



北京大学物理学丛书
The Series of Advanced Physics
of Peking University

电动力学及狭义相对论

第二版

张宗燧 著

北京大学出版社 PEKING UNIVERSITY PRESS

北京大学物理学丛书

电动力学及狭义相对论

(第二版)

张宗燧 著

北京大学出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

电动力学及狭义相对论(第二版)/张宗燧著. —北京:北京大学出版社, 2004. 2

(北京大学物理学丛书)

ISBN 7-301-06875-1

I. 电… II. 张… III. ①电动力学 ②狭义相对论
IV. ①O442 ②O412.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 123709 号

书 名: 电动力学及狭义相对论(第二版)

著作责任者: 张宗燧 著

责任编辑: 周月梅

标准书号: ISBN 7-301-06875-1/O · 0586

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区中关村 北京大学校内 100871

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn> 电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 理科编辑部 62752021

排 版 者: 北京高新特打字服务社 51736661

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

850 毫米×1168 毫米 32 开本 15.125 印张 392 千字

2004 年 2 月第 2 版 2004 年 2 月第 1 次印刷

定 价: 25.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,翻版必究

《北京大学物理学丛书》

编委会名单

主 任：高崇寿

副 主 任：（按姓氏笔画排，下同）

刘寄星 秦旦华 聂玉昕

阎守胜 黄 涛

编 委：邹英华 邹振隆 宋菲君 吴崇试

林纯镇 俞允强 夏建白 曾谨言

韩汝珊 解思深 瞿 定 顾卫宇

常务编委：周月梅

内 容 提 要

本书分三部分：一为微观的电动力学，一为狭义相对论，一为电子论。第一部分讨论麦克斯韦场方程的性质及解，电子的辐射等等；第二部分为狭义相对论的一个较全面的介绍，包含了四维矢量分析；第三部分介绍了较近代的电子理论的一部分，可供综合性大学和师范院校物理专业师生参考，也可供研究量子电动力学的同志参考。

前 言

物理学是自然科学的基础,是探讨物质结构和运动基本规律的前沿学科.几十年来,在生产技术发展的要求和推动下,人们对物理现象和物理学规律的探索研究不断取得新的突破.物理学的各分支学科有着突飞猛进的发展,丰富了人们对物质世界物理运动基本规律的认识和掌握,促进了许多和物理学紧密相关的交叉学科和技术学科的进步.物理学的发展是许多新兴学科、交叉学科和新技术学科产生、成长和发展的基础和前导.

为适应现代化建设的需要,为推动国内物理学的研究、提高物理教学水平,我们决定推出《北京大学物理学丛书》,请在物理学前沿进行科学研究和教学工作的著名物理学家和教授对现代物理学各分支领域的前沿发展做系统、全面的介绍,为广大物理学工作者和物理系的学生进一步开展物理学各分支领域的探索研究和学习,开展与物理学紧密相关的交叉学科和技术学科的研究和学习提供研究参考书、教学参考书和教材.

本丛书分两个层次.第一个层次是物理系本科生的基础课教材,这一教材系列,将在几十年来几代教师,特别是在北京大学教师的教学实践和教学经验积累的基础上,力求深入浅出、删繁就简,以适于全国大多数院校的物理系使用.它既吸收以往经典的物理教材的精华,尽可

能系统地、完整地、准确地讲解有关的物理学基本知识、基本概念、基本规律、基本方法;同时又注入科技发展的新观点和方法,介绍物理学的现代发展,使学生不仅能掌握物理学的基础知识,还能了解本学科的前沿课题和研究动向,提高学生的科学素质.第二个层次是研究生教材、研究生教学参考书和专题学术著作.这一系列将集中于一些发展迅速、已有开拓性进展、国际上活跃的学科方向和专题,介绍该学科方向的基本内容,力求充分反映该学科方向国内外前沿最新进展和研究成果.学术专著首先着眼于物理学的各分支学科,然后再扩展到与物理学紧密相关的交叉学科.

愿这套丛书的出版既能使国内著名物理学家和教授有机会将他们的累累硕果奉献给广大读者,又能对物理的教学和科学研究起到促进和推动作用.

