



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

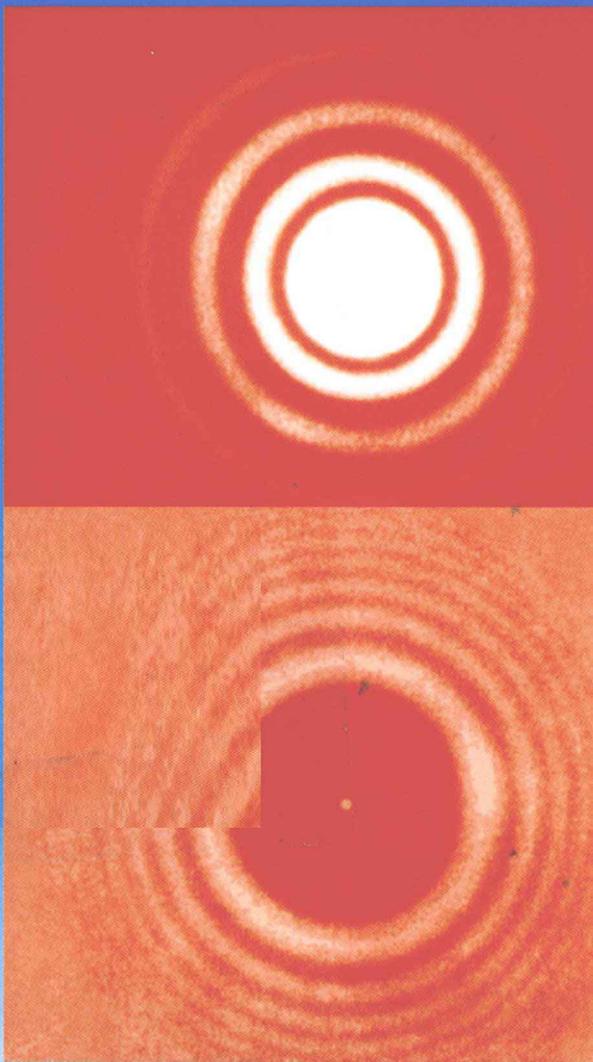
# 大学物理通用教程

主编 钟锡华 陈熙谋

# 光学

陈熙谋  
编著

第二版



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

大学物理通用教程

# 光 学

(第二版)

陈熙谋 编著



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 图书在版编目(CIP)数据

大学物理通用教程. 光学/陈熙谋编著.—2版.—北京:北京大学出版社,2011.5

ISBN 978-7-301-18699-2

I. ①大… II. ①陈… III. ①光学-高等学校-教材  
IV. ①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 051341 号

书 名: 大学物理通用教程·光学(第二版)

著作责任者: 陈熙谋 编著

责任编辑: 顾卫宇

标准书号: ISBN 978-7-301-18699-2/O·0843

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子邮箱: [zpup@pup.pku.edu.cn](mailto:zpup@pup.pku.edu.cn)

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62752021

出版部 62754962

印 刷 者: 北京大学印刷厂

经 销 者: 新华书店

890 毫米×1240 毫米 A5 7.375 印张 211 千字

2002 年 3 月第 1 版

2011 年 5 月第 2 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 0001—4000 册

定 价: 19.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子邮箱:[fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 大学物理通用教程

主编 钟锡华 陈熙谋

## 《光学》内 容 简 介

全套教程包括《力学》、《热学》、《电磁学》、《光学》、《近代物理》和《习题指导》。

《光学》一书包括光学导言,光在各向同性介质界面上的反射和折射,光的干涉,光的衍射,光的偏振和光在晶体中的传播,光的吸收、色散和散射,共计6章,并配有106道习题.本书以波动的基本原理和概念深入地分析讨论了波动光学的典型现象、其特性和广泛应用以及近代以新视角新思路开发出来的崭新物理内涵和别开生面的新应用,阐述平实而富于启发性.本书崇尚结构、承袭传统、注重扩展,精心于学习方法的引导,是一本较好的通用教程,大体上与讲授30学时相匹配,适合于理、工、农、医和师范院系使用.

# 大学物理通用教程

## 第二版说明

这套教程自本世纪初陆续面世以来,至今已重印七次. 这第二版的主要变化是,将原《光学·近代物理》一本书改版为《光学》和《近代物理》两本书,均以两学分即 30 学时的体量来扩充内容,以适应不同专业或不同教学模块的需求.

