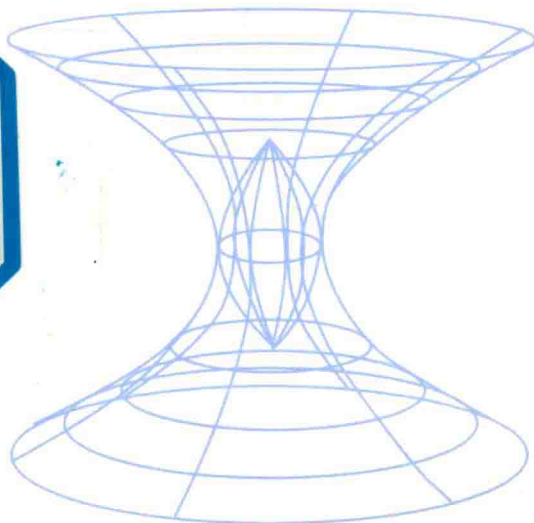




普通高等教育“十三五”规划教材

应用性与设计性 物理实验

王爱军 唐军杰 吕志清 袁耀 编著



中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

责任编辑：孙立泉 潘向阳

责任校对：李 伟

封面设计：七星博纳



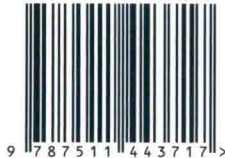
YINGYONGXING YU SHEJIXING WULI SHIYAN

应用性与设计性物理实验



关注官方微博
获取更多资讯

ISBN 978-7-5114-4371-7



9 787511 443717 >

定价：35.00元



普通高等教育“十二五”规划教材

应用性与设计性 物理实验

王爱军 唐军杰 吕志清 袁耀 编著

中国石化出版社

此为试读, 需要完整PDF请访问: www.ertongbook.com



内 容 提 要

本书分为应用性实验及设计性实验两部分。应用性实验部分介绍了物理学原理、方法与技术在石油石化专业领域应用的实验项目,通过实验项目训练学生为专业实验打好基础。设计性实验旨在培养学生独立开展工作、进行简单科学实验的能力,该部分的实验只为学生提供实验课题和基本的实验仪器,具体的实验设计和实验研究由学生独立探索完成。

本书可作为普通高等院校理工科专业的本科教材,也可供相关科研院所的研究人员使用、阅读。

图书在版编目(CIP)数据

应用性与设计性物理实验 / 王爱军等编著. —北京 :
中国石化出版社, 2019. 6
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-5114-4371-7

I. ①应… II. ①王… III. ①物理学-实验-高等学校-教材 IV. ①O4-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 000469 号

未经本社书面授权,本书任何部分不得被复制、抄袭,或者以任何形式或任何方式传播。版权所有,侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址:北京市朝阳区吉市口路9号

邮编:100020 电话:(010)59964500

发行部电话:(010)59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com

北京科信印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787×1092 毫米 16 开本 9 印张 224 千字

2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷

定价:35.00元

Preface

前 言



大学物理实验课程是理工科大学都要开设的公共基础实验课，是培养学生自主实践能力的一门必修课程。目前，本科生的大学物理实验项目多为验证性实验，实验教材也多是以实验目的、原理、仪器和步骤的思路来进行编写的，学生依据教材中实验步骤在教师的帮助下完成该实验的内容，撰写实验报告。该类实验教材下传统的实验教学模式虽然能够培养学生的物理学思维，加深学生对物理学理论的理解，使学生学到一定的实验技能，但与学生相关专业领域的技术契合度及对独立解决实际问题的能力和创新能力的培养远远不够。

《应用性与设计性物理实验》一书是结合基础性实验、综合性实验、扩展性实验(包括课堂选做实验、网络虚拟仿真物理实验和学术参观活动)、设计与应用性实验和研究性实验构成的创新班大学物理实验课程体系而编写的实验教材，是为了满足更高层次学生能力培养的需要。

