

“十三五”国家重点出版物出版规划项目


Mc  
Graw  
Hill  
Education

# 伯克利物理学教程 (SI版)

第3卷 翻译版  
波动学 Waves

[美] F.S. 克劳福德 (Frank S. Crawford, Jr.) 著  
*University of California, Berkeley*

复旦大学 卢鹤绂 等译  
汤家镛 补正

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



Mc  
Graw  
Hill  
Education



## Berkeley Physics Course

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

伯克利物理学教程 (SI 版)  
Berkeley Physics Course

第 3 卷

波动学 (翻译版)

Waves



[美] F. S. 克劳福德 (Frank S. Crawford, Jr.) 著  
(University of California, Berkeley)

复旦大学 卢鹤绂 等译

汤家镛 补出



机械工业出版社

本书为“十三五”国家重点出版物出版规划项目（世界名校名家基础教育系列）。全书强调不同波动现象之间的相似性和类比性，着重阐述波动的基本概念以及这些概念之间的相互联系。书中还介绍了许多重要波动现象的实例，各章末附有大量习题和课外实验，有助于读者对有关概念深入理解。

本书由卢鹤绂主持翻译，参加翻译工作的有史福庭、汤家镛、朱梦熊、任炽刚、苏汝铿、吴治华、倪光炯、顾国庆、殷鹏程、钱毓敏、裘志洪等，卢鹤绂负责全书总校工作。汤家镛对SI版做了补译和更正。

本书可作为高等院校物理学、应用物理学专业或其他理工科专业的教材或参考书，也可供相关科技人员参考。

Frank S. Crawford, Jr.

Waves, Berkeley Physics Course-Volume3

[ISBN 978-0-07-004860-7]

Copyright © 2011 by McGraw-Hill Education.

All Rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanical, including without limitation photocopying, recording, taping, or any database, information or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

This authorized Chinese translation edition is jointly published by McGraw-Hill Education (Asia) and China Machine Press. This edition is authorized for sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Macao SAR and Taiwan.

Copyrights © 2016 by McGraw Hill Education (Asia) and China Machine Press.

版权所有。未经出版人事先书面许可，对本出版物的任何部分不得以任何方式或途径复制或传播，包括但不限于复印、录制、录音，或通过任何数据库、信息或可检索的系统。

本授权中文简体字翻译版由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司和机械工业出版社合作出版。此版本经授权仅限在中华人民共和国境内（除香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾）销售。

版权© 2016 由麦格劳-希尔（亚洲）教育出版公司与机械工业出版社所有。

本书封面贴有 McGraw-Hill Education 公司防伪标签，无标签者不得销售。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2013-6384 号。

## 中译本再版前言

“伯克利物理学教程”的中译本自 20 世纪 70 年代在我国印行以来已过去三十多年。在此期间，国内陆续出版了许多大学理工科基础物理教材，也翻译出版了多套国外基础物理教程。这在相当大的程度上对大学基础物理教学，特别是新世纪理工科基础物理教学的改革发挥了积极作用。

然而，即便如此，时至今日，国内高校从事物理教学的教师和选修基础物理课程的学生乃至研究生仍然感觉，无论是对基础物理的教、学还是应用，以及对从事相关的研究工作而言，“伯克利物理学教程”依旧不失为一套极有阅读和参考价值的优秀教程。令人遗憾的是，由于诸多历史原因，曾经风靡一时的“伯克利物理学教程”如今在市面上已难觅其踪影，加之原版本以英制单位为主，使其进一步的普及受到一定制约。而近几年，国外陆续推出了该套教程的最新版本——SI 版（国际单位制版）。在此背景下，机械工业出版社决定重新正式引进本套教程，并再次委托复旦大学、北京大学和南开大学的教授承担翻译修订工作。

新版中译本“伯克利物理学教程”仍为一套 5 卷。《电磁学》卷因新版本内容更新较大，基本上是抛开原译文的重译；《量子物理学》卷和《统计物理学》卷也做了相当部分内容的重译；《力学》卷和《波动学》卷则修正了少量原译文欠妥之处，其余改动不多。除此之外，本套教程统一做的工作有：用 SI 单位全部替换原英制单位；按照《英汉物理学词汇》（赵凯华主编，北京大学出版社，2002 年 7 月）更换、调整了部分物理学名词的汉译；增补了原译文未收入的部分物理学家的照片和传略；此外，增译全部各卷索引，以便给读者更为切实的帮助。

