



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张三慧 编著

大学物理学

热学、光学、量子物理

(第三版)



清华大学出版社



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

张三慧 编著

大学物理学 (第三版)

热学、光学、量子物理

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书是张三慧编著的《大学物理学》(第三版)中的《热学、光学、量子物理》分册。热学部分包括温度和气体动理论,热力学第一和第二定律。光学部分在讲了波动光学的光的干涉、衍射、偏振等规律之后,也讲了几何光学的基本知识。量子物理部分包括微观粒子的二象性、薛定谔方程(定态)、原子中的电子能态、分子的结构和能级、固体中电子的能态、量子统计的基本概念和核物理的基础知识。各部分内容均配置了适量的联系实际的例题和习题。除了基本内容外,还专题介绍了能源与环境、全息照相、光学信息处理、液晶、非线性光学、自由电子激光、多光子吸收、激光冷却、纳米科技等今日物理趣闻,以及几位科学家的传略。书末还列出了历年诺贝尔物理学奖获得者名录及其创新课题。本书基本内容讲解简明有序,扩展内容通俗易懂。

本书可作为高等院校的物理教材,也可以作为中学物理教师教学或其他读者自学的参考书,与本书配套的《大学物理学辅导(第2版)》和《大学物理学(第三版)学习辅导与习题解答》可帮助读者学习本书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

未经清华大学出版社授权,请不要专门为本书编写学习辅导材料,如思考题和习题解答等。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 热学、光学、量子物理/张三慧编著. —3版. —北京:清华大学出版社,2009.2
ISBN 978-7-302-19343-2

I. 大… II. 张… III. ①物理学—高等学校—教材 ②热学—高等学校—教材 ③光学—高等学校—教材 ④量子力学—高等学校—教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 010782 号

责任编辑:朱红莲

责任校对:王淑云

责任印制:王秀菊

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者:北京密云胶印厂

装 订 者:三河市李旗庄少明装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印张:31

字数:751千字

版 次:2009年2月第3版

印次:2009年2月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:032537-01

前言

FOREWORD

这部《大学物理学》(第三版)含力学篇、热学篇、电磁学篇、光学篇和量子物理篇,共5篇。按照篇章的组织顺序,本套教材又分为两个版本,称为A版和B版。A版分为3册,第1册为《力学、热学》,第2册为《电磁学》(或《基于相对论的电磁学》,二选其一),第3册为《光学、量子物理》。B版分为2册,第1册为《力学、电磁学》,第2册为《热学、光学、量子物理》。读者可根据实际教学和学习的需要,选择使用A版或B版;其中A版中的第2册又分为两个版本——《电磁学》或《基于相对论的电磁学》,选用A版的读者可选择其中一个版本使用。本册为B版的第2册《热学、光学、量子物理》。

本书自第一版与第二版问世以来,已被多所院校用作教材。根据使用过此书的教师与学生以及其他读者的反映,也考虑到近几年物理教学的发展动向,本书推出第三版。第三版内容的撰写与修改仍延续了第二版的科学性和系统性的特点,保持了原有的体系和风格,并在第二版的基础上,增加、拓宽了一些内容。

本书内容完全涵盖了2006年我国教育部发布的“非物理类理工学科大学物理课程基本要求”。书中各篇对物理学的基本概念与规律进行了正确明晰的讲解。讲解基本上都是以最基本的规律和概念为基础,推演出相应的概念与规律。笔者认为,在教学上应用这种演绎逻辑更便于学生从整体上理解和掌握物理课程的内容。

力学篇是以牛顿定律为基础展开的。除了直接应用牛顿定律对问题进行动力学分析外,还引入了动量、角动量、能量等概念,并着重讲解相应的守恒定律及其应用。除惯性系外,还介绍了利用非惯性系解题的基本思路,刚体的转动、振动、波动这三章内容都是上述基本概念和定律对于特殊系统的应用。狭义相对论的讲解以两条基本假设为基础,从同时性的相对性这一“关键的和革命的”(杨振宁语)概念出发,逐渐展开得出各个重要结论。这种讲解可以比较自然地使学生从物理上而不只是从数学上弄懂狭义相对论的基本结论。

