

周殿清 黄晓华 招倩儿 编



光学实验

武汉大学出版社

光 学 实 验

周殿清 · 黄晓华 招倩儿 编

武汉大学出版社

(鄂)新登字 09 号

光 学 实 验

©周殿清 黄晓华 招倩儿 编

*

武汉大学出版社出版发行

(430072 武昌 珞珈山)

湖北省沙市市印刷一厂印刷

*

850×1168 1/32 11.875 印张 302 千字

1994 年 1 月第 1 版 1994 年 1 月第 1 次印刷

印数：1—2500

ISBN 7-307-01717-2/O·144

定价：5.65 元

前 言

近十多年来,光学实验课的教学从实验内容到实验技术都在不断更新变化。新概念、新方法、新的实验技术和科研领域中的新成果已逐步在光学实验课中得到反映。本书就是我们在多年教学实践的基础上,经过反复实践、积累经验、不断改进、充实完善编写而成的。全书共选了 44 个实验,分为基本实验,选作、综合与设计性实验,以及近代光学实验三个部分。前两部分可作为综合性大学或师范院校物理类专业学生的普通物理光学实验课的内容,第三部分则可作为上述院校物理类专业学生近代物理实验课(光学部分)的选修内容。

基本实验部分的内容包括几何光学、干涉、衍射、偏振和光谱学等经典光学的主要方面。对于这部分实验,编写时注意将实验原理写得完整详细些,实验内容与步骤亦尽可能具体,以加强对基本实验技能和基本实验方法的训练和指导。对于常用光学仪器(如光具座、分光计等)安排在多个实验中反复使用,使学生能正确熟练地掌握这些常用仪器的调节和使用方法。一般地说,一个实验的课堂实习任务可在 3—4 学时内完成,部分实验有多个实习内容,教学安排时可进行取舍。第二部分实验内容是基本实验的延伸和扩展,并引入了激光、全息、空间滤波、激光散斑、光导纤维等反映现代光学发展新领域、新技术的实验。它既包括有拓宽知识面、接触新技术的选作实验,也包括有提高独立工作能力的综合性与设计性实验。对于这部分实验,编写时不局限在统一的格式上。有的重点放在新概念、新思路或原理的阐述上(如等色谱、吸收谱及光导纤维等);有的则不过分强调理论上的完整,而将主要内容放在实

验方法和技巧的指导上(如全息光栅制作、象面与彩虹全息、散斑照相等)。综合性与设计性实验一般只讲原理,提出完成实验内容的基本要求,让学生查阅有关资料,自行设计实验方案,选择仪器用具、完成实验测试,以更多地发挥学生的主观能动性和创造性。这部分实验,根据各个题目内容的多少一般可安排课内 6—12 学时完成。当然,也允许有兴趣的学生利用课外时间进一步深入探索。对于近代光学实验部分,编写时注意使各个实验相对独立,原理叙述尽量完整,仪器描述和实验内容写得比较具体,以适应教师和学生选用。

光学实验中常用的光源、光电探测器和使用面广的常用光学仪器集中在绪论中分节介绍,目的是让学生在实验课前对这些涉及面广的仪器、用具的结构、性能及使用方法有一初步的了解;对于结构较复杂的仪器,则放在相应的实验中描述。尝试在少数实验中使用微机处理数据、绘制图表,并附有参考程序。多数实验后附有思考题,以引导学生在实验后进一步分析讨论,巩固和扩大所学知识。

本书编写的具体分工是:黄晓华编写第一部分实验;招倩儿编写第二部分实验 21—25、34—37;周殿清编写绪论、第二部分实验 22—23、26—33 和第三部分近代光学实验。全书插图由杨根娣、张辉绘制。此外,黄行康提供了部分实验资料。

本书由游璞、熊贵光两位副教授审稿;在编写过程中还得到了金准智教授、李中辅副教授、易西美副教授的指导和帮助,参考并吸收了各兄弟院校的有关资料和经验;同时,在本书的编写和出版过程中得到了武汉大学教务处和武汉大学出版社的大力支持,在此一并致谢。

