

大学物理

(理论核心部分)

电磁场

李椿 夏学江 主编

高等教育出版社

大学物理

(理论核心部分)

电磁场

李椿 夏学江 主编

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是在1995年出版的《大学物理(理论核心部分)》的基础上修改而成的。作者在编写本书的过程中,注意保持原书在精选和更新经典物理学传统内容方面的独特风格,同时,为了更好地适应开放性、远距离教育的需要,对本书做了认真细致的远距离教学工艺加工、版式设计独特,理论内容与学习指导融为一体,文字、录像、录音三种媒体有机配合等特点,使本书更便于读者自学。

本书为中央广播电视大学理工科统设公共基础课教材,其他成人高等院校以及普通高等院校的有关专业也可选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理:理论核心部分:电磁场 / 李椿,夏学江主编。
北京:高等教育出版社,1997.11(2001重印)

ISBN 7-04-006628-9

I.大… II.①李… ②夏… III.①物理学-高等学校-教材②电磁场-高等学校-教材 IV.04

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第24990号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 中国科学院印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 1997年11月第1版

印 张 9.75

印 次 2001年7月第5次印刷

字 数 170 000

定 价 12.80元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

1995年出版的《大学物理(理论核心部分)》三年来经数万读者使用,在聘请北京大学、清华大学和中国科学院的著名学者合璧主编方面,在精选和更新经典物理学的传统内容方面,以及在课程内容的整体水平和结构与国际上非物理专业的基础物理教材接轨方面均受到广大读者的充分肯定,这使我们深受鼓舞。

为了使这本教材在运用多媒体教学手段方面达到更高的水平,以更好地适应开放性、远距离教育的需要,我们在保持原书优点的基础上对教材做了进一步的远距离教学工艺加工,完成了本教材的设计编写工作。

本教材的出版比较集中地反映了1986年以来我们对远距离教学工艺研究的经验。这主要体现在:教材中概要介绍了课程的内容和教学安排,介绍了课程教学大纲中关于教学基本要求分级的内容,编写了必要的学习指导,这对自学的学生了解课程的全貌和总学习量并抓住学习的重点是有益的,也可帮助学生克服自学时常见的困难;学习指导等内容排小字,可使课程内容的主线清晰,并减小了总篇幅;采用在书的切口侧排辅栏的版式,在辅栏中标注基本概念和基本规律,这既便于学生掌握知识重点和检索,又为学生随时记录心得和问题提供了空间;在辅栏中用形象的符号标注文字教材与音像教材之间的配合与转换对多媒体教材的有效使用是必要的;每编之后的自测题和与每个学期的教学内容对应的样卷对准备参加全国统一命题的达标性课程考试的学生也是必要的。以后不再使用分立的学习指导书,这不仅减小了课程的总阅读量,还使《大学物理(理论核心部分)》成为一本完备的教材,在此基础上将全书分为三册,便于学生携带和使用。我们还将系统讲授型录像课中的部分演示实验、现代应用、实物及动画镜头重新精编成独立的模块式录像带;将对教材中的部分重要例题的分析思路和求解方法的讲解制成录音带,供具有不同自学基础和自学条件的学生选用。

本教材的教学工艺设计及学习指导编写工作由中央广播电视大学的吴铭磊、蔡枢和董锐完成,相应的对比性研究由吴铭磊和中央广播电视大学的杨亭亭设计完成。第一册(内容为:第一编 守恒定律;第二编 热现象)由吴铭磊执笔;第二册(内容为:第三编 电磁场)由董锐执笔;第三册(内容为:第四编 波动;第五编 波和粒子;第六编 狭义相对论)由蔡枢执笔。天津广播电视大学的王芙蓉为各章的习题配了提示。

本教材的编写工作得到了中央广播电视大学孙天正教授和任为民教授的大力支持和悉心指导,在此谨致衷心的感谢。

我们真诚地希望这本书能有助于学生更主动、更有效、更轻松地学好大学物理这门重要的公共基础课。希望读者利用书末的《大学物理(理论核心部分)》反馈表,及时地将学习中的有关情况告诉我们,以便我们为大家及后来的读者提供更好的教学服务。

