

大学物理学 简明教程

University
Physics

游荣义 黄晓菁 徐恭勤 主编

大学物理学 简明教程

Daxue Wulixue Jianming Jiaocheng

游荣义 黄晓菁 徐恭勤 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容提要

本书是参照教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)(以下简称“基本要求”),在编者多年教学实践的基础上,并参考了国内外同类优秀教材编写而成的。本书内容共十三章,包括质点运动学、质点动力学、刚体的定轴转动、狭义相对论、气体动理论、热力学基础、静电场、恒定磁场、电磁感应、振动、波动、波动光学和量子物理基础。每章配有习题并附有答案。此外,部分章后还配有计算机模拟实例和实验题。全书涵盖了“基本要求”的核心内容,并适当选择了部分扩展内容。

本书理论系统合理,难度适宜,可作为普通高等学校少学时的“大学物理”课程教材或参考书,参考学时为70~90学时,也可供相关专业的师生选用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学简明教程 / 游荣义, 黄晓菁, 徐恭勤主编. --北京:高等教育出版社, 2014. 2

ISBN 978 - 7 - 04 - 039269 - 2

I. ①大… II. ①游… ②黄… ③徐… III. ①物理学—高等学校—教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 013096 号

策划编辑 程福平
插图绘制 尹 莉

责任编辑 程福平
责任校对 刘娟娟

封面设计 于 涛
责任印制 张泽业

版式设计 马敬茹

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 100120
印 刷 三河市华东印刷装订厂
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 25
字 数 450 千字
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.com.cn>
版 次 2014 年 2 月第 1 版
印 次 2014 年 2 月第 1 次印刷
定 价 38.80 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 39269-00

前 言

物理学研究方法最早以实验研究为主。实验物理学以实验和观测为基础,揭示新的物理现象,探求隐藏在物理现象后面的原因,为发现新的物理理论提供依据,或检验理论物理推论的正确性和应用范围。15—16世纪以后,理论研究方法逐渐形成。到19世纪,理论研究达到成熟阶段,并经历了两次重大的突破:相继诞生了量子力学和相对论。理论物理学是从一系列的基本物理原理出发,列出数学方程,再用传统的数学分析方法求出解析解,通过这些解析解所得到的结论和实验观测结果进行对比分析,从而解释已知的实验现象并预测未来的发展。然而,在物理学中,大量的问题是无法精确求解的。有些问题是因为计算过于复杂,有些问题则根本就没有解析解。随着计算机技术和应用的发展,诞生了研究物理学的新方法,即计算机模拟方法以及相应的新学科——计算物理学。计算物理学研究如何以有高速运算能力的计算机为工具,去解决物理学研究中复杂的计算问题。计算物理学在物理学发展进程中已经扮演着越来越重要又无可替代的角色,与理论物理学和实验物理学一起被并称为现代物理学的三大支柱。

大学物理学是一门面向非物理专业本科生的基础课程,目的是使学生熟悉自然界物质的结构、性质,物质相互作用及其运动的基本规律,为后继专业基础与专业课程的学习奠定必要的物理基础。通过本课程的学习,使学生逐步掌握物理学研究问题的方法;在获取知识的同时,培养学生建立物理模型、定性分析、定量计算等能力;并使学生掌握科学的研究方法,形成良好的学习习惯,树立辩证唯物主义的世界观,提高科学素养。

本书是在总结我们多年教学改革实践,汲取当前国内外优秀教材精华的基础上编写而成的。本书有以下主要特点:

1. 根据国内许多高校非物理专业少学时“大学物理”课程的教学需求,在保证基本要求的前提下,力求突出主干内容,删除非重要枝节,减少篇幅。在B类内容的遴选上,尽可能考虑工科专业对本课程的需求。如范德瓦耳斯方程、李萨如图形、电磁振荡、声波、物质的磁性等。本书避免繁琐的叙述和复杂的数学推导,力求对物理概念、规律和原理阐述准确,语言通俗简洁,便于读者阅读和理解。

2. 本书注重学生的认知规律,在介绍各章节的内容之前,都安排了简要的

背景介绍,使物理概念的引入不至于突然。对物理模型的建立,物理规律的确立等重要内容,则作了较详细的阐述。在重点和难点的处理上,注重引导物理图景的构建,从特殊到一般,从形象到抽象,由浅入深,循序渐进。

