



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材



面向21世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学教程 电磁学 (第四版)

梁灿彬 秦光戎 梁竹健 原著
梁灿彬 修订



高等教育出版社

普通高等教育本科国家级规划教材

21 世纪课程教材
21st Century
Course Series for 21st Century

普通物理学教程 电磁学 (第四版)

梁灿彬 秦光戎 梁竹健 原著
梁灿彬 修订

高等教育出版社·北京

内容简介

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，是在第三版的基础上修订而成的，第二版是教育部“高等教育面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果，是面向 21 世纪课程教材，第一版是梁灿彬、秦光戎、梁竹健原著教材《电磁学》(1980 年)(该书曾获首届国家教委高等学校优秀教材一等奖)。这次修订时注意保持原版的基本风格，对部分欠妥之处进行了改正。全书共含 10 章，内容有：静电场的基本规律、有导体时的静电场、静电场中的电介质、恒定电流和电路、恒定电流的磁场、电磁感应与暂态过程、磁介质、交流电路、时变电磁场和电磁波以及电磁学的单位制。本书对问题的叙述比较详细，既考虑到与理论物理课程的衔接，也照顾到与中学物理教材的联系。

本书可用作高等学校物理学类专业电磁学课程的教材，也可供其他相关专业的师生以及中学物理教师参考。

图书在版编目(C I P)数据

普通物理学教程.电磁学 / 梁灿彬,秦光戎,梁竹
健原著;梁灿彬修订.--4 版.--北京:高等教育出
版社,2018.11

ISBN 978-7-04-050677-8

I. ①普… II. ①梁… ②秦… ③梁… III. ①电磁学
-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 224458 号

PUTONG WULIXUE JIAOCHENG DIANCIXUE

策划编辑 缪可可	责任编辑 缪可可	封面设计 赵 阳	版式设计 徐艳妮
插图绘制 于 博	责任校对 马鑫蕊	责任印制 耿 轩	

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市鑫霸印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 23.75
字 数 570 千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址	http://www.hep.edu.cn http://www.hep.com.cn
网上订购	http://www.hepmall.com.cn http://www.hepmall.com http://www.hepmall.cn
版 次	1980 年 12 月第 1 版 2018 年 11 月第 4 版
印 次	2018 年 11 月第 1 次印刷
定 价	44.80 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 50677-00

普通物理学教程 电磁学

(第四版)

梁灿彬

秦光戎 原著

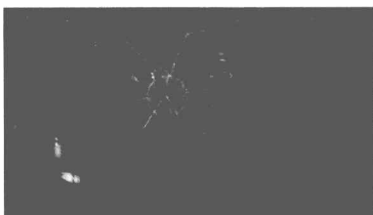
梁竹健

梁灿彬 修订

- 1 计算机访问<http://abook.hep.com.cn/1254442>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20 位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



① 重要通知 | APP 下载



普通物理学教程 电磁学(第四版)

普通物理学教程 电磁学(第四版)数字课程与纸质教材一体化设计, 紧密配合。数字课程涵盖视频、文档等内容, 充分运用多种形式媒体资源, 极大地丰富了知识的呈现形式, 拓展了教材内容。在提升课程教学效果同时, 为学生学习提供思维与探索的空间。

用户名: 密码: 验证码: 4650 忘记密码? 登录 注册 记住我(30天内免登录)

课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至abook@hep.com.cn。



扫描二维码
下载 Abook 应用



物理学家简介



授课视频



普通物理学教程
电磁学(拓展篇)

<http://abook.hep.com.cn/1254442>

第四版前言

本书是梁灿彬、秦光戎、梁竹健原著《电磁学》(1980年)的第四版,是在第三版的基础上修订而成的。

在第二版(2004年)的序言中,笔者曾经明确许诺过要将多年来在各地讲授过的、戏称为《电磁学》小字背后的小字的个人体会写进《普通物理学教程 电磁学(拓展篇)》中(简称《拓展篇》),而本书在必要时可称为《普通物理学教程 电磁学(基础篇)》(简称《基础篇》)。然而,由于种种原因,《拓展篇》的写作一拖再拖,笔者在第三版(2012年)的序言中曾向读者深切致歉。值得高兴的是,《拓展篇》今年终于面世了。

