



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

University

# 大学物理学

Physics (第二版) 上册

主编 饶瑞昌 时钟涛



高等教育出版社



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

University

# 大学物理学

*Physics*

(第二版)上册

主编 饶瑞昌 时钟涛

副主编 白心爱 申梓刚

柴花斗 余剑敏



DAXUE WULIXUE

高等教育出版社·北京

## 内容提要

本书是“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材,是在第一版的基础上修订而成的。全书分为上、下两册,共16章。上册讲述力学、波动学和热学,内容包括:质点运动的基本规律、守恒定律、刚体的定轴转动、机械振动、机械波、波动光学、气体动理论、热力学基础。下册讲述电磁学和近代物理学,内容包括:真空中的静电场、静电场中的导体和电介质、恒定磁场、变化的磁场和电场、狭义相对论、早期量子论、量子力学初步、现代科学与高新技术物理专题。为配合本书的学习,还专门出版了配套的学习辅导书。

本书可作为普通高等学校理科非物理学类专业和工科各专业的大学物理课程的教材,也可作为各类成人教育相关专业的大学物理课程的教材或教学参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理学.上册 / 饶瑞昌, 时钟涛主编. -- 2版

. -- 北京: 高等教育出版社, 2018. 1

ISBN 978 - 7 - 04 - 049151 - 7

I. ①大… II. ①饶… ②时… III. ①物理学 - 高等学校 - 教材 IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 313401 号

策划编辑 程福平      责任编辑 程福平      封面设计 李树龙      版式设计 杜微言  
插图绘制 杜晓丹      责任校对 吕红颖      责任印制 刘思涵

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街4号  
邮政编码 100120  
印 刷 肥城新华印刷有限公司  
开 本 787mm × 1092mm 1/16  
印 张 19.25  
字 数 400千字  
购书热线 010-58581118  
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.hepmall.com.cn>  
<http://www.hepmall.com>  
<http://www.hepmall.cn>  
版 次 2012年11月第1版  
2018年1月第2版  
印 次 2018年1月第1次印刷  
定 价 38.60元

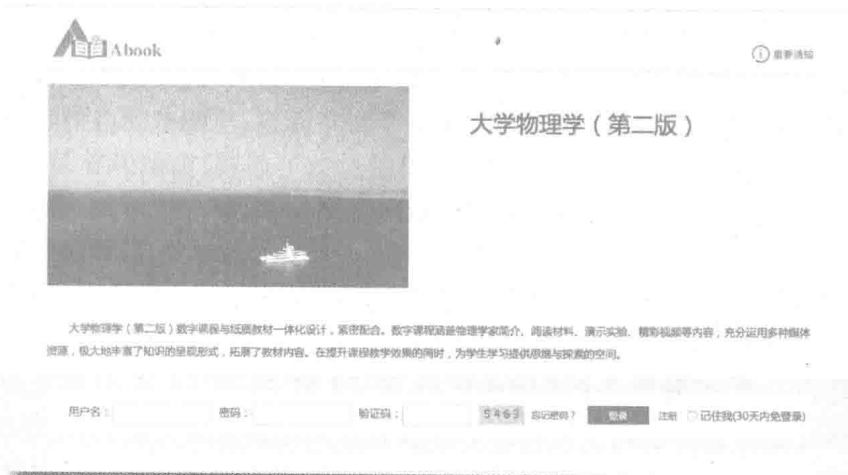
本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换  
版权所有 侵权必究  
物料号 49151-00

# 大学物理学

(第二版)上册

主编 饶瑞昌  
时钟涛

- 1 计算机访问 <http://abook.hep.com.cn/12440417>, 或手机扫描二维码、下载并安装 Abook 应用。
- 2 注册并登录, 进入“我的课程”。
- 3 输入封底数字课程账号(20位密码, 刮开涂层可见), 或通过 Abook 应用扫描封底数字课程账号二维码, 完成课程绑定。
- 4 单击“进入课程”按钮, 开始本数字课程的学习。



课程绑定后一年为数字课程使用有效期。受硬件限制, 部分内容无法在手机端显示, 请按提示通过计算机访问学习。

如有使用问题, 请发邮件至 [abook@hep.com.cn](mailto:abook@hep.com.cn)。



物理学家简介



阅读材料



演示实验



精彩视频

<http://abook.hep.com.cn/12440417>

## 第二版前言

本书自面世以来,承蒙广大师生厚爱,于2014年被评为教育部“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材。

