

# 电磁感应中的“双杆问题”

## 问题 3:

电磁感应中“双杆问题”是学科内部综合的问题，涉及到电磁感应、安培力、牛顿运动定律和动量定理、动量守恒定律及能量守恒定律等。要求学生综合上述知识，认识题目所给的物理情景，找出物理量之间的关系，因此是较难的一类问题，也是近几年高考考察的热点。

下面对“双杆”类问题进行分类例析

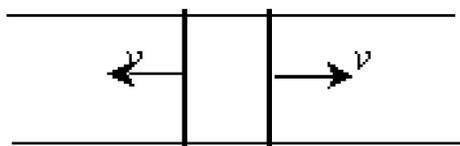
### 1. “双杆”向相反方向做匀速运动

当两杆分别向相反方向运动时，相当于两个电池正向串联。

[例 1] 两根相距  $d=0.20\text{m}$  的平行金属长导轨固定在同一水平面内，并处于竖直方向的匀强磁场中，磁场的磁感应强度  $B=0.2\text{T}$ ，导轨上面横放着两条金属细杆，构成矩形回路，每条金属细杆的电阻为  $r=0.25\Omega$ ，回路中其余部分的电阻可不计。已知两金属细杆在平行于导轨的拉力的作用下沿导轨朝相反方向匀速平移，速度大小都是  $v=5.0\text{m/s}$ ，如图所示，不计导轨上的摩擦。

(1) 求作用于每条金属细杆的拉力的大小。

(2) 求两金属细杆在间距增加  $0.40\text{m}$  的滑动过程中共产生的热量。



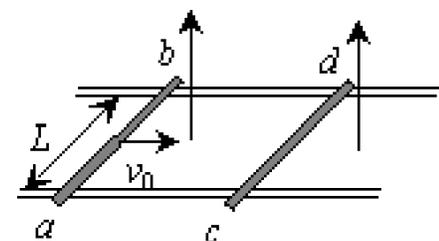
### 2. “双杆”同向运动，但一杆加速另一杆减速

当两杆分别沿相同方向运动时，相当于两个电池反向串联。

[例 2] 两根足够长的固定的平行金属导轨位于同一水平面内，两导轨间的距离为  $L$ 。导轨上面横放着两根导体棒  $ab$  和  $cd$ ，构成矩形回路，如图所示。两根导体棒的质量皆为  $m$ ，电阻皆为  $R$ ，回路中其余部分的电阻可不计。在整个导轨平面内都有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为  $B$ 。设两导体棒均可沿导轨无摩擦地滑行。开始时，棒  $cd$  静止，棒  $ab$  有指向棒  $cd$  的初速度  $v_0$ 。若两导体棒在运动中始终不接触，求：

(1) 在运动中产生的焦耳热最多是多少。

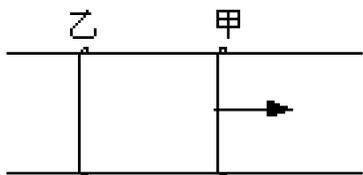
(2) 当  $ab$  棒的速度变为初速度的  $3/4$  时， $cd$  棒的加速度是多少？



### 3. “双杆”中两杆都做同方向上的加速运动。

“双杆”中的一杆在外力作用下做加速运动，另一杆在安培力作用下做加速运动，最终两杆以同样加速度做匀加速直线运动。

[例 3] 如图所示，两根平行的金属导轨，固定在同一水平面上，磁感应强度  $B=0.50\text{T}$  的匀强磁场与导轨所在平面垂直，导轨的电阻很小，可忽略不计。导轨间的距离  $l=0.20\text{m}$ 。两根质量均为  $m=0.10\text{kg}$  的平行金属杆甲、乙可在导轨上无摩擦地滑动，滑动过程中与导轨保持垂直，每根金属杆的电阻为  $R=0.50\Omega$ 。在  $t=0$  时刻，两杆都处于静止状态。现有一与导轨平行、大小为  $0.20\text{N}$  的恒力  $F$  作用于金属杆甲上，使金属杆在导轨上滑动。经过  $t=5.0\text{s}$ ，金属杆甲的加速度为  $a=1.37\text{m/s}^2$ ，问此时两金属杆的速度各为多少？



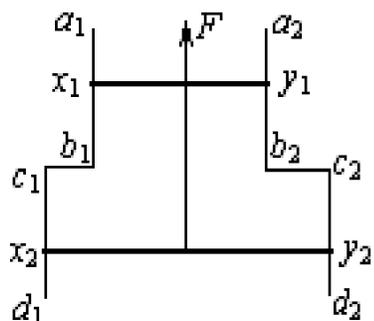
### 4. “双杆”在不等宽导轨上同向运动。

“双杆”在不等宽导轨上同向运动时，两杆所受的安培力不等大反向，所以不能利用动量守恒定律解题。

[例 4] 图中  $a_1b_1c_1d_1$  和  $a_2b_2c_2d_2$  为在同一竖直平面内的金属导轨，处在磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，磁场方向

..

垂直于导轨所在平面（纸面）向里。导轨的  $a_1b_1$  段与  $a_2b_2$  段是竖直的，距离为  $l_1$ ； $c_1d_1$  段与  $c_2d_2$  段也是竖直的，距离为  $l_2$ 。 $x_1 y_1$  与  $x_2 y_2$  为两根用不可伸长的绝缘轻线相连的金属细杆，质量分别为  $m_1$  和  $m_2$ ，它们都垂直于导轨并与导轨保持光滑接触。两杆与导轨构成的回路的总电阻为  $R$ 。 $F$  为作用于金属杆  $x_1y_1$  上的竖直向上的恒力。已知两杆运动到图示位置时，已匀速向上运动，求此时作用于两杆的重力的功率的大小和回路电阻上的热功率。



问题 4：电磁感应中的一个重要推论——安培力的冲量公式

$$F\Delta t = BLI\Delta t = BLq = BL \frac{\Delta\Phi}{R}$$

感应电流通过直导线时，直导线在磁场中要受到安培力的作用，当导线与磁场垂直时，安培力的大小为  $F=BLI$ 。

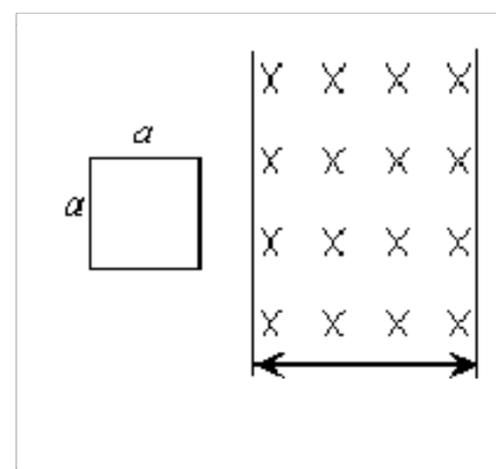
$$F\Delta t = BLI\Delta t = BLq = BL \frac{\Delta\Phi}{R}$$

