

麦克斯韦电磁场理论的科学思想方法论

李 亦 军

(华北工学院理学系 太原 030051)

科学思想的诞生和科学理论的建立不是偶然的,它是许多先辈科学家研究的概括、综合、引申和发展以及科学家本身的丰富联想、独到智慧和创造性思维的产物,其中蕴含着科学家新思想和丰富的方法论上的教益和启迪. 19世纪物理学中最伟大的成就——麦克斯韦电磁场理论就是如此,它是继牛顿力学之后物理学史上又一次划时代的伟大巨著,它的建立开拓了广泛的研究领域. 在学习麦克斯韦电磁场理论的同时,总结其科学思想、挖掘其方法论的意义必定使我们受益匪浅.

一、建立麦克斯韦电磁场理论的物理背景

1. 法拉第的力线. 法拉第具有丰富而深刻的物理思想,他从广泛的实验研究中构想出描绘电磁作用的力线图象,认为带电体和磁体周围存在着某种特殊状态,用电力线和磁力线来描述这种状态,他认为力线是物质的,充满整个空间,并把相异的电荷和相异的磁极联系起来,力线的疏密反映了场的强弱. 法拉第指出:带电体之间或磁体之间的力线一般是曲线而不是直线,这表明了电和磁之间的作用不可能是直接作用,法拉第在解释他发现电磁感应现象的原因时指出,仅有导线运动不能产生电流,必须在磁性区域中以一定的方向运动才产生电流,

速度 $v_2 - \mu_2$ 大, Z 轴正方向一侧的相对速度 $v_1 - \mu_1$ 小. 由流体压力与相对速度的关系可知,相对速度越大压力越小,相对速度越小压力越大. 所以, Z 轴正方向一侧的空气对陀螺的压力大于 Z 轴负方向一侧的空气对陀螺的压力,它们的合力的方向指向 Z 轴的负方向. 由角动量定理可知,在这一合力的作用下,陀螺的自转轴将绕 O 点向铅垂轴的方向转动.

他认为回路中产生感应电动势是因为穿过回路的磁力线数目发生变化,这样他就把力线图象从静态发展到动态,并将电现象和磁现象联系起来. 法拉第力线思想是场概念的先声,他也成为场理论的创建人,“力线”概念是法拉第最伟大的贡献,并鼓舞着麦克斯韦深入地进行研究.

2. 韦伯的电磁理论. 韦伯把电流看作是数量相等的正、负电荷的流动构成的,认为运动电荷除了库仑力之外,还存在着因为运动而产生的另一种力,他结合了电流元相互作用力的安培定律和静电的库仑定律,导出了两个运动电荷的相互作用力. 韦伯指出:当两个电流元相对运动时,运动电流元中的电荷除了沿导线运动外,还随导线运动,后者使电荷受到的附加作用力就是产生感应电动势的根源. 韦伯理论广泛应用于静电现象、电磁吸引、电流感应现象,为此受到麦克斯韦的高度评价,并吸取了其中合理的内容.

3. 汤姆逊的类比研究. 在建立电磁场理论的过程中,跨出极为重要的一步是汤姆逊的类比研究. 他比较了带电导体区域内的静电力分布与无限固体中的热流分布,指出了等势面与等温面对应,电荷与热源相对应. 然而热理

由以上分析可见,力 F 是空气对陀螺的压力的合力. 空气压力是陀螺在进动过程中产生自转轴“直立现象”的根本原因.

在物理学课的教学中,结合角动量定理,引导学生对陀螺进动过程中的这一奇异现象进行分析,可激发同学们的探索热情和学习兴趣,培养学生分析问题、解决问题以及进行科学研究的能力.

论中公式是以连续介质中相邻粒子相互作用为前提得出的,那么根据形式上的类似是否可以把电作用看作是经某种媒质依次传递而实现的. 汤姆逊的类比暗示了在非稳恒情形下电磁作用的传播图象,也有力地支持了法拉第力线思想,为麦克斯韦建立电磁场理论提供了极为重要的暗示、联想和启迪.

