



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
普通高等教育“十三五”规划教材

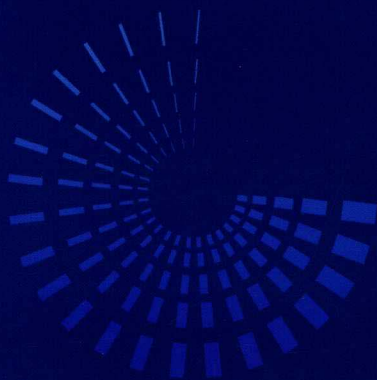
第一版 李承祖 杨丽佳 主编

大学物理学 (下册)

(第二版)

主 编 李承祖

副主编 曾交龙



科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

普通高等教育“十三五”规划教材

大学物理学

(下册)

(第二版)

主 编 李承祖

副主编 曾交龙

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理学》修订版,是科学出版社普通高等教育“十三五”规划教材,是“大学物理学立体化系列教材”之一。

本书遵循教育部对精品教材的质量要求,按照“科技底蕴厚实,创新能力突出”的人才培养目标和理念,针对高素质新型军事人才培养对大学物理教学的需要,在原《大学物理学》基础上修订而成。全书内容体现现代化的要求,不仅系统地介绍了相对论、量子论的基本原理以及半导体、超导体、激光技术、核物理和核技术、量子纠缠和量子信息技术、纳米科技基础等,还包括物理学中的对称性、非平衡热力学简介、非线性物理简介、广义相对论简介等内容。此外还包括了一些物理学著名实验介绍以及物理学家传记和趣闻轶事。全书内容精炼、语言简洁,编排上由浅入深、循序渐进,遵从认识规律和教学规律,突出物理图像、物理思想、物理方法教学,淡化具体技术、数学细节。全书分上、下两册,本书为下册,包括振动、波动、电磁波和波动光学,相对论、物理学中的对称性,量子物理基础,高新技术的物理基础四部分。

本书可作为高等学校理工科非物理专业本科生大学物理课程的教材和参考书,亦可供其他专业的教师和学生阅读与选用。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学. 下册/李承祖主编. —2版. —北京:科学出版社,2019.2
普通高等教育“十一五”国家级规划教材·普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-03-060440-8

I. ①大… II. ①李… III. ①物理学-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第014041号

责任编辑: 龚京涛 / 责任校对: 郭瑞芝

责任印制: 师艳茹 / 封面设计: 迷底书装

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

石家庄继文印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009年7月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2019年2月第 二 版 印张: 27 1/2

2019年2月第十一次印刷 字数: 554 000

定价: 52.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

本书是原 2009 年版《大学物理学》基础上的修订版,基本上沿袭了原版教材的教学理念和编写指导思想,此次根据近十年来原版教材使用经验和当前大学物理教学改革现状和趋势,作了以下修订和调整:

(1) 为配合“翻转课堂教学法”的需要,调动学生学习积极性,指导学生预习、自学,在每章开头给出“学习指导”意见,包括预习本章需要重点掌握理解的内容,以及对教师讲授、组织教学的建议,同时删除原版每章后的“内容提要”;

(2) 删除或改写原版教材中带“*”的部分章节以及其他过高的要求和内容,压缩原教材的字数和篇幅;更着重军事、高技术的物理原理,进一步突出军事应用的特色;

(3) 将原版教材力学部分中“质点力学”和“质点系力学”两章合并,删除其中重复,压缩了力学部分篇幅和教学学时,更突出了本书编写的指导思想;

(4) 改变原版教材中习题编写的指导思想,由原来偏重数学和解题技巧训练,变成强化基本物理思想、物理概念、物理方法训练;内容上增加反映近代物理、现代高新技术需要,特别是国防高科技和军事应用的例题和习题;

(5) 更新原版教材中的部分插图,改进原书面貌、风格,使版面更清新活泼;充分利用现代化教学手段,编好配套教材。

参加修订工作的人员和分工如下:曾交龙教授是该修订项目负责人,并承担“电磁学”部分;张婷副教授是项目组秘书,负责协调、联系和文字校订;张晚云副教授参加“力学”部分修订,负责全书插图、版面设计及电子教案编制;江遴汉副教授负责“热学”部分(前三章)以及全书习题选编及习题解答辅助教材编写,陈平形教授负责热学部分第 4 章,沈曦副教授负责“振动 波动 电磁波和波动光学”部分第 1, 2, 4, 5, 6 章,李承祖负责“力学”、“振动 波动 电磁波和波动光学”部分第 3 章、“相对论 物理学中的对称性”、“量子物理基础”、“高新技术的物理基础”和“附录”等部分修订,以及全书内容和文字综合、修改和审定。

作者对国防科技大学学校和文理学院,科学出版社窦京涛编辑及其他为本书出版提供帮助的有关人员表示感谢!