这第二版大学物理通用教程全套包括《力学》、《热学》、《电磁学》、《光学》、《近代物理》、《习题指导》等六本书. 在每本书的第二版说明中作者将给出各自修订、改动和变化之处,以便于查对.

这第二版大学物理通用教程系普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 作者感谢广大师生多年来对本套教材赐予的许多宝贵意见和建议,感谢北京大学教材建设委员会给予本套教材建设立项的支持,感谢北京大学出版社及其编辑出色而辛勤的工作.

钟锡华 陈熙谋

2009 年 7 月 22 日日全食之日  
于北京大学物理学院

## 《光学》第二版说明

《大学物理通用教程》各分册自 2000 年左右先后出齐,至今已 10 年,重印多次,在各类院校物理教学中发挥了积极的作用.这次修订中最大的改变是将原来的《光学·近代物理》分册分为《光学》和《近代物理》两个分册.原来的《光学·近代物理》按光学和近代物理各占 20 学时的内容来编写,内容显得单薄.这次修订《光学》和《近代物理》两个分册各按 2 个学分 30 个学时的内容来编写.

《光学》分册仍以波动光学内容为主,增加了光在各向同性介质界面上的反射和折射,多光束干涉,菲涅耳衍射,光的吸收、色散和散射,另外有些部分内容加深了内容的物理分析.我们所以要这样修订,是因为波动是物理学中一种最重要的研究对象,它贯穿于物理学的各个分支,力学中有机械波,声学中有声波,电磁学中有电磁波、等离子波,光学中有光波,固体物理中有格波以及微观粒子运动的概率波,等等.而光学是展现波动过程的特征和特性最为丰富、最为绚丽的篇章.

北京大学钟锡华教授于 2003 年出版了《现代光学基础》(北京大学出版社),评为国家精品课程教材,赵凯华教授于 2004 年出版了《新概念物理教程·光学》(高等教育出版社),全套教材荣获国家教委科技进步一等奖.这两部教材是多年来北京大学光学教学的总结,它们自然地成为本书修订的首选参考;而这次修订重点则主要放在非物理类课程学时少的前提下教学内容的选取、教学体系的组织以及物理分析的阐述.我们希望这次修订对于波动光学内容的充实和提高,能使学生对于波动过程有一个更深入的认识,以利于他们在未来的工作实践中更好地发挥他们的聪明和才智.

至于学时甚少讲授不足 20 学时的课程,使用本书时仍可采用原

来第一版的取材方式,略去上述第二版增加的章节,构成一最少学时的教本.

谨向几年来热情为我们指正的广大教师和读者致以衷心的感谢.

陈熙谋

2010年3月

北京大学物理学院

# 大学物理通用教程

## 第一版序

**概况与适用对象** 这套大学物理通用教程分四册出版,即《力学》、《热学》、《电磁学》和《光学·近代物理》,共计约 130 万字. 原本是为化学系、生命科学系、力学系、数学系、地学系和计算机科学系等非物理专业的系科,所开设的物理学课程而编写的,其内容和分量大体上与一学年课程 140 学时数相匹配. 这套教程具有较大的通用性,也适用于工科、农医科和师范院校同类课程. 编写此书是希望非物理类的学生熟悉物理学、应用物理学,并对物理学原理是如何形成的有个较深入的理解,从而使他们意识到,物理学的学习在帮助他们提出和解决他们各自领域中的问题时所具有的价值. 为此,首先让我们大略地认识一下物理学.

**物理学概述** 物理学成为一门自然科学,这起始于伽利略-牛顿时代,经 350 多年的光辉历程发展到今天,物理学已经是一门宏大的有众多分支的基础科学. 这些分支是,经典力学、热学、热力学与经典统计力学、经典电磁学与经典电动力学、光学、狭义相对论与相对论力学、广义相对论与万有引力的基本理论、量子力学、量子电动力学、量子统计力学. 其中的每个分支均有自己的理论结构、概念体系和独特的数理方法. 将这些理论应用于研究不同层次的物质结构,又形成了原子物理学、原子核物理学、粒子物理学、凝聚态物理学和等离子体物理学,等等.

从而,我们可以概括地说,物理学研究物质存在的各种主要的基本形式,它们的性质、运动和转化,以及内部结构;从而认识这些结构的组元及其相互作用、运动和转化的基本规律. 与自然科学的其他门类相比较,物理学既是一门实验科学,一门定量科学,又是一门崇尚

理性、注重抽象思维和逻辑推理的科学,一门富有想象力的科学.正是具有了这些综合品质,物理学在诸多自然科学门类中成为一门伟大的处于先导地位的科学.

