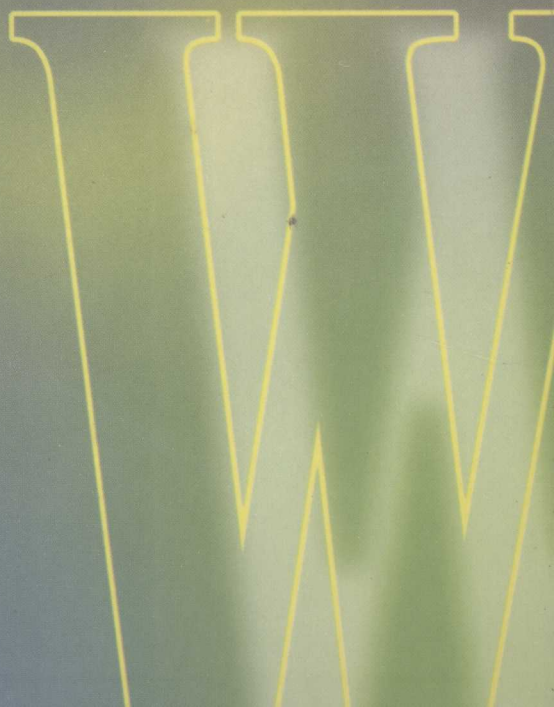


高等学校教材

主 编 罗圆圆

大学物理

(下 册)



江西高校出版社

0443
2

高等学校教材

P

大学物理

(下 册)

主 编 罗圆圆
副主编 刘三秋
陆俊发
张流生
主 审 余守宪

江西 高 校 出 版 社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/罗圆圆主编. —南昌:江西高校出版社, 1999.8

ISBN 7-81033-804-8

I. 大… II. 罗… III. 物理学-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999) 第 37595 号

江西高校出版社出版发行

(江西省南昌市洪都北大道 96 号)

邮编:330046 电话:(0791)8512093, 8504319

江西恒达科贸有限公司照排部照排

南昌市光华印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

2000 年 12 月第 3 版 2001 年 9 月第 6 次印刷

850mm × 1168mm 1/32 14.25 印张 370 千字

印数:19601 ~ 20400 册

定价:18.00 元

(江西高校版图书如有印刷、装订错误,请随时向承印厂调换)

内 容 简 介

《大学物理》是根据国家教育部颁布的“高等工业学校物理课程教学基本要求”，吸取了国内外同类教材的优点，在总结编者长期教学经验的基础上编写的。全书分上、下两册。上册包括力学、狭义相对论力学基础、电磁学；下册包括气体动理论、热力学基础、机械振动和电磁振荡、机械波基础、波动光学、量子力学基础。本教材的学习指导书另册出版。

本书可作高等工业院校各专业的大学物理课程教材，也可作综合性大学和高等师范院校非物理类专业、各类成人高校、职工大学物理课程的教材或教学参考书。

前 言

物理学是研究物质的基本结构、相互作用和物质最基本最普遍的运动形式及其相互转化规律的学科。物理学研究的对象具有极大的普遍性,研究的内容极其广泛,它是自然科学中最具有活力的带头学科,是整个自然科学和工程技术的基础,也是高新技术发展的源泉和先导。

随着科学技术的发展,不同学科间相互渗透和融合的趋势日益明显,科学技术正在更高层次走向综合化和整体化。近代物理学的概念、研究方法和实验技术在许多自然科学领域和工程技术中得到了广泛的应用,促使不断出现新型的交叉学科,形成了一系列高新技术部门,迅速地影响着人类对自然的基本认识和人类的社会生活。因此,物理学,特别是近代物理学,是各类人才所必须具备的基础知识。

为了适应 21 世纪知识经济和科学技术的飞速发展,要求培养面向 21 世纪的高级科技人才应具备基础扎实、知识面宽、能力强、素质高的特点,所以教学和教材内容的更新势在必行。

