

浙江省大学生科技创新活动计划 (新苗人才计划) 总结报告

项 目 名 称：_____组合光学实验仪_____

项 目 负 责 人：_____施皓天_____

学 校 名 称：_____浙江工业大学_____

项 目 类 别：大学生科技创新项目 ☐

大学生创新创业孵化项目 ☐

大学生科技创新推广项目 ☒

摘要

光学实验能让学生掌握一定现代光学技术的应用，了解光学技术的发展，在各种科学实验中占有非常重大的意义。光学实验既能使得学生巩固光学知识，又能掌握光学技术的应用，在光学教学中具有关键性的作用。现有的光学实验装置大多可实现的实验内容单一，装置间的通用性较差，一般一个装置只能进行一类的光学实验，如果做不同的实验，则需配备多套光学仪器，不仅使用，组装不便，成本也非常高。

针对类似教学仪器的空白，本项目研制了组合光学实验仪能够把初中、高中、大学乃至研究生需要做的几何光学实验和波动光学实验，统一到一个适当的实验平台上。具体的思路是将仪器模块化和标准化，将光源、透镜、狭缝、接收屏以及 CCD 相机等实验仪器都放到统一标准的导轨上，常用实验器材如支柱、滑块、透镜等可以通用，以节约资源，同时相对复杂的物理光学实验都有一个相应的标准模块，便于放置存储，节省实验室占地面积。

本项目所研制的仪器更加有利于学生动手能力的培养，加深学生对光学理论的理解；更好的培养学生的综合思维能力、创新能力、分析与解决问题的能力与设计与制作能力等。通过使用组合光学实验仪，使得学生养成良好的实验习惯和严谨的科学作风，为后续课程的学习打好基础，为今后从事物理教学、进行光学及其相关科学研究奠定扎实的基础。

本项目所开发的组合光学实验仪产品具有模块化、标准化、搭建简单、能做多种光学实验和便于教学设计等优点，所以该产品的竞争力强，市场前景好，社会效益大。

关键词：组合光学实验仪；几何光学；物理光学；模块化；标准化

目 录

一、 研究背景	1
二、 仪器设计	1
2.1 设计目标	1
2.2 设计方法研究	2
2.3 仪器样机	2
2.4 技术参数	3
三、 实验设计	4
2.1 实验内容	4
2.2 具体设计方案	4
3.2.1 利用平板玻璃测量折射率.....	4
3.2.2 透镜成像焦距测量.....	5
3.2.3 光学仪器（望远镜与显微镜）.....	6
3.2.4 基本光学量测量（光强、光功率）.....	7
3.2.5 双缝干涉.....	8
3.2.6 莫尔条纹.....	9
3.2.7 牛顿环（反射式）.....	10
3.2.8 迈克尔逊干涉仪.....	10
3.2.9 马赫-曾德尔干涉仪.....	11
四、 研究创新点	13
五、 社会效益	13
参考文献.....	13
附件目录.....	14

一、 研究背景

进入 21 世纪, 新兴的光电信息产业迅速崛起, 这些企业主要从事 LED 照明、光通信、光存储、光电显示等产品的研究与生产, 他们对光电信息复合型创新人才的光学实验能力及创新意识有很高的要求^[1, 2]。这就要求我们在光学实验教学中进一步改革实验教学的内容与方法, 充分有效地利用实验室的仪器和设备, 加强光信息科学与技术专业学生的光学实验动手能力, 增强其光学知识, 在基础实验教学中引导学生参与科研工作, 以培养其在光学实验与设计方面的创新意识, 提高学生的综合素质和实践教学的质量。

光学作为一门学科诞生已有 340 年。现代光学和光子学的应用已涵盖工业、农业、科技、国防和人民生活的各个领域。实验是科学研究的基本方法之一, 绝大多数的科学探索都离不开实验, 它对于科学的进步有着不可或缺的作用^[3-5]。光学实验是光学理论进一步发展、创新的基础, 同时也是我们理解理论知识、验证物理规律的有效途径。因此, 光学实验教学在光学教学课程设计框架中占有重要地位。

现有的光学实验装置大多数是实验内容单一, 实验装置之间的通用性较差, 一般都是一种装置只能做一类的光学实验, 如果做不同类的光学实验, 则需要配备多种光学仪器, 不仅使用不方便, 而且不利于存放和管理, 总成本自然也更高^[6, 7]。因此, 开发一套组合的、多功能的光学实验系统显得尤为重要。具有标准化、模块化优点的组合光学实验仪, 满足光学实验教学的需要, 可以完成初中、高中、大学乃至研究生所需要做的几何光学实验和波动光学实验; 同时, 很多实验器材如支柱、滑块、透镜等都可以通用, 这可以很大程度上节约资源, 减少成本, 更加经济实惠; 多种几何光学实验和波动光学实验需要大范围的实验室占地面积, 而我们的组合光学实验仪体积小, 便于放置, 节省了大量的实验室占地面积; 通过自行组装实验元件来实现相应的几何光学实验和波动光学实验, 对学生了解和掌握光学实验原理更具有效果, 同时, 也增强了学生的动手能力、创新能力等; 实验仪器拆装方便, 便于实验更换; 根据实验需要, 可以搭配进行多种实验。

二、 仪器设计

2.1 设计目标

我们研制的组合光学实验仪旨在把初中、高中、大学以及研究生阶段涉及到的几何光学实验和波动光学实验, 统一到一个实验平台上, 为使得产品更加合理, 提高仪器的设计水平和质量, 成本低廉, 性能良好, 功能全面, 其具有标准化和模块化的特点。所谓标准化, 是指将激光源、透镜、狭缝、光屏等元器件固定在统一标准的支柱上, 支柱可安装于统一的光学平台上; 所谓模块化, 是指用该实验系统的光学元器件具有统一的通用化标准结构, 通过拼接与搭建, 实现多种几何光学实验和波动光学实验。本文研发的组合光学实验仪能有效帮助学生发挥想

象力与创造力，提高动手能力和自主解决问题的能力。

2.2 设计方法研究

传统的光学实验仪器设计方法是以各个实验为核心，根据实验要求设计需要的光学元器件，最后构成实验设备的整体，每套实验设备只能完成单一的实验，对于其他实验，只有少量元器件能够通用。

模块化和标准化的设计在于模块设计、机械结构的标准化设计和模块的组合设计。模块化设计主要分为以下三个过程：

（1）光学元器件设计：光学元器件是光学实验最基本的要素，按照在实验中发光、汇聚、发散、分光等不同功能、器件精度以及性能参数，进行设计加工，已有的标准化光学器件可以通用。

（2）模块设计：组合光学实验仪以通用模块为主的产品的的设计，透镜、棱镜与支架都可以拆卸，按实验课程的要求，选用合适元器件构成模块。按照元器件使用范围，可分为通用模块和专用模块两种。

（3）系统设计：为满足将各器件统一到实验平台，且各光学器件共轴等高，选用导轨作为载体，利用标准化的固定结构，构成光学系统，通过重新分解与安装，可以在同一套实验设备上完成多种光学实验。

对各种光学实验仪器进行研究，将含有相同或相似的光学元器件以及机械结构提取出来，将它们以独立单元的形式设计成为模块，通过标准化的接口，能够利用导轨，组合装配在统一标准的光学平台上。

本文研究的组合光学实验仪采用自底向上的模块化设计，将光学系统划分成若干个模块，即若干个能够完成单一子功能的光学元器件，再把这些模块组合成为一个整体的光学系统，可以完成指定的光学实验，满足实验课程的要求。光学模块并不是某实验的专用元器件，而是根据实验原理，从实验的功能与特性分析展开设计，使得元器件和机械结构组装成为模块，将通用模块组合成为光学系统。

模块化和标准化的设计实现了组合光学实验仪的组合和分解的目的。通过分解和组合，通用模块可以应用于多种光学实验，有效解决了实验设备数量多，存放不便等困难。由于模块化设计通用机械结构可以交换使用，便于组装，产品的适应性强，通用的设计也更加利于批量生产。

2.3 仪器样机

在魏高尧老师的指导和帮助之下，本项目的研究与开发过程在国家级物理实验教学示范中心——浙江工业大学物理实验中心进行，完成组合光学实验仪样机一套，如图 1 所示。

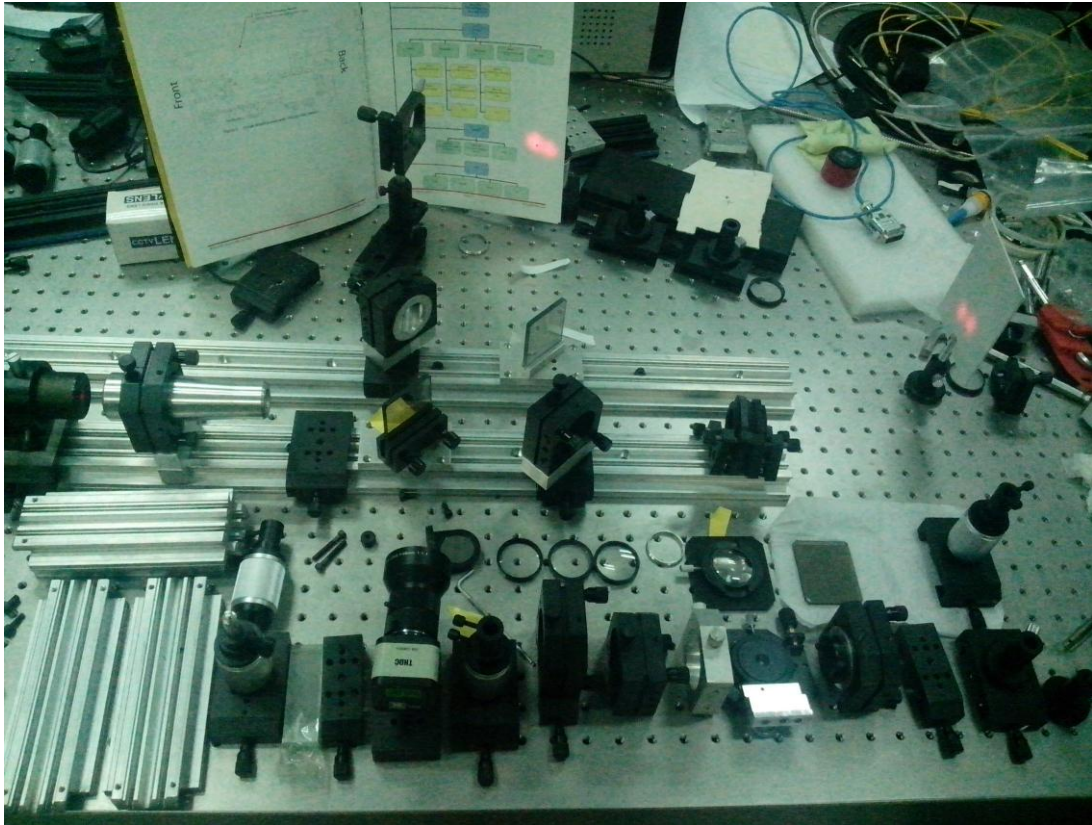


图 1 组合光学实验装置样机元件

2.4 技术参数

表 1 组合光学实验仪技术参数

主要部件	参数
光源类型与工作波长	He-Ne 激光器，波长 632.8 nm
CCD/CMOS 相机	300 万像素
直流稳压电源	$\pm 12V$
200 线光栅	200 线
精密导轨	1 m
精密调整架	孔径 40 mm，二维可调
升降调节架	可调节范围 0-57 mm，中心直径 10 mm
杆	长度 90 mm，直径 10 mm
托板	宽度 50 mm，横截面 78 mm \times 21.5 mm
光功率计	硅光探测器；380-1100 nm 全波段可调，步进 1 nm；光功率范围 1nw-10mw；精度 0.1nw；分辨率 1pw；采样率 25Hz；保存数据 3000 组数据；可选智能背光 30 秒；

三、 实验设计

3.1 实验内容

组合光学实验仪能够进行的主要几何光学实验和物理光学实验如下：

（1）基础光学与成像：利用全反射测量液体折射率、透镜成像焦距测量、光学仪器（望远镜与显微镜）和基本光学量测量（光强、光功率等）等实验。

（2）波动光学：双缝干涉实验、莫尔条纹实验、双棱镜实验、劈尖干涉实验、牛顿环（反射式）实验、迈克尔逊干涉仪实验和马赫-曾德尔干涉仪实验等。

组合光学实验仪具有与 PSAC0 850 通用信息通信的功能,可实现数字化实验,利用计算机运算性能强,数据存储量大的特点,进行实验实时数据的采集和分析。相比于传统实验手段,组合光学实验仪能够对更为庞大的数据进行精确运算。

