

大学物理信息化教学丛书

大学物理教程

(下册)

龙光芝 程永进 主编



科学出版社

大学物理信息化教学丛书

大学物理教程

(下册)

龙光芝 程永进 主编

科学出版社

北京

版权所有,侵权必究

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

内 容 简 介

本书是在中国地质大学(武汉)多年使用的教材基础上,结合近年来教学改革实践经验编写而成。本书内容精炼,体系完备,配备了适量的详解例题,便于读者自学。全书分上、下两册。上册内容包括力学、电磁学,下册内容包括热学、机械振动和机械波、光学、狭义相对论与量子物理学。

本书可作为非物理类理工科各专业的大学物理课程教材,也可供有志者自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理教程.下册/龙光芝,程永进主编. —北京:科学出版社,2017.8
(大学物理信息化教学丛书)
ISBN 978-7-03-054343-1

I. ①大… II. ①龙… ②程… 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(2017)第 211326 号

责任编辑:吉正霞 王 晶/责任校对:董艳辉

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>

武汉市首壹印务有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

开本:787×1092 1/16

2017年8月第一版 印张:21 1/2

2017年8月第一次印刷 字数:510 000

定价:45.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《大学物理教程(下册)》编委会

主 编 龙光芝 程永进

副主编 陈琦丽 左小敏

前 言

本书根据教育部《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版),为了适应物理学和现代工程技术发展,以及培养高素质、创新性人才需要,结合多年的教学实践和编写教材经验编写而成。由于不同类型的学校和不同专业对大学物理课程的教学内容和学时安排各有差异,但总的趋势是期望减少课堂教学的学时,增加学生自主学习内容的比例,改革大学物理课程的教学内容和教学方法,提高物理课程的教学质量。因此,在本书的编写过程中,我们力求理论体系完备,教学内容少而精炼,理论与实际相结合,便于学生自主学习和知识拓展。书中各篇对物理学的基本概念和规律进行了明晰正确的描述,按照科学思维的方法和逻辑循序渐进的方式进行讲授,注重培养学生科学思维、辩证分析和深入探究的习惯与能力。

本书采用国际单位制,书中物理量的名称和表示符号采用国家现行标准。

本书分为上、下两册。上册包括:力学、电磁学。下册包括:热学、机械振动和机械波、光学、狭义相对论与量子物理学。本书的教学参考学时为120学时,分两学期讲授,建议授课学时分配:上册56学时,下册64学时。对于比较深入的理论和扩展性的内容在书中用*作了标记,可供教师选讲或学生课外自学。

本书由龙光芝和程永进担任主编,陈琦丽和左小敏任副主编;上册第1篇(1~5章)由左小敏执笔,第2篇(6~12章)由程永进执笔,下册第3篇(13~14章)和第6篇(22~25章)由陈琦丽执笔,第4篇(15~16章)、第5篇(17~20章)和第6篇(26章)由龙光芝执笔,第6篇(21章)由程永进执笔。

感谢中国地质大学(武汉)中央高校教育教学改革基金(本科教学工程)给予本书出版的资助。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,期望读者不吝赐教,提出宝贵意见。

编 者

2016年11月

目 录

第 3 篇 热 学

第 13 章 温度和气体动理论	3
13.1 平衡态	3
13.1.1 热力学系统	3
13.1.2 平衡态与状态参量	3
13.1.3 热力学第零定律(热平衡定律)	4
13.2 理想气体的状态方程	4
13.2.1 气体的实验规律	5
13.2.2 理想气体 理想气体的物态方程	5
13.2.3 混合理想气体的物态方程	7
13.3 气体分子热运动与统计规律	7
13.3.1 对物质微观结构的基本认识	7
13.3.2 分子热运动服从统计规律	8
13.4 理想气体的压强和温度	10
13.4.1 理想气体的微观模型	10
13.4.2 理想气体的压强	10
13.4.3 理想气体的温度	12
13.5 能量按自由度均分	12
13.5.1 分子运动的自由度	12
13.5.2 能量按自由度均分定理	13
13.5.3 理想气体的内能	14
13.6 麦克斯韦速率分布律	16
13.6.1 速率分布概念和速率分布函数	16
13.6.2 麦克斯韦速率分布函数和分布曲线	17
13.6.3 三种统计速率	18
13.6.4 麦克斯韦速率分布律的实验验证	20
* 13.7 玻尔兹曼分布	22
13.7.1 玻尔兹曼分布律	22
13.7.2 重力场中粒子按高度的分布	23
13.8 平均自由程	24
13.8.1 分子的平均碰撞频率	24
13.8.2 气体分子的平均自由程	25
提要	25
思考题	26
习题	27
第 14 章 热力学基础知识	29
14.1 热力学第一定律	29

