

微观纵览

W E I G U A N
Z O N G L A N

郑志鹏 江向东 ◆ 著



GUANGXI NORMAL UNIVERSITY PRESS

广西师范大学出版社

WEIGUAN

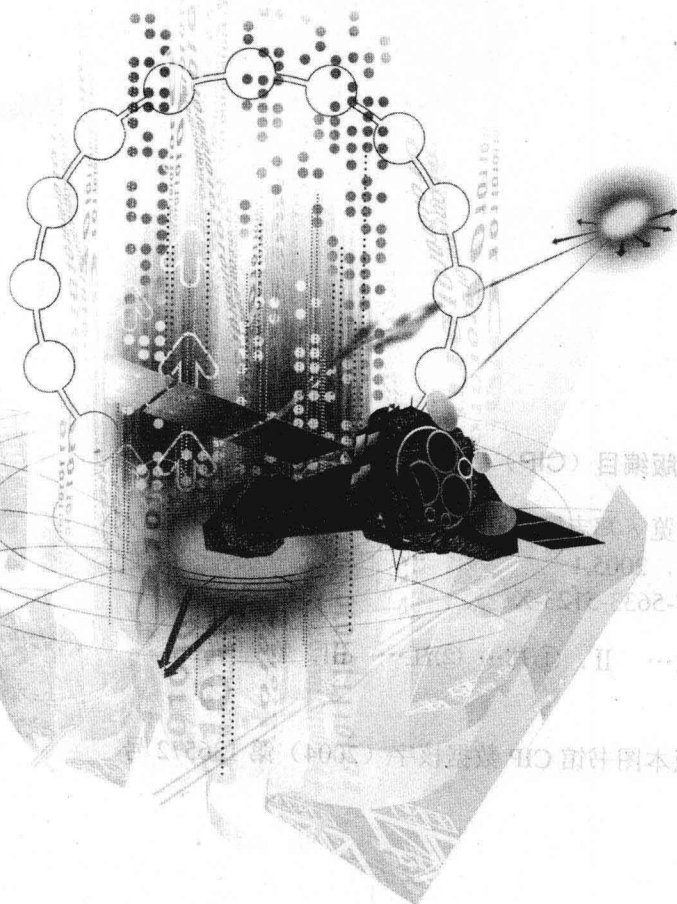
郑志鹏 江向东◆著

ZONG LAN

微观纵览

桂林

广西师范大学出版社



图书在版编目 (CIP) 数据

微观纵览 / 郑志鹏, 江向东著. — 桂林: 广西师范大学出版社, 2005.1

ISBN 7-5633-5123-X

I. 微… II. ①郑… ②江… III. 物理学
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 136572 号

广西师范大学出版社出版发行

(广西桂林市育才路 15 号 邮政编码: 541004)

(网址: <http://www.bbtpress.com>)

出版人: 肖启明

全国新华书店经销

桂林日报印刷厂印刷

(广西桂林市八桂路 2 号 邮政编码: 541001)

开本: 720 mm × 960 mm 1/16

印张: 12.25 插页: 4 字数: 175 千字

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

定价: 16.80 元

如发现印装质量问题, 影响阅读, 请与印刷厂联系调换。



内 容 简 介

本书用通俗易懂的语言,深入浅出地介绍了20世纪物理学的两大基础理论即相对论和量子力学的发展脉络。本书材料翔实,见解独到,能切实反映科技前沿的研究成果和发展趋势。此外,本书还揭示了认知过程的深刻内涵,诸如思维方式、研究方法和创新思想等启人心智的东西。本书既有文献价值,又有现实指导意义,兼具提高和普及两种功能。适合大学生、研究生和中、高级干部阅读,也可供广大物理学爱好者研习或者鉴赏。

