

21 世纪高等学校教材

武汉大学“十一五”规划教材

大学基础物理

(第二册)

徐斌富 章可钦 邹 勇 潘传芳 主编



科学出版社

www.sciencep.com

· 21 世纪高等学校教材 ·
武汉大学“十一五”规划教材

大学基础物理

(第二册)

徐斌富 章可钦 邹 勇 潘传芳 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

《大学基础物理》是 21 世纪高等学校基础课程教材之一。全书主教材共分三册：第一册的内容包括力学和热学两部分；第二册的内容为电磁学部分；第三册的内容是光学和近代物理学部分。另配有辅助教材《大学基础物理学习指导》。

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、正弦交流电路的基础知识，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、电磁波与遥感技术等现代科学与高新技术内容，用以拓展物理知识面。

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 / 徐斌富等主编. — 北京：科学出版社，2007

(21 世纪高等学校教材)

武汉大学“十一五”规划教材

ISBN 978-7-03-018310-1

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 (2006) 第 156143 号

责任编辑：冯贵层 / 责任校对：董艳辉

责任印制：高 嵘 / 封面设计：宝 典

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>

湖北新华印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007 年 1 月第 一 版 开本：B5 (720×1000)

2007 年 1 月第一次印刷 印张：17 1/2

印数：1-10 000 字数：325 000

定价：22.00 元

(如有印装质量问题，我社负责调换)

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介绍当前新技术领域中的基础性物理原理. 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 § 20.1)

章可钦(第13、14、15、16章;第19章 § 19.2)

沈黄晋(第17、18;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)

张哲华教授对本教材的编写提出了指导性的意见,梁阴中教授和刘莲君教授对本教材的编写给予了许多有益的帮助,本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,书中错漏和不足之处难免,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
基础习题	4
§ 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
基础习题	11
§ 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
基础习题	21
§ 11.4 静电场的环路定理	21
11.4.1 静电场力所做的功与路径无关	21
11.4.2 静电场的环路定理	22
§ 11.5 电势 电势与场强的关系	23
11.5.1 电势能	23
11.5.2 电势	24
11.5.3 电势叠加原理	26
11.5.4 等势面	27
11.5.5 电势与场强的微分关系	28
基础习题	31
* § 11.6 静电场中的电偶极子	32
思考题	34
综合习题	35
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	39
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
基础习题	49
§ 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	50
基础习题	54
§ 12.3 电介质及其极化	54
12.3.1 电介质极化的微观机制	54
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	59
12.4.1 有电介质存在时的高斯定理	59
12.4.2 电位移矢量 D 和电介质中总场强 E 的关系式	60
12.4.3 D 、 E 、 P 三矢量的场线	60
12.4.4 有电介质存在时的环路定理	64
基础习题	64
§ 12.5 静电场的能量	64
12.5.1 点电荷系的相互作用能	64
12.5.2 电荷连续分布系统的静电能	65
12.5.3 电场的能量	66
基础习题	67
思考题	67
综合习题	69
思考与探索	72
第 13 章 稳恒电流	73
§ 13.1 电流稳恒的条件	73
13.1.1 电流强度	73
13.1.2 电流密度矢量	74
13.1.3 电流连续性方程 电流稳恒条件	75
基础习题	75

§ 13.2 欧姆定律的积分形式和微分形式	75
13.2.1 欧姆定律的积分形式	76
13.2.2 电阻的计算	77
13.2.3 欧姆定律的微分形式	78
*13.2.4 金属导电的经典微观解释	78
基础习题	79
§ 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	80
基础习题	81
§ 13.4 电动势	81
13.4.1 电容器的放电过程	81
13.4.2 电源的作用	81
13.4.3 电动势	82
基础习题	82
* § 13.5 闭合电路和一段含源电路的欧姆定律	82
13.5.1 闭合电路的欧姆定律	82
13.5.2 一段含源电路的欧姆定律	83
基础习题	84
* § 13.6 基尔霍夫定律	84
13.6.1 节点电流定律	84
13.6.2 回路电压定律	85
13.6.3 复杂电路的计算方法	86
基础习题	88
思考题	88
综合习题	88
思考与探索	89
第 14 章 真空中的稳恒磁场	91
§ 14.1 磁场 磁感应强度	91
14.1.1 磁场	91
14.1.2 磁感应强度	92
基础习题	93
§ 14.2 毕奥-萨伐尔定律	93
14.2.1 毕奥-萨伐尔定律	93
14.2.2 毕奥-萨伐尔定律的应用	94

