

应用型本科院校“十二五”规划教材

大学物理基础教程

李茂材 樊则宾 主编

光学和量子物理分册



科学出版社

应用型本科院校“十二五”规划教材

大学物理基础教程

——光学和量子物理分册

主 编 李茂材 樊则宾
副主编 张远弟 王晓艳
茶国智 曾凌云
主 审 马文淦

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科大学物理课程教学基本要求(2010年版)》为指导,以应用型本科学生“理论适度够用,突出实际应用”的培养特点为编写依据.本分册从几何光学和波动光学的角度为学生精炼地诠释光沿直线传播、光的干涉、光的衍射及光的偏振等的基本原理和特性,深入浅出地为学生呈现了量子物理的内容.

本书适合作为普通高等学校大学物理课程的教材,也可作为相关人员的参考用书.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理基础教程:光学和量子物理分册/李茂材,樊则宾主编. —北京:科学出版社,2014

应用型本科院校“十二五”规划教材

ISBN 978-7-03-041301-7

I. ①大… II. ①李… ②樊… III. ①物理学-高等学校-教材 ②光学-高等学校-教材 ③量子论-高等学校-教材 IV. ①O4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第140404号

责任编辑:李淑丽 / 责任校对:胡小洁

责任印制:肖兴 / 封面设计:华路天然工作室

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>

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年8月第一版 开本:720×1000 B5

2014年8月第一次印刷 印张:9

字数:181 000

定价:24.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

教材编写委员会

顾 问 袁希平 钟嘉玉 陈君若 李 华

干晓蓉 李任波 李庶民

主 任 段鹏飞

副主任 樊则宾 段志刚 蔡 群 李茂材

杨留方

委 员 (按姓氏笔画排序)

王玉林 王晓艳 木 繁 田家金

司民真 毕雄伟 吕 玲 朱乔忠

刘涵哲 李 佳 李茂泉 杨春艳

何永进 张 茜 张远弟 陈 丽

邵 平 周 菁 郑文礼 茶国智

顾春霞 董 刚 曾凌云 熊艳娇

主 审 马文淦 伏云昌 樊则宾 李永铸

秘 书 吴锐涛

从 书 序

随着经济转型和经济增长方式的转变,国家亟需大量的高素质技术应用型和职业技能型高级专门人才.在此背景下,应用型本科教育迅速发展,招生规模逐年扩大.为切实培养出符合国家需求的人才,结合应用型本科教育的培养目标和办学特点,制定出有效的培养方案,是十分重要的.在培养方案的制定过程中,有针对性的、高质量的教材建设是最基础的工作.

以力学、电磁学、热学、光学及近代物理知识为主要内容的大学物理课程,是理学类、工程类、信息类、机电类、农林类、医学类等专业的重要基础课程.它不仅是学生进行后续专业课程学习的桥梁,也是提高学生逻辑思维能力、理论和实践结合能力以及实际动手能力的一门和实验紧密结合的课程.对应用型本科人才培养而言,上述课程的相关教材中理论知识的深度和广度适中即可,但需要特别突出理论知识和实际应用的结合,让学生学习到“理实结合”的方法和特点,即教材需要具备“理论适度够用、突出实际应用”的特征.为此,昆明理工大学、西南林业大学、云南民族大学、大理学院、玉溪师范学院、红河学院等多所高校联合编写了本套应用型本科院校“十二五”规划教材——大学物理系列.

这套教材的编写目的是开展不同层次、不同类别、不同模式、不同侧重的应用型本科人才培养的教学改革.编者在编写过程中以教育部物理学与天文学教学指导委员会编制的《理工科大学物理课程教学基本要求(2010年版)》为指导,考虑了应用型本科的培养特点和地方院校学生的实际情况,并结合了历年来参编高校在应用型本科教育的培养经验和参编人员的实际教学经验.在保证理论体系完整的前提下,教材中略去了部分理论难度过大而应用型本科学生又不是迫切需要的章节;适度简化了对部分内容的理论推导;增加了相关知识在实际中应用的内容;并选编了对部分专业的学生后续学习有帮助的章节,可供有需要的专业选讲.本教材配置了难度适中的例题与典型习题,并适当增加了具有实际工程应用背景的习题,便于学生巩固基础知识和提高运用知识解决问题的能力.整体上具备了“理论适度够用、突出实际应用”的特点.

