

普通物理习题解

(光学部分)

天津市物理学会
南开大学物理系

前 言

为了帮助高等院校学生及正在学习大学普通物理学的其他读者的学习，同时也能为大专普物教师提供一些辅导参考材料，天津市物理学会和南开大学物理系组织编写了一套大学普通物理习题解讲义。这套讲义是根据目前国内各种流行教材及某些国外教材收集、整理、编写的。“光学部份”习题除一些自编题外，主要选自

1. 母国光等著“光学”
2. F.A.Jenkins, H.E.white: Fundamental of optics
3. 哈里德等著，李仲卿等译：物理学二卷二册
4. 兰斯别尔格著，王鼎昌译：光学
5. 福里斯著，梁宝洪译：普通物理学三卷一分册
6. 交通大学等十校合编：普通物理学习题集
7. K.A.Toh, s.H.Tan: Objective Questions in Physics for Advanced Level.

题后的括号表示是选自母国光等著“光学”一书中的题号。

考虑到不少学生在解题过程中经常遇到这样或那样的困难，特别是那些自学或通过其它方式学习的读者遇到的困难会更多一些，所以本讲义每章开头都对有关内容的基本概念和规律作出简要的叙述和演算方法指导，供读者参考。

习题后面我们提供了每题的一种参考解法，供读者与自己的解法进行比较。我们提供一种解答方法的另一个目的是希望对那

些解题遇到困难而又不能得到及时辅导的读者给予一些必要的帮助。但是，不希望读者在没有经过必要努力的情况下，匆忙参考题解，如果这样做，本讲义将不会给读者带来更多的益处。

习题课和课外作业是学习过程中一项重要的实践环节，它将帮助学生理解理论概念，牢固学过的知识，达到提高分析问题和解决问题的能力。

为了有较多的选择，我们力争多选一些不同类型的习题，读者可以根据自己的情况进行挑选、演习。

本讲义光学部份由潘维济同志编写，沈寿春教授审校，母国光同志提供过宝贵的意见。由于我们业务水平有限，教学经验不足，再加上时间又很仓促，所以在选题和解法上的缺点和错误一定还不少，内容上也难免有许多不妥之处，希望读者在使用中给予批评指正。

本讲义共分四部份（力学、热学及分子、物理、电学上、下册、光学），其它部份将在年内陆续出版。

发现本讲义有缺点错误之处，请函告南开大学转天津物理学会葛葆安同志，以便再版时改正。

本讲义在编写和出版过程中，承蒙李青、王大遂等同志的大力支持，谨在此表示感谢。

天津市物理学会
南开大学物理系

一九八〇年一月

目 录

第一篇 几何光学..... (1)

第一章 光的反射、折射..... (1)

〔预备知识〕 § 1.1 光的反射定律 (1) ; § 1.2 光的折射定律 (2) ; § 1.3 全内反射和临界角 (3) ; § 1.4 几个重要概念 (4) ; § 1.5 费马原理 (6) 。

〔习 题〕 1.1—1.31..... (6)

〔题解〕 (14)

第二章 共轴球面系统的近轴成像..... (45)

〔预备知识〕 § 2.1, 正负号规定 (45) ; § 2.2, 单一折射球面 (46) ; § 2.3, 单一反射球面 (50) 。

〔习 题〕 2.1—2.21..... (50)

〔题解〕 (53)

〔预备知识〕 § 2.4 共轴球面系统的基点和基面 (74) ; § 2.5 两共轴球面系统的组合基点 (78) 。

〔习题〕 2.22—2.39..... (79)

〔题解〕 (82)

〔预备知识〕 § 2.6 空气中的薄透镜 (102) ; § 2.7 空气中的薄透镜组 (102) 。

〔习题〕 2.40—2.61..... (102)

〔题解〕 (106)

第三章 光 阑.....(128)

〔预备知识〕 § .3.1有效光阑的确定.....(128)

§ .3.2场阑的确定.....(129)

〔习题〕 3.1—3.5.....(129)

〔题解〕(131)

第四章 象 差.....(138)

〔预备知识〕 § .4.1各种象差介绍.....(139)