本书设计了28个实验项目，其中应用性实验19个，设计性实验9个。应用性实验部分介绍了一些能体现物理学原理、方法与技术在石油石化专业领域应用的实验项目，学生通过该教材的实验项目训练，为以后的专业实验打下基础。设计性实验部分主要为了培养学生独立开展工作、进行简单科学实验的能力。设计性实验项目只为学生提供实验课题和基本的实验仪器，具体的实验设计和实验研究由学生独立探索完成，这种形式有助于激发学生的实验积极性，培养学生的独立思考能力和报告撰写能力。

限于编者水平，书中不当之处在所难免，真诚地希望使用本书的各位读者提出宝贵意见。

目 录

Contents

应用性实验

实验一	光学图像相减实验	(3)
实验二	θ 调制(空间假彩色编码)实验	(8)
实验三	傅里叶光学的空间频谱与空间滤波实验	(10)
实验四	光学图像微分	(17)
实验五	组合干涉	(20)
实验六	振动及压电陶瓷特性的研究	(24)
实验七	激光位移计 CCD 的工作原理与应用	(28)
实验八	激光散斑测量横向微小位移	(36)
实验九	液晶的电光效应实验	(39)
实验十	光弹效应实验	(44)
实验十一	氦氖激光器谐振腔的调谐与激光性能研究	(48)
实验十二	多光束干涉实验	(58)
实验十三	透、反射式数字全息	(60)
实验十四	温度场测量	(67)
实验十五	光纤传感器测容器压强	(69)
实验十六	光纤全息照相实验	(74)
实验十七	光纤位移传感器的标定与应用	(80)
实验十八	光纤纤端光强分布的测定	(85)
实验十九	用光纤位移传感器测定材料的杨氏模量	(90)

设计性实验

实验二十 细丝直径的测量	(99)
实验二十一 用双臂电桥测量金属的电阻率	(102)
实验二十二(1) 弹簧的简谐振动	(107)
实验二十二(2) 弹簧等效质量研究	(108)
实验二十三 光盘参数的简单测量	(113)
实验二十四 用迈克尔逊干涉仪测量激光波长	(117)
实验二十五 液体折射率的测量	(121)
实验二十六 非线性元件及光敏元件伏安特性研究	(127)
实验二十七(1) 用气轨测量重力加速度	(131)
实验二十七(2) 验证牛顿第二定律	(132)
实验二十八 阻尼振动研究	(135)

实验一 光学图像相减实验

应用性实验

贵州师范学院内部使用

实验一 光学图像相减实验

本实验介绍了光学图像识别领域中图像相减的概念；根据阿贝(Abbe)成像理论，应用一维光栅作为空间滤波器，分析论证了实现图像相减识别的重要方法；通过滤波实验系统，实现了两幅图像的相减，从而给出不同图像信息的差异。

通过对卫星拍摄的照片的图像相减处理，可用于监测海洋面积的改变、陆地板块移动的速度，也可用于监测地壳运动的变迁(如山脉的升高或降低)，还可用于对各种自然灾害的监测(如森林大火、洪水等灾情的发展)；对侦察卫星发回的照片进行相减操作，可提高监测对方军事部署变化的敏感度和准确度；还可用于人体内部器官的检查，可通过不同时期的X光片进行相减处理，及时发现病变的所在；用于检测工件的加工，可通过与标准件图片的相减结果检查工件外形加工是否合格，并能显示出缺陷的所在……图1-1(c)为两个图像[图1-1(a)、图1-1(b)]相减后的效果示意图。

