



高等院校物理学习辅导丛书

Exercise Series in Physics for Higher Education

光学学习指导

王磊 刘彦允 聂娅 编著

Wang Lei Liu Yanyun Nie Ya

清华大学出版社

043/52

2008



高等院校物理学习辅导丛书
Exercise Series in Physics for Higher Education

光学学习指导

王磊 刘彦允 聂娅 编著

Wang Lei Liu Yanyun Nie Ya

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书是郭永康主编《光学》的配套教学参考书。本书共分9章,每章又分:“基本要求、主要内容、思考题解答、习题解答”4部分内容,基本要求提出了各章学习目的和要求,主要内容则概括说明了各章的基本概念和重要公式。全书共给出了111道思考题和161道习题的解答。

本书对问题的分析、解答层次清楚,深入浅出,既强调基础知识的灵活运用,又及时反映现代光学的新进展,可供相关专业的本科生、研究生以及科研技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

光学学习指导 / 王磊, 刘彦允, 聂娅编著. — 北京: 清华大学出版社, 2008.5
ISBN 978-7-302-17438-7

I. 光… II. ①王… ②刘… ③聂… III. 光学—高等学校—教学参考资料 IV. O43
中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 055585 号

责任编辑: 邹开颜

责任校对: 赵丽敏

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175

邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 刷 者: 北京市昌平环球印刷厂

装 订 者: 北京国马印刷厂

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印 张: 9.5

字 数: 202 千字

版 次: 2008 年 5 月第 1 版

印 次: 2008 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 18.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话: 010-62770177 转 3103 产品编号: 027261-01

前言

本书是郭永康主编的《光学》的配套教学参考书。郭永康主编的《光学》作为国家“十五”规划教材,被很多学校和科研单位选作本科生教材或研究生入学考试指定参考书。

编写本书的宗旨是,希望在光学的基本概念、基本理论的深入理解和知识应用方面,以及在解决光学问题的思路和分析方法上对读者有所启发和帮助,并希望对分析、解决《光学》中的思考题和习题有所帮助。

本书共分9章,每章又分为“基本要求、主要内容、思考题解答、习题解答”4部分内容。基本要求提出了各章学习目的和要求,主要内容则概括说明了各章的基本概念和重要公式。全书共给出了111道思考题和161道习题的解答。本书对问题的分析、解答层次清楚,深入浅出,既强调基础知识的灵活运用,又及时反映了现代光学的新进展。

本书在编写过程中得到了郭永康教授的悉心指导,并参考了鲍培谛、蔡海涛所著《光学问题300例》,在此表示诚挚谢意。由于作者经验不足,难免有疏漏之处,还望读者谅解。

编 者

2008年3月

目 录

第 1 章 几何光学的基本原理·····	1
第 2 章 光阑、像差和成像光学仪器·····	29
第 3 章 光波及其在各向同性介质界面的反射和折射 ·····	41
第 4 章 光的干涉 ·····	54
第 5 章 光的衍射 ·····	83
第 6 章 光信息处理及全息术·····	103
第 7 章 光在晶体和液晶中的传播·····	116
第 8 章 光的吸收、色散和散射 ·····	136
第 9 章 激光与非线性光学·····	142
参考文献·····	144

第 1 章 几何光学的基本原理

【基本要求】

1. 了解几何光学是波动光学在光波长趋于零的情况下的近似。
2. 掌握费马原理。
3. 掌握光在平面上反射和折射的规律,掌握棱镜的特性及其应用。
4. 掌握光导纤维原理并了解其在现代高新技术中的应用。
5. 掌握薄透镜及其组合的成像特性。
6. 掌握共轴球面系统成像的矩阵方法。

【主要内容】

1. 基本概念和基本公式

1) 光的直线传播定律: 光在均匀介质中沿直线传播(图 1.1)。

2) 光的反射定律

(1) 反射线在入射面内,并和入射线分别在法线的两侧;

(2) 反射角等于入射角:

$$i_1 = i'_1$$

3) 光的折射定律

(1) 折射线在入射面内,并且和入射线分别在法线的两侧;