§ .4.2校正球差、色差的条件.....(140)

〔习题〕 4.1—4.7.....(141)

〔题解〕(142)

第五章 光度学.....(150)

〔预备知识〕 光度学里的基本物理量.....(150)

〔习题〕 5.1—5.6.....(152)

〔题解〕(153)

第六章 光学仪器.....(158)

〔预备知识〕 § .6.1人眼 (158) ; § .6.2放大镜 (158);
§ .6.3目镜 (159) ; § .6.4显微镜 (159) ; § .6.5望远镜
(159) 。

〔习题〕 6.1—6.17.....(160)

〔题解〕(163)

第二篇 波动光学.....(175)

第七章 光的干涉.....(176)

〔预备知识〕 § 7.1 惠更斯原理 (176); § 7.2 光的相干条件 (176); § 7.3 干涉光强分布规律 (177)。

〔习题〕 7.1—7.18 (178)

〔题解〕 (182)

〔预备知识〕 § 7.4 薄膜干涉 (193); § 7.5 迈克尔逊干涉仪 (194); § 7.6 法白利——珀罗干涉仪 (194)。

〔习题〕 7.19—7.40 (194)

〔题解〕 (200)

第八章 光的衍射 (216)

〔预备知识〕 § 8.1 惠更斯——费涅耳原理 (216); § 8.2 费涅耳半波带法讨论园孔衍射 (217); § 8.3 方和斐单缝衍射 (218); § 8.4 方和斐园孔衍射 (219)。

〔习题〕 8.1—8.16 (220)

〔题解〕 (223)

〔预备知识〕 § 8.5 瑞利判据 (236); § 8.6 光学仪器的分辨本领 (237); § 8.7 衍射光栅 (238)。

〔习题〕 8.17—8.43 (241)

〔题解〕 (246)

第九章 光的偏振 (264)

〔预备知识〕 § 9.1 五种光 (264); § 9.2 两个互相垂直的简谐运动的叠加 (266); § 9.3 费涅耳四个公式 (266); § 9.4 马留斯定律 (269)。

〔习题〕 9.1—9.23 (269)

〔题解〕 (274)

〔预备知识〕 § 9.5 晶体的光学性质 (297); § 9.6 晶体

做成的偏振仪器 (299); § 9.7 平面偏振光垂直通过波片后的偏振状态 (303); § 9.8 偏振光分析 (303)。

〔习题〕 9.24—9.42.....(304)

〔题解〕(308)

第十章 光的速度.....(331)

〔预备知识〕 § 10.1 光行差 (331); § 10.2 相速和群速 (332); § 10.3 多普勒效应 (334)。

〔习题〕 10.1—10.8.....(335)

〔题解〕(336)

第十一章 光的吸收、色散和散射.....(341)

〔预备知识〕 § 11.1 光的吸收 (341); § 11.2 光的色散 (342); § 11.3 光的散射 (343)。

〔习题〕 11.1—11.6.....(344)

〔题解〕(345)

第三篇 量子光学.....(350)

第十二章 热辐射、氢原子光谱.....(350)

〔预备知识〕 § 12.1 热辐射特点 (350); § 12.2 单色辐射本领和吸收本领 (351); § 12.3 热辐射的基尔霍夫定律 (352); § 12.4 黑体与灰体 (352); § 12.5 黑体辐射定律 (353)。

〔习题〕 12.1—12.11.....(354)

〔题解〕(356)

〔预备知识〕 § .12.6 氢原子光谱线系的规律性 (364)

〔习题〕 12.12—12.18..... (366)

〔题解〕 (367)

第十三章 激 光..... (374)

〔习题〕 13.1—13.5..... (374)

〔题解〕 (375)

第十四章 光子及波粒二象性..... (380)

〔预备知识〕 § .14.1 光电效应 (380) ; § .14.2 康普顿效应 (381) ; § .14.3 光子特性 (382) ; § .14.4 德布罗意实物波 (382₂) ; § .14.5 测不准关系 (383) 。

〔习题〕 14.1—14.18..... (383)

〔题解〕 (385)

结尾部份——思考题和检查题..... (396)

思考题 (1—37) (396)

题解..... (401)

