

高校核心课程学习指导丛书

光学重难点释疑

(非物理专业)

GUANGXUE ZHONGNANDIAN SHIYI
FEI WULI ZHUANYE

崔宏滨 吴 强 / 编著



中国科学技术大学出版社

高校核心课程学习指导丛书

◀ 崔宏滨 吴 强 / 编著

光学重难点释疑

(非物理专业)

GUANGXUE ZHONGNANDIAN SHIYI ▶
FEI WULI ZHUANYE

中国科学技术大学出版社

内 容 简 介

本书对光学的基本概念、核心内容进行了系统的概括,并精选了足够数量的关于光学的物理基础和拓展应用问题,作为范例进行了详细的讨论,并给出了解答。为了便于阅读,书中的题目按光学的知识模块分章节编辑,并对各知识模块的主要内容作了概要的介绍。

本书所选的题目多与光学的实际应用相关,范围广泛、类型丰富,能够使读者在解题过程中,对光学有更深入的认识,并对光学在科学研究和各个领域中的应用有更多的了解。

本书可用作理工科非物理专业学生学习光学的辅助教材,也可供讲授光学课程的教师参考。

图书在版编目(CIP)数据

光学重难点释疑:非物理专业/崔宏滨,吴强编著. —合肥:中国科学技术大学出版社,2016.4

ISBN 978-7-312-03910-2

I. 光… II. ①崔…②吴… 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(2016)第 008842 号

出版 中国科学技术大学出版社
安徽省合肥市金寨路 96 号,230026
<http://press.ustc.edu.cn>
印刷 合肥华星印务有限责任公司
发行 中国科学技术大学出版社
经销 全国新华书店
开本 710 mm×960 mm 1/16
印张 14
字数 266 千
版次 2016 年 4 月第 1 版
印次 2016 年 4 月第 1 次印刷
定价 26.00 元

前 言

光学是物理学的一个重要分支,是大学物理教学中的一门主干课程,也是应用十分广泛、不断取得新进展的一门学科。

对于物理类各专业的学生,光学是一门非常重要的课程。光学的基础比较简单,而应用范围又非常广泛,几乎所有精密的测量仪器都离不开光学的应用。因而,对于非物理专业的理工科学生,了解并掌握光学知识,对日后的工作是十分必要的。我们欣喜地看到国内外越来越多的大学将光学作为理工科学生的一门基础课程。

物理学是一门实验科学,也是一门结合实际的科学,将光学知识应用于解决实际问题,是作者编写本书的主要目的。为达此目的,作者搜集整理了许多与光学应用有关的题目,并结合自己的教学、科研经历编制了一些题目。对这些问题的讨论,以例题的形式加以介绍。

解题是学习过程的一个非常重要的环节。通过解题,可以检验学生对基本概念的掌握和对所学知识的运用;通过解题,可以加深学生对知识的理解;通过解题,可以使学生初步掌握解决实际问题的方法和技巧。

我们诚恳希望读者发现并指出书中的讹误和不足之处。

崔宏滨 吴 强

2015年9月19日

于中国科学技术大学

目 录

前言	(i)
第 1 章 几何光学的实验定律与成像定理	(1)
1.1 几何光学的实验定律	(1)
1.2 光学的成像定理	(13)
1.3 成像作图法	(25)
1.4 光具组成像	(27)
1.5 光学成像仪器	(33)
第 2 章 光的波动模型与数学表示	(43)
2.1 光的电磁波模型	(43)
2.2 球面光波与平面光波	(50)
2.3 接收屏上的波函数	(58)
2.4 菲涅耳公式与斯托克斯倒逆关系	(66)
2.5 光的吸收、色散与散射	(73)
第 3 章 光的干涉与干涉装置	(79)
3.1 光波的叠加	(79)
3.2 光波的相干叠加与非相干叠加	(86)
3.3 相干光的获得	(96)
3.4 分波前的干涉	(100)
3.5 分振幅的干涉	(108)
3.6 光的空间相干性与时间相干性	(122)
第 4 章 光的衍射与衍射装置	(135)
4.1 菲涅耳-基尔霍夫衍射积分公式	(135)
4.2 菲涅耳衍射	(138)
4.3 夫琅禾费衍射	(147)

