

大学生对麦克斯韦方程组的理解研究

刘文莉 包 蕊 章 越 申亚琴

(北京师范大学物理学系 北京 100875)

(收稿日期:2019-08-20)

摘要:本研究通过收集麦克斯韦方程组概念测试题的课堂讨论录音及书面回答,获得物理专业大学生对麦克斯韦方程组的错误理解,总结出学生常见的错误概念为不清楚方程式来源、对电场和磁场的相互关系理解有误、将电场和磁场进行不恰当类比、不能正确理解平行板间电磁场的来源、对感生电场和位移电流理解不到位等,对此提出有针对性的教学建议,为电磁学教学提供参考。

关键词:电磁学 麦克斯韦方程组 错误概念

麦克斯韦方程组完整地概括了电磁场的基本规律,其在电磁学中的地位如同牛顿运动定律在力学中的地位,以麦克斯韦方程组为核心的电磁理论,是经典物理学最引以自豪的成就之一,它所揭示出电磁相互作用的完美统一,并被广泛地应用于技术领域.物理与日常生活息息相关,从日常生活中学生能够得到对物理现象或问题的理解,其中有些理解

是正确的,而有些理解则是片面的、不完整的,有些甚至是完全违背科学观念的,研究者把这些完全违背科学知识的理解称为错误概念,而错误概念具有广泛性、自发性、顽固性和负迁移性,在传统课堂教学下,无论物理专业还是非物理专业,都有部分学生对麦克斯韦方程组存在误解,可能导致对其应用的困难,教师在教学过程中应采取有针对性的教学措

- 3 侯吉旋,李志昂,郭兴,等.质量非均匀分布的烟囱在倾倒过程中的力学分析[J].大学物理,2017,36(6):50~55
- 4 肖庆华.烟囱倾倒时最容易断裂的位置[J].重庆职业技术学院学报(综合版),2004,13(1):99~100

- 5 曹春梅.烟囱倾倒过程的简化力学分析[J].天中学刊,2007,22(2):20
- 6 胡国忠,王宏图,林大能,等.烟囱定向爆破触地冲击力估算[J].矿冶工程,2005,25(6):14~20

Analysis on the Position of the Broken Point of Chimney Falling Using Rigid Body Theory

Wang Yue Wang Qing Li Pinxiang

(Department of Electrical Engineering, Tong Ling University, Tongling, Anhui 244000)

Pei Yue

(Department of Construction Engineering, Tong Ling University, Tongling, Anhui 244000)

Abstract: When the chimney dump, usually breaking will happen somewhere. Based on the rigid body theory knowledge, we analyzes the stress of each parts in the process of a chimney dumping. Through force analysis we find the extreme value point and it is the breakpoint location of the chimney.

Key words: rigid body; chimney; breakpoint

施,及时纠正学生的错误概念,提高课堂教学效果.

1 麦克斯韦方程组

麦克斯韦方程组由高斯定理、法拉第定律(环路定理)、磁场的高斯定理和安培环路定理4式组成.

$$\oiint \mathbf{D} \cdot d\mathbf{S} = \iiint \rho_0 dV \quad (1)$$

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = -\frac{d\phi}{dt} = -\iint \frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \cdot d\mathbf{S} \quad (2)$$

$$\oiint \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0 \quad (3)$$

$$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint (\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S} \quad (4)$$

麦克斯韦方程组有积分和微分两种表达形式,积分形式侧重于使用间接的量——如电位移通量、磁通量、自由电荷代数和、电场的环量、电流强度等对电磁场整体性质的描述;而微分形式利用数学的高斯定理和斯托克斯公式,引入旋度和散度的概念,从而表达出场中任意点的电磁量与领域点电磁量的时空关联.

式(1)为静电场的高斯定理.描述电场与空间中电荷分布关系,表示静电场是一个有源场,静电场中任意闭合曲面的电位移通量等于该曲面内的自由电荷的代数和.

式(2)为环路定理(也称法拉第定律).静电场沿任一闭合曲线的环流为零,表示静电场是一个势场;同时这个式子也体现了变化的磁场能够产生电场,感生电场方向的判定遵从楞次定律.

式(3)为磁场的高斯定理,磁感应强度对任一闭合曲面的通量为零,表示磁场是一个无源场,不存在磁单极子,磁感线闭合.

