

现代光源基础

陈大华 编著

学林出版社

现代光源基础

复旦大学 陈大华 编著

学林出版社

一九八七年六月

内 容 简 介

本书从光的本性出发,系统地介绍了光度学和色度学的基础知识,并分门别类地对热辐射光源、气体放电光源、特种光源和激光的发光机理、性能、结构和使用方法作了较详细的阐述,尤其着重叙述了近期发展的最新光源和电影光源。在最后二章,概要地介绍了电光源常用材料和制造工艺技术,并剖析了电光源的重要附件——电源、镇流器和启动器。

本书内容力求深入浅出,避免过多的数学推导,注意物理概念的系统性和严谨性,力求概念准确。适用于大专非电光源专业作为电光源课程教材,可供从事电光源研制、生产的技术人员参考;也可供大专院校、科研单位、电影电视部门及工矿企业中应用电光源的技术人员在工作中参考。

现代光源基础

陈大华 编著

学林出版社出版 上海绍兴路5号
新华书店上海发行所发行 常熟文化印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.5 字数 470,000

1987年10月第1版 1987年10月第1次印刷 印数 1—3500册

书号 15259·007

定价 4.00 元

ISBN 7-80510-027-6/T·2

编 者 的 话

电光源是一门与国民经济紧密联系的综合性学科。在一个世纪的岁月里,电光源的发展已取得了重大的成果,它是人类共同劳动的结晶。电光源的发展和自然科学的发展密切相关,科学的发展为电光源的进步奠定了理论基础,并不断要求提供具有特殊性能的各种新型光源,从而促使了电光源技术的进步。反之,电光源的发展也影响了其它学科的提高,如物理学、化学、生物学和医学的发展;同时还为许多应用学科如印刷、摄影、建筑照明和电影电视等的进步提供了有利条件。由于近代科学的发展及工农业生产、文化艺术、交通运输、国防建设和科学事业的需要,光源技术正在不断更新和提高。为了促进电光源学科的发展,也为了推动新光源的推广应用和改进提高,谨编写了本书,敬献给广大的电光源研制、生产和应用的工作者。

全书共分八章,是在有关同志多年从事电光源科研和教学工作的基础上,参照有关国外文献资料,加以整理、修改和汇编的。书中首先介绍了光的本质、光度学和色度学的基础知识,接着阐述了各类电光源的发光基本理论,并按电光源的发光机理,将五光十色,成千上万的光源分成三大类:热辐射光源、气体放电光源和其它特种光源,以五章的篇幅分别对它们的工作原理、结构性能、典型例子和实际应用作了介绍,尤其对近期发展的最新光源和电影光源作了重点的叙述。考虑到电光源的应用和发展,一方面是对辐射体的微观过程和宏观性质的分析,另一方面是光源技术的新工艺和主要配件的开发利用,因此,本书还在第七章概要地介绍了电光源常用材料和制造工艺技术。最后一章对电光源的重要附件——电源、镇流器和启动器作了剖析。附录中列出了电光源常用封接工艺、配方和技术参数。

为了便于读者阅读和理解,本书力求深入浅出,尽量避免过于艰深的数学,以介绍电光源的基本理论、应用技术及其制造工艺为主,并注重理论联系实际。

本书在完成编写初稿后,承蒙复旦大学蔡祖泉同志、上海钨钼科技服务所郑良永同志、和北京电光源研究所吴初瑜同志审阅了全稿,南京工学院诸玉华、浙江大学叶关荣、重庆灯泡厂刘月兴等同志审阅了部分章节,提出了十分宝贵的意见。在编写修改过程中自始至终得到了上海电影发行放映公司穆秀峰、袁宗祥等同志、上海第二教育学院沈锡初同志及复旦大学何鸣皋、朱绍龙和王国富同志的热情鼓励和支持,并对文稿和插图做了大量工作,在此一并表示感谢。由于编者水平有限,实践经验不足,书中错误或不妥之处难免,恳请读者批评指正。

陈 大 华

1987年6月上海

目 录

编者的话

第一章 光学和光度学基础

第一节 光的本性	1
一、“光”是什么?	1
二、振动和波	2
三、电磁波和光波	3
四、光的颜色和视见函数	4
五、光的干涉	7
六、光的衍射	9
第二节 光度学基础	10
一、辐射通量和光通量	10
二、发光强度	12
三、配光曲线	13
四、光照度	13
五、光亮度	16
第三节 色度学基础	18
一、颜色的分类和特性	18
二、光源的光谱能量分布	18
三、色座标	18
四、色温、色表、显色指数和相关色温	24

第二章 热辐射光源

第一节 热辐射光源的发光机理	26
一、温度和温标	26
二、黑体辐射	27
三、克希霍夫定律	28
四、斯梯藩——波耳兹曼定律	28
五、维恩位移定律	28
六、普朗克 (Planck) 公式	29
七、光谱辐射系数 $\varepsilon(\lambda, T)$	30
八、非黑体的总辐射	31