4.4	衍射光栅	(157)
4.5	傅里叶光学	(169)
第 5 章	光的偏振与双折射	(177)
5.1	光的偏振态	(177)
5.2	光在晶体中的双折射	(183)
5.3	偏振光的干涉	(193)
5.4	旋光	(200)
第 6 章	光的量子性与激光	(202)
6.1	光的波粒二象性	(202)
6.2	激光	(213)
参考文献		(218)

第 1 章 几何光学的实验定律与成像定理

几何光学是关于光线传播与光线成像的理论体系,是以光学实验为基础的唯一理论。在几何光学的理论体系中,用几何线表示光传播、反射和折射的路径,并称之为光线。所以,几何光学中不涉及光的物理本质,仅仅用“光线”这一物理模型描述光传播、反射和折射的性质。

1.1 几何光学的实验定律

1.1.1 几何光学中的基本概念

1. 界面

不同种类的光学媒质的分界面或真空中物体的表面。入射到界面上的光线,将发生反射或折射(仅在透明介质中)。

2. 入射面

界面上光线入射点的法线与入射光线所构成的平面。

3. 入射角

入射光线与入射点法线间的夹角。

4. 反射角

反射光线与入射点法线间的夹角。

5. 折射角

折射光线与入射点法线间的夹角。

1.1.2 几何光学实验定律的表述

1. 光的直线传播定律

在均匀媒质中,光沿着直线传播。

2. 光的反射定律

反射光线在入射面内,反射光线与入射光线分别位于入射点法线的两侧,且反射角等于入射角,即

$$i' = i \quad (1.1)$$

如图 1.1 所示。

3. 光的折射定律

折射光线在入射面内,折射光线与入射光线分别位于入射点法线的两侧,且有

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \quad (1.2)$$

如图 1.2 所示。式中 n_1, n_2 分别为界面两侧媒质的折射率。

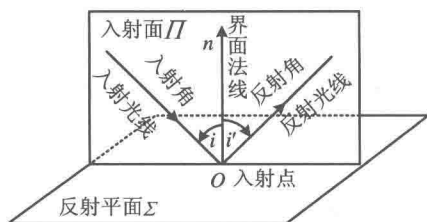


图 1.1 入射面、入射角、反射角

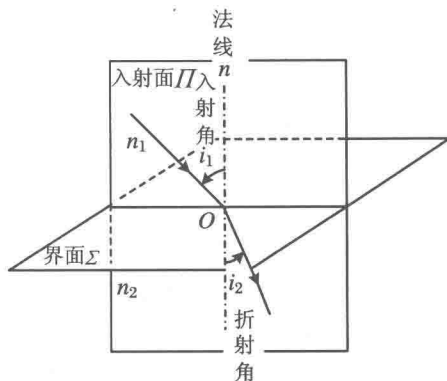


图 1.2 折射光线与折射角

如果从实验的角度看,折射定律是这样的:光从一种媒质进入另一种媒质,传播的方向将出现偏折,但入射角与折射角的正弦的比值是常数,只与两种媒质有关,即

$$\frac{\sin i_1}{\sin i_2} = n_{21}$$

式中 n_{21} 称作媒质 2 相对于媒质 1 的折射率。

既然 n_{21} 只与两种相关媒质的性质有关,则可将其写作 $n_{21} = \frac{n_2}{n_1}$, 式中 n_1 只与

媒质 1 的光学性质有关, n_2 只与媒质 2 的光学性质有关, 则 n_1, n_2 分别被称作媒质 1 和媒质 2 的绝对折射率。仅仅依据光的折射实验, 并不能确定绝对折射率的数值。

若规定光在真空中的绝对折射率为 1, 则可根据此得到其他媒质的绝对折射率的数值。公式(1.2)中媒质的折射率就是这样得到的。实际上, 若规定光在真空中的绝对折射率为 2 或其他任意数值, 也是可以的。