在时间  $\Delta t$  内安培力的冲量  $F\Delta t$ ，式中  $q$  是通过导体

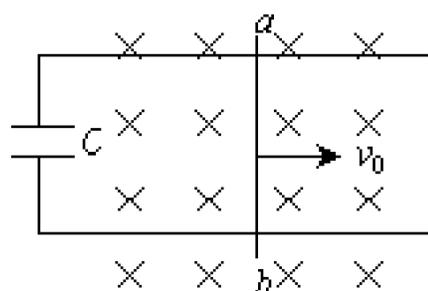
截面的电量。利用该公式解答问题十分简便，下面举例说明这一点。

[例 5] 如图所示，在光滑的水平面上，有一垂直向下的匀强磁场分布在宽为  $L$  的区域内，有一个边长为  $a$  ( $a < L$ ) 的正方形闭合线圈以初速  $v_0$  垂直磁场边界滑过磁场后速度变为  $v$  ( $v < v_0$ ) 那么 ( )

- A. 完全进入磁场中时线圈的速度大于  $(v_0+v) / 2$
- B. 安全进入磁场中时线圈的速度等于  $(v_0+v) / 2$
- C. 完全进入磁场中时线圈的速度小于  $(v_0+v) / 2$
- D. 以上情况 A、B 均有可能，而 C 是不可能的



[例 6] 光滑 U 型金属框架宽为  $L$ ，足够长，其上放一质量为  $m$  的金属棒  $ab$ ，左端连接有一电容为  $C$  的电容器，现给棒一个初速  $v_0$ ，使棒始终垂直框架并沿框架运动，如图所示。求导体棒的最终速度。



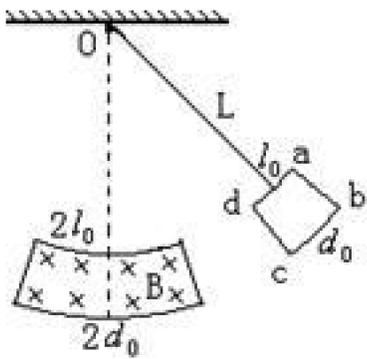
问题 5：电磁感应中电流方向问题

[例 7] 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  $d_0$  的金属线框的中点联结并悬挂于  $O$  点，悬点正下方存在一个上弧长为  $2l_0$ 、下弧长为  $2d_0$  的方向垂直纸面向里的匀强磁场，且  $d_0 \ll l_0$  先将线框拉开到如图所示位置，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

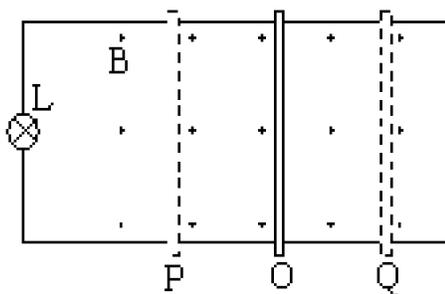
..

D. 金属线框最终将在磁场内做简谐运动



练习: [8 如图所示, 接有灯泡 L 的平行金属导轨水平放置在匀强磁场中, 一导体杆与两导轨良好接触并做往复运动, 其运动情况与弹簧振子做简谐运动的情况相同。图中 O 位置对应于弹簧振子的平衡位置, P、Q 两位置对应于弹簧振子的最大位移处。若两导轨的电阻不计, 则 ( )

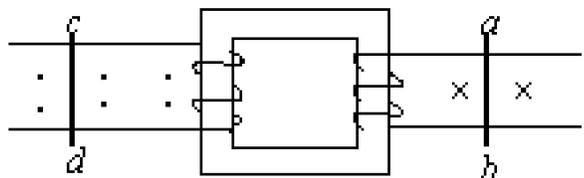
- A. 杆由 O 到 P 的过程中, 电路中电流变大
- B. 杆由 P 到 Q 的过程中, 电路中电流一直变大
- C. 杆通过 O 处时, 电路中电流方向将发生改变
- D. 杆通过 O 处时, 电路中电流最大



问题 6: 电磁感应中的多级感应问题

[例 9 如图所示, ab、cd 金属棒均处于匀强磁场中, cd 原静止, 当 ab 向右运动时, cd 如何运动 (导体电阻不计) ( )

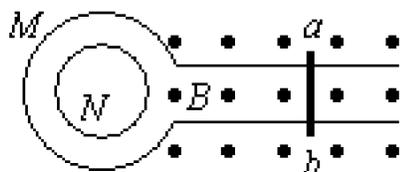
- A. 若 ab 向右匀速运动, cd 静止;
- B. 若 ab 向右匀加速运动, cd 向右运动;
- C. 若 ab 向右匀减速运动, cd 向左运动



练习 10: 在匀强磁场中放一电阻不计的平行金属导轨, 导轨跟大线圈 M 相接, 如图所示。导轨上放一根导线 ab,

磁力线垂直于导轨所在平面。欲使 M 所包围的小闭合线圈 N 产生顺时针方向的感应电流, 则导线的运动可能是

- ( )
- A. 向右运动      B. 加速向右运动
- C. 减速向右运动      D. 加速向左运动



问题 7: 电磁感应中的动力学问题

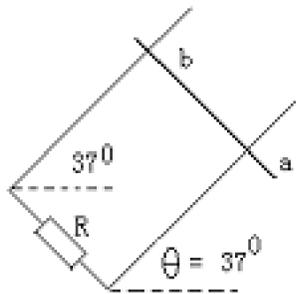
..

[例 11 如图所示，处于匀强磁场中的两根足够长、电阻不计的平行金属导轨相距 1m，导轨平面与水平面成  $\theta = 37^\circ$  角，下端连接阻值为  $R$  的电阻。匀强磁场的方向与导轨平面垂直。质量为 0.2kg、电阻不计的导体棒放在两导轨上，棒与导轨垂直并且接触良好，它们间的动摩擦因数为 0.25。

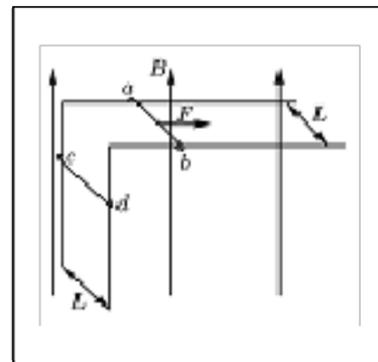
(1) 金属棒沿导轨由静止开始下滑时的加速度大小。

(2) 当金属棒下滑速度达到稳定时，电阻  $R$  消耗的功率为 8W，求该速度的大小。

(3) 在上问中，若  $R=2\Omega$ ，金属棒中电流方向由 a 到 b，求磁感应强度的大小与方向。(  $g=10\text{m/s}^2$ ,  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$  )



练习：12) 两根相距为  $L$  的足够长的金属直角导轨如题下图所示放置，它们各有一边在同一水平面内，另一边垂直于水平面。质量均为  $m$  的金属细杆  $ab$ 、 $cd$  与导轨垂直接触形成闭合回路，杆与导轨之间的动摩擦因数为  $\mu$ ，导轨电阻不计，回路总电阻为  $2R$ 。整个装置处于磁感应强度大小为  $B$ ，方向竖直向上的匀强磁场中。当  $ab$  杆在平行于水平导轨的拉力  $F$  作用下以速度  $V_1$  沿导轨匀速运动时， $cd$  杆也正好以速率  $V_2$  向下匀速运动。重力加速度为  $g$ 。以下说法正确的是 ( )



