

电磁感应 单杆模型

马祥芸

May 10, 2024

Contents

1	电感在电路中的表现	2
1.1	通电自感与断电自感	2
2	单杆模型	3
2.1	单杆电阻类	3
2.2	单杆电源类	6
2.3	单杆电容类	7
2.3.1	电容充电式	7
2.3.2	电容放电式	9

1 电感在电路中的表现

1.1 通电自感与断电自感

- 自感电动势: $E = L \frac{\Delta I}{\Delta t}$
- 自感系数影响因素: 线圈大小, 形状, 匝数以及是否有铁芯

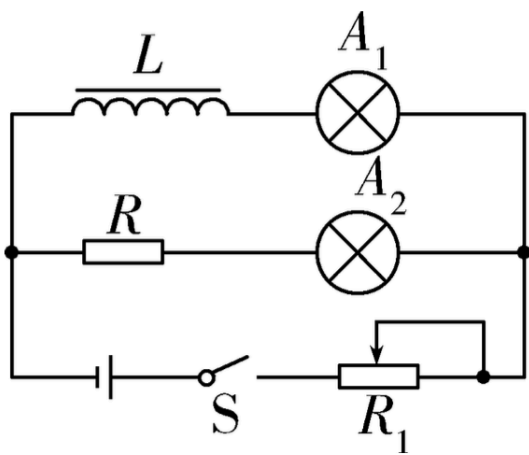


Figure 1 L 很大但无铁芯

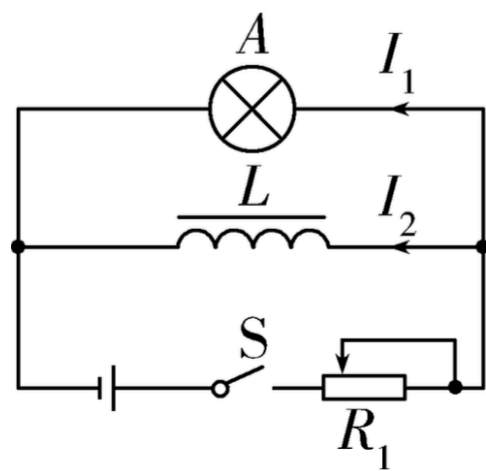
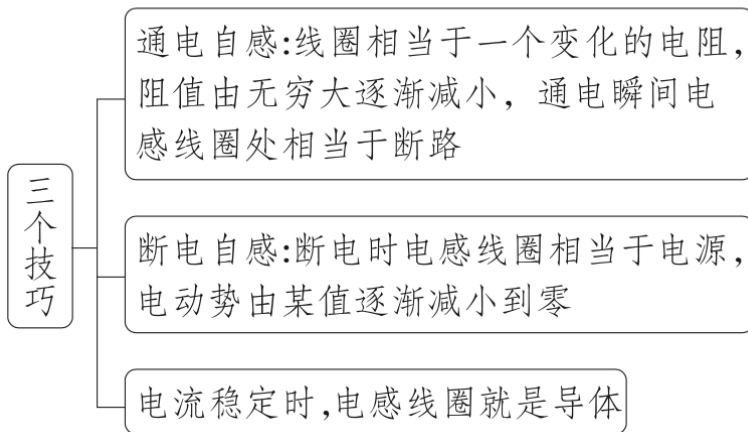


Figure 2 L 很大且有铁芯

	图 1	图 2
通电时		
断电时		
总结		

分析自感现象的三个技巧



2 单杆模型

2.1 单杆电阻类

(1) 仅初速度

水平放置的平行光滑导轨(电阻不计且足够长),间距为 L ,左侧接有电阻 R ,导体杆初速度为 v_0 ,质量为 m ,处于导轨间的部分的电阻为 r ,匀强磁场的磁感应强度大小为 B

