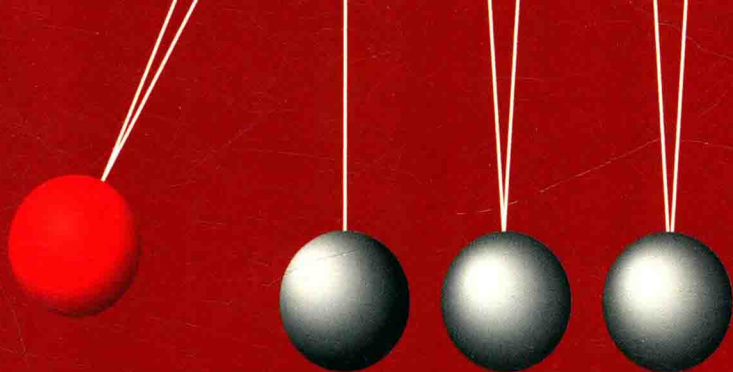




普通高等学校省级规划教材

大学物理学 下册

University Physics

总 主 编 / 袁广宇

本册主编 / 江贵生 袁广宇 李 娟 刘树龙

中国科学技术大学出版社

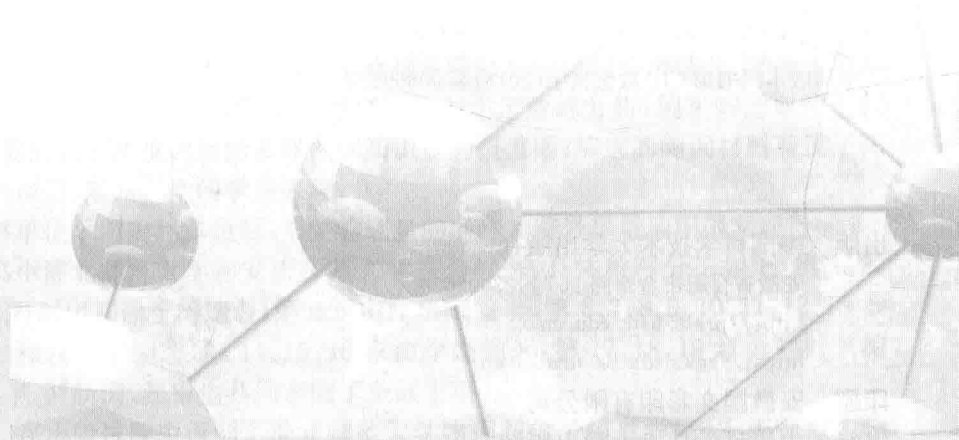
普通高等学校省级规划教材

大学物理学 下册

University Physics

总主编 / 袁广宇

本册主编 / 江贵生 袁广宇 李娟 刘树龙



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书是根据教育部 2006 年颁发的“非物理类理工学科大学物理课程教学基本要求”,结合目前大学物理课程学时设置的实际情况编著的.在编著过程中秉承了体系完整、结构合理、简明扼要、化难为易以利于学生理解接受的原则.

《大学物理学》分上、下两册.上册包括力学(1~5 章)、气体动理论和热力学基础(6~7 章),下册包括电磁学(8~13 章)、光学(14~16 章)和量子力学基础(17~19 章).本书为下册,建议安排 108~126 学时.

本书可作为高等学校理工科非物理专业全日制大学生大学物理课程的教材,也可作为有关教师和相关技术人员的参考书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.下册/江贵生,等主编. —合肥:中国科学技术大学出版社,2018.2
ISBN 978-7-312-04290-4

I. 大… II. 江… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 006692 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
<https://zgkxjdsxcbs.tmall.com>
印刷 安徽国文彩印有限公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×1000 mm 1/16
印张 18.5
字数 380 千
版次 2018 年 2 月第 1 版
印次 2018 年 2 月第 1 次印刷
定价 40.00 元

《大学物理学》编委会

总 主 编 袁广宇

副 主 编 尹新国 江贵生

编 委 (以姓氏笔画为序)

马业万	王 玮	公丕峰	尹训昌
刘万芳	刘建军	刘树龙	江燕燕
李 兵	李 宏	李 娟	吴义恒
吴兆旺	何君琦	何 敏	张丽琴
张金峰	张 峰	陈春霞	赵春然
袁五届	徐士涛		

前 言

物理学是研究物质的基本结构、基本运动形式以及相互作用的自然科学,它的基本理论渗透在自然科学的各个领域,应用于生产技术的许多部门,是其他自然科学和工程技术的基础.以物理学基础为内容的大学物理课程,是高等学校理工科各专业一门重要的通识性必修基础课.

