

高等物理

周永平 卢民强

洪 谊 马文蔚

江苏科学技术出版社

内 容 提 要

本书以量子力学和统计物理为重点,经典力学和经典电磁场为预备篇,固体物理为延续篇。篇末附有有关数学附录。每章均有小结和习题。书中还列出了所用物理量的符号,外国人名索引及习题答案。内容重点突出,结构简明紧凑。本书可作为高等院校理工科高年级学生或研究生物理选修课的教学参考书、师范院校、电视大学学习参考书,也可供工程技术人员自学之用。

高 等 物 理

周永平 卢民强

洪 谊 马文蔚

出版:江苏科学技术出版社

发行:江苏省新华书店

印刷:江苏新华印刷厂

开本 850×1168毫米 1/32 印张 25.375 字数 621,000

1986年5月第1版 1986年5月第1次印刷

印数 1—3,000册

书号:13196·210

定价:5.70元

责任编辑 王永发

前 言

近代科学技术的发展,使得各门学科间相互渗透,物理学和化学、生物学、电子学、能源科学以及材料科学等相互联系得更加紧密,不少专业迫切要求为大学生或研究生开设一些内容比较简明,课时比较少的量子力学和统计物理基础方面的选修课。有些早期大学毕业,现从事工程技术工作的同志,也希望补学这方面的知识。而现行理工科非物理系教学大纲中,一般只把普通物理作为必修课,这就很不适应科学技术发展的需要。为此,我们编写了这本《高等物理》。它可作为高等理工院校非物理专业高年级学生或研究生选修课的教学参考书、师范院校学生学习理论物理的参考书,也可供工程技术人员自学之用。要求读者具备普通物理和高等数学知识。

基于上述目的,本书在编写过程中着重考虑以下几点:

1. 本书以量子力学和统计物理为重点,适当照顾其它领域。为此,本书在内容的取舍上力求突出重点,在结构形式上力求简明紧凑。本书重点为第二篇(量子力学)和第三篇(统计物理学),第一篇(经典力学基础、经典电磁场基础和狭义相对论基础)及第四篇(固体物理学基础)作为第二、三篇的预备篇和延续篇,彼此相呼应。

2. 每篇自成体系,相对独立。章末有小结和习题,便于组织教学和自学。供选学的章节,则以*号注明。

3. 在内容安排上,采取由浅入深,循序渐进的方法,并在普

通物理的基础上逐步深入。

4. 为便于读者查阅,扉页印有主要物理量的符号及主要常数,篇末附有有关的数学知识,书末附有外文人名索引及习题答案。

本书在编写过程中曾得到许多同事的支持和帮助,对此谨致衷心感谢。由于我们水平有限,书中还有不少缺点和错误,衷心期望批评指正。

编 者

1983.8

主 要 常 数

万有引力常数	G	$6.670 \times 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$
真空介电系数	ϵ_0	$8.8544 \times 10^{-12} \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{C}^2$
真空磁导率	μ_0	$1.3566 \times 10^{-6} \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{C}^{-2}$
库仑常数	k	$8.9874 \times 10^9 \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{C}^{-2}$
磁常数	k_m	$1.0000 \times 10^{-7} \text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{C}^{-2}$
理想气体正常体积	V_0	$2.2414 \times 10^{-2} \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
气体普适常数	R	$8.3143 \text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
玻耳兹曼常数	k	$1.3805 \times 10^{-23} \text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
阿伏伽德罗数	N_0	$6.0225 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$
真空中的光速	c	$2.9979 \times 10^8 \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
电子电量	e	$1.6021 \times 10^{-19} \text{C}$
电子的静质量	m_e	$9.1091 \times 10^{-31} \text{kg}$
质子的静质量	m_p	$1.6725 \times 10^{-27} \text{kg}$
中子的静质量	m_n	$1.6748 \times 10^{-27} \text{kg}$
电子的荷质比	e/m_e	$1.7588 \times 10^{11} \text{kg}^{-1} \cdot \text{C}$
普朗克常数	h	$6.6256 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$
	$\hbar = h/2\pi$	$1.0545 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$
第一玻尔半径	a_0	$5.2917 \times 10^{-11} \text{m}$
康普顿波长(电子的)	λ_c	$2.4262 \times 10^{-12} \text{m}$
里德伯常数	R_H	$1.0974 \times 10^7 \text{m}^{-1}$
玻尔磁子	μ_B	$9.2732 \times 10^{-24} \text{J} \cdot \text{T}^{-1}$
质能转换因子	$1\text{u} = \left(\frac{1}{12}\right) {}_6^{12}\text{C}$	$931.478 \text{MeV}/c^2$
氢原子质量	m_H	$1.67343 \times 10^{-27} \text{kg} = 1.007825\text{u}$