在物理学基础性研究的过程中所形成和发展起来的基本概念、基本理论、基本实验方法和精密测试技术,越来越广泛地应用于其他学科,从而产生了一系列交叉学科,诸如化学物理、生物物理、大气物理、海洋物理、地球物理和天体物理,以及电子信息科学,等等.总之,物理学以及与其他学科的互动,极大地丰富了人类对物质世界的认识,极大地推动了科学技术的创新和革命,极大地促进了社会物质生产的繁荣昌盛和人类文明的进步.

**编写方针** 一本教材,在内容选取、知识结构和阐述方式上与作者的学识——科学观、知识观和教学思想,是密切相关的.我们在编写这套以非物理专业的学生为对象的大学物理通用教程时,着重地明确了以下几个认识,拟作编写方针.

1. 确定了以基本概念和规律、典型现象和应用为教程的主体内容;对主体内容的阐述应当是系统的,以合乎认识逻辑或科学逻辑的理论结构铺陈主体内容.知识结构,如同人体的筋骨和脉络,是知识更好地被接受、被传承和被应用的保证,是知识生命力之本源,是知识再创新之基础.知识的力量不仅取决于其本身价值的大小,更取决于它是否被传播,以及被传播的深度和广度.而决定知识被传播的深度和广度的首要因素,乃是知识的结构和表述.

2. 然而,本课程学时总数毕竟也仅有物理专业普通物理课程的40%,故降低教学要求是必然的出路.我们认为,降低要求应当主要体现在习题训练上,即习题的数量和难度要降低,对解题的熟练程度和技巧性要求要降低.降低教学要求也体现在简化或省略某些定理证明、理论推导和数学处理上.

3. 重点选择物理专业后继理论课程和近代物理课程中某些篇章于这套通用教程中,以使非物理专业的学生在将来应用物理学于本专业领域时,具有更强的理论背景,也使他们对物理学有更为全面和深刻的认识.《力学》中的哈密顿原理;《热学》中的经典统计和量子统计原理;《电磁学》中的电磁场理论应用于超导介质;《光学·近代

物理》中的变换光学原理、相对论和量子力学,均系这一选择的结果.

4. 积极吸收现代物理学进展和学科发展前沿成果于这套通用教程中,以使它更具活力和现代气息.这在每册书中均有不少节段给予反映,在此恕不一一列举,留待每册书之作者前言中明细.值得提出的是,本教程对那些新进展新成果的介绍或论述是认真的,是充分尊重初学者的可接受性而恰当地引入和展开的.

应当写一套新的外系用的物理学教材,这在我们教研室已闲散地议论多年,终于在室主任舒幼生和王稼军的积极策划和热心推动下,得以启动并实现.北大出版社编辑周月梅和瞿定,多次同我们研讨编写方针和诸多事宜,使这套教材得以新面貌而适时面世.北大出版社曾于1989年前后,出版了一套非物理专业用普通物理学教材共四册,系我教研室包科达、胡望雨、励子伟和吴伟文等编著,它们在近十年的教学过程中发挥了很好的作用.现今这套通用教程,在编撰过程中作者充分重视并汲取前套教材的成功经验和学识.本套教材的总冠名,经多次议论最终赞赏陈秉乾教授的提议——大学物理通用教程.

一本教材,宛如一个人.初次见面,观其外表和容貌;接触多了,知其作风和性格;深入打交道,方能度其气质和品格.我们衷心期望使用这套教程的广大师生给予评论和批判.愿这套通用教程,迎着新世纪的曙光,伴你同行于科技创新的大道上,助年轻的朋友茁壮成长.

钟锡华 陈熙谋

2000年8月8日于北京大学物理系

## 作者前言(第一版,节录)

.....

光学部分包括光学导言和波动光学内容,共4章.光学导言主要讲述光学发展简史,介绍后面波动光学所必需的光学知识,介绍光程概念和费马原理.波动光学讲述传统的基本内容:光的干涉、光的衍射和光的偏振.这些内容对于认识光的波动性、认识物理现象中的波动图象是重要的.波动光学是19世纪发展起来的,随着现代物理的发展,从新的视角审视,开发出崭新的物理内涵和别开生面的重要应用,如相衬原理、全息照相和傅里叶光学等典型的例子.因此这部分采用简明的方法讲述传统的内容之后,以新的视角介绍处理干涉衍射问题的新思路,以及由此带来的新应用的各个方面,会给学生带来面目一新的感觉.作者认为,不断开发物理内容的新视野是拓宽物理应用、推动科学技术发展的重要源泉,也是物理教学的重要内容.让学生掌握物理学的基本内容,并获得认识物理问题的新视角,是活跃思想,培养创新思维的新起点.学生多接触新思维的熏陶是大有好处的.

