

法拉第电磁感应定律、自感和涡流

【目标要求】 1.理解法拉第电磁感应定律,会应用 $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 进行有关计算.2.会计算导体切割磁感线产生的感应电动势.3.了解自感现象、涡流、电磁驱动和电磁阻尼.

考点一 法拉第电磁感应定律的理解及应用

■ 基础梳理 夯实必备知识

1. 感应电动势

- (1)感应电动势:在电磁感应现象中产生的电动势.
(2)产生条件:穿过回路的磁通量发生改变,与电路是否闭合无关.

2. 法拉第电磁感应定律

- (1)内容:闭合电路中感应电动势的大小,跟穿过这一电路的磁通量的变化率成正比.
(2)公式: $E=n\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$, 其中 n 为线圈匝数.
(3)感应电流与感应电动势的关系: $I=\frac{E}{R+r}$.
(4)说明: E 的大小与 Φ 、 $\Delta\Phi$ 无关,决定于磁通量的变化率 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.

■ 判断正误

1. $\Phi=0$, $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ 不一定等于 0. (√)
2. 穿过线圈的磁通量变化越大,感应电动势也越大. (×)
3. 穿过线圈的磁通量变化越快,感应电动势越大. (√)
4. 线圈匝数 n 越多,磁通量越大,产生的感应电动势也越大. (×)

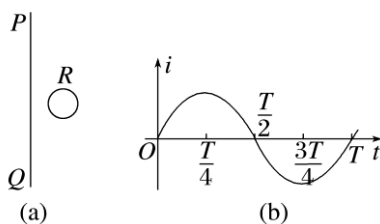
■ 方法技巧 提升关键能力

1. 若已知 $\Phi-t$ 图像,则图线上某一点的切线斜率为 $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$.
2. 当 $\Delta\Phi$ 仅由 B 的变化引起时, $E=n\frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t}$, 其中 S 为线圈在磁场中的有效面积.若 $B=B_0+kt$, 则 $\frac{\Delta B}{\Delta t}=k$.
3. 当 $\Delta\Phi$ 仅由 S 的变化引起时, $E=nB\frac{\Delta S}{\Delta t}$.

4. 当 B 、 S 同时变化时, 则 $\overline{E} = n \frac{B_2 S_2 - B_1 S_1}{\Delta t} \neq n \frac{\Delta B \cdot \Delta S}{\Delta t}$. 求瞬时值是分别求出动生电动势 E_1 和感生电动势 E_2 并进行叠加.

考向 1 判断感应电动势的方向及变化情况

[例 1] (多选)(2018·全国卷 III·20)如图(a), 在同一平面内固定有一长直导线 PQ 和一导线框 R , R 在 PQ 的右侧. 导线 PQ 中通有正弦交流电 i , i 的变化如图(b)所示, 规定从 Q 到 P 为电流正方向. 导线框 R 中的感应电动势()



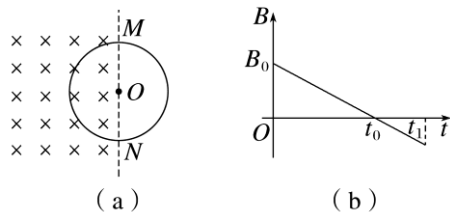
- A. 在 $t = \frac{T}{4}$ 时为零
- B. 在 $t = \frac{T}{2}$ 时改变方向
- C. 在 $t = \frac{T}{2}$ 时最大, 且沿顺时针方向
- D. 在 $t = T$ 时最大, 且沿顺时针方向

答案 AC

解析 在 $t = \frac{T}{4}$ 时, $i-t$ 图线斜率为 0, 即磁场变化率为 0, 由 $E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} S$ 知, $E = 0$, A 项正确; 在 $t = \frac{T}{2}$ 和 $t = T$ 时, $i-t$ 图线斜率的绝对值最大, 在 $t = \frac{T}{2}$ 和 $t = T$ 时感应电动势最大. 在 $\frac{T}{4}$ 到 $\frac{T}{2}$ 之间, 电流由 Q 向 P 减弱, 导线在 R 处产生垂直纸面向里的磁场, 且磁场减弱, 由楞次定律知, R 产生的感应电流的磁场方向也垂直纸面向里, 即 R 中感应电动势沿顺时针方向, 同理可判断在 $\frac{T}{2}$ 到 $\frac{3T}{4}$ 之间, R 中电动势也为顺时针方向, 在 $\frac{3T}{4}$ 到 T 之间, R 中电动势为逆时针方向, C 项正确, B、D 项错误.