主 要 符 号

位置矢量	r	电流强度	I
速度	v	电流密度	j
加速度	a	电荷体密度	ρ
角速率	ω	库仑常数	$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$
质量	m, M	真空介电系数	ϵ_0
折合质量	μ	磁常数	$K_m = \frac{\mu_0}{4\pi}$
力	F, f	真空磁导率	μ_0
动量	p	介质的极化率	λ
力矩	M	电极化强度	P
倔强系数	k	电子电量	e
功	A, W	电子质量	m_e, m
动能	T, E_k	真空中的光速	c
势能、势函数	V, u	频率	ν
能量	E, e	角频率	ω
角动量	L	波长	λ
拉格朗日函数	L	波矢	k
哈密顿函数	H	波数	$1/\lambda$
广义动量	p, P	电磁场能流密度	
广义坐标	q, Q	（玻印廷矢量）	S
广义力	F_λ	电磁场能量密度	U_{em}
转动惯量	I	电磁场动量密度	g
万有引力常数	G	磁矩	μ
重力加速度	g	玻尔磁子	μ_B
电场强度	E	质子质量	m_p
电位移	D		
磁场强度	H		
磁感强度	B		

iV

中子质量	m_n
氢原子质量	m_H
电磁辐射能量	dU
辐射能量密度	$\rho(\nu, T), \rho(\omega)$
平均能量	$\overline{E, \varepsilon}$
能级	E_n, ε
电子逸出功	W_0
原子序数	Z
第一玻尔半径	a_0
里德伯常数	R_H
普朗克常数	$h, \hbar$
康普顿波长	λ_c
波函数	Ψ, ψ
几率	P
几率密度	ρ
几率流密度	J
透射(或贯穿)系数	D
力学量算符	$\hat{F}$
自旋波函数	X_{m_s}
主量子数	n
角量子数	l
磁量子数	m_l
自旋量子数	s
自旋磁量子数	m_s
转动量子数	j
电子浓度	n_e
空穴浓度	n_h
费密能级	E_F
费密分布函数	$f(E)$
电导率	σ
压力(压强)	p

面积	S
体积	V
温度	T, θ
热量	Q'
内能	U
焓	H
定容摩尔热容量	C_v
定压摩尔热容量	C_p
比热容比	γ
熵	S
自由能	F
吉布斯函数(势力势)	G
热力学几率	W
配分函数	Z
平均自由程	$\bar{\lambda}$
碰撞次数	Z
分子直径	σ
平均速率	$\bar{v}$
最可几速率	v_p
方均根速率	$\sqrt{\overline{v^2}}$
相对速度	v_r
内摩擦系数	η
导热系数	k
扩散系数	D
分子数密度	n
气体密度	ρ
摩尔分子数(阿伏伽德罗数)	N_0
气体普适常数	R
玻耳兹曼常数	k

相体积	Γ, τ	统计权重(简并度)	g
速度分布函数	$f(v)$	粒子数	N
速率分布函数	$f(v)$	热机效率	η

部分单位换算

$$\begin{aligned}
 1 \text{ \AA} &= 10^{-4} \mu = 10^{-10} \text{ m} \\
 1 \text{ 光年} &= 9.46 \times 10^{16} \text{ m} \\
 1 \text{ rad} &= 57.3^\circ \\
 1 \text{ u} &= 1.6606 \times 10^{-27} \text{ kg} \\
 1 \text{ T} &= 10^4 \text{ G} \\
 1 \text{ Wb} &= 10^8 \text{ M} \\
 1 \text{ eV} &= 1.602189 \times 10^{-19} \text{ J} \\
 1 \text{ J} &= 6.241461 \times 10^{18} \text{ eV} \\
 1 \text{ atm} &= 1.013 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{m}^{-2}
 \end{aligned}$$

目 录

前言	i
主要常数	iii
主要符号	iV
部分单位换算	Vi

第一篇 经典物理学与狭义相对论基础 1

第一章 经典力学 1

1-1 牛顿方程	1
1-2 拉格朗日方程	20
1-3 哈密顿方程	28
1-4 线性谐振子	37
1-5 刚性转子	43
1-6 开普勒问题	51
1-7 卢瑟福问题	57
本章小结	62
习题	62

