

深度解析磁通量的变化

胡爱和

(张家港崇真中学 江苏 苏州 215631)

(收稿日期:2016-05-23)

摘要:高中阶段由于引入磁通量的教学时机有待商榷,主观造成了学生对磁通量及其变化的理解困难;基于高中物理教学的实际需要,提出了两种磁通量变化的简易算法,并对涉及磁通量变化的应用提出了几点建议.

关键词:磁通量变化 平面法向量 电荷量 电磁感应定律

磁通量及其变化贯穿《物理·选修3-2》,尽管它们的作用、意义巨大,但磁通量好似罩着一层朦胧面纱,学生对其的认知感悟总是充满了困惑.之所以认识上模糊,笔者认为主要原因:首先磁通量引入时机尴尬;高中阶段物理量引入目的性很强,或为解决某类问题,或为描述某些现象,而磁通量是《物理·选修3-1》学习磁场时突然出现的(起码学生这样认为),缺少了服务于教学的迫切动机,正因为目的不明确,教师在新课教学中忽视了对磁通量内涵的理解和外延的把握,造成了磁通量教学地位尴尬.其次不少教师对磁通量变化的认知不统一;物理学习中一直没有较好的方法计算磁通量的变化,前几年教师间关于“交流发电机线圈转动一周,磁通量的变化是 $4BS$ 还是零?”的争论还历历在目,甚至出现了同校不同教师的班级得出两种不同的“正确”分析;教师内部的认识都不统一,学生出现困惑也理所当然.

本文基于高中物理教学需要,拟提出两种磁通量变化的计算方法,并对涉及磁通量变化的应用提出几点建议,供同行探讨.

1 磁通量变化的两种算法

磁通量是标量,有正有负,磁通量的正负不表示大小,可以理解为是一种标示,类似功的正负.高中物理学习中,若不涉及磁通量变化,规定磁通量的正负意义不大;而在磁通量变化过程中,教师对磁通量正负的规定又具有随意性,正是这种随意让学生费解,因此厘清磁通量为什么会有正负变化是解决学生困惑的关键,也是正确计算磁通量变化的关键.

1.1 引入平面法向量计算磁通量的变化

高中《数学·选修2-1》空间向量(第99页)对平面法向量做出了明确的定义,该内容的教学和《物理·选修3-1》磁场的学习几乎同步,因此学生在学习《物理·选修3-2》时具备了应用平面法向量的数学基础,也为计算磁通量变化做好了铺垫.下面用一个案例探讨引入平面法向量计算磁通量变化的过程.

如图1所示,矩形线圈从与磁场垂直的位置(图中实线)绕轴转动 180° ,已知匀强磁场的磁感应强度为 B ,线圈面积为 S ,求过程中磁通量的变化.

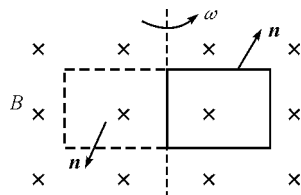


图1 磁场中的矩形线圈

选取一条与线圈平面垂直的有向线段——平面的法向量 n ,如图1中所示;线圈转动时,与线圈构成一个整体的平面法向量 n 也随之一起转动,穿过线圈的磁通量可以表示为 $\Phi = BS\cos\alpha$,其中 α 是磁感应强度与平面法向量的夹角.根据表达式,初始位置线圈的磁通量 $\Phi_1 = BS$,末位置的磁通量为 $\Phi_2 = -BS$,因此过程中磁通量的变化

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = -2BS$$

若线圈从初始位置开始转动一周,由于初末位置的平面法向量与磁感应强度的夹角相同,初末位置的磁通量也相同,所以磁通量的变化

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = 0$$

引入法向量不仅方便计算转动中磁通量的变化,对平动中的磁通量变化计算也有益.

如图2所示,完全对称的磁场其磁感应强度为 B ,面积为 S 的线框从磁场I区拖动到II区,磁通量的变化为

$$\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = BS\cos 180^\circ - BS\cos 0^\circ = -2BS$$

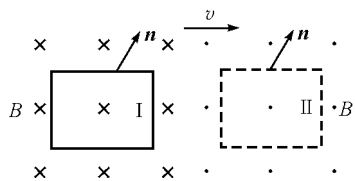


图2 线圈在完全对称的磁场

以往计算磁通量或磁通量的变化,习惯做法是将磁感应强度分解或将面积沿磁场方向投影,学生由于空间感不强对角度的判断容易混淆;引入平面法向量 n 计算磁通量变化,有利于学生迅速找准磁感应强度与法向量的夹角 α (比线面夹角更直观,更容易确定),有利于学生理解磁通量正负的来历——只由两者夹角 α 决定,也让学生了解磁通量规定正负是为了方便计算其变化.