复旦大学 蒋平

# “伯克利物理学教程”序

赵凯华 陆 果

20世纪是科学技术空前迅猛发展的世纪，人类社会在科技进步上经历了一个又一个划时代的变革。继19世纪的物理学把人类社会带进“电气化时代”以后，20世纪40年代物理学又使人类掌握了核能的奥秘，把人类社会带进“原子时代”。今天核技术的应用远不止于为社会提供长久可靠的能源，放射性与核磁共振在医学上的诊断和治疗作用，已几乎家喻户晓。20世纪五六十年代物理学家又发明了激光，现在激光已广泛应用于尖端科学研究、工业、农业、医学、通信、计算、军事和家庭生活。20世纪科学技术给人类社会所带来的最大冲击，莫过于以现代计算机为基础发展起来的电子信息技术，号称“信息时代”的到来，被誉为“第三次产业革命”。的确，计算机给人类社会带来如此深刻的变化，是二三十年前任何有远见的科学家都不可能预见到的。现代计算机的硬件基础是半导体集成电路，PN结是核心。1947年晶体管的发明，标志着信息时代的发端。所有上述一切，无不建立在量子物理的基础上，或是在量子物理的概念中衍生出来的。此外，众多交叉学科的领域，像量子化学、量子生物学、量子宇宙学，也都立足于量子物理这块奠基石上。我们可以毫不夸大地说，没有量子物理，就没有我们今天的生活方式。

普朗克量子论的诞生已经有114年了；从1925年或1926年算起量子力学的建立也已经将近90年了。像量子物理这样重要的内容，在基础物理课程中理应占有重要的地位。然而时至今日，我们的基础物理课程中量子物理的内容在许多地方只是一带而过，人们所说的“近代物理”早已不“近代”了。

美国的一些重点大学，为了解决基础物理教材内容与现代科学技术蓬勃发展的要求不相适应的矛盾，早在20世纪五六十年代起就开始对大学基础物理课程试行改革。20世纪60年代出版的“伯克利物理学教程”就是这种尝试之一，它一共包括5卷：《力学》《电磁学》《波动学》《量子物理学》《统计物理学》。该教程编写的意图，是尽可能地反映近百年来物理学的巨大进展，按照当前物理学工作者在各个前沿领域所使用的方式来介绍物理学。该教程引入狭义相对论、量子物理学和统计物理学的概念，从较新的统一的观点来阐明物理学的基本原理，以适应现代科学技术发展对物理教学提出的要求。

当年“伯克利物理学教程”的作者们以巨大的勇气和扎实深厚的学识做出了杰出的工作，直到今天，回顾“伯克利物理学教程”，我们仍然可以从中得到许多非常有益的启示。



首先，这5卷的安排就很好地体现了现代科学技术发展对物理教学提出的要求，其次各卷作者对具体内容也都做出了精心的选择和安排。特别是，第4卷《量子物理学》的作者威切曼（Eyvind H. Wichmann）早在半个世纪前就提出：“我不相信学习量子物理学比学习物理学其他分科在实质上会更困难。……当然，确曾有一个时期，所有量子现象被认为是非常神秘和错综复杂的。在最初探索这个领域的时期，物理学工作者确曾遇到一些非常实际的心理上的困难，这些困难一部分来自可以理解的偏爱对世界的经典观点的成见，另一部分则来自于实验图像的不连续性。但是，对于今天的初学者，没有理由一定要重新制造这些同样的困难。”我们不能不为他的勇气和真知灼见所折服。第5卷《统计物理学》的作者瑞夫（F. Reif）提出：“我所遵循的方法，既不是按照这些学科进展的历史顺序，也不是沿袭传统的方式。我的目标是宁可采用现代的观点，用尽可能系统和简洁的方法阐明：原子论的基本概念如何导致明晰的理论框架，能够描述和预言宏观体系的性质。……我选择的叙述次序就是要对这样的读者有启发作用，他打算自己去发现如何获得宏观体系的知识。”的确，他的《统计物理学》以其深刻而清晰的物理分析，令人回味无穷。

