

现代自然科学基础的哲学和数学反思

# 量子力学形式逻辑 与物质基础探析

Exploration into the formal logic and material foundation  
of quantum mechanics

(中册)

杨本洛 著

上海交通大学出版社

现代自然科学基础的哲学和数学反思

---

# 量子力学形式逻辑 与物质基础探析

中 册

Exploration into the formal logic and material foundation  
of quantum mechanics

上海交通大学出版社

## 内 容 简 介

中册是全书的第三部分,属于“电动力学”讨论的范畴。与量子力学不同,内心希望“直接表述相关经验事实”的经典电磁场理论在哲学上是合理的,但是,由于大量基元概念认识不当、若干数学推导的失误以及相关数学基础尚未解决,Maxwell 位移电流、Lorentz 规范或 Coulomb 规范等仍属“独断论”的错误认定,不仅导致 Maxwell 基本方程逻辑失当和无法求解,至今无法区分“电磁场”和“电磁波”两个不同的物理学概念,还导致完全悖谬的“相对论”出现;而且,量子力学建立在“独断论”上的无理状况仍是经典电动力学逻辑紊乱的必然。根据以上认定,较为系统地讨论了相关“定解问题”的恰当构造,重新建立了电磁场和电磁波基本方程,从而为求解诸如“光线弯曲”等物理现象提供了可靠途径。

本书可供从事物理学、数学和哲学研究的基础科学工作者以及相关工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

量子力学形式逻辑与物质基础探析 / 杨本洛著. —上海:  
上海交通大学出版社, 2006  
ISBN 7-313-04302-3

I. 量... II. 杨... III. ①量子力学-形式逻辑-  
研究②物质-研究 IV. ①O413.1②B021

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 024443 号

### 量子力学形式逻辑与物质基础探析

(上、中、下)

杨本洛 著

上海交通大学出版社出版发行

(上海市番禺路 877 号 邮政编码 200030)

电话:64071208 出版人:张天蔚

常熟市文化印刷有限公司印刷 全国新华书店经销

开本:787mm×1092mm 1/16 总印张:76.5 总字数:1502千字

2006年9月第1版 2006年9月第1次印刷

印数:1-1200

ISBN 7-313-04302-3/O·190 定价(共三册):248.00元

版权所有 侵权必究

# 目 录

## 中 册

### 第三部分 经典电磁场理论及经典电动力学的一般反思

第 8 章 电磁场经验事实的重新陈述	3
8.0 质疑经典电磁场理论的“大概”纲要	4
8.1 静电场	7
8.1.1 Coulomb 定律及其定义域	7
8.1.2 电场 $E$ 的引入及其经典表述	8
8.1.3 静电场经典描述中的认识歧义及其澄清	9
8.1.4 静电场“状态”和相关“定解问题”的恰当构造	14
8.2 静磁场	17
8.2.1 经典陈述中的电流元和电荷守恒定律	18
8.2.2 经典陈述中的 Ampere-Biot-Savart 公式以及磁场 $B$ 的引入	18
8.2.3 静磁场散度和旋度的“经典分析”以及相关陈述存在条件的重新探讨	20
8.2.4 Ampere 定律的限定条件	22
8.2.5 静磁场定解问题的恰当构造	23
8.2.6 电流元以及静磁学基本约束条件的重新确认	25
8.3 经典电磁场理论的物质基础和构造性特征	30
8.3.1 经典电磁场理论的研究对象及其物质基础	31
8.3.2 经典电磁场理论隐含的限制条件	32
8.3.3 电荷密度“可能”诱导的电流	33
8.3.4 电流密度“可能”诱导的电荷	34
8.4 Faraday 电磁感应定律的重新表述	36
8.4.1 电磁感应定律	36
8.4.2 Lenz 定律的物理本质和形式陈述中的逻辑倒置	38
8.4.3 Faraday 修正表述的“能量”分析法	41

8.4.4	Faraday 电磁感应定律与 Biot-Savart 定律之间的逻辑关联	42
8.5	经典电磁场理论中“位移电流”的重新认定	44
8.5.1	经典“位移电流”的重新定义及其演绎推导	45
8.5.2	两种推导“位移电流”的修正方法及其逻辑不当分析	49
8.6	Maxwell 方程组的重新构造及其有限论域	56
8.6.1	Maxwell 方程组修正	57
8.6.2	经典电磁场理论的物质基础、基本特征及有限论域	58
8.7	电磁场能量分析的理性重整	62
8.7.1	经典 Poynting 理论及其存在的逻辑悖论	64
8.7.2	电磁场一般能量方程的重建	70
8.8	电磁场的逻辑主体及其理想化物质背景的认定	82
8.8.1	关于电磁场逻辑主体的若干质疑	82
8.8.2	单粒子系统的运动学状况及其描述	83
8.8.3	多粒子系统及其运动学状态的描述	88
8.8.4	电磁场形式表述系统“物理表述空间”的重新确定	90
8.8.5	电磁脉冲	93
8.9	关于电磁学量 $D$ 和 $H$ 独立性问题的探讨	94
8.9.1	经典电磁场理论中的 $D$ 和 $H$	95
8.9.2	电磁学量 $D$ 和 $H$ 可能具有的独立意义及其物质基础	96
	结束语	97
<b>第 9 章</b>	<b>19 世纪电磁学研究的历史回顾</b>	<b>103</b>
9.0	自然科学研究的物质基础与“类别”分析隐含的逻辑悖论	103
9.1	Maxwell 原创性工作的一般反思	106
9.1.1	“场”的无形与简单“类比”中的形而上学	106
9.1.2	构造 Faraday 电磁感应定律中的疏忽	109
9.1.3	“位移电流”构造中的逻辑失当	113
9.1.4	简单“比拟”必然隐含的逻辑不相容问题	114
9.2	Maxwell 电磁理论不足的重新认识和 Lorentz 电子论	116
9.2.1	Maxwell 电磁理论中电荷和电流的“实在”性	117
9.2.2	形式系统及其逻辑主体的重新划分	117
9.2.3	“力”不属于电磁场和能量分析的本质意义	120
9.2.4	“电磁场和源”的统一性问题以及“外场和内场”的重新辨析	121
9.3	Poincare 的“协变性”原理及其隐含的伪科学	122
9.3.1	现代物理学中“协变性”原理的大概界定	123
9.3.2	Poincare 构造相对性原理的历史背景及其认识渊源	124
9.3.3	Galileo 小船运动图景中的一种“过分平凡”真实	127
9.3.4	“坐标系”和“参照系”的根本差异以及科学陈述必需的 “客观性”原则	132



