

21 世纪高等院校精品教材

基础物理学

(下册)
第三版

JICHU WULI XUE

晏世雷 钱铮 过祥龙 编著



苏州大学出版社
Soochow University Press

21 世纪高等院校精品教材

基础物理学 (下册)

第三版

(下册)
第三版

JICHU WULI XUE

晏世雷 钱铮 过祥龙 编著



苏州大学出版社
Soochow University Press

图书在版编目(CIP)数据

基础物理学:全2册/晏世雷,钱铮,过祥龙编著
—3版.—苏州:苏州大学出版社,2014.11
21世纪高等院校精品教材
ISBN 978-7-5672-1105-6

I. ①基… II. ①晏… ②钱… ③过… 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(2014)第 253056 号

基础物理学(上、下册)(第三版)

晏世雷 钱铮 过祥龙 编著

责任编辑 陈兴昌

苏州大学出版社出版发行

(地址:苏州市十梓街1号 邮编:215006)

宜兴市盛世文化印刷有限公司印装

(地址:宜兴市万石镇南漕河滨路58号 邮编:214217)

开本 787 mm×1 092 mm 1/16 印张 43.75(上、下册) 字数 1 092 千

2014年11月第3版 2014年11月第1次印刷

ISBN 978-7-5672-1105-6 定价:76.00元(上、下册)

苏州大学版图书若有印装错误,本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话:0512-65225020

苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

第三版前言

《基础物理学》第二版出版以来,被多所高等院校用作非物理专业大学物理课程的教材,取得了很好的效果,获得了较高的评价.高等教育改革与发展步伐的不断加快,对高校公共基础必修课的大学物理课程提出了更高的要求.为此,我们根据大学物理教学改革和发展的需要,在基本保持原有第二版教材主要体系和结构的基础上,重新进行了编写.

《基础物理学》第三版教材分上、下两册.

上册共 15 章,含力学篇(1~7 章)、电磁学篇(8~15 章);下册共 13 章,含光学篇(16~19 章)、热学篇(20~22 章)、近代物理基础篇(23~28 章).

此次重新修订编写,保留了第二版教材的精华.为了更好地阐述物理基本概念和基本规律,使全书的体系和结构更趋科学合理,我们对全书的章节进行了部分调整,对一些章节的内容进行了增删,增加了反映物理学最新研究成果的相关知识点,例题和习题的数量也有较多扩充.全书标有“*”号部分可作为选学内容.

在《基础物理学》第三版即将付印之际,特别要感谢过祥龙教授、董慎行教授为《基础物理学》第一版、第二版编写所做出的奠基性、开创性工作,在他们的不懈努力下,所编教材使用 15 年,得到许多学校教师、学生的好评,为一大批学生学习物理学、提高科学素养发挥了重要作用.

在编写第三版的过程中吸收了苏州大学以及其他使用本教材高等院校任课教师的宝贵意见,苏州大学对教材编写给予了经费资助,在此,我们一并表示衷心的感谢.希望第三版教材的出版与使用能更好地满足当今大学物理教学改革的要求和对高素质创新人才培养的需要,这是编者及所有为本书做出贡献者的最大心愿.

虽然我们在编写第三版的过程中付出了很大努力,但书中难免存在一些不足和遗憾,敬请老师们、同学们在使用过程中给予批评指正.

编 者

2014 年 9 月

第二版前言

我们的《基础物理学》自第一版出版以来,被多所院校用作普通物理课程的教材.根据使用过此书的师生以及其他读者的反映,参照近年来普通物理教学的发展趋势,我们在保持原有体系和风格的基础上,重新编写了第二版.它主要作了以下补充和修改:

充实、拓宽、加深了一些内容.电学部分增写了压电效应、量子霍尔效应、同步辐射、电磁场动量、光压等;光学部分增写了光学信息处理、克尔效应、旋光、液晶等;热学部分增写了玻耳兹曼分布、节流、低温技术、熵与信息;近代物理部分增写了温室效应、斯特恩—盖拉赫实验、半导体激光、自由电子激光、非线性光学、核磁共振成像,并且充实了激光、超导内容.

