

21

世纪高等院校教材

电 磁 学

(第二版)

徐 游 编著

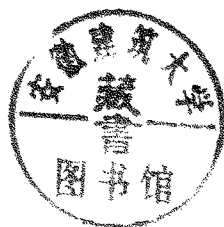
 科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

电 磁 学

(第二版)

徐 游 编著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是理工科大学物理类专业本科生适用的电磁学教材,主要内容包括真空中固定电荷的电场、导体周围的静电场、静电能量、电介质、稳恒电流、真空中稳恒电流的磁场、电磁场中电荷的运动与运动电荷的电磁场、磁介质、电磁感应、韦克斯韦方程与电磁波、交流电。每章均有练习题,书后有习题答案。

图书在版编目(CIP)数据

电磁学/徐游编著. —2版. —北京:科学出版社,2004.5

21世纪高等院校教材

ISBN 7-03-012755-2

I. 电… II. 徐… III. 电磁学-高等学校-教材 IV. O441

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 004092 号

责任编辑:张邦固/责任校对:钟 洋

责任印制:安春生/封面设计:陈 敬

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

1987年1月第 一 版 江苏科学技术出版社第一版

2004年5月第 二 版 开本: B5(720×1000)

2004年5月第一次印刷 印张: 27 3/4

印数: 1—3 000 字数: 526 000

定价: 38.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

第二版 修订说明

本书初版定稿于 20 世纪 80 年代中期,出版后获同行好评,在第二届全国普通高校优秀教材评奖中,获国家教委优秀教材一等奖。近 20 年来,科学技术有很大发展,我国高等教育情况也变化很大,专业分工概念日趋淡化,逐渐走向通才教育。为了适应新情况,本书有修改充实的必要。这次主要在以下几方面作了修订:

1. 删去过难过繁与较为次要的内容,以适应电磁学教学时数减少的状况,并能适应更多学校的需要。

2. 进一步明确教学基本要求。将全书内容分为基本内容(用大字排印)、附录与阅读材料(用小字排印)三部分。把对低年级学生来说较为次要的内容和对某些问题的进一步深入讨论放在附录中;而把一些属于电磁学与其他学科(包括物理学其他部分)交叉,而主要属于其他学科,目前热门或极有前途的问题的简单介绍,以及电磁学的技术应用的内容放在阅读材料中。有些大字排印的节中,出现一段或几段小字。这些小字的内容,本应放在附录或阅读材料里,因内容较少,不便独立成节,所以只好夹在相应的基本内容里。为保持基本内容的独立性,不引用附录和阅读材料的内容。这样便于使用本书的老师和同学,根据需要与兴趣进行选择,并使本书富有弹性,有较宽适应面。

3. 力求反映与电磁学有较密切关系的近年自然科学与技术的重要新发展,使内容现代化。新版除了拓宽或加深某些概念的内涵,用新例子取代旧例子外,主要是采用同行们通常讲的“开窗口、加接口”的方法,对有关内容作浅近而简单的介绍。意在供读者浏览一下,获得初步印象。如读者有意获得更多知识,还必须找其他参考资料。

编写本书的主要指导思想,已写在第一版前言中。此次修订,保留了初版的主要特色。作者一贯认为,大学低年级基础课教学,应该并特别重视综合、分析、探索、创新的精神和能力的培养和锻炼。虽然目前事实上只有研究生毕业才有可能从事基础研究工作,一般大学生机会较少。但是不能因此在大学阶段(包括低年级阶段)放弃这方面的努力。作者认为,无论从事何种工作,到工厂做技术工作,当中学教师等等,都应具备一定的综合、分析、探索、创新的精神与能力(这是科研能力的核心)。广义地说,这种精神与能力的培养,应从娃娃开始,并贯穿于整个教育过程。西方发达国家在这方面的做法值得我们借鉴。