《北京大学物理学丛书》编辑委员会

1997年3月

第二版序言

本书作者张宗燧先生是著名理论物理学家,1934年毕业于清华大学物理系,1938年获英国剑桥大学博士学位,曾先后任中央大学、北京大学、北京师范大学物理系教授和中国科学院数学研究所理论物理研究室研究员,1957年当选中国科学院院士(当时称中国科学院学部委员)。

张先生对统计物理学作出了重要的贡献。从1937年开始,他解决了合作现象特别是固体中 Bethe 近似与准化学近似的等价性和推广 Bethe 近似到次近邻作用等一系列问题。统计物理学权威 Fowler 和 Guggenheim 合著的 *Statistical Thermodynamics* 书中对张先生的工作有许多介绍。其后,张先生对量子场论的形式体系,特别是量子场论的哈密顿形式、量子电动力学、高阶微商场论、高自旋场论等方面作过深入的研究。他首先给出各种自旋的场的规范不变的对称动量-能量张量。他还推广 Weiss 理论,得到决定定义在任意空间性曲面上的波泛函随曲面形状的变化方程式,并证明它即使对高阶微商场论也是可积的。经典电动力学也是张先生研究过的领域。

本书是张先生的精心之作,曾于1957年由科学出版社出版。本书的取材和写法与其他电动力学书颇有不同。本书的一个特点是,对主要公式的数学推导叙述详细而深入,往往介绍几种不同的方法,包括某些高等的数学方法,对读者获得扎实的数学推导能力和拓广这方面的知识很有帮助。第二个特点是,书中讨论了一些深入的物理问题,解释或揭示了经典电动力学中的各种矛盾,这有助于读者进一步学习和思考。这部分内容主要在书中的小字部分和最后两章中阐述,其中包含了作者自己的研究成果。本书的最后两

章对经典电子论作了相当详细的介绍。这些内容包含了为克服建立相对论性微观理论所遇到的困难的各种尝试,是人们探索物理学基本问题的历史过程的一部分。虽然这些问题的进一步研究需要量子理论,而且最终也需要超出电磁理论的范围,但是书中讨论的内容大多在量子理论中有对应的部分,今天对读者仍很有启发。因此,本书既是一本大学物理系本科生和研究生很好的参考书,也是一本有很高学术水平的专著。

此次再版前理论物理所赵万云研究员通读了本书。他将其中一些物理名词修改为现在通用的规范名词。原书中部分物理名词有俄文译文,为方便读者,再版时将这些名词的中英文对照列表附在书后。他还改正了原书中一些印刷错误和个别笔误。本书的再版得到北京大学出版社的支持,南京大学冯端院士和理论物理所刘寄星研究员、张历宁研究员给予很多关心和帮助,没有他们的支持和帮助,此次再版工作将很难完成。

中国科学院理论物理研究所

戴元本

2003年7月12日

序

这本书是为综合性大学物理专业及师范学院物理专业师生的参考而写的。

由章节的目录可以看出,这本书的主要内容分为三部分:一为电动力学的基础理论,一为狭义相对论,一为经典电动力学、电子运动方程的较近代的理论;每一部分约占全部篇幅的三分之一。所以这样地取材,除了第一部分外,需要作一些解释。第一,我们之所以在狭义相对论上花去这样多的篇幅,是因为目前我国介绍狭义相对论的书籍很少,所以一本关于电动力学的书似乎非但应该包含这一部分,而且必须较详尽地介绍这一部分。据作者猜想,这一部分对于教狭义相对论的教师而言,可能是有些用处的。第二,本书对宏观电动力学的理论叙述得比较少,原因是我们已经有了——一本极好的宏观理论的书——Tamm 所著《电学原理》——的译本。因此,在此重复宏观理论是不太必要的。第三,本书没有介绍“物质的电子理论”(即用电子在物质——金属,介质,气体——中的性质来解释物质的宏观性质的理论),是因为用经典理论来作这样的工作,只能是定性的、极不完全的;而如果我们要定量的结果,则非走入量子力学(及统计力学)不可。这样的工作显然不能放在这本书中(除非把它的篇幅扩大一倍)而应该另成一本专书。因此,除了第一部分电动力学的基础及第二部分狭义相对论外,我们只简单地介绍了一些比较近代的经典电动力学。由于篇幅及作者目前精力的限制,这个介绍也不是全面的^①。虽然如此,作者认为这一些介

^① 例如狄拉克在 1951, 1952 所发表电子理论(*Proc. Roy. Soc.* **A209**(1951) 291; **A212**(1952)330)即未包含在本书内。

绍是有它的意义的。它可以使读者(初步地)了解经典电动力学中处理电子运动方程而遇到的困难,有哪些解决这个困难的企图,等等;这样它可以使读者对于经典电动力学的成就与困难,有更深刻的了解。