(2) 对于单色光而言,入射角 i_1 的正弦与折射角 i_2 的正弦之比是一个常数,即

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21} \quad \text{或} \quad n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$$

式中, n_{21} 为介质 2 对介质 1 的相对折射率, n_1, n_2 分别是介质 1、2 的折射率。

(3) 折射率: 是表征介质光学性质的重要参量,它决定于光波在介质中的传播速度。相对折射率

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

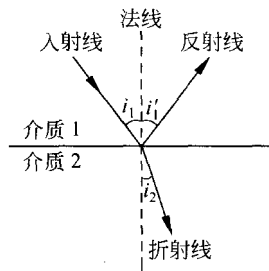


图 1.1 光的反射和折射

介质的绝对折射率

$$n = \frac{c}{v}$$

(4) 光密介质、光疏介质：两种介质相比较，折射率较大者为光密介质，反之则称为光疏介质。

4) 光的可逆性

当光线沿着和原来相反的方向传播时，其路径不变，称为光的可逆性。这个性质表明，物像可以互易、光学系统两侧是等价的。

5) 光程 $[l]$

在均匀介质中，光在介质中通过的几何路程 l 与该介质折射率 n 的乘积，即为光程 $[l]$ ，

$$[l] = nl$$

光程表示光在介质中通过真实路程所需时间内，在真空中所能传播的路程。

光程的计算：若光线通过几种不同的均匀介质，则总的光程

$$[L] = \sum_i n_i l_i$$

若光线通过连续介质，则

$$[L] = \int_A^B n(r) dl$$

其中 r 为介质所在处的位置坐标。

6) 费马原理

1657年费马提出：在 A 、 B 两点间光线传播的实际路径，与任何其他可能路径相比，其光程为极值，用数学表示为

$$\delta[L] = \delta \int_A^B n dl = 0$$

极值有几种情况：光程为极大值、极小值或恒定值。在两点之间光沿着所需时间为极值的路径是光线传播的实际路径。

7) 同心光束和像散光束

同心光束：一光束中各光线或其延长线相交于一点，如图 1.2 所示。

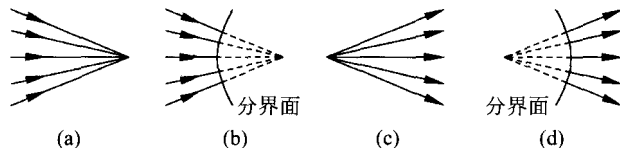


图 1.2 同心光束

像散光束：各条光线彼此既不平行又不完全相交于一点。

8) 理想光学系统

若一个光学系统能在任意大的空间范围内用任意宽的光束成完善的像,即任何同心光束通过系统后仍能保持为同心光束,则称该系统为理想光学系统。

9) 物和像、物空间和像空间

物是未经光学系统成像前许多同心光束的集合,像是经光学系统成像后许多出射同心光束的集合,如图 1.3 所示。

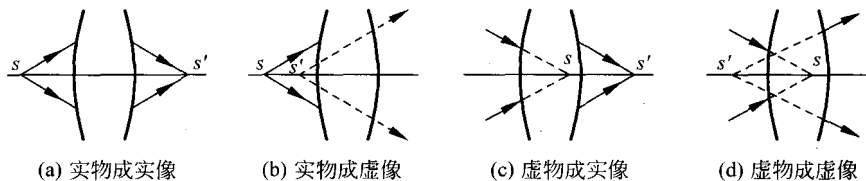


图 1.3 同心光束通过光学系统后生成像

物点(包括实和虚物点)所有可能位置组成的空间称为物空间,像点(包括实和虚像点)所有可能位置组成的空间称为像空间。

注意: 物空间和像空间是可以相互重叠的。在一个问题中区分某个点属于物空间或像空间,要根据它是入射光束的顶点还是出射光束的顶点,而不能看它是在系统之前还是之后。

10) 光在平面上的反射和折射

光在平面上反射的特点是物与像对镜面对称。反射平面是一个最简单的理想光学系统。

镜像反演: 如果物体为左手坐标系 xyz , 其像则为右手坐标系 $x'y'z'$, 如图 1.4 所示。这种物像关系称为镜面对称。

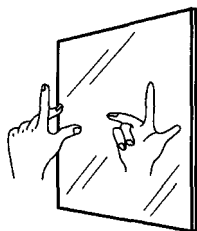


图 1.4 物与像对镜面对称