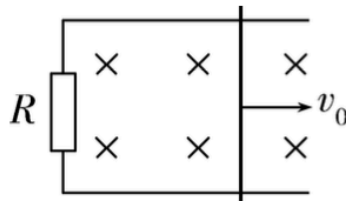


Figure 1 情景

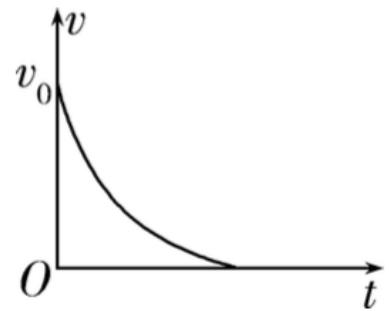


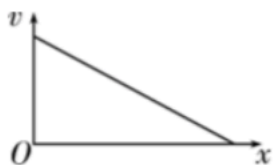
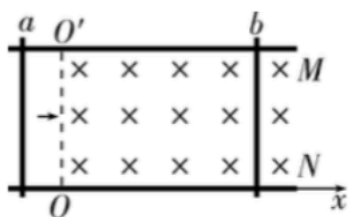
Figure 2 运动过程

- 能量角度:

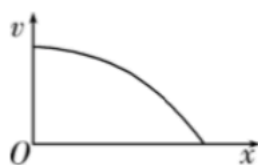
- 动量角度:

• 习题

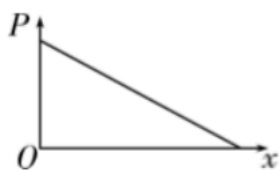
★★★ (2023 福建,4,4 分) 如图, M 、 N 是两根固定在水平面内的光滑平行金属导轨, 导轨足够长且电阻可忽略不计; 导轨间有一垂直于水平面向下的匀强磁场, 其左边界 OO' 垂直于导轨; 阻值恒定的两均匀金属棒 a 、 b 均垂直于导轨放置, b 始终固定。 a 以一定初速度进入磁场, 此后运动过程中始终与导轨垂直且接触良好, 并与 b 不相碰。 以 O 为坐标原点, 水平向右为正方向建立 x 轴坐标; 在运动过程中, a 的速度记为 v , a 克服安培力做功的功率记为 P 。 下列 v 或 P 随 x 变化的图像中, 可能正确的是 ()



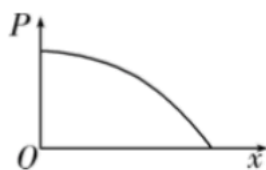
A



B



C



D

(2) 仅受恒力

水平放置的平行光滑导轨
(电阻不计且足够长),间距
为 L ,左侧接有电阻 R ,导体
杆质量为 m ,处于导轨间的
部分的电阻为 r ,匀强磁场的磁感应强度为 B ,
杆在恒定外力 F 的作用下由静止开始运动

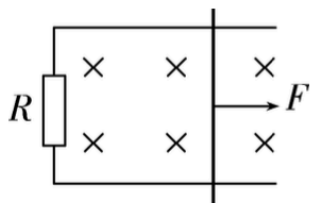


Figure 1 情景

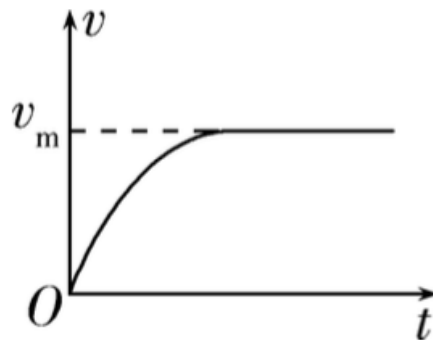


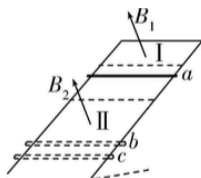
Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