3. 本书最重要的特点是将计算机模拟融入教材中,大部分章都配有计算机模拟实例和实验题。考虑到本科低年级学生的编程能力还有限,所有的模拟实例和实验题都选自教材中易于实现的简单问题。通过这些简单物理问题的模拟训练,有助于激发学生对本课程学习的积极性,并为今后进一步从事实际问题的计算机模拟研究奠定基础。各章所配的计算机模拟实例程序都已在 Matlab7.0 软件上运行通过。读者可自行验证,并选择完成各模拟实验题或自己设计相关的实验题。

说明:

(1) 书中,凡是打“*”号的章节为选讲内容。

(2) 计算机模拟作为选讲内容,建议安排 2 学时作介绍并演示部分实例程序。

本书由徐恭勤副教授编写第 1—6 章;黄晓菁教授编写第 7 和第 10—12 章;游荣义教授编写第 8—9 和第 13 章,并编写全书计算机模拟相关内容。

教材编写是一个不断探索的过程,限于编者的能力和水平,书中错误与不妥之处在所难免。恳请读者多提宝贵意见,以便在今后的再版中加以更正。

编 者

2013 年 10 月于集美大学

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进行严厉打击。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 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

计算机模拟简介	1
第一章 质点运动学	4
1.1 质点运动的描述	4
1.1.1 参考系	4
1.1.2 位置矢量	5
1.1.3 位移	5
1.1.4 速度	6
1.1.5 加速度	8
1.1.6 两类基本问题	9
1.2 圆周运动	12
1.2.1 角量描述	12
1.2.2 自然坐标描述	13
1.3 相对运动	15
计算机模拟(一)	16
习题	17
第二章 质点动力学	20
2.1 牛顿运动定律	20
2.1.1 牛顿运动定律	20
2.1.2 牛顿运动定律的应用	22
2.1.3 非惯性系 惯性力	25
2.2 动能定理 机械能守恒定律	26
2.2.1 功与功率	26
2.2.2 保守力与非保守力 势能	29
2.2.3 动能定理	30
2.2.4 机械能守恒定律 能量守恒定律	33
2.3 动量定理 动量守恒定律	35
2.3.1 质点的动量定理	35

2.3.2 质点系的动量定理	39
2.3.3 动量守恒定律	40
计算机模拟(二)	43
习题	44
第三章 刚体的定轴转动	48
3.1 刚体运动的描述	48
3.1.1 刚体的运动	48
3.1.2 刚体定轴转动的角量	50
3.2 转动定律	51
3.2.1 力矩	52
3.2.2 转动定律	53
3.3 转动动能定理	57
3.3.1 力矩的功	57
3.3.2 转动动能	58
3.3.3 转动动能定理	58
3.4 角动量定理 角动量守恒定律	60
3.4.1 角动量定理	61
3.4.2 角动量守恒定律	63
计算机模拟(三)	66
习题	67
第四章 狭义相对论	70
4.1 伽利略变换和经典力学时空观	70
4.2 狭义相对论的基本原理 洛伦兹变换	72
4.2.1 狭义相对论的基本原理	73
4.2.2 洛伦兹变换	73
4.3 狭义相对论的时空观	75
4.3.1 “同时”的相对性	75
4.3.2 长度的收缩	76
4.3.3 时间的延缓	77
4.4 狭义相对论动力学	78
4.4.1 质量和速度的关系	79
4.4.2 狭义相对论动力学的基本方程	79
4.4.3 质量和能量的关系	80

4.4.4 动量和能量的关系	82
习题	83
第五章 气体动理论	85
5.1 气体状态的描述	85
5.1.1 状态参量 平衡态	85
5.1.2 理想气体的微观模型 物态方程	86
5.1.3 气体分子热运动的统计规律性	86
5.2 理想气体的压强和温度	87
5.2.1 理想气体的压强	87
5.2.2 理想气体的温度	89
5.3 能量均分定理 理想气体的内能	90
5.3.1 自由度	91
5.3.2 能量均分定理	92
5.3.3 理想气体的内能	92
5.4 麦克斯韦速率分布律	93
5.4.1 速率分布函数	93
5.4.2 麦克斯韦速率分布律	94
5.4.3 三种统计速率	95
5.5 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	96
5.5.1 平均碰撞频率	96
5.5.2 平均自由程	97
5.6 范德瓦耳斯方程	98
习题	99
第六章 热力学基础	102
6.1 热力学的几个基本概念	102
6.1.1 准静态过程	102
6.1.2 内能	102
6.1.3 功	103
6.1.4 热量	103
6.2 热力学第一定律	104
6.3 理想气体的典型过程	105
6.3.1 等体过程	105
6.3.2 等压过程	106