检查题 (1—37) (413)

答案..... (427)

第一篇 几何光学

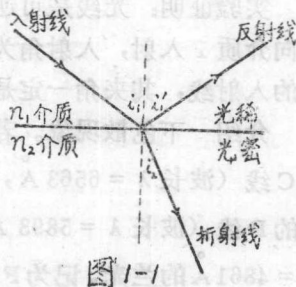
几何光学是光学里最先发展起来的一支。它是以“光线”这一工具来研究光在介质中的传播、走向以及物和象的成象关系。所谓光线，就是光能传播方向的几何线，它不是客观存在，和电力线、磁力线一样，是一种概念性的工具。在这一篇里，我们基本上遇到的是均匀介质。分六章来讨论。第一章“反射与折射”，是几何光学的基础，是几何光学的出发点。第二章“球面共轴系统成象问题”是几何光学的中心内容，是最重要的一部份。第三章介绍了各种象差，它们是实际光学系统所必然存在的，而且是必须被克服的问题。第四章介绍两种光阑的作用，和确定方法。第五章光度学里，介绍几个物理量。第六章“光学仪器”，则是几何光学的综合部分。现在我们来逐章讨论。

第一章 光的反射、折射

〔预备知识〕

§. 1·1. 光的反射定律

光在均匀介质中是独立地、直线传播的。当各种波长的光入射到两个均匀介质的分界面上时，必有一部份光能，从界面上反射回原介质中。入射光线和界面上入射点的法线组成了入射面（见图 1-1，此入射面即纸面），入射线与法线



间形成的角叫入射角为 i_1 ，则反射光线一定在入射面内，和入射线在同一介质中，分居法线两侧，且入射角 i_1 等于反射角 i_1' 。这就是光的反射定律。

§. 1.2. 光的折射定律

1621年史奈耳提出，当光线从均匀介质 1 以入射角 i_1 入射到均匀介质 1 和 2 的分界面上时，将有一部分光能折入介质 2 中，是谓折射现象。折射线一定在入射面内，和入射线分处两个不同的介质，分居法线两侧，折射线方向由下式确定：

$$n_1 \sin i_1 = n_2 \sin i_2 \dots\dots\dots (1.1)$$

式中 i_1 为入射角， i_2 为折射线和法线的夹角叫折射角。 n_1, n_2 为介质 1、2 的折射率，它定义为

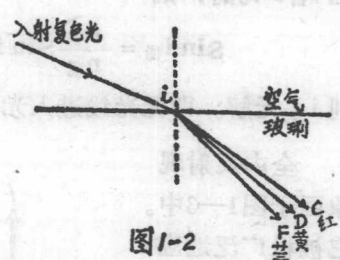
$$\text{介质折射率 } n = \frac{\text{光在真空中的传播速度 } C}{\text{光在介质中的传播速度 } V} \dots\dots\dots (1.2)$$

由于 $C = 3 \times 10^{10}$ 厘米/秒，比 V 要大，所以 $n > 1$ 。折射率 n 是描写介质的一个重要物理量，是入射光波长 λ 的函数。拿两种介质相比，光传播快的其折射率 n 一定较小，称为光稀介质；光传播速度较慢的，其折射率 n 一定较大，称为光密介质。图 1—1，中为光稀射向光密介质时的折射情形，在光密介质中光线和法线的角度必定较小。

实验证明：光线是可逆的，即在图 1—1 中，若光线自介质 2 向介质 1 入射，入射角为 i_2 ，则介质 1 中的折射线必定是原来的入射线，其夹角一定是 i_1 。同样反射线也是可逆的。

介绍一下色散现象。若一条光线是由复色光组成，例如由氢的 C 线（波长 $\lambda = 6563 \text{ \AA}$ ， $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$ 厘米，是红光记为 C_H ，钠的 D 线（波长 $\lambda = 5893 \text{ \AA}$ 的黄光记为 D_{Na} ）和氢的 F 线（波长 $\lambda = 4861 \text{ \AA}$ 的蓝光，记为 F_H ）组合而成，它们以同一入射角 i 从