通过大学物理课程的教学,应使学生对物理学的基本概念、基本理论和基本方法有比较系统的认识 and 正确的理解,为学生进一步学习打下坚实的基础.在大学物理课程的各个教学环节中,都应在传授知识的同时,注重学生分析问题和解决问题能力的培养,注重学生探索精神和创新意识的培养,努力实现学生知识、能力、素质的协调发展.

本书编著者长期从事大学物理教学及其研究工作,熟悉大学物理的教学内容、教学体系和教学规律.本书借鉴了国内外近年出版的相关教材的优点,吸纳了编著者多年来的教学研究成果,既注重对基础理论的阐述,又注重对近现代物理学知识和观点的介绍.全书的篇、章、节结构,在保证理论体系完整的基础上,力求简明扼要,难度适中;在内容的阐述和分析上,将抽象演绎与定性归纳相结合,降低了数学计算难度,增加物理内涵分析,适当增加定性分析与半定量的分析;例题的选取注重代表性,习题的选取注重题型的多样性和知识点的覆盖面;节选的阅读材料有助于拓展学生的视野,激发学生的学习兴趣.

全书单位采用国际单位制,书中物理量的名称和符号尽量采用国家现行标准.

本书由淮北师范大学和安庆师范大学联合编著,具体编写分工如下:第1、2、3、4章由尹新国和徐士涛编著,第5章由江燕燕编著,第6、7、8、9、10、11、12、13章由江贵生和袁广宇编著,第14、15、16章由李娟编著,第17、18、19章由刘树龙编著.袁广宇、尹新国、江贵生共同审阅了全部书稿.

本书在出版过程中得到了淮北师范大学物理与电子信息学院、安庆师范大学物理与电气工程学院、中国科学技术大学出版社的大力支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢.

由于编著者的学识水平有限,书中难免存在错误和不妥之处,敬请广大读者不吝赐教,以便再版时修改.

作者

2017年6月18日

目 录

前言	(i)
----------	-------

第三篇 电磁学

第 8 章 真空中的静电场	(3)
8.1 电荷 库仑定律	(3)
8.1.1 电荷及其重要特性	(3)
8.1.2 库仑定律	(5)
8.1.3 电力叠加原理	(7)
8.2 电场强度 电场线	(8)
8.2.1 电场强度	(8)
8.2.2 场强叠加原理	(9)
8.2.3 电场强度计算举例	(10)
8.2.4 电场线	(13)
8.3 静电场的高斯定理	(14)
8.3.1 电通量	(15)
8.3.2 静电场的高斯定理	(16)
8.3.3 高斯定理应用举例	(18)
8.4 静电场的环路定理 电势	(22)
8.4.1 静电场的环路定理	(22)
8.4.2 电势、电势差、电势叠加原理	(24)
8.4.3 电势计算举例	(25)
8.4.4 等势面	(27)
* 8.4.5 电场强度与电势梯度的关系	(29)
习题 8	(31)
第 9 章 静电场中的导体和电介质	(37)
9.1 静电场中的导体	(37)
9.1.1 导体的静电平衡条件	(37)
9.1.2 导体静电平衡时的基本性质	(39)
9.1.3 静电屏蔽	(41)