在江西省教委的帮助和支持下,南昌大学、江西师范大学、南昌航空工业学院、华东交通大学、南方冶金学院、华东地质学院、景德镇陶瓷学院的部分教师根据国家教育部(原国家教委)颁发的“高等工业学校物理课程教学基本要求”精神编写本教材。在编写过程中,吸取了国内外同类教材的优点,综合了各校部分教师的先进教学经验,从现代科学技术的发展和 21 世纪科技人才培养的总体要求出发,对传统的教学内容进行了精心取舍,并在教学内容体系的更新方面作了探索。

为此,我们力求基本概念、基本规律突出,物理图象清晰,便于教,便于学,有利于学生打下扎实的物理基础。并用现代观点审视和取舍传统的教学内容,例如力学部分不以牛顿运动三定律为核心来展开,而是以动量、能量和角动量三个守恒定律为核心来展

开,认为在描写物质的运动和相互作用时,动量、能量的概念要比力的概念基本得多.这与传统的教材有较大的不同.还着重增加了近代物理的内容,除狭义相对论提前安排外,特别增加了量子力学基础的内容,力求把近代科学技术的成就(如非线性光学、核磁共振等)与教材有机地融为一体.注意了联系实际、联系工程实际、生活实际、突出物理思想和方法,使之利于扩大学生知识面,开阔视野,激发创新精神,培养和提高学生的科学素质和能力.为适应计算机广泛应用的要求,编写了计算物理学简介.

本书对例题和习题进行了精选,并注意了题型多样化,以及对插图的更新,使之更能与教材内容配合.全书统一采用国际单位制(SI).

本教材分上、下两册出版.上册内容为力学、狭义相对论力学基础、电磁学;下册内容为气体动理论、热力学基础、机械振动和电磁振荡、机械波基础、波动光学、量子力学基础.

为了便于教师灵活掌握,我们将教材中某些内容分别打上*号或排成小字,以适应不同的具体要求,教材的要求和学习指导将另册出版.

全书由罗圆圆主编,上册副主编有吴评、罗自树、骆成洪、黄世益,下册副主编有刘三秋、陆俊发、张流生(以姓氏笔划为序).具体分工为第一、二、三、四章:罗自树;第五章:杨同生、罗自树;计算物理学简介:张流生;第六章:刘三秋、骆成洪;第七章:吴评;第八章:彭庶修、罗圆圆;第九、十、十一、十二章:黄世益、陈早生;第十三、十四章:张流生;第十五、十六章:罗圆圆;第十七章:陆俊发、饶瑞昌;第十八章:刘三秋.参加编写的还有刘笑兰等.

本书由北方交通大学教授余守宪先生主审,并曾为本书的初稿提出了很好的修改意见.我们还得到了各参编学校的支持和帮助.在此一并致谢.

由于编者的水平有限,以及本书的编写和出版比较仓促,肯定存在不少的缺点错误,我们诚恳地希望广大读者批评指正,不胜感激!

编者

1998.8

物理量的名称、符号和单位(SI)一览表

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l, L	米	m
面积	S, A	平方米	m ²
体积, 容积	V	立方米	m ³
时间	t	秒	s
[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$	弧度	rad
立体角	Ω	球面度	sr
角速度	ω	弧度每秒	rad·s ⁻¹
角加速度	β	弧度每二次方秒	rad·s ⁻²
速度	v, u, c	米每秒	m·s ⁻¹
加速度	a	米每二次方秒	m·s ⁻²
周期	T	秒	s
转速	n	每秒	s ⁻¹
频率	ν, f	赫[兹]	Hz(1Hz = 1s ⁻¹)
角频率	ω	弧度每秒	rad·s ⁻¹
波长	λ	米	m
波数	$\sigma, \tilde{\nu}$	每米	m ⁻¹
振幅	A	米	m
质量	m	千克(公斤)	kg
密度	ρ	千克每立方米	kg·m ⁻³
面密度	ρ_s, ρ_A	千克每平方米	kg·m ⁻²
线密度	ρ_l	千克每米	kg·m ⁻¹
动量	P, p	} 千克米每秒	kg·m·s ⁻¹
冲量	I		
动量矩, 角动量	L	千克二次方米每秒	kg·m ² ·s ⁻¹
转动惯量	I, J	千克二次方米	kg·m ²