由于编者水平所限,书中定有不少缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

1993. 3. 8 于武汉大学

目 录

绪 论

§ 1 光学实验的目的、要求与特点	(1)
§ 2 常用光源	(4)
§ 3 常用光电探测器	(11)
§ 4 实验室常用光学仪器介绍	(17)

第一部分 基本实验

实验 1 薄透镜焦距的测定	(27)
实验 2 平行光管的调节和使用	(34)
实验 3 透镜组基点的测定	(41)
实验 4 分光计的调节和使用	(50)
实验 5 用最小偏向角法测玻璃三棱镜的色散曲线	(59)
实验 6 用阿贝折射仪测定物质的 <u>折射率</u>	(66)
实验 7 显微镜	(74)
实验 8 乳剂感光特性的测定	(81)
实验 9 幻灯片的制备	(89)
实验 10 用双棱镜测定光波波长	(98)
实验 11 等厚干涉的应用	(103)
✓ 实验 12 迈克耳孙干涉仪	(110)
实验 13 瑞利干涉仪	(119)
实验 14 单缝衍射的光强分布和缝宽的测定	(126)

实验 15	衍射光栅特性及光波波长的测定	(131)
实验 16	偏振光的分析	(137)
实验 17	小型摄谱仪及其应用	(145)
实验 18	单色仪及其使用	(157)
实验 19	全息照相	(168)
实验 20	光电效应	(177)

第二部分 选作、综合与设计性实验

实验 21	光学材料 <u>折射率</u> 的测定	(182)
实验 22	望远镜组装及放大倍率测定	(186)
实验 23	照相乳剂的感光特性与科技摄影	(191)
实验 24	光源的时间相干性与空间相干性	(198)
实验 25	法布里—珀罗干涉仪	(204)
实验 26	空气折射率的测定	(210)
实验 27	<u>薄膜厚度的测量</u>	(214)
实验 28	等色谱及其应用	(222)
实验 29	铈玻璃吸收谱的测定	(226)
实验 30	旋光仪及其应用	(232)
实验 31	光学纤维特性参数的测量	(237)
实验 32	光纤干涉仪	(242)
实验 33	He-Ne 激光束发散角的测定	(246)
实验 34	全息平面光栅的制作及其参数测定	(251)
实验 35	像面全息与彩虹全息	(257)
实验 36	阿贝成像原理与空间滤波	(266)
实验 37	用激光散斑照相法测定钠光波长	(273)

第三部分 近代光学实验

实验 38	全息干涉计量	(278)
实验 39	薄膜的实折射率和厚度及金属复折射率的	

测量	(289)
实验 40 用偏光显微镜研究液晶的相变及光学特性	(310)
实验 41 共焦球面扫描干涉仪及 He-Ne 激光束的模式分析	(329)
实验 42 声光效应	(338)
实验 43 电光效应	(346)
实验 44 磁光效应	(355)

附 录

1. 一些物质的折射率(对 $\lambda_D = 589.3\text{nm}$)	(363)
2. 一些常用谱线波长	(365)
3. 一些物质的旋光率	(367)

参考文献	(369)
------------	-------

第一部分为绪论，介绍光学实验的目的、意义、特点、基本要求、实验方法、实验报告、实验考核等。第二部分为实验，包括实验 1 至实验 44。第三部分为附录，包括附录 1 至附录 3。第四部分为参考文献。

作为物理系一门必修课程的光学实验，它的主要目的是使学生掌握一定的光学理论，通过实验，使学生掌握实验方法，使学生掌握实验技能，使学生掌握实验知识。通过实验，使学生掌握实验技能，使学生掌握实验知识。通过实验，使学生掌握实验技能，使学生掌握实验知识。

