

普通物理概念
与
解题分析

◀ 光 学 ▶

南开大学物理系

PTW
LGNY
JTFX

科学普及出版社

内 容 提 要

本套书有力学、光学、电学(上)、电学(下)、热学等五个分册,是南开大学物理系有多年教学实践的老师在周培源、严济慈、赵景员等老前辈精心指导下,按全国统编教材教学大纲的要求和顺序以辅助教材的形式编写出来的,它以弄清概念、提高读者分析、解决问题的能力为宗旨,每章有对读者的要求、基本概念、解题分析、习题、题解等六部分。

光学分册包括几何光学、波动光学、光学仪器等共13章,选了500多题,几乎每题都是生产、科研、及生活中所用的光学仪器的基本原理,或有关光学的一些现实问题,适合大学生、青年教师及自学者使用。

普通物理概念与解题分析

光 学

潘维济 李子元 陈民泰 马根源
常树人 腾天奎 翁心光 葛葆安 编
沈寿春 王淑贤 赵景员 校

科学普及出版社出版 (北京海淀区白石桥路 32 号)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
北京市密云县印刷厂印刷

开本: 787×1092毫米¹/32印张: 20.5 字数: 451千字

1988年6月第1版 1988年6月第1次印刷

印数: 1—4400册 定价: 5.00元

ISBN 7-110-00524-0/G

前 言

当前,我国广大青年为了适应“四化”建设的需要,迫切要求提高科学文化水平。有相当一部分青年已在自学大学物理课程,但不少人因缺乏必要的指导而理解课程不深不透,不能融汇贯通,遇到思考题不知如何回答。也有些人因缺少分析问题和解题的训练,对难度较大的计算题不知从何入手。因此,这些自学大学普通物理的读者,需要有一些着重讲基本概念和解题分析的辅导读物,而这样的书,对在校学生也是应该有教益的。

葛葆安等同志组织汇编的《普通物理概念与解题分析》正是适应上述需要的一套参考书。它有三个特点:第一,在每章前编写了基本原理,内容要点和解题要领,有助于读者总结学过的内容和提高分析问题与解决问题的能力;第二,题量大,来源广,而且每题都给出了一种参考解,可启发读者解题思路;第三,每章都有补充题和答案,可帮助读者对照或校正自己的答卷,以检查是否正确理解学过的理论。

编者是将习题与题解分开汇编的。我希望广大青年读者要先做习题,再看题解,这才是正确的学习方法。

这套书对大学和中学的青年物理教师也是有参考价值的,对更好掌握教学内容和教学方法,提高教学质量会有一定的帮助。

我希望这一套书成为青年学生,青年教师等广大读者的良师益友,帮助他们圆满地完成大学普通物理课程的学习。

周培厚

编 者 的 话

物理学是一门重要的基础科学,在理、工、农、医各专业学习的大学生或准备自修有关大学课程的有志青年,都必须学习普通物理学。我们了解到,不少学生在运用物理学中的概念、定律和公式去解决各种物理问题时,经常会遇到许多具体的困难,特别是那些缺少辅导的读者,困难会更多一些,以致严重影响学习的积极性。为此在天津市物理学会和南开大学物理系的支持和赞助下,我们编写了这套《普通物理概念与解题分析》,帮助他们提高解题能力。本书题解部分是按照全国统编教材教学大纲的要求和顺序安排的,书中的习题主要是从目前国内各种流行教材和美、苏、英等国教材中收集、整理、汇编而成的,共约三千题,其中四分之一左右是思考题。

鉴于习题课教学是整个教学过程中的一个重要环节,本书是按辅助教材形式编写的,并将编者教学的体会和心得贯穿在各章节之中,希望能部分地弥补自学青年缺少课堂教学之不足。

通过演算习题可以帮助学生牢固掌握物理学的基础理论,加强理论联系实际训练和提高分析问题、解决问题的能力。但在演算习题前,一定要弄懂有关的基本概念以求解题时思路明晰、逻辑性强和推理严格。在每章的开头,我们简述了本章的基本概念和要求,以帮助读者复习和抓住重心。每章的解题示例是演算方法指导。

每章的第二部分是题解,仅供读者参考。我们不希望读者

没有通过必要的努力就匆忙去看题解。如若在演算某章习题时经常遇到障碍而需求助于题解，就表明你对本章的基本内容尚未很好理解。这时最好的办法是再认真复习这一章的基本概念直到全部弄通为止。