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
力	F, f	牛顿	N
力矩	M	牛[顿]米	N·m
压力, 压强	p	帕[斯卡]	Pa
相[位]	φ	弧度	rad
功	W, A	焦[耳] 电子伏[特]	J
能[量]	E, W		eV
动能	E_k, T		
势能	E_p, V		
功率	P	瓦[特]	W
热力学温度	$T, \textcircled{H}$	开[尔文]	K
摄氏温度	t, θ	摄氏度	℃
热量	Q	焦[耳]	J
热导率(导热系数)	k, λ	瓦[特]每米开[尔文]	$\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
热容[量]	C	焦[耳]每开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
比热[容]	c	焦[耳]每千克开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
摩尔质量	M	千克每摩尔	$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$
定压摩尔热容	C_p	焦[耳]每摩尔开 [尔文]	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
定体摩尔热容	C_v		
内能	U, E	焦[耳]	J
熵	S	焦[耳]每开[尔文]	$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$
平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m
扩散系数	D	二次方米每秒	$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
电量	Q, q	库[仑]	C
电流	I, i	安[培]	A
电荷密度	ρ	库[仑]每立方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-3}$
电荷面密度	σ	库[仑]每平方米	$\text{C} \cdot \text{m}^{-2}$

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
电荷线密度	λ	库[仑]每米	$\text{C}\cdot\text{m}^{-1}$
电场强度	E	伏[特]每米	$\text{V}\cdot\text{m}^{-1}$
电势	U, V	} 伏[特]	V
电势差, 电压	$U_{12}, U_1 - U_2$		
电动势	$\mathcal{E}$		
电位移	D	库[仑]每平方米	$\text{C}\cdot\text{m}^{-2}$
电位移通量	Ψ, Φ_e	库[仑]	C
电容	C	法[拉]	$\text{F} (1\text{F} = 1\text{C}\cdot\text{V}^{-1})$
电容率(介电常数)	ϵ	法[拉]每米	$\text{F}\cdot\text{m}^{-1}$
相对电容率 (相对介电常数)	ϵ_r	无量纲	
电[偶极]矩	p, p_e	库[仑]米	$\text{C}\cdot\text{m}$
电流密度	j, δ	安[培]每平方米	$\text{A}\cdot\text{m}^{-2}$
磁场强度	H	安[培]每米	$\text{A}\cdot\text{m}^{-1}$
磁感应强度	B	特[斯拉]	$\text{T} (1\text{T} = 1\text{Wb}\cdot\text{m}^{-2})$
磁通量	Φ	韦[伯]	$\text{Wb} (1\text{Wb} = 1\text{V}\cdot\text{s})$
自感	L	} 亨[利]	$\text{H} (1\text{H} = 1\text{Wb}\cdot\text{A}^{-1})$
互感	M		
磁导率	μ	亨[利]每米	$\text{H}\cdot\text{m}^{-1}$
磁矩	m, p_m	安[培]平方米	$\text{A}\cdot\text{m}^2$
电磁能密度	w	焦[耳]每立方米	$\text{J}\cdot\text{m}^{-3}$
坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
[直流]电阻	R	欧[姆]	$\Omega (1\Omega = 1\text{V}\cdot\text{A}^{-1})$
电阻率	ρ	欧[姆]米	$\Omega\cdot\text{m}$
光强	I	瓦[特]每平方米	$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
相对磁导率	μ_r	无量纲	
折射率	n	无量纲	

