

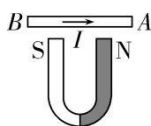
专题课 安培力作用下导体的运动与平衡问题

题型一 安培力作用下导体运动的判断

不管是电流还是磁体，对通电导线的作用都是通过磁场来实现的，因此必须要清楚导线所在位置的磁场分布情况，然后结合左手定则准确判断导线的受力情况，从而确定将要发生的运动。在实际操作过程中，往往采用以下五种方法：

电流元法	把整段导体分成许多小段直线电流元，用左手定则判断每一小段电流元所受安培力的方向，再判断整段导体所受安培力的合力方向，最后确定其运动方向
等效法	环形电流可以等效成小磁针，通电螺线管可以等效成条形磁体，根据同名磁极互相排斥、异名磁极互相吸引确定运动方向
特殊位置法	把电流或磁体转到一个便于分析的特殊位置后再判断所受安培力的方向，从而确定运动方向
结论法	两直导线电流平行时，无转动趋势，同向电流互相吸引，反向电流互相排斥；两直导线电流不平行时有转动到相互平行且电流方向相同的趋势
转换研究对象法	定性分析磁体在电流磁场作用下如何运动的问题，可先分析电流在磁体磁场中所受的安培力，然后由牛顿第三定律确定磁体所受电流磁场的作用，从而确定磁体所受合力及运动方向

例 1 如图所示，把一重力不计的通电直导线水平放在蹄形磁铁两极的正上方，导线可以自由转动，当导线通入图示方向电流 I 时，导线的运动情况是（从上往下看）（ ）



- A. 沿顺时针方向转动，同时下降 B. 沿顺时针方向转动，同时上升
C. 沿逆时针方向转动，同时下降 D. 沿逆时针方向转动，同时上升

【答案】A

【解析】如图甲所示，把直导线电流等效为无数小段，中间的点为 O 点，选择在 O 点左侧 S 极右上方的一小段为研究对象，该处的磁场方向指向左下方，由左手

定则可知，该小段导线受到的安培力的方向垂直纸面向里，在 O 点左侧的各段电流元都受到垂直纸面向里的安培力，把各段电流元受到的力合成，则 O 点左侧导线受到垂直纸面向里的安培力；同理判断出 O 点右侧的导线受到垂直纸面向外的安培力作用。因此，由上向下看，导线沿顺时针方向转动。



甲

分析导线转过 90° 时的情形：如图乙所示，导线中的电流方向垂直纸面向外，由左手定则可知，导线受到向下的安培力。



乙

由以上分析可知，导线在沿顺时针方向转动的同时向下运动，选项 A 正确。

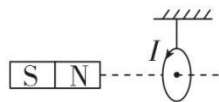
总结归纳

判断安培力作用下通电导体（或通电线圈）的运动方向的思路

- (1) 首先应画出通电导体（或通电线圈）所在位置的磁感线方向。
- (2) 根据左手定则确定通电导体（或通电线圈）所受安培力的方向。
- (3) 由通电导体（或通电线圈）的受力情况判断通电导体（或通电线圈）的运动方向。

迁移应用

1. 如图所示，把轻质导线圈用绝缘细线悬挂在磁体 N 极附近，磁体的轴线穿过线圈的圆心且垂直于线圈平面。当线圈内通以图示方向的电流（从右向左看沿逆时针方向）后，线圈的运动情况是（ ）



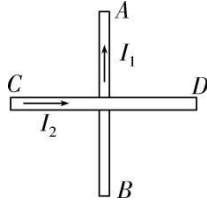
- | | |
|---------------|---------------|
| A. 线圈向左运动 | B. 线圈向右运动 |
| C. 从上往下看顺时针转动 | D. 从上往下看逆时针转动 |

【答案】A

【解析】将环形电流等效成小磁针，如图所示，根据异名磁极相互吸引知，线圈将向左运动；也可将左侧条形磁体等效成环形电流，根据“同向电流相吸引，反向电流相排斥”可知线圈向左运动，选 A。



2. 如图所示，两条直导线相互垂直，但相隔一小段距离，其中一条AB是固定的，另一条CD能自由转动，当电流按如图所示的方向通入两条导线时，导线CD将()

