

普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理

DAXUE WULI

主编 ● 戴启润

 郑州大学出版社

普通高等教育“十一五”规划教材

大学物理

DAXUE WULI

主编 戴启润



郑州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

大学物理/戴启润主编. —郑州:郑州大学出版社,2008.5

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-81106-386-8

I. 大… II. 戴… III. 物理课-高等学校-教材 IV. 04

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 103518 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:邓世平

全国新华书店经销

黄委会设计院印刷厂印制

开本:787 mm × 1 092 mm

印张:29.25

字数:728 千字

版次:2008 年 5 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

1/16

印次:2008 年 5 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-81106-386-8

定价:46.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换



编委名单

主 编 戴启润

副主编 陈敬东 赵严峰 张耀宇

编 委 (以姓氏笔画为序)

王伟锋 汤清彬 张东玲

张耀宇 陈敬东 周理海

赵严峰 童永在 温 耐

衡耀付 戴启润



内容简介

本书是根据教育部《高等教育面向二十一世纪教学内容和课程体系改革计划》的精神编著的。全书分为经典力学、热学、电磁学、波动光学和近代物理学五大组成部分。该教程的推荐学时为 90~130 个学时。

本书可作为高等院校非物理类各专业的物理教材,也可作为函授教育、成人教育、职业教育等方面的教材。此外,本书还可供物理类本、专科普通物理教学参考,也可供科研工作者及各类高校教师、学生参考。



前言

大学物理学(即普通物理学)是高等院校理工科各专业最重要的基础理论课之一,现已公开出版的教材有上百个版本。目前,许多院校都在不同程度地压缩大学物理的教学学时,本课程正是在这一形势下孕育而生的。

为达到能在 90 ~ 130 个学时之间完成大学物理学的教学,本书的编著遵循了加强基础和“强干减枝”的基本原则。我们在编著本教程时,特别强调内容的精练及普适性;在注重科学性、启发性的同时,也突出了其应用性;力求做到重点突出、层次清晰、文字简明、形象直观、例题充分、图文并茂。

在全球范围内,基础物理学的教学改革已持续了数十年,有不少成功的经验。本书的作者都是长期在高校从事一线教学的教师,对此有着深切的体会。在此教程中,我们也大胆作了一些行之有效的改革尝试。例如,矢量运算频繁出现在大学的电磁学、电动力学和电磁场理论等诸门课程中。目前已公开出版的许多教材对矢量的计算,绝大多数情况下,都是用“矢量投影法”计算的。这无疑可在一定程度上简化矢量的计算。然而,作者在近 20 年的教学实践中发现,“投影法”也有诸多不足之处。用“投影法”学完普通物理学的学生,再学电动力学等课程,矢量表述和计算的跃迁幅度很大,常使大多数学生在相当长一段时间内极不适应,还会让很多学生对矢量的概念比较淡薄。运用矢量的代数和微积分运算直接计算电磁场问题,不仅克服了“投影法”存在的技术问题,也为后续课程的学习打下一个良好的基础。因各高校安排本课程的时间有差异,本教程特别在附录Ⅱ中写入了“矢量运算与坐标系”。作者深信,在各高校高等数学教学水平不断提高的今天,“矢量法”理应纳入 21 世纪的电磁学乃至整个大学物理教学改革的内容中。又如,整个 20 世纪,物理学各个分支有了突飞猛进的发展,而很多大学物理教材对此反映不足,本书则注意对量子力学、相对论和粒子物理等方面进行了简介。此外,对教材内容和体系方面也进行了一些改革尝试。这些特点与改革不一定尽善尽美,希望能起到抛砖引玉的作用。

本书参编人员有:张耀宇(第一到三章),周理海(第四、五章),温耐(第六、七章),陈敬东(第八章),赵严峰(第九、十章),衡耀付(第十一章),王伟锋(第十二、十三章),张东玲(第十四到十六章),汤清彬(第十七、十八章,附录),童永在(第二十、二十一章),戴启润(第十九章,绪论)。全书由戴启润任主编,负责统稿和定稿。

由于我们的经验和水平所限,错误及缺点在所难免。我们恳切请求广大读者能不吝批评、指正。

本教程在编著过程中,得到了郑州大学出版社、信阳师范学院物理电子工程学院诸位领导的大力支持,也得到马占卿和马建忠二位老师在绘图方面的热心帮助,我们谨在此一并表示衷心的感谢!