本书在内容安排上,注意留出让学生独立思考,独立解决问题的空间。比如,对称性在整个物理学中有根本意义。本书在研究电磁场时,突出空间对称性的分析。然而在第一、二两章中只着重讨论球对称性,平面对称性仅作简单介绍,轴对称性的论述则有意略去,甚至不给出圆柱形电容器电容的公式(在习题课中也不安排轴对称例题)。直至第三章正文中才讨论轴对称问题。但是第一、二章习题中却有许多这方面的题目。这样安排的用意在于给同学们留下自己独立解决问题的余地。建议使用本书的老师也不必去补足这些内容。这样做与时下盛行的应试教育很不相同,希望同学们能适应这种转变,摒弃应试教育的影响。

本书尽可能多地给出物理量的数量级,适当介绍对复杂实际问题提出简化模型及作近似计算的方法。这方面要比传统普通物理教材做得多。书中不少例题,难度很小,却不嫌其繁地详细计算,其用意不在教学生如何解题,而在使学生熟悉重要的物理量的数量级。这样做使本书增加些篇幅,但这是必要的,我认为这不会导致教学时数的增加。

本书补充例题绝大多数选自 20 世纪 80 年代美国若干大学联合在我国招收物理学研究生的 Cuspea 考试试题和西方国家博士资格考试试题。综合性、灵活性、难度都比较大(但不涉及附录和阅读材料的内容),供学有余力的同学选学,或留作报考研究生时复习用。初学时一般宜略去。

习题数量较大,供选择用。同学们不必全部都做,以免影响思考、钻研和阅读参考书的时间。涉及附录或阅读材料内容的题目前有 * 号。

扣除附录、阅读材料、补充例题,全书篇幅约为 41 万字或略少些。大体上与 55~70 学时(周学时 3~4)的电磁学课程匹配。本书基本内容部分的电磁场方程限于积分形式,不要求学生先学过矢量分析,也不要求高等数学中矢量分析部分与本课程在同一学期学习。为方便电子技术等专业学生使用,本书电路部分尽量采用电路课程教科书通常使用的术语。如将交流电一章删去不影响其他部分的学习。

对大学教学而言,通常所讲的教材,本宜作为主要参考书看待。教师们可按需要与兴趣增删调整,不要拘泥于本书的安排。

本书改写工作得到南京大学物理系同事们和学校教务处的热心支持。作者又从兄弟院校同行编著的教科书中,从他们在教学、教材研讨会上的发言中,和与他们交谈中吸取了许多宝贵经验。本校用过本书的同学也提了许多建议。作者对上述所有的人表示由衷感谢,并希望继续得到赐教。

徐 游

2003 年 12 月于南京大学

第一版 前 言

本书是作者于 1981 年根据教育部颁发的综合大学物理专业普通物理学(电磁学)教学大纲(四年制)及作者长期讲授本课程的经验编写的.在编写中注意吸收国内外先进经验.出版之前又根据近几年试用情况作了修改.

作为教材,其内容和写法,应当根据教学目的确定.教学的目的,不仅是传授知识,更重要的是要培养学生进行创造性科研工作的能力,同时要注意培养学生既严谨踏实又思想活跃的学风.写一本能较好体现上述思想的电磁学教材,是作者的愿望.为此作者作了一些探索,特别是注意了以下几点:

(1) 在阐述物理学基本规律与基本概念时,对前人研究的原始想法,某项发明、发现是在什么背景下,受到什么启发,经由什么途径,以怎样的科学态度而获得成功,作了适当介绍.并注意阐明各个概念、规律的适用范围.在保持理论系统性的同时,适当介绍近代物理知识、物理学前沿状况和有待解决的问题.增加这些内容可以启迪智慧,丰富科学想像力,帮助学生向前人学习探索自然规律的本领,诱发创造性与革新精神,并可增加学生的学习兴趣.

(2) 适当介绍对复杂的实际问题提出简化物理模型及作近似计算的方法,尽可能多地给出各物理量的数量级,以利于培养学生解决实际问题的能力.

(3) 注意物理学各部分知识之间的联系,对于贯穿物理学各个部分的基本概念,如能量观点、守恒定律、叠加原理、参照系等均特别加以强调,以利学生对物质运动建立起完整、系统、明晰的物理图像.