考向 2 感应电动势、感应电流的计算

[例 2] (多选)(2019·全国卷 I·20)空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场, 其边界如图(a)中虚线 MN 所示. 一硬质细导线的电阻率为 ρ 、横截面积为 S , 将该导线做成半径为 r 的圆环固定在纸面内, 圆心 O 在 MN 上. $t=0$ 时磁感应强度的方向如图(a)所示; 磁感应强度 B 随时间 t 的变化关系如图(b)所示. 则在 $t=0$ 到 $t=t_1$ 的时间间隔内()



- A. 圆环所受安培力的方向始终不变
 B. 圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

C. 圆环中的感应电流大小为 $\frac{B_0 r S}{4 t_0 \rho}$

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

答案 BC

解析 在 $0 \sim t_0$ 时间内, 磁感应强度减小, 根据楞次定律可知感应电流的方向为顺时针, 圆环所受安培力方向水平向左; 在 $t_0 \sim t_1$ 时间内, 磁感应强度反向增大, 感应电流的方向仍为顺时针, 圆环所受安培力方向水平向右, 所以选项 A 错误, B 正确; 根据法拉第电磁感应定律得

$$E = \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{1}{2} \pi r^2 \cdot \frac{B_0}{t_0} = \frac{B_0 \pi r^2}{2 t_0}, \text{ 由 } R = \rho \frac{l}{S} \text{ 可得 } R = \rho \frac{2 \pi r}{S}, \text{ 根据闭合电路欧姆定律可得 } I = \frac{E}{R} =$$

$\frac{B_0 r S}{4 t_0 \rho}$, 所以选项 C 正确, D 错误.

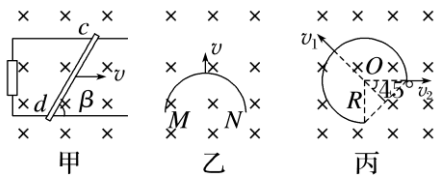
考点二 导体切割磁感线产生的感应电动势

基础梳理 夯实必备知识

1. 导体平动切割磁感线

(1) 有效长度

公式 $E = Blv$ 中的 l 为导体两 endpoint 连线在垂直于速度方向上的投影长度. 如图, 导体的有效长度分别为:



图甲: $l = \overline{cd} \sin \beta$.

图乙: 沿 v 方向运动时, $l = \overline{MN}$.

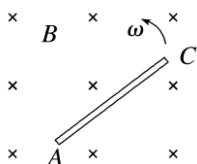
图丙: 沿 v_1 方向运动时, $l = \sqrt{2}R$; 沿 v_2 方向运动时, $l = R$.

(2) 相对速度

$E=Blv$ 中的速度 v 是导体相对磁场的速度，若磁场也在运动，应注意速度间的相对关系。

2. 导体转动切割磁感线

如图，当长为 l 的导体在垂直于匀强磁场(磁感应强度为 B)的平面内，绕一端以角速度 ω 匀速转动，当导体运动 Δt 时间后，转过的弧度 $\theta=\omega\Delta t$ ，扫过的面积 $\Delta S=\frac{1}{2}l^2\omega\Delta t$ ，则 $E=\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}=\frac{B\Delta S}{\Delta t}=\frac{1}{2}Bl^2\omega$ 。

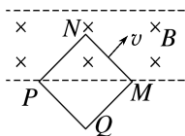


■ 判断正误 ■

1. 公式 $E=Blv$ 中的 l 是导体棒的总长度. (×)
2. 磁场相对导体棒运动，导体棒中也可能产生感应电动势. (√)

考向 1 有效长度问题

例 3] (多选)如图，光滑水平面上两虚线之间区域内存在垂直于纸面向里的范围足够大的匀强磁场，磁感应强度大小为 B 。边长为 a 的正方形导线框 $PQMN$ 沿图示速度方向进入磁场，当对角线 PM 刚进入磁场时线框的速度大小为 v ，方向与磁场边界成 45° 角，若线框的总电阻为 R ，则()



- A. PM 刚进入磁场时线框中的感应电流大小为 $\frac{Bav}{R}$
- B. PM 刚进入磁场时线框所受安培力大小为 $\frac{B^2a^2v}{R}$
- C. PM 刚进入磁场时两端的电压为 $\frac{Bav}{R}$
- D. PM 进入磁场后线框中的感应电流逐渐变小

答案 AD

解析 PM 刚进入磁场时有效的切割长度等于 a ，产生的感应电动势为 $E=Bav$ ，感应电流为

$I=\frac{E}{R}=\frac{Bav}{R}$ ，方向沿逆时针，故 A 正确； NM 边所受的安培力大小为 $F_1=BIa=\frac{B^2a^2v}{R}$ ，方向垂直

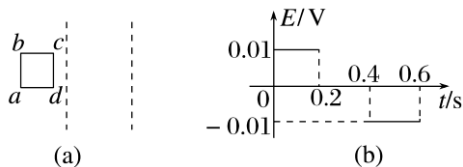
直 NM 斜向下， PN 边所受的安培力大小为 $F_2=BIa=\frac{B^2a^2v}{R}$ ，方向垂直 PN 斜向下，线框所受

安培力大小 $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = \frac{\sqrt{2}B^2a^2v}{R}$, 故 B 错误; PM 两端的电压为 $U = I \cdot \frac{R}{2} = \frac{Bav}{2}$, 故 C 错

误; PM 进入磁场后, 有效切割长度逐渐减小, 感应电动势逐渐减小, 感应电流逐渐减小, 故 D 正确.