3.2 具体设计方案

3.2.1 利用平板玻璃测量折射率

平板玻璃折射率测量原理图如图 2 所示。

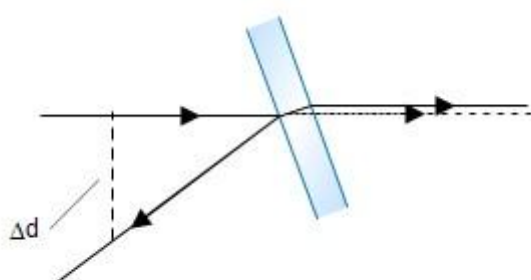


图 2 平板玻璃折射率测量原理图

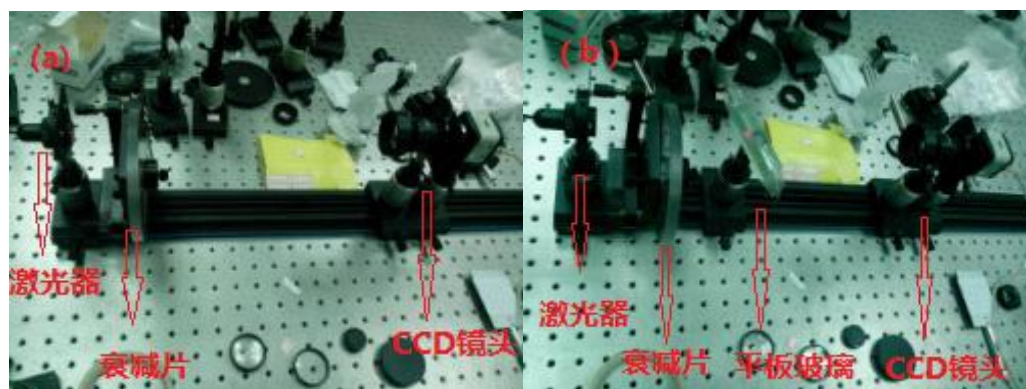


图 3 平板玻璃折射率测量实际光路 a) 未放平板玻璃；b) 放平板玻璃
平板玻璃折射率测量实验说明：

(1) 光源采用光束尺寸较小的 He-Ne 光。平板玻璃的尺寸与其它反射镜的直径一致，以固定在调整架上。

(2) 为获得较大的光束位移，采用较厚的玻璃板（约 10-20mm）。

(3) 设光束的入射角为 20° ，玻璃板厚度为 15mm，光束位移约为 1mm，肉眼观看很难分辨，故采用数字相机接收。比较两个光束产生光点的中心位置的偏移，获得光束位移量。

(4) 光束的入射角采用如下两方法之一：a) 测量入射表面的反射光的角度（通过某位置处的偏移量间接获得，如图 1 所示），需设计垂直主导轨的导轨，并上放可读刻度的移动台，通过光阑读取反射光束的位置；b) 平板玻璃安置在可旋转底座上。