9.3.5	协变性原理的认识颠倒 .....	134
9.3.6	物质运动“客观性”原则与一般物理学陈述中“相对运动” 辩证统一的补充陈述 .....	137
9.4	Einstein“相对论”的悖谬 .....	139
9.4.1	“校钟”操作性定义中蕴涵的“不唯一性”问题 .....	141
9.4.2	“相对论”时空变换所构造的逻辑循环结构 .....	143
9.4.3	光速“基本量”蕴涵的逻辑倒置 .....	144
9.4.4	“原时和钢尺”与“时空变换”的逻辑悖论 .....	146
9.4.5	Lorentz 变换的“空群”结构和反常叙述 .....	149
9.4.6	伪 Minkowsky 空间的“量纲”紊乱和对于“空间结构”的逻辑否定 .....	150
9.4.7	孪生子佯谬 .....	151
9.4.8	“Einstein 时间膨胀”和“Lorentz 长度收缩”所构造的逻辑悖论 .....	153
9.4.9	“相对论”否定性论证中的“季颢”思维实验模型 .....	159
9.4.10	运动光源光信号的“观察性”描述 .....	163
9.5	对真理和正义充满“病态爱”的 Einstein .....	168
9.5.1	Einstein 的真理标准及其自悖性 .....	170
9.5.2	自然科学研究真理标准的重新探讨 .....	172
9.5.3	关于物质世界基本模式的探讨 .....	177
9.5.4	Einstein 悲剧 .....	179
9.5.5	自然科学发展中“承继性批判和批判性继承”的辩证统一 .....	180
<b>第 10 章</b>	<b>场分析数学基础若干问题反思 .....</b>	<b>186</b>
10.1	双旋度 Poisson 方程 .....	188
10.1.1	一般背景介绍 .....	188
10.1.2	双旋度 Poisson 方程的积分表述 .....	192
10.1.3	双旋度 Poisson 方程内蕴的欠定特征和矢量势散度任意 假设的自适应性 .....	196
10.1.4	双旋度 Poisson 方程的势分析 .....	198
10.1.5	双旋度 Poisson 方程的边值问题及其基本特征 .....	201
10.1.6	另一个独立定解问题的提出 .....	203
10.2	用一对任意标量场和无散向量场作为散度和旋度表述向量场的问题 .....	206
10.2.1	用散度和旋度表述向量场的命题 .....	207
10.2.2	经典唯一性定理与相关的悖论性推论 .....	210
10.2.3	唯一性条件的逻辑判断 .....	215
10.2.4	重新构造的边界条件的合理性验证 .....	218
10.2.5	用散度和旋度表述向量场的积分表述 .....	219
10.3	向量场求散求旋的“逆”运算问题 .....	220
10.3.1	向量场求散求旋逆运算的数学表述 .....	221
10.3.2	经典陈述中的超定问题 .....	222

