

中国科学技术大学 精品 教材

“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学 交叉学科基础物理教程

主 编 侯建国 副主编 程福臻

力 学

刘 斌 编著

中国科学技术大学出版社

03
2014/1

中国科学技术大学 精品教材

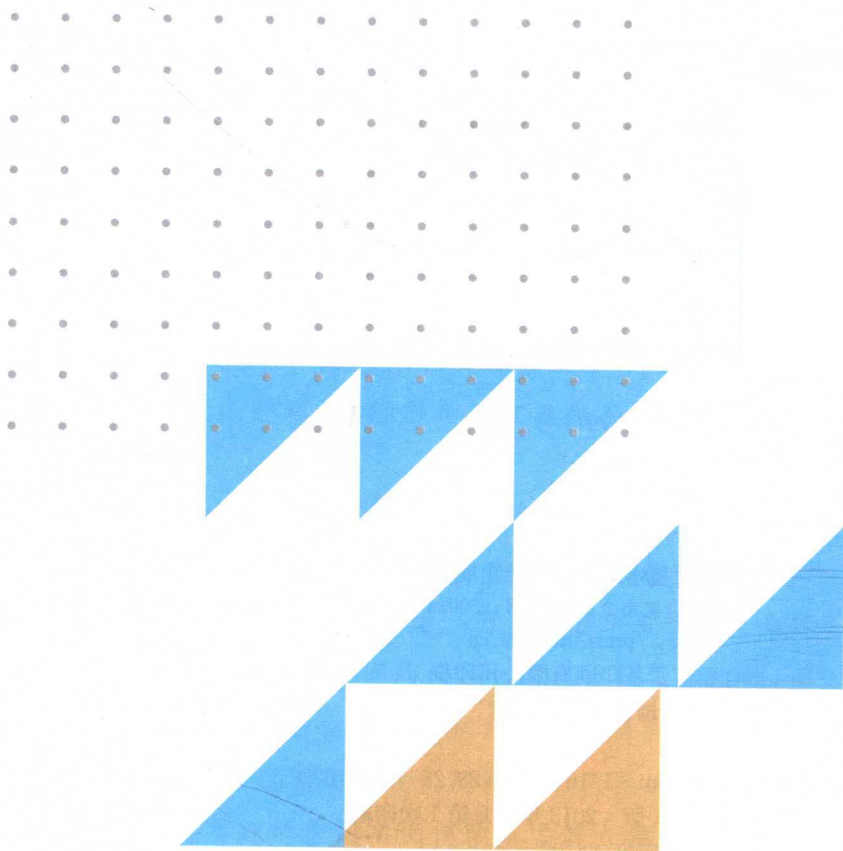
“十二五”国家重点图书出版规划项目

中国科学技术大学 交叉学科基础物理教程

主 编 侯建国 副主编 程福臻

力 学

刘 斌 编著



中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书作者在中国科学技术大学长期教授一年级“力学”基础课,具有丰富的教学经验。本书是在十余年讲义的基础上,根据交叉学科人才培养的实际需要,参考国内外多部优秀教材编写而成的。内容主要包括:“时间”和“空间”以及“测量”中的一些重要问题、牛顿经典力学、振动与波、以“质点”模型为基础构建的不同“体”模型。作为对经典力学的补充,还简单介绍了狭义相对论的时空观。为了使读者理解所谓的物理理论实际上是对真实世界的一种描述,每一章都试图从自然界的实际现象或需要解决的问题出发,引入物理学上对这些现象或问题的描述方式或办法,以及所建立起来的相应的理论体系。这实际上更接近物理学研究处理实际问题的方式。书后附有丰富的习题,供读者有针对性地选择练习,以加深对教学内容的理解与认识,掌握用所学理论、知识解决实际问题的方法。

本书可供综合性大学和理工类院校作为普通物理力学教科书或主要参考书,也可供大专院校物理教师和物理教学研究工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

力学/刘斌编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2013.8

(中国科学技术大学交叉学科基础物理教程)

