



武汉大学·普通高等教育“十二五”规划教材
21世纪高等学校教材

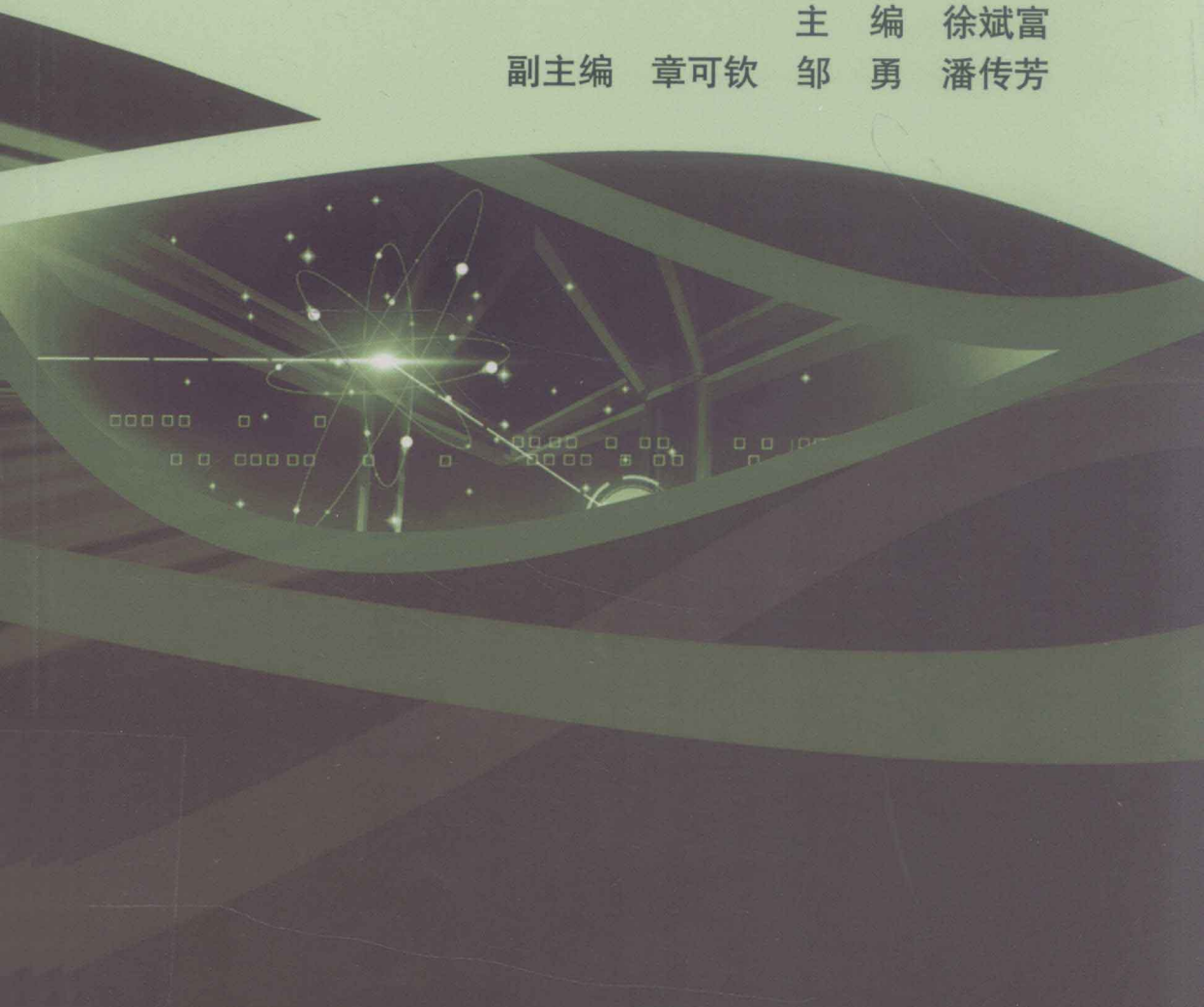
大学基础物理

2

(第三版)