电磁学篇按照传统讲法,讲述电磁学的基本理论,包括静止和运动电荷的电场,运动电荷和电流的磁场,介质中的电场和磁场,电磁感应,电磁波等。电磁学的讲述未止于麦克斯韦方程组,而是继续讲述了电磁波的发射机制及其传播特征等。

热学篇的讲述是以微观的分子运动的无规则性这一基本概念为基础的。除了阐明经典力学对分子运动的应用外,特别引入并加强了统计概念和统计规律,包括麦克斯韦速率分布律的讲解。对热力学第一定律也阐述了其微观意义。对热力学第二定律是从宏观热力学过程的方向性讲起的,说明方向性的微观根源,并利用热力学概率定义了玻耳兹曼熵并说明了熵增加原理,然后再进一步导出克劳修斯熵及其计算方法。这种讲法最能揭露熵概念的微观本质,也便于理解熵概念的推广应用。

光学篇以电磁波和振动的叠加概念为基础,讲述了光电干涉和衍射的规律。第24章光的偏振讲述了电磁波的横波特征。然后,根据光电波动性在特定条件下的近似特征——直接传播,讲述了几何光学的基本定律及反射镜和透镜的成像原理。

以上力学、电磁学、热学、光学各篇的内容基本上都是经典理论,但也在适当地方穿插了量子理论的概念和结论以便相互比较。

量子物理篇是从波粒二象性出发以定态薛定谔方程为基础讲解的。介绍了原子、分子和固体中电子的运动规律以及核物理的知识。关于教学要求中的扩展内容,如基本粒子和宇宙学的基本知识是在“今日物理趣闻A”和“今日物理趣闻C”栏目中作为现代物理学前沿知识介绍的。

本书除了5篇基本内容外,还开辟了“今日物理趣闻”栏目,介绍物理学的近代应用与前沿发展,而“科学家介绍”栏目用以提高学生素养,鼓励成才。

本书各章均配有思考题和习题,以帮助学生理解和掌握已学的物理概念和定律或扩充一些新的知识。这些题目有易有难,绝大多数是实际现象的分析和计算。题目的数量适当,不以多取胜。也希望学生做题时不要贪多,而要求精,要真正把做过的每一道题从概念原理上搞清楚,并且用尽可能简洁明确的语言、公式、图像表示出来,需知,对一个科技工作者来说,正确地书面表达自己的思维过程与成果也是一项重要的基本功。

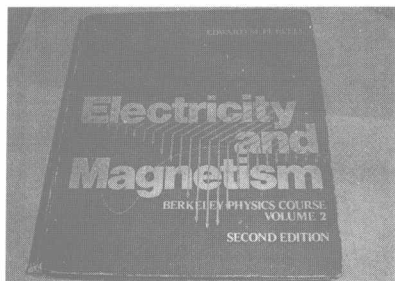
本书在保留经典物理精髓的基础上,特别注意加强了现代物理前沿知识和思想的介绍。本书内容取材在注重科学性和系统性的同时,还注重密切联系实际,选用了大量现代科技与我国古代文明的资料,力求达到经典与现代,理论与实际的完美结合。

本书在量子物理篇中专门介绍了近代(主要是20世纪30年代)物理知识,并在其他各篇适当介绍了物理学的最新发展,同时为了在大学生中普及物理学前沿知识以扩大其物理学背景,在“今日物理趣闻”专栏中,分别介绍了“基本粒子”、“混沌——决定论的混乱”、“大爆炸和宇宙膨胀”、“能源与环境”、“等离子体”、“超导电性”、“激光应用二例”、“新奇的纳米技术”等专题。这些都是现代物理学以及公众非常关心的题目。本书所介绍的趣闻有的已伸展到最近几年的发现,这些“趣闻”很受学生的欢迎,他们拿到新书后往往先阅读这些内容。

物理学很多理论都直接联系着当代科技乃至人们的日常生活。教材中列举大量实例,既能提高学生的学习兴趣,又有助于对物理概念和定律的深刻理解以及创造性思维的启迪。本书在例题、思考题和习题部分引用了大量的实例,特别是反映现代物理研究成果和应用的实例,如全球定位系统、光盘、宇宙探测、天体运行、雷达测速、立体电影等。同时还大量引用了我国从古到今技术上以及生活上的有关资料,例如古籍《宋纪要》关于“客星”出没的记载,北京天文台天线阵,长征火箭,神舟飞船,天坛祈年殿,黄果树瀑布,阿迪力走钢丝,抖空竹,1976年唐山地震,1988年特大洪灾,等等。这些例子体现了民族文化,可以增强学生对物理