二、光学实验的基本要求

根据上述目的，光学实验的基本要求可概括为下述四个方面：

1. 基本仪器及元件

(1) 对于下列仪器的基本结构、作用及使用方法有较深的了解。

绪 论

§ 1 光学实验的目的、要求与特点

一、光学实验的目的

物理学从本质上说是一门实验科学,而光学更是其中实验性较强的学科。光学从它的产生和发展,都一直与生产实践和科学实验紧密地联系在一起,彼此互相促进。光学理论与光学实验是光学课不可分割的两个组成部分。通过光学实验的学习,不仅有助于我们真正理解和掌握一些重要的光学理论和规律,而且有利于培养良好的实验素质及较强的分析、解决问题的能力。因此,我们应该十分重视它。

作为物理系一门必修课程的光学实验,它的主要目的是:让学生在一定的光学理论的指导下,通过实验(包括课前预习、课堂实验操作和课后小结写出实验报告三个环节),学会正确使用常用的光学仪器;掌握研究光学现象的基本实验方法与技能;能正确地处理与分析实验中的问题及所得到的实验结果。通过这些实践活动,进一步加深对光的本性及其规律的认识。

二、光学实验的基本要求

根据上述目的,光学实验的基本要求可概括为下述四个方面:

1. 基本仪器及元件

(1)对下列仪器的基本结构、作用及使用方法有较深的了解,

达到操作正确,运用熟练:

分光计、平行光管(望远镜)、读数显微镜、测微目镜、迈克耳孙干涉仪、小型摄谱仪、单色仪、光具座。

(2)了解下列元器件的性能,正确使用与维护:

透镜、三棱镜、光栅、偏振片、波长片、光电池(光电管)、光源(低压白炽灯、汞灯、钠光灯、氦灯、He-Ne 激光器)。

2. 实验方法

掌握测量下列物理量的基本原理与基本方法:

透镜(透镜组)的焦距、透明介质(固体与液体)的折射率、光波波长、相对光强、微小角度或长度。

3. 基本技能

(1)学会分析判断实验中遇到的光学现象的形成原因,学会耐心细致的操作技术,以达到能按照光路图调整仪器元件获得预期光学现象的目的。

(2)掌握光学系统的共轴调节技术、光学仪器的调节要领和光学仪器的渐近调节技术。

(3)初步了解摄影技术和全息照相技术。

4. 误差分析及数据处理

(1)能根据实验的条件(如仪器的准确度、测量时的误差等)正确确定有效数字的位数。

(2)学会分析简单实验中系统误差和偶然误差对测量结果的影响,及消除或减少它们的办法。

(3)能对实验结果做出正确的数据处理,并根据实验结果做出待求的关系曲线图。

三、光学实验的特点

为了较顺利地实现上述目的要求,除了应了解光学实验与我们以前做过的力学、热学和电磁学实验所具有的共同性(如皆由学生亲自操作测量、分析、处理数据等)外,还必须特别注意光学实验

本身所具有的特殊性,亦即光学实验的特点。只有注意了它的特点,才能深刻了解光与其它事物在质上的差别,才能明白解决光学问题时所采用的方法的实在意义,因而才能事半功倍地完成学习任务。

光学实验的第一个特点是:仪器的调整工作特别重要,它决定了实验能否顺利进行,和测量结果是否精确可靠。换言之,仪器调整工作是进行光学实验成败的关键。之所以如此重要,这是因为在研究或观测某一光学现象(如光的干涉现象)时,首先必须调整仪器或装置的各个部件,使一切有用的光线按照预定的路径和方向进行传播,并遮挡掉一切无用的光线,以形成该光学现象。在要求测量某些物理量(如波长、焦距、折射率等)时,由于这些物理量一般都是通过测量长度或角度等几何量来实现的,因此要求进一步调整仪器,使要测量的各个几何量与仪器系统的机械结构相一致(例如光具座上的刻度尺,分光计上的刻度盘)。因为只有这样才能保证从仪器中读取的数值就是所要测量的各量的数值,从而保证实验结果的可靠性。不难看出,光学实验的上述特点是与光波的传播方向紧密相关的。

