

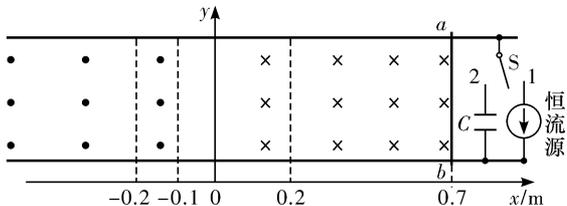
# 微专题突破八 动量定理、动量守恒定律在电磁感应中的应用

## 真题回顾

1. (2019·浙江) 如图所示, 在间距  $L=0.2\text{ m}$  的两光滑平行水平金属导轨间存在方向垂直于纸面(向内为正)的磁场, 磁感应强度的分布沿  $y$  方向不变, 沿  $x$  方向如下:

$$B = \begin{cases} 1\text{ T} & x > 0.2\text{ m} \\ 5x\text{ T} & -0.2\text{ m} \leq x \leq 0.2\text{ m} \\ -1\text{ T} & x < -0.2\text{ m} \end{cases}$$

导轨间通过单刀双掷开关  $S$  连接恒流源和电容  $C=1\text{ F}$  的未充电的电容器, 恒流源可为电路提供恒定电流  $I=2\text{ A}$ , 电流方向如图所示. 有一质量  $m=0.1\text{ kg}$  的金属棒  $ab$  垂直导轨静止放置于  $x_0=0.7\text{ m}$  处. 开关  $S$  掷向 1, 棒  $ab$  从静止开始运动, 到达  $x_3=-0.2\text{ m}$  处时, 开关  $S$  掷向 2. 已知棒  $ab$  在运动过程中始终与导轨垂直, 求:

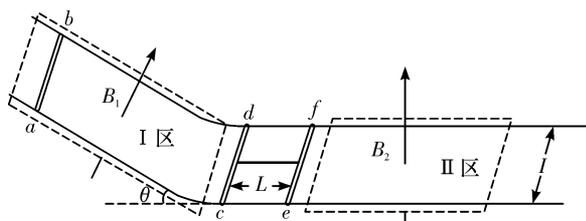


(提示: 可以用  $F-x$  图象下的“面积”代表力  $F$  所做的功)

- (1) 棒  $ab$  运动到  $x_1=0.2\text{ m}$  时的速度  $v_1$ ;
- (2) 棒  $ab$  运动到  $x_2=-0.1\text{ m}$  时的速度  $v_2$ ;
- (3) 电容器最终所带的电荷量  $Q$ .

2. (2017·浙江) 间距为  $l$  的两平行金属导轨由水平部分和倾斜部分平滑连接而成, 如图所示, 倾角为  $\theta$  的导轨处于大小为  $B_1$ 、方向垂直导轨平面向上的匀强磁场区间 I 中, 水平导轨上的无磁场区间静止放置一质量为  $3m$  的“联动双杆”(由两根长为  $l$  的金属杆  $cd$  和  $ef$ , 用长度为  $L$  的刚性绝缘杆连接构成), 在“联动双杆”右侧存在大小为  $B_2$ 、方向垂直导轨平面向上的匀强磁场区间 II, 其长度大于  $L$ . 质量为  $m$ 、长为  $l$  的金属杆  $ab$  从倾斜导轨上端释放, 达到匀速后进入水平导轨(无能量损失), 杆  $ab$  与“联动双

杆”发生碰撞, 碰后杆  $ab$  和  $cd$  合在一起形成“联动三杆”, “联动三杆”继续沿水平导轨进入磁场区间 II 并从中滑出, 运动过程中, 杆  $ab$ 、 $cd$  和  $ef$  与导轨始终接触良好, 且保持与导轨垂直, 已知杆  $ab$ 、 $cd$  和  $ef$  电阻均为  $R=0.02\ \Omega$ ,  $m=0.1\text{ kg}$ ,  $l=0.5\text{ m}$ ,  $L=0.3\text{ m}$ ,  $\theta=30^\circ$ ,  $B_1=0.1\text{ T}$ ,  $B_2=0.2\text{ T}$ , 不计摩擦阻力和导轨电阻, 忽略磁场边界效应,  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ , 求:



- (1) 杆  $ab$  在倾斜导轨上匀速运动时的速度大小  $v_0$ ;
- (2) “联动三杆”进入磁场区间 II 前的速度大小  $v$ ;
- (3) “联动三杆”滑过磁场区间 II 产生的焦耳热  $Q$ .

