

吴泽华 陈治中 黄正东 编著

大学物理

(上册)

(第三版)



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大學出版社

大学物理

(上册)

(第三版)

吴泽华 陈治中 黄正东 编著

浙江大學出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

大学物理. 上册 / 吴泽华等编著. —2 版. —杭州:
浙江大学出版社, 2001. 12
ISBN 7-308-02856-9

I. 大... II. ①吴... III. 物理学—高等学校—教材
IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 085627 号

编 著: 吴泽华 陈治中 黄正东

责任编辑: 孙海荣

出版发行: 浙江大学出版社

(杭州浙大路 38 号 邮政编码 310027)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版: 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷: 浙江省良渚印刷厂

开 本: 850mm×1168mm 1/32

印 张: 17

字 数: 473 千

版 次: 2001 年 12 月第 2 版 2006 年 8 月第 3 版

印 次: 2006 年 8 月第 9 次印刷

印 数: 39001—43000

书 号: ISBN 7-308-02856-9/O·268

定 价: 25.50 元

内容简介

本书是以教育部颁布的《高等工业学校物理课程教学基本要求》为依据编写的。全书共分三册,第一册力学、机械振动和机械波、热学,第二册电磁学,第三册光学、量子物理学。各章均配有思考题和习题。各篇还增加了适量的扩展性内容,编写成阅读材料供教学中选用。

本书可作为高等理工科大学非物理专业教材或参考书,也可供其他类型学校的学生和教师使用或参考。备有本书全部习题题解,供以本书为教材的教师参考,可与编著者联系。

序

物理学最初被称为自然哲学(Natural Philosophy)。还在 17 世纪时,由于生产力的发展制约了人类对自然规律的认识,人类只观察到 Alchemy 或静电场、磁场范畴的一些现象,而未能上升到理性认识;在对天文、天体中行星运动的观察方面,从泰柯(Tycho)、开卜勒(Kepler)、伽利略(Galileo)到牛顿(Newton),他们的研究有所突破,得到了力学和万有引力的基本规律,但对于物质的内部规律仍知之甚微。人类在经过一段时间的努力后,又掌握了电磁波、光波及光谱分析,进入了微观领域,建立了普朗克、爱因斯坦到玻尔的量子论和原子物理。在物理学的发展过程中,人类对太阳系以内的事物有了基本认识,掌握了与生活、生产有关的基本规律,并在第一原理的指导下进一步发展科技、发展已有的原理,达到了今天科技发展的辉煌阶段。

从 20 世纪 20 年代至今,人们一直不停地寻找更基本的原理——基本粒子和宇宙结构。从当前人类所具备的条件来看,生产力的发展远不能满足研究所需要的条件,期望弄清这些对象在近期是很难实现的。由于当前没有解决的问题的研究难度很大,造成两种错误认识:一是认为人类已经无能为力,物理学也已到了尽头;另一是认为实际太复杂,已有的第一原理、基本规律不会有更多的发展,解决问题要么有新的基础性的大发现,要么需要寻找新的数理的演绎法或等待计算机技术的发展。于是在理论与实际之间形成了鸿沟。

事实是:一方面,理论发展本身是建立在实践的基础上的,正是因为事物的复杂性,第一原理才会得到发展;另一方面,理论与实践是统一的,没有实践中的进一步认识就谈不上理论的发展,理论就会变为教条。这是马克思主义发展过程所证明了的道理。古代不可能发

现量子力学,量子力学原理只有在实践中得到发展。今天在材料科学、生物学中的许多问题正是进一步促进物理学发展的基本条件。

因此,科学技术与生产力是有机地相辅相成的,学习物理是为了发展生产力,进一步认识自然,反过来促进生产力,推动新的研究领域(比如天体物理、基本粒子)的发展。而物理学并没有到尽头,它是不断发展中的一个强大的生产力,具有更大的广阔的应用天地。

物理学应当成为理解自然规律和发展生产力的指南,而不是教条。因此学习物理时必须抓住本质,应做到华罗庚先生所说的那样:“书要读薄。”对于十分复杂的实际应用对象而言,还必须深入进去,学习、调查和研究,将基本原理用于解决具体问题,并进一步通过实践得到发展。