光学实验的第二个特点是它的精密性。在进行与光的波动性有关的实验时,许多现象都与光波波长 λ 有密切联系。例如用迈克耳孙干涉仪测未知光波波长,长度变化 $\lambda/2$ 则可移动一个干涉条纹,那么,长度有 10^{-4}mm (甚至更小)的变化便可觉察出来。显然进行这类实验的光学仪器,其机械结构也必须适应这一精密性的要求。因此,在进行这些精密测量的实验时,除了要求细心观察外,还必须特别注意精密光学仪器的操作规程。否则,不仅得不到预期的实验结果,而且往往会严重损坏仪器,给国家财产造成重大损失。

§ 2 常用光源

光源的种类极其繁多,目前实验室中常用的光源多属于电光源,它是利用电能转换为光能的光源。电光源按其从电能到光能的转化形式来区分,大致可分为两类:第一类是热辐射光源,即依靠电流通过物体,使物体温度升高而发光的光源,如白炽灯。第二类是气体放电光源,即依靠电流通过气体(包括某些金属蒸气),使气体放电而发光的光源。如汞灯、钠光灯、氖灯等。

除电光源外,还有激光光源(如 He—Ne 激光器)和固体发光光源(如发光二极管)也是实验室常用的。

一、白炽灯

白炽灯是根据热辐射原理制成的。灯泡内充以惰性气体。当灯泡的钨丝两端加上适当电压后,由于电流的热效应,钨丝加热至白炽而发光。白炽灯发出的光,其光谱为连续光谱,光谱成分和光强与钨丝加热的温度有关。

在钨丝灯泡内加入微量的碘或溴制成的碘钨灯和溴钨灯,利用卤钨循环原理能更有效地抑制钨的蒸发。从灯丝蒸发出来的钨与卤族元素反应形成卤钨化合物,当卤钨化合物扩散到炽热的灯丝周围时,又分解成卤族元素和钨,钨又重新沉积到灯丝上去,这样就控制了钨丝的蒸发,大大提高了发光效率,也延长了使用寿命。

根据不同的用途,白炽灯在制造上有不同的要求。例如“仪器灯泡”对灯丝的形状及分布位置有较高的要求,对透明外壳也有一定要求;而普通灯泡要求较低。实验室常用的白炽灯除照明灯泡和暗室用的有色灯泡外,还有以下几种:

(1)小电珠。规格有 6.3V、6—8V、几瓦等几种,作白光光源和读数照明用。它通过灯丝变压器点燃。这种灯泡寿命短,不用时应

立即切断电源。

(2)金属卤素灯(如溴钨灯)。它是一种高亮度的白光点光源,也作强光源使用。常用的规格有12V/100W、24V/300W等。它通过控制变压器或行灯变压器点燃。

(3)各种仪器灯泡。一般为8V、几十瓦,作白光光源用。它通过电源变压器点燃。不同类型的仪器上使用的灯泡通常不一样,更换时应注意灯泡型号。

(4)钨带灯、钨丝灯。由于其工作状态较为稳定,寿命较长,用黑体辐射源校准后,在光度学测量中,常作为比较用的光强标准灯和光通量标准灯。此时,对电源要求较高,必须使用稳压或稳流电源供电。

二、气体放电灯

气体放电灯中用得较多的是辉光放电灯和弧光放电灯两类。它们的结构原理基本相同,一般由泡和电极组成,泡壳内充以某种气体。泡壳由透明的玻璃或石英按照所需形状经吹制加工而成。由直流电供电的电极分阳极和阴极(交流工作时,两极交替作阳、阴极使用)。

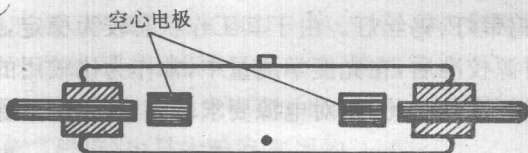
发光的基本过程是:由热阴极或冷阴极发射电子并被外电场加速。高速运动的电子与气体原子碰撞时,电子的动能就转移给气体原子使其激发。当受激原子返回基态时,所吸收的能量又以辐射(发光)形式释放出来。电子的不断产生和被电场加速,就使发光过程不断地进行下去。根据所充气体的类别而发射其特有的原子光谱或分子光谱。下面介绍几种常用的气体放电灯。