A.  $ab$  杆所受拉力  $F$  的大小为  $\mu mg + \frac{B^2 L^2 V_1}{2R}$  B.  $cd$  杆所受摩擦力为零

C. 回路中的电流强度为  $\frac{BL(V_1+V_2)}{2R}$  D.  $\mu$  与  $V_1$  大小的关系为  $\mu = \frac{2Rmg}{B^2 L^2 V_1}$

答案 12: AD

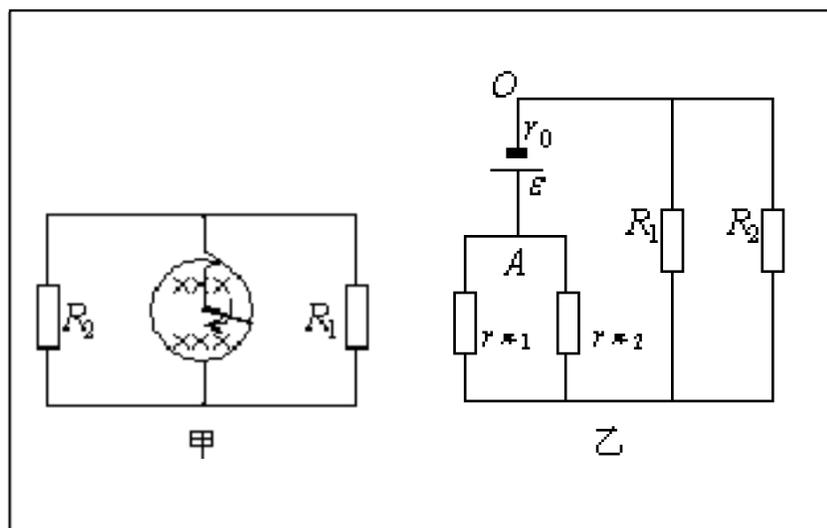
问题 8: 电磁感应中的电路问题

[例 13 如图所示，在磁感强度为  $B$  的匀强磁场中有一半径为  $L$  的金属圆环。

已知构成圆环的电线电阻为  $4r_0$ ，以  $O$  为轴可以在圆环上滑动的金属棒  $OA$  电阻为  $r_0$ ，电阻  $R_1 = R_2 = 4r_0$ 。如果  $OA$  棒

以某一角速度匀速转动时，电阻  $R_1$  的电功率最小值为  $P_0$ ，那么

$OA$  棒匀速转动的角速度应该多大？(其它电阻不计)

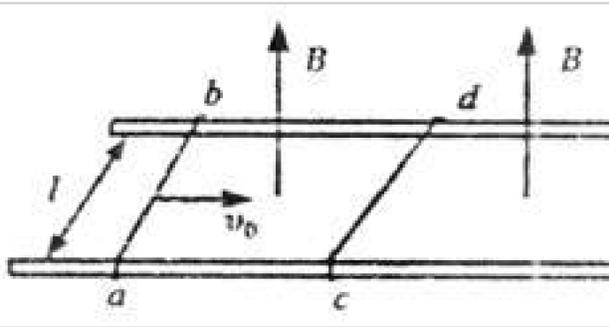


电磁感应中的双动式导轨问题

一、等间距水平导轨，无水平外力作用(安培力除外，下同)

例 14 两根足够长的固定的平行金属导轨位于同一水平面内，两导轨间的距离为  $l$ 。导轨上面横放着两根导体棒  $ab$  和  $cd$ ，构成矩形回路，如图所示。两根导体棒的质量皆为  $m$ ，电阻皆为  $R$ ，回路中其余部分的电阻可不计。在整个导轨平面内都有竖直向上的匀强磁场，磁感应强度为  $B$ 。设两导体棒均可沿导轨无摩擦地滑行，

开始时，棒 $cd$ 静止，棒 $ab$ 有指向棒 $cd$ 的初速度 $v_0$ 。若两导体棒在运动中始终不接触，求：

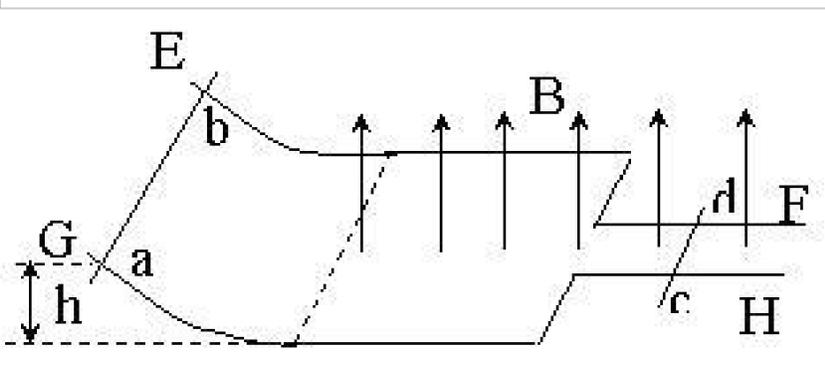


(1) 在运动中产生的焦耳热最多是多少？

(2) 当 $ab$ 棒的速度变为初速度的 $\frac{3}{4}$ 时， $cd$ 棒的加速度是多少？

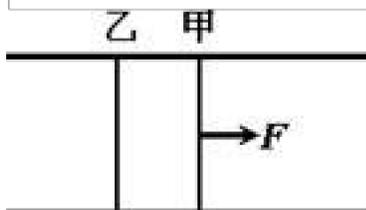
二、不等间距水平导轨，无水平外力作用

例 15 如图所示，光滑导轨 $EF$ 、 $GH$ 等高平行放置， $EG$ 间宽度为 $FH$ 间宽度的 3 倍，导轨右侧水平且处于竖直向上的匀强磁场中，左侧呈弧形升高。 $ab$ 、 $cd$ 是质量均为 $m$ 的金属棒，现让 $ab$ 从离水平轨道 $h$ 高处由静止下滑，设导轨足够长。试求：(1) $ab$ 、 $cd$ 棒的最终速度；(2)全过程中感应电流产生的焦耳热。



三、等间距水平导轨，受水平外力作用

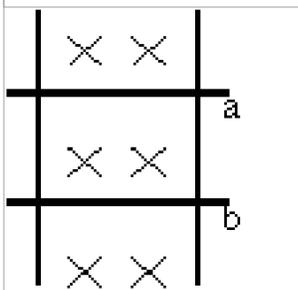
例 16 两根平行的金属导轨，固定在同一水平面上，磁感强度 $B = 0.50T$ 的匀强磁场与导轨所在平面垂直，导轨的电阻很小，可忽略不计。导轨间的距离 $l = 0.20m$ ，两根质量均为 $m = 0.10kg$ 的平行金属杆甲、乙可在导轨上无摩擦地滑动，滑动过程中与导轨保持垂直，每根金属杆的电阻为 $R = 0.50\Omega$ 。在 $t = 0$ 时刻，两杆都处于静止状态。现有一与导轨平行，大小为 $0.20N$ 的恒力 $F$ 作用于金属杆甲上，使金属杆在导轨上滑动。经过 $t = 5.0s$ ，金属杆甲的加速度为 $a = 1.37m/s^2$ ，求此时两金属杆的速度各为多少？



四、竖直导轨问题

例 17 如图所示，竖直放置的两光滑平行金属导轨，置于垂直于导轨平面向里的匀强磁场中，两根质量相同的导体棒 $a$ 和 $b$ ，与导轨紧密接触且可自由滑动。先固定 $a$ ，释放 $b$ ，当 $b$ 的速度达到 $10m/s$ 时，再释放 $a$ ，

经过 1s 后,  $a$  的速度达到  $12m/s$ , 则 (1) 此时  $b$  的速度大小是多少? (2) 若导轨很长,  $a$ 、 $b$  棒最后的运动状态。