主 编 徐斌富

副主编 章可钦 邹 勇 潘传芳



科学出版社

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229;010-64034315;13501151303

内 容 简 介

《大学基础物理》是武汉大学·普通高等教育“十二五”规划教材,21 世纪高等学校教材之一。本套教材共分三册。本书是《大学基础物理》第二册,讲述电磁学的基本概念和规律,内容包括静电场、导体和电介质、稳恒电流、稳恒磁场、磁介质、电磁感应、电磁场与电磁波等,最后一章主要是以电磁学的基本规律为基础,简要地介绍了等离子体、磁悬浮列车、电磁波等现代科学与高新技术内容,用以拓展学生的物理知识面。

本书可作为高等学校大学物理课程的教材,也可以作为中学物理教师教学和其他读者自学的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学基础物理. 第2册/徐斌富主编. —3 版. —北京:科学出版社,2012.6
武汉大学·普通高等教育“十二五”规划教材 21 世纪高等学校教材
ISBN 978-7-03-034407-6

I. 大… II. 徐… III. 物理学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 104883 号

责任编辑:吉正霞/责任校对:董艳辉 蔡 莹

责任印制:彭 超/封面设计:苏 波

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>

武汉市新华印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 1 月第 一 版

2008 年 6 月第 二 版 开本:B5(720×1000)

2012 年 6 月第 三 版 印张:17

2012 年 6 月第六次印刷 字数:324 000

定价:28.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

武汉大学·普通高等教育“十二五”规划教材
21 世纪高等学校教材

《大学基础物理》编写组

主 编 徐斌富

主 审 张哲华

(以下按姓氏笔画排序)

副主编 邹 勇 章可钦 潘传芳

编写者 尹 玲 刘大鹏 孙幼林

李长真 邹 勇 沈黄晋

徐斌富 章可钦 潘传芳

第三版前言

为适应经济社会发展、学科专业建设和教育教学改革,本套教材编写组在保持第二版的结构、篇幅和风格不变前提下,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会关于《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),于2012年对全书进行了修订.相对第二版,第三版进行了以下几点修订:

第一,主要对第2章、第8章和第24章的思考题与习题作了比较大的增减和调整.

第二,对少量节、段进行了增减和调整.

第三,对少量错漏的文字、符号、图表进行了认真校正.

担任本套教材编写的人员(见第一版前言),除第29章和第30章由李长真教授负责修订和部分改写外,其余章节各自负责其编写和修订工作.

本套教材经再次修订后更趋完善,恳请各位专家和学者对本教材提出宝贵意见.

编 者
2012年3月
于武昌珞珈山

第二版前言

《大学基础物理》是 21 世纪高等学校基础课程教材之一,是一套力求与教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委员会关于《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2008 年版)相适应的大学物理课程新教材,为武汉大学“十一五”规划教材,第一版使用对象主要是武汉大学理科(非物理专业)、工科和医科等专业本科生。

为适应新世纪的教学要求,打造品牌教材,并全面推向社会,本套教材编写组集思广益,广开言路,全面收集教师、学生和读者的反馈意见和各种信息,在保持第一版编写风格的前提下,于 2008 年对全书进行了第二版的编写和修订工作,修订的第二版具有如下几个特点:

第一,结构更加合理,更符合理科(非物理专业)、工科和医科等专业本科生的教学实际和大学物理教学、教改走向。

第二,对部分章节的内容进行了增删、修改、润色,将节后的基础习题移至章后与综合习题编排在一起,并统称为习题。

第三,对少量编写、编辑、校对差错,进行了认真校正。

担任本套教材各册、编写的人员(见第一版前言)各自负责其编写、修订工作。

本套教材为武汉大学教学改革成果,第二版被遴选为科学出版社普通高等教育“十一五”规划教材,在此向关心本套教材的各位同仁表示谢意,同时欢迎读者继续对本套教材提出批评和建议。