编 者

1997年8月

编者的话

物理学是研究物质的最基本、最普遍的运动形式以及物质的基本结构的科学。物理学研究的内容极其广泛，其空间尺度从亚核粒子到整个宇宙，在时间上从宇宙的诞生到宇宙的未来。物理学已取得的成就是极为辉煌的，它本身以及它与自然科学的各个学科、工程技术部门的相互作用深刻地影响着人类对自然的基本认识和人类的社会生活。今天，物理学仍是一门充满生机和活力的科学，它的创造性进展仍日新月异，这既对当代以及未来的高新科技的进步和相关产业的建立与发展提供了巨大的推动力，也对我们为面向 21 世纪的高级科技人才开设的物理学课程提出了新的要求。实际上，近三四十年来的一些物理学研究的重要成果在现代科技中已属于非常基本的内容，这些内容应成为跨世纪的各种建设人才的基本科学素养的一部分。

根据广播电视大学工科培养应用型高级工程技术人才的培养目标，并参照近年来国际上基础物理课程教学改革趋势，中央广播电视大学物理教研室在从事物理教学与研究的一批国内外著名专家学者的支持和指导下，制定了新的“大学物理”课程教学大纲并编制了多媒体教材《大学物理》。这套教材的文字教材分为四册，即《大学物理（理论核心部分）》、《大学物理（当代物理前沿专题部分）》、《大学物理（实验部分）》和《大学物理学习指导书》。整套教材力求在保持物理学的核心内容系统、完整的同时，教学重心向当代发展较活跃的物理学领域适当移动，以使学生理解自然界的比较完整的物理图象，对当代物理学前沿的重大课题、成就和应用有所了解。

本书为这套教材的理论核心部分。编写工作是在专家学者对大学物理教材的传统内容作了反复研讨、精心筛选的基础上进行的，在教学内容体系的更新方面也作了探索，力求基本概念、基本规律突出，物理图象清晰，便于自学。

本书由北京大学李椿教授、清华大学夏学江教授任主编。第一编由中央广播电视大学吴铭磊编写；第二编、第三编由李椿编写；第四编第十一章由夏学江编写；第十二章和第五编由中央广播电视大学蔡枢编写。北方交通大学余守宪教授审阅了全部书稿。本书特邀中国科学院理论物理研究所张元仲研究员编写了第六编。

本书在基础物理教学方面所作的改革还是一种尝试，不足之处望广大读者指正。

编者

1994年11月

教学说明

《大学物理（理论核心部分）》是为更加适应学生自主学习而设计的。本教材的设计保持了1995年出版的《大学物理（理论核心部分）》的优点，同时针对大多数学生自学时最关心的问题 and 最常见的困难，采取了既有较强的针对性，又较简洁的措施。这些措施包括：

1. 为使学生对课程的总体内容、相关媒体和教学安排心中有数，我们编印了《大学物理课程概况》。

2. 我们认为阐明课程的教学基本要求对自学的学生把牢学习重点是有益的。根据《大学物理课程教学大纲》，本课程对教学内容的基本要求分为以下三级：

(1) **深入理解、熟练掌握**（属较高要求）：对规定为深入理解或熟练掌握的内容，要求学生在学后能准确和完整地理解有关物理概念和规律的表达及其依据的现象和实验，能以这些概念和规律为中心，熟练地分析和解决一些问题。

(2) **理解、掌握**（属一般要求）：对规定为理解或掌握的内容，要求学生在学后能依据这些概念和规律进行简单的分析和判断，能应用所学的公式进行计算。能正确地调整和操作有关的常用物理实验仪器，能运用实验数据处理的有关方法。