以上几种常见的情况归纳如下:

类型	水平导轨, 无水平外力	不等间距导轨, 无水平外力	水平导轨, 受水平外力	竖直导轨
终态分析	两导体棒以相同的速度做匀速运动	两导体棒以不同的速度做匀速运动	两导体棒以不同的速度做加速度相同的匀加速运动	两导体棒以相同的速度做加速度相同的匀加速运动
速度图象				
解题策略	动量守恒定律, 能量守恒定律及电磁学、运动学知识	动量定理, 能量守恒定律及电磁学、运动学知识	动量定理, 能量守恒定律及电磁学、运动学知识	动量定理, 能量守恒定律及电磁学、运动学知识

## 电磁感应中“滑轨”问题归类例析

冯德强 (南菁高级中学 214400 江苏)

导体杆在磁场中运动切割磁感线产生电磁感应现象, 是历年高考的一个热点问题。因此在高三复习阶段有必要对此类问题进行归类总结, 使学生更好的掌握、理解它的内涵。笔者作了一个粗浅的归类, 请读者批评指正。

通过研究各种题目, 我认为电磁感应中“滑轨”问题, 最后要探讨的问题不外乎以下几种:

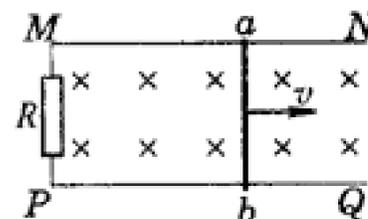
- 1、运动分析: 稳定运动的性质 (可能为静止、匀速运动、匀加速运动)、求出稳定的速度或加速度、求达到稳定的过程中发生的位移或相对位移等
- 2、分析运动过程中产生的感应电流、讨论某两点间的电势差等
- 3、分析有关能量转化的问题: 如产生的电热、机械功率等
- 4、求通过回路的电量

解题的方法、思路通常是首先进行受力和运动分析。然后运用动量守恒或动量定理以及能量守恒建立方程。按照不同的情景模型, 我分成单杆滑、双杆滑以及轨道滑三种情况举例分析。

### 一、“单杆”滑切割磁感线型

#### 1、杆与电阻连接组成回路

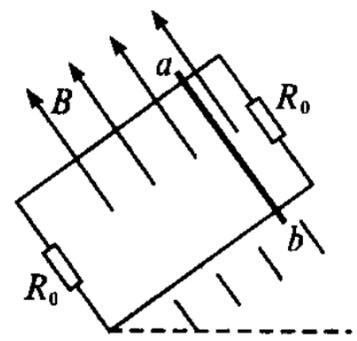
例 18、如图所示, MN、PQ 是间距为  $L$  的平行金属导轨, 置于磁感强度为  $B$ 、方向垂直导轨所在平面向里的匀强磁场中, M、P 间接有一阻值为  $R$  的电阻。一根与导轨接触良好、阻值为  $R/2$  的金属导线  $ab$  垂直导轨放置



(1) 若在外力作用下以速度  $v$  向右匀速滑动, 试求  $ab$  两点间的电势差。

(2) 若无外力作用, 以初速度  $v$  向右滑动, 试求运动过程中产生的热量、通过  $ab$  电量以及  $ab$  发生的位移  $x$ 。

例 19、如右图所示, 一平面框架与水平面成  $37^\circ$  角, 宽  $L=0.4\text{ m}$ , 上、下两端各有一个电阻  $R_0=1\ \Omega$ , 框架的其他部分电阻不计, 框架足够长. 垂直于框平面的方向存在向上的匀强磁场, 磁感应强度  $B=2\text{ T}$ .  $ab$  为金属杆, 其长度为  $L=0.4\text{ m}$ , 质量  $m=0.8\text{ kg}$ , 电阻  $r=0.5\ \Omega$ , 棒与框架的动摩擦因数  $\mu=0.5$ . 由静止开始下滑, 直到速度达到最大的过程中, 上端电阻  $R_0$  产生的热量  $Q_0=0.375\text{ J}$  (已知  $\sin 37^\circ=0.6$ ,  $\cos 37^\circ=0.8$ ;  $g$  取  $10\text{ m/s}^2$ ) 求:



(1) 杆  $ab$  的最大速度;

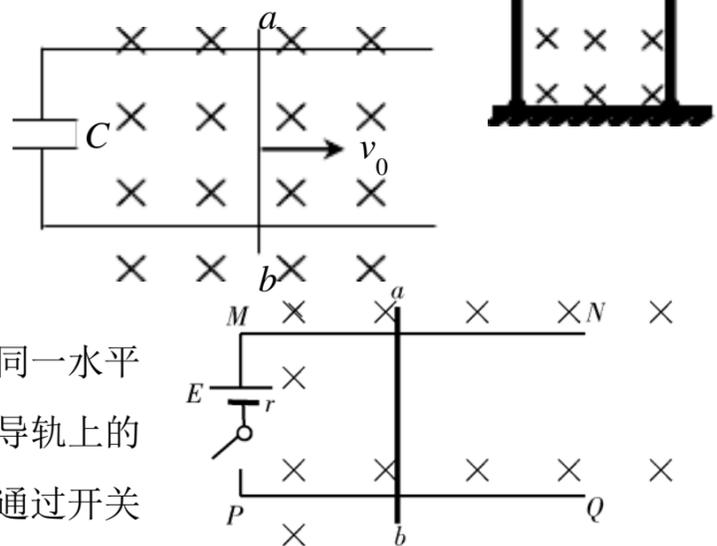
(2) 从开始到速度最大的过程中  $ab$  杆沿斜面下滑的距离; 在该过程中通过  $ab$  的电荷量.

## 2、杆与电容器连接组成回路

例 20、如图所示, 竖直放置的光滑平行金属导轨, 相距  $l$ , 导轨一端接有一个电容器, 电容量为  $C$ , 匀强磁场垂直纸面向里, 磁感应强度为  $B$ , 质量为  $m$  的金属棒  $ab$  可紧贴导轨自由滑动. 现让  $ab$  由静止下滑, 不考虑空气阻力, 也不考虑任何部分的电阻和自感作用.

问金属棒做什么运动? 棒落地时的速度为多大?

例 21、光滑 U 型金属框架宽为  $L$ , 足够长, 其上放一质量为  $m$  的金属棒  $ab$ , 左端连接有一电容为  $C$  的电容器, 现给棒一个初速  $v_0$ , 使棒始终垂直框架并沿框架运动, 如图所示. 求导体棒的最终速度.



## 3、杆与电源连接组成回路

例 22、如图所示, 长平行导轨  $PQ$ 、 $MN$  光滑, 相距  $l=0.5\text{ m}$ , 处在同一水平面中, 磁感应强度  $B=0.8\text{ T}$  的匀强磁场竖直向下穿过导轨面. 横跨在导轨上的直导线  $ab$  的质量  $m=0.1\text{ kg}$ 、电阻  $R=0.8\ \Omega$ , 导轨电阻不计. 导轨间通过开关  $S$  将电动势  $E=1.5\text{ V}$ 、内电阻  $r=0.2\ \Omega$  的电池接在  $M$ 、 $P$  两端, 试计算分析:

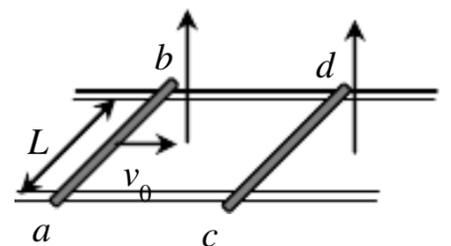
(1) 在开关  $S$  刚闭合的初始时刻, 导线  $ab$  的加速度多大? 随后  $ab$  的加速度、速度如何变化?