本书力求做到突出重点,深入浅出,便于自学.为了适应不同学校不同专业的需要,在内容上作了弹性安排,增删两便.例如,若删去用活体字排印部分的内容,不会影响其余内容的系统性.因此本书可用作综合大学、师范院校物理类专业及工科相近专业的教材或教学参考书.对于近代物理和理论物理课较少的物理专科学学生,本书可能有助于他们获得一些有关的现代物理知识.书中配有较多的例题与习题,特别注意配置一些着重训练灵活运用基本原理与解题技巧的例题.还吸收部分近年国内外研究生入学试题中较好的题目.习题数量较多,同学们不必全部演算.一些综合性较强或较难的例题作为补充例题放在各章之末,初学时可以略去.

南京大学物理系于 1959 年开始对教学工作作了较大改革,新编了普通物理学和理论物理学教材.中国科学院学部委员、南京大学教授冯端先生当时为本校物

理、天文和大气物理等专业编写了电磁学讲义。作者当时在他指导下参加本课程教学工作。1962年起,冯端先生因其他科研、教学工作繁忙,由作者单独使用该教材,继续进行教学改革探索试验。20多年来,根据国内外科学技术的发展和教学改革的需要,结合自己在教学实践中的体会,经过多次改写,最后成为现在这个样子。书中仍保留了原讲义的某些长处。在改写过程中,继续得到冯端先生的鼓励和支持。对此作者深为铭感。我校基础物理教研室和理论物理教研室有关同志曾对本书提出许多有益建议,在此谨致谢忱。

由于水平有限,难免有错误和欠妥之处,竭诚欢迎批评指正。

徐 游

1985年4月于南京大学

目 录

第一章 真空中固定电荷的电场	1
§ 1.1 电荷	1
§ 1.2 库仑定律和叠加原理	2
1. 库仑定律 2. 电量的单位 3. 叠加原理 4. 对库仑定律的进一步讨论	
§ 1.3 物质的电结构	7
1. 电荷的量子化 2. 原子结构 3. 导体、绝缘体和半导体 4. 电荷守恒定律 5. 使物质结合的力	
§ 1.4 电场 电场强度	13
1. 电场 2. 电场强度 3. 点电荷的场强 4. 电场强度叠加原理	
§ 1.5 连续分布的电荷所激发的电场	19
§ 1.6 静电场的势	26
1. 静电力所做的功与路径无关 2. 电势能和电势 3. 电势的计算 4. 场强与电势的微分关系	
§ 1.7 电场线和等势面	34
§ 1.8 高斯定理	36
1. 电通量 2. 高斯定理 3. 电场线的性质	
§ 1.9 高斯定理应用举例	42
1. 均匀带电球的电场 2. “无限大”均匀带电平面的电场	
§ 1.10 电偶极子激发的电场	46
§ 1.11 [附录]密立根油滴实验与分数电荷	50
§ 1.12 小结和补充例题	52
1. 小结 2. 补充例题	
第二章 导体周围的静电场 静电能量	59
§ 2.1 静电场中导体的基本性质	59
1. 静电平衡条件 2. 静电感应过程 3. 电荷只分布在导体表面 4. 法拉第圆桶实验 5. 库仑平方反比律的精确验证	
§ 2.2 导体表面的电场与电荷分布 尖端效应	63
1. 导体表面附近的电场强度 2. 尖端效应 3. 场致发射显微镜	
§ 2.3 静电屏蔽 范德格拉夫起电机	66