在本书中我们对思考题做了一些简要回答。其目的仅在于帮助自学读者开扩思路，并借此机会与全国同行商讨这一类题的最佳解答方法。由于是初次尝试，可能有很多不妥之处，恳请读者和专家指教。

为了适应多方面的需要，编者力求多选一些类型不同的习题，并将它们分类汇编，读者可根据需要选作。而解题部分，则注重培养读者的文字方程运算能力。

本汇编分力学、热学及分子物理、电学、光学四部分。

本书在编写过程中，自始至终都得到周培源、严济慈教授和天津市物理学会理事长赵景员教授的关怀和指导，周培源教授在百忙中又为本书写了前言。毋国光教授对本书提供过宝贵意见。南开大学王大燧同志和天津市科协李青同志曾给予多方鼓励和支持。在此一并深表衷心感谢。

光学分册由潘维济编写，葛葆安、翁心光定稿，沈寿春校审。

光学分册共选 500 多题，几乎每题都是生产、科研及生活中所用光学仪器的基本原理，或有关光学的一些现实问题。

目 录

第一部分 基本概念、解题示例和习题

第一章	光的反射和折射	I
第二章	共轴球面系统的近轴成象	33
第三章	光阑	90
第四章	象差	101
第五章	光度学	115
第六章	光学仪器	127
第七章	光波	142
第八章	光的干涉	182
第九章	光的衍射	236
第十章	光在各向异性介质中的传播	278
第十一章	光的吸收、色散和散射	316
第十二章	热辐射	326
第十三章	光子、光的二象性	339

第二部分 题解

第一章	光的反射和折射	351
第二章	共轴球面系统的近轴成象	385
第三章	光阑	452
第四章	象差	458
第五章	光度学	466
第六章	光学仪器	475
第七章	光波	487

第八章	光的干涉	503
第九章	光的衍射	528
第十章	光在各向异性介质中的传播	564
第十一章	光的吸收、色散和散射	608
第十二章	热辐射	613
第十三章	光子	623

附录

表 1	国际单位制(SI)的基本单位	638
表 2	有关物理量的 SI 导出单位	639
表 3	有关常用物理常数表	640
表 4	一些物质在常温常压下对钠黄光折射率 n_D 值	641
表 5	常用的一些波长值	641
表 6	夫琅和费线(太阳吸收线)波长	642
表 7	一些单轴晶体对 5893Å 的 n_o 和 n_e 值	642
表 8	几种常用光学玻璃参数值	643

第一章 光的反射和折射

一、要求

1 建立几何光学中的几个重要概念: 光程、同心光束、理想光学系统、物(实物、虚物)、象(实象、虚象)、物方空间、象方空间等。

2 掌握几何光学中的几个基本定律: 光的直线传播定律、独立传播定律、反射定律和折射定律。

3 掌握和熟练运用平面反射镜面中物和象的对称性质。

4 熟练掌握光的全反射。

5 理解费马原理。

二、基本概念和基本公式

1 几个基本概念

(1) 光程: 在均匀介质中, 光线行经的几何路径的长度 s 与该介质的折射率 n 的乘积称为光在该介质中所走的光程 l

$$l = n \cdot s, \quad \lambda = n \cdot \lambda_0$$

若介质不均匀, 则介质中 A, B 两点之间的光程应运用积分式计算

$$l = \int_A^B n ds$$

这个积分是沿着光线所行经的路径进行的。

介质的折射率 n 是光在真空中的速度 c 与光在该介质中的传播速度 v 之比:

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

光在介质中行经的路径的几何长度 s 所需的时间

$$t = \frac{s}{v} = \frac{c}{v} \cdot \frac{s}{c} = \frac{ns}{c} = \frac{l}{c}$$

所以, 光在介质中行经 s 所需的时间, 与光在真空中行经 l 所需时间相同, 即借助光程这个概念, 可以将光在非真空介质中所行经的路程长度折算为在真空中行经的路程长度. 这样就有可能对光在不同介质中所走的路程的长短进行比较.

(2) 同心光束和象散光束: 有一定关系的一些光线的集合, 称为光束. 自一个发光点发出或会聚于同一点(也可以是延长线会聚于同一点)的许多光线构成的光束称做同心光束. 光线的交点称为该光束的心.