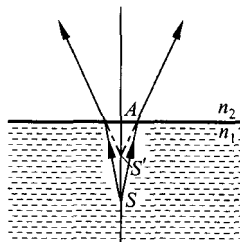


图 1.5 平面折射旁轴成像

平面折射的旁轴成像: 入射角 i_1 和折射角 i_2 都很小时, 折射光束是近似的同心光束, S' 可视作 S 的像, 如图 1.5 所示。

$$AS' = AS \frac{n_2 \cos i_2}{n_1 \cos i_1} \approx AS \frac{n_2}{n_1}$$

全反射和全反射临界角: 当光线由光疏介质射向光密介质时, 当入射角大于或等于 i_c

时,入射光线全部被反射,如图 1.6 所示。其中 i_c

称为全反射临界角, $\sin i_c = \frac{n_2}{n_1}$ 。

11) 棱镜的最小偏向角与折射率关系

$$n = \frac{\sin \frac{\delta_m + \alpha}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}$$

式中, α 为棱镜顶角, δ_m 为棱镜对光线的最小偏向角。当 α 很小时,

$$\delta = (n - 1)\alpha$$

δ 为经过棱镜后的偏向角。

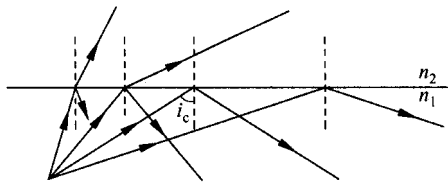


图 1.6 光的全反射

2. 光在单球面上的折射和反射

主光轴: 连接曲率中心和球面顶点的直线。

傍轴光束: 在物和像的范围内和主光轴相距很近, 且和主光轴夹角很小的成像光束。

1) 符号规则

(1) 轴向距离(物距、像距、焦距、曲率半径等)从基准点量起, 顺入射光方向(习惯上是自左向右)为正, 逆入射光方向为负。

(2) 垂直距离(高度)在主光轴之上为正, 在主光轴之下为负。

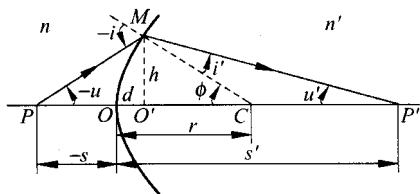


图 1.7 光在单球面上的折射

(3) 角度: 从基准线向光线转一锐角, 旋转方向为顺时针者, 该角度为正, 反之则为负。

在作图时图中仅标记距离和角度的绝对值, 若用字母所表示的量实际为负量, 则字母前应加负号。如图 1.7 所示。

2) 单折射球面成像公式

$$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}$$

3) 光焦度和焦距

$$\text{光焦度: } \phi = \frac{n' - n}{r}$$

它表征球面屈折光线的本领。 $\phi > 0$, 球面使入射光束会聚; $\phi < 0$, 球面使入射光束发散。

$$\text{像方焦距: } f' = s'_{s=\infty} = \frac{n'}{n' - n} r$$

$$\text{物方焦距: } f = s_{s'=\infty} = -\frac{n}{n' - n} r$$

物方和像方焦距的相互关系

$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$$

焦距与光焦度的关系

$$\phi = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f}$$

4) 高斯公式和牛顿公式(图 1.8)

$$\frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1$$

$$xx' = ff'$$

焦物距 x 指从物方焦点 F 到物点的距离, 焦像距 x' 指从焦点 F' 到像点的距离。

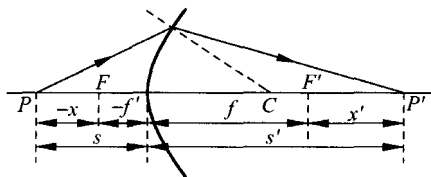


图 1.8 高斯公式和牛顿公式物像距的关系

5) 横向放大率(垂轴放大率)

