

关于两道电磁学习题的讨论

田国瑞

(扬州职业大学电子工程学院 江苏 扬州 225009)

(收稿日期:2015-11-18)

摘要:用两种不同的方法给出了两道电磁学题目的解,通过一般形式的表达式,分析了它们之间的关系,指出它们之间的一致性,对物理教学具有一定的参考价值.

关键词:动生电动势 法拉第电磁感应定律 感应电动势

1 引言

在物理教学中,有的题目是可以一题多解的,有的时候人们得到同样的答案就不进一步的思考了,其实探讨不同解法所反映的同样规律的一致性和正确性是很有必要的.

2 动生电动势和感应电动势

2.1 动生电动势

通常将导体在磁场中运动产生的电动势称为动生电动势.

如图1所示,设有一段导线 ab 在稳恒磁场 \mathbf{B} 中运动,导线上的微元 $d\mathbf{l}$ 的速度为 \mathbf{v} , ab 上的动生电动势为

$$E = \int_a^b (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} \quad (1)$$

若 $\mathbf{v} \perp \mathbf{B}$, 则 $E = BLv$, L 为 ab 的长度.

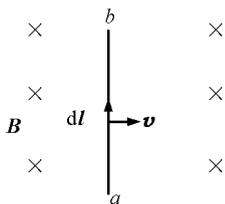


图1 动生电动势示意图

2.2 感应电动势

当穿过闭合回路所围面积的磁通量发生变化

时,不论这种变化是什么原因引起的,回路中就有感应电动势产生,并且感应电动势正比于磁通量对时间变化率的负值

$$E = - \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

这就是法拉第电磁感应定律. 其中

$$\Phi = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

如果回路是由 N 匝密绕线圈组成,则

$$E = - \frac{d\Psi}{dt} \quad \Psi = N\Phi$$

当然,感应电流的方向也可由楞次定律判断.

3 两道电磁学习题的解

【例1】如图2所示,一匀强磁场 \mathbf{B} 垂直纸面向里,长为 L 的导线 ab 可无摩擦地在导轨上滑动,除电阻 R 外,其他部分电阻不计,略去自感,当 ab 以匀速 v 向右运动时,外力的大小是多少?

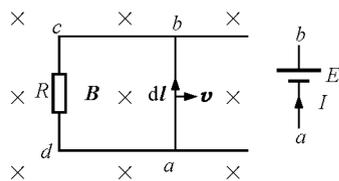


图2 导线 ab 的运动示意图

解法1:

由式(1)得 ab 上的动生电动势

$$E = \int_a^b (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b vB dl = vBL = V_b - V_a$$

其中 V_a, V_b 为 a 点, b 点的电势.

回路中的电流

$$I = \frac{E}{R} = \frac{vBL}{R}$$

由安培定律

$$d\mathbf{F} = I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \quad (3)$$

得导体棒所受安培力的大小为

$$F = \left| \int_a^b I d\mathbf{l} \times \mathbf{B} \right| = IBL = \frac{vB^2 L^2}{R}$$

方向向左.

故当 ab 匀速向右运动时

$$F_{\text{外}} = F = \frac{vB^2 L^2}{R}$$

方向向右.

解法 2:

设回路 $abcd$ 的面 S 的方向 \mathbf{n} 垂直纸面向外, 则通过回路 $abcd$ 的磁通量

$$\begin{aligned} \Phi &= \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \iint_S \mathbf{B} \cdot \mathbf{n} dS = \\ &= BS = \frac{1}{2} B\omega L^2 \theta \end{aligned}$$

由法拉第电磁感应定律得

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = BL \frac{d\theta}{dt} = BLv$$

由右手螺旋法则可知: E 的正负极与解法 1 中的一致.

由此可得

$$F_{\text{外}} = F = \frac{vB^2 L^2}{R}$$

方向向右.

【例 2】 一根长度为 L 的铜棒在磁感应强度为 \mathbf{B} 的均匀磁场中以匀角速度 ω 旋转, \mathbf{B} 的方向垂直铜棒旋转的平面, 如图 3 所示. 设 $t=0$ 时, 铜棒与 Oa 成 θ 角, 则在任一时刻 t 这根铜棒两端之间的感应电动势为多少?

解法 1:

由式(1)可得 Oa 上的动生电动势

$$E = \int_0^L (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = -\int_0^L \omega l B dl =$$

$$-\omega B \frac{L^2}{2} = V_b - V_o$$

即

$$V_o - V_b = \omega B \frac{L^2}{2}$$

说明电动势是从 b 指向 O , 即 O 点的电势高于 b 点的电势.