6.3.3	等温过程	107
6.3.4	绝热过程	108
6.4	循环过程 卡诺循环	111
6.4.1	循环过程	111
6.4.2	热机效率和制冷系数	111
6.4.3	卡诺循环	114
6.5	热力学第二定律 卡诺定理	115
6.5.1	可逆过程与不可逆过程	116
6.5.2	热力学第二定律的两种表述	116
6.5.3	卡诺定理	117
*6.6	热力学第二定律的统计意义 熵	118
6.6.1	热力学第二定律的统计意义	118
6.6.2	熵	119
	习题	120
第七章	静电场	123
7.1	电荷 库仑定律	123
7.1.1	电荷的量子化和守恒定律	123
7.1.2	库仑定律	124
7.2	电场 电场强度	126
7.2.1	电场强度	126
7.2.2	场强叠加原理	128
7.2.3	场强的计算	129
7.3	电场强度通量 高斯定理	133
7.3.1	电场强度通量	134
7.3.2	高斯定理	135
7.3.3	高斯定理的应用	137
7.4	静电场力的功 静电场的环路定理	140
7.4.1	静电场力的功	140
7.4.2	静电场的环路定理	141
7.5	电势	142
7.5.1	电势 电势差	143
7.5.2	电势的叠加原理	144
7.5.3	电势的计算	145
*7.6	电场强度与电势的微分关系	148

* 7.7	密立根电子电荷量测量实验	149
7.8	静电场中的导体与电介质	151
7.8.1	静电场中的导体	151
7.8.2	静电场中的电介质	155
7.9	电容 静电场的能量	159
7.9.1	电容器及其电容	159
7.9.2	静电场的能量	162
	计算机模拟(四)	164
	习题	165
第八章	恒定磁场	171
8.1	恒定电流 电动势	171
8.1.1	恒定电流 电流密度	171
8.1.2	电源 电动势	172
8.2	磁场 磁感应强度	174
8.2.1	磁场 磁感应强度	175
8.2.2	毕奥-萨伐尔定律	176
8.2.3	毕奥-萨伐尔定律的应用	177
8.3	磁通量 磁场中的高斯定理	181
8.3.1	磁通量	181
8.3.2	磁场中的高斯定理	182
8.4	安培环路定理	183
8.4.1	安培环路定理	183
8.4.2	安培环路定理的应用	184
8.5	磁场对运动电荷的作用	186
8.5.1	洛伦兹力	186
8.5.2	带电粒子在磁场中的运动	187
* 8.5.3	霍尔效应	188
8.6	磁场对载流导线的作用	189
8.6.1	安培定律	190
8.6.2	磁场对载流线圈的作用	192
8.7	磁介质	193
8.7.1	磁介质的磁化	194
8.7.2	磁介质中的安培环路定理	196
* 8.7.3	铁磁质	198

计算机模拟(五)	200
习题	202
第九章 电磁感应	206
9.1 电磁感应定律	206
9.1.1 法拉第电磁感应定律	206
9.1.2 楞次定律	207
9.2 动生电动势和感生电动势	209
9.2.1 动生电动势	209
9.2.2 感生电动势	211
9.2.3 涡电流	212
9.3 自感和互感	213
9.3.1 自感	213
9.3.2 互感	214
9.4 磁场能量	217
9.5 位移电流 麦克斯韦方程组	218
9.5.1 位移电流	218
9.5.2 全电流定律	220
9.5.3 麦克斯韦方程组	220
计算机模拟(六)	221
习题	222
第十章 振动	226
10.1 简谐振动的描述	226
10.1.1 简谐振动的特征	226
10.1.2 描述简谐振动的物理量	228
10.2 旋转矢量法	231
10.3 简谐振动的能量	234
10.4 简谐振动的合成	235
10.4.1 两个同方向同频率简谐振动的合成	235
10.4.2 两个同方向不同频率简谐振动的合成 拍	237
10.4.3 两个相互垂直的简谐振动的合成	238
10.5 阻尼振动 受迫振动	241
10.5.1 阻尼振动	241
10.5.2 受迫振动	242