编 者

2018 年 5 月

第一版前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材，是编者遵循国家对精品教材的质量要求，按照“科学底蕴厚实，创新能力强”的要求，针对高素质新型军事人才培养对大学物理教学需要，在原《基础物理学》基础上改编而成，教材内容一定程度上反映了编者参予大学物理精品课程建设的经验和体会，特别是近年来对大学物理教学改革探索和思考。

—

本书的编者继承了编写《基础物理学》的理念和做法，即基础物理教学的目的，不仅仅是为学习后续专业课程服务，通过基础物理教学还应当使学生获得完整的物质世界图像，认识物质世界运动、变化的基本规律；掌握基本物理学语言、概念和物理学的基本原理和方法；对物理学历史、现状和前沿有整体上全面的了解；还应当使学生学会科学思想、科学方法，经受科学精神、科学态度的熏陶、培养，提高其科学、文化素质。物理教学内容改革的出发点就应当是开发物理教学的这种高品位的文化功能，为提高学生的科学、文化素质服务。

为贯彻这一教学新理念，在教学内容上，重点应放在物理图像、物理思想、物理方法的教学上，而不是满足于仅仅介绍某些物理学现象和知识；要坚持教学内容的现代化改革，充分反映以相对论、量子论为核心的 20 世纪新物理学，特别是量子力学的基本概念、原理和方法应系统地介绍给学生。应当在现代物理的基础上给学生构筑合理的、开放的物理知识背景和结构，使他们能以此为基础，去接受、理解当代科技新概念、新技术和最新文献资料；尽可能全面地介绍物理学最基本的原理，给学生描绘出一个包括非线性、量子性、统计的因果性、对称性、时空的物质性、时间方向性等完整的物质世界图像。

在教材处理方法上，坚持“三个层次、一个统一”的做法。“三个层次”就是将传统的大学物理教学内容分为三个不同层次。

第一层次：体现现代物理思想，有助于学生获得完整的物质世界图像，建立科学世界观的内容。例如，世界本质上是量子的；线性问题是一般非线性的近似；Laplace 决定论的因果关系是一般统计因果关系的特殊情况；相对论的时空观，空

间、时间和物质运动不可分离的观点；信息即负熵的观点；场作用的观点；相位因子场和相干叠加的观点；物质运动，运动守恒的观点；物质相互作用、相互联系，运动是有规律的，运动规律是可认识的观点；对称性决定相互作用、对称性支配物理规律的观点；物质结构分层次，不同层次的物质遵循不同运动规律的观点等。

第二层次：描述不同物质层次(机械运动、热运动、辐射场，微观粒子)运动基本规律. 这部分内容是教学内容的主题，教学目的是培养学生掌握基本物理学语言、概念、理论和方法，掌握物质世界各层次运动的基本规律。

第三层次：运用第二层次得到的基本规律，或研究一定范围内不同现象局部的、具体的规律；或说明、解释一些自然现象，或说明物理学在生产实际、科学技术中的具体应用. 这一层次内容的教学要体现分析问题、解决问题能力训练，素质培养的要求。

对不同层次采用不同处理，第二层次是第一层次的载体，是教学内容主体和重点. 适当地、有选择地处理第三层次，通过第二层次内容的教学引申、上升到第一层次。

“一个统一”就是用突出“运动状态”的概念，用“独立状态参量描述运动状态，通过状态参量、状态函数的演化表示运动规律”这一理论框架，用统一的体系处理力、热、电及量子物理. 这样做的好处是理论线条清晰，达到优化经典物理教学内容，降低学习量子物理的难度的目的。

