



# 借助电磁学史培养学生的科学思维与科学美学观念

丁学成 冯晓敏

(河北大学物理科学与技术学院 河北 保定 071000)

(收稿日期:2021-04-19)

**摘要:**介绍了电磁学中库仑(Coulomb)定律和麦克斯韦(Maxwell)方程组建立的历史过程.通过对Coulomb定律的建立和完善过程的分析,阐释了建立一个物理定律需要经历的步骤,对学生科学思维的培养具有一定促进意义;通过对Maxwell方程组建立过程的讨论,阐明了物理定律的层次性和科学美学观念,对激发学生学习兴趣有一定的积极作用.

**关键词:**电磁学史 科学思维 科学美学 学习兴趣

电磁学是面向理工科学生开展的一门十分重要的基础课程,在培养学生学习方法和思维方式中起着关键作用.然而,传统教学过程往往过多强调已有知识的传授,对物理定律的建立过程关注不够,这就导致多数学生仅处于一种被动接受知识的状态,主动学习意识不强.电磁学史的缺乏还可能导致学生对物理定律建立过程的理解出现偏差,不利于培养学生的自主学习方法和科学思维.例如,如果学生不了解电磁学发展的历史,往往会认为法拉第(Faraday)电磁感应定律的定量表达式是由Faraday给出的;两电荷之间的作用力与两者之间的距离平方成反比是Coulomb实验直接给出的;变化的电场产生磁场是由理论推导得出的.然而事实上,Faraday电磁感应定律的定量表达式是由诺依曼(Neumann)和韦伯(Weber)先后给出;两电荷之间的作用力与其距离的平方成反比最初是由普里斯特里(Priestley)利用类比的方法猜测的,库仑对此结论进行了验证;变化的磁场产生电场也是Maxwell在没有任何实验依据的情况下预言的.因此,在电磁学的教学过程中适当地引入电磁学史是十分有必要的.一方面可以丰富学生知识,开阔学生视野,让学生准确地获知物理定律的产生过程.更主要的是,电磁学史再现了科学家在创造物理定律过程中所采用的物理思想和科学研究方法,对激发学生的学习兴趣,培养学生的科学创新思维和科学美学观念起到

卓有成效的作用.

## 1 通过学习Coulomb定律建立的历史过程培养学生科学思维

Coulomb定律是电磁学的基本定律,阐明了静止点电荷之间的相互作用规律,决定了静电场的性质,确立了近距作用观念.纵观电磁学史会发现,Coulomb定律的产生过程可追溯到著名电学家富兰克林(Franklin)带电杯实验,Franklin观察到放在带电金属杯外的带电软木小球明显地受到作用力,而放在杯里的带电软木小球则几乎不受作用力.Franklin把这一现象写信告诉Priestley,Priestley猜测电场力应该与万有引力一样,与距离的平方成反比.随后,法国物理学家Coulomb通过电斥力扭秤实验和电引力单摆实验验证了两静电荷之间的作用力与其距离的平方成反比.为了指明静电场力是因为物体带电而产生的,于是规定两电荷之间的作用力 $f$ 与两电荷的带电量 $q_1$ 和 $q_2$ 的乘积成正比,即 $f \propto q_1 q_2$ ,实际上这就是“电量”的定义.依据Coulomb的实验结论和电量的定义就可写出Coulomb定律的定量表达式,即 $f = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$ ,其中 $k$ 被称为静电力常量, $r$ 为两电荷之间的距离.由于空间旋转对称性<sup>[1]</sup>,两点电荷之间的作用力只与两者之间的距离有关,而与连线的空间方位无关,并且作

用力的方向沿连线. 物理定律表达式给出后, 还需进一步对定理的成立条件、适用范围及理论地位进行讨论. Coulomb 定律的成立条件一般认为是真空和静止. 真空条件是为了去除其他电荷的影响. 非真空条件下, 电荷受力比较复杂, 但两点电荷之间的电场力仍然满足 Coulomb 定律, 所以真空这个条件是可以去除的. 静止是指两电荷相对静止, 且相对观测者是静止的, 静止这个条件是必要的. Coulomb 定律的适用范围是指两电荷之间的距离在什么尺度范围内. 一般认为在  $10^{-15} \sim 10^7$  m 范围内, 该定理是适用的. Coulomb 定律的理论地位奠定了经典电磁学的基础.