中国科学技术大学精品教材

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-312-03314-8

I. 力… II. 刘… III. 力学—高等学校—教材 IV. O3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 177977 号

中国科学技术大学出版社出版发行

安徽省合肥市金寨路 96 号,230026

<http://press.ustc.edu.cn>

合肥市宏基印刷有限公司印刷

全国新华书店经销

开本:880 mm×1230 mm 1/16 印张:28.25 字数:625 千

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

定价:88.00 元



前 言 ■

普通物理中的“力学”，是大学生接触到的第一门大学物理课程。作为大学普通物理的“力学”与在中学已经非常熟悉的“力学”有什么不同？为什么不论什么专业（几乎所有的理工类专业，甚至部分文科专业）的大学生都要学习普通物理课程？为什么说普通物理是重要的基础课？不少刚进入大学的同学感到非常困惑，觉得不知道怎样学习这门课程，如何才能学好它。力学课程中的不少概念与理论同学们在中学都学习过，有些还能非常熟练地运用；因此部分同学可能看轻力学，误认为没有什么新的内容，结果忽视了这门课程真正希望告诉同学们的东西，包括涉及的许多基本概念和理论，特别是建立这些概念、获得这些理论的方法。

本教材希望能使读者对力学的基本概念有较为透彻的理解。为了达到这一目的，我们努力通过能引起读者阅读兴趣而且条理清楚、容易理解、可读性较强的方式来阐释力学。为什么要学习物理？为什么要学习“力学”？这是很多同学经常问的问题。回答当然是确定的，因为物理学、力学不论是对我们的日常生活还是对其他学科的科学研究的、技术开发都非常有用，是我们试图理解我们周围这个世界的基础。所以，我们还希望能通过一些有趣的应用实例使学生了解力学在我们日常生活以及他们将来所从事专业中的实际应用，帮助他们形成用物理学的眼光认

识世界的习惯,理解“模型”的重要意义以及物理学“理论”的确切含义,培养在日常生活和工作中灵活运用物理的能力。

为了使读者理解所谓的物理理论实际上是对我们周围真实世界的一种描述,我们每一章都试图从自然界的实际现象或需要解决的问题出发,引入物理学上对这些现象或问题的描述方式或办法,以及所建立起来的相应的理论体系。这样可以使本书尽量有趣易懂,实际上也更接近物理学研究处理实际问题的方式,即从实际现象或问题出发,进行适当的简化与近似,找到合适的数学描述办法,灵活地运用强大的数学工具求解,再将数学解应用于实际问题。希望这一目标能够达到。

“力学”中讲到的方法论不仅对将来准备从事科学研究、工程开发的同学十分重要,对其他同学培育科学素养也是非常有益的。当代自然科学的很多最新成果都是在传统物理理论与方法的基础上产生的。“力学”课程的教学内容应系统地介绍自然科学的产生、发展和沿承。从亚里士多德、阿基米德到达·芬奇、哥白尼、开普勒、伽利略,到牛顿,再到爱因斯坦等,每一次理论的飞跃都反映了人类认识水平的提高以及认识方式的进步。现在的自然科学发展很快,新理论、新技术层出不穷,要求人们必须养成终身学习的习惯,具备自我学习的能力,也就是必须掌握科学的世界观、认识论与方法论,而这些应该都可以通过“力学”课程的学习让学生仔细体会,认真领悟。

本教材除绪论外共分10章。“绪论”简单介绍力学的基本内容、特点与学习中需要注意的问题。第1章主要介绍力学中涉及的最基本也是最重要的两个概念:“时间”和“空间”,以及“测量”中的一些重要问题。在此基础上,第2章讨论如何正确地描述物体运动的问题,第3章则讨论运动状态变化与物体之间相互作用的关系,第4章重点讨论一类特殊的相互作用——引力。复杂多变的自然界中还有一些物理量在一定条件下是不变的或守恒的,第5章围绕这些守恒量存在的条件及物理学上的意义进行讨论。作为质点力学的实际应用,第6章讨论常见的振动与波现象。以“质点”模型为基础,可以构建不同的“体”模型:刚体、弹性体、流体(液体和气体),第7章至第9章分别讨论这些“体”模型的构建与基本应用,而气体的“质点组”模型又为“热学”和“热力学”中的分子运动论作了一定的准备。作为对经典力学的补充,第10章简单介绍狭义相对论的