为保证系统的完整性,在力学中增加了质点系的功能定理和动能定理,以及质心和质心定理.热学部分的体系作了较大变动,按照分子动理论、热力学第一定律、热力学第二定律的顺序来展开,这无疑将使教学重点突出,并节省课时.

第二版还对原书的思考题、习题进行了增删,使之更贴近学生实际.为了便于读者查阅,第二版增加了中英文索引.全书有“*”号部分供教学选用.

本书第二版列入苏州大学精品教材建设项目,得到了苏州大学各方面的大力支持.编写过程中,得到了扬州大学凌帆教授的帮助;南京大学卢德馨教授和复旦大学蒋平教授审阅了本书的第一版;北京大学陆果教授无私提供了有关资料;许多使用过本书第一版教材的兄弟院校及时反馈了许多有价值的建议.苏州大学物理科学与技术学院的老师们结合第一版教材的教学实践,与编者进行了许多有益的交流,对于同志们热情帮助和指导,我们表示衷心的感谢.

蒙苏州大学物理科学与技术学院沈永昭教授主审了全书,并为本书撰写了绪论和光学信息处理一节;张橙华老师为本书编写了国际单位制以及物理常量,并对本书与物理学前沿的结合方面做了许多有益的工作.对此,我们深表谢意.

尽管编者在第二版的编写过程中做了很大努力,力图使本书能体现编写的指导思想和创新精神,但书中的缺点、错误仍在所难免,敬请同行和读者继续批评指正.

编者

2003年4月

第一版前言

大学理工科非物理专业开设的基础物理课程的主要目的在于对学生进行科学素质教育和科学思维方法的培养,课程内容是每个理工科大学生必备的知识。但是,目前的教学内容存在不少问题,如与中学物理的教学内容重复,经典内容过多而近代物理和非线性物理等内容没有得到适当的反映等,这与当前的科学技术发展是极不相称的。为此,我们在 1993 年就开始着手准备编写这本教材。在编写过程中结合了多年非物理专业的基础物理教学实践,并广泛参考国内外优秀同类教材,力图博采众长。本教材内容主要有以下几个方面的特点:

1. 注重物理基本概念和基本规律的阐述,尽量避免繁琐的数学推导,数学知识定位在微积分初步。考虑到当前中学物理教学水平的提高,本教材将和中学物理拉开距离,去掉与中学物理内容重复的部分。

2. 力求体系和结构的合理性,教材内容覆盖物理学的各个分支,物理学发展前沿及许多新课题也在教材中得到反映。全书分上、下两册。

3. 精编例题和习题。选编例题和习题的主导思想是有利于扩展学生的视野;有利于培养学生学习物理的能力。作为一种尝试,本教材编入了一定数量的用计算机演示或数值计算的习题。

4. 本教材的讲授时数在 120 学时至 160 学时之间,适用于理工科非物理专业的基础物理课程的教学。教材内容和习题都有不同层次的编排,便于师生在此基础上进行取舍,因而也可以作为 90 学时左右课程的教材使用。

在本书的编写过程中,苏州大学物理科学与技术学院领导和教师提供了大力支持并提出许多宝贵意见,苏州大学出版社也对本书的出版做了有益的指导,在此表示衷心的感谢。

本书中难免有疏漏和错误之处,竭诚欢迎广大教师和读者指正。

编 者

1999 年 1 月

目 录

第 3 篇 光 学

第 16 章 几何光学基础

16.1 几何光学的基本定律	(3)
* 16.2 单球面折射和反射成像	(9)
* 16.3 薄透镜成像	(15)
内容提要	(23)
习 题	(23)

第 17 章 光的干涉

17.1 光的相干性	(25)
17.2 分波阵面干涉	(29)
17.3 薄膜干涉	(34)
17.4 迈克耳孙干涉仪	(41)
* 17.5 光波的空间相干性和时间相干性	(44)
内容提要	(47)
习 题	(48)

