

● 面向 21 世纪课程教材

基础力学

周丰群 任理庆 路莹 编著

中国科学技术出版社

面向 21 世纪课程教材

基 础 力 学

周丰群 任理庆 路莹 编著

中国科学技术出版社

· 北 京 ·

图书在版编目(CIP)数据

基础力学/周丰群,任理庆,路莹编著. —北京:中国科学技术出版社,2002.3

ISBN 7-5046-3289-9

I. 基… II. ①周…②任…③路… III. 力学 IV. 03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 024960 号

中国科学技术出版社出版

北京市海淀区中关村南大街 16 号 邮编:100081 电话:62179148

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

北京印刷学院实习工厂印刷厂印刷

*

开本:850 毫米×1168 毫米 1/32 印张:17.875 字数:468 千字

2002 年 3 月第 1 版 2002 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—1200 册 定价:28.70 元

内 容 提 要

本书是“面向 21 世纪师范高等院校物理专业力学教学的改革与实践”研究课题的主要成果之一,是在《基础力学讲义》的基础上,充分听取使用者的意见,经反复研讨后修订而成的。本书站在现代物理学高度讨论经典力学,同时涉及狭义相对论和广义相对论的基本图像,以及相关的新理论新技术成果和前沿进展。既注意结合有关内容介绍一般的逻辑方法和来源于原理概念的基本方法,又注意介绍科学研究中的常用方法,尤其是科学家们独特的、创造性的思维方法和研究方法,突出了物理思想和物理方法论的教育。它是一部具有特色的面向 21 世纪的师范高等院校的力学教材。

该书分质点运动学、动量守恒 质点动力学、机械能守恒、角动量守恒、万有引力、刚体力学、连续体力学、振动、波动与声、相对论等十章及数学知识。

本书可作为高等院校物理类专业的教科书或参考书,也可供其他专业的师生参考。

责任编辑：陆宝英
封面设计：吴 明
责任校对：刘红岩
责任印制：安利平

前 言

为适应高等院校教学改革的需要,我们早在 1995 年就开始了“面向 21 世纪师范高等院校物理专业力学教学的改革与实践”课题研究,目的是以力学教学内容、体系的现代化改革,教学方法、教学手段的现代化改革为突破口,推动师范高等院校物理教学的全面改革,最终达到培养能适应未来科学技术发展需要的高素质人才之目的。经过几年的研究与实践,取得了较显著的成绩。本书就是该研究课题的主要成果之一。

编写现代化的力学教材,是力学教学改革的重点和突破口,为此,我们广泛收集相关资料,并进行了改革性试验研究。在此基础上,根据师范高等院校的培养目标和学生的实际情况,讨论并制定了新的力学教学大纲;研讨了力学的体系和各部分内容的选取问题,与力学相关的近代物理内容和新理论、新技术成果的引入问题,与中学物理内容的衔接问题等;然后着手编写力学教材,并于 1998 年 7 月编写出《基础力学讲义》,同年开始试用于教学实践。在充分听取读者的意见和建议后,经作者反复研讨修订,这本《基础力学》终于问世了。本书站在现代物理学的高度,讨论经典力学,还涉及了狭义相对论和广义相对论的基本图像,以及相关的近代物理内容、新理论新技术成果和前沿进展。在编写过程中,我们既注重从实验及生产和生活实际出发,运用归纳的方法定义概念、总结规律,又注重内容的广泛性、现代化和理论的实际应用;既注意结合有关内容介绍一般的逻辑方法和来源于原理概念的基本方法,又注意介绍科学研究中的常用方法,尤其是科学家们独特的、创造性的思维方法和研究方法。以期使读者在对力学有个全面认识的同时,又可受到物理思想和物理方法论的教育,即既得到金

子,又学会“点石成金”之术。

本书在作者共同制定编写方案后,分别进行了各章的编写,其中绪论、数学知识和第七、八、九、十章由周丰群执笔,第一、二、三章由任理庆执笔,第四、五、六章由路莹执笔。全部书稿经过多次交换意见,反复修改后,由周丰群统一定稿。

本书融会了作者多年来从事物理教学和研究的成果,同时借鉴了赵凯华、罗蔚茵编著的《新概念物理教程·力学》,陆果编著的《基础物理学》,漆安慎、杜婵英编著的《普通物理教程·力学》,向义和编著的《大学物理学导论——物理学的理论与方法、历史与前沿》,张三慧、王虎珠编著的《大学物理学·力学》,张瑞琨、谭树杰、陈敬全编著的《物理学研究方法和艺术》等,在此,对这些文献的作者表示衷心的感谢。黄宏春和张义民二位同志仔细阅读了修订稿,提出了许多中肯的意见和建议;吕光同志完成了全书的计算机录入、排版和插图的设计绘制工作,付出了大量的劳动;中国科学技术出版社对本书的出版给予了大力的支持和帮助。我们在此也一并表示衷心的感谢。本书难免有疏漏和错误之处,敬请读者不吝指正。