编 者
2008 年 5 月
于武昌珞珈山

第一版前言

《大学基础物理》是 21 世纪高等学校基础课程教材之一。这是一套力求与教育部高等学校非物理类专业物理基础课程教学指导分委员会关于《非物理类理工学科学大学物理课程教学基本要求》(正式报告稿 2004 年 12 月 3 日)(以下简称《基本要求》)相适应的大学物理课程新教材,是编者在总结多年教材改革和教学实践的基础上,汲取了当前国内外优秀教学改革成果而编写的。下面对本教材作几点说明。

1. 课程内容现代化更突出

现代高新科技的发展突飞猛进,高等院校正在培养的是 21 世纪的科技人才,在新教材中加强介绍科学前沿和技术应用发展中的基础性物理原理,使课程内容现代化是非常必要的。在编写本教材时,我们作了一点尝试,除了在第三册中大篇幅地介绍近代物理基础理论外,还在每章中尽可能引入一点对当前新技术领域中的基础性物理原理的介绍。另外在每册的最后一章,专题讨论与本册相关的现代科学与高新技术物理基础知识,使课程内容现代化更突出。

2. 科学思维与创新能力的培养更明显

本套教材的教学目标定位在对学生进行科学素质教育、人才的“创新、创造、创业”教育和物理基础理论及其在现代高新技术应用上的教育,培养学生独立获取知识的能力、科学思维能力和解决问题的能力。如何在教材中实现上述目标,是编者的一个重大课题。在编写本教材时,我们也作了一点尝试,除了常规地设计例题、基础习题、思考题和综合习题外,还开设了《思考与探索》这一新栏目,使科学思维与创新能力的培养更明显。

3. 分层次组织教学更方便

为了适合高等学校不同层次、不同类型的各专业学生对大学物理课程的教学要求,本教材内容在编排上分为三个层次,即大学物理核心内容、扩展内容(其章节用 * 标注)和较深入内容(其章节用 ** 标注),以适应分类或分层次组织教学。本套教材核心内容按《基本要求》的 126 学时编写,扩展内容和较深入内容可根据不同层次、不同类型的各专业的要求选讲。在课后作业题的编排上,以学生为本,分层次指导的特点也是很明显的。对基础较差的学生可多布置一些基础习题;对基础较好的学生可多布置一些思考题和综合习题;对物理特别感兴趣的学生,除了多布置一些思考题和综合习题之外,还可以引导他进入《思考与探索》这一新栏目参与研讨。

担任本套教材各册编写与审稿的人员如下:

第一册主编: 徐斌富 邹 勇 潘传芳 章可钦

第二册主编: 徐斌富 章可钦 邹 勇 潘传芳

第三册主编: 徐斌富 潘传芳 章可钦 邹 勇

全书主审: 张哲华

第一册编写人员:

邹勇(第 1、2、3、4 章;第 10 章 § 10.1)

潘传芳(第 5 章)

刘大鹏(第 6、7 章;第 10 章 § 10.2)

尹玲(第 8、9 章;第 10 章 § 10.3)

第二册编写人员:

孙幼林(第 11、12 章;第 19 章 § 19.1)

章可钦(第 13、14、15、16 章;第 19 章 § 19.2)

沈黄晋(第 17、18 章;第 19 章 § 19.3)

第三册编写人员:

潘传芳(第 20、21、22、23 章;第 31 章 § 31.1)

徐斌富(第 24、25、26、27、28 章;第 31 章 § 31.2、§ 31.3)

刘莲君(第 29、30 章)

张哲华教授对本套教材的编写提出了指导性的意见,梁荫中教授和刘莲君教授对本套教材的编写给予了许多有益的帮助,本套教材在编写过程中得到了武汉大学教务部、武汉大学物理科学与技术学院领导的关心和大力支持,在此一并表示衷心的感谢。

