

聂清香 于全训 编著

力学简明教程

A Brief Course of Mechanics



山东大学出版社
Shandong University Press

力学简明教程

聂清香 于全训 编著

山东大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

力学简明教程 / 聂清香, 于全训编著. — 济南: 山东大学出版社, 2002. 9

ISBN 7-5607-2490-6

I. 力…

II. ①聂…②于…

III. 力学—高等学校—教材

IV. O3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 065895 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码: 250100)

山东省新华书店经销

日照日报社印刷厂印刷

850×1168 毫米 1/32 12.375 印张 320 千字

2002 年 9 月第 1 版 2002 年 9 月第 1 次印刷

印数: 1—2100 册

定价: 23.00 元

版权所有, 盗印必究!

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部负责调换

前 言

有一本得心应手的教材，无论对任课教师还是对学生，无疑是一大幸事，为此，我们着手编写《力学简明教程》。

全书以牛顿运动定律和三个基本运动定理以及相应的守恒定律为主线，讲述了牛顿力学的基本概念和规律，同时简要介绍了现代物理知识和思想。

“简明”是本书编写的基本特点。与现行的力学教科书比较，本书的内容精练了许多，突出了基本规律和方法。每章从知识点到基本方法的训练都有重点和目标，这除了引言中说明外，内容安排上也一目了然。凡是重点和难点的地方，浓墨重彩，详细解说，甚至用不同的方法论证阐述。这有利于学生自学。

为了加强基本解题方法和能力的训练，本书选用的例题较多，而且其中不少是一题多解，并且采用“按语”、“讨论”、“想一想”等形式，以起到启发、引导和举一反三的作用。

本书充分考虑到各种不同程度学生的需要，例题和习题除了考虑典型性外，还明显分成易、中、难三个层次。分层次教学是本书的一尝试和特点。基础好的学生，对一些简单的例题和习题都可以越过；水平较差的学生可以将有限的精力投入到基本的内容上去。



为了满足一些学生进一步渴求知识的需要,本书设立了“兴趣天地”和“力学实践”专栏。在“兴趣天地”栏里,不但可以浏览到许多有趣的力学问题,还可以作几个英语的力学习题,以引起专业英语阅读的兴趣。“力学实践”专栏鼓励学生自己动手练习或设计力学演示实验,或者观测生活中的力学现象。

本书的数学起点比较高,这是考虑到我们的学生已经学习了一个学期的高等数学,具备初步微积分的基础。在这种情况下,力学的有限教学学时就可以重点放在阐明物理概念和规律上,在这同时,可以用物理现象揭示微积分的意义及作用,并培养学生用高等数学解决物理问题。

这里应特别感谢我们的教研室主任于全训教授,他不仅对该书的编写自始至终给予了大力支持,还应邀在繁忙的教学和科研工作之余执笔写了其中的第5~7章。

本书的某些论述、插图以及部分例题和习题,选自书末的参考文献,文中没有一一列出,请有关作者谅解,在此,对这些著作的作者谨表示敬意。

本书编写得到了山东师范大学科研处、教务处、物理系领导和许多教师的支持,一些学生阅读初稿后提出了修改意见,这里一并致谢。

由于编者水平所限,书中难免有错讹纰漏之处,真诚希望专家、读者批评指正。

聂清香

2002年6月于山东师范大学

目 录

绪 论	(1)
0.1 物理学概观	(1)
0.1.1 物理学的研究对象	(1)
0.1.2 经典物理学	(2)
0.1.3 狭义相对论和广义相对论的产生	(4)
0.1.4 从量子论到量子力学	(6)
0.1.5 当代物理	(7)
0.1.6 物理学研究方法	(10)
0.1.7 中国的希望	(10)
0.2 物理量	(11)
0.2.1 单位和单位制	(12)
0.2.2 单位的标准	(14)
0.2.3 有效数字和数量级	(14)
0.2.4 量 纲	(15)
0.2.5 标量和矢量	(17)
0.3 经典力学的基本框架	(19)
0.3.1 研究对象和理想模型	(19)