时空观。附录则对力学课程中用到的部分数学工具进行简单介绍。

当前,全社会都在强调创新意识与创新能力的培养。其实,创新也是要有基础的,创新离不开知识的积累;创新不能违背自然规律。这两点都可以通过物理课程的学习传递给大家。没有继承就不可能有发展,后人的进步都是站在前辈的肩膀上实现的。物理学本身就是探究、寻找自然界的客观规律,让人们明白违背自然规律就要受到大自然的惩罚。物理基础课的学习也可以培养学生的创新意识与创新能力。“力学”课程中涉及的大量概念与理论在科学发展史上都是创新,有些甚至是革命。爱因斯坦曾经说过:“物理学不应该教成一堆技术,而应教成思想概念的诗剧。应该强调思想概念的演变,强调我们企图了解物理世界的历史,以使具备洞察未来的能力。”所以,“力学”课程应该引起大家的重视。

本教材是在使用了十余年的讲义基础上,根据交叉学科人才培养的实际需要编写的。本书的大纲和章节安排曾在中国科学技术大学力学课程组例会上征求过意见,还多次在编委会上汇报与讨论;主编侯建国院士审阅了书稿,提出了非常有价值的指导性意见;副主编程福臻教授与作者进行了多次讨论,逐字逐句对书稿进行了认真的修改;在国外获得博士学位并完成博士后工作刚刚回国的两位年轻副教授王毅和王景贇女士,在承担本课程助教工作的同时,审阅了全部书稿并为本书准备了习题;本书的初稿在2011年秋季学期以电子版的形式给大学一年级的学生试用,修改后在2012年秋季学期,又以纸质讲义的形式在2012级教改实验班和严济慈班中进行了试用,同学们提出了很好的修改建议;向守平教授和蒋一教授审阅了基本定稿后的书稿并提出了很有价值的修改意见;在正式出版前,编委会又邀请了清华大学的李师群教授和复旦大学的蒋最敏教授审阅全书,二位先生利用2013年寒假和春节的宝贵时间认真阅读了书稿,提出了珍贵的、非常有建设性的意见;中国科学技术大学出版社的同志们为本书的成稿与出版也做了大量的工作,特别是精心设计版式,为读者提供了记笔记的空间。我们对大家的大力支持与无私帮助表示感谢。由于多年来在课程讲授过程中通过各种渠道收集、引用的资料很多,有些来自同行、同事,甚至部分来源于网络,现在无法在引用处一一注明出处,书后所附的参考书目也不够完整,敬请读者谅解。

在此特向所有我们参考过的书籍与论文的作者表示感谢,他们是本书每一字句的提供者和来源。

多年前,中国科学技术大学地球和空间科学学院的胡银玉女士将作者厚厚几大本手写的备课笔记和教案录入计算机,这才有了本书电子版讲义的雏形;后来又在教务处张敏女士的帮助下逐年丰富和完善。这是本教材赖以成书的基础。借此机会特向她们二人致以深深的谢意!

“力学”课程涉及的内容极其丰富,只是作者了解的范围有限,水平也不高,书中难免有不妥之处,内容取舍也是基于个人的主观判断,不一定科学合理。我们热诚希望读者朋友们批评指正,以便改进!

编 者

2013年7月



给使用本教材的教师和同学的些许建议 ■

首先,感谢您选用本教材!

本教材是根据交叉学科人才培养的实际需要编写的。

在一次大学物理教学与教材建设研讨会上,一位前辈说过:“教材不是教学的全部。”教学也应该不是教材的全部。因为学生来自多学科,所以本教材的内容比一般的教学要求略有超出,教师可以根据实际情况选择使用;学生也可以自己阅读有关内容,也许会有意想不到的收获呢。

对于机械等学科的学生,可能“牛顿方程的对称性”、“万有引力”、“弹性波”等部分的内容可以略讲;对于信息、电子等学科的学生,可能“刚体”、“弹性力学”、“流体力学”等部分的内容可以略讲;而对于生物等学科的学生,可能“万有引力”、“弹性力学”等部分的内容可以略讲。

除此之外,我们在每一章节中安排的内容,尤其是涉及的数学工具,都有一定的层次差异,建议教师根据实际情况灵活安排详讲或略讲,或者留给学生作为课外拓展阅读的素材;有些内容也可以是学生研讨的主题。对于部分读者,跳过繁杂的数学推导直接从整体上把握脉络,也未尝不是一种可行的方法。未按惯例使用不同字号或字体区分,不是编者偷懒,而是希望把选择权完全交给上课的教师和读者朋友。

根据在教学实践中了解到的学生情况,借鉴国外一流大学的做法,我们还编制、改编了丰富的习题,有些也是对正文内容的补充和扩展,供教师和学生有针对性地选择练习,加深对教学内容的理解与认识,掌握

