



面向 21 世纪 课程 教材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学教程 力 学

第二版

漆安慎 杜婵英



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

面向 21 世纪课程教材
Textbook Series for 21st Century

普通物理学教程
力 学

第二版

漆安慎 杜婵英



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

内 容 提 要

本书是“面向 21 世纪课程教材”《普通物理学教程 力学》的修订版。本书保持了原书的主要特点,为了更好地适应教学的需要,对原书中部分内容做了修改。此外,还增加了一些新的科研成果。

本书可作为高等院校本科物理类专业的教材,也可供其他专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

普通物理学教程. 力学/漆安慎,杜婵英.—2 版.

—北京:高等教育出版社,2005.6

ISBN 7-04-016624-0

I. 普... II. ①漆...②杜... III. 力学-高等学校-教材 IV. O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 027110 号

策划编辑	陶 铮	责任编辑	王文颖	封面设计	张 楠
责任绘图	黄建英	版式设计	马静如	责任校对	张 颖
责任印制	宋克学				

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 100011
总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京中科印刷有限公司

购书热线 010-58581118
免费咨询 800-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×960 1/16
印 张 32.25
字 数 600 000

版 次 1996 年 10 月第 1 版
2005 年 6 月第 2 版
印 次 2005 年 6 月第 1 次印刷
定 价 33.40 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 16624-00

力学

汪德昭



应当多对新的、活的、与现象有直接关系的东西
发生兴趣。^①

我所认识的一些著名物理学家,都很重视实际的
物理现象。^②

中国传统的学习方法是一种“透彻法”。懂得
透彻很重要,但若对不能透彻了解的东西,就抗拒,
这不好。“渗透法”学习的好处,一是可以吸收更多
知识;二是对整个的动态,有所掌握。不是在小缝
里,一点一点地学习。^③

我曾对中国科技大学的同学们提出过“三P”:
Perception, Persistence, Power,意思是:直觉,坚
持,力量。要有科学的直觉意识去创造,用坚持不
懈的努力去奋斗,以扎实的知识力量去克服困难。^④

进了一个好的研究院,学生都不坏,都得了博
士学位。过了15年,他们的成就可以很悬殊。所
以悬殊绝不是他们的天分差得那么远,也绝对不是
他们的技术差得那么多。最主要的是有的人走到
一个正确的方向。这个方向在以后5年、10年或
15年有了大发展,他和这个方向与之俱长,就可以
有大成就。^⑤

——杨振宁

①② 见中国科技报 1986 年 8 月 4 日

③ 青年文摘 1995 年 11 月 25 日

④ 张奠宙. 杨振宁和当代数学. 科学, 1992, 3: 1

⑤ 杨振宁. 1994 年 10 月 7 日在中央电视台“东方时空”节目中的谈话. 这段话和科研关系更密切.
鉴于面向 21 世纪的人才创新的人才, 故引于此供读者参考.

以上 5 段引文本书作者已请杨振宁先生审阅, 得到杨振宁先生复信首肯.

第二版前言

本书是原《普通物理学教程 力学》的修订版。力学是物理学的有机组成部分,故首先概括介绍从经典物理学到现代物理学的发展及物理学的研究特点等。

本书内容特点如下:动力学仍然由质量的操作型定义和动量概念开始,并用动量表述牛顿运动定律,改变了以前从动量守恒开始的做法,这使得牛顿定律的引入既简单又符合大家习惯。我们仍将内势能和外势能分开,但在应用方面则常合并在一起考虑,应用起来比较方便。本书仍然保存着守恒律和对称性的内容,对非线性问题和混沌的描述进行了更新。这一版仍比较注意联系实际和新成就的介绍,除保存原有的中子的发现、关于黏度的斯托克斯公式在密立根油滴实验中的应用、回旋加速器的原理和正电子的发现以反映力学在现代物理学中应用价值,补充了我国在万有引力常数的测量方面所取得的成就,补充了正负电子对撞机的原理,介绍了近现代重力加速度的测量、汽车最大速度与空气阻力关系的估计以及力学在火箭、建筑和医学等方面的应用。本书还注重力学和物理学其他部分的联系。

