

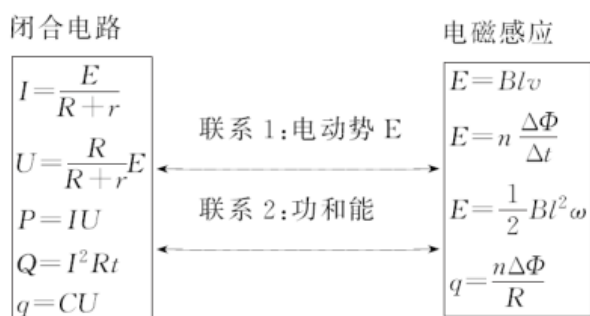
专题 19 电磁感应的电路、图像及动力学问题

目录

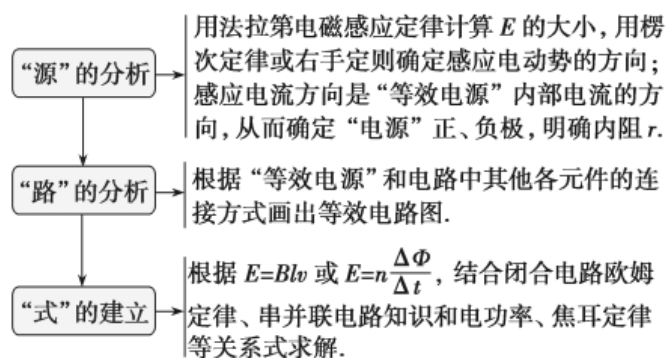
专题 14 电磁感应的电路、图像及动力学问题	1
考向一 电磁感应中的电路问题	1
考查方式一 动生电动势的电路分析	1
考查方式二 感生电动势的电路分析	6
考向二 电磁感应中的图象问题	9
考查方式一 磁感应强度变化的图象问题	10
考查方式二 导体切割磁感线的图象问题	11
考查方式三 电磁感应中双电源问题与图象的综合	12
考向三 电磁感应中的平衡、动力学问题	13
考查方式一 电磁感应中的动力学问题	14
考查方式二 电磁感应中平衡问题	18
考查方式三 电磁感应中含电容器的动力学问题	20
【题型演练】	23

考向一 电磁感应中的电路问题

1. 电磁感应中电路知识的关系图



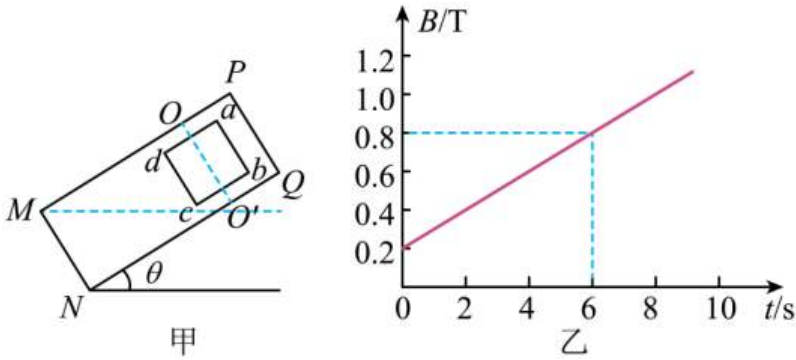
2. 解决电磁感应中的电路问题三部曲



考查方式一 动生电动势的电路分析

【例 1】如图甲所示, $PQNM$ 是倾角 $\theta = 37^\circ$ 、表面粗糙的绝缘斜面, $abcd$ 是匝数 $n = 20$ 、质量 $m = 1\text{kg}$ 、总电阻 $R = 2\Omega$ 、边长 $L = 1\text{m}$ 的正方形金属线框。线框与斜面间的动摩擦因数 $\mu = 0.8$, 在 $OO'NM$

的区域加上垂直斜面向上的匀强磁场，使线框的一半处于磁场中，磁场的磁感应强度 B 随时间 t 变化的图像如图乙所示。 g 取 10m/s^2 ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8$ 。下列说法正确的是（ ）



- A. 0~6s 内，线框中的感应电流大小为 1A
- B. 0~6s 内，线框产生的焦耳热为 6J
- C. $t = 6\text{s}$ 时，线框受到的安培力大小为 8N
- D. $t = 10\text{s}$ 时，线框即将开始运动

【答案】 C

【详解】 AD. 由图乙知

$$B = 0.1t + 0.2(\text{T})$$

$$\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0.1\text{T/s}$$

设线框即将向运动的时间为 t ，则

$$nBIL = mg \sin \theta + \mu mg \cos \theta$$

线框未动时，根据法拉第电磁感应定律

$$E = n \cdot \frac{1}{2} L^2 \frac{\Delta B}{\Delta t} = 1\text{V}$$

由闭合电路欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R} = 0.5\text{A}$$

解得

$$t = 10.4\text{s}$$

0~10.4s 内线框处于静止，线框中的感应电流大小为 0.5A，故 AD 错误；

B. 0~6s 内，框产生焦耳热为

$$Q = I^2 R t = 0.5^2 \times 2 \times 6\text{J} = 3\text{J}$$

故 B 错误；

C. $t = 6\text{s}$ 时，磁感应强度为

$$B = 0.1t + 0.2(\text{T}) = 0.1 \times 6 + 0.2\text{T} = 0.8\text{T}$$

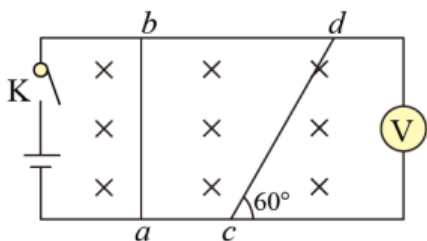
线框受到的安培力大小为

$$F = nBIL = 20 \times 0.8 \times 0.5 \times 1\text{N} = 8\text{N}$$

故 C 正确。

故选 C。

[变式 1] (多选) 如图所示，水平放置的平行光滑导轨左端连接开关 K 和电源，右端接有理想电压表。匀强磁场垂直于导轨所在的平面。 ab 、 cd 两根导体棒单位长度电阻相同、单位长度质量也相同， ab 垂直于导轨， cd 与导轨成 60° 角。两棒的端点恰在导轨上，且与导轨接触良好，除导体棒外，其余电阻不计。下列说法正确的是 ()