应该应用马克思主义辩证唯物主义的学习方法。有了基本知识,有了马克思主义,才能如虎添翼、融会贯通。用这样的方法,才能学好物理,打下深厚的基础,才能联系实际,在认识自然和发展生产力方面发挥更大的作用。

中国科学院院士 程开甲

1997年7月20日

于北京

前 言

物理学是自然科学中的一门基础学科,它不仅与化学、天文学、地学、生物学等其他基础学科和工程技术有着十分密切的关系,并已成为现代文化的一个重要组成部分。为了体现这个时代特征,使读者进一步了解物理学对物质世界的不断揭示和对工程技术进步的深远影响,从而加深对物理学的认识,提高科学素养,我们在编写过程中注意贯彻以下各点:

1. 以国家教委颁布的《高等工业学校物理课程教学基本要求》为依据,结合本校教学实践,内容有所扩展,要求略有提高。并在编写中注意了与中学物理的衔接,在适当提高起点的同时,考虑了学生的可接受性。对教学基本内容着重阐述清楚物理概念和物理规律,尽力体现大学物理教材的科学性、系统性和教学性等原则,逐步使学生建立起清晰的物理图像。

2. 为使大学物理课程的内容现代化贯彻在整个课程的教学,我们在经典物理部分就引进相对论和量子论概念;在动力学部分,强调物质相互作用时动量和能量的概念,由守恒定律出发引入质量、力、势能等概念,因此在内容的编排上与传统的顺序略有不同;部分现代物理的知识、热点和前沿,及其在工程技术上的应用,分别在有关的篇章里作简要介绍,并编写了适量的与学生理解水平相适应的阅读材料,如宇宙膨胀和大爆炸理论、广义相对论简介、混沌现象、孤立波、耗散结构、超导电性、同步辐射及其应用、非线性光学简介、基本粒子等,以拓宽学生的视野,扩大学生的知识面。

3. 本书在阐述基本物理概念和理论的同时,注意将科学思维方法和科学研究方法体现在教材之中,以开拓学生思路,加强素质教育。并在脚注中介绍了一些著名物理学家及诺贝尔物理学奖获得者

的重大贡献和治学精神,以激励学生的学习积极性和探索科学的热情。

本书分上、中、下三册,上册包括力学、机械振动和机械波、热学;中册包括电磁学;下册包括光学、量子物理学。本书内容丰富,涉及面广,但考虑到不同层次教学的要求,加*的或小字排印的章节可以灵活选用,如删去这些部分,全书仍保持应有的系统性和完整性。

全书采用国际单位制(SI),书中用到的物理量的名称、符号和单位列表于书前。

编写者的具体分工是:力学、热学由陈治中编写,机械振动和机械波由黄正东编写,电磁学、光学和量子物理学由吴泽华编写,其中第二十四章由陈凤至编写。徐亚伯、陈凤至、许晶波老师在百忙中为本书编写了部分阅读材料。各篇阅读材料的编写者注明在篇尾。

本书经上海交通大学胡盘新教授主审。

程开甲院士特为本书作序,谨致衷心感谢。

刘元平老师阅读了本书的全部初稿,吴璧如、陈凤至、冷光尧、陆道芳、林玉蟾、施丹华等老师阅读了部分初稿,提出许多宝贵意见,亦表谢意。

限于编者的水平,不妥和错误之处敬请批评指正。

编著者

1997年6月
于浙江大学物理系

物理量名称、符号和单位

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
长度	l	米	m
质量	m	千克	kg
时间	t	秒	s
速度	v, u	米每秒	m/s
加速度	a	米每二次方秒	m/s ²
角	$\theta, \alpha, \beta, \varphi$	弧度	rad
角速度	ω	弧度每秒	rad/s
角加速度	β	弧度每二次方秒	rad/s ²
周期	T	秒	s
转速	n	转每秒	r/s
频率	ν	赫[兹] ^①	Hz
角频率	ω	弧度每秒	rad/s
振幅	A	米	m
波长	λ	米	m
波速	u	米每秒	m/s
波数	k	每米	m ⁻¹
力	F	牛[顿]	N
摩擦系数	μ		
动量	p	千克米每秒	kg·m/s
冲量	I	牛[顿]秒	N·s
功	A	焦[耳]	J
能量	E	焦[耳]	J
动能	E_k	焦[耳]	J
势能	E_p	焦[耳]	J
热量	Q	焦[耳]	J
功率	P	瓦[特]	W
能量密度	w	焦[耳]每立方米	J/m ³
能流密度	I	瓦[特]每平方米	W/m ²

