



普通高等教育“十五”国家级规划教材

大学物理学

University Physics

中册

吴百诗 主 编

罗春荣 马永庚 张孝林 副主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十五”国家级规划教材

大学物理学

中册

吴百诗 主编

罗春荣 马永庚 张孝林 副主编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材,是吴百诗教授及参编学校数十年来大学物理课程教学经验的总结。全书以大众化教育形势下对人才培养的要求为出发点,针对当前学生的特点编写而成。本书在教学内容上进行了改革,虽然在体系上变化不大,但在内容选取、教学安排、讲法上等有一定的创新。考虑到对工科学生培养的特点,本书十分注意物理学与实际的联系,特别是与工程实际、科技实际的联系,在例题和习题的选取上更是尽可能反映工程实际和科技新成就。

全书分3册出版,上册包括力学和热学,中册包括电磁学,下册包括波动、光学和近代物理。与本书配套有习题解答、电子教案等辅助用书。这套书可供高等学校工科各专业作为大学物理课程的教材或参考书使用,也可供其他专业的社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 中册/吴百诗主编. —北京:高等教育出版社,2004.12
ISBN 7-04-015571-0

I. 大... II. 吴... III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第099873号

策划编辑 庞永江 责任编辑 刘伟 封面设计 张申申 责任绘图 宗小梅
版式设计 王莹 责任校对 金辉 责任印制 陈伟光

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 100011
总 机 010-58581000

购书热线 010-64054588
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所
印 刷 涿州市星河印刷有限公司

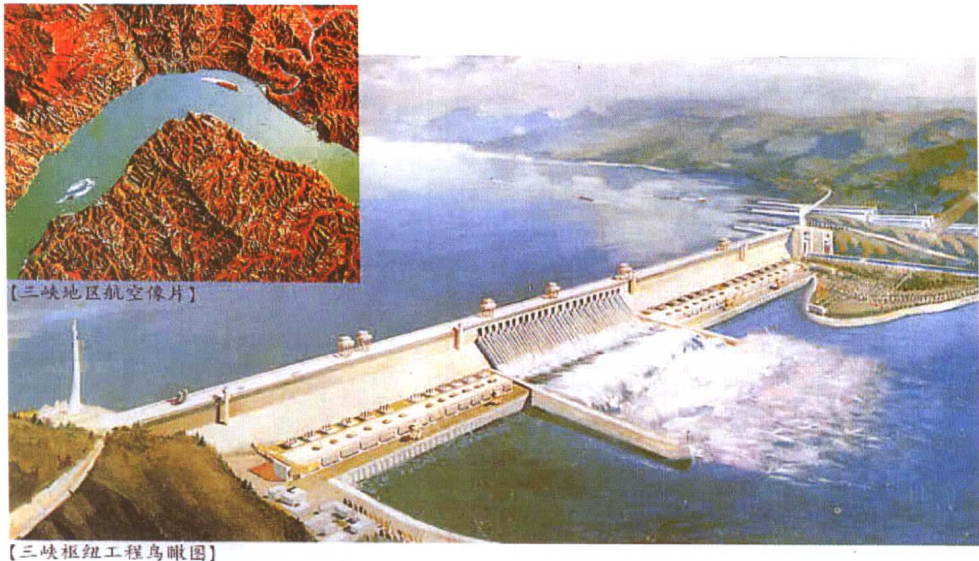
开 本 787×960 1/16
印 张 16.5
字 数 300 000
插 页 1

版 次 2004年12月第1版
印 次 2004年12月第1次印刷
定 价 17.90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。

