

大学物理

陈颖聪 主编



北京理工大学出版社

高等教育公共基础课精品系列教材

大学物理

陈颖聪 主编

内 容 简 介

本书紧扣理工科类大学物理课程教学基本要求,在多年教学和教学研究的基础上编写而成。全书以物理学基本概念、定律、方法为核心,在保持物理知识体系完整的同时,注重大学物理课程对培养学生科学文化素质的作用。全书系统完整,阐述清晰,突出主线,难度适中,具有较强的时代性和较宽的适用面。

全书按 90~110 学时设计,共 5 篇 14 章,分上、下两册。上册包括力学、热学、振动与波、波动光学;下册包括电磁学、近代物理基础。本书可作为高等院校理工科各专业大学物理课程的教材,也可供相关人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

大学物理 / 陈颖聪主编. — 北京: 北京理工大学出版社, 2016.1

ISBN 978-7-5682-1822-1

I. ①大… II. ①陈… 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(2016)第 010969 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京市兆成印刷有限责任公司

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 24

字 数 / 596 千字

版 次 / 2016 年 1 月第 1 版 2016 年 2 月第 2 次印刷

定 价 / 48.00 元

责任编辑 / 高 芳

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 孟祥敬

责任印制 / 马振武

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

目 录

前 言

上 册

第 0 章 物理学导论	2
0.1 物理学的地位与意义	2
0.1.1 什么是物理学	2
0.1.2 物理学的地位	2
0.1.3 物理学与科学技术	2
0.2 物理学方法	3
0.2.1 物理学是一门实验科学	3
0.2.2 物理思想、物理模型	3
0.2.3 物理学是一门定量科学	4
0.3 单位制和量纲	4
0.4 矢量简介	5
0.4.1 矢量和标量	5
0.4.2 矢量的加减法	6
0.4.3 矢量的正交分解与合成	7
0.4.4 矢量的乘法	8
第一篇 经典力学	11
第一章 质点运动学	12
1.1 质点运动的描述	12
1.1.1 描述质点在空间中的位置——位置矢量	13
1.1.2 描述质点位置变化的大小和方向——位移	14
1.1.3 描述质点位置变动的快慢和方向——速度	14
1.1.4 描写质点运动速度变化的快慢和方向——加速度	15
1.2 平面曲线运动	18
1.2.1 抛体运动	18
1.2.2 圆周运动	19
1.2.3 一般曲线运动	21
1.2.4 圆周运动的角量描述	22
1.3 相对运动	23
思考题	26
习题	26

第二章 质点动力学	29
2.1 牛顿运动定律及其应用	29
2.1.1 牛顿运动定律	29
2.1.2 常见的几种力	30
2.1.2 牛顿定律应用举例	32
2.2 非惯性系中的力学问题	35
2.2.1 惯性参考系	35
2.2.2 非惯性系中的力学问题	36
2.3 功与能	37
2.3.1 功	37
2.3.2 动能 质点的动能定理	39
2.3.3 保守力与非保守力 势能	40
2.4 机械能守恒定律	41
2.4.1 质点系的动能定理	41
2.4.2 功能原理与机械能守恒定律	42
2.5 动量定理与动量守恒定律	45
2.5.1 冲量 质点的动量定理	45
2.5.2 质点系的动量定理	46
2.5.3 动量守恒定律	47
2.6 碰撞	49
2.7 质心 质心运动定律	50
2.7.1 质心	50
2.7.2 质心运动定理	52
思考题	53
习题	53
第三章 刚体力学	55
3.1 刚体的运动	55
3.2 转动定律	57
3.2.1 力矩	57
3.2.2 转动定律	58
3.2.3 转动惯量	60
3.2.4 转动定律应用举例	62
3.3 转动中的功与能	64
3.3.1 力矩做功	64
3.3.2 刚体的转动动能和重力势能	64
3.3.3 定轴转动的动能定理	65
3.4 角动量 角动量守恒定律	66
3.4.1 质点的角动量和角动量守恒定律	66
3.4.2 刚体的角动量和角动量守恒定律	68

