

高等学校教材

# 普通物理学

# 1



国防科工委802 2 0164726 9

(第五版)

程守洙 江之永 主编 胡盘新 汤毓骏 宋开欣 修订



高等教育出版社

0-2411

高等学校教材

# 普通物理学

第一册

GF911/15

(第五版)

程守洙	江之永	主编
胡盘新	汤毓骏	宋开欣 修订



高等教育出版社

(京) 112 号

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学 第一册 (第五版) /程守洙, 江之永主编;  
胡盘新等修订. —5 版 (修订本). —北京: 高等教育出版社, 1998

高等学校教材

ISBN 7-04-006423-5

I. 普… II. ①程… ②江… ③胡… III. 普通物理学-  
高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 03008 号

\*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588

新华书店总店北京发行所发行

北京外文印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 13.75 字数 350 000

1961 年 8 月第 1 版

1998 年 6 月第 5 版 1998 年 6 月第 1 次印刷

印数 0 001—30 107

定价 14.60 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等

质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

## 内 容 提 要

本书是在程守洙、江之永主编的《普通物理学》(第三版)的基础上,根据1995年国家教委颁布的工科本科大学物理课程教学基本要求,结合读者多年使用此书的建议和意见,以及当前国内外物理教材改革的动态修订而成的。此次修订保留了第三版的体系、风格及特色,改写了部分内容,调整了个别章节,增加了阅读材料,充实了应用类题目,在内容现代化、加强应用性、扩大知识面以及提高科学素养等方面均有进一步增强。

本书可作高等工业院校各专业物理课的教材,也可供各类成人大学的物理课教学参考之用。

## 第五版前言

程守洙、江之永主编的《普通物理学》第三版,自1978年问世以来,深受广大读者的欢迎.这次修订主要参考了当前国际国内物理教材改革的动态,考虑了广大使用者所提出的建议和意见,以1995年国家教委颁布的高等工科院校《大学物理课程教学基本要求》为基础,在保留第三版体系、风格、特色的条件下,对内容现代化、加强应用性、扩大知识面、提高科学素养等方面作了努力,我们改写了部分内容,调整了个别章节,增加了阅读材料,充实了应用题目.历时多年,先后数易其稿.又承清华大学夏学江教授、西安交通大学吴百诗教授、北京航空航天大学刘佑昌教授、北京印刷学院贺准城教授等多次审阅,提出许多宝贵意见,使本书内容益臻完善,我们在此表示衷心的感谢.

本书采用了《量和单位》的国家标准,以及最新公布的“物理学名词”。

编者

1997年6月

## 第三版前言

本书以程守洙、江之永等改编《普通物理学》1964年第二版为基础,以1978年教育部制订的《中学物理教学大纲(试行草案)》为起点,并适当考虑了当前学生的实际而编写的.在编写过程中,学习了兄弟院校的先进经验,借鉴了部分国外教材.同时力求以辩证唯物主义思想为指导,切实贯彻少而精、理论联系实际等原则,努力做到:加强基础理论的内容和叙述;加强近代物理的观点和知识的介绍;加强对学生分析问题和解决问题能力的培养.

本书采用国际单位制.物理量名称和符号基本上采用国家标准(1977年讨论稿).

本书的讲授时数估计在160学时左右.全书分三册,第一册包括力学、气体分子运动论和热力学基础;第二册为电磁学;第三册包括光学、波动、量子物理等.为了贯彻因材施教原则,除基本内容外,还编入一些要求较高的基础理论,目录中标以\*号,作为选讲或自学用.本教材对高等数学有一定要求,因此建议物理课安排在一年级第二学期开设.

为了教学方便,我们收集了较多的思考题、习题,其中难度较大的标以 $\triangle$ 号,可根据不同情况选用.书后有若干附录,供教学参考.

由于我们水平有限,时间仓促,书中缺点和错误在所难免.衷心希望使用本书的同志多提宝贵建议和意见,使它能逐步提高和完善起来.