1. 静电屏蔽 * 2. 范德格拉夫静电高压起电机	
§ 2.4 导体周围电场的计算	67
1. 方法 2. 解的惟一性定理	
§ 2.5 孤立导体的电容	72
§ 2.6 电容器的电容	73
§ 2.7 电容器的组合	76
§ 2.8 真空中静止电荷系的能量	79
§ 2.9 真空静电场的能量	82
1. 能量定域于电场 2. 点电荷的固有能量 3. 原子核的静电能量	
§ 2.10 导体表面所受的力	86
§ 2.11 外电场中电偶极子的电势能和所受的力和力矩	87
§ 2.12 [阅读材料]静电学的技术应用	89
1. 静电除尘器 2. 静电复印机	
§ 2.13 小结和补充例题	91
1. 小结 2. 补充例题	
第三章 电介质	101
§ 3.1 电介质的极化	101
1. 无极分子电介质 2. 有极分子电介质	
§ 3.2 极化强度和极化电荷密度	104
1. 极化强度 2. 极化电荷 3. 极化电荷面密度	
§ 3.3 微观场与介质宏观场方程式的推导 电感应强度	108
1. 微观场与宏观场 2. 介质宏观场方程式的推导 3. 极化率和介电常数	
4. 关于极化电荷分布的进一步讨论	
§ 3.4 有电介质存在时静电场的计算	113
§ 3.5 有电介质存在时的电场能与作用力	117
1. 电介质内的电场能 2. 利用功能原理计算带电体系所受的力	
§ 3.6 [附录]介质分界面上的边界条件	120
§ 3.7 [阅读材料]物质介电性质补充知识	122
1. 非线性介质 2. 铁电 压电 电致伸缩 3. 各向异性介质	
§ 3.8 [附录]静电场方程式的微分形式和解的惟一性定理的证明	124
1. 静电场方程式的微分形式 2. 解的惟一性定理的证明	
§ 3.9 [附录]数值计算方法	127
§ 3.10 小结和补充例题	131
1. 小结 2. 补充例题	
第四章 稳恒电流	138
§ 4.1 电流与电流密度	138

1. 电流 2. 电流密度 3. 电流线	
§ 4.2 电流的连续性方程 稳恒电流	142
1. 电流的连续性方程 2. 稳恒电流 3. 基尔霍夫第一定律 4. 稳恒电流电场	
§ 4.3 电阻 欧姆定律	145
1. 欧姆定律 2. 非线性元件 3. 电阻率 4. 欧姆定律的微分形式	
§ 4.4 电流的功和功率	149
§ 4.5 金属导电的经典微观理论	151
1. 金属导电的载流子是自由电子 2. 电子气的热运动 3. 欧姆定律的解释	
§ 4.6 稳恒电流电场的若干性质	155
§ 4.7 电源 电动势	158
1. 电源的作用 2. 外加力场强度 3. 电动势 4. 电源的端电压	
5. 能量关系	
§ 4.8 基尔霍夫定律	166
1. 有关电路的几个概念 2. 基尔霍夫定律	
§ 4.9 复杂电路的计算	170
1. 支路电流法 2. 回路电流法	
§ 4.10 电容器的充放电过程	174
§ 4.11 [附录]网络定理	176
1. 叠加定理 2. 电压源 等效电压源定理 3. 电流源 等效电流源定理	
§ 4.12 [附录]温差电现象	179
1. 珀耳帖电动势 2. 汤姆孙电动势 3. 温差电动势	
§ 4.13 [阅读材料]半导体简介	182
1. 半导体导电性 2. pn 结和晶体三极管 3. 集成电路	
§ 4.14 [阅读材料]若干生物电现象简介	185
1. 心电图原理 2. 神经系统中的电流 3. 安全用电	
§ 4.15 小结和补充例题	188
1. 小结 2. 补充例题	
第五章 真空中稳恒电流的磁场	197
§ 5.1 磁相互作用	197
§ 5.2 磁场 磁感应强度 毕-萨-拉定律	200
1. 电流间相互作用力的基本性质 2. 磁感应强度 3. 毕-萨-拉定律	
§ 5.3 [附录]安培定律	205
§ 5.4 应用毕-萨-拉定律计算简单电路的磁场	206
1. 圆电流轴线上各点的磁感应强度 2. 载流直螺线管轴线上各点的磁感 应强度 3. 载流直导线的磁场	
§ 5.5 稳恒电流磁场的基本方程式	210