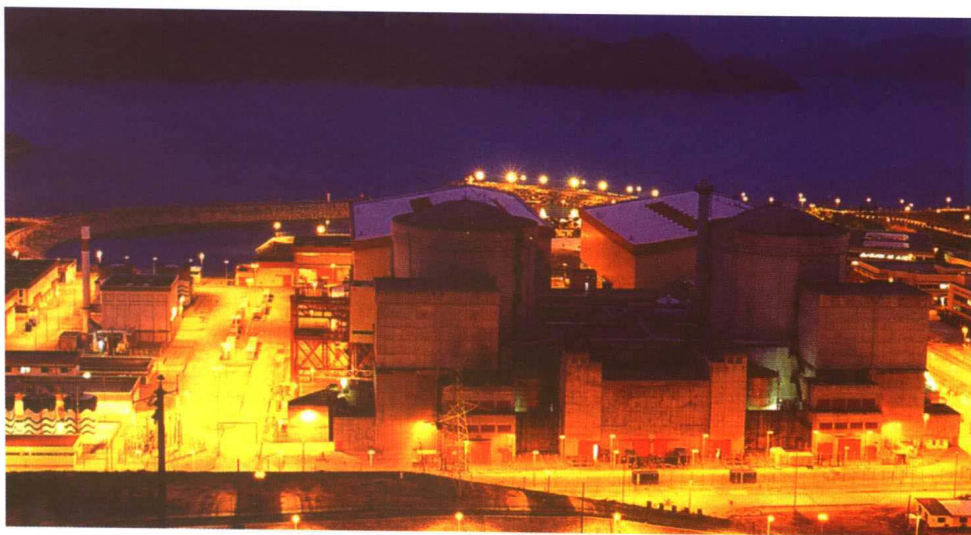
版权所有 侵权必究

物料号: 15571-00



三峡工程全称长江三峡水利枢纽工程。从 1918 年孙中山首倡三峡建坝以来，三峡工程从最初的设想、勘查、规划、论证到正式开工建设，经历了 75 年。在这漫长的梦想、企盼、争论、等待相互交织的岁月里，三峡工程载浮载沉，几起几落。只是在中国综合国力不断增强的 20 世纪 90 年代以后，这一梦想才终于开始实现。三峡工程自 1993 年起施工至 2009 年完工，总工程达 17 年，是当今世界上最伟大的水利枢纽工程。届时，三峡水库将是一座长达 600 公里，最宽处达 2 000 米，面积达 10 000 平方公里，水库总库容 393 亿立方米，具有防洪、发电、航运等综合效应。上图为三峡枢纽工程鸟瞰图，左上为三峡地区航空像片。三峡工程工程浩大，有十大指标突破了世界水利工程的记录。

- 世界防洪效益最为显著的水利工程。
- 世界最大的电站。三峡水电站总装机 1 820 万千瓦，年发电量 846.8 亿千瓦时。
- 世界建筑规模最大的水利工程。
- 世界工程量最大的水利工程。
- 世界施工难度最大的水利工程。
- 施工期流量最大的水利工程。
- 世界泄洪能力最大的泄洪闸。
- 世界级数最多、总水头最高的内河船闸。
- 世界规模最大、难度最高的升船机。
- 世界水库移民最多、工作最为艰巨的移民建设工程。



广东大亚湾核电站位于深圳市东部大亚湾畔。这里山青水秀、景色怡人,距深圳市直线距离约 45 公里,距香港约 50 公里。大亚湾核电站是我国引进国外资金、设备和技术建设的第一座大型商用核电站,是我国改革开放以来建立的最大的中外合资企业之一,总投资 40 亿美元。核电站安装有两台单机容量为 98.4 万千瓦压水堆反应堆机组。1987 年 8 月 7 日工程正式开工,1994 年 2 月 1 日和 5 月 6 日两台机组先后投入商业营运。广东大亚湾核电站每年发电量超过 100 亿千瓦时,其中七成电力供应香港,三成电力供应广东电网。通过核能发电,使得广东和香港两地每年减少燃煤消耗 370 万吨,从而大大减少了导致“温室效应”和酸雨的气体年度排放量,包括二氧化碳排放 900 万吨、二氧化硫排放 17 万吨、一氧化氮 3 万吨,以及空气中的尘埃数千吨。

序

人类的科学发展史表明,物理学是一切自然科学的基础,它的基本概念和基本规律被广泛应用到所有的自然科学领域。当代高新技术的发展也都起源于对物理规律的探索。我们人类都生活在由物理学基本规律所约束的时空中,物理学的发展对人类的物质观、时空观、世界观,以及对整个人类的文化都产生了极其深刻的影响,因此,物理学是人类现代文明之源。