感谢机械工业出版社，正是由于他们的辛勤工作，才为广大教师和学生提供了这套优秀的教材和参考书。

于北京大学

# “伯克利物理学教程”原序（一）

本教程为一套两年期的初等大学物理教程，对象为主修科学和工程的学生。我们想尽可能在领域前沿工作的物理学家所应用的方式介绍初等物理。我们旨在编写一套严格强调物理学基础的教材。我们更特别想将狭义相对论、量子物理和统计物理的思想有机地引入初等物理课程。

选修本课程的学生都应在高中学过物理。而且，在修读本课程的同时还应修读包括微积分在内的数学课。

现在美国另外有好几套大学物理的新教材在编写。由于受科技进步和中、小学日益强调科学这两方面需要的影响，不少物理学家都有编写新教材的想法。我们这套教材发端于1961年末康奈尔大学的 Philip Morrison 和 C. Kittel 两人之间的一次交谈。我们还受到国家科学基金会的 John Mays 和他的同事们的鼓励，也受到时任大学物理委员会主席的 Walter C. Michels 的支持。我们在开始阶段成立了一个非正式委员会来指导本教程。委员会一开始由 Luis Alvarez、William B. Fretter、Charles Kittel、Walter D. Knight、Philip Morrison、Edward M. Purcell、Malvin A. Ruderman 和 Jerrold R. Zacharias 组成。1962年5月委员会第一次在伯克利开会，会上确定了一套全新的物理教程的临时大纲。因为有几位委员工作繁忙，1964年1月委员会调整了部分成员，而现在的成员就是在本序言末签名的各位。其他人的贡献则在各分卷的前言中致谢。

临时大纲及其体现的精神对最终编成的教程内容有重大影响。大纲全面涵盖了我们认为既应该又可能教给刚进大学主修科学与工程的学生们的具体内容以及应有的学习态度。我们从未设想编一套专门面向优等生、尖子生的教材。但我们着意以独具创新性的、统一的观点表达物理原理，因而教材的许多部分不仅对学生，恐怕对老师来说都一样是新的。

根据计划，五卷教程包括：

- I. 力学 (Kittel, Knight, Ruderman)
- II. 电磁学 (Purcell)
- III. 波动学 (Crawford)
- IV. 量子物理学 (Wichmann)
- V. 统计物理学 (Reif)

每一卷都由作者自行选择以最适合其本人分支学科的风格和方法写作。

因为教材本身强调物理原理，令有的老师觉得实验物理不足。使用教材初期的教学活动促使 Alan M. Portis 提出组建基础物理实验室，这就是现在所熟知的伯克



利物理实验室。这所实验室里重要的实验相当完善，而且设计得与教材很匹配，相辅相成。

编写教材的财政资助来自国家科学基金会，加州大学也给予了巨大的间接支持。财务由教育服务公司（ESI）管理，这是一家非营利性组织，专门管理各项课程改进项目。我们特别感谢 Gilbert Oakley、James Aldrich 和 William Jones 积极而贴心的支持，他们全部来自 ESI。ESI 在伯克利设立了一个办公室以协助教材编写和实验室建设，办公室由 Mary R. Maloney 夫人负责，她极其称职。加州大学同我们的教材项目虽无正式的联系，但却在很多重要的方面帮助了我们。在这一方面我们特别感谢相继两任物理系主任 August C. Helmholtz 和 Bulton J. Moyer、系里的全体教职员工、Donald Coney 以及大学里的许多其他人。在前期许多组织工作中 Abraham Olshen 也给了我们许多帮助。

Eugene D. Commins	Edward M. Purcell
Frank S. Crawford, Jr.	Frederick Reif
Walter D. Knight	Malvin A. Ruderman
Philip Morrison	Eyvind H. Wichmann
Alan M. Portis	Charles Kittel, 主席

1965 年 1 月

#### 附注

第 1 卷、第 2 卷和第 5 卷于 1965 年 1 月至 1967 年 6 月之间出版。在第 3 卷和第 4 卷付诸出版之前有一些机构性变更。教育发展中心接替教育服务公司成为管理机构。委员会自身也有一些变化，调整了委员会成员的职责。委员会特别感谢所有在课堂上试用本教程以及根据各自的经验提出批评和改进建议的我们的同事。