1.2 $\Phi-t$ 图像法计算磁通量的变化

线圈绕与匀强磁场垂直的轴转动,穿过线圈的磁通量变化是连续的;线圈处在与磁场平行的位置时,磁通量为零,零是连续变化的正负数转换的临界点;当线圈即将转过与磁场平行的位置($\Phi=0$),此时穿过线圈的磁通量即将由正值变为负值,或刚好相反.根据这一特点,可以绘制 $\Phi-t$ 图像形象地反映并计算线圈中磁通量变化.

在图1所示的线圈匀速转动中,取初始时刻磁通量为正值,当 t_1 时刻线圈转过 90° 时,磁通量为零,此时线圈的磁通量即将由正变负,描绘 $\Phi-t$ 图像如图3所示,以后再转 90° 至图1中虚线所示位置时,磁通量为 $-BS$;转半圈的磁通量变化

$$\Delta\Phi = -BS - BS = -2BS$$

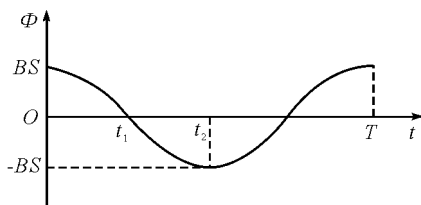


图3 $\Phi-t$ 图像

转一圈的磁通量变化为

$$\Delta\Phi = BS - BS = 0$$

即使线圈不是匀速转动也可以借鉴图像计算磁通量变化,只不过最好能转换为 $\Phi-\theta$ 图像, θ 是线圈转过的角度.当然图像法也有局限性,仅限于线圈在磁场中转动,当线圈平动如图2所示,此时应用图像法计算磁通量变化就不方便.

2 对电荷量 $q = k \frac{\Delta\Phi}{R}$ 的限制应用

高二期末复习电磁感应涉及 $q = k \frac{\Delta\Phi}{R}$ 应用,学生对同一问题出现了两种泾渭分明的解析,其错误的一致性和普遍性很让人深思,情境如下.

足够长的导轨 MON 处于磁感应强度为 B 的匀强磁场中,磁场垂直于导轨平面,如图4所示, ON 和 OM 的夹角为 53° ,与 ON 垂直的导体棒 AB 从 O 点开始以速度 v 向右匀速运动,导体棒与 ON 和 OM 始终接触良好且它们单位长度的电阻均为 r .求经过 $3t$ 时间通过导体棒横截面的电荷量.

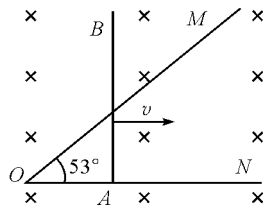


图4 导体棒在成夹角的导轨上运动磁通量的变化

学生解题思路1:

导体棒在 $3t$ 时间内的位移

$$x = 3vt$$

导体棒在回路中的有效长度

$$L = 4vt$$

此时回路的电阻为

$$R = 12vtr$$

回路面积为

$$S = \frac{1}{2}xL = 6v^2t^2$$

所以穿过的电荷量为

$$q = \frac{\Delta\Phi}{R} = \frac{B \times 6v^2t^2}{12vtr} = \frac{Bvt}{2r}$$

学生解题思路2:

经任意时间 t 导体棒的位移

$$x = vt$$

切割磁感线的有效长度为

$$l = \frac{4}{3}vt$$

闭合回路中的有效电动势为

$$E = Blv = \frac{4}{3}Bv^2t$$

此时闭合回路的电阻为

$$R = \left(vt + \frac{4}{3}vt + \frac{5}{3}vt \right) r = 4vtr$$

在 t 时刻电路中的电流

$$I = \frac{E}{R} = \frac{Bv}{3r}$$

该电流与时间无关,是一个定值.

因此穿过横截面的电荷量

$$q = I \times 3t = \frac{Bv}{r}t$$

学生的思路都非常清晰,很难发现其中隐藏的问题,但从分析、说理上考量显然第二种思路更让人信服,那解法 1 中误区出现在哪个环节? 让我们回顾 $q = k \frac{\Delta\Phi}{R}$ 推导历程.

据法拉第电磁感应定律感应电动势

$$E = k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \quad (k \text{ 为匝数})$$

电路中的感应电流

$$I = \frac{E}{R} \quad (R \text{ 为电路的总电阻})$$

电荷量 $q = I\Delta t$, 联立 3 个表达式得

$$q = k \frac{\Delta\Phi}{R}$$

表达式 $q = I\Delta t$ 成立的条件要求电流 I 必须是恒定电流(或平均电流),进一步追溯到闭合电路欧姆定律,则要求电路中的电阻不能改变,所以应用 $q = k \frac{\Delta\Phi}{R}$ 限制的条件是电路的电阻要保持不变,这一点在推导规律时往往被忽视. 而解法 1 中正是没有意识到电阻变化后超出了规律的应用范围,导致了电荷量的计算错误.

3 磁通量与感应电流间正负的自洽问题

近日听公开课“交流电的产生”,觉得有些方面

值得商榷.