以上是关于内容的问题。至于阅读程序,作者试作以下的建议:不妨先读第一、第二两部分的大字,再读这两部分的小字,最后读第三部。理由是:第三部一般讲来不是教学所需的内容,而第一、第二两部的大字是教学上比较有用处的。在写这本书的时候,作者曾作了一些安排,使得读第一、第二两部的大字而不读小字,是完全可以的。至于要阅读第三部,那么最好先阅读第一、第二两部的小字。

对于内容的写法,也有几点需要解释。首先,也许有人在阅读后觉得数学的计算过程,写得过于仔细一些。其实,作者对于某些计算,所以如此不厌详尽,乃是因为考虑到目前我国学生的一般水平及部分教师的水平。在目前的综合性大学及师范学院的教师们中,一部分教师在以往从未学过数学物理方程。将数学上的计算写得过于简短,对于这些少数教师的阅读,是会增加困难的。其次,也许有些读者感觉书中数学气氛太重。其实,书中数学气氛一点也不重。如果读者感觉有些数学上的讨论是不必要的,那么请直接把这些讨论忽略去好了。再其次,也许有些读者感觉这本书对于许多理论,都有批评之处,而拥护得不够热烈。其实,这本书并没有否定任何理论的成就,而只是在指出他们的优点后,也附带地指出他们的缺点。这样的做法在作者看来,正是所有的书所应该做的。只有这样才能使读者更快地、更深刻地认识以往各种理论的成就的程度,由此而建立新的、更好的理论。

直到现在为止,还没有提起这本书的缺点。关于这一点,可以肯定地说,缺点是决不可能避免的。首先,作者自己的科学水平是极有限的,哲学修养也低,单是这两点便不可避免地带来了些不成熟或错误的讨论、结论。其次,作者在这几年中未曾教过

电动力学的课,因此对于这本书作目前师生教学参考用是否合适——即有些章节是否写得太深、或太浅——没有很好的把握。最后,作者最近身体不好,精神不足,因此虽然极力避免笔误,但事实上无论在文字中或在公式中,笔误也是可能出现的。(说上面这句话的意思,当然不是借此而逃避错误的责任;所有错误的责任,当然是作者的。)主要的缺点当然是由于第一个理由而来的。

因为各种缺点都可能存在,作者诚恳地希望读者对于这本书作些批评。这样,无论对于这本书,或对于作者本人,或对于其他读者,都是有所裨益的。

最后,作者愿借此机会,对苏联红十字医院的几位大夫——尤其是孟家美大夫——表示最诚恳的谢意。没有他们对我的关怀、悉心医治,我的身体情况决不能允许我以课余时间内在一年中完成这本书。作者也愿借此机会,对以前中央大学、北京大学里学过本书内容一部分的同学表示感谢;由于他们与我的讨论,使我澄清了一些有关的问题。当然,我也感谢科学出版社的许多同志为出版这本书而花去的辛勤劳动以及北京师范大学理论物理进修班许多同志所作的校对工作;没有这一些,这本书的出版是不可能的。

作者谨识

于北京师范大学理论物理教研室

1955年11月

北京大学物理学丛书

(已出书目)

- | | |
|---------------------|------------------|
| 1. 广义相对论引论(第二版) | 俞允强 |
| 2. 量子力学导论(第二版) | 曾谨言 |
| 3. 近代光学信息处理 | 宋菲君 S. Jutamulia |
| 4. 理论物理基础 | 彭桓武 徐锡申 |
| 5. 高温超导物理 | 韩汝珊 |
| 6. 数学物理方法(第二版) | 吴崇试 |
| 7. 原子核理论——它的深化与扩展 | 张启仁 |
| 8. 李代数李超代数及在物理中的应用 | 韩其智 孙洪洲 |
| 9. 电动力学简明教程 | 俞允强 |
| 10. 特殊函数概论 | 王竹溪 郭敦仁 |
| 11. 物理学中的非线性方程 | 刘式适 刘式达 |
| 12. 固体物理基础(第二版) | 阎守胜 |
| 13. 现代半导体物理 | 夏建白 |
| 14. 热大爆炸宇宙学 | 俞允强 |
| 15. 数理物理基础 | 彭桓武 徐锡申 |
| 16. 近代半导体材料的表面科学基础 | 许振嘉 |
| 17. 物理宇宙学讲义 | 俞允强 |
| 18. 量子力学原理 | 王正行 |
| 19. 电动力学及狭义相对论(第二版) | 张宗燧 |