同此前出版的各卷教程一样，欢迎各位提出更正和建议。

Frank S. Crawford, Jr.	Frederick Reif
Charles Kittel	Malvin A. Ruderman
Walter D. Knight	Eyvind H. Wichmann
Alan M. Portis	A. Carl Helmholtz
	Edward M. Purcell

} (主席)

1968 年 6 月

伯克利，加利福尼亚



## “伯克利物理学教程”原序（二）

本科生教学是综合性大学现在所面临的紧迫问题之一。随着研究工作对教师越来越具有吸引力，“教学过程的隐晦贬损”（摘引自哲学家悉尼·胡克 Sidney Hook）已太过常见了。此外，在许多领域中，研究的进展所导致的知识内容和结构的日益变化使得课程修订的需求变得格外迫切。自然，这对物理科学尤为真实。

因此，我很高兴为这套“伯克利物理学教程”作序，这是一项旨在反映过去百年来物理学巨大变革的本科阶段课程改革的大项目。这套教程得益于许多在前沿研究领域工作的物理学家的努力，也有幸得到了国家科学基金会（National Science Foundation）通过对教育服务公司（Educational Services Incorporated）拨款的形式给予的资助。这套教程已经在加州大学伯克利分校的低年级物理课上成功试用了好几个学期，它象征着教育方面的显著进展，我希望今后能被极广泛地采用。

加州大学乐于成为负责编写这套新教程和建立实验室的校际合作组的东道主，也很高兴有许多伯克利分校的学生志愿协助试用这套教程。非常感谢国家科学基金会的资助以及教育服务公司的合作。但也许最让人满意的是大量参与课程改革项目的加州大学的教职员工所表现出来的对本科生教学的盎然的兴趣。学者型教师的传统是古老的，也是光荣的；而致力于这部新教程和实验室的工作也正展示了这一传统依旧在加州大学发扬光大。

克拉克·克尔（Clark Kerr）

注：Clark Kerr 系加州大学伯克利分校前校长。

# 出版说明

## 为何要采用 SI (国际单位制)?

在印度次大陆所有的使用者都认为 SI (Système Internationale) 单位更方便, 也更受欢迎. 因此, 为使这套经典的伯克利教材对读者更适用, 有必要将原著中的单位改用 SI 单位.

## 致谢

我们要对承担将伯克利教材单位制更改为 SI 单位这一工作的德里大学圣·斯蒂芬学院(新德里)的退休副教授 D. L. Katyal 表示诚挚的谢忱.

同样必须提及的是巴罗达 M. S. 大学(古吉拉特邦瓦多达拉市)物理系的副教授 Surjit Mukherjee 的精准校核.

## 征求反馈和建议

Tata McGraw-Hill 公司欢迎读者的评论、建议和反馈. 请将邮件发送至 [tmh.sciencefeedback@gmail.com](mailto:tmh.sciencefeedback@gmail.com), 并请举报和侵权、盗版相关的问题.

# 前 言

这一卷专门研究波动学。这是一个广泛的课题。人人都知道许多涉及波动的自然现象，诸如水波、声波、光波、无线电波、地震波、德布罗意波以及其他各种波。而且仔细查阅一下任何物理学图书室的书架都会发现，对波动现象某一个方面的研究（譬如说水中的超声波）就可以占用整本的书或期刊，甚至可能吸引某个科学家的全部注意力。令人惊异的是，在这些狭窄研究领域之一工作的“专家”，通常能够相当容易地同其他一些被认为在与此无关的也被认为是狭窄的领域内工作的专家进行交流，为此他首先只需要学会对方的行话，学会他们所使用的单位（譬如，秒差距是什么意思？）以及哪些物理量是重要的，等等。的确，一旦他发现自己的兴趣有了改变，他就可以迅速地改行而成为新领域里的“专家”。这种情况之所以可能，是由于有一个明显的事实，即许多完全不一样的和表面上互不相干的物理现象，都可以用一系列共同的概念来描述，因而科学家之间具有共同的语言。在这些共同使用的概念中，有许多就暗含在波动这个词内。