10.3.3	广义 Robin 边界条件的提出和构造可解积分方程的一种途径	222
10.3.4	构造积分表述的另一种途径以及求散求旋逆运算与用散度和旋度表述向量场之间的逻辑相容性	226
10.4	双旋度微分算子构造的波动方程	228
10.4.1	相关数学基础简单回顾	228
10.4.2	无界域中的“一般”波动方程	230
10.4.3	双旋度波动方程定解问题的基本形式	232
10.4.4	无界域中的双旋度波动方程	233
<b>第 11 章</b>	<b>电磁场数学模型的恰当构造</b>	<b>235</b>
11.1	静电场定解问题的再分析	238
11.1.1	静电场定解问题的构造	238
11.1.2	若干问题讨论	238
11.2	静磁场定解问题的再分析	243
11.2.1	静磁场理论“一般背景”回顾	243
11.2.2	静磁场“原始模型”的恰当构造	245
11.2.3	静磁场分析中若干需要注意的问题	246
11.2.4	静磁场“修正模型”的提出	252
11.3	电磁场一般动力学方程“经典分析”反思	254
11.3.1	Maxwell 经验方程蕴涵的结构悖论	255
11.3.2	电磁场理论一般动力学方程“经典构造”简介	257
11.3.3	一般动力学方程经典表述中的逻辑不当	259
11.3.4	经典“规范变换”蕴涵的一系列逻辑悖论	265
11.4	电磁场理论一般动力学方程的理性重构	274
11.4.1	形式系统自变量的重新确认	277
11.4.2	电磁场理论一般动力学方程的构造	280
11.4.3	电磁波特征的一个附加分析	288
11.4.4	动态电磁场定解问题的恰当构造	291
11.5	电磁波物理基础的初步探询	295
11.5.1	电磁场与电磁波	295
11.5.2	电磁波“弯曲迹线”问题的提出	300
11.5.3	电磁扰动的“传播”过程	301
11.5.4	电磁扰动的一个“近似”方程	302
11.5.5	大空间域中的电磁波传播	303
11.5.6	如何为电磁波“迹线”构造一般性“变分原理”的大概思考	305
<b>第 12 章</b>	<b>经典电动力学的若干反思</b>	<b>311</b>
12.0	引言	314
12.0.1	关于“经典电磁场理论”、“经典电动力学”和“量子力学”	

的通常认定·····	314
12.0.2 对电动力学一般认定的大概评述·····	316
12.1 关于带电粒子激发电磁场的经典陈述及其批判·····	318
12.1.1 推迟势·····	319
12.1.2 运动点电荷的 Lienard-Weichert 势·····	326
12.1.3 运动点电荷的电场和磁场·····	330
12.1.4 加速带电粒子激发的电磁辐射·····	334
12.1.5 关于电动力学经典陈述的综合评述·····	335
12.2 带电粒子激发电磁场的再分析与相关形式系统的重新构造·····	338
12.2.1 带电粒子激发电磁场若干前提概念的重新认定·····	339
12.2.2 经验方程和相关形式量的重新认定·····	348
12.2.3 运动中带电粒子对电磁场矢量势的影响·····	351
12.2.4 运动中带电粒子对电磁场标量势的影响及其思考·····	353
12.3 经典电动力学若干基本问题的澄清·····	354
12.3.1 经典电动力学“有限论域”的重新确认·····	358
12.3.2 运动中带电粒子激发电磁场的“动力学特征”及相关 “物理内涵”的重新认定·····	365
12.3.3 带电粒子运动分析中物质环境的理想化认定·····	369
12.3.4 带电粒子的“自作用”疑难·····	371
12.3.5 根据 Lorentz 变换构造 Lienard-Wiechert 势中存在的逻辑悖论·····	378
索引·····	382
附 勘误和补充说明·····	385



## 第三部分

---

**经典电磁场理论及经典电动力学的一般反思**

---

一位现代的科学哲学家在其著述中曾经雄辩地指出：当人们致力于扩展科学的边界的时候，更为迫切的是需要弄清其基础是否牢固，是否有倒塌的危险。这种历史性的批判工作，使得科学的全部结构更有条理、更为严格，同时揭示其偶然和约定的某些内容。不完成这种工作，科学不久便会蜕化为某种偏见的体系，其基本原理变成形而上学公理和教条。历史批判的目的是为了使科学更精确，使科学达到秩序、清晰和简化。对过去的研究，考察人类达到的每一个概念所克服的全部困难和牵涉到的全部错误，考虑概念产生的完整历史，才能够保证把握最根本的东西<sup>①</sup>。

自然科学的发展总是承上启下的，真实刻画了人类深化认识过程中一种“承继性批判和批判性继承”的基本特征。但是，人们可以发现：无论是 Einstein 的相对论，还是曾经遭受 Einstein 严厉批判，然而本质上恰恰是依循了 Einstein 的基本哲学理念而构造的量子力学，凭借不断杜撰“概念”以及断章取义地使用或者模仿经典理论中的某些“符号”系统，对于经典理论体系中可能存在的认识缺陷或者逻辑不当，它们都没有构成任何具有“科学意义”的修正和批判。

其实，人们至今不能回答“何为惯性系”的问题，不清楚 Maxwell 所提出“位移电流”假设的真正物理内涵，也不能理性回答为什么经典电磁场理论中形式存在的电流分布不能激发电场等一系列前提性的概念问题。

可以做出严格证明：为 Maxwell 所构造的经典电磁场理论，以及在此基础上构造的经典电动力学，无论在物理概念和形式逻辑两方面都存在一系列需要人们认真反思的问题。

---

<sup>①</sup> 引自乔治·萨顿所著《科学的生命——文明史论集》，商务印书馆，1987。

## 第 8 章 电磁场经验事实的重新陈述

其实,一旦像现代理论物理声言的那样只能放弃逻辑,放弃科学陈述必须严格遵循的逻辑相容性原则,试图借助改变概念内涵或者通过不断制造新的概念这样一种改变“语言系统”的方式,以构造一个满足局部经验事实的实验室数据系统,甚至直接将数学严谨性称之为自欺欺人或者将数学推导视为一种“有趣的游戏”,那么,无论是“相对论”还是基于同样理念所构造的“量子力学”,其中真正值得人们使用严格科学语言进行认真探讨的东西也就不多了。这样的,确可以像某些现代科学研究者所预言的那样:对于我们的孩子和孩子的孩子,量子力学的概念将成为一种常识,他们将明白其中没有什么需要弄明白的,而只需要作为一种简单而自然的思考方式来接受。当然,如果真的放弃了严格的科学思考,那么正如人们容易发现那样,在对某些现代科学陈述体系创建者不断“神化”的同时,似乎对于今天的每一个人都可以存在这样一种可能,即无需花费巨大劳动,完全不在于科学陈述必需的“语言规范”,仅仅凭借他们的兴趣和直觉“议论”和“创造”着自然科学。