物理学的每一个新思想、新发现,甚至那些原本看来是“纯”基础的研究成就,都会发展成为高新技术和产业。例如,20世纪30年代末,固体的能带理论的出现使得巴丁、布拉顿和肖克莱在1947年发明了晶体管,1958年基尔比和诺伊斯又发明了锗、硅集成电路。从此,半导体集成电路迅猛发展,出现了一系列新技术、高技术和新产品。以计算机为代表的信息电子产业已成为世界上最大的产业。又例如,在爱因斯坦受激辐射理论的基础上,60年代初诞生了激光器,这又是一个划时代的物理技术应用成果,激光物理的进展为激光在制造工业、通讯工业、国防工业以及医学等领域的发展提供了重要的技术基础。今天,物理学的研究仍在不断更新着人们对客观世界的认识。

“大学物理”课程是一门以研究和阐明物质的基本结构形态、基本运动规律和相互作用关系,为大学生提供全面系统的物理学基础为目标的基础课程。在大学物理课程学习中,不仅要掌握自然界的事实、定律、方程和解题技巧,更重要的是要从整体上认识和掌握物理学。也就是说,通过物理学课程的学习,要认识物理学各个分支之间的关系,认识基本物理规律的普适性和适用范围,认识理论和应用之间的关系,认识物理思想和数学工具,从整体上准确地掌握物理学的基本内容,建立科学的物质观,时空观和世界观。

另外,在物理学课程的学习中,要关注物理学的基本概念、基本规律的产生和发现的历史过程,关注在物理学历史上曾经有过的实验和争论,学会举一反三、触类旁通的方法。如利用已掌握的物理学基本概念去理解和解释新的物理规律,增强学习的创新意识和创新能力的培养。在探讨科学的奥秘过程中,谁最有创新精神,敢于突破旧观念、旧理论的束缚,谁就能率先做出重要贡献。同时,创新也是深化学习的动力。因此,在学习中要勤于思考、善于提问、敢于尝试,多问几个为什么,使自己对物理学的内涵有深刻的理解,为将来做出创新性的工作打下良好的基础。

总之,要学好物理学重要的是以学习物理基础知识为载体,系统掌握物理学

的思维方式和研究方法,而不是死记硬背一些物理公式。因为这些基本知识、物理思想、思维方式和研究方法将会使学生在今后长期的学习工作中,在观察、分析和解决问题时得到重要的借鉴和应用。

吴百诗教授主持编写的这本“十五”国家级规划教材,突出了在物理教育中知识传授和能力培养相结合的特色,集成了数名作者多年来丰富的教改研究和教学实践的经验,在打好学生必备的物理基础、激发学习兴趣、增强科学思考、分析和处理问题的能力、将现代科学技术成就融入基础课程教材等方面都下了很大功夫,为理工科学生全面掌握物理学提供了一个很好的范本。祝愿这本教材在教学实践中得到更加普遍的欢迎和推广,也祝愿读者从中深刻领悟到物理学的“伟大”。

西安交通大学校长

郑南宁 院士

前 言

“大学物理”是理工科低年级学生的一门重要基础理论课,它的作用一方面是为学生打好必要的物理基础,而打好物理基础,不仅对学生在校学习起着十分重要的作用,而且对学生毕业后的工作和在工作中进一步学习新理论、新知识、新技术,不断更新知识都将产生深远的影响;另一方面是使学生初步掌握科学的思维方法和研究问题的方法,这些都起着增强学生适应能力,开阔思路,激发探索和创新精神,提高人才科学素质的重要作用。

本书是由西北工业大学、西安电子科技大学和西安交通大学三校物理教师合编的。编者对编写指导思想的共识是:

(1)“大学物理”课是一门基础理论课,教材内容的选取应着眼于在大学物理水平上切实为学生打好物理理论基础。

(2)编写的教材应在总结我国大学物理长期教学经验的基础上,充分考虑我国目前工科大学物理教学实际(包括学生实际,教学时数实际等),并适当地吸收国外新教材编写的经验,使得教材便于教和学。