由 Coulomb 定律建立的历史过程可以看出, 一个物理定律的建立需要经历以下过程: 发现新现象, 猜测形成原因, 做实验验证, 定义新的物理量, 建立新的物理定律, 给出定量表达式, 讨论成立条件、适用范围及理论地位等. 对于 Coulomb 定律而言, 发现静止电荷之间存在相互作用力之后, Priestley 猜测电场力与距离的平方成正比, Coulomb 利用电斥力扭秤实验和电引力单摆实验证实了 Priestley 猜测的正确性, 随后定义了“电量”这个物理量, 并推导得到 Coulomb 定律的描述形式, 最后讨论成立条件、适用范围及理论地位等.

通过了解 Coulomb 定律建立的历史, 学生能够真实感受到物理规律的产生、形成和发展的过程, 明确科学研究的思路, 学会自主学习和思考, 对培养学生的科学思维有一定的促进作用.

## 2 通过学习 Maxwell 方程组建立的历史过程培养学生科学美学观念

伟大的英国物理学家 Maxwell 总结前人的经验, 将当时已知的 Coulomb 定律、高斯 (Gauss) 定律、安培 (Ampere) 定律和 Faraday 电磁感应定律用数学语言表达出来

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho \quad (1)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (2)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{j} \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{H}} \quad (4)$$

其中, 式(1)为 Coulomb 定律, 给出了电荷与电场的

关系; 式(2)为 Gauss 定律, 说明了磁单极是不存在的; 式(3)为 Ampere 定律, 指出了电流与磁场的关系; 式(4)为 Faraday 电磁感应定律, 阐明了变化的磁场能够产生电场. 各物理量物理意义如下:  $\mathbf{E}$  为电场强度,  $\rho$  为电荷密度,  $\mathbf{H}$  为磁场强度,  $\mathbf{j}$  为电流密度. 然而, Maxwell 写完这 4 个方程后发现一个问题, 变化的磁场能够产生电场, 为什么变化的电场不能产生磁场呢? 即方程中为什么没有这一项呢? 这 4 个公式缺少对称美. 为了寻求这种形式上的对称性, Maxwell 在式(3)中加上了  $\dot{\mathbf{E}}$ , 上述方程组变为

$$\nabla \cdot \mathbf{E} = 4\pi\rho \quad (5)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H} = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = 4\pi\mathbf{j} + \dot{\mathbf{E}} \quad (7)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\dot{\mathbf{H}} \quad (8)$$

这就是著名的 Maxwell 方程组的雏形, 其表达形式与目前用参考书<sup>[2]</sup>中的写法有一些区别, 是由于该方程组是在真空条件下得到的, 且使用了不同单位制的结果. 观察此时的 Maxwell 方程组, 它不仅完美地给出了电磁场的规律, 而且在形式上具有着一种令人心仪的对称美, 被爱因斯坦誉为“牛顿之后, 物理史上最重要的发现”. 值得指出的是, 上述方程组中, Maxwell 是在没有任何实验的基础上, 仅从对称美的角度就大胆地提出假设: 既然变化的磁场能够产生电场, 那么变化的电场也应该产生磁场<sup>[3]</sup>. 这个假设的正确性后期被赫兹 (Hertz) 通过实验加以证实.

Maxwell 为什么仅依据对称美就能够得到正确的结论呢? 从物理定律的层次来看, Maxwell 方程组是统帅整个电磁学的定律, 而对称性原理是物理学中的宪法, 是跨越物理学各个领域的普遍法则<sup>[4]</sup>. 由此可见, 对称性原理的层次比 Maxwell 方程组要高, 根据高层次的物理定律来构建物理定律是合理的. 从科学美学观念来看, 科学研究总是将求真与求美统一起来的, 其动力主要源于美. 正如外尔 (Weyl) 曾说: “我的工作总是力求把真和美统一起来, 但是当我必须两者选一时, 我通常选择美.” 由此可见, 科学研究的最终目标是求美. Maxwell 给出的具有对称形式的 Maxwell 方程组, 就是凭借审美

(下转第 11 页)