作者

2002 年 2 月

目 录

绪论	1
一、物理学及其与其他学科和技术的关系	1
二、物理学的方法和科学态度	7
三、物理测量与单位制	11
四、物质世界的层次和数量级	14
五、物理学中的力学	19
第一章 质点运动学	21
§ 1.1 质点及其运动的描述	21
一、质点 参考系和坐标系	<u>21</u>
二、位置矢量和运动学方程	23
三、位移和路程	24
四、速度和速率	25
五、加速度	27
§ 1.2 质点的直线运动	29
一、直线运动中的运动学方程、位移、速度和加速度	29
二、直线运动中的基本计算	33
三、两种特殊的直线运动	33
四、从伽利略对落体的研究谈逻辑思维方法	36
§ 1.3 质点的平面曲线运动	38
一、抛体运动	38
二、圆周运动	44
三、圆周运动的角量描述	50
§ 1.4 相对运动	53

本章提要	56
思考题一	57
习题一	58
科学家简介 伽利略	61
第二章 动量守恒 质点动力学	64
§ 2.1 惯性定律 惯性系	64
§ 2.2 动量守恒定律与动量定理	68
一、质点之间的相互作用 <u>质量</u>	68
二、动量 动量守恒定律	70
三、力和力的叠加原理 质点系动量守恒的条件	72
四、牛顿运动定律 冲量 动量定理	80
§ 2.3 牛顿运动定律及其应用	84
一、牛顿运动定律的表述	84
二、自然界中常见的力和四种基本相互作用	<u>85</u>
三、应用举例	91
§ 2.4 伽利略相对性原理 惯性力	97
一、伽利略相对性原理	97
二、伽利略变换和绝对时空观	98
三、惯性力	103
§ 2.5 牛顿绝对时空观的局限和惯性的起源	113
本章提要	116
思考题二	117
习题二	119
第三章 机械能守恒	125
§ 3.1 功和功率	125
一、功	125
二、功率	127
§ 3.2 动能 动能定理	128

一、动能 质点的动能定理	128
二、质点系的动能定理	130
§ 3.3 势能 机械能守恒定律	132
一、保守力和非保守力	132
二、势能	135
三、功能原理和机械能守恒定律	137
四、保守系与时间反演不变性	142
五、势能曲线	143
六、从能量守恒和转化定律的确立谈从特殊到普 遍的研究方法	152
§ 3.4 质心系与两体碰撞	154
一、动量中心系和质心	154
二、质心运动定理	156
三、克尼希定理 质用能	158
四、两体碰撞	160
本章提要	166
思考题三	168
习题三	169
第四章 角动量守恒	174
§ 4.1 角动量和角动量守恒定律	174
§ 4.2 力矩和角动量定理	176
一、力矩 质点的角动量定理和守恒定律	176
二、质点系的角动量定理和守恒定律	181
三、质心系的角动量定理	185
§ 4.3 对称性与守恒定律	187
一、对称性	188
二、物理定律的对称性	190
三、对称性原理	191

四、对称性与守恒定律	193
五、对称性的自发破缺	195
本章提要	200
思考题四	201
习题四	202
第五章 万有引力	205
§ 5.1 开普勒的行星运动三定律	205
一、开普勒的行星运动三定律	205
二、开普勒的科学思想方法	209
§ 5.2 万有引力定律	210
一、万有引力定律的建立	210
二、万有引力定律的表述	215
三、万有引力常量与天体质量	215
四、引力理论的成就与意义	218
五、混沌 太阳系的稳定性	220
§ 5.3 引力场和引力势	226
一、近距作用和超距作用	226
二、引力场强度及其叠加原理	227
三、高斯定理及其应用	231
四、引力势	242
§ 5.4 潮汐	244
一、潮汐	244
二、牛顿的科学思想方法	251
本章提要	256
思考题五	257
习题五	257
科学家简介 牛顿	260

第六章 刚体力学	263
§ 6.1 刚体运动学	263
一、刚体的平动和定轴转动	263
二、刚体的平面平行运动	266
§ 6.2 刚体的定轴转动	268
一、刚体定轴转动的角动量和转动惯量	268
二、刚体定轴转动的角动量定理和转动定理	273
三、刚体定轴转动的动能定理	277
§ 6.3 刚体的平面平行运动	282
一、刚体平面平行运动的动力学方程	282
二、瞬心系中的角动量定理	287
三、刚体平面平行运动的动能	289
§ 6.4 刚体的平衡	291
§ 6.5 陀螺的运动	294
一、不受外力矩作用陀螺的运动	294
二、在外力矩作用下陀螺的运动	295
三、地球的进动与章动	298
本章提要	300
思考题六	301
习题六	303
第七章 连续体力学	306
§ 7.1 固体的弹性	306
一、直杆的拉伸或压缩	307
二、弹性体的剪切形变	310
三、梁的弯曲	314
四、杆的扭转	317
§ 7.2 流体静力学	320
一、静止流体内一点的压强	320