第二节 白炽灯	32
一、白炽灯的历史.....	32
二、白炽灯的材料和结构.....	33
三、白炽灯的性能和应用.....	37
四、白炽灯的烧毁机理.....	39
第三节 卤钨灯	41
一、卤钨灯的工作原理.....	41
二、卤钨循环剂.....	42
三、卤钨灯的结构特性和应用.....	43
第四节 热辐射光源的改进和发展	47
一、碳化钨白炽灯.....	47
二、红外光辐射转变为可见光的白炽灯.....	47
三、氟钨灯.....	48
第五节 白炽灯灯丝的计算(附录)	48

第三章 气体放电光源的发光机理

第一节 原子结构和原子光谱	55
一、原子模型.....	55
二、原子能级.....	55
三、原子光谱的规律性.....	56
第二节 气体放电的过程	59
一、能级的寿命和跃迁几率.....	59
二、激发、电离和碰撞.....	60
三、迁移和扩散.....	61
四、电极和电子发射.....	62
五、自持放电产生的条件.....	64
六、气体放电的启动,巴邢定律和潘宁效应.....	66
七、气体放电的伏-安特性曲线.....	68
八、弧光放电的稳定.....	69
第三节 气体放电的类型	72
一、辉光放电.....	72
二、等离子体.....	74
三、弧光放电.....	77
四、高频放电.....	78
五、脉冲放电.....	79
第四节 气体放电发光的进一步探讨	80
一、分子发光.....	80
二、不同工作气压下的气体放电的发光.....	81
三、产生谐振辐射的有利条件.....	83

四、不同工作气氛下的气体放电的发光	84
-------------------	----

第四章 气体放电光源

第一节 低气压气体放电光源	85
一、低压汞灯	85
二、低压钠灯	97
三、仪器光源	100
四、长弧氙灯	101
第二节 高气压气体放电光源	102
一、高压汞灯	102
二、超高压汞灯	107
三、高压钠灯	110
四、金属卤化物灯	114
五、脉冲氙灯	120

第五章 电影光源

第一节 电影光源的发展	127
一、电影光源的历史	127
二、冷光介质膜	128
三、碳弧光源	130
第二节 电影放映氙灯	133
一、放映氙灯概貌和名称的由来	133
二、为什么必须在灯内充入高压的氙气	135
三、放映氙灯的阴极光斑形成原因	135
四、超高压球形短弧氙灯的结构	137
五、放映氙灯的光电特性	140
六、放映氙灯使用中若干具体问题	150
第三节 其它电影放映光源的介绍	154
一、电影放映钨灯及其不一致性问题	154
二、电影放映钨灯应用中若干问题	155
三、电影放映锡灯及其应用中注意事项	158
四、常用的电影光源及其优缺点	161

第六章 特种光源和激光

第一节 场致发光光源和其它特种光源	162
一、本征场致发光灯	162
二、注入式场致发光灯	163

三、无极放电灯	164
四、原子能灯	165
五、彩虹光源	166
第二节 激光	168
一、激光的基本原理	168
二、激光器的种类	170
三、激光的特性	173
四、激光的应用	173

第七章 电光源研制的一般工艺技术

第一节 电光源研制中的真空技术	176
一、真空概念	176
二、真空的获得	177
三、真空的检漏和除气	185
四、真空的测量	186
五、真空系统	189
第二节 电光源研制中常用的阴极材料	191
一、金属阴极	191
二、原子薄膜阴极——钍钨阴极	192
三、氧化物阴极	196
四、锆酸钡阴极	198
五、稀土金属氧化物阴极	199
六、储备式阴极及其它类型热阴极	201
第三节 电光源研制中常用封接工艺和材料	204
一、玻璃与金属气密封接	204
二、石英玻璃与金属的气密封接	204
三、常用电光源材料的性质	205

第八章 电光源的常用电器设备

第一节 光源电源	208
一、光源对电源的要求	208
二、常用的光源交流电源介绍	209
三、常用光源的直流电源、高压电源和高频电源	212
第二节 气体放电光源的镇流器	219
一、镇流器的结构及其电性能	219
二、在交流情况下采用电阻限流的缺点	221
三、电感镇流的原理和优点	222
四、镇流器的检验	224

五、镇流电路的改进	226
六、镇流电路的介绍	227
第三节 气体放电光源的启动器	231
一、启动器的原理和应用	231
二、启动器中电磁振荡的基本过程	233
三、高压启动器	234
四、常用高频高压启动器	235
五、启动器的制作与调试	241
附录 A: 玻璃、石英玻璃与金属封接工艺	243
一、玻璃与金属封接的分类	243
二、玻璃、石英玻璃与金属的一般性质	244
三、玻璃与金属的封接	246
四、石英玻璃与金属的常规封接工艺	249
五、石英玻璃与金属的特种封接工艺	253
附录 B: 电光源研制中常用溶液的配方和工艺	257
一、电光源材料常用的清洗液	257
二、耐高温导电层、焊剂、印泥和透明导电层的工艺	261
附录 C: 各类光源的典型技术参数	264
一、白炽灯和卤钨灯规格和技术参数	264
二、荧光灯规格和技术参数	267
三、高压汞灯规格和技术参数	271
四、氙灯规格和技术参数	274
五、钠灯规格和技术参数	275
六、金属卤化物光源规格和技术参数	277
七、仪器光源规格和技术参数	278
八、特种用途光源规格和技术参数	286
附录 D: 电光源型号命名方法	293