在近四十年的教学生涯中,我们深切地体会到,教材是教出来的而不是编出来的。基础课教材必须特别注重符合教学规律,特别注重与教学实践相适应,从而进一步提高“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材的质量,使之更适合我国大多数高等院校各类专业的教学需要。为此,我们广泛地征求了教师和学生对本书的意见和建议,调研了数十所院校大学物理课程的教学状况,在保持第一版原有体系、风格和特色的基础上,重新审视了全书的教学内容、例题设置、图片选择和习题安排,补充和改写了某些章节和段落,修改了少量的图片,增删了个别例题,细致地润色了全书的文字,增加了一些阅读材料、演示实验等,并以配套网站和手机APP的形式呈现,从而使本书更加简明清晰、通俗易懂、好教易学。

参与此次修订工作的有饶瑞昌、时钟涛、白心爱、申梓刚、柴花斗、余剑敏,其中第4、第5、第6章由饶瑞昌负责编写,第7、第8章由时钟涛负责编写,第9、第10、第11、第12章由白心爱负责编写,第1、第2、第3章由申梓刚负责编写,第13、第14、第15、第16章由柴花斗负责编写,电子资源由余剑敏负责整理,全书由饶瑞昌、时钟涛负责统稿。此次修订工作还得到了高等教育出版社程福平编辑和复旦大学吕景林副教授的大力支持和帮助,在此表示衷心的感谢。

编写适合教学改革的教材是一种探索,尽管编者努力追求尽善尽美,但由于水平和学识所限,书中难免有疏漏和不妥之处,殷切希望读者不吝赐教。

编者

2017年6月

# 第一版前言

随着高等教育的发展和招生人数的扩大,我国的高等教育已经从精英教育逐步过渡到大众化教育,但是,现行的多数大学物理教材仍是按照精英教育的培养模式来编写的,这使得大学物理课程学时少、内容多、难度大的问题更加突出。

为了适应我国高等教育进入大众化教育的特点,我们编写了这套适用于理工科专业的大学物理教材。本书的特点如下:

(1) 以教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科类大学物理课程教学基本要求》(2010年版)A类核心内容构造本书的体系,以确保A类的核心内容,根据需要择要介绍B类的扩展内容(相应章节用\*标注)。在保证教材具有科学性、系统性和完整性等鲜明特征的同时,本书着重于基本知识、基本概念、基本原理和基本定律的系统阐述,从而有助于学生对物理世界形成完整的、统一的认识。

(2) 根据当前大学物理教材内容与结构的发展趋势,在内容安排上借鉴了国内外许多教材的长处,在结构体系上有所尝试。例如,将机械振动、机械波和波动光学归入一篇,安排在力学之后,以强调波动这一运动形式的普遍性,同时也有利于全部教学内容的调整及学时数的合理安排;又如,将力学篇和电磁学篇分别安排于上、下册,除了便于分两个学期施教之外,更重要的是分散了难点,可减少学生在学习时的“负重感”。

(3) 为解决大学物理的初学者普遍感到解题困难的问题,我们对书中的例题、习题进行了精选,尽量选编有代表性、应用性的、难度适中的例题和习题。所用例题均是在进行详细分析的基础上进行求解,部分例题采用多种解法,以培养学生灵活应用知识和解决问题的能力。

(4) 注重教学内容的深入浅出和符合教学规律,做到既尽量避免与中学物理重复,又不跨入后继课程的范围。在论述上力求简明扼要、通俗易懂,强调物理思想和方法,突出科学素质和能力。

(5) 为适应不同学时、不同专业对大学物理课程的要求,对力学(第1—第3章)、波动学(第4—第6章)、热学(第7、第8章)、电磁学(第9—第12章)、近代物理学(第13—第16章)五篇教学内容,在章节的安排上充分考虑了各篇的相对独立性。因此,本书可满足不同学时、不同专业的教学需要。