14.2.3 运动电荷的磁场	97
基础习题	99
§ 14.3 稳恒磁场中的基本定理	99
14.3.1 磁感应线	99
14.3.2 磁通量	100
14.3.3 磁场的高斯定理	101
14.3.4 磁场的安培环路定理	102
14.3.5 安培环路定理的应用	105
基础习题	108
§ 14.4 磁场对电流的作用	109
14.4.1 定培定律	109
14.4.2 平行无限长载流直导线间的相互作用	110
14.4.3 磁场对载流线圈的作用	111
*14.4.4 磁力矩的功	112
基本习题	113
§ 14.5 带电粒子在电场和磁场中的运动	114
14.5.1 洛伦茨力	114
14.5.2 霍尔效应	115
14.5.3 带电粒子在电场和磁场中的运动	117
基础习题	119
思考题	120
综合习题	121
思考与探索	124
第 15 章 磁介质	126
§ 15.1 磁介质的磁化及其描述	126
15.1.1 磁介质	126
15.1.2 分子电流和分子磁矩	127
15.1.3 顺磁质的磁化	127
15.1.4 抗磁质的磁化	128
§ 15.2 磁化强度 磁化电流	129
15.2.1 磁化强度	129
15.2.2 磁化电流 磁化电流密度	129
15.2.3 磁化电流与磁化强度的关系	130
基础习题	130
§ 15.3 有磁介质存在时的磁场的基本定理	131

15.3.1 有磁介质存在时的安培环路定理	131
15.3.2 磁化特性	132
15.3.3 有磁介质存在时的安培环路定理的应用	132
15.3.4 有磁介质存在时的高斯定理	135
基础习题	135
* § 15.4 铁磁质	135
15.4.1 磁化曲线和磁滞回线	136
15.4.2 铁磁质磁化的微观机制	137
15.4.3 铁磁质的分类及其主要特点	137
基础习题	138
思考题	138
综合习题	139
思考与探索	139
第 16 章 电磁感应	140
§ 16.1 电磁感应的基本定律	140
16.1.1 电磁感应现象	140
16.1.2 楞次定律	141
16.1.3 法拉第电磁感应定律	143
基础习题	144
§ 16.2 动生电动势 感生电动势 感生电场	145
16.2.1 产生动生电动势的原因	145
16.2.2 动生电动势的计算	146
16.2.3 产生感生电动势的原因 感生电场	147
16.2.4 感生电动势的计算	149
基础习题	151
§ 16.3 自感 互感	152
16.3.1 自感现象及自感系数的两种定义	152
16.3.2 自感系数的计算	153
16.3.3 互感现象及互感系数的两种定义	154
16.3.4 互感系数的计算	155
基础习题	157
§ 16.4 磁场的能量	158
16.4.1 自感储能	158
16.4.2 磁场的能量和磁能密度	159
16.4.3 磁场能量的计算	160