《拓展篇》的写作过程极为漫长(从2002年至2017年),完稿时跟《基础篇》的第三版难免有若干地方衔接不好。因此,第四版的修订任务有两个方面:(1)对第三版的某些错漏和满意之处进行修改;(2)使第四版跟《拓展篇》尽量“光滑连接”。虽然笔者在这两方面都做了努力,但错误和缺点一定不少,恳请广大读者不吝指正。

梁灿彬

2018年4月于北京

第三版前言

本书是梁灿彬、秦光戎、梁竹健原著《电磁学》(1980年)的第三版,是在第二版的基础上修订而成的。主要的修改包括:(1)某些讲法上的欠妥或者不够严密之处(例如第190页的第一段小字);(2)个别插图中的错误或欠妥之处(例如图4-23的正方向箭头、图4-47中电池的极性);(3)第179页那个积分的上下限;(4)习题答案中的个别错误。北京师范大学物理系寇谡鹏教授在第二版出版后讲授此书多年,感谢他对笔者提出的修改意见和建议。笔者也要感谢湖南师范大学敖胜美、邹红梅老师最近通过高等教育出版社转来修改意见。

在第二版的序言中,笔者曾经明确许诺过要将多年来在各地讲授过的、戏称为《电磁学》小字背后的小字的个人体会写进《普通物理学教程 电磁学(拓展篇)》中。然而,由于种种考虑,笔者不得不把时间优先用来写作《从零学相对论》(将于不久后出版)等教材,迫使拓展篇的写作一而再、再而三地让路。笔者为此要诚挚地向等待拓展篇出版的读者们致以深切的歉意。现在只能说,除非出现非常特殊的情况,笔者将尽力争取尽早使拓展篇成书出版。

梁灿彬

2012年9月于北京

第二版前言

本书是梁灿彬、秦光戎、梁竹健原著《电磁学》(1980年)的修订版。修订工作从一开始就遇到两个技术性难题:(1)众口难调(以本书为教材的高校颇多,所涉及学生的层次和能力差别很大);(2)篇幅限制。原版出版时就因篇幅所限而略去若干对读者很有帮助的提高性内容。原版出版23年来,随着笔者数理修养的提高和对电磁学教学的钻研,这些提高性的认识不断得到增加、深化和改进。笔者曾多次应邀到全国各地向高校物理(特别是电磁学)教师介绍过这些内容(曾戏称为“《电磁学》小字背后的小字”),受到欢迎。许多教师希望笔者把这些个人体会写书出版。限于时间,此事一直未被提到工作日程。此次修订时,深感其中部分内容亟应写进修订版中,但这又势必导致篇幅激增。思考再三,感到下面的方案也许有助于二箭双雕地解决上述两大难题:把新版《电磁学》全书分为两大部分(分别称为“基础篇”和“拓展篇”),按两册出版。本书虽然称为“电磁学”,其实只是它的基础篇。

基础篇字数比原书字数略少,包含大学物理系本科电磁学课程的全部内容(对一般学生已经够用),与原书内容大同小异,总体难度大致持平。为使原版的优点得以保存,也为了使习惯于原版的广大教师更快地适应修订版,本书基础篇着意保持原版的基本风格(特别是在讲解概念和道理时尽可能清晰、详尽和透彻的做法)。同时,为了进一步发扬原版的优点,基础篇对原版也做了大大小小的多处改动(其中某些改动的用意只有细心的读者方可看出)。为了缩减篇幅,原书部分小字已被删除或移入拓展篇,但在基础篇中也新添了应该添加的少量小字。与原版一样,小字部分或者是对问题的深入一步的分析,或者是扩大知识面的内容,主要是为有余力的学生而写入的,讲授时可以根据具体情况部分或全部略去。大字部分的内容自成体系,不会由于略去小字部分而妨碍后续大字内容的学习。修订版的思考题和习题在原版的基础上略有增删。与原版一样,标以*号的思考题和习题与书中小字部分相对应。

拓展篇的主要内容是十多个专题,例如,电磁学中的客体与模型,孤立体系和无限远,高斯定理与库仑定律的逻辑关系,导体的接地,用电场线和唯一性定理讨论静电平衡问题,再论电容器及其电容,静电屏蔽的进一步讨论,介质中的唯一性定理,网络拓扑学简介,磁荷与磁单极子(着重阐明两者的区别并澄清某些比较普遍存在的误解),库仑电场与感生电场再认识,动生电动势及其“切割法则”,交流电路中的电压概念,电磁场的能量、动量和角动量……(由于远未杀青,上述题目与将来面世的拓展篇未必完全一致。)其中多数讲法都是笔者本人的认识和体会,含有与读者一同探讨的成分和抛砖引玉的目的,相信会对电磁学教师以及大量有余力的学生有所帮助。无余力的学生可以不购拓展篇,这对减轻经济负担也有好处。