(3) **了解**（属较低要求）：对规定为了解的内容，要求学生在学后知道其所涉及的物理现象、概念和规律，能识别其主要特征、方法和结论或进行代公式的简单计算。

教学基本要求的详细内容分列在各章的后面。


3. 采用在切口侧排辅栏的版式，在辅栏中标注基本概念和基本规律，既便于学生掌握知识重点，也便于学生检索和复习，同时可为学生随时记录心得和问题提供空间。

4. 在辅栏中给出媒体配合提示，以利于多媒体教材的有效使用，具有相应自学基础的学生也可有所选择：

(1) 系统讲授电视节目序号。如  表示从符号所在行开始的内容在系统讲授型电视节目的第一节中讲授。

(2) 各章演示实验的名称和序号。如 “ 动量定理的物理意义” 表示第二章的第一个演示实验是动量定理的物理意义（系统讲授型电视节目中含此演示实验）。

(3) 外景、实物展示及动画提示的符号及意义同（2）。

(4) 解题思路和方法讲解录音带中讲解的例题或思考题的标记。如 “” 表示录音带上对所示例题有讲解，这是在第二章中讲解的第一题。

5. 书中标注了与教学内容相配合的作业。

6. 各章后面的“学习指导”中有以下内容：内容提要；教学基本要求；解题指导；思考题、习题；思考题、习题解答提示。在各编的后面有一组自测题。

7. 在第三编和第六编的后面各有一份“关于复习和考试的说明”及一套“《大学物理》样卷及评分标准”，分别与中央广播电视大学全国统一命题的两次期末闭卷考试的出题范围、题型、题量相对应，使学生做好相应的考前准备。

8. 在书后提供了“《大学物理》(理论核心部分)》系统讲授电视课总进度表”，便于学生在自学中安排收视电视教学节目并控制进度。

9. 为方便学生使用和携带，本书的新版分为三册：

(1) 第一册：第一编 守恒定律；第二编 热现象。

(2) 第二册：第三编 电磁场。

(3) 第三册：第四编 波动；第五编 波和粒子；第六编 狭义相对论。

每册书的目录均分为“全书简目”和“本册目录”两部分。

编者

1997年8月

中央广播电视大学 大学物理课程概况

	课 程 内 容	必修学时	音像媒体	教学进度、安排
理 论 部 分	理论核心部分（共六编） 守恒定律；热现象；电磁场；波动；波和粒子；狭义相对论	72	系统讲授型录像课 72 学时	第一学期学习 36 学时 (后 9 周，周学时 4)
			(1) 演示实验录像；(2) 例题讲解录音。	第二学期学习 36 学时 (18 周，周学时 2)
部 分	当代物理前沿专题部分 (10 个专题) 原子能及其和平利用；半导体；激光技术；超导电性；声学；空间物理学；混沌现象；非线性非平衡系统的自组织；现代科学中的天文世界；对称与近代物理	18	中央广播电视大学提供 33 学时录像，学生从中任选 18 学时	第二学期学习 18 学时 (18 周，平均周学时 1)
实 验 部 分	必做基本实验 10 个 必做设计性实验 2 个	36		第二学期（建议在第 17 周前完成操作考核）

目 录

全书简目

第 一 册

第一编 守恒定律

第一章 运动和力	1
1.1 质点运动的描述	2
1.2 牛顿运动定律	16
1.3 力与质点的运动	20
第二章 动量守恒	46
2.1 质点动量定理	46
2.2 质点系动量定理和动量守恒定律 ..	52
第三章 角动量守恒	64
3.1 质点角动量定理及角动量守恒定律	64
3.2 质点系角动量定理及角动量守恒定律	73
第四章 能量守恒	81
4.1 功和功率	81
4.2 动能定理	86
4.3 势能	90

4.4 功能原理和机械能守恒定律	97
4.5 能量守恒定律	104
4.6 热力学第一定律应用于理想气体 ..	106

第二编 热 现 象

第五章 气体动理论	127
5.1 气体动理论的基本概念	127
5.2 理想气体的物态方程	129
5.3 理想气体的压强和温度	134
5.4 气体分子的速率分布律	139
5.5 能量按自由度均分定理	146
*5.6 气体分子的平均自由程	149
第六章 宏观过程的方向性	162
6.1 宏观过程的方向性	164
6.2 热力学第二定律	164
6.3 热力学第二定律的微观实质	166
6.4 熵 熵增加原理	171

第 二 册

第三编 电 磁 场

第七章 静电场	1
7.1 电荷	2
7.2 库仑定律	3

7.3 电场 电场强度矢量	6
7.4 静电场力的功 电势	13
7.5 高斯定理和环路定理	19
7.6 电容器 静电场的能量	26
*7.7 静电场中的电介质	29

第八章 稳恒磁场	43	9.1 电磁感应现象	82
8.1 磁现象的电本质	43	9.2 电磁感应的规律	82
8.2 磁场 磁感应强度矢量	46	9.3 电磁感应的本质	87
8.3 毕奥—萨伐尔定律	49	9.4 电磁感应的应用	92
8.4 磁场的高斯定理和安培环路定理	54	9.5 磁场的能量	98
8.5 磁场对运动电荷及通电导线的作用	57	第十章 电磁场和电磁波	109
*8.6 磁性材料	67	10.1 电磁场 麦克斯韦方程组	109
第九章 电磁感应	82	10.2 电磁波	113