用所学理论、知识解决实际问题的方法。练习题中不少题目都是对实际问题的探讨,有一定的开放性,目的是帮助同学在“解题”的过程中尽快建立“解决问题”的意识与正确的方法。希望这一目标能够达到。因为题目较多,且对有些问题的解答还需要展开讨论,所以我们同时准备了配套的习题分析与解答,供您选用、参考。

再次对您选用本教材表示感谢,并期待您提出修改意见,以便我们日后改进。

目 录

前 言	(i)
给使用本教材的教师和同学的些许建议	(v)
绪 论	(1)
0.1 物理与力学	(2)
0.2 力学的发展史	(2)
0.3 物理学的特点	(6)
0.4 物理学与数学的关系	(7)
0.5 交叉学科与力学	(8)
0.6 对学习力学的一些建议	(9)
第 1 章 时间、空间与测量	(11)
1.1 时间与空间概念的形成	(12)
1.2 时间的度量	(13)
1.2.1 定量测量方法的形成	(13)
1.2.2 “芝诺佯谬”与度量方法的选择	(14)
1.2.3 时间测量的常用方法	(16)
1.2.4 时间的单位和标准	(17)
1.3 空间(长度)的度量	(18)
1.3.1 空间(长度)的定量测量方法	(18)
1.3.2 不同尺度长度的测量方法	(19)
1.3.3 长度的单位和标准	(19)
1.4 时间、空间测量中的局限	(21)
1.4.1 时间和空间测量的相对性	(21)

1.4.2 时间和空间测量的不确定性	(21)
1.5 有效数字, 不确定度, 估算, 单位制与量纲	(22)
1.5.1 测量	(22)
1.5.2 测量的精度与有效数字	(22)
1.5.3 不确定度	(23)
1.5.4 基本力学量的估算与量级分析	(24)
1.5.5 单位制	(25)
1.5.6 量纲分析及其实用意义	(26)
第2章 质点运动学	(27)
2.1 模型——实际对象的理想化与简化	(28)
2.1.1 理想化模型	(28)
2.1.2 质点—牛顿力学的基本模型	(29)
2.2 一维运动的描述	(30)
2.2.1 参照系与参考坐标系	(30)
2.2.2 “飞矢不动”佯谬与速度概念的引入	(31)
2.2.3 匀速运动与变速运动	(34)
2.3 平面运动	(38)
2.3.1 位置矢量与位移	(38)
2.3.2 速度与加速度	(39)
2.3.3 时间曲线与空间轨迹	(39)
2.3.4 恒定加速度平面运动, 抛体运动	(40)
2.3.5 匀速圆周运动	(41)
2.3.6 平面极坐标系中的速度、加速度表示	(42)
2.4 三维空间运动	(46)
2.4.1 三维空间运动的描述	(46)
2.4.2 三维轨道退化为平面轨道	(48)
2.4.3 行星运动的向心加速度	(48)
2.4.4 运动轨道分类	(50)
2.5 运动的相对性与伽利略变换	(51)
2.5.1 相对与绝对	(51)
2.5.2 位置和轨迹的相对性	(52)
2.5.3 速度的相对性	(54)
2.5.4 加速度的相对性与绝对性	(56)



2.5.5 伽利略变换	(56)
2.5.6 速度合成律的失效	(58)
第3章 牛顿动力学	(63)
3.1 牛顿第一定律(惯性定律)	(64)
3.2 牛顿第二定律	(66)
3.2.1 牛顿第二定律的建立	(66)
3.2.2 质量与力的单位	(69)
3.3 牛顿第三定律	(69)
3.4 力与相互作用	(70)
3.4.1 几种常见的力及其机理	(70)
3.4.2 四种基本相互作用及其统一	(73)
3.5 非惯性系中的牛顿动力学	(74)
3.5.1 非惯性系	(75)
3.5.2 平动加速参考系	(75)
3.5.3 转动参考系	(76)
3.6 牛顿方程的对称性	(83)
3.6.1 对称性	(83)
3.6.2 牛顿方程的平移对称性与宇宙的均匀性	(83)
3.6.3 牛顿方程的转动对称性与宇宙的各向同性	(84)
3.6.4 矢量及其转动特性	(86)
3.7 牛顿动力学方程的意义与应用	(86)
3.7.1 牛顿动力学方程的含义	(86)
3.7.2 动力学方程的数值解	(88)
3.7.3 数值分析方法的地位	(89)
3.7.4 牛顿动力学方程的应用	(90)
3.8 经典力学、相对论力学与量子力学	(96)
第4章 万有引力	(97)
4.1 开普勒行星运动三定律与万有引力定律的建立	(98)
4.1.1 行星运动的描述	(98)
4.1.2 开普勒行星运动三定律	(99)
4.1.3 万有引力定律及其建立	(100)
4.1.4 万有引力定律的天文学验证	(104)
4.2 引力的几何性	(105)
4.2.1 惯性质量与引力质量	(105)