(3)在处理经典物理和近代物理关系上,编者认为,经典物理不但是学习工科各专业知识的基础,而且也是学习近代科学技术新理论、新知识的理论基础。不仅如此,经典物理当今在科学和技术各领域仍然是应用最广泛的基础理论,而且大学物理中的经典部分对训练和培养大学低年级学生科学思维方法和分析问题、解决问题能力的作用是其它课程所不能代替的,因此在大学物理课程和教材中必要的经典物理内容应予以切实保证。鉴于近半个世纪以来,科学技术以前所未有的速度发展着,新理论、新技术日新月异并向现代高技术中渗透,在这样的情况下,在大学物理课程中加强近代物理内容是十分必要的,问题是加强些什么内容。编者认为,加强近代物理内容,首先应加强那些学习新理论、新知识所必需的近代物理基础理论,主要是量子物理和统计物理有关的基本概念和基本理论。

(4)编者认为现有的大学物理教材体系是国内外经过长期教学实践形成的,为理工科高级人才打好物理基础是卓有成效的,因此对体系进行大的改革,宜认真总结过去教学实践中的经验,明确现有体系存在什么问题,改什么,怎么改?大的体系改革更应经过仔细论证,通过试点,成功后再根据具体情况(条件)进行推广。

(5)考虑到工科大学物理涉及面宽,内容多,而教学学时数少的具体情况,

本书在保证物理基础理论的前提下,尽量在不过多增加教材篇幅和教学负担情况下,采取多种形式向读者介绍新知识,特别是我国当前科研和技术领域的新成就,以扩大读者新知识面,激发学生爱国热情和学习积极性。

(6) 编者认为,着力于训练和培养学生的科学思维方法、分析问题和解决问题的能力,帮助低年级学生打好物理基础,提高他们独立获取知识的能力是在基础课教学中贯彻加强科学素质培养的一种重要途径。

(7) 本书分上、中、下三册,分别由西北工业大学、西安电子科技大学和西安交通大学编写,参加编写的有罗春荣、郑建邦、王济民、陈长乐(西北工业大学)、马永康、李存志、白璐(西安电子科技大学)、张孝林、陈光德、王小力、徐忠锋、吴百诗(西安交通大学)。各章后注有编写者,吴百诗先生对全书作了仔细地修改。

(8) 全书采用SI,考虑到改革开放,对外交流日益增多,书中也适当介绍了当前欧、美尚广泛使用的单位以及这些单位与相应SI单位的换算因子。

(9) 西安电子科技大学理学院院长吴振森教授对本书的形成给予了极大的支持,在此特表谢意。

(10) 西安交通大学刘丹东老师为本书编制了两套应用计算程序,对此编者们表示感谢。

(11) 全书插图由西安交通大学李普选老师精心绘制,对此编者们表示感谢。

(12) 由于编者们的学识和教学经验的限制,书中不当之处和错误在所难免,还请使用本书的师生和同志们指正。

吴百诗
2004年8月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)64014089 64054601 64054588