本书由程守洙(上海交通大学)和江之永(同济大学)主编.参加编写工作的有:上海交通大学(胡盘新、朱咏春、吴锡珑、秦树艺),同济大学(周涵可、宋开欣),上海纺织工学院(陈光清、汤毓骏),上海化工学院(华寿荪、高守双),上海机械学院(骆加锋),上

海铁道学院(钟季康),上海科技大学(马连生[前]、张关荣[后]),并由陈光清、胡盘新、朱咏春、宋开欣、汤毓骏负责定稿.在编写过程中,西南交通大学盛克敏同志等给予大力支持和协助,特在此表示感谢.

本书由北方交通大学余守宪,上海化工学院周昌寿,上海师范大学许国保,天津大学李金镗等十五所院校的代表通过会议的形式讨论审阅,提出了许多宝贵的意见,对此我们表示衷心的感谢.

上海市高等工业院校物理学编写组

1978年9月

## 本书中物理量和单位

量的名称	符号	单位名称	单位符号	量纲	备注
长度	$l, s$	米	m	L	
面积	$S$	平方米	$m^2$	$L^2$	
体积	$V$	立方米	$m^3$	$L^3$	1L(升)= $10^{-3}m^3$
时间	$t, \tau$	秒	s	T	
位移	$s, \Delta r$	米	m	L	
速度	$v, u$	米每秒	m/s	$LT^{-1}$	
加速度	$a$	米每二次方秒	$m/s^2$	$LT^{-2}$	
角位移	$\theta$	弧度	rad	1	
角速度	$\omega$	弧度每秒	rad/s	$T^{-1}$	
角加速度	$\alpha$	弧度每二次方秒	$rad/s^2$	$T^{-2}$	
质量	$m$	千克	kg	M	
力	$F$	牛顿	N	$LMT^{-2}$	$1N = 1kg \cdot m/s^2$
重力	$G$	牛顿	N	$LMT^{-2}$	
功	$A$	焦耳	J	$L^2MT^{-2}$	$1J = 1N \cdot m$
能量	$E, (W)$	焦耳	J	$L^2MT^{-2}$	
动能	$E_k$	焦耳	J	$L^2MT^{-2}$	
势能	$E_p$	焦耳	J	$L^2MT^{-2}$	
功率	$P$	瓦特	W	$L^2MT^{-2}$	$1W = 1J/s$
摩擦系数	$\mu$	—	—	—	
动量	$p$	千克米每秒	$kg \cdot m/s$	$LMT^{-1}$	
冲量	$I$	牛顿秒	$N \cdot s$	$LMT^{-1}$	
力矩	$M$	牛顿米	$N \cdot m$	$L^2MT^{-2}$	
转动惯量	$J$	千克二次方米	$kg \cdot m^2$	$L^2M$	



续表

量的名称	符号	单位名称	单位符号	量纲	备注
角动量(动量矩)	$L$	千克二次 方米每秒	$\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$	$\text{LMT}^{-1}$	
压力(压强)	$p$	帕斯卡	Pa	$\text{L}^{-1}\text{MT}^{-2}$	$1\text{Pa}=1\text{N}/\text{m}^2$
热力学温度	$T$	开尔文	K	$\Theta$	
摄氏温度	$t$	摄氏度	$^{\circ}\text{C}$	$\Theta$	$t^{\circ}\text{C}=(T-273.15)\text{K}$
摩尔质量	$M_{\text{mol}}$	千克每摩尔	$\text{kg}/\text{mol}$	$\text{MN}^{-1}$	
分子质量	$m$	千克	kg	M	
分子有效直径	$d$	米	m	L	
分子平均自由程	$\bar{\lambda}$	米	m	L	
分子平均碰撞次数	$\bar{Z}$	次每秒	1/s	$\text{T}^{-1}$	
碰撞截面	$\sigma$	平方米	$\text{m}^2$	$\text{L}^2$	1b(靶恩) $=10^{-28}\text{m}^2$
体积分子数	$n$	每立方米	$1/\text{m}^3$	$\text{L}^3$	
热量	$Q$	焦耳	J	$\text{L}^2\text{MT}^{-2}$	
比热容	$c$	焦耳每千克 开尔文	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$	$\text{L}^2\text{T}^{-2}\Theta^{-1}$	
热容	$C$	焦耳每开尔文	J/K	$\text{L}^2\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}$	
摩尔定体热容	$C_v$	焦耳每摩尔 开尔文	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$\text{L}^2\text{MT}^{-2} \cdot \Theta^{-1}\text{N}^{-1}$	
摩尔定压热容	$C_p$	焦耳每摩尔 开尔文	$\text{J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$	$\text{L}^2\text{MT}^{-2} \cdot \Theta^{-1}\text{N}^{-1}$	
比热容比	$\gamma$	—	—	—	
粘度	$\eta$	帕秒	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	$\text{L}^{-1}\text{MT}^{-1}$	
热导率	$\kappa, (\lambda)$	瓦每米开尔文	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$\text{LMT}^{-3}\Theta^{-1}$	
扩散系数	$D$	二次方米每秒	$\text{m}^2/\text{s}$	$\text{L}^2\text{T}^{-1}$	
熵	$S$	焦耳每开尔文	J/K	$\text{L}^2\text{MT}^{-2}\Theta^{-1}$	