空气（其 n 接近为 1.000）入射到冕牌玻璃上，则因冕牌玻璃对 C、D、F 线的折射率不一样（ $n_C = 1.520$, $n_D = 1.523$, $n_F = 1.529$ ），所以在冕牌玻璃中将以不同的折射角折射而形成色散。一般地说，波长短的光，传播速度较慢，折射率较大，折射得厉害，所以比较靠近法线（图 1-2）。



光的直线传播定律，独立传播定律，反射定律，折射定律都是相对真理，是在一定条件之下成立的，在第二篇波动光学里，我们看到光并不独立传播，会发生干涉现象；光并不直线传播，而会有衍射现象，光的反射、折射定律祇有在分界面较大的情况下才近似成立，并且它们仅仅叙述了反射、折射光线的走向而并未涉及到光的强弱及振动状态，这就是几何光线的局限性。

§. 1.3. 光的全内反射与临界角

全内反射现象发生在光密射向光稀的情况，当入射角 $i_1 \geq$ 临界角 i_c 时，光能将 100% 地反射回光密介质中去，而不进入光稀介质*，事实上我们从折射定律（1.1）出发：

$$n_{\text{密}} \sin i_{\text{密}} = n_{\text{稀}} \sin i_{\text{稀}}$$

当 $i_{\text{稀}} = 90^\circ$ 时，此时的 $i_{\text{密}}$ 称为临界角 i_c 、即

$$i_c = \sin^{-1} \frac{n_{\text{稀}}}{n_{\text{密}}} \quad \dots\dots\dots (1.3)$$

* 量子力学理论说明光能将进入光稀介质一定的深度重新返回光密介质中去。

当 $i_{\text{密}} > i_c$ 时, 则

$$\sin i_{\text{稀}} = \frac{n_{\text{密}}}{n_{\text{稀}}} \sin i_{\text{密}} \text{ 将大于 } 1,$$

则 $i_{\text{稀}}$ 无解。即无光线进入光稀介质。

全内反射现象画于图1—3中。它被极广泛地应用于各种转向棱镜、正象棱镜、潜望镜和光学纤维之中。

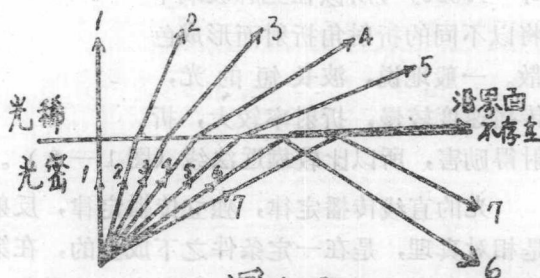


图 1-3

§. 1.4. 几个重要概念

(1) 光程: 设光在介质 n 中所走过的几何距离为 d , 则其所花费的时间为 $t = \frac{d}{v} = \frac{d}{c/n}$. 用这相同的时间, 问光在真空中

走了多少距离 L ? 显然 $L = c \cdot t = c \cdot \frac{d}{c/n} = n \cdot d$.

这一 L 就是 n 介质中 d 距离的光程。借助于光程这个概念, 我们可将光在非真空介质所走的几何路程折算为光在真空中的路程长度, 这样就可以对光在不同介质中所走的路程的光程进行比较。在以后“光的干涉”的学习中这一比较是解题的关键。

(2) 同心光束: 有一定关系的一些光线的集合, 称为光束。自一发光点发出的光束, 会聚于一点的光束, 好像发自一点的光束, 和要会聚于一点, 但未会聚至该点的光束, 皆称为同心光束。

另一种光束，是不相交于一点、但又有一定关系的光线的组合，称为象散光束。

(3)理想光学系统：光学系统是用以变换光束的，其中有很多反射面，折射面被各种不同的均匀介质所分隔，光束经过每一面时要折射或反射，就成为另一个光束。凡是能将变换前的同心光束经变换后成为另一个同心光束，而且变换前的同心光束的心，和变换后的心是一一对应的、唯一的，这样的光学系统叫做理想光学系统。实际的光学系统除平面反射镜外全不是理想光学系统，同心光束经它们变换后就成为象散光束了。