修订中的第三个问题是与狭义相对论的联系问题。近十数年来,国内出版的不少电磁学教材(特别是物理系本科教材)都或多或少地加进这方面的内容。然而这种做法对本书修订而言利弊同在。其利无须多说,其弊则可罗列一二:(1)学生在力学中对狭义相对论只是略知皮毛,以此为基础讲述电磁学涉及的相对论问题不免有掣肘之感。(2)篇幅必然猛涨。

笔者早已打算写一本面向物理系师生和物理工作者的关于狭义相对论的专门著作,书中可以比较充分地展开从相对论看电磁现象的阐述。因此,本书(至少基础篇)不拟涉及从相对论看电磁学的有关问题。

本书原版作者之一梁竹健教授对修订工作一直鼎力相助,笔者在与他的讨论中获得许多启发,受益良多。他还审阅了修订版的全部手稿并提出了许多宝贵意见和建议,贡献了他在多年讲授电磁学过程中积累的若干有分量、有特色的习题并且参与了修订版全部思考题、习题和答案的修订工作。笔者的同事狄增如副教授不仅仔细阅读了修订版各章的手稿,而且与笔者进行过多次有益的讨论,从而对修订版的质量做出了重要的贡献。笔者以前的学生张宏宝硕士参与了修订版内容的部分讨论,阅读了修订版各章的手稿并提出了许多宝贵的意见和建议。特别值得一提的是笔者以前的学生曹周键同学,他在攻读博士学位期间仍以饱满的热情和充沛的精力就修订版涉及的许多学术问题参与了笔者邀请的不计其数的讨论,并以一个优秀学子的敏锐思维提出过许多很有价值的看法,对修订版做出了难能可贵的贡献。此外,笔者在广义相对论科研工作中的老合作者、中科院数学所的邝志全研究员曾以一个喜爱物理的数学工作者的身份阅读过修订版的少数章节并提出过有价值的意见,笔者还曾就书中涉及的个别数学问题向他请教并获得有益的帮助。笔者的同事裴寿镛教授阅读过小节 9.4.3 并提出过很好的建议,谨此一并致谢。最后,笔者还想特别感谢对本书给以关心和厚爱的广大读者。原版出版后的二十多年来,笔者收到无数读者的来信,他们除了对本书表示肯定外,还指出了书中大大小小的欠妥和不足之处并建议再版时修改。此处要特别鸣谢的是素昧平生的邹在田和叶春放老师,他们在联名来信中列出了 90 处他们认为应作修改的地方,其中多处已在本修订版中被采纳。

本书的修订工作得到北京市教委 2002 年北京市高等教育精品教材建设立项基金资助,特此鸣谢。

限于笔者的水平和时间,修订版中的错误和缺点一定不少,恳请广大读者不吝指正。

梁灿彬

2003 年 10 月于北京

目 录

第一章 静电场的基本规律	1
§ 1.1 电荷	1
§ 1.2 库仑定律	3
1.2.1 库仑定律	3
1.2.2 电荷的单位	5
1.2.3 库仑定律的矢量形式	5
1.2.4 叠加原理	6
§ 1.3 静电场	6
1.3.1 电场强度	6
1.3.2 电场强度的计算	7
§ 1.4 高斯定理	11
1.4.1 E 通量	12
1.4.2 高斯定理	13
1.4.3 用高斯定理求电场强度	15
§ 1.5 电场线	20
1.5.1 电场线	20
1.5.2 电场线的性质	22
§ 1.6 电势	23
1.6.1 静电场的环路定理	23
1.6.2 电势和电势差	25
1.6.3 电势的计算	26
1.6.4 等势面	28
1.6.5 电势与电场强度的微分关系	29
思考题	30
习题	31
第二章 有导体时的静电场	36
§ 2.1 静电场中的导体	36
2.1.1 静电平衡	36
2.1.2 带电导体所受的静电力	38
2.1.3 孤立导体形状对电荷分布的影响	39
2.1.4 导体静电平衡问题的讨论方法	40
2.1.5 平行板导体组例题	44
§ 2.2 封闭金属壳内外的静电场	45
2.2.1 壳内空间的场	45
2.2.2 壳外空间的场	47
2.2.3 范德格拉夫起电机	49
* 2.2.4 库仑平方反比律的精确验证	49