1.1.3 光的全反射

光从折射率较大的光密媒质(设折射率为 n_1)射向折射率较小的光疏媒质(设折射率为 n_2), 并且入射角大于如下的临界值时, 将会出现全反射:

$$i_c = \arcsin \frac{n_2}{n_1} \quad (1.3)$$

i_c 称作全反射临界角。发生全反射时, 光线不能在光疏媒质中传播。

1.1.4 光的可逆性原理

(1) 光在传播、反射、折射过程中, 光路是可逆的。

(2) 在成像过程中, 物与像是共轭的。

1.1.5 费马原理

1. 费马原理的表述

两点之间光的实际路径, 是光程取极值的路径。

在均匀媒质中, 光程是光线传播过的距离 s 与传播路径中媒质折射率 n 的乘积, 即 ns ; 若媒质是非均匀的, 其折射率随空间位置而变化, 则两点 P_1, P_2 之间的光程应当是路径积分 $\int_{P_1}^{P_2} n ds$ 。在数学上, 费马原理可用路径积分的变分表示为

$$\delta(\widehat{P_1 P_2}) = \delta\left(\int_{P_1}^{P_2} n ds\right) = 0 \quad (1.4)$$

2. 费马原理的特例

通常情况下, 两点之间光的实际路径往往是光程为极小值的路径, 但是在某些特定的情形下, 光线传播路径的光程也可以是恒定值或极大值。所以, 有时也这样

表述费马原理:两点之间光的实际路径,是光程平稳的路径。这里平稳的含义是光程取极值(极大、极小)或恒定值。

3. 光学成像的费马原理

光学成像过程中,物点到其共轭像点之间所有路径的光程相等。

这一结论通常被称作“物像之间的等光程性”。

1.1.6 几何光学定律成立的条件

(1) 光学系统的尺度远大于光波的波长;

(2) 介质是各向同性的;

(3) 光强不是很大。

【例 1.1】如图 1.3 所示, L 为凸透镜, M 为平面镜。试问光线 AOB 与 ACB 中哪个的光程大些,为什么?(不妨认为透镜的边缘处厚度为 0。)

解 从图 1.3 中可以看出, A, B 两点到透镜 L 的距离相等,但 B 点不一定是 A 点经 L 所成的像点,因而要区分不同的情形进行简单的讨论。

(1) 设 B 点是 A 点的像,如图 1.4 所示。

由于物像之间等光程,这种情形下,经过透镜边缘的光线 ADB 的光程与 AOB 的光程相等。而显然光线 ACB 的光程大于光线 ADB 的光程,所以 ACB 的光程大于 AOB 的光程,即

$$L(\widehat{ACB}) > L(\widehat{AOB})$$

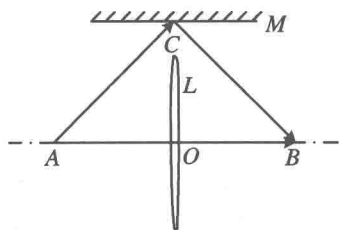


图 1.3 比较 AOB 与 ACB 的光程

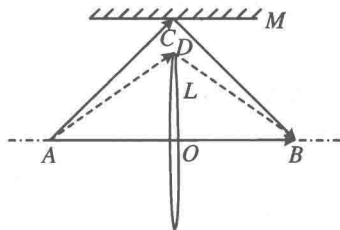


图 1.4 B 点是 A 点的像

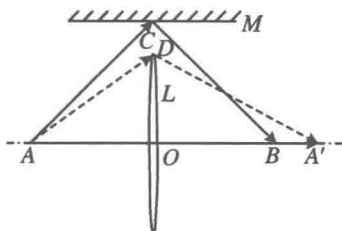
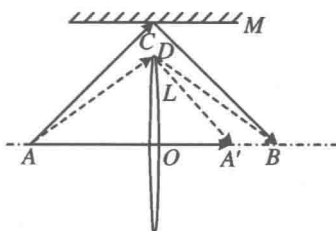
(2) 设 B 点到 L 的距离小于 A 点所成的像的像距。

设 A 点的像为 A' , 即 B 点在 A 点所成像 A' 的内侧, 如图 1.5 所示。这种情形下, 光程 $L(\widehat{ADA'}) = L(\widehat{AOA'}) > L(\widehat{AOB})$ 。由于无法比较 ACB 与 ADA' 的光程, 所以也无法比较 ACB 与 AOB 的光程。