3.2.2 透镜成像焦距测量

凸透镜焦距测量实验原理图如图 4 所示。

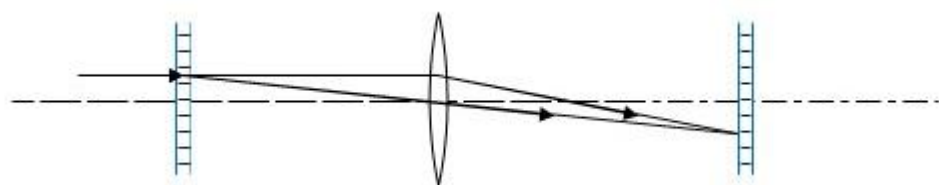


图 4 凸透镜焦距测量实验原理图

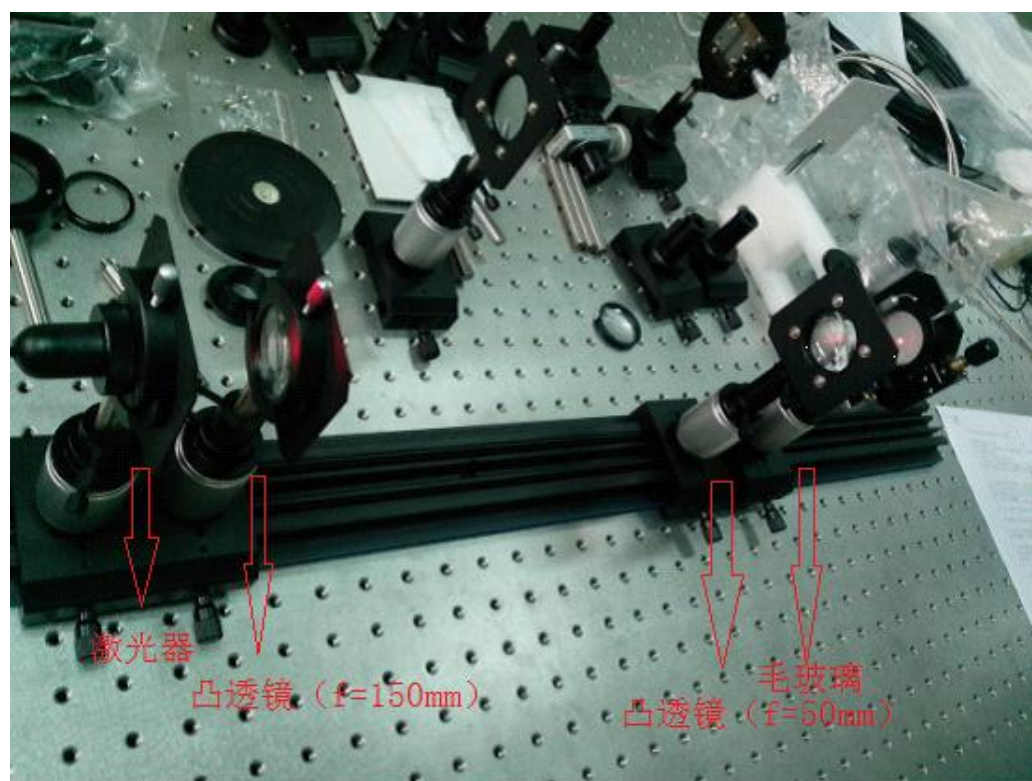


图 5 凸透镜焦距测量实验实际光路

凸透镜焦距测量实验说明：

(1) 光源采用 He-Ne 光或红光 LD。平板玻璃的尺寸与其它反射镜的直径一致，以固定在调整架上。

(2) 像采用光斑照射毛玻璃获得，毛玻璃有经纬刻度。接收面采用同样具有经纬刻度的毛玻璃。

(3) 透镜的孔径较大，固定件需配合博光现有产品，如无合适型号则需另设计。

3.2.3 光学仪器（望远镜与显微镜）

望远镜实验原理图如图 6 所示。

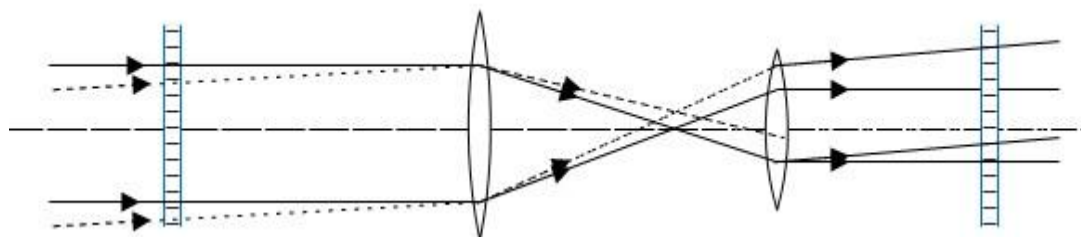


图 6 望远镜实验原理图

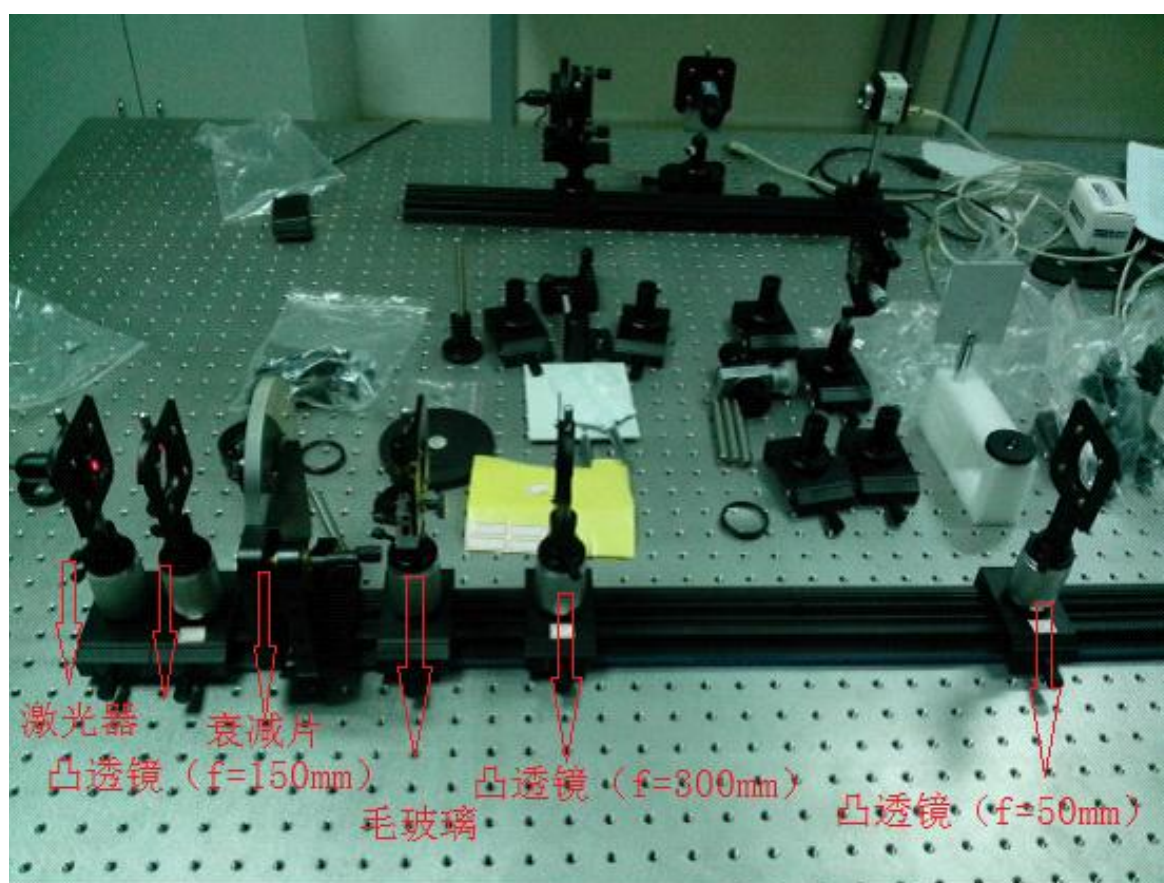


图 7 望远镜实验实际光路

望远镜实验说明：

(1) 光源采用 He-Ne 光或红光 LD，其后用扩束镜将光束扩束，并照射在有经纬刻度的毛玻璃上。接收面采用同样具有经纬刻度的毛玻璃。

(2) 通过比较接收面上的光斑与入射面上的光斑尺寸，获得放大率。

(3) 透镜的固定件需配合博光现有产品，如无合适型号则需另设计。
显微镜实验原理图如图 8 所示。

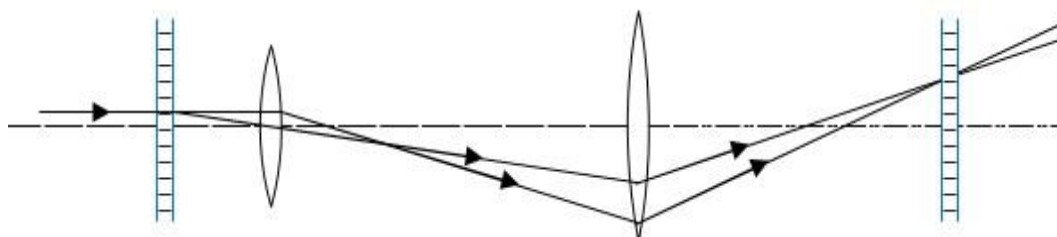


图 8 显微镜实验原理图

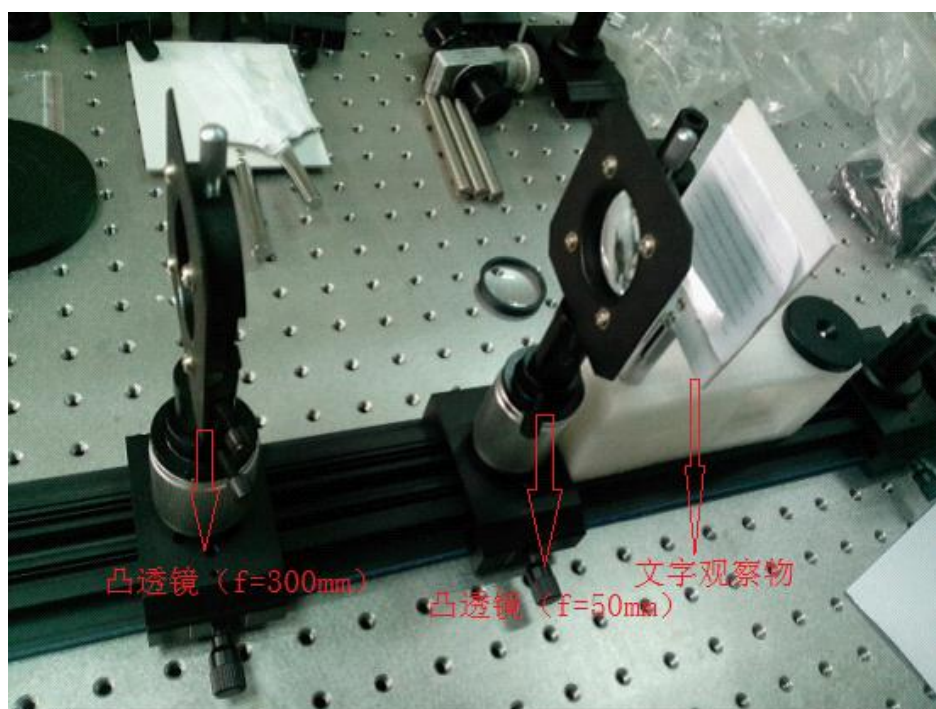


图 9 显微镜实验实际光路

显微镜实验说明：

- (1) 两透镜：焦距大的透镜采用望远系统的较大焦距透镜，另配一个更小焦距的透镜。具体焦距最好配合博光现有产品。
- (2) 以毛玻璃上的刻度线作为被观测物。

3.2.4 基本光学量测量（光强、光功率）

基本光学量（光强、光功率）测量实验原理图如图 10 所示。

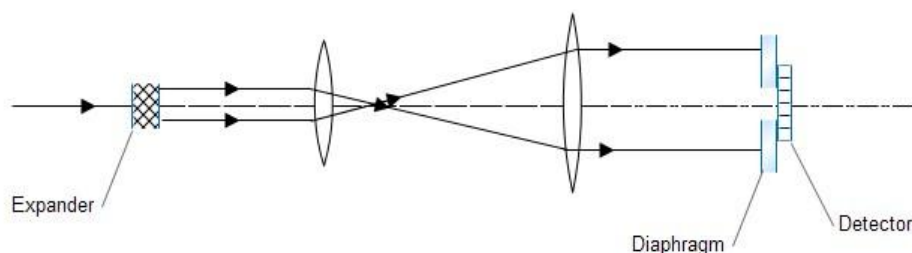


图 10 基本光学量测量实验原理图

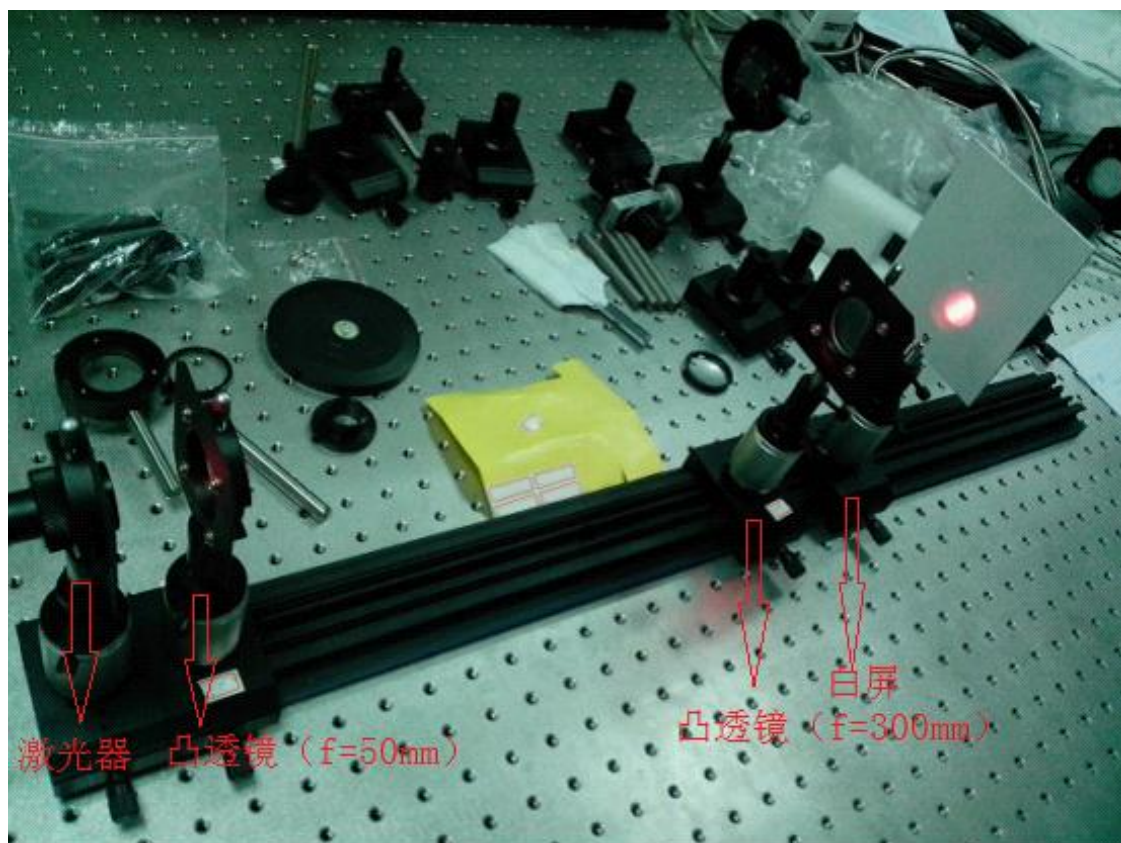


图 11 基本光学量测量实验实际光路

基本光学量（光强、光功率）测量实验说明：

- （1）光源采用 He-Ne 光或红光 LD，其后用扩束镜将光束扩束。
- （2）配合望远系统实验，再次将光束扩束为比较大的光束直径。将可调光阑（可读开孔直径）置于光斑范围内，利用光功率计测量，并计算光强。

3.2.5 双缝干涉

双缝干涉实验原理图如图 12 所示。

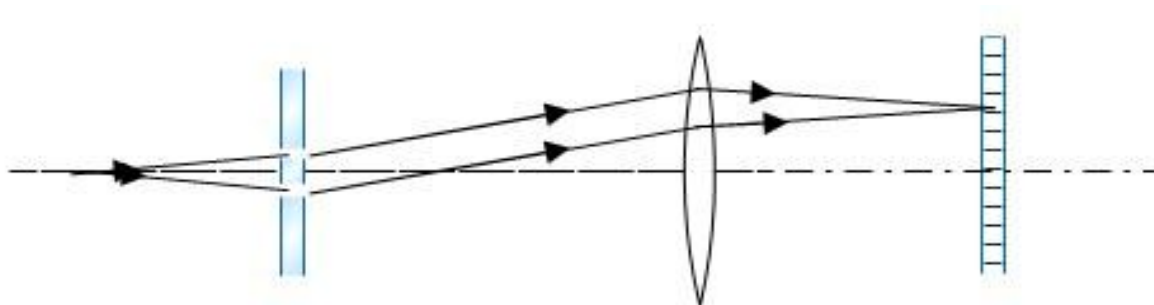


图 12 双缝干涉实验原理图

双棱镜干涉实验原理图如图 13 所示。

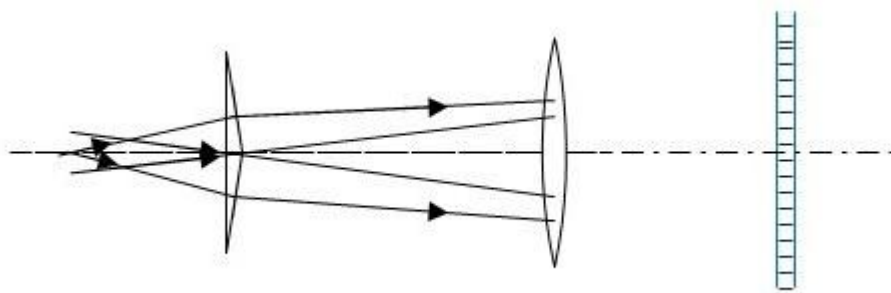


图 13 双棱镜干涉实验原理图

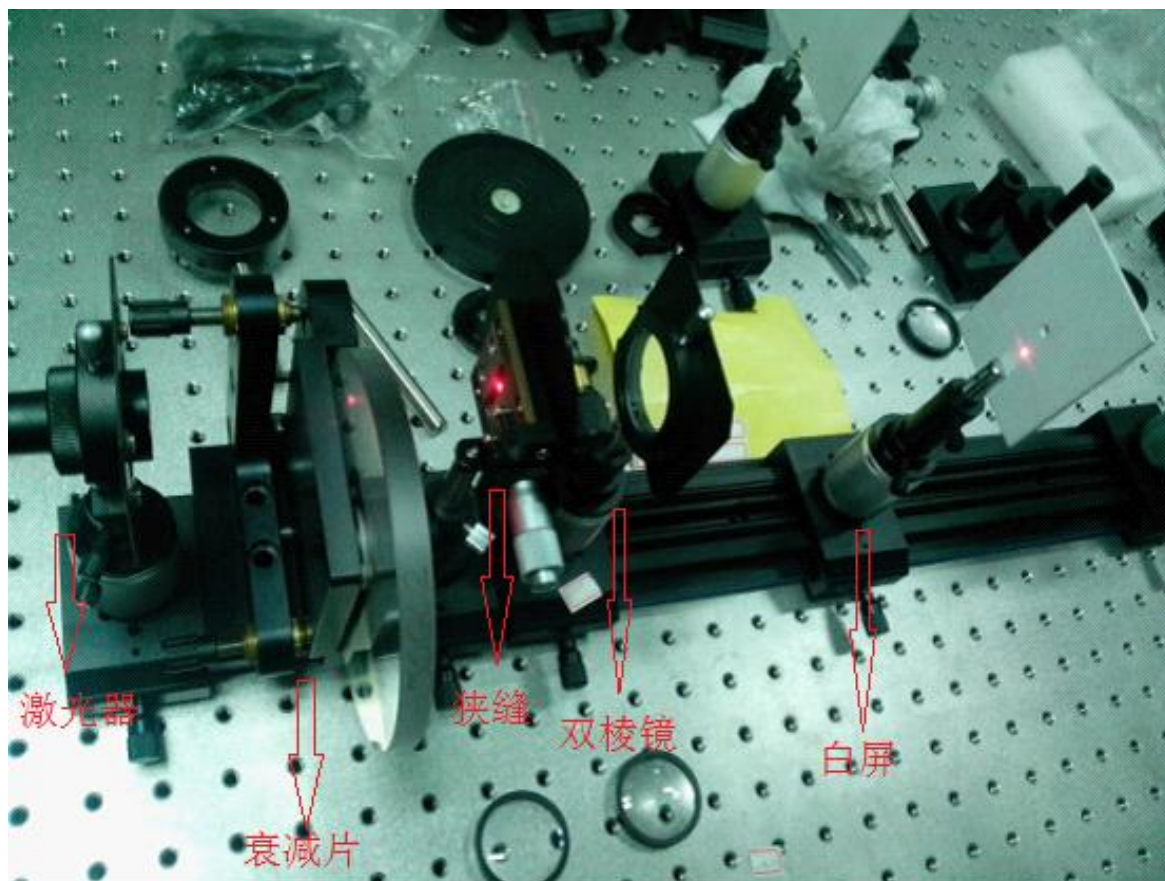


图 14 双棱镜干涉实验实际光路

双缝和双棱镜干涉实验说明：

- (1) 光源采用 He-Ne 激光或红光 LD，其后用凸透镜将光束转为发散光束。
- (2) 双棱镜可参考现有方案；双缝需另设计，机械接口初步考虑与双棱镜相同。
- (3) 接收屏采用有刻度的毛玻璃，或数字相机。