由于编者水平所限,书中缺点和错误在所难免,衷心希望大家批评和指正,以使本书不断提高和完善。

编者

2012年9月

# 目 录

绪论 .....	001
----------	-----

## 第 1 篇 力 学

第 1 章 质点运动的基本规律 .....	007	第 2 章 守恒定律 .....	043
§ 1.1 几个基本概念 .....	008	§ 2.1 功与动能定理 .....	044
1.1.1 质点和质点系 .....	008	2.1.1 变力做功 .....	044
1.1.2 参考系和坐标系 .....	008	2.1.2 功率 .....	045
1.1.3 时间和空间 .....	009	2.1.3 质点的动能定理 .....	047
1.1.4 国际单位制和量纲 .....	009	2.1.4 质点系的动能定理 .....	049
§ 1.2 描述质点运动的物理量 .....	010	§ 2.2 保守力与势能 .....	050
1.2.1 位矢 .....	010	2.2.1 保守力和非保守力 .....	050
1.2.2 位移 .....	010	2.2.2 势能 .....	053
1.2.3 速度 .....	011	2.2.3 由势能求保守力 .....	054
1.2.4 加速度 .....	012	2.2.4 势能曲线 .....	055
§ 1.3 描述质点运动的坐标系 .....	013	§ 2.3 功能定理与机械能守恒定律 .....	055
1.3.1 直角坐标系 .....	013	2.3.1 质点系的功能定理 .....	055
1.3.2 自然坐标系 .....	015	2.3.2 机械能守恒定律 .....	057
1.3.3 质点运动学的两类基本问题 .....	016	§ 2.4 能量守恒定律 .....	058
§ 1.4 圆周运动的角量描述 .....	021	§ 2.5 动量定理与动量守恒定律 .....	058
1.4.1 圆周运动的角量 .....	021	2.5.1 动量 .....	058
1.4.2 线量和角量的关系 .....	022	2.5.2 质点的动量定理 .....	059
§ 1.5 相对运动 .....	023	2.5.3 质点系的动量定理 .....	062
§ 1.6 牛顿运动定律及其应用 .....	026	2.5.4 质点系的动量守恒定律 .....	064
1.6.1 牛顿运动定律 .....	026	*2.5.5 火箭飞行原理 .....	065
1.6.2 力学中常见的三种力 .....	027	*2.5.6 碰撞 .....	067
1.6.3 牛顿运动定律的应用 .....	029	*§ 2.6 质心与质心运动定理 .....	068
1.6.4 惯性系和非惯性系 .....	034	2.6.1 质心 .....	068
1.6.5 牛顿运动定律的适用范围 .....	035	2.6.2 质心运动定理 .....	071
*§ 1.7 非惯性系中的力学定律 .....	035	§ 2.7 角动量定理与角动量守恒定律 .....	073
1.7.1 加速平动参考系中的惯性力 .....	035	2.7.1 质点的角动量 .....	073
1.7.2 匀速转动参考系中的惯性 离心力 .....	037	2.7.2 力对点的力矩 .....	073
习题 .....	038	2.7.3 质点的角动量定理 .....	074
		*2.7.4 质点系的角动量定理 .....	074