9.2 静电场中的电介质	(43)
9.2.1 电介质的极化	(44)
9.2.2 极化强度	(47)
9.2.3 极化电荷	(47)
9.2.4 电位移 有介质时的高斯定理	(48)
9.3 电容器 电容	(51)
9.3.1 孤立导体的电容	(51)
9.3.2 电容器及其电容	(52)
9.3.3 电容器的串联和并联	(54)
9.4 电场的能量	(56)
9.4.1 电容器储存的电能	(56)
9.4.2 电场的能量	(57)
习题9	(58)
第10章 恒定电流和恒定磁场	(64)
10.1 电流强度 电流密度 电流的连续性方程	(64)
10.1.1 电流强度 电流密度	(64)
10.1.2 电流的连续性方程 恒定电流的闭合性	(66)
10.2 欧姆定律和焦耳定律	(67)
10.2.1 欧姆定律的积分形式和微分形式	(67)
* 10.2.2 电流的功率 焦耳定律	(68)
10.3 电源和电动势 电路上两点间的电势差	(69)
10.3.1 电源 电动势	(69)
10.3.2 电路上任意两点间的电势差	(71)
10.4 电流的磁效应 磁感应强度	(73)
10.4.1 电流的磁效应	(73)
10.4.2 磁感应强度	(74)
10.5 比奥—萨伐尔定律	(76)
10.5.1 比奥—萨伐尔定律	(76)
* 10.5.2 运动点电荷的磁场	(77)
10.5.3 比奥—萨伐尔定律的应用	(78)
10.6 磁场的高斯定理 安培环路定理	(80)
10.6.1 磁场的高斯定理	(80)
10.6.2 安培环路定理	(81)
10.6.3 安培环路定理的应用	(83)
10.7 磁场对载流导线的作用 磁力的功	(87)
10.7.1 载流导线在磁场中所受的安培力	(87)

10.7.2 载流线圈在均匀外磁场中受到的磁力矩	(89)
* 10.7.3 磁力的功	(90)
10.7.4 平行电流间的相互作用 电流单位“安培”的定义	(91)
10.8 带电粒子在磁场中的运动	(92)
10.8.1 带电粒子在磁场中的运动	(92)
10.8.2 霍尔效应	(95)
习题 10	(97)
第 11 章 磁介质	(107)
11.1 磁介质的磁化 磁化电流	(107)
11.1.1 磁介质的磁化	(107)
11.1.2 磁化强度	(110)
11.1.3 磁化电流	(111)
11.2 有磁介质时的安培环路定理	(112)
11.2.1 磁场强度 有磁介质时的安培环路定理	(113)
11.2.2 B 、 H 、 M 三矢量间的关系	(114)
* 11.3 铁磁性与铁磁质	(115)
11.3.1 铁磁质的磁化规律	(115)
11.3.2 铁磁性的起因	(117)
习题 11	(118)
第 12 章 电磁感应	(123)
12.1 电磁感应基本定律	(123)
12.1.1 电磁感应现象	(123)
12.1.2 楞次定律	(125)
12.1.3 法拉第电磁感应定律	(125)
12.2 动生电动势	(128)
12.2.1 动生电动势及相应的非静电力	(129)
12.2.2 交流发电机的基本原理	(130)
12.3 感生电动势和感生电场	(132)
12.3.1 感生电场	(132)
12.3.2 感生电场的性质	(133)
12.3.3 螺线管磁场变化引起的感生电场	(135)
12.3.4 感生电动势的计算	(136)
* 12.3.5 电子感应加速器	(138)
* 12.3.6 涡电流	(139)
12.4 自感应与互感应	(140)
12.4.1 自感应	(140)
12.4.2 互感应	(144)

12.5 磁场的能量	(146)
12.5.1 自感磁能	(146)
12.5.2 磁能体密度	(147)
* 12.5.3 互感线圈的磁能	(149)
习题 12	(150)
第 13 章 电磁场理论的基本概念	(160)
13.1 位移电流 麦克斯韦方程组	(160)
13.1.1 电磁场基本规律小结	(160)
13.1.2 位移电流	(161)
13.1.3 麦克斯韦方程组	(164)
13.2 电磁波的辐射和传播	(166)
13.2.1 振荡电偶极子辐射的电磁波	(167)
13.2.2 平面电磁波的基本性质	(168)
13.2.3 电磁波的能量 能流密度 电磁波的强度	(168)
13.2.4 电磁波谱	(169)
习题 13	(170)