- A. 闭合开关 K 瞬间，两棒所受安培力大小相等
- B. 闭合开关 K 瞬间，两棒加速度大小相等
- C. 断开开关 K，让两棒以相同的速度水平向右切割磁感线，电压表无示数
- D. 断开开关 K，固定 ab ，让 cd 棒以速度 v 沿导轨向右运动时电压表示数为 U_1 ；固定 cd ，让 ab 棒以速度 v 沿导轨向右运动时电压表示数为 U_2 ，则 $U_1 = U_2$

【答案】A

【详解】A. 设 ab 导体棒的长度为 L ，则 cd 导体棒为

$$L_{cd} = \frac{L}{\sin 60^\circ} = \frac{2\sqrt{3}L}{3}$$

ab 、 cd 两根导体棒单位长度电阻相同，所以 ab 、 cd 两根导体棒的电阻之比为

$$R_{ab} : R_{cd} = \sqrt{3} : 2$$

闭合开关 K 瞬间，通过 ab 、 cd 两根导体棒的电流之比为

$$I_{ab} : I_{cd} = 2 : \sqrt{3}$$

根据安培力公式

$$F = BIL$$

可知 ab 、 cd 两根导体棒所受安培力为

$$F_{ab} : F_{cd} = 1 : 1$$

B. ab 、 cd 两根导体棒单位长度质量相同，所以 ab 、 cd 两根导体棒的质量之比为

$$m_{ab} : m_{cd} = \sqrt{3} : 2$$

根据牛顿第二定律可知，闭合开关 K 瞬间， ab 、 cd 两根导体棒的加速度之比为

$$a_{ab} : a_{cd} = 2 : \sqrt{3}$$

故 B 错误；

C. 断开开关 K，让两棒以相同的速度水平向右切割磁感线， ab 、 cd 两根导体棒的有效长度相等，设两棒运动的速度 v ，则电压表示数为

$$U = BLv$$

故 C 错误；

D. 断开开关 K，固定 ab ，让 cd 棒以速度 v 沿导轨向右运动时，则有

$$E_1 = BLv$$

电压表示数为

$$U_1 = \frac{R_{ab}}{R_{ab} + R_{cd}} E_1 = \frac{\sqrt{3}BLv}{2 + \sqrt{3}}$$

固定 cd ，让 ab 棒以速度 v 沿导轨向右运动时，则有

$$E_2 = BLv$$

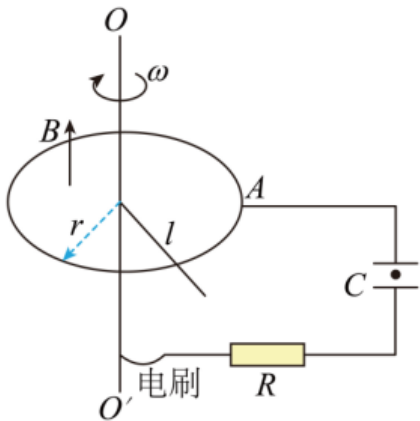
电压表示数为

$$U_2 = \frac{R_{cd}}{R_{ab} + R_{cd}} E_2 = \frac{2BLv}{2 + \sqrt{3}}$$

故 D 错误；

故选 A。

[变式 2] (多选) 如图所示，固定在水平面上的半径为 r 的金属圆环内存在方向竖直向上、磁感应强度大小为 B 的匀强磁场。长为 l 的金属棒，一端与圆环接触良好，另一端固定在竖直导电转轴 OO' 上，随轴以角速度 ω 匀速转动。在电刷和圆环的 A 点间接有阻值为 R 的电阻和电容为 C 、板间距为 d 的平行板电容器，有一带电微粒在电容器极板间处于静止状态。已知重力加速度为 g ，金属棒接入电路的电阻为 R ，不计其他电阻和摩擦，下列说法正确的是 ()



- A. 金属棒产生的电动势为 $\frac{1}{2}Bl^2\omega$ B. 电阻 R 两端的电压为 $\frac{1}{4}Br^2\omega$
- C. 电容器所带的电荷量为 $\frac{1}{2}CBr^2\omega$ D. 微粒的电荷量与质量之比为 $\frac{2gd}{Br^2\omega}$

【答案】CD

【详解】A. 金属棒绕 OO' 轴切割磁感线转动，棒产生的电动势

$$E = Br \cdot \frac{\omega r}{2} = \frac{1}{2}Br^2\omega$$

A 错误；

B. 电路不闭合没有电流，电阻 R 两端的电压为零，B 错误；

C. 电容器两极板间电压等于电源电动势 E ，电容器所带的电荷量

$$Q = CE = \frac{CBr^2\omega}{2}$$

C 正确；

D. 带电微粒在两极板间处于静止状态，则

$$q \frac{E}{d} = mg$$

即

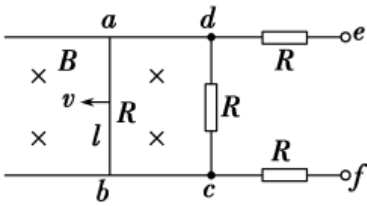
$$\frac{q}{m} = \frac{dg}{E} = \frac{dg}{\frac{1}{2}Br^2\omega} = \frac{2dg}{Br^2\omega}$$

D 正确。

故选 CD。

【变式 1】(2019·焦作一模)如图所示，两根足够长的光滑金属导轨水平平行放置，间距为 $l=1\text{ m}$ ， cd 间、 de 间、 cf 间分别接着阻值 $R=10\ \Omega$ 的电阻。一阻值 $R=10\ \Omega$ 的导体棒 ab 以速度 $v=4\text{ m/s}$ 匀速向左运动，导体棒与导轨接触良好；导轨所在平面存在磁感应强度大小 $B=0.5$

T、方向竖直向下的匀强磁场. 下列说法中正确的是()



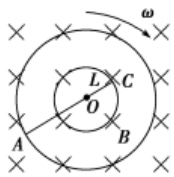
- A. 导体棒 ab 中电流的流向为由 b 到 a B. cd 两端的电压为 1 V
 C. de 两端的电压为 1 V D. fe 两端的电压为 1 V

【答案】 BD

【解析】由右手定则可知 ab 中电流方向为 $a \rightarrow b$, A 错误; 导体棒 ab 切割磁感线产生的感应电动势 $E = Blv$, ab 为电源, cd 间电阻 R 为外电路负载, de 和 cf 间电阻中无电流, de 和 cf 间无电压, 因此 cd 和 fe 两端电压相等, 即 $U = \frac{E}{2R} \times R = \frac{Blv}{2} = 1\text{ V}$, B、D 正确, C 错误.