14.1.1 准静态过程	29
14.1.2 内能、热量和功 热力学第一定律的表述	29
14.2 理想气体的内能和热容	32
14.2.1 焦耳实验 理想气体的内能	32
14.2.2 理想气体的摩尔热容、迈耶公式	32
14.3 理想气体的典型准静态过程	34
14.3.1 等体、等压和等温过程	34
14.3.2 绝热过程	36
14.4 循环过程	38
14.4.1 循环过程 准静态循环过程	38
14.4.2 热机及效率	39
14.4.3 制冷机及制冷系数	40
14.4.4 卡诺循环	41
* 14.5 热力学第二定律	43
14.5.1 热力学第二定律的两种表述	43
* 14.5.2 两种表述的等效性	43
* 14.5.3 不可逆过程和可逆过程	44
提要	44
思考题	45
习题	46

第 4 篇 机械振动与机械波动

第 15 章 机械振动	51
15.1 简谐振动的运动学描述	51
15.1.1 简谐振动的振动方程	51
15.1.2 描述简谐振动的三个特征量	52
15.1.3 简谐振动的速度和加速度	52
15.1.4 旋转矢量表示法	55
15.2 简谐振动的动力学	58
15.2.1 简谐振动的动力学方程	58
15.2.2 简谐振动的实例	59
15.2.3 简谐振动的能量	64
15.3 简谐振动的合成	67
15.3.1 同一直线上同频率简谐振动的合成	68
15.3.2 同一直线上不同频率简谐振动的合成	70
* 15.3.3 两个相互垂直简谐振动的合成	71
15.4 阻尼振动 受迫振动 共振	74
15.4.1 阻尼振动	74
15.4.2 受迫振动	75
15.4.3 共振	76
提要	76
思考题	78
习题	78

第 16 章 机械波	81
16.1 机械波的产生与传播	81
16.1.1 机械波的产生	81
16.1.2 横波与纵波	82
16.1.3 波线、波面与波前	83
16.1.4 描述波的物理量	84
16.1.5 弹性介质的形变与波速	84
16.2 平面简谐波	86
16.2.1 平面简谐波的波函数	87
16.2.2 波函数的物理意义	88
* 16.2.3 平面波的波动微分方程	92
16.3 机械波的能量	93
16.3.1 机械波的能量与能量密度	93
16.3.2 波的能流与波的强度	95
* 16.3.3 声波的声强	96
16.4 惠更斯原理 波的反射与折射	97
16.4.1 波的衍射现象	97
16.4.2 惠更斯原理	97
16.4.3 用惠更斯作图法推导反射和折射定律	98
16.5 波的干涉	100
16.5.1 波的叠加原理	100
16.5.2 两列波的干涉	100
16.6 驻波	104
16.6.1 驻波的形成	104
16.6.2 驻波波函数	105
16.6.3 驻波的特点	105
16.6.4 半波损失	106
* 16.7 多普勒效应	109
16.7.1 机械波的多普勒效应	109
16.7.2 电磁波的多普勒效应	112
16.7.3 冲击波	112
提要	113
思考题	115
习题	115

第 5 篇 光 学

第 17 章 几何光学	121
17.1 几何光学的基本概念	121
17.2 光的反射与折射	122
17.2.1 反射和折射定律	122
17.2.2 反射率与透射率	123
17.2.3 全反射	123
17.3 光在平面界面上的反射与折射	124
17.3.1 平面反射成像	124