目 录

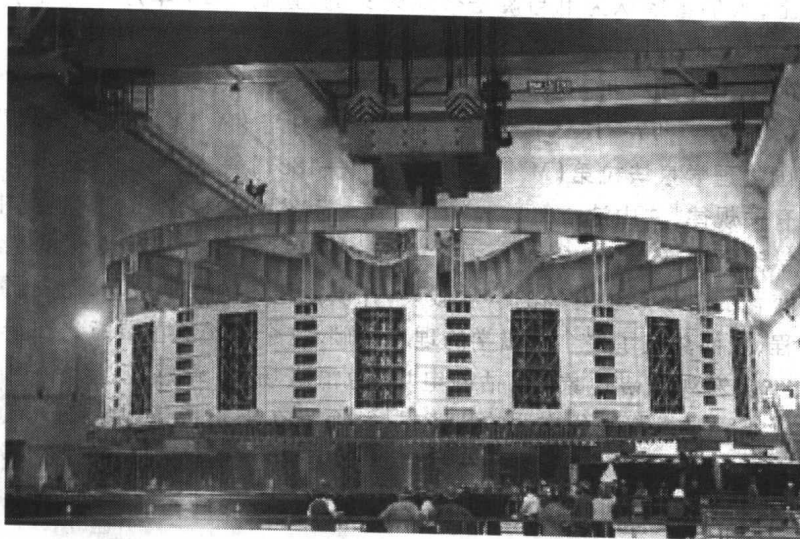
第三篇 电 磁 学

第 7 章 真空中的静电场	3
§ 7.1 电荷 库仑定律	4
§ 7.2 真空中的静电场 电场强度	9
§ 7.3 电场强度通量 高斯定理	21
§ 7.4 静电场的环路定理 电势	34
§ 7.5 等势面 电场强度与电势的微分关系	45
本章小结	52
习题	54
第 8 章 静电场中的导体和电介质	63
§ 8.1 静电场中的导体	64
§ 8.2 静电场中的电介质	72
§ 8.3 电位移矢量 D 有电介质时的高斯定理	76
§ 8.4 电容器的电容	79
§ 8.5 电场能量	86
本章小结	89
习题	90
第 9 章 稳恒电流的磁场	99
§ 9.1 磁场 磁感应强度	100
§ 9.2 毕奥 - 萨伐尔定律	105
§ 9.3 磁通量 磁场的高斯定理	122
§ 9.4 安培环路定理	125
§ 9.5 磁场对电流的作用	136
§ 9.6 磁场对运动电荷的作用	146
本章小结	158
习题	160
第 10 章 磁介质	171
§ 10.1 磁介质的分类	172



§ 10.2 磁介质磁性的微观解释	173
§ 10.3 有磁介质时的磁高斯定理和安培环路定理	175
§ 10.4 铁磁质	179
本章小结	185
习题	185
第 11 章 电磁感应	189
§ 11.1 法拉第电磁感应定律	191
§ 11.2 动生电动势	200
§ 11.3 感生电动势	206
§ 11.4 自感与互感	215
§ 11.5 磁场能量	223
§ 11.6 麦克斯韦电磁场理论简介	227
本章小结	233
习题	234
附录 物理量的量纲和单位	245
习题答案	251

第三篇 电 磁 学



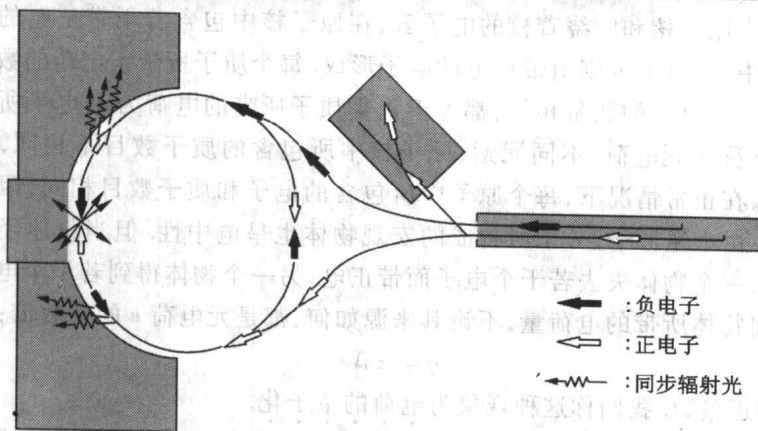
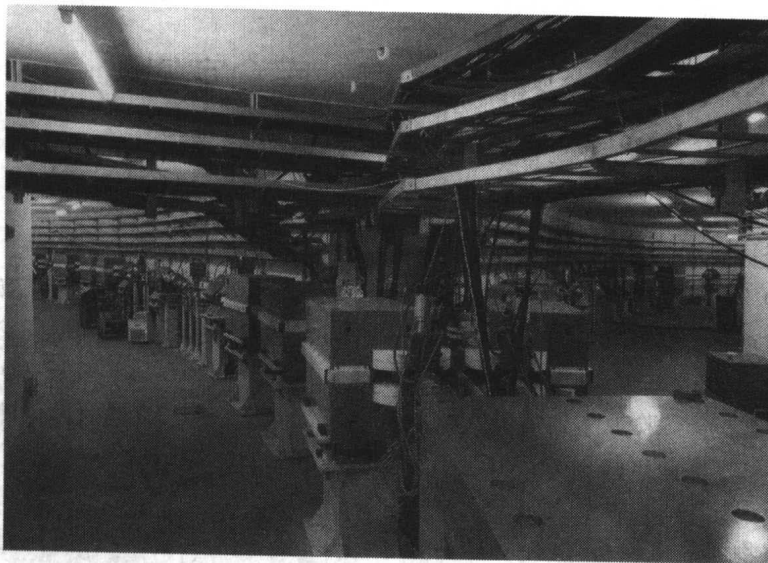
2003年4月22日,三峡工程左岸电厂2号机组定子顺利完成整体于当年9月发电.该机组发电机定子的外径为21.45米,质量为655.9吨.水电站共有70万千瓦机组26台,总装机容量1820万千瓦,是当今世界最大的水电站.

