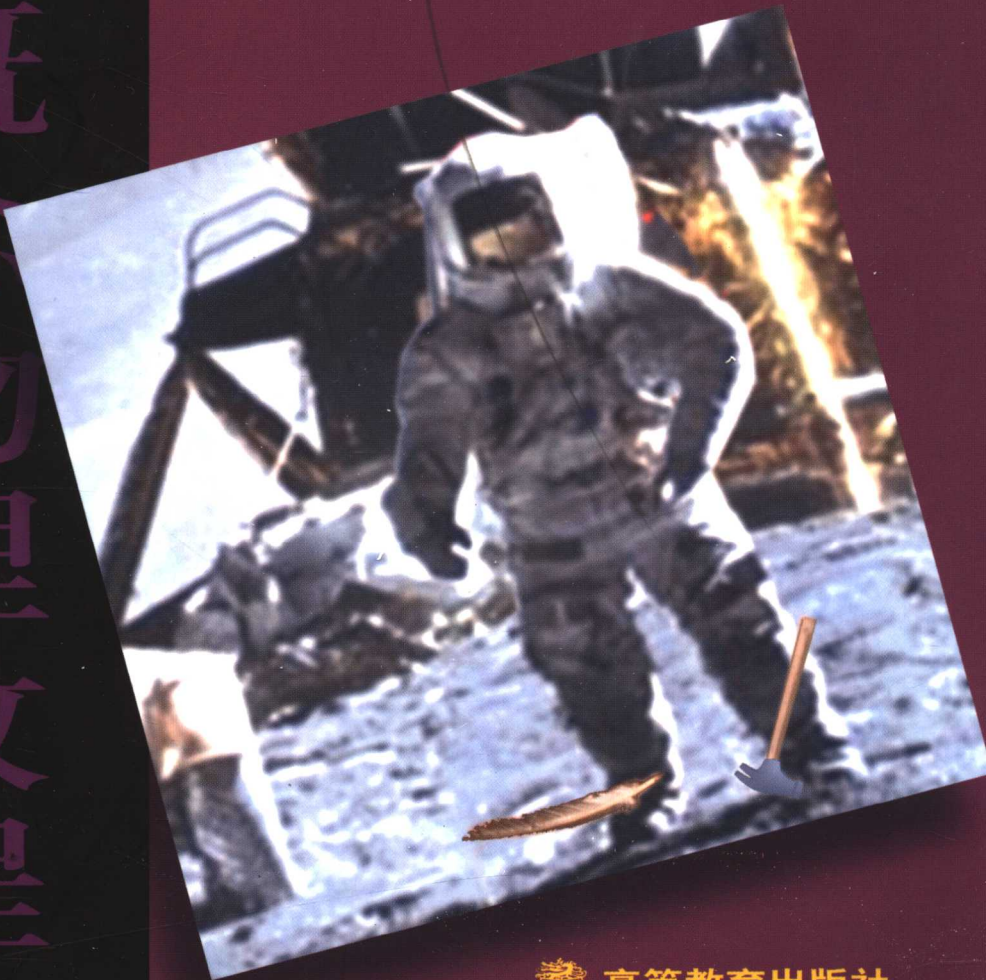


新概念物理教程

力学

(第二版)

赵凯华 罗蔚茵



高等教育出版社



面向21世纪课程教材

新概念物理教程

面向 21 世纪课程教材

新概念物理教程

力学

(第二版)

赵凯华 罗蔚茵



高等教育出版社

内 容 简 介

本书是教育部“面向 21 世纪教学内容和课程体系改革计划”的研究成果。以本书(第一版)为基础的教学改革项目《新概念力学》1977 年获国家级教学成果奖一等奖,1998 年获国家教育委员会科学技术进步奖一等奖。本书在结构上有较大的变化,在内容上也有较大的更新。本书在用现代观点审视教学内容、向当代前沿开设窗口和接口、培养物理直觉能力等方面作了一些改革。本书共分质点运动学,动量守恒、质点动力学,机械能守恒,角动量守恒、刚体力学,连续体力学,振动和波,万有引力,相对论等八章和三个数学附录。