责任编辑	陈小平
封面设计	季思九
责任绘图	李维平
版式设计	周顺银
责任校对	朱惠芳
责任印制	宋克学

# 目 录

绪论 .....	1
----------	---

## 第一篇 力 学

<b>第一章 质点的运动</b> .....	5
§ 1-1 质点 参考系 运动方程 .....	5
§ 1-2 位移 速度 加速度 .....	11
§ 1-3 圆周运动及其描述 .....	18
§ 1-4 曲线运动方程的矢量形式 .....	27
§ 1-5 运动描述的相对性 伽利略坐标变换 .....	32
思考题 .....	39
习题 .....	41
<b>第二章 牛顿运动定律</b> .....	47
§ 2-1 牛顿第一定律和第三定律 .....	48
§ 2-2 常见力和基本力 .....	51
§ 2-3 牛顿第二定律及其微分形式 .....	57
§ 2-4 牛顿运动定律应用举例 .....	60
§ 2-5 牛顿第二定律积分形式之一:动量定理 .....	69
§ 2-6 牛顿第二定律积分形式之二:动能定理 .....	79
§ 2-7 非惯性系 惯性力 .....	87
思考题 .....	90
习题 .....	91
阅读材料 A 混沌和自组织现象 .....	99
<b>第三章 运动的守恒定律</b> .....	103
§ 3-1 保守力 成对力做功 势能 .....	104
§ 3-2 功能原理 .....	113
§ 3-3 机械能守恒定律 能量守恒定律 .....	122
§ 3-4 质心 质心运动定理 动量守恒定律 火箭飞行 .....	129
§ 3-5 碰撞 .....	140

§ 3-6 质点的角动量和角动量守恒定律 .....	147
* § 3-7 质点在有心力场中的运动 .....	153
* § 3-8 对称性和守恒定律 .....	160
思考题 .....	161
习题 .....	162
阅读材料 B 宇宙的膨胀 .....	168
<b>第四章 刚体的转动</b> .....	<b>174</b>
§ 4-1 刚体的平动、转动和定轴转动 .....	174
§ 4-2 刚体的角动量 转动动能 转动惯量 .....	179
§ 4-3 力矩 刚体定轴转动定律 .....	186
§ 4-4 定轴转动的动能定理 .....	192
§ 4-5 刚体的自由度 *刚体的平面平行运动 .....	198
§ 4-6 定轴转动刚体的角动量定理和角动量守恒定律 .....	207
§ 4-7 进动 .....	215
思考题 .....	218
习题 .....	219
<b>第五章 相对论基础</b> .....	<b>226</b>
§ 5-1 伽利略相对性原理 经典力学的时空观 .....	227
§ 5-2 狭义相对论基本原理 洛伦兹坐标变换式 .....	229
§ 5-3 相对论速度变换公式 .....	237
§ 5-4 狭义相对论时空观 .....	240
§ 5-5 狭义相对论动力学基础 .....	248
* § 5-6 广义相对论简介 .....	256
思考题 .....	259
习题 .....	260
阅读材料 C 宋超新星爆发和光速不变性 .....	262

## 第二篇 热 学

<b>第六章 气体动理论</b> .....	<b>265</b>
§ 6-1 状态 过程 理想气体 .....	265
§ 6-2 分子热运动和统计规律 .....	270