编 者

2007 年 12 月



目录 Contents

绪论	1
----------	---

第一篇 力学

第一章 质点运动学	7
第一节 质点运动的描述	8
第二节 质点的直线运动	13
第三节 质点的平面运动	18
第二章 牛顿运动定律	29
第一节 牛顿运动定律	29
第二节 常见的几种力和基本力	32
第三节 牛顿运动定律的应用	36
第四节 非惯性系 惯性力	43
第三章 动量与角动量	51
第一节 动量和冲量 动量定理	51
第二节 质点系的动量及质点系动量守恒定律	54
第三节 质点的角动量及角动量守恒	58
第四节 质点系的角动量定理及角动量守恒定律	63
第四章 刚体力学	67
第一节 刚体的运动	67
第二节 转动惯量	70
第三节 刚体定轴转动的动力学方程——转动定律	73
第四节 定轴转动中的功和能	75
第五章 机械振动和机械波	80
第一节 谐振动	81
第二节 谐振动的合成	85
第三节 阻尼振动 受迫振动和共振	88
第四节 关于波动的基本概念	90

第五节	平面简谐波	93
第六节	波的能量 能流密度	96
第七节	波的干涉 驻波	98

第二篇 热学

第六章	气体动理论	109
第一节	状态 理想气体	109
第二节	分子热运动和统计规律	110
第三节	理想气体的压强	112
第四节	理想气体的温度	114
第五节	能量均分定理 理想气体的内能	116
第六节	麦克斯韦速率分布律	118
第七节	玻耳兹曼能量分布律 重力场中粒子按高度的分布	122
第八节	真实气体 范德瓦耳斯方程	124
第七章	热力学基础	131
第一节	热力学第一定律	131
第二节	热力学第一定律对于理想气体等值过程的应用	134
第三节	循环过程 卡诺循环	140
第四节	热力学第二定律	144
第五节	熵与熵增加原理	146
第六节	热力学第二定律的统计意义	150

第三篇 电磁学

第八章	真空中的静电场	157
第一节	电荷 库仑定律	157
第二节	电场 电场强度	160
第三节	真空中的高斯定理	169
第四节	静电场力的功与静电场的环路定理	175
第五节	电荷在静电场中的运动	186
第九章	静电场中的导体和电介质	192
第一节	静电场中的导体	192
第二节	电容和电容器	197
第三节	静电场中的电介质	200
第四节	电介质中的高斯定理	203
第五节	静电场的能量	209
第十章	稳恒电流和电路	213
第一节	稳恒电流和电流密度	213
第二节	欧姆定律及其微分形式	217

第三节	电功率 焦耳定律	219
第四节	电动势 含源电路的欧姆定律	220
第五节	基尔霍夫定律	224
第十一章	稳恒磁场	229
第一节	磁的基本现象及基本规律	229
第二节	毕奥 - 萨伐尔定律	234
第三节	磁场的高斯定理	240
第四节	安培环路定理	242
第五节	带电粒子在电磁场中的运动	245
第六节	物质中的恒磁场	252
第十二章	电磁感应	262
第一节	电磁感应现象及其基本规律	262
第二节	动生电动势和感生电动势	267
第三节	自感现象和互感现象	275
第四节	暂态过程	278
第五节	磁场的能量	283
第十三章	电磁场和电磁波	288
第一节	电磁场理论 位移电流	288
第二节	电磁振荡和电磁波	292
第三节	赫兹实验和电磁波谱	297