考向 2 平动切割磁感线

[例 4] (多选)(2017·全国卷 II·20) 两条平行虚线间存在一匀强磁场, 磁感应强度方向与纸面垂直. 边长为 0.1 m 、总电阻为 $0.005 \ \Omega$ 的正方形导线框 $abcd$ 位于纸面内, cd 边与磁场边界平行, 如图(a)所示. 已知导线框一直向右做匀速直线运动, cd 边于 $t=0$ 时刻进入磁场. 线框中感应电动势随时间变化的图线如图(b)所示(感应电流的方向为顺时针时, 感应电动势取正). 下列说法正确的是()



- A. 磁感应强度的大小为 0.5 T
- B. 导线框运动的速度的大小为 0.5 m/s
- C. 磁感应强度的方向垂直于纸面向外
- D. 在 $t=0.4 \text{ s}$ 至 $t=0.6 \text{ s}$ 这段时间内, 导线框所受的安培力大小为 0.1 N

答案 BC

解析 由题图(b)可知, 导线框经过 0.2 s 全部进入磁场, 则速度 $v = \frac{l}{t} = \frac{0.1}{0.2} \text{ m/s} = 0.5 \text{ m/s}$, 选

项 B 正确; 由题图(b)可知, cd 边切割磁感线产生的感应电动势 $E = 0.01 \text{ V}$, 根据 $E = Blv$ 得,

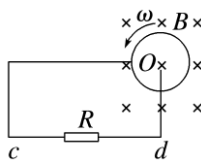
$B = \frac{E}{lv} = \frac{0.01}{0.1 \times 0.5} \text{ T} = 0.2 \text{ T}$, 选项 A 错误; 根据右手定则及正方向的规定可知, 磁感应强度的

方向垂直于纸面向外, 选项 C 正确; 在 $t=0.4 \text{ s}$ 至 $t=0.6 \text{ s}$ 这段时间内, 导线框中的感应电

流 $I = \frac{E}{R} = \frac{0.01}{0.005} \text{ A} = 2 \text{ A}$, 所受的安培力大小为 $F = BIl = 0.2 \times 2 \times 0.1 \text{ N} = 0.04 \text{ N}$, 选项 D 错误.

考向 3 转动切割磁感线

[例 5] 如图所示, 半径为 r 的金属圆盘在垂直于盘面向里的磁感应强度为 B 的匀强磁场中, 绕 O 轴以角速度 ω 沿逆时针方向匀速运动, 则通过电阻 R 的电流的方向和大小是(金属圆盘的电阻不计)()



A. 由 c 到 d , $I = \frac{Br^2\omega}{R}$

B. 由 d 到 c , $I = \frac{Br^2\omega}{R}$

C. 由 c 到 d , $I = \frac{Br^2\omega}{2R}$

D. 由 d 到 c , $I = \frac{Br^2\omega}{2R}$

答案 D

解析 由右手定则, 圆盘相当于电源, 其电流方向为从边缘指向圆心, 所以通过电阻 R 的电流的方向是由 d 到 c ; 而金属圆盘产生的感应电动势 $E = \frac{1}{2}Br^2\omega$, 由 $I = \frac{E}{R}$ 知通过电阻 R 的电流大小是 $I = \frac{Br^2\omega}{2R}$, D 正确.

考点三 自感现象

■ 基础梳理 夯实必备知识

自感现象

(1)概念: 当一个线圈中的电流变化时, 它所产生的变化的磁场在线圈本身激发出感应电动势. 这种现象称为自感, 由于自感而产生的感应电动势叫作自感电动势.

(2)表达式: $E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$.

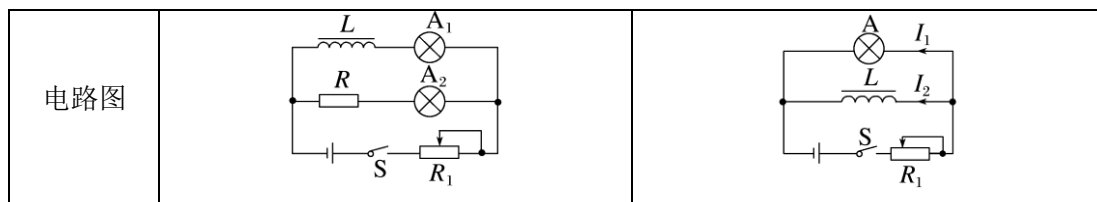
(3)自感系数 L 的影响因素: 与线圈的大小、形状、匝数以及是否有铁芯有关.