【变式 2】如图所示, 一金属棒 AC 在匀强磁场中绕平行于磁感应强度方向的轴(过 O 点)匀速转动, $OA = 2OC = 2L$, 磁感应强度大小为 B 、方向垂直纸面向里, 金属棒转动的角速度为 ω 、电阻为 r , 内、外两金属圆环分别与 C 、 A 良好接触并各引出一接线柱与外电阻 R 相接(没画出), 两金属环圆心皆为 O 且电阻均不计, 则

()



- A. 金属棒中有从 A 到 C 的感应电流 B. 外电阻 R 中的电流为 $I = \frac{3B\omega L^2}{2(R+r)}$
 C. 当 $r = R$ 时, 外电阻消耗功率最小 D. 金属棒 AC 间电压为 $\frac{3B\omega L^2 R}{2(R+r)}$

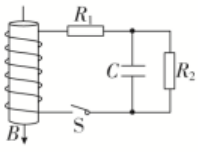
【答案】 BD

【解析】由右手定则可知金属棒相当于电源且 A 是电源的正极, 即金属棒中有从 C 到 A 的感应电流, A 错误; 金属棒转动产生的感应电动势为 $E = \frac{1}{2}B\omega(2L)^2 - \frac{1}{2}B\omega L^2 = \frac{3B\omega L^2}{2}$, 即回路中电流为 $I = \frac{3B\omega L^2}{2(R+r)}$, B 正确; 由电源输出功率特点知, 当内、外电阻相等时, 外电路消耗功率最大, C 错误; $U_{AC} = IR = \frac{3B\omega L^2 R}{2(R+r)}$, D 正确.

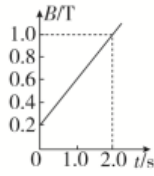
考查方式二 感生电动势的电路分析

【例 2】在如图甲所示的电路中, 螺线管匝数 $n = 1000$ 匝, 横截面积 $S = 20\text{ cm}^2$, 螺线管导线电阻 $r = 1.0\ \Omega$, $R_1 = 4.0\ \Omega$, $R_2 = 5.0\ \Omega$, $C = 30\ \mu\text{F}$. 在一段时间内, 垂直穿过螺线管的磁场的磁感应强度 B

的方向如图甲所示，大小按如图乙所示的规律变化，则下列说法中正确的是()



甲



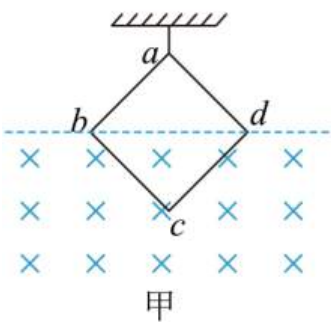
乙

- A. 螺线管中产生的感应电动势为 1.2 V
- B. 闭合 S，电路中的电流稳定后，电容器下极板带负电
- C. 闭合 S，电路中的电流稳定后，电阻 R_1 的电功率为 2.56×10^{-2} W
- D. S 断开后，流经 R_2 的电量为 1.8×10^{-2} C

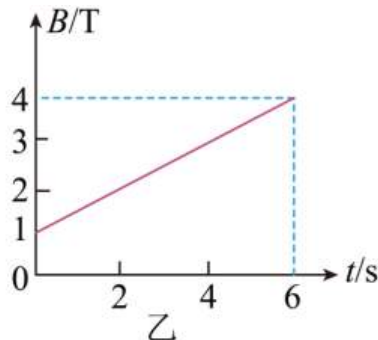
【答案】 C

【解析】 根据法拉第电磁感应定律： $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = nS \frac{\Delta B}{\Delta t}$ ，解得： $E = 0.8$ V，A 错误；根据楞次定律可知，螺线管的感应电流盘旋而下，则螺线管下端是电源的正极，电容器下极板带正电，B 错误；根据闭合电路欧姆定律，有： $I = \frac{E}{R_1 + R_2 + r} = 0.08$ A，根据 $P = I^2 R_1$ 得：电阻 R_1 的电功率 $P = 2.56 \times 10^{-2}$ W，C 正确；S 断开后，流经 R_2 的电量为 S 闭合时电容器极板上所带的电量 Q ，电容器两极板间的电压为： $U = IR_2 = 0.4$ V，流经 R_2 的电量为： $Q = CU = 1.2 \times 10^{-5}$ C，D 错误。

[变式 1] 轻质细线吊着一质量为 $m = 1$ kg、边长为 0.2 m、电阻 $R = 1 \Omega$ 、匝数 $n = 10$ 的正方形闭合线圈 $abcd$ ， bd 下方区域分布着磁场，如图甲所示。磁场方向垂直纸面向里，磁感应强度大小随时间变化关系如图乙所示。不考虑线圈的形变和电阻的变化，整个过程细线未断且线圈始终处于静止状态， g 取 10 m/s^2 。则下列判断正确的是 ()



甲



乙

- A. 线圈中感应电流的方向为 $adcba$
- B. 线圈中的感应电流大小为 0.2 A
- C. 0~2 s 时间内线圈中产生的热量为 0.02 J
- D. 6 s 时线圈受安培力的大小为 $0.08\sqrt{2}$ N

【答案】C

【详解】A. 磁感应强度向里并且增大，由楞次定律可得，感应电流产生的磁场垂直纸面向外，线圈中感应电流的方向为逆时针，即 $abcda$ ，故 A 错误；

B. 线圈中的感应电流大小

$$I = n \frac{S \Delta B}{R \Delta t}$$

假设线框边长为 l ，则

$$S = \frac{l^2}{2}$$

联立两式代入数据解得

$$I = 0.1\text{A}$$

故 B 错误；

C. 0~2s 时间内金属环产生的热量为

$$Q = I^2 R t = 0.02\text{J}$$

故 C 正确；

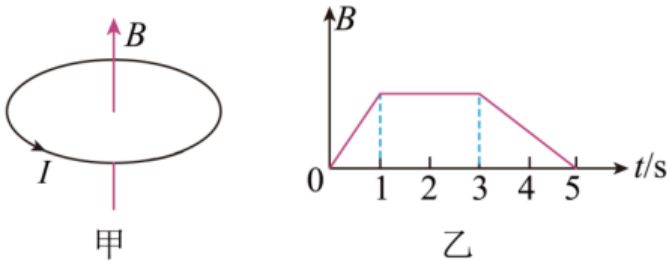
D 线圈的 bcd 部分在匀强磁场中受到安培力，受到安培力的大小等效为 bd 直棒受到的安培力，6s 时线圈受到的安培力