## 模型破解

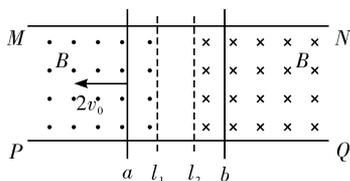
电磁感应与动量的结合主要涉及两个模型:

(1) 单杆模型. 对于单杆模型, 主要与动量定理结合. 如在光滑水平轨道上运动的单杆(不受其他力作用), 在磁场中的运动为变速运动, 运动过程所受的安培力为变力, 依据动量定理  $\bar{F}_{安}\Delta t = \Delta p$ , 而  $\bar{F}_{安}\Delta t = B\bar{I}L\Delta t = BLq$ ,  $q = N \frac{\Delta\Phi}{R_{总}} = N \frac{BLx}{R_{总}}$ ,  $\Delta p = mv_2 - mv_1$ , 由以上四式将流经杆电量  $q$ 、杆位移  $x$  及速度变化结合在一起.

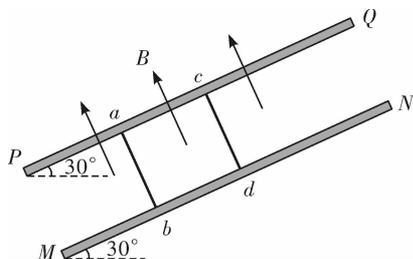
(2) 双杆模型. 对于双杆模型, 在受到安培力之外, 受到的其他外力和为零, 满足动量守恒的条件, 则与动量守恒定律结合考查较多.

## 热身练习

1. (多选)如图,在水平面内固定有两根相互平行的无限长光滑金属导轨,其间距为  $L$ ,电阻不计. 在虚线  $l_1$  的左侧存在着竖直向上的匀强磁场,在虚线  $l_2$  的右侧存在着竖直向下的匀强磁场,两部分磁场的磁感应强度均为  $B$ ,  $a$ 、 $b$  两根电阻均为  $R$  的完全相同的金属棒与导轨垂直,分别位于两块磁场中,现突然给  $a$  棒一个水平向左的初速度  $2v_0$ ,在两棒达到稳定的过程中下列说法正确的是 ( )

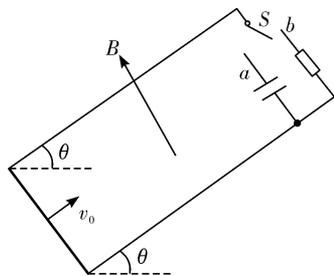


- A. 两金属棒组成的系统的动量守恒  
 B. 最终两金属棒的速度大小都是  $v_0$   
 C.  $a$  棒克服安培力做功的功率等于  $a$  棒的发热功率  
 D.  $a$  棒在达到稳定之前做变减速直线运动
2. 如图所示,  $PQ$  和  $MN$  是固定于倾角为  $30^\circ$  斜面内的平行光滑金属轨道,足够长,其电阻可忽略不计. 金属棒  $ab$ 、 $cd$  放在轨道上,始终与轨道垂直,且接触良好. 金属棒  $ab$  的质量为  $2m$ 、 $cd$  的质量为  $m$ ,长度均为  $L$ 、电阻均为  $R$ ; 两金属棒的长度恰好等于轨道的间距,并与轨道形成闭合回路. 整个装置处在垂直斜面向上、磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中,若锁定金属棒  $ab$  不动,使金属棒  $cd$  在与其垂直且沿斜面向上的恒力  $F=2mg$  作用下,沿轨道向上做匀速运动. (重力加速度为  $g$ )



- (1) 试推导论证: 金属棒  $cd$  克服安培力做功的功率  $P_{安}$  等于电路获得的电功率  $P_{电}$ .
- (2) 设金属棒  $cd$  做匀速运动中的某时刻  $t_0=0$ , 恒力大小变为  $F'=1.5mg$ , 方向不变, 同时解锁、静止释放金属棒  $ab$ , 直到  $t$  时刻金属棒  $ab$  开始做匀速运动. 求:
- ①  $t$  时刻以后金属棒  $ab$  的热功率  $P_a$ ;  
 ②  $0\sim t$  时刻内通过金属棒  $ab$  的电荷量  $q$ .