作者简介



郑志鹏

郑志鹏同志,研究员、博士生导师、高能物理实验物理学家、原中国科学院高能物理研究所所长。1940年6月生于广西桂林,1963年毕业于中国科学技术大学近代物理系。大学期间曾受教于赵忠尧、张文裕和关肇直等著名科学家。大学毕业后在中国科学院原子能研究所工作,在赵忠尧指导下进行原子核实验研究,积累了有关核探测器和实验方法方面的经验。

1978年1月,郑志鹏同志被选送到德国汉堡丁肇中实验组工作和学习,很好地完成了大面积闪烁计数器的研制和建造任务,受到世界著名科学家丁肇中的好评。他还有幸参与了著名的作为胶子存在证据的“三喷

注的发现”的实验研究。1979年6月回国后,致力于将大型高能粒子探测器的技术移植到中国的工作,首次用国产材料和光电倍增管建成大面积闪烁计数器,并建成高时间分辨率的飞行时间计数器。

1985年至1986年,郑志鹏同志应邀作为访问学者在日本高能物理研究所(KEK)从事研究,参加了AMY探测器的设计和建造,首次成功地将BaF₂晶体用作亮度监测器,这些贡献都受到了AMY国际合作组的赞许。郑志鹏自日本回国后,负责北京谱仪(北京正负电子对撞机的探测器)的建造工作,和近百位同事一起成功建造了一台具有国际先进水平的高质量谱仪,成为1991年国家特等科技进步奖的获得者之一。1992年,他领导了一个科研小组,在北京谱仪上成功地进行了 τ 质量的精确测量,为检验轻子普适性是否成立起了决定性作用。该项实验被认为是1992年前后最重要的高能物理实验成果,被评为1995年国家自然科学二等奖(他排名第一)。他还为以后在北京谱仪上所取得的一系列成果,如 $\zeta(2\ 230)$ 粒子的确认和衰变道的发现, Ψ' 的新压抑衰变模式的发现等作出了很大贡献。

自1990年以来,郑志鹏多次应邀在国际高能物理学会上作报告。他是1990~1996年国际纯粹和应用物理学会会员,从1998年起任亚洲未来加速器委员会主席(两年一届),他还是纽约科学院院士。1995年,他作为组织委员会主席,成功地在北京举办了1995年国际轻子光子会议(与会者近千人),得到国际上的好评,为中国高能物理进入国际科学界作出了巨大贡献。

郑志鹏1992~1998年任高能物理所所长,除了继续从事科学研究工作以外,还负责全所的管理和组织工作,并兼任中国物理学会副理事长。自20世纪70年代以后,郑志鹏相继在《物理评论快报》、《物理通讯》、《科学》、《核物理》、《现代物理通讯》、《物理学报》、《高能物理与核物理》、《核电子学与探测技术》和《核仪器与方法》等国内外期刊上共发表论文120余篇;参与了《粒子物理与实验方法》和《现代科学技术基础知识》专著的写作;还出版了三本科普书籍并发表了许多篇科普文章。

作者简介



江向东

江向东同志,中国科学院高能物理研究所副研究员、《现代物理知识》副主编、中国物理学会科普工作委员会委员。1950年9月出生于安徽省望江县。1976年毕业于中国科学技术大学近代物理系。大学毕业后被分配到中国科学院高能物理研究所,从事粒子物理的理论研究。1987年9月到1989年4月赴加拿大国家原子能研究中心(TRIUMF)理论组做访问学者;1992年12月到1993年2月赴位于意大利里雅斯特市的国际理论物理中心(ICTP)进行协作访问。从1994年起,兼任《现代物理知识》编辑部主任。

江向东同志醉心于粒子物理理论的研究工作,对高能物理前沿富有

吸引力的课题,包括大统一理论、超对称杨-密尔斯有限理论、标准模型的精确检验和超越标准模型进行了深入的探索,先后写成40多篇有关上述课题的论文,分别刊登于《物理通讯》、《物理评论》、《物理学杂志》、《新实验》、《理论物理通讯》、《高能物理与核物理》和《研究生院学报》等国内外著名期刊上。

