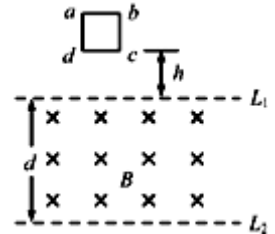


【高三物理 典题训练 14】

法拉第电磁感应定律 答案详解

【典例 1】相距为 d 的两条水平虚线 L_1 、 L_2 之间是方向水平向里的匀强磁场，磁感应强度为 B ，正方形线圈 $abcd$ 边长为 L ($L < d$)，质量为 m ，电阻为 R ，将线圈在磁场上方高 h 处静止释放， cd 边刚进入磁场时速度为 v_0 ， cd 边刚离开磁场时速度也为 v_0 ，则线圈穿越磁场的过程中（从 cd 边刚进入磁场起一直到 ab 边离开磁场为止），则（ ）



- A. 感应电流所做的功为 mgd
- B. 感应电流所做的功为 $2mgd$
- C. 线圈的最小速度可能为 mgR/B^2L^2
- D. 线圈的最小速度一定为 $\sqrt{2g(h+L-d)}$

【答案】BCD

【解析】A、B，根据能量守恒研究从 cd 边刚进入磁场到 cd 边刚穿出磁场的过程：动能变化为 0，重力势能转化为线框产生的热量， $Q=mgd$ 。 cd 边刚进入磁场时速度为 v_0 ， cd 边刚离开磁场时速度也为 v_0 ，所以从 cd 边刚穿出磁场到 ab 边离开磁场的过程，线框产生的热量与从 cd 边刚进入磁场到 cd 边刚穿出磁场的过程产生的热量相等，所以线圈从 cd 边进入磁场到 ab 边离开磁场的过程，产生的热量 $Q'=2mgd$ ，感应电流做的功为 $2mgd$ 。故 A 错误，B 正确。

C、线框可能先做减速运动，在完全进入磁场前做匀速运动，因为完全进入磁场时的速度最小，则 $mg = \frac{B^2L^2v}{R}$ ，则最小速度 $v = \frac{mgR}{B^2L^2}$ 。故 C 正确。

D、因为进磁场时要减速，即此时的安培力大于重力，速度减小，安培力也减小，当安培力减到等于重力时，线圈做匀速运动，全部进入磁场将做加速运动，设线圈的最小速度为 v_m ，知全部进入磁场的瞬间速度最小。由动能定理，从 cd 边刚进入磁场到线框完全进入时，则有 $\frac{1}{2}mv_m^2 - \frac{1}{2}mv_0^2 = mgL - mgd$ ，有 $\frac{1}{2}mv_0^2 = mgh$ ，综上所述，线圈的最小速度为 $\sqrt{2g(h+L-d)}$ ，故 D 正确。

故选 BCD。

【考点】电磁感应定律，导体切割磁感线，能量守恒，焦耳热，动能定理。

【典例 2】两个匝数不同，但大小、材料、质量均相同的正方形线圈，先后从磁场外同一高度自由下落，垂直穿过磁场区域后落地（不计空气阻力），则它们（ ）

- A. 下落的时间相同，线圈产生的热量相同
- B. 下落的时间相同，细线圈产生的热量多
- C. 细线圈下落的时间少，产生的热量多
- D. 粗线圈下落的时间少，产生的热量多

【答案】A

【解析】设线圈匝数为 n ，每边长为 L ，密度为 ρ ，电阻率为 ρ' ，导线的横截面积为 S 。故 $m=4\rho nLS$ 。

两线圈自由下落进入磁场区域时的速度是相同的，进入磁场时的加速度是否相同，就能判断它们的运动情况。

$$\text{因 } E=nBLv, \text{ 故 } I=\frac{E}{R}=\frac{nBLv}{\rho'\frac{4nL}{S}},$$

$$\text{又因 } ma=mg-nBIL, \text{ 故有 } a=g-\frac{nBIL}{m}=g-\frac{n^2B^2L^2v}{\rho\cdot 4nL\cdot S\cdot \rho'\frac{4nL}{S}}=g-\frac{B^2v}{16\rho\rho'},$$