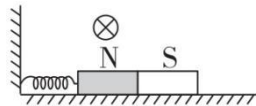


- A. 顺时针方向转动，同时靠近导线AB B. 逆时针方向转动，同时远离导线AB
C. 静止不动 D. 逆时针方向转动，同时靠近导线AB

【答案】D

【解析】由结论法可知，两直导线电流不平行时有转动到相互平行且电流方向相同的趋势，导线CD在转动的同时靠近导线AB，D 正确。

3. 如图所示，在光滑水平面上，一轻质弹簧将墙壁和一条形磁体连接起来，此时弹簧处于原长状态，磁体保持静止。若在磁体左上方位置固定一导体棒，当导体棒中通以垂直纸面向里的电流时()



- A. 弹簧长度不变 B. 磁体对地面的压力将减小
C. 磁体对地面的压力将增大 D. 弹簧将被拉伸

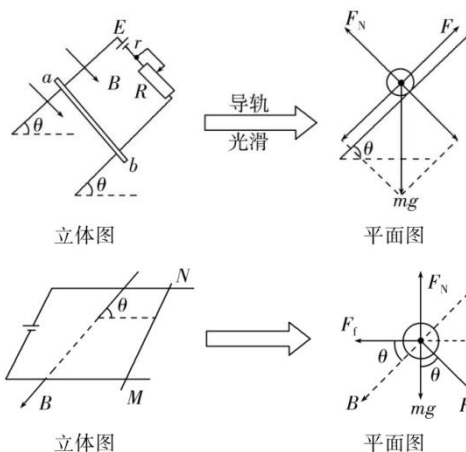
【答案】B

【解析】导体棒所在处的磁场斜向右上方，当导体棒中通以垂直纸面向里的电流时，根据左手定则可知，导体棒受到的安培力F斜向右下方，由牛顿第三定律可知，磁体受到斜向左上方的反作用力，水平分力会使磁体向左运动挤压弹簧，弹簧将被压缩，竖直分力会使磁体对地面的压力减小，故选 B。

题型二 安培力作用下导体的平衡问题

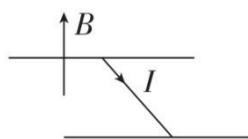
利用“图图转换法”巧解与安培力相关的问题

(1) 安培力作用下导体的平衡问题模型，一般由倾斜导轨、导体棒、电源和电阻等组成。这类题目的难点是题图具有立体性，各力的方向不易确定。因此解题时要先把立体图转化成平面图，通过受力分析建立各力的平衡关系，如图所示。



(2) 画平面图时应准确标明辅助方向，如磁感应强度 B 的方向、电流的方向，导体棒端点的名称，磁感应强度 B 的方向与平面的夹角，磁感应强度 B 的方向与电流的夹角，线框与水平面或竖直面之间的夹角等，最后根据安培力方向一定垂直于电流和磁场所决定的平面准确画出安培力的方向。

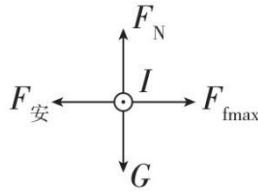
例 2 质量为 0.5kg 的金属杆在相距 1m 的水平轨道上与轨道垂直放置，金属杆上通以 $I = 4\text{A}$ 的恒定电流，方向如图所示，匀强磁场 B 垂直轨道平面竖直向上，金属杆与轨道间的动摩擦因数为 0.2 。设最大静摩擦力等于滑动摩擦力，重力加速度 g 取 10m/s^2 。金属杆恰好不发生移动，则匀强磁场的磁感应强度 B 的大小为 ()



- A. 2.0T B. 1.0T C. 0.50T D. 0.25T

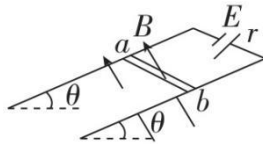
【答案】D

【解析】由左手定则知安培力方向水平向左，对金属杆受力分析如图，根据平衡条件可得 $BIL = \mu mg$ ，解得 $B = 0.25\text{T}$ ，故 D 项正确。