■ 判断正误 ■

1. 线圈中电流越大, 自感系数也越大. (×)
2. 对于同一个线圈, 电流变化越快, 线圈中的自感电动势也越大. (√)
3. 自感电动势总是阻止原电流的变化. (×)

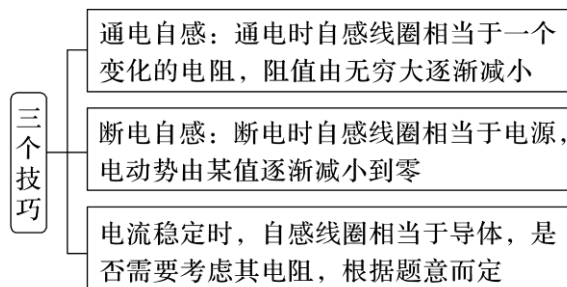
■ 方法技巧 提升关键能力

1. 通电自感和断电自感的比较

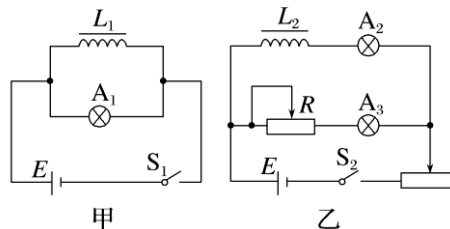


器材要求	A_1 、 A_2 同规格, $R=R_L$, L 较大	L 很大(有铁芯)
通电时	在 S 闭合瞬间, 灯 A_2 立即亮起来, 灯 A_1 逐渐变亮, 最终一样亮	灯 A 立即亮, 然后逐渐变暗达到稳定
断电时	回路电流减小, 灯泡逐渐变暗, A_1 电流方向不变, A_2 电流反向	①若 $I_2 \leq I_1$, 灯泡逐渐变暗; ②若 $I_2 > I_1$, 灯泡闪亮后逐渐变暗. 两种情况下灯泡中电流方向均改变
总结	自感电动势总是阻碍原电流的变化	

2. 分析自感问题的三个技巧



例 6 (2017·北京卷·19) 图甲和图乙是教材中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, 断开开关 S_1 瞬间, 灯 A_1 突然闪亮, 随后逐渐变暗; 闭合开关 S_2 , 灯 A_2 逐渐变亮, 而另一个相同的灯 A_3 立即变亮, 最终 A_2 与 A_3 的亮度相同. 下列说法正确的是()



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

答案 C

解析 断开开关 S_1 瞬间, 线圈 L_1 产生自感电动势, 阻碍电流的减小, 通过 L_1 的电流反向通过灯 A_1 , 灯 A_1 突然闪亮, 随后逐渐变暗, 说明 $I_{L1} > I_{A1}$, 即 $R_{L1} < R_{A1}$, 故 A 错; 题图甲中, 闭合开关 S_1 , 电路稳定后, 因为 $R_{L1} < R_{A1}$, 所以 A_1 中电流小于 L_1 中电流, 故 B 错; 题图乙中, 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,说明变阻器 R 与 L_2 的电阻值相同,故 C 对; 闭合开关 S_2 瞬间, 通过 L_2 的电流增大, 由于电磁感应, 线圈 L_2 产生自感电动势, 阻碍电流的增大, 则 L_2 中电流与变阻器 R 中电流不相等, 故 D 错.

考点四 涡流 电磁阻尼和电磁驱动

■ 基础梳理 夯实必备知识

1. 涡流现象

(1) 涡流: 块状金属放在变化磁场中, 或者让它在非均匀磁场中运动时, 金属块内产生的漩涡状感应电流.

(2) 产生原因: 金属块内磁通量变化 \rightarrow 感应电动势 \rightarrow 感应电流.

2. 电磁阻尼

当导体在磁场中运动时, 感应电流会使导体受到安培力, 安培力总是阻碍导体的运动.

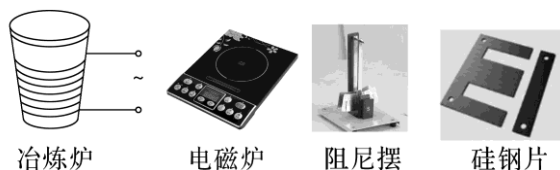
3. 电磁驱动

如果磁场相对于导体转动, 在导体中会产生感应电流使导体受到安培力而运动起来.