(3) 设 B 点到 L 的距离大于 A 点所成的像的像距。

同样设 A 点的像为 A' , 即 B 点在 A 点所成像 A' 的外侧, 如图 1.6 所示。这种情形下, $L(\widehat{ADA'}) = L(\widehat{AOA'})$, 而 $L(\widehat{ADB}) > L(\widehat{ADA'})$, $L(\widehat{ACB}) > L(\widehat{ADB})$, 所以必然有

$$L(\widehat{ACB}) > L(\widehat{AOB})$$

图 1.5 B 点在 A 点像的内侧图 1.6 B 点在 A 点像的外侧

【例 1.2】 求光线经过棱镜折射的偏向角, 讨论出现最小偏向角的条件, 并求出最小偏向角。已知棱镜的顶角为 α , 折射率为 n 。

解 如图 1.7 所示, 设光线从棱镜的左侧面入射, 入射角和折射角分别为 i_1, i'_1 。在棱镜右侧面, 入射角和折射角分别为 i'_2, i_2 。

光线的偏向角是指出射光线相对于入射光线偏转的角度, 即图 1.7 中的角 δ 。

图 1.7 中, 棱镜的两棱边与每一棱的法线构成一个四边形 $AEDF$, 其中 $\alpha + \angle D = \pi$, 在 $\triangle EDF$ 中, $i'_1 + i'_2 + \angle D = \pi$, 于是

$$i'_1 + i'_2 = \alpha \quad (1)$$

在 $\triangle EFG$ 中, 可得偏向角

$$\delta = i_1 - i'_1 + i_2 - i'_2 = i_1 + i_2 - (i'_1 + i'_2) = i_1 + i_2 - \alpha \quad (2)$$

最小偏向角的条件为 $\frac{d\delta}{di_1} = 0$, 而 $\frac{d\delta}{di_1} = \frac{d(i_1 + i_2 - \alpha)}{di_1} = 1 + \frac{di_2}{di_1} = 0$, 即

$$\frac{di_2}{di_1} = -1 \quad (3)$$

在棱镜的两侧面, 折射角与入射角之间的关系分别为 $\sin i_1 = n \sin i'_1$ 和 $\sin i_2 = n \sin i'_2$, 于是有

$$d(\sin i_1) = \cos i_1 di_1 = n d(\sin i'_1) = n \cos i'_1 di'_1$$

$$d(\sin i_2) = \cos i_2 di_2 = n d(\sin i'_2) = n \cos i'_2 di'_2$$

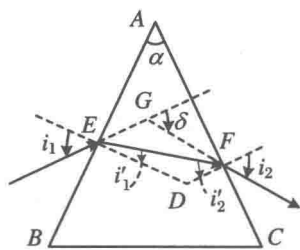


图 1.7 光在三棱镜中的折射

即

$$\frac{di'_1}{di_1} = \frac{\cos i_1}{n \cos i'_1}, \quad \frac{di_2}{di'_2} = \frac{n \cos i'_2}{\cos i_2}$$

而根据式(1), 可得 $di'_1 = -di'_2$, 于是式(3)可表示为

$$\begin{aligned} \frac{di_2}{di_1} &= \frac{di_2}{di'_1} \frac{di'_1}{di_1} = -\frac{di_2}{di'_2} \frac{di'_1}{di_1} = -\frac{n \cos i'_2}{\cos i_2} \frac{\cos i_1}{n \cos i'_1} \\ &= -\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 i'_2}}{\cos i_2} \frac{\cos i_1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i'_1}} = -1 \end{aligned}$$

即

$$\frac{\cos i_1}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i_1}} = \frac{\cos i_2}{\sqrt{n^2 - \sin^2 i_2}} \quad (4)$$

式(4)成立的条件为 $i_1 = i_2$, 相应地 $i'_1 = i'_2$, 如图 1.8 所示。

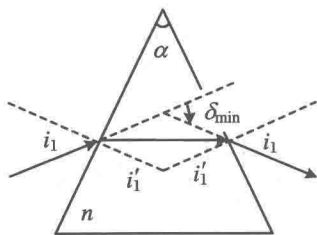


图 1.8 最小偏向角

此时 $\sin i_1 = n \sin \frac{\alpha}{2}$, 于是最小偏向角为

$$\delta_{\min} = 2i_1 - \alpha = 2\arcsin\left(n \sin \frac{\alpha}{2}\right) - \alpha$$