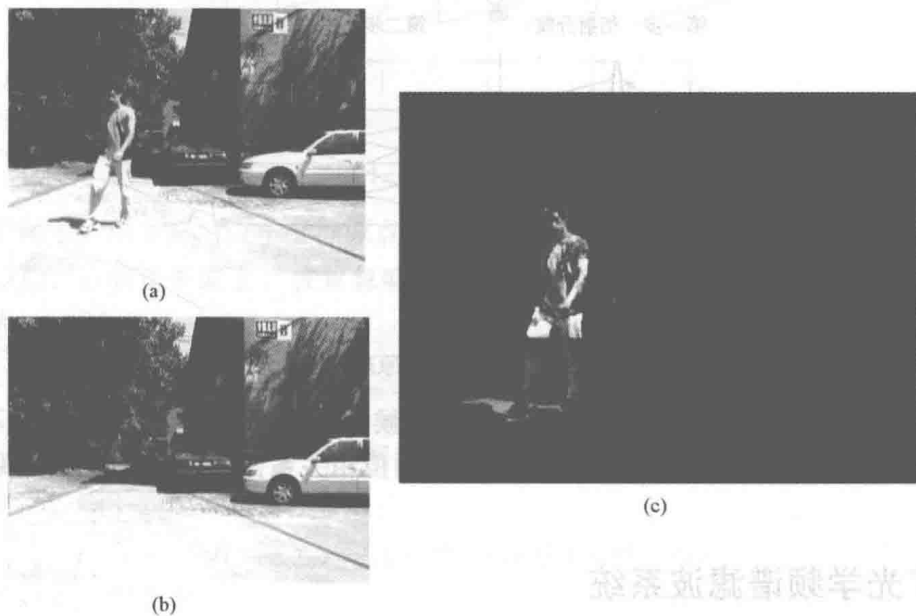


图 1-1 两个图像相减后的效果示意图

1. 实验目的

- (1) 平行光的调节。
- (2) 了解 $4f$ 系统的结构、原理及其应用。
- (3) 了解光学图像相减的原理。

2. 实验原理

1) 平行光的调节

调节光信息实验光路图的基本原则是共轴，即保证整个光路的光轴平行于工作台面且在同一高度上。主要经过 4 个步骤：

(1) 调整激光器的俯仰和左右旋钮，使输出光束始终平行于工作台面，可用一小孔光阑在台面上移动，并保持激光光斑中心始终与小孔重合。

(2) 调节等高。即使各光学元件的光学面中心距离台面高度相等，此时，激光束或其主光线通过各光学元件的中心，一般可通过俯仰调节装置完成(可借助光阑，使反射光点的高度与入射激光相同)。

(3) 调节同轴。调整各个激光元件相对入射激光的左右位置，使各光学元件的中心都处于入射激光光路上，即所有光学器件的光轴重合。

2) 阿贝成像原理

德国人阿贝在 1973 年首次提出了一个与传统的几何光学成像观念完全不同的成像概念。他认为，相干成像过程分两步来完成：第一步“分频”；第二步“合成”，如图 1-2 所示。阿贝认为的成像过程实际上是经过了两次傅里叶变换，即包含了两次衍射过程。

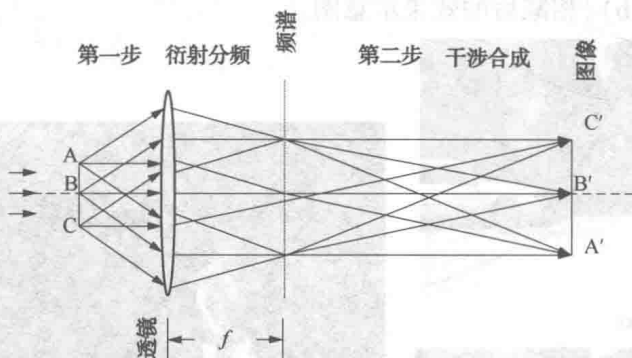


图 1-2 阿贝成像原理图

根据阿贝成像理论，当改变物的频谱结构的时候，就可以在成像面观察到物不同的像。通过改变光栅在频谱面上的横向位置来控制两者的位相关系，从而在成像面上观察到不同的像。

3. $4f$ 光学频谱滤波系统

空间频谱滤波系统是相干光学信息处理中一种最简单的处理方式，它利用了透镜的傅里叶变换特性，把透镜作为一个频谱分析仪，并在频谱面上通过插入适当的滤波器，借以改变物的频谱，从而使物象得到改善。空间频谱滤波系统有多种光路结构，其中最典型的系统是 $4f$ 光学频谱滤波系统。这种系统，从频域来看，改变滤波器的透过率函数(滤波函数)，该系统就能改变物图像的空间频率结构，这就是空间滤波或频域综合的含义；从空域来看，该系统实现了输入信息与滤波器脉冲响应的卷积或相关，完成了所期望的一种变换。