§ 2.3 电容器及其电容	51
2.3.1 孤立导体的电容	51
2.3.2 电容器及其电容	51
2.3.3 电容器的联接	54
§ 2.4 静电演示仪器	55
2.4.1 感应起电机	55
2.4.2 静电计	57
§ 2.5 带电体系的静电能	58
2.5.1 带电体系的静电能	58
* 2.5.2 带电导体组的静电能	60
2.5.3 电容器的静电能	61
* 2.5.4 关于自能和互能的进一步说明	61
思考题	62
习题	64
第三章 静电场中的电介质	67
§ 3.1 概述	67
§ 3.2 偶极子	67
3.2.1 电介质与偶极子	67
3.2.2 偶极子在外电场中所受的力矩	69
3.2.3 偶极子激发的静电场	69
§ 3.3 电介质的极化	73
3.3.1 位移极化和取向极化	73
3.3.2 极化强度	74
3.3.3 极化强度与电场强度的关系	74
§ 3.4 极化电荷	76
3.4.1 极化电荷	76
3.4.2 极化电荷体密度与极化强度的关系	76
3.4.3 极化电荷面密度与极化强度的关系	78
§ 3.5 有电介质时的高斯定理	80
3.5.1 电位移, 有电介质时的高斯定理	80
* 3.5.2 对电位移的进一步讨论	84
§ 3.6 有电介质时的静电场方程	85
3.6.1 静电场方程	85
* 3.6.2 边值关系	87
* 3.6.3 D 线在界面上的折射	87
§ 3.7 电场的能量	88
* § 3.8 压电效应及其应用	90
思考题	91
习题	92
第四章 恒定电流和电路	96
§ 4.1 恒定电流	96
§ 4.2 直流电路	98
4.2.1 电路	98

4.2.2 直流电路	99
§ 4.3 欧姆定律和焦耳定律	100
4.3.1 欧姆定律,电阻	100
4.3.2 电阻率	100
4.3.3 欧姆定律的微分形式	102
4.3.4 焦耳定律	104
§ 4.4 电源和电动势	106
4.4.1 非静电力	106
4.4.2 电动势,一段含源电路的欧姆定律	107
4.4.3 电动势的测量,电势差计	109
4.4.4 导线表面的电荷分布	109
4.4.5 直流电路的能量转化	110
§ 4.5 基尔霍夫方程组	111
4.5.1 基尔霍夫第一方程组	111
4.5.2 基尔霍夫第二方程组	112
4.5.3 用基尔霍夫方程组解题举例	114
§ 4.6 二端网络理论与巧解线性电路问题	115
4.6.1 二端网络	115
* 4.6.2 重要网络定理及应用举例	116
§ 4.7 接触电势差与温差电现象	120
4.7.1 逸出功与热电子发射	120
4.7.2 接触电势差	121
4.7.3 温差电现象(热电现象)	123
4.7.4 温差电现象的应用	125
§ 4.8 液体导电和气体导电	126
4.8.1 液体导电	126
4.8.2 气体导电	127
思考题	130
习题	133
第五章 恒定电流的磁场	140
§ 5.1 磁现象及其与电现象的联系	140
§ 5.2 毕奥-萨伐尔定律	141
5.2.1 毕奥-萨伐尔定律	141
5.2.2 直长载流导线的磁场	142
5.2.3 圆形载流导线的磁场	143
5.2.4 载流螺线管轴线上的磁场	144
§ 5.3 磁场的高斯定理	147
§ 5.4 安培环路定理	149
5.4.1 安培环路定理	149
5.4.2 无限长圆柱形均匀载流导线的磁场	151
5.4.3 无限长载流螺线管的磁场	151
5.4.4 载流螺绕环的磁场	152
5.4.5 均匀载流无限大平面的磁场	153

