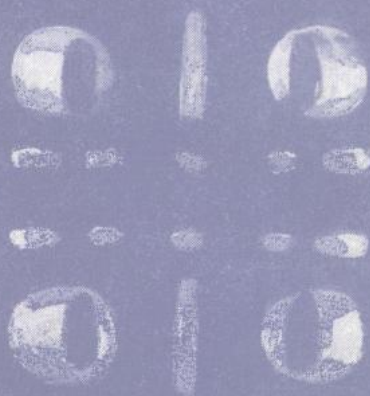


M. YOUNG 著

# 光学和激光器

洪晶 阮尚弘 合译



高等教育出版社

73.771  
661

# 光学和激光器

M. Young 著  
洪晶 阮尚弘 合译



高等教育出版社  
1983

8510011

本书根据西德 Springer-Verlag 出版的 M. Young 著《光学和激光器》1977年第一版译出。这是国外一本比较新的应用光学课本，书中着重讲述原理、应用和仪器，侧重于激光器、全息术和相干光。还介绍了近代光学的几个方面。本书有一定深度，内容份量比一般大学课本多一些，但回避了过多的数学。各章有少量习题，书末附有参考读物目录。

译稿经殷大钧校订，最后由洪晶定稿。

本书可作我国工科院校、电视大学教学参考书。

D052/05

## 光学和激光器

M. Young 著

洪晶 阮尚弘 合译

\*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

\*

开本 850×1168 1/32 印张 8.25 字数 196,000

1983年2月第1版 1984年7月第1次印刷

印数 00,001—7,000

书号 13010·0855 定价 1.25元

1100128

## 绪 言

在过去十多年中,光学领域有了很大的变化.需要一本俯瞰整个这一领域的实用课本,一部分原因是近代光学的很多方面具有应用或工程的性质.这样一本书不应该是一本经典光学课本,而应该着重于原理、应用和仪器,着重于激光器、全息术和相干光.另一方面,这本书应该少涉及那些公认的趣味现象,如虹的形成或光速的精确测定等.

因此,我的目的一直是要写一本概括应用和工程光学的最新课本,包括可称为近代光学的激光器和某些其他领域.我试图用足够的深度来讲述每一课题,从而给出这个课题的重要工程意义,同时尽可能避免不必要的数学细节.由于我用了一种非常一般的方式介绍应用光学(其内容比我可能在一门大学课程中要编入的多得多),本书对那些经常以光学为工作对象的应用物理工作者或工程师,应该是一本有用的手册.本书任一部分材料都适用于大学生光学导论课程;全书整个内容对缺少光学基础的研究生或实用科学家都是有用的.

本书的基础是我在任索里尔工科大学(Rensselaer Polytechnic Institute)电机系和在加拿大滑铁卢大学(University of Waterloo)物理系开过几次的一学期课程讲稿,那时我还没有参加国家标准局的电磁组工作.所开的课程多数是二年级或四年级水平;我曾从我所开的激光和有关领域的研究生课程中汲取很多补充材料.为了使这本书对尽可能多的读者有用,书中还包括了复指数表示、波的迭加和原子能级等这样一些课题的简短回顾.

本书只在需要对某一课题有较深入的理解时才少量地给出参

考书。本书中插有一些习题，习题是为了帮助读者加深理解，有时也是为了导出一个有用的结果。当一个习题的解给出某一重要结论或公式时，我一定提供答案。本书的某些部分基本上是叙述性的，这些部分的习题就比较少。

第1章“射线光学”是为了完整地理解第2章中引入的光学仪器所需要的内容。这些光学仪器几乎完全用近轴近似来论述，因为我假定，不是这方面的专家对于象差理论的实际兴趣是很小的。

在第2章“光学仪器”中包括人眼的重要光学部分，略去生理和心理两方面的大部分内容。除了详细讨论望远镜和显微镜外，还包括了照相机的全部光学系统以及照相感光乳胶的主要性能。在这部分，强调了分辨率的理论极限、有用的放大率和空放大率。最后讨论了光波导及其在光通讯中的地位。

第3章“光源与探测器”中，先以通用的单位、符号和名词讨论辐射度学与光度学，然后讨论黑体、连续谱源和谱线源。这一章的最后一节讲可见光谱和近红外光谱范围的探测器。

第4章“波动光学”中，有意忽略了电磁场理论。本章讨论了干涉和衍射的原理，包括相干性和分辨率。用菲涅耳衍射理论来理解全息术中波带片的作用，有意略去涉及相干性的详细理论。