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
发光强度	I	坎[德拉]	cd
辐[射]出[射]度	M	} 瓦[特]每平方米	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$
辐[射]照度	I		
声强级	L_I	分贝	dB
核的结合能	E_B	焦[耳]	J
半衰期	τ	秒	s

目 录

前言	(1)
物理量的名称、符号和单位(SI)一览表	(1)
第十三章 气体动理论	(1)
§ 13.1 分子运动的基本概念	(2)
§ 13.2 平衡态 理想气体状态方程	(6)
§ 13.3 理想气体的压强公式 温度公式	(12)
§ 13.4 能量按自由度均分原理 理想气体的内能	(19)
§ 13.5 麦克斯韦速率分布定律	(24)
§ 13.6 玻耳兹曼分布律	(31)
§ 13.7 气体分子的平均自由程	(34)
§ 13.8 气体内的输运现象	(37)
§ 13.9 真实气体的范德瓦耳斯方程	(41)
习 题	(44)
第十四章 热力学基础	(49)
§ 14.1 热力学第一定律	(49)
§ 14.2 热力学第一定律对定值过程的应用	(53)
§ 14.3 绝热过程	(60)
§ 14.4 循环过程 卡诺循环	(67)
§ 14.5 热力学第二定律	(77)
§ 14.6 可逆与不可逆过程 卡诺定理	(80)
§ 14.7 热力学第二定律的统计意义 熵的概念	(85)
习 题	(91)

第十五章 机械振动和电磁振荡	(98)
§ 15.1 简谐振动及其特性	(98)
§ 15.2 简谐振动的旋转矢量描述法	(111)
§ 15.3 简谐振动实例	(116)
§ 15.4 简谐振动的能量	(118)
§ 15.5 阻尼振动和受迫振动简介	(123)
§ 15.6 电磁振荡	(130)
§ 15.7 简谐振动合成	(136)
§ 15.8 复杂振动的分解 频谱	(146)
习 题	(149)
第十六章 机械波基础	(156)
§ 16.1 机械波的形成与传播 简谐波的特征	(156)
§ 16.2 平面简谐波的表达式 波动微分方程	(160)
§ 16.3 波的能量和能流	(171)
* § 16.4 声波	(178)
§ 16.5 惠更斯原理	(181)
§ 16.6 波的叠加原理 波的干涉	(184)
§ 16.7 驻波 半波损失	(190)
§ 16.8 多普勒效应	(200)
习 题	(208)
第十七章 波动光学	(218)
§ 17.1 光的电磁理论	(218)
§ 17.2 光源 光波的叠加	(224)
§ 17.3 相干光的获得	(228)
§ 17.4 光程和光程差	(236)
§ 17.5 薄膜干涉	(240)

§ 17.6	迈克尔逊干涉仪	(249)
§ 17.7	惠更斯—菲涅尔原理	(253)
§ 17.8	单缝的夫琅和费衍射	(257)
§ 17.9	衍射光栅和光栅光谱	(266)
§ 17.10	自然光和线偏振光	(275)
§ 17.11	起偏和检偏 马吕斯定律	(276)
§ 17.12	反射和折射时产生的偏振 布儒斯特定律	(279)
§ 17.13	双折射现象	(281)
§ 17.14	椭圆偏振光和圆偏振光	(286)
* § 17.15	偏振光的干涉	(291)
§ 17.16	人为双折射现象	(293)
§ 17.17	旋光现象	(296)
* § 17.18	非线性光学简介	(297)
* § 17.19	全息术	(300)
习 题		(304)

第十八章	量子力学基础	(311)
§ 18.1	经典物理学的严重困难	(311)
§ 18.2	普朗克—爱因斯坦的光量子论	(316)
§ 18.3	原子结构的玻尔理论	(325)
§ 18.4	微粒的波粒二象性	(329)
§ 18.5	波函数的统计诠释	(333)
§ 18.6	薛定谔方程	(343)
§ 18.7	一维定态问题	(347)
§ 18.8	力学量与算符	(363)
§ 18.9	氢原子	(381)
§ 18.10	自旋与全同粒子	(397)
§ 18.11	固体能带结构	(414)