10.6 电磁振荡	244
10.6.1 LC 振荡电路	244
10.6.2 无阻尼电磁振荡	245
计算机模拟(七)	247
习题	248
第十一章 波动	253
11.1 机械波的产生和传播	253
11.1.1 机械波的产生	253
11.1.2 机械波的描述	254
11.2 平面简谐波的波函数	255
11.2.1 平面简谐波的波函数	256
11.2.2 波函数的物理意义	257
11.3 波的能量 能流密度	260
11.3.1 波的能量	260
11.3.2 能流和能流密度	261
11.4 波的干涉和衍射	262
11.4.1 波的干涉	263
11.4.2 波的衍射	266
11.5 驻波	267
11.5.1 驻波的产生	267
11.5.2 驻波方程	269
11.5.3 相位跃变	271
11.5.4 振动的简正模式	271
11.6 多普勒效应	272
11.6.1 波源静止 观察者相对介质运动	272
11.6.2 观察者静止 波源相对介质运动	273
11.6.3 波源和观察者同时相对介质运动	274
11.7 声波 超声波和次声波	274
11.7.1 声波	274
11.7.2 超声波和次声波	275
11.8 电磁波	276
11.8.1 电磁波的产生与传播特性	276
11.8.2 电磁波的能量	279
计算机模拟(八)	280

习题	281
第十二章 波动光学	285
12.1 光的相干性	285
12.2 杨氏双缝干涉 光程	287
12.2.1 杨氏双缝干涉	287
12.2.2 光程	290
12.3 等倾干涉	291
12.3.1 等倾干涉	291
12.3.2 增透膜和增反膜	293
12.4 等厚干涉	295
12.4.1 劈尖干涉	295
12.4.2 牛顿环	297
12.5 迈克耳孙干涉仪	299
12.6 光的衍射	300
12.6.1 光的衍射现象	300
12.6.2 惠更斯-菲涅耳原理	302
12.6.3 菲涅耳衍射和夫琅禾费衍射	302
12.7 单缝衍射	303
12.8 圆孔衍射 光学仪器的分辨本领	307
12.8.1 圆孔衍射	307
12.8.2 光学仪器的分辨本领	308
12.9 光栅衍射	310
12.9.1 光栅	310
12.9.2 光栅衍射	310
12.10 X射线的衍射	314
12.11 光的偏振 马吕斯定律	316
12.11.1 自然光 偏振光	317
12.11.2 偏振片 起偏与检偏	318
12.11.3 马吕斯定律	319
12.12 反射光和折射光的偏振	320
计算机模拟(九)	322
习题	324
第十三章 量子物理基础	328
13.1 黑体辐射 普朗克量子假设	328

13.1.1	黑体辐射定律	328
13.1.2	普朗克量子假设	330
13.2	光电效应 光的波粒二象性	332
13.2.1	光电效应实验规律	333
13.2.2	爱因斯坦方程	335
13.2.3	光的波粒二象性	335
* 13.2.4	光电效应的应用	337
13.3	康普顿效应	338
13.4	玻尔的氢原子理论	341
13.4.1	氢原子光谱的规律	342
13.4.2	玻尔的氢原子理论	343
13.5	实物粒子的波粒二象性	347
13.6	不确定关系	350
13.7	波函数 薛定谔方程	351
13.7.1	波函数	352
13.7.2	薛定谔方程	353
13.7.3	一维定态问题	354
* 13.8	氢原子的量子力学描述	358
13.8.1	氢原子的薛定谔方程	358
13.8.2	三个量子数	359
* 13.9	电子自旋 原子的壳层结构	360
13.9.1	电子自旋	361
13.9.2	原子的壳层结构	362
	习题	365
	附录一 常用基本物理常量	367
	附录二 MATLAB 简介	368
	习题参考答案	370

计算机模拟简介

传统观念认为,研究物理问题既可以采用实验研究方法,也可以采用理论研究方法,或二者的结合.通常在物理问题研究中,首先从物理原理或已知的规律出发得到描述物理现象和过程的数学表达式(即方程),再求出方程的解析解,并通过这些解析解所得到的结论和实验观测结果进行比对分析,从而解释各种物理现象和物理过程,或作为进一步实验的参考数据.实际上,大量的物理问题(如三体问题、扩散问题等)往往无法获得精确解析解,或者因系统太庞大、太复杂,以至于无法靠手工计算来完成,只能借助于计算机用数值计算的方法进行计算或模拟,如原子弹爆炸和火箭发射等的模拟实验.于是诞生了研究物理学的新方法,即计算机模拟方法以及相应的新学科——计算物理学.它起源于1942年6月美国的曼哈顿计划(即利用核裂变反应来研制原子弹).