■ 判断正误 ■

1. 电磁阻尼体现了能量守恒定律. (\checkmark)
2. 电磁阻尼阻碍相对运动, 电磁驱动促进二者相对运动. (\times)

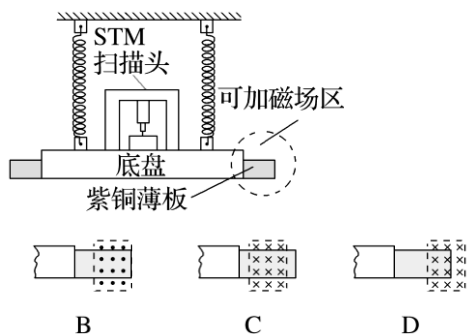
[例 7] 如图所示, 关于涡流的下列说法中错误的是()



- A. 真空冶炼炉是利用涡流来熔化金属的装置
- B. 家用电磁炉锅体中的涡流是由恒定磁场产生的
- 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减小涡流

答案 B

[例 8] (2017·全国卷 I·18) 扫描隧道显微镜 (STM) 可用于探测样品表面原子尺度上的形貌. 为了有效隔离外界振动对 STM 的扰动, 在圆底盘周边沿其径向对称地安装若干对紫铜薄板, 并施加磁场来快速衰减其微小振动, 如图所示. 无扰动时, 按下列四种方案对紫铜薄板施加恒磁场; 出现扰动后, 对于紫铜薄板上下及左右振动的衰减最有效的方案是()



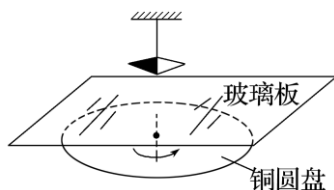
答案 A

解析 感应电流产生的条件是闭合回路中的磁通量发生变化。在 A 图中，系统振动时，紫铜薄板随之上下及左右振动，在磁场中的部分有时多有时少，磁通量发生变化，产生感应电流，受到安培力，阻碍系统的振动；在 B 图中，只有紫铜薄板向左振动才产生感应电流，而上下振动和向右振动无感应电流产生；在 C 图中，无论紫铜薄板上下振动还是左右振动，都不会产生感应电流；在 D 图中，只有紫铜薄板左右振动才产生感应电流，而上下振动无感应电流产生，故选项 A 正确，B、C、D 错误。

课时精练

✓ 必备基础练

1. (2022·陕西榆林市高三模拟)水平放置的玻璃板上方有一用细线悬挂的可自由旋转的小磁针，下方有一水平放置的铜圆盘。圆盘的轴线与小磁针悬线在同一直线上，初始时小磁针与圆盘均处于静止状态。当圆盘绕轴沿逆时针方向(俯视)匀速转动时，下列说法正确的是()



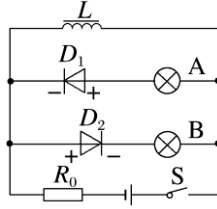
- A. 小磁针不动
- B. 小磁针沿逆时针方向(俯视)转动
- C. 小磁针沿顺时针方向(俯视)转动
- D. 由于穿过圆盘的磁通量没有变化，圆盘中没有感应电流

答案 B

解析 铜圆盘上存在许多小的闭合回路，当圆盘转动时，穿过小的闭合回路的磁通量发生变化，回路中产生感应电流(涡流)，此电流产生的磁场导致磁针沿逆时针方向(俯视)转动，构成

电磁驱动.

2. 如图, 线圈 L 的自感系数极大, 直流电阻忽略不计; D_1 、 D_2 是两个二极管, 当电流从“+”流向“−”时能通过, 反之不通过; R_0 是保护电阻, 则()



- A. 闭合 S 之后, B 灯慢慢变亮
- B. 闭合 S 之后, A 灯亮且亮度不变
- C. 断开 S 瞬时, A 灯闪一下再慢慢熄灭
- D. 断开 S 瞬时, B 灯闪一下再慢慢熄灭

答案 D

解析 闭合 S 瞬间, A 灯支路二极管正向导通, 因此 A 灯亮, B 灯支路二极管不能导通, 因此不亮, 之后线圈自感阻碍逐渐减小, 从自感线圈流过的电流逐渐增大, A 灯逐渐熄灭, 故 A 、 B 错误; 断开 S 瞬间, 线圈 L 产生与原电流方向相同的自感电流, 可通过 D_2 , 故 B 灯闪一下再慢慢熄灭, 电流不能通过 D_1 , 故 A 灯不亮, 故 C 错误, D 正确.

3. 如图所示, 在某次阅兵盛典上, 我国预警机“空警-2000”在通过天安门上空时机翼保持水平, 以 $4.5 \times 10^2 \text{ km/h}$ 的速度自东向西飞行. 该机的翼展(两翼尖之间的距离)为 50 m , 北京地区地磁场向下的竖直分量大小为 $4.7 \times 10^{-5} \text{ T}$, 则()



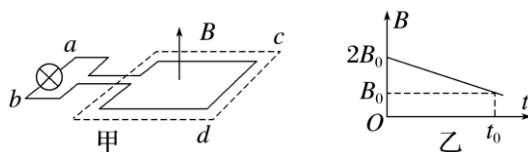
- A. 两翼尖之间的电势差为 2.9 V
- B. 两翼尖之间的电势差为 1.1 V
- C. 飞机左方翼尖的电势比右方翼尖的电势高
- D. 飞机左方翼尖的电势比右方翼尖的电势低

答案 C

解析 飞机的飞行速度为 $4.5 \times 10^2 \text{ km/h} = 125 \text{ m/s}$, 飞机两翼尖之间的电动势为 $E = Blv = 4.7 \times 10^{-5} \times 50 \times 125 \text{ V} \approx 0.29 \text{ V}$, A 、 B 项错误; 飞机从东向西飞行, 磁场竖直分量向下, 根据右手定则可知, 飞机左方翼尖的电势高于右方翼尖的电势, C 项正确, D 项错误.

