

荣获国家教委优秀教材一等奖

大学物理

(第二次修订本)

下册

吴百诗 主编



西安交通大学出版社

荣获国家教委优秀教材一等奖

大学物理

(第二次修订本)

下 册

主编 吴百诗

修订 李甲科 焦兆焕

西安交通大学出版社

内 容 简 介

《大学物理》(第二次修订本)是以原国家教委颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》为依据,在总结编者长期教学经验并吸收了使用本教材院校意见、建议的基础上修订再版的。全书分上、下两册,上册包括力学、电磁学;下册包括热力学、气体动理论、机械波、波动光学基础、狭义相对论基础、量子物理基础、激光和固体能带结构等。

本书可作为大学工科各专业的大学物理教材,也可作综合大学和高等师范院校非物理专业及各类成人教育物理课程的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理.下册/吴百诗主编.——第二次修订本.——西安:
西安交通大学出版社,2004.8
ISBN 7-5605-1830-3

I. 大... II. 吴... III. 物理学-高等学校-教材
IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 017931 号

书 名	大学物理(第二次修订本)下册
主 编	吴百诗
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路 25 号(邮编:710049)
电 话	(029)82668357 82667874(发行部) (029)82668315 82669096(总编办)
印 刷	西安万花印务有限责任公司
字 数	400 千字
开 本	880mm×1230mm 1/32
彩 页	1
印 张	13.75
版 次	2004 年 8 月第 1 版 2004 年 8 月第 1 次印刷
印 数	0001~6000
书 号	ISBN 7-5605-1830-3/O·207
定 价	18.40 元

版权所有 侵权必究

序^{*}

物理学研究的是物质的基本结构及物质运动的普遍规律,它是一门严格的、精密的基础科学。物理学的新发现,它所产生的新概念及新理论常常发展为新的学科或学科分支。它的基本概念、基本理论与实验方法向其他学科或技术领域的渗透总是毫无例外地促成该学科或技术领域发生革命性的变化,或里程碑式的进步。历史上几次重要的技术革命都是以物理学的进步为先导的。例如,电磁学的产生与发展导致了电力技术与无线电技术的诞生,形成了电力与电子工业;放射性的发现导致原子核科学的诞生与核能的应用,使人类进入了原子能时代;固体物理的发展导致晶体管与集成电路的问世,进而形成了强大的微电子工业与计算机产业;激光器的出现导致光纤通讯与光盘存储等一系列光电子技术与产业的诞生。微电子、光电子、计算机以及与之相匹配的软件正在使人类进入信息社会。

当今科学技术的发展以学科互相渗透交叉与综合为特征,这一特征在下一世纪将变得更为突出。物理学与技术科学的关系如此密切,以致工科大学生们物理基础的厚薄往往影响他们出校后工作的适应能力和发展的后劲。今天在校的工科大学生将成长为 21 世纪科学技术的生力军,投身祖国科技现代化与经济腾飞,学好物理课程更显得十分重要。

吴百诗教授主编的两卷本《大学物理》涵盖了工科大学生应当掌握的物理学各个部分。它是按国家教委颁布的工科“物理课程教学基本要

* 本序为侯洵院士为本书(修订本)所作。

求”，在多年教学实践的基础上，结合物理学的新进展编撰的，因而既全面系统又简明扼要地反映了物理学的主要进展。它不仅适合作工科大学生的物理教材，也适用于有志更新或强化自己物理知识的工程技术人员。研读本书读者不仅会学到比较全面系统的物理知识，还将在思维方法与研究方法上受到训练与启迪。本书的出版无疑是对我国大学工科教育的一大贡献，特为之序。

中国科学院院士 侯洵
西安光机所所长

1994年12月

第二次修订说明

本书(修订本)自出版以来,已经全国几十所兄弟院校先后使用,荣获了国家教委优秀教材一等奖,累计印数达 10 万多套,受到广大师生的普遍好评。在此期间,编者曾广泛听取了使用院校的意见,他们认为本书内容取材适当,重视物理基础,重视能力的培养,教师好教、学生好学,较好地体现了国家教育部工科物理课程教学指导委员会所颁布的物理学教学基本要求。同时,他们也提出了许多宝贵的意见和建议。这次修订就是在充分吸取了这些意见和建议的基础上进行的。