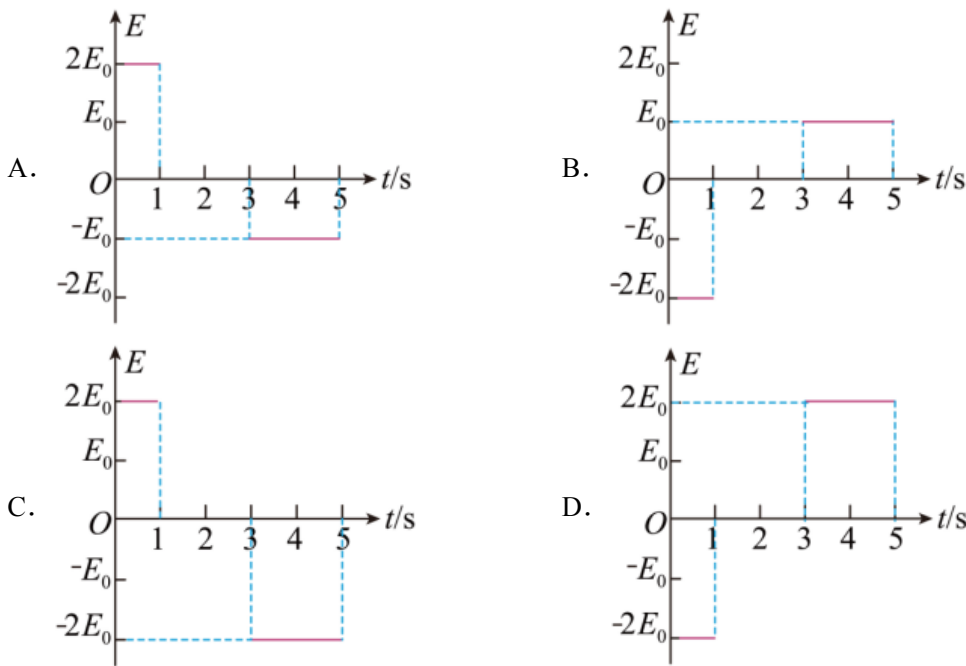
$$f = nIBL = 10 \times 0.1 \times 4 \times 0.2\sqrt{2} = 0.8\sqrt{2}\text{N}$$

故 D 错误。

故选 C。

[变式 2]在竖直向上的匀强磁场中，水平放置一个不变形的单匝金属圆线圈，规定线圈中感应电流的正方向如图甲所示，当磁场的磁感应强度 B 随时间 t 按图乙所示变化时，下列选项中能正确表示线圈中感应电动势 E 变化的是 ()





【答案】B

【详解】0-1s内，磁场均匀增大，根据楞次定律，线圈中感应电流为负方向，且保持不变；1-3s内，磁场不变，线圈中感应电流为零；3-5s内磁场均匀减小，同理，线圈中感应电流为正方向，且保持不变。0-1s内和3-5s内磁场的变化率为2:1，即感应电动势为2:1。可得出感应电动势图像为B。

故选B。

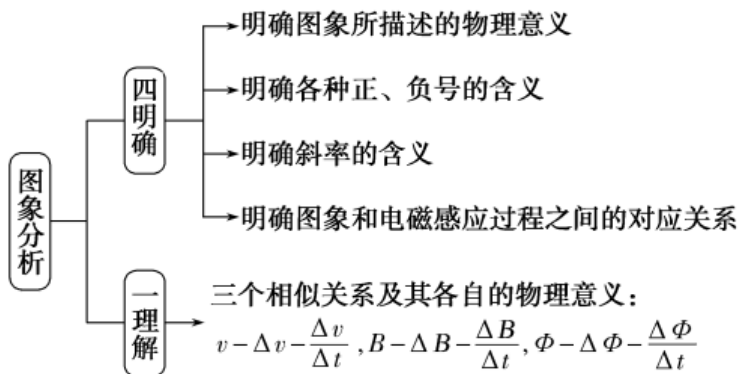
考向二 电磁感应中的图象问题

1. 电磁感应中常见的图象问题

图象类型	随时间变化的图象，如 $B-t$ 图象、 $\Phi-t$ 图象、 $E-t$ 图象、 $I-t$ 图象	
	随位移变化的图象，如 $E-x$ 图象、 $I-x$ 图象(所以要先看坐标轴：哪个物理量随哪个物理量变化要弄清)	
问题类型	(1)由给定的电磁感应过程选出或画出正确的图象(画图象的方法) (2)由给定的有关图象分析电磁感应过程，求解相应的物理量(用图象)	
应用知识	四个规律	左手定则、安培定则、右手定则、楞次定律
	六类公式	(1)平均电动势 $E = n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ (2)平动切割电动势 $E = Blv$ (3)转动切割电动势 $E = \frac{1}{2}Bl^2\omega$

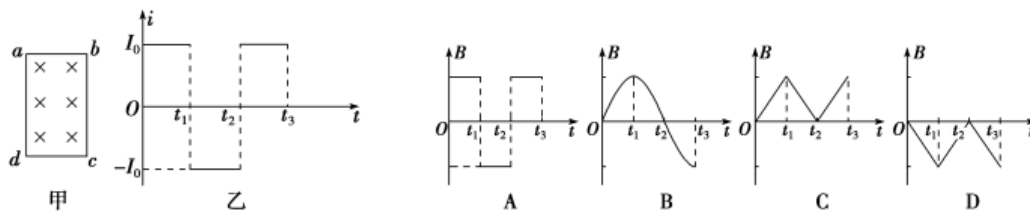
		(4) 闭合电路的欧姆定律 $I = \frac{E}{R+r}$
		(5) 安培力 $F = BIl$
		(6) 牛顿运动定律的相关公式等

2. 处理图象问题要做到“四明确、一理解”



考查方式一 磁感应强度变化的图象问题

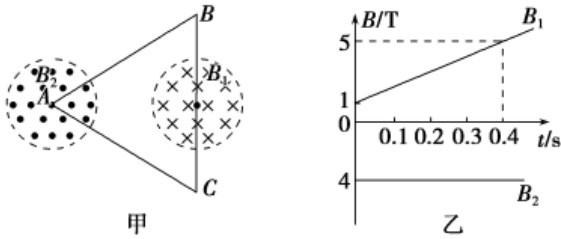
【例 3】如图甲所示，矩形导线框 $abcd$ 固定在变化的磁场中，产生了如图乙所示的电流(电流方向 $abcd$ 为正方向). 若规定垂直纸面向里的方向为磁场正方向，能够产生如图乙所示电流的磁场为()



【答案】D.