第一章 光学和光度学基础

第一节 光的本性

一、“光”是什么？

“光”，这是我们十分熟悉的对象。我们天天接触光，处处利用光。光是人类生存的基础，光是美化世界的画师，光是宇宙信息的信使，光是生产发展的工具。对地球来说，太阳是最大的光源，宇宙间的恒星金都是发光体。

虽然我们生活在光的世界里，时刻感觉到光的存在，但是，对于光的本性的认识却经历了漫长的岁月，这种认识过程直到现在还在继续着。在十七世纪以前，人们在长期生产活动实践中积累了不少对光的知识，当时的认识主要局限于叙述一些光的现象或光的传播规律，并未触及到关于“光的本性”。因此，人们对“光的本性”这个问题虽经历了几十个世纪的认识过程，可是，人们对它还是处于感性认识阶段。

十七世纪以来，由于社会生产和科学技术的发展，人们迫切地要了解“光的本性”，因此，相继展开了这方面的研究和探讨。几乎同时对光的本性提出了两种不同的学说：微粒说和波动说。牛顿的微粒说认为光是很小的微粒，这种光的微粒从光源发出，以一定的速度射向空间。一束光就是一群光的微粒流，它们射入人的眼睛，便产生了光的感觉。由于微粒说能够说明一些简单的直观的光学现象，例如光的直线传播、反射、折射等，这种学说较易被人们所接受。可是，在实践中又发现很多光学现象并不能用微粒说阐明，于是便出现了惠更斯的波动说。这种学说从光和水波、声波的某些类似，认为光应该是一种波动。光的波动说不仅能说明微粒说能阐明的光学现象，而且能够说明微粒说不能阐明的光学现象，例如光的干涉、衍射等。这样，光的波动说逐渐取代了微粒说。

到十九世纪，人们对电和磁的利用已经积累了大量实践经验的基础上进一步获得了电磁振荡，产生了“电磁波”，建立了电磁波的理论。发现电磁波与光的速度完全一样，并且都不需要传播媒质；电磁波的理论都可以用来描述光的各种现象。理论与实践在许多方面的充分吻合，使我们认识到光是一种电磁波，它与电磁振荡所产生的无线电波在本质上是完全一致的。光的电磁论揭示了光的电磁本质，使人们对光本性的认识大大提高了一步。

到了二十世纪，生产实践和科学实验的相继发展，对光的认识得到了进一步的深化。发现把光看成电磁波是不够的，因它不能说明很多新发现的事实，如光电效应、光化学作用等。但这些光现象却能用光的微粒说来解释。当然，这种微粒已不是牛顿时代的机械微粒，而是有着崭新的内容，我们把这种光的粒子称作光子。由此可见，光既具有波动性，又具有粒子性。这就是说光具有波粒二象性。

波粒二象性是光的客观属性，反映了“光”这个统一物两个矛盾着的侧面。在某些情况下，它主要表现为波动性；而在另一些情况下，它又主要表现为粒子性。例如，光的传播过程中主要表现为波动性，但当光与物质之间发生能量交换时，就突出地显示出光的粒子性。

大量的科学实验和相应的理论研究表明，不仅光具有波粒二象性，而且一切微观粒子（质子、中子、电子等）都具有波粒二象性。利用电子的波动性已制成电子显微镜，它的分辨

能力比光学显微镜提高了 600 多倍。

在本章中,我们主要对光的波动性作一些讨论。

二、振动和波

光具有波动的性质,那么什么是波,它有些什么特点呢?

我们从比较简单而又直观的机械波来讨论这些问题,从中引出波动的一般共同特征,把它应用到光波上去。为要了解机械波,不能离开产生它的机械振动(简称振动)。

物体在一定的位罝附近来回重复的运动称为振动。例如人挑担时,扁担的上下运动;收听广播时,喇叭纸盒的运动;投石入水时,激起的水面运动等,它们都具有振动的特征,都是一种振动。

当物体作机械振动时,它的振动可以通过周围的媒质向外传播出去,这种机械振动在媒质中的传播过程叫做机械波。喇叭纸盒的振动在空气中传播形成声波;投石入水引起的振动在水面上传播形成水面波。声波和水面波都是机械波。