本书可作为高等学校物理类专业的教材或参考书,特别适合物理学基础人材培养基地选用。对于其他理工科专业,本书也是教师备课时很好的参考书和优秀学生的辅助读物。

图书在版编目(CIP)数据

新概念物理教程. 力学 / 赵凯华, 罗蔚茵. —2 版.
—北京: 高等教育出版社, 2004.7 (2005 重印)
ISBN 7-04-015201-0

I. 新... II. ①赵...②罗... III. ①物理学—高等学校—教材②力学—高等学校—教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 050223 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landaco.com
经 销	北京蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landaco.com.cn
印 刷	涿州市星河印刷有限公司		
		版 次	1995 年 7 月第 1 版
开 本	787×960 1/16		2004 年 7 月第 2 版
印 张	31	印 次	2005 年 7 月第 3 次印刷
字 数	530 000	定 价	32.70 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 15201-00

第二版序

本书出版已经八年了,除了一般笔误和印刷错误在第一版历次印刷中已予订正之外,我们感到书中某些地方需要作较大的修改。

首先,读者熟知,本书与通常的力学教材以牛顿三定律为基础不同,而是以动量、角动量、能量三大守恒定律为出发点的,并提高到时空对称性来认识。本版中这方面做得更彻底一些,完全从空间对称性的分析引导出两质点的动量守恒,使这些守恒律与时空对称性的联系更加紧密。

其次,将一些与主线联系不太密切的段落次序作了调整,把“单位制和量纲”由第二章调到第三章,把“对称性”由第三章调到第四章,去掉一些枝蔓,使叙述更加紧凑。在一些章节把基本内容提前,深化或扩展的内容小字附后,删去一些过于专深的内容,使教学层次更加清晰。在第七章中删去高斯定理,集中解决开普勒问题和球形天体问题,球体的引力场和引力势用积分方法得出。此外,少数地方添加了一些内容,如开普勒从本轮走向椭圆的艰苦历程,对钟慢尺缩效应的进一步理解等,有心于该问题的读者是会得到教益的。

最后,增补了习题答案和个别较难的思考题选答。

作者

2003年12月

序

1991年10月在上海召开的普通物理教材建设组会议上,与会者一致认为,努力反映物理学当代成就,使基础课的教学内容更好地适应物理学发展的需要,是当前普物教材建设中的一个重要课题。编写这样一套教材的设想,就是在那次会议上初步定下来的。

从牛顿到爱因斯坦,标志着从经典物理到近代物理的转变,大约用了300年,知识更新的时间尺度以百年计。本世纪以来,科学技术的进步是加速发展的。如果说上半个世纪发展的时间常数还有三四十一年,则下半个世纪已缩短到一二十年。在一个人的一生中,就会不断受到科学知识和科学观念老化的威胁。我们这代人对此是有亲身体会的。当前正处于世纪之交,培养的下一代学生将成为21世纪的骨干。如何使他们在走出校门之后能适应比现在更加迅猛发展的科学技术,是我们教师现在必须考虑的问题,编写适应此形势的新教材是其中的一个重要的方面。

普物力学是基础课的基础,多年来总给人以老面孔的感觉。学生抱怨与中学重复,把理论力学的一套搬下来,也不是办法。我们深感普物力学教材的改造任务特别迫切。为此,我们从1992年开始着手编写这本教材,并于1993年和1994年连续两年分别在北京大学和中山大学物理类专业试用。在通过各种方式征求同行专家意见的基础上进行了两次修订。本教材编写的指导思想,概要来说有以下几点:

一、用现代的观点审视、选择和组织好传统的教学内容

上面我们笼统地谈到知识和观念老化的时间尺度问题,实际上两者更新的速度是不一样的。现代高技术的发展突飞猛进,计算机产品差不多每半年就可能换一代。物理学里知识的更新也比较快,几年不接触,文献里的名词就看不懂了。但是基础科学里基本概念的更新,节奏要缓慢得多,不过其影响也深远得多。作为基础物理学教材,本书在知识更新和概念更新两个方面,更侧重于后者。可以认为,这是本书取名“新概念”寓意之所在。

普通物理的力学是以经典内容为主的,它们现在仍是学习物理学的重要基础。不过我们要用现代的观点来审视各经典物理基本概念的提法是否需要修正,各经典物理定律的相对位置是否发生了变化,等等。据此,我们从新的角度重新考虑了教材的体系和对原有内容做了一定的增删取舍。