第三册

第四编 波 动

第十一章 波动	1
11.1 简谐振动	1
11.2 同一直线上简谐振动的合成	13
11.3 简谐波 波的传播	18
11.4 波的叠加	32
11.5 多普勒效应	40
第十二章 光波	58
12.1 光波	58
12.2 光的干涉	65
12.3 光的衍射	79
12.4 光的偏振	97

第五编 波 和 粒 子

第十三章 波和粒子	125
13.1 光的波粒二象性	125
13.2 实物粒子的波粒二象性	131

第六编 狭义相对论

第十四章 经典力学	149
------------------------	-----

14.1 经典力学简介	149
14.2 经典物理学的困难	153
第十五章 狭义相对论	156
15.1 狭义相对论的两个基本假设	156
15.2 惯性坐标系与爱因斯坦同时性定义	156
15.3 洛伦兹变换和相对性原理	157
15.4 洛伦兹变换与伽利略变换的差别	158
15.5 运动学效应	159
15.6 闵可夫斯基时空(四维平直时空)	163
15.7 相对论力学	165
15.8 其他相对论性的动力学理论	166
第十六章 狭义相对论的实验检验	171
16.1 狭义相对性原理和光速不变原理的检验	171
16.2 时钟变慢的实验检验	172
16.3 相对论力学实验	173
16.4 缓慢运动介质的电磁实验	173

本 册 目 录

第三编 电 磁 场

第七章 静电场	1	第八章 稳恒磁场	43
7.1 电荷	2	8.1 磁现象的电本质	43
7.2 库仑定律	3	8.1.1 早期发现的磁现象	43
7.2.1 点电荷	3	8.1.2 电流的磁效应	44
7.2.2 库仑定律	4	8.1.3 磁现象的电本质	45
7.2.3 静电力叠加原理	6	8.2 磁场 磁感应强度矢量	46
7.3 电场 电场强度矢量	6	8.2.1 磁场	46
7.3.1 电场	6	8.2.2 磁感应强度矢量	46
7.3.2 电场强度矢量	7	8.2.3 磁感应线	48
7.3.3 场强叠加原理	9	8.3 毕奥-萨伐尔定律	49
7.3.4 场强的计算	9	8.3.1 毕奥-萨伐尔定律	49
7.3.5 电场线	11	8.3.2 应用举例	50
7.4 静电场力的功 电势	13	8.4 磁场的高斯定理和安培环路定理	54
7.4.1 静电场力的功与路径无关	13	8.4.1 磁场的高斯定理	54
7.4.2 电势能	14	8.4.2 安培环路定理	54
7.4.3 电势差和电势	15	8.5 磁场对运动电荷及通电导线的 作用	57
7.4.4 电势叠加原理	16	8.5.1 磁场对运动电荷的作用	57
7.4.5 电势的计算	17	8.5.2 带电粒子在均匀磁场中的运动	59
7.4.6 等势面	18	8.5.3 磁场对通电导线的作用	63
7.5 高斯定理和环路定理	19	8.5.4 磁场作用于通电线圈的力矩	65
7.5.1 电通量	19	*8.6 磁性材料	67
7.5.2 高斯定理	21	8.6.1 物质的磁性	67
7.5.3 高斯定理应用举例	23	8.6.2 磁性材料内的磁场	68
7.5.4 静电场的环量和环路定理	25	8.6.3 有铁心的磁铁	68
7.6 电容器 静电场的能量	26	学习指导	69
7.6.1 电容器	26	第九章 电磁感应	82
7.6.2 电容器储能	27	9.1 电磁感应现象	82
7.6.3 静电场能	28	9.2 电磁感应的基本规律	82
*7.7 静电场中的电介质	29	9.2.1 感应电动势的方向 楞次定律	82
7.7.1 电介质的极化	30		
7.7.2 电介质内的电场	32		