若能够从实验中测出最小偏向角 $\delta_{\min}$, 由于此

时 $i'_1 = \frac{\alpha}{2}$, $i_1 = \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}$, 则棱镜的折射率为

$$n = \frac{\sin i_1}{\sin i'_1} = \frac{\sin \frac{\alpha + \delta_{\min}}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}} \quad (5)$$

根据式(5)测量棱镜折射率的方法被称作最小偏向角方法。

【例 1.3】 半径为 R 的反射球内, P_1, P_2 两点相对于球心 C 对称, 与球心的距离为 b 。设光线自 P_1 发出, 经球面上 O 点反射后过 P_2 点, 如图 1.9 所示。

(1) 试给出光线 $P_1 O + O P_2$ 的光程与任意角 θ 的关系;

(2) 利用费马原理计算实际光线的 θ 值。

分析 用费马原理解题的关键是写出光程的表达式。解题过程一般分为两个步骤: ① 直接利用几何关系或折射、反射定律得到光程的表达式; ② 将光程表示为某一变量的函数, 求出该函数取极值的条件。

解 本题的光程就是光线的几何路程。

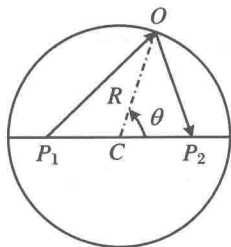


图 1.9 反射球内的光线

(1) 以 θ 为变量, 将余弦定理应用到图 1.9 中的 $\triangle P_1OC$ 和 $\triangle P_2OC$ 中, 可得光程的表达式为

$$L(P_1OP_2) = OP_1 + OP_2 = \sqrt{b^2 + R^2 + 2bR\cos\theta} + \sqrt{b^2 + R^2 - 2bR\cos\theta}$$

(2) 令 $\frac{dL}{d\theta} = 0$, 有

$$\frac{dL}{d\theta} = \frac{bR\sin\theta}{\sqrt{b^2 + R^2 - 2bR\cos\theta}} - \frac{bR\sin\theta}{\sqrt{b^2 + R^2 + 2bR\cos\theta}} = 0$$

可得 $\theta = 0, \frac{\pi}{2}, \pi, \frac{3\pi}{2}$ 四个值满足 L 为极值的条件。分别代入 $\frac{d^2L}{d\theta^2}$ 后, 可知 $\theta = 0, \pi$

时, 光程取极小值; 而 $\theta = \frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}$ 时, 光程取极大值。

【例 1.4】 如图 1.10 所示, 一个半径为 R 的玻璃半球, 折射率为 n , 将平面一侧半径为 r 的中心区域涂黑, 平行光从平面一侧入射, 计算从球面一侧出射的光能够照射到的轴线上的区域。若将半球放入水中, 上述区域有何变化?

解 进入半球的光线, 在球面一侧, 若入射角足够大, 将会发生全反射。如图 1.11 所示, 从球面一侧出射的光束, 照射到轴线上 A, B 两点之间的区域。

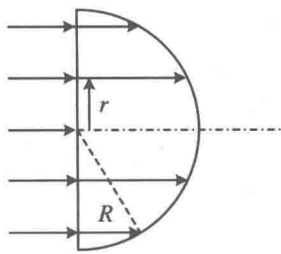


图 1.10 光线从平面一侧射入玻璃半球

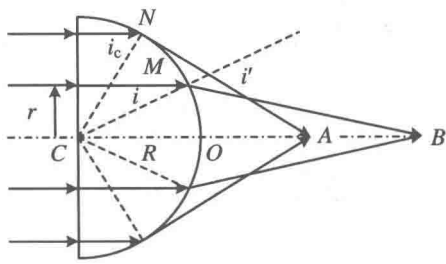


图 1.11 光线在球面一侧的折射和全反射

全反射临界角满足 $n\sin i_c = 1$, 从球面出射的临界光线, 折射角为 90° , 射向 A 点, 可算得

$$\overline{CA} = \frac{R}{\sin i_c} = \frac{nR}{n\sin i_c} = nR$$

从平面一侧半径为 r 的圆周上射入半球的光线, 在球面一侧的入射角为 i , 则 $\sin i = \frac{r}{R}$ 。折射角 i' 满足 $\sin i' = n\sin i = \frac{nr}{R}$ 。