本书保持普通物理的特点,在不涉及很深数学知识的情况下讲清楚概念,注意介绍重要的实验以及某些演示实验。本书提供了许多文献,供读者查找。

本书包含必读、选读、大字和小字,供教师按需要进行选择。

本书作者收到许多教授、老师和学生提出的很多宝贵意见。在此,对他们表示诚挚的感谢。

本书作者深深感谢北京师范大学喀兴林教授、梁绍荣教授、梁灿彬教授、卢圣治教授、赵肇襄教授的讨论和帮助。

作者衷心感谢钟善基教授使我们了解中国早期自然科学教育的发展,丰富了本书内容。

作者衷心感谢蔡伯濂教授非常有益的讨论。

在评选面向 21 世纪课程教材过程中,赵凯华教授、张三慧教授、陈秉乾教授和梁绍荣教授提出了许多宝贵意见,作者对他们表示深深的感谢。

汪德昭院士是德高望重的科学家。他在许多方面做出了重要贡献,在水声学方面的工作与力学有关。他与夫人李惠年教授早年毕业于北京师范大学和北

京师大附中并曾执教于师大女附中(现为北京师范大学附属实验中学)。我们也有幸就读于诸校,故特请汪老题写书名,以为纪念。我们为此表示深深的感谢。又因修订版纳入“普通物理学教程”,成为其中一册,敬将所题书名置于内封后。

本书系原国家教委普通高校“九·五”规划国家级重点教材。

作者学识有限,本书误谬之处在所难免,请不吝赐教。

作者识于2004年冬

第一版前言

本书系原《力学基础》修订版,根据教学改革需要作了改进。改革是在较长时间积累中形成的。在1985年出版的《力学基础学习指导》^①中,即曾尝试引入守恒律与对称性。自1985年始,开始引入非线性混沌,后又制作了有关演示实验和CAI。借鉴马赫体系讲力学,始于本世纪初。1991年初,严子尚副教授寄来他的论文“建议从动量守恒开始讲动力学”,^②并先后写信列举对《力学基础》的修改意见,促进我们力学体系的改革。经反复思考,初步确定改革方案。1991年国家教委高等学校物理学教学指导委员会普通物理教材建设组会议上,汇报了体系改革涉及时空观、对称性、守恒律和非线性几方面的基本设想。1992年和1994年全国综合大学师范学院校力学研究会上,与来自全国各地的同行专家反复讨论和征求意见,受益匪浅。在写作本书过程中,参考了相当数量的中外文献,结合教学经验,反复修改,以形成可用的和具有我们自己特色的系统和表述。1993年开始用现在的体系教力学,1995年又作改进。实践表明,这样作有利于用现代观点表述力学规律,且具有可行性。

本书考虑了着眼于从物理学整体学力学,在第一章介绍了从经典物理到现代物理学的发展和当前物理学的成就。在能量部分则概述人类认识能量概念的历史。从体系上,本书选择以惯性参考系、动量守恒定律和万有引力定律出发开展经典力学。由质点运动学开始至相对论简介,贯穿对称性的思想。选择了回旋加速器、查德威克发现中子和密立根油滴实验等近代物理学中的重大发现以体现经典力学的现代价值,便于使学生的思想贴近物理学家的思维。我们感到引导学生关心实际现象很重要,因此选择了某些典型实验作较为详细的介绍。关于混沌的介绍也以实验为引导。注意介绍力学在现代科学技术(从微观粒子到宏观的天体以及生命体,从飞机到火箭,从汽车到建筑以至医学)中的应用。

我国物理学家在过去几十年中对世界物理学的发展作了不少贡献,在教材中应当得到反映,本书注意到这一点。所谈内容基本上以《中国大百科全书》物理学卷(1987年)和力学卷(1985)为准。该书出版已十年左右,故可能有些内容未得到反映。

① 漆安慎、杜焯英.《力学基础学习指导》.北京:高等教育出版社,1985

② 严子尚.建议从动量守恒开始讲动力学.教材通讯,1990,10

力学中有一批木块斜面滑轮组合成的习题,它们似并不直接与实际科研或技术相联系,如何看待?第一,物理学的基本方法是分析现象抽象出理想模型。那些木块、斜面、滑轮题是从实际提炼出的模型,对培养基本分析计算能力,是必要的。第二,过去对较有实际意义的习题开发不够,为使学生认识力学规律的价值,需安排联系现代科学技术的题目。第三,真正需要研究的实际问题,往往需要简化研究对象,运用一般物理原理作数量级估计,与实际对比,检验原来的设想,作进一步的研究。这是科学素养的一方面,过去教学中注意不够。我们介绍了费曼关于旧金山需多少钢琴调音师等例子,也安排了此类例题和习题作为尝试。从《力学基础》到修订版,我们根据教学经验、搜集数据和社会调查自己编了数十个例题习题,其中一部分是比较联系实际的。