由此可见,波动是振动的传播过程,振动是产生波动的根源。我们把产生波动的那个振动称为波源。上述喇叭的纸盒,投石点的水面都是波源。

由于振动的情况不同,产生的波也不同。最简单或最基本的波动形式有两种:横波和纵波。

将一根绳子一端固定,呈水平状,手握绳子另一端作上下振动,此时可以看到绳子的这一端先形成一个凸起的状态,然后又形成一个凹下的状态,凹凸起伏的状态就沿着绳子传播出去(图 1-1-1)。这种振动方向和传播方向垂直的波叫横波。

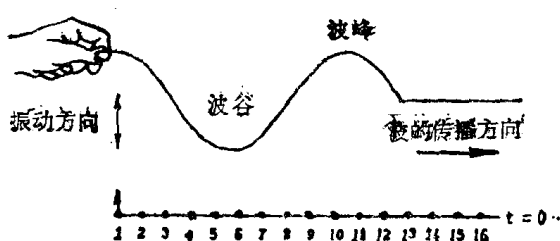


图 1-1-1 绳子的横波

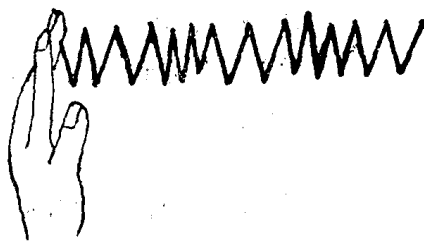


图 1-1-2 弹簧形成的纵波

再如图 1-1-2 所示,用手迅速而有节奏地推压弹簧的另一端,可以看到弹簧上有的部分密,有的部分稀疏,疏密相间,沿着弹簧向前传播。这种振动方向和传播方向相同的波,叫做纵波。

显然,水面波是横波,而声波却是纵波。电磁波也是一种横波。

下面说明横波在媒质中的传播过程。图 1-1-3 表示横波形成的大概情况。图中自 0 到 16 各小点代表媒质中沿某一直线上均匀排列着的各点,它们之间有着弹性联系。第一行表示开始时(即 $t=0$)各点的位置,它们都处于平衡状态;点 0 受到向上的作用力,正开始向上运动。第二行表示经过八分之一周期*(即 $t=\frac{T}{8}$)时各点的位置;点 0 已升了一定距离,点 1 受到 0 点的带动,正开始向上运动。第三行表示经过四分之一周期(即 $t=\frac{T}{4}$)时各点的位置;这时点 0 已达到上面最大位移**处,点 2 开始向上运动。第五行表示经过二分之一周

* 物体完成一次振动所需要的时间叫做周期。

** 物体离开其平衡位置的距离为位移。

期(即 $t = \frac{T}{2}$)时的情况;这时点0已回到平衡位置上向下运动;点4开始向上运动。第九行表示经过一个周期($t = T$)时的情况,点0已完成了一次振动,又开始向上运动;这时振动传到点8。从点0到点8形成一个完整的波形,向上凸起最高处叫做波峰,向下凹下的最低处叫做波谷。随着时间的推移,可以看到波形向前推进。

从图1-1-3可见,当波原点0作振动时,波传播途中的各个点也都在作振动,只是依次相差一定的步调。经过一个周期 T ,点0完成了一次振动,点8才开始振动。在点0到点8中间正好是一个完整的波形。这样一个完整的波的长度,叫做波长,用符号 λ 表示。

波前进一个波长所需要的时间,叫做波的周期,用符号 T 表示。它也等于媒质中的点振动一次的时间(单位用秒)。周期 T 的倒数是波的频率,用符号 f 表示,是指单位时间内波前进距离内完整波的数目,(单位用次/秒,叫做赫兹)。由此可得到波传播的速度(简称波速) V 和波长 λ 、周期 T (或频率 f)的关系是:

$$V = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \quad (1-1-1)$$

这是波速、波长和周期(或频率)的基本关系。这个关系对机械波和电磁波都适用。

这里要注意弄清波速是振动传播的速度,而不是媒质中各点运动的速度。波传播时,各点只在自己的平衡位置附近振动,并没有随波前进。例如,投石入水形成水面波时,可以看到波峰波谷高低起伏,交替变化,向外传播。我们观察某一波峰(或波谷)则可以看到这个波峰(或波谷)以一定的速度在前进,这个速度就是波速。如果丢一片树叶到水面上,可以看到树叶随着水面波浪的推动差不多是在原地附近运动,并没有随波浪一起前进。

波的频率是由波源决定的,它就等于波源振动的频率,而波速是由媒质决定的。从(1-1-1)式可以求出波的波长 λ 。例如,声波在室温下空气中的传播速度是340米/秒,在水中的传播速度是1450米/秒。可以从(1-1-1)式算出,1000赫兹的声波在空气中的波长是34厘米,在水中的波长是1.45米。

三、电磁波和光波

机械振动的传播过程形成机械波,电磁振动(一般叫电磁振荡)的传播过程形成电磁波。无线电台天线上电子的往复运动激起的电磁振荡产生无线电波。发光体相当于一架发射光波的天线,其内部电子的往复运动就发射出光波。无线电波、光波都是电磁波,它们的传播并不一定需要其它物质作为媒介。人造卫星从太空中发回的无线电信号,以及太阳或其它星体上发射出来的光,能够经过真空状态的宇宙空间到达地球便是证明。这反映了电磁波和机械波的本质差别。

