

教材上的这个题值得商榷*

谭子虎

(中山市华侨中学 广东 中山 528400)

(收稿日期:2016-04-04)

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组编写的《物理·选修3-2》(教材2005年7月第1版,2015年7月第21次印刷,广东教育出版社)第35页第10题,原题如下:

如图1所示,足够长的光滑U形导体框架的宽度 $L=0.4\text{ m}$,电阻忽略不计,其所在平面与水平面所成的角 $\alpha=37^\circ$,磁感应强度 $B=1.0\text{ T}$ 的匀强磁场方向垂直于框平面.一根质量 $m=0.2\text{ kg}$,有效电阻 $R=1.0\ \Omega$ 的导体棒 MN 垂直跨放在U形框架上,导体棒从静止开始沿框架下滑到刚开始匀速运动时,通过导体横截面的电荷量 $Q=2.0\text{ C}$.求:($g=10\text{ m/s}^2$)

(1) 导体棒在 0.2 s 内在框架所夹部分可能扫过的最大面积;

(2) 导体棒从开始下滑到刚开始匀速运动这一过程中,导体棒的有效电阻消耗的电功.

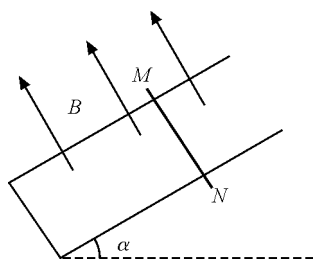


图1

广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组编写的《物理·选修3-2》教师教学用书(2012年7月第1版,2015年7月第7次印刷)第41页给出的解答如下.

解:设导体棒能达到的最大速度为 v_m ,达到最

大速度过程中所通过的位移为 s ,对导体棒进行受力分析,由牛顿第二定律,导体棒加速度

$$a = \frac{mg \sin \alpha - \frac{B^2 L^2 v_m}{R}}{m}$$

当加速度减为零时,最大速度为

$$v_m = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 L^2} = 7.5\text{ m/s}$$

(1) 导体棒在 0.2 s 扫过的最大面积

$$S_m = Lv_m t = 0.6\text{ m}^2$$

(2) 通过导体横截面的电荷量为

$$Q = I \Delta t = \frac{E}{R} \Delta t = \frac{\Delta \Phi}{R} = \frac{BLs}{R}$$

其中 s 为导体棒达到最大速度过程中所通过的位移

$$s = \frac{QR}{BL} = 5.0\text{ m}$$

该过程由动能定理

$$mgs \sin \alpha - W = \frac{1}{2} m v_m^2$$

导体棒的有效电阻消耗的电功即为安培力做功

$$W = mgs \sin \alpha - \frac{1}{2} m v_m^2 = 0.375\text{ J}$$

编制这个题目的本意是考查电磁感应问题中力、热、电磁学知识的综合应用.但笔者认为这个题有一个错误,因为从题设条件完全可以确定物体的运动情况,从开始到最后无限逼近匀速时通过的位移是可以确定的,从而电荷量 Q 也可以确定,其结果与题给的 2 C 相差太远,即达到匀速时通过的电荷量 2 C 不符合实际情况.也就是题设的条件和数据是相互矛盾的,下面给出详细论证.

* 广东省教育科学“十二五”规划立项课题“打造高中物理教学‘中山流派’的实践研究”,课题编号:2015YQJK140

(1) 首先求出导体棒的速度 v , 位移 s 和时间 t 的关系.