在 $\triangle CMB$ 中, $\angle CMB = \pi - i - (i - i') = \pi - 2i + i'$, $\angle MBC = i - i'$ 。应用正弦定理, 得到

$$\overline{CB} = R \frac{\sin \angle CMB}{\sin \angle MBC} = R \frac{\sin(\pi - 2i + i')}{\sin(i - i')} = R \frac{\sin(2i - i')}{\sin(i - i')}$$

由于

$$\begin{aligned} \sin(i - i') &= \sin i \cos i' - \cos i \sin i' = \sin i \sqrt{1 - \sin^2 i'} - \sqrt{1 - \sin^2 i} \sin i' \\ &= \sin i \sqrt{1 - n^2 \sin^2 i'} - n \sin i \sqrt{1 - \sin^2 i'} \\ &= \frac{r}{R} \left(\sqrt{1 - \frac{n^2 r^2}{R^2}} - n \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}} \right) \\ \sin(2i - i') &= \sin 2i \cos i' - \cos 2i \sin i' = 2 \sin i \cos i \cos i' - (1 - 2 \sin^2 i) \sin i' \\ &= 2 \sin i \sqrt{1 - \sin^2 i'} \sqrt{1 - \sin^2 i'} - (1 - 2 \sin^2 i) \sin i' \\ &= 2 \sin i \sqrt{1 - \sin^2 i'} \sqrt{1 - n^2 \sin^2 i'} - n(1 - 2 \sin^2 i) \sin i \\ &= \frac{r}{R} \left[2 \sqrt{1 - \frac{r^2}{R^2}} \sqrt{1 - \frac{n^2 r^2}{R^2}} - n \left(1 - \frac{2r^2}{R^2} \right) \right] \end{aligned}$$

故可得

$$\overline{CB} = \frac{2 \sqrt{R^2 - r^2} \sqrt{R^2 - n^2 r^2} - n(R^2 - 2r^2)}{\sqrt{R^2 - n^2 r^2} - n \sqrt{R^2 - r^2}}$$

若将半球放入水中, A 点的位置不变, 而折射角 i' 变大, 则 B 点移向远处。

【例 1.5】 如图 1.12 所示, 如果以 S 为中心的发散光束经过折射率为 n 的平

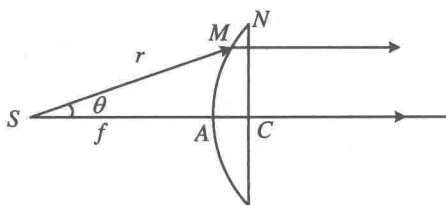


图 1.12 平凸透镜

凸透镜后变为波面为 CN 的平行光束, 则透镜凸面的形状必为以 S 为焦点的旋转圆锥曲面(当 $n > 1$ 时为旋转双曲面; 当 $n < 1$ 时为旋转椭球面), 试用费马原理证明之。

分析 由费马原理可知, 由 S 发出的所有光线到达 CN 平面的光程相等。设 M 为凸面上的任一点, 其坐标可由 r ,

θ 确定。由等光程性定出 M 点空间位置的轨迹, 即可确定凸面的形状。

解 因为由 S 发出的所有光线到达 CN 平面的光程是相等的, 即沿轴线的光线 SAC 与任意光线 SMN 的光程相等, 故

$$\overline{SA} + n \overline{AC} = \overline{SM} + n \overline{MN}$$

设 $\overline{SA} = f$, $\overline{SM} = r$, 则有

$$f + n \overline{AC} = r + n \overline{MN} \quad \text{或} \quad r = f + n(\overline{AC} - \overline{MN}) \quad (1)$$