基础习题	160
思考题	160
综合习题	162
思考与探索	165
第 17 章 电磁场与电磁波	167
§ 17.1 位移电流 全电流安培环路定律	167
17.1.1 位移电流	167
17.1.2 全电流安培环路定理	169
基础习题	171
§ 17.2 麦克斯韦方程组	171
17.2.1 麦克斯韦方程组的积分形式	171
*17.2.2 麦克斯韦方程组的微分形式	173
基础习题	174
§ 17.3 平面电磁波	174
17.3.1 电磁波的产生与传播	174
17.3.2 电磁波的主要性质	177
17.3.3 电磁波的能量和动量	178
基础习题	179
* § 17.4 电磁振荡与电磁辐射	179
17.4.1 LC 振荡电路	180
17.4.2 无阻尼电磁振荡方程和电磁振荡的能量	180
17.4.3 阻尼振荡与受迫振荡	182
17.4.4 电磁波的辐射	182
基础习题	183
§ 17.5 电磁波谱	183
思考题	185
综合习题	185
思考与探索	186
*第 18 章 正弦交流电路	188
§ 18.1 正弦交流电的基本概念	188
18.1.1 交流电的产生	188
18.1.2 描写正弦交流电的特征量	189
基础习题	191
§ 18.2 正弦交流电的相量表示法	191
18.2.1 正弦量的振幅矢量图示法	191

18.2.2 正弦量的相量表示法	192
18.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	195
基础习题	196
§ 18.3 交流电路中的三种基本元件	196
18.3.1 纯电阻元件交流电路	197
18.3.2 纯电容元件的交流电路	199
18.3.3 纯电感元件的交流电路	201
基础习题	205
§ 18.4 串联电路与并联电路	205
18.4.1 RLC 串联电路	205
18.4.2 RLC 并联电路	210
基础习题	214
§ 18.5 谐振电路	215
18.5.1 串联谐振	215
18.5.2 并联谐振	219
基础习题	220
§ 18.6 交流电的功率 功率因数的提高	221
18.6.1 交流电的功率	221
18.6.2 功率因数的提高	224
基础习题	224
§ 18.7 变压器原理	225
18.7.1 变压器的基本结构	225
18.7.2 理想变压器的工作原理	226
18.7.3 变压器的用途	228
基础习题	230
§ 18.8 三相交流电	230
18.8.1 三相交流电概述	231
18.8.2 三相电路中负载的联接方式	233
18.8.3 三相交流电的功率	234
基础习题	236
思考题	236
综合习题	237
思考与探索	240
*第 19 章 现代科学与高新技术物理基础(2)	242

§ 19.1 等离子体及其应用简介	242
19.1.1 等离子体概念	242
19.1.2 等离子体性质及分类	243
19.1.3 等离子体的电中性	244
19.1.4 应用实例	245
§ 19.2 磁悬浮列车的工作原理	246
19.2.1 磁悬浮列车的两种形式	246
19.2.2 磁悬浮列车的主要系统	248
§ 19.3 电磁波与遥感	250
19.3.1 遥感的基本概念	250
19.3.2 电磁波谱与大气窗口	251
19.3.3 21 世纪遥感的六大发展趋势	253
习题参考答案	257

第11章 真空中的静电场

相对于观察者为静止的电荷在其周围空间所激发的电场称为**静电场**。本章研究真空中静电场的基本性质和规律。首先介绍静电场的基本规律：库仑定律和场强叠加原理；由基本规律导出反映静电场特征的两条基本定理——高斯定理和静电场环路定理。由电场对电荷有力的作用，引入描述静电场的基本物理量——电场强度；再由电荷在静电场中移动时电场力将对电荷做功且与路径无关引入电势的概念，并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，我们就说它带了电，或有了电荷。带电的物体称带电体。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，它的单位名称是库[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。



图 11.1 摩擦起电

用近代物理的观点来看，电荷是一些基本粒子(如电子、质子、 μ^+ 子、 π^+ 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)所组成的,原子又是由带正电的原子核和带负电的电子所组成.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,这样,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

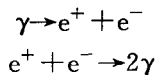
$$e = 1.6021892(46) \times 10^{-19} \text{ C}$$

1913年,密立根(R A Millikan)设计了著名的油滴实验,首先直接测量了电子的电量值.因电量 e 对宏观电磁测量仪来说是太小了,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,将只从平均效果上考虑,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.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