3.2.6 莫尔条纹

莫尔条纹实验原理图如图 15 所示。

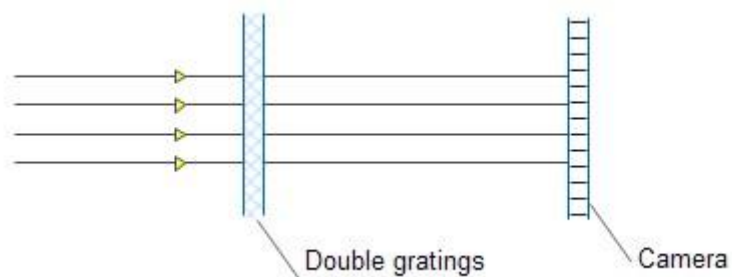


图 15 莫尔条纹实验原理图

3.2.7 牛顿环（反射式）

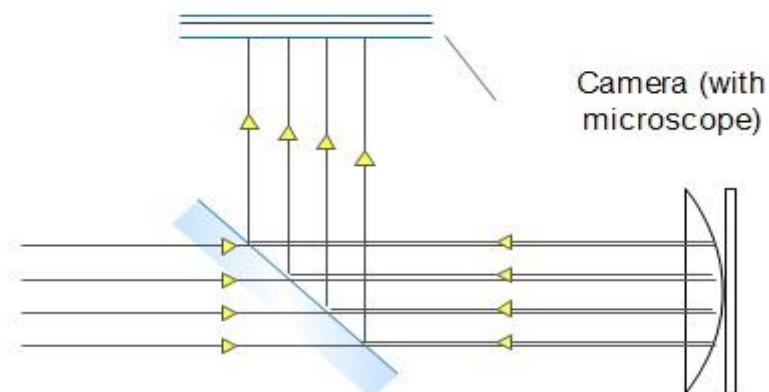


图 16 反射式牛顿环实验原理图

反射式牛顿环实验说明：

- （1）光源采用 He-Ne，其后用扩束镜将光束扩束。
- （2）需设计半透半反镜，机械接口初步考虑与双棱镜相同，但通光孔径尽可能大。
- （3）接收屏采用有刻度的毛玻璃，或数字相机。
- （4）需设计垂直主导轨的导轨，用以安放接收屏或数字相机。
- （5）劈尖干涉和牛顿环干涉类似。

3.2.8 迈克尔逊干涉仪

迈克尔逊干涉实验原理图如图 17 所示。

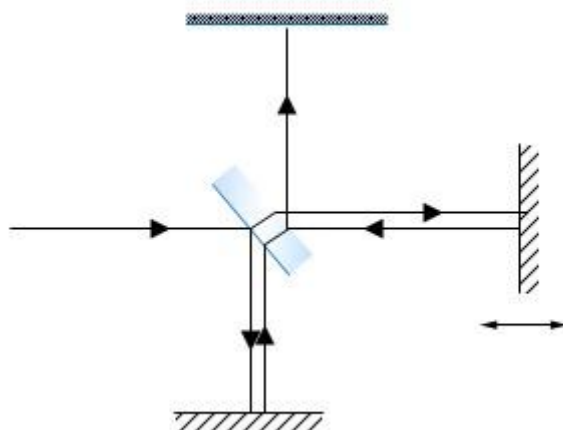


图 17 迈克尔逊干涉实验原理图

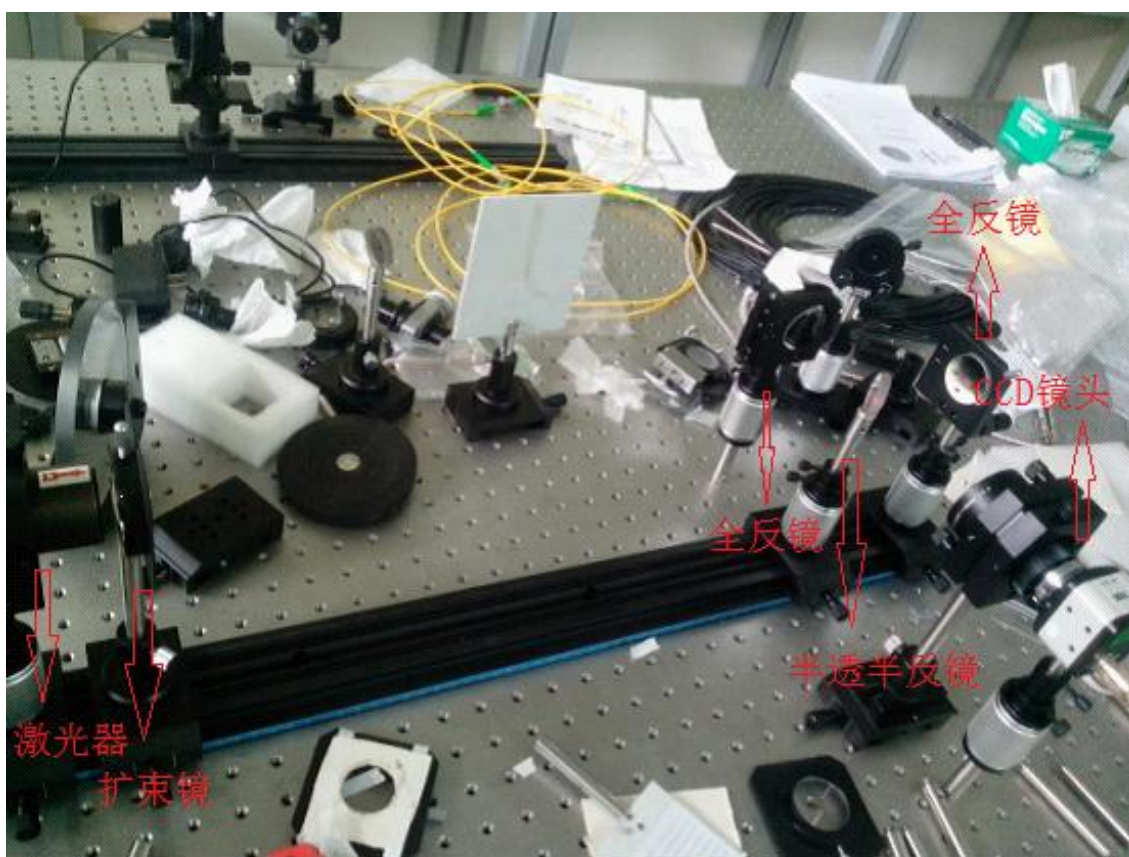


图 18 迈克尔逊干涉实验实际光路

迈克尔逊干涉实验说明：

- (1) 需设计垂直主导轨的导轨，用以安放反射镜和接收屏；
- (2) 由于相干长度的要求，需采用 He-Ne 光源（相干长度约几十厘米）
- (3) 实验要求较高，完善详细实验步骤。

3.2.9 马赫-曾德尔干涉仪

马赫-曾德尔干涉实验原理图如图 19 所示。

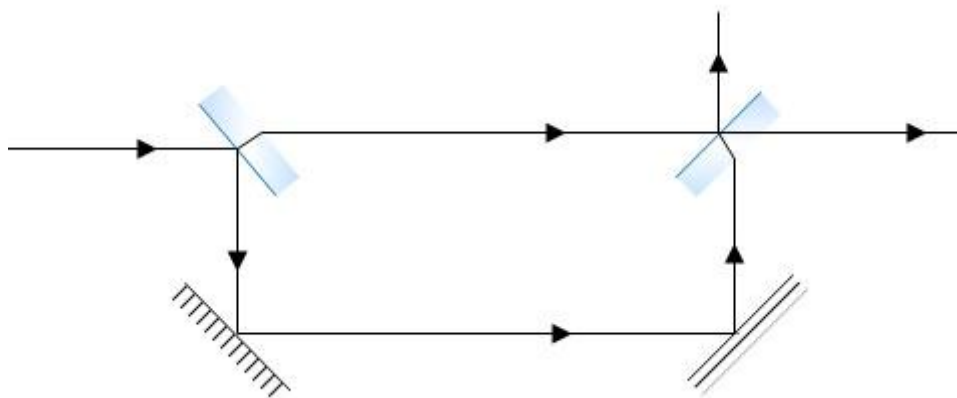


图 19 马赫-曾德尔干涉实验原理图

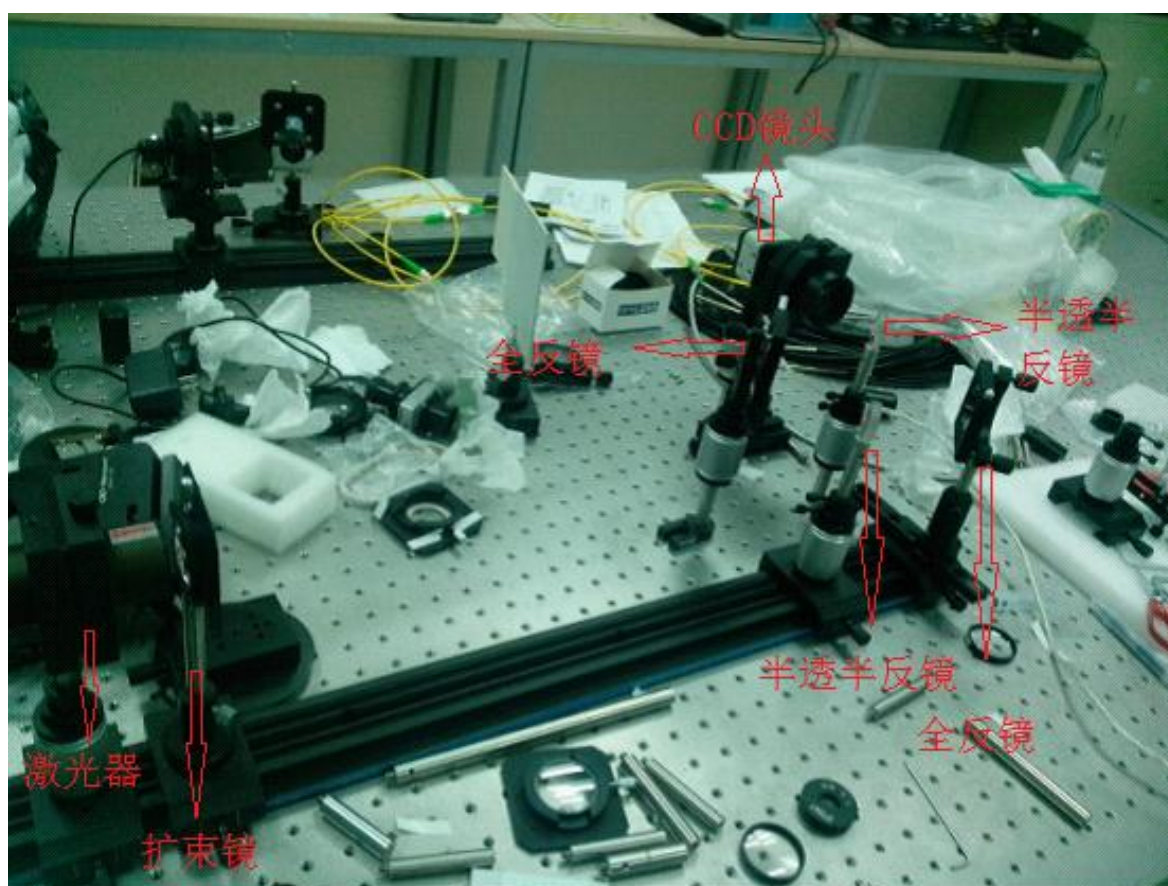


图 20 马赫-曾德尔干涉实验实际光路

马赫-曾德尔干涉实验说明：

(1) 2 个垂直主导轨的导轨，用以安放反射镜，接收屏（或数字相机）置于主导轨上。

(2) 由于相干长度的要求，需采用 He-Ne 光源（相干长度约几十厘米）；但实验中半透半反镜和反射镜的距离仍需足够近（约 3cm），以易于产生干涉。

(3) 半透半反镜和反射镜固定在一个基板上，但两个半透半反镜（标明镀膜面）和反射镜均独立可调。基板需另设计。

(4) 两个半透半反镜之间的主导轨上放置空气室，可连接吹气罐，以改变其折射率，观察干涉条纹中心的变化。

四、 研究创新点

主要创新点如下：

(1) 本项目开发的组合光学实验仪将初中、高中、大学以及研究生阶段涉及到的几何光学和波动光学实验，统一到同一个实验平台上，产品成本低廉，性能良好，扩展性强，安装快捷方便，适合实验教学。

(2) 本项目开发的组合光学实验仪具有标准化和模块化的特点。所谓标准化，是指将透镜、光屏、狭缝、光源等光学元器件固定在相同标准的支柱上，支柱可安装于统一的光学平台上，极大程度增加元器件的通用性；所谓模块化，是指该套仪器具有通用的接口，通过拆卸、组装与连接，可以像搭积木一样设计组成各种的光路，器件的管理与安装更加方便快捷。

五、 社会效益

随着光学的飞速发展，整个产业对人才的需求也越来越高，高校开设相关的课程十分有必要，但合适的仪器却未在市场上涌现出来。现有的光学实验装置大多数是实验内容单一，实验装置之间的通用性较差，一般都是一种装置只能做一类的光学实验，如果做不同类的光学实验，则需要配备多种光学仪器，不仅使用不方便，而且不利于存放和管理，总成本自然也更高。

与普通的实验仪器不同，通过元器件的组合，本系统不是仅仅能完成常规的物理光学与几何光学的实验，还能让学生自由开展创新性的实验，为学生对于光学的理解和知识的掌握打下基础。

本项目开发的实验装置样机已在浙江工业大学物理实验中心使用。利用该实验教学设备让学生深入了解光学，达到实验辅助教学的目的，同时也培养了学生的创新能力与动手能力，得到了很好的教学效果。

本项目完成组合光学实验仪样机一套，申请并获得授权实用新型专利1项(名称：多功能组合光学实验支架，专利号：201520997804.3)，论文《组合光学实验仪的研制》被《物理实验》杂志录用(编号 052，拟在 2016 年增刊发表)，与杭州博源光电科技有限公司合作，实现效益 40 余万元。

参考文献

- [1] 阳明晔，陈宇中，宋章启. 自主开放式光学实验教学模式探讨[J]. 湖南师范大学教育科学学报，2012，11(2)：127-128.
- [2] 张明霞. 高等院校光学实验教学模式改革与实践研究[J]. 天水师范学院学报，2007，27(5)：72-74.
- [3] 赵桂芳. 师范院校光学实验教学[J]. 湖北师范学院学报(自然科学版)，2009，(1)：111-114.
- [4] 张巧芬. 光学实验教学改革[J]. 中国现代教育装备，2008，70(12)：111-112.
- [5] 纪延俊，杜玉杰. 基于应用型人才培养的光学实验的探讨与实践[J]. 大学物

理, 2011, 30 (3) : 38-40.