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

【变式】如图甲所示，在水平面上固定一个匝数为 10 匝的等边三角形金属线框，总电阻为 3Ω ，边长为 0.4 m . 金属框处于两个半径为 0.1 m 的圆形匀强磁场中，顶点 A 恰好位于左边圆的圆心， BC 边的中点恰好与右边圆的圆心重合. 左边磁场方向垂直纸面向外，右边磁场垂直纸面向里，磁感应强度的变化规律如图乙所示，则下列说法中正确的是(π 取 3) ()



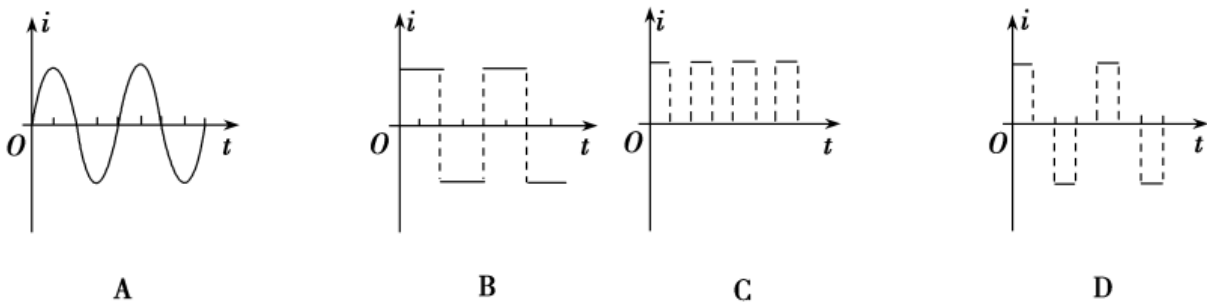
- A. 线框中感应电流的方向是顺时针方向 B. $t=0.4\text{ s}$ 时, 穿过线框的磁通量为 0.005 Wb
 C. 经过 $t=0.4\text{ s}$, 线框中产生的热量为 0.3 J D. 前 0.4 s 内流过线框某截面的电荷量为 0.2 C

【答案】 CD

【解析】 根据楞次定律和安培定则, 线框中感应电流的方向是逆时针方向, 选项 A 错误; 0.4 s 时穿过线框的磁通量 $\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = \frac{1}{2}\pi r^2 \cdot B_1 - \frac{1}{6}\pi r^2 \cdot B_2 = 0.055\text{ Wb}$, 选项 B 错误; 由图乙知 $\frac{\Delta B_1}{\Delta t} = \frac{5\text{ T} - 1\text{ T}}{0.4\text{ s}} = 10\text{ T/s}$, 根据法拉第电磁感应定律, 感应电动势 $E = n \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = n \cdot \frac{1}{2}\pi r^2 \cdot \frac{\Delta B_1}{\Delta t} = 1.5\text{ V}$, 感应电流 $I = \frac{E}{R} = 0.5\text{ A}$, 0.4 s 内线框中产生的热量 $Q = I^2 R t = 0.3\text{ J}$, 选项 C 正确; 前 0.4 s 内流过线框某截面的电荷量 $q = It = 0.2\text{ C}$, 选项 D 正确.

考查方式二 导体切割磁感线的图象问题

【例 4】 如图, 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. 线框中感应电流 i 随时间 t 变化的正确图线可能是 ()



【答案】 D

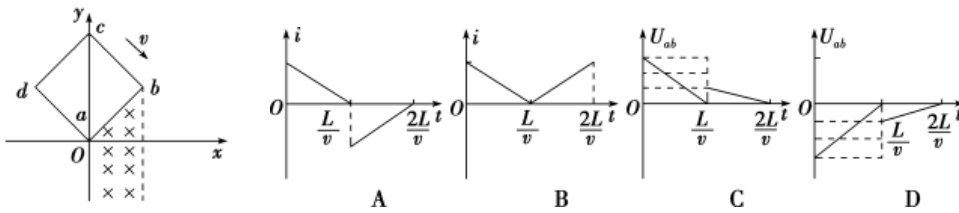
【解析】 设线路中只有一边切割磁感线时产生的感应电流为 i .

线框位移	等效电路的连接	电流
$0 \sim \frac{l}{2}$		$I = 2i$ (顺时针)
$\frac{l}{2} \sim l$		$I = 0$
$l \sim \frac{3l}{2}$		$I = 2i$ (逆时针)

$\frac{3l}{2} \sim 2l$		$I=0$
------------------------	--	-------

分析知，只有选项 D 符合要求。

【变式】 如图所示，在坐标系 xOy 中，有边长为 L 的正方形金属线框 $abcd$ ，其一条对角线 ac 和 y 轴重合、顶点 a 位于坐标原点 O 处。在 y 轴的右侧，在 I 、 IV 象限内有一垂直纸面向里的匀强磁场，磁场的上边界与线框的 ab 边刚好完全重合，左边界与 y 轴重合，右边界与 y 轴平行。 $t=0$ 时刻，线框以恒定的速度 v 沿垂直于磁场上边界的方向穿过磁场区域。取沿 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow a$ 方向的感应电流为正，则在线框穿过磁场区域的过程中，感应电流 i 、 ab 间的电势差 U_{ab} 随时间 t 变化的图线是下图中的()

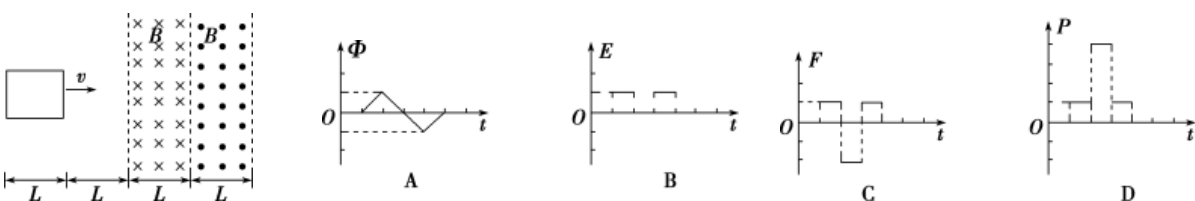


【答案】 AD.