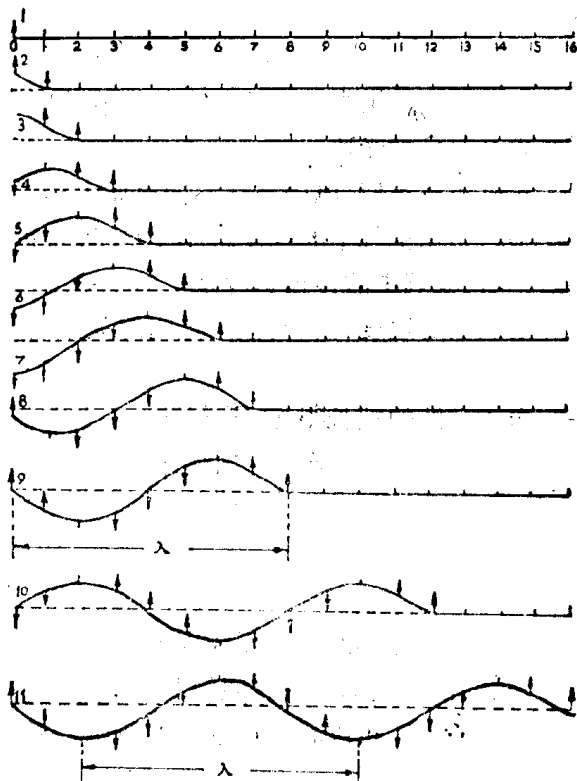


图 1-1-3 横波的形成

在真空中,电磁波的传播速度是一个与波长无关的常数,通常用符号 C 表示,其数值经实验测定为:

$$C = 2.9979250 \times 10^8 \text{ 米/秒} \approx 3 \times 10^8 \text{ 米/秒}$$

这一数值与用光学方法测定的光波速度完全一致,也可以说明光是电磁波的一种。我们一般都称 C 为光速。

和机械波类似,电磁波在不同媒质中传播时,它的速度是不同的,但都比真空中的速度 C 要小。光在空气中的速度略小于 C ,通常可用 C 来近似,光在水中的传播速度只有 C 的四分之三,在玻璃中的传播速度是 C 的三分之二。

电磁波的速度、波长、频率之间的关系满足式(1-1-1),在真空中则有:

$$C = \lambda \cdot f \quad (1-1-2)$$

由于光波的波长很短,用米或厘米做单位都嫌太大,而采用更小的单位微米(μm)、毫微米(nm 或 $\text{m}\mu$)和埃($\text{\AA}$),它们之间的换算关系为:

$$1 \mu\text{m}(\text{微米}) = 10^{-6} \text{ 米}(\text{m}) = 10^{-4} \text{ 厘米}(\text{cm})$$

$$1 \text{ nm}(\text{毫微米}) = 10^{-3} \mu\text{m} = 10^{-9} \text{ m} = 10^{-7} \text{ cm}$$

$$1 \text{\AA} = 10^{-1} \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-8} \text{ cm}$$

除了波长比光波长的无线电波外,还存在着波长比光波更短的电磁波,如X射线、 γ 射线等,我们把各类电磁波按照波长(或频率)的大小,依次排列,画成图表,如图1-1-4所示,称为电磁波谱。可以看出电磁波的范围是极为宽广的,波长可以长达几千米,短至万亿分之一米。

能够引起视觉的那部分电磁波,我们称为可见光,其波长范围在380毫微米到780毫微米之间,是电磁波中一段很窄的区域。

在可见光的两侧是不能引起视觉的光波,通称为不可见光,它包括紫外线和红外线。紫外线的波长在100毫微米到380毫微米之间,波长短于100毫微米的电磁波已属于X射线和 γ 射线的范围。红外线的波长范围在0.78微米到1000微米之间,长于1000微米的电磁波已属于无线电波的范围。

一般说来,光波的波长范围在100毫微米到1000毫微米之间,最长的波长是最短波长的一万倍,而可见光中的最长波长仅是最短波长的二倍。因此,在光波范围内,不可见光的区域要比可见光区域宽广得多。

四、光的颜色和视见函数

波长在0.38微米到0.78微米之间的电磁波,它们的共同特点是能够为我们的眼睛所感觉,这是它们的共性;但这种感觉中还是显现了它们各自的个性,这就是不同波长的光刺激人的眼睛会引起不同颜色的感觉。波长在0.40微米左右的呈紫色,随着波长的增加,依次呈现蓝、青、绿、黄、橙、红各色。波长大于0.78微米的光,因为在红光的外端,所以称为红外光。同样,波长短于0.38微米的光由于处在紫光外端,也就称为紫外光。紫外光和红外光虽然不能为眼睛所感觉,但对眼睛还是有作用的,过量的紫外光和红外光对人眼都有损害作用,我们应该注意适当的防护。