本书的主要目的是阐述波动学的一些基本概念以及这些概念之间的相互联系。为了达到这个目的，本书是按照这些概念，而不是按照诸如声、光等可观察的自然现象来组织编写的。

另一个目的是要使读者熟悉许多重要而有趣的波动例子，从而具体地认识这些基本概念的普遍性及其广泛应用。所以，每当引进一个新概念后，就把它立即应用到许多不同的物理体系上加以说明，例如弦线、玩具弹簧、传输线、硬纸板管、光束等。与之相并列的另一种方法，是先用一个简单例子（例如拉紧的弦）引出这些有用的概念，然后再考虑其他有意义的物理体系。

通过选择彼此之间具有相似几何“外貌”的不同示例，我希望能鼓励学生去寻求不同的波动现象之间的相似性和类比性。我也希望能激发学生的勇气，当他们面对一些新现象时能够利用这些类比来“妄测”。类比法的利用常常会有众所周知的危险性，也可能隐藏着错误。但是，什么事情都会是这样。（把光猜测为可能“像是”类似果冻的“以太”中的机械波，曾经是一种非常有效的类比。它曾经帮助麦克斯韦得出他的著名方程组，并导出了一些重要的预言。有一些实验——特别是迈克耳孙-莫雷实验证明这种机械模型不可能完全正确，爱因斯坦于是指出了如何放弃这个模型而仍然保留下麦克斯韦方程组。爱因斯坦宁愿直接去推测这些方程组，这可以称为“纯粹的”导出法。现在大多数物理学家虽然仍然在利用类比法和模型来帮助导出一些新的方程，但他们在发表结果时通常只给出方程，而不给出利用类比和模型导出这些方程的过程。）



课外实验是本卷的重要组成部分，它们能够给学生带来乐趣和培养他们的洞察力，而这是从普通课堂演示和实验室实验得不到的，尽管课堂演示和实验室实验也同等重要。这些课外实验全都是“家庭物理学”类型的实验，只需要很少的甚至不需要特殊的设备。（只需要有一个光学工具箱，虽然手头可能没有音叉、玩具弹簧和硬纸板管等，但它们十分便宜，并不“特殊”。）这些实验确实是让学生在家庭里做的，不是在实验室里做的。其中的许多实验，叫作演示可能比叫作实验更确切些。

本书中讨论的每一个主要概念，都至少有一个课外实验加以演示。除了引用例子来说明概念外，课外实验还使学生有机会与一些物理现象直接“接触”。由于这些实验是在家里做的，这种接触是十分密切的，是从容不迫的。这一点很重要。在家里做实验没有伙伴帮忙，一切都必须自己动手；也没有指导教师向你解释演示的意义和结果，一切都要依靠自己。你可以按照自己的速度进行演示，想做多少次就可以做多少次。

课外实验有一个很宝贵的特点，那就是，如果你在晚上才想起你上星期做过的一个实验有不清楚的地方，那么15min以后，你就能安排妥当重做一次实验。这一点很重要，因为在真正的实验工作中，从来没有一个人头一次就“把它搞对了”。事后的思考是成功的秘诀（还有一些别的因素）。对于学习来说，有害和有碍的事情，莫过于由于“实验设备已经拆掉了”或者由于“实验室已经关门”（或别的莫明其妙的理由）而不善于在实验以后继续进行思考。

最后，我还希望通过课外实验去培养学生具有我称之为的“对现象的鉴赏力”。我希望学生用自己的双手去创造一个场面，能使他的眼睛、耳朵和头脑既感到新鲜、惊奇，又感到十分愉快……