$4f$ 系统可以分成 3 个部分来说明：准直、变换、成像，对应图 1-3 中的输入面、变换面、输出面。

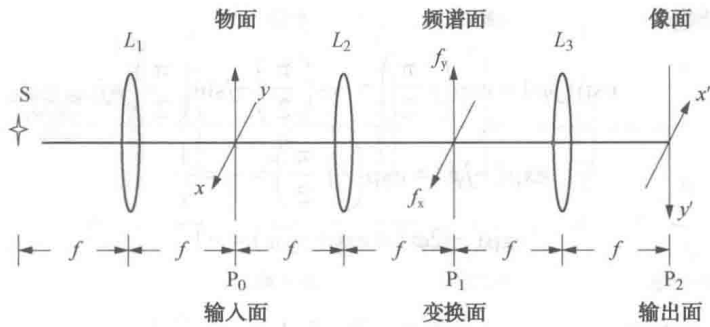


图 1-3 4f 光学频谱滤波系统

4. 图像相减原理(图 1-4)

本实验主要是利用一维光栅的空间滤波作用实现图像相减的。

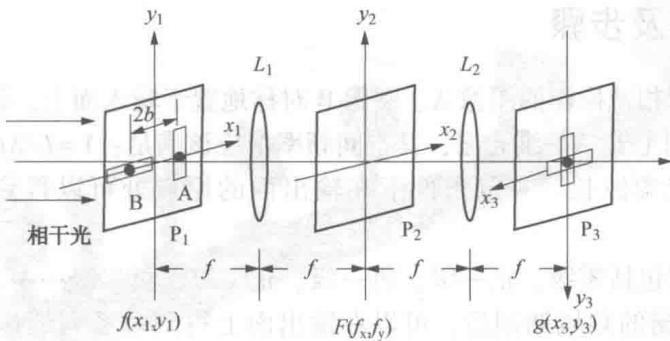


图 1-4 图像相减原理

在物平面上，沿方向对应于坐标原点放置的图像 A 和 B，它们的中心离坐标原点的距离都等于 $b = \lambda f_0 f$ ，在频谱平面上，放置忽略了有限尺寸的正弦振幅型光栅，其复振幅透过率函数可写为：

$$H(f_x, f_y) = \frac{1}{2} [1 + \cos(2\pi f_0 x_1 + \varphi)]$$

设 $f_A(x_0, y_0)$ 和 $f_B(x_0, y_0)$ 分别为图像 A 和图像 B 复振幅透过率函数。在单位振幅平面波垂直照射下，物平面输入光场分布为：

$$f(x_0, y_0) = f_A(x_0 - b, y_0) + f_B(x_0 + b, y_0)$$

频谱平面输入频率为

$$F(f_x, f_y) = \Psi\{f(x_0, y_0)\} = F_A(f_x, f_y) \exp(-j2\pi b f_x) + F_B(f_x, f_y) \exp(j2\pi b f_x)$$

又由于 $b f_x = f_0 x_1$ ，因此可得：

$$F(f_x, f_y) = F_A(f_x, f_y) \exp(-j2\pi f_0 x_1) + F_B(f_x, f_y) \exp(j2\pi f_0 x_1)$$

光栅滤波后的频谱为

$$F(f_x, f_y) H(f_x, f_y) = \frac{1}{4} [F_A(f_x, f_y) \exp(j\varphi) + F_B(f_x, f_y) \exp(-j\varphi)]$$

在像平面的输出光场分布为：

$$g(x_3, y_3) = \Psi^{-1}\{F(f_x, f_y) H(f_x, f_y)\}$$

当 $\varphi = \pi/2$ 时, 由

$$\exp(j\varphi) = \exp\left(j\frac{\pi}{2}\right) = \cos\left(\frac{\pi}{2}\right) + j\sin\left(\frac{\pi}{2}\right) = j$$

$$\exp(-j\varphi) = \exp\left(-j\frac{\pi}{2}\right) = -j = \frac{1}{j}$$

$$\exp(-j2\varphi) = \exp(-j\pi) = -1$$

可得:

$$g(x_3, y_3) = \frac{j}{4} [F_A(x_3, y_3) - f_B(x_3, y_3)] + \frac{1}{2} [f_A(x_3 - b, y_3) + f_B(x_3 + b, y_3)] \\ + \frac{1}{4j} [f_A(x_3 - b, y_3) - f_B(x_3 + b, y_3)]$$