表1-1-1列出了不同色觉的波长范围。这种划分只能是定性的,因为颜色是逐渐变化的,这种变化不仅反映在从一种色到另一种色之间没有明显的分界,而且还反映在同种色的内部。例如,同是绿色,还有青绿、黄绿之分。严格说来,不同波长所反映的色应该是不同的,所以用波长来鉴别光波比用颜色来鉴别光波更为科学而且定量。

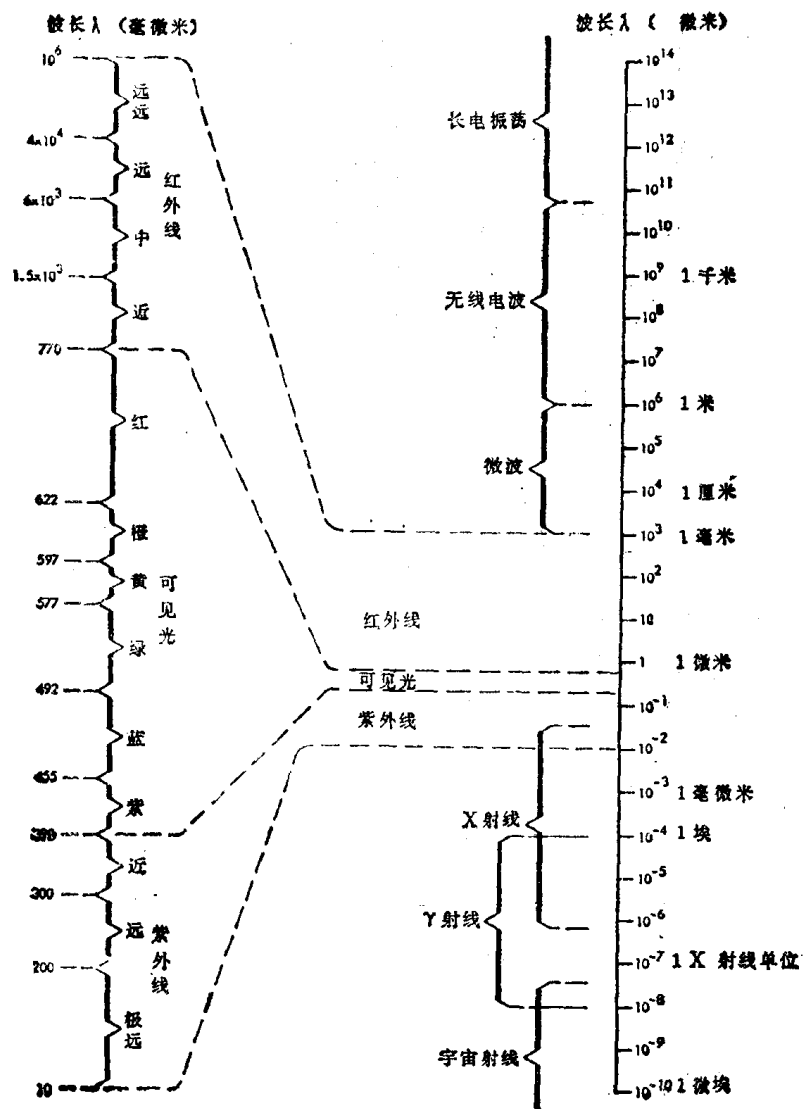


图 1-1-4 电磁波谱

表 1-1-1 各种颜色光线的波长

光 的 颜 色	大致的波长范围 (毫微米单位)
红色	760—630
橙色	630—600
黄色	600—570
绿色	570—500
青色	500—450
蓝色	450—430
紫色	430—400

不同颜色的可见光不仅颜色感觉不同，而且亮度感觉也不同。如果把能量相等的各种波长的光引向眼睛，则会发现：对波长为 555 毫微米的黄绿色光看上去最亮，黄光和青光较亮，而红光和紫光就很弱。这就是说，人眼对黄绿色光感觉最灵敏，对黄、青光还相当灵敏，而对红、紫光就不灵敏。人眼的这种感觉特性可以用曲线表示出来，如图 1-1-5，称为眼睛