17.3.2 光在平面上的折射 单心性的破坏	125
17.4 球面反射镜	126
17.4.1 球面镜成像公式	126
17.4.2 球面镜成像几何作图方法(光路图法)	127
17.4.3 像的横向放大率	128
* 17.5 光在球面上的折射	129
17.5.1 球面对任意光线的折射	129
17.5.2 球面对近轴光线的折射	129
17.6 薄透镜	130
17.6.1 透镜	130
17.6.2 薄透镜的焦距	131
17.6.3 薄透镜成像	132
17.7 常用光学仪器简介	134
17.7.1 照相机和投影仪的光学原理	134
17.7.2 助视仪器	134
提要	137
思考题	139
习题	139
第 18 章 光的干涉	141
18.1 相干光的获取	141
18.1.1 光是一种电磁波	141
18.1.2 光的相干条件	142
18.1.3 普通光源的发光特点	142
18.1.4 相干光的获取方法	143
18.2 相干点光源的干涉	143
18.2.1 光程与光程差	143
18.2.2 两个相干点光源的干涉	145
18.2.3 条纹的对比度	146
18.2.4 振幅比对条纹对比度的影响	147
18.3 杨氏干涉实验与分波前干涉方法	147
18.3.1 杨氏双孔干涉	147
18.3.2 杨氏双缝干涉	148
18.3.3 杨氏干涉条纹的特点	149
18.3.4 与杨氏双缝类似的分波前干涉实验	151
18.4 薄膜干涉	153
18.4.1 薄膜干涉概述	153
18.4.2 等厚干涉	156
18.4.3 等倾干涉	161
18.4.4 增透膜和高反射膜	164
18.5 迈克耳孙干涉仪	166
18.5.1 仪器结构	166
18.5.2 干涉条纹	167
18.5.3 补偿板的作用	168
18.5.4 白光的零级条纹	168

18.5.5 迈克耳孙干涉仪的应用	168
提要	169
思考题	171
习题	171
第 19 章 光的衍射	173
19.1 光的衍射和惠更斯-菲涅耳原理	173
19.1.1 光的衍射现象	173
19.1.2 惠更斯-菲涅耳原理	173
19.1.3 衍射分类	174
19.2 单缝夫琅禾费衍射	174
19.2.1 点光源的单缝夫琅禾费衍射的强度分布	174
19.2.2 单缝衍射因子的特点	178
19.2.3 线光源的单缝夫琅禾费衍射	180
19.3 圆孔夫琅禾费衍射 光学仪器的像分辨本领	181
19.3.1 圆孔夫琅禾费衍射	181
19.3.2 光学仪器的像分辨本领	182
19.4 光栅衍射	185
19.4.1 光栅衍射原理	185
19.4.2 光栅方程	185
19.4.3 强度分布公式	186
19.4.4 缝间干涉因子的特点	187
19.4.5 单缝衍射因子的作用 缺级现象	189
19.4.6 光栅光谱	191
19.4.7 平行光斜入射时的光栅衍射	193
19.5 X 射线衍射	196
19.5.1 劳厄实验	196
19.5.2 布拉格方程	196
提要	198
思考题	199
习题	199
第 20 章 光的偏振	201
20.1 光的偏振特性	201
20.1.1 光的偏振现象	201
20.1.2 光的偏振态	202
20.2 线偏振光的获得与检验	205
20.2.1 偏振片的起偏与检偏	205
20.2.2 马吕斯定律	206
20.3 反射光和折射光的偏振态	207
20.3.1 s 波 p 波的反射率与透射率	207
20.3.2 反射和折射时光的偏振态	208
20.3.3 布儒斯特定律	209
20.3.4 偏振的应用	210
20.4 晶体的双折射	211
20.4.1 光在晶体中的双折射	211