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{ns'}{n's}$$

其中 y, y' 分别为物高和像高。当 $\beta > 0$ 时, y' 与 y 同号。物正立时像也是正立的。即物是实物时, 像必定是虚像; 反之, 当物是虚物时, 像必定是实像。当 $\beta < 0$ 时, 物和像在主光轴的异侧。而且当物是实物时, 生成的像也是实像; 当物是虚物时, 生成的像也是虚像。总之, 当 $\beta > 0$ 时, 物和像一定是一实一虚; 当 $\beta < 0$ 时, 物和像的虚实相同。

6) 角放大率

$$\gamma = \frac{u'}{u}$$

它表示折射球面改变同心光束张角大小的能力。在角度很小时, $\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{s'}{s} = \frac{x}{f'} = \frac{f}{x'}$ 。

7) 拉格朗日—赫姆霍兹恒等式

$$nyu = n'y'u'$$

8) 作图法

对于单球面折射系统, 有下列特殊共轭光线对可供选择:

(1) 平行于主光轴的人射光线, 折射后通过像方焦点 F' ;

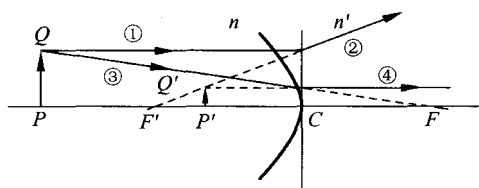


图 1.9 作图法举例

(2) 通过物方焦点 F 的人射光线, 折射后平行于主光轴;

(3) 通过球面曲率中心 C 的光线, 折射后不改变方向;

(4) 辅助光线。

作图举例如图 1.9 所示。

3. 球面反射镜

对于球面反射镜,可以将反射看作是折射的特殊情况,并令

$$i = -i', \quad n' = -n$$

则球面反射的物像距公式为

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r}$$

球面反射镜成像特点是:与所处的介质无关;球面反射镜的物空间与像空间重合,其焦点位于 $r/2$ 处。

单球面折射与球面反射公式对比见表 1.1。

表 1.1 单球面折射和球面反射公式对照表

	单球面折射成像公式	球面反射成像公式
物像距	$\frac{n'}{s'} - \frac{n}{s} = \frac{n' - n}{r}$ $\frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1$ $xx' = ff'$	$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{2}{r}$ $\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$ $xx' = f^2$
焦距和光焦度	$\phi = \frac{n' - n}{r}$ $f' = \frac{n'}{n' - n} r$ $f = -\frac{n}{n' - n} r$ $\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$	$\phi = \frac{-2n}{r}$ $f' = \frac{r}{2}$ $f = \frac{r}{2}$ $\frac{f'}{f} = +1$
横向放大率	$\beta = \frac{ns'}{n's}$	$\beta = -\frac{s'}{s}$

4. 薄透镜

1) 基本概念

透镜:由两个共轴折射曲面包围一种透明介质而成的光学元件。

薄透镜:透镜的厚度与成像性质相关的距离相比小得多时,为薄透镜。

$$\text{像方焦距: } f' = \frac{n'}{\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2}}$$

$$\text{物方焦距: } f = \frac{-n}{\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2}}$$

$$\frac{f'}{f} = -\frac{n'}{n}$$

其中 r_1, r_2 分别为凸透镜球面的两个半径。

薄透镜的特点是：两个焦距恒异号，焦点一定分布在透镜的两侧。薄透镜的焦距除了取决于透镜的几何形状(r_1, r_2)和材料的折射率(n_0)外，还和它两侧介质的折射率(n, n')有关。薄透镜成像特点如图 1.10 所示。

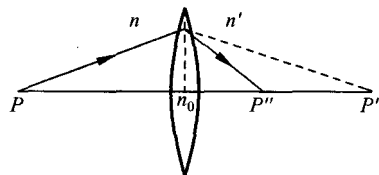


图 1.10 薄透镜成像

薄透镜的光焦度

$$\phi = \frac{n'}{f'} = -\frac{n}{f} = \frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2}$$

$\phi > 0$ ($f' > 0$) 时, F 和 F' 是实焦点, 此透镜系统是会聚系统, $\phi < 0$ ($f' < 0$) 时, F 和 F' 是虚焦点, 此透镜系统是发散系统。