1. 磁通量 2. 磁场的“高斯定理” 3. 安培环路定理 4. 安培环路定理的应用	
§ 5.6 作为磁偶极子的闭合电流	217
§ 5.7 平行电流间的相互作用力 电流单位“安培”的定义	220
1. 平行电流间的相互作用力 2. 电流单位“安培”的定义	
§ 5.8 磁场对载流线圈的作用	222
§ 5.9 [附录]安培环路定理的证明	227
§ 5.10 小结	229
第六章 电磁场中电荷的运动与运动电荷的电磁场	236
§ 6.1 洛伦兹力	236
1. 洛伦兹力 2. 带电粒子在均匀磁场中的运动	
§ 6.2 带电粒子在电磁场中运动的例子	241
1. 汤姆孙实验和电子的发现 2. 质谱仪 3. 回旋加速器	
§ 6.3 霍尔效应	246
§ 6.4 [附录]等离子体	248
§ 6.5 [附录]运动电荷的场	250
§ 6.6 [附录]相对论效应	252
§ 6.7 小结和补充例题	255
1. 小结 2. 补充例题	
第七章 磁介质	260
§ 7.1 介质的磁化	260
1. 介质的磁化现象 2. 电子的轨道磁矩与自旋磁矩 3. 核磁矩	
4. 抗磁性 5. 顺磁性 6. 爱因斯坦和德-哈斯等实验	
§ 7.2 磁化强度与磁化电流密度	269
1. 磁化强度 2. 磁化电流密度 3. 磁化电流面密度	
§ 7.3 磁感应强度与磁场强度 介质磁场的基本方程式	274
1. 微观场与宏观场 2. 介质磁场的基本方程式 3. B 与 H 的意义	
§ 7.4 介质的磁化规律	278
1. 顺磁和抗磁介质 2. 铁磁介质 3. 铁磁性的起源 4. 有磁介质芯的螺线管的磁场的计算	
§ 7.5 永久磁铁的磁场	286
§ 7.6 磁路	288
1. 有磁介质特别是铁磁质存在时磁感应线的形状 2. 磁路计算 3. 铁芯开有气隙的螺绕环	
§ 7.7 [附录]等效磁荷方法	293
1. 建立在磁荷基础上的静磁学 2. 等效磁荷方法 3. 退磁场	

§ 7.8 [附录]边界条件	298
§ 7.9 小结和补充例题	299
1. 小结 2. 补充例题	
第八章 电磁感应	304
§ 8.1 楞次定律和法拉第电磁感应定律	304
1. 电磁感应现象 2. 楞次定律 3. 法拉第电磁感应定律	
§ 8.2 电磁感应中的非库仑力	308
1. 磁场不随时间变化,导体运动的情况 2. 导体静止,磁场随时间变化的情况	
3. 一般情况 4. 电磁感应中的能量转换关系 5. 电子感应加速器	
§ 8.3 自感应	318
§ 8.4 含有自感的电路接通与开断时的瞬时电流	321
1. 接通时的瞬时电流 2. 开断时的瞬时电流	
§ 8.5 互感应	323
§ 8.6 磁场的能量	326
1. 自感磁能 2. 磁场能量密度 3. 互感磁能	
§ 8.7 磁滞损耗 涡电流 趋肤效应	330
1. 磁滞损耗 2. 涡电流 3. 趋肤效应	
§ 8.8 位移电流	332
§ 8.9 [附录]似稳电流	337
1. 基尔霍夫第一定律 2. 似稳电流中电压的概念 3. 基尔霍夫第二定律	
4. 似稳条件	
§ 8.10 [阅读材料]超导体简介	343
1. 超导体基本性质 2. 迈斯纳效应 3. BCS 理论 4. 第二类超导体 5. 约瑟夫森效应 6. 磁悬浮列车	
§ 8.11 小结和补充例题	349
1. 小结 2. 补充例题	
第九章 麦克斯韦方程组与电磁波	358
§ 9.1 电磁场规律的总结	358
§ 9.2 电磁波	360
§ 9.3 光的电磁理论和电磁波谱	366
1. 光的电磁理论 2. 赫兹实验 3. 电磁场的动量、光压和光子 4. 电磁波谱	
第十章 交流电	374
§ 10.1 频率 相位 初相位	374
§ 10.2 R 、 L 、 C 单元电路 有效值 平均值	376
1. R 电路 有效值 平均值 2. L 电路 3. C 电路	