但是,和依赖于形形色色“认识论”革命而存在的这些现代理论不同,在所有经典理论的研究中,总曾经心存一种真诚期待:希望能够严格遵循逻辑所蕴涵的“无矛盾性”原则。不过,也可以反过来说,经典理论在基本哲学理念和形式逻辑方面都远没有完备,并且正因为经典理论在基元概念的认定和相关形式逻辑上许许多多问题没有真正得到解决,甚至还没有为人们所发现,以至于现代科学在面对需要探讨更为复杂的物质世界时,最终只能违心地放弃了逻辑。

无疑,经过 Coulomb、Ampere、Faraday 等许多科学大师对电磁现象持续做出的开拓性探索,继而在这些前期性工作的基础上,为 Maxwell 最终构建的经典电磁场理论成为了 19 世纪物理学研究最为辉煌的成就。事实上,正是由于 Maxwell 的开创性工作才发现了电磁波,并且,为人类的整个现代物质文明提供了基础。

但是,人类对待自然的认识总处于逐次“广泛、深刻和准确”的递进状态之中。在这样一个自然的认识深化过程中,认识的不足乃至不当几乎是不可避免的。可以说,Maxwell 所构建的经典电磁场理论尽管十分新颖,乃至由于揭示了另一种完全不同“形式”物质世界的存在和建立了“属于”这个特定“理想化”物质对象的形式系统,从而在人类认识自然的历史进程中被赋予一种里程碑的意义。但是,这个理论体系远不像某些人所说的那样“深刻和完美”,甚至在如何认识“物质”这个前提性概念方面遗留下许多人们至今没有发现的认识困惑和逻辑紊乱。当然,从历史唯物主义的角度考虑可以更为恰当地说:因为那个时代“场分析”的数学工具远未完善,甚至场分析中某些相关的数学问题至今都没有得到真正有效解决,同时还因为那个时代的研究者对物质世界的认识远未达至现代科学理念中一种较为深刻的层次,所以如果这个陈述系统真的没有任何瑕疵乃至错误,倒应该被视为一种过分反常的历史真实。

当然,如果注意到诸如经典力学中那个虚幻的“惯性系”问题持续了两个多世纪却始终没有得到解决的情况下,那么,形形色色的认识不当的持续存在几乎是必然的。甚至可以认为,在现代自然科学发展历程中,一个至今没有得到很好解决的根本问题恰恰在于:人们尚未真正懂得如何以“辩证唯物主义”的科学态度对待那个被描述的“物质世界”的同时,同样不懂得甚

至不愿意以一种“历史唯物主义”的科学态度对待自然科学发展历程中出现的人物、事件与相关结论;还没有真正学会如何有效使用“逻辑自洽化”为核心内涵的“科学批判”武器;当然,还不可能知道如何建立仍然以“逻辑自洽化——形式系统与被描述理想化物质对象以及建立在不同理想化物质对象之上不同形式系统之间的严格逻辑相容”作为唯一判别基准的“科学论证”机制。正因为此,目前的自然科学世界实际上广泛存在“谁也不一定说服得了谁”,或者“谁都可以凭借自己的直觉和顿悟成为新 Einstein, Dirac”这样一种空前紊乱的局面<sup>①</sup>。

有关经典电磁场理论的完整分析超越了讨论量子力学所设定的范围。但是,量子力学实际蕴涵的形形色色无理性本质上源于经典电动力学中一系列前提问题没有真正得到解决,因此,仍然需要在探索“量子力学中的形式逻辑以及相关物质基础”这个属于现代自然科学体系中重大命题的同时,对经典电磁场理论中一系列的相关结论做出尽管简单,但是逻辑上仍然尽可能较为完整的论述<sup>[1]</sup>。

当量子力学面对一系列认识困惑最终只能将其归结为“到底何为物质”这样一种哲学命题的时候,关于到底何为物质的讨论同样几乎需要贯串于本书的整个讨论之中。

但是,此处仍然值得前提性地指出:经典电磁场理论在正确地将“电磁场”界定为物质世界的一种特定“存在形式”的同时,仍然出现了认识“绝对化”的不当倾向,即自觉或者不自觉地将“电磁场(以太)”界定为整个物质世界得以存在的一种“共同”的物质基础或者物质背景,而相应将粒子视为场的一种“激发”态。其实,这样一种曾经为笔者同样予以接受,将“物质场”视之为物质存在一种更为基本形式的认识并不恰当。