二、麦克斯韦电磁场理论的科学思想

科学理论的发展是一个辩证综合的过程,随着实践的发展和人们认识的不断深化,不仅同一领域中原来分散的理论会逐渐汇集起来,不同领域之间也会发生思想内容和方法上相互渗透和相互影响. 在法拉第、韦伯、汤姆逊研究的基础上,经过麦克斯韦对其合理部分的数学描述、物理类比和大胆假设,逐步建立了完整统一的电磁场理论. 从其曲折的过程中,我们可以看到一种建立理论的模型,同时体察到科学理论建立的光辉思想.

1. “物理类比”与“涡旋电场”

《论法拉第力线》是麦克斯韦的第一篇电磁学论文,也是他研究电磁学的开始,文章中他用数学工具来表达法拉第力线思想,联系了法拉第力线概念和汤姆逊的数学类比,亦即“物理类比”,将力线比作不可压缩流体的流线,电场强度比作流速,并引入一种新的矢量函数来描述电磁场,可以说他把法拉第的力线概念翻译成数学形式. 之后,麦克斯韦在文章的后部分又提出了电磁感应的“涡旋电场”假设,他认为即使不存在导体回路,变化的磁场也会在周围空间产生一种电场,这种电场不是自由电荷激发的,而是变化的磁场所激发的,它的电力线是闭合的,这种电场称为“涡旋电场”. 麦克斯韦在这篇文章中“物理类比”与“涡旋电场”的假设思想是他建立电磁场理论的整个脉络中不可缺少的一环.

2. “力学模型”与“位移电流”

麦克斯韦在他的第二篇论文《论物理力线》中,精心设计了电磁作用的力学模型“分子涡旋”,应用分子涡旋讨论了电磁感应现象,并将他的涡旋假设用于静电现象. 他指出:“我们应

该建立全部电科学之间的主要现象的联系”;他假设分子涡旋具有弹性,当分子涡旋之间的粒子层受到电场力而发生位移时,给以涡旋切向力使之变形,而形变的涡旋则报以来自涡旋弹性的大小相等、方向相反的反作用力,当激发粒子的力撤销时,涡旋恢复原来的形状,粒子也恢复原来的位置,这样带电体之间的力可归结为由于弹性形变在媒质中储存的势能,而磁力则归结为储存的转动能. 由此麦克斯韦得出两个重要的结论:(1)导体周围的电粒子可以作弹性位移,变化的电流不再象管中的流水那样完全限制起来,它能够以一定的分量进入导线周围空间.(2)在任何具有密度为 ρ 和切变模量 m 的弹性媒质中,可以传播速度为 $v = \sqrt{m/\rho}$ 的横波. 根据涡旋弹性假设,麦克斯韦导出了联系 ρ 和 m 的电磁量公式,它包括速度 v 和韦伯的作用力公式中的常数 c ,将磁导率 $\mu = 1$ 代入得出 c 为 3.1074×10^8 米/秒,这与以前测定的光速符合的很好,为此麦克斯韦断言:“光是媒质中起源于电磁现象的横波”. 在静电现象中,加有交变电源的电容器,其电介质内并不存在自由电荷和传导电流,但磁场却同样存在. 麦克斯韦经过反复思考和分析后指出,这里的磁场是由另一种类型的电流形成,这种电流存在于任何电场变化的电介质中,并和传导电流一起,形成闭合的总电流. 麦克斯韦把这种电流称之为:“位移电流”. 从理论上引出位移电流概念,是麦克斯韦对电磁学的伟大创建,根据这一科学的假设思想,麦克斯韦得出了两个高度抽象的微分方程式并导致麦克斯韦方程的最终建立.