二

在改编中做了以下几方面的补充和调整：

(1) 以现代物理思想、观点整合、压缩经典内容，加强近代物理教学. 为了突出波动这一在现代物理中极为重要的运动形式，将振动、“机械波”、电磁波、波动光学合并为一部分，利用机械波的直观性介绍波的概念、描写方法、基本原理，将光波作为电磁波的特例；为物质波概念打下基础；将“非线性振动”“混沌”压缩为一节，放在“振动”一章中；将“物理学和对称性”从力学移出，和相对论部分合并，学生具备电磁学和相对论知识后，可能更容易理解物理学的对称性问题. 增加“电磁波的发射和传播”“地球的电磁环境”等内容；在“高新技术物理学基础”部分，补充了超导体和纳米材料等内容。

(2) 编写过程中，编者吸取中美两种教育方式的优点和特色，互相取长补短，努力将两者的优点和谐地统一起来. 一方面，尊重认识规律、教学规律，注意教材的系统性、内在逻辑性，但不追求数学严密(为了教材的系统性，便于学生参考，

一些必要的数学知识或推导放在书后的附录中). 根据不同情况, 或做粗线条处理, 或直接跳过去; 在讲知识时, 注意趣味性; 在讲科学时, 注意其中的人性化特征; 在这些看似矛盾的地方找到合适的结合点. 努力将教材内容的先进性, 系统性、可教性, 知识性和趣味性, 理论和实践等更好地统一起来.

(3) 突出军事应用特色, 当代国防高技术涉及的物理原理, 都在物理相应的部分和章节中体现, 以讲清物理原理为主, 淡化具体技术细节; 补充了与国防高技术有关的内容(如 GPS 定位、卫星、火箭技术、电磁波、雷达、激光、半导体、核武器原理和防护、量子保密技术等); 在物理科学知识基础上; 全书努力构建一个合理的、开放的物理背景和知识结构, 使学生对当代国防高技术的物理原理和技术基础有全面、系统的了解.

(4) 突出了实验教学; 体现“从现象引出概念, 由实验总结出规律”的普物风格. 教材中新增了描绘作为物理学基石的一些典型实验(如法拉第电磁感应实验、赫兹实验、迈克尔孙-莫雷实验、密立根实验、卢瑟福实验、黑体辐射实验、光电效应实验、康普顿散射实验、物质波实验、量子密钥分配实验等). 通过这些实验内容教学, 体现物理学实验的研究方法, 认识和实践的关系; 培养学生实事求是的科学态度, 加强创新意识和创新能力培养.

(5) 书中新编入一些物理学家的生平趣闻轶事, 以及充满哲理、启迪睿智的科学故事, 体现教材的人性化和趣味性. 这些材料都插在正文中用小字印出, 目的是使学生在逻辑思考间隙, 放松一下, 了解一些物理学发展的历史, 受到科学精神、创新意识的熏陶.

书中重绘、增加了许多插图, 教材的整体面貌有一定改进.

三

在改编中坚持了对以下几个问题的看法:

(1) 关于“基础物理学”内容.

基础物理学内容可以不可以涉及某些理论物理的内容? 我们认为普通物理、理论物理是针对物理专业划分的. 对于非物理专业学生来说, 他们的全部物理课程就是这么一个, 不应当只限于物理专业普通物理内容. 围绕着上述基础物理教学目的需要, 优化后的教学内容可以包括某些属于理论物理的内容, 比如相对论和量子力学中的某些内容. 在优化原则下, 一些问题的讲法上也可以借鉴理论物理的处理方法.

(2) 关于“普物风格”.

普物风格是好的, 基础物理学应当体现这种风格. 但是“风格”毕竟是一种外在表现形式, 不应当限制内容, 也不是决定教学效果的唯一因素, 甚至也不是

主要因素. 关于什么是普物风格, 赵凯华先生说^①: “我的理解是讲授尽量避免艰深和复杂的数学, 突出物理本质, 树立鲜明的物理图像……, 在介绍广义相对论的一些基本内容时, 避免了黎曼几何与时空度规等数学语言.” 显然“普物风格”不是科普, 必要的数学工具还是要用的. 我们体会, “普物风格”的根本是“从现象中引出物理概念, 从实验事实的分析中总结出物理规律”. “普物风格”一定程度上是相对理论物理方法来说的, 理论物理方法是从已知的物理规律出发, 通过逻辑和数学得到对物理现象更深入、更系统、更本质的认识. 作为基础物理学, 实验规律尚未介绍, 是没办法按完全的理论物理方法组织教学的, 从这个意义上说, 基础物理学只能是“普物风格”.