不相交于一点, 但有一定关系的光线的组合称为象散光束.

(3) 理想光学系统: 凡是能将一同心光束变换成另一同心光束, 且它们的心是唯一的一一对应的光学系统称做理想光学系统. 实际光学系统, 除平面反射镜外, 都不是理想光学系统, 同心光束经它们变换后, 成为象散光束.

(4) 物和象: 物是未经光学系统变换前的许多同心光束的心的集合. 象是经光学系统变换后许多出射同心光束的心的集合, 在谈到物或象时, 必须指明它是对那个光学系统而言的, 同一个画面可以是一系统的象, 同时又是另一系统的物.

凡是未经光学系统变换前的同心光束以发散形式入射到该系统的第一个表面者, 则与此同心光束的心对应的物是实物. 若以会聚形式入射到系统的第一个表面, 则对应的物是

虚物(见图 1.1).

经光学系统变换后的同心光束, 若以会聚形式从该系统最后一个表面出射, 则与此同心光束的心对应的象是实象; 若以发散形式出射的, 则成虚象(见图 1.1).

注意: 虚物和虚象都是客观存在, 不是由人们意识虚构的.

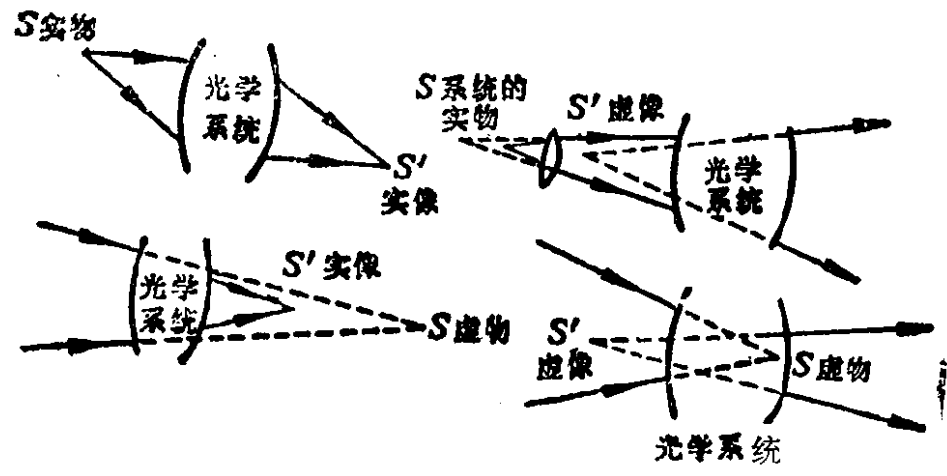


图 1.1

(5) 物方空间和象方空间: 对某一光学系统, 未经它变换前的实际入射同心光束所在的空间称为物方空间, 经系统变换后的实际出射同心光束所在的空间称为象方空间. 物方空间的介质折射率称为物方折射率 n , 象方空间的介质折射率称为象方折射率 n' .

物方空间和象方空间都是可以延拓的, 它们都可以占据由 $(-\infty)$ 到 $(+\infty)$ 的整个空间范围, 且可以是相互重叠的. 要特别注意, 所有的物方量, 例如物距 s 、物方焦距 f , 都永远属于物方空间, 所有的象方量都永远属于象方空间.

2 几何光学的几个基本定律

(1) 光的直线传播定律: 光在均匀介质中是沿直线传播的, 即在均匀介质中, 光线为一直线.

(2) 光的独立传播定律: 自不同方向或由不同物体发出的光线相交时, 对每一光线的独立传播不发生影响。

(3) 光的反射定律: 入射光线、入射点处反射面的法线和反射光线在同一平面内, 且入射光线与法线的夹角 i_1 等于反射光线与法线的夹角 i_1' (图 1.2)。

(4) 光的折射定律: 入射光线、折射光线和入射点处分界面的法线在同一平面内, 且入射光线和折射光线分别位于法线两侧, 入射角 i_1 和折射角 i_2 (图 1.2) 之间有以下关系式:

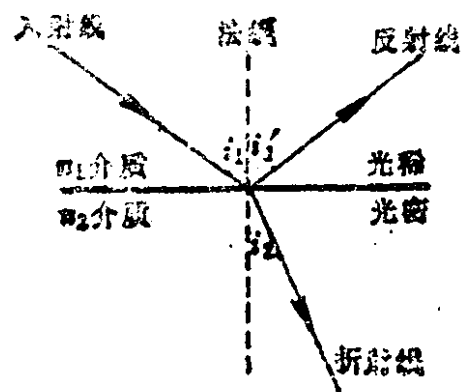


图 1.2

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2,$$

式中 n_1 和 n_2 分别是介质 1 和介质 2 的折射率。

取两种介质比较, 光在其中传播快的介质的折射率 n 一定较小, 称这种介质为光稀介质; 传播慢的介质的折射率 n 一定较大, 称为光密介质。图 1.2 中给出的是光线从光稀介质射向光密介质的情况, 在光密介质中, 光线和法线之间的角度必定较小。

光线行进方向是可逆的。在图 1.2 中, 若光线自第二介质以入射角 i_2 向第一介质入射, 则第一介质中的折射线必定按图 1.2 中所示的入射线的反方向传播, 折射角必定是 i_1 。在反射现象中光的可逆性同样也成立。

(5) 几何光学基本定律的局限性: 以上几个基本定律仅在一定的条件下才成立。在《波动光学》里, 我们将认识到, 光线并不独立传播, 光的反射和折射定律仅在介质分界面的线度和光束的截面线度远远大于光波波长 λ 的情况下才成立, 且它们只给出反射和折射光线的传播方向, 并未涉及光线的

强弱和振动位相。以上提及的情况表明了几何光学中的基本定律的局限性。

3 平面反射镜的物象对称性质

如图 1.3 所示，距平面反射镜 M 前方 d 处有一点光源 S ，它向各个方向发出光线，其中每一条入射到 M 上的光线都将按反射定律进行反射，经 M 反射后的光线好象是从镜 M 后方 d' 处的点光源 S' 发射出来的。一

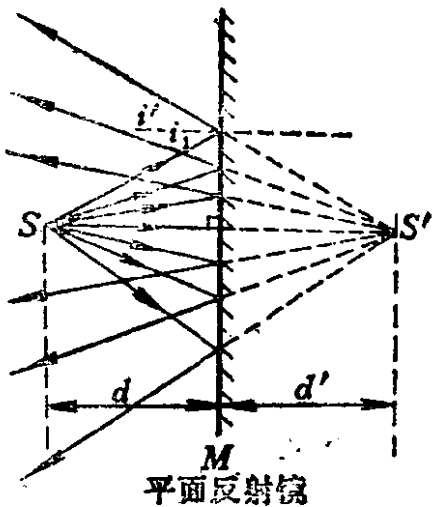


图 1.3

般称 S 为平面镜 M 的物点， S' 是 S 的共轭象点。根据反射定律很容易证明： S 和 S' 距镜 M 的垂直距离 d 和 d' 严格相等，即 S 和 S' 对于 M 是镜面对称的。这个对称性质在

解决与平面镜光反射有关的问题时，是非常有用的和必要的。

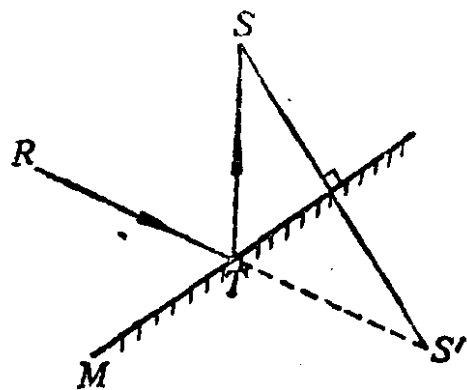


图 1.4

在学习平面反射镜的物象对称性质的基础上，希望能够进一步理解介质空间的性质。若在均匀介质内放置一面反射镜 M ，为了联结由 R 发出，经

平面反射镜 M 反射后射向 S 的实际光线路径，应首先了解 R 和 S 所在空间的性质。 R 所在空间是属于反射前的介质空间，而 S 所在空间却属于反射后的介质空间。虽然反射前的空间和反射后的空间实际上是一个空间，且它们的折射率也必相同，但从概念上讲，它们却是两个不同的空间，所以 RS