3. “电磁场”描述与“麦氏方程”

麦克斯韦在第三篇论文《电磁场的动力学理论》中明确提出:“我所提议的理论可以称为电磁场的理论,因为它必须涉及电或磁物体附近的空间,它也可以称为动力学理论,因为它假设在该空间存在着运动的物质,导致可观察的电磁现象”. 麦克斯韦从各个角度阐明电磁场的含义,并指出:“电磁场是包含和围绕着处于电磁状态的物体的那一部分空间”,这就是麦克

斯韦关于电磁场的思想,最终也得到了实验的验证,从而完整、系统、严密的电磁场理论从此确立.使电、磁、光实现了一次大统一.但是光有描述电磁场的思想,并不能解决问题,这就促使麦克斯韦运用数学来表达自己的电磁场思想,在他总结前人和自己电磁学的研究成果后,利用数学工具得出了建立电磁场的普遍方程组——麦克斯韦方程组,这是他科学思想的结晶.

纵观电磁场理论建立的过程我们不难发现,麦克斯韦受到法拉第力线思想的鼓舞和汤姆逊类比研究的启发,开始只是用适当的数学工具定量地表述力线图象,后来他感到有必要对力线的分布及其应力性质给予机械性的说明,为此他构想和精心设计了媒质的力学模型,在这个过程中,终于浮现出位移电流的光辉思想,最后以力学模型为过渡,以电磁学实验和动力学原理为依据,构筑了宏伟壮观的电磁场理论大厦.

三、麦克斯韦电磁场理论的方法论

如果说广博的知识和科学的思想是科学创造的必要条件,那么应用知识变思想为科学理论的正确方法则是创造的关键.正确的方法来源于准确的、经过实践检验的科学理论,实际上方法本身就是一种由实践所证实,又用于相同科学研究实践的理论.麦克斯韦不仅建立了电磁场这一科学理论,同时也为后人提供了丰富的科学研究方法.

1. 强调数学与物理的结合是麦克斯韦从事科学工作最突出的特点,把数学思维和物理概念密切结合起来,把物理图象用数学语言精确地表达出来,在电磁场理论中充分体现了他的这种才能,麦克斯韦凭借他深厚的数学基础和娴熟的数学技巧,将他的思想、模型和图象最终表达为描述电磁场的基本方程组.

2. 类比研究科学方法在于寻找和揭示不同事物在一定范围内所具有的形式上的相似形.类比研究的意义不仅在于移植数学工具或表达

方式,还在于启发物理思想,帮助人们去认识和发现一些尚待研究的物理过程和规律.麦克斯韦认为:类比可以沟通不同领域内的研究方法,可以在解释抽象形式和假设之间提供媒介,他在三篇论文中多次使用类比研究的方法,使得逐步揭示了科学的真理.

3. 把开拓新的知识领域的努力集中在不同学科、不同分支和理论的结合点上,寻找不同现象之间的联系,建立统一的理论解释.这就是科学综合的方法.随着科学技术的发展还将不断提出更为广泛和更深层次的统一理论,麦克斯韦的电磁场理论统一了电学、磁学和光学,体现了他对自然、对科学的辩证法思想和方法.

4. 大胆的猜测和假设.未知世界常常表现为传统观念所意想不到的属性,这就需要广开思路,需要丰富的想象力和深刻的洞察力去猜测和假设,当然想象和假设并不是漫无边际随心所欲地胡思乱想,它是在全面审查旧理论的全部成败以及各种新发现的基础上,细致地衡量各种可能解释的利弊得失之后提出来的,这就需要有在纷繁事物中把握本质,并伴以细密的分析和推理的能力.麦克斯韦所构想的力学模型和位移电流就是例证.

5. 和谐是完善理论的必要因素,自然界是和谐的,反映自然界的科学理论也应该是和谐的.一种理论可能已经具有某些重大的实用价值,但在理论上还潜在着某些不和谐的因素,那必定没有穷尽未知世界的全部特征.韦伯理论就是如此,麦克斯韦通过对其进一步探索、改造和扬弃,建立了和谐的电磁场理论.反映了他科学的自然观和研究自然的科学方法.

麦克斯韦电磁场理论的建立,实现了物理学史上的第二次大综合,自然界的统一、联系和转化是这一理论的核心思想.我们去研究他的科学思想和方法,完全是为了指导我们今后的学习和工作,为我国乃至世界的科技进步作出应有的贡献.