(3) 关于数学工具.

作为基础物理, 考虑到学生的承受能力, 尽量避免艰深的数学工具是必要的. 但数学对物理学的重要性是众所周知的. 数学是物理学的语言和工具, 它可精确地表述概念, 简洁、严格地表示物理规律, 可靠、深刻地揭示现象本质, 有时是不可替代的. 牛顿当初就是要表述它的力学理论才发明了微积分. 如果没有微积分, 我们很难想象牛顿力学应如何表述; 如果不用矢量、微积分等数学工具, 麦克斯韦的电磁理论如何能准确地表达.

如果说不微积分就不能精确地表示物理规律, 那么不引进张量的概念就不能准确地表述支配物理规律的对称性. 我们认为在基础物理中引进“张量”的概念是必要的. 首先, 张量实际上已经用了, 如标量就是零阶张量, 矢量就是一阶张量. 没有人对基础物理中使用矢量提出异议. 其次张量的概念学生应当是可接受的, 定义三维空间张量的坐标系转动变换, 学生在解析几何中已熟悉. 最后引用张量概念可以加深我们对许多基本物理问题的理解, 大大简化有关问题的处理. 比如可以根据三维空间的各向同性性质, 解释为什么所有物理量都具有标量、矢量或张量性质; 可以把类似的思想推广到四维空间(x, y, z, ict), 把洛伦兹变换解释为四维空间中的坐标系转动变换. 从而可以类似地定义四维张量, 把物理学相对性原理表述为: 物理规律应取四维空间张量方程形式. 这种做法的实际意义是可以简单地得出质-速关系, 质-能关系, 相对论的 Doppler 效应, 推导力的变换; 特别是可以简单地解释电磁场的统一性和相对性, 推导电荷密度、电流密度的变换(矢势和标势的变换), 电磁场的变换等.

(4) 关于教学指导思想、教学方法.

赵凯华先生在他的新概念物理学“力学”序言中, 曾谈到杨振宁^②先生对中

① 赵凯华, 罗蔚茵. 新概念物理教程 热学. II. 北京: 高等教育出版社, 1998.

② 杨振宁, 近代科学进入中国的回顾与前瞻. 见蔡枢, 吴铭磊编, 大学物理(当代物理前沿专题部分), 北京, 高等教育出版社, 1996.

美教育方式的比较^①。杨先生认为中国传统教育提倡按部就班的教学方法，认真的学习态度，这有利于学生打下坚实的基础，但相对来说，缺少创新意识；美国提倡“渗透式”的教学方式，其特点是学生在学习的时候，往往对所学的内容还不太清楚，然而就在这过程中一点一滴地学到了许多东西，这是一种体会式的学习方法。我们的“填鸭式”教学，要求学生当堂消化，当堂理解，一方面大大限制了课堂信息量，使教学内容和学时的矛盾更加突出；另一方面也造成了学生只会接受灌输的学习方法，缺乏积极主动地去吸收营养、成长自己的精神和能力。结果造成学生知识面窄，缺乏去接受、理解不大熟悉的新东西的知识结构和主动精神。这种做法的另一后果是培养的学生一个模式，不利于学生特长发挥和优秀人才脱颖而出。如果稍稍改变一下这种做法，基础物理教学内容改革就会有更广阔的天地。

四

关于本书使用方法的建议。

本书是针对国防科技大学“大学物理”(140学时)和“高新技术中的物理基础”(30学时)课程教学需要编写的。书中第一~六部分用于“大学物理”课程，第七部分用于“高新技术中的物理基础”课程。用小号字印出的章节可作为选讲内容。去掉带“*”号的章节，其余的内容作为指挥类各专业(126学时)的教材。

本书突出物理图像、基本物理概念、原理和方法教学，尽管书中，对许多重要结果都给出了较为详尽的数学处理(这些内容大多都放在书后的附录中)，这纯粹是为了更严格、准确地表述物理思想和原理的需要，并不要求学生完全掌握。教师可以选讲、指导学生阅读或去掉不要。本书目的是给出一个较为完整的物理学理论框架，为理解可能遇到的各种技术问题提供必要的物理背景，打下必要的基础，给教师和学生发挥主动性、积极性提供更大的空间。并不追求面面俱到，允许学生不掌握书中某些细节。