(4)物：物是未经变换前无穷多个同心光束的心的集合。实物乃是实际发光点的集合，或是好象由发光点发出来的许多发光点的集合。虚物乃是要会聚到一点但实际未会聚于一点的同心光束的心集合（见图1—4例）。

(5)像：像是经系统变换后的无穷多个同心光束的心的集合。光束实际通过的心的集合为实像；如果是光束延长线的交点的集合则称为光学系统的虚像（见图1—4例）。

所有物和像都必须对某一光学系统而言，同一个画面可以是某一系统的物，但却可以是另一系统的像。要谈到物和象，必须先把光学系统提出来。再者，虚物象都是客观存在，而不是人的意识虚构的。因为虚物、虚象的客观存在，人们才意识到它。

(6)物方空间和象方空间：是针对某一光学系统而言的。未经变换前入射同心光束的所在空间称为物方空间，而不要认为是物所在的空间，物方空间的介质折射率称为物方折射率 n 。经系统变换后的出射同心光束所在的空间称为像方空间，其所在介质的折射率 n' 称像方折射率 n' 。象方空间不一定是象的所在空间，而是出射的同心光束所在空间。

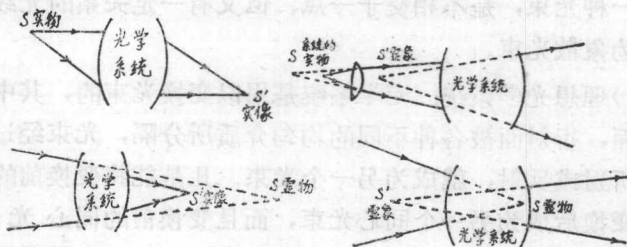


图 1-4

§. 1.5. 费马原理

1650年法国数学家费马对光的传播作了一个概括性的原理的叙述：光从空间一点A到另一点B，中间经历任意的折射率可断续或连续改变的介质组合，光总是沿着光程为极值的路程传播的，即其光程不是极大值，便是极小值，或和邻近路线的光程比起来是相等的、且是一个常数。费马原理的数学表达式为光程L定积分的变分等于零，即

$$\delta L = \delta \int_A^B n ds = 0$$

式中 n 为路程 S 的函数

用费马原理可以说明光的反射、折射定律（见题 1.30），也是几何光学成象时所必须遵循的。在电子光学器件里，由于相应折射率是连续变化的，费马原理将更为有用。

〔习 题〕

1.1. 已知光在真空中的速度为 3×10^8 米/秒，试求光在下列各介质中的速度。水 ($n = 1.33$)，冕玻璃 ($n = 1.50$)，重火石玻璃 ($n = 1.65$)，加拿大树胶 ($n = 1.53$)。

(2. 1)

1·2. 若光由介质A向介质B折射, B对于A的相对折射率定义为: $n_{BA} = \frac{\text{光在介质A中的速度 } V_A}{\text{光在介质B中的速度 } V_B}$ 。试求下列各情况的相对折射率。

(1) 光从水到冕玻璃; (2) 光从水到重火石玻璃; (3) 光从加拿大树胶到冕玻璃; (4) 光从冕玻璃到加拿大树胶; (5) 光从空气到重火石玻璃。 (2·2)

1·3. 两平面反射镜 M_1 、 M_2 夹角为 α , 反射面朝里对着。今在两反射镜之间有一条光线以 50° 入射角入射到 M_1 反射镜上, 经 M_1 、 M_2 、 M_1 、 M_2 四次反射后, 最后的反射线与 M_1 平行, 求 α 角。

1·4. 试用作图法证明: 人通过平面镜看到自己的全身, 平面镜的长度至少要有入身高的一半。 (3·1)

1·5. 证明: 在入射线方向不变的情况下, 当平面镜绕入射点垂直于入射面的轴旋转 α 角时, 反射光线将改变 2α 角。 (3·3)

1·6. 在平面反射镜前一米远处屏幕上, 正对镜子的地方开一小孔, 并在孔后放一点光源。问当平面镜转动多大角度时, 幕上的光斑将移动5厘米? (3·4)

1·7. 两平面镜以其边缘相接构成一个基本上是一个平面的双面镜。一个人在离镜7.2米远处向镜观看, 他看到自己的脸有两个像并且紧紧相接。若人脸宽为20厘米, 试求两平面镜的夹角 α 。 (3·2)

1·8. 如图1—5。A球坐标为 $A(x_1, y_1)$, B球坐标为 $B(x_2, y_2)$ 。问A球向Y墙何处打去, 能在Y轴、X轴相继碰壁反射后, 正中B球?