§ 10.3	R 、 L 、 C 串联电路	381
§ 10.4	矢量图法在交流电路上的应用 并联电路	384
	1. 余弦函数的求和 2. 矢量图法在交流电路上的应用 3. 并联电路	
§ 10.5	复数在交流电路中的应用	388
	1. 用实变数的复指数函数代替余弦函数 2. 用复数方法求微分方程的特解	
	3. 复数方法在交流电路中的应用	
§ 10.6	基尔霍夫定律的复数形式	394
§ 10.7	交流电路中的电功率	399
§ 10.8	[附录] 串联谐振	401
	1. 串联谐振 2. 品质因数	
§ 10.9	[附录] 三相电路	405
§ 10.10	[附录] 变压器	407
	1. 变压器 2. 理想变压器	
§ 10.11	小结和补充例题	409
	1. 小结 2. 补充例题	
附录	高斯单位制	415
习题答案		423

第一章 真空中固定电荷的电场

§ 1.1 电 荷

对电磁学的研究可以追溯到我国春秋战国时代,当时人们已经知道琥珀摩擦后能吸引轻微物体,天然磁石能够吸铁.河北省的磁县就是因附近盛产天然磁石而得名的.在国外,公元前 600 年,希腊的塞利斯曾记载了琥珀摩擦后能吸引草屑.而对磁现象的认识始于对小亚细亚麦格纳细亚(Magnesia)地方的天然磁石的研究.早年常将电力与磁力视作同一性质,直至公元 1600 年,吉伯始将两者分开.吉伯认为琥珀吸引轻微物体不受地球磁场之影响,其效应不可与磁铁吸引铁屑相混同.当时把经摩擦能够吸引轻微物体之琥珀说成带有“电”或说带“电荷”.

为了研究电荷间的相互作用,可以用丝绸摩擦玻璃棒,并用长丝线把玻璃棒悬挂起来(如图 1.1).如果把丝绸摩擦过的第二根玻璃棒移近第一根,这两根玻璃棒将相互排斥;如果将毛皮摩擦过的硬橡皮棒移近第一根玻璃棒,硬橡皮棒将吸引玻璃棒;而毛皮摩擦过的两根橡皮棒则相互排斥.由此可见,玻璃棒上的电荷与硬橡皮棒上的电荷是不同的.通常把用丝绸摩擦过的玻璃棒所带的电叫做正电,把用毛皮摩擦过的硬橡皮棒所带的电叫做负电.由上述实验还可知道,同号电荷相互排斥,异号电荷相互吸引.电荷间的这种相互作用力叫做库力,或者叫做静电力.

上述电效应,不限于琥珀、玻璃棒、丝绸等物体.在适当条件下,任何物体与其他物体摩擦后,都将多少带些电.用带正电的玻璃棒或者带负电的硬橡皮棒与未知电荷进行比较,就能够判明未知电荷不是正的就是负的.电只有两种.

至今,物理学家对摩擦起电现象的机理仍未能完全理解.例如,如上所述用丝绸摩擦玻璃棒,将使玻璃棒带正电而丝绸带负电.但是如果用绝对清洁的丝绸或其他纺织品摩擦玻璃棒,则玻璃棒带负电而丝绸等纺织品带正电.这说明摩擦所产生的效果似乎主要决定于纺织品上面所沾的污物而不是纺织品与玻璃本身.甚至空气的存在也有影响.例如,在真空中用丝绸摩擦铂棒,将使铂棒带负电;而在空气中摩擦,则铂棒带正电.