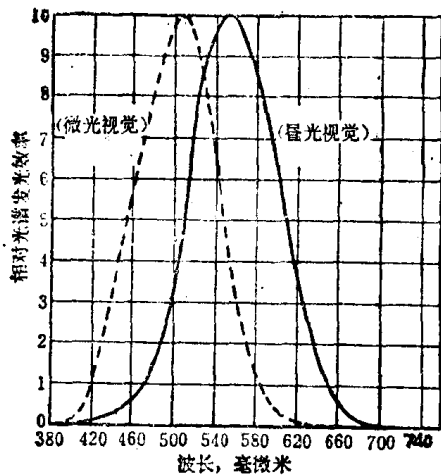


图 1-1-5 视见函数曲线

的光谱相对灵敏度曲线，我们通常把它叫做视见函数曲线*。图 1-1-5 中，横坐标表示波长；纵坐标表示视见函数，记作 $V(\lambda)$ 。 $V(\lambda)$ 的最大值等于 1，对应的波长 $\lambda = 555 \text{ nm}$ 。在这个波长的两侧，曲线近乎对称地迅速下降（见表 1-1-2），当波长为 700 nm 时，对应的视见函数只有 0.0041；当波长为 400 nm 时，对应的视见函数只有 0.0004。这就是说同等能量的黄绿光 ($\lambda = 555 \text{ nm}$) 引起的亮度最强。换句话说，如果要与 555 nm 的光产生同等亮度的感觉，所需的 700 nm 的光能是 250 倍，400 nm 的光能量是 2500 倍。

如果把红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色组合

起来，那么彩色将“隐藏”起来，而得到一种白色的光。可以做一个简单的实验：用一张纸盘，在纸盘上依次涂上红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七色（见图 1-1-6）。把纸盘迅速转动，七色立刻变成一片白色。

表 1-1-2 CIE 标准光度观察者的光谱光效率(视见函数)

λ (毫微米)	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V(\lambda)$	λ (毫微米)	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V(\lambda)$
380	0.0000	0.000589	590	0.757	0.0555
390	0.0001	0.002209	600	0.631	0.02315
400	0.0004	0.00929	610	0.503	0.01593
410	0.0012	0.03484	620	0.381	0.00737
420	0.0040	0.0966	630	0.265	0.003335
430	0.0116	0.1983	640	0.175	0.001497
440	0.023	0.3281	650	0.107	0.000677
450	0.038	0.455	660	0.061	0.0003129
460	0.060	0.567	670	0.032	0.0001480
470	0.091	0.676	680	0.017	0.0000715
480	0.139	0.793	690	0.0082	0.00003533
490	0.208	0.904	700	0.0041	0.00001780
500	0.323	0.982	710	0.0021	0.00000914
510	0.503	0.977	720	0.00105	0.00000478
520	0.710	0.935	730	0.00052	0.000002546
530	0.862	0.811	740	0.00025	0.000001379
540	0.954	0.650	750	0.00012	0.000000760
550	0.995	0.481	760	0.00006	0.000000425
560	0.995	0.3288	770	0.00003	0.000000248
570	0.952	0.2076	780	0.000015	0.000000139
580	0.870	0.1212			

* 视见函数：根据国际 GB3102.6-82 应改为光谱光视效率，视见函数可暂用。

太阳光是一种很好的白光，它是由上述七种颜色光按一定的比例组成的。可以用实验来证明：

让一束太阳光，通过一个狭缝 S 投影到白色的光屏上，看到的是一条白色光。在屏和光缝间放一块三棱镜让光经过棱镜后再投射到屏上，那么在光屏上将得到一条宽而带有各种鲜明颜色的光带，按红、橙、黄、绿、青、蓝、紫的次序排列（见图 1-1-7）。这种现象叫做色散。雨后复斜阳，长空舞彩练，那彩色缤纷的长虹，就是阳光经过天空中许多小水滴的色散后形成的。

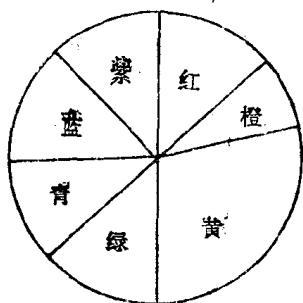


图 1-1-6 七色盘

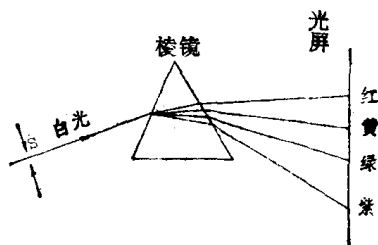


图 1-1-7 白光的色散

如果一种色光再不能分解为其它颜色的光，这种光称为单色光。而由单色光合成的光则称为复色光。显然，白色是一种复色光，但复色光并不一定是白光。严格说来，单色光是指只含有一种波长的光，但实际上是不可能的，它总包含有一定的波长范围。

各种色光依一定顺序排列而成的光带叫做光谱。最基本的光谱是二种：一种是太阳光那样的从红到紫所有色光的光谱，各种色光紧密排列，中间没有界线，这种光谱就称为连续光谱。另一种是象汞灯那样的光谱，在从红到紫的波长区域内，只有几根彩色的亮线，这种光谱称为线光谱。

五、光的干涉

在力学中，我们知道二列波（例如，两列水面波、或二列声波）在空间相遇时，根据波的迭加原理，迭加处各点的振动应该是各个波在该处引起的振动迭加，实际上就是在波迭加区中各点上振动的迭加。