- 习题

3.★★★(2021 山东,12,4 分)(多选)如图所示,电阻不计的光滑 U 形金属导轨固定在绝缘斜面上。区域 I、II 中磁场方向均垂直斜面向上, I 区中磁感应强度随时间均匀增加, II 区中为匀强磁场。阻值恒定的金属棒从无磁场区域中 a 处由静止释放,进入 II 区后,经 b 下行至 c 处反向上行。运动过程中金属棒始终垂直导轨且接触良好。在第一次下行和上行的过程中,以下叙述正确的是 ()



- A. 金属棒下行过 b 时的速度大于上行过 b 时的速度
- B. 金属棒下行过 b 时的加速度大于上行过 b 时的加速度
- C. 金属棒不能回到无磁场区
- D. 金属棒能回到无磁场区,但不能回到 a 处

2.2 单杆电源类

水平放置的平行光滑导轨(导轨足够长且电阻不计),间距为 L ,左侧接电动势为 E 、内阻为 r 的电源,金属杆 ab 质量为 m ,电阻为 R ,匀强磁场的磁感应强度大小为 B

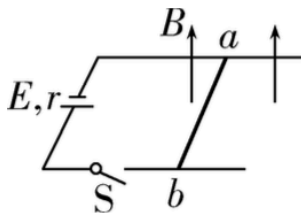


Figure 1 情景

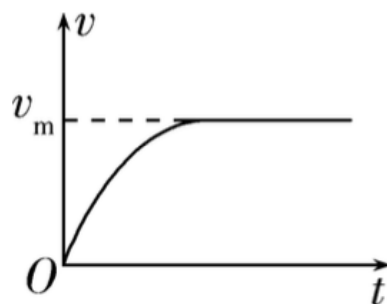


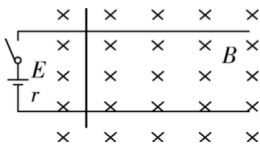
Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

- 习题

例 2 (多选) 水平固定放置的足够长的光滑平行导轨,电阻不计,间距为 L ,左侧连接的电源电动势为 E 、内阻为 r ,质量为 m 的金属杆垂直静放在导轨上,金属杆处于导轨间的部分的电阻为 R 。整个装置处在磁感应强度大小为 B 、方向竖直向下的匀强磁场中,如图所示。闭合开关,金属杆由静止开始沿导轨做变加速运动直至达到最大速度,则下列说法正确的是 ()



A. 金属杆的最大速度等于 $\frac{E}{BL}$

B. 此过程中通过金属杆的电荷量为 $\frac{mE}{B^2 L^2}$

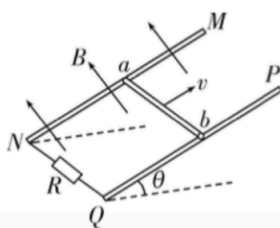
C. 此过程中电源提供的电能为 $\frac{mE^2}{2B^2 L^2}$

D. 此过程中金属杆产生的热量为 $\frac{mE^2 R}{2B^2 L^2 (R+r)}$

★★★(2021 天津,11,16 分)如图所示,两根足够长的平行光滑金属导轨 MN 、 PQ 间距 $L=1\text{ m}$,其电阻不计,两导轨及其构成的平面均与水平面成 $\theta=30^\circ$ 角, N 、 Q 两端接有 $R=1\ \Omega$ 的电阻。一金属棒 ab 垂直导轨放置, ab 两端与导轨始终有良好接触,已知 ab 的质量 $m=0.2\text{ kg}$,电阻 $r=1\ \Omega$,整个装置处在垂直于导轨平面向上的匀强磁场中,磁感应强度大小 $B=1\text{ T}$ 。 ab 在平行于导轨向上的拉力作用下,以初速度 $v_1=0.5\text{ m/s}$ 沿导轨向上开始运动,可达到最大速度 $v=2\text{ m/s}$ 。运动过程中拉力的功率恒定不变,重力加速度 $g=10\text{ m/s}^2$ 。

(1)求拉力的功率 P ;