由上式可以看出, 输出平面的中心部位实现了图像相减。

5. 实验内容及步骤

将两个即将进行相减操作的图像 A、图像 B 对称地置于输入面上, 设它们的中心分别在 $x=L, -L$ 处; 频谱面上置一维光栅, 其空间频率 V 应该满足: $V=L/\lambda f$ 。式中, f 为傅里叶透镜的焦距, λ 为光源波长。一定条件下在输出面的原点处可以得到图像 A、B 相减的结果。

一维光栅的频谱包括零级、正一级、负一级、正二级、负二级……。对于一个中心在 $x=L$ 的图像, 经过光栅的频域调制后, 可以在输出面上得到一系列的像。零级为于 $x'=-L$ 处, 正, 负级对称地分布在两侧。由于 V 受 $L/\lambda f$ 限制, 必有一级位于输出面的原点出, 另一个一级为于 $-2L$ 处。同理, 对于位于 $x=-L$ 的图像, 它在输出面上的像分别位于 $x'=\dots, 2L, L, 0, \dots$ 位置, 因此 A 的正一级像与 B 的负一级像在像面的原点处重叠。由于照明是相干的, 该处的光振幅应该是两者光振幅的代数和。根据迭加原理, 当两者的位相反时, 得到相减的结果, 当两者的位相相同时, 得到相加的结果。可以通过改变光栅在频谱面上的横向位置, 来控制两者的位相关系。当光栅的 $1/4$ 周期处于原点位置时, 可以在输出平面得到相减的结果; 而当调制光栅的零点位于原点时, 可以在像输出平面得到相加的结果。

将半导体激光器放在光学实验导轨的一端, 打开电源开关, 调节二维调整架的两个旋钮, 使得从半导体激光器出射的激光光束平行于光学实验导轨。

在半导体激光器的前面放入扩束镜, 调整扩束镜的高度和其上面的二维调节旋钮, 使得扩束镜与激光光束同轴等高。

在扩束镜的前面放入准直镜, 调整准直镜的高度, 使得准直镜与激光光束同轴等高。再调整准直镜的位置, 使得从准直镜出射的光束成近似平行光。

在准直镜的前面搭建 $4f$ 系统。保持两傅里叶透镜与激光光束同轴等高, 如图 1-5、图 1-6 所示。

在 $4f$ 系统的输入面上放入待加减图像且待加减图像装在一维位移架上, 频谱面上放入加减滤波器(一维光栅)且加减滤波器(一维光栅)装在二维位移架上, 输出面上放入观察屏(毛玻璃)。