1. 汞灯

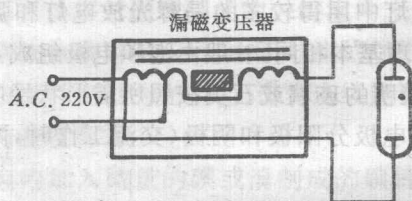
汞灯又称水银灯,其发光物质是汞蒸气。它的放电状态是弧光放电。按光源稳定工作时灯泡内所含汞蒸气压的高低,有低压汞灯、高压汞灯和超高压汞灯三种。

(1)低压汞灯。低压汞灯的汞蒸气压通常在一个大气压以下,

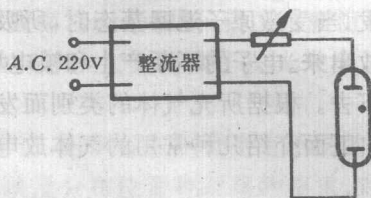
在管内两端装有电极,其结构如图 A-1(a)所示。在汞蒸汽压比较低时,汞原子被激发到 6^3P_1 能级的机会最多,当返回基态(6^1S_0)时,发射出 253.7nm 波长的共振辐射。当汞蒸汽压为 6×10^{-3} mmHg 时,这一波长的辐射效率最大,可达输入电能的 60%,故低压汞灯辐射能量几乎集中在 253.7nm 这一谱线上,它一般做紫外光源用。



(a) 低压汞灯结构示意图



(b) 交流应用电路

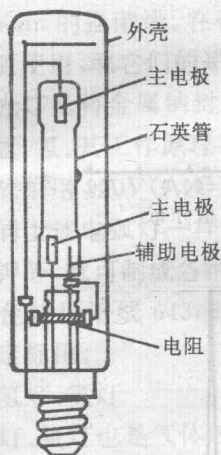


(c) 直流应用电路

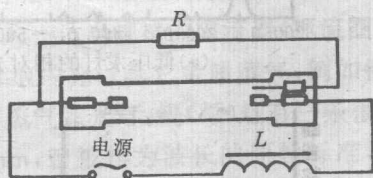
图 A-1

低压汞灯应用交流电源工作时[电路如图 A-1(b)],需用一漏磁变压器限制其工作电压和工作电流。而应用直流电源工作时,其

电路如图 A-1(c)所示,整流器输出约 700 伏,电路中串联一电阻,以稳定和限制其工作电流,使电弧稳定。



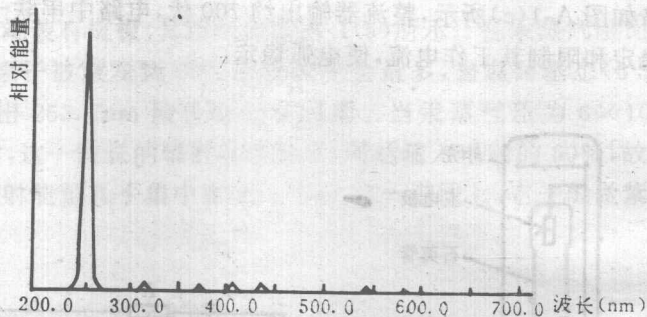
(a) 高压汞灯结构



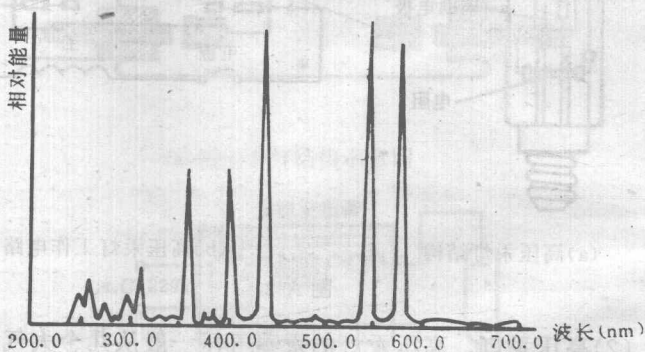
(b) 高压汞灯工作电路

图 A-2

(2) 高压汞灯。高压汞灯的汞蒸气压一般从几个大气压到 25 个大气压,因而大大提高了灯的亮度,激发更多的谱线。灯的结构如图 A-2(a)所示,在真空的圆柱形石英管的两端各有一主电极,在一个主电极旁还有一辅助电极。主电极上涂有氧化物以使其易于放出热电子。在石英管外还有一硬质玻璃外壳起保护作用。管内充有汞和少量辅助气体(如氙、氩等)。高压汞灯的工作电路如图 A-2(b)所示。辅助电极通过一只高电阻 R 与不相邻的主电极相接。当汞灯接入电路后,辅助电极与相邻主电极间加有 220 伏的交流电压。由于此两电极距离很近,在强电场作用下,产生辉光放电,放电电流由电阻 R 限制。辉光放电产生大量带电粒子,在两主电极电场作用下产生高压的弧光放电,当汞全部蒸发后才开始稳定,灯管正常发光。



(a) 低压汞灯的相对光谱能量分布



(b) 高压汞灯的相对光谱能量分布

图 A-3

使用高压汞灯时,应根据灯管工作电流选用适当限流器,以稳定工作电流。汞灯从启动到正常工作需要一段预热时间,约 5—10 分钟。高压汞灯熄灭后,因灯管仍然发烫,内部仍保持较高的汞蒸气压,要等灯管冷却后汞蒸气压降低到一定程度才能再次点燃,冷却过程亦需要 5—10 分钟。高压汞灯在紫外、可见和红外区域都有辐射。图 A-3(a)和(b)分别为低压汞灯和高压汞灯的相对光谱能量分布。在高压汞灯的总辐射中约有 37% 是可见光,其中一半以上集中在汞的绿线 546.1nm 和黄线 577.0nm、579.1nm,都接近于视函数的最大值。因此,高压汞灯是光学实验和光谱分析中比较理想的光源。

汞灯辐射紫外线较强,为防止眼睛受伤,不要直接注视它。

2. 钠光灯

钠光灯的光谱在可见光范围内有两条波长分别为 589.0nm 和 589.6nm 的强谱线。在很多仪器中,二条谱线不易分开,把它作单色光源使用,取它们的平均值 589.3nm 作单色光波长。

钠光灯是将金属钠封闭在抽空的放电管内,管中充以少量辅助气体氩、氛。其工作原理与汞灯相似,都是金属蒸气弧光放电。钠光灯电源采用 220V(A.C)并串入一适当规格的限流器(扼流圈)。

如同上述电弧灯一样,如灯泡内充以其它金属蒸气,例如镉、铊、铯、钾等,就可制成各种金属蒸气弧光灯。镉(弧)灯有一条很细锐的红色特征谱线 643.84696nm,曾被作为波长的原始标准,现仍常作定标用。

3. 氢灯、氦灯

氢灯、氦灯也是气体放电光源,放电时产生原子光谱和分子光谱,制作时根据需要进行措施可突出其一种。工作电流一般为几毫安,管压降约几千伏。电源采用 220V(A.C)通过调压变压器输入到霓虹灯变压器的输入端以控制其输出电压。霓虹灯变压器的输入电压应控制在 50~100V。霓虹灯变压器输出端 8000V 直接接入氢灯两端,而输出端 5000V 直接接入氦灯两端。电路中不需要串入高电阻或限流器,因为霓虹灯变压器次级线圈就是一个很大的电感。由于管端电压很高,使用时应防止触电。

三、He-Ne 激光器

激光器是 60 年代出现的新型光源,其发光机理与前述的光源根本不同。激光器是受激发射而发光,普通光源是自发射而发光。激光是一种方向性很好(发散角很小)、单色性好、亮度高、空间相干性高的光源。因此,实验室常用它作强的定向光源和单色光源。其中最常用的激光器是 He-Ne 激光器,它发出的激光波长为 632.8nm。