思考题	71
习题	72
物理与人文之——伽利略的新物理学	75
第二篇 热学	79
第四章 气体动理论	80
4.1 理想气体及其状态描述	80
4.1.1 平衡态 状态参量	80
4.1.2 理想气体状态方程	81
4.2 理想气体的压强和温度	82
4.2.1 分子热运动的统计规律	82
4.2.2 理想气体的微观模型	82
4.2.3 理想气体压强公式的推导	83
4.2.4 理想气体的温度公式	85
4.3 能量均分定理 理想气体的内能	86
4.3.1 分子的自由度	86
4.3.2 能量均分定理	87
4.3.3 理想气体的内能	87
4.4 麦克斯韦速率分布律	88
4.4.1 速率分布的描述	89
4.4.2 速率分布函数	90
4.4.3 麦克斯韦速率分布律	90
4.4.4 三种统计速率	91
4.5 气体分子的平均碰撞频率和平均自由程	92
4.6 范德瓦耳斯方程	94
思考题	95
习题	96
第五章 热力学基础	98
5.1 热力学第一定律	98
5.1.1 准静态过程	98
5.1.2 功、热量、内能	99
5.1.3 热力学第一定律	99
5.2 理想气体的等值过程	101
5.2.1 等体过程	101
5.2.2 等压过程	102
5.2.3 等温过程	104
5.3 绝热过程	105
5.3.1 绝热过程方程	106
5.3.2 绝热过程的功	107
5.3.3 绝热线与等温线	107

5.4 循环过程	108
5.4.1 循环过程	108
5.4.2 循环效率	109
5.4.3 卡诺循环	111
5.5 热力学第二定律	113
5.5.1 可逆过程与不可逆过程	114
5.5.2 热力学第二定律	115
5.5.3 卡诺定理	116
5.6 热力学第二定律的统计意义	116
5.6.1 热力学第二定律的统计意义	116
5.6.2 玻尔兹曼熵	118
思考题	119
习题	119
物理与人文之——自然定律	123
第三篇 波动与光学	127
第六章 机械振动	128
6.1 简谐振动	128
6.1.1 简谐振动的基本特征	128
6.1.2 描述简谐振动的物理量	129
6.1.3 单摆和复摆	132
6.1.4 简谐振动的能量	133
6.2 简谐振动的旋转矢量法	135
6.3 简谐振动的合成	137
6.3.1 两个同方向同频率简谐振动的合成	137
6.3.2 两个同方向不同频率简谐振动的合成	138
6.3.3 两个相互垂直的同频率简谐振动的合成	140
6.4 阻尼振动 受迫振动 共振	141
6.4.1 阻尼振动	141
6.4.2 受迫振动 共振	142
思考题	143
习题	143
第七章 机械波	146
7.1 机械波的产生和传播	146
7.1.1 机械波的产生	146
7.1.2 横波和纵波	146
7.1.3 波动的描述	147
7.2 平面简谐波	149
7.2.1 简谐波的波动方程	149
7.2.2 波动方程的物理意义	150