第5章“干涉量度学及其有关领域”中，讨论了衍射光栅和干涉仪，还讨论了多层介质反射镜及干涉滤波片。第6章讨论了全息术和光信息处理，在光信息处理一节中包括显微镜的阿贝理论和泽尼克相衬显微术。第6章的结尾论述了传递函数和调制传递函数(MTF)。

第7章“激光器”，旨在介绍有关激光器和光谐振腔的一些名词和概念。有关激光器抽运的动力学和输出特性的讨论，主要限于光抽运激光器，以这种激光器为例说明其它类型激光器。然后论述了连续的、脉冲的、调Q的和锁模的激光器，光谐振腔，稳定

度和高斯光束传播。本章最后描述了最主要的固体、液体和气体激光器。

最后一章“电磁和偏振效应”中，先讨论传播、反射、全反射和布儒斯特角。接着讨论偏振、双折射和波片，然后是非线性光学，谐波的产生和光混频。第8章的末尾是有关电光、磁光和声光效应。

**Boulder, Colorado, 1977年7月 M. Young**

# 目 录

<b>第 1 章 射线光学</b> .....	1
§ 1.1 反射和折射.....	1
折射.....	1
折射率.....	1
反射.....	3
全内反射.....	3
反射棱镜.....	4
§ 1.2 成象.....	5
球面.....	5
物象关系.....	7
正负号规则的运用.....	9
透镜方程.....	9
透镜和象的分类.....	12
球面反射镜.....	13
厚透镜.....	14
象的构成.....	16
放大率.....	17
牛顿形式的透镜方程.....	19
拉格朗日不变量.....	20
象差.....	21
<b>第 2 章 光学仪器</b> .....	23
§ 2.1 眼睛(看作一种光学仪器).....	23
§ 2.2 简单照相机.....	26
照相乳胶.....	27
感光术.....	29
分辨本领.....	32
视场深度.....	32
§ 2.3 投影系统.....	33
§ 2.4 简单放大镜.....	35

§ 2.5	显微镜	37
§ 2.6	望远镜	38
	光瞳和光阑	38
	视场光阑	40
	地面望远镜	41
§ 2.7	光学仪器的分辨本领	42
	照相机	42
	望远镜	43
	显微镜	44
§ 2.8	光波导	46
<b>第 3 章</b>	<b>光源和探测器</b>	<b>49</b>
§ 3.1	辐射度学和光度学	49
	辐射度学单位	49
	光度学单位	51
	点源	53
	扩展源	53
	漫反射面	54
	象的光照度	55
	象的发光率	58
§ 3.2	光源	59
	黑体	60
	色温和亮温	64
	谱线源	64
	发光二极管(LED)	67
§ 3.3	探测器	69
	量子探测器	69
	热探测器	75
	探测器的性能参数	77
<b>第 4 章</b>	<b>波动光学</b>	<b>82</b>
§ 4.1	波	82
	电磁波	83
	复指数函数	84
§ 4.2	波的迭加	85



§ 4.3 波阵面分割的干涉	86
双缝干涉	86
多缝干涉	89
§ 4.4 振幅分割的干涉	90
双光束干涉	91
多次反射的干涉	92
§ 4.5 衍射	94
单缝衍射	97
有限宽缝之间的干涉	98
菲涅耳衍射	99
远场和近场	102
巴俾涅原理	105
§ 4.6 相干性	105
时间相干性	107
空间相干性	109
热光源的相干性	110
§ 4.7 理论分辨极限	111
双点的分辨	111
相干照明	112
漫射相干照明	113
<b>第 5 章 干涉量度学及其有关领域</b>	<b>117</b>
§ 5.1 衍射光栅	117
炫耀光栅	118
色分辨本领	119
§ 5.2 迈克耳孙干涉仪	120
特外曼-格临干涉仪	122
§ 5.3 法布里-珀罗干涉仪	123
色分辨本领	123
自由光谱范围	125
§ 5.4 多层膜反射镜和干涉滤波片	126
四分之一波层	126
多层膜反射镜	128
干涉滤波片	128