§ 6-3	气体动理论的压强公式 .....	275
§ 6-4	理想气体的温度公式 .....	282
§ 6-5	能量均分定理 理想气体的内能 .....	285
§ 6-6	麦克斯韦速率分布律 .....	289
§ 6-7	玻尔兹曼分布律 重力场中粒子按高度的分布 .....	295
§ 6-8	分子的平均碰撞次数及平均自由程 .....	299
§ 6-9	气体内的迁移现象 .....	303
§ 6-10	真实气体 范德瓦耳斯方程 .....	312
§ 6-11	物态和相变 .....	320
思考题	.....	323
习题	.....	324
阅读材料 D	非常温和非常压 .....	326
<b>第七章 热力学基础</b>	.....	<b>337</b>
§ 7-1	热力学第一定律 .....	337
§ 7-2	热力学第一定律对于理想气体等值过程的应用 .....	343
§ 7-3	绝热过程 *多方过程 .....	350
§ 7-4	焦耳-汤姆孙实验 真实气体的内能 .....	357
§ 7-5	循环过程 卡诺循环 .....	360
§ 7-6	热力学第二定律 .....	368
§ 7-7	可逆过程与不可逆过程 卡诺定理 .....	371
§ 7-8	熵 .....	375
§ 7-9	熵增加原理 热力学第二定律的统计意义 .....	383
思考题	.....	387
习题	.....	389
阅读材料 E	熵与能源 .....	393
<b>附录 I 矢量(第一部分)</b>	.....	<b>398</b>
<b>附录 II 国际单位制(SI)*</b>	.....	<b>410</b>
<b>附录 III 力学的单位制和量纲</b>	.....	<b>413</b>
<b>习题答案</b>	.....	<b>416</b>

# 绪 论

自然界,无限广阔,丰富多采.形形色色的物质在其中不断地运动变化着.什么是物质?大至日、月、星辰,小到分子、原子、电子,都是物质.固体、液体、气体和等离子体,这些实物是物质;电场、磁场、重力场和引力场,这些场也是物质.总之,自然界的无数事物,形色不一,都是运动着的物质的不同形态.

一切物质都在不断地运动着、变化着,绝对不动的物质是不存在的.日月的运行、江河的奔流、生物的代谢,这些都是物质运动变化的例子.正如恩格斯所指明:“运动,就最一般的意义来说,就它被理解为存在的方式、被理解为物质的固有属性来说,它包括宇宙中发生的一切变化和过程,从单纯的位置移动起直到思维.”<sup>①</sup>物质运动形式是多种多样的,它们既服从共同的普遍规律,又各自有其独特的规律,对各种不同的物质运动形式的研究,形成了自然科学的各个分科.

物理学研究的是物质运动最基本最普遍的形式,包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内的运动等等,显然这些运动并非都是简单的.

物理学所研究的运动,普遍地存在于其他高级的、复杂的物质运动形式之中,因此,物理学所研究的规律具有极大的普遍性.可以认为,物理学是除数学以外,一切自然科学的基础,也是当代工程技术的重大支柱.对物理学的这个评价,决非过甚其词.回顾物理学发展的全过程,可以加深我们对物理学重要性的认识.

物理学的发展已经经历了三次大突破.在 17、18 世纪,由于牛

---

<sup>①</sup> 恩格斯.自然辩证法.北京:人民出版社,1971. 53

热力学的建立和热力学的发展,不仅有力地推动了其他学科的进展,而且适应了研制蒸气机和发展机械工业的社会需要,引起了第一次工业革命,极大地改变了工业生产的面貌.到了19世纪,在法拉第-麦克斯韦(Faraday-Maxwell)电磁理论的推动下,人们成功地制造了电机、电器和电讯设备,引起了工业电气化,使人类进入了应用电能的时代,这就是第二次工业革命.20世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对原子、原子核结构的认识日益深入.在此基础上,人们实现了原子核能和人工放射性同位素的利用;促成了半导体、核磁共振、激光、超导、红外遥感、信息技术等新兴技术的发明;许多边缘学科发展起来了.新兴工业犹如雨后春笋,现代科学技术正在经历一场伟大的革命,人类进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间科学等高新技术的时代.