5.6.4 半波损失 .....	158	§ 6.4 光的干涉 .....	179
* 5.6.5 弦线上的驻波 .....	158	6.4.1 杨氏双缝干涉 .....	179
§ 5.7 多普勒效应 .....	160	6.4.2 劳埃德镜实验 .....	181
习题 .....	163	6.4.3 薄膜干涉 .....	184
<b>第 6 章 波动光学</b> .....	169	* 6.4.4 迈克耳孙干涉仪 .....	191
§ 6.1 几何光学简介 .....	170	§ 6.5 光的衍射 .....	192
6.1.1 光线 .....	170	6.5.1 光的衍射现象及其分类 .....	192
6.1.2 光的反射和折射 .....	170	6.5.2 惠更斯-菲涅耳原理 .....	193
6.1.3 透镜 .....	172	6.5.3 单缝衍射 .....	194
§ 6.2 光波及其相干条件 .....	173	6.5.4 圆孔衍射 .....	198
6.2.1 光波 .....	173	6.5.5 光栅衍射 .....	200
6.2.2 光的相干性 .....	175	* 6.5.6 X 射线的衍射 .....	204
6.2.3 相干光的获得 .....	176	§ 6.6 光的偏振 .....	205
§ 6.3 光程与光程差 .....	177	6.6.1 自然光和线偏振光 .....	205
6.3.1 光程 .....	177	6.6.2 起偏和检偏 .....	207
6.3.2 光程差 .....	178	6.6.3 马吕斯定理 .....	208
6.3.3 附加光程差 .....	178	6.6.4 布儒斯特定律 .....	209
6.3.4 使用透镜不会引起附加的 光程差 .....	178	* 6.6.5 双折射现象 .....	211
		习题 .....	212
<b>第 3 篇 热 学</b>			
<b>第 7 章 气体动理论</b> .....	219	7.6.2 麦克斯韦速率分布律 .....	233
§ 7.1 分子运动的基本概念 .....	220	7.6.3 麦克斯韦速率分布律的应用 .....	235
7.1.1 气体分子运动的实验基础 .....	220	* § 7.7 玻耳兹曼分布律 .....	236
7.1.2 统计规律 .....	222	7.7.1 玻耳兹曼分布律 .....	237
§ 7.2 理想气体的物态方程 .....	222	7.7.2 重力场中粒子按高度的分布 .....	237
7.2.1 气体的状态参量 .....	222	7.7.3 等温气压公式 .....	238
7.2.2 平衡态 .....	223	§ 7.8 气体分子碰撞的统计规律 .....	238
7.2.3 热力学第零定律 .....	224	* § 7.9 真实气体的范德瓦耳斯方程 .....	241
7.2.4 理想气体的物态方程 .....	224	习题 .....	243
§ 7.3 理想气体的压强公式 .....	225	<b>第 8 章 热力学基础</b> .....	247
7.3.1 理想气体的微观模型和统计性 假设 .....	225	§ 8.1 热力学中的基本概念 .....	248
7.3.2 理想气体的压强公式 .....	226	8.1.1 准静态过程 .....	248
§ 7.4 理想气体的温度公式 .....	228	8.1.2 内能 .....	249
§ 7.5 能量按自由度均分的统计规律 .....	230	8.1.3 功 .....	249
7.5.1 分子运动的自由度 .....	230	8.1.4 热量 .....	250
7.5.2 能量均分定理 .....	231	§ 8.2 热力学第一定律 .....	250
7.5.3 理想气体的内能 .....	232	8.2.1 热力学第一定律的表述 .....	250
§ 7.6 气体分子速率分布的统计规律 .....	232	8.2.2 热力学第一定律对理想气体的 应用 .....	251
7.6.1 速率分布函数 .....	233	§ 8.3 循环过程与卡诺循环 .....	259

8.3.1 循环过程 .....	259	8.5.1 熵的引入 .....	267
8.3.2 卡诺循环 .....	261	8.5.2 熵增加原理 .....	270
§ 8.4 热力学第二定律 .....	265	§ 8.6 热力学第二定律的统计意义 .....	271
8.4.1 可逆过程和不可逆过程 .....	265	8.6.1 热力学第二定律的微观意义 .....	271
8.4.2 热力学第二定律的两种表述 .....	266	8.6.2 玻耳兹曼熵公式 .....	274
§ 8.5 熵与熵增加原理 .....	267	习题 .....	274
附录 A 矢量 .....	279		
附录 B 常用基本物理常量 .....	289		
附录 C 本书中常用的物理量和单位 .....	291		
参考文献 .....	295		

>>>

## … 绪 论

## 1. 物理学研究的对象

自然科学,包括物理学在内,是以认识物质世界的基本属性、研究物质运动的基本规律为对象的.所谓物质就是我们周围的客观实在.日月星辰、山川草木、飞禽走兽是物质,各种气体、液体、固体和组成物质的分子、原子、电子等实物也是物质,电场、磁场、重力场和引力场这些场还是物质.总的来说,我们周围的一切都是物质,整个自然界是由各式各样的物质组成的.一切物质都在永不停息地运动着,而宇宙间的一切现象都是物质运动的表现形式.

物理学研究物质运动最基本最普遍的形式,从宇宙天体到微观粒子,从接近于光速的高速运动到远小于光速的低速运动,从无生命的物体到有生命的世界,涉及范围极为广泛.但就基础物理而言,其内容分为以下五篇.

第1篇 力学——研究物体的机械运动的规律.

第2篇 波动学——研究宏观领域的振动和波动规律.

第3篇 热学——研究大量分子进行无规则运动所表现出来的热现象和热运动规律.

第4篇 电磁学——研究电磁相互作用和电磁场的运动的规律.

第5篇 近代物理学——研究高速运动时的时空观和微观粒子内部结构及粒子之间相互作用的规律.