20.4.2 惠更斯作图法求双折射光	214
* 20.5 晶体光学器件	218
20.5.1 偏振棱镜	218
20.5.2 波片(相位延迟片)	220
* 20.6 偏振态的检定	221
20.6.1 椭圆偏振光与圆偏振光的获取方法	221
20.6.2 偏振态的检定方法	221
* 20.7 偏振光的干涉	223
20.7.1 平行线偏振光通过波片的干涉强度	223
20.7.2 平行线偏振光干涉的特点	224
20.7.3 偏光显微镜的工作原理	225
20.7.4 人工双折射	226
* 20.8 旋光现象简介	227
提要	228
思考题	229
习题	229

第6篇 近代物理学基础

第21章 狭义相对论基础	233
21.1 伽利略变换和经典力学时空观	233
21.1.1 伽利略变换	233
21.1.2 绝对时空观	234
21.1.3 伽利略相对性原理和经典物理学的困难	235
21.2 狭义相对论的基本概念 洛伦兹变换	237
21.2.1 狭义相对论基本原理	237
21.2.2 洛伦兹变换	237
21.3 狭义相对论时空理论	241
21.3.1 “同时”的相对性	241
21.3.2 时间延缓效应	242
21.3.3 运动尺度收缩	243
21.3.4 因果律与信号传递速度	245
21.4 狭义相对论动力学基础	246
21.4.1 相对论质量	246
21.4.2 相对论能量	248
21.4.3 质能关系	250
21.4.4 动量能量关系式	251
提要	252
思考题	253
习题	253
第22章 波粒二象性	255
22.1 黑体辐射	255
22.1.1 热辐射基本概念 黑体辐射	255
22.1.2 普朗克量子假设	257
22.2 光电效应 爱因斯坦光量子理论	258

22.2.1	光电效应的实验规律	258
22.2.2	爱因斯坦光量子假设	259
22.2.3	光的波粒二象性	260
22.3	康普顿效应	261
22.3.1	康普顿效应的实验规律	261
22.3.2	康普顿效应的光子理论解释	262
22.4	玻尔的氢原子理论	263
22.4.1	氢原子光谱的实验规律	263
22.4.2	玻尔的氢原子假设	264
22.5	实物粒子的波粒二象性	266
22.5.1	德布罗意物质波假设	266
22.5.2	德布罗意波的统计解释	267
22.6	不确定关系	268
	提要	270
	思考题	271
	习题	272
第 23 章	量子力学基础	274
23.1	波函数 薛定谔方程	274
23.1.1	波函数	274
23.1.2	薛定谔方程	275
23.2	薛定谔方程在几个定态问题上的应用	276
23.2.1	一维无限深势阱中的粒子	276
* 23.2.2	一维势垒和隧道效应	278
* 23.2.3	线性谐振子	279
	提要	280
	思考题	280
	习题	281
第 24 章	原子中的电子	282
24.1	氢原子中的电子	282
24.2	原子的壳层结构	286
* 24.3	X 射线	288
24.3.1	连续谱韧致辐射	288
24.3.2	特征谱	289
	提要	289
	思考题	290
	习题	290
* 第 25 章	固体中的电子	291
25.1	金属中的自由电子气	291
25.1.1	金属的自由电子气模型	291
25.1.2	金属中自由电子的能量与波函数	291
25.1.3	态密度	292
25.1.4	自由电子的基态 费米能	293
25.1.5	自由电子的热激发态	293
25.1.6	晶体的热容和电子的热容	293

