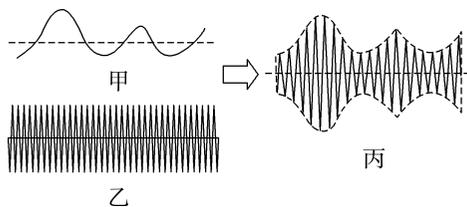
- (1) 电磁谐振:当振荡电路的固有频率与传播来的电磁波的频率相等时,电路中激起的感应电流最强的现象,也叫电谐振。
- (2) 调谐:使接收电路产生电谐振的过程。
- (3) 解调:调制的逆过程,在接收端从已调制的无线电信号中提取信息。

[科学思维]



[做一做]

电台将播音员的声音转换成如图甲所示的电信号,再加载到如图乙所示的高频载波上,使高频载波的振幅随电信号改变(如图丙所示)。这种调制方式称为 ()



- A. 调频 B. 调谐
C. 调幅 D. 解调

C 解析:使电磁波随各种信号而改变的技术叫作调制,调制共有两种方式:一种是调幅,即通过改变高频电磁波的振幅来实现信号加载;另一种是调频,即通过改变高频电磁波的频率来实现信号加载。由题意可知,是高频载波的振幅随电信号改变,故为调幅,选C。

知识点二 无线电波与移动互联网

1. 信息技术的核心内容:获取、表达、存储和传递。
2. 蜂窝系统:每一个固定的基站的工作范围经过合理的调配后呈正六边形,排列起来像蜂窝一样,这就是“蜂窝系统”名字的由来。
3. 网络协议:无线路由器以及与它相连的各种设备间遵守的一个共同的约定。设备间的连接方式除Wi-Fi外还有蓝牙和近场通信(NFC)等。
4. 用电磁波传递二进制数据:二进制数据也可以通过调幅波或调频波向外传播。

任务型课堂

任务一 无线电波的发射、传播和接收

[探究活动]

移动通信的发射天线如图所示。



(1)为什么发射天线做成金属杆状?

(2)无线电波的传播方式有哪几种?

提示:(1)是为了形成开放电路,这样就可以有效地发射电磁波。(2)地波、天波、直线传播。

[评价活动]

1.有一个 LC 接收电路,原来接收较低频率的电磁波,现在要想接收较高频率的电磁波,下列调节正确的是 (C)

- A. 增加电源电压
- B. 使用调频的调制方式
- C. 把可动电容器的动片适当旋出一些
- D. 在线圈中插入铁芯

2.世界各地有许多无线电台同时广播,用收音机一次只能收听到某一电台的播音,而不是同时收听到许多电台的播音,其原因是 ()

- A. 收听到的电台离收音机最近
- B. 收听到的电台频率最高
- C. 接收到的电台电磁波能量最强
- D. 接收到的电台电磁波与收音机调谐电路的固有频率相同,产生了电谐振

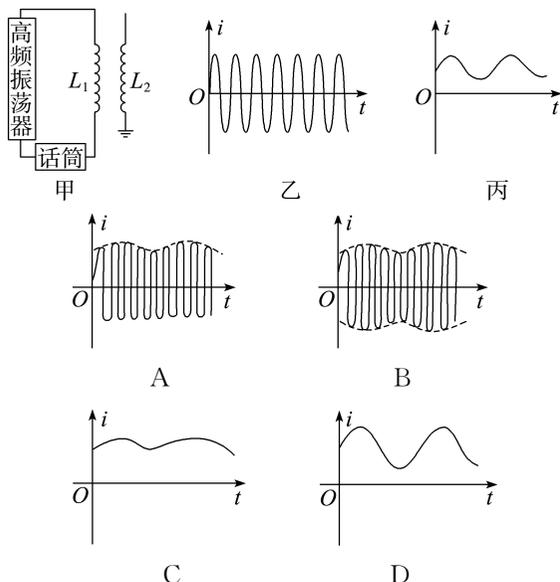
D 解析:选台就是调谐过程,使 $f_{\text{固}} = f_{\text{电磁波}}$,在接收电路中产生电谐振,激起的感应电流最强,D 正确。

3.(多选)下列关于无线电广播对低频电信号进行调制的原因说法正确的是 ()

- A. 经过调制后的高频电磁波向外辐射能量的本领更强
- B. 经过调制后的电磁波在空间中传播得更快
- C. 经过调制后的电磁波在空间中传播波长不变
- D. 经过调制后的电磁波在空间中传播波长改变

AD 解析:调制是把低频信号加载到高频电磁波上增强发射能力,频率变大,辐射本领更强,A 正确;电磁波在空气中以接近光速传播,所以传播速度不变,B 错误;由 $\lambda = \frac{v}{f}$ 可知,波长与波速和传播频率有关,C 错误,D 正确。

4.某无线电波的发射示意图如图甲所示,高频振荡器产生高频等幅振荡电流如图乙所示,人对着话筒说话产生低频振荡电流信号如图丙所示,根据这两个图像,发射出去的电磁波图像应是图中的 ()



B 解析:高频振荡器产生高频等幅振荡电流,话筒里面有碳膜电阻,它的阻值随压力变化而变化。当我们对着话筒说话时,空气对它的压力随着声音信号的变化而变化,那么它的电阻也就随声音信号的变化而变化,振荡电流的振幅也就随着声音信号的变化而变化,这就是调制。该过程不但影响了振荡电流的波峰,也影响了振荡电流的波谷,故选 B。

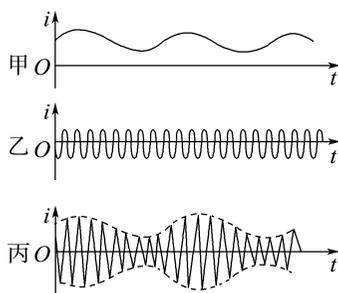
任务总结

1.无线电波的发射和接收过程

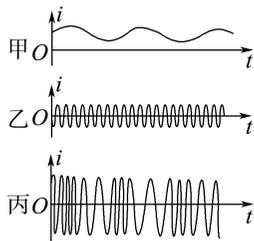


2.调幅和调频是调制的两种不同方式

(1)使高频电磁波的振幅随信号的强弱而变的调制方式叫调幅,如图所示,一般电台的中波、中短波、短波广播以及电视中的图像信号采用调幅波。

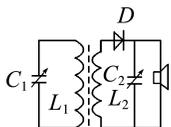


(2)使高频电磁波的频率随信号的强弱而变的调制方式叫调频,如图所示,电台的立体声广播和电视中的伴音信号,采用调频波。



3. 正确理解调谐的作用

世界上有许许多多的无线电台、电视台以及各种无线电通信设备,它们不断发射不同频率的电磁波,如果不加选择地全部接收下来,那必然是一片混乱,分辨不清,因此接收信号时,首先要从各种电磁波中把我们需要的选择出来,通常叫选台。如图所示的是调谐接收电路,在无线电技术中是利用电谐振原理达到该目的的。



任务二 电磁波与信息化社会

1. (多选)声呐能发射超声波,雷达能发射电磁波,超声波和电磁波相比较,下列说法正确的是

(ABD)

- A. 超声波与电磁波传播时,都向外传递了能量
- B. 电磁波既可以在真空中传播,又可以在介质中传播,超声波只能在介质中传播
- C. 两者在空气中传播的速度与在其他介质中传播的速度相比,均是在空气中传播时具有较大的传播速度
- D. 超声波是纵波,电磁波是横波

2. 物理学史上许多物理学家的科学研究推动了人类文明的进程,关于电磁波的发现及应用,下列说法正确的是

(D)

- A. 赫兹预言了电磁波的存在,麦克斯韦用实验证实了电磁波的存在
- B. 电视机遥控器用紫外线遥控,无线电波频率比体检胸透用的电磁波频率高
- C. 红外线的热效应可以用来杀菌消毒,利用 X 射线可以进行通信、广播

D. 微波炉的工作原理是微波能使食物中的水分子热运动加剧,从而加热食物

3. 某地的雷达站正在跟踪一架向雷达站匀速飞来的飞机。设某一时刻从雷达站发出电磁波到再接收到反射波历时 $200 \mu\text{s}$,经 4 s 后又发出一个电磁波,雷达站从发出电磁波到再接收到反射波历时 $186 \mu\text{s}$,则该飞机的飞行速度多大?

答案: 525 m/s

任务总结

1. 不同电磁波的特点及应用

项目	特点	用途
无线电波	波动性强	通信、广播、导航
红外线	热作用强	加热、遥测、遥感、红外线制导
可见光	感光性强	照明、照相等
紫外线	化学作用、荧光效应	杀菌消毒、治疗皮肤病等
X 射线	穿透力强	检查、探测、透视、治疗
γ 射线	穿透力最强	探测、治疗

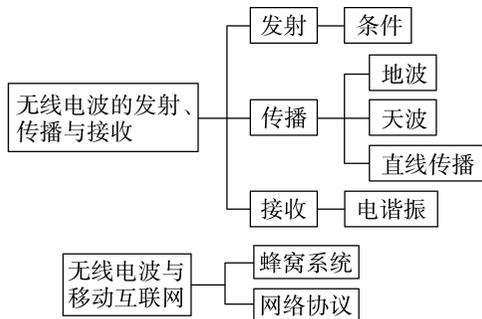
2. 移动电话

移动电话 $\begin{cases} \text{电磁波发射器} \\ \text{电磁波接收器} \end{cases}$

手持移动电话的体积很小,发射功率不大。它的天线也很简单,灵敏度不高。

因此,手机通话时要靠强大的固定无线电台转换。这种固定的无线电台叫作基站。城市高大建筑物的屋顶上、农村附近的山头上,常常可以看到移动通信基站的天线。

► 提质归纳



课后素养评价(十五) 无线电波的发射、传播与接收

无线电波与移动互联网

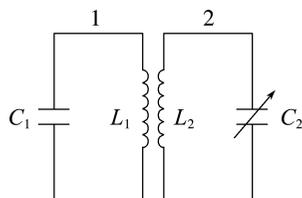
基础性·能力运用

知识点 1 电磁波的发射

1. 为了增大无线电台向空间发射无线电波的能力,对 LC 振荡电路可采用下列哪项措施? (B)
- A. 增大电容器极板的正对面积
B. 增大电容器极板的间距
C. 增大自感线圈的匝数
D. 提高供电电压
2. 简单的、比较有效的电磁波的发射装置至少应具备以下电路中的 (B)
- ①调谐电路 ②调制电路 ③高频振荡电路 ④开放振荡电路
- A. ①②③ B. ②③④
C. ①④ D. ①②④

知识点 2 电磁波的传播和接收

3. (多选)关于电磁波的传播,下列叙述正确的是 (BD)
- A. 电磁波频率越高,越容易沿地面传播
B. 电磁波频率越高,越容易沿直线传播
C. 电磁波在各种介质中传播波长恒定
D. 只要有三颗同步卫星在赤道上空传递微波,就可把信号传遍全世界
4. 在如图所示的电路中, $C_1 = 200 \text{ pF}$, $L_1 = 40 \text{ } \mu\text{H}$, $L_2 = 160 \text{ } \mu\text{H}$, 怎样才能使回路 2 与回路 1 发生电谐振? 发生电谐振的频率是多少?



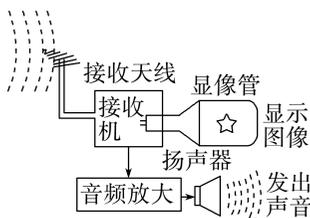
答案: 改变可变电容器 C_2 的电容, 使得 C_2 为 50 pF
 1.78 MHz

知识点 3 无线电波与互联网

5. Wi-Fi(无线网络通信技术)是目前使用最广的一种无线网络传输技术,几乎所有智能手机、平板电脑和笔记本电脑都支持 Wi-Fi 上网, Wi-Fi 信号的本质就是电磁波,波长约 $7 \sim 12 \text{ cm}$,通过无线路由器发射后将信号传递到设备上,使设备实现无线上网功能。下列对 Wi-Fi 信号的判断正确的是 ()
- A. 其信号波是横波
B. 不能在真空中传播
C. 波长比可见光短
D. 不能产生干涉和衍射现象
- A 解析: 电磁波均为横波, A 正确; 电磁波的传播不需要介质, 故电磁波可以在真空中传播, B 错误; 根据电磁波波谱可知无线电波波长比可见光更长, C 错误; 折射、反射、干涉和衍射均为波的属性, D 错误。

综合性·创新提升

6. 如图所示为电视信号接收过程示意图,其工作过程顺序正确的是 ()



- A. 解调—放大—调谐—显示
B. 调谐—放大—解调—显示
C. 调谐—解调—放大—显示
D. 放大—调谐—解调—显示

C 解析: 电磁波的接收过程是调谐—解调—放

大—显示, 故 C 正确。

7. 关于电磁波的发射与接收, 下列说法正确的是 ()
- A. 调频与调幅都是用高频载波发送信号, 原理相同, 无本质区别
B. 解调是将低频信号加载到高频电磁波上进行发射传送的过程
C. 用手机与其他用户通话时, 要靠较大的固定的无线电台(基站)转送信号
D. 调谐就是将接收电路的振幅调至与电磁载波的振幅相同
- C 解析: 调频与调幅都是用高频载波发送信号, 但是原理不同, 故 A 错误; 解调是接收电磁波过程中

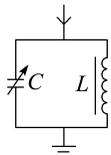
的步骤,是将低频信号从高频载波信号中分离出来的过程,故 B 错误;用手机与其他用户通话时,要靠较大的固定的无线电台转送信号,故 C 正确;调谐是将接收电路的频率调至与电磁波的频率相同,故 D 错误。

8.(多选)下列关于无线电广播要对电磁波进行调制的原因正确的是 ()

- A. 经过调制后的高频电磁波向外辐射能量的本领更强
- B. 经过调制后的电磁波在空间传播得更快
- C. 经过调制后的电磁波在空间传播的波长才能不变
- D. 经过调制后的高频电磁波才能把我们要告知对方的信号有效地传递出去

AD 解析:调制是把低频信号加到高频电磁波上增强发射能力,频率变大,即辐射本领变强,A 符合题意;电磁波在空气中的波速接近光速,传播速度不变,B 不符合题意;根据 $v = \lambda f$ 可知,速度不变的情况下,频率改变,则波长必然改变,C 不符合题意;要把电磁波有效地发射出去,必须有足够高的频率,经过调制之后的波具有较高频率,从而把我们要告知对方的信息有效地传递出去,D 符合题意。

9.(多选)如图所示,调谐电路中可变电容器的动片从完全旋入到完全旋出仍接收不到较高频率电台发出的电信号。若要收到电信号,应 ()



- A. 增大调谐电路中线圈的匝数
- B. 加大电源电压
- C. 减少调谐电路中线圈的匝数
- D. 将线圈中的铁芯取走

CD 解析:当调谐电路的固有频率等于被接收电磁波的频率时,发生电谐振后才能较好地收到电台信号。题图调谐电路收不到信号的原因是调谐电路的固有频率低,由 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 知,在调节 C 无法满

足的情况下,可减小 L 以提高 f,故选项 C、D 正确。

10.一台收音机可接收中波、短波两个波段的无线电波,打开收音机后盖,在磁棒上看到两组线圈,其中一组是用细线密绕匝数多的线圈,另一组是用粗线疏绕匝数少的线圈,由此可以判断 ()

- A. 匝数多的电感大,使调谐电路的固有频率较小,故用于接收中波
- B. 匝数多的电感小,使调谐电路的固有频率较大,故用于接收短波
- C. 匝数少的电感小,使调谐电路的固有频率较小,故用于接收中波
- D. 匝数少的电感大,使调谐电路的固有频率较大,故用于接收短波

A 解析:根据密绕匝数多的线圈电感大、疏绕匝数少的线圈电感小,B、D 选项错误;根据 $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ 可知,电感越大,回路固有频率越小,C 选项错误;根据 $\lambda = \frac{c}{f}$ 可知,频率越小,波长越长,A 选项正确。

11.某雷达工作时,所发射电磁波的波长 $\lambda = 20 \text{ cm}$,每秒脉冲数 $n = 5\,000$,每个脉冲持续时间 $t = 0.02 \mu\text{s}$ 。该电磁波的振荡频率为多少? 最大侦察距离是多少?