从1983年在《高能物理》上发表介绍“中微子振荡”的文章起,江向东同志就一直注意在科普方面多尽自己的职责。20多年来,他先后撰写和编译的通俗研究报告和科普文章120余篇,分别在《现代物理知识》、《知识就是力量》、《科学》、《自然杂志》、《物理教学》、《物理通报》、《百科知识》、《科学生活》、《科学画报》、《中国科技史料》、《中学生》、《科技日报》、《科学时报》、《中国教育报》、《中华读书报》、《中国合作新报》和《卫生科普报》等20多种期刊和报纸上发表。还出版了多部科普图书。其中译著《迷人的科学风采——费恩曼传》于2000年5月获第四届全国优秀科普作品二等奖,《未来的微观世界》、《量子幽灵》和《场中迷梦》同时获三等奖,《最新科学报告》于2003年9月获第五届全国优秀科普作品二等奖,《朦胧的量子世界》、《微观绝唱:量子物理学》、《睿智神工:基本粒子探测》、《世纪辉煌——诺贝尔科学奖百年回顾》同时获三等奖。

江向东同志是一位科学的崇奉者和文学爱好者,又是一个乐观豁达的积极生活者。因此,他特别注意用科学的思维方式审视社会生活,思考人世真谛,把对科学的推崇和对生活的热爱这两种情感融汇在一起。由此他开辟了新的研究和写作途径,用诗歌和散文的形式为之讴歌,先后写出20多篇这样的作品,分别发表在《词刊》、《环球》、《五月风》、《五月诗潮》、《世纪之声——中国行业金曲》、《中国青年》、《野菊花词刊》、《北京晚报》和《青年文摘》等书刊报纸上。正如他在“人生之歌”中所写的:“沿着年代的阶梯,编织生活的装璜。一步一缕希冀,一步一幅新奇!”

第一章 经典物理学的巅峰 · 1

- 一、 经典时空观和经典力学 · 1
- 二、 物理学的巨笔——麦克斯韦
电磁场理论 · 4
- 三、 以太假说 · 7

第二章 狭义相对论 · 11

- 一、 狭义相对论的两个基本原理 · 11
- 二、 相对论力学中的质能关系 · 14

第三章 物质结构的哲学思辨 和科学初探 · 17

- 一、 为什么要研究物质结构 · 17
- 二、 古代人设想的“原子” · 21
- 三、 道尔顿和原子论 · 24
- 四、 对分子的认识 · 28
- 五、 元素周期表的奥秘 · 31

第四章 量子力学史话 · 34

- 一、 第一个基本粒子——电子 · 34
- 二、 从黑体辐射出来的新奇 · 37
- 三、 爱因斯坦和光子 · 41
- 四、 玻尔与原子结构 · 45
- 五、 德布罗意波 · 48
- 六、 泡利和不相容原理 · 51