本书设大字小字、选读和必读,大字部分比原《力学基础》少,以适应不同的兴趣和需要。

作者深深感谢全国综合大学师范院校力学研究会全体专家学者对本书出版所给予的长期的支持、友好的讨论和真诚的帮助。

作者感谢北京师大喀兴林、梁绍荣、梁灿彬、卢圣治、钟善基和赵肇襄、李宗伟、胡镜寰和李志安诸教授和专家有益的讨论。

作者感谢北京大学蔡伯濂教授的有益的讨论。感谢王祖沅、孟昭震、吴铭磊诸专家和教授有益的讨论。

国家教委物理学教学指导委员会普通物理组负责人冯致光、赵凯华和梁绍荣几位教授的支持使本书得以修订出版,作者衷心感谢他们的热情支持。作者衷心感谢高等教育出版社对本书出版的大力支持和作出的大量工作。

本书保留原《力学基础》的图,又设计绘制了新图。感谢郑翔先生的计算机绘图。

汪德昭院士是德高望重的科学家。他在许多方面作出重要贡献,在水声学方面的工作与力学有关。他与夫人李惠年教授早年毕业于北京师范大学和北京师大附中并曾执教于师大女附中(现为北京师大附属实验中学)。我们也有幸就读于诸校,故特请汪老题写书名,以为纪念。我们为此表示深深的感谢。又因修订版纳入“普通物理学教程”,成为其中一册,敬将所题书名置于内封后。

本书系国家教委普通高校“九·五”规划国家级重点教材。

作者学识有限,本书误谬之处在所难免,请不吝赐教。

作者识于北京 1996 年春

目 录

第一章 物理学和力学	1
§ 1.1 发展着的物理学	2
(一) 经典物理学与现代物理学	2
(二) 微观世界	3
(三) 宇宙的早期演化	4
(四) 非线性系统的复杂行为	5
§ 1.2 物理学科的特点	6
(一) 物理学以实验为基础	7
(二) 理想模型	7
(三) 物理学的思考	8
(四) 物理学理论	9
(五) 物理·技术和经济	10
§ 1.3 时间和长度的计量	10
(一) 时间的计量	11
(二) 长度的计量	12
§ 1.4 单位制和量纲	14
(一) 基本单位和导出单位	14
(二) 国际单位制	14
(三) 量纲式	16
§ 1.5 数量级估计	17
§ 1.6 参考系·坐标系与时间坐标轴	18
(一) 参考系和坐标系	18
(二) 时间坐标轴	19
§ 1.7 力学——学习物理学的开始	19
学习第一章的建议	21
思考题	21
第二章 质点运动学	23
§ 2.1 质点的运动学方程	23
(一) 质点的位置矢量与运动学方程	23
(二) 位移——位置矢量的增量	26

§ 2.2	瞬时速度矢量与瞬时加速度矢量	26
(一)	平均速度与瞬时速度	26
(二)	平均加速度与瞬时加速度	28
§ 2.3	质点直线运动——从坐标到速度和加速度	30
(一)	运动学方程	30
(二)	速度和加速度	31
(三)	匀速与匀变速直线运动	32
(四)	宇宙年龄和大小的估计·测量重力加速度	33
§ 2.4	质点直线运动——从加速度到速度和坐标	35
(一)	从速度到运动学方程和位移	35
(二)	已知加速度求速度和运动学方程	37
§ 2.5	平面直角坐标系·抛体运动	39
(一)	平面直角坐标系	39
(二)	抛体运动	40
(三)	用矢量讨论抛体运动	42
§ 2.6	自然坐标·切向和法向加速度	43
(一)	自然坐标	43
(二)	速度·法向和切向加速度	44
§ 2.7	极坐标系·径向速度与横向速度	49
(一)	极坐标系	49
(二)	径向速度与横向速度	49
§ 2.8	伽利略变换	50
(一)	伽利略变换	50
(二)	伽利略变换蕴含的时空观	51
(三)	伽利略速度变换关系	52
(四)	加速度对伽利略变换为不变量	53
思考题		54
习题		55
选读材料		60
[选读 2.1]	伽利略小传	60
[选读 2.2]	伽利略与匀变速直线运动	60
第三章	动量·牛顿运动定律·动量守恒定律	62
§ 3.1	牛顿第一定律和惯性参考系	63
§ 3.2	惯性质量和动量	63
(一)	惯性质量	64
(二)	动量·动量变化率和力	66
(三)	牛顿运动定律	67