## 致 谢

第3卷的初始版本曾用于伯克利的几个班级中。对初稿有价值的批评和评论来自伯克利的学生；来自伯克利的教授——L. Alvarez 教授、S. Parker 教授、A. Portis 教授，特别是 C. Kittel 教授；来自得克萨斯大学的 J. C. Thompson 和他的学生；来自加州大学圣塔芭芭拉分校的 W. Walker 和他的学生。极其有用的具体评价是 S. Pasternack 专心阅读初稿后告诉我的。W. Walker 的详尽的意见是在阅读了接近完成的手稿后给出的，对我特别有帮助和影响。Luis Alvarez 还提供了他发表的第一篇有关实验的论文《测定光的波长的简单方法》，《School Science and Mathematics》32, 89 (1932)，这是课外实验 9.10 的基础。我特别感谢 Joseph Doyle，他阅读了全部最终的手稿。他深思熟虑的批评和建议促使我进行了许多重要的修改。他和另一个研究生 Robert Fisher 还为课外实验给出了许多好的创意。我的女儿 Sarah (4岁半) 和儿子 Matthew (2岁半) 不但贡献了他们的玩具弹簧，而且向我显示了弹簧体系具有的别人想象不到的自由度。我的妻子 Bevalyn 在她的厨艺以及许多其他方面做了贡献。

最初本书的出版工作是由 Mary R. Maloney 指导的，Lila Lowell 则指导了最后阶段的出版工作，并录入了大部分最终手稿。插图的最终形式应归功于 Felix Cooper。

在此，也向其他人所做的许多贡献表示衷心感谢，但对稿件负最终责任的是我。欢迎对本书的修订提出任何进一步的更正、投诉、夸奖、建议和意见，欢迎对新的课外实验提出创意。我的通信地址是 the Physics Department, University of California, Berkeley, California, 94720。任何用于新版本的课外实验都将注明提供者的姓名，尽管它可能最早已经由瑞利勋爵 (Lord Rayleigh) 或某人做过了。

**F. S. Crawford, Jr.**

# 教学说明

## 课程组织

行波有很大的美学上的魅力，从它开始似乎是很自然的。然而，尽管波动在美学和数学上是很美的，但是它在物理上却是相当复杂的，因为它涉及大量粒子之间的相互作用。既然我强调的是物理体系而不是数学，那么，我就先从最简单的物理体系开始，而不先讲最简单的波。

**第1章 简单体系的自由振动** 首先，我们回顾一下一维谐振子的自由振动，强调惯性和回复力的物理特点， $\omega^2$ 的物理意义，以及对于一个实际体系，要得到简谐运动，振动的振幅不能太大。其次，我们考虑两个耦合振子的自由振动，并引入简正模式的概念。我们强调简正模式就像一个“扩展”的谐振子，它的所有部分都以相同频率和相位振动，并强调对于一个给定的简正模式， $\omega^2$ 的物理意义与一维振子的相同。

**可省略的内容** 在全书中，有一些物理体系反复出现，教师不必全都讨论，学生也不必全学。本章例2和例8都是质量和弹簧的纵向振动，分别是一个自由度（例2）和两个自由度（例8）的情况。在以后各章里，我们把这种体系推广到许多自由度和连续体系中去（经受纵向振动的橡皮绳和玩具弹簧），并把这种体系当作一个模型，以帮助理解声波。如果教师想省略声音这一部分，那么也可以从一开始略去一切纵向振动部分。同样，例4和例10分别为一个自由度与两个自由度的LC电路。在以后各章中，我们还要把这种电路推广到LC网络和连续传输线上去。因此，如果教师想省略传输线中电磁波的讨论，他可以从一开始就略去所有LC电路的例子。（他可以这样做而仍然能够透彻讨论电磁波，即从第7章起，用麦克斯韦方程讨论电磁波。）不要省略横向振动（例3和例9）。

**课外实验** 我们极力推荐课外实验1.24（盆水晃动模式）和有关的习题1.25（湖面波动），其目的是要让学生开始“自己动手”。课外实验1.8（耦合的肉汁罐头）可以用来做一次很好的课堂演示。当然，你们也许已经有条件可以做一个这类的示范实验（耦合摆）。然而，甚至作为课堂示范，我仍然主张用玩具弹簧和肉汁罐头来做演示，虽然它们是简陋的，但这样做可以鼓励学生自己动手。

**第2章 多自由度体系的自由振动** 我们把自由度数目从两个推广到很大数目，并求出在一根连续弦上的横向振动模式——驻波。我们定义 $k$ ，并引进色散关系的概念，给出 $\omega$ 与 $k$ 的函数关系。在2.3节中，我们利用弦的各种振动模式来导出周期函数的傅里叶分析。在2.4节中，我们给出了各种串有珠子的弹簧的严格色



散关系.