如果两列波的频率相同，振动方向相同，振幅相差不大，并且在波迭加区的各点上，两列波之间有恒定的位相差，这时在两列波迭加区的某些地方，振动始终相互加强，而在另一些地方，振动又始终相互减弱（当两波振幅相同时，甚至相互抵消）。这种现象就称为“波的干涉”，而这样的两列波就称为“相干波”。为了更具体地分析二列波在迭加区各处振动的加强和减弱情况，我们讨论离二个相干波源 S_1 和 S_2 距离分别为 r_1 和 r_2 的一点 P 的振动情况，见图 1-1-8。

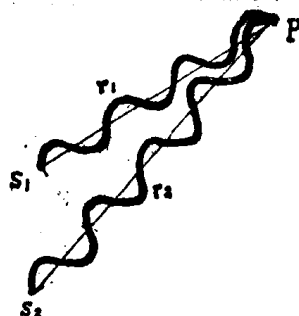


图 1-1-8 二列波的干涉

设 S_1 和 S_2 两个相干波源的振动为：

$$y_{10} = A_{10} \cos(\omega t + \varphi_1) \quad (1-1-3)$$

$$y_{20} = A_{20} \cos(\omega t + \varphi_2) \quad (1-1-4)$$

这两个波源发出的波传到了 P 点，它们引起 P 点的振动各为

$$y_1 = A_1 \cos\left(\omega t + \varphi_1 - \frac{2\pi r_1}{\lambda}\right) \quad (1-1-5)$$

$$y_2 = A_2 \cos\left(\omega t + \varphi_2 - \frac{2\pi r_2}{\lambda}\right) \quad (1-1-6)$$

根据力学中我们讨论过的情况, P 点的合振动仍旧是一个简谐振动:

$$y = A \cdot \cos(\omega t + \varphi) \quad (1-1-7)$$

合振动的振幅 A 取决于两个波源 S_1 和 S_2 在 P 点引起的振动的位相差 $\Delta\varphi$:

$$\Delta\varphi = (\varphi_2 - \varphi_1) - \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) \quad (1-1-8)$$

亦即合振幅 A 取决于波源 S_1 和 S_2 的初位相差 $(\varphi_2 - \varphi_1)$ 及 P 点到 S_1 和 S_2 的路程差 $(r_2 - r_1)$ 。如果波源初位相差 $\varphi_2 - \varphi_1 = 0$ 或即 $\varphi_1 = \varphi_2$, 则 P 点的振动就由 P 点到两个波源 S_1 和 S_2 的路程差决定。当

$$\Delta = r_1 - r_2 = \pm k\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-1-9)$$

时, P 点合振动振幅最大, 即两列波在该处是相互加强。当

$$\Delta = r_1 - r_2 = \pm\left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-1-10)$$

时, P 点合振动振幅最小, 即两列波在该处是相互减弱。

上述这些讨论对于光波也完全适用, 只要把 y 理解为引起视觉的物理量即可。我们知道光在不同的介质中有不同的传播速度, 但其振动频率是相同的。根据波长、频率、速度三者间关系 $\lambda = V/f$, 光在不同介质中的波长 λ 也是不一样的。设光在真空中波长为 λ_0 , 速度为 C , 则光在某种介质中的波长 λ 就是:

$$\lambda = \frac{V}{C} \lambda_0 = \lambda_0/n \quad (1-1-11)$$

这里 $n = C/V$ 。

上式中 V 是光在介质中传播速度, n 称为这种介质的折射率。对于真空, $n = 1$, 一般介质的折射率都大于 1。

当 P 点和光源 S_1 和 S_2 之间充满折射率为 n 的均匀介质时, 如果对 P 点的振动加以分析, 光在该介质中的波长以 λ 表示, 通常光源发出的光都是以其在真空中的波长来标记的, 因此讨论光的干涉加强和减弱的条件, 最好也以真空中的波长来表示:

$$\Delta = n(r_2 - r_1) = \pm k\lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-1-12)$$

时, 两束光在 P 点相互加强。

$$\Delta = n(r_2 - r_1) = \pm\left(k + \frac{1}{2}\right)\lambda_0, \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (1-1-13)$$

时, 两束光在 P 点相互减弱。

这里的 nr_1 和 nr_2 是光在介质中传播距离和介质对这种波长的折射率 n 的乘积, 这个量称为“光程”。因此两束光干涉的结果取决于两束光在交迭区各处的“光程差”, 即上式中的 $n(r_2 - r_1)$ 。

在讨论光的相互干涉现象时, 我们必须引进光的相干性概念。

光波的迭加虽然可以和机械波(例如水面波)的迭加一样来处理。但如果我们用二个独立的光源却很少看到有干涉现象。例如: 在室内开二盏电灯(或点两支蜡烛), 我们并没有发现在墙壁或桌面等光照面上有明暗交替变化的干涉条纹, 换句话说, 看不到两个灯发出的光波在某些地方相互加强, 而在另一些地方却相互减弱。我们的经验是开两盏灯时, 室内各处都比开一盏灯时更亮一些, 各处的光照强度等于每盏灯光照强度之和。这就告诉我们, 为了研究光的干涉现象。我们必须再稍为仔细分析一下光的相干性。