传统力学教材是以牛顿运动三定律为核心来展开的,并把质量和力作为动力学中最基本的概念,从而导出动量和能量的概念以及有关的守恒定

律。然而从现代物理的高度来看,在描述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。因此我们在本教材中以动量、能量和角动量三个守恒定律为核心来展开。这样做,不仅从观点上与近代物理相衔接,还可大大地改善传统教材中某些问题的讲法。本教材中关于质量、力、质心、势能、振动等概念的引入,都与传统教材有较大的不同。

从近代物理的观点来看,参考系并不仅仅是确定运动物体速度、加速度的描述工具。寻找不同参考系内物理量、物理规律之间的变换关系(相对性原理),以及变换中的不变量(即对称性),能使我们超越认识的局限性,去把握物理世界中的更深层次的奥秘。因此在本教材中,从原理的阐述到应用举例,比传统教材更多地注意参考系的选择、力学相对性原理和对称性运用的训练。我们从时空对称性阐明了三个守恒定律的物理渊源,以强调对称性在物理学中的基本地位,使学生体会到,为什么三个守恒定律可以从宏观领域长驱直入到微观领域。

为了更好地与现代物理学接轨,本教材尽量采用与前沿领域中惯用的工作语言和思想方法来讲解。例如对于势能的概念,我们特别强调了一维势能曲线的运用:从势能的极小引入振动的概念,以展示振动这种运动形式的普遍存在;通过引入离心势能,化二维为一维,在避免使用微分方程的情况下用势能曲线讨论了开普勒运动。

二、适当地为物理学前沿打开窗口和安装接口

许多近代和前沿的课题是与普通物理课的内容有联系的,在适当的地方开一些“窗口”,引导学生向窗外的世界望一望,哪怕仅仅是“一瞥”,都会对开阔他们的眼界,启迪他们的思维,加深他们对本门课程的理解有好处。我们认为,基础课的任务,不仅是为了后继课程的需要,更深层的意义在于科学素质的培养。让学生了解人类文明发展的现状是人才素质培养的一个重要方面。

在历史上天文学是牛顿力学、乃至整个物理学的先导;而今天,天体物理学和宇宙学激动人心的发展已成为令人瞩目的前沿阵地。很自然,本教材中的许多窗口开向了这个领域:联系到角动量守恒时,说明为什么银河系是扁平的,联系逃逸速度谈黑洞,联系开普勒定律介绍星系冕和宇宙间的暗物质,等等。我们认为,在普物力学里必须有个窗口是开向广义相对论的,否则学生不可能真正懂得什么是惯性,以及绝对时空观错在哪里。开向其它领域的窗口就不在此一一赘述了。

除“窗口”之外,近代的前沿课题的概念往往在普通物理课程中已有,只不过其内涵有所延伸和发展。但是在过去的教材中未为它们留下必

要的“接口”，交代一下可由此延伸出去的领域和课题。即使对这些领域和课题本身并不作过多的介绍，对学生也是大有裨益的。例如对于振动，我们比传统教材增加了简正模的概念；对于波动，我们用一维弹簧振子链代替传统的弦，等等，为固体物理中声子、能带等概念作了铺垫。通常在普通物理的力学部分讲碰撞时，多以宏观物体为背景，这时弹性与非弹性碰撞的分野在于有无能量耗散。本教材中指出，对于微观客体之间的碰撞，概念将有所发展，弹性与非弹性碰撞的分野是指能量有无向内部自由度转移。此外，我们讲碰撞时还适当提及微观领域所关心的角分布问题与相应的散射截面概念。

在牛顿力学建立之后 300 年，除相对论、量子力学外，其世界观受到了来自内部的巨大冲击，那就是混沌运动问题。混沌理论是当前经典物理学范围内的前沿课题，当代的经典力学教材不应对此保持缄默。但是混沌的理论过于深奥，难以纳入本门课程，而配以适当的接口，并稍为提及混沌的概念本身，是必要而且可能的。非线性振动是通向混沌的重要道路，而现行的普通物理教材中，基本上只讲线性问题。如果说，多少也涉及一点非线性问题的话，那就是用傅里叶分析的观点来说明非线性元件产生谐频，混频后产生和频与差频，以及自振系统产生的自激振动。这些内容都是通向混沌理论必要的基础，但差了一口气，缺少的是次谐频（倍周期分岔）、同步锁模和极限环的概念和相图的描述方法。本教材在适当的地方安装了这些接口。