总之,现代物理学已成为基础学科中发展最快、影响最深的一门学科.本世纪以来,它一方面向认识的深度进军,另一方面又向应用的广度发展.它在发掘新能源、新材料以及革新工艺过程、检测方法等方面,都提供了丰富的实验资料和理论根据;而许多新技术新工艺的实现,又大大地发展了生产力.生产技术的发展,反过来也为物理学的进一步研究准备了雄厚的物质条件,形成相辅相成、齐头并进的局面.当代自然科学发展特点之一,正是科学研究和工业技术的关系日益密切,从研究到应用,从研究成果发展成新兴工业部门的速度愈来愈快,周期愈来愈短.工业技术不断地向自然科学提出新的课题要求解决,许多发现和发明,已很少带有偶然性,而是人们有意识地、有目的地进行系统研究的结果.科学应当先行于技术,应当充分发挥理论对实践的指导作用.物理学与技术科学、生产实践的关系生动地体现了理论与实践之间的辩证关系.现在,在人类认识自然、改造自然的一系列重大课题上,现代物理学的各个分科都孕育着新的突破.可以预期,如果在粒子物理领域实现物理学的大突破,而能全面地揭露“基本”粒子内部的结构和它们相互转化和相互作用的规律性的话,将给人类的生活以及各

个自然科学领域带来巨大的影响。总之，未来的生产技术，将继续从物理学这片肥沃广阔的科学土壤中吸取营养，结出硕果。

物理学的发展过程，是人类对客观世界认识过程中的一个重要组成部分。物理学中不少规律和理论是直接由生产实践中总结出来的，但更多的物理发现却来自长期的科学实验，因此，科学实验和生产实践，都是推动科学技术发展的强大动力和源泉。物理学的研究方法一般是在观察和实验的基础上，对物理现象进行分析、抽象和概括，从而建立物理定律，进而形成物理理论，再回到实践中去经受检验。

高等工业学校肩负着培养我国各类高级工程技术专门人才的重任，要使我们培养的工程技术人员，能在飞速发展的科学技术面前有所独创、有所前进，对人类作出较大的贡献，就必须加强基础理论特别是物理学的学习。物理学是辩证唯物主义的坚实的自然科学基础，学习物理必须以辩证唯物主义为指导。通过学习能对物质最普遍、最基本的运动形式和规律有比较全面而系统的认识，树立辩证唯物主义的世界观，掌握物理学中的基本概念和基本原理以及研究问题的方法，同时在科学实验能力、计算能力和抽象思维能力等方面受到严格的训练，培养分析问题和解决问题的能力，提高科学素质。应该指出，普通物理学中所讲述的只是基本的内容，而且物理学和其他学科一样发展很快，新发现和新成果不断涌现。我们一方面要牢固地掌握物理学的基础理论，同样也要经常注意物理学的新成就，扩大知识面，增强本领，为祖国的建设作出应有的贡献。



# 第一篇 力 学

力学研究的是物质的机械运动. 本篇主要介绍质点动力学, 兼及刚体的转动. 经典力学的理论基础是牛顿的三个运动定律, 由此而引入了力、力矩、动量、冲量、角动量、功和能等概念, 得到了动量、角动量和机械能等的守恒定律.

经典力学只适用于物体作低速(与光速相比)运动的情形. 当物体的速度接近于光速时, 经典力学就失效了, 此时需要用相对论力学来作研究. 经典力学只是相对论力学在低速时的近似. 我们将在本篇第五章对相对论力学作简单介绍.

经典力学也无法适用于研究微观粒子的运动, 这时要用到量子力学. 不过实验与理论都证明, 源自经典力学的动量、角动量和能量等的守恒定律却仍然是适用的. 关于量子力学, 我们将在第三册中介绍.

由于经典力学所取得的辉煌成就, 曾使人感到只要通过精确的物理定律, 就能对物质运动的未来进行预测, 这是一种机械决定论的观点. 大量事实证明并非如此. 本篇阅读材料 A 中说明对许多事例在决定性的经典力学以外, 还得引入概率性的描述.