§ 18.12 激光技术	(422)
习 题	(433)
习题参考答案	(438)
.....	8.11.2
.....	8.11.10
.....	8.11.11
.....	8.11.12
.....	8.11.13
.....	8.11.14
.....	8.11.15
.....	8.11.16
.....	8.11.17
.....	8.11.18
.....	8.11.19
.....	8.11.20
.....	8.11.21
.....	8.11.22
.....	8.11.23
.....	8.11.24
.....	8.11.25
.....	8.11.26
.....	8.11.27
.....	8.11.28
.....	8.11.29
.....	8.11.30
.....	8.11.31
.....	8.11.32
.....	8.11.33
.....	8.11.34
.....	8.11.35
.....	8.11.36
.....	8.11.37
.....	8.11.38
.....	8.11.39
.....	8.11.40
.....	8.11.41
.....	8.11.42
.....	8.11.43
.....	8.11.44
.....	8.11.45
.....	8.11.46
.....	8.11.47
.....	8.11.48
.....	8.11.49
.....	8.11.50
.....	8.11.51
.....	8.11.52
.....	8.11.53
.....	8.11.54
.....	8.11.55
.....	8.11.56
.....	8.11.57
.....	8.11.58
.....	8.11.59
.....	8.11.60
.....	8.11.61
.....	8.11.62
.....	8.11.63
.....	8.11.64
.....	8.11.65
.....	8.11.66
.....	8.11.67
.....	8.11.68
.....	8.11.69
.....	8.11.70
.....	8.11.71
.....	8.11.72
.....	8.11.73
.....	8.11.74
.....	8.11.75
.....	8.11.76
.....	8.11.77
.....	8.11.78
.....	8.11.79
.....	8.11.80
.....	8.11.81
.....	8.11.82
.....	8.11.83
.....	8.11.84
.....	8.11.85
.....	8.11.86
.....	8.11.87
.....	8.11.88
.....	8.11.89
.....	8.11.90
.....	8.11.91
.....	8.11.92
.....	8.11.93
.....	8.11.94
.....	8.11.95
.....	8.11.96
.....	8.11.97
.....	8.11.98
.....	8.11.99
.....	8.11.100

第十三章 气体动理论

热学是研究物质热现象和热运动规律及其应用的学科。

在日常生活和生产实践中,常用温度来表示物体的冷热程度.当物体的温度发生变化时,物体的许多性质也将发生变化.例如,物体受热后,温度升高,体积膨胀;水在不同的温度下可处于固态、液态和气态;软的钢件经过淬火(烧热后放入水中或油中迅速冷却),可提高硬度;硬的钢件经过退火(烧热后缓慢降温冷却),可以变软;蒸汽机中,加热的蒸汽膨胀可以对外做功……这些与温度有关的物理性质及状态的变化,称为热现象.研究热现象的理论称为热学.

从微观上看,热现象是组成物体的微观粒子(分子、原子)热运动的结果.宏观物体都是由大量的分子(或原子)组成的.这些分子都在永不停息地做无规则运动,运动剧烈程度与物体的温度有关,因此这种运动称为分子热运动.每一个分子都有它的体积、质量、速度和能量,这些描述个别分子的量称为微观量.用实验直接测定这些微观量是相当困难的,有的甚至是办不到的,一般实验能观察的不是个别分子的微观量,而是大量分子的微观量的某种平均值,它表征大量分子集体的特性.这种表征大量分子集体特性的量称为宏观量.如压强、温度、体积、内能等.就物体内部单个分子来看,由于受到其他分子的复杂作用,其运动的状态瞬息万变,显得杂乱无章,具有很大的偶然性.但在整体上,大量分子热运动却遵循确定的规律,这种规律称统计规律.描写物体的宏观量与描写分子的微观量之间,存在着必然的联系.研究表明,物质的热现象是物质内大量分子热运动的集体表现.正是这种特点,使分子热运

动成为区别于其他运动形式的一种基本运动形式. 因此说, 热学是研究分子热运动规律的学科.