3. 如图所示, 有一间距为  $L$  且与水平方向成  $\theta$  角的光滑平行轨道, 轨道上端接有电容器和定值电阻,  $S$  为单刀双掷开关, 空间存在垂直轨道平面向上的匀强磁场, 磁感应强度为  $B$ . 将单刀双掷开关接到  $a$  点, 一根电阻不计、质量为  $m$  的导体棒在轨道底端获得初速度  $v_0$  后沿着轨道向上运动, 到达最高点时, 单刀双掷开关接  $b$  点, 经过一段时间导体棒又回到轨道底端, 已知定值电阻的阻值为  $R$ , 电容器的电容为  $C$ , 重力加速度为  $g$ , 轨道足够长, 轨道电阻不计, 求:



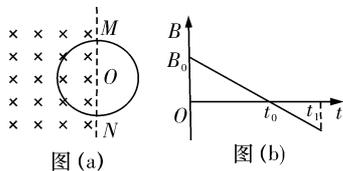
- (1) 导体棒上滑过程中加速度的大小;  
 (2) 若已知导体棒到达轨道底端的速度为  $v$ , 求导体棒下滑过程中定值电阻产生的热量和导体棒运动的时间.

## 高考回眸

1. (2019 · 全国卷 III)楞次定律是下列哪个定律在电磁感应现象中的具体体现 ( )

- A. 电阻定律                      B. 库仑定律  
C. 欧姆定律                      D. 能量守恒定律

2. (2019 · 全国卷 I)(多选)空间存在一方向与纸面垂直、大小随时间变化的匀强磁场,其边界如图(a)中虚线 MN 所示,一硬质细导线的电阻率为  $\rho$ ,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 ( )

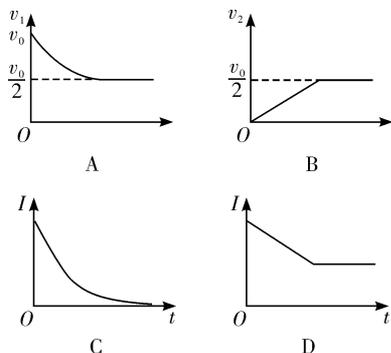
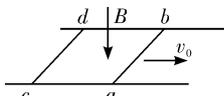


- A. 圆环所受安培力的方向始终不变  
B. 圆环中的感应电流始终沿顺时针方向

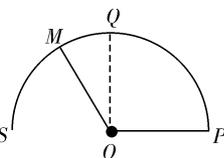
C. 圆环中的感应电流大小为  $\frac{B_0 r S}{4 t_0 \rho}$

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

3. (2019 · 全国卷 III)(多选)如图,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,棒  $ab$  以初速度  $v_0$  向右滑动. 运动过程中,  $ab$ 、 $cd$  始终与导轨垂直并接触良好,两者速度分别用  $v_1$ 、 $v_2$  表示,回路中的电流用  $I$  表示. 下列图象中可能正确的是 ( )



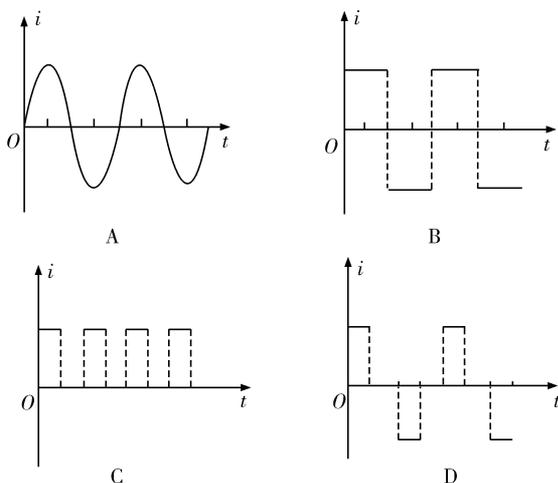
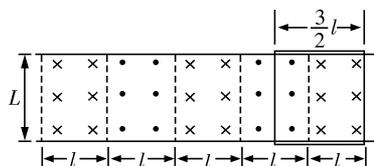
4. (2018 · 全国卷 I)如图,导体轨道  $OPQS$  固定,其中  $PQS$  是半圆弧,  $Q$  为半圆弧的中点,  $O$  为圆心. 轨道的电阻忽略不计.  $OM$  是有一定电阻、可绕  $O$  转动的金属杆,  $M$  端位于  $PQS$  上,  $OM$  与轨道接触良好. 空间存在与半圆所在平面垂直的匀强磁场,磁感应强度的大小为  $B$ . 现使  $OM$  从  $OQ$  位置以恒定的角速度逆时针转到  $OS$  位置并固定(过程 I);再使磁感应强度的大小以一定的变化率从  $B$  增加到  $B'$ (过程 II). 在过程 I、II