的“亲切感”，而且有助于学生的民族自豪感和责任心的提升。

物理教学除了“授业”外，还有“育人”的任务。为此本书介绍了十几位科学大师的事迹，简要说明了他们的思想境界、治学态度、开创精神和学术成就，以之作为学生为人处事的借鉴。在此我还要介绍一下我和帕塞尔教授的一段交往。帕塞尔教授是哈佛大学教授，1952年因对核磁共振研究的成果荣获诺贝尔物理奖。我于1977年看到他编写的《电磁学》，深深地为他的新讲法所折服。用他的书讲述两遍后，于1987年贸然写信向他请教，没想到很快就收到他的回信(见附图)和赠送给我的教材(第二版)及习题解答。他这种热心帮助一个素不相识的外国教授的行为使我非常感动。



帕塞尔《电磁学》(第二版)封面



本书作者与帕塞尔教授合影(1993年)

HARVARD UNIVERSITY

DEPARTMENT OF PHYSICS

LYMAN LABORATORY OF PHYSICS
CAMBRIDGE, MASSACHUSETTS 02138

November 30, 1987

Professor Zhang Sanhui
Department of Physics
Tsinghua University
Beijing 100084
The People's Republic of China

Dear Professor Zhang:

Your letter of November 8 pleases me more than I can say, not only for your very kind remarks about my book, but for the welcome news that a growing number of physics teachers in China are finding the approach to magnetism through relativity enlightening and useful. That is surely to be credited to your own teaching, and also, I would surmise, to the high quality of your students. It is gratifying to learn that my book has helped to promote this development.

I don't know whether you have seen the second edition of my book, published about three years ago. A copy is being mailed to you, together with a copy of the Problem Solutions Manual. I shall be eager to hear your opinion of the changes and additions, the motivation for which is explained in the new Preface. May I suggest that you inspect, among other passages you will be curious about, pages 170-171. The footnote about Leigh Page repairs a regrettable omission in my first edition. When I wrote the book in 1963 I was unaware of Page's remarkable paper. I did not think my approach was original -- far from it -- but I did not take time to trace its history through earlier authors. As you now share my preference for this strategy I hope you will join me in mentioning Page's 1912 paper when suitable opportunities arise.

Your remark about printing errors in your own book evokes my keenly felt sympathy. In the first printing of my second edition we found about 50 errors, some serious! The copy you will receive is from the third printing, which still has a few errors, noted on the Errata list enclosed in the book. There is an International Student Edition in paperback. I'm not sure what printing it duplicates.

The copy of your own book has reached my office just after I began this letter! I hope my shipment will travel as rapidly. It will be some time before I shall be able to study your book with the care it deserves, so I shall not delay sending this letter of grateful acknowledgement.

Sincerely yours,

Edward M. Purcell

Edward M. Purcell

EMP/cad

帕塞尔回信复印件

他在信中提到“本书 170~171 页关于 L. Page 的注解改正了第一版的一个令人遗憾的疏忽。1963 年我写该书时不知道 Page 那篇出色的文章，我并不认为我的讲法是原创的——远不是这样——但当时我没有时间查找早先的作者追溯该讲法的历史。现在既然你也喜欢这种讲法，我希望你和我一道在适当时机宣扬 Page 的 1912 年的文章。”一位物理学大师对自己的成就持如此虚心、谦逊、实事求是的态度使我震撼。另外，他对自己书中的疏漏(实际上有些是印刷错误)认真修改，这种严肃认真的态度和科学精神也深深地教育了我。帕塞尔这封信所显示的作为一个科学家的优秀品德，对我以后的为人处事治学等方面都产生了很大影响，始终视之为楷模追随仿效，而且对我教的每一届学生都要展示帕塞尔的这一封信对他们进行教育，收到了很好的效果。