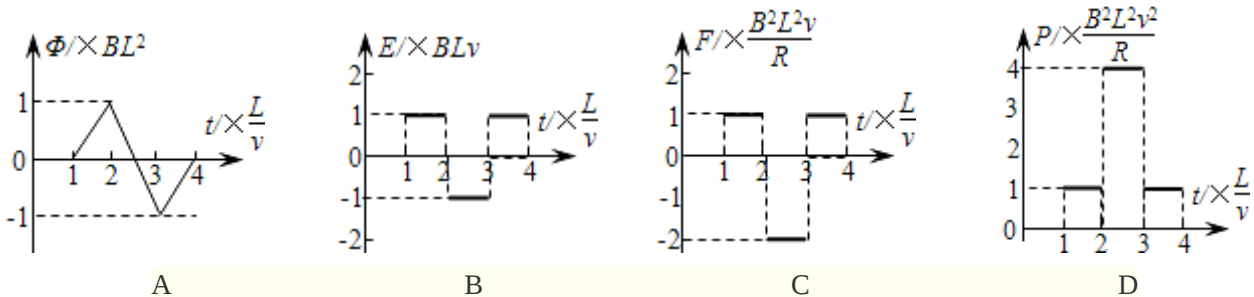
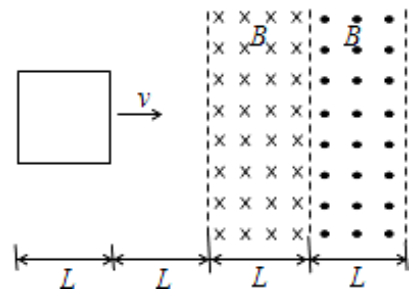
因为线框进入磁场后的速度、加速度都相同，则落地时间相同。

$$\text{产生的热量 } Q=\frac{E^2}{R}\Delta t=\frac{\Delta\Phi^2}{\Delta t R}=\frac{(nRL^2)^2}{\Delta t R}=\frac{n^2B^2L^4}{\rho'\frac{4nL}{S}\cdot \Delta t}=\frac{n^2B^2L^3S}{4\rho'\Delta t}=\frac{B^2L^2m}{16\rho\cdot \rho'\Delta t},$$

电磁场中运动产生的热量与匝数 n 无关，所以热量相同，A 选项正确。

【考点】电磁感应定律，安培力，牛顿第二定律，焦耳热，电阻定律。

[典例 3]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，线框一边平行于磁场边界，现用外力 F 使线框以图示方向的速度 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 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 随时间变化的图象中正确的是 ()



【答案】AD

【解析】A、(1)设在 $\frac{L}{v} \sim 2\frac{L}{v}$ 时间内：磁通量 $\Phi=BS=BLv(t-\frac{L}{v})$ ，随着时间均匀增大，在 $t=2\frac{L}{v}$ 时刻，线

框完全进入第一个磁场，磁通量为 BL^2 ；

(2)在 $2\frac{L}{v} \sim 3\frac{L}{v}$ 时间内：线框从第一个磁场开始进入第二磁场，磁通量存在抵消，磁通量均匀减

小，在 $t = \frac{3L}{2v}$ 时刻，当线框从一种磁场进入另一种磁场正好处于一半时，磁通量为零。

(3) 在 $\frac{3L}{2v} \sim 3\frac{L}{v}$ 时间内：磁通量反向均匀增大，在 $t = 3\frac{L}{v}$ 时刻，线框完全进入第二个磁场，磁通量反向最大为 $-BL^2$ ；

(4) 在 $3\frac{L}{v} \sim 4\frac{L}{v}$ 时间内，线框穿出第二个磁场，磁通量均匀减小，在 $t = 4\frac{L}{v}$ 时刻，磁通量为零。故

A 正确。

B、在 $\frac{L}{v} \sim 2\frac{L}{v}$ 时间内：根据法拉第电磁感应定律得知，线框中产生的感应电动势 $E = BLv$ ，保持不变；

在 $2\frac{L}{v} \sim 3\frac{L}{v}$ 时间内：线框开始进入第二个磁场时，两端同时切割磁感线，电动势方向相同，串联，电路中总的感应电动势应为 $2BLv$ ，故 B 错误；

C、由于线框匀速运动，外力与安培力总保持平衡，根据楞次定律判断可知安培力的方向总是水平向左，则外力 F 方向总是水平向右，始终为正值。

在 $\frac{L}{v} \sim 2\frac{L}{v}$ 时间内： $F = BIL = BL \frac{BLv}{R} = \frac{B^2 L^2 v}{R}$ ；

在 $2\frac{L}{v} \sim 3\frac{L}{v}$ 时间内： $F = 2BL \frac{2BLv}{R} = 4 \frac{B^2 L^2 v}{R}$ ；

在 $3\frac{L}{v} \sim 4\frac{L}{v}$ 时间内： $F = BIL = BL \frac{BLv}{R} = \frac{B^2 L^2 v}{R}$ ；故 C 错误。

D、在 $\frac{L}{v} \sim 2\frac{L}{v}$ 时间内： $P = Fv = BILv = BL \frac{BLv}{R} v = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$ ；