第五章 粒子物理的前沿 · 55

- 一、 “盘古开天”新故事 · 55
- 二、 盖尔曼和夸克模型 · 59
- 三、 夸克颜色的发现 · 62
- 四、 格拉肖和粲夸克 · 71

五、两度辉煌的中微子 · 74

六、三代夸克和轻子 · 83

七、重轻子理论的先驱

——蔡永赐 · 85

八、传递力的粒子 · 89

第六章 对世界的探索和思考 · 95

一、从对称性看世界 · 95

二、“CP 破坏”现象的新证据 · 103

三、从物质深层看物质 · 107

四、弦上的世界 · 110

五、有反物质世界吗? · 116

六、什么是磁单极子 · 119

七、终极理论之梦 · 122

第七章 物理实验和实际应用 · 127

一、粒子加速器 · 127

二、粒子探测器 · 129

三、天外来客——宇宙线 · 131

四、奇妙的超导电性 · 134

五、蒙特卡罗模拟 · 137

六、人造小太阳——受控核聚变 · 140

七、能看到原子的显微镜 · 146

八、能照亮月球的激光 · 149

九、用中子揭开恐龙灭绝之谜 · 153

十、粒子手术刀 · 157

十一、玻色—爱因斯坦凝聚 · 160

十二、重睹宇宙初生的图景 · 169

十三、北京正负电子对撞机的物理
研究和发展 · 172

尾声:让思想跟上科学技术的进步 · 182



第一章

经典物理学的巅峰

20 世纪以前的物理学,即相对论和量子力学建立以前的物理学,通常被叫作经典物理学。19 世纪后期的经典物理学已发展到非常完美的阶段。经典物理学中的两门主要学科——经典力学和经典电磁学,在物理概念和数学表述上则更为系统和优美,成了整个自然科学赖以发展的理论基础。

一、经典时空观和经典力学

在物理学中,为了描写物体的运动,总要选择一个计算系统即参考系。参考系应该理解成一个坐标系以及固定在里面的一把量尺和一个时钟。量尺用来测量物体的位置,时钟用来指示运动进行的时间。为了不使问题复杂化,人们总是希望选择这样的参考系,其中时间和空间都是均匀的、各向同性的。这种时空被称作“平直时空”。显然,如果时空只是一个空架子而与物质和运动没有联系,那么时空会是均匀的、各向同性的,而且时间独立于空间流逝。这就是伽利略—牛顿时空观,与之相联系的是欧几里得空间。如果在这个空架子中放进光的运动,由于光的运动必

须在时间和空间中进行,因此时间与空间产生了密切的联系,而不再是彼此独立的了,但实验证明这种时空仍然是均匀的、各向同性的。这就是爱因斯坦狭义相对论的时空观,与之相联系的是闵可夫斯基空间。这种时空观的建立突破了经典力学的伽利略-牛顿时空观。这一突破与量子力学对经典物理学的突破被并称为近代物理学的两次大突破。再进一步,

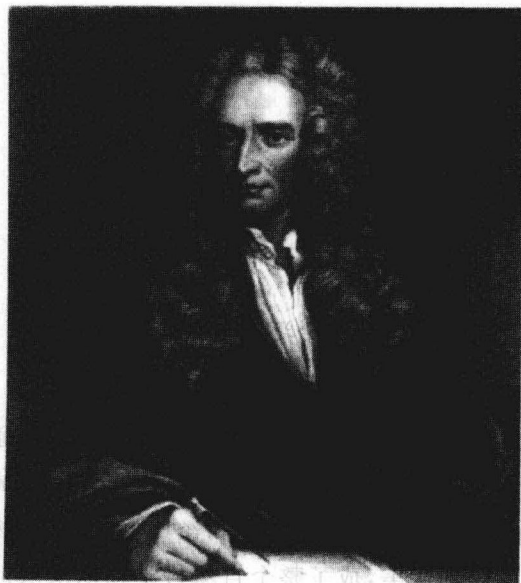


图1 艾萨克·牛顿

在已放进光的运动的时空架子中再放进一个有质量的物质,则时空立即被拉弯,变得既不均匀又不各向同性了。这就是广义相对论的时空观,与之相联系的是黎曼空间。近代时空观的发展就是从欧几里得时空到闵可夫斯基时空再到黎曼时空的发展,也就是从平直时空到弯曲时空的发展。由于物体运动总是在时空中进行的,时空中不可能没有物质,所以平直时空具有一定的局限性和近似

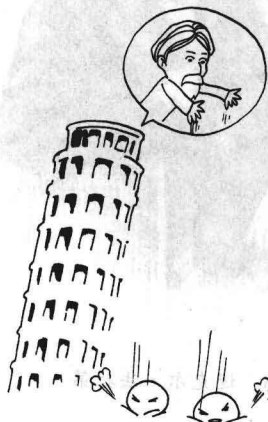
性。不过,在引力效应可以略去或某种条件下,平直时空仍然具有很高的精确性,因此它的应用范围仍然很广。