解析:由 $c = \lambda f$ 可得电磁波的振荡频率

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \times 10^8}{20 \times 10^{-2}} \text{ Hz} = 1.5 \times 10^9 \text{ Hz}$$

电磁波在雷达发射相邻两个脉冲间隔时间内传播的距离

$$s = c\Delta t = c \left(\frac{1}{n} - t \right) = 3 \times 10^8 \times \left(\frac{1}{5\,000} - 0.02 \times 10^{-6} \right) \text{ m} \approx 6 \times 10^4 \text{ m}$$

所以雷达的最大侦察距离 $s' = \frac{s}{2} = 3 \times 10^4 \text{ m} = 30 \text{ km}$ 。

答案: $1.5 \times 10^9 \text{ Hz}$ 30 km

第五章

传感器

1 认识传感器

2 常见传感器的工作原理

学习任务目标

- 1.知道什么是传感器,理解传感器的工作原理。(物理观念)
- 2.掌握光敏电阻、热敏电阻、金属热电阻、电阻应变片的基本特性及工作原理。(物理观念)
- 3.通过对传感器原理和应用的了解,体会传感器在实际应用中的价值。(科学思维)

问题式预习

知识点一 认识传感器

1.传感器:把被测的非电信息,按一定规律转换成与之对应的电信号的器件或装置。

2.传感器的结构

(1)组成:传感器由敏感元件和转换元件组成,有时也将信号调节转换电路、辅助电源作为传感器的组成部分。

(2)常见敏感元件:力敏元件、光敏元件、热敏元件、磁敏元件、气敏元件等。

(3)转换元件的作用:将敏感元件输出的物理量转换成电学量。

(4)信号调节转换电路的作用:将转换元件输出的电信号转换成便于显示、记录、处理和控制的电学量。

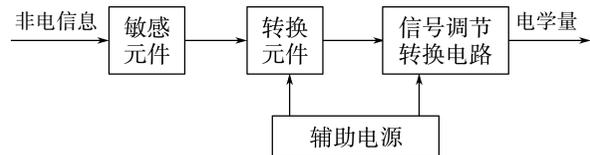
3.传感器的分类

(1)物理传感器:利用了力、热、光、电磁和声等物理效应。

(2)化学传感器:利用了化学反应的原理检测物质的种类和浓度。

(3)生物传感器:利用酶、抗体和激素等分子识别功能进行工作。

[科学思维]



传感器的结构

[判一判]

- 1.传感器的基本部分一般由敏感元件和转换元件组成。(√)
- 2.传感器是用来采集信息的装置。(√)

3.传感器可以将所有感受到的信号都转换为电学量。(×)

4.“便携式酒精检测仪”是属于化学传感器。(√)

知识点二 常见传感器的工作原理

1.温度传感器

(1)定义:将温度变化转换成电学量变化的装置。

(2)分类

①热敏电阻温度传感器:利用热敏电阻的阻值随温度灵敏变化的特性,实现对温度的测量、控制或进行过热保护。

②热电阻温度传感器:用金属丝制作的感温电阻称为热电阻。可以广泛用于测温,还可以测量流体的流量。

③热双金属片温度传感器:金属会因温度升高而膨胀,不同的金属材料,在升高相同的温度时膨胀程度不同。

2.光传感器

有些金属或半导体材料,在电路中受到光照时,可以产生电流或电压,实现光信号向电信号的转化,选用这种材料做敏感元件,可以制作光传感器。

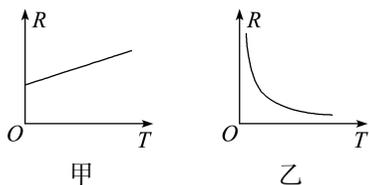
3.力传感器

(1)定义:把力学量转换为电学量的装置。

(2)应变式力传感器:由铝合金梁和应变片组成。常用于电子秤称重,也可以用来测量其他各种力。

[科学思维]

如图分别为热敏电阻和金属热电阻随温度变化的特性曲线。



(1)表示热敏电阻的图像为乙。

(2)表示金属热电阻的图像为甲。

[判一判]

1.光敏电阻随着光照的增强,导电性变好。(√)

2.热敏电阻能够把热学量转换为电学量。(√)

3.金属热电阻和热敏电阻在温度升高时电阻值都变大。(×)

4.电子秤中应变片的电阻随形变大小而变化。(√)

任务型课堂

任务一 传感器的理解

[探究活动]

智能机器人能够具有类似人的感官功能,获取外界信息并灵活做各种动作,其中传感器起了重要作用。



请分析智能机器人都用了什么传感器代替人的感官。

提示:眼睛→光传感器;耳朵→声音传感器;鼻子→气味传感器;舌头→味觉传感器;皮肤→压力、温度、湿度传感器。

[评价活动]

1.关于传感器,下列说法正确的是 (B)

- A. 所有传感器都是由半导体材料做成的
- B. 部分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

2.电梯超载时会自动报警,下列装置用到的传感器与之用到的传感器相同的是 ()

- A. 红外报警装置
- B. 门窗防盗报警装置
- C. 电子自动称重装置
- D. 湿手自动烘干装置

C 解析:电梯超载报警用到力传感器,红外报警装置是将光信号转化为电信号,故 A 错误;门窗防盗报警装置一般用干簧管磁性开关,将磁信号转化为电信号,故 B 错误;电子自动称重装置是将压力信号转化为电信号,故 C 正确;湿手自动烘干装置是通过改变传感器的电容,从而发送信号控制芯片启动电机和加热装置,故 D 错误。

3.(多选)下列对传感器的工作原理认识正确的是 ()

- A. 传感器的结构是由敏感元件和处理电路(转换元件与转换电路)组成的

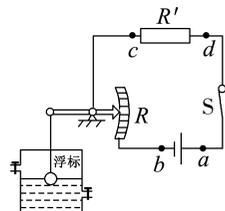
B. 敏感元件的功能是把电学量转换成非电学量,便于处理电路进行处理

C. 半导体元件光敏电阻阻值随光照增强而增大,半导体元件热敏电阻阻值随温度升高而减小

D. 干簧管属于磁敏元件,是由磁场控制的自动开关

AD 解析:传感器是能感受被测的非电信息,并按照一定的规律转换成可用电信号的器件或装置,一般由敏感元件和处理电路(转换元件与转换电路)组成,选项 A 正确;敏感元件的功能是把非电学量转换成电学量,便于处理电路进行处理,选项 B 错误;半导体元件光敏电阻阻值随光照增强而减小,正温度系数半导体元件热敏电阻阻值随温度升高而增大,选项 C 错误;干簧管属于磁敏元件,是由磁场控制的自动开关,选项 D 正确。

4.全面了解汽车的运行状态(速度、水箱温度、油量)是确保汽车安全行驶和驾驶员安全的举措之一。为模仿汽车油表原理,某同学自制一种测定油箱油量多少或变化多少的装置。如图所示,其中电源电压保持不变, R 是滑动变阻器,它的金属滑片是金属杆的一端。该同学在装置中使用了一只电压表(图中没有画出),通过观察电压表示数,可以了解油量情况。你认为电压表应该接在图中的_____两点之间,按照你的接法请回答:当油箱中油量减少时,电压表的示数将_____ (选填“增大”或“减小”)。



解析:由题图可知当油箱内液面高度变化时, R 的金属滑片将会移动,从而引起 R 两端电压的变化,且当 $R' \gg R$ 时, $U_R = IR$ 可视为 U_R 与 R 成正比,所以电压表应接在 b 、 c 两点之间,当油量减少时,浮标下移,滑片上旋,右端接入滑动变阻器的阻值变大,电压表示数将增大。

答案: b 、 c 增大

任务总结

1. 传感器的组成和工作流程

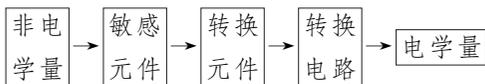
(1) 传感器的组成

①敏感元件:相当于人的感觉器官,是传感器的核心部分,是利用材料的某种敏感效应(如热敏、光敏、压敏、力敏、湿敏等)制成的。

②转换元件:传感器中能将敏感元件输出且与被测物理量成一定关系的非电信号转换成电信号的电子元件。

③转换电路:将转换元件输出的不易测量的电学量转换成易于测量的电学量,如电压、电流、电阻等。

(2) 传感器的工作流程



2. 传感器的原理

传感器感受的通常是非电学量,如力、温度、位移、浓度、速度、酸碱度等,而输出的通常是电学量,如电压、电流、电荷量等。这些输出的信号是非常微弱的,通常需要经过放大后,再传送给控制系统产生各种控制工作。

任务二 对几种敏感元件的认识

[探究活动]

将一只光敏电阻接到多用电表的两端,电表的选择开关置于倍率为“ $\times 100$ ”的电阻挡。在室内自然光的照射下,电阻值约有 800Ω 。



甲 光敏电阻在暗环境中,电阻值很大



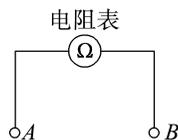
乙 强光照射下,电阻值很小

用手掌遮光时电阻值如何变化? 用阳光直接照射呢?

提示:同一只光敏电阻,用多用电表测量其阻值,用手掌遮光时,电阻值较大;在室内自然光的照射下电阻值变小;改用阳光直接照射时,电阻值变得更小。

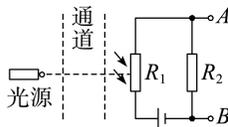
[评价活动]

1. (多选)有定值电阻、热敏电阻、光敏电阻三只元件,将这三只元件分别接入如图所示电路中的 A 、 B 两点后,用黑纸包住元件或者把元件置入热水中,观察电阻表的示数。下列说法中正确的是 (AC)



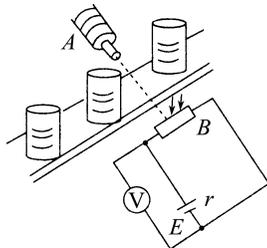
- A. 置入热水中与不置入热水中相比,电阻表示数变化较大的一定是热敏电阻
- B. 置入热水中与不置入热水中相比,电阻表示数不变化的一定是定值电阻
- C. 用黑纸包住与不用黑纸包住相比,电阻表示数变化较大的一定是光敏电阻
- D. 用黑纸包住与不用黑纸包住相比,电阻表示数相同的一定是定值电阻

2. (多选)如图所示是某居民小区门口利用光敏电阻设计的行人监控装置, R_1 为光敏电阻, R_2 为定值电阻, A 、 B 接监控装置,则



- ()
- A. 当有人通过通道而遮住光线时, A 、 B 之间电压升高
- B. 当有人通过通道而遮住光线时, A 、 B 之间电压降低
- C. 当仅增大 R_2 的阻值时,可增大 A 、 B 之间的电压
- D. 当仅减小 R_2 的阻值时,可增大 A 、 B 之间的电压
- 解析:** R_1 是光敏电阻,当有人通过通道而遮住光线时, R_1 的阻值变大,回路中的电流 I 减小, A 、 B 间的电压 $U = IR_2$ 减小,故 A 项错误, B 项正确;由闭合电路的欧姆定律得 $U = E - I(R_1 + r)$,当仅增大 R_2 的阻值时,电路中的电流减小,可得 A 、 B 间的电压 U 增大,故 C 项正确;当减小 R_2 的阻值时,电路中的电流增大, A 、 B 间的电压 U 减小,故 D 项错误。

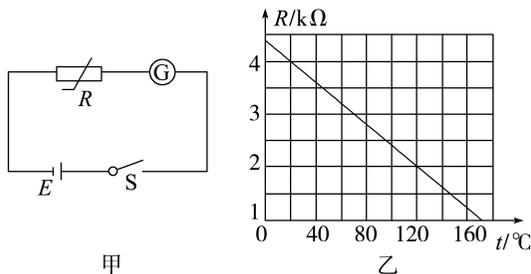
3. (多选)如图所示是利用硫化镉制成的光敏电阻自动计数装置的示意图,其中 A 是发光仪器, B 是光敏电阻(光照时电阻会变小)。下列说法中正确的是 ()



- A. 当传送带上没有物品挡住由 A 射向 B 的光信号时,光敏电阻的阻值较小,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,光敏电阻的阻值较大,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,光敏电阻的阻值较小,电压表读数较小
- D. 当传送带上有物品挡住由 A 射向 B 的光信号

时,光敏电阻的阻值较大,电压表读数较大
AD **解析:**光敏电阻的阻值与光照强度有关,光照强度越大,光敏电阻阻值越小。当传送带上没有物品挡住由A射向B的光信号时,光敏电阻阻值较小,电路中电流较大,电源内阻上的电压较大,路端电压较小,所以电压表读数较小,选项A正确;相反,当传送带上有物品挡住由A射向B的光信号时,光敏电阻的阻值较大,电路中电流较小,电源内阻上的电压较小,路端电压较大,所以电压表读数较大,选项D正确。

4.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。如图甲所示,电源的电动势 $E=9\text{ V}$,内阻不计; G 为灵敏电流表,内阻 R_g 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 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,电流表示数 $I_1=2\text{ mA}$ 。当电流表的示数 $I_2=3.6\text{ mA}$ 时热敏电阻的温度是多少?



解析:由图乙可知,当 $t=20\text{ }^\circ\text{C}$ 时,热敏电阻阻值 $R_1=4\text{ k}\Omega$ 。由闭合电路欧姆定律 $E=I_1(R_1+R_g)$ 代入数值可求得 $R_g=500\text{ }\Omega$

当 $I_2=3.6\text{ mA}$ 时,设热敏电阻阻值为 R_2 ,则 $E=I_2(R_2+R_g)$ 可求得 $R_2=2\text{ k}\Omega$

由图乙可知,这时热敏电阻温度 $t'=120\text{ }^\circ\text{C}$ 。

答案: $120\text{ }^\circ\text{C}$

任务总结

传感器性能的比较

(1)热敏电阻

①特点:正温度系数的热敏电阻,随温度升高电阻阻值变大;负温度系数的热敏电阻,随温度升高电阻阻值减小。

②敏感材料:半导体。

③原理:温度影响电阻率。

④优点:灵敏度好。

⑤应用:冰箱。

(2)金属热电阻

①特点:电阻率随温度的升高而增大。

②敏感材料:金属。

③原理:金属的电阻受温度影响,当温度升高,金属中原子的热运动加剧,电子在导体中的运动受到更多的阻碍。

④优点:测温范围大。

⑤应用:电饭煲。

(3)光敏电阻

①特点:在强光下电阻小,在暗光下电阻大。

②敏感材料:把硫化镉涂敷在绝缘板上,其表面镀银。

③原理: $R=\rho \frac{L}{S}$ 。

④优点:灵敏度好。

⑤应用:火灾报警器。

(4)电阻应变片

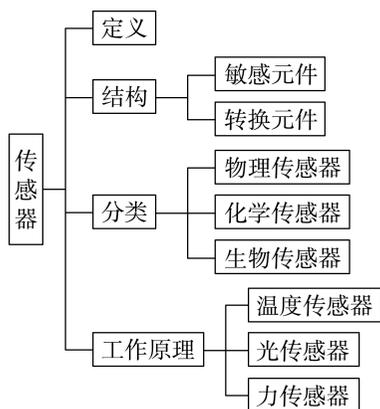
①特点:受到拉力时,电阻变小;受到压力时,电阻变大。

②敏感材料:金属材料。

③优点:灵敏度好。

④应用:电子秤。

提质归纳



课后素养评价(十六) 认识传感器 常见传感器的工作原理

基础性·能力运用

知识点1 认识传感器

1.(多选)曾有科学家因发明电荷耦合器件(CCD)获得了诺贝尔物理学奖。CCD是将光学量转变成电

量的传感器。下列器件可作为传感器的有

(BC)

A. 发光二极管

B. 热敏电阻

C. 霍尔元件 D. 干电池

知识点 2 常见的敏感元件

2.(多选)下列对传感器的工作原理认识正确的是

(AD)

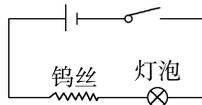
- A. 传感器的结构是由敏感元件和处理电路组成的
 B. 敏感元件的功能是把电学量转换成非电学量便于处理电路进行处理
 C. 半导体元件光敏电阻阻值随光照增强而变大, 半导体热敏电阻阻值随温度升高而减小
 D. 干簧管属于磁敏元件, 是由磁场控制的磁性开关

知识点 3 常见传感器的工作原理

3.(多选)如图所示, 在电路中接一段钨丝, 闭合开关,

灯泡正常发光, 当用打火机给钨丝加热时灯泡亮度明显变暗。根据钨丝的上述特性, 可用钨丝来制作一个温度传感器。下列的说法正确的是

(ABC)

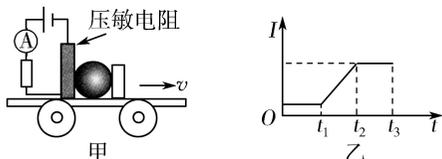


- A. 该传感器利用了钨丝的物理性质
 B. 该传感器利用了钨丝电阻阻值随温度变化而变化的特性
 C. 该传感器能够把热学量(温度)转换为电学量(电阻)
 D. 该传感器能够把电学量(电阻)转换为热学量(温度)

综合性 · 创新提升

4. 压敏电阻的阻值随所受压力的增大而减小, 有位同学利用压敏电阻设计了判断小车运动状态的装置, 其工作原理如图甲所示, 将含压敏电阻的电路和一块挡板固定在绝缘小车上, 中间放置一个绝缘重球。小车向右做直线运动过程中, 电流表示数如图乙所示, 则下列判断正确的是

(D)



- A. 在 t_1 到 t_2 时间段, 小车做匀速直线运动
 B. 在 t_1 到 t_2 时间段, 小车做匀加速直线运动
 C. 在 t_2 到 t_3 时间段, 小车做匀速直线运动
 D. 在 t_2 到 t_3 时间段, 小车做匀加速直线运动

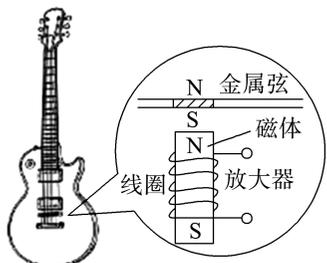
5. 奶制品中严禁添加化学原料三聚氰胺。在多种检测三聚氰胺的方法中有一种“酶标法检测”, 这种检测方法使用的传感器, 应为传感器中的哪一类

(C)

- A. 物理传感器 B. 化学传感器
 C. 生物传感器 D. 温度传感器

6. 如图所示为电吉他的原理图, 电吉他的弦是磁性物质。当弦振动时, 线圈中产生感应电流, 感应电流的信号经放大器处理后, 通过喇叭把声音播放出来。下列说法正确的是