<b>第 6 章 全息术和傅里叶光学</b> .....	129
§ 6.1 全息术.....	129
离轴全息术.....	132
用波带片的解释.....	134
振幅全息图和位相全息图.....	135
厚全息图.....	136
§ 6.2 光学处理.....	137
阿贝理论.....	138
傅里叶级数.....	140
傅里叶变换光学.....	143
空间滤波.....	144
相衬.....	147
匹配滤波器.....	149
§ 6.3 传递函数.....	151
脉冲响应.....	151
光学传递函数.....	152
相干传递函数.....	154
衍射受限传递函数.....	154
照相底片的MTF(调制传递函数).....	156
<b>第 7 章 激光器</b> .....	158
§ 7.1 光的放大.....	158
光放大器.....	160
§ 7.2 光抽运激光器.....	162
输出功率.....	164
调Q激光器.....	165
锁模激光器.....	167
§ 7.3 光学谐振腔.....	169
横向波模.....	172
高斯光束.....	174
稳定性图.....	176
激光光源的相干性.....	177
§ 7.4 几种激光器系统.....	179
红宝石激光器.....	179

钕激光器	181
有机染料激光器	183
氨-氟激光器	184
离子激光器	186
CO <sub>2</sub> 激光器	187
其他气体激光器	188
半导体激光器	188
<b>第8章 电磁效应和偏振效应</b>	<b>190</b>
§ 8.1 反射和折射	191
传播	191
布儒斯特角	191
反射	192
内反射	194
两种光密媒质的分界面	195
金属面的反射	195
§ 8.2 偏振	195
双折射	196
波片	198
格兰-汤普森棱镜和尼科耳棱镜	200
二向色偏振片	201
旋光性	202
§ 8.3 非线性光学	202
第二谐波效应	203
位相匹配	204
光混频	205
§ 8.4 电光学、磁光学和声光学	207
克尔效应	207
泡克尔斯效应	208
电光光调制	210
声光光束偏转	211
法拉第效应	212
<b>参考书目</b>	<b>214</b>
<b>索引</b>	<b>218</b>

# 第1章 射线光学

## § 1.1 反射和折射

在本章中,把光束看成沿直线传播的射线或光线,只是在不同材料的分界面上,光线才能弯曲或折射.在发现光的波动本质以前,这种把光束看成沿直线传播的近似看法一直被认为是完全准确的,对于透镜光学和光学仪器,这种看法导致大量有用的结果.

**折射** 当光线以某一角度射到两种透明媒质的光滑分界面时,将发生折射.每一种媒质都可用一个折射率  $n$  来表征,这是说明光在媒质分界面上折射程度的有用参数.空气(准确些说应是真空)的折射率任意地取作 1,并方便地认为  $n$  是一个由实验测定的参数.我们现在知道,  $n$  的物理意义是在真空中的光速对在媒质中光速的比率.

假设图 1.1 中的光线在  $O$  点入射到分界面上.不论入射光线对分界面的倾角如何,光线都按下式折射:

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

式中  $n$  是第一媒质的折射率,  $n'$  是第二媒质的折射率,入射角  $i$  是入射光线与分界面法线的夹角;折射角  $i'$  是折射光线与法线的夹角.方程(1.1)叫做**折射定律**,即**斯涅耳定律**.

**折射率** 在波长自 400 到 700nm 的可见光谱区内,大多数普通光学材料都是透明的,对波长较短的光(通常是 200nm 或更短),这些材料呈现强吸收作用.

一种给定材料的折射率不是与波长无关,通常是随着波长的

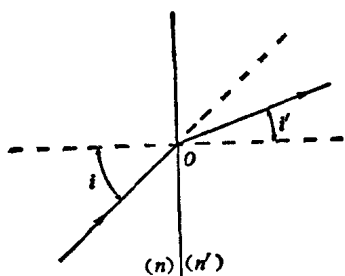


图 1.1 分界面处的折射

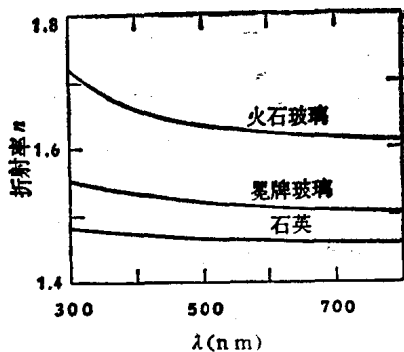


图 1.2 几种材料的折射率和波长的关系

缩短而稍稍增大(在 200nm 的吸收带边缘附近, 玻璃的折射率增大得很快)。这一现象叫做色散; 图 1.2 给出几种常用材料的色散曲线。利用色散, 就可用棱镜来显示光谱; 色散还会引起透镜性质随波长而变化, 这些变化是有害的。