由于编写时间较紧,书中疏漏和不足之处在所难免,我们真诚希望读者批评指正。

编 者
2006 年 9 月

目 录

第 11 章 真空中的静电场	1
11.1 库仑定律	1
11.1.1 电荷	1
11.1.2 库仑定律	3
11.2 电场 电场强度	5
11.2.1 电场	5
11.2.2 电场强度	5
11.2.3 场强叠加原理	6
11.3 高斯定理	12
11.3.1 电场线和电通量	12
11.3.2 高斯定理	14
11.3.3 利用高斯定理求场强分布	17
11.4 静电场的环路定理	21
11.4.1 静电场力的功	21
11.4.2 静电场的环路定理	21
11.5 电势 电势与场强的关系	22
11.5.1 电势能	22
11.5.2 电势	23
11.5.3 电势叠加原理	25
11.5.4 等势面	27
11.5.5 电势与场强的微分关系	28
11.6 静电场中的电偶极子	31
思考题	33
习题	34
思考与探索	37
第 12 章 静电场中的导体和电介质	38
12.1 静电场中的导体	38
12.1.1 导体的静电平衡条件	38
12.1.2 实心导体静电平衡时的电荷分布特征	40
12.1.3 空腔导体静电平衡时的特征	43

12.1.4 静电屏蔽	45
**12.1.5 镜像法的应用	47
12.2 电容和电容器	49
12.2.1 孤立导体的电容	49
12.2.2 电容器及其电容	49
12.3 电介质及其极化	53
12.3.1 电介质极化的微观机制	53
12.3.2 电极化强度矢量	56
12.4 有电介质存在时的静电场基本定理	58
12.4.1 有电介质存在时的高斯定理	58
12.4.2 电位移矢量 D 和电介质中总场强 E 的关系式	59
12.4.3 D 、 E 、 P 三矢量的场线	59
12.4.4 有电介质存在时的环路定理	63
12.5 静电场的能量	63
12.5.1 点电荷系的相互作用能	63
12.5.2 电荷连续分布系统的静电能	64
12.5.3 电场的能量	65
思考题	66
习题	68
思考与探索	71
第 13 章 稳恒电流	72
13.1 电流稳恒条件	72
13.1.1 电流	72
13.1.2 电流密度矢量	73
13.1.3 电流连续性方程 电流稳恒条件	74
13.2 欧姆定律	74
13.2.1 欧姆定律的积分形式	75
13.2.2 电阻的计算	76
13.2.3 欧姆定律的微分形式	76
*13.2.4 金属导电的经典微观解释	77
13.3 焦耳定律	79
13.3.1 电流的功和功率	79
13.3.2 焦耳定律	79
13.4 电动势	80
13.4.1 电容器的放电	80

13.4.2 电源的作用	80
13.4.3 电动势	81
13.5 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	81
13.5.1 闭合电路的欧姆定律	81
13.5.2 一段含源电路的欧姆定律	82
*13.6 基尔霍夫定律	82
13.6.1 节点电流定律	83
13.6.2 回路电压定律	83
13.6.3 复杂电路的计算方法	84
思考题	86
习题	87
思考与探索	88
第 14 章 真空中的稳恒磁场	89
14.1 磁场 磁感应强度	89
14.1.1 磁场	89
14.1.2 磁感应强度	90
14.2 毕奥-萨伐尔定律	91
14.2.1 毕奥-萨伐尔定律	91
14.2.2 毕奥-萨伐尔定律的应用	92
14.2.3 运动电荷的磁场	95
14.3 稳恒磁场中的基本定理	97
14.3.1 磁感应线	97
14.3.2 磁通量	98
14.3.3 磁场的高斯定理	99
14.3.4 磁场的安培环路定理	100
14.3.5 安培环路定理的应用	102
14.4 磁场对电流的作用	105
14.4.1 安培定律	105
14.4.2 平行无限长载流直导线间的相互作用	106
14.4.3 磁场对载流线圈的作用	107
14.4.4 磁力矩的功	108
14.5 带电粒子在电场和磁场中的运动	109
14.5.1 洛伦兹力	109
14.5.2 带电粒子在电场和磁场中的运动	110
14.5.3 霍尔效应	113