之间不能直接联结，需要利用物和象的镜面对称性质进行空间变换。如图 1.4 所示，自 S 引到 M 的垂线，并在其延长线上取等距点 S' ， S' 就是 S 的象点。 S' 在镜 M 后面，但它所在的空间却是属于反射前的介质空间，与 R 所属的空间相同，因此它们之间可以联结。联结 RS' 与 M 交于 T ， T 就是入射点， TS' 为虚光线， RTS 为实际光线行经的路径。由此可知，成象过程是一个空间变换过程。

4 全内反射和临界角 i_c

当光线由光密介质射向光稀介质，若入射角大于或等于临界角 i_c 时，折射光线将不再存在，入射光全部被反射，这种现象称做全内反射现象。

在折射定律中，当 $i_{\text{稀}} = 90^\circ$ 时，其对应的 $i_{\text{密}}$ 为临界角 i_c ，故有

$$i_c = \sin^{-1} \frac{n_{\text{稀}}}{n_{\text{密}}}$$

i_c 必定在光密介质中。

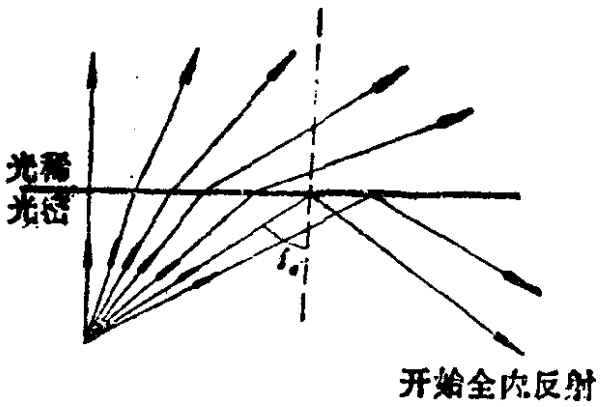


图 1.5

全内反射现象如图 1.5 所示，它广泛应用于各种转向棱镜、正象棱镜、潜望镜和光学纤维之中。

5 色散现象：介质的折射率随光的波长改变的现象。在两种透明介质的分界面上，不同波长的光发生不同的折射而

形成色散,如图 1.6 所示.

通常用色散率 ν 来描述介质的色散特性,它是

$$\nu = \frac{n_D - 1}{n_F - n_C}, \quad \nu \text{ 也称做阿贝数,}$$

其中 n_F 、 n_D 、 n_C 分别是介质对于氢蓝、钠黄、氢红光波的折射率.

6 费马原理

费马原理指出:光沿着光程为极值的路径传播(即光沿着光程值为最小、最大或常量的路径传播).此原理数学上的表述为,光程 l 的定积分的变分为零.即

$$\delta l = \delta \int_A^B n \cdot ds = 0.$$

光程的积分沿光路 AB 进行,它表明光从空间 A 点传到 B 点,可经历任意的(折射率可连续变化或断续变化的)介质组合.

费马原理与光的反射和折射定律有等同的意义,可以从费马原理推得以上两个定律.

在电子光学器件中,由于“折射率”是连续变化的,费马原理将显得更重要.

7 反射光线和折射光线的作图法

已知交界面两侧的均匀介质的折射率分别为 n 和 n' . 若有一入射光线以入射角 i 从 n 侧入射到界面上 O 点,用下面介绍的作图法确定其折射线或反射线的方向,比查表计算的方法简单、直观和实用.

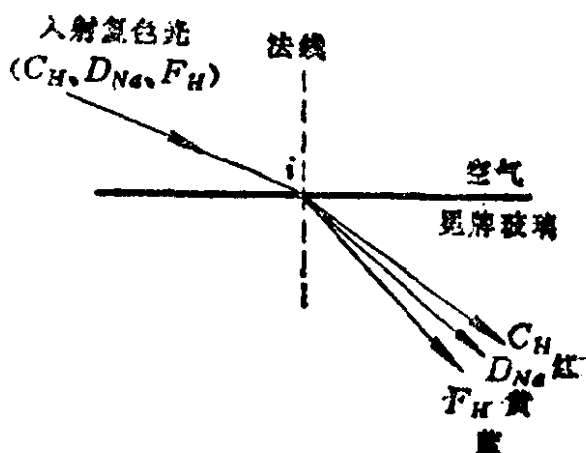


图 1.6

如图 1.7 所示, 以任意长度为单位, 取 n 和 n' 的数值为半径, 入射点 O 为圆心, 以 n 和 n' 长度为半径画圆弧 $\widehat{N}$ 和 $\widehat{N}'$ (设 $n' > n$)。延长