电磁学是研究物质间电磁相互作用,以及电磁场的产生、变化和运动规律的学科.电磁相互作用广泛地存在于自然界.电磁相互作用使电子和原子核结合在一起形成原子,原子结合在一起形成分子,分子再结合在一起成为宏观物质.从根本上讲,我们周围发生的许多现象,都是电磁相互作用的结果.

历史上,人们曾经认为电与磁是彼此无关的,直到1820年丹麦物理学家奥斯特(H. C. Orested, 1777—1851)的通电导线使磁针发生偏转的实验,才证明了电和磁的统一性,19世纪是电磁学理论发展的黄金时代,经过德国科学家高斯(C. F. Gauss, 1777—1855)、法国物理学家安培(A. M. Ampere, 1777—1855)、英国物理学家法拉第(M. Faraday, 1791—1867)等人的努力,逐步确立了电和磁的有关规律,并由法拉第首先提出了电场和磁场的概念.到19世纪中叶,英国物理学家麦克斯韦(J. C. Maxwell, 1831—1879)天才地提出变化的电场产生磁场和变化的磁场产生电场的科学假设,并以他高超的数学技巧,建立了一组电磁场方程,从而奠定了整个电磁学的理论基础.这个理论的重要意义在于它不仅支配着一切宏观电磁现象(包括静电场、稳恒磁场、电磁感应、电路、电磁波等),促进了工程技术与现代文明的飞速发展;而且在于它将光现象统一在这个理论框架之内,深刻地影响着人们认识物质世界的思想.当今,电磁理论不仅普遍地应用在日常生活、科技和生产各个部门,而且也是新科学、新技术发展的重要理论基础.

本书电磁学部分包括:静电场、稳恒磁场、变化的磁场和变化的电场等.

第 7 章 真空中的静电场



北京正负电子对撞机(BEPC)建成于1988年,主要从事聚物理和 τ

本章讨论真空中相对于观察者静止的电荷所产生的静电场的基本性质和规律.从静电场对电荷有力的作用和静电场力对在电场中运动的电荷做功这两方面,引入电场强度 E 和电势 V 这两个物理量,并给出静电场的高斯定理和环路定理,进而讨论电场强度 E 和电势 V 的关系.

§7.1 电荷 库仑定律

7.1.1 电荷

实验证明,自然界只存在两类电荷:正电荷和负电荷.

1750年,美国物理学家富兰克林(B. Franklin, 1706—1790)命名被丝绸摩擦过的玻璃棒带“正电”,被毛皮摩擦过的橡胶棒带“负电”.电荷的多少用电荷量来度量.1897年,英国物理学家汤姆孙(J. J. Thomson, 1856—1940)发现电子.电子是迄今实验观测到的带有最小负电荷的粒子,其电荷量的近代测量值为

$$e = (1.602\ 176\ 462 \pm 0.000\ 000\ 063) \times 10^{-19} \text{ C}$$

C是电荷量的SI单位,称为库仑.