4. (多选)如图甲, 在虚线所示的区域有竖直向上的匀强磁场, 面积为 S 的单匝金属线框放在

磁场中，线框上开有一小口与磁场外阻值为 R 的小灯泡相连。若金属框的总电阻也为 R ，磁场随时间变化关系如图乙，则下列说法正确的是()



- A. b 端电势较高
- B. 线框 cd 边受到的安培力方向向左
- C. ab 间电压大小为 $\frac{B_0 S}{2t_0}$
- D. $0 \sim t_0$ 时间内小灯泡的电功率为 $\frac{B_0^2 S^2}{4Rt_0^2}$

答案 CD

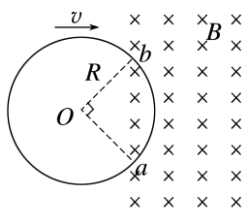
解析 由楞次定律可得感应电流的方向为逆时针，金属线框相当于电源，通过 R 的电流方向为 $a \rightarrow b$ ，即 a 端电势高，故 A 错误；根据左手定则可知，线框 cd 边受到的安培力方向向右，故 B 错误；

穿过线框的感应电动势大小为 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = \frac{2B_0 - B_0}{t_0} \cdot S = \frac{B_0 S}{t_0}$ ，由闭合电路欧姆定律

可得 $I = \frac{E}{R + R}$ ，则电阻 R 两端的电压为 $U = IR = \frac{B_0 S}{2t_0}$ ，故 C 正确；由电功率的计算表达式有 P

$= I^2 R = \frac{B_0^2 S^2}{4Rt_0^2}$ ，故 D 正确。

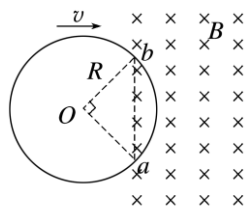
5. (2022·上海浦东华师大二附中高三模拟)如图所示，由均匀导线制成的半径为 R 的圆环，以速度 v 匀速进入一磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。当圆环运动到图示位置($\angle aOb = 90^\circ$)时， a 、 b 两点的电势差 U_{ab} 为()



- A. $\sqrt{2}BRv$
- B. $\frac{\sqrt{2}}{2}BRv$
- C. $-\frac{\sqrt{2}}{4}BRv$
- D. $-\frac{3\sqrt{2}}{4}BRv$

答案 D

解析 有效切割长度即 a 、 b 连线的长度，如图所示

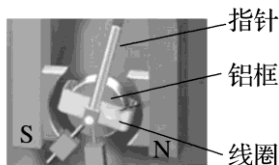


由几何关系知有效切割长度为 $\sqrt{2}R$ ，所以产生的电动势为 $E = BLv = B \cdot \sqrt{2}Rv$ ，电流的方向为

$a \rightarrow b$ ，所以 $U_{ab} < 0$ ，由于在磁场部分的阻值为整个圆的 $\frac{1}{4}$ ，所以 $U_{ab} = -\frac{3}{4}B \cdot \sqrt{2}Rv = -\frac{3\sqrt{2}}{4}BRv$ ，

故选 D.

6. 磁电式仪表的基本组成部分是磁体和线圈. 缠绕线圈的骨架常用铝框, 铝框、指针固定在同一转轴上. 线圈未通电时, 指针竖直指在表盘中央; 线圈通电时发生转动, 指针随之偏转, 由此就能确定电流的大小. 如图所示, 线圈通电时指针向右偏转, 在此过程中, 下列说法正确的是()



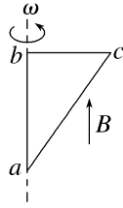
- A. 俯视看线圈中通有逆时针方向的电流
- B. 穿过铝框的磁通量减少
- C. 俯视看铝框中产生顺时针方向的感应电流
- D. 使用铝框做线圈骨架能够尽快使表针停在某一刻度处

答案 D

解析 由左手定则可知, 俯视看线圈中通有顺时针方向的电流, 选项 A 错误; 因为线圈在水平位置时磁通量为零, 则线圈转动时, 穿过铝框的磁通量增加, 根据楞次定律可知, 俯视看铝框中产生逆时针方向的感应电流, 选项 B、C 错误; 当铝框中产生感应电流时, 铝框受到的安培力与运动方向相反, 故起到了阻尼作用, 则使用铝框做线圈骨架能够尽快使表针停在某一刻度处, 故 D 正确.