① 去掉方括号后为单位名称的全称，去掉方括号及方括号中的字后为单位名称的简称。

物理量名称	物理量符号	单位名称	单位符号
力矩	M	牛[顿]米	$N \cdot m$
转动惯量	J	千克二次方米	$kg \cdot m^2$
角动量	L	千克二次方米每秒	$kg \cdot m^2/s$
劲度	k	牛[顿]每米	N/m
压强	p	帕[斯卡]	Pa
面积	S	平方米	m^2
体积	V	立方米	m^3
热力学温度	T	开[尔文]	K
摄氏温度	t	摄氏度	$^{\circ}C$
摩尔质量	M	千克每摩[尔]	kg/mol
物质的量	ν	摩[尔]	mol
平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m
平均碰撞频率	\bar{Z}	次每秒	s^{-1}
热导率	κ	瓦[特]每米开[尔文]	$W/(m \cdot K)$
粘度	η	千克每米秒	$kg/(m \cdot s)$
扩散率	D	二次方米每秒	m^2/s
比热	c	焦[耳]每千克开[尔文]	$J/(kg \cdot K)$
摩尔热容	C_m	焦[耳]每摩[尔]开[尔文]	$J/(mol \cdot K)$
定体摩尔热容	$C_{V,m}$	焦[耳]每摩[尔]开[尔文]	$J/(mol \cdot K)$
定压摩尔热容	$C_{p,m}$	焦[耳]每摩[尔]开[尔文]	$J/(mol \cdot K)$
摩尔热容比	γ		
热机效率	η		
致冷系数	e		
嫡	S	焦[耳]每开[尔文]	J/K

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 力 学

第一章 质点运动学	5
§ 1.1 质点 参照系	5
§ 1.2 位置矢量 运动方程 位移	9
§ 1.3 速度	15
§ 1.4 加速度	18
§ 1.5 切向加速度和法向加速度	24
§ 1.6 相对运动	29
思考题	34
习 题	35
第二章 质点动力学	37
§ 2.1 牛顿第一定律	37
§ 2.2 牛顿第二定律和牛顿第三定律	42
§ 2.3 力学相对性原理 非惯性系中的力学定律	62
§ 2.4 动量定理 动量守恒定律	68
§ 2.5 质心运动定律	77
§ 2.6 密舍尔斯基方程 火箭运动	82
§ 2.7 功 质点动能定理	89
§ 2.8 势能	94
§ 2.9 功能原理 机械能守恒定律	100
§ 2.10 碰撞	107
§ 2.11 角动量定理 角动量守恒定律	113
思考题	119
习 题	121
第三章 刚体力学基础 流体力学简介	138
§ 3.1 刚体运动的描述	138

§ 3.2	刚体定轴转动的转动定律	142
§ 3.3	转动惯量	147
§ 3.4	刚体定轴转动的动能定理	157
§ 3.5	定轴转动的角动量定理和角动量守恒定律	164
§ 3.6	刚体的平面运动	172
§ 3.7	陀螺仪的定点运动	182
§ 3.8	流体力学简介	185
	思考题	190
	习 题	191
第四章	狭义相对论基础	202
§ 4.1	经典力学的困难	203
§ 4.2	狭义相对论基本原理 洛仑兹变换	205
§ 4.3	狭义相对论时空观	211
§ 4.4	狭义相对论动力学方程	220
§ 4.5	质量与能量的关系	223
§ 4.6	能量与动量的关系	227
	思考题	228
	习 题	229
阅读材料	1. A 宇宙膨胀和大爆炸理论	232
阅读材料	1. B 一般非惯性系中的质点动力学 柯里奥利力	235
阅读材料	1. C 对称性和守恒定律	239
阅读材料	1. D 刚体平面运动的动能 对质心轴的转动定律	242
阅读材料	1. E 狭义相对论中的时空顺序问题	244
阅读材料	1. F 狭义相对论中的时空图	247
阅读材料	1. G 广义相对论简介	249