迁移应用

4. 如图所示，两平行金属导轨所在的平面与水平面夹角 $\theta = 37^\circ$ ，导轨的一端接有电动势 $E = 3V$ 、内阻 $r = 0.5\Omega$ 的直流电源，导轨间的距离 $L = 0.4m$ 。在导轨所在空间内分布着磁感应强度 $B = 0.5T$ 、方向垂直于导轨所在平面向上的匀强磁场。现把一个质量 $m = 0.04kg$ 的导体棒 ab 放在金属导轨上，导体棒与金属导轨垂直且接触良好，导体棒的电阻 $R = 1.0\Omega$ ，导体棒恰好能静止。金属导轨电阻不计。 $(g$ 取 $10m/s^2$ ， $\sin 37^\circ = 0.6$ ， $\cos 37^\circ = 0.8)$ 求：



- (1) ab 受到的安培力大小；
- (2) ab 受到的摩擦力大小。

【答案】 (1) $0.40N$

(2) $0.16N$

【解析】

(1) 导体棒、金属导轨和直流电源构成闭合电路，根据闭合电路欧姆定律有 $I = \frac{E}{R+r} = 2A$ 导体棒受到的安培力大小 $F_{安} = BIL = 0.40N$

(2) 导体棒所受重力沿导轨平面向下的分力 $G_x = mg\sin 37^\circ = 0.24N$ 根据左手定则可知安培力方向平行导轨平面向上由于 G_x 小于安培力，故导体棒受到沿导轨平面向下的静摩擦力 f ，因为导体棒恰好静止，根据平衡条件得 $mg\sin 37^\circ + f = F_{安}$ 解得 $f = 0.16N$

题型三 安培力作用下导体的加速问题

1. 解决在安培力作用下物体的加速运动问题，首先对研究对象进行受力分析，其中重要的是不要漏掉安培力，然后根据牛顿第二定律列方程求解。

2. 安培力做功

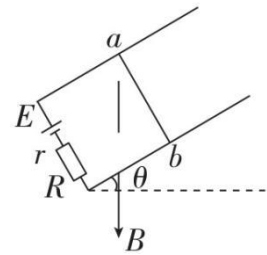
- (1) 安培力做功与路径有关，不像重力、电场力做功与路径无关。

(2) 安培力做功的实质是能量转化。

①安培力做正功时将电能转化为其他形式的能。

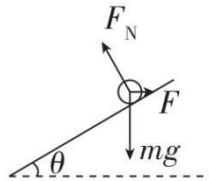
②安培力做负功时将其他形式的能转化为电能。

例3 如图所示，光滑的平行导轨倾角为 θ ，处在磁感应强度大小为 B 、竖直向下的匀强磁场中，导轨中接入电动势为 E 、内阻为 r 的直流电源。电路中有一阻值为 R 的电阻，其余电阻不计，将质量为 m 、长度为 l 的导体棒由静止释放，导体棒与导轨垂直且接触良好，求导体棒在释放瞬间的加速度的大小。（重力加速度为 g ）