能力综合练

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



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

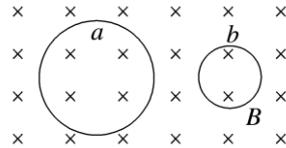
答案 C

解析 穿过金属框的磁通量始终为零, 没有发生变化, 故金属框中无电流, B、D 项错误;

bc 边切割磁感线的等效速度为 $\frac{1}{2}l\omega$, 根据右手定则知 $\varphi_b < \varphi_c$, 故 $U_{bc} = -\frac{1}{2}Bl^2\omega$, C 项正确;

ac 边切割磁感线, 根据右手定则得 $\varphi_a < \varphi_c$, A 项错误.

8. (多选) 如图所示, 匀强磁场中有 a 、 b 两个闭合线圈, 它们用同样的导线制成, 匝数均为 n , 线圈半径 $r_a = 2r_b$. 磁场方向与两线圈所在平面垂直, 磁感应强度 B 随时间均匀增大. 两线圈中产生的感应电动势分别为 E_a 和 E_b , 感应电流分别为 I_a 和 I_b . 不考虑两线圈间的相互影响. 下列说法中正确的是()



- A. $E_a : E_b = 2 : 1$, 感应电流均沿顺时针方向
- B. $E_a : E_b = 4 : 1$, 感应电流均沿逆时针方向
- C. $I_a : I_b = 2 : 1$, 感应电流均沿逆时针方向
- D. $I_a : I_b = 1 : 2$, 感应电流均沿顺时针方向

答案 BC

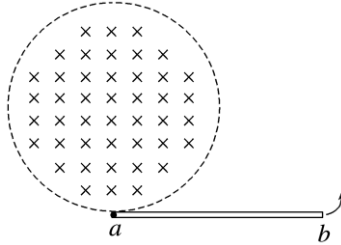
解析 磁场垂直于纸面向里, 磁感应强度增大, 穿过线圈的磁通量增加, 由楞次定律可知,

线圈中的感应电流沿逆时针方向; 设导线的电阻率为 ρ , 横截面积为 S , 由电阻定律可知, 线圈电阻 $R = \rho \frac{L}{S} = \rho \frac{n \cdot 2\pi r}{S}$. 由法拉第电磁感应定律可知, 感应电动势 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = nS' \frac{\Delta B}{\Delta t} = n\pi r^2 \frac{\Delta B}{\Delta t}$,

则感应电动势之比 $\frac{E_a}{E_b} = \frac{r_a^2}{r_b^2} = \left(\frac{2}{1}\right)^2 = \frac{4}{1}$, A 错误, B 正确; 由闭合电路欧姆定律可知, 感应电流

$I = \frac{E}{R} = \frac{rS}{2\rho} \cdot \frac{\Delta B}{\Delta t}$, 电流之比 $\frac{I_a}{I_b} = \frac{r_a}{r_b} = \frac{2}{1}$, C 正确, D 错误.

9. 如图所示, 在半径为 R 的圆形区域内存在垂直于平面向里的匀强磁场, 磁感应强度为 B , 圆外无磁场. 一根长为 $2R$ 的导体杆 ab 水平放置, a 端处在圆形磁场的下边界, 现使杆绕 a 端以角速度 ω 逆时针匀速旋转 180° , 在旋转过程中()



- A. b 端的电势始终高于 a 端
- B. ab 杆的电动势最大值 $E = BR^2\omega$
- C. 全过程中, ab 杆平均电动势 $\overline{E} = BR^2\omega$
- D. 当杆旋转 $\theta = 120^\circ$ 时, ab 间电势差 $U_{ab} = \frac{1}{2}BR^2\omega$

答案 C

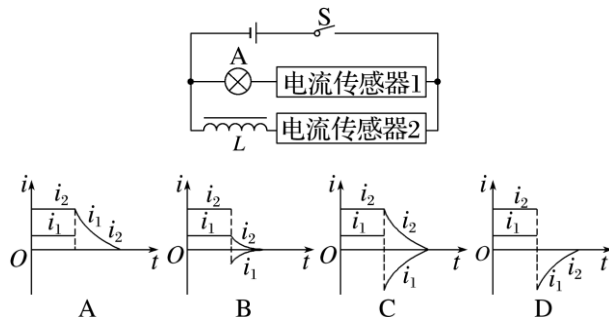
解析 根据右手定则, a 端相当于电源正极, b 端为负极, 故 A 错误; 当导体杆 ab 和直径重合时, 切割磁感线的有效长度 $l = 2R$, 此时产生的感应电动势最大, ab 杆切割磁感线产生的

感应电动势为 $E = \frac{1}{2}Bl^2\omega = 2BR^2\omega$, 故 B 错误; 根据法拉第电磁感应定律可知, 全过程中, ab

杆平均电动势为 $\overline{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = BR^2\omega$, 故 C 正确; 当 $\theta = 120^\circ$ 时, ab 杆切割磁感线的有效长度 l'

$= \sqrt{3}R$, ab 杆切割磁感线产生的感应电动势为 $E' = \frac{1}{2}Bl'^2\omega = \frac{3}{2}BR^2\omega$, 故 D 错误.