思考题	114
习题	115
思考与探索	121
第 15 章 磁介质	122
15.1 磁介质的磁化及其描述	122
15.1.1 磁介质	122
15.1.2 分子电流和分子磁矩	123
15.1.3 顺磁质的磁化	123
15.1.4 抗磁质的磁化	124
15.2 磁化强度 磁化电流	125
15.2.1 磁化强度	125
15.2.2 磁化电流 磁化面电流密度	125
15.2.3 磁化电流与磁化强度的关系	126
15.3 有磁介质存在时的磁场的基本定理	126
15.3.1 有磁介质存在时的安培环路定理	126
15.3.2 磁化规律	127
15.3.3 有磁介质存在时的安培环路定理的应用	128
15.3.4 有磁介质存在时的高斯定理	130
*15.4 铁磁质	131
15.4.1 起始磁化曲线和磁滞回线	131
15.4.2 铁磁质磁化的微观机制	132
15.4.3 铁磁质的分类及其主要特点	133
思考题	134
习题	134
思考与探索	135
第 16 章 电磁感应	136
16.1 电磁感应的基本定律	136
16.1.1 电磁感应现象	136
16.1.2 楞次定律	137
16.1.3 法拉第电磁感应定律	139
16.2 动生电动势 感生电动势 感生电场	140
16.2.1 动生电动势	140
16.2.2 动生电动势的计算	142
16.2.3 感生电动势 感生电场	143
16.2.4 感生电动势的计算	145

16.3 自感 互感	147
16.3.1 自感现象及自感系数	147
16.3.2 自感系数的计算	148
16.3.3 互感现象及互感系数	150
16.3.4 互感系数的计算	151
16.4 磁场的能量	153
16.4.1 自感储能	153
16.4.2 磁场能量和磁能密度	154
16.4.3 磁场能量的计算	155
思考题	155
习题	157
思考与探索	161
第 17 章 电磁场与电磁波	162
17.1 位移电流 全电流安培环路定理	162
17.1.1 位移电流	162
17.1.2 全电流安培环路定理	164
17.2 麦克斯韦方程组	166
17.2.1 麦克斯韦方程组的积分形式	166
17.2.2 麦克斯韦方程组的微分形式	167
17.3 平面电磁波	169
17.3.1 电磁波的产生与传播	169
17.3.2 电磁波的主要性质	171
17.3.3 电磁波的能量和动量	172
17.4 电磁振荡与电磁辐射	174
17.4.1 LC 振荡电路	174
17.4.2 无阻尼电磁振荡方程和电磁振荡的能量	175
17.4.3 阻尼振荡与受迫振荡	176
17.4.4 电磁波的辐射	177
17.5 电磁波谱	177
思考题	179
习题	180
思考与探索	181
第 18 章 正弦交流电	183
18.1 正弦交流电的基本概念	183
18.1.1 交流电的产生	183

18.1.2 正弦交流电的特征量	184
18.2 正弦交流电的相量表示法	186
18.2.1 正弦量的振幅矢量图示法	186
18.2.2 正弦量的相量表示法	187
18.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	189
18.3 交流电路中的三种基本元件	191
18.3.1 纯电阻元件交流电路	191
18.3.2 纯电容元件的交流电路	193
18.3.3 纯电感元件的交流电路	195
18.4 串联电路与并联电路	199
18.4.1 RLC 串联电路	199
18.4.2 RLC 并联电路	204
18.5 谐振电路	208
18.5.1 串联谐振	208
18.5.2 并联谐振	212
18.6 交流电的功率 功率因数的提高	214
18.6.1 交流电的功率	214
18.6.2 功率因数的提高	217
18.7 变压器原理	217
18.7.1 变压器的基本结构	218
18.7.2 理想变压器的工作原理	218
18.7.3 变压器的用途	221
18.8 三相交流电	223
18.8.1 三相交流电概述	223
18.8.2 三相电路中负载的连接方式	225
18.8.3 三相交流电的功率	227
思考题	228
习题	229
思考与探索	233
第 19 章 现代科学与高新技术物理基础(2)	235
19.1 等离子体及其应用简介	235
19.1.1 等离子体概念	235
19.1.2 等离子体性质及分类	236
19.1.3 等离子体的电中性	237
19.1.4 应用实例	238