第二章 经典电磁场 65

2-1 麦克斯韦方程	65
2-2 电磁场的能量	82
2-3 电磁场的波动性	85
2-4 稳定场	93
2-5 辐射问题	106
2-6 介质的电磁性质	117
本章小结	127

习题	127
第三章 狭义相对论	129
3-1 爱因斯坦假设	129
3-2 时空理论与运动学	139
3-3 相对论力学	149
本章小结	161
习题	162
附录一 矢量分析	164
附录二 δ 函数	170
附录三 变分法	172

第二篇 量子力学176

第一章 经典物理学的困难与量子论的兴起178

1-1 经典物理学的困难	178
1-2 普朗克能量子假设	187
1-3 爱因斯坦光子假设	190
1-4 玻尔原子理论	192
1-5 量子现象的普遍性	205
本章小结	219
习题	220

第二章 微观粒子状态的描述222

2-1 微观粒子的波粒二象性	222
2-2 不确定原理	238
2-3 波函数	243
2-4 态叠加原理	251
2-5 表象的初步概念	256
本章小结	261
习题	261

第三章 力学量的平均值与算符表示264

3-1 力学量的平均值(或称期待值)	264
3-2 常见的力学量算符	273
3-3 算符的运算规则及力学量算符的基本性质	278
3-4 算符的本征值和本征函数	283
本章小结	292
习题	293
 第四章 薛定谔方程	 294
4-1 薛定谔方程的建立	294
4-2 定态薛定谔方程	298
4-3 金属中的自由电子	300
4-4 隧道效应	315
4-5 线性谐振子	322
4-6 几率流密度与粒子数守恒定律	330
4-7 力学量平均值随时间的变化	334
4-8 量子力学的运动积分与守恒定律	338
4-9 宇称的概念	341
4-10 厄任费斯脱定理——“量子牛顿方程式”	343
本章小结	347
习题	348
 第五章 氢原子	 350
5-1 氢原子的定态薛定谔方程	350
5-2 方位角函数 $\Phi(\varphi)$ 及空间量子化	354
5-3 天顶角函数 $\Theta(\theta)$ 及角动量量子化	357
5-4 径向函数 $R(r)$ 及能量量子化	362
5-5 氢原子的定态波函数	363
5-6 电子的几率分布与氢原子中的电流	365
5-7 正常塞曼效应与空间量子化	375
5-8 电子自旋	378
5-9 泡利不相容原理与原子的壳层结构	388
本章小结	394
习题	395

***第六章 近似方法**.....397

6-1 定态微扰论397

6-2 变分法410

6-3 经典近似法417

本章小结.....424

习题.....425

附录一 量子力学态叠加原理的一维形式427

附录二 箱归一化429

附录三 角动量算符的球坐标形式432

附录四 角动量平方算符的球坐标形式434

附录五 动能算符的球坐标形式.....435

附录六 一维线性谐振子能量本征值方程的解436

第三篇 统计物理学441

第一章 热力学.....444

1-1 热力学过程 状态方程 状态函数444

1-2 热力学第一定律447

1-3 可逆过程与不可逆过程451

1-4 焓453

1-5 绝热过程 自由膨胀455

1-6 热力学第二定律 卡诺循环457

1-7 熵 熵增加定理.....465

1-8 理想气体的熵469

1-9 自由能 热力学势 麦克斯韦关系式471

本章小结.....478

习题.....479

第二章 气体分子运动论483

2-1 理想气体483

2-2 麦克斯韦气体分子速率分布定律484

2-3	理想气体压强方程 分子通量	493
2-4	小孔泻流	496
2-5	平均碰撞次数和平均自由程	500
2-6	分子自由程分布	504
2-7	输运过程概述	508
2-8	气体内摩擦	510
2-9	气体热传导	516
2-10	气体扩散	519
	本章小结	521
	习题	522
第三章 玻耳兹曼统计		525
3-1	μ 相空间 微观粒子状态的描述	525
3-2	非全同粒子的微观分布 等几率原理	532
3-3	玻耳兹曼分布	535
3-4	任意一种分布与最大几率分布之间的关系	543
3-5	熵与几率	546
3-6	热力学函数的统计表述	548
3-7	理想气体的热力学函数	552
3-8	麦克斯韦气体分子速率分布律	554
3-9	能量均分定理	556
3-10	单原子晶体的热容量	561
3-11	热辐射的瑞利-金斯定律	563
	本章小结	567
	习题	569
第四章 早期量子统计		571
4-1	平动粒子的配分函数	571
4-2	线性谐振子的配分函数	573
4-3	转子的配分函数	575
4-4	双原子分子气体的热容量	578
4-5	晶体热容量的爱因斯坦理论	582
4-6	在连续介质中的振动	586