.....

# 目 录

<b>第 1 章 光学导言</b> .....	(1)
1.1 光学发展简史 .....	(1)
1.2 光波的描述 .....	(6)
1.3 费马原理 .....	(16)
习题 .....	(21)
<b>第 2 章 光在各向同性介质界面上的反射和折射</b> .....	(23)
2.1 概述 .....	(23)
2.2 菲涅耳反射折射公式 .....	(23)
2.3 反射率和透射率 .....	(26)
2.4 相位关系和半波损问题 .....	(31)
2.5 反射、折射时的偏振 .....	(35)
2.6 全反射时的隐失波 .....	(36)
习题 .....	(41)
<b>第 3 章 光的干涉</b> .....	(44)
3.1 概述 .....	(44)
3.2 光波的叠加和干涉 .....	(45)
3.3 分波前干涉——杨氏干涉实验 .....	(49)
3.4 其他分波前干涉装置 .....	(56)
3.5 分振幅干涉——薄膜干涉的一般问题 .....	(58)
3.6 等倾干涉 .....	(61)
3.7 等厚干涉 .....	(64)
3.8 薄膜干涉应用举例 .....	(67)
3.9 迈克耳孙干涉仪和马赫-曾德尔干涉仪 .....	(69)
3.10 光场的空间相干性和时间相干性 .....	(72)
3.11 维纳实验 .....	(75)
3.12 多光束干涉 .....	(77)

习题	(84)
<b>第 4 章 光的衍射</b>	(89)
4.1 衍射现象	(89)
4.2 惠更斯-菲涅耳原理	(91)
4.3 菲涅耳衍射和菲涅耳半波带法	(96)
4.4 夫琅禾费单缝衍射	(103)
4.5 夫琅禾费矩孔、圆孔衍射和光学仪器的分辨本领	(110)
4.6 多缝衍射和光栅	(115)
4.7 X 射线衍射	(126)
4.8 全息术原理	(129)
4.9 相衬显微镜	(134)
4.10 纹影法	(136)
4.11 傅里叶光学大意	(137)
习题	(152)
<b>第 5 章 光的偏振和光在晶体中的传播</b>	(159)
5.1 概述	(159)
5.2 光的横波性和光的五种偏振态	(160)
5.3 起偏振器与检偏振器 马吕斯定律	(163)
5.4 双折射现象	(165)
5.5 惠更斯作图法	(167)
5.6 偏振棱镜	(171)
5.7 波片和补偿器	(173)
5.8 偏振光的干涉	(177)
5.9 人为双折射	(182)
5.10 旋光性	(185)
习题	(189)
<b>第 6 章 光的吸收、色散和散射</b>	(192)
6.1 概述	(192)
6.2 光的吸收	(192)
6.3 光的色散	(196)
6.4 波包与群速	(201)

---

6.5 光的散射 .....	(206)
习题 .....	(210)
<b>习题答案</b> .....	<b>(213)</b>



# 光学导言

## 1.1 光学发展简史

### 1.2 光波的描述

### 1.3 费马原理

## 1.1 光学发展简史

- 光学的早期发展
- 微粒说
- 波动说 惠更斯原理
- 波动说的决定性胜利
- 光学的现代发展

### • 光学的早期发展

光学是物理学的重要分支. 人们很早就开始研究能够引起视觉反应的现象, 能引起视觉反应的事物, 就称为光. 如今的光学研究对象和范围有了很大的扩充, 它不是仅限于研究人眼可感知的可见光, 而是研究包括微波、红外线、可见光、紫外线直到 X 射线的整个电磁波谱范围, 研究它们的传播以及与物质的相互作用, 其中涉及的一个基本问题是, “光是什么?” “光的本性是什么?”

光学的研究可追溯到 2000 多年前. 约在公元前 400 多年, 中国的《墨经》记载了世界上最早的光学实验以及所获得的关于影、针孔成像和镜面成像的知识. 差不多相同的时期, 西方也有一些光学研究, 公元前 300 年, 希腊欧几里得的《反射光学》已有光的直线传播性和反射定律的叙述.