(四) 伽利略的相对性原理	69
§ 3.3 主动力和被动力	71
(一) 主动力	71
(二) 被动力或约束力	73
§ 3.4 牛顿运动定律的应用	75
(一) 质点的直线运动	76
(二) 变力作用下的直线运动	79
(三) 质点的曲线运动	80
(四) 质点的平衡	83
§ 3.5 非惯性系中的动力学	85
(一) 直线加速参考系中的惯性力	85
(二) 离心惯性力	87
(三) 科里奥利力	88
§ 3.6 用冲量表述的动量定理	92
(一) 力的冲量	92
(二) 用冲量表述的动量定理	93
§ 3.7 质点系动量定理和质心运动定理	94
(一) 质点系动量定理	94
(二) 质心运动定理	96
(三) 质点系相对于质心系的动量	100
§ 3.8 动量守恒定律	100
(一) 质点系动量守恒定律	100
(二) 动量沿某一坐标轴的投影守恒	102
*§ 3.9 火箭的运动	103
思考题	105
习题	107
选读材料	115
[选读 3.1] 关于牛顿和他的运动定律	115
[选读 3.2] (3.2.2)式的进一步论证	117
第四章 动能和势能	118
§ 4.1 能量——另一个守恒量	118
§ 4.2 力的元功·用线积分表示功	120
(一) 力的元功和功率	121
(二) 利用不同坐标系表示元功	122
(三) 力在有限路径上的功	123
§ 4.3 质点和质点系动能定理	125
(一) 质点的动能定理	125

(二) 质点系内力的功	126
(三) 质点系的动能定理	127
§ 4.4 保守力与非保守力·势能	129
(一) 力场	129
(二) 保守力与非保守力	130
(三) 势能	132
(四) 势能是物体相对位置的函数	134
§ 4.5 功能原理和机械能守恒定律	134
(一) 质点系的功能原理	134
(二) 质点系的机械能守恒定律	135
§ 4.6 对心碰撞	138
(一) 关于对心碰撞的基本公式	139
(二) 完全弹性碰撞·查德威克发现中子	140
(三) 完全非弹性碰撞	143
(四) 非完全弹性碰撞	144
§ 4.7 非对心碰撞	145
§ 4.8 质心参考系的运用·粒子的对撞	148
思考题	150
习题	151
选读材料	157
质点平衡的稳定性	157
第五章 角动量·关于对称性	161
§ 5.1 质点的角动量	162
(一) 质点的角动量	162
(二) 力对一参考点的力矩	163
(三) 质点对参考点的角动量定理和守恒定律	164
(四) 质点对轴的角动量定理和守恒定律	165
§ 5.2 质点系的角动量定理及角动量守恒定律	168
(一) 质点系对参考点的角动量定理及守恒律	168
(二) 质点系对轴的角动量定理及守恒律	169
§ 5.3 质点系对质心的角动量定理和守恒定律	171
§ 5.4 对称性·对称性与守恒律	173
(一) 关于对称性	173
(二) 守恒律与对称性	174
§ 5.5 经典动力学的适用范围	177
思考题	179

习题	179
选读材料	181
[选读 5.1] 在直角坐标系中讨论角动量定理	181
[选读 5.2] 角动量守恒定律在运动生物力学中的应用	182
第六章 万有引力定律	184
§ 6.1 开普勒定律	185
§ 6.2 万有引力定律·引力质量与惯性质量	186
(一) 万有引力定律	186
(二) 引力质量与惯性质量	189
(三) 引力常量的测量	191
(四) 地球自转对重量的影响	193
(五) 牛顿万有引力定律的适用范围	195
§ 6.3 引力势能	196
*§ 6.4 潮汐	198
思考题	202
习题	202
选读材料	204
一个“三体问题”研究的启迪	204
第七章 刚体力学	208
§ 7.1 刚体运动的描述	209
(一) 刚体的平动	209
(二) 刚体绕固定轴的转动	210
(三) 角速度矢量	213
(四) 刚体的平面运动	214
§ 7.2 刚体的动量和质心运动定理	218
(一) 刚体的质心	218
(二) 刚体的动量与质心运动定理	220
§ 7.3 刚体定轴转动的角动量·转动惯量	221
(一) 刚体定轴转动对轴上一点的角动量	221
(二) 刚体对一定转轴的转动惯量	222
(三) 刚体定轴转动的角动量定理和转动定理	226
(四) 刚体的重心	227
(五) 典型的例子	228
§ 7.4 刚体定轴转动的动能定理	231
(一) 力矩的功	231
(二) 刚体定轴转动的动能定理	232
(三) 刚体的重力势能	234