而由几何关系 $\overline{AC} - \overline{MN} = r \cos \theta - f$, 代入式(1), 可得

$$r = \frac{f(1-n)}{1-n\cos\theta} \quad (2)$$

若令 $r = \sqrt{x^2 + y^2}$, $\cos\theta = \frac{x}{r}$, 代入式(2), 有

$$(n^2 - 1)x^2 - 2n(n-1)fx - y^2 + (n-1)^2f^2 = 0 \quad (3)$$

式(2)和式(3)分别是极坐标下和直角坐标下的圆锥曲线的方程。由旋转对称性可知, 凸面由上述圆锥曲线绕光轴旋转而成, 即凸面为旋转圆锥曲面。

【例 1.6】 试举出光程分别取极小值、极大值或恒定值的实例。

解 (1) 如图 1.13 所示, 从 P 点发出的经平面镜 M_1 射向 Q 点的光线, 所经过的实际路径为 PAQ , 这是满足反射定律的路径, 光程是最小的, 其他的任何路径, 如图 1.13 中所示的 PBQ , 其光程一定比路径 PAQ 的光程大。

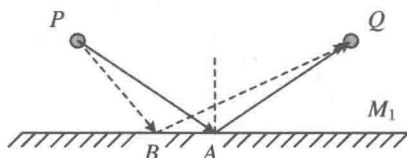


图 1.13 平面反射

(2) 如图 1.14 所示, 若 P, Q 两点恰是椭球面 M_2 的焦点, 则 P 点发出的所有光线, 经椭球面 M_2 反射后都射向 Q 点, 这些光线所经过路径的光程都是相等的, 即实际光线的光程是恒等值。

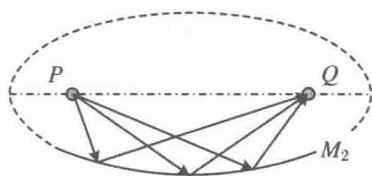


图 1.14 椭球面反射

(3) 如图 1.15 所示, M_3 是曲率半径较小的球面, 从 P 点发出的经球面 M_3 射向 Q 点的实际光线为 PCQ , 可以看出路径 PCQ 的光程一定比其他路径 (如图 1.15 中的 PDQ) 的光程大, 所以这种情形下, 实际光线路径的光程是极大值。

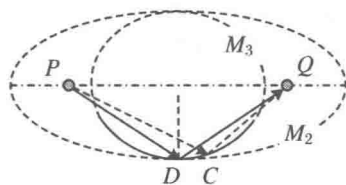


图 1.15 小球面反射

【例 1.7】 如图 1.16 所示的棱镜, 顶角为 α 的两个侧面涂上反射膜, 一条光线按图中的方式, 经折射→反射→反射→折射后射出。

(1) 证明: 光线的偏转角恒等于 2α , 与入射方向无关;

(2) 用此棱镜, 能否产生色散?

解 棱镜中, $\beta = \frac{2\pi - 3\alpha}{2} = \pi - \frac{3\alpha}{2}$ 。

设光线射向棱镜时, 在 BC 界面上的入射角为 i , 折射角为 i_1 , 如图 1.17 所示。

BC 面与 AD 面之间的夹角为

$$\delta = \pi - \alpha - \beta = \pi - \alpha - \pi + \frac{3\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$$

即反射面 AD 的法线相对于折射面 BC 的法线转过了 δ 角, 则在反射面 AD 上光线的入射角为

$$i_2 = \delta - i_1 = \frac{\alpha}{2} - i_1$$

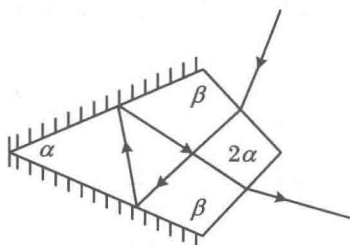


图 1.16 恒偏向角棱镜

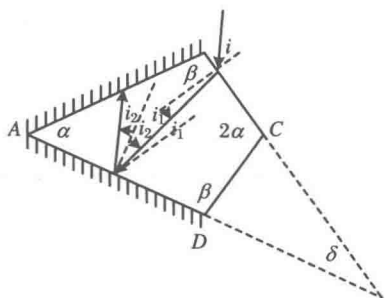


图 1.17 光线在 BC 面折射、 AD 面反射

反射角也是 i_2 。

反射面 AD 与反射面 AB 之间的夹角为 α , 则这两面法线之间的夹角也是 α , 如图 1.18 所示, 则光线在 AB 面的入射角和反射角为

$$i_3 = \alpha - i_2 = \alpha - \left(\frac{\alpha}{2} - i_1 \right) = \frac{\alpha}{2} + i_1$$