第四篇 光 学

第 14 章 光的干涉	(175)
14.1 光的电磁理论	(175)
14.1.1 光的电磁理论	(175)
14.1.2 光源的发光机理	(176)
14.1.3 光波的叠加及相干条件	(177)
14.2 分波阵面干涉	(179)
14.2.1 光程 光程差	(179)
14.2.2 杨氏双缝干涉实验	(179)
14.2.3 菲涅耳双面镜实验 洛埃镜实验	(181)
14.2.4 光的时空相干性	(182)
14.3 分振幅薄膜干涉	(183)
14.3.1 薄膜干涉	(183)
14.3.2 等倾干涉	(185)
14.3.3 等厚干涉 劈尖 牛顿环	(186)
14.3.4 迈克尔逊干涉仪	(188)
习题 14	(190)
第 15 章 光的衍射	(192)
15.1 光的衍射现象	(192)

15.1.1 光的衍射现象	(192)
15.1.2 惠更斯—菲涅耳原理	(193)
15.1.3 衍射的分类	(194)
15.2 单缝及圆孔的夫琅和费衍射	(195)
15.2.1 单缝夫琅和费衍射	(195)
15.2.2 圆孔夫琅和费衍射	(198)
15.2.3 光学仪器的分辨本领	(198)
15.3 光栅衍射	(199)
15.3.1 光栅衍射图样的特点	(199)
15.3.2 光栅衍射的强度分布	(200)
15.3.3 缺级 光栅光谱	(201)
习题 15	(202)
第 16 章 光的偏振	(204)
16.1 自然光和偏振光	(204)
16.1.1 自然光	(204)
16.1.2 线偏振光	(205)
16.1.3 部分偏振光	(205)
16.1.4 圆偏振光	(206)
16.1.5 椭圆偏振光	(206)
16.2 起偏和检偏 马吕斯定律	(206)
16.2.1 偏振片 起偏和检偏	(206)
16.2.2 马吕斯定律	(207)
16.3 反射光和折射光的偏振态	(208)
16.4 双折射	(209)
16.4.1 双折射现象	(209)
16.4.2 波片	(210)
16.4.3 人为双折射现象	(212)
16.4.4 旋光现象	(212)
习题 16	(213)
阅读材料	(215)
蝴蝶翅膀的灵感	(215)

第五篇 量子力学基础

第 17 章 量子物理基础——量子实验	(218)
17.1 氢原子光谱的实验规律	(219)
17.2 黑体辐射和普朗克假设	(220)

17.2.1 黑体辐射	(221)
17.2.2 普朗克假设	(224)
17.3 光电效应与爱因斯坦的量化假说	(225)
17.3.1 光电效应	(226)
17.3.2 爱因斯坦的量化假说	(226)
17.3.3 光的波粒二象性	(228)
17.4 康普顿效应	(230)
17.4.1 光的散射	(230)
17.4.2 康普顿效应	(231)
17.4.3 康普顿效应与光电效应的关系	(234)
17.5 塞曼效应	(235)
17.6 玻尔的氢原子理论	(236)
17.6.1 卢瑟福的原子有核模型	(237)
17.6.2 玻尔的氢原子理论	(237)
17.7 粒子的波粒二象性	(240)
17.7.1 德布罗意假设	(240)
17.7.2 电子衍射实验	(242)
17.7.3 概率波	(244)
17.8 测不准关系	(248)
习题 17	(252)
第 18 章 量子力学五大基本假设	(254)
18.1 量子力学基本假设 I:波函数假设	(254)
18.2 量子力学基本假设 II:力学量算符假定	(255)
18.3 量子力学基本假设 III:本征值概率及平均值假定	(257)
18.4 量子力学基本假设 IV:Schrodinger 方程	(259)
18.5 量子力学基本假设 V:全同性原理	(262)
习题 18	(262)
第 19 章 一维定态问题	(264)
19.1 一维无限深势阱	(264)
19.2 势垒穿透	(267)
19.3 一维谐振子	(269)
习题 19	(270)
习题参考答案	(272)