我期待这套教材在经过试用并修订完善之后,能够为应用型本科大学物理课程的教学质量和教学效果的提高、为学生的科学素养和理实结合能力的提高做出积极的贡献.

中国科学技术大学

蒋 一

2014年6月26日

前 言

为满足应用型本科高校的人才培养方案要求，考虑到地方高校学生的实际情况，在昆明理工大学等多所应用型高校的共同努力下，编写了本套大学物理系列教材。本套教材是为应用型本科学生量身打造的，教材以应用型本科学生“理论适度够用，突出实际应用”的培养特点为编写依据。

教材内容围绕“框架、概念、思路、方法、应用”展开，在讲述物理现象、物理概念的同时，注意引导学生对物理过程进行分析，并培养学生将实际问题抽象为物理图像的能力。让学生在对整个物理框架有所认识的同时，学会处理一般物理问题的方法和技巧。全书注意培养学生独立获取知识的能力、分析问题和解决问题的能力、科学观察和理实结合的能力。在保证理论体系完整的前提下，编者对部分内容的理论推导进行适当简化，略去部分理论难度过大而不属于应用型本科学生迫切需要的内容，同时选编一些工程应用的实例和对部分专业的学生后续学习有帮助的章节，可供需要的专业选讲，彰显了应用型本科大学物理教材的特色。每章的开篇都有根据生活中的实例图片提出的问题，作为该章的引例，以引导学生进行思考和学习。部分章节选编了工程应用实例，帮助学生掌握本章知识的实际应用。每章单独有本章提要，方便学生学完一章后对所学内容进行梳理。每章都配置难度适中的例题与典型习题，并适当增加具有实际工程应用背景的习题。习题形式多样，包括思考题、选择题、填空题、计算题。题目从对有关的基本概念和规律的分析讨论，到处理问题的一般思路、方法，再到具体问题的求解和应用，按层次依次展开，形成了一个完整的引导学习的框架结构。

本套教材共有力学、电磁学、热学、光学和量子物理四个分册。本书为光学和量子物理分册，本分册从几何光学和波动光学的角度为学生精炼地诠释了光沿直线传播、光的干涉、光的衍射及光的偏振等基本原理和特性，量子物理的内容则深入浅出地为学生打开了一扇探索微观世界的窗。

光学和量子物理分册由李茂材、樊则宾主编。全书的编写分工为：大理学院的

李茂材编写第一章、西南林业大学的王晓艳编写第二章、大理学院的茶国智编写第三章、昆明理工大学的张远弟编写第四章。西南林业大学的曾凌云参编了部分章节的习题。全书由大理学院的李茂材和昆明理工大学的樊则宾负责校对，樊则宾并对全书的编写给予了很好的指导意见。全书由李茂材、樊则宾负责统稿。

中国科学技术大学的马文淦教授仔细阅读了本分册，并提出了许多宝贵的意见，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免会出现缺点和错误，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2014年7月

目 录

第一章 几何光学	1
§ 1.1 光线	2
§ 1.2 几何光学的基本定律	4
§ 1.3 光在平面上的反射和折射	9
§ 1.4 光在球面上的反射和折射	11
§ 1.5 薄透镜	19
工程应用	24
本章提要	35
习题	36
第二章 光的干涉	41
§ 2.1 相干光 光的相干性	41
§ 2.2 光程 光程差	44
§ 2.3 光的干涉	46
§ 2.4 迈克尔逊干涉仪	59
工程应用	62
本章提要	69
习题	70
第三章 光的衍射和偏振	76
§ 3.1 光的衍射现象 惠更斯-菲涅耳原理	77
§ 3.2 单缝衍射 衍射光栅	79
§ 3.3 光的偏振	87
§ 3.4 光盘原理	92
工程应用	96

本章提要	102
习题	103
第四章 量子物理基础	108
§ 4.1 黑体辐射 普朗克能量子假设	109
§ 4.2 光电效应 爱因斯坦光量子假设	112
§ 4.3 德布罗意假设 实物粒子的波动性	115
§ 4.4 不确定性原理 粒子的波函数	117
工程应用	121
本章提要	129
习题	130
参考文献	134