经历了实验、理论探究,师生共同归纳了正弦交流电产生的规律;课堂尾声,教师抛出这样一个问题,出现了下面的教学片段:如图 5 所示,线圈处于变化的匀强磁场中,开始时磁场向里;穿过线圈的磁通量随时间的变化如图 6 所示,规定沿 ABCDA(逆时针)电流为正,试判断各阶段电流的方向,并定性画出 $i-t$ 图像.

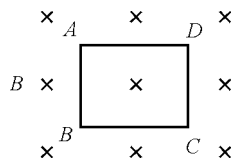


图 5 线圈处于变化的匀强磁场中

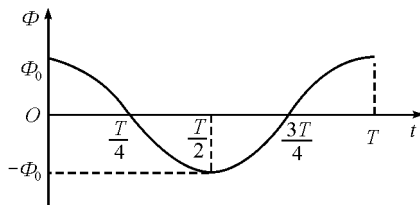


图 6 $\Phi-t$ 变化曲线

学生在充分的思考以及小组交流后,师生互动中学生应用楞次定律判断电流方向,再与规定的电流方向比较画出 $i-t$ 图,并在实物投影上展示如图 7 所示的 $i-t$ 图像,得到师生的肯定. 整个过程逻辑严密,合乎规范,那值得商榷的地方在哪儿?

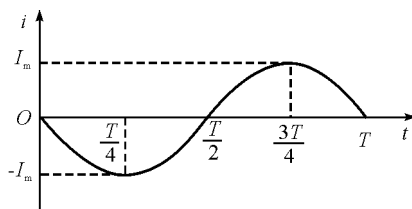


图 7 值得商榷的 $i-t$ 图像

法拉第电磁感应定律的数学形式是 $e = -k \frac{d\Phi}{dt}$,

其中“—”号反映了感应电流对磁通量变化的阻碍.

$\frac{d\Phi}{dt}$ 可认为是 $\Phi-t$ 图像的斜率,从图 6 看出, $0 \sim \frac{T}{2}$

时间内(不包括起始、终点时刻), $\frac{d\Phi}{dt}$ 是负值,对应的

电动势和电流均为正……描绘的 $i-t$ 图应为如图 8 所示.

校本课程开发的实践与探索

——以“高中数学物理方法”校本课程的开发为例

俞丽萍

(浙江省春晖中学 浙江 绍兴 312300)

(收稿日期:2016-06-01)

摘要:以“高中数学物理方法”校本课程的开发为例,介绍了“高中数学物理方法”校本课程的开发过程,对整个校本课程开发过程进行了反思,积累了选修课程开设的经验,这对其他选修课程的开设有一定的借鉴意义。

关键词:物理 课程 校本 开发 探索

1 课程开发的背景

“高中数学物理方法”是指应用高中阶段学生已学的数学知识来处理高中阶段出现的物理学问题。对于高中生而言,应用数学方法处理物理问题的能力是一种非常重要的能力。然而,在我们平时的教学过程中,存在着数学与物理脱节的情况,学生将数学知识应用于处理实际物理问题的能力并不强。这就要求教师加强将数学方法运用到实际物理问题的

方法指导,提高学生运用数学知识处理物理问题的能力。因此,凭借校本课程开发的平台,通过开设“数学物理方法”校本选修课程,提高学生运用数学知识处理物理问题的能力是必要的。

2 课程开发的思路

开发校本课程目标为:确定校本课程“高中物理数学方法”的内容,研究课程实施步骤及注意点,提高学生利用数学方法处理物理问题的能力。具体而

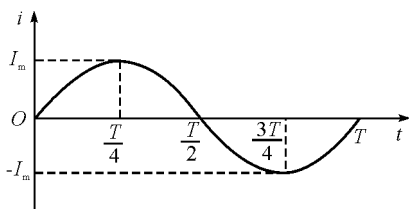


图8 正确的 $i-t$ 图像

也就是说,一旦在情境中规定了磁通量的正负,在磁通量的变化过程中,电流、电动势的正负就随

之确定。而题干中 $\Phi-t$ 图像明确的情况下,再规定电流的正负反而是画蛇添足。

尽管高中阶段电磁感应定律的表达式简化为 $E = k \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$,学生由于知识面的局限可能暂时发现不了情境中的瑕疵;但作为教师,在命题或选题的过程中,应该对题干、题设进行严谨的审核,查找不科学甚至错误的地方,尽量让命题工作趋于完美。

Depth Analysis on Magnetic Flux Changes

Hu Aihe

(Zhangjiagang Chongzhen Middle School, Suzhou, Jiangsu 215631)

Abstract: Due to the introduction of magnetic flux teaching time for debate in middle school, Subjective caused difficulties of understanding flux and its changes for students. This article is based on middle school physics teaching actual need, Put forward the two kinds of magnetic flux change simple algorithm, And to involve the application of magnetic flux change puts forward some Suggestions.

Key words: the change of the magnetic flux; surface normal vector; electric quantity; law of electromagnetic induction