9.2.2 感应电动势的大小 法拉第电磁感应定律	85	第十章 电磁场和电磁波	109
9.3 电磁感应的本质	87	10.1 电磁场 麦克斯韦方程组	109
9.3.1 电动势	87	10.1.1 涡旋电场和位移电流	109
9.3.2 动生电动势	88	10.1.2 电磁场	112
9.3.3 感生电动势	91	10.1.3 麦克斯韦方程组	112
9.4 电磁感应的应用	92	10.2 电磁波	113
9.4.1 互感	92	10.2.1 电磁波的传播	113
9.4.2 自感	94	10.2.2 电磁波的产生	115
9.4.3 涡电流	96	10.2.3 赫兹实验	117
9.4.4 电子感应加速器	97	10.2.4 电磁波的基本性质	118
9.5 磁场的能量	98	10.2.5 电磁波的能量密度——坡印亭 矢量	119
9.5.1 通电线圈储能	98	10.2.6 电磁波谱	121
9.5.2 磁场的能量	99	学习指导	122
学习指导	100	自测题(三)(及参考答案)	126
附录 1 SI 单位和量纲	129		
附录 2 常用的重要物理常量	131		
附录 3 常用的重要物理性质	132		
附录 4 常用的重要换算因子	132		
习题答案	133		
《大学物理》考试样卷、答案及评分标准	135		

电磁现象,和机械现象及热现象一样,广泛地存在于自然界.具体地讲,电磁作用是物质相互作用的重要基本形式;电结构是物质构成的基本形式;电磁场是物质世界的重要组成部分.所以,对电磁现象的研究是研究物质过程的必不可少的基础.

历史上,对电磁现象研究的一个极重要的成果是扩大了人们的物质概念,也就是使人们认识到物质不但能以实物的形式存在,而且还能以场的形式存在.现在我们知道,在电荷周围的空间伴存着电场,电荷与电荷之间通过电场相互作用;当电荷运动时,在运动电荷周围的空间除电场外,还伴存着磁场,运动电荷与运动电荷不仅通过电场相互作用,而且还通过磁场相互作用.不仅如此,电场和磁场是密切相互联系的,随时间变化的电场和随时间变化的磁场构成统一的电磁场.

实际上,自然界中形形色色的电磁现象,从本质上讲都是电磁场运动(变化)及其与物质相互作用的具体体现.举例来说,导体中的电流是电场推动导体中的自由电子作定向运动形成的;电动机的转动是电动机中定子产生的磁场作用于转子中的电流,使转子受到力矩的结果;各种频率的电磁波(包括光波)都不过是电磁场变化的传播.因此,为了把握住电磁学的核心内容,本编将着重讨论电磁场的性质及规律.

对于一切矛盾着的事物,我们不仅要从矛盾的联结上把握其特性,而且只有从矛盾的各个方面着手研究,才可能了解其总体.本编对电磁场的研究,就准备遵循这一原则分下列四步进行:

1. 先研究电场的性质和规律;
2. 再研究磁场的性质和规律;
3. 然后研究电场与磁场的相互联系及转化;
4. 最后从整体上揭示电磁场的本质及其运动规律.

第七章 静 电 场

静电场是相对于观察者静止的电荷所产生的电场.本章首先从电荷在电场中受力和电场力对电荷做功两方面,引入描述静电场的两个基本物理量——电场强度和电势,然后阐明反映静电场性质的两个基本定理

——高斯定理和环路定理,最后研究静电场的能量问题.

本章可按以下五个单元自学:

1. 电荷 库仑定律;
2. 电场 电场强度矢量;
3. 静电场力的功 电势;
4. 高斯定理和环路定理;
5. 静电场的能量.

7.1 电 荷

在很早的时候,人们就发现用毛皮摩擦过的琥珀能够吸引羽毛、纸片等轻小物体,后来发现,摩擦后能吸引轻小物体的性质,并不是琥珀所独有.象玻璃棒、火漆棒、硬橡胶棒、有机玻璃棒、硫磺块或水晶块等,用毛皮或丝绸摩擦后也都能吸引轻小的物体(图 7-1).

物体有了这种吸引轻小物体的性质,就说它带了电,或者说有了电荷.带电的物体叫作**带电体**,使物体带电叫作起电.英文中 electricity(电)这个字是人们根据希腊文“琥珀”的原意创造出来的.所以,带电原本是“琥珀化”了的意思,表示物体处在一种特殊的物理状态.