本次修订,还考虑到近年来大多数院校物理学课程学时紧缩,招生的实际情况,以及教学要求的变化。我们在上一版框架的基础上删除了一些原来带“*”号的内容和例题、习题,以及内容过于专门的附录和专题等。修订后的教材,适合 90~110 学时的教学使用。我们相信,经过这次修订后,本书将能更好地适应我国目前工科大学物理课程的教学实际。

编者

2004 年 1 月

第一次修订前言

本书自 1990 年出版以来,已有 30 多所院校使用过几届,总印数已达 3 万余册,反映较好。师生们普遍认为:(1)内容取材符合工科物理课程教学基本要求,符合当前我国工科大多数学校教学实际,便于教和学;(2)习题与教材内容配合较好,难易得当,数量适宜。师生们也对本书提出了一些有益的改进和建设性意见。考虑到这些意见,并根据 1993 年修订过的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》进行了修订。修订的主要点有:

一、为反映工科物理教材的特点,适当地加强了应用性例题和习题,特别是注意了对求解这类题的思路分析和引导。

二、为使读者掌握和了解各类题型的解题方法,开阔分析和解决问题的思路,每章习题的第 1、2 题分别采用选择及填空题型。编者认为,为使教师能从批改作业中更多地了解学生学习情况,以利提高教学质量,大量的习题还应是以分析、计算为主的原有题型,因此原有习题除少量进行更新、调整外,未作大的变动。

三、按 1993 年修订过的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》,这次修订时,删去了原 18 章及原阅读材料,增写了现代工程技术物理基础专题,内容有两类:一类是联系工科专业常用的物理基础知识,如伯努利方程、液体的表面现象、几何光学基础(用矩阵法讲述)、多光束干涉——法布里-珀罗干涉仪等;另一类是与工科专业有关的科学技术新理论、新知识,如超导电现象、原子核和粒子物理简介、混沌等。这类现代工程技术物理基础专题内容的选择,尚待在实践中逐步完善和调整。

四、修改了原书上已发现的错误和不当之处,改善了插图的质量。

五、由于部分编者的工作有变动等原因,部分章节负责修订工作的不再是原编者,其中负责修订第5章的是吴百诗;第11、16章的是李甲科;第12、15章的是焦兆焕。负责编写和修订现代工程技术物理基础专题的有吴百诗、周瑞云、李锦泉等。此外,陈西联同志设计并绘制了正文和部分习题的插图。

吴百诗

1994年6月于西安交通大学

初版前言

本书是根据国家教委 1987 年颁布的《高等工业学校大学物理课程教学基本要求》(简称《基本要求》)编写的。大学物理是一门重要的基础理论课,根据课程的性质,书中着重阐述基本概念、基本知识及运用它们分析一般问题的思路和方法。

本书编写过程中特别注意内容的精选,并使之大体上和《基本要求》所提 130~140 参考学时范围相符,以利教学。为此,我们采取的措施有:

(1) 内容的选用较严格地按基本要求取舍。对《基本要求》中规定的掌握、理解和了解三级要求作了认真的研究和处理:对要求掌握的内容,力求做到问题的来龙去脉交代清楚,论证严密清晰,使读者学后能较熟练地应用,例如对力学中功和能的处理;对要求理解的内容,则尽量做到结论交代准确清楚,讲清分析问题的思路和方法,例如对高斯定理的处理;对要求了解的内容,则只作一般性介绍,着重物理概念,少作数学推导,着重定性分析,少作定量计算,讲些简单的应用也是着眼于帮助读者了解,例如对电介质和磁介质的处理。

(2) 考虑到工科的特点并吸收了一些教师的意见,在按基本要求选取内容的基础上也增加了少数内容,如质心、转动惯量的平行轴定理、垂直振动的合成等,对这些内容只作简要介绍。

(3) 尽量避免和中学物理内容简单重复,中学物理学习中应该掌握的内容,本书中一般不再重复论述;与此同时,书中注意充分利用中学物理基础知识,并按需要给予总结、提高,例如对力学中的碰撞、电磁学中导体的静电平衡问题就是这样处理的。

(4) 作为自选内容,书中编写了热辐射、原子核物理基础及椭圆和圆偏振光、偏振光的干涉。据了解,前两部分内容的取舍是在制订基本要求过程中各方面看法分歧最多的。考虑到这一原因,我们把这两部分编入自选内容,以资扩大书的适应性。

(5) 为了使学有余力的学生可以学到更多一些知识,本书中还编写了一些阅读材料;阅读材料的选择也着眼于基本理论、基本知识,特别是那些在工程技术中用途颇广的有关内容和科学技术的新成就。编者认为书中的阅读材料也可以作为自选内容的教材。