式(4)为安培环路定理,阐明磁场可由两种方法生成:一种是靠传导电流(安培定律),另一种是靠时变电场,或称位移电流(麦克斯韦修正项),说明磁场是涡旋场.

麦氏方程组描述了场源(ρ 和 J)如何影响电磁场的演化,电场和磁场的互相激发,电磁场也会按洛伦兹力对场源施加作用.满足麦氏方程组的两个四元函数 $E(x, y, z, t)$, $B(x, y, z, t)$ 构成电磁波,以光

速向外传播信息和能量.

2 研究设计

本研究样本为北京某高校125名物理专业大一本科生.课堂教学中使用PI教学法,收集学生关于电场和磁场认识的概念测试题(问题1)的讨论录音,并对录音进行转录,分析学生外显的错误概念.

问题1:如图1所示,电容器在被一个恒定电流 I 充电的过程中,在电容器中的 P 点

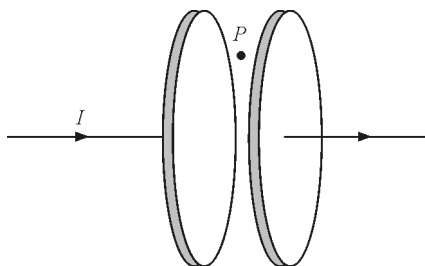


图1 问题1示意图

- (1) 有稳恒电场
- (2) 有变化的电场
- (3) 有稳恒磁场
- (4) 有变化的磁场
- (5) 有变化的电场和不变的磁场
- (6) 有变化的磁场和不变的电场
- (7) 以上都不对

其次,在电磁学课程结束的时候设置开放性问题(问题2)让学生进行书面回答,从方程式书写正确与否及对电磁场的认识两方面对125份答卷进行分析,并将学生出现的错误进行统计和归类.

问题2:写出麦克斯韦方程组,并依此谈一谈你对电磁场的认识.

综合分析学生在问题1和问题2中出现的错误概念,提高研究结果的信度.

3 研究结果

3.1 学生对问题1的课堂讨论

研究样本共33组,每组3~4人,其中30组经过讨论得到了正确的结果,也给出了正确的解释,找出学生讨论过程中外显的错误概念并进行分类,主要存在以下3类,如表1所示.

表1 问题1讨论中学生常见的错误概念

错误概念	出现人数 / 人	学生原话举例	正确解析
导线中的恒定电流能在电容器中产生恒定磁场	21	36组131号:“稳恒电流会产生一个不变的磁场”	恒定电流充电过程中,由电荷量公式 $Q = It$ 得两极板上电荷均匀增加,由公式 $U = \frac{Q}{C}$ 得电容器两端电压也在均匀增加,由 $E = \frac{U}{d}$ 可知两板间电场在均匀增强. 考虑 P 点磁场时需要用到安培环路定理
变化的电场能够在电容器内产生变化的磁场	21	30组60号:“变化的电场都可以激发变化的磁场”	
充电过程电场呈 e 指数变化	4	12组147号:“充电过程电容器两端电压最后会变为零,电场的导数应该是个 e 指数”	
其他	10	对位移电流理解有误:9组152号“位移电流是变化磁场产生的电流” 分不清楚此题电场和磁场的来源:29组136号“电场是变化的磁场产生的,磁场不变所以没有感生电场”	$\oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \iint (\mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}) \cdot d\mathbf{S}$ 两板间没有传导电流,随时间均匀变化的电场即为恒定的位移电流,故 P 点有不变的磁场

3.2 麦克斯韦方程组公式的书写

节方面错误很多,主要存在5类错误,具体如表2所示.

大部分学生能够完整、正确写出方程组,但是细

表2 问题2回答中常见错误及出错次数

错误内容	出现人数 / 人	错误举例
积分符号	35	四式等号左边均未写成闭合积分或右边写成闭合积分
矢量符号	30	回答中未书写矢量符号
环路定理方向	21	环路定理方程右边缺少负号
混淆电流和电流密度	5	安培环路定理右边写成电流和面积微元乘积的积分
其他	5	电场的环路积分为零 安培环路定理将电荷密度放在积分符号外面

研究还发现,学生在书写真空中的麦克斯韦方程组积分形式出现错误的次数远高于其他形式.