光学玻璃通常用折射率  $n$  (见表 1.1) 和色散率  $\nu$  来分类,  $\nu$  的定义如下:

表 1.1 各种光学材料的折射率

材 料	折 射 率 $n_D$	材 料	折 射 率 $n_D$
空气	1.0003	加拿大树胶	1.53
水	1.33	氯化钠	1.54
甲醇	1.33	轻火石玻璃	1.57
乙醇	1.36	二硫化碳	1.62
氟化镁	1.38	中火石玻璃	1.63
熔融石英	1.46	重火石玻璃	1.66
派热克斯玻璃	1.47	蓝宝石	1.77
苯	1.50	超重火石玻璃	1.73
二甲苯	1.50	极重火石玻璃	1.89
冕牌玻璃	1.52	硫化锌(薄膜)	2.3
		二氧化钛(薄膜)	2.4—2.9

$$v = \frac{n_F - n_C}{n_D - 1} \quad (1.2)$$

下标  $F$ 、 $D$  和  $C$  相应于一定的短、中、长波长(蓝、黄、红)的折射率。

**反射** 某些高度抛光的金属表面和其他界面，都能反射全部或几乎全部入射到面上的光。此外，普通的透明玻璃只能反射百分之几的入射光而透过其余部分。

图 1.3 描绘了一个反射面。入射角是  $i$ ，反射角是  $i'$ 。实验指出，除了极少数特殊情况，入射角都等于反射角。后面我们将按惯例，把如图所示的  $i$  定为正值；就是说，当从法线到光线的锐角是逆时针转向时， $i$  是正值。很明显， $i'$  的正负与  $i$  相反。因此反射定律可写作

$$i' = -i \quad (1.3)$$

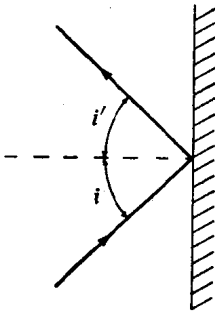


图 1.3 分界面上的反射

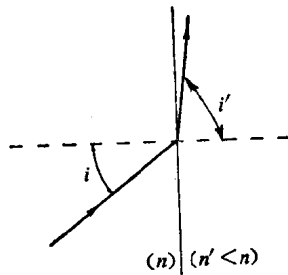


图 1.4 临界角附近的折射

**全内反射** 现在考虑光线从高折射率一边入射到界面上的情况，例如从玻璃到空气(不是从空气到玻璃)。这就叫做内折射。折射定律指出，在这种情况下，入射光线通过分界面后将折离法线(图 1.4)。因此，当入射角为某一值时，折射光线将刚好与分界面平行。这时  $i' = 90^\circ$ ，折射定律成为

$$n \sin i_0 = n' \sin 90^\circ \quad (1.4)$$

$i_c$  叫做临界角。因为  $\sin 90^\circ = 1$

$$\sin i_c = (n'/n) \quad (1.5)$$

如果  $i$  超过  $i_c$ , 则  $n \sin i > n'$ , 即折射定律要求  $\sin i'$  大于 1, 但这是不可能的。因此我们只能说, 在这种情况下, 不发生折射。光不能单纯地消灭, 所以光必定全部反射, 这是不足怪的。实际情况正是如此。这种现象叫做全内反射, 它发生在

$$i > \sin^{-1}(n'/n) \quad (1.6)$$

当然, 反射光线仍服从反射定律。

对于典型的玻璃-空气分界面, 玻璃的折射率  $n=1.5$ ; 临界角约为  $42^\circ$ 。因此, 当入射角约为  $45^\circ$  时, 常常把显示全反射的玻璃棱镜当作反射镜使用。

反射棱镜 有许多种反射棱镜。最普通的是截面成等腰直角三角形的棱镜。图 1.5 表示使用这样一个棱镜来代替平面反射镜。棱镜比金属镀膜反射镜优越。原因是, 当垂直于光线的棱镜两个表面镀有增透膜时(见第 5 章), 棱镜的反射率接近 100%。此外, 棱镜的性能不会因使用陈旧而改变, 金属反射镜则会发生氧化, 同时也较易划伤。玻璃棱镜还能够承受除了最强激光以外所有的激光光束, 因此是足够耐用的。