19.2 磁悬浮列车的工作原理.....	239
19.2.1 磁悬浮列车的两种形式.....	240
19.2.2 磁悬浮列车的主要系统.....	240
19.3 电磁波与遥感.....	243
19.3.1 遥感的基本概念.....	243
19.3.2 电磁波谱与大气窗口.....	244
19.3.3 21 世纪遥感的六大发展趋势	246
习题参考答案.....	249

第11章

真空中的静电场

人类认识电现象已有几千年的历史,但真正对电现象的科学研究是始于 18 世纪后期.在法拉第提出“场”的概念后,人们知道了电荷可以在其周围空间激发电场,电荷与电荷之间的相互作用是通过电场来传递的.相对于观察者静止的电荷所激发的电场称为静电场.

本章主要讨论真空中静电场的基本性质和规律.首先介绍库仑定律和电场强度及场强叠加原理,进而介绍反映静电场基本性质的两条基本定理——高斯定理和静电场环路定理,在此基础上介绍电势的概念及其计算,最后讨论电场强度与电势的关系.

11.1 库 仑 定 律

11.1.1 电 荷

1. 电 荷

人们在很早的时候,就发现用毛皮摩擦过的琥珀能吸引羽毛、头发等轻小物体.当物体有了吸引轻小物体的性质(图 11.1),我们就说它带了电,或有了电荷.带电的物体称为带电体.带电体所带电荷的多少叫电量.电量常用 Q 或 q 表示,在国际单位制中,它的单位是库[仑],符号为 C.

带电的物体具有两种完全不同的状态.两根用丝绸摩擦过的玻璃棒相互排斥,两根用毛皮摩擦过的硬胶木棒也互相排斥,但用丝绸摩擦过的玻璃棒和用毛皮摩擦过的硬胶木棒之间却互相吸引.上述事实说明,玻璃棒上所带的电荷和硬胶木棒上所带的电荷是两种性质完全不同的电荷.美国物理学家富兰克林(B. Franklin)首先以正电荷、负电荷的名称来区分两种电荷,这种命名法一直延续到现在.大量的事实表

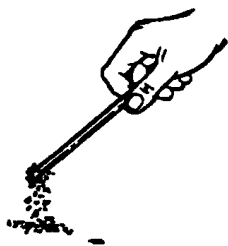


图 11.1 摩擦起电

明,在自然界中只存在正电荷和负电荷,而且同种电荷相互排斥,异种电荷相互吸引.

用近代物理的观点来看,电荷是一些基本粒子(如电子、质子、 $\mu^\pm$ 子、 $\pi^\pm$ 介子等)的一种属性,自然界不存在不依附于任何物体的“单独电荷”这种东西.通过摩擦或静电感应方法之所以能使宏观物体带电,是由于宏观物体都是由原子(或分子)组成,原子又是由带正电的原子核和带负电的电子组成.原子核中有质子和中子,中子不带电,质子带正电.在正常情况下,原子内的电子数和原子核内的质子数相等,从而整个原子呈电中性.由于构成物体的原子是电中性,因此,通常宏观物体处于电中性状态,物体不对外显示电性.摩擦或静电感应能使物体带电,实际上是电荷从一个物体(或物体的一个部分)上转移到另一个物体(或同一物体的另一部分)上.因此,有过剩电子的宏观物体(或物体的一个部分)对外呈现带负电的性质,而缺少电子的宏观物体(或同一物体的另一部分)对外呈现带正电的性质.这就是宏观物体带电的情景.

2. 电荷的量子性

实验证明,在自然界中,电荷总是以一个基本单元的整数倍出现.电荷的这个特性叫做**电荷的量子性**.电荷的基本单元就是一个电子所带电量的绝对值,常用 e 表示. e 的精确值由实验测得为

$$e = 1.6021892(46) \times 10^{-19} \text{ C}$$

1913年,密立根(R. A. Millikan)设计了著名的油滴实验,直接测量了电子的电量值.由于电量 e 对宏观电磁测量仪来说太小了,以至于 e 电量对宏观测量量带来的影响无法察觉.在这种情况下,只能从平均效果上考虑,认为电荷连续地分布在带电体上,而忽略电荷的量子性所引起的微观起伏.尽管如此,在阐明某些宏观现象的微观本质时,还是要从电荷的量子性出发.