第 18 章 光的衍射

18.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	(55)
18.2 单缝的夫琅和费衍射	(57)
18.3 多缝的夫琅和费衍射	(63)
18.4 衍射光栅	(68)
18.5 圆孔的夫琅和费衍射 最小分辨角	(72)
18.6 X 射线在晶体上的衍射	(76)
18.7 全息照相	(78)
* 18.8 光学信息处理	(81)
内容提要	(84)
习 题	(85)

第 19 章 光的偏振

19.1 光的偏振状态	(90)
19.2 偏振片 马吕斯定律	(93)
19.3 反射光和折射光的偏振	(96)
19.4 光的双折射	(98)
19.5 椭圆偏振光和圆偏振光	(104)

19.6 偏振光干涉	(108)
* 19.7 克尔效应和旋光效应	(110)
* 19.8 液晶	(111)
内容提要	(114)
习 题	(114)

第 4 篇 热 学

第 20 章 气体分子动理论

20.1 平衡态 状态参量	(121)
20.2 热力学第零定律 温度	(122)
20.3 理想气体状态方程	(125)
20.4 气体分子动理论的压强公式	(128)
20.5 温度的微观解释	(130)
20.6 能量均分原理	(133)
20.7 麦克斯韦分子速率分布律	(136)
* 20.8 速度分布律 玻尔兹曼分布律	(140)
20.9 分子平均自由程	(141)
20.10 范德瓦尔斯方程	(143)
* 20.11 气体的输运现象及其宏观规律	(146)
内容提要	(148)
习 题	(149)

第 21 章 热力学第一定律

21.1 热力学第一定律	(153)
21.2 理想气体的热容	(157)
21.3 热力学第一定律对理想气体等值过程的应用	(162)
21.4 理想气体的绝热过程	(166)
内容提要	(169)
习 题	(170)

第 22 章 热力学第二定律 熵

22.1 热机 致冷机	(175)
22.2 可逆过程和不可逆过程	(179)
22.3 热力学第二定律	(182)
22.4 卡诺循环 卡诺定理	(183)
22.5 热力学温标	(186)

目 录

22.6 熵	(187)
22.7 不可逆过程中的熵增 熵增加原理	(190)
22.8 热力学第二定律的统计意义	(194)
内容提要	(197)
习 题	(199)

第 5 篇 近代物理基础

第 23 章 狭义相对论基础

23.1 经典力学的相对性原理和时空观	(205)
23.2 狭义相对论基本假设 洛伦兹变换	(207)
23.3 狭义相对论的时空观	(210)
23.4 相对论动力学	(213)
内容提要	(217)
习 题	(218)

第 24 章 量子理论的起源

24.1 黑体辐射和普朗克的量子假设	(221)
24.2 光电效应	(225)
24.3 康普顿效应	(229)
24.4 玻尔的量子假设与玻尔模型	(234)
内容提要	(238)
习 题	(239)

第 25 章 量子力学基础

25.1 德布罗意假设 实物粒子的波粒二象性 ...	(241)
25.2 不确定关系	(243)
25.3 波函数与薛定谔方程	(246)
25.4 一维势阱	(249)
25.5 势垒与隧道效应	(250)
25.6 谐振子	(253)
内容提要	(254)
习 题	(255)

第 26 章 原子 分子与固体

26.1 氢原子的量子理论	(257)
26.2 自旋 原子的壳层结构	(261)
* 26.3 分子与分子光谱	(268)

目 录

26.4 激光	(271)
26.5 固体的能带理论	(277)
26.6 超导	(281)
内容提要	(284)
习 题	(286)

* 第 27 章 原子核与基本粒子

27.1 原子核的组成与结合能	(287)
27.2 核自旋和核磁矩 核磁共振	(290)
27.3 核衰变	(293)
27.4 穆斯堡尔效应	(296)
27.5 核反应 裂变和聚变	(297)
27.6 基本粒子简介	(300)
内容提要	(305)
习 题	(306)