在成象系统中, 反射棱镜必须在平行光束中使用, 这样可以避免对光学成象引进缺陷。

图 1.5 还表示, 用同样一个棱镜可使反射光束与人射光束平

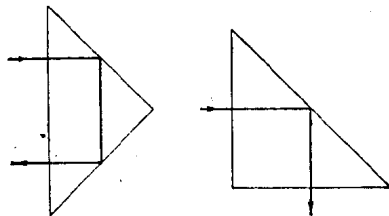


图 1.5 反射棱镜

行。这样使用的棱镜常常叫做普洛棱镜或屋脊棱镜。留作一个习题，试证：如果入射光线在垂直于棱镜面的平面内，则出射光线一定与入射光线平行。

立方角棱镜或后向反射器是三个棱互相成直角的棱镜，正如立方体的三个棱在各角上互成直角一样。这种棱镜是屋脊棱镜的一种推广，它能使任何光线平行于自己反射回去，而与光线的取向无关。观察者对着立方角棱镜反射器时，只能在反射器中央处看到自己眼睛的瞳孔。

**习题** 两个平面镜固定成角  $\alpha$  ( $< 180^\circ$ )。光线以角  $\alpha$  入射到第一平面镜，然后以角  $b$  入射于第二镜。试求入射光线与出射光线之间的夹角  $\delta$ ，并证明  $\delta$  与  $\alpha$  无关。 $\delta$  叫做偏向角，这两个平面镜组成恒偏角系统，因为光线的偏向角与  $\alpha$  无关。

然后证明玻璃棱镜是一个恒偏角系统，而一个  $90^\circ$  屋脊棱镜的恒偏角为  $180^\circ$ 。

## § 1.2 成象

**球面** 单透镜通常是一块有两个球面的玻璃，所以必须研究单个球面折射的一些性质(图 1.6)。

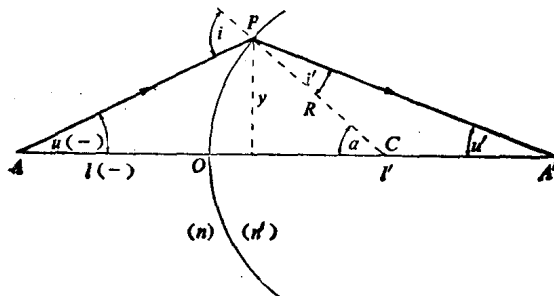


图 1.6 球面折射

现在考虑球面的光学成象性质。先定义亮点 A 和球心 C 的连线 AC 为轴。一光线 AP 与球面相交于 P 点，我们先求折射光线



与轴相交的点  $A'$ 。

在继续讨论以前，必须确定正负号规则。当然，这种规则的选定完全是任意的。但是一旦确定，就应贯彻到底。我们选用的正负号规则初看起来相当复杂，但选用这种规则的部分理由是它的通用性；这样就不用对球面反射镜再确定一套专门规则。

首先设想一个以  $O$  为原点的笛卡儿坐标系。自  $O$  点量起的距离，向右是正的，向左则是负的；因此，例如  $OA'$  和  $OC$  都是正的， $OA$  则是负的。同样，由轴向上的距离都是正的，向下的则是负的。这是第一条正负号规则。

现在再来确定角的正负号规则，例如角  $OAP$  或角  $OA'P$ 。可以利用三角函数来确定正负号。例如，角  $OAP$  的正切近似为

$$\tan OAP \cong y/OA \quad (1.7)$$

式中  $y$  表示  $P$  点离轴的距离。根据前面的正负号规则， $y$  是正的而  $OA$  是负的，因此  $\tan OAP$  是负的，从而角  $OAP$  也是负的。同样，角  $OA'P$  和角  $OCP$  都是正的。这是第二条正负号规则。这条规则的一个等同的叙述是：角  $OA'P$  (作为例子) 如果从轴顺时针旋转而形成，则定为正的，反之则定为负的。也许最简单的方法是只要记住图 1.6 中所画的角  $OAP$  是负的。

最后讨论入射角和折射角，例如角  $CPA'$ 。规定图 1.6 所示的角  $CPA'$  为正是最合适的。在图 1.3 中已经正式应用过这一正负号规则。如果从法线 (在本例中是球面的半径) 转向光线是逆时针转向，则入射角或折射角是正的。

不巧的是用这种方法来表达最后一条正负号规则，就与光线和轴交角 (例如角  $OAP$ ) 的正负号规则不相同。因此最好记住图 1.6 中所有主要角的正负号来学会规则。这里，只有角  $OAP$  是负的。

现在来指定图 1.6 中主要量的符号。点  $A'$  位于点  $O$  右边  $l'$