本书的部分附录是根据我们的教学经验编写的，目的是在“高等数学”和物理需要之间架设一个桥梁。经验告诉我们，适当讲解或指导学生使用这些材料可以收到事半功倍的效果。

五

参加本书编写的有：杨丽佳改编了第一部分“力学”中第2~4章；陆彦文

① 赵凯华，罗蔚茵，新概念物理教程 力学。IV。北京：高等教育出版社，1995。

改编第二部分“热学”中1~3章;陈平形改编了“热学”中第4章;袁建民改编了第六部分“量子物理基础”中第5章.李承祖改编“力学”中第1章,第三部分“电磁学”,第四部分“振动、波动和波动光学”,第五部分“相对论和物理学中的对称性”,第六部分“量子物理基础”中的第1~4章以及第七部分“高新技术中的物理学基础”.江遵汉重新整理、编写了本书的全部习题和习题参考答案.李承祖对全书进行补充、改写和审定;杨丽佳召集、组织了本书的多次讨论会,并在本书出版方面做了大量具体工作.

编者还要感谢参加原《基础物理学》编写的沈曦副教授:他编写了原“波动光学”部分的初稿;田成林副教授:他编写了原书“非线性物理简介”一章;陈宇中副教授:他编写了原第七部分中“核物理和核技术”一章.参加原书习题编写的还有张祖荣(力学、振动和波);曹慧(热学);林晓楠(电磁学);陈菊梅(相对论、量子物理基础).本书编者对他们表示感谢.

由于编者学识有限,加之时间仓促,书中肯定会有一些不当,恳请读者批评指正.

编 者

2008年9月4日

目 录

前言

第一版前言

第四部分 振动 波动 电磁波和波动光学

第 16 章 振动	1
§16.1 简谐振动运动学	2
§16.2 简谐振动动力学	5
§16.3 阻尼振动 受迫振动和共振	9
§16.4 沿同一直线振动的合成 频谱分析	12
§16.5 沿两条互相垂直直线的振动的合成	16
*§16.6 非线性的基本概念 混沌	18
问题和习题	22
第 17 章 机械波	26
§17.1 机械波的产生和传播	26
§17.2 平面简谐波	30
§17.3 机械波的能量密度和能流	36
§17.4 惠更斯原理 波的衍射、反射和折射	40
§17.5 波的相干叠加 驻波	44
§17.6 多普勒效应	48
问题和习题	51
第 18 章 电磁波	54
§18.1 电磁波波动方程 赫兹实验	54
§18.2 电磁波的发射 天线 电偶极辐射	57
§18.3 平面单色电磁波	60
§18.4 电磁波在介质分界面上的反射和折射	64
§18.5 电磁波干涉和衍射	67
*§18.6 地球的电磁环境和无线电波通信	70
问题和习题	73
第 19 章 波动光学(I)	75
§19.1 光波的相干叠加——干涉	75

§19.2	分波阵面干涉	78
*§19.3	空间相干性和时间相干性	82
§19.4	分振幅方法——薄膜等倾干涉	85
§19.5	分振幅方法——薄膜等厚干涉	88
§19.6	迈克耳孙干涉仪	92
	问题和习题	94
第 20 章	波动光学(Ⅱ)	97
§20.1	光单缝夫琅禾费衍射	97
§20.2	圆孔的夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	102
§20.3	光栅的夫琅禾费衍射 光栅光谱和光栅分辨本领	104
*§20.4	X 射线的晶格衍射	110
	问题和习题	112
第 21 章	波动光学(Ⅲ)	114
§21.1	光的偏振态 偏振光的获得	114
§21.2	双折射现象	120
§21.3	偏振棱镜 波片 圆和椭圆偏振光的产生和检验	124
§21.4	偏振光的干涉	129
*§21.5	人工双折射	132
	问题和习题	133
第五部分 相对论 物理学中的对称性		
第 22 章	狭义相对论	135
§22.1	狭义相对论产生的背景和实验基础	136
§22.2	狭义相对论的基本原理	141
§22.3	洛伦兹变换	144
§22.4	相对论的时空性质	149
§22.5	相对论的速度合成 相对论时空结构	154
	问题和习题	158
第 23 章	相对论质点力学 电磁场的相对性	159
§23.1	四维张量 狭义相对论要求物理规律的数学形式	159
§23.2	相对论质点力学方程	163
§23.3	质量-能量、动量-能量关系 相对论的多普勒效应	168
*§23.4	电磁现象的统一性和电磁场的相对性	173
	问题和习题	177