三、通过知识的传授提高科学素质和能力

科学不是死记硬背的知识，科学的任务是探索未知，科学素质终将在获取知识的能力上反映出来。当然，没有知识也谈不上能力，融会贯通的知识是能力的载体。在力学所涉及的知识海洋里，我们有意识地选择一些知识点，使之有利于提高学生的科学素质和能力。

当一个成熟的物理学家进行探索性的科学研究时，常常从定性和半定量的方法入手来提出问题和分析问题，这包括对称性的考虑和守恒量的利用，量纲分析，数量级估计，极限情形和特例的讨论，简化模型的选取，以至概念和方法的类比，等等。这种提出问题和分析问题的能力要靠一定的物理直觉和洞察力。直觉是经验的升华，初学者是难以做到的。但是我们认为，在普通物理课程中应该从头起就有意识地培养学生这种能力。

我国物理教学的优良传统是课程的内在联系紧密，论述条理清晰，逻辑严谨。但是我们总觉得，在我国的教学中还缺少点什么。问题在于我们的学生每遇到问题时，总是一开始便埋头于用系统的理论工具，按部就班地作

详尽的定量计算,而且常为某些计算细节所困惑,尽管许多问题本可以通过直觉的思考就能得到定性或半定量的结论。本教材在加强学生这种能力的培养方面,作了一定的努力。

杨振宁先生在多次谈话中比较了中美的教育方式。他提到中国传统教育提倡按部就班的教学方法,认真的学习态度,这有利于学生打下扎实的根基,但相对来说,缺少创新意识;美国提倡“渗透式”的教育方式,其特点是学生在学习的时候,对所学的内容往往还不太清楚,然而就在这过程中已经一点一滴地学到了许多东西,这是一种“体会式”的学习方法,培养出来的学生有较强的独立思考能力和创造能力,易于很快地进入科学发展的前沿,但不如前者具有扎实的根基。他认为中美两种教育方式各具特色,长短互补,若能将两者的优点和谐地统一起来,在教育方法上无疑是一个突破。我们赞同杨振宁先生这一见解,并试图在本教材的编写中,在上述两者之间取得和谐,力争有所突破。

在作者共同拟定了全书的构思后,罗蔚茵提供了第一、二、三、八章的初稿,赵凯华作了修改和补充;本书其余部分皆由赵执笔,全部书稿经多次交换意见后,由赵统一定稿。本书的编写是个艰辛的探索过程,在此过程中我们得到国内外同行热情的支持、鼓励和帮助。普物教材建设组的组长冯致光教授是编写本书的倡议者,对本书的写作和修改始终给予了热情的关注。南京大学的梁昆森教授、复旦大学的贾起民教授、中山大学的郑庆璋教授和北京大学的陆果教授等,仔细阅读了书稿的一些章节,提出了许多中肯的意见。我们在此谨致以衷心的感谢。本书中不免有疏漏和错误之处,祈广大教师和读者不吝指正。

作者

1995 乙亥新春

作者简介



赵凯华 北京大学物理系教授,曾任北京大学物理系主任,国家教委高等学校理科物理学与天文学教学指导委员会委员、基础物理教学指导组组长,中国物理学会副理事长、教学委员会主任。科研方向为等离子体理论和非线性物理。主要著作有《电磁学》(与陈熙谋合编,高等教育出版社出版,1987年获全国第一届优秀教材优秀奖),《光学》(与钟锡华合编,北京大学出版社出版,1987年获全国第一届优秀教材优秀奖),《定性与半定量物理学》(高等教育出版社出版,1995年获国家教委第三届优秀教材一等奖),等。他负责的“电磁学”被评为2003年度“国家精品课程”。



罗蔚茵 中山大学物理系教授,曾任中山大学物理系副主任、中山大学高等继续教育学院院长,国家教委高等学校理科物理学与天文学教学指导委员会委员、基础物理教学指导组成员,中国物理学会教学委员会副主任。主要著作有《力学简明教程》(中山大学出版社出版,1992年获国家教委第二届优秀教材二等奖),《热学基础》(与许煜寰合编,中山大学出版社出版),等。