由于数值计算方法的深入发展和过去几十年中高速计算机的出现和普及,并随着物理学基础理论的进一步突破,物理学家们逐步可以应用一些更严格和更全面的复杂模型来定量研究实际的复杂体系的物理性质.基于物理学基本原理的数值计算和模拟已经成为将理论物理和实验物理紧密联系在一起的一座重要桥梁:它不仅能够弥补简单的解析理论模型难以完全描述复杂物理现象的不足,而且可以克服实验物理中遇到的许多困难.例如直接模拟实验上不能实现或技术条件要求很高、实验代价昂贵的物理系统等.计算机模拟技术已经渗透到物理学的各个领域,包括凝聚态物理、核物理、粒子物理、天体物理等,导致了计算物理学这一新学科的突破性发展和成熟.从20世纪40年代开始,计算物理学家们已经发展了大量新数值方法(如 MonteCarlo 方法、分子动力学方法、快速 Fourier 变换等).由此发现了很多未曾预料到的新现象,并给理论和实验物理学提出了许多新问题.总之,计算物理学已成为物理学家揭示多层次复杂体系的物理规律的重要手段,同时也广泛应用于处理实验结果和提出物理解释.

计算物理学在物理学发展进程中已经扮演着越来越重要又无可替代的角色,与理论物理学和实验物理学一起被并称为现代物理学的三大支柱.

目前,国内外最流行的用于数值计算和计算机模拟的软件是由美国 Math-Works 公司推出的一套高性能的软件 MATLAB,目前最高版本是 MATLAB8.0.本书附录二中对 MATLAB 作了简要介绍.读者可参考 MATLAB 的相关书籍,了解该软件的使用.

物理模型的建立及其数学处理在大学物理学的教学中占有重要地位,而 MATLAB 在这方面具有独特的优势.因此,利用 MATLAB 这一先进的科学计算语言来辅助大学物理学的教学工作很有必要.考虑到 MATLAB 学习起点低、功能强、易学易用以及兼有数值运算和符号运算功能的优点,让学习大学物理学的工科专业学生在低年级阶段就初步掌握数值计算和计算机模拟方法,有助于激发学生对本课程的学习积极性,并为今后进一步从事实际问题的计算机模拟研究奠定基础.

计算机模拟的概念:是利用所建立的物理的、数学的模型,来类比、模仿现实系统及其演变过程,以寻求过程规律或物理现象再现的一种方法.

计算机模拟的思想:是建立一个实验模型,该模型包含所研究系统的主要特点.通过对该实验模型的运行,获得所要研究系统的相关信息.

计算机模拟的特点:模拟可以反复进行,系统参量和结构容易改变,成本低,速度快,效率高.

计算机模拟的基本步骤:

- (1) 确定需要模拟的具体问题(物理过程、物理现象等).
- (2) 建立物理模型并给出数学表达式或方程.对随机过程或不确定过程的模拟,则给出初始条件或假设.
- (3) 编写程序,并运行以实现模拟,用图形、曲线或数据给出模拟结果.
- (4) 修改模拟参量,反复进行,直至获得预期的结果,或对结果进行分析.

计算机模拟举例:

(1) 简谐振动方程 $x = A \sin(\omega t + \varphi)$. 根据这个方程利用 MATLAB 的绘图语句画出质点简谐振动的位移曲线. MATLAB 模拟程序如下:

```
A = 1; w = 1;           % 为变量赋值
t = 0:0.05 * pi:4 * pi; % 为变量赋值
phi = pi/4;           % 为变量赋值
x = A * sin(w * t + phi); % 建立表达式并运算
plot(t, x)           % 以 t 为横坐标, x 为纵坐标绘图
```

(2) 二个点电荷组成的点电荷系的电势分布.任意点的电势为

$$V = kq \left[\frac{1}{\sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2}} - \frac{1}{\sqrt{(x+a)^2 + (y-b)^2}} \right]$$

MATLAB 模拟程序如下:

```
clear;
k = 1; q = 1;
xmax = 10; ymax = 10; ngrid = 30; % 坐标范围, 网格数
xplot = linspace(-xmax, xmax, ngrid); % 绘图区域、网格线设定
[x, y] = meshgrid(xplot); % 生成二维网格
```