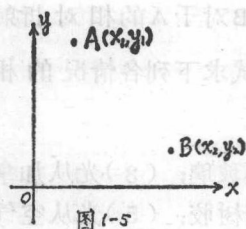


图 1-5

1·9. 图 1—6 中分界面两侧的介质折射率分别为 n 及 n' ，入射线 OA 在 n 介质中以入射角 i 入射，为确定光线在 n' 介质中的折射方向，用下列作图法。这一方法比查表计算要简单、又直观实用。

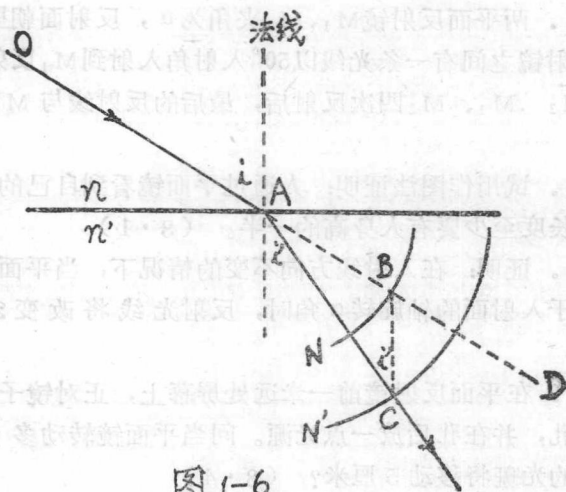


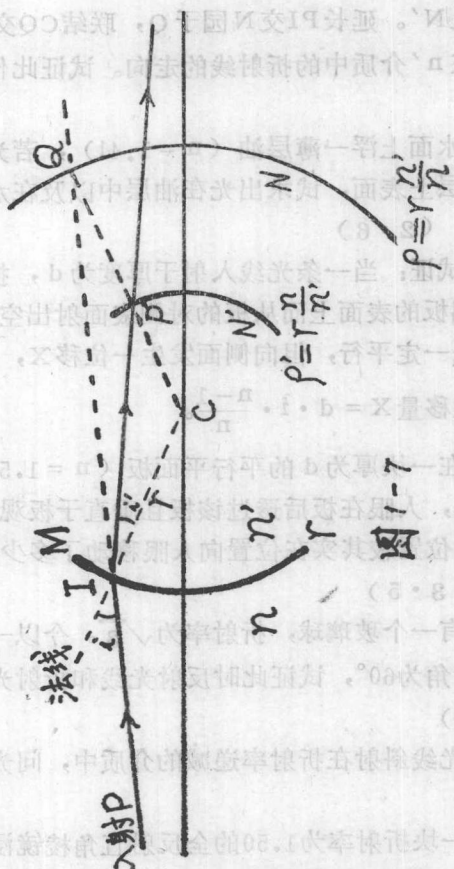
图 1-6

在入射点 A 处以任意长度单位，取 n 、 n' 为半径， A 为中心在介质 n' 中作出圆 $\widehat{N}$ 、 $\widehat{N}'$ ，延长 OA 交 $\widehat{N}$ 于 B ，自 B 作 A 处法线的平行线交 $\widehat{N}'$ 于 C ，联结 AC 即为折射线的方向。

试证：这一方法的正确性；

并以此法定临界角 i_c 的大小；

以此法确定反射线的方向。



1·10. 如图 1—7。有一单一折射球面，半径为 r ，分隔物方折射率 n 、像方折射率 n' 为两部。有一任意光线 P 以任意入射角 i 自 n 方射来，入射点为 I 。为确定此光线在 n' 介质中的走向，可以球面中心 C 为园心，以 $\rho = r \frac{n'}{n}$ ， $\rho' = r \frac{n}{n'}$ 为半径