* 第 28 章 现代宇宙学概述

28.1 宇宙学原理	(308)
28.2 膨胀的宇宙	(310)
28.3 大爆炸模型	(313)
28.4 天体演化 黑洞	(315)
内容提要	(317)

附录

1 基本物理常数的最新精确值 (——CODATA 1998 年推荐值)	(318)
2 国际单位制	(322)
3 历年诺贝尔物理学奖获得者及其研究成果	(324)

习题参考答案	(333)
--------------	-------

参考书目	(339)
------------	-------

第 3 篇 光 学



光学是一门研究光的传播以及光和物质间相互作用规律的学科. 光是一定波长范围内的电磁波. 光在通常意义上指的是可见光, 即能引起人眼视觉的电磁波. 可见光的波长约在 $400\text{ nm}\sim 760\text{ nm}$ 的狭窄范围内, 对应的频率范围为 $7.5\times 10^{14}\text{ Hz}\sim 3.9\times 10^{14}\text{ Hz}$, 只占整个电磁波谱中很小的一部分.

自 20 世纪 60 年代发现激光以后, 光学的应用逐渐渗透到了众多科学技术领域, 发展出了光全息技术、光信息处理技术等新的应用. 也出现了许多新的分支学科, 如傅里叶光学、非线性光学等, 光学研究的对象逐渐延伸到了整个电磁波范围.

光在均匀介质中沿直线传播是对光的波动性的一种近似的描述, 基于光的直线传播形成的光学理论叫作“几何光学”. 本篇第 16 章讨论几何光学的基本定律和成像的基本原理. 第 17 至第 19 章讨论光的干涉、光的衍射和光的偏振, 这部分内容通常被称为“波动光学”或“物理光学”. 而讨论光与物质间相互作用的理论称为“量子光学”, 这部分的内容将在本书第 5 篇中加以介绍.

第16章

几何光学基础

几何光学是以光线为基础,研究光的传播以及光的成像规律.光的波动,应以波动理论来处理,但光在传播过程中所遇到的障碍物的线度远大于光的波长时,光的波动性并不显著,可以认为光仍按原来的方向沿直线(光线)传播.这时,我们可以撇开光的波动本质而用几何学方法研究光在均匀介质中的传播和在介质分界面上的反射和折射规律.光的直线传播定律、反射定律和折射定律是几何光学的基本实验定律.本章首先介绍几何光学的基本定律,然后从这些基本定律出发,讨论光在平面镜和球面镜以及通过薄透镜时的成像规律.需要注意的是,在讨论这些成像规律时,都假定光线与光学系统的光轴之间的夹角很小,即傍轴光线.本章最后简单介绍放大镜、显微镜和望远镜的光学原理.

16.1 几何光学的基本定律

► 16.1.1 光波的概念

实验和理论都证明,光是电磁波,称为光波.光波在整个电磁波中只占很窄的波段.能为人类的眼睛所感受的可见光,只是波长范围为 $4 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 7.6 \times 10^{-7} \text{ m}$ 的电磁波.在可见光范围内不同波长的光引起人眼对不同颜色的感觉.波长与颜色的对应关系如下:

红	橙	黄	绿	青	蓝	紫
760	630	600	570	500	450	430
400(nm)						

在电磁波谱中与可见光波段衔接的短波一侧是紫外线($4 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 5 \times 10^{-9} \text{ m}$),长波一侧是红外线($7.6 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 10^{-4} \text{ m}$).一般所讨论的光波是指紫外至红外波段的电磁波.

在光学中常用的波长单位是米(m)、纳米(nm)以及微米(μm),埃($\text{\AA}$)也是光波的常用单位,它们的换算关系如下:

$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m},$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m},$$

$$1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}.$$

任何波长的电磁波在真空中的传播速度都是相同的,这个速度也是光在真空中传播的速度,通常用 c 表示. 光速 c 在 1998 年的推荐值为

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s},$$

常取

$$c \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}.$$

利用下式从波长 λ 可以换算出频率 ν ,

$$\nu = \frac{c}{\lambda}.$$

例如,波长范围为 $4.0 \times 10^{-7} \text{ m} \sim 7.6 \times 10^{-7} \text{ m}$ 的可见光,对应的频率范围是 $7.5 \times 10^{14} \text{ Hz} \sim 3.9 \times 10^{14} \text{ Hz}$.