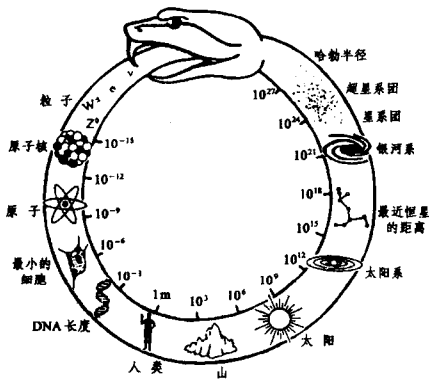
合作项目:

“《新概念力学》面向21世纪教学内容和课程体系改革”

1997年获国家级教学成果奖一等奖

“新概念物理”

1998年获国家教育委员会科学技术进步奖一等奖



物理学是探讨物质基本结构和运动基本规律的学科。从研究对象的空间尺度来看,大小至少跨越了42个数量级。

人类是认识自然的主体,我们以自身的大小为尺度规定了长度的基本单位——米(meter)。与此尺度相当的研究对象为宏观物体,以伽利略为标志,物理学的研究是从这个层次上开始的,即所谓宏观物理学。19-20世纪之交物理学家开始深入到物质的分子、原子层次(10^{-9} - 10^{-10} m),在这个尺度上物质运动服从的规律与宏观物体有本质的区别,物理学家把分子、原子,以及后来发现更深层次的物质客体(各种粒子,如原子核、质子、中子、电子、中微子、夸克)称为微观物体。微观物理学的前沿是高能或粒子物理学,研究对象的尺度在 10^{-15} m以下,是物理学里的带头学科。20世纪在这学科里的辉煌成就,是60年代以来逐步形成了粒子物理的标准模型。

近年来,由于材料科学的进步,在介于宏观和微观的尺度之间发展出研究宏观量子现象的一门新兴的学科——介观物理学。此外,生命的物质基础是生物大分子,如蛋白质、DNA,其中包含的原子数达 10^4 - 10^5 之多,如果把缠绕盘旋的分子链拉直,长度可达 10^{-4} m的数量级。细胞是生命的基本单位,直径一般在 10^{-5} - 10^{-6} m之间,最小的也至少有 10^{-7} m的数量级。从物理学的角度看,这是目前最活跃的交叉学科——生物物理学的研究领域。

现在把目光转向大尺度。离我们最近的研究对象是山川地体、大气海洋,尺度的数量级在 10^3 - 10^7 m范围内,从物理学的角度看,属地球物理学的领域。扩大到日月星辰,属天文学和天体物理学等的范围,从个别天体到太阳系、银河系,从星系团到超星系团,尺度横跨了十几个数量级。物理学最大的研究对象是整个宇宙,最远观察极限是哈勃半径,尺度达 10^{26} - 10^{27} m的数量级。宇宙学实际上是物理学的一个分支,当代宇宙学的前沿课题是宇宙的起源和演化,20世纪后半叶这方面的巨大成就是建立了大爆炸标准宇宙模型。这模型宣称,宇宙是在一百多亿年前的一次大爆炸中诞生的,开初物质的密度和温度都极高,那时既没有原子和分子,更谈不到恒星与星系,有的只是极高温的热辐射和在其中隐现的高能粒子。于是,早期的宇宙成了粒子物理学研究的对象。粒子物理学的主要实验手段是加速器,但加速器能量的提高受到财力、物力和社会等因素的限制。粒子物理学家也希望从宇宙早期演化的观测中获得一些信息和证据来检验极高能量下的粒子理论。就这样,物理学中研究最大对象和最小对象的两个分支——宇宙学和粒子物理学,竟奇妙地衔接在一起,结成为密不可分的姊妹学科,犹如一条怪蟒咬住自己的尾巴。

《新概念物理教程·力学》封面插图说明：



伽利略和牛顿创立了力学和真正的物理学。阿波罗 15 宇航员 D. R. Scott 发现他自己处在无空气的月球表面时，情不自禁地丢下一把榔头和一根鹰的羽毛来验证伽利略的落体定律。他说，如果没有伽利略的发现，他就不可能站在那个地方。（此图非真实照片）