*第 24 章 广义相对论简介	179
§24.1 广义相对论原理	179
§24.2 广义相对论的时空理论	181
§24.3 广义相对论的实验验证	184
问题和习题	187
第 25 章 物理学中的对称性	188
§25.1 对称性的概念和描写方法	189
§25.2 时空对称性和物理量、物理规律、物理相互作用	192
§25.3 对称性和守恒定律	195
*§25.4 动力学对称性	197
问题和习题	199
第六部分 量子物理基础	
第 26 章 波粒二象性	201
§26.1 黑体辐射问题 能量子假说	201
§26.2 光子 光的波粒二象性	205
§26.3 原子结构的玻尔理论	209
§26.4 实物粒子的波动性 物质波	213
问题和习题	219
第 27 章 波函数	220
§27.1 不确定性关系式	220
§27.2 微观粒子运动状态的描述 波函数	223
§27.3 量子态叠加原理	227
*§27.4 平面波波函数的归一化 动量取值的概率	229
问题和习题	233
第 28 章 薛定谔方程 几个典型量子现象	234
§28.1 薛定谔方程	234
§28.2 定态薛定谔方程	238
§28.3 粒子在一维无限深势阱中的运动	241
§28.4 一维线性谐振子	244
§28.5 势垒贯穿	247
问题和习题	252
第 29 章 力学量的算子表示 量子测量	254
*§29.1 线性厄米算子	254

*§29.2	力学量用线性厄米算子表示	256
*§29.3	算子的对易关系 对易关系的物理意义	259
§29.4	角动量算子 角动量算子的本征值和本征函数	262
§29.5	电子自旋 泡利算子	265
§29.6	量子测量 量子力学中的守恒定律	268
	问题和习题	272
第 30 章	原子结构	274
§30.1	量子力学中的中心力场问题	274
§30.2	氢原子和类氢离子	277
§30.3	泡利原理 两电子自旋波函数	283
§30.4	原子壳层结构	289
	问题和习题	296
第七部分 高新技术的物理基础		
第 31 章	固体物理学和半导体材料	298
§31.1	金属自由电子模型	299
§31.2	量子统计 金属比热的量子理论	303
§31.3	固体能带理论	306
§31.4	导体、绝缘体和半导体	310
§31.5	半导体材料和应用	312
	问题和习题	315
第 32 章	超导物理学和超导技术	317
§32.1	超导体的物理性质	317
§32.2	超导体的微观理论	320
§32.3	超导体的唯象理论和磁通量子化	323
§32.4	约瑟夫森效应	325
§32.5	超导量子干涉计	329
§32.6	超导材料和应用	331
	问题和习题	334
第 33 章	光的发射和吸收 激光技术	335
§33.1	光的发射和吸收	335
§33.2	激光原理和激光器	338
§33.3	激光特性和激光技术应用	343
	问题和习题	346

第 34 章 核物理和核技术	347
§34.1 原子核的基本性质	347
§34.2 原子核结构	349
§34.3 原子核放射性衰变	355
§34.4 原子核反应	359
§34.5 原子核的裂变和聚变 核能的应用	362
§34.6 核技术应用	368
问题和习题	370
第 35 章 量子纠缠和量子信息学基础	371
§35.1 EPR 佯谬 贝尔不等式	371
§35.2 量子位 量子门和量子非克隆定理	375
§35.3 量子通信	379
§35.4 量子计算	385
§35.5 量子纠错和容错计算	388
问题和习题	388
第 36 章 纳米科技	390
§36.1 纳米尺度物理效应	390
§36.2 纳米材料和纳米组装结构	393
问题和习题	396
附录	397
习题参考答案	413

第四部分 振动 波动 电磁波和波动光学

振动和波动是自然界物质十分普遍的运动方式, 声波、电磁波(包含光波)不仅在日常生活中常见, 而且广泛应用于现代科学和技术中. 近代量子物理揭示微观粒子的运动要用物质波描述, 也遵从波动规律.