§ 5.5 带电粒子在电磁场中的运动	154
5.5.1 带电粒子在均匀恒定磁场中的运动	154
5.5.2 磁聚焦	156
5.5.3 回旋加速器	156
5.5.4 汤姆孙实验——电子荷质比的测定	158
5.5.5 霍耳效应	159
§ 5.6 磁场对载流导体的作用	162
5.6.1 安培力公式	162
5.6.2 载流线圈在均匀外磁场中的安培力矩	163
5.6.3 磁电式电流计原理	164
§ 5.7 用磁矩表示载流线圈的磁场,磁偶极子	165
思考题	166
习题	169
第六章 电磁感应与暂态过程	176
§ 6.1 电磁感应	176
6.1.1 电磁感应现象	176
6.1.2 法拉第电磁感应定律	176
§ 6.2 楞次定律	178
6.2.1 楞次定律的两种表述	178
6.2.2 考虑了楞次定律的法拉第定律表达式	179
§ 6.3 动生电动势	180
6.3.1 动生电动势与洛伦兹力	181
6.3.2 动生电动势的计算	183
6.3.3 交流发电机	185
§ 6.4 感生电动势和感生电场	186
6.4.1 感生电动势和感生电场	186
6.4.2 既有磁场又有电场时的洛伦兹力公式	187
6.4.3 感生电场的性质	188
6.4.4 螺线管磁场变化引起的感生电场	189
* 6.4.5 感生电动势的计算	191
6.4.6 电子感应加速器	193
§ 6.5 自感	195
6.5.1 自感现象	195
6.5.2 自感	196
§ 6.6 互感	198
6.6.1 互感现象和互感系数	198
6.6.2 互感线圈的串联	200
§ 6.7 涡电流	201
6.7.1 涡流热效应的应用和危害	201
6.7.2 涡流磁效应的应用——电磁阻尼	202
6.7.3 趋肤效应	203
§ 6.8 RL 电路的暂态过程	204
6.8.1 RL 电路与直流电源的接通	204

6.8.2 已通电 RL 电路的短接	206
* 6.8.3 已通电 RL 电路的切断	209
§ 6.9 RC 电路的暂态过程	209
6.9.1 RC 电路与直流电源的接通	210
6.9.2 已充电 RC 电路的短接	211
* 6.9.3 较复杂 RC 电路的暂态过程	211
§ 6.10 RLC 电路的暂态过程	213
6.10.1 已充电 RLC 电路的短接	213
* 6.10.2 RLC 电路与直流电源的接通	217
§ 6.11 磁能	217
6.11.1 自感线圈的磁能	217
6.11.2 互感线圈的磁能	218
思考题	219
习题	222
第七章 磁介质	228
§ 7.1 磁介质存在时静磁场的基本规律	228
7.1.1 磁介质的磁化,磁化强度	228
7.1.2 磁化电流	229
7.1.3 磁场强度 H ,有磁介质时的环路定理	231
7.1.4 静磁场与静电场方程的对比	233
* 7.1.5 关于 H 的进一步讨论	234
§ 7.2 顺磁性与抗磁性	235
7.2.1 顺磁性	235
7.2.2 抗磁性	235
§ 7.3 铁磁性与铁磁质	238
7.3.1 铁磁质的磁化性能	239
7.3.2 铁磁质的分类和应用	241
7.3.3 铁磁性的起因	243
* § 7.4 磁荷观点,永磁体	244
§ 7.5 磁路及其计算	247
7.5.1 磁路	247
7.5.2 磁路定律及磁路计算	248
7.5.3 铁磁屏蔽	252
§ 7.6 磁场的能量	252
思考题	253
习题	254
第八章 交流电路	256
§ 8.1 简谐交流电	256
§ 8.2 三种理想元件的电压与电流的关系	258
8.2.1 纯电阻	258
8.2.2 纯电容	259
8.2.3 纯电感	260
§ 8.3 复数法和矢量法	260

8.3.1 复数基本知识	260
8.3.2 复数法	262
8.3.3 矢量法	264
8.3.4 三种理想元件电压电流关系的复数形式	265
8.3.5 复数法及矢量法应用举例	266
§ 8.4 复阻抗	268
§ 8.5 功率和功率因数	272
8.5.1 瞬时功率、平均功率和功率因数	272
8.5.2 提高功率因数的意义	275
8.5.3 提高功率因数的方法	277
§ 8.6 谐振现象	278
8.6.1 串联谐振	278
8.6.2 并联谐振	282
§ 8.7 变压器	285
8.7.1 铁芯变压器	285
8.7.2 高压输电	289
思考题	290
习题	292
第九章 时变电磁场和电磁波	298
§ 9.1 位移电流与麦克斯韦方程组	298
§ 9.2 平面电磁波	301
§ 9.3 电磁场的能量密度和能流密度	304
§ 9.4 电偶极辐射与赫兹实验	308
9.4.1 电偶极辐射	308
9.4.2 赫兹实验	312
9.4.3 电磁波谱	314
* § 9.5 似稳电磁场和集中参量似稳电路	317
习题	320
第十章 电磁学的单位制	321
§ 10.1 单位制基本知识	321
10.1.1 基本单位和导出单位	321
10.1.2 再谈量的等式和数的等式	323
10.1.3 量纲式和量纲	325
§ 10.2 国际单位制(SI)	326
§ 10.3 电磁学的单位制	329
10.3.1 MKSA 有理制	330
10.3.2 高斯制	333
10.3.3 物理公式在不同单位制之间的转换	333
习题	338
索引	340
习题答案	347