0.3.2 基本运动形式	(21)
0.3.3 力学的基本规律	(21)
第1章 质点运动学	(23)
1.1 描述质点运动的物理量	(23)
1.1.1 位矢和位移	(23)
1.1.2 速度和速率	(24)
1.1.3 加速度	(25)
1.2 速度和加速度的直角坐标分量	(26)
1.2.1 速度和加速度的分量表示	(26)
1.2.2 直线运动的描述	(28)
1.2.3 积分求速度和运动学方程	(29)
1.2.4 基本积分问题小结	(33)
1.3 自然坐标、切向和法向加速度	(34)
1.3.1 自然坐标	(34)
1.3.2 速度的自然坐标表示	(35)
1.3.3 切向和法向加速度	(36)
1.4 圆周运动的角量描述	(39)
1.4.1 角 量	(39)
1.4.2 线量与角量之间的关系	(40)
1.4.3 角速度矢量	(41)
思考题	(43)
习 题	(44)
兴趣天地	(47)
第2章 质点动力学	(50)
2.1 牛顿运动定律	(51)
2.1.1 惯性定律和惯性参考系	(51)

2.1.2	力的概念	(52)
2.1.3	牛顿第二定律	(53)
2.1.4	牛顿第三定律	(54)
2.1.5	惯性质量	(55)
2.2	力学中常见的力	(56)
2.2.1	万有引力和重力	(56)
2.2.2	弹性力	(58)
2.2.3	摩擦力	(59)
2.3	牛顿第二定律的应用	(61)
2.4	质点的动量定理	(69)
2.4.1	动量定理	(69)
2.4.2	动量定理的应用	(70)
2.5	质点的动能定理和机械能守恒	(73)
2.5.1	功和功率	(74)
2.5.2	保守力、势能	(77)
2.5.3	动能定理和机械能守恒	(79)
2.6	质点的角动量定理和角动量守恒	(83)
2.6.1	对轴的力矩	(83)
2.6.2	对点的力矩	(85)
2.6.3	角动量、角动量定理和角动量守恒	(86)
思考题		(90)
习 题		(92)
兴趣天地		(96)
第 3 章	相对运动和非惯性系	(105)
3.1	相对运动	(105)
3.1.1	伽利略变换	(106)
3.1.2	速度和加速度的合成关系	(107)

3.2 平动参考系	(111)
3.2.1 伽利略相对性原理	(111)
3.2.2 平动参考系中的惯性力	(113)
3.3 转动参考系	(116)
3.3.1 离心惯性力	(117)
3.3.2 科里奥利力	(118)
3.4 地球自转的影响	(122)
3.4.1 地球自转对重力的影响	(122)
3.4.2 地球上的科里奥利力效应	(124)
3.5 相对论的时间和空间	(126)
3.5.1 狭义相对论的基本原理、洛仑兹变换	(127)
3.5.2 狭义相对论的时空观	(128)
3.5.3 广义相对论的基本原理	(130)
3.5.4 引力场与弯曲时空	(130)
3.5.5 广义相对论的天文学验证	(134)
思考题	(136)
习 题	(136)
兴趣天地	(139)
 第4章 质点系动力学	 (145)
4.1 质点系动量定理与质心运动定理	(146)
4.1.1 质点系动量定理	(146)
4.1.2 质 心	(147)
4.1.3 质心运动定理	(150)
4.1.4 质点系的动量守恒	(151)
4.1.5 动量定理及守恒定律的应用	(151)
4.2 质点系动能定理	(156)
4.2.1 质点系动能定理和机械能守恒定律	(156)

4.2.2	内力的功	(157)
4.2.3	质点系的动能与势能	(157)
4.2.4	质心坐标系中的动能定理	(158)
4.2.5	例题分析	(160)
4.3	质点系的角动量定理及角动量守恒	(164)
4.3.1	质点对固定点和轴的角动量定理及守恒 ...	(164)
4.3.2	对质心的角动量定理	(168)
4.4	两体碰撞	(170)
4.4.1	碰撞过程和恢复系数	(170)
4.4.2	研究对心碰撞问题的基本方程	(173)
4.4.3	非对心碰撞(斜碰)	(175)
4.4.4	碰撞问题例题分析	(176)
思考题		(179)
习 题		(180)
兴趣天地		(186)
第5章	初等刚体力学.....	(193)
5.1	定轴转动的角量描述	(194)
5.2	转动惯量及其计算	(195)
5.3	定轴转动的基本方程	(198)
5.3.1	基本方程	(198)
5.3.2	对定轴的转动定理	(199)
5.3.3	定轴转动的动能定理	(201)
5.4	力学体系绕定轴转动	(206)
5.5	刚体的平面平行运动	(212)
5.5.1	运动学简介	(213)
5.5.2	平面运动动力学	(216)
5.6	刚体的平衡	(227)