按照物质的电结构理论,物质由分子组成,分子由原子组成,任何元素的原子都有一个原子核和围绕着核的电子云,在原子核中包含若干带正电的质子和不带电的中子,电子云则由带负电的电子形成.每个质子所带正电荷的数量与每个电子所带负电荷的数量相等,都等于 e ,即质子所带的电荷为 e ,电子所带的电荷为 $-e$, e 称为元电荷.不同元素,原子核中所包含的质子数目不相同,但不论哪种元素,在正常情况下,每个原子中所包含的电子和质子数目相同,因此原子呈电中性.由大量原子、分子所构成的宏观物体也呈电中性.但当物体经受摩擦等作用时,一个物体失去若干个电子而带正电,另一个物体得到若干个电子而带负电.任何物体所带的电荷量,不论其来源如何,都是元电荷 e 的整数倍:

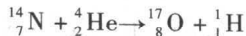
$$q = \pm Ne$$

式中 N 为正整数.我们称这种现象为电荷的量子化.

1964年美国科学家盖尔曼(M. Gell-Mann, 1929—)提出“基本粒子”的夸克模型,并预言夸克的电荷应为 $\pm \frac{1}{3}e$ 或 $\pm \frac{2}{3}e$,即夸克可带有分数电荷,尽管这一模型对粒子物理中许多现象的解释获得了很大的成功,但至今在实验上还未发现自由夸克的存在.由于电荷的量子 e 非常小,通常问题中涉及到的带电粒子的数目又非常巨大,以致在宏观现象中,电荷的量子化就表现不出来,所以在我们

所讨论的带电体上,可以认为电荷是连续分布的.

实验表明,在一个孤立系统中,系统所具有的正负电荷的代数和保持不变,这一规律称为电荷守恒定律.这个定律是从大量实验中总结出来的,直到现在为止,不论是在宏观过程中,还是在微观过程中,都已证明是正确的.例如,用 α 粒子(即 ${}^4_2\text{He}$ 核)去轰击 ${}^{14}_7\text{N}$ 核,使 ${}^{14}_7\text{N}$ 核转变成 ${}^{17}_8\text{O}$ 核,并放出质子的过程是:



显然,反应前后的电荷总数($+9e$)相等.又如,任何一个化学反应,反应前后的总电荷量也保持不变等等.

实验还证明,电荷的电荷量与它的运动速度和加速度无关.例如加速器将电子或质子等粒子加速时,随着粒子速度的变化,它们的质量明显地变化,但电荷量却没有任何变化.在不同的参考系内观察,同一带电粒子的电荷量不变,说明电荷具有相对论不变性.

7.1.2 库仑定律

直到18世纪,人们才确知只有正、负两种电荷,并知道同号电荷相斥,异号电荷相吸.1785年,法国物理学家库仑(C. A. Coulomb; 1736—1806)通过扭秤实验,总结出点电荷间相互作用的规律,称之为库仑定律.所谓点电荷,是指这样的带电体,它本身的几何线度比起它到其它带电体的距离小得多.这种带电体的形状和电荷在其中的分布已无关紧要,因此我们可以把它抽象成一个带电的几何点.库仑定律表述如下:

在真空中,两个静止的点电荷 q_1 和 q_2 之间的静电相互作用力(亦称静电力、库仑力)与这两个点电荷所带电荷量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比,作用力的方向沿着两个点电荷的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸.库仑定律可用矢量公式表示为

$$\mathbf{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \mathbf{e}_r$$

式中 \mathbf{F}_{21} 为 q_1 对 q_2 的作用力, r 为 q_1 、 q_2 间的距离, \mathbf{e}_r 为 q_1 指向 q_2 的单位矢量, k 是比例系数,如图7.1所示.

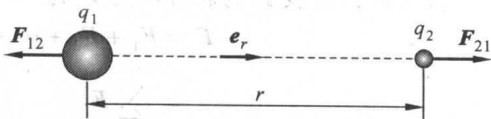


图 7.1

当 q_1 与 q_2 同号时, \mathbf{F}_{21} 与 \mathbf{e}_r 同向,这时 q_1 与 q_2 相斥;当 q_1 与 q_2 异号时, \mathbf{F}_{21} 与 \mathbf{e}_r 反向,这时 q_1 与 q_2 相吸.电荷 q_2 对 q_1 的作用力为 $\mathbf{F}_{12} = -\mathbf{F}_{21}$,即静电相互作用力满足牛顿第三定律.