25.2 能带理论	294
25.2.1 晶体中电子的波函数 布洛赫定理	294
25.2.2 晶体中电子的能量 准自由电子近似	295
25.2.3 导体 半导体 绝缘体	295
25.2.4 半导体中的杂质和缺陷	296
25.2.5 PN 结	297
提要	298
思考题	298
习题	299
第 26 章 激光	300
26.1 爱因斯坦受激辐射理论	300
26.1.1 自发辐射、受激吸收和受激辐射的概念	300
26.1.2 三个爱因斯坦系数之间的关系	301
26.1.3 受激辐射的相干性	302
26.2 粒子数反转与光放大	302
26.2.1 粒子数按能级的统计分布	302
26.2.2 粒子数反转的概念	302
26.2.3 能实现粒子数反转的激活介质	303
26.2.4 泵浦的几种方法	304
26.2.5 增益系数 G	305
26.3 谐振腔 光的自激振荡	306
26.3.1 激光自激振荡概念	306
26.3.2 谐振腔的作用	307
26.3.3 能输出线偏振光的激光器	309
26.4 激光的单色性	309
26.4.1 谱线宽度	309
26.4.2 激光的纵模	310
26.4.3 激光的横模	311
26.5 激光的特性及其应用	311
26.5.1 激光器的三个基本组成部分及其作用	312
26.5.2 激光的优秀特性	312
26.5.3 激光的应用	312
26.6 激光器举例	312
26.6.1 固体激光器	312
26.6.2 气体激光器	314
26.6.3 自由电子激光器	316
26.6.4 其他激光器	317
提要	318
思考题	319
参考文献	320
习题答案	321
附录	327
基本物理常数表	327
几个保留单位和换算关系	328

第 3 篇 热 学

热学是物理学的一个重要组成部分。热学的研究对象是物质的热运动以及热运动与其他运动形式之间的转化规律。物质的热运动指的是组成宏观物质的大量微观粒子的无规则(机械)运动总体表现出来的一种(非机械)运动形态。

热学的研究方法有热力学和统计物理学两种方法。热力学是宏观理论,是根据观察和实验总结出宏观热现象所遵循的基本规律,运用严密的逻辑推理方法,来研究热运动规律。热力学没有涉及热现象的微观本质,而是以观察和实验为基础,因此具有较高的准确性和可靠性。统计物理学是微观理论,是从组成物质的微观粒子的运动以及粒子之间的相互作用出发,用统计的方法阐述热运动规律。统计物理学虽然深入到热运动的微观本质,但是它采用了简化的模型对微观粒子的运动以及相互作用进行描述,因而得到的结果是近似的。这两种方法在热学研究中相辅相成,互相补充。

第 13 章 温度和气体动理论

气体动理论是热学研究的微观理论——统计物理学的基础内容。为了突出热运动的本质,本章的研究对象为处于平衡态下的理想气体。本章将首先从宏观角度介绍平衡态、温度、状态方程等热学基本概念,再从物质的微观结构和分子运动论的基本观点出发,利用统计方法,研究气体的热运动宏观规律的微观本质。通过本章的学习,应当初步认识对于大量粒子组成的系统,采用统计方法研究的必要性,了解统计平均值的概念,认识到压强、温度以及内能等热力学宏观量与分子热运动的微观量之间的联系。

13.1 平衡态

13.1.1 热力学系统

热力学系统是被确定为研究对象的物体或物体系,简称**系统**。系统以外的物质即称为**外界**。系统与外界之间可以发生能量交换与物质交换。与外界之间既无能量交换,又无物质交换的系统称为**孤立系统**;与外界之间有能量交换,但无物质交换的系统称为**封闭系统**,与外界之间既有能量交换,又有物质交换的系统称为**开放系统**。这是根据系统与外界之间的关系分类;还可以根据系统所包含物质的化学成分进行分类,如单元系和多元系,以及根据系统所包含物质的形态进行分类,如单相系和多相系。

13.1.2 平衡态与状态参量

将一定质量的气体置于容器中,当它与外界没有能量交换,自身也没有发生化学反应,我们会发现,经过一段时间,气体会出现各部分的宏观性质相同的状态,并且将长时间保持这一状态(不计外力场);我们称系统达到了平衡状态。**热力学系统的平衡态就是指一个孤立系最终达到的宏观性质不再随时间变化的状态**。当系统处于平衡态时,组成系统的大量微观粒子仍然不停地运动,但是运动的平均效果不随时间变化,在宏观上表现为系统的宏观性质恒定不变,因此热力学系统的平衡态是一种动态平衡,称为**热动平衡**。