(2) 在闭合开关  $S$  后, 怎样才能使  $ab$  以恒定的速度  $v=7.5\text{ m/s}$  沿导轨向右运动? 试描述这时电路中的能量转化情况 (通过具体的数据计算说明).

## 二、“双杆”滑切割磁感线型

### 1、双杆所在轨道宽度相同——常用动量守恒求稳定速度

例 23、两根足够长的固定的平行金属导轨位于同一水平面内, 两导轨间的距离为  $L$ . 导轨上面横放着两根导体棒  $ab$  和  $cd$ , 构成矩形回路, 如图所示. 两根导体棒的质量皆为  $m$ , 电阻皆为  $R$ , 回路中其余部分的电阻可不计. 在整个导轨平面内都有竖直向上的匀强磁场, 磁感应强度为  $B$ . 设两导体棒均可沿导轨无摩擦地滑行. 开始时, 棒  $cd$  静止, 棒  $ab$  有指向棒  $cd$  的初速度  $v_0$ . 若两导体棒在运动中始终不接触, 求:

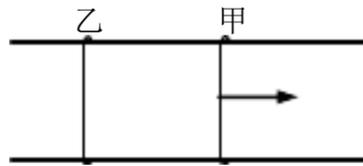


(1) 在运动中产生的焦耳热最多是多少.

(2) 当  $ab$  棒的速度变为初速度的  $3/4$  时,  $cd$  棒的加速度是多少?

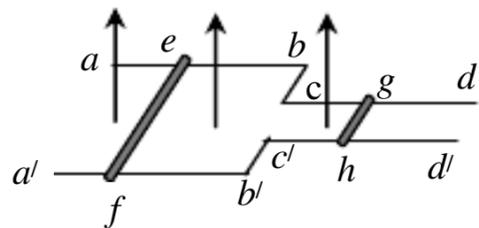
例 24、如图所示, 两根平行的金属导轨, 固定在同一水平面上, 磁感应强度  $B=0.50\text{ T}$  的匀强磁场与导轨所在平面垂直, 导轨的电阻很小, 可忽略不计. 导轨间的距离  $l=0.20\text{ m}$ . 两根质量均为  $m=0.10\text{ kg}$  的平行金属杆甲、乙可在导轨上无摩擦地滑动, 滑动过程中与导轨保持垂直, 每根金属杆的电阻为  $R=0.50\ \Omega$ . 在  $t=0$  时刻, 两杆都处于

静止状态。现有一与导轨平行、大小为  $0.20\text{N}$  的恒力  $F$  作用于金属杆甲上，使金属杆在导轨上滑动。经过  $t=5.0\text{s}$ ，金属杆甲的加速度为  $a=1.37\text{m/s}^2$ ，问此时两金属杆的速度各为多少？



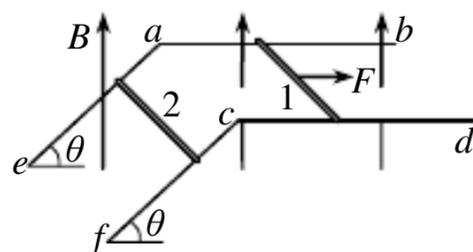
2、双杆所在轨道宽度不同——常用动量定理找速度关系

例 25、如图所示， $abcd$  和  $a'b'c'd'$  为水平放置的光滑平行导轨，区域内充满方向竖直向上的匀强磁场。 $ab$ 、 $a'b'$  间的宽度是  $cd$ 、 $c'd'$  间宽度的 2 倍。设导轨足够长，导体棒  $ef$  的质量是棒  $gh$  的质量的 2 倍。现给导体棒  $ef$  一个初速度  $v_0$ ，沿导轨向左运动，当两棒的速度稳定时，两棒的速度分别是多少？



3、磁场方向与导轨平面不垂直

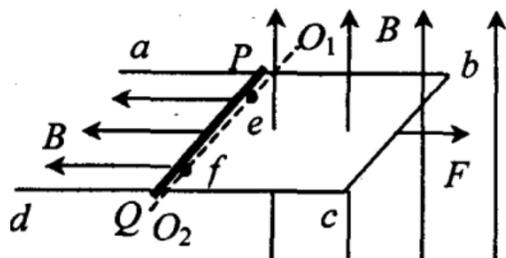
例 26、如图所示， $ab$  和  $cd$  是固定在同一水平面内的足够长平行金属导轨， $ae$  和  $cf$  是平行的足够长倾斜导轨，整个装置放在竖直向上的匀强磁场中。在水平导轨上有与导轨垂直的导体棒 1，在倾斜导轨上有与导轨垂直且水平的导体棒 2，两棒与导轨间接触良好，构成一个闭合回路。已知磁场的磁感应强度为  $B$ ，导轨间距为  $L$ ，倾斜导轨与水平面夹角为  $\theta$ ，导体棒 1 和 2 质量均为  $m$ ，电阻均为  $R$ 。不计导轨电阻和一切摩擦。现用一水平恒力  $F$  作用在棒 1 上，从静止开始拉动棒 1，同时由静止开始释放棒 2，经过一段时间，两棒最终匀速运动。忽略感应电流之间的作用，试求：



- (1) 水平拉力  $F$  的大小；
- (2) 棒 1 最终匀速运动的速度  $v_1$  的大小。

三、轨道滑模型

例 、如图所示， $abcd$  为质量  $m$  的 U 形导轨， $ab$  与  $cd$  平行，放在光滑绝缘的水平面上，另有一根质量为  $m$  的金属棒  $PQ$  平行  $bc$  放在水平导轨上， $PQ$  棒右边靠着绝缘竖直光滑且固定在绝缘水平面上的立柱  $e$ 、 $f$ ，U 形导轨处于匀强磁场中，磁场以通过  $e$ 、 $f$  的  $O_1O_2$  为界，右侧磁场方向竖直向上，左侧磁场方向水平向左，磁感应强度大小都为  $B$ ，导轨的  $bc$  段长度为  $L$ ，金属棒  $PQ$  的电阻  $R$ ，其余电阻均可不计，金属棒  $PQ$  与导轨间的动摩擦因数为  $\mu$ ，在导轨上作用一个方向向右，大小  $F=mg$  的水平拉力，让 U 形导轨从静止开始运动。设导轨足够长。求：



- (1) 导轨在运动过程中的最大速度  $v_m$
- (2) 若导轨从开始运动到达到最大速度  $v_m$  的过程中，流过  $PQ$  棒的总电量为  $q$ ，则系统增加的内能为多少？

电磁感应中动量定理的运用

动量定律  $I = \Delta P$ 。

设想在某一回路中，一部分导体仅在安培力作用下运动时，安培力  $F$  为变力，但其冲量可用它对时间的平均值进行计算，即  $I = \bar{F} \Delta t$ ，