第1篇至第4篇通常称为经典物理,它们主要是19世纪以前的物理学成就,而第5篇主要是20世纪初以来物理学产生的革命性成就.

## 2. 物理学与科学技术的关系

由于物理学研究对象的普遍性和基本性,物理学与自然科学其他领域的结合越来越广泛、越来越密切,从而在物理学与其他自然科学之间形成了一系列分支学科和交叉学科,例如地球物理、海洋物理、生物物理、电工学、热工学、电子光学、固体力学、工程力学等.这些学科除了一些自身规律外,在很大程度上均需依赖物理学的理论来发展.因此,物理学是一切自然科学的基础.

物理学是伴随着人类的生存、生产活动一起发展起来的,物理学研究的重大突破,往往带来生产技术的飞跃发展.

18世纪60年代,由于力学和热学的发展,蒸汽机和内燃机等得到改进和推广,人类结束了单纯依靠人力和畜力做功的局面,掌握了向大自然索取能源的技能,借助自然能源,工业生产迅速发展.19世纪电磁学的研究成果,促进了电力的应用,电动机与电器的研究成果、无线电通信的实现,使人们学会了把其他形式的能量转化为电能和把电能转化为其他形式的能量,社会生产力由此而跃上新的台阶,世界面貌因此发生了深刻的变化.

进入20世纪以来,物理学的研究深入到物质结构的微观领域.量子理论的产生,使人类不仅可释放并获得核能,而且对固体和液体内部微观粒子的运动规律进行了成功的描述,从而为材料科学提供了理论依据,促使新材料、新器件、新能源、新的通信和控制手段如雨后春笋般地涌现;电子计算机的广泛应用,从根本上改变了工农业生产和科学研究的面貌.

### 3. 物理学的研究方法

物理学是一门实验科学,实验是物理学的根本,精确的、能够反复重复的实验决定物理学的一切,具有最高权威,而且对于未知领域的探求也主要是靠实验.自1901年以来的诺贝尔物理学奖大约70%颁给了物理实验或与实验有关的项目.实验是检验理论正确与否的最终标准,当新发现的实验事实无情地推翻旧的理论时,就会促使新理论建立.

物理现象的规律和若干物理量之间的关系是以一定的原理、假设、定律和定理来反映的,其中原理是指在自然科学的某一领域中具有普遍意义的、最基本的、可以作为其他规律的基础规律,它实际上是人们在大量实践的基础上提出来的,其正确性要通过由它所导出的其他结论与实验事实是否一致来检验.自然科学的各个学科领域都是从基本原理出发,推演出各种具体的定理、命题、结论等,由此形成了各自的学科体系.例如爱因斯坦的狭义相对论就是建立在“光速不变原理”和“相对性原理”之上的,由此出发导出了物体在高速运动情况下的运动规律及动力学结论.定律则是通过大量实验事实归纳概括而成的客观规律(如库仑定律、牛顿运动定律等).从基本定律出发,也可以推演出有关的物理定理及结论,例如从牛顿运动定律出发,导出了动能定理、动量定理、角动量定理等.定理则是根据原理或定律应用数学的方法推导出来的理论结论.当新事实与物理理论不相符合时,常用假设去说明.假设是在一定的观察、实验的基础上对自然现象本质提出的说明方案,其正确与否尚需进一步的实验和观察来验证.如果实验与观察证明它是正确的,这种假设便可上升为真理;如果证实它只有部分正确,则应予以修正;如果证实这种假设完全不对,则应予以否认.例如在一定实验基础上提出来的物质结构的分子假设因为能够解释物质在气、液、固各态的许多现象,就发展成为一套完整的分子运动理论的一部分.如果没有物质结构的分子假设,分子运动理论也就不会出现.

真实的物理世界是非常复杂的.为分析问题的方便常常提出理想模型,它以研究对象为依据,突出主要矛盾,忽略次要因素,从中得出现象或过程的基本规律.实践证明,这种在一定条件下把研究对象抽象化为某种理想模型的方法是一种重要的科学研究方法,不这样做,我们甚至连最简单的现象也会感到难以处理甚至束手无策.实际上,物理学的全部原理、定律都是对一定的理想模型行为的刻画,可以毫不夸张地说,没有理想模型就没有物理学.