在热学中用于描述系统宏观性质的物理量称为**状态参量**。对于处于某一平衡态的一定质量的气体,一般可以用温度 T 、压强 p 和体积 V 三个状态参量来进行描述。气体的体积是气体分子所能达到的空间,如果忽略气体分子本身的大小,气体的体积也就是容器的体积,体积的常用单位为 m^3 ;气体的压强是气体分子对容器壁碰撞的平均效果,是气体作用于单位面积容器壁的正压力。压强的常用单位为 Pa , $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}$;温度表示物体的冷热程度,其微观本质是微观粒子热运动的剧烈程度,物理学中常用的温度有两种:一种是热力学温标(T),单位是 K (开尔文);另一种是摄氏温标(t),单位是 $^{\circ}\text{C}$ (摄氏度);两种温标的换算关系为

$$T = t + 273.15 \quad (13.1)$$

13.1.3 热力学第零定律(热平衡定律)

如图 13.1 所示,如果将两个与外界保持孤立的、各自处于平衡态的系统 A 和 B 之间放置一绝热壁,它们之间将不发生任何影响,各自的状态参量也不会发生变化。若将绝热壁换成导热壁,A 和 B 之间会发生热接触,产生热交换,它们的状态参量也相互影响,发生变化;但是经过一段时间后,两个系统的状态参量将不再变化,两个系统会重新达到平衡状态,我们称两个系统互为热平衡,此时 A 和 B 具有相同的温度。

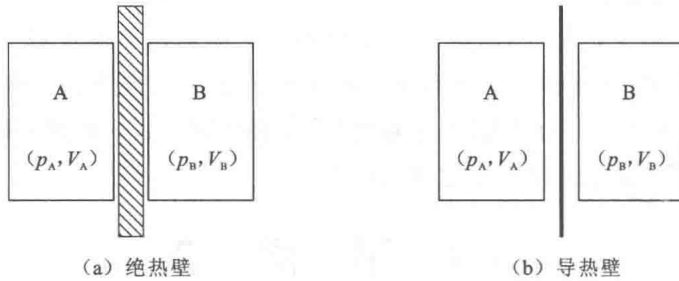


图 13.1 绝热壁与导热壁

如图 13.2 所示,有三个与外界保持孤立的系统 A,B 和 C,先将 A,B 用绝热壁隔开,使它们都与 C 通过导热壁进行热接触,经过足够长的时间,A,B 将分别与 C 达到热平衡;接下来如果将 A,B 与 C 之间用绝热壁隔开,将 A,B 之间的绝热壁换成导热壁,使 A,B 进行热接触,那么我们会发现此时 A,B 的状态不会发生变化,说明 A,B 也互为热平衡。该实验现象表明:如果两个热力学系统中的每一个都与第三个热力学系统的同一平衡态处于热平衡,那么这两个热力学系统的平衡态也必定处于热平衡。这一结论称为热力学第零定律,或热平衡定律。

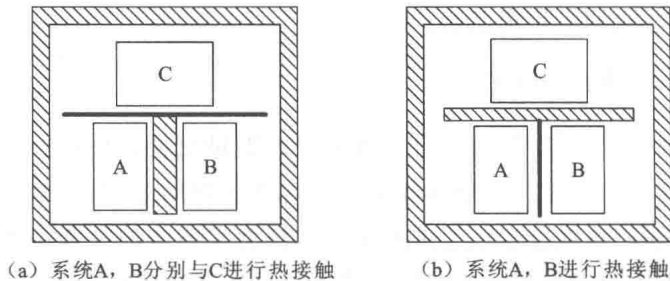


图 13.2 三个系统的热平衡

实验表明,一切互为热平衡的系统具有相同的温度。所以温度是决定一系统是否与其他系统处于热平衡的物理量。

13.2 理想气体的状态方程

处于平衡态的热力学系统,可以用一组状态参量来描述。而且,在一定的平衡态下,热力学系统具有确定的温度。实验表明,温度与其他状态参量之间存在一定的函数关系。对于一定质量的某种气体,当其处于温度为 T 的平衡态时,在无外场情况下只需要两个独立参量就可以完全确定系统的一个平衡态,如果用压强 p 和体积 V 来确定系统的状态,温度 T 与 p, V