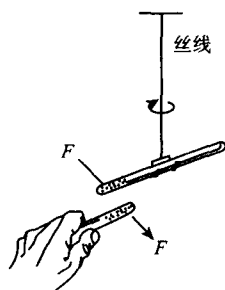


图 1.1 两根带正电的玻璃棒彼此排斥

如果把带电体 A 移近一个由 B 、 C 两部分合拢组成的与外界绝缘的导体(图 1.2),则发现靠近 A 的 B 端带与 A 异号的电荷,而 C 端则带与 A 同号的电荷,这种现象叫做**静电感应**.移走 A , B 、 C 两端即刻恢复不带电状态.如果先将 B 、 C 分开,然后再移开 A ,则发现 B 、 C 两部分带异号电.把 B 、 C 重新合拢,则 B 、 C 又立即恢复不带电的状态.由此可知,利用静电感应使物体带电,正负电荷同时出现,而且这两种电荷的量值一定相等.当它们重新相遇时能够互相中和,从而物体不再带电.实验表明,摩擦起电过程中出现的正负电荷数量也一定相等.现在我们知道,当一种电荷出现时,必有相等量值的异号电荷同时出现;一种电荷消失时,也必有相等量值的异号电荷同时消失.在一个孤立系统内,无论发生什么样的变化,系统内**电量的代数和保持不变**.这个由实验总结出来的定律称为**电荷守恒定律**,是物理学基本定律之一.

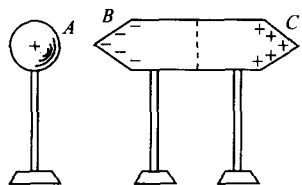


图 1.2 静电感应

电荷究竟是什么?有人说,电荷就是电子质子这些粒子.这是不对的.电子、质子带有电荷,但它们并非“电荷”.和物体的惯性质量、引力质量一样,电荷也是物体的一种属性.这种属性使得一个物体可以施力于其他带电物体,也可以感受其他带电体对它的作用力.就像为表示引力作用的强度起见而对每个物体指定一个引力质量一样,我们为了表示物体电力的强度规定了电量,电量即电荷的量或称电荷的大小.电子

质子等带有电荷,同时又有质量.此外它们还有别的性质,例如当两个质子靠得很近时相互之间有很强的核力相作用.

库仑力与万有引力都遵守平方反比定律.但是两者有很多不同的地方.“万有引力”如其名称所显示,只能是引力,库仑力既有引力也有斥力.我们很快就会知道库仑力要比万有引力强得多.由于同种电荷间有很强的斥力,宇宙是个正、负电荷均匀混合的混合体,这一点就不足为奇了.

最后,我们指出两点.(1)我们所称的负电荷本来也可以称为正电荷,反之亦然.现在使用的命名法是富兰克林提出来的,一直沿用至今.(2)历史常常是螺旋式向前发展的.前面提到,直至公元 1600 年吉伯才将电力与磁力分开.此后,电现象与磁现象两者一直被认为是独立的互不相干的,虽然它们在许多方面很相似.直到 1820 年,奥斯忒的著名实验才又把电和磁联系起来.

§ 1.2 库仑定律和叠加原理

静电学研究相对于观察者为静止的电荷间相互作用的规律.观察者则必须是**惯性参照系**.静电理论的基础是库仑定律、叠加原理及电荷守恒定律.

1. 库仑定律

对 § 1.1 中所述静电现象的定性研究,延续了很长时期.直到 18 世纪末叶,才开始对电荷间的相互作用作定量研究.当时良好绝缘体的利用以及力学仪器的发展,使得库仑有可能作出著名的扭秤实验.1785 年库仑发表了实验结果,这就是我们知道的库仑定律.

扭秤装置(如图 1.3 所示)类似图 1.1 中的悬棒,所不同的是图 1.1 中的电荷被限制在 a 和 b 两个小球上.

如果小球 a 和 b 都带电,则作用在小球 a 上的电力将使悬丝扭转.为了使两个带电小球保持在实验时所需要的特定距离,可将悬头扭转过一角度 θ ,以抵消悬丝的扭转效应.测量角度 θ 的大小就可以确定作用在带电小球 a 上的力^①.