第一章 静电场的基本规律

§ 1.1 电 荷

大家知道,用丝绢或毛皮摩擦过的玻璃、塑料、硬橡胶等都能吸引轻小物体,这表明它们在摩擦后进入一种特别的状态.我们把处于这种状态的物体称为**带电体**,并说它们带有**电荷**.大量实验表明,自然界的电荷只有两种,一种与丝绢摩擦过的玻璃棒的电荷相同,叫**正电荷**;另一种与毛皮摩擦过的橡胶棒的电荷相同,叫**负电荷**[正负电荷的称谓是由富兰克林(Franklin)提出的].同种电荷间有斥力,异种电荷间有吸力.

利用同性相斥的现象可以制成验电器(见图 1-1),它是检验物体是否带电的最简单的仪器.验电器的主要部分是一根上端带有金属小球的金属棒,棒的下端悬挂着两片金属箔片.当带电体与金属小球接触时,金属箔便得到同种电荷并张开.为了避免气流的影响,金属棒和箔片被封闭在一个玻璃瓶中.



图 1-1 验电器

验电器的工作表明电荷可以从金属棒的一端移至另一端.但并非所有物体都允许电荷流动.允许电荷流动的物体叫**导体**,不允许电荷流动的物体叫**绝缘体**或**电介质**(**绝缘介质**).干燥的玻璃、橡胶、塑料、陶瓷等是良好的绝缘体,而金属、石墨和酸、碱、盐的水溶液(统称电解液)则是良好的导体.人体、墙壁和地球也是导体,但导电性不如金属.干燥且未被电离的气体是绝缘体,但被电离的气体却是导体.此外,还有一种导电性介于导体与绝缘体之间而且电性质非常特殊的材料(例如锗和硅),称为**半导体**^①.半导体是近代电子技术中的重要材料.

利用物质的微观结构可对物体的带电以及不同物体具有不同的导电性作出解释.物体由微观粒子(主要是质子、中子和电子)构成.电子带负电荷,质子带有与电子电荷等值反号的正电荷.当物体由于某种原因获得(失去)某些电子时便处于带电状态.金属之所以导电,是因为内部存在许多自由电子,它们可以摆脱原子核的束缚而自由地在金属内部运动.电解液之所以导电,是因为内部存在许多能做宏观运动的正、负离子.反之,在绝缘体内部,由于电子受到原子核的束缚,基本上没有自由电子,因此呈绝缘性质.

大量实验证明,在一个与外界没有电荷交换的系统内(最大的系统就是整个宇宙),正负电荷的代数和在任何物理过程中始终保持不变,这称为**电荷守恒定律**,它反映了电荷的一种重要特性,是物理学的重要规律之一.

电荷的另一重要特性是它的**量子化**,即任何带电体的电荷都只能是某一基本单位的整数倍.这个基本单位就是质子所带的电荷,称为**元电荷**,通常记为 e .

用绳子悬挂着重物虽受重力的作用却没有加速度,是因为绳子对它的张力(拉力)与重力抵消.张力本

^① 半导体与导体、绝缘体的区别其实远不只是“导电性介于两者之间”这么简单,见小节 5.5.5 小节.

质上是什么?重物在重力作用下有向下加速的倾向,使绳子被稍微拉长.粗略地说,绳内任意两个上下相邻的原子的距离略有增大,它们的外围电子之间的斥力略有减弱,相当于出现一种使绳子恢复原长的宏观力,这就是张力.可见张力不外是微观电荷之间的电磁力的某种宏观表现.原子与原子之所以可结合为稳定的分子(以及分子与分子可结合为稳定的物体),也是由于原子内部电荷的微观分布状态使原子之间产生电磁吸力.