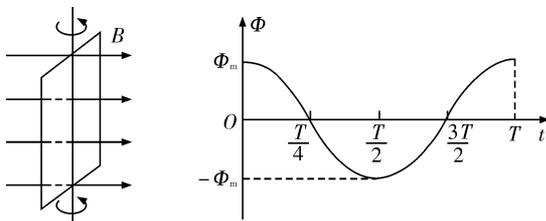
中,流过  $OM$  的电荷量相等,则  $\frac{B'}{B}$  等于 ( )

- A.  $\frac{5}{4}$                       B.  $\frac{3}{2}$                       C.  $\frac{7}{4}$                       D. 2

5. (2018 · 全国卷 II)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  $i$  随时间变化的正确图线可能是 ( )

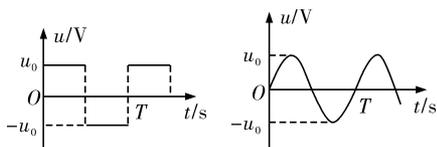


6. (2019 · 天津卷)(多选)单匝闭合矩形线框电阻为  $R$ ,在匀强磁场中绕与磁感线垂直的轴匀速转动,穿过线框的磁通量  $\Phi$  与时间  $t$  的关系图象如图所示. 下列说法正确的是 ( )



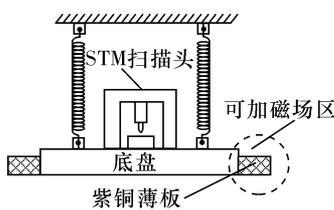
- A.  $\frac{T}{2}$  时刻线框平面与中性面垂直  
B. 线框的感应电动势有效值为  $\frac{\sqrt{2}\pi\Phi_m}{T}$   
C. 线框转一周外力所做的功为  $\frac{2\pi^2\Phi_m^2}{RT}$   
D. 从  $t=0$  到  $t=\frac{T}{4}$  过程中线框的平均感应电动势为  $\frac{\pi\Phi_m}{T}$

7. (2018 · 全国卷 III)一电阻接到方波交流电源上,在一个周期内产生的热量为  $Q_{\text{方}}$ ;若该电阻接到正弦交流电源上,在一个周期内产生的热量为  $Q_{\text{正}}$ . 该电阻上电压的峰值均为  $u_0$ ,周期均为  $T$ ,如图所示. 则  $Q_{\text{方}} : Q_{\text{正}}$  等于 ( )

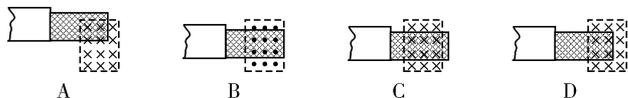


- A.  $1 : \sqrt{2}$     B.  $\sqrt{2} : 1$     C.  $1 : 2$     D.  $2 : 1$

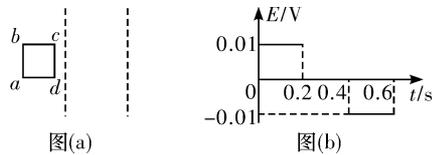
8. (2017·全国卷 I)扫描隧道显微镜(STM)可用来探测样品表面原子尺寸上的形貌,为了有效隔离外界震动对 STM 的扰动,在圆底盘周边沿其径向对称地



安装若干对紫铜薄板,并施加磁场来快速衰减其微小震动,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其左右震动的衰减最有效的方案是 ( )

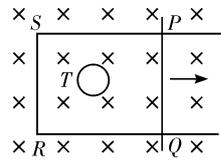


9. (2017·全国卷 II)(多选)两条平行虚线间存在一匀强磁场,磁感应强度方向与纸面垂直.边长为 0.1 m、总电阻为 0.005  $\Omega$  的正方形导线框  $abcd$  位于纸面内, $cd$  边与磁场边界平行,如图(a)所示.已知导线框一直向右做匀速直线运动, $cd$  边于  $t=0$  时刻进入磁场.线框中感应电动势随时间变化的图线如图(b)所示(感应电流的方向为顺时针时,感应电动势取正).下列说法正确的是 ( )