[6] 陈海良, 马明建. 提高光学实验课教学质量的研究[J]. 中国电力教育, 2009(3): 158-159.

[7] 芦颖, 洪金中, 李祖君等. 开放式光学实验室的教学探索与研究[J]. 长春理工大学学报(高教版), 2009, 4(12): 129-130.

附件目录


附件 1 实用新型专利证书


附件 2 论文录用通知

附件 3 转让证明

附件 4 实验手册

附件 1 实用新型专利证书





证书号第 5546708 号

实用新型专利证书

实用新型名称：多功能组合光学实验支架

发 明 人：魏高尧;施皓天;童珺怡

专 利 号：ZL 2015 2 0997804.3

专利申请日：2015 年 12 月 04 日


专 利 权 人：浙江工业大学;杭州博源光电科技有限公司

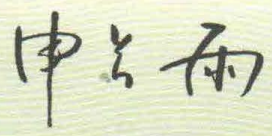
授权公告日：2016 年 09 月 14 日


本实用新型经过本局依照中华人民共和国专利法进行初步审查，决定授予专利权，颁发本证书并在专利登记簿上予以登记。专利权自授权公告之日起生效。

本专利的专利权期限为十年，自申请日起算。专利权人应当依照专利法及其实施细则规定缴纳年费。本专利的年费应当在每年 12 月 04 日前缴纳。未按照规定缴纳年费的，专利权自应当缴纳年费期满之日起终止。

专利证书记载专利权登记时的法律状况。专利权的转移、质押、无效、终止、恢复和专利权人的姓名或名称、国籍、地址变更等事项记载在专利登记簿上。


局长
申长雨





第 1 页 (共 1 页)

附件 2 论文录用通知

《物理实验》杂志录稿通知

魏高尧，施皓天老师：

您好！

稿件“ 组合光学实验仪的研制 ”（文章编号为 052 ）已通过初审、复审，我刊拟在 2016 年 **增刊**发表，文章约占 3.5 个版面，请寄发表费 910 元，审理费 100 元，共计 1010 元，以便安排出版。在此期间，若有什么问题和困难，请及时与此稿编辑 郭伟 联系。

汇款说明：

汇款方式	汇款地址	收款人	邮编
邮 局	长春市人民大街 5268 号 东北师范大学内	物理实验杂志	130024

为防差错，汇款勿寄个人！请在汇款附言写清：稿件编号，汇款用途，联系电话和是否需要发票（注：因编辑部没有独立财务，发票由东北师范大学开具）。

关于此稿件需改进和补充的内容见第 2 页。

顺祝工作愉快！



电话 (0431) 85709573 85099569 <http://www.wlxyzz.com> E-mail: wlxybj@nenu.edu.cn; wlxybj@163.com

组合光学实验仪的研制

魏高尧 施皓天 宣建楠

(浙江工业大学 物理实验中心, 浙江 杭州, 310023)

摘要: 本文针对传统光学实验调节复杂、元件繁多等问题, 研制了一种具有标准化、模块化等特点的、功能多样的组合光学实验仪。这种组合光学实验仪将初中、高中、大学和研究生需要的几何光学实验与物理光学实验统一到一个实验平台上, 将元器件分解成独立模块和单元, 固定于标准化的支柱上。该产品搭建简单, 易于操作, 有助于大学物理自主探究性实验教学, 便于控制实验难度和复杂度, 与同类产品相比更具竞争力, 市场前景良好。

关键词: 组合光学实验仪; 几何光学; 物理光学; 模块化; 标准化

中文分类号: O4-33 **文献标识码:** A **文章编号:**

Development of Combined Optical Experimental Apparatus

WEI Gao-yao, SHI Hao-tian, XUAN Jian-nan

(Physical Experiment Center, Zhejiang University of Technology, Hangzhou ,310023, China)

Abstract: Aiming at the problems such as complex adjusting steps, various components, this article explores a combined optical experimental apparatus, which is multifunctional with standardized and modular design. Based on this apparatus, optical experiments could be designed and processed, which involve high school, undergraduate course even postgraduate optical experiments and demonstrations. We split various components into modules and units to fix them on standardized base. This combined optical experimental apparatus is benefit to college physics self-exploration experimental education for its simple establishment method, which makes operation control easier. Compared with similar products, this apparatus is more competitive and has better market prospect.

Keywords: combined optical experimental apparatus, geometrical optics, physical optics, modular design, standardized design

1 仪器研究现状

光学作为物理学的重要分支学科之一, 近年来蓬勃发展, 其应用已延伸至工业加工、农业生产、精密测量、国防科技和人民生活的各个领域。光学实验与相应理论结合密切, 具有仪器调节要求高, 实验现象丰富, 测量数据精确等特点, 在物理实验教学中占据核心地位。我国初中科学教学中有 16 个以几何光学为主的实验, 高中阶段有 10 个以物理光学为主的光学实验, 大学物理实验教学中光学实验占据三分之一。光学实验仪器的研发已成为国内外同

基金资助: 受《浙江省大学生科技创新活动计划(新苗人才计划)》资助
行仪器研究和开发的重要热点之一。

目前已有研究者对组合光学实验仪器进行研发工作, 但在仪器的模块化与实验的多样性等方面还存在些许不足, 现有的光学实验装置可做实验内容单一, 仪器之间的通用性较差

[1,2],

一种实验仪器只能做相应的一类光学实验。如果做不同种类的光学实验则需要多种光学仪器,甚至多个实验室。这不仅使用不方便,而且不利于储存和管理。因此,如何研究开发一套组合的、多功能的实验平台具有重要意义^[3,4]。

有别于传统的光学实验装置,通过对实验装置的标准化和模块化的设计,将光学实验中光源、透镜、狭缝、光屏以及 CCD 图像传感器等常见元件按标准化设计加工,将仪器设备分解成独立的单元和模块,可由学生自行组合操作,完成自主实验,并具有多种实验功能。这样,可以把各种光学实验组合到一起,实现在一套实验装置上做各种各样的光学实验,更好地激发学生的好奇心和学习兴趣。

2 组合光学实验仪总体设计

2.1 设计目标

我们研制的组合光学实验仪旨在把初中、高中、大学以及研究生阶段涉及到的几何光学实验和波动光学实验,统一到一个实验平台上,为使得产品更加合理,提高仪器的设计水平和质量,成本低廉,性能良好,功能全面,其具有标准化和模块化的特点。所谓标准化,是指将激光源、透镜、狭缝、光屏等元器件固定在统一标准的支柱上,支柱可安装于统一的光学平台上;所谓模块化,是指用该实验系统的光学元器件具有统一的通用化标准结构,通过拼接与搭建,实现多种几何光学实验和波动光学实验。本文研发的组合光学实验仪能有效帮助学生发挥想象力与创造力,提高动手能力和自主解决问题的能力。

2.2 模块化与标准化设计方法研究

传统的光学实验仪器设计方法是以各个实验为核心,根据实验要求设计需要的光学元器件,最后构成实验设备的整体,每套实验设备只能完成单一的实验,对于其他实验,只有少量元器件能够通用。

模块化和标准化的设计在于模块设计、机械结构的标准化设计和模块的组合设计。模块化设计主要分为以下三个过程:

(4) 光学元器件设计: 光学元器件是光学实验最基本的要素,按照在实验中发光、汇聚、发散、分光等不同功能、器件精度以及性能参数,进行设计加工,已有的标准化光学器件可以通用。

(5) 模块设计: 组合光学实验仪以通用模块为主的产品的的设计,透镜、棱镜与支架都可以拆卸,按实验课程的要求,选用合适元器件构成模块。按照元器件使用范围,可分为通用模块和专用模块两种。

(6) 系统设计: 为满足将各器件统一到实验平台,且各光学器件共轴等高,选用导轨作为载体,利用标准化的固定结构,构成光学系统,通过重新分解与安装,可以在同一套实验设备上完成多种光学实验。

对各种光学实验仪器进行研究,将含有相同或相似的光学元器件以及机械结构提取出来,将它们以独立单元的形式设计成为模块,通过标准化的接口,能够利用导轨,组合装配在统一标准的光学平台上。

本文研究的组合光学实验仪采用自底向上的模块化设计,将光学系统划分成若干个模块,即若干个能够完成单一子功能的光学元器件,再把这些模块组合成为一个整体的光学系统,可以完成指定的光学实验,满足实验课程的要求。光学模块并不是某实验的专用元器件,而是根据实验原理,从实验的功能与特性分析展开设计,使得元器件和机械结构组装成为模块,将通用模块组合成为光学系统。

模块化和标准化的设计实现了组合光学实验仪的组合和分解的目的。通过分解和组合，通用模块可以应用于多种光学实验，有效解决了实验设备数量多，存放不便等困难。由于模块化设计通用机械结构可以交换使用，便于组装，产品的适应性强，通用的设计也更加利于批量生产。

3 实验内容与仪器主要装置

3.1 实验内容

组合光学实验仪能够进行的主要几何光学实验和物理光学实验如下：

(1) 基础光学与成像：利用全反射测量液体折射率、透镜成像焦距测量、光学仪器（望远镜与显微镜）和基本光学量测量（光强、光功率等）等实验。

(2) 波动光学：双缝干涉实验、莫尔条纹实验、双棱镜实验、劈尖干涉实验、牛顿环（反射式）实验、迈克尔逊干涉仪实验和马赫-曾德尔干涉仪实验等。

组合光学实验仪具有与 PSACO 850 通用信息通信的功能，可实现数字化实验，利用计算机运算性能强，数据存储量大的特点，进行实验实时数据的采集和分析。相比于传统实验手段，组合光学实验仪能够对更为庞大的数据进行精确运算。

3.2 仪器主要装置

3.2.1 标准化

将导轨和托板标准化，统一调节架孔径和各类光学器件外径，相互紧配，易调节易更换。

仪器主要装置有：导轨、托板、升降调节架、二维调节架、狭缝调节支架、纵向精密调节架、转角测量盘、CCD 摄像机、He-Ne 激光器、光功率计、直流稳压电源以及各类光学器件（双凸透镜、平凸透镜、平面镜、半反半透镜、劈尖、双棱镜、双缝、光栅、毫米刻度尺、棱镜胶合容器、测微目镜和光屏）等。

组合光学实验仪具有模块化的特点，各实验器材安装在导轨上，实验更为方便快捷。将各光学元件通过一系列连接件和支架，与导轨连接件相连接，同一元件可应用于多种光学实验，大大增强了元件的通用性。

3.2.2 模块化

在标准化的基础上模块化，利于独立更换。由于组合光学实验中以导轨，托板和升降调节架作为最基本最通用的实验组成部分，其中将长导轨、托板和升降调节架统称为基本模块，以下实验模块中都包含，不再重复描述。He-Ne 激光器及直流稳压电源作为光源模块，测微目镜和 CCD 摄像机组成测量模块（双凸透镜和半反半透镜可作为常用模块）。

根据实验内容和仪器细分实验模块如下：

- 1、液体折射率测量实验模块主要包括光源模块，转角测量盘和棱镜胶合容器。
- 2、透镜成像测焦距实验模块主要包括毫米刻度尺（作为被观察对象）、 $f=70\text{mm}$ 的双凸透镜和光屏。
- 3、简易望远镜和显微镜实验模块主要包括一组 $f=10\text{mm}$ 和 $f=70\text{mm}$ 的双凸透镜。
- 4、光功率测量实验模块主要包括光源模块和光功率计。
- 5、双棱镜干涉实验模块主要包括光源模块、一组 $f=10\text{mm}$ 和 $f=70\text{mm}$ 的双凸透镜、双棱镜、二维调节架和测量模块。
- 6、双缝干涉实验模块主要包括光源模块、二维调节架、狭缝调节支架、 $f=10\text{mm}$ 双凸透镜、双缝和测量模块。
- 7、莫尔条纹实验模块主要包括一对带角度可旋转光栅和测量模块。