第四篇 波动光学

第十四章	光的干涉	303
第一节	光波 光的相干性	303
第二节	分波面干涉	307
第三节	分振幅薄膜干涉——等倾干涉	311
第四节	分振幅薄膜干涉——等厚干涉	314
第五节	迈克耳孙干涉仪	319
第十五章	光的衍射	323
第一节	光的衍射现象 惠更斯 - 菲涅耳原理	323
第二节	单缝夫琅禾费衍射	325
第三节	光栅衍射	328
第四节	圆孔夫琅禾费衍射 光学仪器的分辨本领	331
第五节	晶体对 X 射线的衍射	334
第十六章	光的偏振	338
第一节	自然光和偏振光	338
第二节	起偏和检偏 马吕斯定律	340
第三节	反射和折射时光的偏振	341
第四节	光的双折射	343

第五节	偏振光的干涉	347
第六节	人为双折射 旋光现象	349
第五篇 近代物理学		
第十七章	光的量子性	355
第一节	热辐射 基尔霍夫定律	355
第二节	绝对黑体的辐射定律	357
第三节	普朗克的能量子假设	359
第四节	光电效应	361
第五节	爱因斯坦方程 光子	364
第六节	康普顿效应	367
第十八章	原子物理	371
第一节	原子的核式结构模型	371
第二节	原子光谱的实验规律	374
第三节	玻尔的氢原子理论	377
第四节	碱金属原子的能级和光谱	382
第十九章	量子力学基础	389
第一节	实物粒子的波粒二象性	389
第二节	不确定性关系	391
第三节	波函数 薛定谔方程	392
第四节	量子力学对氢原子的应用	395
第五节	电子自旋	398
第六节	原子的壳层结构	400
第二十章	狭义相对论简介	408
第一节	狭义相对论的实验基础	409
第二节	狭义相对论基本原理	413
第三节	相对论的时空观	418
第四节	相对论力学几个重要结论	422
第二十一章	原子核与粒子物理简介	426
第一节	原子核的结构和基本性质	426
第二节	原子核的结合能	429
第三节	放射性衰变	430
第四节	核反应	433
第五节	粒子物理简介	435
附录		440
附录 I	物理学常用常量(SI制)	440
附录 II	矢量运算与坐标系	440
习题参考答案		447



绪论

一、物理学及其研究的对象

我们所处的自然界是一个物质的世界,丰富多彩,无限广阔。形形色色、各种各样的物质在其中不断地运动变化着。所谓物质,日月星辰、山川草木、飞禽走兽是物质;各种气体、液体、固体和等离子体,这些实物是物质;组成物体的分子、原子、电子、质子、中子和光子是物质,包括电场、磁场、重力场和引力场,这些看不到的场也是物质。总之,我们周围所有的客观存在都是物质,整个自然界就是由各种各样运动着的物质组成的,一切物质都在永恒不息地运动着,宇宙间一切现象都是物质运动的表现。运动是物质的存在形式、物质的固有属性,它包括宇宙中所发生的一切变化和过程,从简单的位置变动直到思维活动。各种不同的物质运动形式既遵从普遍规律,也具有自己独特的规律。自然科学的各个分支就是按照研究不同的物质运动形式而区分的。

何谓自然科学? 自然科学是研究自然界的物质形态、结构、性质和运动规律的科学。自然科学包括数学、物理学、化学、天文学、气象学、海洋学、地质学、生物学等基础科学,以及材料科学、能源科学、农业科学、医疗科学、空间科学等应用技术科学,是人类改造自然的实践经验及生产斗争经验的总结。它的发展取决于生产的发展,并反过来推动生产的发展。