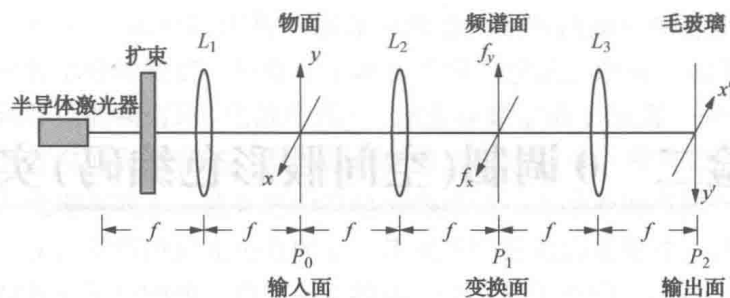


图 1-5 实验原理图

通过旋转一维位移架上的旋钮，使得加减滤波器(一维光栅)发生位移，观察毛玻璃上的图像的变化，直到在毛玻璃上出现加减图像为止。

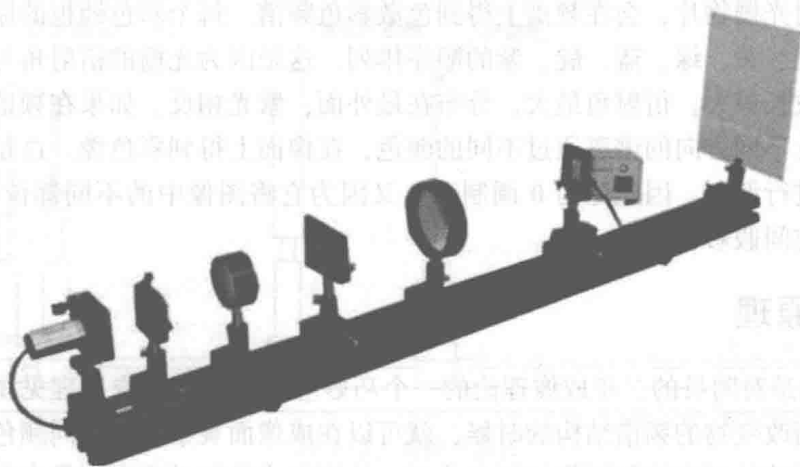
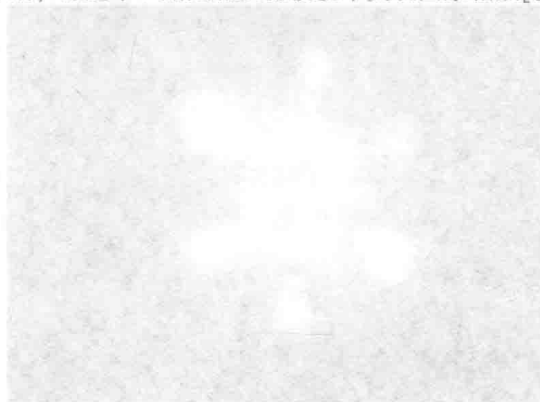


图 1-6 实验装置图

参 考 文 献

- [1] 丁海泉, 卢启鹏, 高洪智. 光谱相减方法用于无创生化检测中背景扣除实验研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2012, 09: 2347-2350.
- [2] 张莉, 荣振宇, 苏永道. 利用傅里叶变换全息实现图像相减[J]. 济南大学学报: 自然科学版, 2010, 03: 289-291.
- [3] 郑刚, 孙逸平. 用照相及滤波技术实现图象相减[J]. 上海机械学院学报, 1994, 03: 69-72.



实验二 θ 调制(空间假彩色编码)实验

θ 调制实验是阿贝原理的应用。第一步,入射光经物平面发生夫琅禾费衍射,在透镜的后焦面上形成一系列衍射斑(即物的频谱)这一步称“分频”。第二步,各衍射斑发出的球面波在像平面上相干叠加,像就是像平面上的干涉场,这一步称“合频”,形成物的像。如果用白光光源照射光栅物片,会在频谱上得到色散彩色频谱。每个彩色谱板的原色分布都是向外向里按红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫的顺序排列。这是因为光栅的衍射角与入射光的波长有关。红光的波长最大,衍射角最大,分布在最外面;紫光相反。如果在频谱面上放置一个空间滤波器,让不同方向的谱斑通过不同的颜色,在像面上得到彩色像。这是利用不同方向的光栅对图像进行调制,因此称为 θ 调制法。又因为它将图像中的不同部位“编”上不同的颜色,故又称空间假彩色编码。

1. 实验原理

θ 调制实验是对阿贝的二步成像理论的一个巧妙应用。阿贝成像原理见图 2-1。根据阿贝成像理论,当改变物的频谱结构的时候,就可以在成像面观察到物不同颜色的像。通过在频谱面上进行滤波处理来控制图像的颜色分布,从而在成像面上观察到带有色彩的像。

试验中可将一个物体用不同的光栅来进行编码,制作成 θ 片。如本实验中的花朵、叶子和背景,分别是由 3 组取向成 120° 的光栅构成的。将 θ 片置于白光中,在频谱面上进行适当的空间滤波处理,便可在输出面上得到一个假彩色的像。