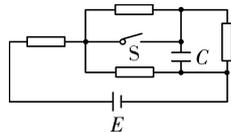
- A. 磁感应强度的大小为 0.5 T  
 B. 导线框运动速度的大小为 0.5 m/s  
 C. 磁感应强度的方向垂直于纸面向外  
 D. 在  $t=0.4$  s 至  $t=0.6$  s 这段时间内,导线框所受的安培力大小为 0.1 N

10. (2017·全国卷 III)如图,在方向垂直于纸面向里的匀强磁场中有一 U 形金属导轨,导轨平面与磁场垂直.金属杆  $PQ$  置于导轨上并与导轨形成闭合回路  $PQRS$ ,一圆环形金属框  $T$  位于回路围成的区域内,线框与导轨共面.现让金属杆  $PQ$  突然向右运动,在运动开始的瞬间,关于感应电流的方向,下列说法正确的是 ( )



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

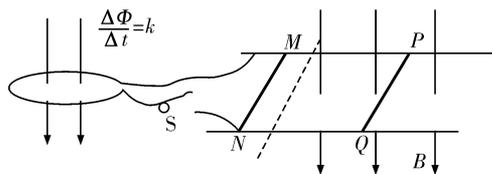
11. (2016·全国卷 II)阻值相等的四个电阻、电容器  $C$  及电池  $E$  (内阻可忽略)连接成如图所示电路.开关  $S$  断开且电流稳定时, $C$  所带的电荷量为  $Q_1$ ,闭合开关  $S$ ,电流再次稳定后, $C$  所带的电



荷量为  $Q_2$ ,  $Q_1$  与  $Q_2$  的比值为 ( )

- A.  $\frac{2}{5}$     B.  $\frac{1}{2}$     C.  $\frac{3}{5}$     D.  $\frac{2}{3}$

12. (2019·天津卷)如图所示,固定在水平面上间距为  $l$  的两条平行光滑金属导轨,垂直于导轨放置的两根金属棒  $MN$  和  $PQ$  长度也为  $l$ 、电阻均为  $R$ ,两棒与导轨始终接触良好. $MN$  两端通过开关  $S$  与电阻为  $R$  的单匝金属线圈相连,线圈内存在竖直向下均匀增加的磁场,磁通量变化率为常量  $k$ .图中虚线右侧有垂直于导轨平面向下的匀强磁场,磁感应强度大小为  $B$ . $PQ$  的质量为  $m$ ,金属导轨足够长,电阻忽略不计.



- (1) 闭合  $S$ ,若使  $PQ$  保持静止,需在其上加多大的水平恒力  $F$ ,并指出其方向;  
 (2) 断开  $S$ , $PQ$  在上述恒力作用下,由静止开始到速度大小为  $v$  的加速过程中流过  $PQ$  的电荷量为  $q$ ,求该过程安培力做的功  $W$ .

13. (2018 · 天津卷)真空管道超高速列车的动力系统是一种将电能直接转换成平动动能的装置. 图 1 是某种动力系统的简化模型, 图中粗实线表示固定在水平面上间距为  $l$  的两条平行光滑金属导轨, 电阻忽略不计.  $ab$  和  $cd$  是两根与导轨垂直, 长度均为  $l$ , 电阻均为  $R$  的金属棒, 通过绝缘材料固定在列车底部, 并与导轨良好接触, 其间距也为  $l$ , 列车的总质量为  $m$ . 列车启动前,  $ab$ 、 $cd$  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向下, 如图 1 所示. 为使列车启动, 需在  $M$ 、 $N$  间连接电动势为  $E$  的直流电源, 电源内阻及导线电阻忽略不计, 列车启动后电源自动关闭.

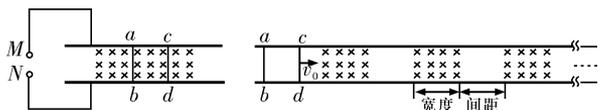


图1

图2

- (1) 要使列车向右运行, 启动时图 1 中  $M$ 、 $N$  哪个接电源正极, 并简要说明理由;
- (2) 求刚接通电源时列车加速度  $a$  的大小;
- (3) 列车减速时, 需在前方设置如图 2 所示的一系列磁感应强度为  $B$  的匀强磁场区域, 磁场宽度和相邻磁场间

距均大于  $l$ . 若某时刻列车的速度为  $v_0$ , 此时  $ab$ 、 $cd$  均在无磁场区域, 试讨论: 要使列车停下来, 前方至少需要多少块这样的有界磁场?