第三篇 电 磁 学

电磁学是研究电磁现象基本规律的学科,是经典物理学的重要组成部分。

尽管人类接触电现象和磁现象比较早,但是关于电磁现象定量的理论研究,还要从 1785 年库仑定律的问世算起。库仑(电性)定律的建立,标志着人们对电的认识真正地从经验走向科学,从定性观察阶段进入定量研究阶段。之后一段相当长的时间内,人类一直认为电现象和磁现象是两种截然不同的客体,不存在相互转化的可能。当时科学权威库仑就断言:“电与磁之间不存在相互转化的可能性。”该论点得到了物理学界不少学者的支持和认同,例如安培(后来又反对库仑的观点)、托马斯·杨等。但是深受康德哲学思想影响的丹麦物理学家奥斯特却坚决反对。1820 年奥斯特在课堂上发现了“电流的磁效应”,说明了磁现象的本质是“动电现象”。“电流的磁效应”的发现,开创了电、磁联系的“电磁学”的新局面,从此古老的电学、磁学获得了新生。奥斯的发现,给 19 世纪最伟大的实验物理学家法拉第以很大的启示,他认为既然“动电能够生磁”,那么“动磁就应该能生电”!经过十年的努力,法拉第终于在 1831 年取得了突破性的进展,发现了“电磁感应现象”。“电磁感应现象”的发现标志着电磁理论由静态研究演进到了动态研究的新阶段。从实用的角度来看,“电磁感应现象”的发现使电工技术取得了长足的发展,为人类后来生活的电气化打下了基础;从理论上来看,“电磁感应现象”的发现更全面地揭示了电与磁的联系,使得在这一年出生的伟大的物理学家麦克斯韦有可能建立一套完整的电磁场理论体系。1861 年前后,经过对“电磁感应现象”特别是感生型电磁感应现象深入的分析和研究之后,麦克斯韦大胆地提出了“涡旋电场假说”,即变化的磁场可以在其周围空间产生电场,并把这种电场称为“感生电场”。“涡旋电场假说”的问世,提升了法拉第的物理思想,揭示了变化的磁场和电场之间的联系。既然“变化的磁场能够激发电场”,那么“变化的电场能否激发磁场呢”?1862 年麦克斯韦为了在非稳恒电流情况下推广“安培环路定理”,针对客观电磁现象又进一步大胆地提出了另外一个假说,即“位移电流假说”,其内涵是:变化的电场也是一种电流,这种电流叫“位移电流”,并指出“位移电流”和传导电流一样按相同的规律激发磁场。“位移电流假说”的问世,揭示了变化的电场和磁场之间的依存关系,反映了自然规律的对称性。麦克斯韦对电磁理论的伟大贡献,一方面是他提出了“涡旋电场”和“位移电流”两大假说,另一方面他集前人之大成,于 1865 年建立了以一套方程组即“麦克斯韦方程组”为基础的完整的宏观电磁场理论,并依据此理论预言了电磁

波的存在,且指出光是一种电磁波,从而使光学成为电磁场理论的一部分.麦克斯韦从理论上预言电磁波存在时,大多数科学家对此表示怀疑,直到20多年以后的1888年,德国物理学家赫兹巧妙地设计了一个实验——“赫兹实验”,才从实验上验证了电磁波的存在,并且证明了它具有光波那样的反射、折射和偏振的性质.“赫兹实验”一方面验证了麦克斯韦的理论预言,同时也宣告了无线电电子时代的开始,赫兹实验改变了历史的进程,该实验的意义重大,影响深远.

在这一历史过程中,有偶然的机遇,也有有目的的探索;有精巧的实验技术,也有大胆的理论创新;有天才的物理模型设想,也有严密的数学方法应用.最后形成的麦克斯韦电磁场方程组是“完整的”,它使人类对宏观电磁现象的认识达到了一个新的高度.麦克斯韦的成就可以被认为是从牛顿建立力学理论到爱因斯坦提出相对论的这段时期中物理学史上最重要的理论成果.