如果在一个透镜的前面放置一块光栅并用一束单色平行光垂直的照射它,在透镜的后焦面(即频谱面)上就会形成一串的衍射光斑,其方向将垂直于光栅的方向,如图 2-1 所示,为 θ 调制全息物片频谱照片。如果有一个二维的图形,其不同部分由取向不同的光栅制成(调制),它们的衍射光斑也将有不同的取向[即在透镜的后焦平面(频谱面)上,各部分的

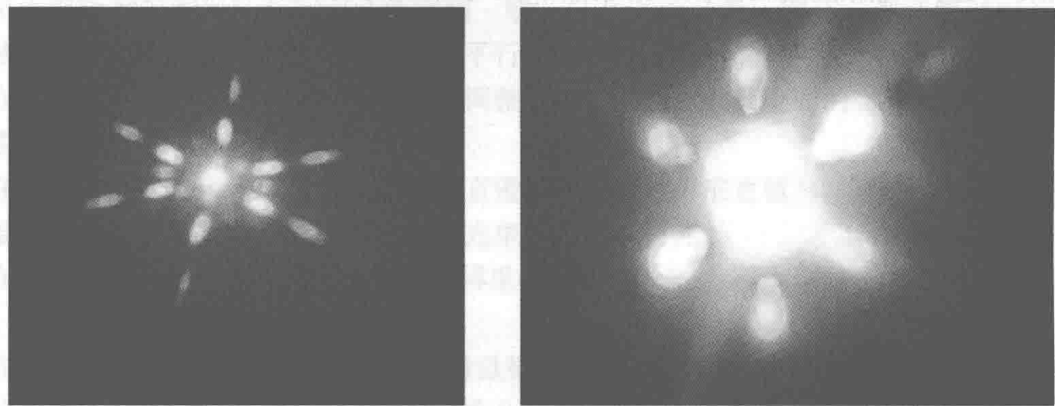


图 2-1 θ 调制全息物片频谱照片

频谱分布将有所不同)], 如果挡住某一部分的频谱, 在频谱面后的这部分图象将会消失。可见, 输入图象中各部分的频谱, 只存在于调制光栅的频谱点附近。如果用白光照射 θ 片, 则在频谱上可得到彩色的频谱斑(色散作用)。如果在频谱面上放置一个空间滤波器, 这种滤波器可以让不同方位的光斑穿过, 不同的颜色有选择地通过, 就可以得到一幅彩色的像。如, 在花朵图像的光斑方向上, 让光斑中红色的光通过; 在叶子图像的光斑方向上, 让光斑中绿色的光通过; 在背景图像的光斑方向上, 让光斑中蓝色的光通过, 这样就会得到一幅红花、绿叶、蓝色背景的彩色图像, 而实际上物体(θ 片)是无色的, 这就实现了假彩色编码。

2. 实验方法

按图 2-2 摆放实验装置。

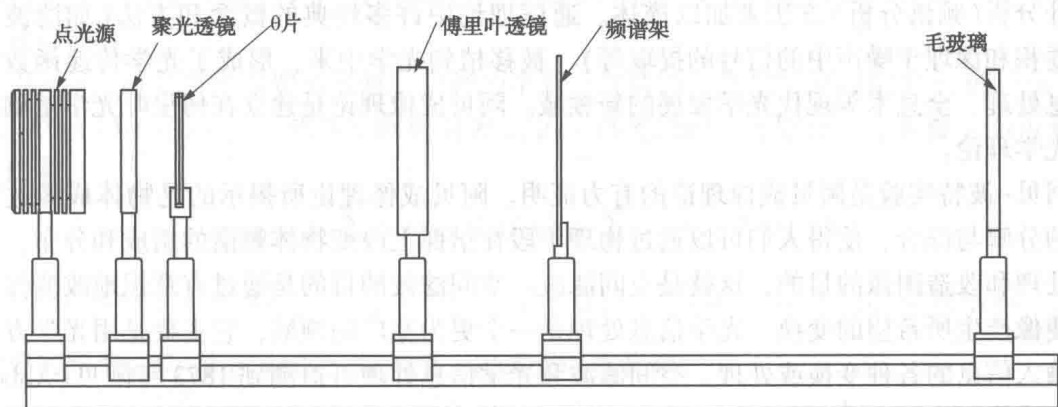


图 2-2 实验光路图

打开点光源电源仔细调整各元件间距离, 使毛玻璃上呈现一个放大的、清晰的 θ 片的像。在频谱架上插入一张白纸(或纸板), 前后移动频谱架观察 θ 片的频谱, 体会 θ 片中各方向光栅的作用, 使频谱尽量明亮清晰, 固定好频谱架。