应该指出,在光波中,产生感光作用与生理作用的是电场强度 E ,而不是磁场强度 H ,因此称 E 为光矢量, E 的振动为光振动.

光的强度,称为光强,常用字母 I 表示. 光强是指单位面积上的平均光功率,它由坡印廷矢量(能流密度) $S = E \times H$ 的平均值确定. 可以算得

$$I = \overline{S} = \frac{n}{2c\mu_0} E_0^2 \propto n E_0^2.$$

其中 E_0 为光矢量的振幅, n 为介质折射率, $n = \frac{c}{v}$ (v 为介质中的光速). 在同一介质中,人们往往只关心光强的相对分布,因此常把光的(相对)强度写成振幅的平方

$$I = E_0^2.$$

但是,在比较两种介质中的光强时,比例系数中的折射率 n 应该计及,即 $I = n E_0^2$.

只包含单一波长的光称为单色光,否则是非单色光. 非单色光的光强是按波长 λ 分布的,称为光谱. 实际上,波长为 λ 的单色光的光强都是分布在波长 λ 附近的范围 $\Delta\lambda$ 内的. $\Delta\lambda$ 称为谱线宽度(有关谱线宽度 $\Delta\lambda$ 的定义见 17.5 节). $\Delta\lambda$ 越小,光的单色性越好. 若干元素的普通光源和激光器的典型谱线列于表 16-1.

表 16-1 典型谱线

元素	谱线 λ/nm	颜色	元素	谱线 λ/nm	颜色
钠	589.0, 589.6	黄(D 双线)	氢	410.2	紫
	404.7, 407.8	紫		434.0	蓝
	435.8	蓝		486.1	青绿(F 线)
	546.1(最强)	绿		656.3	橙红(C 线)
	577.0, 579.1	黄	氦氖激光	632.8	红
镉	643.8	红	氩离子激光	488.0	青
氦	605.7	橙		514.5	绿

按照波的传播规律,任何一个光源都是一个波源,在传播过程中,任一瞬间扰动所达到空间各点的集合称为波阵面或波面. 波阵面是等相位点的集合. 波面的法线代表等相位的传播方向. 波面可以是平面、球面或其他曲面. 光线则是指光波能量传播方向的线,也就是电磁波的坡印廷矢量 S 的方向. 在真空或者各向同性的介质中,光波的能量是沿着波面的法线方向传播的. 这样,光线与波面的法线方向重合. 用波面和光线两个概念来叙述光的传播,其效果是相同的. 在几何光学中,运用光线这一概念,可以使叙述和计算大为简化,但是在讨论光

学信息处理、全息术以及光学仪器的分辨本领等时必须运用波面概念来讨论。

有一定关系的一些光线的集合称为光束。显然,平面波对应平行光束,如图16-1(a)所示;球面波对应发散光束[图16-1(b)]或会聚光束[图16-1(c)]。

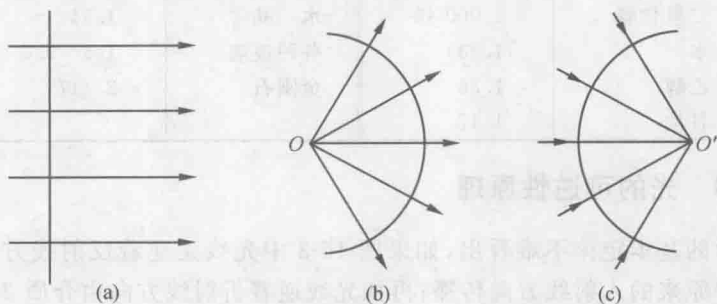


图 16-1

► 16.1.2 几何光学三定律

几何光学是以三个实验定律为基础建立起来的,它是各种光学仪器设计的理论根据。这三个定律就是,光的直线传播定律、光的反射定律和折射定律。

光的直线传播定律指光在均匀介质中沿直线传播。在点光源的照射下,不透明物体背后出现清晰的影子,影子的形状与以光源为中心发出的直线所构成的几何投影形状一致,如图16-2所示。这是人们熟知的光的直线传播事实。