()



- A. 电吉他是光电传感器

- B. 电吉他是温度传感器
 C. 电吉他是声音传感器
 D. 弦改用尼龙材料原理不变

C 解析: 物理传感器利用的是物理效应, 比如光电效应、磁电效应等, 能将被测信号量的微小变化转换成电信号。本题中当弦振动时, 线圈中产生感应电流, 把声音这种非电学量转换为电流这种电学量, 属于声音传感器, 故 C 正确, A、B、D 错误。

7. 当人将手机靠近耳朵接听电话时, 手机会自动关闭屏幕从而达到防误触的目的, 实现这一功能可能用到的传感器为

()

- A. 光传感器和位移传感器
 B. 磁传感器和温度传感器
 C. 磁传感器和声传感器
 D. 压力传感器和加速度传感器

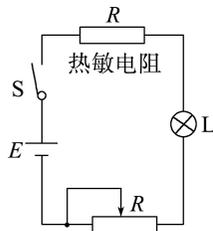
A 解析: 当人将手机靠近耳朵附近接听电话时, 改变了手机的位置, 并且耳朵可能挡住了光线, 所以可能用到的传感器为光传感器和位移传感器, 故 A 正确; 当人将手机靠近耳朵附近接听电话时, 没有磁场的变化, 也没有产生特别的压力, 故 B、C、D 错误。

8.(多选) 如图是测试热敏电阻 R 的实验电路图, 滑动变阻器已调节到某一适当的值。实验中观察到当温度升高时灯更亮, 对该实验现象分析正确的有

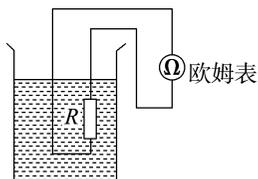
()

- A. 温度升高, 电路中的电流减小
 B. 温度升高, 电路中的电流增大
 C. 温度升高, 热敏电阻的阻值增大
 D. 温度升高, 热敏电阻的阻值减小

BD 解析: 当温度升高时, 电路中的热敏电阻的阻值减小, 由闭合电路欧姆定律可知, 电路中的电流增大, 导致灯泡变亮。



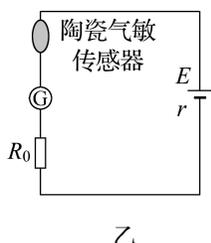
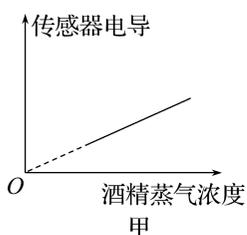
9. 如图所示是观察电阻阻值随温度变化的示意图。现把杯中的水由冷水变为热水, 关于电阻表的读数变化情况正确的是(设水对电阻阻值的影响不计)



- A. 如果 R 为金属热电阻, 读数变大, 且变化非常明显
- B. 如果 R 为金属热电阻, 读数变小, 且变化不明显
- C. 如果 R 为用半导体材料制成的热敏电阻, 读数变化非常明显
- D. 如果 R 为用半导体材料制成的热敏电阻, 读数变化不明显

C 解析: 金属热电阻的阻值随温度的升高而增大, 但灵敏度较差, 而热敏电阻的阻值随温度的升高变化明显, 灵敏度高, 故选项 C 正确。

10. (多选) 陶瓷气敏传感器可以用于分析气体中酒精蒸气的含量, 常用于检查驾驶人员是否饮酒。如果司机饮酒, 血液中的酒精成分会扩散到呼出的气体中, 呼出的气体喷向传感器, 传感器的电阻将随酒精蒸气的浓度发生相应的变化, 从而可以检测血液中的酒精含量。某种陶瓷气敏传感器的电导(即电阻的倒数)与气体中酒精蒸气浓度的关系如图甲所示。现用其组成如图乙所示的检测电路(电源内阻为 r , 电流表内阻不计)。对此, 以下说法正确的是



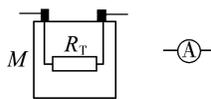
- A. 此陶瓷气敏传感器的电阻与气体中酒精蒸气的浓度成正比
- B. 气体中酒精蒸气的浓度越大, 则电流表指针偏转的角度越大
- C. 气体中酒精蒸气的浓度越大, 则电池的路端电压越小, 电阻 R_0 两端的电压也越小
- D. 电源用的时间长了, 内阻变大, 则会导致测得的酒精浓度偏低

BD 解析: 由题图甲可知, 该传感器的电导与酒精蒸气的浓度成正比, 则传感器的电阻与气体中酒

精蒸气的浓度成反比, 故 A 错误; 因为酒精蒸气的浓度越大, 传感器的电阻越小, 电路中的电流越大, 电流表指针偏转的角度越大, 路端电压越小, R_0 两端电压越大, 故 B 正确, C 错误; 若电源用的时间长了, 内阻变大, 则所测酒精浓度相同时总电阻变大, 电流变小, 测量的浓度变小, 故 D 正确。

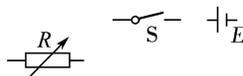
11. 如图所示, 一热敏电阻 R_T 放在控温容器 M 内; A 为毫安表, 量程为 $0 \sim 6 \text{ mA}$, 内阻为数十欧姆; E 为直流电源, 电动势约为 3 V , 内阻很小; R 为电阻箱, 最大阻值为 999.9Ω ; S 为开关。已知 R_T 在 95°C 时的阻值为 150Ω , 在 20°C 时的阻值约为 550Ω 。现要求在降温过程中测量在 $20 \sim 95^\circ\text{C}$ 之间的多个温度下 R_T 的阻值。

(1) 在图中画出连线, 完成该实验原理电路图。



(2) 完成下列实验步骤中的填空:

① 依照实验原理电路图

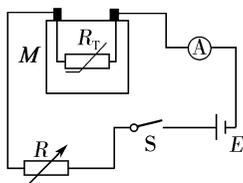


- ① 依照实验原理电路图
- ② 调节控温容器 M 内的温度, 使得 R_T 的温度为 95°C 。
- ③ 将电阻箱调到适当的阻值, 以保证仪器安全。
- ④ 闭合开关, 调节电阻箱, 记录毫安表示数 I_0 , 并记录 _____。
- ⑤ 将 R_T 的温度降为 t_1 ($20^\circ\text{C} < t_1 < 95^\circ\text{C}$), 调节电阻箱, 使得毫安表的读数 _____, 记录此时 _____。
- ⑥ 温度为 t_1 时热敏电阻的电阻值 $R_{T1} =$ _____。
- ⑦ 逐步降低 t_1 的数值, 直至 20°C 为止; 在每一温度下重复步骤⑤⑥。

解析: (1) 该实验中没有电压表, 可以应用等效替代法测热敏电阻的阻值, 改变电阻箱接入电路的阻值, 保持电路中的电流不变, 则电路中总电阻不变, 因此应把电源、毫安表、热敏电阻、电阻箱、开关串联接入电路, 电路图见答案图。

(2) 当电路中电流不变时, 电路中的总电阻保持不变, 因而, 热敏电阻和电阻箱的阻值之和不变, 由电阻箱的读数即可求出不同温度下 R_T 的阻值。

答案: (1) 如图所示:



(2) ④ 电阻箱的阻值 R_0 ⑤ 仍为 I_0 电阻箱的阻值 R_1 ⑥ $R_0 - R_1 + 150 \Omega$

3 传感器的应用举例

4 自制简单的控制电路

学习任务目标

1. 知道电熨斗、电饭锅、火灾报警器的工作原理。(物理观念)
2. 能够利用所学知识制作简单的控制电路。(科学思维)

问题式预习

知识点一 传感器的应用举例

1. 温度传感器的应用——电熨斗

(1) 工作特点: 金属底板温度达到设定温度后不再升温, 当底板温度降低到一定温度时又会继续加热, 即底板总能保持在一定温度范围内。

(2) 敏感元件: 双金属片温度传感器。

(3) 温度调节: 旋转调温旋钮的升降螺丝。

2. 温度传感器的应用——电饭锅

(1) 工作特点: 煮饭时按下手动开关后自行完成烹煮过程。

(2) 敏感元件: 感温铁氧体。

(3) 温度控制: 感温铁氧体在温度达到 103°C (居里点) 时失去磁性, 加热开关断开。

3. 光传感器的应用——火灾报警器

(1) 工作特点: 当密闭空间出现火灾时报警。

(2) 传感器类型: 遮光型和散射型光传感器。

(3) 工作原理: 发光元件发出的光照射到受光元件上的光强发生变化时, 破坏电路的正常状态而报警。

[判一判]

1. 当调温旋钮下调时电熨斗底板的温度较高。

(√)

2. 电饭锅自动煮饭时煮的是稀饭。

(×)

3. 火灾报警器的原理是发生火灾时环境的温度升高而触发报警。

(×)

4. 随着科技的发展, 传感器会应用在各行各业和生活的方方面面, 可以完全取代人的作用。

(×)

知识点二 自制简单的控制电路

1. 光控 LED 灯: 有光照的情况下, 光敏电阻的阻值小, 基极与发射极间电压小, 发光二极管不能导通; 无光照时光敏电阻阻值大, 基极与发射极间电压大, 发光二极管导通。

2. 温度报警器: 接通电源后常温下蜂鸣器不发声, 当温度到达某一值时热敏电阻阻值减小到某一值, 可使蜂鸣器发出报警声。

[判一判]

1. 当路灯自动控制电路做好后, 不能随意调整路灯点亮熄灭的起控点。

(×)

2. 路灯自动控制电路中的敏感元件是光敏电阻。

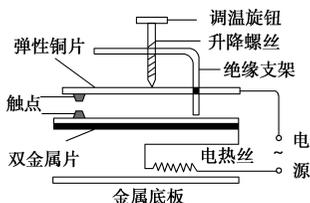
(√)

任务型课堂

任务一 传感器的应用举例

[探究活动]

如图所示为电熨斗构造的示意图, 其中温度敏感元件是双金属片, 其作用是控制电路的通断。



- (1) 双金属片的膨胀系数, 是上层的大还是下层

的大?

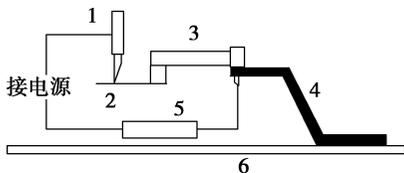
- (2) 如何调节设定的温度?

提示: (1) 平常温度低, 双金属片膨胀几乎相同, 上下触点接触在一起。电热丝通电加热, 双金属片温度升高, 温度升到一定时双金属片向下弯曲使触点断开, 所以双金属片膨胀系数上层大、下层小。

(2) 需要较高温度时, 可调节调温旋钮, 使升降螺丝下移并推动弹性铜片下移, 使双金属片稍向下弯曲, 这时要使触点断开, 双金属片需向下弯曲的程度大一些, 温度也要更高一些。

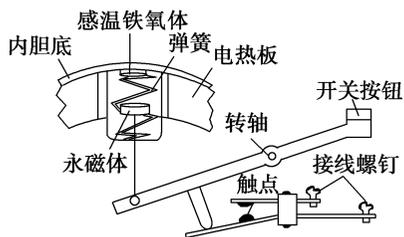
[评价活动]

1. (多选) 某一电熨斗的温控电路原理如图所示。1 是温控螺丝, 2 是有弹性的金属片, 4 是绝缘块, 5 是加热电阻, 6 是电熨斗底板。图中 3 是一种传感器, 当温度升高到某一数值时, 温控螺丝 1 与金属片 2 断开, 不再接触, 从而切断电源。下列说法正确的是 (BC)



- A. 3 可能是光敏电阻
- B. 3 可能是双金属片
- C. 将 1 向下调, 可提高熨斗的最高设定温度
- D. 将 1 向下调, 可降低熨斗的最高设定温度

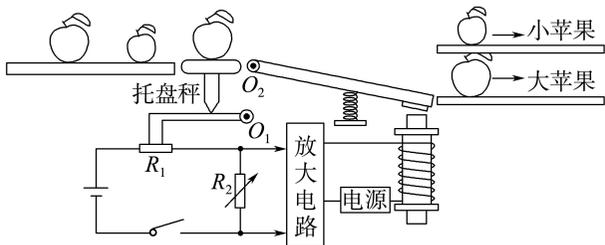
2. (多选) 如图所示是电饭锅的结构图, 如果感温铁氧体的“居里温度”为 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 下列说法中正确的是 ()



- A. 常温下感温铁氧体具有较强的磁性
- B. 当温度超过 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 感温铁氧体的磁性较强
- C. 饭熟后, 水分被大米吸收, 锅底的温度会超过 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 这时开关按钮会自动跳起
- D. 常压下只要有水, 锅内的温度就不可能达到 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 开关按钮就不会自动跳起

ACD 解析: 常温下感温铁氧体的磁性较强, 当按下开关按钮, 永磁体与感温铁氧体相互吸引而接通电路, 而感温铁氧体的居里温度是 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 常压下只要有水, 锅内温度就不可能达到 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 开关就不会自动断开, 饭熟后, 水分被吸收, 锅底温度就会达到 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$, 感温铁氧体磁性消失, 在弹簧的作用下开关自动跳起, 故 A、C、D 正确, B 错误。

3. (多选) 如图所示是苹果自动分拣装置的示意图。该装置把大小不同的苹果, 按一定质量标准自动分拣为大苹果和小苹果。 R_1 为压力传感器, R_2 为可调电阻, R_2 两端电压越大, 电磁铁对分拣开关的衔铁吸力越强。现闭合开关, 则 ()



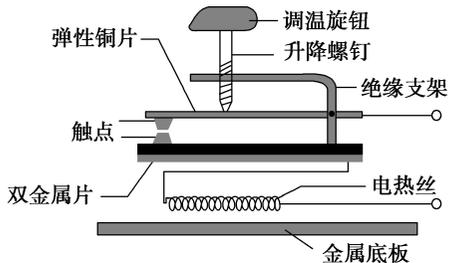
- A. 压力越大, R_1 电阻越大
- B. 压力越大, R_1 电阻越小
- C. 调节 R_2 的大小可以起到保护电路的作用
- D. 调节 R_2 的大小可以改变苹果筛选的标准

BD 解析: 若苹果越重, R_1 电阻越小, 此时 R_1 两端电压越小, R_2 两端电压越大, 电磁铁吸力越强, 大苹果会进入下端分拣口, 故可知压力越大, R_1 电阻越小, 故 A 错误, B 正确; 调节 R_2 不同阻值即可调节 R_2 自身的电压, 从而实现改变苹果的筛选标准, 故 C 错误, D 正确。

任务总结

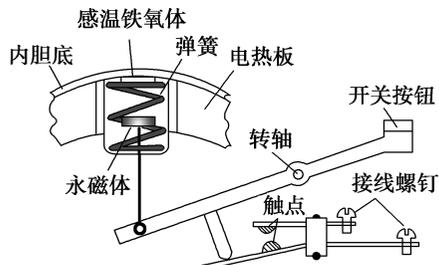
1. 温度传感器的应用——电熨斗

- (1) 温度传感器: 由半导体材料制成的热敏电阻和金属热电阻均可制成温度传感器, 它可以把温度信号转换为电信号进行自动控制。
- (2) 电熨斗的自动控温原理: 其内部装有双金属片温度传感器, 如图所示。常温下, 上下触点应是接触的; 当温度过高时, 由于双金属片上下受热膨胀系数不同, 使双金属片向下弯曲, 触点分离, 从而切断电源停止加热; 当温度降低后, 双金属片恢复原状, 重新接通电路加热, 这样循环进行, 起到自动控制温度的作用。



2. 温度传感器的应用——电饭锅

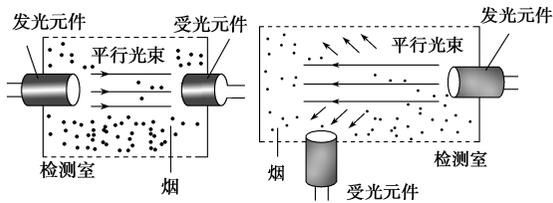
- (1) 结构: 如图所示, 它的主要温控元件是感温铁氧体, 其特点是: 常温下具有铁磁性, 但是温度上升到约 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 就失去了铁磁性。



电饭锅的结构

- (2) 工作原理: 电饭锅工作时, 按下开关按钮, 感温铁氧体与永磁体接触, 电路接通, 开始工作, 电饭锅内温度升高。当达到 $103\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 感温铁氧体与永磁体分离, 电路断开, 不再加热, 电饭锅停止工作。

3. 光传感器的应用——火灾报警器



(a) 遮光型

(b) 散射型

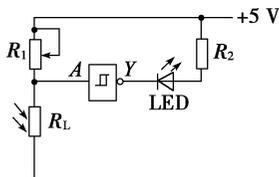
(1) 遮光型光电式烟雾报警器(图 a)的发光元件和受光元件是正对的。

(2) 散射型光电式烟雾报警器(图 b)中,发光元件和受光元件不是正对的。

任务二 自制简单的控制电路

[探究活动]

斯密特触发器是一个性能特殊的非门电路,当加在它的输入端 A 的电压逐渐上升到某个值(1.6 V)时,输出端 Y 会突然从高电平(此时电压为 3.4 V)跳到低电平(此时电压为 0.25 V),而当输入端 A 的电压下降到另一个值(0.8 V)的时候, Y 会从低电平跳到高电平。