可省略的内容 2.3 节是可以不讲的, 特别是, 假如学生已经知道一些傅里叶分析. 2.4 节的例 5 是多个耦合摆的一个线性排列, 即具有一个低频截止的最简单体系, 以后将用它来帮助解释具有一个低频截止频率的其他体系的行为. 如果教师不想在以后讨论在截止频率以下驱动的体系 (波导、电离层、光在玻璃内的全反射、德布罗意波的势垒贯穿、高通滤波器等), 就可以不考虑例 5.

**第 3 章 受迫振荡** 第 1 章和第 2 章从讨论谐振子的自由振动开始, 而以讨论闭合体系的自由驻波结束. 第 3 章和第 4 章考虑受迫振荡. 先讨论闭合体系 (第 3 章), 这里我们发现共振; 然后讨论开放体系 (第 4 章), 这里我们发现行波. 在 3.2 节中, 我们讨论受阻尼的受迫一维谐振子, 讨论了它的瞬态行为和稳态行为. 之后, 再进而讨论两个或多个自由度的情况, 发现相应于每个自由振动的模式都有共振. 我们还考虑了在它们的最低模式频率之下 (或最高模式频率之上) 驱动的闭合体系, 发现了指数波和“滤波”行为.

可省略的内容 3.2 节中的瞬态现象可以省略. 有些教师也可以省去在截止以外驱动的体系的各种情况.

课外实验 课外实验 3.8 (两瓶耦合肉汁罐头的受迫振动) 和课外实验 3.16 (机械带通滤波器) 需要留声机转盘. 特别对于在截止范围以外驱动的体系的指数波, 这两个课堂演示实验的效果都非常好.

**第 4 章 行波** 这里我们介绍由开放体系的受迫振荡所产生的行波 (不同于第 3 章中曾讨论过的闭合体系的受迫振荡所产生的驻波). 第 4 章余下部分专门研究行波中的相速度 (包括色散) 和阻抗. 我们把“行波的两个概念”相速度与阻抗同“驻波的两个概念”惯性和回复力加以对照. 也对比了驻波与行波相位关系的基本差别.

课外实验 我们推荐课外实验 4.12 (水棱镜). 这是用光学工具箱做的第一个实验, 它要用到紫色滤色片 (能通过红光和蓝光, 但滤去绿光). 我们特别推荐用你的脸作为探测器进行课外实验 4.18 (测量地球表面处的太阳常数).

**第 5 章 反射** 至第 4 章末尾, 我们已掌握了驻波和行波 (一维的). 在本章中我们研究驻波和行波的一般叠加. 在导出反射系数时, 我们用十分“物理”的方式使用了叠加原理, 而不是强调边界条件 (在习题中强调了使用边界条件).

可省略的内容 本章有很多例子涉及声、传输线和光, 不必都讲. 第 5 章基本上是从第 1 到第 4 章所讲内容的应用, 因此它的任何一部分, 甚至整个部分都可略去.

课外实验 每个人都应该做课外实验 5.3 (玩具弹簧上短暂的驻波). 课外实验 5.17 与 5.18 是特别有趣的.