4.2.2	万有引力常量 G 值及其测量	(106)
4.2.3	引力的几何性	(107)
4.3	引力的计算	(108)
4.3.1	多质点体系的万有引力	(108)
4.3.2	连续体的万有引力	(109)
4.4	引力场	(113)
4.4.1	场	(113)
4.4.2	引力与引力场	(114)
4.4.3	引力场的梯度与潮汐现象、小行星撕裂	(114)
4.4.4	场与物理学	(115)
4.5	牛顿万有引力定律的适用范围与爱因斯坦的引力观	(115)
第 5 章	守恒定律	(117)
5.1	功与能	(118)
5.1.1	元功与动能定理	(118)
5.1.2	变力做功	(121)
5.2	机械能守恒	(123)
5.2.1	保守力场与势能	(123)
5.2.2	万有引力做功与引力势能	(124)
5.2.3	弹性力做功与弹性势能	(127)
5.2.4	非保守力做功与功能原理	(128)
5.2.5	能量的各种形式与转化	(129)
5.3	动量守恒	(130)
5.3.1	牛顿定律与动量守恒	(130)
5.3.2	冲量与动量定理	(134)
5.3.3	质心运动定理	(135)
5.3.4	变质量物体的运动	(140)
5.3.5	碰撞	(145)
5.4	动量矩守恒	(150)
5.4.1	牛顿定律与动量矩守恒	(150)
5.4.2	力矩与动量矩定理	(152)
5.4.3	有心力场中的质点运动	(153)
5.5	万有引力的几个重要应用	(164)
5.5.1	第一宇宙速度	(164)
5.5.2	第二宇宙速度	(165)



5.5.3 第三宇宙速度	(166)
5.5.4 万有引力在飞船轨道设计中的应用	(168)
5.6 势函数的对称性与物理量守恒	(174)
5.6.1 势函数	(174)
5.6.2 势函数的时间-空间平移对称性与能量-动量守恒	(175)
5.6.3 势函数的空间旋转对称性与动量矩守恒	(177)
第6章 振动和波	(179)
6.1 简谐振动	(180)
6.1.1 弹性力与准弹性力	(180)
6.1.2 振动方程的建立及其求解	(181)
6.1.3 简谐振动的描述方法	(182)
6.1.4 简谐振动的能量	(184)
6.1.5 几种常见的摆	(185)
6.1.6 复杂体系的振动	(187)
6.2 阻尼振动	(189)
6.2.1 阻尼振动的一般描述	(189)
6.2.2 Q 值	(190)
6.2.3 阻尼振动的动力学方程及其求解	(190)
6.2.4 临界阻尼, 过阻尼, 最佳阻尼	(192)
6.3 受迫振动与共振	(193)
6.3.1 受迫振动方程的建立及其求解	(193)
6.3.2 共振现象	(194)
6.3.3 受迫振动方程的复数解	(195)
6.3.4 有阻尼受迫振动	(196)
6.3.5 实例	(198)
6.4 简谐振动的合成	(199)
6.4.1 傅里叶叠加	(199)
6.4.2 同方向、同频率简谐振动的合成	(200)
6.4.3 同方向、不同频率简谐振动的合成·拍	(201)
6.4.4 互相垂直的简谐振动的合成·李萨如图形	(202)
6.5 波在介质中的传播	(203)
6.5.1 波传播及其一般描述	(203)
6.5.2 空气中声波方程的建立及其求解	(205)
6.5.3 波动的能量和能流	(209)