4-7 固体热容量的德拜理论	594
4-8 黑体辐射的普朗克公式	598
本章小结	602
习题	602
第五章 玻色统计和费密统计	604
5-1 粒子全同性对统计分布的影响	604
5-2 费密-狄喇克统计和玻色-爱因斯坦统计	607
5-3 金属中自由电子对热容量的贡献	612
5-4 电子逸出功与金属接触电势差	623
5-5 辐射场的光子气体	628
5-6 从量子统计过渡为经典统计	630
本章小结	633
习题	633
*第六章 吉布斯统计	635
6-1 Γ 相空间 系统微观状态的统计描述	635
6-2 微正则分布	641
6-3 吉布斯正则分布	642
6-4 关于吉布斯正则分布几率的讨论	648
6-5 吉布斯正则分布的热力学公式	650
6-6 理想气体的配分函数和热力学函数	654
6-7 理想气体混合时熵的变化	657
6-8 力场中玻耳兹曼公式 气压公式	659
6-9 吉布斯正则分布的能量涨落	665
6-10 熵的统计解释 熵增加定理	668
6-11 实际气体的状态方程	671
6-12 粒子数可变系统的吉布斯巨正则分布	677
6-13 从巨正则分布导出费密-狄喇克分布和玻色-爱因斯坦分布	687
本章小结	690
习题	693
附录一 几率	695
附录二 排列与组合	703

附录三	斯特林近似公式	710
附录四	重要积分公式	711
附录五	误差函数	714
附录六	积分 $\int \cdots \int dp_1 dp_2 \cdots dp_{3N}$ 的计算	714

第四篇 固体物理学基础

第一章 晶体的几何描述和结合形式

1-1	晶格	718
1-2	晶体中的缺陷	721
1-3	晶体的基本结合形式	723
1-4	结合能	726
本章小结		728
习题		728

第二章 晶格动力学

2-1	一维同类原子(纵)振动	729
2-2	一维双类原子(纵)振动	733
2-3	晶格振动的量子理论	737
本章小结		741
习题		742

第三章 能带理论

3-1	单电子近似	744
3-2	一维方阱周期势场模型	745
3-3	能带理论基本概念	750
3-4	电子的有效质量	752
3-5	导体、绝缘体及半导体的能带	754
本章小结		757
习题		758

第四章 固体物理若干课题简介.....	759
4-1 晶体中的电导	759
4-2 半导体的能带特点及导电性能	761
4-3 半导体中电子与空穴的统计分布	765
4-4 固体的受激发射	769
4-5 固体物理中的元激发概念	773
本篇结语.....	779
后语	780
外国人名索引	782
习题答案	787

第一篇 经典物理学与狭义相对论基础

第一章 经典力学

1-1 牛顿方程

牛顿于十七世纪在前人工作的基础上提出了质点(或粒子)^①运动的三条定律与万有引力定律,这是科学史上第一次伟大的理论飞跃.这一理论被人们广泛用来说明各种物理现象,取得了巨大的成功.直到将其应用于高速运动领域与原子尺度的微观领域,才发现它的适用范围是受到限制的.不过,在它的适用范围内却是相当精确的理论.

我们已在普通物理课程中获得了牛顿力学的基础知识,因此本节从简要复习开始叙述.

一、参照系与坐标系

物质运动是与空间、时间分不开的,为了描述一个物体或一个质点的运动,必须确定其在每一时刻空间的位置.显然,在每一时刻,只有质点相对于某些用作标准的物体的相对位置才有确切的意义.这里所指的“某些用作标准的物体”,连同固定在此物体上用来指示每一时刻的时钟一起称为参照系.那些“标准物体”的选择视具体问题而定,例如人造地球卫星的位置是相对于地球来确

^① 本章对质点与粒子这两个概念不加区分. 当一个物体的几何尺度很小,或者比它所活动的区域及周围其它物体小得多时,可以将它看作为质点.