本书的撰写和修订得到了清华大学物理系老师的热情帮助(包括经验与批评),也采纳了其他兄弟院校的教师和同学的建议和意见。此外,也从国内外的著名物理教材中吸取了很多新的知识、好的讲法和有价值的素材。这些教材主要有:新概念物理教程(赵凯华等), Feynman Lectures on Physics, Berkeley Physics Course(Purcell E M, Reif F, et al.), The Manchester Physics Series(Mandl F, et al.), Physics(Chanian H C.), Fundamentals of Physics(Resnick R), Physics(Alonso M et al.)等。

对于所有给予本书帮助的老师和学生以及上述著名教材的作者,本人在此谨致以诚挚的谢意。清华大学出版社诸位编辑对第三版杂乱的原稿进行了认真的审阅和编辑,特在此一并致谢。

张三慧

2008年10月

于清华园

目 录

CONTENTS

第 3 篇 热 学

第 17 章 温度和气体动理论	3
17.1 平衡态	3
17.2 温度的概念	4
17.3 理想气体温标	5
17.4 理想气体状态方程	7
17.5 气体分子的无规则运动	9
17.6 理想气体的压强	11
17.7 温度的微观意义	14
17.8 能量均分定理	16
17.9 麦克斯韦速率分布律	18
17.10 麦克斯韦速率分布律的实验验证	24
* 17.11 玻耳兹曼分布律	25
17.12 实际气体等温线	27
* 17.13 范德瓦耳斯方程	28
* 17.14 非平衡态 输运过程	32
提要	36
思考题	38
习题	39
科学家介绍 玻耳兹曼	43
第 18 章 热力学第一定律	46
18.1 功 热量 热力学第一定律	46
18.2 准静态过程	48
18.3 热容	51
18.4 绝热过程	56

18.5	循环过程	60
18.6	卡诺循环	62
18.7	致冷循环	65
	提要	66
	思考题	68
	习题	68
	科学家介绍 焦耳	73
今	日物理趣闻 I 能源与环境	76
I.1	各式能源的利用	76
I.2	人类环境问题	77
第 19 章	热力学第二定律	82
19.1	自然过程的方向	82
19.2	不可逆性的相互依存	84
19.3	热力学第二定律及其微观意义	85
19.4	热力学概率与自然过程的方向	87
19.5	玻耳兹曼熵公式与熵增加原理	90
19.6	可逆过程	92
19.7	克劳修斯熵公式	94
19.8	用克劳修斯熵公式计算熵变	98
* 19.9	温熵图	100
* 19.10	熵和能量退降	101
	提要	102
	思考题	103
	习题	104
今	日物理趣闻 J 耗散结构	107
J.1	宇宙真的正在走向死亡吗	107
J.2	生命过程的自组织现象	107
J.3	无生命世界的自组织现象	109
J.4	开放系统的熵变	110
J.5	稍离平衡的系统	111
J.6	远离平衡的系统	112
J.7	通过涨落达到有序	113

第4篇 光 学

第20章 振动	117
20.1 简谐运动的描述	117
20.2 简谐运动的动力学	120
20.3 简谐运动的能量	124
20.4 阻尼振动	125
20.5 受迫振动 共振	127
20.6 同一直线上同频率的简谐运动的合成	128
20.7 同一直线上不同频率的简谐运动的合成	130
* 20.8 谐振分析	131
* 20.9 两个相互垂直的简谐运动的合成	133
提要	134
思考题	135
习题	136
第21章 波动	140
21.1 行波	140
21.2 简谐波	141
21.3 物体的弹性形变	146
21.4 弹性介质中的波速	148
21.5 波的能量	150
21.6 惠更斯原理与波的反射和折射	153
21.7 波的叠加 驻波	156
21.8 声波	160
* 21.9 地震波	162
* 21.10 水波	163
21.11 多普勒效应	165
* 21.12 行波的叠加和群速度	169
* 21.13 孤子	171
提要	172
思考题	174
习题	175
第22章 光的干涉	181
22.1 杨氏双缝干涉	181
22.2 相干光	185