- 8、牛顿环劈尖实验模块主要包括光源模块、短导轨、 $f=10\text{mm}$ 双凸透镜、半反半透镜、平凸透镜、劈尖、测量模块。
- 9、迈克尔逊干涉和马赫-曾德尔干涉实验模块主要包括光源模块、一对短导轨、 $f=10\text{mm}$ 双凸透镜、一对半反半透镜、一对平面镜、纵向精密调节架和测量模块。

4 仪器创新点

我们研制的组合光学实验仪最主要的创新点在于标准化和模块化的设计。标准化是将各种光学元器件固定在统一标准的支柱上,支柱可通过导轨安装于统一的光学平台上;模块化是指在建立标准化器材结构的基础上,通过拼接与搭建,实现多种几何光学实验和波动光学实验,其中各标准化元件可以在不同实验中多次重复使用。我们通过标准化和模块化的设计,各个光学实验器材模块之间具有很高的通用性,若某一器材缺失或损坏,可以使用其他同类的等效元器件通过拼接和搭建,来代替该问题模块。由于模块化设计中器材的通用性,各个模块之间通过导轨和连接件进行连接,在不同实验的操作过程中,各个模块可以实现直接的拆除与安装,不需为不同光学实验一一准备多套实验器材,节省实验器材占地面积,方便实验教学。例如一面半透半反镜,在我们经过标准化和模块化设计的组合光学实验仪中,可以兼容于反射式牛顿环实验、迈克尔逊干涉实验和马赫-曾德干涉实验等多种光学实验中。

5 结语

本文研发的组合光学实验仪器具有模块化和标准化的设计特点,并具有多种功能,搭建简便,便于教学,克服了目前光学实验内容单一、实验元器件之间通用性差以及实验装置种类多、存储和管理成本大等问题,打破了传统光学实验仪器的限制,其灵活性和可变性满足了自主创新实验的需要。由于标准化和模块化的设计,学生不仅能够完成书本上的实验内容,还可以利用这套实验设备,自行设计光路,选择需要的光学元器件,进行自主设计的开放式实验,观察实验现象,有效加深学生对教学内容与光学知识的理解,锻炼学生的思维能力、动手能力和自主创新能力,促进学生的综合素质,提高光学实验教学质量。目前,随着光学技术渗透到加工、娱乐等各行各业,越来越多的高校和研究院(所)重视光学教学和光学实验教学。本文研发的组合光学实验仪具有广阔的推广前景和巨大的市场潜力。

参考文献

- [1] 高若平. 大学物理实验中光学实验的特点及其教学策略[J]. 科技创新导报,2012(17):172
- [2] 黄宇红,严高师. 改革工程光学实验教学, 培养学生创新能力[J]. 实验科学与技术,2005,12(4):83-85
- [3] 张巧芬. 光学实验教学改革[J]. 中国现代教育装备,2008(12):111-112
- [4] 纪延俊,杜玉杰. 基于应用型人才培养的光学实验的探讨与实践[J]. 大学物理,2011,20(3):38-40

Development of Combined Optical Experimental Apparatus

WEI Gao-yao, YE Min-hua

(Physical Experiment Center, Zhejiang University of Technology, Hangzhou ,310023, China)

Abstract: Aiming at the problems such as complex adjusting steps, various components, this article explores a combined optical experimental apparatus, which is multifunctional with standardized and modular design. Based on this apparatus, optical experiments could be designed and processed, which involve high school, undergraduate course even postgraduate optical experiments and demonstrations. We split various components into modules and units to fix them on standardized base. This combined optical experimental apparatus is benefit to college physics self-exploration experimental education for its simple establishment method, which makes operation control easier. Compared with similar products, this apparatus is more competitive and has better market prospect.

Keywords: combined optical experimental apparatus, geometrical optics, physical optics, modular design, standardized design

作者简介：魏高尧（1962-），男，浙江诸暨人，浙江工业大学物理实验中心副主任、高级工程师，硕士生，长期从事物理实验、音视频电路、光电子学、仪器开发等教学与科研工作。

联系方式：杭州 浙江工业大学物理实验中心 邮编：310023

电话：0571—85290327（O） 13738133096 E-mail: wgy@zjut.edu.cn

附件 3 转让证明

转让证明

本公司近几年一直与浙江工业大学物理实验中心合作开发物理实验教学仪器。浙江工业大学所开发的组合光学实验仪与以往仪器相比更加适应现代教学理念，能激发学生创新能力。组合光学实验仪已转让给我公司，已被全国各地多所高校使用，产值已达四十多万，深受用户的好评。

特此证明

杭州博源光电科技有限公司（盖章）



组合光学实验手册（部分）

目 录

一、液体折射率测量实验	24
二、测透镜焦距实验	28
三、开普勒望远镜实验	8
四、显微镜实验	34
五、功率测量实验	37
六、双棱镜干涉实验	39
七、双缝干涉实验	20
八、莫尔条纹实验（暂缺）	
九、牛顿环实验（暂缺）	
十、迈克尔逊干涉实验（暂缺）	
十一、马赫-曾德干涉实验（暂缺）	

一、液体折射率测量实验

折射率是介质（如固体、液体和空气）的重要光学参数之一，借助折射率能了解介质的光学性能、纯度、浓度以及色散等性质；其他的一些参数（如热光系数）也与折射率密切相关。另外，液体折射率的精确测量应用广泛，对于化工、制药、制糖工业及有关的科学研究都有重要应用价值。通过学习本实验测量空气和水的折射率，可以为深入研究打下基础。

【实验目的】

- （1）掌握光的全反射原理和折射定律，了解测量装置的结构与原理。
- （2）学会用棱镜组合测量不同液体及空气的折射率。

【实验原理】

利用玻璃容器来测量水、酒精和空气等物质折射率，根据光的折射定律，当光从一种介质射向另一种介质的平滑界面时，一部分光被界面反射，另一部分光透过界面在另一种介质中折射，折射光线满足折射定律：**折射光线与入射光线、法线不处在同一平面内（？）**，折射光线与入射光线分别位于法线的两侧；入射角的正弦与折射角的正弦成正比，即：

$$\frac{\sin \varphi_1}{\sin \varphi_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$

其中， n_1 表示光所在介质 1 的折射率， n_2 表示光线所在介质 2 的折射率， n_{21} 是一个比例常数，表示光经过第二介质相对第一介质的相对折射率。

根据全反射条件：当光线由光密介质通过光疏介质时且满足临界条件

$$\varphi_2 = 90^\circ, \frac{\sin \varphi_2}{\sin \varphi_1} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin \varphi_1} = \frac{n_1}{n_2} = n'_{12} (n_1 > n_2)$$

即 φ_1 为临界角。其他液体可以同理得到类似公式。（图 1-1 与上面公式对不上号？）

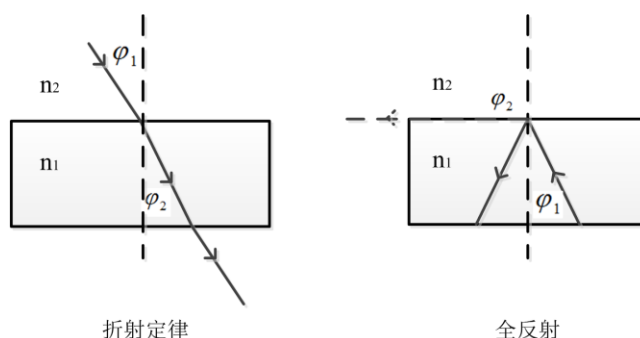


图 1-1 折射定律和全反射示意图

1. 空气

利用玻璃容器（等腰直角三棱镜和四棱镜等粘合而成）测量空气折射率的光路图如图 1-2 所示。

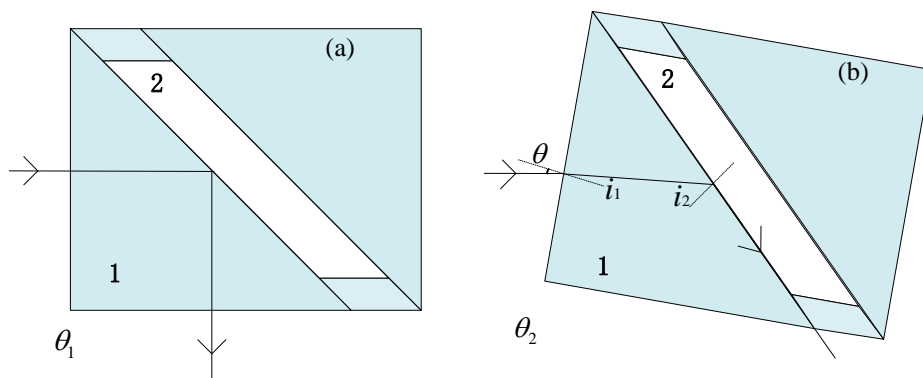


图 1-2 测量空气折射率光路原理图

当激光垂直入射玻璃容器玻璃面时，激光在玻璃与空气介质交界面发生全反射而直接从下面出射（如图 1-2a 所示），将转盘的刻度记为 θ_1 ，再顺时针缓慢转动玻璃容器使得激光刚好从交界面出射（如图 1-2b 所示）将转盘的刻度记为 θ_2 ，可得转动角度 $\theta = |\theta_2 - \theta_1|$ 。结合折射定律，可以计算出空气的折射率。
根据三棱镜可知，

$$i_1 + i_2 = \frac{\pi}{4} \quad (1-1)$$

由折射定律得

$$\frac{\sin \theta}{\sin i_1} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1-2)$$

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin i_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1-3)$$

将以上公式联立可得：

$$n_1 = n_2 \cdot \frac{1}{\sqrt{(\sqrt{2}\sin\theta + 1)^2 + 1}} \quad (1-4)$$

2. 自来水

利用玻璃容器测量自来水折射率的光路图如图 1-3 所示。当激光垂直入射玻璃容器玻璃面时，激光在玻璃与自来水介质交界面发生折射而最终以平行于入射方向从右边出射，如图 1-3a 所示。此时，利用读数放大镜来读出此时转盘的刻度，记为 θ'_1 。然后，逆时针缓慢转动玻璃容器使得激光刚好从交界面出射，如图 1-3b 所示。将转盘的刻度记为 θ'_2 。可得转动角度 $\theta' = |\theta'_2 - \theta'_1|$ 。结合折射定律，可以计算出自来水的折射率。

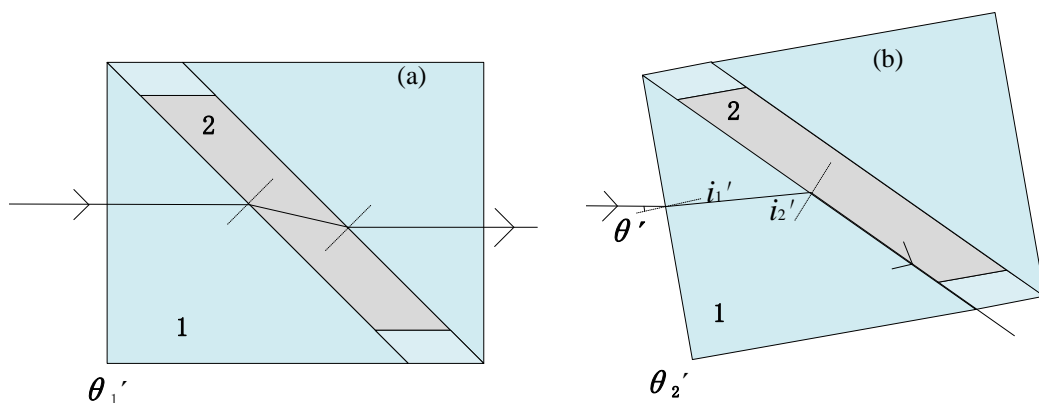


图 1-3 测量自来水折射率光路原理图

根据三棱镜可知，

$$-i_1' + i_2' = \frac{\pi}{4} \quad (1-5)$$

由折射定律得

$$\frac{\sin \theta'}{\sin i_1'} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (1-6)$$

$$\frac{\sin 90^\circ}{\sin i_2'} = \frac{n_2}{n_3} = n_{23} \quad (1-7)$$

以上公式联立可得：

$$\begin{aligned} n_3 &= n_2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} \left(\sqrt{1 - \left(\frac{\sin \theta'}{n_{21}} \right)^2} + \frac{\sin \theta'}{n_{21}} \right) \\ &= \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot n_1 \left(\sqrt{n_{21}^2 - \sin^2 \theta'} + \sin \theta' \right) \\ &\approx \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot n_1 \left(\sqrt{n_2^2 - \sin^2 \theta'} + \sin \theta' \right) \end{aligned} \quad (1-8)$$

【实验仪器】

He-Ne 激光器，带刻度导轨，带刻度圆盘，玻璃容器，（尖嘴滴管）。

【实验内容】

1. 空气折射率

（1）将 He-Ne 激光器安放到导轨上拧紧旋钮，再将玻璃容器放到导轨上，拧紧旋钮。

（2）打开激光器开关，顺时针转动刻度盘，使得玻璃表面反射光恰好反射回激光器时，记录刻度盘读数 θ_1 ，继续顺时针旋转刻度盘使得激光恰好从接缝处出光，记录刻度盘读数 θ_2 。