思考题	(229)
习 题	(231)
力学实践	(234)
兴趣天地	(237)
第 6 章 振 动	(243)
6.1 谐振子	(243)
6.1.1 线谐振子	(244)
6.1.2 角谐振子	(245)
6.1.3 电磁谐振子	(246)
6.2 简谐振动	(247)
6.2.1 简谐振动	(247)
6.2.2 简谐振动的速度、加速度和能量	(247)
6.2.3 简谐振动的形象化表示——参考圆	(248)
6.2.4 运动方程中各量的物理意义	(249)
6.3 简谐振动的合成	(258)
6.3.1 两个一维同频率的简谐振动的合成	(258)
6.3.2 两个不同频率的一维简谐振动的合成	(260)
6.3.3 两个相互垂直的同频率的简谐振动的合成	(262)
6.4 阻尼振动	(264)
6.5 受迫阻尼振动·共振	(267)
6.5.1 振动方程	(267)
6.5.2 受迫振动的稳态解	(268)
6.5.3 共 振	(269)
思考题	(271)
习 题	(272)
力学实践	(275)
兴趣天地	(276)



第 7 章 波 动	(286)
7.1 弹性模量·形变势能	(286)
7.1.1 弹性模量	(287)
7.1.2 形变势能	(289)
7.2 机械波的形成	(289)
7.3 一维简谐波	(293)
7.3.1 一维简谐波的波函数(或称波的表达式)	(293)
7.3.2 波的表达式的物理意义	(295)
7.3.3 波动过程的周期性	(296)
7.3.4 波速就是相速	(297)
7.4 波动方程·波速	(300)
7.5 波的能量	(304)
7.5.1 波的能量密度	(304)
7.5.2 平均能流密度——波的强度	(306)
7.5.3 波的功率、球面简谐波和柱面简谐波	(307)
7.6 波的叠加原理·波的干涉	(310)
7.6.1 波的叠加原理	(310)
7.6.2 波的干涉和相干条件	(310)
7.7 驻 波	(315)
7.7.1 驻波的形成	(315)
7.7.2 驻波方程	(316)
7.7.3 半波损失	(319)
7.8 声波简介	(325)
7.8.1 声压波	(325)
7.8.2 声强和声强级	(327)
7.9 多普勒效应	(330)
7.9.1 机械波的多普勒效应	(330)

7.9.2 电磁波的多普勒效应	(332)
7.9.3 冲击波	(333)
思考题	(335)
习 题	(336)
兴趣天地	(340)
第 8 章 流体力学基础	(345)
8.1 流体静力学	(345)
8.1.1 静止流体内的压强	(346)
8.1.2 表面张力	(350)
8.1.3 毛细现象	(353)
8.2 流体运动学的基本概念	(354)
8.2.1 流线、流管和定常流动	(354)
8.2.2 流量和连续性原理	(355)
8.3 伯努利方程及应用	(356)
8.3.1 理想流体	(356)
8.3.2 伯努利方程的推导	(357)
8.3.3 伯努利方程的应用	(358)
8.4 黏性流体的运动	(361)
8.4.1 流体的黏性和粘性定律	(361)
8.4.2 泊肃叶公式	(363)
8.4.3 有黏性时的伯努利方程	(364)
8.4.4 湍流和雷诺数	(365)
8.5 固体在黏滞流体中的运动	(367)
8.5.1 斯托克斯公式(黏滞阻力)	(367)
8.5.2 涡旋与压差阻力	(368)
8.5.3 机翼的升力	(369)
思考题	(370)

目 录



习 题.....	(372)
兴趣天地.....	(374)
力学实践.....	(377)
参考书目	(378)

绪 论

0.1 物理学概观

力学是物理学的一个重要组成部分,是丰富多彩、博大精深的物理学大厦将向我们开启的第一所神圣的殿堂.在进入这庄严的殿堂大门之前,首先让我们鸟瞰一下物理学宏伟大厦的外貌,这对于力学乃至整个物理学的学习都是不无益处的.