第一章 几何光学

如图 1-1 演示实验所示，在一块厚纸板上开一个十字形小孔（小于 1cm），用屋顶的白炽灯照射，则在厚纸板的下方会留下厚纸板的影子。试问，影子中会出现十字形状的亮斑吗？

动手实验一下，你就会发现影子中孔的位置并没有出现十字形状的亮斑，而是映出了白炽灯的身影，并且所映出的白炽灯的身影和屋顶上的白炽灯相比刚好是倒着的（左右颠倒）。即使将孔的形状变换为三角形、圆形、星形，或者其他任何形状，其实验结果都是左右颠倒着的白炽灯的身影。这是为什么呢？——小孔成像。

实际上，早在 2400 多年前，我国古代学者——墨翟（墨子）就曾深入研究了小孔成像，并在《墨经》上详细记载：

“景到，在午有端，与景长，说在端。”“景，光之人，照若射，下者之人也高，高者之人也下。足蔽下光，故成景于上；首蔽上光，故成景于下。在远近有端，与于光，故景库内也。”这是世界上第一个演示并记载小孔成倒像的实验，还用光沿直线传播的原理解释了小孔成倒像的原因，图 1-2 给出了小孔成像的示意图。

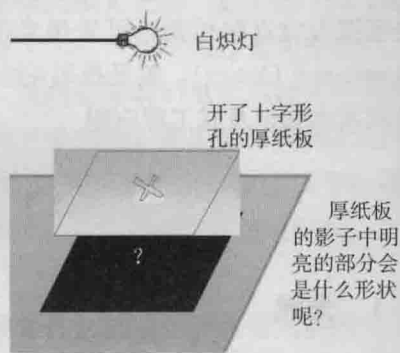


图 1-1 演示实验

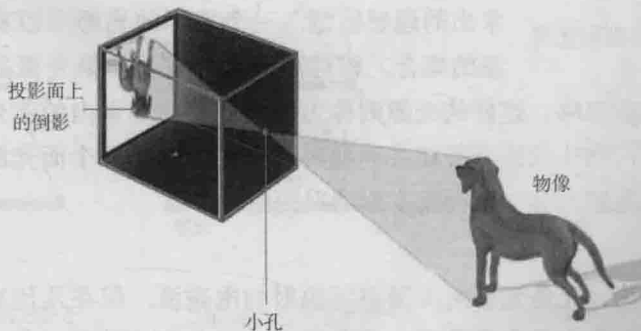


图 1-2 小孔成像示意图

众所周知，麦克斯韦电磁理论和实验都证实了光是一种电磁波。常规所说的光即可见光，是指能够引起视觉反应的电磁波，它只是电磁波谱中很窄的一个波段。红外线和紫外线尽管不能引起眼睛的视觉反应，但可以运用光学仪器或摄影器材去度和探测相应发光物体的存在。因此就光学中光的概念而言，光可以从可见光延伸到红外线和紫外线领域，甚至 X 射线都被认为是光。又称红外线和紫外线为不可见光。

光的传播过程要用波动理论进行描述，但如果光在各向同性的均匀介质中传播，所遇到的障碍物的线度（如人眼正常瞳孔的线度为 $3000 \sim 4000 \mu\text{m}$ ）较光波波长（可见光的波长为 $0.38 \sim 0.76 \mu\text{m}$ ，这个尺度比最细的灰尘颗粒还要小）大很多时，则光可视为沿直线传播，可采用光线来描述光的传播途径和方向。所谓几何光学 (Geometrical Optics)，就是指用光线来描述光的传播规律的理论。本章将介绍几何光学的基本知识及其工程应用。

§ 1.1 光 线

1.1.1 光线

1. 光源 (light source)