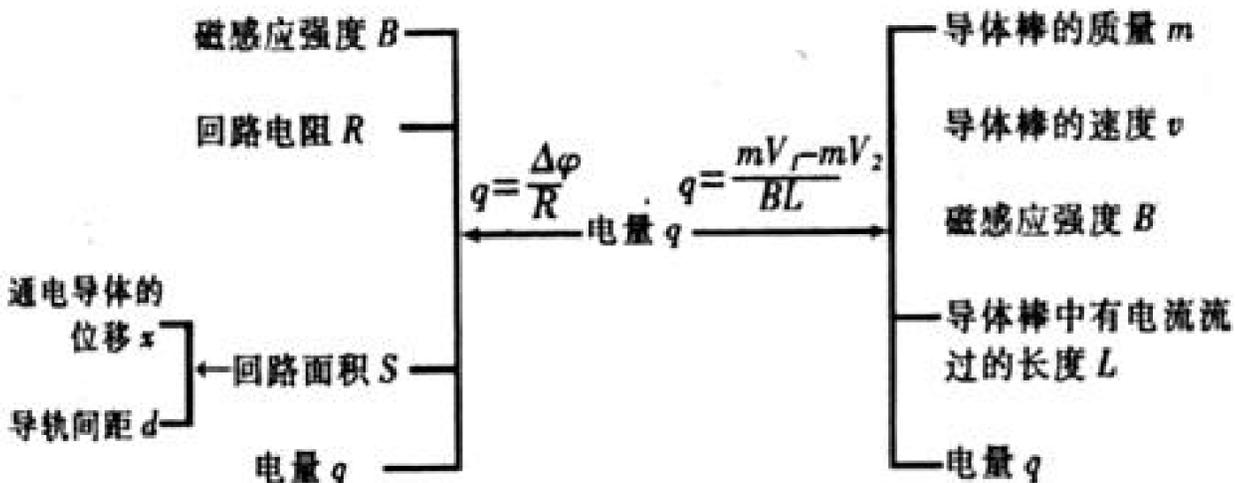
而  $F = BIL$  ( $I$  为电流对时间的平

均值) 故有:  $B \bar{I} L \Delta t = mv_2 - mv_1$  .

而  $\bar{I} t = q$  , 故有  $q = \frac{mv_2 - mv_1}{BL}$

理论上电量的求法:  $q = I \cdot t$ 。

这种方法的依据是电流的定



义式  $I=q/t$  该式的研究对象是通电导体的某一截面，若在  $t$  时间内流过该截面的电量为  $q$ ，则流过该切面的电流为  $I=q/t$ ，显然，这个电流应为对时间的平均值，因此该式应写为  $\bar{I} = q/t$ ，变形后可以得  $q = \bar{I} t$ ，这个关系式具有一般性，亦即无论流经导体的电流是恒定的还是变化的，只要电流用这段时间内的平均值代入，该式都适用，而平均电流的求解，在电磁感应问题中最为常见的思路为：对某一回路来说，据法拉第电磁感应定律，得  $E = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$ ，

显然该感应电动势也为对其时间的平均值，再由  $\bar{I} = \frac{\bar{E}}{R}$  ( $R$  为回路中的总电阻) 可以得到  $\bar{I} = \frac{\Delta\phi}{R\Delta t}$ 。

综上所述可得  $q = \frac{\Delta\phi}{R}$ 。若  $B$  不变，则  $q = \frac{\Delta\phi}{R} = \frac{B\Delta s}{R}$

电量  $q$  与安培力的冲量之间有什么联系？可用下面的框图来说明。

28 如图 1 所示，半径为  $r$  的两半圆形光滑金属导轨并列竖直放置，在轨道左侧上方  $MN$  间接有阻值为  $R_0$  的电阻，整个轨道处在竖直向下的磁感应强度为  $B$  的匀强磁场中，两轨道间距为  $L$ ，一电阻也为  $R_0$  质量为  $m$  的金属棒  $ab$  从  $MN$  处由静止释放经时间  $t$  到达轨道最低点  $cd$  时的速度为  $v$ ，不计摩擦。求：

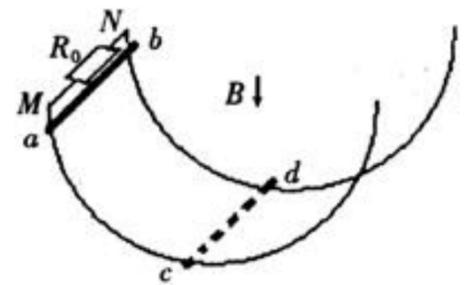


图 1

- (1) 棒从  $ab$  到  $cd$  过程中通过棒的电量。
- (2) 棒在  $cd$  处的加速度。

29) 如图 2 所示，在光滑的水平面上，有一垂直向下的匀强磁场分布在宽度为  $L$  的区域内，现有一个边长为  $a$  ( $a < L$ ) 的正方形闭合线圈以初速度  $v_0$  垂直磁场边界滑过磁场后，速度为  $v$  ( $v < v_0$ )，那么线圈

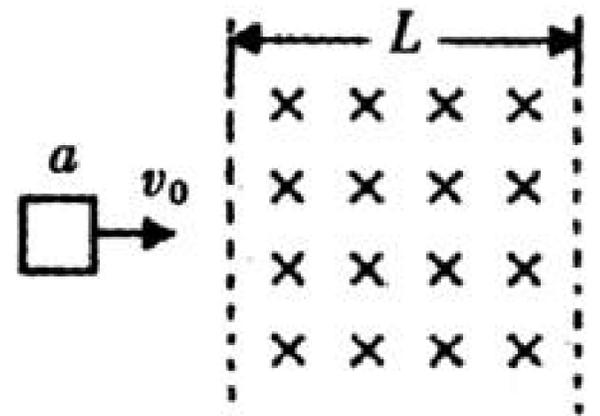


图 2

- A. 完全进入磁场中时的速度大于  $(v_0 + v) / 2$
- B. 完全进入磁场中时的速度等于  $(v_0 + v) / 2$
- C. 完全进入磁场中时的速度小于  $(v_0 + v) / 2$
- D. 以上情况均有可能

30 如图 3 所示，在水平面上有两条导电导轨  $MN$ 、 $PQ$ ，导轨间距为  $d$ ，匀强磁场垂直于导轨所在的平面向里，磁感应强度的大小为  $B$ ，两根完全相同的金属杆 1、2 间隔一定的距离摆开放在导轨上，且与导轨垂直。它们的电阻均为  $R$ ，两杆与导轨接触良好，导轨电阻不计，金属杆的摩擦不计。杆 1 以初速度  $v_0$  滑向杆 2，为使两杆不相碰，则杆 2 固定与不固定两种情况下，最初摆放两杆时的最少距离之比为：

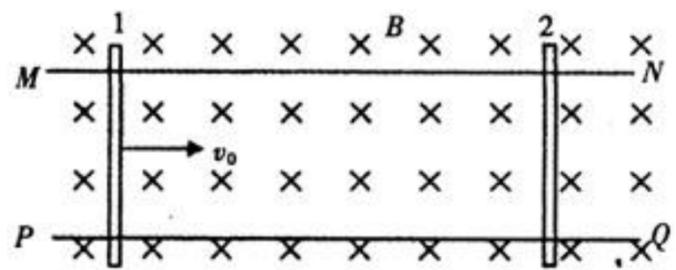
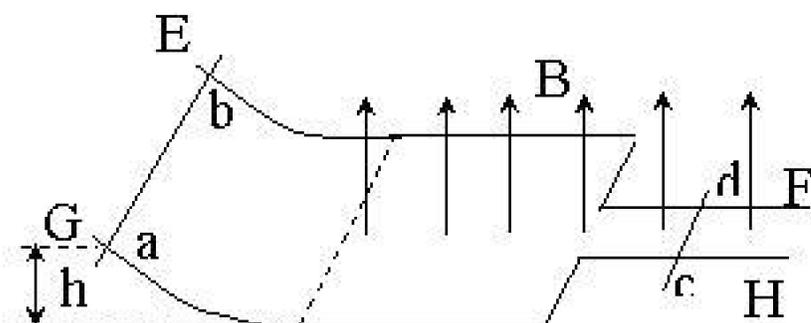