对于以“物质世界”作为特定研究对象的“自然科学”而言,即使仅仅从“形式逻辑”的角度考虑,也需要对被描述的那部分物质对象做出某种“前提性”的认定,从而承认物质世界所具“自存、自为”的基本特征。但是,与此同时,同样需要理性和逻辑地意识到:任何一种“特定形式”的物质存在仍然只存在于人们的“意识”之中,与被描述物质对象之间存在“永恒”差异。在这个意义上,人们可以合理指出不同物质存在形式,即“场和粒子”之间允许也必然存在着相互转换的问题。但是,这样两种理想化的物质存在形式只能“相对”存在,人们不能说其中的哪一个更为基本。

进一步讲,将连续充满某个空间的“理想化物质场”视为整个物质世界共同存在的基础同样不当,仍然属于“形而上学”的认识范畴。物质世界自身充满差异。因此,为许许多多的不同形式系统所抽象表现的“离散”特征,或许更能揭示丰富多彩物质世界所蕴涵“复杂性”和“不可分割性”相互并存的本质内涵。

## 8.0 质疑经典电磁场理论的“大概”纲要

在自然科学的所有陈述系统中,形式逻辑的紊乱与物理理念的认识不当,几乎必然成为一对互为依存的“孪生子”。考虑到经典电磁场理论属于整个理论物理中一个相对较为庞大的认识系统,并且,与 Newton 经典力学相比较时,需要相对较为复杂一些的数学表述形式,因此,值得对经典电磁场理论体系的重新认识先提出一个“大概”纲要。

粒子作为物质存在的一种理想化形式,它给人们一种视觉意义上明确和直接的认识。因此,对于表现粒子行为特征的 Newton 经典力学,人们对于它的认识和理解通常也总比较直

① 需要再次重申:笔者所述及的哲学理念仅仅属于以“物质世界”为特定研究对象这样一个相对简单得多的“自然科学”研究领域,并且,所有相关理念的存在基础仍然是一切“合理”陈述必须严格遵循的“无矛盾性”基本原则,并不涉及“人文科学”的范畴。并且,笔者强烈反对将“仁者见仁、智者见智”这样一种缺乏确定“判断基准”的人文科学理念引入自然科学研究,以掩盖目前自然科学体系中以“无视矛盾”和“放弃逻辑”为基本特征的这样一种“自否定结构”的普遍存在。

观,不会出现认识判断上的困难。但是,电磁场则不然。作为另外一种特定的理想化物质存在形式,电磁场不能为人们的感觉器官所直接感受,或者说,它的存在相对显得较为抽象。可以说,正源于此,对于这样一种理想化物质形式的基本特征的理性认识以及为其构造某种较为准确的形式表述的问题,其实至今也没有真正得以完成。与此对应,对于经典电磁场理论的认识也远未达至真正深刻的程度。

如果的确像许多研究者通常所说的那样,并且作为能够为大部分自然科学研究者普遍接受的一种基本认识:物理定律得以存在的基础只能是人们进行的各种科学实验,而人们习惯称作的不同物理定律,只不过相应揭示某一类理想化物质对象自身蕴涵的某种具有独立意义的抽象联系,而且,人们还确信一切真正有意义的合理科学陈述能够且必须彼此逻辑相容的话,那么,针对经典电磁场理论所构造的陈述体系,

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \\ \nabla \times \mathbf{B} = \mu_0 \mathbf{J} + \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t} \end{array} \right. \quad (8.0.1)$$

式中  $\rho, \mathbf{J}, \mathbf{E}, \mathbf{B}$  分别称为电荷密度、电流密度、电场和磁场分布,相应存在 8 个具有独立意义的标量方程。不难立即发现一些具有启示意义的问题,需要进行严肃反思:

(1) 在经典电磁场理论中,如果 Maxwell 作为一种假设所提出的“位移电流”的确是必需的,那么,对于形式系统中这个“不可缺省”的形式量而言,它得以存在的“物理基础”是什么,或者说,Maxwell 提出的位移电流到底本质蕴涵着怎样的“物质”内涵? 难道对于整个电磁场理论,位移电流真的只能作为一种纯粹“人为假设”的形式,十分反常地存在于这个陈述体系中吗?

(2) 包括经典电磁场理论在内的整个现代物理学都向人们指出这样一个基本事实:与处于静止状态中的电荷一样,处于运动状态中的电荷同样可以激发电场。但是,人们已知,在经典电磁场理论中,作为两个“基本物理量(自变量)”之一的电流,只要处于“恒定不变”状态就不能独立地激发电场,从而构成对“运动中电荷同样可以激发电场”这一普遍性结论的逻辑否定。因此,如果经典电磁场理论中“静止电流不能激发电场”同样可以被视为一种物理真实,那么,如何解释这种明显的逻辑悖论,或者如何为这个物理实在的真实存在提供某种可信的物理基础呢?

(3) 根据经典电磁场理论体系,电荷和电流被称为电磁场两个并存的“源”项,是它们“共同”激发了电磁场。因此,当人们借助于电磁场基本方程“描述”甚至形式地“定义”电磁场这样一种特定的“理想化”物质存在形式时,如果仅仅从形式逻辑考虑,电荷和电流被自然地界定为相关陈述系统的两个独立“自变量”,相应包含 4 个“独立”标量分量。但是,作为形式系统“因变量”存在的电场和磁场却存在 6 个独立标量分量。那么,应该如何解释这样一种明显存在的“逻辑不相容”现象呢?