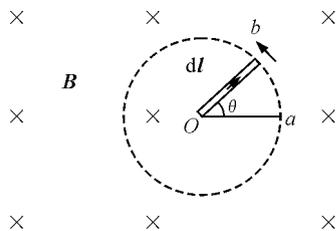


图 3 铜棒旋转示意图

解法 2:

取回路 $OabO$, 它的面 S 的方向 \mathbf{n} 垂直纸面向外. 则穿过 S 的磁通量

$$\Phi = \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = -BS = -\frac{1}{2} B\omega L^2 \theta$$

由法拉第电磁感应定律得

$$\begin{aligned} E &= -\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{2} B\omega L^2 \frac{d\theta}{dt} = \\ &= \frac{1}{2} B\omega L^2 = V_o - V_b \end{aligned}$$

由此看出, 这与前一种方法得到的结果完全一致.

4 讨论

以上两道电磁学习题分别用两种不同的方法得到的结果是一样的, 但它们的结果一致是否表明它们的实质是一样的呢? 比如说第二种解法得到的感应电动势是分布在整个回路, 还是局限于运动的导体? 一般普通物理教科书中只给出解法, 并没有加以分析, 给出必要的解释.

文献[1]给出: 如果导线的运动和磁场的变化同时存在, 则法拉第电磁感应定律中 Φ 的变化应该理解为是磁场的变化和导线移动所引起的效应的叠加, 这时对于闭合回路, 有

$$\begin{aligned} E &= -\frac{d\Phi}{dt} = -\frac{d}{dt} \iint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = \\ &= -\iint_S \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} + \oint_l (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} \quad (4) \end{aligned}$$

(下转第 78 页)

轨迹是对数螺线,最后终结于平衡位置.

4 实验创新

(1) 在实验室数据获取上进行改进,利用高性能的数据处理软件 Datestudio 实现了对实验图像的实时记录与处理,节约了手工作图的时间.

(2) 在教学实验过程中使用传感器和计算机以及配套软件,实现数据的实时采集.不仅可以通过实验器材的连接和软件调试,培养学生实验动手能力,

还可以通过借助计算机实时数据采集图像,使学生更能直观和深入地了解实验原理和实验的物理意义,激发学生进行物理实验的兴趣.

参考文献

- 1 赵凯华,等.电磁学(下册).北京:人民教育出版社,1978.305~306
- 2 梅孝安,苏卡林,张国云,等.大学物理实验教程.长沙:中南大学出版社,2011.133~134
- 3 周凌云,王瑞丽,等.非线性物理理论及应用.北京:科学出版社,2000.99~100

Research on Simple Pendulum's Phase Diagram Basing on PASCO System

Liu Jiahui Liu Xiaomin Han Meiyin Zhao Wenyu Li Bei

(Hunan Institute of Science and Technology, Innovation center of photoelectric technology and application, Yueyang, hunan 414000)

Abstract: The article measures simple pendulum's phase diagram which contains Angular position angular velocity basing on PASCO system, analysing the system's mechanics linear and nonlinear movemengt statuses.

Key word: PASCO system; simple pendulum; phase diagram

(上接第75页)

上式积分回路 l 的正方向与曲面面元 dS 的方向成右手螺旋关系.

由于上述两题中磁感应强度都不随时间变化,所以

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = 0$$

$$E = -\frac{d\Phi}{dt} = \oint_l (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l} = \int_a^b (\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \cdot d\mathbf{l}$$

从而,两种解法得到的结果是一致的,其物理本

质也是一样的.

5 结束语

从上面的分析、讨论可见,我们在解题时,既要知其然,又要知其所以然.因此,建议教师在讲解这类习题时,能介绍一下式(4),不然,学生虽会做题了,但还是不懂其中的道理.

参考文献

- 1 徐游.电磁学.南京:江苏科学技术出版社,1987.326~327

Discussion on Two Electromagnetics Exercises

Tian Guorui

(School of Electronic Engineering, Yangzhou Polytechnic College, Yangzhou, Jiangsu 225009)

Abstract: Using two different solution methods are given two electromagnetism subject, through the general form of expression, the relationship between them is analyzed, point out the consistency between them, to the physical teaching has certain reference value.

Key words: motional electromotive force; Faraday's law of electromagnetic induction; induction electromotive force