(3) 重复测量 5 次，记录表格（整个过程要避免引入回程差）。

(4) 求空气折射率和不不确定度。

2. 自来水折射率

(1) 用尖嘴滴管将玻璃容器加满自来水。

(2) 打开激光器开关，逆时针转动刻度盘，使得玻璃表面反射光恰好反射回激光器时，记录刻度盘读数 θ_1 ，继续逆时针旋转刻度盘使得激光恰好从接缝处出光，记录刻度盘读数 θ_2 。

(3) 重复测量 5 次，记录表格（整个过程要避免引入回程差），实验完成清理自来水。

(4) 求自来水折射率和不不确定度。

【数据与结果】

表 1-1 数据表

次数（空气）	θ_1	θ_2	$\theta = \theta_2 - \theta_1 $	n_1
1	152.7°	158.2°	5.5°	
2	152.8°	158.4°	5.6°	
3	152.7°	158.3°	5.6°	
4	153.0°	158.2°	5.2°	
5	153.2°	158.8°	5.6°	

表 1-2 数据表

次数（自来水）	θ'_1	θ'_2	$\theta' = \theta'_2 - \theta'_1 $	n_3
1	152.6°	127.2°	25.4°	
2	152.6°	127.3°	25.3°	
3	152.7°	127.4°	25.3°	
4	152.6°	127.3°	25.4°	
5	152.7°	127.2°	25.3°	

$\Delta_{\text{仪}} = 0.1^\circ$ ，即 $\Delta_{\text{仪}} = 0.00175\text{rad}$ ，取 K9 玻璃折射率取折射率 1.516，计算可得

空气折射率为， $\bar{n}_{\text{空气}} \pm \Delta n = 1.002 \pm 0.002$ ， $\bar{n}_{\text{自来水}} \pm \Delta n = 1.334 \pm 0.008$

二、测透镜焦距实验

透镜的种类和分类很多，最直接的参数就是透镜的焦距，它是表明凸透镜的会聚本领和凹透镜的发散本领的。实验根据凸透镜的成像规律介绍几种判断和测量凸透镜的焦距的方法。了解焦距的测量，为进一步研究其成像规律及其应用的打下基础。

【实验目的】

- (1) 了解凸透镜成像规律。
- (2) 掌握多种测量透镜焦距的方法，利用二次成像法测量透镜焦距。

【实验原理】

1. 粗略估测法

以太阳光或较远的灯光为光源，用凸透镜将其发出的光线成像，当物距 $\rightarrow\infty$ ，像距（成点或像）等于焦距，测量误差约 10%，通常用于粗略估计。

2. 物距像距法

基于高斯透镜成像原理来测量凸透镜焦距的。光打到刻度光屏 1 (?) 上，可以当做物，该物再经凸透镜成像于光屏 2 (?)。图 2-1 表示物光屏经凸透镜成像于像光屏，其中，P 表示物光屏位置，P' 表示像光屏位置，L 表示凸透镜位置，u 表示物距，v 表示像距，由高斯透镜公式可得凸透镜焦距为：

$$f = \frac{uv}{u+v} \quad (2-1)$$

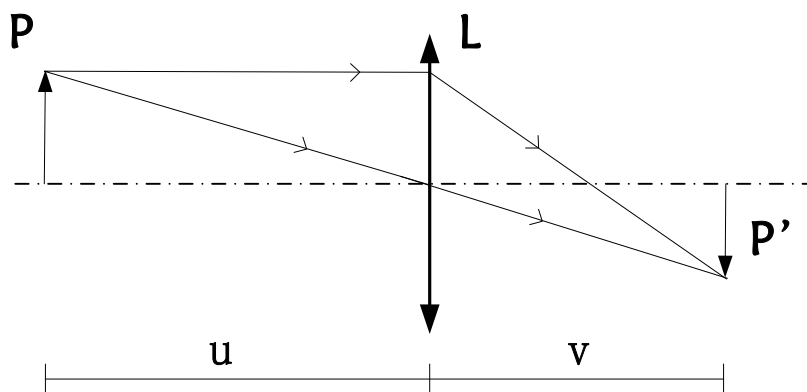


图 2-1 物距像距法示意图

2. 移位法

在光具座上固定一个光源和光屏，二者距离为 L（应满足 $L > 4f$ ），在光源与光屏之间放待测的凸透镜，移动凸透镜的位置，可以两次在光屏上得到清晰的倒立的实像，一次是缩小的实像，另一次是放大的实像，这两次成像时凸透镜的位置相距为 d，则凸透镜的焦距为：

$$f = \frac{L^2 - d^2}{4L} \quad (2-2)$$

证明如下：如图 2-2 所示，

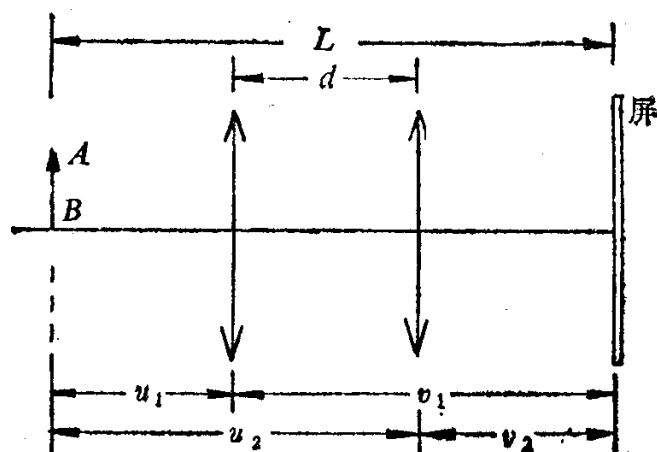


图 2-2 位移法示意图

根据光路可逆原理可知 $u_1 = v_2, u_2 = v_1$ ，因此有

$$u_1 = \frac{L-d}{2}, v_1 = \frac{L+d}{2} \quad (2-3)$$

将以上(2-3)代入公式 (2-2)，可得

$$f = \frac{u_1 v_1}{u_1 + v_1} = \frac{L^2 - d^2}{4L} \quad (2-4)$$

这种方法的精确度较高，由于凸透镜的位置如果有稍许移动，将同时改变 u 和 v 的值，因此成像的清晰程度将有较大变化，因此位置比较容易找准。还可以消除光心位置不准带来的误差。另外实验过程中，除了注意观察像是否清晰以外，还应注意是否满足 $u_1 = v_2$ ，只要这个条件满足， L 和 d 的值测量准确，测得的焦距 f 就能相当准确。这种方法又称“共轭法”。

【实验仪器】

光源，凸透镜，光屏(或测微目镜)，毫米刻度尺，带刻度导轨，带托板精密调整架若干。

【实验内容】

(1) 用估测法，粗略判断透镜的焦距大小(或根据理论值)。

(2) 将毫米刻度尺作为物，把物和像屏放在精密调整架上，使他们的距离大于焦距值的 4 倍，在两者之间放入透镜，先将像屏换成同样规格的刻度尺，移动透镜和像屏，观察刻度尺像的中心与刻度尺是否重合，若不重合，调整透镜支架旋钮，使其基本重合。保证物、透镜和像三者中心等高同轴，调整好后，固定像屏并记录下物和屏的距离 L 。

(3) 将透镜移至靠近物，然后反向移动透镜，当看到放大像时，调至清晰，记录像距 u_1 ；

继续移动透镜，当看到缩小像时，调至清晰，记录像距 u_2 ，求出两者间距 d 。

(4) 物不变，改变屏的位置（即 L 大小）重复步骤 3 测量 3 次，取平均。

(5) 求透镜焦距和不确定度。

【数据与结果】

表 2-1 数据表

次数	L/mm	u_1/mm	u_2/mm	$d = u_2 - u_1 /$ mm	$f' = \frac{L^2 - d^2}{4L} /$ mm
1	335.0	402.1	535.1	133.0	70.5
2	355.0	398.0	558.4	160.4	70.6
3	375.0	395.3	582.3	187.0	70.4

焦距平均值： $f \pm \Delta f = (70.5 \pm 0.4)\text{mm}$ 理论值： $f=70\text{mm}$ 相对误差： 0.7%

三、开普勒望远镜实验

望远镜发明至今已有 400 年的历史，它在人们的科研、日常生活等方面都发挥着重要的作用，学生或多或少都会有一些接触。自组望远镜实验，能够锻炼学生的动手能力，增进学生对望远镜光路原理的理解，这样比传统的课堂教学更能引发学生的兴趣，提高学习效率。

【实验目的】

- (1) 熟悉望远镜的构造及其放大原理。
- (2) 了解望远镜放大率的几种测量方法。
- (3) 测量简易望远镜的放大率。

【实验原理】

1. 望远系统原理

无穷远处物体发出的光经物镜后在物镜焦平面上成一倒立缩小的实像，再利用目镜将此实像成像于无穷远处，使视角增大，利于人眼观察，如图 3-1 所示。

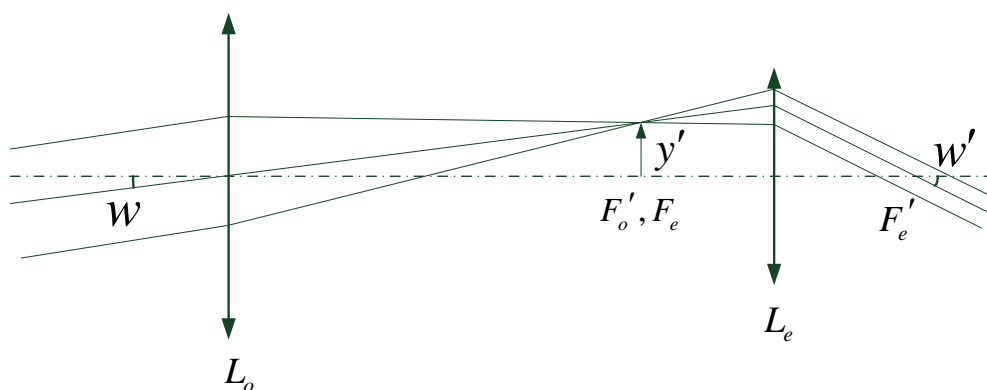


图 3-1 望远镜的基本光学系统

在图 3-1 中，记目视光学仪器所成的像对人眼的张角为 ω' ，物体直接对人眼的张角为 ω ，则视放大率：

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega}$$

由几何光路可知：

$$\tan \omega = \frac{y'}{f_o'}, \quad \tan \omega' = \frac{y'}{f_e'} = \frac{y'}{f_e'}$$

因此，望远镜的视放大率：

$$\Gamma_T = \frac{f_o'}{f_e'}$$

2. 望远镜的视放大率。

实际测量望远镜无焦系统的视放大率时，利用图 3-2 所示的光路图。当物 y 较近时，即物距：

$$L_1 < f_0'(1 + f_0'/f_e')$$

时，物镜所成的像会位于 O_e 右侧（实像）或左侧（虚像），经目镜后，即成缩小的实像 y'' ，于是视放大率：

$$\Gamma_T = \frac{f_0'}{f_e'} = \frac{f_0'}{f_e} = \frac{y}{y''}$$

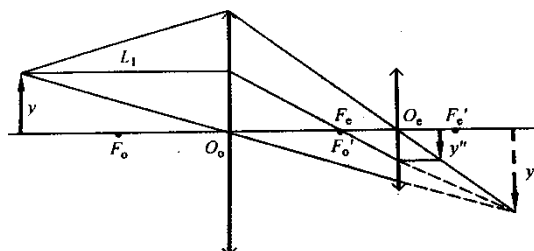


图 3-2 望远镜的视放大率示意图

在实际实验中，为了便于测量，将物（如取物高 1mm）放在目镜焦距以内，测量对物镜成像高度。

【实验仪器】

光源，凸透镜 f_1 ，凸透镜 f_2 ，毫米刻度尺 M1 和 M2，带刻度导轨，带托板精密调整架若干。

【实验内容】

- （1）先在导轨上固定精密调整架 a，装上凸透镜 f_1 （通光孔径大的）并拧紧旋钮；
- （2）按照步骤 1，按放凸透镜 f_2 （通光孔径小的），松动精密调整架 b 移动，使 f_2 与 f_1 呈一定距离。
- （3）眼睛通过 f_2 观察远处景物，调节 f_2 所在调整架位置，使景物成清晰像，固定调整架位置。
- （4）按照步骤 1 在 f_1 后面固定精密调整架 c（反向固定在一倍焦距以内），装上毫米刻度尺 M2，使刻度尺刻线垂直导轨。
- （5）在再 f_1 透镜另一侧安装精密调整架并安装上毫米刻度尺 M1 作为像屏测量，通过前后移动，确定清晰成像，记录 M2 上 1mm 所对应的成像高度；若未发现成像，可以在 M1 后面增加光源，再重复移动确定清晰成像，记录成像高度。
- （6）重复第 4 步和第 5 步，测量 3 次，求平均视觉放大率和百分误差。