10. 如图所示, 某小组利用电流传感器(接入电脑, 图中未画出)记录灯泡 A 和自感元件 L 构成的并联电路某时刻在断电瞬间各支路电流随时间的变化情况, i_1 表示小灯泡中的电流, i_2 表示自感元件中的电流(已知开关 S 闭合时 $i_2 > i_1$), 则下列图像中正确的是()



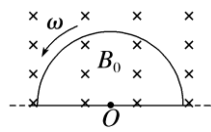
答案 C

解析 当开关 S 断开后, 自感元件与灯泡形成回路, 自感元件阻碍自身电流变化, 自感元件

产生的感应电流仍沿着原来方向，大小从 i_2 开始不断减小，灯泡的电流反向，大小与自感元件电流相等，故 C 正确，A、B、D 错误。

✓ 素养提升练

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

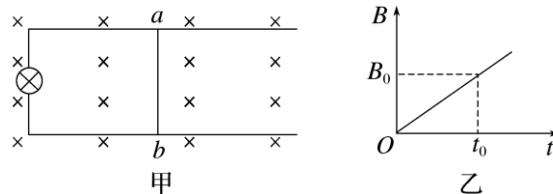


- A. $\frac{\omega B_0}{\pi}$ B. $\frac{2\omega B_0}{\pi}$ C. $\frac{4\omega B_0}{\pi}$ D. $\frac{\omega B_0}{2\pi}$

答案 A

解析 若要产生的电流相等，则产生的感应电动势应相等。设半圆半径为 L ，从静止开始绕圆心 O 以角速度 ω 匀速转动时，线框中产生的感应电动势大小为 $E_1 = \frac{1}{2}B_0L^2\omega$ ；当磁感应强度大小随时间线性变化时，根据法拉第电磁感应定律得 $E_2 = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \frac{\Delta B \cdot S}{\Delta t} = \frac{\Delta B}{\Delta t} \cdot \frac{1}{2}\pi L^2$ ，由 $E_1 = E_2$ 可得 $\frac{\Delta B}{\Delta t} = \frac{\omega B_0}{\pi}$ ，故 B、C、D 错误，A 正确。

12. (多选)如图甲所示，足够长的光滑金属导轨处在垂直于导轨平面向里的匀强磁场中，其磁感应强度 B 随时间 t 的变化图像如图乙所示。导轨左端接有一个电阻值恒为 R 的灯泡。从 0 时刻开始，垂直于导轨的导体棒 ab 在水平外力 F 的作用下从导轨的左端沿导轨以速度 v 水平向右匀速运动。导体棒 ab 的长度为 l ，导体棒运动过程中与导轨接触良好，导体棒与导轨的电阻均不计。在导体棒 ab 向右运动的过程中，下列说法正确的是()



- A. 灯泡亮度不变
 B. 灯泡逐渐变亮
 C. 在 t_0 时刻， $F = \frac{2B_0^2 l^2 v}{R}$

D. 在 t_0 时刻, $F = \frac{B_0^2 l^2 v}{R}$

答案 BC

解析 由题图乙可知, 在 t 时刻磁感应强度的大小为 $B = \frac{B_0}{t_0}t$, 所以在 t 时刻回路中由于导体棒运动产生的动生电动势为 $E_1 = Blv = \frac{B_0 l v t}{t_0}$, 在 t 时刻回路中由于磁感应强度变化产生的感生电动势为 $E_2 = \frac{S \Delta B}{\Delta t} = \frac{l v t B_0}{t_0}$, 根据右手定则和楞次定律可知, 这两个电动势是同方向的, 所以回路中的总电动势为 $E = E_1 + E_2 = 2 \frac{B_0 l v t}{t_0}$, 因此回路中的总电动势随时间增大, 所以灯泡逐渐变亮, 故 A 错误, B 正确; 在 t_0 时刻, 回路中的总电动势为 $E' = 2 \frac{B_0 l v t_0}{t_0} = 2 B_0 l v$, 回路中的电流为 $I = \frac{E'}{R} = \frac{2 B_0 l v}{R}$, ab 棒受到的安培力大小为 $F' = B_0 I l = \frac{2 B_0^2 l^2 v}{R}$, 由于 ab 棒匀速运动, 所以 ab 棒受力平衡, 因此水平外力大小为 $F = F' = \frac{2 B_0^2 l^2 v}{R}$, 故 C 正确, D 错误.