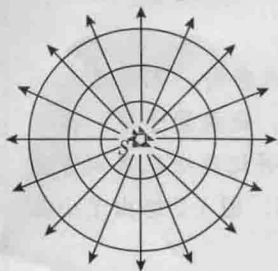


图 1-3 光源向外发射光线

任何能够发光（包括可见光和不可见光）的物体都称为光源。但月亮、石头、树木等依靠反射外来光才能使人们看到的物体，不能称为光源。光源的最基本发光单元是分子、原子。当光源的几何尺寸在所涉及的问题中可以忽略时，此光源就可视为点光源。正如力学中的质点概念一样，点光源是为了便于问题的研究而简化抽象出的理想模型。一个实际的光源可以看成是无数点光源的集合。相对点光源而言，如果光源的几何尺寸在所涉及的问题中不能忽略，这样的光源则称为面光源。比如室内的荧光灯照射室内的物体，并涉及室内物体的影子等相关问题时，荧光灯则是一个面光源。一个光源到底视为点光源还是面光源，要根据实际情况而定。

2. 光线

根据波动理论，光是光源向周围空间辐射的电磁波。但在几何光学中，不涉及光的波动本性，而把它看作是沿其能量传播方向的几何直线即光线，图 1-3 中带箭头的直线即为光源 S 发出的光线。要注意，“光线”是一个几何抽象的概念，实际物

理过程中不可能得到一条光线。口语中所说的“光线”，可以理解为光源发出的可见光。光路图中，用带有方向的直线表示光束。

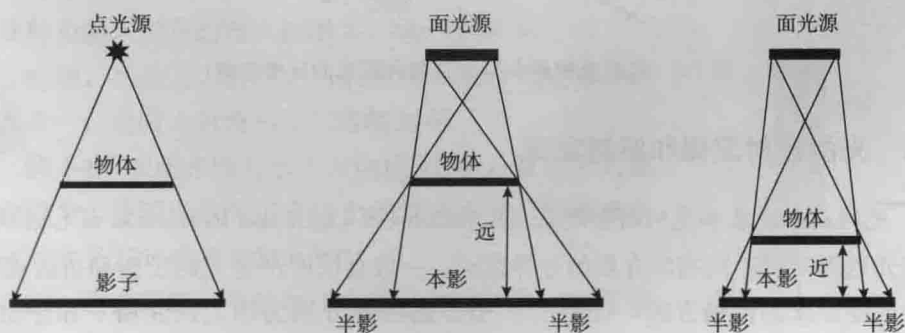
人眼是怎么看到光呢？用电磁波的概念讲，是因为光波波阵面的一小部分进入人眼的瞳孔，引起视觉反应而看到了光。用光线的概念讲，是由于光源发出的一束锥形光线进入了人眼的瞳孔。

只有迎着光线使光线（强度不是很强）进入瞳孔，我们才可以感觉到光的存在。注意，不能直视强度很强的光（如电焊作业时发出的光、太阳光等），否则会灼伤眼睛。从光线的侧面是看不见光线的。那为什么有时候我们又看到了“光线”呢？比如从一个小孔射入室内的太阳光线，人工实验获得的激光光线。这是因为在光线传播途径上的介质分子对光产生了散射的结果。事实上，当光线通过透明介质时，光波的电磁振动会使介质分子中的电子产生振动，这些被振动的电子随即向周围空间辐射电磁波，从而产生散射光。如果产生的散射光足够强，我们就从光线的侧面看到了“光线”。此时，我们看到的“光线”实际上是被照亮了的一条介质中的通道。人眼之所以看到七彩斑斓的自然万物就是物体表面的分子对光的散射的结果。

3. 影 (shadow)

光在传播过程中遇到不透明物体时，光线被物体阻挡而在物体背光面的后方形成没有光线到达的黑暗区域，称为不透明物体的影。生活中，通常称影为“影子”或“阴影”。影的大小、形状随光线的入射角而改变，影可分为本影和半影。

如图 1-4 (a) 所示，点光源会形成鲜明的影子。面光源会分别形成本影和半影，光线完全照不到的阴影部分是影子的**本影**，只是部分光线照到形成相对本影较淡的阴影部分则是影子的**半影**。在本影区内看不到光源发出的光，在半影区内能看到光



(a)点光源形成鲜明的影子

(b)面光源形成本影和半影

(c)物体靠近影子，半影变小

图 1-4 影子形成的示意图

源发出的部分光. 本影区和半影区的大小与面光源的大小、物体的大小、光源到物体的距离、物体到影子的距离等因素有关, 图 1-4 (b) 和 (c) 给出了物体的本影和半影以及本影和半影的变化情况. 光源面积越大, 遮挡物越小, 本影区就越小. 当光源到影的距离和物体的大小固定时, 半影区的大小由物体到影子的距离决定, 距离越远, 半影区越大, 反之越小.