实验指出,两根用毛皮摩擦过的硬橡胶棒互相排斥;两根用丝绸摩擦过的玻璃棒也互相排斥;可是,用毛皮摩擦过的硬橡胶棒与用丝绸摩擦过的玻璃棒却互相吸引.这表明硬橡胶棒上的电荷和玻璃棒上的电荷是不同的.实验证明,所有其他物体,不论用什么方法起电,所带的电荷或者与玻璃棒上的电荷相同,或者与



图 7-1

硬橡胶棒上的电荷相同.这说明,自然界中只存在两种电荷;而且,同种电荷互相排斥,异种电荷互相吸引.历史上,美国科学家富兰克林(1706—1790)首先用正电荷和负电荷的名称来区分两种电荷,这种命名法一直沿用到现在.

物质的电结构

近代物理学的发展使我们对物体带电现象的本质有了深入的了解.一切实物都是由分子、原子组成,而原子又由带正电的原子核和带负电的电子组成.原子核内有质子和中子,质子带正电,中子不带电,每个质子所带正电荷与每个电子所带负电荷的电荷量相等.在正常情况下,每个原子的核内有几个质子,核外就有几个电子.例如,每个氢原子的核内有 1 个质子,核外就有 1 个电子;每个铜原子的核内有 29 个质子,核外就有 29 个电子;等等.所以,整个原子所带电荷量的总和为零,对外不显示出电

性.图 7-2 是铜原子电结构的示意图(图中⊖表示电子,⊕表示质子,○表示中子).

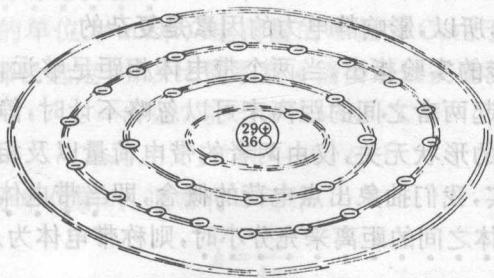


图 7-2

一切实物内部固有地存在着电子和质子这两类基本的带电粒子,是各种物体带电的内在根据.在正常情况下,物体中任何一部分所包含的电子总数和质子总数总是相等的,所以从整体上看物体不带电.但是,如果在一定的外界作用下,一部分核外电子摆脱了原子核的束缚,从一个物体转移到另一个物体(或从物体的一部分转移到另一部分),那么,物体(或其中的一部分)就失去或得到一定数量的电子,使电子的总数和质子的总数不再相等,从而就表现出带电来.例如,摩擦起电实际上就是通过摩擦的作用,使电子从一个物体转移到另一个物体的过程.

物体的带电过程

电荷的另一个重要特征是它的量子性,即任何带电体的电荷量都只可能是某一基本单元的整数倍,而不可能连续地变化.电荷的这个基本单元就是电子所带电荷的绝对值,叫作电子电荷,其量值用 e 表示.根据精确的测量,得到

电荷的量子性

$$e = 1.602\ 177\ 33 \times 10^{-19}\ \text{C}$$

上式中 C(库)是电荷量的国际单位制单位.

在研究宏观电磁现象时,所涉及的电荷通常总是电子电荷的许许多多倍.在这种情况下,我们可认为电荷连续地分布在带电体上,而忽略掉电荷的量子性.

7.2 库仑定律

电荷最基本的性质是与其他电荷相互作用,所以电荷之间相互作用的规律是电现象最基本的规律.这方面的规律是由法国工程师库仑(1736—1806)通过实验确定的,叫作库仑定律.库仑定律直接给出的是点电荷与点电荷之间相互作用的规律.

7.2.1 点电荷

当两个物体带电时,它们之间就有相互作用力.静止带电体之间的相互作用力,叫作静电力.根据实验知道,对于任意两个带电体,它们之间静电力的大小和方向不但与它们所带的电荷量以及相互之间的距离有关,

而且与它们的形状有关。具体地讲,当任一带电体的形状稍有变化时,静电力的方向和大小就会改变。这实际上反映出,静电力与电荷在带电体上的分布状况有关,所以,影响静电力的因素是复杂的。

但是,进一步的实验指出,当两个带电体相距足够远,以致带电体本身的几何线度比起两者之间的距离来可以忽略不计时,静电力的方向和大小将与带电体的形状无关,仅由两者的带电荷量以及相互间的距离决定。根据这一事实,我们抽象出点电荷的概念,即当带电体的几何线度比起它与其他带电体之间的距离来充分小时,则称带电体为点带电体,或简称点电荷。