热学从宏观和微观两方面研究热现象, 由于出发点和研究方法不同, 而形成了两种理论: 一种是宏观理论, 称为热力学; 一种是微观理论, 称为统计物理学. 热力学是从能量的观点出发, 根据由观察和实验所总结出来的热力学定律, 用严密的逻辑推理方法, 研究宏观物体的热学性质. 统计物理学则是从物质的微观结构和分子运动论出发, 依据分子运动所遵循的力学规律, 用统计的方法研究宏观物体的热学性质. 热力学理论具有高度的可靠性, 用它可以检验统计物理学理论的正确性; 而统计物理学的理论则可以揭示热力学理论的微观本质. 因此, 这两种理论对热现象的研究是相辅相成的.

热力学的理论, 曾有力地推动过产业革命, 在现代工程技术中也获得了广泛的应用.

气体动理论是研究气体热现象的微观理论, 是统计物理学的一个重要组成部分. 在热学中我们着重讨论气体动理论和热力学.

本章从分子运动的基本概念出发, 运用统计的方法研究气体宏观性质与气体分子热运动之间的关系, 从而阐明气体的压强、温度、热容量、内能等宏观参量的微观本质.

§ 13.1 分子运动的基本概念

本节从物质微观结构出发, 阐明分子运动的一些基本概念.

一 宏观物体是由大量分子(或原子)组成的

自然界中常见的气体、液体、固体等宏观物体都是由大量分子(或原子)组成的. 实验证明, 1 mol 任何物质的分子数均为 $N_0 = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$, N_0 称为阿伏伽德罗常数.

实验表明,组成物体的分子之间存在一定的间隙.气体很容易被压缩,说明气体分子间存在间隙. 50 cm^3 的水和 50 cm^3 的酒精混合后总体积不是 100 cm^3 ,而是 97 cm^3 ,说明液体分子间存在间隙.钢表面可以渗入碳,半导体可以掺入杂质等,说明固体分子间也有间隙.目前用高分辨率的电子显微镜已能观察到某些晶体横截面内原子结构的图像,这使宏观物体由分子、原子组成和分子之间有间隙的概念得到了最有力的证实.

二 物体内的分子在永不停息地作无规则运动

在房间里打开一瓶香水的瓶盖,香味便会传到整个房间,这是气体的扩散现象.装着两种不同气体的瓶子连通后,它们会因扩散而互相掺合,直到两种气体均匀混合,不论两个瓶子的相对位置如何,结果都一样.这说明,气体分子的扩散不是靠外力(例如重力),而是分子无规则运动的结果.在一杯清水中滴进几滴红墨水,不多久,它就会扩散开来,均匀地分布于整杯水中.这是液体的扩散现象.它说明液体的分子也在作无规则的运动.将两种不同的金属如铜块和金块挤压接触,经过较长时间,就会发现,在接触表面上会有微量的金属渗入对方,结果铜中有金,金中有铜.这是固体内的扩散现象.

气体、液体、固体的扩散现象都说明物体内的分子在永不停息地作无规则运动(或称为无序热运动).布朗运动实验是证实分子作无规则运动的著名实验.1827年英国植物学家布朗在显微镜下观察悬浮于水中的花粉时,发现这些花粉不停地作无规则运动;颗粒越小,运动愈剧烈.液体中花粉小微粒的这种杂乱无章的运动,称为布朗运动.布朗运动是由花粉小微粒在液体中受到液体分子碰撞的不平衡力而引起的运动,因此,布朗运动间接证明了液体分子在作永不停息的无规则运动.布朗运动如图13.1.布朗运动的剧烈程度随温度的升高而增大,这反映了分子运动随温度的升高而