§ 1.2 几何光学的基本定律

1.2.1 光的直线传播和独立传播定律

1. 光沿直线传播定律

人们经过长期的实践和总结得出, 在各向同性的同种均匀介质中, 光沿着直线传播. 此即光沿直线传播定律. 生活中简单直观的例子, 比如物体的影子和小孔成像就体现了光沿直线传播定律.

2. 光的独立传播定律

光的独立传播定律是指两束或多束光相遇时, 每一束光都不会因为其他光束的存在而改变原来的传播方向, 仍然按照自己原来的方向传播, 见图 1-5.

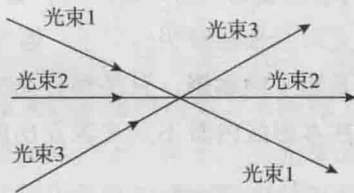


图 1-5 几束光相遇并不改变各自原来的传播方向

1.2.2 光的反射定律和折射定律

1. 光的反射现象和光的折射现象 (Reflection of Light and Refraction of Light)

当光遇到两种不同均匀介质的分界面时, 一般会同时产生光的反射和折射现象, 光线会改变原来的传播方向, 见图 1-6. 分界面两侧分别为均匀的介质 1 和介质 2. 入射光线和分界面的交点为入射点 O . 一部分光改变传播方向返回原来介质 1 中传播的现象称为光的反射现象. 另一部分光进入介质 2 并沿另一方向传播的现象称为光的折射现象. 图 1-6 中, 把两种介质交接的区域称为这两种介质的分界面. 为了简单起见, 图中的分界面用一条直线段表示分界面是平面. 值得注意的是, 介质的

分界面即使不是平面也一样会产生光的反射和折射现象. 介质 1 中原来的光线称为入射光线, 反射后返回介质 1 中沿另一方向传播的光线称为反射光线, 折射后进入介质 2 偏离入射方向传播的光线称为折射光线. 图中过入射点作垂直于分界面的虚线段, 称为法线. 入射光线与通过入射点的法线所确定的平面称为入射面. 入射光线与法线的夹角 θ_1 称为入射角, 反射光线与法线的夹角 θ'_1 称为反射角, 折射光线与法线的夹角 θ_2 称为折射角.

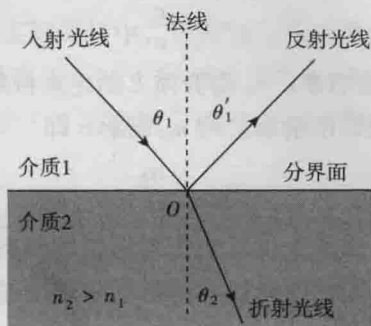


图 1-6 光的反射现象和折射现象

在光的反射现象中, 如果光线逆着反射光线入射, 当它被反射后则一定逆着原来的入射光线传播, 这一现象称之为光路的可逆性. 光的折射现象也满足这一特性. 比如我们可以通过平面镜的反射光看到别人在注视我们的眼睛, 就是因为光路的可逆性.

2. 光的反射定律 (The law of reflection)

实验表明, 当光发生反射现象时, 其反射规律遵从光的反射定律, 如图 1-6 所示. 它由四点组成: ①入射光线、法线、反射光线在同一平面内, 即入射面内; ②入射光线和反射光线分别处于法线的两侧; ③反射角等于入射角, 即 $\theta_1 = \theta'_1$; ④反射角随入射角的增大而增大, 减小而减小.

特例, 当垂直入射时, 入射光线、反射光线和法线三线合一, 此时入射角和反射角都为 0° .

例 1-1 太阳光线与水平方向成 40° 角, 管道工人维修管道为了使阳光照亮竖直向上的管道内部, 平面镜该放在与水平方向成多大的角度?

解 根据题意, 可绘制 1-7 所示的示意图, 水管竖直向上, 故反射光竖直向上.