经典电磁理论并不是电磁现象的最终理论,随着认识的发展,在微观、高速领域它又获得了新的进展,例如量子电动力学、相对论电磁学等.

本篇电磁学介绍宏观电磁场的基本规律,先介绍静电场的描述及其基本规律,再介绍稳恒磁场(静磁场)的描述及其基本规律,最后介绍电场和磁场相互联系的规律.

第 8 章 真空中的静电场

带电体周围存在着电磁场,相对观察者静止的电荷在其周围产生的电场叫静电场.静电场是我们学习电磁学接触到的第一个矢量场.本章将讨论真空中静电场的描述方法和基本规律.具体内容包括:库仑定律和库仑力的叠加原理,电场强度和场强叠加原理,静电场的高斯定理和环路定理,静电场的电势和电势叠加原理,电场强度和电势梯度的关系等.

8.1 电荷 库仑定律

人类对电现象的观察和记载,最早可追溯到公元前 6 世纪,其间经历了漫长的求索过程,直到 1785 年库仑定律的诞生,对电现象的认识才取得突破性的进展.库仑定律是“静电学”中的第一个定量定律,是整个电磁学的基础,也是本节讨论的重点.

8.1.1 电荷及其重要特性

早在 2500 多年前的古希腊时代,人们就发现,用毛皮摩擦过的琥珀(一种矿物化了的树脂)能够吸引羽毛、头发、碎木屑等轻小物体.以后相继发现两种不同材质的物体(甚至是同种材质不同形状的两个物体),例如丝绸和玻璃棒、毛皮和硬橡胶棒,经相互摩擦后,均能够吸引轻小物体.这时我们就说毛皮、琥珀、丝绸、玻璃棒、硬橡胶棒等这些物体处于带电状态.处于带电状态的物体被称为带电体,或者说这些物体“携带”电荷.定量表示物体带有电荷多少的物理量叫电量,通常用 q (或 Q) 表示.在国际单位制中,电量的单位是库仑,它是导出单位,用符号 C 表示.

摩擦后的物体为何会处于带电状态? 物质的电结构理论可以给出这个问题的答案:任何实物物质都是由原子或分子构成的,而一个原子包含一个内含若干个质子和中子的原子核及核外的若干个电子.质子、中子、电子等这些亚原子粒子除具有质量外,还具有电量、自旋角动量等.每个质子的质量是 $m_p = 1.672 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电量是 $+e$ ($e = 1.602\,177\,33 \times 10^{-19} \text{ C}$, 通常取 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$); 每个电子的质

量是 $m_e = 9.11 \times 10^{-31} \text{ kg}$, 电量是 $-e$; 每个中子的质量是 $m_n = 1.674 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 电量是 0 (中子作为一个整体不带电, 但其内部却存在电荷分布)。

通常情况下, 宏观物体内的电子数目与质子数目相等, 加之宏观物体分子热运动的参与作用, 宏观物体对外呈现出不带电的电中性状态 (总电荷量为零)。通过摩擦等, 会使一个宏观物体上的电子转移到另一个宏观物体上, 或使宏观物体上带负电量的电子的均匀分布状态遭到破坏。于是就说有过剩电子的宏观物体 (或宏观物体的部分区域) 带负电, 而缺少电子的宏观物体 (或宏观物体的部分区域) 带正电。可见宏观物体带电的过程, 实际上就是物体失去一定数量的电子或获得一定数量的电子的过程。所谓“带电”, 无非就是物体的整体或局部电子数与质子数的数量不等。

近代物理研究表明, 电荷具有如下基本特性:

1. 量子性

任何带电体的电量 q 都是“基本电荷”的电量 e 的整数倍, 这个特性叫“电荷的量子性”。电荷的量子性可表示成

$$q = ne \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

n 称为“电荷数”或“量子数”。

基本电荷的电量 e 对宏观电磁测量仪器来说太小了, 以至于当宏观物体的电量改变了 e 时, 对宏观测量带来的影响无法察觉。所以在以研究宏观电磁现象规律为其主要内容的经典电磁学中, 一般忽略电量的微观起伏, 而认为电荷连续地分布于某一宏观体积内或某一曲面或曲线上。