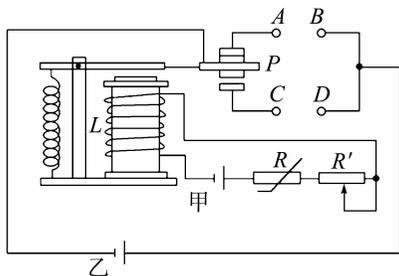


请分析上述光控开关的原理。

提示:白天,光照强度较大,光敏电阻 R_L 阻值较小,加在斯密特触发器输入端 A 的电压较低,则输出端 Y 输出高电平,发光二极管 LED 不导通;当天暗到一定程度时, R_L 阻值增大到一定值,斯密特触发器的输入端 A 的电压上升到 1.6 V,输出端 Y 突然从高电平跳到低电平,则发光二极管 LED 导通发光(相当于路灯),这样就达到了使灯天亮时自动熄灭、天暗时自动开启的目的。

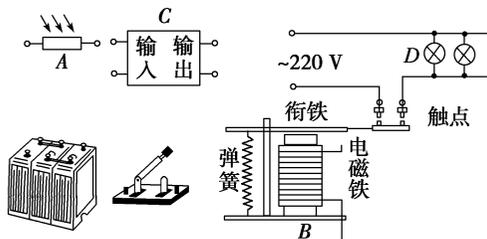
[评价活动]

1. 如图所示为用热敏电阻 R 和继电器 L 等组成的一个简单的恒温控制电路,其中热敏电阻的阻值会随温度的升高而减小。电源甲与继电器、热敏电阻等组成控制电路,电源乙与恒温箱加热器(图中未画出)相连接。下列说法正确的是 (B)

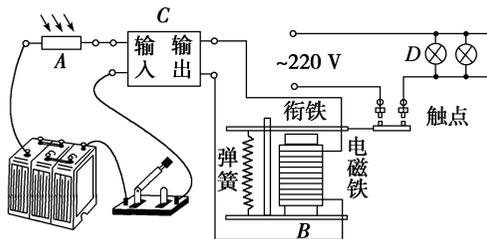


- 当温度降低到某一数值,衔铁 P 将会被吸下
- 当温度升高到某一数值,衔铁 P 将会被吸下
- 工作时,应该把恒温箱内的加热器接在 C 、 D 两端
- 工作时,应该把恒温箱内的加热器接在 A 、 C 两端

2. 光敏电阻在各种自动化装置中有很多应用,其中有很多可用于路灯自动控制的开关。如图所示为实验所用器材,其中 A 为光敏电阻, B 为电磁继电器, C 为电流放大器, D 为路灯,请连成电路,达到日出路灯熄、日落路灯亮的效果,并说明此电路的工作原理。



解析:如图所示。

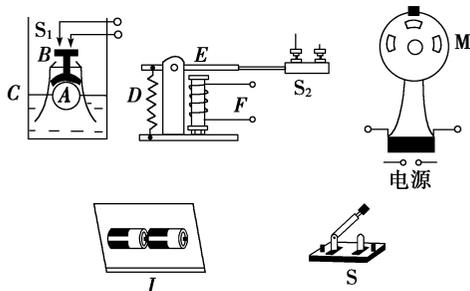


原理:白天,光照强,光敏电阻 A 阻值小,控制电路中电流大,电磁铁磁力强,将衔铁吸合,两触点分离,路灯电路不通,灯不亮;日落后光照弱,光敏电阻 A 阻值大,控制电路中电流小,电磁铁磁力弱,衔铁受弹簧作用向上移使两触点接触,路灯电路接通,灯亮。

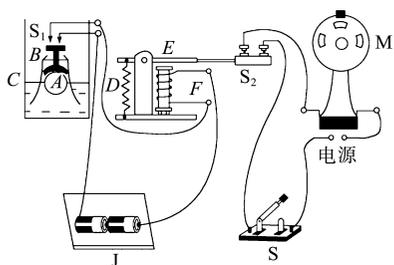
答案:见解析

3. 如图所示, A 是浮子, B 是金属触头, C 为住宅楼房顶上的蓄水池, M 是带水泵的电动机, D 是弹簧, E 是衔铁, F 是电磁铁, S_1 、 S_2 为触点开关, S 为开关, J 为电池。请利用上述材料,设计一个住宅楼房顶上的自动注水装置。

- 连接电路图。
- 简述其工作原理(涉及的元件可用字母代替)。

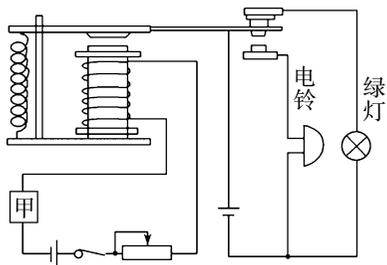


答案:(1)连接电路如图所示。



(2)按图连接好电路,合上开关S,水泵工作,水位升高,当浮子上升使B接触到 S_1 时,左侧电路(控制电路)工作,电磁铁F产生磁力,拉下衔铁E,使 S_2 断开,电动机M不工作,停止注水;当水位下降使B与 S_1 脱离,电路停止工作,F无磁性,D拉动E,使 S_2 接通,M工作。

4.某同学学习传感器后,用电源、电磁继电器、滑动变阻器、开关、导线等仪器设计了一个高温报警器,要求是:正常情况绿灯亮,有险情时电铃报警。电路如图所示,图中仪器还不完整。请完成以下问题:



(1)图中的甲处还需要放入的元件是_____。

- A. 二极管
- B. 光敏电阻
- C. NTC热敏电阻(阻值随温度升高而减小)
- D. PTC热敏电阻(阻值随温度升高而增大)

(2)电路正确连接之后,该同学调试过程发现报警时温度比预期偏低了一点点。若要求在温度更高一点时就开始报警,则需要调节滑动变阻器的滑动头往_____ (选填“左”或“右”)移动一点。

解析:(1)根据要求,在常温下热敏电阻甲阻值较大,电磁铁磁性较弱,不能将衔铁吸下,此时绿灯所在电路接通,绿灯亮;温度升高,热敏电阻阻值较小,控制电路电流增大时,电磁铁磁性增大,将衔铁

吸下。所以图中的甲还需要放入的元件是NTC热敏电阻(阻值随温度升高而减小),故选C。

(2)电路正确连接之后,该同学调试过程发现报警时温度比预期偏低了一点,则是在热敏电阻的电阻值比较大的时候报警,说明电路中的总电阻值比较小。要求在温度更高一点时就开始报警,则需要调节滑动变阻器,使滑动变阻器的电阻阻值大一些,则需要将滑动头往左移动一点。

答案:(1)C (2)左

任务总结

设计自动控制电路时的一般思路

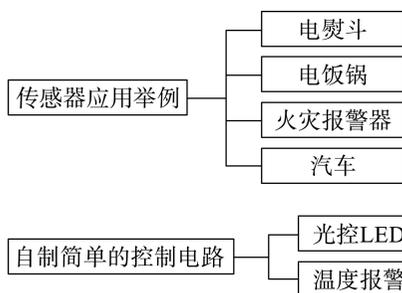
(1)根据题目给出的仪器和要求画出控制电路和工作电路

控制电路由电源、开关、光敏电阻(或热敏电阻等其他敏感元件)、电磁继电器和导线等组成;工作电路由电源、用电器(灯泡、电热丝或其他用电器)、导线等组成。这两个电路相互独立,又通过继电器相关联,继电器实际上是工作电路的开关。

(2)分析自控电路的合理性

电路设计完成后,要对它的合理性进行分析。如用光照射光敏电阻或给热敏电阻加热,检查工作电路的接通和断开是否符合实际要求。比如,自控路灯电路的设计要求是白天切断工作电路,使路灯熄灭,晚上接通工作电路,使路灯点亮发光。

► 提质归纳



课后素养评价(十七) 传感器的应用举例 自制简单的控制电路

基础性·能力运用

知识点1 传感器的应用举例

1.下列哪一项不是现代传感器的应用 (D)

- A. 当人走近自动门时,门会自动打开

B. 电梯的两门靠拢接触到人体时,门会自动打开而不会夹伤人

C. 电饭煲能自动加热和保温而不会把饭烧焦

D. 将自己的银行卡插进自动取款机里可以取钱,而不必麻烦银行工作人员

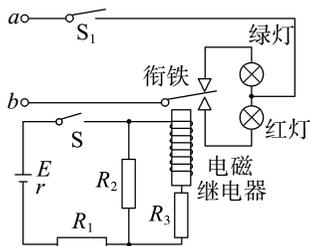
2. (多选) 关于电饭锅的说法, 正确的是 (ABD)

- A. 电饭锅中温度传感器的主要元件是感温铁氧体
 B. 感温铁氧体在常温下具有铁磁性, 温度很高时失去铁磁性
 C. 用电饭锅烧水, 水开时能自动断电
 D. 用电饭锅煮饭时, 温控开关自动断电后, 它不能自动复位

知识点 2 自制简单的控制电路

3. 如图所示是一位同学设计的防盗门报警器的简化电路示意图。门打开时, 红外光敏电阻 R_3 受到红外线照射, 电阻减小; 门关闭会遮蔽红外线源(红外

线源没有画出)。经实际试验, 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 (D)



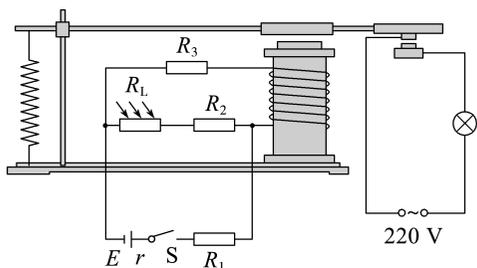
- A. 红灯亮, U_{R_2} 变大
 B. 绿灯亮, U_{R_2} 变大
 C. 绿灯亮, U_{R_2} 变小
 D. 红灯亮, U_{R_2} 变小

综合性 · 创新提升

4. (多选) 传感器在日常生活中有着广泛的应用, 它的种类多种多样, 其性能也各不相同。以下有关传感器的说法正确的是 (ACD)

- A. 办公大楼的大门能“看到”人的到来或离开而自动开或关, 是光传感器的应用
 B. 非触摸式自动水龙头(自动感应水龙头)应用的传感器是生物传感器
 C. 空调机在室内温度达到设定的温度后, 会自动停止工作, 空调机内实现这一功能的传感器是温度传感器
 D. 电熨斗能够自动控制温度的原因是它装有双金属片温度传感器, 能控制电路的通断

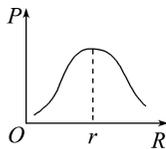
5. 某光敏电阻 R_L 没有受到光照射(或光较弱)时, 阻值较大, 有光照射时, 阻值较小。现利用该光敏电阻、低压电源和电磁继电器设计了一个自动控制电路, 如图所示。闭合开关 S, 下列说法正确的是 ()



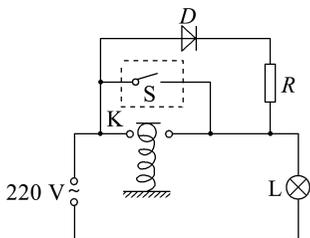
- A. 白天流过 R_1 的电流小于晚上流过 R_1 的电流
 B. 该控制电路用到了电磁感应现象
 C. 该电路能实现灯泡晚上亮白天不亮的功能
 D. 继电器所在电路的电源的输出功率晚上比白天大

C 解析: 题图中光敏电阻 R_L 与 R_2 串联后与 R_3 并联, 最后与 R_1 串联。白天光照强, 光敏电阻的阻值小, 光敏电阻支路的电阻值小, 电路中的总电阻也

小, 所以电路中的总电流较大, 则流过电阻 R_1 的电流值也大, 故 A 错误。该控制电路利用了电流的磁效应, 故 B 错误。白天流过 R_3 的电流值小, 则衔铁没有被吸引, 照明电路断开; 晚上流过 R_3 的电流值大, 则衔铁被吸引, 照明电路接通, 所以该控制电路能实现灯泡晚上亮白天不亮的功能, 故 C 正确; 电源的输出功率随外电阻的变化图像如下图所示, 当内、外电阻相等时, 电源输出功率最大, 由于不知道内、外电阻的大小关系, 所以不能判断输出功率的变化, 故 D 错误。



6. 目前有些居民区内楼道灯的控制, 使用的是一种延时开关, 该延时开关的简化原理如图所示。图中 D 是红色光发光二极管(只要有很小的电流通过就能使其发出红色亮光), R 为限流电阻, K 为按钮式开关, 虚线框内 S 表示延时开关电路, 当按下 K 接通电路瞬间, 延时开关触发, 相当于 S 闭合。这时释放 K 后, 延时开关 S 约在 1 min 后断开, 电灯熄灭。

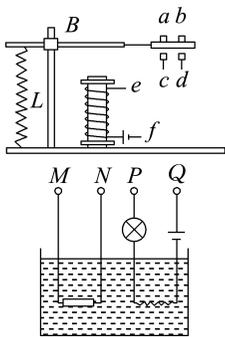


根据上述信息和原理图, 我们可推断: 按钮开关 K 按下前, 发光二极管是 _____ (选填“发光的”或“熄灭的”), 按钮开关 K 按下再释放后, 电灯 L 发光持续时间约 _____ min。这一过程中发光二极管是 _____。限流电阻 R 的阻值和灯丝电阻 R_L 相比, 应满足 R _____ R_L 的条件。

解析: 开关 K 按下前, S 为断开, 有电流经过发光二极管, 故发光二极管是发光的。当按下开关 K 后, 延时开关 S 闭合, 二极管和电阻 R 被短路, 二极管不发光, 由于延时开关 S 约 1 min 后断开, 故电灯 L 能持续发光 1 min, 由于 R 为限流电阻, 且二极管只要有很小的电流通过就能发光, 故应满足 $R \gg R_L$ 。

答案: 发光的 1 熄灭的 >

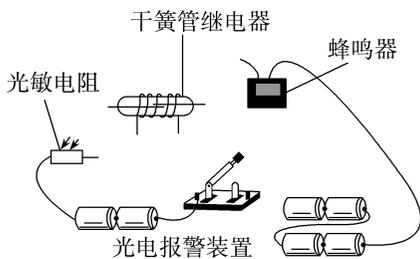
7. 如图所示是一种自动控制水温的装置。加热电路的两个端点 P、Q 应接在触头 a、b 之间还是 c、d 之间? 负温度系数的热敏电阻的两端 M、N 应接在哪两个触头之间?



解析: 工作原理: 当温度低于设计值时热敏电阻阻值大, 通过电磁继电器的电流不能使它工作, 电炉丝被接通加热。当温度达到设计值, 热敏电阻阻值减小到某一值时, 通过电磁继电器的电流达到工作电流, 电炉丝被断开, 停止加热。

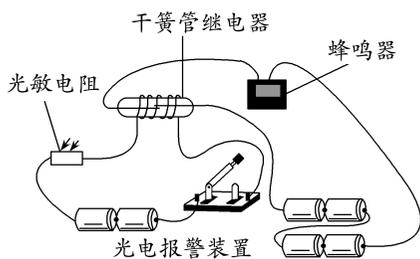
答案: 端点 P、Q 应接在触头 a、b 之间; 端点 M、N 应接在触头 e、f 之间

8. 把蜂鸣器、光敏电阻、干簧管继电器开关、电源连成如图所示的电路, 制成光电报警装置。当报警器有光照射时, 蜂鸣器发声, 当没有光照或者光照很弱时, 蜂鸣器不发声。①光敏电阻: 光敏电阻受光照后, 阻值会变小。②干簧管继电器开关: 由干簧管和绕在干簧管外的线圈组成, 如图所示。当线圈中有一定的电流时, 线圈产生的磁场使密封在干簧管内的两个铁质簧片磁化, 两个簧片在磁力作用下由原来的分离状态变成闭合状态。当线圈中没有电流或者电流很微弱时, 磁场消失, 簧片在弹力的作用下回复到分离状态。电路已经连接一部分, 请将电路完整连接好。



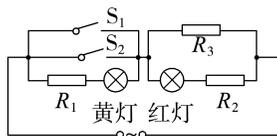
解析: 电池、光敏电阻与开关及干簧管继电器开关外面线圈的两个接线头构成一个回路; 而另一组电

池、蜂鸣器与干簧管继电器开关里面的两个接线头构成另一个回路。当有光照时, 光敏电阻变小, 使得干簧管继电器开关存在磁场, 导致开关接通, 最终使得蜂鸣器发声, 电路图如答图所示。



答案: 见解析图

9. 如图所示是电饭煲的电路图, S_1 是一个温控开关, 手动闭合后, 当此开关温度达到居里点 ($103\text{ }^\circ\text{C}$) 时, 会自动断开。 S_2 是一个自动温控开关, 当温度低于 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 会自动闭合; 温度高于 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 会自动断开。红灯是加热时的指示灯, 黄灯是保温时的指示灯。分流电阻 $R_1 = R_2 = 500\ \Omega$, 加热电阻丝 $R_3 = 50\ \Omega$, 两灯的电阻不计。



(1) 分析电饭煲的工作原理。

(2) 计算加热和保温两种状态下, 电饭煲消耗的电功率之比。

(3) 简要回答, 如果不闭合开关 S_1 能将饭煮熟吗?