被 AB 面反射的光线射向 CD 面, 这两面之间的夹角为 δ , 如图 1.19 所示, 则光线在 CD 面的入射角为

$$i_4 = i_3 - \delta = \frac{\alpha}{2} + i_1 - \frac{\alpha}{2} = i_1$$

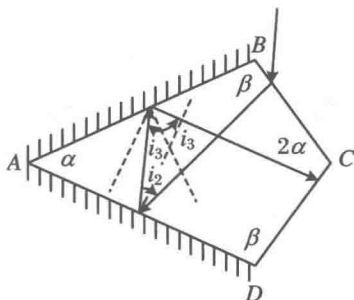


图 1.18 光线在 AB 面反射

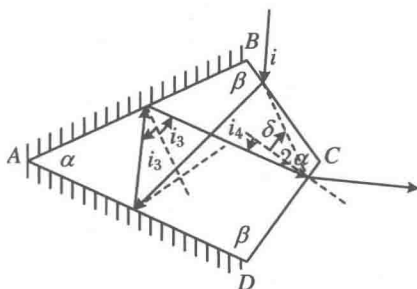
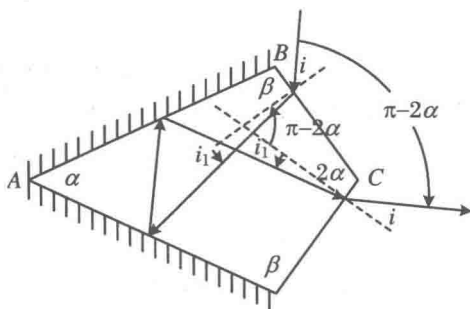


图 1.19 光线射向 CD 面

光线经 CD 面折射, 又进入外部介质中, 由于入射角为 i_1 , 所以折射角为 i 。由于 BC 面与 CD 面之间的夹角为 2α , 如图 1.20 所示, 则 CD 面相对于 BC 面转过了 $\pi - 2\alpha$ 角, 这两个平面的法线之间也相对转过了 $\pi - 2\alpha$ 角, 因而出射光线与入射光线之间的夹角也为 $\pi - 2\alpha$, 但偏向角的定义是出射光线相对于入射光线偏转的角度, 所以光线的偏向角为 2α 。这与棱镜和外部介质的折射率无关, 也不会导致色散。但是, 由于不同波长(即不同颜色)的光从 CD 面出射的位置有所不同, 所以从该棱镜出射的光束虽然是平行光, 且不同波长的光方向相互平行, 但光束变宽, 不同波长的光相互错开。

图 1.20 光线经 CD 面折射

需要指出的是, 光线只有按图示的次序, 依次经历 BC 面折射、 AD 面反射、 AB 面反射、 CD 面折射, 才能实现恒偏向角。即进入棱镜的光线必须首先射向 AD 面, 这就对光在 BC 面的入射角有一定的要求。

【例 1.8】 利用费马原理证明, 在以 O 点为中心的球对称分布的非均匀媒质中(即折射率仅与任一点到 O 点的距离 r 有关), 从 O 点到任一点的光线一定是直线。

证明 以 O 点为中心, r 为媒质中任一点到 O 点的距离, 则折射率的分布可表示为

$$n = n(r)$$

如图 1.21 所示, 设 A 为媒质中的任一点, 不妨以 O 为中心作一系列等间隔的球面, 并设球面间的距离足够小, 则球面间的折射率可认为是均匀的。容易看出, 沿径向的光程一定是最小的, 因而遵循费马原理的光线一定是沿径向的。

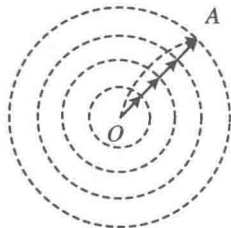


图 1.21 球对称分布媒质中的光线

【例 1.9】 在如图 1.22 和图 1.23 所示的反射和折射情形中, A_1A_2, B_1B_2 ,