所谓“充分小”是指在测量的精度范围内,带电体几何形状的任意改变,都不会引起相互作用的静电力的改变。因此,点电荷是一个理想模型。

7.2.2 库仑定律

库仑定律可以表述如下:两个点电荷之间相互作用的静电力的大小与它们带电荷量的乘积成正比,与它们之间距离的平方成反比;作用力的方向沿着它们的连线,同性电荷相斥,异性电荷相吸。

如图 7-3 所示,若两个点电荷的带电荷量分别为 q_1 、 q_2 ,两者间的距离为 r ,相互作用力分别为 F 、 $-F$,则

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

写成等式有

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (7.1)$$

若用 \hat{r} 表示由 q_1 到 q_2 的单位矢量,则可将库仑定律用矢量式表示:

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \hat{r} \quad (7.2)$$

式中 \hat{r} 的大小为 1,即 $|\hat{r}| = 1$ 。无论 q_1 、 q_2 是正是负,上式都适用。当 q_1 、 q_2 同号时, q_1 与 q_2 的乘积为正, F 与 \hat{r} 同向,为排斥力;当 q_1 、 q_2 异号时, q_1 与 q_2 的乘积为负, F 与 \hat{r} 反向,为吸引力。

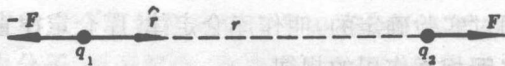


图 7-3

k 是比例系数,它的数值和单位取决于式中各量所采用的单位。在国际单位制(SI)中,电荷量的单位 C 叫库[仑],它是由电流的单位 A——安

① 为了与电视课统一,本书中单位矢量仍沿用传统的表示方法。

[培]导出的. 库仑的定义是当导线中通有 1 A 的稳恒电流时, 1 s(秒)内通过导线横截面的电荷量为 1 C, 即 $1\text{ C}=1\text{ A}\cdot\text{s}$. 在 SI 中, 力的单位为 N(牛顿), 距离的单位为 m(米), 电荷量的单位为 C, 由于式(7.1)中所有物理量的单位都已选定, 所以比例系数 k 需要通过实验测定. 测量结果为

$$k = 8.9875 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2} \\ \approx 9.0 \times 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2\cdot\text{C}^{-2}$$

当采用国际单位制时, 通常将 k 写作

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

即用另一常量 ϵ_0 来代替 k , 并将库仑定律的表达式写作

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad (7.3)$$

库仑定律的表达式

新引入的常量 ϵ_0 叫作真空电容率, 它的数值和单位为

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8.8542 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \\ \approx 8.9 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

从形式上看, 因子 4π 的引入使式(7.3)比式(7.2)复杂了. 但这样会使得由库仑定律导出的一些常用的定理和公式的形式变得简化. 这一点, 在以后将会看到.

例 1 试比较氢原子中电子与原子核之间的静电力和万有引力.

解 在氢原子中, 电子与原子核之间的距离 $r = 0.529 \times 10^{-10} \text{ m}$, 而电子和原子核的直径都在 10^{-15} m 以下, 所以可以把电子和原子核都看作是点电荷.

电子的电荷量是 $-e$, 氢原子核的电荷量是 $+e$, $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$, 所以它们之间的静电力是引力, 其大小为

$$F_e = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r^2} = 9.0 \times 10^9 \times \frac{(1.60 \times 10^{-19})^2}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \text{ N} \\ = 8.2 \times 10^{-8} \text{ N}$$

电子的质量为 $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$, 氢原子核的质量为 $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$, 所以它们之间万有引力的大小为

$$F_G = G \frac{m_e m_p}{r^2} = 6.67 \times 10^{-11} \times \frac{9.1 \times 10^{-31} \times 1.67 \times 10^{-27}}{(0.529 \times 10^{-10})^2} \text{ N} \\ = 3.6 \times 10^{-47} \text{ N}$$

所以, 静电力与万有引力之比为

$$\frac{F_e}{F_G} = 2.3 \times 10^{39}$$

由此可见, 在原子内部静电力远远大于万有引力. 同样, 在原子结合成分子, 原子或分子组成液体或固体等问题中, 万有引力的作用都是十分微小的.

静电力与万有引力的比较