全书采用SI单位制,本书中用到的物理量的表示符号、单位和量纲列表于书前,正文中一般不再对各量的量纲、单位一一交待。

本书分上下两册,上册包括力学和电磁学部分,下册包括热力学、气体动理论、波动和波动光学、近代物理等部分。将电磁学放在热力学和气体动理论前面只是为了与后继课程的配合和安排上的方便,对于先讲热学部分的,这种安排也不会有任何影响。

与现有多数教材相比,本书体系安排上作了两点较大的变动,一是先热力学后气体动理论;二是将电介质和磁介质组成一章。对前者,编者认为对工科学生应首先要求他们掌握热学的宏观规律,在此基础上学习气体动理论,从而在微观意义上对宏观热现象的本质以及如何采用统计平均的方法建立宏观量与微观量的联系等有个初步了解。对后者,编者认为,在电磁学中对工科学生应首先要求他们掌握真空中静电场和稳恒电流磁场的基本规律,在此基础上考虑介质的影响,而且首先要求学生了解如何在宏观上计及介质的影响,而对产生此种影响的微观机理,只能要求作初步了解。此外,从微观机理到研究方法,电介质和磁介质都有着相似的地方,两者对照起来学也有其有利之处。不过不论是热力学、气体动理论,还是电介质、磁介质,现在的写法都不会给教学中先后次序的安排带来约束,也就是说,先讲授气体动理论后讲热力学,或者把电介质安排在静电学之后,都是可以的。

我们对体系所作的上述变动,也考虑了基本要求中对上述内容的层次安排。

本书编写者的具体分工为:第一、二、三、四章(焦兆焕),第五章(张国柱),第六章(吴百诗),第七章(李甲科),第八、九章(张云祥),第十章(周

瑞云),第十一、十二章(石学儒),第十三、十七章(刘国华),第十四章(李锦泉、吴百诗、姚国维),第十五、十六章(薛一东),第十八章(石学儒、薛一东、柴晋临)。此外编写阅读材料的有李甲科、石学儒、吴百诗、周瑞云、阎智春等。

本教材由吴百诗教授主编,李甲科副教授协助主编作了大量的组织出版工作。

在本书编写试用过程中得到王小力、王军、杨英民、孟红星、党福喜等同志的大力协助和支持,在此表示感谢。

由于我们学识和教学经验的限制以及对基本要求理解不深,不当之处和错误在所难免,还望使用本书的师生指正。

编 者

1989. 11

物理量的名称、符号及单位、基本物理常数表

一、国际单位制和量纲

本书根据国务院规定,物理量的单位全部采用国际单位制,即 SI。SI 中以长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度等 7 个量作为基本量,并取这 7 个量的单位作为基本单位,称为 SI 基本单位。

物理量是通过描述自然规律的方程或定义新量的方程而彼此相互联系的。为制定单位制和引入量纲的概念,通常把某几个量作为相互独立的,也就是上面所说的,把它们当作基本量,而把它们的单位当作基本单位。其他量则根据定义或借助方程表示,这些量称为导出量,它们的单位称为导出单位。

任一量 Q 可以用其他量以方程式的形式表示,这一表达形式可以是若干项的和,而每一项又可表示为所选定的一组基本量 A, B, C, \dots 的乘方之积,有时还乘以数字因数 ζ , 即

$$\zeta A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

而项基本量组的指数 $(\alpha, \beta, \gamma, \dots)$ 则相同。因此,导出量的单位也可以由基本单位(包括它的指数)的组合来表示,表示它的关系式就称为该物理量的量纲。量 Q 的量纲可以表示为量纲积

$$\dim Q = A^\alpha B^\beta C^\gamma \dots$$

式中 A, B, C, \dots 表示基本量 A, B, C 等的量纲,而 $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ 则称为量纲指数。

所有量纲指数都等于零的量,称为无量纲量,其量纲积或量纲为 $A^0 B^0 C^0 \dots = 1$ 。

在 7 个基本量的量制中,其基本量长度、质量、时间、电流、热力学温度、物质的量和发光强度的量纲分别用 L, M, T, I, Θ , N 和 J 表示,而导出量 Q 的量纲一般形式为

$$\dim Q = L^{\alpha} M^{\beta} T^{\gamma} I^{\delta} \Theta^{\epsilon} N^{\zeta} J^{\eta}$$

例如:

量	量 纲
速 度	LT^{-1}
角速度	T^{-1}
力	LMT^{-2}
能 [量]	L^2MT^{-2}
电 位	$L^2MT^{-3}I^{-1}$
熵	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$

利用量纲可以定出同一物理量的不同单位之间的换算关系。由于只有量纲相同才能够相加、相减或相等,指数函数是无量纲量,因而可以按照这些原则用量纲来检验等式的正确性。

二、物理量的名称、符号和单位

下表列出本书中常用物理量的名称、符号和单位,以后在正文中一般不再给出。

物理量的名称、符号和单位(SI)表

量	符号	名称	单位
长度	l, L	米	m
面积	$A, (S)$	平方米	m^2
体积	V	立方米	m^3
时间	t	秒	s
[平面]角	$\alpha, \beta, \gamma, \theta, \varphi$ 等	弧度	rad
立体角	Ω	球面度	sr
角速度	ω	弧度每秒	rad/s
角加速度	α	弧度每二次方秒	rad/s^2
速度	v, u, c	米每秒	m/s
加速度	a	米每二次方秒	m/s^2
周期	T	秒	s
旋转频率(转速)	n	每秒	s^{-1}
频率	f, ν	赫[兹]	Hz(1Hz=1/s)
角频率	ω	弧度每秒	rad/s
波长	λ	米	m
波数	$\sigma, \bar{\nu}$	每米	m^{-1}
振幅	A	米	m
质量	m	千克(公斤)	kg
[质量]密度	ρ	千克每立方米	kg/m^3
面密度	ρ_A, ρ_S	千克每平方米	kg/m^2
线密度	ρ_l	千克每米	kg/m
动量	p, P	千克米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m/s}$
冲量	I	牛顿秒	$\text{N} \cdot \text{s}$
动量矩, 角动量	L	千克二次方米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$
转动惯量	J, I	千克二次方米	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$
力	F, f	牛[顿]	N
力矩	M	牛[顿]米	$\text{N} \cdot \text{m}$
压力, 压强	p	帕[斯卡]	Pa
相[位]	φ	弧度	rad
功	W, A	焦[耳]	J
能[量]	E, W	焦[耳]	J
动能	E_k, T	焦[耳]	J
势能	E_p, V	}电子伏[特]	eV
功率	P	瓦[特]	W
热力学温度	T, Θ	开[尔文]	K
摄氏温度	t, θ	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$
热量	Q	焦[耳]	J
热导率(导热系数)	λ, κ	瓦[特]每米开[尔文]	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
热容	C	焦[耳]每开[尔文]	J/K
比热	c	焦[耳]每千克开[尔文]	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
摩尔质量	M	千克每摩尔	kg/mol
摩尔定压热容	$C_{p,m}$	}焦[耳]每摩尔	J/(mol · K)
摩尔定体热容	$C_{v,m}$	}开[尔文]	
内能	U, E	焦[耳]	J
熵	S	焦[耳]每开[尔文]	J/K

续表

量	符 号	名 称	单 位
平均自由程	l, λ	米	m
扩散系数	D	二次方米每秒	m^2/s
电荷[量]	Q, q	库 [仑]	C
电 流	I, i	安 [培]	A
电荷[体]密度	ρ	库[仑]每立方米	C/m^3
电荷面密度	σ	库[仑]每平方米	C/m^2
电荷线密度	λ	库[仑]每米	C/m
电场强度	E	伏[特]每米	V/m
电位(电势)	V		
电位差(电势差), 电压	$U, (V)$	} 伏[特]	V
电 动 势	E, \mathcal{E}		
电通[量]密度, 电位移	D	库[仑]每平方米	C/m^2
电通[量], 电位移通量	Ψ, Φ_e	库 [仑]	C
电 容	C	法 [拉]	$F(1F=1C/V)$
介电常数(电容率)	ϵ	法[拉]每米	F/m
相对介电常数 (相对电容率)	ϵ_r	—	1
电偶极矩	p, p_e	库[仑]米	$C \cdot m$
电流密度	j, δ	安[培]每平方米	A/m^2
磁场强度	H	安[培]每米	A/m
磁感应强度	B	特[斯拉]	$T(1T=1Wb/m^2)$
磁通[量]	Φ	韦[伯]	$Wb(1Wb=1V \cdot s)$
自 感	L		
互 感	M, L_{12}	} 亨[利]	$H(1H=1Wb/A)$
磁 导 率	μ	亨[利]每米	H/m
[面]磁矩	m, p_m	安[培]平方米	$A \cdot m^2$
磁 能 密 度	w_m	焦[耳]每立方米	J/m^3
坡印廷矢量	S	瓦[特]每平方米	W/m^2
[直流]电阻	R	欧 [姆]	$\Omega(1\Omega=1V/A)$
电 阻 率	ρ	欧[姆]米	$\Omega \cdot m$
光 强 度	I	瓦[特]每平方米	W/m^2
相对磁导率	μ_r	—	1
折 射 率	n	—	1
发 光 强 度	I	坎[德拉]	cd
辐[射]出[射]度	M, M_e		
辐[射]照度	$E, (E_e), I$	} 瓦[特]每平方米	W/m^2
声 强 级	L_I	分 贝	dB
核的结合能	E_B	焦 [耳]	J
半 衰 期	$T_{1/2}$	秒	s