1687年,牛顿在《自然哲学的数学原理》一书中把动力学基本原理归纳为牛顿三定律。牛顿第一定律又称为惯性定律。这条定律是说,一个不受力的物体,可以依靠而且仅仅依靠本身的惯性进行运动。通常将静止或匀速直线运动称为惯性运动。因此,人们自然会提出一个问题:是否对任意选择的参考系,惯性定律都是正确的呢?答案是否定的,因为只有在特殊的参考系中惯性定律才成立。事实上,当选取转动坐标系或加速坐标系来描述物体的惯性运动时,就必须引入虚构的惯性力来修正惯性定律。于是人们给惯性参考系下了这样一个定义:惯性定律成立的参考



系称为惯性系。由于惯性定律是从大量实验中概括出来的,因此实验事实断定有这样的参考系存在。惯性系以牛顿第一定律为依据而区别于其他参考系,它最初被认为具有异乎寻常的优越地位。对于建立时空观来说,最重要的是惯性定律,其弱点是理论上的如下循环论证:根据物体不受力,才知道它做惯性运动;根据物体做惯性运动,才知道它不受力。根据惯性定律可以确定惯性系的存在,然后在惯性系中可以建立牛顿第二定律和第三定律。因此惯性系又可定义为:牛顿三定律成立的参考系叫作惯性系。

惯性系的存在毋庸置疑,但究竟有多少个呢?这个问题使人们注意到伽利略相对性原理。早在1632年,伽利略在总结大量力学实验的基础上提出:“在一个力学系统内部所做的任何力学实验,都不能确定系统的匀速直线运动。”或者说:“整个力学系统的匀速直线运动,并不影响系统内部力学过程的进行。”这句话在论证上,可以这样说,如果有影响,就可以根据这个影响来确定系统的匀速直线运动,这就与前一句不符合。因此,“任何力学系统总结的力学规律形式都相同”。这就是伽利略相对性原理,也叫力学的相对性原理。根据这个原理可以推测下列命题的有效性:“如果 K 是惯性系,则相对 K 做匀速直线运动的参考系 K' 也是惯性系。”因此客观上存在无穷多个惯性系,“所有的惯性系在力学上都是等效的”。也就是说,“在所有的惯性系中,力学规律的形式都相同”。可见,在无穷多个惯性系中,没有一个是优越坐标系。在19世纪末叶,牛顿定律对一个“绝对坐标系”的需要,已经被一组完全等价的惯性系所替代。



在欧几里得空间两个惯性系之间的时空变换,称为伽利略变换。在伽利略变换下,时间是绝对的,称为牛顿的“绝对时间”;匀速直线运动的尺度和时钟也不发生变化,或者说时间间隔和空间间隔都是绝对的,它们在不同的惯性系都有相同的数值,都是伽利略不变量。牛顿方程在伽利略变换下形式不变。还需要留意的是,物体在两个惯性系中的速度是不同的,它们遵循伽利略速度变换公式,这与后面

图2 伽利略的研究风格

要说的相对论中的光速不变原理大不相同。

牛顿力学是以质点为对象,着眼于力的概念,在处理质点系统的问题时,必须分别考虑各个质点所受的力,然后推断整个质点系统的运动。1788年,法国科学家拉格朗日在前人工作的基础上,出版了《分析力学》这部书,给出了拉格朗日方程,开辟了力学研究的新途径。分析力学处理问题时是以整个力学系统为对象,着眼于能量概念,引进广义坐标和广义速度来描述整个力学系统的运动。1834年,英国科学家哈密顿指出了力学的一条基本原理即哈密顿原理,并且建立了哈密顿方程,即以广义坐标和广义动量为基本变量的动力学方程组。再加上雅可比和泊松等人的工作,使得分析力学臻于完善。牛顿力学多采用直观的几何方法,在解决简单的力学问题时较为方便。而分析力学多采用抽象的分析方法,在解决复杂的力学问题中则优势明显。由于分析力学所涉及的概念和方法具有一般性和普遍性,因此它在统计物理学和20世纪才建立的量子力学等理论物理学科中得到了广泛的应用和深入的发展。