那么 e 是否是最基本的呢? 20 世纪 60 年代, 美国物理学家默里·盖尔曼和 G. 茨威格各自独立地提出了中子、质子、介子、超子等这一类强子 (参与强相互作用的基本粒子) 是由更基本的单元——夸克 (quark) 组成的, 它们具有分数电荷。如上夸克、粲夸克和顶夸克带电量均为 $2e/3$, 下夸克、奇异夸克和底夸克带电量均为 $-e/3$ 。然而自强子结构的夸克模型问世后, 至今尚未在实验中发现单独存在的“夸克”或“反夸克”。即使发现了, 也不过把“基本电荷”的大小缩小到目前认为的基本电荷的 $1/3$, 电荷的量子性依然不变。

2. 守恒性

在任何时刻, 对于一个没有净电量出入其边界的物质系统 (称为电孤立系统), 无论系统内的物质如何运动或变化, 系统内的正、负电荷的代数和恒定不变, 这一规律称为“电荷守恒定律”。电荷守恒定律是物理学的基本定律之一, 也是自然界中最精确的定律之一, 适用于一切宏观和微观过程。

如低能情况下负电子与正电子 (质量和电子相等, 带正电, 电量等于负电子电量的绝对值, 是负电子的反粒子, 不稳定。最早由狄拉克从理论上预言, 卡尔·D. 安德森于 1932 年 8 月 2 日发现) 的碰撞过程可表示为

$$e^- + e^+ \rightarrow 2\gamma$$

表明正、负电子碰撞后湮灭,通过光子(电量为零)的形式释放能量,这一过程除能量守恒、动量守恒和角动量守恒外,还满足电荷守恒定律,因为湮灭前后电量总和保持为零.但质量不守恒.

3. 相对论不变性

大量实验表明,不同惯性系中的观察者对同一个带电体的电量进行测量所得到的量值都相同,或者说处于不同运动状态的同一带电体的电量都相同.这种性质称为“电荷的相对论不变性”.例如加速器将电子或质子加速时,随着粒子速度的变化,它的质量会有明显的变化,但电子或质子的电量却没有变化的痕迹.这表明电荷是一个相对论不变量.

8.1.2 库仑定律

物体因带电而彼此吸引或排斥是一个重要的事实.寻找电力遵循的规律成为18世纪中后期引人注目的研究课题.为撇开带电体的形状、大小等次要因素的影响,人们自然把注意力集中在两个点电荷间的作用力上.

当一个带电体本身的限度 δ ,与问题研究中所涉及的距离 r 相比小得多时,该带电体的形状以及电荷在其上的分布情况均无关紧要,该带电体就可被看作一个带电的点,称为点电荷(或点带电体).

点电荷是从实际问题中抽象出的“物理模型”,正如力学中的“质点”模型一样.任何带电体都可看成是“点电荷”的集合.点电荷的概念只具有相对意义.被看作“点电荷”的带电体自身的“限度”不一定很小,带电量也不一定很少.至于带电体的限度比问题所涉及的距离小多少,它才能被当作“点电荷”,这要视问题所要求的精度而定.例如,宏观上谈论电子、质子等,完全可以把它们视为“点电荷”.带电体一旦被看成是点电荷,就可用一个几何点标注它的位置.两个点电荷之间的距离就是标注它们的位置的两个几何点之间的距离.