解析: (1) 接上电源, S_2 自动闭合, 同时手动闭合 S_1 , 这时黄灯短路, 红灯亮, 电饭煲处于加热状态。加热到 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 时, S_2 自动断开, S_1 仍闭合; 饭煮熟后, 温度升高到 $103\text{ }^\circ\text{C}$ 时, S_1 自动断开, 黄灯亮, 电饭煲处于保温状态, 由于散热, 待温度降至 $70\text{ }^\circ\text{C}$ 时, S_2 自动闭合, 电饭煲重新加热, 温度达到 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 时, S_2 又自动断开, 再次处于保温状态, 如此循环。

(2) 加热时电饭煲消耗的电功率 $P_1 = \frac{U^2}{R_{\text{并}}}$, 保温时

电饭煲消耗的电功率 $P_2 = \frac{U^2}{R_1 + R_{\text{并}}}$, 两式中 $R_{\text{并}} =$

$\frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{500 \times 50}{500 + 50}\ \Omega = \frac{500}{11}\ \Omega$, 故 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1 + R_{\text{并}}}{R_{\text{并}}} =$

$$\frac{500 + \frac{500}{11}}{\frac{500}{11}} = \frac{12}{1}$$

(3) 如果不闭合 S_1 , 开始时 S_2 是闭合的, R_1 被短路, 功率为 P_1 ; 当温度上升到 $80\text{ }^\circ\text{C}$ 时, S_2 自动断开, 功率降为 P_2 ; 温度降低到 $70\text{ }^\circ\text{C}$, S_2 自动闭合……温度只能在 $70\sim 80\text{ }^\circ\text{C}$ 之间变化, 不能将饭煮熟。

答案: 见解析



单元活动构建

单元活动 4 电磁波和传感器

「单元任务」

任务内容	
任务一	电磁波的产生和应用
任务二	传感器的原理和应用

「任务引导」

资料 1: 在空间传播着的交变电磁场, 即电磁波。它在真空中的传播速度约为每秒 30 万千米。电磁波包括的范围很广, 实验证明, 无线电波、红外线、可见光、紫外线、X 射线、 γ 射线都是电磁波。光波的频率比无线电波的频率要高很多, 但光波的波长比无线电波的波长短很多; 而 X 射线和 γ 射线的频率则更高, 波长则更短。为了对各种电磁波有个全面的了解, 人们将这些电磁波按照它们的波长或频率、波数、能量的大小顺序进行排列, 这就是电磁波谱。随着科学技术的发展, 电磁波被广泛应用于广播、通信、医学、国防、工业以及家用电子电器等各个方面, 为物质文明的发展和社会进步做出了巨大的贡献, 也为我们的生活带来了很大的方便。

资料 2: 传感器

(1) 主要作用

人们为了从外界获取信息, 必须借助感觉器官。而单靠人们自身的感觉器官, 在研究自然现象和规律以及生产活动中, 它们的功能就远远不够了。为适应这种情况, 就需要传感器。因此可以说, 传感器是人类五官的延长, 又称之为“电五官”。

(2) 主要特点

传感器的特点包括: 微型化、数字化、智能化、多功能化、系统化、网络化, 它不仅促进了传统产业的改造和更新换代, 而且还推动着人类在航天、人工智能、生命工程等领域的探索。其微型化是建立在微电子机械系统(MEMS)技术基础上的, 已成功应用在硅器件上做成硅压力传感器。

任务一 电磁波的产生和应用

活动 1 在城市里我们可以看见矗立在高楼楼顶上的天线, 它的作用是什么呢? 我们如何从众多信号中选出所需要的信号呢?

提示: 天线是用来接收空中的电磁波的; 通过调谐电

路可以选出所需要的信号。

活动 2 信号发射塔建在高处的主要原因是什么?

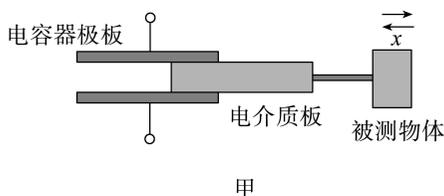
提示: 信号发射塔建在高处可以避免建筑物, 避免来回衍射、反射使信号变弱, 易使信号被直接接收。

任务二 传感器的原理和应用

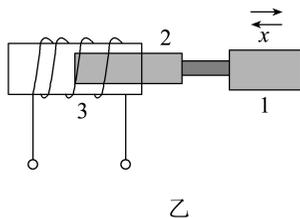
活动 1 根据具体工作原理的不同, 传感器可分为电阻式、电容式、电感式……

(1) 电阻式传感器中的热敏电阻与金属热电阻的阻值变化规律有何不同?

(2) 图甲所示的电容式传感器的原理是什么?



(3) 图乙所示的电感式传感器的原理是什么?



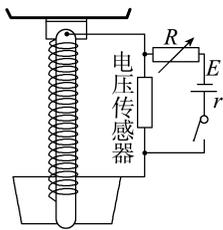
提示: (1) 热敏电阻是用半导体材料制成的, 其阻值随温度的升高而减小; 金属热电阻的电阻率随温度的升高而增大。

(2) 题图甲所示的传感器是电容式传感器, 当被测物体向右运动时, 电容器极板间的电介质减小, 根据

$C = \frac{\epsilon_r S}{4\pi k d}$ 可知, 电容器的电容减小。

(3) 题图乙所示的传感器是电感式传感器, 当被测物体向右运动时, 铁芯抽出, 则自感系数减小。

活动 2 如图所示为利用电学原理测重力的装置原理图。绝缘弹簧的上端固定, 下端与导电的底盘相连, 弹簧套在竖直的电阻率较大的均匀金属杆上。金属杆上端固定绝缘托盘, 下端与底盘接触良好, 并能在底盘上自由滑动。电路上端与金属杆相连, 另一端与底盘相连。已知弹簧的劲度系数 $k = 1\ 200\ \text{N/m}$, 电阻箱此时的电阻 $R = 2.0\ \Omega$, 电源的电动势 $E = 12\ \text{V}$, 内阻 $r = 0.5\ \Omega$ 。闭合开关, 托盘上不放置重物时, 弹簧的长度 $l = 0.25\ \text{m}$, 测得压力传感器两端电压为 $U_1 = 6.0\ \text{V}$ 。不计摩擦和底盘的电阻。



- (1) 金属杆单位长度的电阻 R_0 为多少?
- (2) 在托盘中放置重力为 240 N 的重物时, 压力传感器两端电压 U_2 是多大?
- (3) 电池用一段时间(电动势不变)之后, 其内阻变为原来的两倍。某次测量中, 传感器示数为 150 N, 则该重物的实际重力应为多少?

提示:(1) 当不测重物时, 电阻箱 R 与金属杆串联, 由闭合电路欧姆定律有 $E = I(R+r) + U_1$, 得电路中的电流 $I = 2.4$ A, 金属杆接入电路中的电阻 $R_{\text{全}} = \frac{U_1}{I} = 2.5 \Omega$, 金属杆单位长度的电阻 $R_0 = \frac{R_{\text{全}}}{l} = 10 \Omega/\text{m}$ 。

(2) 当托盘中放置重力为 240 N 的重物时, 根据胡克定律有 $G = k(l-l')$, 由闭合电路欧姆定律得 $I' = \frac{E - U_2}{R+r}$, 金属杆接入电路中的电阻 $R'_{\text{全}} = \frac{U_2}{I'} = R_0 l'$, 联立可得 $U_2 = 2.0$ V。

(3) 该电压传感器中一个电压和一个重力相对应, 则传感器在电源内阻变化前后的分压应该相同, 则有

$$\frac{E}{\left(l - \frac{G_{\text{实}}}{k}\right) \cdot R_0 + R + 2r} \cdot \left(l - \frac{G_{\text{实}}}{k}\right) \cdot R_0 = \frac{E}{\left(l - \frac{G_{\text{显}}}{k}\right) \cdot R_0 + R + r} \cdot \left(l - \frac{G_{\text{显}}}{k}\right) \cdot R_0, \text{ 解得 } G_{\text{实}} = 120 \text{ N}.$$

「知识链接」

1. 电磁波的传输

信息可以通过电缆、光缆进行有线传输, 也可以通过电磁波在地面进行无线传输, 还可以由卫星进行无线传输。电磁波的频率越高, 相同时间内传递的信息量越大。

2. 雷达的工作原理及应用

- (1) 雷达的工作原理: 利用电磁波遇到障碍物发生反射的特性。
- (2) 雷达的构造: 一般由天线系统、发射装置、接收装置、输出装置(显示器)、电源、计算机以及防干扰设备等构成。
- (3) 雷达的特点

① 雷达既是无线电波的发射端, 又是无线电波的接收端。

② 雷达使用的是无线电波中直线性好、反射性强的微波波段。

③ 雷达发射的是不连续的无线电波, 即脉冲。

④ 障碍物的距离等情况都由显示器直接显示出来。

(4) 雷达的应用

探测飞机、导弹等军事目标; 用于导航; 天文学上用于研究星体; 在气象上可以用于探测台风、雷雨、乌云等。

3. 电视机仅仅是无线电波的接收端, 它接收来自电视台的无线信号; 雷达自身发射信号, 信号遇到障碍物反射回来, 通过接收的反射波来确定物体的位置, 因此雷达既是无线电波的发射端又是接收端; 手机接收来自基站的信号, 同时它又向基站发射信号, 它既是无线电波的接收端, 又是发射端。

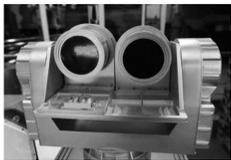
「活动达标」

1. 红外测温枪与传统的热传导测温仪器相比, 具有响应时间短、测温效率高、操作方便、防交叉感染(不用接触被测物体)等特点。下列关于红外测温枪的说法正确的是 (C)
- A. 红外测温枪的工作原理和水银体温计的测量原理一样, 都是利用热胀冷缩原理
- B. 红外测温枪测量的是通过热传导到达红外测温枪处的身体的热量
- C. 红外测温枪利用了一切物体都在不停地辐射红外线, 而且辐射红外线的强度与温度有关, 温度越高, 辐射的红外线强度就越大
- D. 红外线也属于电磁波, 其波长小于紫外线的波长
2. (多选) 如图所示是我国 500 m 口径球面射电望远镜(FAST), 它通过接收来自宇宙深处的电磁波来探索宇宙。截至 2024 年 11 月, FAST 已经发现的脉冲星超过 1 000 颗, 我国也因此成为世界上发现脉冲星数量最多的国家。下列关于电磁波的说法正确的是 (ACD)



- A. 频率越高的电磁波, 波长越短
- B. 电磁波在任何介质中的传播速度均为 3×10^8 m/s
- C. 赫兹通过实验捕捉到了电磁波, 证实了麦克斯韦的电磁场理论
- D. 变化的电场可能激发出变化的磁场, 空间中将可能产生电磁波

3. 量子雷达是隐身战机的克星,可以捕捉到普通雷达无法探测到的目标。有一类量子雷达,仍采用发射经典态的电磁波,但在接收机处使用量子增强检测技术以提升雷达系统的性能。下列说法正确的是 ()



- A. 量子就是 α 粒子
 B. 隐身战机不向外辐射红外线
 C. 电磁波在真空中的传播速度与其频率无关
 D. 量子雷达是利用目标物体发射的电磁波工作的

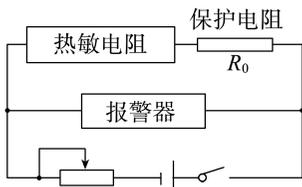
C 解析:量子是现代物理的重要概念,即一个物理量如果存在最小的不可分割的基本单位,则这个物理量是量子化的,并把最小单位称为量子,选项 A 错误;任何物体都会向外辐射红外线,选项 B 错误;任何频率的电磁波在真空中的传播速度都等于光速 c ,选项 C 正确;依据题意,量子雷达仍采用发射经典态的电磁波,不是目标物体发射的电磁波,选项 D 错误。

4. 2023 年 9 月 21 日,“天宫课堂”第四课在中国空间站开讲,本次授课的内容包括:球形火焰实验、动量守恒实验等,航天员太空授课的画面通过电磁波传输到地面。关于电磁场和电磁波,下列说法正确的是 ()

- A. 电磁波在任何介质中的传播速度都为 3×10^8 m/s
 B. 将手机放在真空塑料袋中,拨打该手机,手机不能接收信号
 C. 麦克斯韦首先用实验证实了电磁波的存在
 D. 光是一种电磁波

D 解析:电磁波在真空中的传播速度为 3×10^8 m/s,在介质中的传播速度小于 3×10^8 m/s, A 错误;由于电磁波可以在真空中传播,所以将手机放在真空塑料袋中,拨打该手机,手机能接收信号, B 错误;麦克斯韦预言了电磁波,赫兹首先用实验证实了电磁波的存在, C 错误;光是一种电磁波, D 正确。

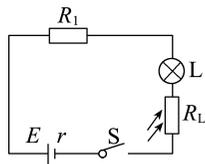
5. (多选) 药物生产车间需要严格控制室内温度范围,尽量保证较小的温度波动。如图是某监控温度波动的报警原理图,热敏电阻的阻值随温度的升高而减小,当报警器两端的电压变化量超出设定值时,报警器就会自动报警。下列说法正确的是 ()



- A. 温度升高,报警器两端电压减小
 B. 温度降低,热敏电阻的热功率一定增大 $\frac{1}{2}$
 C. 滑动变阻器接入电路的阻值大,报警器不容易报警
 D. 滑动变阻器接入电路的阻值与报警器是否容易报警无关

AC 解析:温度升高,热敏电阻的阻值减小,干路总电流增大,内电压增大,根据闭合电路的规律可知,报警器两端电压减小, A 正确;温度降低,热敏电阻的阻值增大,根据闭合电路的规律可知,通过热敏电阻的电流减小,由 $P=I^2R$,可知热敏电阻的热功率不一定增大, B 错误;若滑动变阻器接入电路的阻值大,则热敏电阻的阻值变化一定时,报警器两端的电压变化量小,不容易报警, C 正确, D 错误。

6. (多选) 自动控制电路中常用到半导体材料,光敏电阻便是其中的一种。光敏电阻的阻值随光照强度的增大而减小。现将一只光敏电阻 R_L 与定值电阻 R_1 、灯泡 L (灯丝电阻 R 视为不变) 组成如图所示的电路, $R=r$, 光照强度为某一值时, $R_L=R+R_1+r$ 。若将照射 R_L 的光照强度减弱,则 ()



- A. 灯泡变暗
 B. 光敏电阻 R_L 消耗的功率一直减小
 C. 电源的输出功率一直减小
 D. 灯泡与电阻 R_1 消耗的总功率先变小后变大

ABC 解析:光照减弱,光敏电阻的阻值增大,通过灯泡的电流减小,灯泡功率减小,灯泡变暗,故 A 正确;将 $r+R+R_1$ 看成电源的内阻,当外电阻等于内阻时,电源输出功率最大,即 R_L 消耗的功率最大,光照强度为某一值时, $R_L=r+R+R_1$,则光照强度减弱的过程中, R_L 消耗的功率一直减小,故 B 正确;因为 $R=r$,所以光照强度减弱的过程中,外电阻增大,且一直大于电源内阻,则电源的输出功率一直减小,故 C 正确;灯泡与电阻 R_1 为定值电阻,功率 $P=I^2(R_1+R)$,光照强度减弱的过程中, R_L 一直增大,电流一直减小,灯泡与电阻 R_1 消耗的总功率一直变小,故 D 错误。

章末质量评估(四)

(时间:90分钟 分值:100分)

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的。

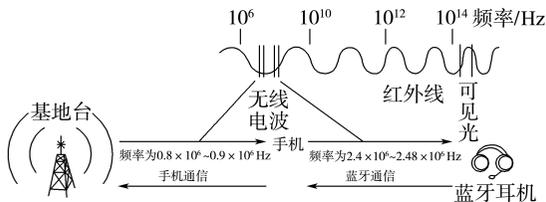
1.红光和紫光相比 (A)

- A. 紫光的频率较大
- B. 红光的频率较大
- C. 在真空中传播时,紫光的速度较大
- D. 在真空中传播时,红光的速度较大

2.关于电磁波,下列说法正确的是 (C)

- A. 麦克斯韦通过实验验证了“变化的电场产生磁场”和“变化的磁场产生电场”,并预言了电磁波的存在
- B. 无线电波、光波、阴极射线、X射线、 γ 射线都是电磁波
- C. 赫兹通过测量证明电磁波具有与光相同的速度
- D. 以上说法均正确

3.使用蓝牙耳机接听手机来电的信号传输示意图如图所示。蓝牙通信的电磁波 (B)



- A. 是蓝光
- B. 波长比手机通信的电磁波短
- C. 在真空中的传播速度大小为 340 m/s
- D. 在真空中的传播速度比手机通信的电磁波速度小

4.传感器是各种测量和控制系统的“感觉器官”,如电梯超载时会自动报警,这种报警系统通常采用的传感器是 (D)

- A. 生物传感器
- B. 声控传感器
- C. 红外传感器
- D. 压力传感器

5.许多办公楼及宿舍楼楼梯上的电灯到了晚上能够自动做到“人来即亮,人走即灭”,而白天电灯却不亮,其原因在于控制灯的“开关”传感器。下列有关该传感器的说法正确的是 (C)

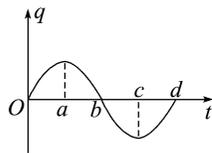
- A. 该传感器能够测量的物理量是位移和温度
- B. 该传感器能够测量的物理量是位移和光强

- C. 该传感器能够测量的物理量是光强和声音
- D. 该传感器能够测量的物理量是压力和位移

6.2007年诺贝尔物理学奖被授予了法国和德国的两位科学家,以表彰他们发现“巨磁电阻效应”。基于巨磁电阻效应开发的用于读取硬盘数据的技术,被认为是纳米技术的第一次真正应用。下列有关电阻应用的说法错误的是 (D)