太阳光与水平方向 AB 成 40° 角, 所以太阳光与反射光的夹角为 $90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$, 进而入射角为 50° 的一半, 等于 25° . 于是, $\angle BON = 25^\circ$

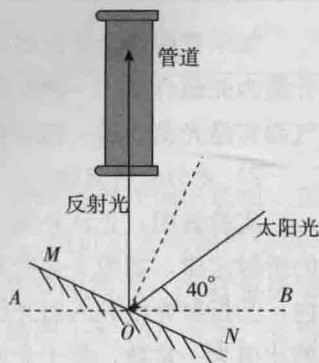


图 1-7 例 1-1 用图

所以, 平面镜 MN 该放在与水平方向成 $180^\circ - 25^\circ = 155^\circ$ 或 25° 的角度.

3. 光的折射定律 (the law of refraction)

1) 折射率 (index of refraction)

光在不同介质中的传播速度是不一样的, 光在真空中传播最快, 其速率为 c . 如果光在某种介质中的传播速率为 v , 则称 c 与 v 的比值为此种介质的绝对折射率, 简称折射率, 用 n 表示, 即

$$n = \frac{c}{v} \quad (1-1)$$

设 n_1 为介质 1 的绝对折射率, n_2 为介质 2 的绝对折射率, 则称 n_2 与 n_1 的比值为介质 2 相对于介质 1 的相对折射率, 用 n_{21} 表示, 即

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-2)$$

介质的折射率标志着介质使光线发生折射能力的强弱. 当光线从真空进入某介质时, 介质的折射率越大, 则它使光线发生折射的程度越强, 也就是说折射光线偏离原来入射光线方向的程度越显著, 越偏向法线一侧.

折射率通常与介质的材料、光的波长、实验环境有关, 一般由实验具体测定. 表 1-1 给出了一些常见介质对钠黄光 ($\lambda = 589.29\text{nm}$) 的折射率.

表 1-1 一些常见介质的折射率

序号	介质	折射	序号	介质	折射
1	真空	1 (基准)	6	金刚石	2.417
2	空气 (0°C)	1.000293	7	石英	1.458
3	氮气 (0°C)	1.000036	8	冰	1.310
4	水 (20°C)	1.333	9	人眼角膜	1.337
5	酒精 (20°C)	1.361	10	冕牌玻璃	1.516

如果把两种介质相比较, 则称折射率较大的介质为光密介质, 称折射率较小的介质为光疏介质. 一种介质是光密介质还是光疏介质是相对而言的, 比如水相对空气而言是光密介质, 相对石英而言则是光疏介质.

2) 光的折射定律

实验表明, 光从介质 1 进入介质 2 时会发生光的折射现象, 其折射规律遵从光的折射定律, 如图 1-6 所示. 它由三点组成: ①折射光线和入射光线都处于入射面内; ②折射光线和入射光线分别处于法线的两侧; ③入射角的正弦与折射角的正弦的比值为—常数, 等于介质 2 相对于介质 1 的相对折射率, 即

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = n_{21} \quad (1-3)$$

因为相对折射率 $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$ ，所以上式又可写为

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 \quad (1-4)$$

根据公式 (1-1)，公式 (1-3) 还可以用光在介质中的速率来表示，即

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (1-5)$$

由表 1-1 知道，空气的折射率略大于真空（基准）的折射率。但在精度要求（小于 0.001）不是很高的实际测量中，可用真空折射率代替空气折射率。

例 1-2 室温下，某玻璃工厂的工程师在空气中对出厂的玻璃产品进行了入射角和折射角的测定，得到表 1-2 的数据。试问，该工程师如何判定出厂玻璃的折射率为 $n = 1.515$ 。

表 1-2 工程师对出厂玻璃测量的数据表

次数 类别	1	2	3	4	5	6	7	8
入射角 $\theta_1 / ^\circ$	10	20	30	40	50	60	70	80
折射角 $\theta_2 / ^\circ$	6.59	13.08	19.28	25.12	30.32	34.85	38.29	40.42

解 根据题意，工程师是在空气中对玻璃产品进行测量，在实际生活中的精度要求范围内可取空气的折射率为 1，设玻璃产品的折射率为 n ，则由折射定律

$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{n}{1}$ 可计算得到表 1-3 的数据，并计算平均值得玻璃的折射率为 1.515。