3.3 基于麦克斯韦方程组对电磁场的认识

在问题2回答对电磁场认识的时候,大部分学生能从电磁场相互联系、相互激发等方面解释,也有少数学生提到对称性、电磁张量的统一性等重要内容;但也普遍存在很多问题,如表述不够准确导致歧义,简单“读”方程等.总体来看学生对电磁场的认识主要存在以下几种错误概念.

(1) 对电场和磁场的相互关系理解有误.学生回答中最常见的错误表述是“变化的电场产生变化的磁场,变化的磁场产生变化的电场”“有电场的地方一定有磁场”“感生电流的存在会有电场产生”.而

根据麦氏方程组式(2)(环路定理)和式(4)(安培环路定理)可知,感生电场由变化的磁场产生,同时变化的电场也可以产生磁场,由此产生的电场和磁场是否恒定则由原磁场和原电场的时间变化率决定,变化率恒定则产生恒定场,变化率不恒定时产生的场是和变化率一样随时间变化的,此时,“变化的磁场产生变化的电场,变化的电场产生变化的磁场”又是正确的,因此,不能一概而论.

(2) 对电场和磁场的不恰当类比.由于电场和磁场在很多方面的相似性,学生容易将静电场中学到的知识简单地迁移到磁场中,造成对磁场的理解有误,如静电场是无旋的,静磁场是无源的.除此之外有学生认为变化的磁场(电场)能产生电场(磁

场),因此简单认为电场和磁场“是同一种物质”,或者“是一种物质的两种存在形式”。

对学生的讨论录音进行分析时还关注到,大部分学生在讨论中只是陈述自己的观点和理解,并没有进行有效交互讨论,只有极少数小组对组内学生外显的错误概念进行了针对性的纠正,所以仍然有学生没有发现和纠正自己理解中存在的错误,并在问题2中又出现了同样的错误。

在讨论中出现错误次数最多的错误概念为“变化的电场能够产生变化的磁场”,对出现此错误概念的13位学生的问题2的书面回答进行分析,发现其中有2位学生又外显出类似的错误(98号在问题2回答中写道“电场周围必定存在磁场”,79号写道“磁场也可以激发电场”);除此之外有2位学生在讨论中没有外显这一错误,但是在问题2回答中出现。由此说明学生的错误概念具有顽固性,经过课堂教学后错误概念并没有得到改正。

4 结论

本次研究对125名学生的讨论和书面回答进行分析,总结出大学生对麦克斯韦方程组的理解和应

用容易出现的6类错误:方程书写不规范(方程书写中分不清积分符号、不写矢量符号),对电磁场的相互关系理解有误(认为变化电场能产生变化的磁场、认为变化的磁场能产生电磁波),将电磁场进行不恰当类比(认为电场和磁场是同一种物质),对平行板间电磁场认识有误(认为平行板间没有电流通过,使用毕奥萨伐尔定律求解极板间磁场),不能正确理解位移电流(认为位移电流是变化磁场产生的电流、不能理解位移电流在极板间的分布情况),对感生电场理解不到位(认为电场始终为势场、对感生电场方向判断错误)。

教师在教学中应该充分了解学生的错误概念,以此为起点设计有针对性的教学策略,有效帮助学生改正错误概念,提升对麦克斯韦方程组的理解。

参考文献

- 1 申亚琴,张凡,黄惠敏,等.大学生电磁感应错误概念的研究[J].物理通报,2017(2):21~24
- 2 郭玉英,卢梭梅.为概念转变而教策略综述[J].新课程教学,2013(5):49~56
- 3 张萍,涂清云,周静,等.大学物理课堂互动教学模式的研究——基于“教室应答系统”的构建[J].中国大学教学,2011(7):21~23

Study on College Students' Understanding of Maxwell Equations

Liu Wenli Bao Xin Zhang Yue Shen Yaqin

(Department of Physics, Beijing Normal University, Beijing 100875)

Abstract: In this study, we collected the misunderstanding of Maxwell's equations among students majoring in physics by analysing the in-class audio recordings and written answers of the ConcepTests of Maxwell's equations. And the common misconception are as following. Vague notions of the sources of the equations, misunderstanding of the relationship between electric and magnetic fields, inappropriate analogy between electric and magnetic fields, inaccurate understanding of the source of electromagnetic fields between a parallel-plate capacitor, inadequate understanding of electric field and inadequate understanding of electric field magnetic fields. Consequently, targeted teaching suggestions are put forward to provide reference for the teaching of electromagnetics.

Key words: electromagnetics; Maxwell's equations; misconception