* 22.3	光的非单色性对干涉条纹的影响	187
* 22.4	光源的大小对干涉条纹的影响	189
22.5	光程	192
22.6	薄膜干涉(一)——等厚条纹	194
22.7	薄膜干涉(二)——等倾条纹	198
22.8	迈克耳孙干涉仪	200
	提要	201
	思考题	202
	习题	203
	科学家介绍 托马斯·杨和菲涅耳	206
第 23 章 光的衍射		209
23.1	光的衍射和惠更斯-菲涅耳原理	209
23.2	单缝的夫琅禾费衍射	210
23.3	光学仪器的分辨本领	215
23.4	细丝和细粒的衍射	217
23.5	光栅衍射	219
23.6	光栅光谱	225
23.7	光盘及其录音与放音	227
23.8	X 射线衍射	231
	提要	232
	思考题	233
	习题	234
今	日物理趣闻 K 全息照相	237
K.1	全息照片的拍摄	237
K.2	全息图像的观察	239
K.3	全息照相的应用	240
今	日物理趣闻 L 光学信息处理	241
L.1	空间频率与光学信息	241
L.2	空间频谱分析	242
L.3	阿贝成像原理和空间滤波	243
L.4	θ 调制	245

第 24 章 光的偏振	246
24.1 光的偏振状态	246
24.2 线偏振光的获得与检验	248
24.3 反射和折射时光的偏振	250
24.4 由散射引起的光的偏振	251
24.5 双折射现象	252
* 24.6 椭圆偏振光和圆偏振光	256
* 24.7 偏振光的干涉	259
* 24.8 人工双折射	260
* 24.9 旋光现象	261
提要	263
思考题	264
习题	265
今日物理趣闻 M 液晶	268
M.1 液晶的结构	268
M.2 液晶的光学特性	269
今日物理趣闻 N 非线性光学	272
N.1 非线性光学与激光	272
N.2 倍频与混频	272
N.3 自聚焦	274
N.4 受激拉曼散射	275
第 25 章 几何光学	276
25.1 光线	276
25.2 光的反射	277
25.3 球面反射镜	279
25.4 光的折射	281
25.5 薄透镜的焦距	283
25.6 薄透镜成像	286
25.7 人眼	290
25.8 助视仪器	291
提要	294
思考题	295
习题	297

第5篇 量子物理

第 26 章 波粒二象性	303
26.1 黑体辐射	303
26.2 光电效应	306
26.3 光的二象性 光子	308
26.4 康普顿散射	311
26.5 粒子的波动性	314
26.6 概率波与概率幅	317
26.7 不确定关系	320
提要	325
思考题	326
习题	326
科学家介绍 德布罗意	329
第 27 章 薛定谔方程	331
27.1 薛定谔得出的波动方程	331
27.2 无限深方势阱中的粒子	335
27.3 势垒穿透	338
27.4 谐振子	343
提要	345
思考题	345
习题	346
科学家介绍 薛定谔	348
第 28 章 原子中的电子	350
28.1 氢原子	350
28.2 电子的自旋与自旋轨道耦合	358
* 28.3 微观粒子的不可分辨性和泡利不相容原理	364
28.4 各种原子核外电子的组态	365
* 28.5 X 射线	369
28.6 激光	372
* 28.7 分子结构	376
* 28.8 分子的转动和振动能级	380
提要	384
思考题	385
习题	386

科学家介绍 玻尔	389
今 日物理趣闻 O 自由电子激光	391
今 日物理趣闻 P 激光应用二例	394
P.1 多光子吸收	394
P.2 激光冷却与捕陷原子	396
第 29 章 固体中的电子	399
29.1 自由电子按能量的分布	399
29.2 金属导电的量子论解释	403
* 29.3 量子统计	404
29.4 能带 导体和绝缘体	407
29.5 半导体	410
29.6 PN 结	411
29.7 半导体器件	412
提要	414
思考题	416
习题	416
今 日物理趣闻 Q 新奇的纳米科技	418
Q.1 什么是纳米科技	418
Q.2 纳米材料	419
Q.3 纳米器件	420
第 30 章 核物理	422
30.1 核的一般性质	422
30.2 核力	426
30.3 核的结合能	427
* 30.4 核的液滴模型	430
30.5 放射性和衰变定律	432
30.6 α 衰变	436
* 30.7 穆斯堡尔效应	437
30.8 β 衰变	442
30.9 核反应	445
提要	448
思考题	449