二、物理学的巨笔——麦克斯韦电磁场理论

随着经典力学的辉煌发展,19世纪中叶的电学和磁学也因安培、奥斯特、欧姆、法拉第、韦伯和威廉·汤姆逊(即开尔文勋爵)等科学家的杰出贡献而取得一系列重大成果。在此基础上,苏格兰物理学家麦克斯韦(1831~1879)综合和提炼前人的研究结果,并在物理概念和数学表述上加以引申和发展,建立了著名的麦克斯韦方程组。麦克斯韦电磁场理论的建立,是19世纪物理学中最伟大的成就。



图3 迈克尔·法拉第



图4 詹姆斯·麦克斯韦

1865年,麦克斯韦在第三篇论文“电磁场的动力学理论”中明确指出:“我所提议的理论可以称为电磁场的理论,因为它必须涉及电体或磁体附近的空间;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。”他还指出:“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。”他从各个角度阐明了电磁场的物理思想和科学涵义,并凭借深厚的数学功底来实现数学

表述,建立了一个完备、系统和严密的电磁场理论。他将这些研究成果总结在1873年出版的《电学和磁学理论》这部经典著作中。

麦克斯韦从1854年开始涉猎电磁学,1855年至次年(当时常常一篇论文分几个部分先后发表)就完成了第一篇论文“论法拉第的力线”。他将法拉第的力线概念作了新的数学表述,把法拉第的方程式改写成了微分方程。这篇论文的一个最重要的贡献,是从法拉第大量的文字叙述中提炼出矢量势的概念,并建立了感应电场与这个矢量势的时间改变率相关联的方程。矢量势的名称是后来才有的,当时麦克斯韦称其为“电亢奋函数”,在此之前只有威廉·汤姆逊把这个有三个分量的量叫作“三个函数”,而法拉第说的“电亢奋态”实际上不是矢量势本身,而只与这个量的时间导数有关。麦克斯韦的第二篇论文“论物理的力线”完成于1861年及次年。这篇文章最重要的贡献是提出了“位移电流”的概念。实验证明,像电流以涡旋的方式激发磁场一样,在电场变化时,也同样以涡旋的方式在电场周围激发磁场,因此电场变化激发磁场的作用等效于电流。麦克斯韦把这种等效电流称作“位移电流”。引进位移电流的概念后,麦