由于导体棒是变加速运动, 列牛顿第二定律微分方程有

$$mg \sin \alpha - \frac{B^2 L^2 v}{R} = m \frac{dv}{dt}$$

整理得

$$dt = \frac{dv}{g \sin \alpha - \frac{B^2 L^2 v}{mR}}$$

积分有

$$\int_0^t dt = \int_0^v \frac{dv}{g \sin \alpha - \frac{B^2 L^2 v}{mR}}$$

故速度随时间的函数关系式为

$$v = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 L^2} (1 - e^{-\frac{B^2 L^2}{mR} t})$$

代入数据有

$$v = 7.5(1 - e^{-0.8t}) \text{ m/s} \quad (1)$$

从而位移

$$s = \int_0^t v dt = \int_0^t \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 L^2} (1 - e^{-\frac{B^2 L^2}{mR} t}) dt$$

积分得位移随时间的函数关系式为

$$s = \frac{mgR \sin \alpha}{B^2 L^2} \left(t + \frac{mR}{B^2 L^2} e^{-\frac{B^2 L^2}{mR} t} - \frac{mR}{B^2 L^2} \right)$$

代入数据有

$$s = 7.5(t + 1.25e^{-0.8t} - 1.25) \text{ m} \quad (2)$$

(2) 分析速度和位移的变化

由式(1)可知, 速度按 e 函数无限逼近最大速度, 利用 Graph 作出 $v-t$ 图和 $s-t$ 图, 如图 2 所示.

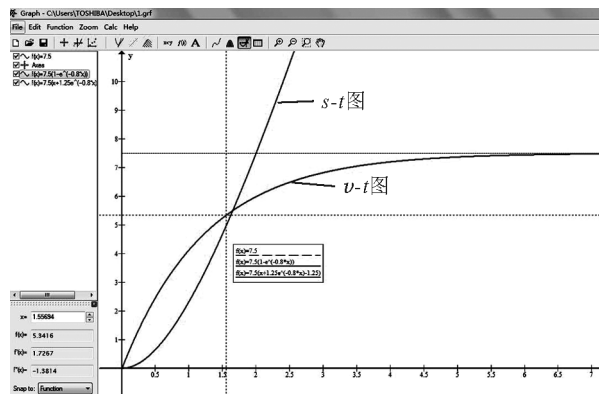


图 2

我们发现理论上导体棒需要无穷长时间才能达到匀速.

实际问题的处理就看我们需要的精确程度. 时间越长, 达到最后匀速的误差越小, 用 Graph 计算出几个结果如表 1 所示.

表 1 用 Graph 计算得的结果

时间 t/s	速度 $v/(m \cdot s^{-1})$	位移 s/m	电荷量 Q/C	误差 / %
1.556 9	5.341 6	5	2	28.78
5	7.362 6	28.296 7	11.318 7	1.83
7.914 4	7.486 7	50	20	0.18
10	7.497 5	65.628 1	26.251 2	0.03
12	7.499 5	80.625 6	32.250 2	0.01

由表可知, 如果通过 2 C 电荷量, 则求得此时的速度 $v=5.341 6 \text{ m/s}=0.712 2v_m$, 远远没有达到最后匀速运动的速度, 与原题所给条件矛盾. 当 $t=5 \text{ s}$ 时, 速度为 $v=7.362 6 \text{ m/s}=0.981 68v_m$, 误差在 2% 以内, 此时通过导体的电荷量 $Q=11.318 68 \text{ C}$, 比题给的 2 C 电荷量大很多. 当 $t=12 \text{ s}$ 时, 误差已经小于 0.01%.

根据速度的变化趋势, 建议此题将 2 C 电荷量变大, 例如改为 20 C, 这样求出的结果误差只有 0.18%, 比较符合实际情况.

此类涉及力电的综合问题, 中学阶段为了绕开变加速运动的定量处理, 编制此类题目时一般是设定位移或电荷量中的一个为已知量, 从能量守恒角度求解问题. 但编制题目时往往设定的数据与实际情况并不相符, 导致条件与结论发生冲突, 这种情况目前在各类复习资料 and 模拟考试中也经常遇到.

参考文献

- 1 广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组. 物理·选修 3-2. 广州: 广东教育出版社, 2015. 35
- 2 广东基础教育课程资源研究开发中心物理教材编写组. 物理·选修 3-2. 教师教学用书. 广州: 广东教育出版社, 2015. 41