什么是物理学? 物理学作为一门自然科学,它研究的对象是物质最普遍的运动形式和这些运动形式的相互联系与转化的规律。用一句话来概括,可以说:物理学是探讨物质结构和运动基本规律的学科。尽管这个相当广泛的定义仍然难以刻画出当代物理学极其丰富的内涵,不过有一点是可以肯定的,即与其他科学相比,物理学更着重于物质世界普遍而基本的规律的追求。其研究领域包括的尺度从小到质子的半径 10^{-15} m,到目前探测到的最远类星体的距离

10^{26} m;包含的时间从短到 10^{-25} s 的最不稳定的粒子寿命,到长达 10^{39} s 的质子寿命。

由于物理学所研究的是物质最基本、最普遍的运动形式,这些运动形式包括机械运动、分子热运动、电磁运动、原子和原子核内部的运动等等。根据这些运动形式的不同,物理学分为力学、热学、电磁学、光学、原子和原子核物理等部分。力学所研究的运动普遍存在于其他较高级、较复杂的运动形式之中。例如,自然界中一切物体之间,不论是有生命的还是无生命的,不论是大如天体还是小如原子、原子核的物质之间,都遵守物理学中的万有引力定律;一切构成和变化无论它们是否具有化学的、生物的或其他特殊性质,都遵守能量转化和守恒定律。因此,物理学就成为其他自然学科和工程技术的重要基础。

二、物理学的发展及其对社会发展的促进功能

物理学的发展已经经历了三次大突破,每一次大的突破都产生一次大的工业革命,推动社会向前发展。

从 1687 年牛顿(Newton)的《自然哲学的数学原理》的发表,到 1788 年拉格朗日(Lagrange)《分析力学》的最终问世,标志着经典力学体系的基本建立,它为机械、土木建筑、交通运输等行业的发展奠定了坚实的基础。1695 年法国人巴本在公元前 130 年埃及人喜龙以蒸气为动力的“玩具”——“原始小涡轮”的基础上,首先发明了用做提水和推磨动力的有汽缸活塞的蒸汽机。之后,纽科门、瓦特(Watt)等人利用力学和热学知识又作了进一步的研究和创新,最终是蒸汽机大规模应用于纺织、火车、轮船、煤炭、冶金、钢铁等工业领域。蒸汽机的广泛应用,标志着由于力学、热学理论的建立和完善,人类进入了第一次工业革命时代——蒸汽机时代。

第一次工业革命的胜利,使人们第一次看到物理学的创新对社会生产力的解放,给人类社会所带来的巨大和深远的影响。以第一次工业革命的发祥地英国为例:从 1770 年到 1780 年,英国的煤炭产量增加了 1 120 万吨,钢铁产量更是增加了 3 500 倍。

第一次工业革命的胜利,使生产力得到了极大的解放和发展,推动了人类社会的进步,同时也为科学的发展提供了更为良好的环境。19 世纪电磁学的研究得到了飞速发展,从 1820 年丹麦物理学家奥斯特(Oersted)发现电流的磁效应,到法国物理学家毕奥(Biot)、萨伐尔(Savart)、安培(Ampère),德国物理学家欧姆(Ohm),英国物理学家法拉第(Faraday)、麦克斯韦(Maxwell)等人的相继努力,电磁场理论终于建立起来。

法拉第在 1821 年第一次演示了磁针围绕电流的转动,进而他提出了一个崭新的思想:磁转化为电。1831 年法拉第发现了电磁感应现象,为电机的诞生铺平了道路。1832 年法国人皮克希根据法拉第原理制成了发电机。1860 年英籍的德国人西门子(Siemens)制造成功并批量生产了自激式发电机。1879 年美国发明家爱迪生(Edison)发明了电灯。1888 年德国物理学家赫兹(Hertz)首次用实验证实了电磁波的存在。1894 年由于爱迪生、亨利、莫尔斯等人的杰出工作,电报诞生了;此后无线电广播和无线电导航设备等也相继出现。

电磁学理论、实验上的创新和发明,使社会生产力再次获得巨大的解放和进步,推动了人类社会的飞速发展,促进人类历史上第二次工业革命的产生,宣布了人类进入了以电力作为动力、照明和通讯的“电气化时代”。