基础物理学中常见的理想模型主要有质点、刚体、弹性体、理想气体、弹簧振子、点电荷、薄透镜、点光源、绝对黑体等.

测量是各个学科的基础.整个科学都是建立在少数几个基本定律的基础之上的,而这些定律又是从科学实验的测量结果中推论出来的.因此,只有可以测量的物理量才有实际意义,正如海森伯所说:“物理学只讨论一些可以测量的物理量.”

在基础物理学中,物理量大致可分为两类.一类是标量.这类物理量还可以分成两种,一种只具有正值,如质量、速率、动能和频率等;另一种则既有正值,也有负值,如电流、电动势、功和电荷量等.标量的计算遵从代数运算法则.另一类是矢量.这类物理量不仅有大小的不同,还有方向的差异,如力、位移、电场强度和电流密度

等. 矢量的计算遵从平行四边形法则.

#### 4. 努力学好大学物理课程

大学物理课程是理工科院校的一门十分重要的基础理论课, 是很多专业学生学习本专业后续课程的前置课程, 其丰富的研究方法和研究思想对整个自然科学的研究均有普遍的意义. 因此学好大学物理课程不仅对学习后续课程十分必要, 而且对今后学习其他新科学、新技术、新材料、新工艺也都很有帮助.

大学物理课程的广度和深度以及处理问题的方法与中学物理课程有很大的差别. 作为大学理工科的学生, 学习大学物理课程, 首先要注重课程内容的内在联系, 扎扎实实学好基本理论和基本知识, 这包括正确理解理想模型的建立过程及其具体意义, 弄清定理和定律的条件和适用范围, 对书中的概念、定律、公式含义能用自己的语言表达出来, 对书中主要公式的推导、定理的证明能自己独立进行, 深思熟虑地独立完成作业. 其次要注重思维模式的转变. 在中学阶段, 物理课程内容限定在常量问题的范围内(例如匀速运动、匀变速运动、恒力作用下的动力学问题等), 数学运算多为代数运算, 然而大学物理课程所涉及的问题却是复杂的变量问题. 数学运算则以矢量运算和微积分为主. 因此, 在学习大学物理课程时必须跳出常量思维定式的圈子, 建立变量思维的方法, 充分运用图表、图线、示意图等工具求解有关问题.



(1643—1727)

牛顿,英国物理学家、数学家、天文学家、经典物理学的奠基人之一,他总结了前人和自己关于力学方面的研究成果,撰写了《自然哲学的数学原理》这部科学巨著,其中含有牛顿运动三大定律、万有引力定律以及质量、动量、力和加速度等概念。由于他在科学研究上的功绩,英国女王特授予他爵士爵位。在他去世后,墓碑上刻着这样的碑文:“让人类欢呼,曾经存在这样一位伟大的人类之光。”



文档:牛顿简介

## 第 1 篇

# 力 学

**力**学是物理学中最古老和发展最为完善的学科。物理学的建立就是从力学开始的。力学的基本原理是整个物理学的重要基础,渗透于物理学的方方面面。力学研究机械运动的描述、规律和成因。物体与物体之间,或物体各部分之间相对位置随时间的变化称为机械运动。如各种机器的运动、弹簧的伸长与压缩、河水及空气的流动、心脏的跳动等都是机械运动。

力学理论的建立与发展经历了漫长的时期,它起源于公元前4世纪古希腊学者亚里士多德关于力产生运动的说法。17世纪,伽利略论述了惯性运动。而后,牛顿又提出了力学的三大定律,解决了大量的实际问题,使力学理论的发展达到了前所未有的水平,人们常把以牛顿三大运动定律为基础的力学理论称为经典力学(或称为牛顿力学)。

尽管力学很古老,但在科学研究及工程技术领域,如机械工程、水利工程、抗震工程、航空、航海与航天工程以及天体的运动等,经典力学都是必不可少的基础理论。

20世纪初,人们发现经典力学在高速运动及微观领域不再适用,于是产生了相对论及量子力学。虽然相对论及量子力学处理问题的思维及方法与经典力学存在很大差异,但是,它们的许多概念和思想都是在经典力学概念和思想上发展并改造而得来的。因此,学好经典力学对更好地学习相对论及量子力学是大有裨益的。

本篇介绍经典力学的基础,包括质点力学和部分刚体力学的内容。



## >>> 第1章

# … 质点运动的基本规律