目 录

第一部 电动力学的基础理论

第一章 微观理论的基本方程	(3)
§ 1 三个基本假定	(3)
§ 2 δ 函数的性质与点电荷的密度	(11)
§ 3 能量、动量、角动量的守恒	(17)
§ 4 守恒定律的应用	(26)
§ 5 假想的磁荷与麦克斯韦方程	(29)
§ 6 一个以均匀而小的速度运动着的电子的电磁场	(31)
§ 7 标量势及矢量势	(40)
§ 8 赫兹势	(44)
§ 9 纵场及横场	(46)
第二章 宏观电磁学	(56)
§ 10 宏观的麦克斯韦方程的导出	(56)
§ 11 静电学的主要内容	(66)
§ 12 宏观电动力学中的几个问题	(76)
第三章 电子的放射	(89)
§ 13 一个以任意而不变的速度运动着的电子的电磁场	(89)
§ 14 一个电子的电磁场的动量、能量	(95)
§ 15 基尔霍夫公式,超前势,推迟势	(102)
§ 16 一个任意运动着的电子的电磁场,推迟时刻	(112)
§ 17 用同时刻的电子运动状态来表出它的电磁场	(122)
§ 18 δ 函数的运用	(127)
§ 19 伊万宁柯同沙科洛夫的方法	(135)
§ 20 第 19 节的方法对于介子场的应用	(141)
§ 21 电子的放射	(149)

第四章 多极放射	(156)
§ 22 静电学中的多极电荷所产生的电场	(156)
§ 23 稳定电流的磁场	(162)
§ 24 多极放射	(168)
§ 25 多极放射的另一讨论	(175)
第五章 电子运动方程(初步讨论)	(179)
§ 26 电子质量的电磁学说	(179)
§ 27 电子的自作用力	(187)
§ 28 我们对于电子运动方程的要求	(193)

第二部 狭义相对论

第六章 狭义相对论的时空观及相对论原理	(199)
§ 29 伽利略变换	(199)
§ 30 迈克耳孙-莫雷实验	(205)
§ 31 想保持伽利略变换而解释迈克耳孙-莫雷实验的 企图的失败	(209)
§ 32 洛伦兹变换	(214)
§ 33 速度及加速度的合成	(219)
§ 34 用洛伦兹变换去解释第 31 节中的两个实验	(222)
§ 35 闵可夫斯基的时空	(226)
§ 36 相对论原则	(231)
§ 37 与相对论有关的唯心思想的批判	(235)
第七章 张量分析. 麦克斯韦方程的相对论形式.	
相对论力学	(239)
§ 38 正交变换	(239)
§ 39 四维空间的张量、矢量分析	(247)
§ 40 四维空间的速度矢量、加速度矢量	(255)
§ 41 麦克斯韦方程适合相对论条件的证明	(259)
§ 42 电荷的讨论	(264)
§ 43 积分的矢量、张量性质	(271)
§ 44 电磁场的能量-动量张量, 洛伦兹力	(274)

§ 45 几个特殊问题中动量、能量能否构成一个矢量的问题	(278)
§ 46 电子所产生的电磁场的相对论形式	(282)
§ 47 质点的相对论力学	(285)
§ 48 连续介质的运动方程	(293)
第八章 拉格朗日方程及哈密顿原理	(298)
§ 49 点电荷及电磁场的拉格朗日方程	(298)
§ 50 能量张量	(304)
§ 51 质点运动的正则方程	(310)
§ 52 电磁场及质点运动的正则方程	(316)
§ 53 连续介质的拉格朗日运动方程	(325)
§ 54 A_μ 的傅里叶系数的微分方程	(327)
§ 55 纵场的消除	(335)
 第三部 近代的电子理论及电子的一些运动示例	
第九章 近代的电子理论	(349)
§ 56 电子论的困难	(349)
§ 57 狄拉克的电子运动方程	(356)
§ 58 狄拉克的电子运动方程的导出	(361)
§ 59 玻恩的非线性方程	(373)
§ 60 含有高阶微商到场方程	(383)
§ 61 直接相互作用的理论	(395)
§ 62 多时理论	(407)
第十章 电子运动的几个例	(421)
§ 63 以小速度运动着的电子	(421)
§ 64 谐振子的运动	(425)
§ 65 狄拉克运动方程的例	(433)
§ 66 作旋转运动的电子的放射. 电子回旋加速器	(442)
§ 67 超光速的电子放射. 切连科夫效应	(451)
§ 68 经典电动力学的应用范围	(459)
附录 汉英物理学名词对照	(465)

第一部 电动力学的基础理论