【解析】 从 d 点运动到 O 点的过程中， ab 边切割磁感线，根据右手定则可以确定线框中电流方向为逆时针方向，即正方向，电动势均匀减小到 0，则电流均匀减小到 0；然后 cd 边开始切割磁感线，感应电流的方向为顺时针方向，即负方向，电动势均匀减小到 0，则电流均匀减小到 0，故 A 正确，B 错误； d 点运动到 O 点过程中， ab 边切割磁感线， ab 相当于电源，电流由 a 到 b ， b 点的电势高于 a 点， ab 间的电势差 U_{ab} 为负值，大小等于电流乘以 bc 、 cd 、 da 三条边的电阻，并逐渐减小； ab 边出磁场后， cd 边开始切割磁感线， cd 边相当于电源，电流由 b 到 a ， ab 间的电势差 U_{ab} 为正值，大小等于电流乘以 ab 边的电阻，并逐渐减小，故 C 错误，D 正确。

考查方式三 电磁感应中双电源问题与图象的综合

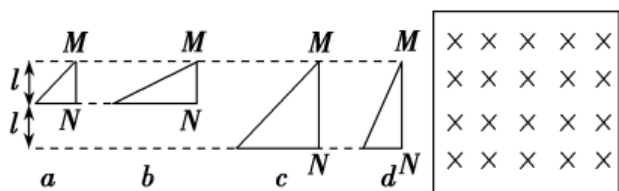
【例 5】 如图所示为两个有界匀强磁场，磁感应强度大小均为 B ，方向分别垂直纸面向里和向外，磁场宽度均为 L ，距磁场区域的左侧 L 处，有一边长为 L 的正方形导体线框，总电阻为 R ，且线框平面与磁场方向垂直，现用外力 F 使线框以速度 v 匀速穿过磁场区域，以初始位置为计时起点，规定电流沿逆时针方向时的电动势 E 为正，磁感线垂直纸面向里时磁通量 Φ 的方向为正，外力 F 向右为正。则以下关于线框中的磁通量 Φ 、感应电动势 E 、外力 F 和电功率 P 随时间变化的图象正确的是()



【答案】 D.

【解析】当线框运动 L 时开始进入磁场，磁通量开始增加，当全部进入时达到最大；此后向外的磁通量增加，总磁通量减小；当运动到 $2.5L$ 时，磁通量最小，故选项 A 错误；当线框进入第一个磁场时，由 $E=BLv$ 可知， E 保持不变，而开始进入第二个磁场时，两边同时切割磁感线，电动势应为 $2BLv$ ，故选项 B 错误；因安培力总是与运动方向相反，故拉力应一直向右，故选项 C 错误；拉力的功率 $P=Fv$ ，因速度不变，而线框在第一个磁场时，电流为定值，拉力也为定值；两边分别在两个磁场中时，由选项 B 的分析可知，电流加倍，回路中总电动势加倍，功率变为原来的 4 倍；此后从第二个磁场中离开时，安培力应等于线框在第一个磁场中的安培力，所以功率应等于在第一个磁场中的功率，故选项 D 正确。

【变式】如图所示，用粗细均匀，电阻率也相同的导线绕制的直角边长为 l 或 $2l$ 的四个闭合导体线框 a 、 b 、 c 、 d ，以相同的速度匀速进入右侧匀强磁场，在每个线框刚进入磁场时， M 、 N 两点间的电压分别为 U_a 、 U_b 、 U_c 和 U_d ，下列判断正确的是 ()



- A. $U_a < U_b < U_c < U_d$ B. $U_a < U_b < U_d < U_c$
 C. $U_a = U_b < U_c = U_d$ D. $U_b < U_a < U_d < U_c$

【答案】B

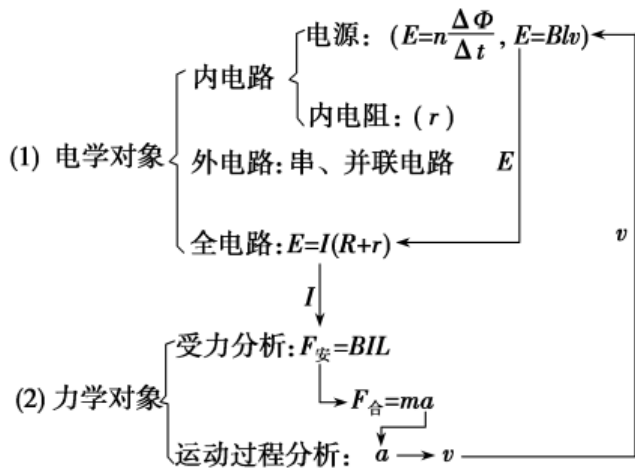
【解析】由电阻定律，各个线框的电阻分别为 $R_a = \rho \frac{2l + \sqrt{2}l}{S}$ 、 $R_b = \rho \frac{3l + \sqrt{5}l}{S}$ 、 $R_c = \rho \frac{4l + 2\sqrt{2}l}{S}$ 、 $R_d = \rho \frac{3l + \sqrt{5}l}{S}$ ，设线框刚进入磁场时的速度为 v ，各线框 MN 边有效切割长度分别为 l 、 l 、 $2l$ 、 $2l$ ，各线框 MN 边的内阻分别为 $r_a = \rho \frac{l}{S}$ 、 $r_b = \rho \frac{l}{S}$ 、 $r_c = \rho \frac{2l}{S}$ 、 $r_d = \rho \frac{2l}{S}$ ，则各边产生的感应电动势分别为 $E_a = Blv$ 、 $E_b = Blv$ 、 $E_c = 2Blv$ 、 $E_d = 2Blv$ ，由闭合电路的欧姆定律知，各线框中的感应电流分别为 $I_a = \frac{E_a}{R_a}$ 、 $I_b = \frac{E_b}{R_b}$ 、 $I_c = \frac{E_c}{R_c}$ 、 $I_d = \frac{E_d}{R_d}$ ， M 、 N 两点间的电压分别为 $U_a = E_a - I_a r_a$ 、 $U_b = E_b - I_b r_b$ 、 $U_c = E_c - I_c r_c$ 、 $U_d = E_d - I_d r_d$ ，分别代入数据，可知 $U_a < U_b < U_d < U_c$ ，故选项 B 正确。