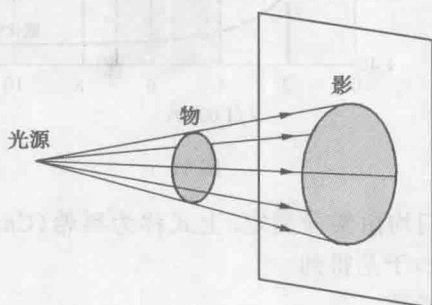


图 16-2

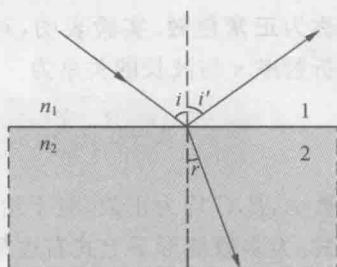


图 16-3

设透明介质1和2的分界面是平面,当一束光线入射到分界面上,一般情形下分解成两束光线,反射线和折射线,如图16-3所示。过入射点作界面的法线,入射线与该法线组成的平面称为入射面。入射角 i 、反射角 i' 以及折射角 r 的意义如图16-3所示。光的反射定律和折射定律的内容为:(1) 反射光线和折射光线都在入射面内;(2) 反射角等于入射角 $i' = i$;(3) 折射角与入射角间有关系式

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r. \quad (16.1-1)$$

式中 n_1, n_2 分别是两种介质的折射率,上式称为斯涅耳(W. Snell)定律。

介质的折射率和光的波长有关,几种透明介质对钠黄光(D线,589.3 nm)的折射率如表16-2所示。

表 16-2 介质的折射率

物 质	折射率 n	物 质	折射率 n
空气	1.000 29	加拿大树胶	1.53
二氧化碳	1.000 45	水 晶	1.54
水	1.333	各种玻璃	1.5~2.0
乙醇	1.36	金刚石	2.417
甘油	1.47		

► 16.1.3 光的可逆性原理

从几何光学的基本定律不难看出,如果图 16-3 中光线是逆着反射线方向入射的,则它的反射线将逆着原来的入射线方向传播;再如光线逆着折射线方向由介质 2 入射,则其在介质 1 中折射线必将逆着原来的入射线方向传播. 这表明,光线的方向逆转时,它将逆着同一路径传播. 这个结论称为光的可逆性原理. 这一原理对理解、思考一些光学问题将有所帮助.

► 16.1.4 色散

介质折射率有个重要性质,就是折射率 n 与光的波长有关. 图 16-4 所示的是几种介质的折射率与光的波长关系的曲线.

介质的折射率随着波长而变化的现象称为色散. 大多数物质,折射率 n 随波长增加而减小,这种现象称为正常色散. 实验表明,对于正常色散,介质的折射率 n 与波长的关系为

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2} + \frac{C}{\lambda^4}. \quad (16.1-2)$$

式中常数 A, B, C 均为正数,对于给定的介质,它们均由实验测定. 上式称为科希 (Cauchy) 色散公式. 大多数情形下上式右边第三项可以略去,于是得到

$$n = A + \frac{B}{\lambda^2}. \quad (16.1-3)$$

由于折射率 n 是波长 λ 的函数,按照斯涅耳定律,光线以相同入射角入射于两种介质的界面,不同波长的光有不同的折射角. 图 16-4 所示介质折射率随波长增加而减小的情形,意味着蓝光通过折射介质时将比红光要弯曲得多.

为了帮助理解色散现象,让一束单色光线投射在棱镜的一个侧面,如图 16-5(a) 所示. 经两个侧面的折射,其出射光线与入射光线夹的角度 δ 称为偏向角. 如果投射的是一束白光,如图 16-5(b) 所示,则从另一侧面出射的光,由于波长不同的单色光的偏向角 δ 不同,出射光中不同波长的单色光将分散开来,形成光谱. 其中紫色光的偏向角最大,红色光的偏向角最小,其他颜色单色光的偏向角在这两极端值之间.