7.3 波的能量	152
7.3.1 波动的能量	152
7.3.2 能流 能流密度	154
7.4 惠更斯原理 波的衍射	154
7.4.1 惠更斯原理	154
7.4.2 波的衍射	155
7.5 波的叠加原理 波的干涉	156
7.5.1 波的叠加原理	156
7.5.2 波的干涉	156
7.5.3 驻波	158
7.6 多普勒效应	161
7.6.1 波源不动, 接收器以速度 v_R 相对介质运动	161
7.6.2 接收器不动, 波源以速度 v_S 相对介质运动	162
7.6.3 波源与接收器同时相对介质运动	163
思考题	164
习题	164
第八章 波动光学	168
8.1 光的相干性	168
8.1.1 光源的发光机理	168
8.1.2 相干光	168
8.1.3 获得相干光的方法	170
8.2 光程 光程差	170
8.3 杨氏双缝干涉	172
8.3.1 杨氏双缝干涉	172
8.3.2 洛埃德镜实验	174
8.4 薄膜干涉	175
8.4.1 厚度均匀薄膜的干涉	175
8.4.2 劈尖干涉	178
8.4.3 牛顿环	180
8.5 迈克尔逊干涉仪	181
8.6 光的衍射 惠更斯-菲涅耳原理	182
8.6.1 光的衍射现象	182
8.6.2 惠更斯-菲涅耳原理	183
8.7 单缝夫琅禾费衍射	183
8.7.1 单缝夫琅禾费衍射	183
8.7.2 圆孔夫琅禾费衍射	187
8.8 光栅衍射	188
8.8.1 光栅衍射	188
8.8.2 缺级现象	189

8.8.3 X 射线衍射	191
8.9 光的偏振	192
8.9.1 光的偏振性	192
8.9.2 马吕斯定理	193
8.9.3 反射光和折射光的偏振	194
8.10 光的双折射	195
8.10.1 晶体的双折射现象	195
8.10.2 双折射现象的解释	196
思考题	197
习题	197
物理与人文之——波粒战争	202

下 册

第四篇 电磁学	207
第九章 真空中的静电场	208
9.1 库仑定律	208
9.1.1 电荷及其基本属性	208
9.1.2 库仑定律	209
9.2 电场 电场强度	210
9.2.1 电场	210
9.2.2 电场强度	210
9.2.3 电场强度的计算	211
9.3 静电场的高斯定理	216
9.3.1 电场线	216
9.3.2 电通量	217
9.3.3 高斯定理	218
9.3.4 高斯定理的应用	220
9.4 静电场的环路定理	223
9.4.1 电场力做功的特征	223
9.4.2 静电场的环路定理	223
9.5 电势	224
9.5.1 电势 电势差	224
9.5.2 电势的计算	225
9.6 电场强度与电势的微分关系	228
9.6.1 等势面	228
9.6.2 电势与电场强度的微分关系	229
思考题	230

习题	230
第十章 静电场中的导体和电介质	234
10.1 静电场中的导体	234
10.1.1 导体的静电平衡条件	234
10.1.2 静电平衡时导体上电荷的分布	235
10.1.3 空腔导体与静电屏蔽	236
10.1.4 有导体存在时电场的分析与计算	238
10.2 静电场中的电介质	238
10.2.1 电介质的极化	238
10.2.2 电位移矢量 有电介质时的高斯定理	240
10.3 电容 电容器	242
10.3.1 孤立导体的电容	242
10.3.2 电容器及其电容	242
10.3.3 充满电介质的电容器	244
10.4 电场的能量	246
10.4.1 电容器的能量	246
10.4.2 电场的能量密度	246
思考题	247
习题	248
第十一章 恒定磁场	251
11.1 恒定电流的基本概念	251
11.1.1 电流和电流密度	251
11.1.2 欧姆定律的微分形式	252
11.2 磁场 磁感应强度	253
11.2.1 基本磁现象	253
11.2.2 磁感应强度	254
11.3 毕奥-萨伐尔定律	255
11.3.1 毕奥-萨伐尔定律	255
11.3.2 毕奥-萨伐尔定律应用举例	256
11.3.3 运动电荷的磁场	259
11.4 磁场的高斯定理	259
11.4.1 磁感应线 磁通量	259
11.4.2 磁场的高斯定理	261
11.5 磁场的安培环路定理	261
11.5.1 安培环路定理	262
11.5.2 安培环路定理的应用	263
11.6 磁场对运动电荷的作用	265
11.6.1 洛伦兹力	265
11.6.2 带电粒子在均匀磁场中的运动	266