第二篇 机械振动和机械波

第五章	机械振动	256
§ 5.1	简谐振动的描述	256
§ 5.2	谐振动的动力学表述	261
§ 5.3	稳定平衡位置附近的运动	269

§ 5.4	阻尼振动	274
§ 5.5	受迫振动 共振	278
§ 5.6	振动的合成	281
* § 5.7	振动的分解 频谱	289
	思考题	293
	习 题	295
第六章	机械波	304
§ 6.1	机械波的形成和传播	304
§ 6.2	平面简谐波的描述	307
§ 6.3	一维波的波动微分方程	315
§ 6.4	波的能量 能流密度	318
§ 6.5	叠加原理 波的干涉	323
§ 6.6	驻波	328
* § 6.7	色散 相速与群速	335
* § 6.8	声波	337
§ 6.9	多普勒效应 激波	341
	思考题	346
	习 题	347
阅读材料 2.A	混沌现象	357
阅读材料 2.B	孤立波 孤立子	364

第三篇 热 学

第七章	气体动理论	372
§ 7.1	热力学系统 平衡态 状态参量	372
§ 7.2	气体动理论的基本假设	374
§ 7.3	理想气体的压强公式	377
§ 7.4	温度与分子平均平动动能的关系 理想气体状态方程	379
§ 7.5	能量均分原理 理想气体的内能	384
§ 7.6	麦克斯韦气体分子速率分布律	389
§ 7.7	等温气压公式 玻尔兹曼分布律	398
§ 7.8	气体分子的平均自由程	403

§ 7.9	气体内的迁移现象	406
§ 7.10	实际气体 范德瓦尔斯方程	413
	思考题	423
	习 题	425
第八章	热力学基础	429
§ 8.1	准静态过程	429
§ 8.2	热力学第一定律	431
§ 8.3	理想气体的等体过程和等压过程	435
§ 8.4	理想气体的等温过程和绝热过程	441
§ 8.5	循环过程	449
§ 8.6	卡诺循环	457
§ 8.7	热力学第二定律	462
§ 8.8	可逆过程和不可逆过程 卡诺定理	466
§ 8.9	熵	469
§ 8.10	热力学第二定律的统计意义	476
	思考题	479
	习 题	482
阅读材料	3. A 卡诺定理的证明	489
阅读材料	3. B 热力学第三定律	491
阅读材料	3. C 能量退化	492
阅读材料	3. D 能源的开发和利用	494
阅读材料	3. E 熵与信息	496
阅读材料	3. F 耗散结构	497
附录 I	基本物理常量	499
附录 II	国际单位制(SI)	500
附录 III	导数 积分 级数	503
附录 IV	矢量	504
附录 V	希腊字母表	507
	习题答案	508

绪 论

一、什么是物理学

宇宙万物，大至日月星辰，小至分子、原子，这些实物都是物质；电场、磁场和引力场，这些场也都是物质。物质是不依赖于人们的意识而客观存在的。

物质与物质之间存在着相互作用，一切物质都处于永恒的运动之中。在自然界中，没有不存在相互作用的物质，也没有不运动的物质。相互作用和运动是物质的固有属性。

研究物质运动规律的学科称为自然科学，物理学是自然科学中的一门基础学科。

物理学所研究的是物质最基本、最普遍的运动形式及其规律。包括机械运动、热运动、电磁运动和微观粒子的运动等。

由于物理学研究的物质运动形式具有极大的普遍性，它们广泛存在于其他高级的、复杂的运动形式之中，因此，物理学是其他自然科学和工程技术的基础。

物理学与生产实践的关系是非常密切的。生产实践对物理学提出许多新的研究课题，而物理学的研究成果反过来又推动了生产技术的飞速发展。17、18世纪，经典力学和热力学理论促进了热机和工业机械制造技术的发展，使人类进入了蒸汽机时代。19世纪，由于电磁理论的建立，发电机、电动机、电报机和无线电应运而生，人类迎来了电气化时代。20世纪以来，相对论和量子力学相继诞生，导致了核能、激光、超导和信息技术的发展。目前，人类社会正孕育着一场新的工业革命。