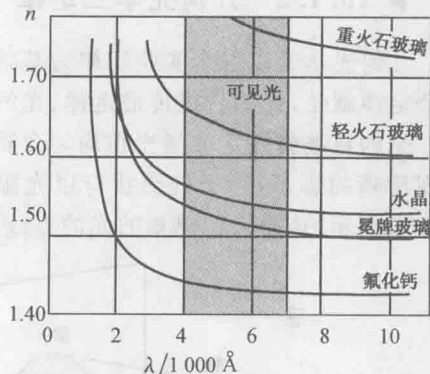


图 16-4

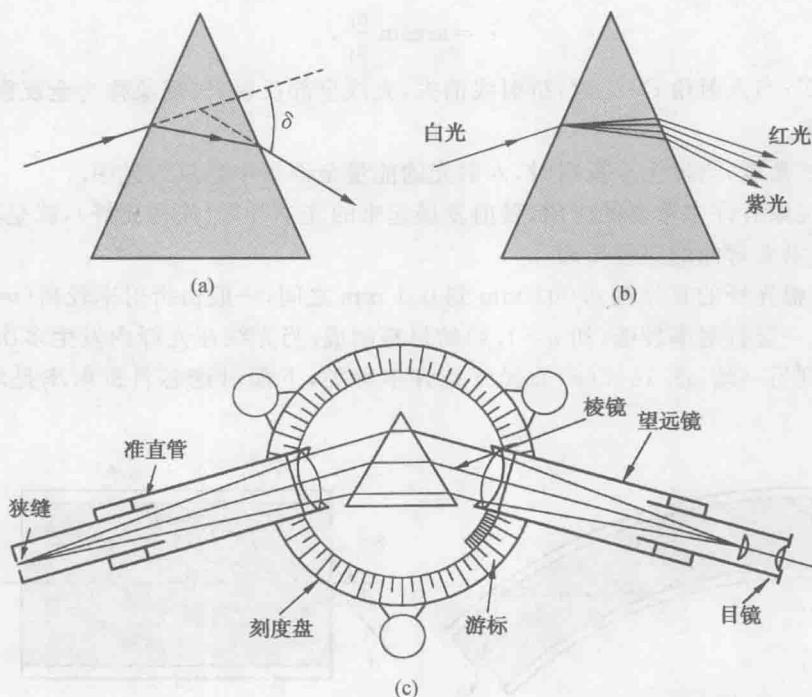


图 16-5

利用棱镜的分光作用,可以制成棱镜光谱仪,它的构造如图 16-5(c)所示.这种仪器可用来研究光源发射的光波的波长.从光源来的光,经狭缝调节成一束准直的平行光,这束光通过棱镜色散成一条光谱.用望远镜来观察出射光,从望远镜中观察到的是狭缝的像.移动望远镜,或者转动棱镜,就能观察到在不同偏向角位置上有不同颜色形成的像.同时,棱镜也通常用作测量透明固体的折射率.

最后指出,除了正常色散现象以外,还有一种反常色散现象:折射率 n 随波长 λ 增加而增加.反常色散表示介质对这一波长范围光的吸收.

► 16.1.5 全反射 光纤

当光线从光密介质射向光疏介质时, $n_1 > n_2$, 从式(16.1-1)可以看出折射角 r 大于入射角 i , 如图 16-6 所示. 当入射角增至某一数值 i_0 时,

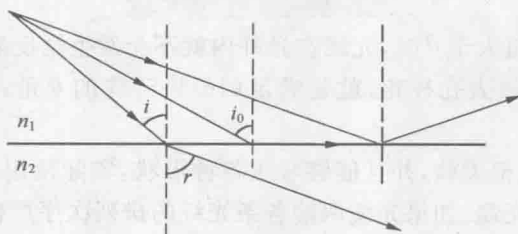


图 16-6