2) 高斯公式

$$\frac{f'}{s'} + \frac{f}{s} = 1$$

3) 牛顿公式

$$xx' = ff'$$

空气中薄透镜的高斯公式和牛顿公式

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'}$$

$$xx' = -f'^2$$

讨论: $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} > 0$ 时, $\phi > 0$, 是凸透镜, $\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} < 0$ 时, $\phi < 0$, 是凹透镜。

4) 透镜的横向放大率(图 1.11)

$$\beta = \frac{y'}{y} = \frac{n}{n'} \cdot \frac{s'}{s} = -\frac{f}{f'} \cdot \frac{s'}{s}$$

当 $n = n'$ 时

$$\beta = \frac{s'}{s}$$

若以 x 和 x' 分别表示物距和像距, 则

$$\beta = \frac{y'}{y} = -\frac{f}{x} = -\frac{x'}{f'}$$

5) 透镜的角放大率(图 1.12)

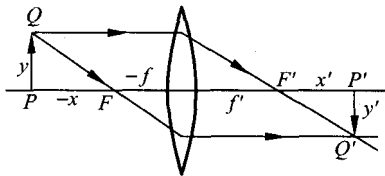


图 1.11 横向放大率

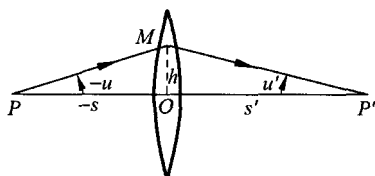


图 1.12 角放大率

$$\gamma = \frac{u'}{u} = \frac{s}{s'}$$

横向放大率和角放大率的关系

$$\gamma = \frac{n}{n'} \cdot \frac{1}{\beta}$$

5. 共轴球面系统傍轴成像的矩阵方法(图 1.13)

1) 状态矩阵

入射状态矩阵 $L = \begin{bmatrix} nu \\ y \end{bmatrix}$

折射状态矩阵 $L' = \begin{bmatrix} n'u' \\ y' \end{bmatrix}$

2) 折射矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 1 & \phi \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

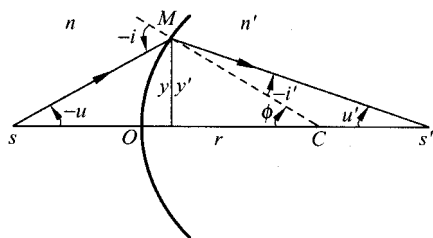


图 1.13 折射过程中光线状态的变换

行列式 $\det R = 1$ 。

入射和折射线状态的变换式

$$L' = RL$$

3) 平移矩阵

$$T_{21} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ -\frac{d_{12}}{n_1} & 1 \end{bmatrix}$$

$$\det T_{21} = 1$$

平移变换关系

$$L_2 = T_{21}L'_1$$

4) 系统的传递矩阵

出射线的状态矩阵为

$$L'_m = R_m T_{m,m-1} R_{m-1} \cdots R_3 T_{32} R_2 T_{21} R_1 L_1$$

系统的传递矩阵

$$S = R_m T_{m,m-1} R_{m-1} \cdots R_3 T_{32} R_2 T_{21} R_1$$

令

$$S = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix}$$

$$L'_m = SL_1$$

当系统的传递矩阵为已知时,由上式便可将入射线状态 L_1 变换为出射线状态 L'_m 。当

入射线状态已知时,传递矩阵完全决定了出射线状态。

在计算传递矩阵时应注意以下两点:

(1) 矩阵的乘法是不满足交换律的,所以右端必须按逆入射光传播方向的顺序取各元矩阵,依次排列。

(2) 由于折射矩阵和平移矩阵的行列式均等于1,按矩阵乘积的行列式等于各矩阵行列式的乘积这一性质,传递矩阵的行列式必为1,即

$$\det \mathbf{S} = \det \mathbf{R}_m \cdot \det \mathbf{T}_{m,m-1} \cdots \det \mathbf{R}_1 = 1$$

$$S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21} = 1$$

这表明四个传递矩阵元中,只有三个是独立的。根据上式可验算所求传递矩阵元是否有误。

5) 物像矩阵和物像关系(图 1.14)