两个静止质子之间既有静电斥力又有万有引力.哪个大?大多少?利用万有引力定律和库仑定律不难求得 $F_{引}/F_{电} = 10^{-36}$,这暗示引力比电磁力通常要弱得多.然而这并不意味着引力与电磁力相比总可被忽略.关键在于电荷有正负两种,它们的效应相互抵消,而任何粒子之间的万有引力都是吸力(或说“引力荷”只有一种),因此它们倾向于积聚到一起,效应互相加强.“团结就是力量”,其结果便是大型物体周围出现强引力场.反之,由于同性相斥,同种电荷却难于积聚在一起而产生强电场.例如,虽然太阳有大量质子,但也有同样数量的电子,于是呈电中性.地球亦然.假定太阳及地球的电子数比质子数多出仅 10^{-18} ,即假定 $(\Delta N/N)_{日} = (\Delta N/N)_{地} = 10^{-18}$,其中 N 代表电子数, ΔN 代表电子数减质子数,则日地间的电斥力将等于万有引力,地球绕太阳的公转将不可能!(请读者证明这一结论.提示:从质子间的 $F_{引}/F_{电} = 10^{-36}$ 出发的证明较简单.)可否存在一种只有质子和中子而没有(或很少)电子的星体?不可能,因为质子之间同性相斥.事实上,在天体物理的许多对象(例如恒星、星系和星系团)中,万有引力起主导作用,而电磁力则“退居二线”.

既然原子核由质子和中子组成,质子之间的静电斥力为什么不使质子四散分飞呢?这是因为你已进入微观领域,在微观领域中除电磁力和引力外还有其他力.在原子核内部,核子之间存在一种很强的力,称为核力(又称强力,即强相互作用力),其特点是:(1) 力程甚短,约为 10^{-15} m,超过此范围强力将急剧减小,实际上为零(请注意电磁力和引力的力程都是无限长);(2) 非常强,比电磁力还大两个量级[特点(1)和(2)使强力“不鸣则已,一鸣惊人”];(3) 与核子是否带电无关(质子与质子之间的强力等于质子与中子或中子与中子之间的强力).因为力程如此之短,强力在宏观现象中自然不起作用,但在核内部却可克服质子间的电斥力从而使核得以“团结”为一个稳定的集体.但是,如果核子太多(例如铀有 92 个质子,加上中子共有 235 个核子),核的尺寸太大,靠强力维系的平衡就比较脆弱,一旦被一个慢中子撞击就要一分为二(裂变),放出“核能”(这正是原子弹释放能量的机制),但其实它不过是电力足以战胜核力而使核子分散开所释放出的电能.除强力外,还有一种微观力,叫弱力,其力程更短(约为 10^{-17} m),强度大约只有强力的 10^{-13} ,它弱到无法像强力那样把粒子束缚为一个系统,但却很重要,主要表现在支配某些粒子的衰变和俘获现象中(例如中子的 β 衰变).

总之,目前认为自然界中的基本相互作用只有 4 种,按强度排队为:强力,电磁力,弱力,引力.引力虽然最弱,但因为强力和弱力都无宏观表现,而电磁力又常因正负相消而不起作用,所以引力在涉及天体和宇宙的问题中往往会起主导作用.反之,在微观领域内引力则因为太弱而总可忽略.电磁力是唯一既有宏观又有微观表现的、“身兼二职”的力.我们的生活起居、工作学习都无不与电磁力存在密不可分的关系.

电磁学的重要性还远不止此.事实上,电磁理论对近代理论物理的发展曾不止一次地起过难以估量的启发和推动作用.例如,对几种相互作用的统一起着关键性作用的规范场论就是杨振宁和米尔斯(Mills)从电磁理论获得启发而创立的,电磁场理论是最简单的规范场论.