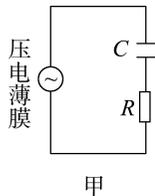
- A. 热敏电阻可应用于温度测控装置中
- B. 光敏电阻是一种光电传感器
- C. 电阻丝可应用于电热设备中
- D. 电阻在电路中主要起到通过直流、阻碍交流的作用

7.如图所示为 LC 振荡电路中电容器的极板所带电荷量随时间变化的图线,则下列判断正确的是 (D)

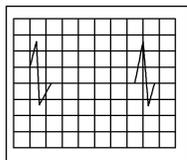


- ①在 b 和 d 时刻,电路中电流最大
 - ②在 $a \rightarrow b$ 时间段,电场能转化为磁场能
 - ③在 a 和 c 时刻,磁场能为 0
 - ④在 $O \rightarrow a$ 和 $c \rightarrow d$ 时间段,电容器被充电
- A. 只有①和③
 - B. 只有②和④
 - C. 只有④
 - D. 只有①②和③

8.电子眼系统通过路面下埋设的感应装置来感知汽车的压力。该感应装置是一个压电薄膜传感器,压电薄膜在受压时两端产生电压,电压随压力变化而变化,压力越大,电压越大,压力不变,电压一定。压电薄膜与电容器 C 、电阻 R 组成如图甲所示的回路。公路上红灯亮时,如果汽车的前、后轮先后经过感应装置,回路中会产生两个脉冲电流,如图乙所示,即视为汽车“闯红灯”,电子眼会自动拍照记录。红灯亮时 (D)



如图乙所示,即视为汽车“闯红灯”,电子眼会自动拍照记录。红灯亮时 (D)



- A. 若车轮停在感应装置上,电阻 R 上有恒定电流
- B. 车轮经过感应装置的过程中,电容器先放电后充电
- C. 车轮经过感应装置的过程中,流

过电阻 R 的电流一直增大

- D. 汽车前轮刚越过感应装置,又倒回到装置内,会被电子眼拍照

二、多项选择题:本题共 3 小题,每小题 5 分,共 15 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 5 分,选对但不全的得 2 分,有选错的得 0 分。

9. 目前传感器被广泛应用于各种电器、电子产品之中。下述关于常用的几种家用电子器件所采用传感器的说法正确的是 (BD)

- A. 电视机对无线遥控信号的接收主要是采用了声电传感器
B. 电子体温计主要是采用了温度传感器
C. 电脑所用的光电鼠标主要是采用了声波传感器
D. 电子秤主要是采用了力电传感器

10. 目前许多国产手机都有指纹解锁功能,用的指纹识别传感器是电容式传感器。指纹的凸起部分叫“嵴”,凹下部分叫“峪”。传感器上有大量面积相同的小极板,当手指贴在传感器上时,这些小极板和正对的皮肤表面形成大量的小电容器,这样在“嵴”处和“峪”处形成的电容器的电容大小不同。此时传感器给所有的电容器充电后达到某一电压值,然后电容器放电,电容小的电容器放电较快,根据放电快慢的不同,就可以探测到“嵴”和“峪”的位置,从而形成指纹图像数据。根据上述信息,下列说法正确的是 (CD)

- A. 把指纹的照片蒙在传感器上,也可以实现指纹解锁功能
B. 手指轻按和重按均可以解锁,说明形成的电容大小是相同的
C. 潮湿的手指头对指纹识别有影响
D. 在“峪”处形成的电容器放电较快

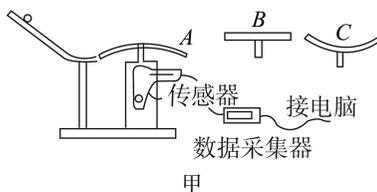
11. 如图所示, R_T 为热敏电阻(电阻随温度升高而减小), R_1 为光敏电阻, R_2 和 R_3 均为定值电阻,电源电动势为 E , 内阻为 r , V 为理想电压表。现发现电压表示数增大,可能的原因是 (AD)

- A. 热敏电阻温度升高,其他条件不变
B. 热敏电阻温度降低,其他条件不变
C. 光照增强,其他条件不变
D. 光照减弱,其他条件不变

三、非选择题:共 5 小题,共 61 分。

12. (8 分) 如图甲所示是模拟汽车过桥时对不同类
型的桥面压力变化的实验。采用 DIS(数字信息系

统)方法对模型进行测量,其结果如图乙中电脑屏幕所示。



甲

- (1) 图甲中的传感器为 _____ 传感器。

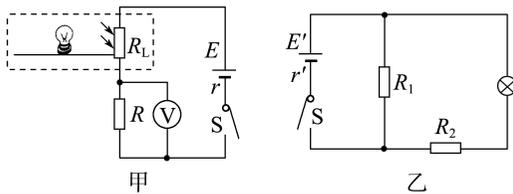
- (2) 图甲中 A、B、C 分别为三种不同类型的桥面。若小球分别从同一位置释放,对于凸形桥 A,其相对应的压力图线是图乙电脑屏幕上的 _____ (选填“a”“b”或“c”)。

- (3) 如果增大小球在斜槽上的高度,在图乙中大致画出小球通过凸形桥 A 时的压力图线。

答案:(1)力电 (2)c

- (3)图略,图线与 c 相比较,最低点更低一些

13. (12 分) 某同学为定性探究光敏电阻阻值随光照强度变化的关系,设计了如图甲所示的电路。所用器材有:置于暗箱(图中虚线区域)中的光敏电阻 R_L 、小灯泡和刻度尺;阻值为 R 的定值电阻;理想电压表 V ;电动势为 E 、内阻为 r 的电源;开关 S ;导线若干。实验时,先按图甲连接好电路,然后改变暗箱中灯泡到光敏电阻的距离 d ,记录电压表的示数 U ,获得多组数据如下表所示。



甲

乙

d/cm	8.50	10.00	12.00	13.50	15.00	17.00
U/mV	271.2	220.0	180.0	156.7	114.9	104.0
d/cm	18.50	20.00	22.00	23.50	25.00	
U/mV	94.8	89.5	78.6	72.5	65.0	

回答下列问题:

- (1) 光敏电阻阻值 R_L 与电压表示数 U 的关系式为 $R_L =$ _____ (用 E 、 r 、 R 、 U 表示)。

- (2) 依据实验结果可推断:光敏电阻的阻值随着光照强度的减小而 _____ (选填“增大”或“减小”)。

- (3) 该同学注意到智能手机有自动调节屏幕亮度的功能,周围环境的光照强度大时屏幕变亮,反之变暗。他利用光敏电阻的特性,为实现“有光照射

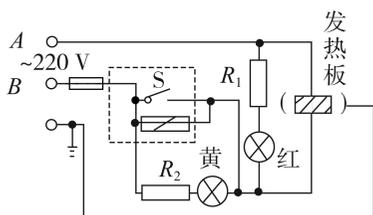
光敏电阻时,小灯泡变亮;反之变暗”的功能,设计了如图乙所示的电路,则电路中_____ (选填“ R_1 ”或“ R_2 ”)为光敏电阻,另一个为定值电阻。

答案:(1) $\frac{E}{U}R - R - r$ (2)增大 (3) R_2

14.(12分)电饭锅的工作原理如图所示。虚线框内为温控开关,煮饭时温控开关是闭合的,红色指示灯亮;饭熟后(当时的温度大约为 $103\text{ }^\circ\text{C}$),温控开关自动断开,黄灯亮。

(1)电阻 R_1 的作用是保护红色指示灯不会因电流过大而被烧毁, R_1 与电饭锅发热板的等效电阻相比,大小应有什么关系?为什么?

(2)通常情况下,用这种电饭锅烧水时它的自动断电功能能不能起作用?为什么?

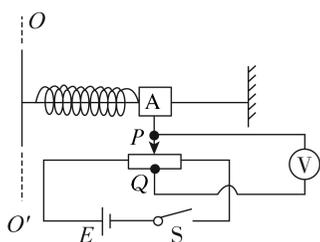


解析:(1) R_1 应该远大于发热板的等效电阻。因为 R_1 和红灯只起指示作用,消耗的电功率远小于发热板的功率,两者又是并联接入电路的,电压相同,所以流过 R_1 和红灯的电流应远小于流过发热板的电流,因此 R_1 应该远大于发热板的等效电阻。

(2)不能。通常情况下水的沸点为 $100\text{ }^\circ\text{C}$,因此当水烧开时水温不会达到 $103\text{ }^\circ\text{C}$,所以自动断电功能不起作用。

答案:见解析

15.(14分)在航天研发中要用角速度计测量航天器的自转角速度 ω ,其结构示意图如图所示,当系统绕轴 OO' 转动时,元件 A 在光滑杆上发生滑动,并输出电信号,成为航天器的制导信号源。已知 A 的质量为 m ,弹簧的劲度系数为 k 、原长为 l_0 ,电源电动势为 E ,内阻不计,滑动变阻器电阻丝总长为 l ,电阻分布均匀,系统静止时滑动变阻器滑片 P 在中点,与固定接头 Q 正对。当系统以角速度 ω 转动时,求:

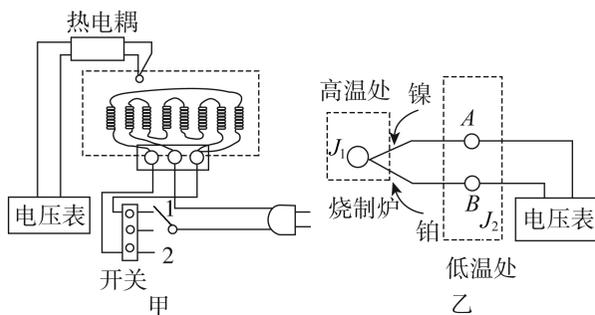


(1)弹簧形变量 x 与 ω 的关系式;

(2)电压表示数 U 与角速度 ω 的关系式。

答案:(1) $x = \frac{ml_0\omega^2}{k - m\omega^2}$ (2) $U = \frac{ml_0E\omega^2}{l(k - m\omega^2)}$

16.(15分)如图所示,甲是一种小型电热式烧制炉的电路示意图,其加热元件由八段相同的电阻丝组成,每段电阻丝的阻值均为 $4\ \Omega$,烧制炉设有高温、低温两挡,通过开关实现两挡的转换。用热电偶式温度计对炉内温度进行监测,热电偶式温度计的原理如图乙所示,两种不同的导体(如铂、镍)各取一端接在一起作为热点(J_1 点)放在高温处,另一端作为冷点(J_2 点)放在低温处,在低温处的 A、B 两点之间就会存在一定的电压,这就是热电偶。已知热电偶的电压与 J_1 、 J_2 两点间的温度差成正比,因此,若已知冷点 J_2 的温度,就可以通过接在 A、B 两点间的电压表的读数确定热点 J_1 的温度。



(1)这样的热电偶实际上是一个电源,它的电能是由什么形式的能转化而来的?

(2)已知铂、镍热电偶式温度计的热、冷两点间的温度差为 $100\text{ }^\circ\text{C}$ 时,产生的电压为 1.5 mV ,那么当冷点的温度为 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 、电压表的示数为 12 mV 时,炉内对应的温度是多少?

(3)若烧制炉使用的电源电压为 220 V ,则该烧制炉高温挡的电功率是多少(结果保留整数部分)?

解析:(1)由热电偶式温度计的原理可知,热点 J_1 和冷点 J_2 两点放在不同温度处时,低温处的 A、B 两点之间就会存在一定的电压,可知热电偶是因为温差导致了电压的产生,所以它的电能是由内能转化而来的。

(2)据题干所给信息“热电偶的电压与 J_1 、 J_2 两点间的温度差成正比”,由本问题干部分所给数据,可得 $\frac{100\text{ }^\circ\text{C}}{1.5\text{ mV}} = \frac{(T - 20\text{ }^\circ\text{C})}{12\text{ mV}}$,所以炉内温度 $T = 820\text{ }^\circ\text{C}$ 。

(3)分析题图甲,当开关位于 1 挡时,等效电路为 6 个电阻丝串联,当开关位于 2 挡时,等效电路为 8 个电阻丝串联,由电功率知识可知 $P = \frac{U^2}{R_{\text{总}}}$,故开关合在 1 挡时为高温挡,代入数据得 $P = 2\ 017\text{ W}$ 。

答案:(1)内能 (2) $820\text{ }^\circ\text{C}$ (3) $2\ 017\text{ W}$

模块综合检测(一)

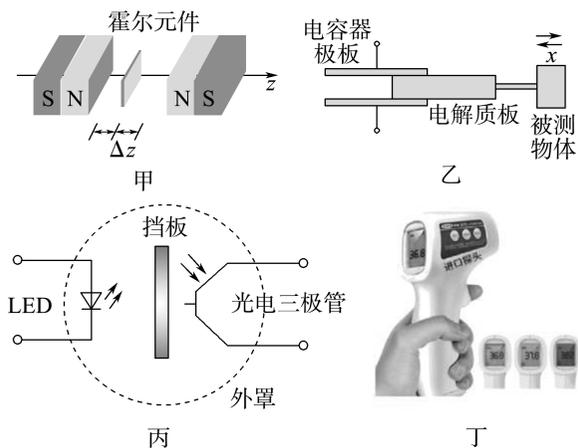
(时间:90分钟 分值:100分)

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的。

1.已知电磁波在空气中的传播速度为 3×10^8 m/s,某广播电台能够发射波长为 50 m 的无线电波,那么收音机接收这个电台时调谐频率应为 (C)

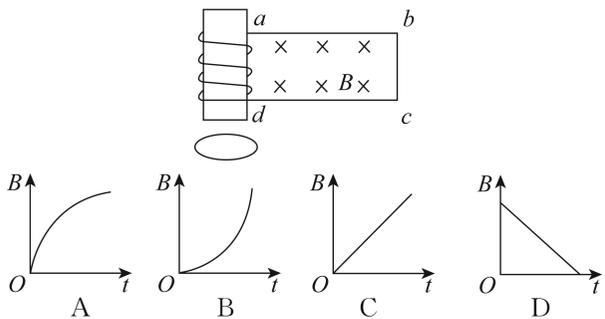
- A. 150 MHz
- B. 500 MHz
- C. 6 MHz
- D. 3 MHz

2.关于下列四幅图中的仪器所涉及的物理学原理说法正确的是 (C)



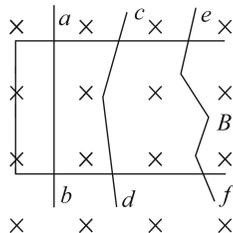
- A. 图甲中的霍尔元件左右移动时,能产生霍尔电压的原理是电磁感应
- B. 图乙中的物体向左移,则电容器的电容变小
- C. 图丙中的火灾报警器利用了烟雾颗粒对光的散射
- D. 图丁中的红外线体温计利用了物体温度越高,辐射波的波长越长的特点

3.如图所示,竖直放置的螺线管与导线 $abcd$ 构成回路。导线所围区域内有一垂直纸面向里的变化的磁场,螺线管下方水平桌面上有一导体圆环,导线 $abcd$ 所围区域内磁场的磁感应强度以下列选项图所示规律变化时,导体圆环将受到向上的磁场作用力的是 (A)



4.如图所示,材料和粗细相同、长度不同的电阻丝做

成 ab 、 cd 、 ef 三种形状的导线,分别放在电阻可忽略的光滑平行金属导轨上,并与导轨垂直,匀强磁场方向垂直导轨平面向里。外力分别使导线水平向右做匀速运动,且每秒外力所做功的功率相同。已知三根导线在导轨间的长度关系是 $l_{ab} < l_{cd} < l_{ef}$,则 (B)

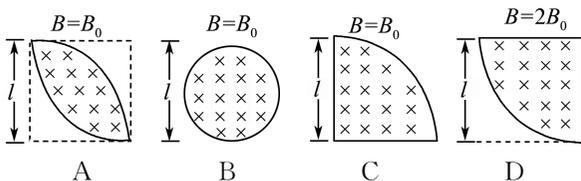


- A. ab 运动速度最大
- B. ef 运动速度最大
- C. 三根导线每秒产生的热量不同
- D. 因三根导线切割磁感线的有效长度相同,故它们产生的感应电动势相同

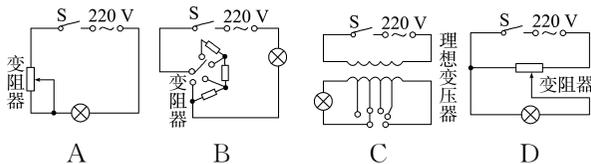
5.如图所示,虚线区域内有一垂直纸面向里的匀强磁场,磁感应强度大小为 B ,有一长为 l 的金属丝,被弯折成 N 匝正方形金属线圈,线圈垂直磁场放置,线圈中通有大小为 I 的电流,则该线圈受到的安培力的大小为 (C)

- A. $\sqrt{2}BIl$
- B. $\sqrt{2}NBII$
- C. $\frac{\sqrt{2}BIl}{4}$
- D. $\frac{\sqrt{2}NBII}{4}$

6.如图所示,纸面内有宽为 l 、水平向右飞行的带电粒子流,粒子质量为 m ,电荷量为 $-q$,速率为 v_0 ,不考虑粒子的重力及相互间的作用。要使粒子都汇聚到一点,可以在粒子流的右侧虚线框内设计一个匀强磁场区域,则磁场区域的形状及对应的磁感应强度可以是(其中 $B_0 = \frac{mv_0}{ql}$, A、C、D 选项中曲线均是半径为 l 的 $\frac{1}{4}$ 圆弧, B 选项中曲线是半径为 $\frac{l}{2}$ 的圆) (A)