§ 7.5 刚体平面运动的动力学	235
(一) 刚体平面运动的基本动力学方程	235
(二) 作用于刚体上的力	236
(三) 刚体平面运动的动能	240
(四) 滚动摩擦力偶矩	240
(五) 汽车轮的受力 · 汽车的极限速度	242
§ 7.6 刚体的平衡	243
(一) 刚体的平衡方程	243
(二) 杆的受力特点	245
§ 7.7 自转与旋进	246
(一) 常平架回转仪	247
(二) 回转仪的旋进	248
(三) 地球的旋进与章动	250
思考题	251
习题	252
选读材料	260
[选读 7.1] 角速度合成符合平行四边形法则	260
[选读 7.2] 滑轮受力分析	261
第八章 弹性体的应力和应变	263
§ 8.1 弹性体的拉伸和压缩	264
(一) 外力 · 内力与应力	264
(二) 直杆的线应变	265
(三) 胡克定律	266
(四) 拉伸和压缩的形变势能	268
§ 8.2 弹性体的剪切形变	269
(一) 剪切形变 · 切应力与切应变	269
(二) 剪切形变的胡克定律	271
§ 8.3 弯曲和扭转	272
(一) 梁的弯曲	272
(二) 杆的扭转	274
思考题	276
习题	277
选读材料	278
[选读 8.1] 关于梁纯弯曲的曲率与力偶矩关系式(8.3.1)的推导	278
[选读 8.2] 关于圆柱体扭转角与力偶矩关系式(8.3.3)的推导	280
[选读 8.3] 弹簧的形变	280
第九章 振动	283

§ 9.1	简谐振动的动力学特征	284
§ 9.2	简谐振动的运动学	288
	(一) 简谐振动的运动学方程	288
	(二) 简谐振动的 $x-t$ 图线和相轨迹	293
	(三) 简谐振动的矢量表示法	294
§ 9.3	简谐振动的能量转换	295
§ 9.4	简谐振动的合成	298
	(一) 同方向同频率简谐振动的合成	298
	(二) 同方向不同频率简谐振动的合成	299
	(三) 互相垂直相同频率简谐振动的合成	302
	(四) 互相垂直不同频率简谐振动的合成 · 李萨如图形	306
*§ 9.5	振动的分解	307
§ 9.6	阻尼振动	309
§ 9.7	受迫振动	312
	(一) 受迫振动的动力学方程	313
	(二) 受迫振动的运动特征	314
	(三) 位移共振	316
	(四) 受迫振动的能量转换	317
	(五) 速度共振	318
*§ 9.8	“不守规矩”的摆 · 混沌行为	319
	(一) “不守规矩”的摆	319
	(二) 依赖初值的两种情况	322
*§ 9.9	参数振动 · 自激振动	325
	(一) 参数振动	325
	(二) 自激振动	327
思考题		327
习题		328
选读材料		331
	[选读 9.1] 晶格中原子的振动(热振动)	331
	[选读 9.2] 品质因数	332
第十章	波动和声	334
§ 10.1	波的基本概念	335
	(一) 波是振动状态的传播	335
	(二) 多种多样的波	336
	(三) 平面波与球面波	337
§ 10.2	平面简谐波方程	338
	(一) 平面简谐波方程	338

(二) 平面简谐波方程的多种形式	341
§ 10.3 波动方程与波速	342
(一) 波动方程	342
(二) 波速·色散现象	344
§ 10.4 平均能流密度·声强与声压	346
(一) 介质中波的能量分布	346
(二) 平均能流密度	348
(三) 声强与声强级	349
(四) 声压·声强和声压的关系	350
(五) 声波的衰减·超声波的优势	352
(六) 波的反射和透射·半波损失	353
§ 10.5 波的叠加和干涉·驻波	355
(一) 波的叠加·群速	355
(二) 波的干涉	357
(三) 驻波	358
(四) 弦与空气柱的本征振动	360
§ 10.6 多普勒效应	364
(一) 波源静止而观察者运动	364
(二) 观察者静止而波源运动	365
(三) 观察者和波源在同一条直线上运动	366
思考题	368
习题	369
选读材料	372
[选读 10.1] 孤子	372
[选读 10.2] 关于声压波方程的推导	374
[选读 10.3] 关于声强级与声压级	375
[选读 10.4] 反射系数、透射系数和半波损失	376
[选读 10.5] 马赫锥以及击波	377
第十一章 流体力学	381
§ 11.1 理想流体	382
§ 11.2 静止流体内的压强	383
(一) 静止流体内一点的压强	383
(二) 静止流体内不同空间点压强的分布	385
(三) 相对于非惯性系静止的流体	389
§ 11.3 流体运动学的基本概念	390
(一) 流迹·流线和流管	390
(二) 定常流动	392