习题	449
元素周期表	452
数值表	453
习题答案	455
诺贝尔物理学奖获得者名录	465
索引	470

第

3

篇

热 学

热学研究的是自然界中物质与冷热有关的性质及这些性质变化的规律。

冷热是人们对自然界的一种最普遍的感觉,人类文化对此早有记录。我国山东大汶口文化(6000年前)遗址发现的陶器刻画符号,就有如右下图所示的“热”字。该符号是“繁体字”,上面是日,中间是火,下面是山。它表示在太阳照射下,山上起了火。这当然反映了人们对热的感觉。现今的“热”字虽然和这一符号不同,但也离不开它下面那四点所代表的火字。

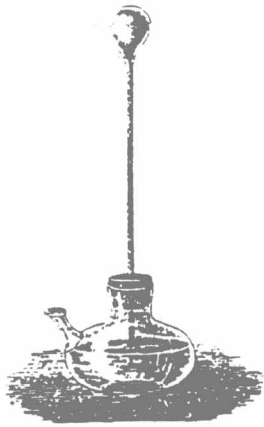
对冷热的客观本质以及有关现象的定量研究约起自300年前。先是人们建立了温度的概念,用它来表示物体的冷热程度。伽利略就曾制造了一种“验温器”(如下页图)。他用一根长玻璃管,上端和一玻璃泡连通,下端开口,插在一个盛有带颜色的水的玻璃容器内,他根据管内水面的高度来判断其周围的“热度”。他的玻璃管上没有刻度,因此



还不能定量地测定温度。此后,人们不断设计制造了比较完善的能定量测定温度的温度计,并建立了几种温标。今天仍普遍使用的摄氏温标就是1742年瑞典天文学家摄尔修斯(A. Celsius)建立的。

温度概念建立之后,人们就探讨物体的温度为什么会有高低的不同。最初人们把这种不同归因于物体内含的一种假想的无重量的“热质”的多少。利用这种热质的守恒规律曾定量地说明了许多有关热传递、热平衡的现象,甚至热机工作的一些规律。18世纪末伦

福特伯爵(Count Rumford)通过观察大炮膛孔工作中热的不断产生,否定了热质说,明确指出热是“运动”。这一概念随后就被迈耶(R. J. Mayer)通过计算



和焦耳(J. P. Joule)通过实验得出的热功当量加以定量地确认了。此后,经过亥姆霍兹(Hermann von Helmholtz)、克劳修斯(R. Clausius)、开尔文(Kelvin, William Thomson, Lord)等人的努力,逐步精确地建立了热量是能量传递的一种量度的概念,并根据大量实验事实总结出了关于热现象的宏观理论——热力学。热力学的主要内容是两条基本定律——热力学第一定律和热力学第二定律。这些定律都具有高度的普遍性和可靠性,但由于它们不涉及物质的内部具体结构,所以显得不够深刻。

对热现象研究的另一途径是从物质的微观结构出发,以每个微观粒子遵循的力学定律为基础,利用统计规律来导出宏观的热学规律。这样形成的理论称为统计物理或统计力学。统计力学

是从19世纪中叶麦克斯韦(J. C. Maxwell)等对气体动理论的研究开始,后经玻耳兹曼(L. Boltzmann)、吉布斯(J. W. Gibbs)等人在经典力学的基础上发展为系统的经典统计力学。20世纪初,建立了量子力学。在量子力学的基础上,狄拉克(P. A. M. Dirac)、费米(E. Fermi)、玻色(S. Bose)、爱因斯坦等人又创立了量子统计力学。由于统计力学是从物质的微观结构出发的,所以更深刻地揭露了热现象以及热力学定律的本质。这不但使人们对自然界的认识深入了一大步,而且由于了解了物质的宏观性质和微观因素的关系,也使得人们在实践中,例如在控制材料的性能以及制取新材料的研究方面,大大提高了自觉性。因此,统计力学在近代物理各个领域都起着很重要的作用。

在本篇热学中,我们将介绍统计物理的基本概念和气体动理论的基本内容以及热力学的基本定律,并尽可能相互补充地加以讲解。