1905年和1915年,爱因斯坦(Einstein)创立了狭义相对论和广义相对论,从而建立了新的时间、空间和引力理论。此外,在普朗克(Planck)“能量子”的全新量子观念的基础上,经过德布罗意(de Broglie)、海森伯(Heisenberg)、薛定谔(Schrödinger)等人创造性的工作,于1925~1927年建立了描述微观粒子运动规律的量子理论体系。20世纪以来,由于相对论和量子力学的建立,人们对原子、原子核结构的认识日益深入。在此基础上,人们实现了原子核能和人工放射性同位素的利用;促进了半导体、核磁共振、激光、超导、红外遥感、信息技术等新兴技术的发明;许多边缘学科发展起来了。新兴工业犹如雨后春笋,现代科学技术正在经历一场伟大的革命,人类进入了原子能、电子计算机、自动化、半导体、激光、空间科学等高新技术的时代。

三、物理学的研究和学习方法

各门科学的研究方法都离不开人类对客观世界的认识法则,也就是实践—理论—实践的认识法则。物理学研究方法,也遵从上述法则,但又具有自身的特殊性。物理学中许多的规律和理论是直接由生产实践中总结出来的,但更多的物理发现却来自长期的科学实验,因此科学实验和生产实践,都是推动科学技术发展的强大动力和源泉。物理学研究方法一般是在观察和实验的基础上,对物理现象进行分析、抽象和概括,从而建立物理定律,进而形成物理理论,再回到实践中去经受检验。检验真理的唯一标准是实践。具体地说,物理学研究方法包括观察、实验、抽象、假说等方法。

观察和实验是科学研究的基本方法。观察是对自然界中所发生的某种现象,在不改变自然条件的情况下,按照它原来的样子进行观测分析和研究。例如对于天体的运行、气象变化等现象,一般是不能用人为了的方法来改变它的运行情况的,通常都采用观察的方法。

实验是在人为控制的条件下,把所要研究的现象再现甚至反复重演,以便进行观测和分析研究。在实验中,常把复杂的问题加以简化,排除或降低次要因素的影响,突出主要因素,把本来较复杂的问题合理简化,建立物理实验模型。实验方法是建立和检验理论的基础,是探讨物理现象及其规律的最基本方法。例如,在利用单摆测定重力加速度的实验中,决定单摆振动周期的主要因素是摆长和重力加速度。至于摆线的质量和可延展性,摆锤的大小和质量,以及摆的幅度等,对振动周期虽然也有影响,但都是次要的因素。在实验中,我们必须选用适当的摆长,不宜太短,也不宜太长(强化主要因素),用不易伸长的细绳作摆线,用直径较小的球作摆锤,并使摆作小幅度振动(降低次要因素的影响),这样就可以得到较准确的结果。

抽象方法是在观察和试验的基础上,根据研究问题的内容和性质,抓住主要矛盾,撇开次要的、局部的和偶然的因素,建立与实际情况差异不大的理想化模型或设计出一个理想实验来进行研究。利用理想模型可以使抽象的假说和理论形象化,但模型绝不是客观事物。例如,“质点”、“刚体”、“理想气体”、“点电荷”等都是常见的理想模型。理想实验是人们塑造的理想过程,它与直接的物理实验有着原则的差别。例如,惯性定律是理想实验的一个重要结论,该结论是不能直接从实验中得出的。根据观察和实验得到直观材料,经过抽象的周密研究,对于现象的本质提出命题,形成假说。假说的正确与否必须经过实践检验,经实践证明是正确的假说上升为定律和原理而成为理论。例如,开普勒