二、怎样学好物理学

由于物理学是其他自然科学和工程技术的基础，因此，物理学是理工科大学最重要的基础课之一。怎样才能学好物理学呢？其关键是

要牢牢抓住以下两个方面：

第一，掌握物理学的基本概念和基本定律，掌握物理学的研究方法。要达到这一目标，须做好预习、听课、复习三个环节，认真阅读教材和有关的参考书，并通过反复思考，弄清物理机理，建立物理图像，深刻理解、真正弄懂基本概念和基本定律的含义。此外，还要通过对称性的考虑、守恒量的应用、量纲的分析、数量级的估算、极限和特例的讨论、理想模型的建立，以及观察、实验、模拟、抽象、比较、分类、归纳、演绎、统计、分析、综合等方法的应用，掌握物理学的基本研究方法。

第二，培养应用基本概念和基本定律求解具体问题的能力。要达到这一目标，就需要多观察、多研究，把所学的基本理论与生活、生产实践相结合，应用所学理论解决实际问题。作为初步，就需要看例题、做习题。做习题必须在复习并掌握基本概念和基本定律之后进行。在解题过程中，要学习应用各种物理学研究方法。那种抄公式、凑答案、不求甚解的坏习惯，是极其有害的。通常，解题的方法和步骤为：

1. **审题** 分析物理现象，建立物理图像，弄清已知什么、求什么，作出示意图；

2. **列方程** 按题意判断应该用什么定律，并按定律列出方程；

3. **解方程和计算** 先用符号式解出待求量，再代入已知数值，算出结果。同一式中的物理量必须用同一单位制的单位。本书采用国际单位制(SI)。我国的法定单位制就是以国际单位制为基础而制定的。

4. **判断和讨论** 对所得的结果，讨论其物理意义，并从数量级、量纲、极限情况等不同角度判断所得的结果是否正确。

科学研究就是探索未知。探索未知的能力反映了一个人的科学素养。渊博的知识是探索未知能力的基础。没有知识，就谈不上能力。探索未知的能力包括发现新现象、提出新问题、建立新概念、开拓新领域、获得新知识等诸方面的能力。通过物理学的学习，读者应该在获取知识和培养能力两方面都得到收益，并使自己的科学素养有所提高。

第一篇 力 学

力学的研究对象是机械运动。机械运动就是物体之间相对位置随时间的变化,它是物质运动最简单的形式。例如,天体的运行、车辆的行驶、机器的转动、河水的流动等,都是机械运动。

由于机械运动最为直观,生产实践又经常需要力学知识,因此,力学是物理学中发展最早的理论。公元前400多年,我国的墨翟在《墨经》一书中,对力的概念和杠杆原理就已有了明确的阐述。200多年后,希腊的阿基米德(Archimedes)研究了杠杆原理、重心等问题,发现了浮力定律,奠定了静力学的基础。16世纪末,意大利科学家伽利略(G. Galilei)^①应用实验方法确立了落体运动定律、惯性定律和力学相对性原理,他还提出了加速度的概念。伽利略是实验物理和动力学的创始人。稍后,荷兰学者惠更斯(Huygens)建立了物理摆和离心力理论,引入了转动惯量概念。17世纪末,牛顿(I. Newton)总结并发展了前人的研究成果,概括为牛顿运动三定律和万有引力定律,从此奠定了经典力学的基础。但是,当时力学中的一些概念(例如质量、力、动量、能量)还不太明确。

18世纪以后,又经过欧拉(Euler)、达朗贝尔(d'Alembert)、拉格朗日(Lagrange)和哈密尔顿(Hamilton)等人的工作,才使力学成为一门结构严密、系统完整的科学。

^① 伽利略(Galileo Galilei 公元1564—1642年),意大利物理学家和天文学家,实验物理学的创始人。他通过实验和科学推理,提出了惯性定律、力学相对性原理、运动合成原理和单摆等时性等重要的定律和原理;他在比萨斜塔做了自由落体实验,令人信服地证明了所有物体都以同一加速度下落;他自制望远镜,观察天体的运动,支持哥白尼的“日心说”,因此被罗马教会判入狱。他还研究了共振、潮汐、太阳黑子等现象。爱因斯坦称赞说,伽利略的发现和所应用的科学推理方法,是人类思想史上最伟大的成就之一,并标志着物理学的真正开端。