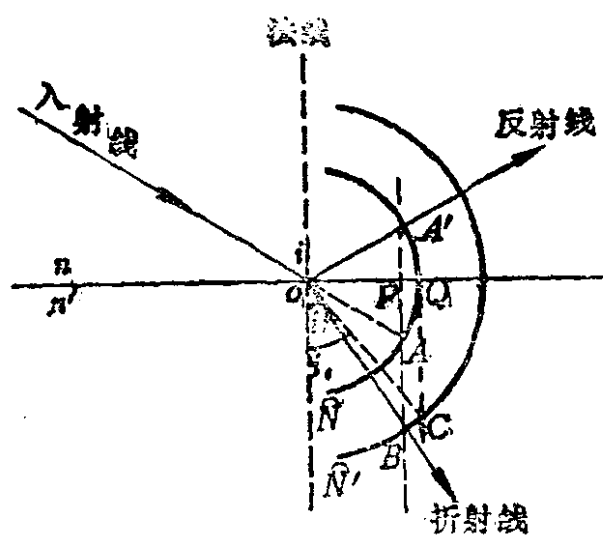


图 1.7

入射线交 $\widehat{N}$ 于 A . 自 A 点作与 O 处法线的平行线交 n 侧的 $\widehat{N}$ 于 A' , 交 n' 侧的 $\widehat{N}'$ 于 B , 则 OA' 和 OB 分别为反射线和折射线的进行方向. 下面将证明上述作图法的正确性.

(1) 因为 $\angle OPA \cong \angle OPA'$, 所以 OA' 即为反射线, 得到与反射定律一致的结果.

(2) 在 $\triangle OAB$ 中应用正弦定理, 有

$$\frac{OA}{\sin i'} = \frac{OB}{\sin \angle OAB},$$

且

$$\frac{OB}{\sin \angle OAB} = \frac{OB}{\sin i} \quad \text{和} \quad OA:OB = n:n',$$

得

$$\frac{n}{\sin i'} = \frac{n'}{\sin i}, \quad \text{即折射定律.}$$

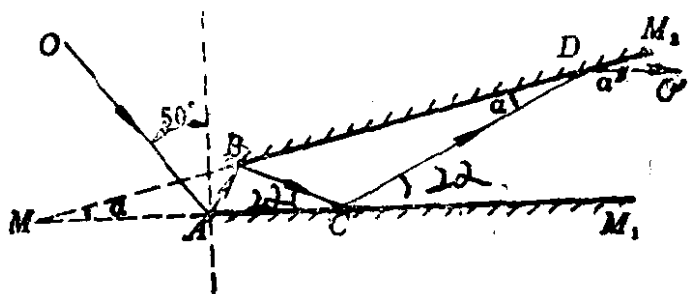
由以上证明可知, 这个作图法与反射定律和折射定律求得的结果等效.

我们还可以用作图法来确定临界角 i_c 的大小. 在图 1.7 中, 从 $\widehat{N}$ 与平面分界面的交点 Q 作与 O 点法线相平行的线交 $\widehat{N}'$ 于 C , 则 OC 与法线之间的夹角, 就是临界角 i_c .

三、解题示例

1.1 两面反射面朝里相对的平面镜 M_1 、 M_2 之间的夹角为 α ，若一条光线以 50° 角从两反射面之间入射到镜 M_1 上，经 M_1 、 M_2 、 M_1 、 M_2 四次反射后的光线与 M_1 平行，试求 α 角。