11.6.3 霍尔效应	267
11.7 磁场对载流导线的作用	269
11.7.1 安培力	269
11.7.2 磁场对载流线圈的作用	271
11.8 物质的磁性	273
11.8.1 磁介质及其磁化机制	273
11.8.2 磁化强度与磁化电流	275
11.8.3 有磁介质时的安培环路定理	275
11.9 铁磁质	278
11.9.1 磁畴	278
11.9.2 铁磁质的磁化规律	279
11.9.3 铁磁质分类	280
思考题	281
习题	281
第十二章 电磁感应 电磁波	286
12.1 电源 电动势	286
12.2 电磁感应定律	287
12.2.1 电磁感应现象	287
12.2.2 法拉第电磁感应定律	288
12.3 动生电动势	290
12.4 感生电动势	293
12.4.1 感生电场	293
12.4.2 涡电流	295
12.5 自感和互感	296
12.5.1 自感	297
12.5.2 互感	299
12.6 磁场的能量	301
12.7 位移电流 麦克斯韦方程	303
12.7.1 位移电流 全电流安培环路定律	303
12.7.2 麦克斯韦方程组	306
12.8 电磁振荡和电磁波	308
12.8.1 电磁波的辐射	308
12.8.2 电磁波的性质	309
12.8.3 电磁波的能量	310
12.8.4 电磁波谱	310
思考题	312
习题	312
物理与人文之——电磁理论与对称性	316
第五篇 近代物理基础	319

第十三章 狭义相对论	320
13.1 经典力学时空观	320
13.2 狭义相对论基本原理 洛伦兹变换式	321
13.2.1 狭义相对论基本原理	321
13.2.2 洛伦兹变换	322
13.3 狭义相对论时空观	325
13.3.1 同时的相对性	325
13.3.2 长度的收缩	326
13.3.3 时间的延缓	327
13.4 相对论速度变换式	328
13.5 狭义相对论动力学	330
13.5.1 相对论质量	330
13.5.2 相对论动力学的基本方程	331
13.5.3 质量与能量的关系	331
附: 广义相对论建立简介	333
思考题	335
习题	335
第十四章 量子物理基础	337
14.1 热辐射 普朗克的量子假设	337
14.1.1 热辐射	337
14.1.2 黑体辐射实验定律	338
14.1.3 普朗克量子假设	339
14.2 光电效应 爱因斯坦光子理论	340
14.2.1 光电效应的实验规律及其与经典理论的矛盾	340
14.2.2 爱因斯坦的光子理论	341
14.2.3 光的波粒二象性	342
14.3 康普顿效应	343
14.3.1 康普顿效应	343
14.3.2 康普顿效应的量子解释	344
14.4 玻尔的氢原子理论	347
14.4.1 氢原子光谱的实验规律	347
14.4.2 玻尔氢原子理论	348
14.5 实物粒子的波粒二象性	351
14.5.1 德布罗意假设	351
14.5.2 物质波实验验证	352
14.6 不确定关系	355
14.7 波函数 薛定谔方程	357
14.7.1 波函数	357
14.7.2 波函数的统计诠释	358

14.7.3 薛定谔方程	359
14.8 一维定态问题	360
14.8.1 一维无限深势阱	360
14.8.2 一维方势垒 隧道效应	362
思考题	364
习题	365
物理与人文之——波粒战争终结了吗?	367

上册

第 0 章 物理学导论

本章将对物理学的形成、物质与运动、物理量和物理方法作概略叙述，并介绍单位制和量纲、矢量运算的基本知识，以期对物理学的概貌有一了解和整体认识，同时建立大学物理学习的一些必需知识。