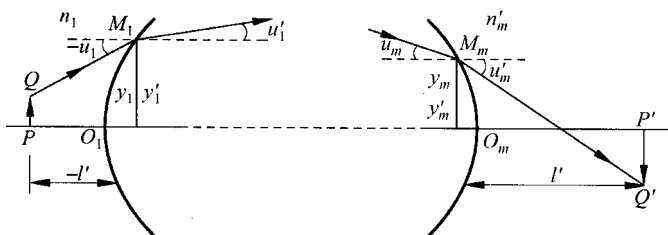


图 1.14 物像关系

物像矩阵

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} S_{11} + \frac{l}{n_1}S_{12} & S_{12} \\ S_{21} + \frac{l}{n_1}S_{22} - \frac{l'}{n_m}S_{11} - \frac{l'l}{n_1n_m}S_{12} & S_{22} - \frac{l'}{n_m}S_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\beta} & \phi \\ 0 & \beta \end{bmatrix}$$

行列式 $\det \mathbf{A} = 1$ 。

物像关系

$$\begin{bmatrix} n'_m u'_m \\ y' \end{bmatrix} = \mathbf{A} \begin{bmatrix} n_1 u_1 \\ y \end{bmatrix}$$

物像位置关系式

$$\frac{l'}{n_m} = \frac{S_{21} + \left(\frac{l}{n_1}\right)S_{22}}{S_{11} + \left(\frac{l}{n_1}\right)S_{12}}$$

顶物距 l 和顶像距 l' 各以顶点 O_1, O_m 为原点,所以对折射系统而言, $l < 0$ 为实物, $l > 0$ 为虚物; $l' > 0$ 为实像, $l' < 0$ 为虚像。

6) 横向放大率

$$\beta = \frac{y'}{y} = S_{22} - \frac{l'}{n_m}S_{12} = \frac{1}{S_{11} + \left(\frac{l}{n_1}\right)S_{12}}$$

【思考题解答】

1.1 当一束光从空气进入水中时,光束的截面积发生怎样的变化?

答 一束光从空气进入水中,由折射定律 $n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2$ 和折射率关系 $n_1 < n_2$, 应有 $i_1 > i_2$ 。如图 1.15, 设 $OO' = d$, 光束在空气中的横截面积为 $\pi(d \cos i_1 / 2)^2$, 在水中为 $\pi(d \cos i_2 / 2)^2$ 。由于 $i_1 > i_2$, $\cos i_2 > \cos i_1$, 则光束在水中的横截面积大于在空气中的横截面积。

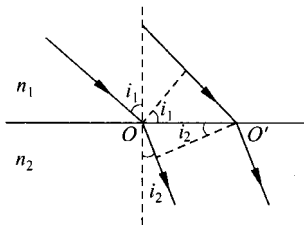


图 1.15

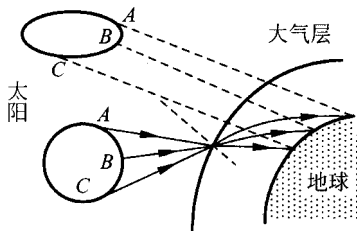


图 1.16

1.2 为什么日出或日落时太阳看起来是扁的?

答 日出或日落时,太阳位于地平线附近。对于地球上的一点,来自太阳顶部 A、中部 B 和底部 C 的光线射向地球大气层的入射角依次增大(如图 1.16)。同时,由于大气层的密度不均匀,引起折射率 n 随接近地面而逐渐增大。所以当光线穿过大气层射向地面时,折射率 n 逐渐增大,其折射角逐渐减少,光线的传播路径发生弯曲。若沿着光线看去,看到的发光点位置比其实际位置要高。另一方面,折射光线的弯曲程度还与光线入射角有关。入射角越大的光线,弯曲越厉害,视觉位置被抬得越高。因此从太阳上部 A 到太阳下部 C 发出的光线,入射角逐渐增大,下部的视觉位置就依次比上部抬得更高。所以,日出和日落时太阳看起来呈扁椭圆形。

1.3 一束在空气中波长为 589.3 nm 的钠黄光,从空气进入水中时,它的波长将变为多少? 在水中观察这束光时,其颜色会改变吗?