(4) 在构造经典电磁场理论的一系列“经验”事实基础中,电荷和电流是作为两个完全独立的“可控制量”出现的。但是,在相关的形式系统中,以“自变量”形式出现的电荷和电流是否真的成为两个“独立”变量呢? 如果答案是肯定的,它们无需也不能满足电荷守恒定律的附加

约束;如果答案是否定的,那么,又如何理解经典电磁场理论中普遍应用于它们的电荷守恒定律呢?

(5) 当然,作为上述质疑的一个自然后继:如果仅仅存在包含 4 个独立标量分量的自变量,那么,相关的形式系统在逻辑上也只允许存在包含 4 个独立标量方程在内的控制方程组。在数学上没有完成“由向量散度和旋度反求向量场”问题之前,式(8.0.1)实际上隐含了 8 个标量方程。当然,如果仅从因变量考虑,也对应了 6 个标量方程。因此,如何对经典电磁场理论基本方程组中隐含了 8 个(甚至认为 16 个)独立标量方程的问题做出合理解释呢?而且,也正因为形式系统自变量与因变量之间的逻辑不相容,还存在 Maxwell 所构造的基本方程组实际上不可能求解的问题<sup>①</sup>。

(6) 正如 Einstein 意识到的那样,如果依据目前普遍存在的物理学理念,确认电流元与电荷元之间只存在具有“相对”意义的运动,于是,将这一运动分别置于电荷元之上与电流元之上时,相应出现对于电磁场完全不同的影响,那么,人们应该如何理解和认识由于“运动学参照系”无法确定而造成相关“物理学陈述”无法得以相应确定的问题呢?实际上,这正是许多严肃的电磁场理论著述所提出的:如何为整个形式系统所涉及的“运动学状况”构造一个恰当“参照系”这样一个需要予以前提性解决的根本问题,至今一直存在于电磁场理论之中<sup>②</sup>。

(7) 最后,再提出一个严格说来或许并不属于经典电磁场理论的问题,即如何认识为 Einstein 所否定的“以太(Ether)”是否存在的问题。其实,“以太”可以大概地视为对于电磁场的一种“习惯性”的称谓,其本质意义无非在于阐明电磁场仅仅作为一种“物质存在”形式必然蕴涵的“物质性”而已。同样,无论 Einstein 是否具有能力形成一种真正理性意义上的判断:否定“以太”的根本目的,也只是在于否定这种特定物质形式的存在,从而期望借助一个独立于任何“特定”物质存在形式的“时空观”革命,“普适”和“无条件”地去描述整个物质世界。因此,在目前大部分电磁场理论著述普遍承认电磁场作为一种特定物质存在形式,同时又以为只有依赖相对论提出的“时空观革命”才可能解释“电动力学”发展过程中的认识矛盾的时候,人们无法回避在这样一个基本理念上存在的前提性矛盾。

.....

显然,以上提出所有的质疑都真实地存在着,对于任何一个严肃的科学研究者而言都无法回避。或者说,人们不得不提出这样一个基本命题:不仅需要重新考虑能否将经典电磁场理论视为表现所谓宏观电磁现象的一种“普适”真理,即需要考虑这个陈述系统是否同样存在“逻辑前提、有限论域”这样一些涉及自然科学的一般性问题,同时,还不得不对整个经典电磁场理论体系的逻辑相容性,包括对这个陈述系统构建者在构造这个形式系统过程中曾经考虑的一切,重新进行深刻反思。事实上,任何一种真正科学意义的讨论或者科学批判,都必须使用严格的

① 宋文森先生在其著述中已经明确提出这一为许多研究者没有注意到的论断<sup>[14]</sup>。当然,除了形式系统自变量与因变量明显存在的不能逻辑相容问题以外,本书节 10.2“用一对任意标量场和无散向量场作为散度和旋度表述向量场的问题”的分析实际上也给出该经典方程组不可能求解的原因。

② 与这一理论体系中这一重大困难的长期存在本质地保持逻辑一致,在涉及“卫星通讯”等具体工程问题时,自然出现目前尚无法解决如何为其选择恰当“定位”基准,只能作“大概”数据拼凑的问题。当然,这一事实再次告诫人们:自然科学研究中不能回避“基元概念”中那些真实存在的前提性问题。尽管人们可能通过改变概念的方式,回避矛盾事实的真实存在,相应构造如 Heisenberg 所述,那些与“实验事实”一种“复现”式的简单数据系统,但是,一旦与实验事实存在某种实质性的“抽象”差异,需要面对一些较为复杂的物理现象,那些基础理论中原来没有解决的“前提性”问题将重新展现在人们的面前。

“科学语言”，即使用不产生任何认识歧义的“统一概念”和被赋予严格“逻辑关联”的形式语言。

## 8.1 静电场

在整个电磁场理论体系中，静电学(Electrostatics)需要考虑的问题属于这个陈述系统中一个最简单的部分，似乎没有任何需要进一步探讨的地方。但是，许多细心的读者或者研究者仍然可以发现：在如何准确认识静电场的“物质性”内涵，相关形式表述得以存在的逻辑前提等许多基本概念方面，不同电磁学著述中的相关陈述其实并不严格一致。实际上，往往正是这样一些看似“过分细微”的认识差异，却可能隐含对于某些物理“基元概念”理解的根本不当。