7. 下列各图所示为四种亮度可调的台灯的电路示意图, 它们所用的灯泡相同, 规格都是“220 V 40 W”。当灯泡所消耗的功率都调至 20 W 时, 台灯中功率消耗最少的是 (C)

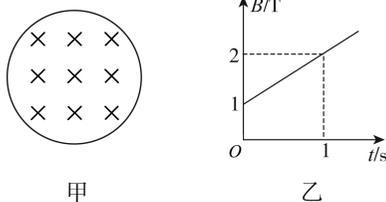


8. 在电磁学的发展过程中, 许多科学家做出了重要贡献。下列说法正确的是 (A)

- A. 奥斯特发现了电流的磁效应; 法拉第发现了电磁感应现象
- B. 麦克斯韦预言了电磁波; 楞次用实验证实了电磁波的存在
- C. 库仑发现了点电荷的相互作用规律; 赫兹通过油滴实验测定了元电荷的数值
- D. 安培发现了磁场对运动电荷的作用规律; 洛伦兹发现了磁场对电流的作用规律

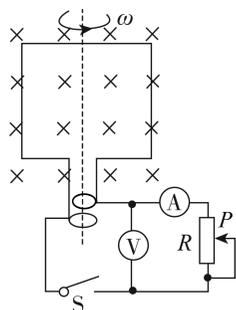
二、多项选择题: 本题共 4 小题, 每小题 4 分, 共 16 分。在每小题给出的四个选项中, 有多项符合题目要求。全部选对的得 4 分, 选对但不全的得 2 分, 有选错的得 0 分。

9. 如图甲所示, 面积为 $S = 1 \text{ m}^2$ 的导体圆环内有垂直于圆平面向里的磁场, 磁场的磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图乙所示 (B 取垂直于圆平面向里为正方向), 以下说法正确的是 (AC)



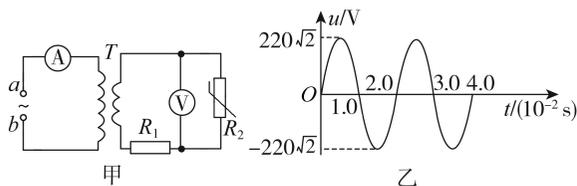
- A. 环中产生逆时针方向的感应电流
- B. 环中产生顺时针方向的感应电流
- C. 环中产生的感应电动势大小为 1 V
- D. 环中产生的感应电动势大小为 2 V

10. 如图所示, 电阻为 r 的矩形线圈在匀强磁场中绕垂直于磁场的轴以某一角速度 ω 匀速转动。 $t = 0$ 时, 线圈平面与磁场方向垂直, 各电表均为理想交流电表, 则 (AC)



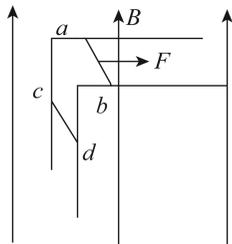
- A. 1 s 内电路中的电流方向改变了 $\frac{\omega}{\pi}$ 次
- B. 滑片 P 向下滑动时, 电压表的读数不变
- C. 线圈匀速转动的角速度 ω 变大时, 电流表的读数也变大
- D. $t = 0$ 时, 线圈中的感应电动势最大

11. 如图甲所示, T 是一个小型理想变压器, 原、副线圈匝数比 $n_1 : n_2 = 11 : 1$, a, b 端接有正弦式交变电源, 电压随时间的变化规律如图乙所示。变压器右侧部分为一温度报警电路原理图, 其中 R_2 为用半导体热敏材料 (电阻随温度升高而减小) 制成的传感器, R_1 为一定值电阻, 电压表和电流表均可视为理想电表。下列说法正确的是 (AC)



- A. 变压器副线圈的输出电压瞬时值的表达式为 $u = 20\sqrt{2} \sin(100\pi t) \text{ V}$
- B. 当传感器 R_2 所在处未出现报警声时, 电压表的示数为 20 V
- C. 当传感器 R_2 所在处出现报警声时, 电压表的示数减小
- D. 当传感器 R_2 所在处出现报警声时, 电流表的示数减小

12. 如图所示, 用两根足够长的粗糙金属条折成“U”形导轨, 其右端水平, 左端竖直, 长度与导轨间距相等的粗糙金属细杆 ab, cd 与导轨垂直且接触良好。已知 ab, cd 杆的质量、阻值均相等, 导轨电阻不计, 整个装置处于竖直向上的匀强磁场中。当 ab 杆在水平向右的拉力 F 作用下沿导轨向右匀速运动时, cd 杆沿导轨向下运动, 则以下说法正确的是 (BC)

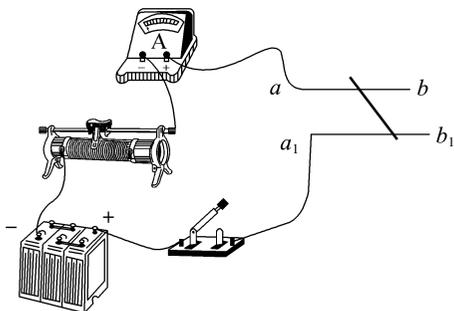


- A. cd 杆一定向下做匀加速直线运动
- B. 拉力 F 的大小一定不变
- C. 回路中的电流一定不变
- D. 拉力 F 的功率等于 ab 杆上的焦耳热功率与摩擦热功率之和

三、非选择题: 共 6 小题, 共 60 分。

13. (6 分) 某同学用图中所给器材进行与安培力有关

的实验。两根金属导轨 ab 和 a_1b_1 , 固定在同一水平面内且相互平行, 足够大的 U 形磁体(图中未画出)的 N 极位于两导轨的正上方, S 极位于两导轨的正下方, 一金属棒置于导轨上且与两导轨垂直, 不计金属导轨的电阻和摩擦。

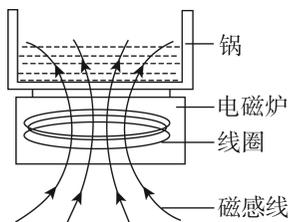


(1) 为使金属棒在离开导轨时具有更大的速度, 有哪些操作可行?

(2) 如果将电路中电流方向反向, 磁场也反向, 闭合开关后, 金属棒将会向 _____ (选填“左侧”或“右侧”) 移动。

答案: (1) ①适当增加两导轨间的距离;
②将滑动变阻器滑片向左移动;
③把磁体换成磁性更强的足够大的钕铁硼磁体。
(2) 左侧

14. (8 分) 如图所示是描述电磁炉工作原理的示意图。炉子的内部有一个金属线圈, 当电流通过线圈时会产生磁场, 这个磁场的大小和方向是不断变化的, 这个变化的磁场又会使放在电磁炉上面的铁质(或钢质)锅底内产生感应电流, 由于锅底有电阻, 所以感应电流又会在锅底产生热效应, 从而加热物体。



(1) 在电磁炉加热食物的过程中涉及的物理原理有(回答三个即可):

- ① _____;
- ② _____;
- ③ _____。

(2) 电磁炉的锅不能用陶瓷锅、耐热玻璃锅的原因是 _____。

(3) 在锅和电磁炉中间放置一纸板, 则电磁炉是否还能起到加热作用? _____。

解析: (1) ①电流通过线圈时会产生磁场, 涉及了

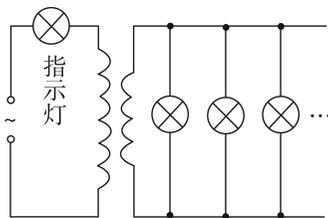
电流的磁效应。②磁场的大小和方向不断变化产生感应电流, 涉及了电磁感应现象。③感应电流在锅底产生热量, 涉及了电流的热效应。

(2) 陶瓷、玻璃在一般情况下不导磁也不导电, 在变化的磁场中不会产生感应电流。

(3) 在锅和电磁炉中间放置一纸板, 电磁炉还能起到加热作用, 线圈产生的磁场能穿透纸板, 锅底仍能产生感应电流, 利用电流的热效应仍能起到加热作用。

答案: 见解析

15. (10 分) 如图所示, 交流发电机电动势的有效值 $E = 20 \text{ V}$, 内阻不计, 它通过一个 $R = 6 \Omega$ 的指示灯连接变压器。变压器输出端并联 24 只彩色小灯泡, 每只灯泡都标有“6 V 0.25 W”的字样, 灯泡都正常发光, 导线电阻不计。求:



- (1) 降压变压器原、副线圈的匝数比;
- (2) 发电机的输出功率。

解析: (1) 彩色小灯泡额定电流

$$I_L = \frac{P}{U} = \frac{0.25}{6} \text{ A} = \frac{1}{24} \text{ A}$$

副线圈中的总电流 $I_2 = 24I_L = 1 \text{ A}$

变压器输入功率 $P_{\lambda} = I_1U_1 = I_2U_2 = 6 \text{ W}$

变压器原线圈电路中, 利用欧姆定律可得

$$E = U_1 + I_1R = \frac{P_{\lambda}}{I_1} + I_1R$$

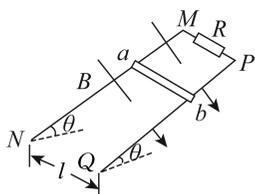
代入数据解得 $I_1 = \frac{1}{3} \text{ A}$ ($I_1 = 3 \text{ A}$ 应舍去, 根据题意知是降压变压器, 应满足 $I_1 < I_2 = 1 \text{ A}$)

$$\text{所以 } \frac{n_1}{n_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{3}{1}.$$

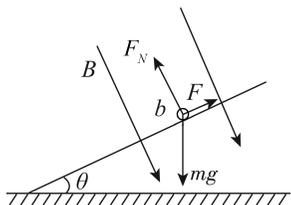
(2) 发电机输出功率 $P = I_1E \approx 6.67 \text{ W}$ 。

答案: (1) 3 : 1 (2) 6.67 W

16. (10 分) 如图所示, 两根足够长的光滑直金属导轨 MN 、 PQ 平行放置在倾角为 θ 的绝缘斜面上, 处于垂直斜面的匀强磁场中, 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。导轨和金属杆的电阻可忽略。让 ab 杆沿导轨由静止开始加速下滑, 当 ab 杆的速度大小为 v 时, 求 ab 杆中的电流大小、加速度的大小以及 ab 杆可以达到的速度最大值。



解析:如图所示,对 ab 杆进行受力分析,其受重力 mg ,方向竖直向下;支持力 F_N ,方向垂直斜面向上;安培力 F ,方向沿斜面向上。



当 ab 杆速度为 v 时,感应电动势 $E = Blv$,此时电

路中电流 $I = \frac{E}{R} = \frac{Blv}{R}$

ab 杆受到的安培力 $F = IlB = \frac{B^2 l^2 v}{R}$

根据牛顿运动定律,有

$$ma = mg \sin \theta - \frac{B^2 l^2 v}{R}$$

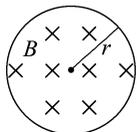
$$a = g \sin \theta - \frac{B^2 l^2 v}{mR}$$

当 $\frac{B^2 l^2 v}{R} = mg \sin \theta$ 时, ab 杆达到最大速度

$$v_m = \frac{mgR \sin \theta}{B^2 l^2}$$

答案: $\frac{Blv}{R} \quad g \sin \theta - \frac{B^2 l^2 v}{mR} \quad \frac{mgR \sin \theta}{B^2 l^2}$

17. (12分) 做磁共振(MRI)检查时,对人体施加的磁场发生变化时会在肌肉组织中产生感应电流。某同学为了估算该感应电流对肌肉组织的影响,将包裹在骨骼上的一圈肌肉组织等效成单匝线圈,线圈的半径 $r = 5.0 \text{ cm}$,线圈导线的横截面积 $S = 0.80 \text{ cm}^2$,电阻率 $\rho = 1.5 \Omega \cdot \text{m}$ 。如图所示,匀强磁场方向与线圈平面垂直,若磁感应强度 B 在 0.3 s 内从 1.5 T 均匀地减小为 0 ,求 0.3 s 内该圈肌肉组织中产生的热量 Q 。



解析:由电阻定律得 $R = \rho \frac{2\pi r}{S}$,代入数据得

$$R = 6 \times 10^3 \Omega$$

感应电动势 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot \pi r^2}{\Delta t}$,代入数据得

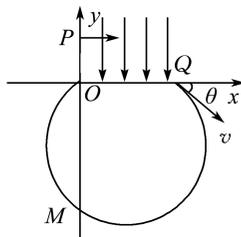
$$E = 4 \times 10^{-2} \text{ V}$$

由焦耳定律,得 $Q = \frac{E^2}{R} \Delta t$,代入数据得

$$Q = 8 \times 10^{-8} \text{ J}$$

答案: $8 \times 10^{-8} \text{ J}$

18. (14分) 如图所示,在第一象限内有一匀强电场,电场强度大小为 E ,方向与 y 轴平行且向下;在 x 轴下方有一匀强磁场,磁场方向与纸面垂直。一质量为 m 、电荷量为 q ($q > 0$) 的粒子以平行于 x 轴的速度从 y 轴上的 P 点处射入电场,从 x 轴上的 Q 点处进入磁场,并从坐标原点 O 离开磁场。粒子在磁场中的运动轨迹与 y 轴交于 M 点。已知 $OP = l, OQ = 2l$,不计重力。求:



- (1) 粒子在磁场中运动的速度大小;
(2) 粒子从 P 点运动到 M 点所用的时间。

解析:(1) 带电粒子在电场中做类平抛运动,在 y 轴方向上做初速度为 0 的匀加速运动,设加速度的大小为 a ;在 x 轴正方向上做匀速直线运动,设速度为 v_0 ;设粒子从 P 点运动到 Q 点所用的时间为 t_1 ,进入磁场时速度方向与 x 轴正方向的夹角为 θ ,粒子在 Q 点的速度沿 y 轴方向的分速度为 v_Q 。

由牛顿第二定律知 $qE = ma$
在电场中运动的时间为

$$t_1 = \sqrt{\frac{2l}{a}}$$

水平初速度 $v_0 = \frac{2l}{t_1}$

竖直分速度 $v_Q = at_1$

又 $\tan \theta = \frac{v_Q}{v_0}$

联立上式,得 $\theta = 45^\circ$

粒子在磁场中运动的速度大小为

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_Q^2} = 2\sqrt{\frac{qEl}{m}}$$

(2) 由几何关系可知,粒子在磁场中运动的半径为 $\sqrt{2}l$, QM 连线为直径,从 Q 点到 M 点运动的时间为 t_2 ,则有 $t_2 = \frac{\pi R}{v}$

从 P 点到 M 点所用的时间

$$t = t_1 + t_2$$

联立各式并代入数据得

$$t = \left(\frac{1}{2}\pi + 1\right)\sqrt{\frac{2ml}{Eq}}$$

答案: (1) $2\sqrt{\frac{qEl}{m}}$ (2) $\left(\frac{1}{2}\pi + 1\right)\sqrt{\frac{2ml}{Eq}}$

模块综合检测(二)

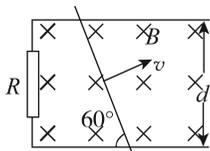
(时间:90分钟 分值:100分)

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的。

1.为了将需要传递的信息(如声音、图像等)加载在电磁波上发射到远方,必须对振荡电流进行 (C)

A. 调谐 B. 放大 C. 调制 D. 检波

2.如图所示,平行金属导轨的间距为 d ,一端跨接一阻值为 R 的电阻,匀强磁场的磁感应强度为 B ,方向垂直于导轨所在平面向里,一根长直金属棒与导轨成 60° 角放置,且接触良好,则当金属棒以垂直于棒的恒定速度 v 沿金属导轨滑行时,其他电阻不计,电阻 R 中的电流为 (A)



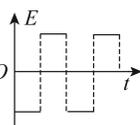
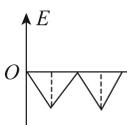
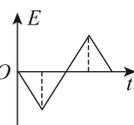
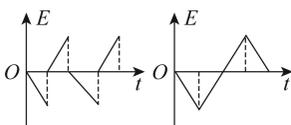
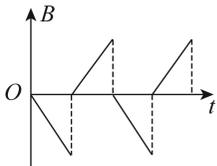
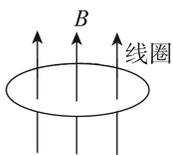
A. $\frac{Bdv}{R \sin 60^\circ}$

B. $\frac{Bdv}{R}$

C. $\frac{Bdv \sin 60^\circ}{R}$

D. $\frac{Bdv \cos 60^\circ}{R}$

3.如图甲所示,一闭合线圈置于磁场中,若磁感应强度 B 随时间变化的规律如图乙所示,则选项中能正确反映线圈中感应电动势 E 随时间 t 变化的图像是 (D)



A

B

C

D

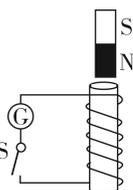
4.如图所示,闭合开关 S ,将条形磁体插入闭合线圈,第一次用了 0.2 s ,第二次用了 0.4 s ,并且两次的起始和终止位置相同,则 (B)