**第 6 章 调制、脉冲和波包** 第 1 章到第 5 章, 我们主要研究单个频率  $\omega$  的情况 (除 2.3 节傅里叶分析外). 在第 6 章里我们研究包含由不同频率叠加的脉冲和



波包，并推广傅里叶分析的概念（已在第2章中对周期函数做了介绍），以便包括非周期函数。

**可省略的内容** 大部分物理内容在前三节。如果教师已在2.3节略去了傅里叶分析，现在无疑也要略去6.4节和6.5节，这两节中引入了傅里叶积分及其应用。

**课外实验** 在没有看到水波的波包以前，不会有人相信存在群速度（见课外实验6.11）。每一个人还应该做课外实验6.12和6.13。

**习题** 频率调制和相位调制是在习题中讨论的，而不是在课文中讨论的。有一些很有意义的近代进展也在习题中讨论，例如激光器的锁模（习题6.23）、多频（习题6.32）、多道干涉仪傅里叶频谱学（习题6.33）等。

**第7章 二维和三维的波** 第1章至第6章讨论的全是一维波。在本章中我们讨论三维波。引进了波矢 $k$ 。用麦克斯韦方程组作为研究电磁波的出发点（在前几章已有很多传输线上电磁波的例子，它们是以 $LC$ 电路为例子讲的），也研究了水波。

**可省略的内容** 7.3节（水波）可以略去，但是不管是否学习7.3节，我们推荐有关水波的那些课外实验。如果教师主要对光学感兴趣，他实际上可以从7.4节（电磁波）开始讲起，继续讲第7、8、9章。

**第8章 偏振** 这一章专门研究电磁波偏振和在玩具弹簧上的波的偏振，重点在于部分偏振和相干性之间的物理关系。

**课外实验** 每个人至少应做课外实验8.12、8.14、8.16和8.18（课外实验8.14需要玩具弹簧，其他要用光学工具箱）。

**第9章 干涉和衍射** 这里我们研究从波源到探测器经过不同路程的波动的叠加。我们强调相干性的物理意义。我们把几何光学作为一种波现象来讨论，并讨论一个受衍射限制的光束打在各种反射和折射表面上的行为。

**课外实验** 在有关干涉、衍射、相干性和几何光学的许多课外实验中，每人应该至少各做一个。我们也特别推荐课外实验9.50（音叉的辐射图样——四极辐射）。

**习题** 有些论题是在习题中讲的，如测星干涉仪，包括近来发展起来的“长基线干涉量度学”（习题9.57）；在习题9.59中讨论了相衬显微镜和无线电调幅波变成调频波的转换之间的类似性问题。

## 课外实验

**一般说明** 每星期至少要布置一个课外实验。为了方便，我们将所有包括水波、玩具弹簧上的波和声波的实验列示于下。之后我们还要描述光具箱。

**水波** 在第7章里讨论，此外，这个课题在下述一组容易的课外实验中还反复出现：

### 1.24 盆水晃动模式





- 1. 25 湖面波动
- 2. 31 锯齿浅水驻波
- 2. 33 表面张力模式
- 3. 33 锯齿浅水驻波
- 3. 34 水上矩形二维表面驻波
- 3. 35 水面驻波
- 6. 11 水波包
- 6. 12 浅水波包——潮浪
- 6. 19 深水波的相速度和群速度
- 6. 25 潮浪中的共振
- 7. 11 水波的色散律
- 9. 29 水波的衍射

**玩具弹簧** 每个学生都应该有一个玩具弹簧 (任何玩具店都有售)。下述实验中有四个需要一架唱机的转盘, 因此, 费用超过了“家庭物理”范围。然而, 很多学生都有唱机。(涉及唱机的一些实验可以作为很好的课堂演示。)

- 1. 8 耦合的肉汁罐头
- 2. 1 玩具弹簧——长度对频率的影响
- 2. 2 作为一个连续体系的玩具弹簧
- 2. 4 玩具弹簧的“音品”
- 3. 7 有阻尼的玩具弹簧中的共振 (需要转盘)
- 3. 8 两瓶耦合肉汁罐头的受迫振动 (需要转盘)
- 3. 16 机械带通滤波器 (需要转盘)
- 3. 23 波抗性区域的指数穿透 (需要转盘)
- 4. 4 玩具弹簧上波的相速度
- 5. 3 玩具弹簧上短暂的驻波
- 8. 14 玩具弹簧的偏振

**声音** 许多关于声学的课外实验, 需要用到两个相同的音叉, 最好用 C523.3 或 A440。最便宜的一种已经足够好了, 可在音乐商店里买到。硬纸板管可在文具店或艺术品商店购得。下述一些课外实验涉及声学的内容:

- 1. 4 测量振动频率
- 1. 7 耦合的弓锯锯条
- 1. 12 两个音叉构成的拍
- 1. 13 你的耳朵的非线性——组合音调
- 1. 18 吉他的不同弦线之间弱耦合所形成的拍
- 2. 4 玩具弹簧的“音品”
- 2. 5 作为傅里叶分析器的钢琴——耳朵对相位的不敏感性