根据自己的理解和爱好, 用刻刀在白纸上刻出适当大小和形状的空, 使频谱光斑上不同颜色的光通过。观察毛玻璃上图像的变化情况, 体会频谱面上孔的位置与图像颜色的关系, 进而体会空间频谱与空间滤波的物理意义。

注: 由于轨道长度所限, 各器件参考位置如下: 聚光透镜紧贴光源放置; 透镜与 θ 片的距离大约 30cm; θ 片与傅里叶透镜的距离大约 26cm; 傅里叶透镜与频谱面的距离大约 21cm; 频谱面距离毛玻璃 11cm。

参 考 文 献

- [1] 仲明礼. 用空间滤波方法制作 θ 调制全息物片[J]. 大学物理, 2010, 04: 41-42, 45.
- [2] 毛艺潜, 齐怡, 陶小平, 等. θ 调制与空间假彩色编码实验改进[J]. 物理实验, 2015, 07: 6-9.

实验三 傅里叶光学的空间频谱与空间滤波实验

傅里叶光学是把通信理论特别是傅里叶分析(频谱分析)方法引入到光学中后逐步形成的一个分支,它是现代物理光学的重要组成部分。光学系统和通信系统相似,不仅在于两者都是用来传递和交换信息,而且在于这两种系统都具有一些相同的基本性质,因而都可以用傅里叶分析(频谱分析)方法来加以描述。通信理论中许多经典的概念和方法(如滤波、相关、卷积和深埋于噪声中的信号的提取等),被移植到光学中来,形成了光学传递函数、光学信息处理、全息术等现代光学发展的新领域。阿贝成像理论是建立在傅里叶光学基础上的信息光学理论。

阿贝-波特实验是阿贝成像理论的有力证明。阿贝成像理论所揭示的是物体成像过程中频谱的分解与综合,使得人们可以通过物理手段在谱面上改变物体频谱的组成和分布,从而达到处理和改造图像的目的,这就是空间滤波。空间滤波的目的是通过有意识地改变像的频谱,使像产生所希望的变换。光学信息处理是一个更为宽广的领域,它主要是用光学方法实现对输入信息的各种变换或处理。空间滤波和光学信息处理可追溯到1873年阿贝(Abbe)提出二次成像理论,阿贝(E. Abbe)于1893年、波特(Porter)于1906年为验证这一理论所作的实验,科学地说明了成像质量与系统传递的空间频谱之间的关系。20世纪60年代由于激光的出现和全息术的重大发展,光学信息处理进入了蓬勃发展的新时期。

1. 实验目的

- (1) 了解透镜的傅里叶变换性质,加深对空间频率、空间频谱和空间滤波等概念的理解。
- (2) 熟悉阿贝成像原理,从信息量的角度理解透镜孔径对分辨率的影响。
- (3) 完成一维空间滤波、二维空间滤波及高通空间滤波。

2. 实验原理

阿贝首先提出显微镜成像原理以及随后的阿贝-波特空间滤波实验,在傅里叶光学早期发展史上做出了重要的贡献。这些实验简单、形象,令人信服,对相干光成像的机理及频谱分析和综合原理做出了深刻的解释,同时这种用简单的模板作滤波的方法一直延续至今,在图像处理技术中仍然有广泛的应用价值。

1) 二维傅里叶变换和空间频谱

在信息光学中常用傅里叶变换来表达和处理光的成像过程。设在物屏 $X-Y$ 平面上光场的复振幅分布为 $g(x, y)$,根据傅里叶变换特性,可以将这样一个空间分布展开成一系列二维基元函数 $\exp[2\pi(f_x x + f_y y)]$ 的线性叠加,即: