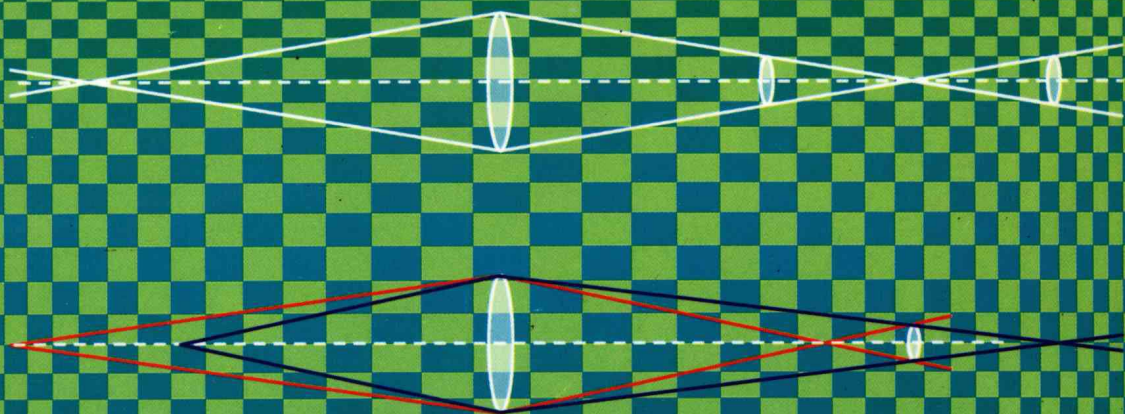


实验光学

国克喜 编著



山东大学出版社

实 验 光 学

国克喜 编著

山东大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

实验光学/国克喜编著. — 济南: 山东大学出版社,
2003.8 (2005.2 重印)

ISBN 7-5607-2664-X

I.实... II.国... III.光学-实验-高等
学校-教材 IV.O43-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 077991 号

山东大学出版社出版发行

(山东省济南市山大南路 27 号 邮政编码:250100)

山东省新华书店经销

山东农业大学印刷厂印刷

787 × 1092 毫米 1/16 12.75 印张 295 千字

2003 年 8 月第 1 版 2005 年 2 月第 2 次印刷

印数:3501-4500 册

定价:20.00 元

内容提要

本书是根据作者多年的教学经验及创新人才培养的需要而写成的。它把普通物理中的光学知识和实验技术有机地融合在一起,并采用实验设计、仪器操作、成果总结等三步骤教学法,在理论与技术两类模块进行拼装式的学习过程中,增加了学生自由发挥的空间,有利于培养其开拓意识和创新精神。全书共分八章:一至四章介绍基本理论;五、六章讲述光学实验的特点及实验进行的方式;第七章较详尽地阐明常用光学仪器及光路的特点、规律与实验技术;第八章仅列出在一般实验室条件下能够开设的实验题目、条件及要求。

本书可作为高等学校本科或专科学生学习光学实验的参考书。对于研究生的学习及其他从事光学技术工作的科技工作者,本书也有一定的参考价值。

前 言

当你翻阅本书时,会有一个明显的感觉:它和以往的实验教材有很大的不同。过去的指导书通常都是以实验为单元,围绕每个实验题目写原理和技术,而本书则把光学理论和实验技术分开阐述,并在二者之间插入光学实验的特点、规律以及光学实验课的进行方式等内容。在书的最后一章,把实验室一般条件下能够进行的实验题目列出,不再细述实验原理和方法,仅仅写清实验条件、实验要求,让学生自行设计并独立完成。作者认为:把光学理论和实验技术分开阐述,能够把普通物理中的光学知识写得比较系统、完整一些,可使读者领略到较为全面的光学知识;同时也可以把光学实验中所能应用到的技术原理和操作方法写得更集中、更精炼一些,避免不必要的重复。由于摆脱了围绕具体实验写原理、写技术的模式,使本书变成理论和技术两个知识库,有利于采用授之以“渔”的教学方法。学生们可以把理论和技术这两类模块进行一切可能的组合,完成不同的理论设计和实际操作,扩大了他们进行实验设计和实践练习的空间。这既有利于培养学生运用现有理论和技术解决实际问题的能力,也有利于培养其开拓意识和创新精神。通过实验设计、具体操作和科学总结,学生们不仅可以加深对理论知识的理解、提高运用科学技术的能力,同时,由于实践上的成功,还能进一步激发起浓厚的学习兴趣,鼓舞自己去学习更多的光学知识和技术,去解决更多的实际问题,在不断学习、不断创新的道路上,取得更新的成果。

《实验光学》是用来指导光学实验的、理论与实践紧密结合的教科书。在编写本书时,作者注意到以下几个方面的问题:

1. 本书中的理论部分既要尽可能的系统、全面,但同时又不是把理论教科书中的内容全部照搬。重点放在对基本概念的阐述和现象的解释上。对于那些实验中要用到的公式,则只介绍其来历、适用的条件及符号的选取等,而不进行严格的推导。在叙述概念时力求做到既不违背其科学性,又要通俗易懂,避免用艰涩的语言和模棱两可的词句把简单问题复杂化,尽量减少阅读和理解的困难,以便使读者在实验设计之前花不太多的时间即可通读,然后有足够的时间和精力研究实验技术、设计实验方法和程序,并通过实践验证自己解决实际问题的能力。

由于篇幅限制,在理论的阐述中,尤其注重其中最基本的概念和方法。循着书中指出的路子,读者还可以进行深入钻研,获得更多的知识和技能。

2. 干任何一件事情都必须了解其规律性,否则,便不可能把事情做好。显然,深刻了



解光学实验的特点和规律,对于课程的学习也是十分重要的。为此,作者根据数十年的教学经验,把这部分内容进行认真归纳和整理,编辑在实验理论与技术的衔接部分,使读者在进行实验设计和操作之前先有所了解。这样,既有利于保持设备的完好,也有利于提高学生们的学习效果。当读者修完课程后再回头总结时,会更加体会到学习这一部分内容的必要性。

3. 实验技术包括了解实验仪器、实验方法以及实验结果的处理、实验成果的报告等。这部分内容的多少与实验室现有的设备条件有关,很难写得尽善尽美。好在光学实验室具有 30 余年的发展历史,在不断建设、不断完善的过程中成长壮大,就其现有规模和设备条件,已大大超过了一般高校的水平,教学能力完全达到教育部规定的大纲要求,甚至,在有些方面,比大纲的规定还有所提高。因此,这部分内容不仅能够指导普通实验,而且还可以指导部分现代光学实验及毕业设计。读者如能熟读这些内容,并学会灵活地组合利用,对未来的科研工作也会有所帮助。

物理学是一门以实验为基础、专门研究物质运动规律的自然科学,是人类在认识和改造物质世界过程中积累起来的优秀成果。物理学为科学研究和生产实践提供了许多有效的工具和方法,在促进社会向物质文明发展方面起着巨大的和无可替代的作用。在物理学的学习中,实验教学占有非常重要的地位。国家和学校历来都十分重视实验教学和实验室发展。经过“211”工程的建设,实验室条件有了很大改善,已经能够满足一人一套仪器的标准,余下的问题就是如何改进教学方法,充分发挥设备效益,显著提高教学质量。为此,我们开展了“光学实验教学的规范化研究”,“理论与实践交融教学法研究”等研究工作。《实验光学》一书就是这些教学研究的书面成果。这些项目的实施得到了山东大学及信息科学与工程学院领导的关怀和支持,项目参加者及实验室中王玉荣、刘学敏、陈文床、刘克学、李月芹、魏爱俭、马宝民、连洁、于晓红等老师都做了大量工作。在编写本书时,作者参考了多部理论教材和实验教材,吸取了不少有益成分,同时还采纳了博士生导师蔡履中、夏海端、侯学元等先生提出的许多指导性意见。张瑞锋、范书振、陈大明同学对本书的插图进行了认真的处理。特别需要指出的是:实验室开展的每一个研究项目都是根据历年来广大学生对光学实验教学的意见和建议而提出的,是为了解决理论与实践脱节的矛盾而进行的。教材中还采纳了许多学生的意见和创意。作者对所有为本书的写作付出过有益劳动的人们深表谢意。

在人才培养过程中,受教育者是主体,教师起主导作用。教师是为学生服务的,是为出人才、出高素质人才、出具有国际竞争力的人才、出对人类社会进步有较大贡献的人才服务的。一个好的教学方法应该有利于学生学,有利于提高人才培养的质量,不仅要使学生能够学到应该掌握的知识,而且还应该使之掌握如何取得新知识的方法。教师的责任有两条:第一,要使学生学会,第二,要使学生学会学。本教材正是在这一思想指导下编写的。经过一个学期的试用,取得了初步成效。学生们认为,虽然做的实验个数少一些,但知识掌握得更扎实了。有的学生还对实验方法进行改进,使操作变得简单了,测量精度也

提高了。实践上的成功,增强了我们的信心。在学校的关怀及山东大学出版社的支持下,经过认真地文字修改和绘图工作,本书由山东大学出版社出版发行,奉献给读者。由于将理论与技术融为一体,采用实验设计、仪器操作、成果总结的三步骤教学程序,是一个全新的课题,没有成功的经验可以借鉴,加之作者水平有限,在本书的选材、布局及具体章节的叙述上,定有许多不当之处,甚至会有错误。诚望使用本书的各位老师及学生,能将书中的错误、遗漏及不当之处一并提出,以便修改完善。作者愿和各位从事物理实验教学工作的同仁们共同研究新时期实践教学的规律,以期把实验教学改革和教材建设搞得更好。

作 者

2003.7

目 录

第一章 发光与光源	(1)
§ 1-1 光是电磁波.....	(1)
§ 1-2 发光.....	(3)
§ 1-3 光源.....	(3)
第二章 光的传播 I——几何光学	(15)
§ 2-1 反射、全反射及应用.....	(15)
§ 2-2 三棱镜的折射	(16)
§ 2-3 球面的折射(反射)及组合	(19)
§ 2-4 透镜焦距的测定与透镜系统的成像质量	(24)
§ 2-5 常见光学系统的基本原理	(30)
第三章 光的传播 II——波动光学	(38)
§ 3-1 光的偏振状态	(38)
§ 3-2 光的干涉	(47)
§ 3-3 光的衍射	(59)
第四章 光的量子性	(79)
§ 4-1 光电效应	(79)
§ 4-2 爱因斯坦公式和普朗克常数的测定	(80)
§ 4-3 激光的特点及激光器的一般机理	(82)
第五章 光学实验的特点及注意事项	(84)
§ 5-1 光学实验与精密测量	(84)
§ 5-2 光学实验的特点	(85)
§ 5-3 怎样才能做好光学实验	(85)
附:光学仪器的使用与保养.....	(87)
第六章 光学实验的设计及报告	(89)
§ 6-1 光学实验的设计	(89)
§ 6-2 光学实验的报告	(90)
第七章 实验仪器、实验技术与方法	(100)
§ 7-1 基座或基面上光学元件的共轴调节、光学校准技术	(100)
§ 7-2 光学像位置的判断与确定.....	(103)



§ 7-3 助视光学仪器的一般结构与调整	(104)
§ 7-4 分光仪的结构与使用	(113)
§ 7-5 光谱仪器的结构与使用	(120)
§ 7-6 焦距仪的结构及使用	(129)
§ 7-7 阿贝折射仪的结构与使用	(132)
§ 7-8 单、双缝衍射、双棱镜干涉实验的关键技术	(134)
§ 7-9 平面全息光栅记录与空间滤波	(137)
§ 7-10 迈克耳孙干涉仪的结构与使用	(139)
§ 7-11 平板玻璃两表面间微小夹角的测量	(141)
§ 7-12 偏光、旋光实验中的技术	(143)
§ 7-13 照相过程中的实验技术	(147)
§ 7-14 光电效应实验分析与实验技术	(155)
§ 7-15 光束的变换与平行光的检验	(160)
§ 7-16 光学像的记录与感光材料	(163)
§ 7-17 光的改变及滤光片	(169)
§ 7-18 浸液法测量不规则样品的折射率	(172)
第八章 普通光学实验题目及要求	(174)
实验 1 用测物像距的方法测量正薄透镜焦距	(174)
实验 2 用测物像距的方法测量负薄透镜焦距	(174)
实验 3 透镜组合系统节点的测定	(175)
实验 4 自组显微镜并测其放大率	(175)
实验 5 自组望远镜并调节其对向无穷远	(175)
实验 6 应用焦距仪测定焦距与顶焦距	(176)
实验 7 分光计调节及棱镜顶角的测定	(176)
实验 8 应用最小偏向角法测定三棱镜的折射率	(176)
实验 9 应用全反射临界角法测定三棱镜的折射率	(177)
实验 10 应用阿贝折射仪测量固、液体折射率	(177)
实验 11 测定三棱镜的布儒斯特角并计算折射率	(178)
实验 12 单色仪的调节与定标	(178)
实验 13 应用单色仪测 Na 光波长及滤光片的光谱透过率	(179)
实验 14 小型摄谱仪调整及最佳摄谱位置的确定	(179)
实验 15 偏振光的产生、检验及强度测定	(180)
实验 16 小型旋光仪的结构、原理及使用	(180)
实验 17 应用双缝干涉法测 He-Ne 激光波长	(180)
实验 18 单缝衍射光强分布的测定与图示	(181)
实验 19 测量牛顿环直径并计算曲率半径	(181)
实验 20 利用双棱镜干涉法测 He-Ne 激光波长	(182)
实验 21 迈克耳孙干涉仪调整及干涉现象观察	(182)

实验 22	干涉法测平面平行板两表面间的微小夹角	(183)
实验 23	平面全息光栅常数测量及未知谱线波长的测定	(183)
实验 24	激光全息照片拍摄及观察	(184)
实验 25	平面全息光栅的制作及检测	(184)
实验 26	反射式全息图的记录与观察	(185)
实验 27	阿贝成像原理的验证与空间滤波	(185)
实验 28	全色照相的记录与底片冲洗	(186)
实验 29	照相反转法制作透射式幻灯片	(186)
实验 30	黑白照片的印制及放大	(187)
实验 31	自组透射式幻灯机	(187)
实验 32	V 棱镜法与最小偏向角法测量折射率的比较	(189)
实验 33	三棱镜色散规律研究及科希常数的确定	(189)
实验 34	应用折射定律测小顶角棱镜的折射率	(190)
实验 35	不同方法测定 He-Ne 激光波长的比较	(190)
实验 36	反光的凹、凸球面曲率半径的测量	(190)
实验 37	菲涅耳公式中反射规律的验证	(191)
实验 38	应用等厚干涉测细丝直径	(191)
实验 39	比对标准谱图测定未知谱线波长	(192)
实验 40	光源配光曲线的测定	(192)
实验 41	光电效应现象及普朗克常数的测定	(192)
参考书目		(193)

第一章 发光与光源

§ 1-1 光是电磁波

科学研究证实,光是一种电磁波。光在真空中的速度和其他电磁波相同,都等于 c ($c = 299\,792\,458\text{ m/s}$);光可以使某些物质(如电影胶片)发生变化(称为感光),实际上是电场对物质作用的结果(将胶片放在一般电场中也可感光)。

光波作为电磁波,只是电磁波谱中的一个波段。可见光(真空中)的波长约在 $390\sim 760\text{ nm}$ ($1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ 。请注意,所谓可见光,其波长范围并不是确定的,在此波段以外,人眼仍有光感觉。可参看表 1-3-2。)范围,频率限于 $3.9\sim 7.7\times 10^{14}\text{ Hz}$ 。整个电磁波波谱大致如图 1-1-1 所示。

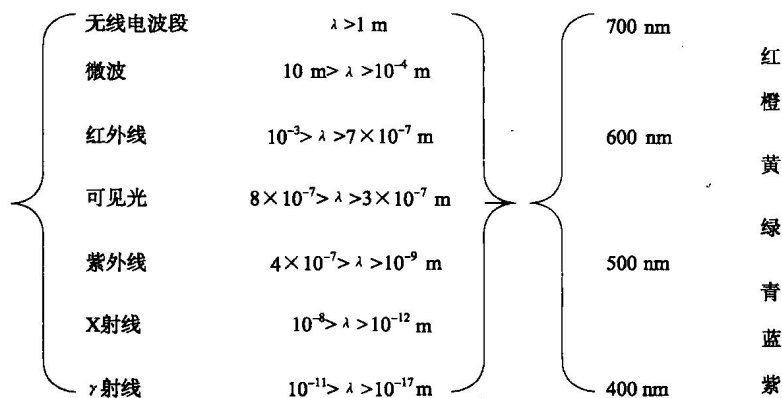


图 1-1-1 电磁波谱与光谱

对于可见光,随着波长的不同,人眼可以产生不同的色感觉,太阳光经过三棱镜后,便展成从红到紫的各种颜色。正因为如此,人们才能感知形状各异、五彩缤纷的客观世界。据推测,人类从客观外界获取的所有信息中,至少有 90% 的信息量是由光波传递的。

要详尽地了解电磁波的产生和传播规律,必须深入地研究电磁场理论和麦克斯韦方程组,这需要较多的物理知识和数学工具。值得庆幸的是,对于一般光学实验的理论叙述和现象解释,只要把光看作波动就行了。并且最常用到的是简谐波的形式,即光波到达的各点,都做频率一定、振幅不变的简谐振动。

波动是振动形式在空间传播的过程,简谐波则是简谐振动在空间传播的过程。简谐



振动的方程式如(1-1-1)

$$Y = A \cos(\omega t + \varphi) = A \cos(2\pi\nu t + \varphi) = A \cos\left(\frac{2\pi}{T}t + \varphi\right) \quad (1-1-1)$$

式中 Y 表示振动量(如振动质点离开平衡位置的位移或某点处电场强度的方向和大小,或某点处其他物理量的数值和方向等),它是一个在平衡位置附近往复变化的量,时正时负,时大时小,时快时慢,它的最大值为 A ,称作振幅。 A 取正值,当 $y = -A$ 时表示取负的最大位移。用余弦函数表示周期运动(振动)是最方便的。 $(\omega t + \varphi)$ 称作相位角,它决定了振动量的取值、变化方向和快慢。其中 ω 为圆频率(角频率),振动量从某一状态开始再回复到这一状态所用的时间为 T ,叫作周期。它是振动量完成一次全振动(即经历一切可能的运动状态)所用的时间。一秒钟内完成的全振动的次数为频率 ν ,它是以每秒次数(Hz)表示的频率。 $\omega (= 2\pi\nu)$ 则是以每秒钟改变多少相位角表示的频率。因为相位角(有时称相位,省去角字)每改变 2π ,振动量便恢复原有状态一次。 φ 表示初相位,即 $t=0$ 时振动量所具有的相位。不同的初相位对应不同的初始振动状态。从方程式(1-1-1)看, A, ω, φ 一定, Y 随 t 做周期性的运动,永不停止(这是不受任何阻力的理想情况)。要使其再影响到附近点使之振动起来(即成为向外传送这种振动形式的波源),就必然消耗它的能量,振幅 A 会不断减小,周期 T 会变大。为了维持这种振动必须由其他能源供给能量。蒸汽机活塞的振动就是靠蒸气压力维持的。这种振动为受迫振动。只有在简谐力(按正弦或余弦函数变化的周期力)作用下的受迫振动才能形成发射简谐波的波源。简谐波方程如(1-1-2)所示:

$$\begin{aligned} Y_x &= A \cos\left[2\pi\nu\left(t - \frac{|x|}{v} + \varphi\right)\right] \\ &= A \cos\left[\frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{|x|}{v}\right) + \varphi\right] \\ &= A \cos\left[\left(\frac{2\pi}{T}t - 2\pi\frac{|x|}{\lambda}\right) + \varphi\right] \end{aligned} \quad (1-1-2)$$

这里假定振源在 $x=0$ 处,它把自身的振动形式向 x 的正方向和负方向传播。因此 x 点的振动总是落后一个 $\frac{|x|}{v}$ 的时间。其中 v 是波传播的速度; $\frac{2\pi}{T} \cdot \frac{|x|}{v}$ 为 x 处的振动落后于振源的相位角; T 是周期; λ 表示波长。在波传播方向上,相隔 $k\lambda$ (k 为整数)的两点总是具有相同的振动状态,只是相位角差 $2k\pi$ 。均匀介质中(记住:在不同的介质中波长是不同的),波传播方向上,相位差为 2π 的两振动点之间的距离为一个波长。

光波是电磁波。由于光和物质相互作用时经常是以电场形式进行的,因此,在表示光波时常以电场矢量表示光振动,写作:

$$E(x, t) = E_0 \cos(\omega t - kx + \varphi_0) \quad (1-1-3)$$

式中 $k = \frac{2\pi}{\lambda}$,波源在 $x=0$ 处,沿 x 正向传播,且 $x>0$ 。

点光源(如太空中的恒星),即能够发射球面波的光源。它发出的光向整个空间传播,在均匀介质中,到光源距离相等的球面上各点的振动状态(相位)相同。随着距离 r 增大,强度(与振幅平方成正比)会越来越小,因此有

$$E(r, t) = \left(\frac{E_0}{r}\right) \cos(\omega t - kr + \varphi_0) \quad (1-1-4)$$

柱面体光源(如日光灯,在均匀介质中发射柱面波,相位相同的各点构成柱面)向垂直于柱面的四周方向发光,随着垂直距离 ρ 的增大,强度也会越来越弱,因此有

$$E(\rho, t) = \left(\frac{E_0}{\sqrt{\rho}} \right) \cos(\omega t - k\rho + \varphi_0) \quad (1-1-5)$$

式(1-1-3)表示的是在均匀空间中传播的平行光,振幅数值不会随 x 的大小而变化。式(1-1-4), (1-1-5)中的 E_0 是 $r=1, \rho=1$ 的点处电场振动的振幅。并且它们都是在均匀的、折射率 n 为 1 的空间传播的。

§ 1-2 发 光

波是能量运动所表现的形式,电磁波则是电磁能量运动的形式。物质发光,就是向外发射电磁波(称为电磁辐射或光辐射),要消耗自身的能量。物质中处在高能态的电子、原子、离子、分子向较低能态过渡(称为跃迁)时,同时向外发射一系列电磁波。波的频率和其能量的改变量 ΔE 成正比

$$\Delta E = h\nu \quad (1-2-1)$$

式中 h 为普朗克常数($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$)。

一般物质中的粒子跃迁发光是随机过程,大量的粒子互不相干的发光,这些光汇集起来形成自然光。只有在特殊装置和激发条件下才可能形成具有特殊品质的光(如激光)。随着光的发射,物质所具有的能量会逐渐减少。为了维持发光过程,必须给物质一定的能量补充,或者物质一边发光一边消耗自身的质量。前者可称为物理发光,它保持物质的基本形态,主要是靠消耗外界补充的能量来发光,外界能量供给终止,发光便停止了;后者可称为化学发光,发光的同时,消耗了自身的质量,并与其他物质产生,发光不过是化学反应呈现的一种现象而已。另外还有生物发光,其中伴随着复杂的物理和化学变化。由于发光是一种辐射过程,因此还可把其分为热辐射和非热辐射两类。在一定温度下处于热平衡状态的物体辐射(如太阳、白炽灯的辐射)叫做热辐射或温度辐射,温度不同,辐射波的构成也不相同。以电场维持的电弧、火花或因放射线、X射线、紫外线、可见光、电子束照射而发出的荧光是以维持系统温度为条件的辐射,它们是非热辐射。须记非热辐射并不是光源不辐射热量。当辐射中包含较多的波长长于可见光波长的红外线时,总会给人以热的感觉。

§ 1-3 光 源

凡自身发光或因被照而发光的物体均可被称为光源。前者为原始光源,后者为再生光源。在透镜成像过程中,被照亮的物体即是光源。

在研究光波的运行规律及光与物质的相互作用时缺少不了能满足各种要求的光源。因此,必须研究光源的性质及发光规律。下面就光源的几何性质和物理性质分别进行讨论。

一、光源的几何性质

一个实际的光源总包含着发光体和附属部件两部分。发光体如灯泡的灯丝,附属体

如外壳、灯座等。由于灯丝具有不同的形状和大小,加之附属部件对光的遮挡和反射,使得光源向各个方向发光的强弱不尽相同。研究光源发光的几何性质,就是要了解其发光强度按方向分布的规律。有了它便可设计不同形式的聚光罩以满足不同环境下对照明的要求。一只灯具的光强分布规律被称为配光曲线或曲面。为了研究光源发光的分布,首先要弄清有关光度学的一些基本概念。

(一) 光感觉与光源辐射功率的关系

光感觉是人眼对于波长介于 390~760 nm 范围这一狭窄波段的电磁波所具有的生理感觉。随着波长的不同,人眼感知的灵敏度也不相同。实验证实,在明亮的环境下,人眼对于波长为 555 nm 的黄绿光感受最灵敏。为了表征人眼感受不同波长光的灵敏度差异,引入视见函数概念,并规定 555 nm 光的视见函数值为 1。对于其他波长,若人眼对某波长为 λ 的光和波长为 555 nm 的光产生相同的强度感觉,前者进入人眼的辐射能通量(单位时间流经该界面的辐射能量,即进入该面的辐射能功率)为 ϕ_λ ,后者进入人眼的辐射能通量为 ϕ_{555} ,则定义该视见函数值 $V(\lambda)$ 为

$$V(\lambda) = \phi_{555} / \phi_\lambda$$

例如 2.5 W, 400 nm 的紫光与 1 mW, 555 nm 的黄绿光能引起人眼相同的光感觉,故

$$V(400) = 10^{-3} / 2.5 = 0.0004$$

或者说,同样功率的黄绿光(555 nm)和紫光(400 nm),前者产生的光感觉强度是后者的 2500 倍。为了用辐射作用于人眼所产生的视觉效应来评价辐射通量,引入光通量概念。由于波长不同的光视觉效应不同,必须确定不同波长的辐射能通量与光感觉间的当量关系。明视场下,波长为 555 nm 的光具有最大的关系 K_m ($K_m = 683$ 流明/瓦 = 683 lm/W,流明是光通量单位)。对于其他波长,则有

$$\Delta F_\lambda = K_m \cdot V(\lambda) \cdot \Delta \phi_\lambda = K_\lambda \cdot \Delta \phi_\lambda$$

ΔF_λ 为波长介于 $\lambda \pm \Delta\lambda$ 内的光产生的光通量。 K_λ 为波长等于 λ 的光的光功当量。 $\Delta \phi_\lambda$ 为相应波段的辐射能通量。

在暗视觉情况下,人眼最灵敏的波长偏向短波一侧。明视觉、暗视觉条件下人眼的视见函数值如表 1-3-1 所列。图 1-3-1 直观地表示出视见函数值随波长的变化关系。图中实曲线和虚曲线分别对应明视觉和暗视觉。

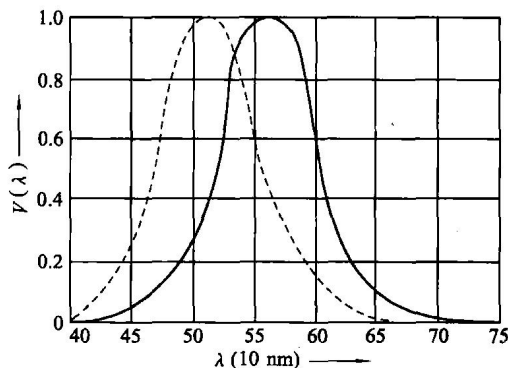


图 1-3-1 视见函数曲线

表 1-3-1 明视觉、暗视觉光谱光效率函数(最大值 = 1)

波 长 nm	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V'(\lambda)$	波 长 nm	明视觉 $V(\lambda)$	暗视觉 $V'(\lambda)$
380	0.000 04	0.000 589	590	0.757	0.065 5
390	0.000 12	0.002 209	600	0.631	0.033 15
400	0.000 4	0.009 29	610	0.503	0.015 93
410	0.001 2	0.034 84	620	0.381	0.007 37
420	0.004 0	0.096 6	630	0.265	0.003 335
430	0.011 6	0.199 8	640	0.175	0.001 497
440	0.023	0.328 1	650	0.107	0.000 677
450	0.038	0.455	660	0.061	0.000 312 9
460	0.060	0.567	670	0.032	0.000 148 0
470	0.091	0.676	680	0.017	0.000 071 5
480	0.139	0.793	690	0.008 2	0.000 035 33
490	0.208	0.904	700	0.004 1	0.000 017 80
500	0.323	0.982	710	0.002 1	0.000 009 14
510	0.503	0.997	720	0.001 05	0.000 004 78
520	0.710	0.935	730	0.000 52	0.000 002 546
530	0.862	0.811	740	0.000 25	0.000 001 379
540	0.954	0.650	750	0.000 12	0.000 000 760
550	0.995	0.481	760	0.000 06	0.000 000 425
560	0.995	0.328 8	770	0.000 03	0.000 000 241 3
570	0.952	0.207 6	780	0.000 015	0.000 000 139 0
580	0.870	0.121 2			

(二) 点光源的发光强度

表征一个点光源的发光能力用发光强度 I , 它是矢量。光源在某方向上发光强度 I 的数值等于在该方向上单位立体角内所辐射的光通量的大小, 即

$$I(\phi, \theta) = \frac{dF}{d\Omega}$$

ϕ, θ 是球面坐标系中的两个变量, 表示考察点相对于光源的方向。 ϕ 是(平面上的)方向角, θ 为高低角, 另一个变量是离开光源的距离 r 。以光源为球心, r 为半径作一个球面, 一小块球面面积 Δs 与 r^2 之比即为 $d\Omega$ 。 dF 为光源在此立体角内辐射的光通量。发光强度的单位为坎德拉(cd)(坎德拉是七个国际基本计量单位之一。1979 年 16 届国际计量大会规定:“坎德拉是光源在给定方向上的发光强度。该光源发出频率为 $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ 的单色辐射, 在此方向上的辐射强度为 $1/683 \text{ 瓦/球面度}$ ”)。在空间任何方向的发光强度均

为 1 cd 的点光源,其发出的总光通量为 $4\pi \text{ lm}$ 。因为对点源来讲,整个空间对它所张的立体角为 4π 球面度。

(三) 面光源的亮度

实际的光源都有一定形状和大小,都不是一个绝对的点,只是在考察的距离足够大,可以忽略光源形状和大小时,才可把其视为物理上的点光源。不满足此条件时,称其为面光源(或扩展光源)。表明面光源发光能力的量是光出射度,即面源某点附近的元面上单位面积向空间辐射的总光通量。亮度则表示光源发光能力对方向的依赖关系。面源上某点在考察方向上的亮度值为在考察方向上单位投影面积在单位立体角内辐射的光通量。亮度的单位为 $\text{cd}\cdot\text{m}^{-2}$,称为尼特(nt)。

$$1 \text{ nt} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2 \cdot S_r} = \frac{1 \text{ cd}}{1 \text{ m}^2}$$

S_r 为球面度。亮度的另一个单位是熙提(Sb)

$$1 \text{ Sb} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ cm}^2 \cdot S_r} = 10^4 \text{ nt}$$

(四) 光源对被照面的照度

发光强度、亮度是表征光源发光特性的量,被光照射的表面得到的则是光照度。光场中某点处得到的照度值是该点附近单位面积内所接收到的光通量,单位为勒克斯(lx)或辐透(ph)。得到

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}, \quad 1 \text{ ph} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ cm}^2} = 10^4 \text{ lx}$$

光照度的定义为单位面积接收到的光通量,光出射度为单位面积发射的光通量,二者量纲完全相同。

正确地测量光源对光场中某点的光照度,可以如实地反映出光源在该方向的光辐射能力,必须借助于测量仪器来完成。并且所采用的物理仪器的灵敏度特性应极接近人眼的生理特性。目前常用的仪器为光照度计。采用硒光电池、硅光电池或光电倍增管作为光辐射探测器。由于光电器件和人眼的灵敏度存在差异,因此必须用滤光片进行校正。目前以玻璃滤光片进行 $V(\lambda)$ 匹配,其理论计算的误差可在 1% 以内。另外除了对探测器进行频谱特性校正外,还要进行与光照方向有关的余弦校正,以保证在入射方向改变时其示值也能符合按余弦函数变化的关系。

测量照度以确定光源的辐射强度属绝对测量。为了使仪器符合计量要求,必须定期到计量标准单位进行标定。否则,测量数据只具有相对准确的性能。

(五) 光源配光曲线的测定

为了测定光源配光曲线(或曲面),必须测定其在每个方向上的发光强度。要达到这一目的,或者用探测器在每个方向上进行测量(移动探测器法);或者转动光源而保持探测器位置不变(转动光源法)。前者可把光源定位于一已知半径的球心,探测器一边沿球面移动,一边进行测量(如果真有球面包围,则球面必须是全黑的绝对黑体,只在探测方向

上开口;或者是虚拟球面,保持探测面到光源距离不变)。后者可把光源安装在一个二维可转的调节架(双 U 形支架)内。实验室研制的调节架如图 1-3-2 所示。

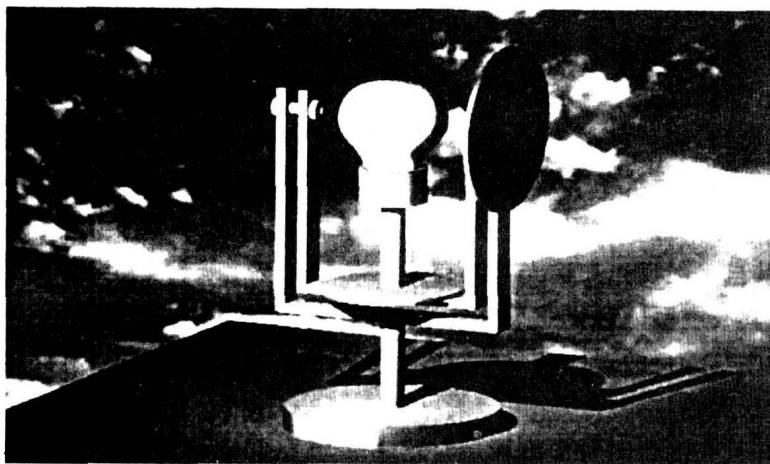


图 1-3-2 双 U 形支架

图中 U_1 固定在支杆上与底座相连, U_2 与 U_1 以水平轴连接, 可绕轴转动。灯口通过支杆连接于 U_2 的底部中央, 可沿竖直轴转动。沿水平和竖直轴转动的角度由角度盘读出。如图所示, 由于水平与竖直轴线的交点即是灯丝的中心, 因此, 不论支架如何转动, 探测器始终对着灯丝的中心进行测量。沿水平轴每转 $\Delta\alpha$, 便可按一定间隔绕竖直轴转 360° 逐点测量, 得到一组数据。 α 从 0 转到 180° , 便完成全部测量。由于测量的数据很多, 时间较长, 必须保持光源发光稳定才能使先后测得的数据具有同等意义。因此给待测光源供电时必须稳压稳流, 使其发光效率稳定(若稳压时灯丝电阻不变, 只需稳压即可)。另外还必须保持环境条件不变, 这样从读得的数据减去均匀的背景光照度便可得到由光源产生的照度值。

光电器件和人眼一样, 长期使用也会疲劳。为了消除疲劳影响, 可以采取如下措施: ① 避免光照太强, 若光源太亮, 探测器距光源可适当的远一些。② 在两次测量的间隙, 用罩把受光面遮挡, 使其休息复原。

综上所述, 要完成一只灯具的配光曲线测量, 必须有光具座、双 U 形支架、照度计及支架、稳压稳流源、长度测量器具。至于取多少数据, 则取决于光源发光随方向变化的剧烈程度, 以及对测量精度要求的高低, 这些应由操作人员自行确定。

二、光源发光的物理特性

讨论光源发光的物理特性, 就是要研究光源发光的频谱分布。这要用到光谱分析仪器。一般常用的分光器件为棱镜(因折射率随波长变化而使不同波长的光出射方向不同)和光栅(波长不同, 衍射主极大方向不同)。要定量地知道每一波段的辐射强度, 还须把每一谱线(对连续谱则为一谱段)的强度用光电器件测量出来。仅用来分光的仪器为分光镜或光谱仪, 既分光又能测量谱强度的仪器为分光光度计。以棱镜分光的光谱分析仪器在