基本物理常量表 (CODATA * 1998 年的推荐值)

物理量	符号	数值
真空中光速	c	$299\,792\,458\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
真空磁导率	μ_0	$4\pi \times 10^{-7} = 12.256\,637\,061\,4\cdots \times 10^{-7}\text{ N} \cdot \text{A}^{-2}$
真空电容率	ϵ_0	$8.854\,187\,817\cdots \times 10^{-12}\text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$
万有引力常数	G	$6.673(10) \times 10^{-11}\text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
普朗克常数	h	$6.626\,068\,76(52) \times 10^{-34}\text{ J} \cdot \text{s}$
元电荷	e	$1.602\,176\,462(63) \times 10^{-19}\text{ C}$
磁通量子	Φ_0	$2.067\,833\,636(81) \times 10^{-15}\text{ Wb}$
玻尔磁子	μ_B	$9.274\,008\,99(37) \times 10^{-24}\text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
核磁子	μ_N	$5.050\,783\,17(20) \times 10^{-27}\text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
里德伯常数	R_∞	$10\,973\,731.568\,548(83)\text{ m}^{-1}$
玻尔半径	a_0	$0.529\,177\,208\,3(19) \times 10^{-10}\text{ m}$
电子质量	m_e	$9.109\,381\,88(72) \times 10^{-31}\text{ kg}$
电子磁矩	μ_e	$9.284\,763\,62(37) \times 10^{-24}\text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
质子质量	m_p	$1.672\,621\,58(13) \times 10^{-27}\text{ kg}$
质子磁矩	μ_p	$1.410\,606\,633(58) \times 10^{-26}\text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
中子质量	m_n	$1.674\,927\,16(13) \times 10^{-27}\text{ kg}$
中子磁矩	μ_n	$0.966\,236\,40(23) \times 10^{-26}\text{ J} \cdot \text{T}^{-1}$
阿伏伽德罗常数	N_A	$6.022\,141\,99(47) \times 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
摩尔气体常量	R	$8.314\,472(15)\text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
玻耳兹曼常量	k	$1.380\,650\,3(24) \times 10^{-23}\text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
斯特藩常量	σ	$5.670\,400(40) \times 10^{-8}\text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$

保留单位和标准值

名称	符号	数值
电子伏特	eV	$1.602\,176\,462(63) \times 10^{-19}\text{ J}$
原子质量单位	u	$1.600\,538\,73(13) \times 10^{-27}\text{ kg}$
标准大气压	atm	101 325 Pa
标准重力加速度	gn	$9.806\,65\text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
康普顿波长	λ_c	$2.426\,310\,58(22) \times 10^{-12}\text{ m}$

* CODATA: 国际物理和化学常量委员会。

目 录

序

第二次修订说明

第一次修订前言

初版前言

物理量的名称、符号及单位、基本物理常数表

热 学

第 11 章 热力学

- 11.1 热学的研究对象和研究方法…………… (4)
- 11.2 平衡态 理想气体状态方程…………… (5)
- 11.3 功 热量 内能 热力学第一定律 …… (10)
- 11.4 准静态过程中功和热量的计算 …… (13)
- 11.5 理想气体的内能和 C_V, C_p …… (17)
- 11.6 热力学第一定律对理想气体在典型准静态
过程中的应用 …… (20)
- 11.7 绝热过程 …… (25)
- 11.8 循环过程 …… (31)
- 11.9 热力学第二定律 …… (39)
- 11.10 可逆与不可逆过程 …… (41)
- 11.11 卡诺循环 卡诺定理 …… (45)