【答案】 $g\sin\theta - \frac{BEl\cos\theta}{m(R+r)}$

【解析】画出题中装置的侧视图，导体棒受力分析如图所示，导体棒受重力 mg 、支持力 F_N 和安培力 F ，由牛顿第二定律得

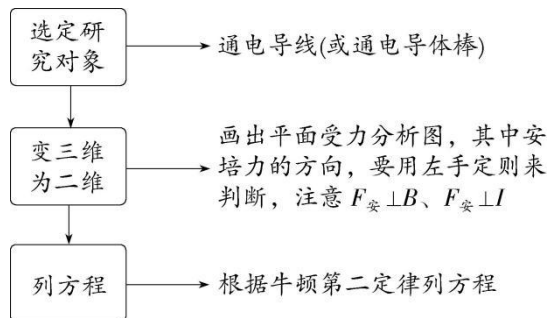


$$mgsin\theta - F\cos\theta = ma, \text{ 又 } F = BIl, I = \frac{E}{R+r}$$

联立可得 $a = g\sin\theta - \frac{BEl\cos\theta}{m(R+r)}$

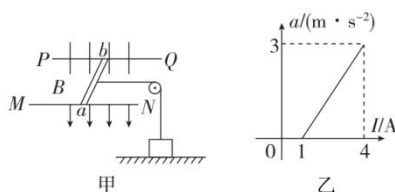
总结归纳

求解安培力作用下导体加速问题的基本思路



迁移应用

5. 如图甲所示, PQ 和 MN 为水平平行放置的两光滑金属导轨, 两导轨相距 $L = 1\text{m}$, 导体棒 ab 垂直于导轨放置, 导体棒的中点用细绳经滑轮与物体相连, 细绳一部分与导轨共面且平行, 另一部分与导轨所在平面垂直, 物体放在水平面上, 匀强磁场的磁感应强度为 $B = 1\text{T}$, 方向竖直向下, 开始时绳子刚好要绷紧, 现给导体棒中通入电流, 使导体棒向左做加速运动, 物体运动的加速度大小与导体棒中通入的电流大小关系如图乙所示, 重力加速度大小 g 取 10m/s^2 。则物体和导体棒的质量分别为 ()

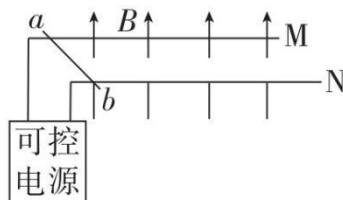


- A. $0.1\text{kg}0.9\text{kg}$ B. $0.9\text{kg}0.1\text{kg}$ C. $0.1\text{kg}1.0\text{kg}$ D. $1.0\text{kg}0.1\text{kg}$

【答案】A

【解析】从图乙可以看出, 当电流为 1A 时, 物体将要开始有加速度, 则有 $BIL = mg$, 代入数据解得 $m = 0.1\text{kg}$; 当电流为 4A 时, 加速度为 3m/s^2 , 设导体棒的质量为 m' , 绳的拉力为 T , 有 $BI'L - T = m'a$, $T - mg = ma$, 联立解得 $m' = 0.9\text{kg}$ 。故 A 正确。

6. 多选题 如图是“电磁炮”模型的原理结构示意图。光滑水平金属导轨 M 、 N 的间距 L 为 0.2m , 电阻不计, 在导轨间有竖直向上的匀强磁场, 磁感应强度大小 $B = 1 \times 10^2\text{T}$ 。装有弹体的导体棒 ab 垂直放在导轨 M 、 N 上的最左端, 且始终与导轨接触良好, 导体棒 ab (含弹体) 的质量 $m = 0.2\text{kg}$, 在导轨 M 、 N 间部分的电阻 $R = 0.8\Omega$, 可控电源的内阻 $r = 0.2\Omega$ 。在某次模拟发射时, 可控电源为导体棒 ab 提供的电流 I 恒为 $4 \times 10^3\text{A}$, 不计空气阻力, 导体棒 ab 由静止加速到 4km/s 后发射弹体, 则 ()



- A. 导体棒 ab 所受安培力大小为 $1.6 \times 10^5\text{N}$
 B. 光滑水平导轨长度至少为 20m

C. 该过程系统产生的焦耳热为 $3.2 \times 10^6 \text{J}$

D. 该过程系统消耗的总能量为 $1.76 \times 10^6 \text{J}$

【答案】 BD

【解析】 由安培力公式得, $F = BIL = 8 \times 10^4 \text{N}$, 选项 A 错误; 导体棒由静止加速到 4km/s , 由动能定理知 $Fx = \frac{1}{2}mv^2$, 则导轨长度至少为 $x = \frac{mv^2}{2F} = 20 \text{m}$, 选项 B 正确; 导体棒 ab 做匀加速运动, 由 $F = ma$, $v = at$, 解得该过程需要时间 $t = 1 \times 10^{-2} \text{s}$, 该过程中产生焦耳热 $Q = I^2(R + r)t = 1.6 \times 10^5 \text{J}$, 导体棒 ab (含弹体) 增加的总动能 $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = 1.6 \times 10^6 \text{J}$, 故系统消耗总能量 $E = E_k + Q = 1.76 \times 10^6 \text{J}$, 选项 C 错误, D 正确。