答 根据光在介质中的波长 $\lambda_n = \lambda / n$, 水的折射率 $n = 4/3$, 则钠黄光在水中的波长 $\lambda_n = \frac{589.3}{4/3} = 442.0 \text{ nm}$ 。光的颜色是由光波的频率决定,在不同的介质中,光的频率不变。所以在水中观察这束光,其颜色不变,仍为黄色。

1.4 图 1.17 为光线斜入射于一块平行平面玻璃板的光路,问 A、B 两点之间的光程是极大还是极小?

答 如图由 A 点发出的光线经过两次平面折射到达 B 点。根据费马原理,当入射光线和折射光线满足折射定律时,其光程 $[AA'B']$ 和 $[A'B'B]$ 均是极小值,因此 A、B 两点之间的光程差 $[AB]$ 是极小值。

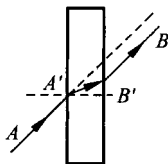


图 1.17

1.5 平面镜生成的像同物左右互易,为什么并不上下颠倒?

答 平面反射镜是一个理想光学系统,对于任意物体来说相对于平面镜,物点与像点是对称的,即存在镜面对称的物像关系。在数学上,镜面对称就是在镜面上选取两个相互垂直的 x 轴和 y 轴,镜面的法线为 z 轴。对于任意的物和像,其坐标关系是

$$x = x', \quad y = y', \quad z = -z'$$

所谓平面镜生成的像同物左右互易上下不颠倒,是指把坐标选定在物体上。以人照镜为例,坐标定在人的身体上,再去观人经平面镜生成的虚像,坐标由右旋坐标系变为像的左旋坐标系,所以有左右互易上下不颠倒的结论。

1.6 同一物体经针孔或平面镜所成的像有何不同?

答 由反射定律可知,平面镜的物和像是关于镜面对称的。坐标由右旋坐标系变为像的左旋坐标系,因此像和物左右互易上下并不颠倒。即物体经平面镜生成等大、正立的虚像。

物体经针孔成像时,物点和像点之间相对于针孔对称。右旋坐标系经针孔所成的像仍为右旋坐标系,因此像和物上下左右都是互易的,而且像的大小与针孔到接收屏的距离有关。即物体经针孔生成倒立的实像。

1.7 在夜晚的江面上,为什么路灯生成的倒影是拉得很长的一条光带?

答 江面上荡漾的水波相当于若干互成微小角度的平面镜。路灯在这无数的平面镜上分别形成一个一个的虚像,连串起来,就是一条很长的光带。

1.8 下雨后,树叶上的水珠为什么显得很亮? 要使光线在水珠内作全反射,问水珠内的人射光线和通过入射点的直径之间的夹角不能小于多少度?

答 雨后树叶上的水珠之所以特别的亮,是因为光线在水珠内发生了全反射。如图 1.18 所示,在 A 点进入水珠的光线,其折射角为 γ ,在水珠内的另一侧 B 点的入射角为 i ,由于水珠在入射点和折射点的曲率不同,当从水珠内射向空气的光线和通过入射点 B 的曲率半径之间的夹角最小值 i ,大于全

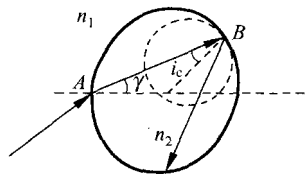


图 1.18

反射临界角 i_c ($i_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} = \arcsin \frac{3}{4} = 48.5^\circ$) 时,光线在水

珠内发生一次全反射。光线若能在水珠内进行多次全反射水珠会更亮。

1.9 当逆着光线的方向观察时,能看到实像和虚像吗? 凭眼睛看,能否辨别是实像还是虚像? 能否拍摄虚像的照片?