6.6 波的叠加	(212)
6.6.1 惠更斯原理	(213)
6.6.2 波的反射、折射与衍射	(213)
6.6.3 波的干涉	(214)
6.6.4 群速度与能量的传播	(216)
6.6.5 驻波与波模	(218)
6.6.6 实例:乐器的结构与音色	(221)
6.7 多普勒效应及其应用	(223)
6.7.1 多普勒效应	(223)
6.7.2 多普勒效应的应用	(224)
6.7.3 激波与马赫数	(226)
第7章 刚体	(227)
7.1 自由度与刚体	(228)
7.1.1 自由度	(228)
7.1.2 多质点体系的自由度与刚体模型	(228)
7.2 基本的刚体运动	(230)
7.2.1 刚体的平动	(230)
7.2.2 刚体的定轴转动	(230)
7.2.3 刚体的平面平行运动	(230)
7.2.4 车轮的纯滚动	(231)
7.2.5 角速度的绝对性	(232)
7.2.6 刚体质心的运动	(233)
7.3 刚体的动能	(235)
7.3.1 转动惯量	(235)
7.3.2 刚体转动惯量的计算	(236)
7.3.3 刚体的动能	(238)
7.3.4 平行轴定理与垂直轴定理	(240)
7.4 刚体的动力学方程	(241)
7.4.1 刚体的动力学方程	(241)
7.4.2 刚体运动中的外力做功	(242)
7.4.3 刚体的平衡	(252)
7.5 静力学中的结构受力分析	(254)
7.5.1 平衡及其条件	(254)
7.5.2 受力分析及其在工程中的应用	(255)



7.5.3 断裂	(258)
7.6 刚体的进动与章动	(258)
第8章 弹性力学初步	(261)
8.1 弹性体模型	(262)
8.2 形变与弹性参数	(263)
8.2.1 线应变	(263)
8.2.2 叠加原理	(264)
8.2.3 体应变与剪切应变	(264)
8.3 圆棒的扭转	(267)
8.4 弹性波	(269)
8.4.1 剪切波(横波)	(269)
8.4.2 胀缩波(纵波)	(270)
8.4.3 固体介质中纵波和横波的转换	(271)
8.4.4 实例:超声波探测与成像、CT、地震波反演	(272)
第9章 流体力学初步	(273)
9.1 流体的一般概念	(274)
9.1.1 流体模型	(274)
9.1.2 “干水”模型	(275)
9.2 流体静力学	(275)
9.2.1 流体静压	(275)
9.2.2 流体静力学方程	(277)
9.3 流体动力学	(278)
9.3.1 连续性方程	(278)
9.3.2 牛顿定律的动力学方程	(279)
9.4 定常流动	(281)
9.4.1 稳恒场	(281)
9.4.2 流线与流管	(282)
9.4.3 伯努利方程	(282)
9.4.4 定常流动与定常无旋流动	(283)
9.4.5 流体的动量	(284)
9.4.6 伯努利方程的应用	(284)
9.5 黏滞流体的流动	(287)
9.5.1 流体的黏滞性	(287)
9.5.2 黏滞性的定量描述与测量	(288)

9.5.3 雷诺数与流体运动的相似法则	(289)
9.5.4 层流、环流与湍流	(291)
第 10 章 狭义相对论基础	(295)
10.1 狭义相对论的提出	(297)
10.1.1 “光速”的含义	(297)
10.1.2 迈克耳孙-莫雷实验	(297)
10.1.3 狭义相对论的两个假设	(298)
10.2 洛伦兹变换	(299)
10.3 相对论的时空观	(302)
10.3.1 时间间隔的相对性	(302)
10.3.2 长度的相对性	(303)
10.3.3 同时的相对性	(303)
10.3.4 时序与因果关系	(307)
10.3.5 时空间隔的绝对性与物理规律协变的四维形式	(308)
10.3.6 爱因斯坦速度合成律	(310)
10.3.7 加速度变换公式	(313)
10.3.8 孪生子佯谬的狭义相对论解释	(314)
10.4 相对论力学	(317)
10.4.1 相对论质量	(317)
10.4.2 相对论动量与动能	(320)
10.4.3 质能关系	(320)
10.5 物质、引力与时空	(322)
10.5.1 相对性与绝对时空	(322)
10.5.2 局部惯性系与引力作用	(324)
10.5.3 广义相对论简介	(326)
习 题	(329)
部分习题参考答案	(395)
参考书目	(407)
附录 A 力学中的常用物理量	(409)
附录 B 矢量概述	(410)
附录 C 微积分简介	(415)
附录 D 复变函数初步	(426)
附录 E 建议学时和习题安排	(428)
常用概念中英文索引	(430)