0.1 物理学的地位与意义

0.1.1 什么是物理学

物理学是研究物质结构和相互作用以及物质运动规律的科学，它是关于自然界最基本形态的科学。物理学的发展过程，就是人类对整个客观物质世界的认识过程。

一切客观存在都是物质和物质的运动，物理学所研究的物质可分为“实物”和“场”两类，物体是由原子、分子组成的，原子是由原子核和电子构成的，而原子核又是由更小的粒子—质子和中子构成的，它们都属于实物。实物之间的相互作用是通过场来实现的，实物之间存在多种相互作用场，场作为物质的存在形式具有质量、动量和能量。此外，物理学家还推测宇宙中存在暗物质或非重子类的物质。运动是物质的固有属性，物质的运动形式又是多种多样的，物理学研究物质的组成，物质之间的相互作用，以及由此确定的最基本最普遍的运动形式。因而物理学规律具有极大的普遍性，是当代科学技术的重大支柱。正如第 23 届国际纯粹与应用物理联合会（IUPAP）代表大会决议中指出的那样，物理学发展着未来技术进步所需的基本知识，它是一项激动人心的智力探险活动，鼓励人们努力扩展和深化对大自然的理解。

0.1.2 物理学的地位

物理学是一门基础学科，物理学涉及的范围极为广泛，从基本粒子到整个宇宙、从低速到高速、从简单系统到复杂的巨系统、从有序到无序、从状态到过程的广博范围无所不及。物理学建立的概念、研究问题的方法及研究过程中发展成熟的物理思想极大地升华了人类对自然界的认识，在其他科学研究和工程技术领域也具有典型性和代表性。显然物理学已成为一些自然科学的基础，是总论性的基础科学，这种基础性主要体现在

- (1) 其他自然科学，如天文学、化学、生物学等，都包含着物理过程和物理现象；
- (2) 物理学创造的科学语言和基本概念已成为其他自然科学的最基本构件；
- (3) 任何自然科学的理论都不能和物理学的定律相抵触。

物理学的进展还极大地影响了社会科学的发展，改变着整个人类的哲学思想和行为方式。

0.1.3 物理学与科学技术

物理学较为成熟的重大理论有五种，自然界发生的形形色色的物理现象都可以归结

到这五大理论所涉及的物理领域。(1) 经典力学: 研究宏观物体的低速运动; (2) 热力学与经典统计物理学: 研究热、功、温度和大量微观粒子的统计规律; (3) 电磁学: 包括电学、磁学和电磁场理论; (4) 狭义相对论: 研究物质高速运动的理论; (5) 量子力学: 描述微观粒子的运动规律。这些重大理论对科学技术的发展和进步起到了极大的促进作用。

经典力学和热力学理论的建立, 使人类社会实现了工业机械化; 经典电磁理论的建立, 使人类社会实现了工业电气化; 而相对论和量子力学的建立, 更使人类社会进入了核能时代和工业自动化时代。实际上, 物理学这五大理论共同支撑着当今高技术的发展, 物理学是高新技术至关重要的先导和基础。同时高新技术的发展也为物理学提供了先进的手段, 提出了层出不穷的研究课题。

今天, 物理学正向三个方面深入发展, 一是向微观世界的深层, 二是向广阔无垠的宇宙, 三是向其他学科的渗透, 从而形成了众多的分支学科。如物理学与生命科学、生物工程技术, 物理学与信息科学技术、物理学与材料科学技术、物理学与能源技术、环境科学等。物理学是进入科学技术的任何一个领域首先要推开的一扇大门, 现代科技人员不仅需要具备扎实的物理基础知识, 还须具备现代物理科学观念和思想方法。这也是物理学被列为高等院校工科专业重点基础课的原因。

0.2 物理学方法

0.2.1 物理学是一门实验科学

物理学是一门理论和实验高度结合的科学。物理学中很多重大的发现、重要理论的建立和发展都体现了实验与理论的辩证关系。实验是理论的基础, 理论的正确与否要接受实验的检验, 同时理论对实验又有重要的指导作用。理论在技术上的应用还促使实验仪器和方法不断改进, 实验精度不断提高。在现代物理中, 由于研究范围远离人类日常生活经验, 通过物理学家主观猜测、演绎推理来提出假说的方法逐渐取代了牛顿时代的经验观察和逻辑归纳方法。这些在假说基础上建立的理论体系必须具有可检验性。多数情况下, 物理学的研究方式是按照实验事实→理论模型→实验检验, 以及理论预言→实验检验→修正理论这种模式反复进行的。