一首闻名的诗写道：

自然和自然规律隐藏在黑夜之中，

上帝说“让牛顿降生吧”，

一切就有了光明；

但是，光明并不久长，魔鬼又出现了，

上帝咆哮说：“嗨！让爱因斯坦降生吧”，

就恢复到如今这个样子。

三百多年前，牛顿站在巨人的肩膀上，建立了动力学三大定律和万有引力定律。其实，没有后者，就不能充分显示前者的光辉。海王星的发现，把牛顿力学推上荣耀的顶峰。

魔鬼的乌云并没有把牛顿力学摧垮，她在相对论的基础上确立了自己的适用范围。宇航时代，给牛顿力学和相对论带来又一个繁花似锦的春天。

目 录

绪 论	1
1. 什么是物理学?	1
2. 物理学与技术	2
3. 物理学的方法和科学态度	3
4. 怎样学习物理学?	5
第一章 质点运动学	7
§ 1. 引言	7
1.1 力学的研究对象	7
1.2 质点	7
1.3 参考系和坐标系	8
§ 2. 时间和空间的计量	8
2.1 时间的计量	8
2.2 长度的计量	10
§ 3. 物质世界的层次和数量级	11
3.1 数量级的概念	11
3.2 空间尺度	13
3.3 时标	17
§ 4. 直线运动	18
4.1 亚里士多德和伽利略的运动观	18
4.2 平均速度和瞬时速度	19
4.3 平均加速度和瞬时加速度	21
§ 5. 曲线运动	23
5.1 位移、速度和加速度的矢量表示	23
5.2 抛体运动	25
5.3 匀速圆周运动	27
5.4 在给定制道上的运动	29
§ 6. 相对运动	32
本章提要	35
思考题	36
习题	39
第二章 动量守恒 质点动力学	41
§ 1. 惯性	41
1.1 惯性定律	41

1.2 惯性系	43
§2. 质量 动量 力 冲量	44
2.1 历史性的评述	44
2.2 空间对称性	46
2.3 质量	48
2.4 动量 动量守恒定律	48
2.5 力和力的叠加原理 质点组动量守恒的条件	51
2.6 牛顿定律 冲量 动量定理	54
§3. 牛顿三定律及其应用	57
3.1 牛顿三定律的表述	57
3.2 自然界中常见的力	57
3.3 应用举例	67
§4. 伽利略相对性原理和非惯性系	71
4.1 伽利略相对性原理	71
4.2 伽利略坐标变换	73
4.3 惯性力	74
4.4 科里奥利力	81
4.5 牛顿绝对时空观的困难和惯性的起源	85
本章提要	90
思考题	91
习题	93
第三章 机械能守恒	98
§1. 功和能	98
1.1 历史性的评述	98
1.2 重力势能	100
1.3 弹性势能	102
1.4 动能	103
1.5 功和功率	104
§2. 机械能守恒定律	107
2.1 保守力和非保守力	107
2.2 能量的各种形式	109
2.3 机械能守恒定律	111
2.4 保守系与时间反演不变性	114
§3. 一维势能曲线的运用	115
3.1 一维势能曲线告诉我们什么?	115
3.2 应用举例	117

3.3 离心势能	121
3.4 相图	122
§ 4. 质心系与两体碰撞	123
4.1 动量中心系和质心	123
4.2 质心运动定理	125
4.3 克尼希定理 资用能	127
4.4 两体碰撞	128
4.5 瞄准距离与散射截面	133
§ 5. 单位制和量纲	135
5.1 单位制 基本单位和导出单位	135
5.2 量纲	136
5.3 量纲分析	137
5.4 几何相似性与标度律	141
本章提要	142
思考题	144
习题	146
第四章 角动量守恒 刚体力学	151
§ 1. 角动量守恒	151
1.1 角动量	151
1.2 力矩 质点组的角动量定理和角动量守恒定律	153
1.3 质心系的角动量定理	157
§ 2. 对称性 因果关系 守恒律	159
2.1 什么是对称性?	159
2.2 因果关系和对称性原理	161
2.3 守恒律与对称性	162
§ 3. 刚体运动学	163
3.1 什么是刚体?	163
3.2 平动和转动	164
3.3 角速度	165
§ 4. 刚体定轴转动	167
4.1 角动量与角速度的关系	167
4.2 转动惯量	169
4.3 转动惯量的平行轴定理和正交轴定理	171
4.4 绕定轴转动的动力学	174
4.5 冲量矩	176
4.6 刚体的功和能	178