二、静止流体内压强的分布	322
三、帕斯卡原理	325
四、阿基米德原理	326
§ 7.3 理想流体的定常流动	328
一、理想流体	328
二、理想流体的定常流动	329
三、不可压缩流体的连续性方程	331
四、伯努利方程及其应用	333
五、流体的反作用力	341
六、理想流体的角动量守恒	343
§ 7.4 粘性流体的流动	345
一、粘滞定律	345
二、湍流 雷诺数	347
三、泊肃叶公式	351
四、不可压缩粘性流体的伯努利方程	353
五、固体在流体中受到的阻力	353
六、流体的升力	356
本章提要	360
思考题七	363
习题七	365
第八章 机械振动	368
§ 8.1 简谐振动	369
一、简谐振动的基本特征	369
二、描述简谐振动的特征量	371
三、简谐振动的振动曲线和相图	376
四、简谐振动的矢量表示法	377
五、简谐振动的能量	379
§ 8.2 简谐振动的合成	380

一、同方向同频率简谐振动的合成	381
二、同方向不同频率简谐振动的合成	382
三、相互垂直简谐振动的合成	385
§ 8.3 振动的分解	389
§ 8.4 阻尼振动 受迫振动和共振	392
一、阻尼振动	392
二、受迫振动	395
三、共振	397
§ 8.5 非线性振动	399
一、自激振动	399
二、软激励和硬激励自振 稳定的和不稳定的极限环	402
本章提要	404
思考题八	406
习题八	407
第九章 波动与声	410
§ 9.1 波的基本概念	410
一、机械波产生的条件	410
二、横波与纵波	411
三、平面波和球面波	413
四、描述波动的物理量	414
§ 9.2 平面简谐波的波函数	416
一、平面简谐波的波函数	416
二、波动中介质质元的位移、速度和加速度	420
§ 9.3 波动方程	422
§ 9.4 波的能量	425
一、波的能量	425
二、声强与声压	428

§ 9.5 惠更斯原理 波的衍射	431
一、惠更斯原理	431
二、波的衍射	432
§ 9.6 波的叠加原理 波的干涉	433
一、波的叠加原理	433
二、波的干涉	434
三、驻波	437
§ 9.7 多普勒效应	441
一、相对于介质波源静止而观察者运动	441
二、相对于介质观察者静止而波源运动	442
三、相对于介质波源和观察者同时运动	443
四、击波	444
五、从电话的诞生谈类比方法	446
本章提要	448
思考题九	450
习题九	451
第十章 相对论	453
§ 10.1 爱因斯坦狭义相对论的历史背景和思想 发展线索	453
一、狭义相对论的历史背景	453
二、爱因斯坦相对论思想发展的线索	463
§ 10.2 洛伦兹变换和狭义相对论时空观	471
一、狭义相对论的两条基本原理	471
二、洛伦兹变换	473
三、狭义相对论的时空观	474
四、孪生子效应	484
五、相对论的速度变换公式	486
§ 10.3 狭义相对论的动力学	488

一、动量、质量与速度的关系	489
二、力、功和动能	490
三、总能量和质能关系	492
四、能量和动量的关系	493
§ 10.4 广义相对论简介	494
一、等效原理和广义相对性原理	494
二、引力场与弯曲时空	497
三、广义相对论的实验验证	501
四、爱因斯坦的科学思想方法	506
本章提要	509
思考题十	511
习题十	511
科学家简介 爱因斯坦	514
数学知识	517
第一部分 微积分初步	517
§ 1 函数 极限 导数与微分	517
一、变量 常量和函数	517
二、极限	518
三、导数	519
四、导数的几何意义	520
五、导数的运算	522
六、函数的极值点和极值	524
七、微分	525
§ 2 不定积分	526
一、原函数	526
二、不定积分	527
三、不定积分的运算法则	529
§ 3 定积分	531

一、定积分	531
二、定积分的主要性质	533
三、牛顿 - 莱布尼茨公式	534
习题	535
第二部分 矢量	536
§ 1 矢量	536
§ 2 矢量的加法与减法	537
一、矢量加法	537
二、矢量减法	539
§ 3 矢量的数乘	539
§ 4 矢量的正交分解	540
§ 5 矢量的标积和矢积	542
一、矢量的标积	542
二、矢量的矢积	544
三、三个矢量的混合积	545
§ 6 矢量导数	546
一、矢量函数	546
二、矢量函数的导数	546
三、矢量函数求导的法则	549
习题	550
附录 1 希腊字母表	552
附录 2 物理学常用常数	553