一切理论最终要经受实验事实的反复检验才能确立。这要求实验行为可以重复, 实验结果可以再现, 即科学实验的结果不能因时、因地、因人而异。随着研究的深入和复杂程度的提高, 近代物理学的发展也越来越依赖于实验设备的先进程度、高新技术手段和创新思想方法的应用。物理学理论的检验, 除直接的物理实验之外, 物理学原理、方法和技术在各种工程技术中的广泛应用, 也是物理学以实验为基础的一个重要方面。总之, 理论与实验的结合推动着物理学向前发展。

0.2.2 物理思想、物理模型

物理学集中了几乎所有重要的科学研究的思想和方法。物理思想主要指物理概念、原理和理论形成过程中的思维方式, 物理学描绘了物质世界的一幅完美图像, 揭示出物

质运动形态的相互联系和相互转化，体现了物质世界的和谐性、统一性。物理学的许多方面都体现了经过深刻思辨和逐步深化、逐步完善的思想认识过程，对物理思想的学习，不仅对掌握物理学的基本内容是必要的，而且对培养科学的世界观和思维方式也具有重要意义。

物理模型是为了便于研究而建立的高度抽象的、反映事物本质特征的理想物体，物理模型方法在理论物理、实验物理和计算物理中都有广泛应用。自然现象是错综复杂的，在构造物理模型时，物理学采用科学抽象和简化的方法，突出主要矛盾，忽略次要因素，从而抓住对象的物理本质，以寻求其中的规律，并由此发现同类型问题的共同规律。物理模型包括理想客体和理想过程，如质点、刚体、导体、理想气体、绝对黑体等都是理想客体，简谐振动、准静态过程等都是理想过程。运用建立模型的方法，进而获知客体的性质和规律，如克劳修斯提出理想气体模型，推导出气体压强公式；安培提出分子电流模型，对物质磁性本质作出了解释。“建模”是人类为探索未知世界而发明的最有效的认知策略，物理模型在物理理论的建立和发展过程中，起着十分重要的作用。物理学就是通过不断修正旧的模型、建立新的模型来逐渐逼近真实世界的。学习物理学家在研究过程中“建模”的思路和方法，有助于增进对科学思想和方法的认识和理解。

0.2.3 物理学是一门定量科学

物理学成功地运用数学方法，成为一门严密的定量科学。所谓数学方法是指用数学语言进行演绎、推算的方法。物理概念、规律采用数学语言得到简练、准确的表达，物理模型借助于数学形式进行描述。数学为物理学提供了有效的逻辑推理和定量计算方法，成为物理思维必不可少的工具。另一方面，物理学和数学又是互相促进、共同发展的，在物理学史上，很多物理学家同时又是数学大师，如牛顿、高斯、狄拉克等；物理学一方面不断地对数学提出新课题，促进数学的发展，另一方面又依靠数学成果发展自生；微积分之用于力学、概率论用于统计物理、群论用于量子力学、粒子物理，黎曼几何学用于广义相对论，都是取得巨大成功的范例。

0.3 单位制和量纲

物理学是严谨的、定量的自然科学，建立在严格的计量基础上，计量必然涉及到单位与量纲问题。1984年，我国颁布实行以国际单位制（SI）为基础的法定单位制。

物理量的种类繁多，但不全是相互独立的，因此在量度物理量时，不必给所有物理量规定单位。人们从众多物理量中挑选出几个作为基本量的物理量，并规定相应的标准——单位和测量方法。其他物理量就可以从基本量推导而得，称为导出量。建立在这样一套基本量之上的单位体系称为单位制。

对基本量的选择不是唯一的，应选择尽量少的物理量并用最简单的表述对之进行定义，同时还应兼顾测量程序的精确性和易得性。在国际单位制中，选择了七个基本量，规定了它们的基本单位，如表1所示。