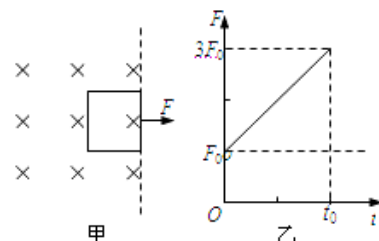
在 $2\frac{L}{v} \sim 3\frac{L}{v}$ 时间内： $P = Fv = 2BL \frac{2BLv}{R} v = 4 \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$ ；

在 $3\frac{L}{v} \sim 4\frac{L}{v}$ 时间内： $P = Fv = BILv = BL \frac{BLv}{R} v = \frac{B^2 L^2 v^2}{R}$ ；故 D 正确。

故选 AD。

【考点】电磁感应定律，安培力，焦耳热，功率。

[典例 4] 如图甲所示，一边长为 L 的正方形金属线框位于光滑水平面上，线框的右边紧贴着竖直向下的有界匀强磁场区域的边界。从 $t = 0$ 时刻开始，线框在一水平向右的外力 F 的作用下从静止开始做匀加速直线运动，在 t_0 时刻穿出磁场。图乙为外力 F 随时间变化的图象，图象中的 F_0 、 t_0 均为已知量，则 $t = t_0$ 时刻线框的速度 $v =$ _____， $t = 3t_0/4$ 时刻线框的发热功率 $P =$ _____。



【答案】 $\frac{2l}{t_0}$ ； $\frac{9F_0 l}{4t_0}$

【解析】 $0 \sim t_0$ 线框在一水平向右的外力 F 的作用下从静止开始做匀加速直线运动，根据运动学公式得

$$\frac{0+v}{2}t_0=1, v=\frac{2l}{t_0}, a=\frac{2l}{t_0^2} \quad ①$$

根据牛顿第二定律得， $F-F_{安}=ma$ ，又 $F_{安}=Bil$ ， $I=\frac{E}{R}$ ， $E=Blv$ ，

$$\text{得到 } F=\frac{B^2l^2at}{R}+ma, \text{ 斜率 } k=\frac{B^2l^2a}{R}=\frac{2F_0}{t_0} \quad ②$$

根据安培力做功量度电路中产生的电能得：

$$t=\frac{3}{4}t_0 \text{ 时刻线框的发热功率等于此时安培力的功率。}$$

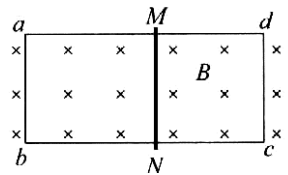
$$t=\frac{3}{4}t_0 \text{ 时速度 } v'=\frac{3l}{2t_0} \quad ③$$

$$\text{由①②③得 } P=F_{安}v'=\frac{9F_0l}{4t_0}。$$

【考点】电磁感应定律，安培力，焦耳热，功率。

【典例 5】如图所示，abcd 是粗细均匀的电阻丝制成的长方形线框，水平放置在竖直向下的匀强磁场中，长边 ad 比短边 ab 长得多，导体 MN 可在 ad、bc 边上无摩擦滑动，且接触良好，导体 MN 的电阻与线框 ab 边的电阻相等。当 MN 由靠近 ab 边向 dc 边匀速滑动的过程中，以下说法正确的是（ ）

- A. MN 两端电压先增大后减小
- B. MN 上拉力的功率先减小后增大
- C. ab 中的电流先减小后增大
- D. 矩形线框中消耗的电功率先减小后增大



【答案】AB

【解析】A、导体棒由靠近 ab 边向 dc 边匀速滑动的过程中，产生的感应电动势不变，外电路总电阻先增大后减小，由欧姆定律分析得知 MN 两端的电压先增大后减小，故 A 正确。

B、导体棒匀速运动，MN 上外力的功率等于回路的电功率，而回路的总电阻 R 先增大后减小，由 $P=\frac{E^2}{R}$ 得知，MN 上外力的功率先减小后增大，故 B 正确。

C、分两个过程分析：当 MN 从左端滑到 ad 中点的过程中，外电阻增大，干路电流减小，MNcd 回路的电阻减小，通过 cd 的电流增大，可知 ab 中电流减小；当 MN 从 ad 中点滑到右端的过程中，干路电流增大，MNba 回路的电阻增大，MN 两端的电压减小，可知 ab 中电流减小；所以 ab 中电流一直减小，故 C 错误。