0.1.1 物理学的研究对象

同其他自然科学一样,物理学是研究自然界物质运动和变化规律的.众所周知,世界是物质的,物质是运动的,小到基本粒子,大到天体,都是物质.宇宙的物质有各种不同尺度层次,人们一般称宏观(macroscopic)物质和微观(microscopic)粒子.微观粒子是指分子、原子乃至“基本粒子”(elementary particles).所谓基本粒子是指物质的基本组成成分.基本粒子是什么,与人们的认识水平有关.当前人们认为基本粒子有轻子(lepton)、夸克(quark)、光子(photon)和胶子(gluon)等.我们肉眼所见到的物体都是由微观粒子凝聚而成的,称为宏观物质.另外,在宏观和微观之间的尺度称



为介观(mesoscopic),而天体尺度则称为宇观(cosmological)。

除了由原子组成的物质外,场也是物质,如引力场和电磁场,场是传递相互作用的,它是一种特殊物质。

物质运动的形式是各种各样的,从简单的位置变化到高级的生命活动。自然科学的各门学科就是以各种不同的运动形式作为自己的研究对象。如化学研究化学变化,生物研究生物活动等。物理学是探讨物质结构和物质运动基本规律的学科,它研究的运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动及原子和原子内部的运动等等。由于这些基本的运动形式,普遍存在于自然界的各种物质运动中,因此,物理学在自然科学中占有非常重要的地位。自然科学包括基础科学和应用科学。物理学、化学和生物学、天文学等都是基础科学。在基础科学中,物理学是最基础的。现代物理学对其他学科的发展所产生的重大影响,以及物理学与其他学科交叉、渗透,从物理学的发展进程中可一览无余。

0.1.2 经典物理学

我们在低年级要学习的力学、热学、电磁学、光学等课程的大部分内容都是属于经典物理学的范畴。经典物理学包括经典力学、热力学统计物理和电磁学,它的建立是从17世纪到19世纪末,经历了二三百年的时间。

物理学的第一次伟大的综合是牛顿力学体系的形成。17世纪后半期,牛顿(I. Newton)在伽利略(Galileo Galilei)和开普勒(J. Kepler)等人研究的基础上,建立了经典力学。牛顿1687年出版的《自然哲学的数学原理》标志着现代意义上的物理学的开始。

牛顿力学主要包括两个定律,一个是运动定律,一个是万有引力定律。牛顿将这两个定律总结出来的同时也发明了微积分。由运动定律列出来的运动方程,可以用数学方法解出来,这是牛顿力学的威力。利用牛顿力学倒推千百年前或预测千百年后天体的位置



是轻而易举的,计算日月食发生的时间分秒不差.海王星的发现就是两位年轻人根据牛顿力学算出来的,因此有人说海王星是“笔尖上的行星”.这都表明牛顿定律是很成功的.

19世纪,拉格朗日(J. L. Lagrange)、哈密顿(W. R. Hamilton)等人进一步发展了经典力学,从能量出发,用简洁的数学形式表述了牛顿定律.这就是理论力学课程中的分析力学.在这一时期,牛顿定律被推广到连续介质的问题中,产生了弹性力学和流体力学等.流体力学与航空技术密切相关,牛顿力学构成了航空技术的理论基础.因此牛顿力学到现在为止仍然是非常重要的,是大学课程重要的基础部分.

物理学的第二次综合是电磁学.最初是库仑(C. A. Coulomb)定律、奥斯特(H. C. Oersted)的电流磁效应、安培(A. M. Ampere)的电流间的相互作用规律,然后是法拉第(M. Faraday)电磁感应定律.最后,到了19世纪中叶,麦克斯韦(J. C. Maxwell)提出了统一的电磁场理论,并导致了电磁波的发现.在这以前,光学和电磁学是完全独立发展的,麦克斯韦电磁场理论建立后,光学也成了电磁学的一个分支,电学、磁学和光学实现了统一.

经典物理学的第三次综合是从热学开始的.在大量实验的基础上,卡诺(S. Carnot)、焦耳(J. P. Joule)、开尔文(L. Kelvin)勋爵、克劳修斯(K. Clausius)等人建立了描述宏观热现象的热力学;后来,克劳修斯、麦克斯韦、玻尔兹曼(L. Boltzmann)等人企图从分子和原子的微观层次上来解释热现象的实质,因此气体分子运动理论应运而生;进一步,玻尔兹曼与吉布斯(J. W. Gibbs)发展了经典统计力学.热力学和统计物理的产生,加强了物理学与化学的联系,产生了物理化学这门交叉学科.

经典物理学的非凡成就,曾使人们认为人类对自然的认识已达到了完美的境地.但是,富有洞见的英国著名物理学家开尔文在1900年的讲演中,在对经典物理学的成就表示满意的同时,提出