### 8.1.1 Coulomb 定律及其定义域

对于以物质世界为特定研究对象的自然科学体系而言，任何一个针对某特定“物质对象”所构造的形式系统，需要相应定义在另一个同样需要被赋予确定“物质意义”的“定义域”之中。一个没有确定定义域的形式表述，不仅在逻辑上不具完整意义，还必然在物理理念的理解上最终引起认识歧义。

作为整个电磁场理论中第一个为人们发现的“实验”定律，Coulomb 定律在形式上最为简单。对于“真空”中两个“静止”电荷，定义于其上的 Coulomb 定律为<sup>①</sup>

$$\mathbf{F} = \frac{QQ'}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r} \quad \mathbf{r} = \mathbf{x} - \mathbf{x}' \quad (\text{A})$$

该式的物理意义是明确的，它通常表示：处于  $\mathbf{x}'$  点处、电荷为  $Q'$  的点电荷对另一个处于  $\mathbf{x}$  点处、电荷为  $Q$  的点电荷施加作用力  $\mathbf{F}$ 。显然，由于不存在任何形式的“相对运动”，无需考虑“运动学参照系”的问题，因此，无论从物理内涵还是相关形式表述两个不同方面考虑，整个陈述都不会引起任何认识歧义。

但是，恰恰只是为了以后较为复杂的讨论不至于出现认识紊乱，仍然遵循科学陈述必需的严格逻辑对应，需要明确指出相关陈述的“逻辑主体”以及属于这个形式表述的“定义域”空间，即

$$\mathbf{F}_{\text{particle}}(\mathbf{x}) = \frac{QQ'}{4\pi\epsilon_0 r^3} \mathbf{r} \quad \mathbf{r} = \mathbf{x} - \mathbf{x}' \quad (8.1.1)$$

$$\in V_{\text{phy}} : \mathbf{x}' \in V_{\text{phy}}$$

仍然源于不存在“相对运动”的问题，任何一个“包容”给定电荷，并且，与其不存在相对运动的几何空间都可以成为式中  $V_{\text{phy}}$  所定义的物理学“陈述空间”。进一步说，整个表述告诉人们这样一个完整的物理真实：作为定义在处于  $\mathbf{x}$  点处、电荷为  $Q$  的质点上的静电力  $\mathbf{F}$  的一个确定形式表述，整个陈述的逻辑主体是此处的点电荷，并且，整个形式表述还逻辑地定义在施加该作用力的静电荷  $Q'$  所张的物理陈述空间  $V_{\text{phy}}$  之中。

当然，对于此处仅仅作为一种作用于某一个物质质点上“作用力”的陈述，除了将整个形式表述逻辑地限定在这个“特定”的物质对象上，并且，再赋予这个特定物质对象一种称为“电荷”

① 作为一种关于“电磁场理论”的一般性基础介绍，此处以及本书以后的讨论一般都不涉及电磁场通常所说的“真空”和“介质”的问题。但是，在如何认识“真空与介质”以及如何相应做出准确认定，并且将这样一种认定构造成功一个恰当形式表述等基本问题方面，经典陈述本质上都存在一系列的认识不当与逻辑不当。



的理想化物理属性以外,人们实际上“没有”也“无需”在这个形式表述中引入“场”,以相应表现“力”的“传递”过程的概念。

### 8.1.1A 关于形式系统定义域所蕴涵“物质内涵”的一个简单陈述

事实上,当人们面对本质上“不容分割、彼此作用、互为依赖”的一个物质世界“整体”的时候,某一个被描述的“理想化物质对象”必然与另一个对其产生主要影响的“理想化物质环境”构成属于物质世界自身的一种确定逻辑关联。因此,同样因为,且仅仅因为科学陈述必须严格遵循的“逻辑自洽性”原则,对于以某一个确定理想化物质对象为确定陈述对象的形式系统,必须相应逻辑地定义在对特定物质对象发生主要影响、一个理想化物质环境所张的“几何空间”之中。这样,不仅使得形式系统具备逻辑上的完整意义,还由此相应赋予了物理学“表述空间”,即该形式系统的“定义域”以一种确定的物质意义。

此外,需要反复提醒人们注意这样一个基本事实:空间本质上属于一种纯粹的几何学概念;几何学只可能用以表现几何体或者几何体之间存在“位形变换”关系,而不具能力对几何体“位形变换”在“时间域”中真实存在的“变化历程”做出描述。等价地说,几何学本质上不存在独立的“时间”坐标,因此,不能将物理学和几何学混为一谈。

### 8.1.2 电场 $E$ 的引入及其经典表述

但是,与以上对于 Coulomb 定律的表述存在某种细微的差异,在某些现代的电磁理论著述中,人们大多看到的则是另一种“习惯”使用的陈述。仅仅为了分析问题的方便,首先将相关陈述完整引出如下:

“电磁场是物质存在的一种形态,相应具有特定的运动规律和物质属性。和一般实物对比,电磁场弥漫于整个空间之中,而实物通常是定域在空间的确定区域之内。因此,需要把 Coulomb 定律提高为描述电磁现象的一般规律,从场的观点出发来探讨该定律的含义。也就是说,我们假设,一个电荷周围的空问内存在一种特殊的物质,称为电场。另一电荷处于该电场中,受到电场的作用力。对电荷有作用力是电场的特征性质,于是,可以利用这种特征性质描述该点的电场。由 Coulomb 定律可知,处于电场内的电荷  $Q$  所受的力与  $Q$  成正比。因此,可以引入一个单位实验电荷,借助作用在实验电荷之上的力定义电场强度  $E(x)$ 。也就是说,人们总可以假设实验电荷  $Q'$  在电场  $E$  中所受的力

$$F = Q'E \quad (B)$$

于是,对照 Coulomb 定律(A)可知

$$E(x') = \frac{Q(x')}{4\pi\epsilon_0 r^3} r \quad r = x - x'$$

该式表示处于源点  $x'$  的点电荷  $Q$  所激发的电场。继而,根据实验验证,电场具有叠加性,对于离散分布的电荷集合,相应存在

$$E(x) = \sum \frac{Q_i(x'_i)}{4\pi\epsilon_0 r_i^3} r_i \quad r_i = x - x'_i$$

该式成为离散电荷激发电场的形式表述。

如果在人们关注的某一个几何空间  $V$  之内,存在由电荷密度  $\rho$  所表述的电荷集合,即

$$dQ(x') = \rho(x')dV$$

则相应存在

$$E(x) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \frac{\rho(x')r}{r^3} dV' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_V \rho \nabla \frac{1}{r} dV' = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \nabla \int_V \frac{\rho}{r} dV'$$

$$\boldsymbol{r} = \boldsymbol{x} - \boldsymbol{x}' \quad (\text{C})$$

作为上述表述的自然推论, 电场  $\boldsymbol{E}$  的散度为

$$\nabla \cdot \boldsymbol{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{D})$$

在经典电磁场理论中, 以上两式即为 Gauss 公式的积分表述形式和微分表述形式。

与此同时, 除了电场的散度, 作为向量场特征性质的另一种形式的微分表述, 即对于该向量场的旋度, 还相应存在

$$\nabla \times \boldsymbol{E} = 0 \quad (\text{E})$$

它们共同构造了向量场的特征表述。”

正是在这样一种叙述的基础之上, 人们通常总认为: 以上这些形式表述构成对于“静电场”  $\boldsymbol{E}$  的一种完整的数学描述。

### 8.1.2A 静电场定义域物质内涵及其逻辑完备性的附加分析

正如前面针对形式系统定义域所蕴涵物质内涵的简单陈述已经指出的那样, 在自然科学研究中, 对于某一个针对特定“物质对象”所构造的形式表述系统, 将其明确限定在一个同样需要具有“物质意义”的确定几何空间, 即与该物质对象发生主要作用的特定“物质环境”之中, 无论从形式逻辑的一致性考虑, 还是从物理内涵的完备性考虑, 始终具有前提性的意义。

事实上, 正如第1章中为式(1.1.1)所重新表述的 Newton 运动定律

$$\boldsymbol{f} = m\boldsymbol{a} \in S_{\text{body supplying the force}} \subset R^3$$

可知, 仅仅当这个关于作用于质点上“力”的形式表述, 定义在施加该“力”的另一个物质集合所构造的几何空间, 即我们所说的“物理表述”空间时, 整个需要表述的物理内涵才可能是完整的, 并且, 相应不会出现虚幻的“惯性系”以及由无穷多惯性系引起的种种逻辑歧义。

同样, 在此处关于静电场的讨论中, 在需要形式地表现“场”的行为特征时, 同样需要将其与作为场的“源”而存在的电荷集合构造明确的逻辑关联。或者说, 需要将整个形式表述定义在一个具有特定物质意义的“物理表述”空间之中。仅仅在这种情况下, 才可能不出现经典电磁场理论通常所说在“运动学状况”描述可能存在逻辑歧义的问题。事实上, 对于任何一个包容静电荷  $Q'$  所在  $x'$  点的几何空间, 都可以视为此处所说的物理陈述空间, 它用以表现对特定物质对象, 即此处所说的质点施加作用的“特定”物质环境。如果人们还希望引入一个坐标系, 在仅仅考虑某一个单独电荷激发的电场这个特定情况, 可以直接将坐标系的原点定义在该给定电荷之上。但是, 引入某一个特定坐标系并且将其固定化不仅没有必要, 而且, 从原则上讲并不恰当。因为, 物理学陈述所必需的“客观性”原则, 本质上正依赖于物理学陈述独立于“坐标系”一切“人为选择”而得以表现的。

### 8.1.3 静电场经典描述中的认识歧义及其澄清

在 8.1.2 节中, 所引用关于“静电场”的叙述仍然属于经典陈述的范畴。但是, 或许可以更为恰当地指出, 前面所引用的陈述应该是相关经典叙述中在逻辑上相对较为完备的一种陈述。事实上, 如果与其他电磁场理论著述中的相关陈述相比, 这个陈述的不容易之处在于指出如下的基本事实:

(1) 电磁场属于“物质存在”的一种特定形式, 从而确定了电磁场所必需的“物质”内涵。

(2) 电磁场与一般“有形”实物相比, 其最大差异在于它完全“弥漫”于某一个“相关”的几何空间之中。当然, 可更为准确地说成: 作为物质存在一种特定的“理想化”形式, 电磁场本质上没有真正“属于自身”的几何, 它总“相合”于人们所感兴趣的那个“定义域”空间。