解 已知两镜反射面相对，入射光线射向镜 M_1 的入射角为 50° 。按题意作例图 1.1，



例图 1.1

入射光线在 A 、 B 、 C 、 D 处作四次反射后，出射光线 DO' 与 M_1 镜面平行。从几何关系和反射定律知

$$\angle M_2 M M_1 = \angle M_2 D O' = \angle M D C = \alpha,$$

$$\angle D C M_1 = \angle M D C + \angle M_2 M M_1 = 2\alpha = \angle B C M.$$

同理可得

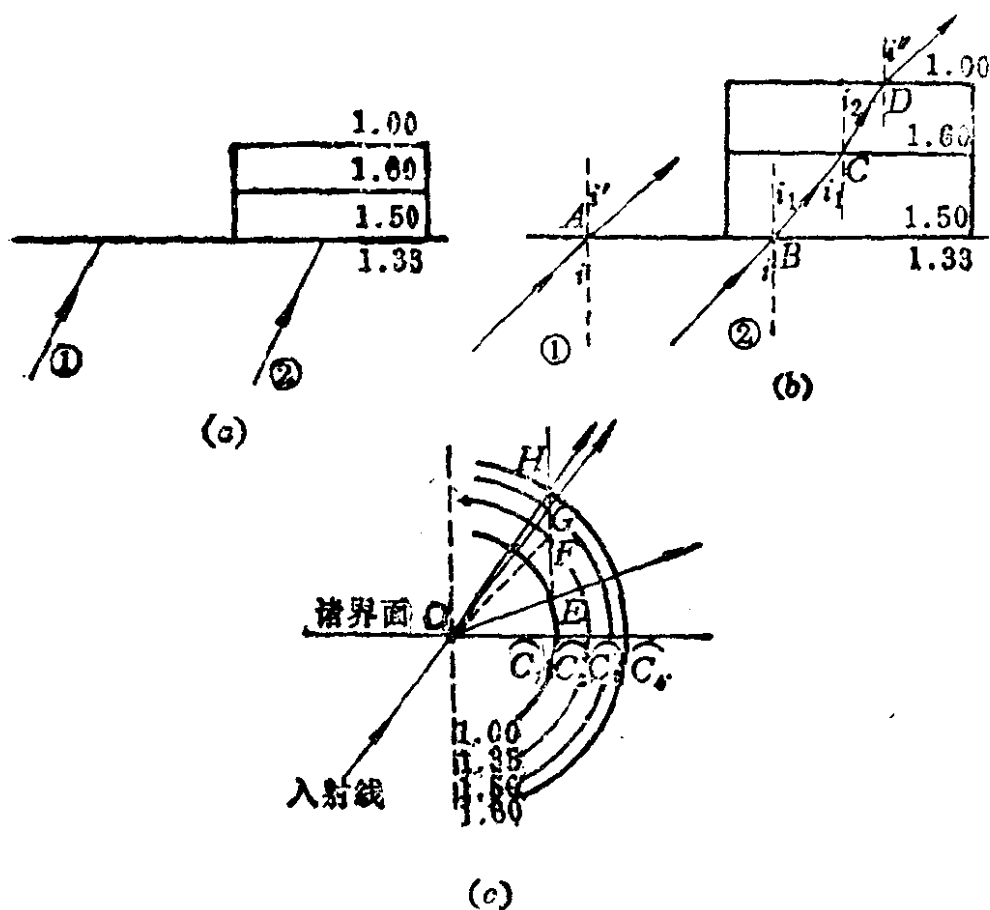
$$\angle C B M_2 = 3\alpha,$$

$$\angle B A M_1 = \angle O A M = 4\alpha = 90^\circ - 50^\circ,$$

$$\therefore \alpha = 10^\circ.$$

从本例中读者可以体会到几何光学中的“几何”两字的真实含义。

1.2 如例图 1.2(a) 所示，在 $n=1.33$ 的水面上叠放着两块表面平行的玻璃块，一块是 $n=1.50$ 的冕牌玻璃，另一块是 $n=1.60$ 的火石玻璃。水中有两条平行的斜入射光线 ①、②，其中 ① 射向空气，② 射向玻璃块，若光线 ① 能透出水面进入 $n=1.00$ 的空气，问光线 ② 能否进入空气？若光线 ① 不能透出水面进入空气，那么光线 ② 是否能进入空气？



例图 1.2

解 解法 1

若光线 ① 能透出水面, 如例图 1.2(b) 所示, 则在 A 处有

$$1.33 \sin i = 1.00 \sin i',$$

由于诸界面是平行表面, 所以光线 ② 在 B、C、D 处的法线相互平行, 从例图 1.2(b) 知, B 处的折射角和 C 处的入射角相等, C 处的折射角和 D 处的入射角相等. 又已知光线 ① 平行光线 ②, 故对光线 ② 可写下列等式,

$$1.33 \sin i = 1.50 \sin i_1 = 1.60 \sin i_2 = 1.00 \sin i'',$$

与 A 处的公式比较, 可得 $i' = i''$, 即光线 ② 也能进入空气, 且其方向与光线 ① 的方向一致.

若光线 ① 不能进入空气, 即在界面处发生全反射, 则水