(Kepler)在其老师第谷(Tycho)观测的基础上,提出了开普勒太阳系模型,而牛顿根据开普勒三定律并结合地面上物体的下落提出牛顿万有引力定律。

从观察、实验、抽象和假说到形成理论,物理学的研究还没结束,还必须用形成的理论去进一步指导实践,以便改进、完善、发展并建立更新的理论。

以上过程循环往复,构成整个物理学发展的进程。但是物理学的许多突破和发现,并非完全按照上述过程进行。预感、直觉和顿悟往往起很大作用。此外,且探且进的探索、大胆的猜测、偏离初衷的巧合等,也会导致重大发现。顿悟是经验和思考的升华,而机遇总偏爱有心人,科学上的重大发现决不会是纯粹的侥幸。

科学研究的结果,远非尽如人意,决不以人们的意志为转移,必须有实事求是的工作作风和踏踏实实的科学态度,不能一厢情愿,更不能弄虚作假。科研中的失误很难避免,但一经发现,应当勇于承认,失败乃成功之母。1922年年轻的苏联数学家弗里德曼发表了动态宇宙模型的论文,遭到了爱因斯坦的批评。次年,爱因斯坦在读到弗里德曼的申辩信后,公开声明自己被说服了。科学研究必须要有这种坦荡的胸怀。

怎样学好物理学? 关键是勤于思考,悟物穷理。勤于思考,是对新概念、定义、公式中的符号和公式本身的含义,用自己的语言陈述出来。对定理的证明、公式的推导,最好首先了解推导基本思路,然后自己把它们推演出来,这样你才能对它们成立的条件、关键步骤、推演技巧等有深刻的理解。悟物穷理,就是要多提问:哪些是事实?哪些是推论?推论是怎样得来的,为什么?只有如此,才能弄清问题的本质。

诺贝尔物理学奖获得者理查得·费曼说过,科学是一种方法,它教导人们,一些事物是怎样被了解的,什么事情是已知的,现在了解到什么程度(因为没有事情是绝对已知的),如何对待疑问和不确定性,证据服从什么法则,如何去思考事物、作出判断,如何区别真伪和表面现象。我们学习物理学,不能仅仅掌握一些知识、定律和公式,更不能把注意力只集中在解题上,应当在学习过程中努力使自己逐渐对物理学的内容、方法、工作语言、概念、物理图像及其历史、现状和前沿等方面,从整体上有一个全面的了解。只有这样才真正能够学好物理学,也只有这样才真正能够通过物理学的学习,达到对其他学科和自己的行为起到促进和指导作用,在思想领域建立唯物主义的世界观,抵制各种各样、形形色色的封建迷信、邪教邪说的侵蚀和影响,真正做一个相信科学、崇尚科学的社会主义建设人才。

第一篇



力学

力学是研究机械运动客观规律及其应用的一门学科。在物质多种多样的运动形式中,最简单而又最基本的运动形式是物体间或物体各部分间相对位置的变动,称为机械运动。如天体的运行、车辆的行驶、液体和气体的流动,甚至人的行走及劳动等都是机械运动。几乎在所有物质运动形式中都包含有这种最基本的运动形式。所以,力学是整个物理学重要组成部分之一,它所讲述的基本概念和规律以及方法也是学习整个物理学的基础。

本篇主要讲述的内容包括质点力学和部分刚体力学。主要介绍质点运动学和质点动力学,兼及刚体的转动。经典力学的理论基础是牛顿的三个运动定律,由此而引入了力、力矩、动量、角动量、功和能等概念,得到了动量、角动量和机械能等守恒定律。

振动和波是一种特殊而又常见的运动形态,在力学中讨论这种运动形态,有助于在其他领域中对类似运动形态的学习和理解。

经典力学只适用于物体作低速(与光速相比)运动的情形。当物体的速度接近于光速时,经典力学就失效了,此时需要用相对论力学来研究。经典力学只是相对论力学在低速时的近似。

经典力学也无法适用于研究微观粒子的运动,这时要用到量子力学。不过实验与理论都证明,源自经典力学的动量、角动量和能量等守恒定律仍然是适用的。关于量子力学,我们将在第五篇中介绍。