(2) ab 开始运动后,经 $t=0.09\text{ s}$ 速度达到 $v_2=1.5\text{ m/s}$,此过程中 ab 克服安培力做功 $W=0.06\text{ J}$,求该过程中 ab 沿导轨的位移大小 x 。



2.3 单杆电容类

2.3.1 电容充电式

(1) 仅初速度

质量为 m 、电阻为 R 的金属杆 ab 在水平光滑导轨上以速度 v_0 开始运动,忽略导轨电阻

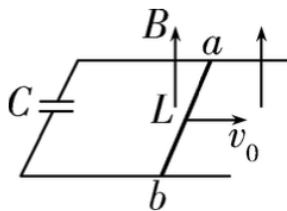


Figure 1 情景

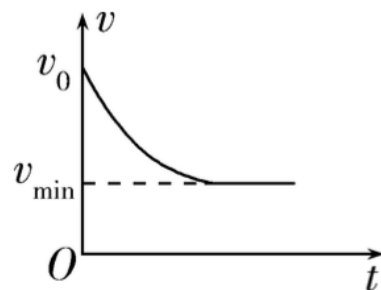


Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

(2) 仅受恒力

质量为 m 、电阻为 R 的金属杆 ab 在水平光滑导轨上由静止开始运动, 所受外力 F 恒定, 忽略导轨电阻

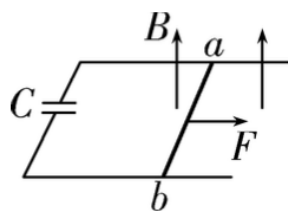


Figure 1 情景

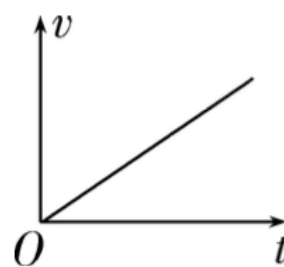


Figure 2 运动过程

- 能量角度:

- 动量角度:

2.3.2 电容放电式

电源电动势为 E , 内阻可忽略, 电容器电容为 C , 质量为 m 、阻值为 R 的光滑金属杆静止在导轨上, 先将开关拨到左侧, 电容器充满电后再拨到右侧

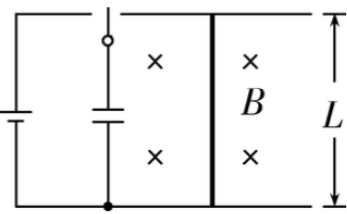


Figure 1 情景

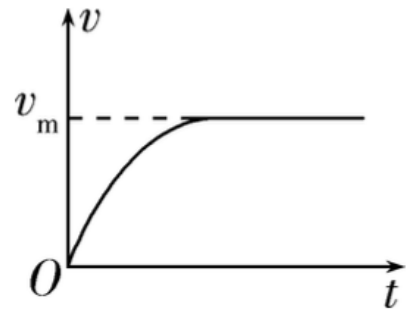
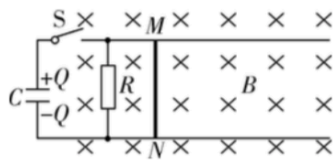


Figure 2 运动过程

- 能量角度:
- 动量角度:
- 习题

★★★(2022 全国甲, 20, 6 分)(多选)如图, 两根相互平行的光滑长直金属导轨固定在水平绝缘桌面上, 在导轨的左端接入电容为 C 的电容器和阻值为 R 的电阻。质量为 m 、阻值也为 R 的导体棒 MN 静止于导轨上, 与导轨垂直, 且接触良好, 导轨电阻忽略不计, 整个系统处于方向竖直向下的匀强磁场中。开始时, 电容器所带的电荷量为 Q , 合上开关 S 后, ()



- A. 通过导体棒 MN 电流的最大值为 $\frac{Q}{RC}$
- B. 导体棒 MN 向右先加速、后匀速运动
- C. 导体棒 MN 速度最大时所受的安培力也最大
- D. 电阻 R 上产生的焦耳热大于导体棒 MN 上产生的焦耳热