考向三 电磁感应中的平衡、动力学问题

1. 两种状态及处理方法

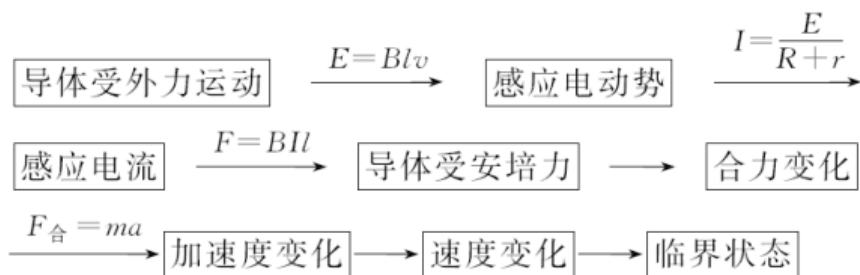
状态	特征	处理方法
平衡态	加速度为零	根据平衡条件列式分析
非平衡态	加速度不为零	根据牛顿第二定律进行动态分析或结合功能关系进行分析

2. 力学对象和电学对象的相互关系



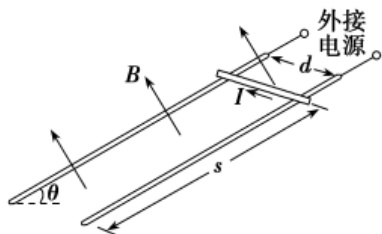
3. 动态分析的基本思路

解决这类问题的关键是通过运动状态的分析，寻找过程中的临界状态，如速度、加速度最大或最小的条件。具体思路如下：



考查方式一 电磁感应中的动力学问题

【例 6】如图所示，两条平行的光滑金属导轨所在平面与水平面的夹角为 θ ，间距为 d 。导轨处于匀强磁场中，磁感应强度大小为 B ，方向与导轨平面垂直。质量为 m 的金属棒被固定在导轨上，距底端的距离为 s ，导轨与外接电源相连，使金属棒通有电流。金属棒被松开后，以加速度 a 沿导轨匀加速下滑，金属棒中的电流始终保持恒定，重力加速度为 g 。求下滑到底端的过程中，求金属棒：



- (1) 末速度的大小 v 。
- (2) 通过的电流大小 I 。
- (3) 通过的电荷量 Q 。

【答案】 (1) $\sqrt{2as}$ (2) $\frac{m(g \sin \theta - a)}{dB}$ (3) $\frac{m\sqrt{2as}(g \sin \theta - a)}{dBa}$

【解析】 (1)金属棒做匀加速直线运动，有 $v^2=2as$ ，解得 $v=\sqrt{2as}$.

(2)安培力 $F_{安}=IdB$ ，金属棒所受合力 $F=mgsin \theta - F_{安}$

由牛顿第二定律 $F=ma$

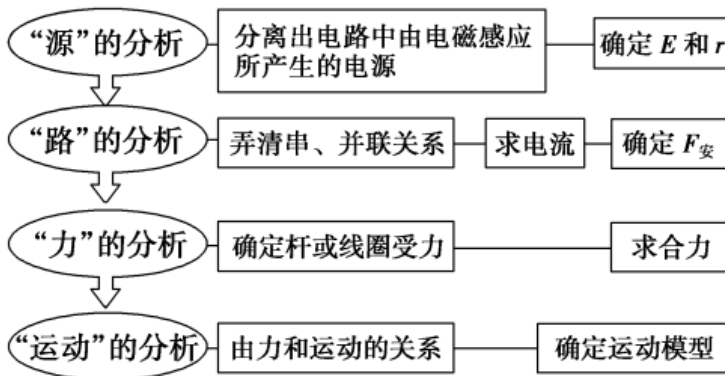
解得 $I = \frac{m(g \sin \theta - a)}{dB}$

(3)运动时间 $t = \frac{v}{a}$ ，电荷量 $Q=It$

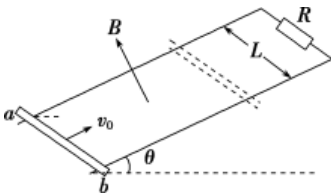
解得 $Q = \frac{m\sqrt{2as}(g \sin \theta - a)}{dBa}$

【技巧总结】用“四步法”分析电磁感应中的动力学问题

解决电磁感应中的动力学问题的一般思路是“先电后力”，具体思路如下：



[变式 1]如图，光滑平行金属导轨间距为 L ，与水平面夹角为 θ ，两导轨上端用阻值为 R 的电阻相连，该装置处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中，磁场方向垂直于导轨平面。质量为 m 的金属杆 ab 以沿导轨平面向上的初速度 v_0 从导轨底端开始运动，然后又返回到出发位置。在运动过程中， ab 与导轨垂直且接触良好，不计 ab 和导轨的电阻及空气阻力。



- (1)求 ab 开始运动时的加速度 a ；
- (2)分析并说明 ab 在整个运动过程中速度、加速度的变化情况；
- (3)分析并比较 ab 上滑时间和下滑时间的长短。

【答案】] 见解析

【解析】 (1)利用楞次定律,对初始状态的 ab 受力分析得:

$$mg\sin\theta + BIL = ma \quad ①$$

对回路分析

$$I = \frac{E}{R} = \frac{BLv_0}{R} \quad ②$$

联立①②式得

$$a = g\sin\theta + \frac{B^2L^2v_0}{m \cdot R}$$

(2)上滑过程:

由第(1)问中的分析可知,上滑过程加速度大小表达式为:

$$a_{\text{上}} = g\sin\theta + \frac{B^2L^2v}{m \cdot R} \quad ③$$

上滑过程, $a_{\text{上}}$ 与 v 反向,做减速运动.利用③式, v 减小则 $a_{\text{上}}$ 减小,可知,杆上滑时做加速度逐渐减小的减速运动.