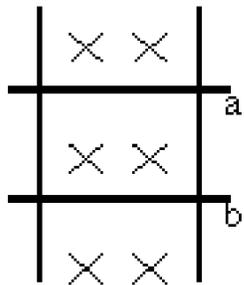
图 3

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

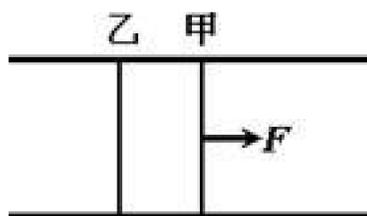
变式训练 如图所示，光滑导轨、等高平行放置，间距宽度为 间距宽度的 倍，导轨右侧水平且处于竖直向上的匀强磁场中，左侧呈弧形升高。、是质量均为 的金属棒，现让 从离水平轨道 高处由静止下滑，设导轨足够长。试求：、棒的最最终速度；全过程中感应电流产生的焦耳热。



变式训练 如图所示，竖直放置的两光滑平行金属导轨，置于垂直于导轨平面向里的匀强磁场中，两根质量相同的导体棒  $a$  和  $b$ ，与导轨紧密接触且可自由滑动。先固定  $a$ ，释放  $b$ ，当  $b$  的速度达到  $v_1$  时，再释放  $a$ ，经过  $t$  后， $a$  的速度达到  $v_2$ ，则 ( ) 此时  $b$  的速度大小是多少？ ( ) 若导轨很长， $a$ 、 $b$  棒最后的运动状态。

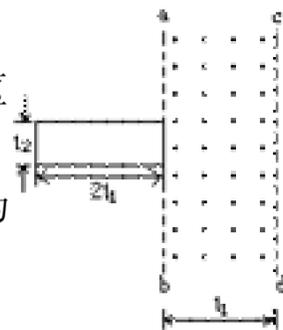


变式训练 两根平行的金属导轨，固定在同一水平面上，磁感强度  $B$  的匀强磁场与导轨所在平面垂直，导轨的电阻很小，可忽略不计。导轨间的距离  $l$ ，两根质量均为  $m$  的平行金属杆甲、乙可在导轨上无摩擦地滑动，滑动过程中与导轨保持垂直，每根金属杆的电阻为  $R$ 。在  $t=0$  时刻，两杆都处于静止状态。现有一与导轨平行，大小为  $F$  的恒力 作用于金属杆甲上，使金属杆在导轨上滑动。经过  $t$ ，金属杆甲的加速度为  $a$ ，求此时两金属杆的速度各为多少？

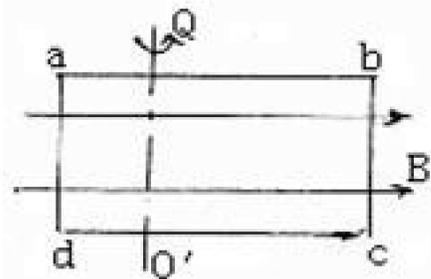


### 一、填空题

1、空间存在以  $ab$ 、 $cd$  为边界的匀强磁场区域，磁感强度大小为  $B$ ，方向垂直纸面向外，区域宽为  $l_1$ ，现有一矩形线框处在图中纸面内，它的短边与  $ab$  重合，长度为  $l_2$ ，长边的长度为  $l_1$ ，如图所示，某时刻线框以初速  $v_0$  沿与  $ab$  垂直的方向进入磁场区域，同时某人对线框施以作用力，使它的速度大小和方向保持不变。设该线框的电阻为  $R$ ，从线框开始进入磁场到完全离开磁场的过程中，人对线框作用力所做的功等于\_\_\_\_\_。

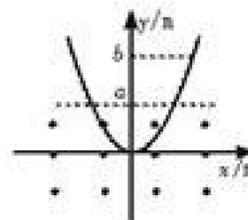


2、如图所示，矩形单匝线框绕  $O'$  轴在匀强磁场中匀速转动。若磁感应强度增为原来的  $n$  倍，则线框转一周产生的热量为原来\_\_\_\_\_倍



### 二、选择题

1、光滑曲面与竖直平面的交线是抛物线，如图所示，抛物线的方程是  $y = ax^2$ ，下半部处在一个水平方向的匀强磁场中，磁场的上边界是  $y = b$  的直线（图中的虚线所示）。一个小金属块从抛物线上  $y = a$  ( $a > b$ ) 处以速度  $v_0$  沿抛物线下滑。假设抛物线足够长，金属块沿抛物线下滑后产生的焦耳热总量是\_\_\_\_\_





· 恒力 与安培力的合力所作的功等于零

· 恒力 与重力的合力所作的功等于电阻 上发出的焦耳热

、如图 所示，两根平行放置的竖直导电轨道处于匀强磁场中，轨道平面与磁场方向垂直。当接在轨道间的开关 断开时，让一根金属杆沿轨道下滑（下滑中金属杆始终与轨道保持垂直，且接触良好）。下滑一段时间后，闭合开关 。闭合开关后，金属沿轨道下滑的速度—时间图像不可能 为（ ）

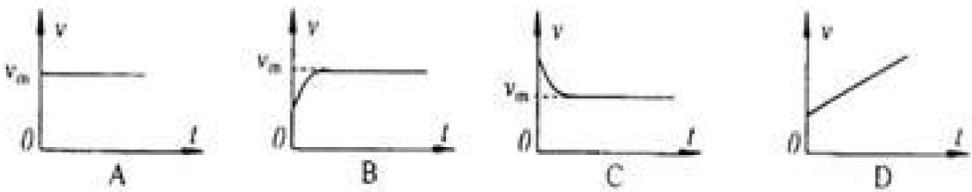


图 7

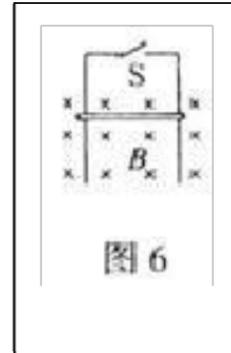


图 6

、一个电热器接在 的直流电源上，在时间 内产生的热量为 ，今将该电热器接在一交流电源上，它在 内产生的热量为 ，则这一交流电源的交流电压的最大值和有效值分别是 （ ）

· 最大值是  $\sqrt{2}$  ，有效值是 。 最大值是 ，有效值是  $\sqrt{2}$

· 最大值是  $\sqrt{2}$  ，有效值是 。 最大值是 ，有效值是  $\sqrt{2}$

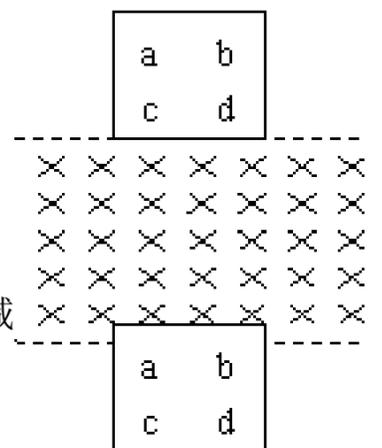
、如图所示 为一竖直放置的矩形导线框，其平面与匀强磁场方向垂直。导线框沿竖直方向从磁场上边界开始下落，直到 边出磁场，则以下说法正确的是