最后需指出,大量事实表明,带电体所带电量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,也可以说成是,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

在发现电现象后两千多年的长时间里,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,此带电体可看作一个带电的点,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和 q_1 与 q_2 的乘积成正比,和它们之间的距离 r 的平方成反比;作用力的方向沿着它们的连线,同号电荷相斥,异号电荷相吸引。

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}° 同方向,表明 q_1 受 q_2 的斥力;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 $F_{12} = -F_{21}$ (见图11.2),即静止点电荷之间的相互作用满足牛顿第三定律。

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

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

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

$$F_{12}=\frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r_{12}^2} r_{12}^\circ \quad (11.2)$$

常量 ϵ_0 叫真空介电常量(或真空电容率),在国际单位制中它的数值和单位是

$$\epsilon_0=\frac{1}{4\pi k}=8.85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$$

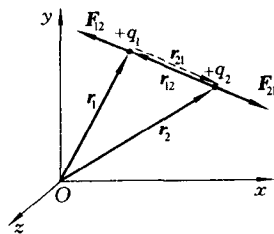


图 11.2 库仑定律

在库仑定律表示式中引入“ 4π ”因子的作法,称为单位制的有理化.这样做虽然使库仑定律的形式变复杂了,但却可使以后经常出现的电磁学规律表示式中因不再出现“ 4π ”因子而变得简单些.

实验证实,点电荷放在空气中时,其相互作用的静电力和在真空中的相差极小,故式(11.2)的库仑定律对空气中的点电荷亦成立.

虽然库仑定律是通过宏观带电体的实验研究总结出来的规律,但近代物理学进一步的研究表明:原子结构,分子结构,固体、液体的结构,以及化学作用的微观本质都和电磁力(其主要部分是库仑力)有关.且实验已证实两个点电荷的距离在 $10^{-16} \sim 10^7 \text{ m}$ 的范围内库仑定律都是正确的.

实验还表明,两个静止点电荷之间的相互作用力不会因第三个静止点电荷存在而改变;当空间中有两个以上的点电荷存在时,作用在每一个点电荷上的总静电力等于其他各点电荷单独存在时对该点电荷的静电力的矢量和,这被称为静电力的叠加原理.

设有 n 个点电荷 $q_1, q_2, \dots, q_n$, 则其中任一电荷 q_i 所受的总静电场力为

$$\mathbf{F}_i = \mathbf{F}_{i1} + \mathbf{F}_{i2} + \dots + \mathbf{F}_{in} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mathbf{F}_{ij} \quad (11.3)$$

式中: $\mathbf{F}_{ij}$ 为第 j 个点电荷 q_j 对 q_i 的静电力.

例 11.1 氢原子中电子和质子的距离为 $5.3 \times 10^{-11} \text{ m}$, 求此二粒子间的静电力和万有引力的大小, 并比较之.

解 按库仑定律计算, 氢原子中电子和质子间的静电力为

$$F_e = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{9.0 \times 10^9 \times (1.6 \times 10^{-19})^2}{(5.3 \times 10^{-11})^2} = 8.1 \times 10^{-8} \text{ (N)}$$

按万有引力定律计算电子和质子间的万有引力为

$$\begin{aligned} F_g &= G \frac{m_e m_p}{r^2} = \frac{6.7 \times 10^{-11} \times 9.1 \times 10^{-31} \times 1.7 \times 10^{-27}}{(5.3 \times 10^{-11})^2} \\ &= 3.7 \times 10^{-47} \text{ (N)} \end{aligned}$$

由此得静电力与万有引力的比值为

$$\frac{F_e}{F_g} = 2.19 \times 10^{39}$$

由计算结果可见, 在原子内, 电子和质子间的静电力远比万有引力大, 因此, 在处理电子和质子之间的相互作用时, 一般只考虑静电力, 万有引力可以略去不计.

基础习题

11.1 两个点电荷所带电量之和为 Q , 问它们各带多少电荷时相互作用力为最大?