D、由题意，导体棒 MN 的电阻与线框 ab 边的电阻相等，MN 位于线框的最左端时外电阻小于 MN 的电阻，线框消耗的电功率最大，当 MN 从左端滑到 ad 中点的过程中，矩形线框总电阻增大，滑到中点时，总电阻大于 MN 的电阻，线框消耗的电功率先增大后减小；当 MN 从 ad 中点滑到右端的过程中，线框的总电阻减小，线框消耗的电功率先增大后减小，故 D 错误。

故选 AB。

【考点】电磁感应定律，动态电路，闭合电路欧姆定律，电路的功率。

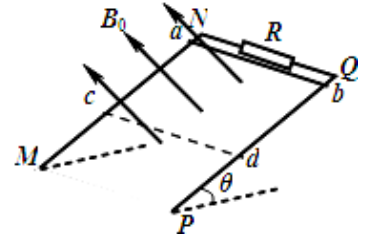
【典例6】如图所示， MN 、 PQ 为间距 $L=0.5\text{m}$ 足够长的平行导轨， $NQ \perp MN$ 。导轨平面与水平面间的夹角 $\theta=37^\circ$ ， NQ 间连接有一个 $R=5\Omega$ 的电阻。有一匀强磁场垂直于导轨平面，磁感强度为 $B_0=1\text{T}$ 。将一根质量为 $m=0.05\text{kg}$ 的金属棒 ab 紧靠 NQ 放置在导轨上，且与导轨接触良好，导轨与金属棒的电阻均不计。现由静止释放金属棒，金属棒沿导轨向下运动过程中始终与 NQ 平行。已知金属棒与导轨间的动摩擦因数 $\mu=0.5$ ，当金属棒滑行至 cd 处时已经达到稳定速度， cd 距离 NQ 为 $s=1\text{m}$ 。试解答以下问题：（ $g=10\text{m/s}^2$ ， $\sin 37^\circ=0.6$ ， $\cos 37^\circ=0.8$ ）

(1)请定性说明金属棒在达到稳定速度前的加速度和速度各如何变化？

(2)当金属棒滑行至 cd 处时回路中的电流多大？

(3)金属棒达到的稳定速度是多大？

(4)若将金属棒滑行至 cd 处的时刻记作 $t=0$ ，从此刻起，让磁感强度逐渐减小，可使金属棒中不产生感应电流，则磁感强度 B 应怎样随时间 t 变化（写出 B 与 t 的关系式）？



【答案】(1)金属棒在达到稳定速度前的加速度逐渐减小，速度逐渐增大。

(2)当金属棒滑行至 cd 处时回路中的电流 0.2A ；

(3)金属棒达到的稳定速度是 2m/s ；

(4)若将金属棒滑行至 cd 处的时刻记作 $t=0$ ，从此刻起，让磁感强度逐渐减小，可使金属棒中不产生感应电流，则磁感强度 B 与时间 t 变化关系为 $B = \frac{1}{(t+1)^2} \text{T}$ 。

【解析】(1)棒从静止释放，因切割磁感线，从而产生感应电流，受到安培力阻力作用，在达到稳定速度前，安培力越来越大，导致金属棒的加速度逐渐减小，速度逐渐增大。

(2)达到稳定速度时，则有棒受到的安培力， $F_A = B_0 IL$ ，

根据受力平衡条件，则有： $mg \sin \theta = F_A + \mu mg \cos \theta$ ，

$$I = \frac{mg(\sin 37^\circ - \mu \cos 37^\circ)}{B_0 L} = \frac{0.05 \times 10 \times (0.6 - 0.5 \times 0.8)}{1 \times 0.5} \text{A} = 0.2 \text{A}。$$

(3)切割感应电动势， $E = B_0 L v$ ，闭合电路欧姆定律， $I = \frac{E}{R}$ ，

$$\text{解得：} v = \frac{IR}{B_0 L} = \frac{0.2 \times 5}{1 \times 0.5} \text{m/s} = 2 \text{m/s}。$$

(4)当回路中的总磁通量不变时，金属棒中不产生感应电流，金属棒沿导轨匀加速运动。

故有 $mg \sin \theta - \mu mg \cos \theta = ma$ ， $a = g(\sin \theta - \mu \cos \theta) = 10 \times (0.6 - 0.5 \times 0.8) \text{m/s}^2 = 2 \text{m/s}^2$ 。

$$B_0 L s = BL(s + vt + \frac{1}{2}at^2)，\text{故 } B = \frac{B_0 s}{s + vt + \frac{1}{2}at^2} = \frac{1}{1 + 2t + t^2} \text{T} = \frac{1}{(t+1)^2} \text{T}。$$

【考点】电磁感应定律，闭合电路欧姆定律，牛顿第二定律。