、线圈进入磁场和离开磁场的过程中通过导体横截面上的电荷量相等

、线圈进入磁场和离开磁场的过程中通过导体上产生的电热相等

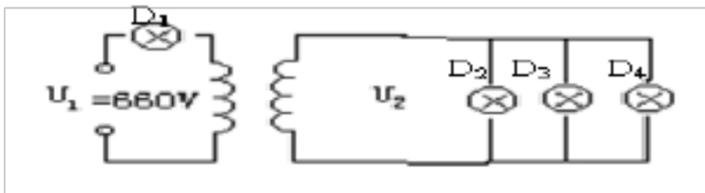
、线圈从进入磁场到完全离开磁场的过程中通过导体上产生的电热等于线圈重力势能的减小

、若线圈在 边出磁场时已经匀速运动，则线圈的匝数越多下落的速度越大

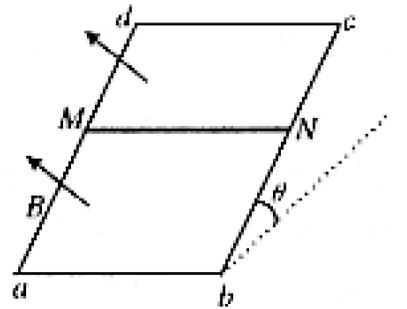


### 三、综合题

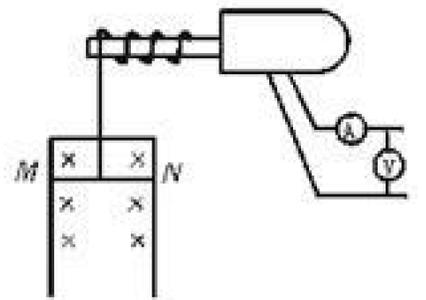
、 分 如图所示，一个交流高压电源的电压恒为 ，接在变压器上给负载供电。已知变压器副线圈的匝数为 = 匝，灯泡 、 、 、 是完全相同的灯泡，其上标有“ ， ”， 、若起初电路中没有灯泡 时，灯泡 、 、 均正常发光，则变压器的原副线圈的匝数比 ： 为多少？原线圈中磁通量变化率的最大值为多少？ 、若在原线圈上接上灯泡 时，则灯泡 的实际功率为多少？（不考虑灯泡电阻随温度的变化）



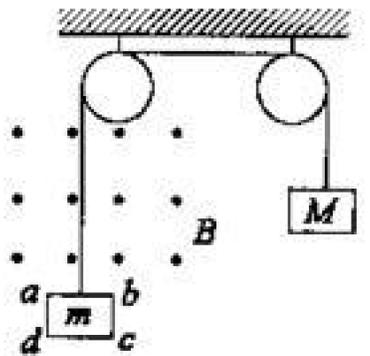
、 分 如图所示，在与水平面成 $\theta$ 角的矩形框范围内有垂直于框架的匀强磁场，磁感应强度为  $B$ ，框架的  $ad$  边和  $bc$  边电阻不计，而  $ab$  边和  $cd$  边电阻均为  $R$ ，长度均为  $l$ ，有一质量为  $m$ 、电阻为  $r$  的金棒  $MN$ ，无摩擦地冲上框架，上升最大高度为  $h$ ，在此过程中  $ab$  边产生的热量为  $Q$ ，求在金属棒运动过程中整个电路的最大热功率  $P$ 。



、 分 如图所示，电动机牵引一根原来静止的长为  $l$ 、质量为  $m$  的导体棒，其电阻为  $R$ 。导体棒架在处于磁感应强度为  $B$ 、竖直放置的框架上，当导体棒上升  $h$  时获得稳定的速度，导体产生的热量为  $Q$ 。电动机牵引棒时，电压表、电流表的读数分别为  $U$ 、 $I$ 。电动机内阻为  $r$ ，不计框架电阻及一切摩擦，取  $g$ ，求：（1）棒能达到的稳定速度是多大；（2）棒从静止达到稳定速度所需的时间是多少



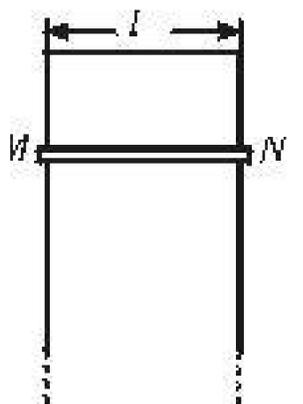
、 分 正方形金属线框，每边长  $l$ ，总质量  $m$ ，回路总电阻  $R = 0.02 \Omega$ ，用细线吊住，线的另一端跨过两个定滑轮，挂着一个质量为  $M$  的砝码。线框上方为一磁感应强度  $B$  的匀强磁场区，如图，线框在砝码的牵引下做加速运动，当线框上边  $ab$  进入磁场后立即做匀速运动。接着线框全部进入磁场后又做加速运动（1）问：



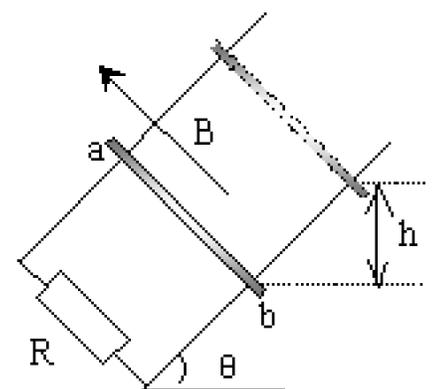
（1）线框匀速上升的速度多大？此时磁场对线框的作用力多大？

（2）线框匀速上升过程中，重物  $M$  做功多少？其中有多少转变为电能？

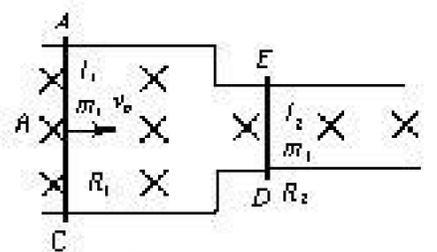
、 分 如图所示，足够长的光滑金属框竖直放置，框宽  $l$ ，框的电阻不计，匀强磁场磁感应强度  $B$ ，方向与框面垂直，金属棒  $ab$  的质量为  $m$ ，电阻为  $R$ 。现让  $ab$  无初速地释放并与框保持接触良好的竖直下落，从释放到达到最大速度的过程中通过棒某一横截面的电量为  $q$ ，求此过程中回路产生的电能。（空气阻力不计， $g$  为重力加速度）



、 分 两根金属导轨平行放置在倾角为  $\theta$  的斜面上，导轨左端接有电阻  $R$ ，导轨自身电阻忽略不计。匀强磁场垂直于斜面向上，磁感强度  $B$ 。质量为  $m$ ，电阻可不计的金属棒  $ab$  静止释放，沿导轨下滑。如图所示，设导轨足够长，导轨宽度  $l$ ，金属棒  $ab$  下滑过程中始终与导轨接触良好，当金属棒下滑  $h$  时，速度恰好达到最大速度  $v_m$ ，求此过程中电阻中产生的热量  $Q$ 。



..



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/947153034125006045>