4.7 复摆	179
§ 5. 刚体的平面平行运动	181
5.1 刚体一般运动的动力学	181
5.2 平面平行运动	181
5.3 瞬时转动中心	184
5.4 平面平行运动的动能	186
§ 6. 刚体的平衡	189
6.1 刚体的平衡方程	189
6.2 天平的灵敏度	191
§ 7. 回转运动	192
7.1 不受外力矩的回转运动	192
7.2 回转效应	192
7.3 岁差	194
7.4 章动	195
本章提要	196
思考题	198
习题	200
第五章 连续体力学	206
§ 1. 固体的弹性	206
1.1 应力和应变	206
1.2 直杆的拉伸或压缩	207
1.3 梁的弯曲	209
1.4 柱的扭转	211
1.5 相似性原理	212
§ 2. 流体静力学	213
2.1 静止流体内部的应力	213
2.2 静止流体中压强的分布	214
2.3 帕斯卡原理	216
2.4 阿基米德原理	216
2.5 表面张力	217
2.6 毛细现象	219
§ 3. 流体的流动	220
3.1 理想流体的概念	220
3.2 流线和流管	221
3.3 定常流动和不定常流动	221
3.4 流量	222

3.5 连续性原理	223
3.6 流体的反作用	223
3.7 理想流体环量守恒定律	224
§ 4. 伯努利方程及其应用	225
4.1 方程的推导	225
4.2 方程的应用	226
4.3 马格纳斯效应和机翼受到的升力	229
§ 5. 黏滞流体的流动	233
5.1 流体的黏滞性	233
5.2 泊肃叶公式	234
5.3 斯托克斯公式	236
5.4 流体的相似性原理	237
5.5 层流与湍流	239
本章提要	241
思考题	244
习 题	246
第六章 振动和波	249
§ 1. 线性振动	249
1.1 简谐振动的描述	249
1.2 简正模	253
1.3 阻尼振动	256
1.4 受迫振动	258
1.5 共振	260
§ 2. 振动的合成与分解	264
2.1 一维同频振动的合成	264
2.2 二维同频振动的合成	265
2.3 不同频振动的合成和同步锁模	266
2.4 傅里叶分解和次谐频	268
§ 3. 非线性振动	270
3.1 自激振动	270
3.2 软激励和硬激励自振 稳定的和不稳定的极限环	274
3.3 什么是“混沌”?	275
§ 4. 简谐波	278
4.1 波动的基本概念	278
4.2 一维简谐波的描述	279
4.3 一维弹性波	281

4.4 波的能量和能流	283
4.5 波的群速	284
4.6 驻波	285
4.7 阻抗及其匹配	287
4.8 连续介质的波动方程	289
§ 5. 连续介质中的波	291
5.1 声波和声速	291
5.2 声压和声阻抗	292
5.3 声强	293
5.4 浅水波	294
5.5 深水波	295
5.6 表面张力波	296
5.7 弹性波	297
§ 6. 多普勒效应与超波速运动	297
6.1 多普勒效应	297
6.2 艏波和马赫锥	300
本章提要	302
思考题	307
习 题	309
第七章 万有引力	314
§ 1. 开普勒定律	314
1.1 历史性的回顾	314
1.2 开普勒从本轮走向椭圆	316
1.3 开普勒行星运动三定律	319
§ 2. 万有引力定律	319
2.1 定律的建立	319
2.2 定律的表述	323
2.3 万有引力常量 G 的测定	323
2.4 引力理论的成就与意义	326
2.5 太阳系里有没有混沌运动?	327
§ 3. 开普勒运动	329
3.1 质点的引力势	329
3.2 开普勒运动的守恒量	329
3.3 有效势能曲线的利用	330
3.4 位力定理和负热容	335
§ 4. 球体的引力场与若干天文问题	337