下滑过程:

由牛顿第二定律,对 ab 受力分析得:

$$mg\sin\theta - \frac{B^2L^2v}{R} = ma_{\text{下}} \quad ④$$

$$a_{\text{下}} = g\sin\theta - \frac{B^2L^2v}{m \cdot R} \quad ⑤$$

因 $a_{\text{下}}$ 与 v 同向, ab 做加速运动.由⑤式得 v 增加, $a_{\text{下}}$ 减小,可知,杆下滑时做加速度减小的加速运动.

(3)设 P 点是上滑与下滑过程中经过的同一点 P ,由能量转化与守恒可知:

$$\frac{1}{2}mv_{\text{上}}^2 = \frac{1}{2}mv_{\text{下}}^2 + Q_R \quad ⑥$$

Q_R 为 ab 从 P 滑到最高点到再回到 P 点过程中 R 上产生的焦耳热.

由 $Q_R > 0$ 所以 $v_{P\text{上}} > v_{P\text{下}}$

同理可推得 ab 上滑通过某一位置的速度大于下滑通过同一位置的速度,进而可推得 $\overline{v_{\text{上}}} > \overline{v_{\text{下}}}$

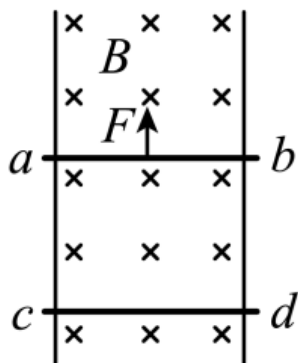
由 $s = \overline{v_{\text{上}}} t_{\text{上}} = \overline{v_{\text{下}}} t_{\text{下}}$ 得

$t_{\text{上}} < t_{\text{下}}$

即 ab 上滑时间比下滑时间短.

[变式 2] (多选) 一空间有方向垂直纸面向里、磁感应强度大小 B

=0.5T 的匀强磁场，两条电阻不计的平行光滑导轨竖直放置在磁场内，如图所示，导体棒 ab 、 cd 长度均为 0.2m，电阻均为 0.1Ω ，重力均为 0.1N。现用力向上拉动导体棒 ab ，使之匀速上升（导体棒 ab 、 cd 与导轨垂直且接触良好），此时 cd 静止不动，则 ab 上升时，下列说法正确的是（ ）



- A. 经过 cd 的电流方向为从 c 到 d
- B. ab 受到的拉力大小为 2N
- C. ab 向上运动的速度大小为 2m/s
- D. 在 2s 内，拉力做功有 0.6J 的其他形式的能转化为电能

【答案】 AC

【详解】 A. 对 ab 棒，由右手定则可知，电流方向由 b 到 a ，故经过 cd 的电流方向为从 c 到 d ，A 正确；

B. 导体棒 ab 匀速上升， cd 棒静止，受力均平衡，对于两棒组成的整体，合力为零，根据平衡条件可得 ab 棒受到的拉力

$$F = 2mg = 0.2\text{N}$$

故 B 错误；

C. cd 棒受到向下的重力 G 和向上的安培力 $F_{\text{安}}$ ，由平衡条件得

$$F_{\text{安}} = G$$

即

$$BIL = G$$

又

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

联立解得

$$v = \frac{2GR}{B^2L^2} = 2\text{m/s}$$

故 C 正确；

D. 在 2s 内, 电路产生的电能

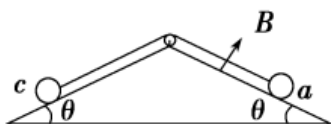
$$Q = \frac{E^2}{2R} t = \frac{(BLv)^2}{2R} t = \frac{(0.5 \times 0.2 \times 2)^2}{2 \times 0.1} \times 2 \text{J} = 0.4 \text{J}$$

则在 2s 内, 拉力做功, 有 0.4J 的其他形式的能转化为电能, 故 D 错误。

故选 AC。

考查方式二 电磁感应中平衡问题

【例 7】如图, 两固定的绝缘斜面倾角均为 θ , 上沿相连. 两细金属棒 ab (仅标出 a 端) 和 cd (仅标出 c 端) 长度均为 L , 质量分别为 $2m$ 和 m ; 用两根不可伸长的柔软轻导线将它们连成闭合回路 $abdca$, 并通过固定在斜面上沿的两光滑绝缘小定滑轮跨放在斜面上, 使两金属棒水平. 右斜面上存在匀强磁场, 磁感应强度大小为 B , 方向垂直于斜面向上. 已知两根导线刚好不在磁场中, 回路电阻为 R , 两金属棒与斜面间的动摩擦因数均为 μ , 重力加速度大小为 g . 已知金属棒 ab 匀速下滑. 求:



(1) 作用在金属棒 ab 上的安培力的大小;

(2) 金属棒运动速度的大小.

【思路点拨】 解答的关键是对 ab 、 cd 棒受力分析, 由平衡条件求出 ab 棒受到的安培力, 再由金属棒切割磁感线产生的感应电动势确定金属棒的速度大小.

【答案】 (1) $mg(\sin \theta - 3\mu \cos \theta)$ (2) $(\sin \theta - 3\mu \cos \theta) \frac{mgR}{B^2 L^2}$

【解析】 (1) 设导线的张力的大小为 F_T , 右斜面对 ab 棒的支持力的大小为 F_{N1} , 作用在 ab 棒上的安培力的大小为 F , 左斜面对 cd 棒的支持力大小为 F_{N2} . 对于 ab 棒, 由力的平衡条件得 $2mg \sin \theta = \mu F_{N1} + F_T + F$ ①

$$F_{N1} = 2mg \cos \theta$$
 ②

对于 cd 棒, 同理有 $mg \sin \theta + \mu F_{N2} = F_T$ ③

$$F_{N2} = mg \cos \theta$$
 ④

联立①②③④式得 $F = mg(\sin \theta - 3\mu \cos \theta)$ ⑤

(2) 由安培力公式得 $F = BIL$ ⑥

这里 I 是回路 $abdca$ 中的感应电流, ab 棒上的感应电动势为 $E = BLv$ ⑦

式中, v 是 ab 棒下滑速度的大小. 由欧姆定律得

$$I = \frac{E}{R}$$
 ⑧

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/446215010040010223>