A. 第一次磁通量变化量较大

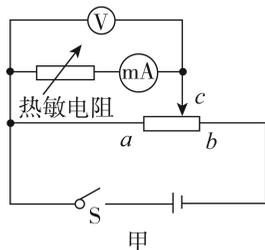
B. 第一次电流计 G 的最大偏转角较大

C. 第一次经过电流计 G 的总电荷量较多

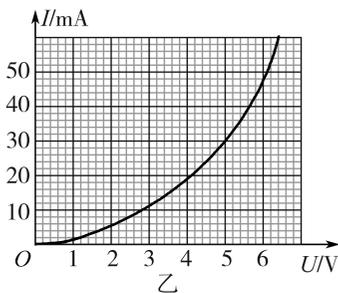
D. 若断开开关 S ,电流计 G 均不偏转,则均无感应电动势产生



S ,当变阻器的滑片滑至 c 处时,电流表和电压表的读数分别为 40 mA 、 9 V 。已知图甲中热敏电阻的 $I-U$ 关系图线如图乙所示,则电流表的内阻为 (B)



甲



乙

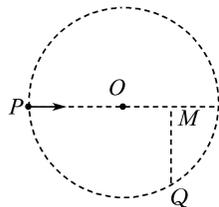
A. $0.14\ \Omega$

B. $85\ \Omega$

C. $140\ \Omega$

D. $225\ \Omega$

6.如图所示,在半径为 R 的圆形区域内存在着垂直于纸面的匀强磁场,磁感应强度大小为 B 。一电荷量为 q 、质量为 m 的带电粒子以一定的初速度从 P 点沿半径 PO 方向射入磁场区域,并从 Q 点离开磁场区。



已知 $OM = \frac{R}{2}$,且 $MQ \perp PO$,则粒子的初速度大小为(不计重力) (C)

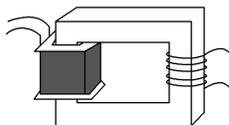
A. $\frac{qBR}{m}$

B. $\frac{\sqrt{2}BR}{m}$

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

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

7.如图所示,一输入电压为 220 V 、输出电压为 36 V 的变压器副线圈被烧坏。为获知此变压器原、副线圈的匝数,某同学拆下烧坏的副线圈,用绝缘导线在铁芯上新绕了 5 匝线圈,然后将原线圈接到 220 V 的交变电源上,测得新绕线圈两端的电压为 1 V 。若按理想变压器分析,该变压器烧坏前的原、副线圈匝数分别为 (B)



A. $1\ 100, 360$

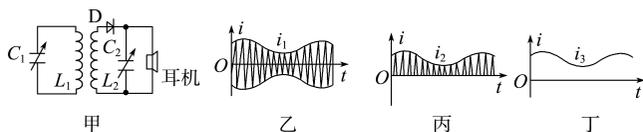
B. $1\ 100, 180$

C. 2 200, 180

D. 2 200, 360

8. 如图甲所示是一个调谐接收电路, 乙、丙、丁为电路中的电流随时间变化的图像, 下列说法不正确的是

(B)

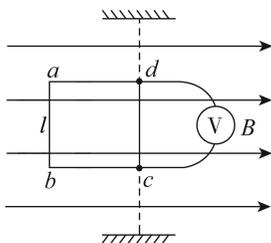


- A. i_1 是 L_1 中的电流图像
- B. i_1 是 L_2 中的电流图像
- C. i_2 是 L_2 中的电流图像
- D. i_3 是流过耳机的电流图像

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. 如图所示, 边长为 l 的正方形闭合线圈在磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 以 dc 边为轴, 以角速度 ω 匀速转动, dc 边接一理想电压表, 转轴与磁感应强度 B 垂直, 线圈总电阻为 R , 导线电阻不计, 下列说法正确的是

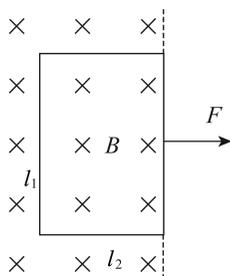
(BC)



- A. 电压表示数为 $\frac{Bl^2\omega}{8}$
- B. 电压表示数为 $\frac{\sqrt{2}Bl^2\omega}{8}$
- C. 线圈转动一周产生的热量为 $\frac{\pi B^2 l^4 \omega}{R}$
- D. 线圈转动一周产生的热量为 $\frac{2\pi B^2 l^4 \omega}{R}$

10. 如图所示, 磁感应强度为 B 的匀强磁场有一理想边界, 用力 F 将矩形线圈(边长分别为 l_1 、 l_2) 从磁场中匀速拉出。在其他条件不变的情况下

(ABC)



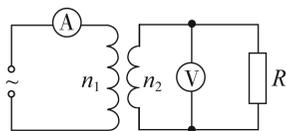
- A. 速度越大时, 拉力做功越多
- B. 线圈边长 l_1 越大, 拉力做功越多

C. 线圈边长 l_2 越大, 拉力做功越多

D. 线圈电阻越大, 拉力做功越多

11. 如图所示, 一理想变压器的原线圈匝数为 $n_1 = 1\ 000$, 副线圈匝数为 $n_2 = 200$, 电阻 $R = 8.8\ \Omega$, 原线圈接入一电压 $u = 220\sqrt{2}\sin(100\pi t)$ V 的交变电源。若电压表和电流表对电路的影响可忽略不计, 则

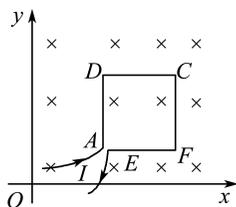
(CD)



- A. 副线圈交变电流的频率是 100 Hz
- B. $t = 1$ s 时, 电压表的示数为零
- C. 电流表的示数为 1 A
- D. 变压器的输入功率为 220 W

12. 如图所示, 在平面直角坐标系 xOy 的第一象限内分布着非匀强磁场, 磁场方向垂直于纸面向里, 沿 y 轴方向磁场分布是不变的, 沿 x 轴方向磁感应强度与 x 满足关系 $B = kx$, 其中 k 是一恒定的正数。由粗细均匀的同种规格导线制成的正方形线框 $ADCF$ 边长为 a , A 处有一极小开口 AE , 整个线框放在磁场中, AD 边与 y 轴平行且距离为 a , 线框上 A 、 E 两点与一电源相连, 稳定时流入线框的电流为 I (方向如图所示)。关于线框受到的安培力情况, 下列说法正确的是

(BC)

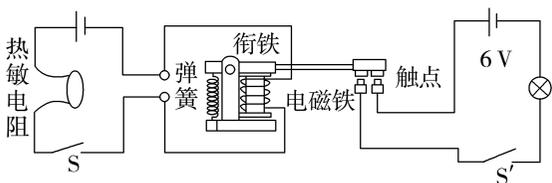


- A. 整个线框受到的合力方向与 FD 连线垂直
- B. 整个线框沿 y 轴方向所受合力为零
- C. 整个线框在 x 轴方向所受合力为 ka^2I , 沿 x 轴正向
- D. 整个线框在 x 轴方向所受合力为 $\frac{3}{4}ka^2I$, 沿 x 轴正向

三、非选择题: 共 6 小题, 共 60 分。

13. (7 分) (1) 在如图所示的电路中, 合上 S 和 S' , 发现小灯泡不亮, 用电吹风对热敏电阻吹一会儿, 会发现小灯泡发光了, 原因是

热敏电阻阻值随温度升高而减小, 导致电磁铁磁性减弱, 衔铁被弹开, 触点接触, 小灯泡发光。



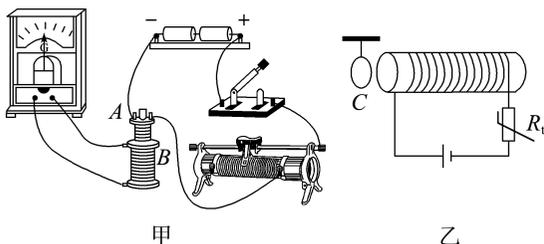
(2)若将热敏电阻换成光敏电阻,合上 S 和 S',发现小灯泡发光,用黑纸包住光敏电阻后,小灯泡熄灭,其原因是_____。

解析:(1)热敏电阻阻值较大,左侧电路中的电流较小,电磁铁磁性较弱,吸不住衔铁,小灯泡不亮,用电吹风对热敏电阻加热,使其阻值变小,电路中电流增大,电磁铁磁性增强吸住衔铁,使上、下触点接触,小灯泡发光。

(2)用黑纸包住光敏电阻后,光敏电阻的阻值增大,左侧电路中的电流减小,电磁铁磁性变弱,吸不住衔铁,使上、下触点断开,造成小灯泡熄灭。

答案:见解析

14.(7分)一同学用图甲所示的实验装置“研究电磁感应现象”。断开开关瞬间,发现灵敏电流计的指针向左偏转了一下。



(1)闭合开关稳定后,将滑动变阻器的滑片向右滑动过程中,灵敏电流计的指针_____ (选填“向左偏转”“向右偏转”或“不偏转”)。

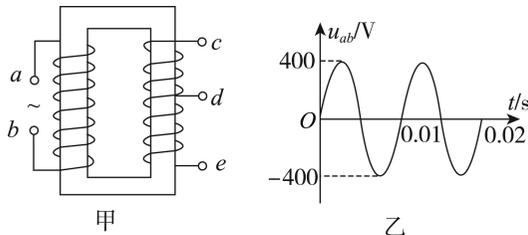
(2)闭合开关稳定后,将线圈 A 从线圈 B 中抽出的过程中,灵敏电流计的指针_____ (选填“向左偏转”“向右偏转”或“不偏转”)。

(3)如图乙所示, R_t 为热敏电阻,其阻值随着周围环境温度的升高而减小。轻质金属环 C 用轻绳悬挂,与长直螺线管共轴,并位于其左侧。若周围环境温度急剧上升时,从左向右看,金属环 C 中电流方向沿_____ (选填“顺时针”或“逆时针”),金属环 C 将向_____ (选填“左”或“右”)运动,并有_____ (选填“收缩”或“扩张”)的趋势。

(1)向右偏转 (2)向左偏转 (3)逆时针 左 收缩

15.(10分)如图甲所示为一理想变压器, ab 为原线圈, ce 为副线圈, d 为副线圈引出的一个接头,原线圈输入的正弦式交变电源的 $u-t$ 图像如图乙所示。若只在 ce 间接一只 $R_{ce} = 400 \Omega$ 的电阻,或只在 de 间接一只 $R_{de} = 225 \Omega$ 的电阻,两种情况下

电阻消耗的功率均为 80 W 。求:



(1)只在 ce 间接 400Ω 的电阻时,原线圈中的电流 I_1 ;

(2) ce 和 de 间线圈的匝数比 $\frac{n_{ce}}{n_{de}}$ 。

解析:(1)由题图乙知 $\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.01} \text{ rad/s} = 200\pi \text{ rad/s}$

电压瞬时值的表达式 $u_{ab} = 400\sin(200\pi t) \text{ V}$

原线圈电压有效值 $U_1 = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 200\sqrt{2} \text{ V}$

由理想变压器可知 $P_1 = P_2$

原线圈中的电流 $I_1 = \frac{P_1}{U_1} \approx 0.28 \text{ A}$ 。

(2)设 ab 间匝数为 n_1 ,根据变压器规律有

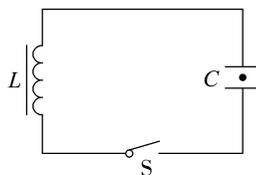
$$\frac{U_1}{n_1} = \frac{U_{ce}}{n_{ce}}, \frac{U_1}{n_1} = \frac{U_{de}}{n_{de}}$$

$$\text{由题意,有 } \frac{U_{ce}^2}{R_{ce}} = \frac{U_{de}^2}{R_{de}}$$

$$\text{联立可得 } \frac{n_{ce}}{n_{de}} = \frac{4}{3}。$$

答案:(1)0.28 A (2)4 : 3

16.(8分)实验室里有一水平放置的平行板电容器,其电容 $C = 10^{-6} \text{ F}$ 。在两极板带有一定电荷量时,发现一带负电的粉尘恰好静止在两极板间。现用一个自感系数 $L = 10^{-4} \text{ H}$ 的电感器,连成如图所示的电路,重力加速度为 g 。



(1)求振荡电路的周期和 S 闭合瞬间电流的方向 (只填写“顺时针”或“逆时针”)。

(2)从 S 闭合时开始计时,经过 $2\pi \times 10^{-5} \text{ s}$ 时,电容器内粉尘的加速度大小是多少 (假设此时粉尘未到达极板)?

(3)当粉尘的加速度为多大时,线圈中电流最大

(假设此时粉尘未到达极板)。

解析:(1)振荡电路的周期

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi\sqrt{10^{-4} \times 10^{-6}} \text{ s} = 2\pi \times 10^{-5} \text{ s}$$

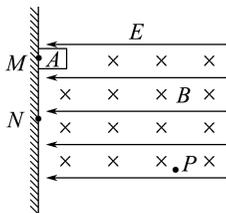
因开始时带负电的粉尘恰好静止在两极板间,可知上板带正电,则 S 闭合瞬间电流的方向为逆时针。

(2) $t = 2\pi \times 10^{-5} \text{ s}$ 时, LC 振荡电路恰好经历一个周期,此时电容器两极板间电场强度的大小、方向均与初始时刻相同,所以此时粉尘所受合力为零,加速度大小为零。

(3)电容器放电过程中,两极板的电荷量减小,电路中的电流增大,当电流最大时,两极板的电荷量为零,极板间电场强度为零,此时粉尘只受重力,其加速度大小为 g 。

答案:(1) $2\pi \times 10^{-5} \text{ s}$ 逆时针 (2)零 (3) g

- 17.(10分)如图所示,匀强电场的电场强度大小 $E = 4 \text{ V/m}$,方向水平向左,匀强磁场的磁感应强度大小 $B = 2 \text{ T}$,方向垂直纸面向里。一个质量为 $m = 1 \times 10^{-3} \text{ kg}$ 、带正电的小物体 A,从 M 点沿绝缘粗糙的竖直墙壁无初速度下滑,当它滑行 0.8 m 到 N 点时就离开墙壁做曲线运动,当 A 运动到 P 点时,恰好处于平衡状态,此时速度方向与水平方向成 45° 角,取 $g = 10 \text{ m/s}^2$,不计空气阻力。求:



- (1)A 沿墙壁下滑时克服摩擦力做的功;
 (2)A 所带电荷量以及运动到 P 点时的速度大小。

解析:(1)小物体 A 下落至 N 点时开始离开墙壁,说明这时小物体 A 与墙壁之间已无挤压,弹力为 0,故有 $qE = qv_N B$

$$\text{解得 } v_N = \frac{E}{B} = 2 \text{ m/s}$$

对小物体 A 从 M 点到 N 点的过程应用动能定理,这一过程电场力和洛伦兹力均不做功,应有

$$mgh - W_f = \frac{1}{2}mv_N^2$$

$$\text{解得 } W_f = 6 \times 10^{-3} \text{ J}.$$

(2)小物体 A 离开 N 点做曲线运动到达 P 点时,小物体 A 处于平衡状态,可列出平衡方程

$$qBv_P \cos 45^\circ = qE \text{ 和 } qBv_P \sin 45^\circ = mg$$

$$\text{解得 } v_P = 2\sqrt{2} \text{ m/s}, q = 2.5 \times 10^{-3} \text{ C}.$$

答案:(1) $6 \times 10^{-3} \text{ J}$ (2) $2.5 \times 10^{-3} \text{ C}$ $2\sqrt{2} \text{ m/s}$

- 18.(14分)风能是新型环保能源之一,近几年来风能发电得到了快速发展。假设如图所的示风车阵中发电机输出功率为 100 kW ,输出电压为 250 V ,用户需要的电压为 220 V ,输电线电阻为 10Ω 。已知输电线因发热而损失的功率为输送功率的 4% 。



- (1)求在输电线路中设置的升、降压变压器中原、副线圈的匝数比;
 (2)画出此输电线路的示意图;
 (3)求用户得到的电功率。

解析:(1)输电线上损失的功率

$$P_{\text{损}} = 4\%P = 4\% \times 100 \text{ kW} = 4 \text{ kW}$$

$$\text{输电线电流 } I_2 = \sqrt{\frac{P_{\text{损}}}{R_{\text{线}}}} = \sqrt{\frac{4 \times 10^3}{10}} \text{ A} = 20 \text{ A}$$

升压变压器输出电压

$$U_2 = \frac{P}{I_2} = \frac{100 \times 10^3}{20} \text{ V} = 5 \times 10^3 \text{ V}$$

升压变压器原、副线圈的匝数比

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{250}{5000} = \frac{1}{20}$$

$$\text{电压损失 } U_{\text{损}} = I_2 R_{\text{线}} = 20 \times 10 \text{ V} = 200 \text{ V}$$

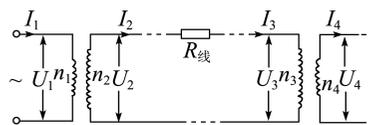
降压变压器原线圈两端电压

$$U_3 = U_2 - U_{\text{损}} = 4800 \text{ V}$$

降压变压器原、副线圈的匝数比

$$\frac{n_3}{n_4} = \frac{U_3}{U_4} = \frac{4800}{220} = \frac{240}{11}$$

(2)输电线路示意图如图所示。



(3)用户得到的电功率,即降压变压器的输出功率为

$$P_{\text{用}} = P - P_{\text{损}} = (1 - 4\%)P = 96\% \times 100 \text{ kW} = 96 \text{ kW}.$$

答案:(1)1 : 20 240 : 11 (2)见解析图

(3)96 kW