答 生成实像的光束为从系统出射的会聚同心光束。在一般情况下,当逆着光线的方向观察实像时,眼睛看不到实像,但可以用屏接收。生成虚像的光束为从系统出射的发散同心光束,经眼睛在其视网膜上成像,引起视觉,所以当逆着光线的方向观察时,眼睛能看到系统的虚像。依上所述,凭眼睛看能辨别是实像还是虚像。用照相机可以拍摄虚像的照片,这是因为生成虚像的光束为从系统出射的发散同心光束,而照相机一定在成像系统的后方拍

摄,所以系统的虚像进入照相机是发散的同心光束,此虚物可认作是照相机镜头的实物。

1.10 通常认为 $\phi > 0$ 为会聚系统, $\phi < 0$ 为发散系统,那么对 $\phi = 0$ 的单折射面是会聚系统还是发散系统?

答 光焦度 $\phi = (n' - n)/r$ 是表征单折射球面屈折光线本领的量。 $\phi > 0$ 表示球面使入射光束会聚,为会聚系统, $\phi < 0$ 表示球面使入射光束发散,为发散系统。 $\phi = 0$ 时,对应于 $r = \infty$,即为平面折射。这时,经折射后仍是沿光轴的平行光束,不出现屈折现象。

1.11 球面镜的焦距和光焦度与所在介质的折射率是否有关?

答 球面镜的反射可以看成是从折射率为 n 的介质到折射率为 $-n$ 的介质的特殊折射,其焦距是 $f' = f = r/2$,与所在介质的折射率无关。光焦度 $\phi = -n/f$ 与所在介质的折射率有关。

1.12 晴天时,利用日光和一块凹面镜就能点火,利用凸面镜能点火吗?

答 不能。因为光线经凸面镜反射后,成为发散的反射光线,其反向延长线的交点为凸面镜的虚焦点,它位于凸面镜的后方。由于虚焦点不是实际光线的会集点,所以凸面镜不能将日光会聚点火。

1.13 人眼能观察虚物吗?能否拍摄虚物的照片?

答 对眼睛的虚物点为从系统出射的会聚同心光束的顶点,位于眼睛视网膜的后方,所以当逆着光线的方向观察时看不到虚物。同理,用照相机不能拍摄其虚物的照片。

1.14 薄透镜的焦距与它所在介质是否有关?凸透镜一定是会聚透镜吗?凹透镜一定是发散透镜吗?

答 由薄透镜的焦距公式 $f = -n \left/ \left(\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2} \right) \right.$ 和 $f' = n' \left/ \left(\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2} \right) \right.$ 可见, f 和 f' 与组成透镜的两个单球面曲率半径 r_1 、 r_2 有关,与透镜材料的折射率 n_0 有关,还与它所在的物方和像方的折射率 n 和 n' 有关。当 $f' > 0$ (或 $\phi > 0$) 时,是会聚透镜;当 $f' < 0$ (或 $\phi < 0$) 时,是发散透镜。凸透镜或凹透镜究竟是发散的还是会聚的,主要由其焦距 f' (或光焦度 ϕ) 的正负决定,亦即由上述几个因素决定。例如,一个会聚透镜 ($r_1 > 0, r_2 < 0$) 在空气中 ($n_0 > n = n' = 1$) 是会聚透镜;当把它置于某介质中,使 $n_0 < n = n'$ 时,它的像方焦距 $f' = n' \left/ \left(\frac{n_0 - n}{r_1} + \frac{n' - n_0}{r_2} \right) \right. < 0$, 变成一个发散透镜。因此,并非凸透镜就一定是会聚透镜,凹透镜一定是发散透镜。

1.15 为什么人眼在水中成为远视眼而鱼眼在空气中则成为近视眼?

答 进入眼睛的光线经眼珠折射在视网膜上成像。当观察物体时,眼球可适当地改变它的曲率,从而改变其光焦度,使一定远近的物体成像在视网膜上。近视眼的眼轴过长,无穷远的物体成像在视网膜之前。远视眼的眼轴过短,无穷远的物体成像在视网膜之后。当人眼在水中时,由于物方折射率由 $n = 1$ 变为 $n = 1.33$,其像方焦距 f' 变大,无穷远的物体成像在视网膜之后成为远视眼。鱼眼在空气中时,物方折射率由 $n = 1.33$ 变为 $n = 1$,其像方焦