实验结果指出:

$$F \propto \frac{1}{r^2}$$

式中 F 是作用于 a 和 b 这两个带电小球上的相互作用力的量值, r 是 a 和 b 间的距离.这两个力沿着两电荷的连线而指向相反的方向.应该注意,即使这两个电荷的大小不同,作用于每个电荷的力的大小也是相等的.

库仑还利用扭秤研究电荷间的相互作用力怎样随着电荷的相对量值而改变.当时,人们还没有其他方法可以用来检验或测量电荷,只能根据电荷间的静电力来检验.而静电力与电荷大小间的关系正是库仑所要解决的问题.因此,他遇到了困难.库仑用巧妙的方法解决了这个困难.设两个完全相同的金属球,一个带电,一个不带电.如果让这两个球相接触,则原来的电荷必然均等地分配于这两个球上.这一点可以用扭秤来验证.让图 1.3 中的 b 球电荷保持不变,令 a 球与另一完全相同的金属球 c 相碰,然后测量 a 与 b 及 c 与 b 间的相互作用力.可以得知当距离 r 相同时,力也相同.这就证明了 a 球与 c 球带有相同的电量.库仑用这样的方法改变图 1.3 中 a 、 b 两球上电荷的相对量值,从而得到

$$F \propto \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1.1)$$

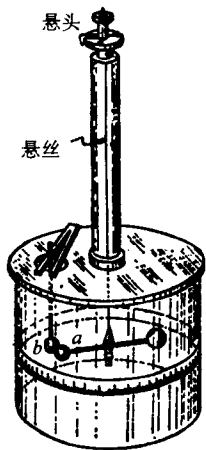


图 1.3 库仑扭秤

① 两带电小球之间的万有引力通常比电荷间的相互作用力小得多,可以忽略不计.

式中 Q_1 和 Q_2 是球 a 和 b 上电荷的相对量值. 方程(1.1)叫做库仑定律. 这定律只有在带电物体的线度远小于它们之间的距离时才成立. 通常把这样的带电体叫做点电荷. 因此我们说库仑定律只对点电荷适用. 实际的带电体总是有一定大小的, 它能否作为点电荷处理, 要从具体情况来考虑. 点电荷的概念是相对的, 它与力学中质点的概念颇为相似.

2. 电量的单位

电量有多种单位.

库仑定律(1.1)式中力和距离的单位已经确定, 只有电量单位尚未确定. 与确定力的单位牛顿或达因的方法相较, 容易想到, 若令式(1.1)中的比例系数为无量纲的数 1, 即可确定电量的单位及量纲. 最初, 电量的单位确是这样确定的. 由此方法确定的电磁学单位制叫做高斯单位制, 它在实用上有许多不便之处. 目前大多数国家包括我国都已采用另一种单位制——MKSA 单位制.

MKSA 单位制中, 基本量有 4 个, 除长度、质量、时间外再加电流. 它们的单位分别为米(m)、千克(kg)、秒(s)和安培(A). 关于米、千克、秒的规定, 在力学中已经讲过. 至于安培, 它是根据电流间的相互作用力来确定的, 故留待 § 5.7 叙述. 电磁学中其他各物理量的单位都可以从这四个单位导出. 在 MKSA 单位制中, 电量的单位是库仑(其符号为 C). 因为电流等于单位时间内通过导线横截面的电量, 故库仑的定义是: 如果导线中载有 1A 的稳恒电流, 则在 1s 内通过导线横截面的电量为 1C. 即

$$1\text{C} = 1\text{A} \cdot \text{s}$$

在 MKSA 制中, 公式(1.1)中出现的电量、距离、力的单位都已确定. 比例系数的数值不能任意给定而要通过实验确定. 在 MKSA 单位制中, 把描述真空中两个点电荷间的静电作用力的库仑定律中的比例系数写成 $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ 的形式:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (1.2)$$

实验测出 ϵ_0 的值是

$$\epsilon_0 = 8.854\,187\,82 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

对于本书所有习题, 采用下列数值就足够准确了:

$$\epsilon_0 = 8.9 \times 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9.0 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$$

由于 MKSA 单位制中有长度(L)、质量(M)、时间(T)和电流(I)四个基本量,