认识电荷量子化的最早实验是美国物理学家密立根(Millikan)的著名的油滴实验(1909年),他因此(以及对光电效应的实验验证)获得 1923 年度的诺贝尔物理学奖.电荷量子化具有深刻的物理内涵,同许多深刻的近代物理问题都有关系.人们至今仍不知道如何解释这一事实.然而,狄拉克(Dirac)于 1931 年提出并证明,如果存在磁单极子,则电荷必然是量子化的.传统的电磁理论认为磁单极不存在(磁铁总有两极,而且摔成两段后每段仍有两极).狄拉克的诱人设想就像磁石吸铁般地吸引了许多物理学家通过实验探寻磁单极.1982 年有人在美国斯坦福(Stanford)大学宣称测到磁单极并一度引起轰动,然而后来未能取得公认.应该说磁单极的实验存在性至今仍无定论^①.与电荷量子化有关的另一问题是盖尔曼(Gell-Mann)在 1963

① 许多人把“磁单极存在性”与“磁荷存在性”混为一谈,殊不知这是两个非常不同的问题.只要愿意,你可以说电子既有电荷又有磁荷(你可能难以接受,其实都正确),《普通物理学教程 电磁学(拓展篇)》专题 22 特意为大家讲解和澄清这一问题.



年提出的夸克模型.这一理论认为质子和中子都有内部结构:它们都由更为基本的粒子——带有分数电荷($\pm e/3$ 或 $\pm 2e/3$)的夸克组成.这一模型已被普遍接受.然而实验至今未能观测到自由夸克,因此人们认为夸克是受到“禁闭”的.

§1.2 库仑定律

1.2.1 库仑定律

观察表明,两个静止的带电体之间的静电力除与电荷的数量及相对位置有关外,还依赖于带电体的大小、形状及电荷的分布情况.要用实验直接确立所有这些因素对静电力的影响是困难的.但是,如果带电体的线度比带电体之间的距离小得多,问题就会大为简化.满足这个条件的带电体称为点带电体或点电荷^①.点电荷的概念类似于力学中质点的概念.带电体能否被看作点电荷,不仅取决于本身的大小,而且取决于它们之间的距离.例如,两个半径为 1 cm 的带电球,当球心距离为 100 m 时可相当精确地被看作点电荷;当球心距离为 3 cm 时再看作点电荷就会带来很大误差.但是,究竟带电体的线度比距离小多少才能被看作点电荷(就是说,怎样的误差才可被忽略),却没有一个绝对的标准,它取决于讨论问题时所要求的精确程度.带电体一旦被看作点电荷,就可用一个几何点标志它的位置,两个点电荷的距离就是标志它们的位置的两个几何点之间的距离.

相对于惯性系静止的两个点电荷间的静电力服从的规律称为库仑定律,包括如下两个内容:

(1) 大小相等方向相反,并且沿着它们的连线;同号电荷相斥,异号电荷相吸.

(2) 大小与各自的电荷 q_1 及 q_2 成正比,与距离 r 的平方成反比,即

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad (1-1)$$

其中 k 是比例常数,依赖于各物理量单位的选取.

库仑定律是法国科学家库仑(Coulomb)在 1785 年确立的.他注意到电荷之间的静电力与万有引力有许多类似之处,大胆地假设静电力的规律与万有引力定律有类似的形式,如式(1-1).为了证实这一假设,他精心设计了一些实验,其中主要的一个是研究同性电荷相互作用力的“扭秤实验”.扭秤的结构如图 1-2.在银质悬丝下端挂一横杆,杆的一端有一小球 A,另一端有一平衡物 P. A 的旁边还有一固定小球 B.令 A、B 带同性电荷, A 便因 B 的斥力而转开,直至银丝的扭力矩与 A 所受的静电力矩平衡为止.设此时 A、B 的距离为 r .若

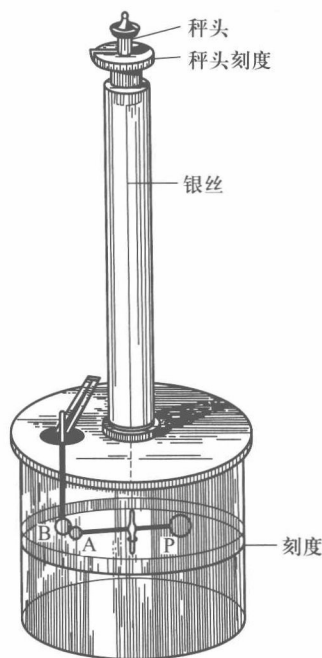


图 1-2 库仑扭秤

^① 带电体是指带电的物体(或粒子),电荷是指物体的某种属性.但习惯上把两者都称为电荷,点带电体更是普遍地称为点电荷.(类似的情况很多,例如把电容器称为电容,今后不再一一指出.)为了定量地研究带电的数量,需要把电荷定义为一个物理量,过去曾称之为电量,现在把这物理量也统称为电荷或电荷量.