到 17 世纪, 光学才有了真正的发展. 1621 年斯涅耳 (W. Snell) 发现光的折射定律, 与早先已经发现的光的直线传播定律和反射定律一起构成几何光学的基础, 使得稍早发明的望远镜、显微镜等光学仪器有了长足的发展, 并开拓了日益广泛的应用. 此时, 关于光的本

性形成了两种激烈争论的对立的学说,一种是以牛顿为代表的微粒说,另一种是以惠更斯为代表的波动说。

### • 微粒说

以牛顿为代表的微粒说认为光是由微粒组成的,这些光微粒与普通的实物小球一样遵从相同的力学规律.微粒说可以很好地说明光的直线传播和反射定律.光线在平面镜上的反射同小球与硬壁的碰撞相同,光微粒速度沿界面的分量在反射前后保持不变,而沿垂直

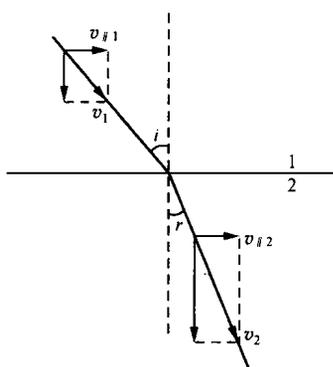


图 1-1 微粒说对折射定律的说明

界面的分量在反射前后保持大小不变,方向逆反.这样很容易得出光反射时反射角等于入射角。

微粒说对于折射定律的说明采用了相同的条件,认为微粒速度沿界面的分量在折射前后保持不变,而微粒通过界面时由于受到阻滞或相反的效应,速度由  $v_1$  变为  $v_2$ ,如图 1-1 所示.由于

$$v_{//1} = v_{//2},$$

于是

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{v_{//1}/v_1}{v_{//2}/v_2} = \frac{v_2}{v_1}. \quad (1.1)$$

这表明入射角  $i$  的正弦与折射角  $r$  的正弦之比与入射角无关,仅仅取决于光微粒在两种介质中的速度之比,这正是折射定律。

根据(1.1)式,光在光疏介质中的速度小于光密介质中的速度,例如,光从空气射向水是从光疏介质射向光密介质,入射角  $i$  大于折射角  $r$ ,则光在空气中的速度小于光在水中的速度。

### • 波动说 惠更斯原理

以惠更斯(C. Huygens)为代表的波动说认为光和声一样是一种波动.1690年惠更斯提出了一个波传播的一般原理,现在称为惠更斯原理:波面(波前)上的任意点都可以看作新的振动中心,它们发

出球面次波,这些次波的包络面就是新的波面(波前).运用惠更斯原理,通过几何作图,容易说明光在各向同性的均匀介质中沿直线传播,如图 1-2 所示.

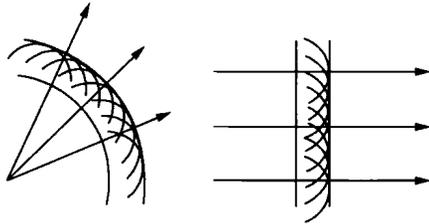


图 1-2 球面波和平面波的传播

波动说关于光在两种介质界面上的反射简要说明如下.如图 1-3 所示,在各向同性均匀介质中,斜入射向界面的波到达界面

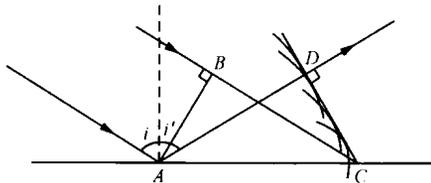


图 1-3 波动说对反射定律的说明

$AC$  是不同时的,一边的波到达  $A$  点,另一边的波才到达  $B$  点,随着时间的推移,在界面上从左到右,波依次先后到达.依照惠更斯原理,界面上各点振动中心发出的次波的半径是不同的,波先到达的点发出的次波较大,后到达的点发出的次波较小.由于在同一种介质中波传播的速度相同,因此当波从  $B$  点传播到  $C$  点时, $A$  点反射发出的次波的半径已为  $AD$ ,而且  $AD=BC$ .这些大小不一的次波的包络面是  $CD$ ,反射光线则为  $AD$ .从图中容易看出

$$\triangle ABC \cong \triangle ADC,$$

所以

$$\angle BAC = \angle DCA,$$

而

$$i = \angle BAC, \quad i' = \angle DCA,$$

因此,反射角等于入射角