法国物理学家库仑通过电斥力扭秤实验和电引力单摆实验,于1785年总结出真空中两个“点电荷”之间的相互作用力(称为库仑力,也称电力)所遵循的规律,即真空中的库仑定律,其物理内涵是:真空中两个静止的点电荷 q_1 和 q_2 之间的相互作用力的大小与 q_1 和 q_2 的乘积成正比,与它们之间的距离 r 的平方成反比;作用力的方向沿着它们的连线;同号电荷相互排斥,异号电荷相互吸引.参考图8.1,可以用矢量形式把真空中的库仑定律简洁地表示出来:

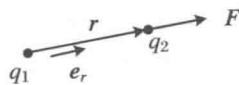


图8.1 点电荷间的库仑力

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r \quad (8.1.1)$$

式中, q_1 、 q_2 是代数量(带有正、负号), $\mathbf{e}_r$ 代表从施力点电荷指向受力点电荷的单

位矢量. 该式采用国际单位制(SI), 在电磁学部分称为 MKSA 单位制. MKSA 单位制以长度(m)、质量(kg)、时间(s)、电流(A)为四个基本单位, 其他物理量的单位可由基本单位根据公式和顺序导出. 为此式(8.1.1)中 F 的单位是牛顿(N), 电量的单位是库仑(C). 由于各物理量的单位都已选定, 比例系数 $1/(4\pi\epsilon_0)$ 需要实验测定, 其中 ϵ_0 叫“真空介电常数”, 是基本物理量之一, 1986 年 ϵ_0 的推荐值是 $\epsilon_0 = 8.854187818(71) \times 10^{-12} (\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}) \approx 8.85 \times 10^{-12} (\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2})$ 通常计算时, 取以下近似值:

$$\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} (\text{C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}), \quad \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 (\text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2})$$

参考图 8.2, 如果用 F_{12} 表示点电荷 q_1 对点电荷 q_2 的库仑力, 用 F_{21} 表示点电荷 q_2 对点电荷 q_1 的库仑力; e_{r12} 表示从点电荷 q_1 指向点电荷 q_2 的单位矢量, e_{r21} 表示从点电荷 q_2 指向点电荷 q_1 的单位矢量($e_{r21} = -e_{r12}$), 则根据式(8.1.1), 可得

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} e_{r12}, \quad F_{21} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} e_{r21}$$

关于库仑定律的几点说明:

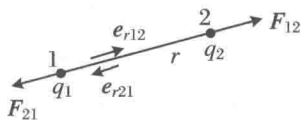


图 8.2 点电荷之间的作用力

(1) 库仑定律成立的条件是两点电荷相对静止, 且相对于观察者(或实验室参照系)静止. 实验表明: 静止的点电荷对运动点电荷的作用力仍由式(8.1.1)给出, 但运动点电荷对静止点电荷的作用力不能用式(8.1.1)计算, 因为此时作用力不仅与两者的电量和距离有关, 还与运动点电荷的速度有关(运动点电荷

的电效应比较复杂, 需要用相对论电磁学来解决). 两静止点电荷之间的库仑力遵循牛顿第三定律, 但静止点电荷与运动点电荷之间的库仑力却并不遵循牛顿第三定律, 因为两点电荷所受到的彼此的作用力不是同时出现或同时消失的.

(2) 库仑力是“长程力”, 其应用尺度范围为 $10^{-17} \sim 10^7 \text{ m}$, 上限是用人造地球卫星研究地磁场时得到的, 下限是被现代高能电子散射实验证实的. 在此范围内库仑定律严格成立.

(3) 库仑定律是一条实验定律, 库仑力与点电荷之间距离的平方成反比关系不断地经历着实验的检验. 验证平方反比关系的方法是假定 $F \propto 1/r^{2+\delta}$, 然后测量平方反比偏差 δ 的数值是否为零. 库伦时代测出 $\delta < 4 \times 10^{-2}$. δ 精确数值的实验测定成为物理学界不断关注的课题, 1971 年威廉斯实验测定 $\delta < 2.7 \times 10^{-16}$. 有限的平方反比偏差 δ 值是和光子的静质量相联系的, 假如光子的静止质量为零, 则 δ 严格为零, 即库仑定律平方反比关系严格成立. 现在实验给出光子的静质量上限为 10^{-48} kg , 这差不多相当于 $|\delta| \leq 10^{-16}$.

(4) 电力具有径向性和球对称性. 两静止点电荷之间的电作用力的方向沿连线, 且作用力的大小只与距离有关而与连线的空间方位无关, 即电力具有径向性和