室每学期开辟两个探究性的物理实验课时,并派实验教师深入陕西汽车控股集团、西安比亚迪汽车公司,自制设计交通行业的大学物理实验内容。

特别值得梳理的是,首开职业本科大学的物理

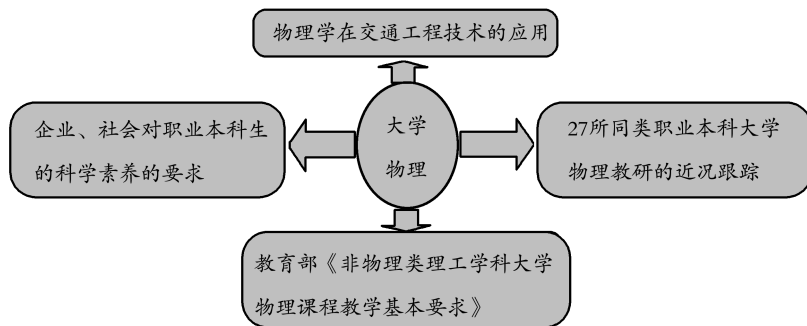


图1 大学物理四维指标

以教育部红头文件《非物理类理工科大学物理课程教学要求》为基底,以物理科学在汽车技术中的应用为特色,一边顺应交通类企事业单位对于我校人才培养模式、科学素养模块的需求,同时紧密跟踪27所职业本科大学物理教改的最新动向,架构起首批职业本科的大学物理教研立体式动向指标,教师可据此指标取舍教学内容,优化育人目的,开展物理思政教学。此四维指标也为进一步压实教学责任,评价教学过程提供参考思路。这一点,我们改期再谈。

### 参考文献

1 教育部. 教育部办公厅关于印发《本科层次职业教育专业设置管理办法(试行)》的通知[EB/OL]. (2021-01-26)

类课程,面对中国第一批职业大学的工学类本科生,为此提出了如图1所示的四位一体的大学物理课改风向标。

[2021-02-10]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs\\_zhgg/202101/t20210129\\_511682.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs_zhgg/202101/t20210129_511682.html)

2 张静,郭玉英. 国外大学物理教育研究的现状和发展动向——基于AJP、PRST中大学物理教育研究论文的内容分析[J]. 大学物理,2013(4):41~45

3 教育部. 教育部等九部门关于印发《职业教育提质培优行动计划(2020-2023)》的通知[EB/OL]. (2020-09-23) [2021-02-10]. [http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs\\_zhgg/202009/t20200929\\_492299.html](http://www.moe.gov.cn/srcsite/A07/zcs_zhgg/202009/t20200929_492299.html)

4 Zhang P, Ding L, Mazur E. Peer Instruction in introductory physics: A method to bring about positive changes in students' attitudes and beliefs[J]. Physical Review Physics Education Research, 2017,113(1)

(上接第3页)

直觉,依据对称美提出来,最终被 Hertz 证实是真的理论。正如济慈(Keats)所说:“凡想象为美的东西必然是真实的——不管它以前是否存在。”

在电磁学教学中,大量的数学公式会让学生感到枯燥,而学生对大自然的美是容易感受到的,这种美的某些方面为科学所共有,如对称美、简单美及和谐美等。如果能够借助物理学史,突破传统观念束缚,将科学美学观念引入到教学中,那么会促进学生在客观规律的同时发现物理学的美,赏识物理学的美,从而达到激发学生学习兴趣,提高学习效率的目的。

### 3 结束语

本文通过 Coulomb 定律和 Maxwell 方程组建立的历史过程介绍了电磁学史在培养学生科学思维

与科学美学观念,以及提高学生学习兴趣等方面的积极作用。Coulomb 定律建立的历史过程包含了物理定律建立的所有步骤,是培养学生科学思维的一个典型实例。而 Maxwell 方程组建立的历史过程体现了对称在物理学中的重要性,是引导学生欣赏科学美,提高学生学习兴趣的一个重要途径。

### 参考文献

1 陈秉乾,舒幼生,胡望雨. 电磁学专题研究[M]. 北京:高等教育出版社,2001.5~32

2 赵凯华,陈熙谋. 电磁学[M]. 北京:高等教育出版社,2003.400~407

3 杨建邕. 物理学之美[M]. 北京:北京大学出版社,2011.90~92

4 陈世杰. 物理学的100个基本问题[M]. 太原:山西科学技术出版社,2004.22~26