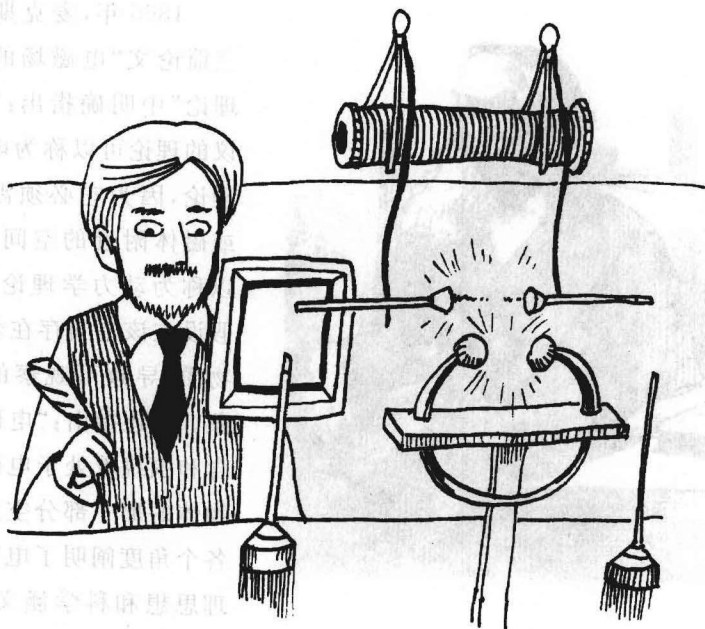


图5 赫兹实验发现电磁波

克斯韦得到两个基本的微分方程和电荷守恒定律(其数学形式叫作电流连续性方程)。需要说明的是,位移电流只在激发磁场这一性质上与寻常电流相似,其余性质则完全不同。由于变化的电场在其周围激发磁场,而变化的磁场(也称位移磁流)在其周围也激发电场,因此在任何地点发生的电磁扰动,都会自动地激发起邻近地点的电磁场,形成新的电磁扰动。这种新的扰动又自动地激发起更远处的电磁场,又形成更新的电磁扰动。如此循环继续,直到自动地激发起无穷远处的电磁场。总之,空间一点上的电磁扰动可以自动地传播到辽远的太空。而且,这种电磁扰动的传播是不依赖于电荷和电流而自动在时空中进行的。这一极为重要的事实说明,电磁场完全可以独立于电荷和电流而存在,而运动;电磁场是一种客观存在,与实物一样具有自己的运动形态和运动规律,并非是为了计算电荷和电流受力而引入的抽象概念。它的产生和发展固然要受外界条件的制约,但更本质的是取决于电磁场本身的转换规律。由此可见麦克斯韦引进的位移电流和法拉第电磁感应定律(位移磁流)在电磁场理论中的本质意义。



麦克斯韦方程组不仅统一地描述了电学和磁学,还深刻地揭示了光的电磁本性。光在真空中的传播速度,在 19 世纪 60 年代就已被大量实验相当精确地测定了,它为 3×10^8 米/秒。而麦克斯韦方程组中有个常量 c ,它代表电磁波的传播速度。当实验测量结果给出 c 也等于 3×10^8 米/秒,即电磁波的速度与光速相等时,麦克斯韦才意识到他的方程组也描述了光的行为。1864 年,他写道:“这个速度如此地接近光速,以致看起来我们有足够的理由得出结论:光本身就是一种电磁扰动,它遵循电磁场理论,以波的形式通过电磁场传播。”光就是电磁波(是一种波长极短的电磁波)的这一理论预言,后来完全被赫兹的实验所证实。并且,几乎所有的光学现象都可以由电磁学理论来阐明。认识到光的电磁本性,是 19 世纪物理学最重要的成就之一,也是物理世界统一性的有力证明。麦克斯韦方程组的建立,是自牛顿万有引力定律发现以来体现科学上最高度统一的理论成就。同时也表明,世界运作的真实情况,并不经常显现在形象直观的物理图象中,却往往隐藏在抽象的方程式后面。

三、以太假说

在麦克斯韦方程组中出现一个常量 c ,不仅代表光速,而且居然是一个常量,这可是件奇怪的事情。作为光速,既没有说明产生光的物体即光源的运动有多快,又没有说明测光速的人是否在运动。这与传统力学中的速度概念并不相符。谁都有这样的常识,如果我们坐在一辆敞篷车里,车以 50 千米/时的速度沿直线行驶,有人从车内以 5 千米/时的速度向车的正前方抛出一个小球,那么,我们会根据伽利略速度变换公式很容易地算出小球相对地面的速度是 55 千米/时。可是,麦克斯韦方程组似乎表明,如果我们坐在同一辆车里打开车前灯,灯光的速度相对于车子是 c ,而且相对于地面也是 c ,而不是 $(c+50)$ 千米/时! 由于麦克斯韦方程组中只有唯一的常量 c ,为了避免使用伽利略变换公式,那只能认定一个参考系是有效的,就是说灯光的速度只能相对于车子,而不能参照其他任何东西。

这等于说,麦克斯韦方程组只可能在一个特殊的惯性系里才是正确的。这又回到了牛顿力学当初对绝对静止的“绝对坐标系”的要求。按照