表 1-3 计算结果数据表

次数 类别	1	2	3	4	5	6	7	8
$n = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$	1.513	1.511	1.514	1.514	1.517	1.515	1.516	1.519

1.2.3 全反射

由折射定律知道，如果光从光疏介质进入光密介质，则折射光线偏向法线，折射角小于入射角。反之，如果光从光密介质进入光疏介质，则折射光线偏离法线，折射角大于入射角，如图 1-8 (a) 所示。此时，随着入射角的增大，折射角也增大，当入射角增大到某一临界角度 θ_c 时，折射角为 90° ，如图 1-8 (b) 所示。若再增大入射角，将没有折射光产生，光被全部反射回原介质中，如图 1-8 (c) 所示，这种现象称为光的全反射现象，简称全反射。

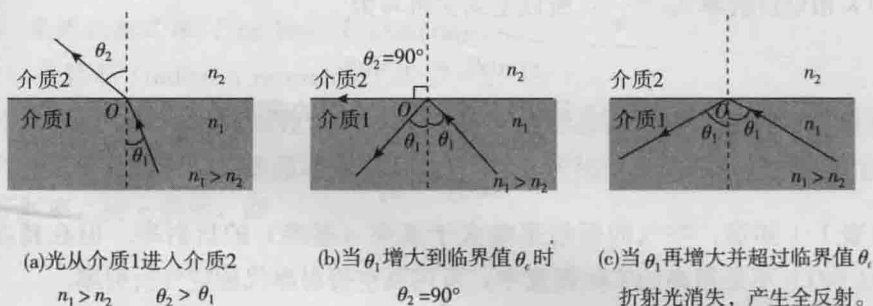


图 1-8 光的全反射

根据折射定律, 全反射时有 $\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin\theta_c}{\sin 90^\circ}$ ($n_1 > n_2$), 则

$$\sin\theta_c = \frac{n_2}{n_1} \quad (1-6)$$

式中 θ_c 为全反射时的临界入射角。

例如, $n_2=1$ 的空气对于 $n_1=1.5$ 的玻璃而言, 临界角 $\theta_c=41.81^\circ$ 。

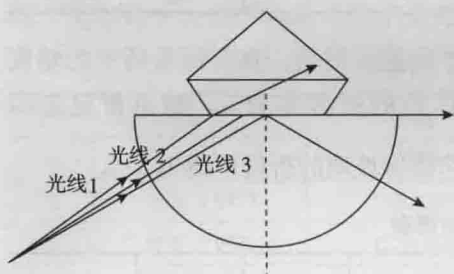


图 1-9 宝石折光仪工作原理图

根据光的全反射原理, 人们研制出一种用来测量宝石的折射率的仪器, 称为宝石折光仪。主要由高折射率棱镜(铅玻璃或合成立方氧化锆)、棱镜反射镜、透镜、标尺(内标尺或外标尺)和目镜等组成。其工作原理可简化为图 1-9 所示的原理图。它用一个半球型高折射率的均质性材料作棱镜(图中半圆形部分)。被测宝石(折射率较半球棱镜小)放置在半球棱镜的上方,

光通过半球棱镜射向被测宝石(光疏介质), 小于临界角的光线(图中的光线 1)进入宝石, 目镜上见不到这些光, 表现为一个暗域; 大于临界角的光线(图中的光线 3)全反射回棱镜, 在目镜上表现出一个亮域; 明暗域的分界线相当于该临界角(图中光线 2 即中间那条光线和法线的夹角)的位置。目镜下安装有一个标尺, 刻有与此临界角相对应的折射率值, 明暗域界限指示的数值即被测物质的折射率。不同的宝石其明暗域界限的位置不一样, 从而指示的折射率值不一样。所以, 宝石折光仪测量宝石折射率的实质是测量宝石的临界角, 只是将临界角的读数直接转换成折射率值而已。

全反射在工程技术中应用很广, 比如医疗设备内窥镜上使用的光导纤维(详见工程应用部分), 双筒望远镜的全反射棱镜就应用了光的全反射。