近代物理从理论上预言基本粒子由若干种夸克或反夸克组成,夸克带有分数电荷,它们所带的电荷量是电子电荷量的 $\pm \frac{1}{3}$ 、 $\pm \frac{2}{3}$.然而,至今单独存在的夸克尚未在实验中发现,不过今后即使真的发现了自由夸克,仍然不会改变电荷量子性的结论.

3. 电荷守恒定律

实验证明,在一个与外界没有电荷交换的系统内,无论进行怎样的物理过程,系统内正负电荷量的代数和总是保持不变.这就是**电荷守恒定律**.随着近代物理学的发展,电荷守恒定律在微观物理过程中得到了精确验证.例如,一个高能光子在重核附近可以转化为电子偶(一个正电子和一个负电子),光子的电荷量为零,电子偶的电荷量的代数和也为零;反之,电子偶也能湮没为光子,湮没前后电荷量的代数和仍相等.其反应可表示为

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

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

还需指出,大量事实表明,带电体所带电荷的电量与它的运动状态无关. 由于在不同的参考系中观察,同一电荷的运动状态不同,所以电荷的电量与其运动状态无关. 也就是说,在不同的参考系内观察,同一带电粒子的电量不变. 电荷的这一性质叫电荷的相对论不变性.

11.1.2 库仑定律

在发现电现象后 2000 多年的时间里,人们对电的了解一直处于定性的初级阶段,这种现象一直延续很久,定量研究是在 18 世纪末,1785 年法国科学家库仑 (C. A. Coulomb) 通过扭秤实验总结出两个静止点电荷间相互作用的规律,现称之为库仑定律. 所谓点电荷,是指这样的带电体:它本身的几何线度与它到其他带电体的距离相比小得多,该带电体的形状及电荷在其上的分布允许忽略时,此带电体可看做一个带电的点,称之为点电荷. 因此点电荷概念只具有相对的意义,它本身不一定是很小的带电体.

库仑定律表述为:在真空中,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 、 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.

令 F_{12} 表示 q_2 对 q_1 的作用力, $r_{12} = r_1 - r_2$ 表示由 q_2 指向 q_1 的矢量, r_{12}° 表示其单位矢量,则库仑定律可表示为

$$F_{12} = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} r_{12}^\circ \quad (11.1a)$$

式中,比例系数 k 称为静电力常量. 当两个点电荷 q_1 与 q_2 同号时, F_{12} 与 r_{12}° 的方向相同,表明 q_1 受 q_2 的排斥力;当两个点电荷 q_1 与 q_2 异号时, F_{12} 与 r_{12}° 的方向相反,表示 q_1 受 q_2 的吸引力.

同理可知, q_1 对 q_2 的作用力为

$$F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r_{21}^2} r_{21}^\circ \quad (11.1b)$$

由于 $r_{12}^\circ = -r_{21}^\circ$, 故有 $F_{12} = -F_{21}$ (图 11.2), 即静止点电荷之间的相互作用力满足牛顿第三定律.

在国际单位制中,距离 r 的单位为 m,力 F 的单位为 N 时,实验测定比例常量 k 的数值和单位为

$$k = 8.9880 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2} \approx 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$$

通常还引入另一常量 ϵ_0 来代替 k , 使 $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$, 于是式

(11.1a) 可改写为

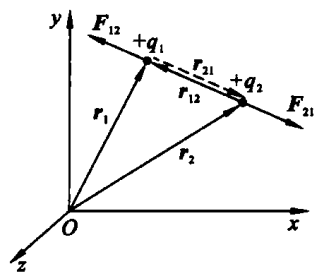


图 11.2 库仑定律