这一部分首先利用机械振动和机械波的直观性, 介绍振动和波动的概念、描写方法以及相干叠加等波的基本原理, 然后从麦克斯韦方程组出发, 阐明电磁波的存在、电磁波的激发和传播特性; 最后将光作为电磁波的特例, 更仔细地研究光波的干涉、衍射和偏振. 本章关于波和波相干叠加性的讨论是理解量子物理各种神秘量子现象的基础.

第 16 章 振 动

物体围绕平衡位置做往复运动称为**机械振动**(mechanical vibration). 机械振动是自然界一种十分普遍的运动形式, 挂钟摆锤的摆动、物体发声、与机械运转相伴的机座的运动、地震、晶体中原子的运动等都是机械振动的例子.

机械振动是物体相对平衡位置的**位移量**随时间做周期变化. **振动**(vibration)作为一种变化方式不限于机械运动, 任何一个物理量, 如果在某一数值附近反复变化, 就说这个物理量在**振动**. 如交变电路中的电压、电流, 交变电磁场中的电场强度、磁场强度等. 这些振动表现形式虽然不同, 但满足相同的微分方程, 可以用统一的数学形式描述.

本章我们以直观的机械振动为例, 研究振动的普遍性质和规律.

学习指导: 预习时重点关注①什么是简谐振动、简谐振动的三个特征量、简谐振动的描写方法; ②简谐振动的动力学方程和能量转换; ③阻尼振动动力学和分类, 受迫振动动力学以及共振现象; ④沿同一直线振动的合成, 频谱分析的概念; ⑤沿互相垂直两直线振动的合成.

教师可就简谐振动的概念、特征量、描写方法、动力学方程和能量转换简要讲解; 就阻尼振动、受迫振动, 特别是共振现象、频谱分析、互相垂直振动的合

成作重点讲解;简要介绍非线性振动的概念和混沌现象.

§ 16.1 简谐振动运动学

振动最简单的形式是简谐振动(simple harmonic vibration). 利用数学方法可以证明, 自然界各种复杂的振动都可表示为简谐振动的合成. 所以研究简谐振动是分析和理解一切复杂振动的基础.

16.1.1 简谐振动

物体相对平衡位置的位移随时间按余弦(或正弦)规律变化, 物体的这种运动形式称为简谐振动.

一轻质弹簧一端固定, 另一端固结一个可自由运动的小球, 就构成一个弹簧振子(图 16.1.1). 称弹簧处在自由长度时小球的位置为平衡位置(记为 O), 取 O 为坐标原点, 弹簧伸长方向为 x 轴. 正向移动小球使弹簧拉长或压缩, 然后释放, 当小球和桌面间的摩擦可忽略时, 小球在弹簧弹性力作用下, 将沿着 x 轴在 O 点附近做往复运动. 下一节我们将证明, 物体的这种运动就是简谐振动.

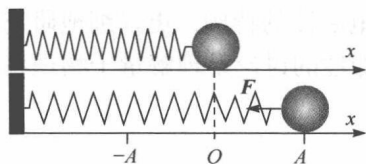


图 16.1.1

作简谐振动物体相对平衡位置的位移可表示为

$$x = A \cos(\omega t + \phi) \quad (16.1.1)$$

其中 A 为最大位移量, 称为振幅(amplitude); 称物体在单位时间内完成的往复运动次数为振动频率(frequency), 记为 ν ; 频率的倒数 $T = 1/\nu$, 是物体完成一次全振动需要的时间, 称为周期(period). 式(16.1.1)中的 $\omega = 2\pi\nu$, 称为圆频率(angular frequency). $\omega t + \phi$ 是振动相位(phase), ϕ 是 $t = 0$ 时刻的相位, 称为初相位(initial phase).

对简谐振动, 如果 A, ω, ϕ 已知, 式(16.1.1)就完全确定. A, ω, ϕ 称为简谐振动的三个特征量.

16.1.2 简谐振动的描述方法

描述简谐振动有三种方法.

(1) 解析法: 给出位移对时间关系的式(16.1.1)形式的解析表示.

(2) 曲线法: 给出振动物体的位移量对时间关系的曲线(图 16.1.2). 给出振动曲线, 描述简谐振动的三个特征量都可从曲线上求出(见例 16.1.2).