【数据与结果】

表 3-1 望远镜测量数据表

$$f'_0 = \underline{\quad 10 \quad} \text{ mm}, \quad f'_\varepsilon = \underline{\quad 70 \quad} \text{ mm}$$

次数	M_1 测量值 (mm)	M_2 测量值 (mm)	观测放大率 $\Gamma_0 = \frac{M_2}{M_1}$	理论放大率 $\Gamma = \frac{f'_0}{f'_\varepsilon}$
1	1	6.3	6.3	7
2	2	12.7	6.35	
3	3	19	6.33	
平均			6.3	

$$\text{百分误差 } E = \frac{|\Gamma_0 - \Gamma|}{\Gamma} \times 100\% = 10\%$$

四、显微镜实验

显微镜是最常用的助视光学仪器，且常被组合在其他光学仪器中。因此，了解并掌握它的构造原理和调整方法，了解并掌握其放大率的概念和测量方法，不仅有助于加深理解透镜的成像规律，也有助于正确使用其他光学仪器。

【实验目的】

- (1) 熟悉显微镜的构造及其放大原理。
- (2) 了解望远镜放大率的测量方法，搭建简易显微镜。
- (3) 测量简易显微镜的视觉放大率。

【实验原理】

目视光学仪器所成的像对人眼的张角为 ω' ，物体直接对人眼的张角为 ω ，则定义视觉放大率：

$$\Gamma = \frac{\tan \omega'}{\tan \omega} \quad (1)$$

最简单的显微镜是由两个凸透镜构成的。其中，物镜的焦距很短，目镜的焦距较长。它的光路如图所示，图中的 L_o 为物镜（焦点在 F_o 和 F_o' ），其焦距为 f_o ； L_e 为目镜，其焦距为 f_e 。将长度为 y_1 的被观测物 AB 放在 L_o 的焦距外且接近焦点 F_o 处，物体通过物镜成一放大的倒立实像 $A'B'$ （其长度为 y_2 ）。此实像在目镜的焦点以内，经过目镜放大，结果在明视镜 D 上得到一个放大的虚像 $A''B''$ （其长度为 y_3 ）。虚像 $A''B''$ 对于被观测物 AB 来说是倒立的。

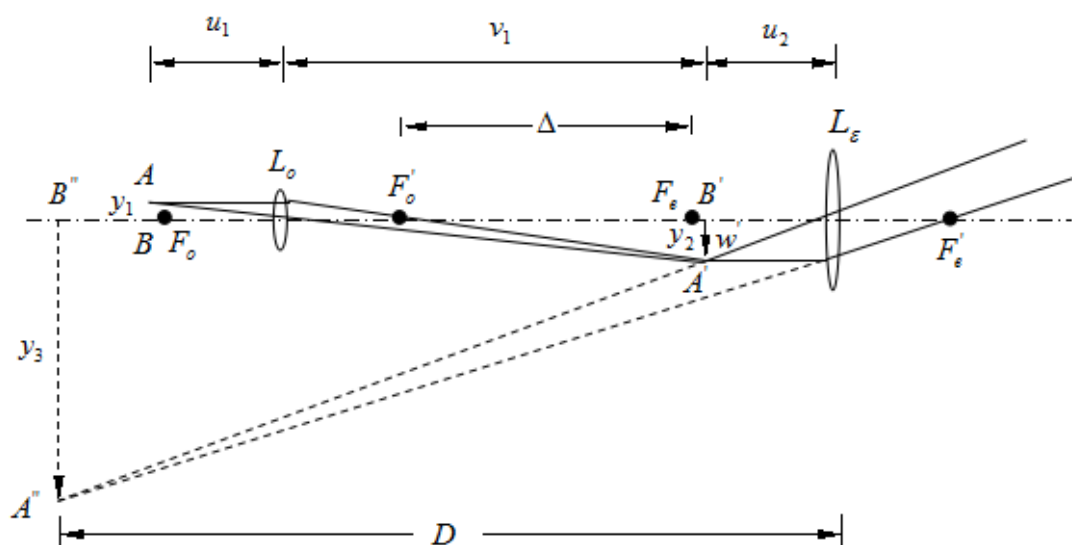


图 4-1 显微镜二次成像光路原理图

显微镜物镜焦点 F' 到目镜焦点 F_e 之间的距离 Δ 称为物镜和目镜的光学间隔。当显微镜中能看到物体清晰图像时，物镜前端面到被测物的距离叫做显微镜的工作距离。为获得清晰的图像而调节显微镜与被观测物的距离称之为调焦。由图可见，显微镜的视觉放大率为

$$\Gamma = \frac{\tan w'}{\tan w} = \frac{y_3 / D}{y_1 / D} = \frac{y_3}{y_2} \cdot \frac{y_2}{y_1} \quad (2)$$

式中， $\frac{y_3}{y_2} = \frac{D}{u_2} \approx \frac{D}{f_e} = \Gamma_e$ ，为目镜的视觉放大率； $\frac{y_2}{y_1} = \frac{v_1}{u_1} \approx \frac{\Delta}{f_o} = \beta_0$ （因 v_1 比 f_o 大得多），

为物镜的线放大率。因而式（2）可改写成

$$\Gamma = \frac{D}{f_e} \cdot \frac{\Delta}{f_o} = \beta_0 \cdot \Gamma_e \quad (3)$$

由式（3）可见，显微镜的放大率等于物镜放大率和目镜视觉放大率的乘积。在 f_o 、 f_e 、 Δ 和 D 已知的情形下，可利用式（3）算出显微镜的视觉放大率。

通过原理上了解理论值的计算过程，以下介绍通过测量物象高度的方法，获得视觉放大率，如图所示：

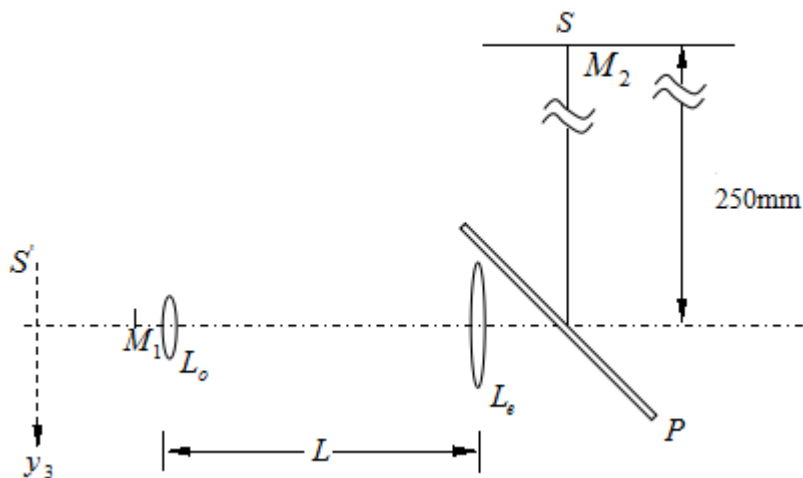


图 4-2 装置示意图

【实验仪器】

照明光源 S 和 S' （LED 灯），物镜 L_o ，目镜 L_e ，半反半透镜 P ，毫米尺 M_1 和 M_2 ，带刻度导轨，带托盘精密调整架若干。

【实验内容】

1. 显微镜光路的调整

（1）将各光学元件沿着光学导轨的标尺固定在相应的支架上，调节同轴等高。

(2) 将物镜 L_o 与目镜 L_e 的间距取 150mm；在 L_e 之后放置一与光轴成 45° 角的半反半透镜 P ，距此镜 250mm 处放置光源（图中未画出）照明毫米尺 M_2 。

(3) 调整尺 M_1 离物镜 L_o 的距离，使它经显微镜系统成的像 y_3 与毫米尺 M_2 经 45° 半反半透镜反射的像 S' 重合。要求反复调整，直到尺 M_1 的放大像 y_3 与尺 M_2 反射像 S' 之间没有视差为止。

(4) 仔细观察尺 M_1 的放大像和尺 M_2 的反射像，同时微调尺 M_2 的横向距离，让其反射像中的某一格对准被测物放大像的某一格，便于读数。读出尺 M_1 放大像 y_3 的格数 b 所对应的毫米尺 M_2 反射像的格数 a ，测量 3 次，求平均视觉放大率。

(5) 并将计算结果与观测值作一比较，计算百分误差 E 。

【数据与结果】

表 4 显微镜数据记录表

$D = \underline{70}$ mm, $\Delta = \underline{150}$ mm, $M_1 = \underline{1}$ mm, $f_o = \underline{10}$ mm, $f_e = \underline{70}$ mm

次数	M_2 测量值 a (mm)	观测放大率 $\Gamma_0 = M_1 / M_2$	理论放大率 $\Gamma = \frac{D}{f_e} \cdot \frac{\Delta}{f_o} = \beta_0 \cdot \Gamma_e$
1	25.8	25.8	25.0
2	26.4	26.4	
3	26.2	26.2	
平均	26.1	26.1	

$$\text{百分误差 } E = \frac{|\Gamma_0 - \Gamma|}{\Gamma} \times 100\% = 4.5\%$$

五、功率测量实验

光功率测量在光学领域具有重要的应用，就像电阻、电压、电流在电学领域的地位一样。因此，掌握光通量等光度学基本概念和熟悉光功率计的使用，对于学生学好光学具有举足轻重的重要性。

【实验目的】

- (1) 熟悉光功率计使用手册。
- (2) 用光功率计测量 He-Ne 激光功率。

【实验原理】

1. 光通量

辐射通量是指单位时间内通过某一截面的辐射能，又称辐射功，SI 单位为瓦。光通量指人眼所能感觉到的辐射功率，它等于单位时间内某一波段的辐射能量和该波段的相对视见率的乘积。由于人眼对不同波长光的相对视见率不同，所以不同波长光的辐射功率相等时，其光通量并不相等。

2. 光功率计工作原理

光功率计的基本工作原理是被测光投射到 pin 光探测器上变为电流，再经 i/v 变换电路和程控放大电路得到电压信号。这个信号送到程控低通滤波器及响应度补偿放大电路，得到与功率值相对应的直流电压，经 a/d 转换得到表示功率大小的数字量，控制处理部分进行数据处理和判断后，送显示器进行功率显示或给出超量程或欠量程指示并发出量程转换命令进行量程的自动控制。

3. 测量光功率

调整好光路，当激光经过焦距为 10 mm 凸透镜扩束后，打到圆形或四分之一通光板上，在光功率计进行读数。熟悉操作手册，实际测量环境下，记录的光功率，都是在含有背景光的，通过测量不同通光孔径的通光板的光功率和背景光，比较获得两者的比值关系，来熟悉光功率计的操作过程。可以利用以下公式

$$E = \frac{\bar{I}_1 - I'_1}{\bar{I}_{\frac{1}{4}} - I'_{\frac{1}{4}}} \times 100\% \quad (5-1)$$

由于激光器本身存在功率波动，光光斑的中心位置容易偏离通光板中心位置，实际测量时误差会变大。

【实验仪器】

光功率计，He-Ne 激光器，凸透镜（f=10mm），四分之一和圆形通光板，带刻度导轨，带托板精密调整架若干。

【实验内容】

- (1) 打开光功率计，按照操作手册，先进行零度校准。

(2) 在导轨上放置激光器、透镜和光功率计探头并固定，光功率计探头需先外加套筒再固定到精密调整架后端。打开激光器，保证三者等高同轴，调节透镜与光功率计探头距离，使得扩束光斑大小略小于光功率计最大探测面。

(3) 在固定光功率计探头的精密调整架前端固定圆形通光板，将光功率计测量波长调到 633nm，记录光功率值 I_1 ，间隔几秒测量一次，重复测量 20 次，取平均 \bar{I}_1 ；光功率显示数值波动，可以按光功率计上的 hold 键进行读数。

(4) 遮挡激光器，测量圆形通光板背景光功率值 I'_1 。**注意：不可关闭激光器，可以用黑纸片（不反光不透光的物体）遮挡。**

(5) 换成四分之一通光板，记录光功率值 $\bar{I}_{\frac{1}{4}}$ 。间隔几秒测量一次，重复测量 10 次；旋转 180° 间隔几秒测量一次，重复测量 10 次；遮挡激光器，测量四分之一通光板背景光功率值 $I'_{\frac{1}{4}}$ 。

(6) 根据 5-1 公式，计算实际测量光功率比值关系，计算百分误差。

【数据与结果】

表 5-1 数据表

次数 光功率/uw		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_{\frac{1}{4}}$		101.1	100.1	103.4	103.4	102.3	138.1	138.1	139.9	140.1	141.1
I_1		536.2	532.9	533.9	532.9	531.2	532.1	542.1	532.6	534.5	534.3
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	均值	背景光
										120.8	10.4
										534.3	50.1

10 次测量功率比 $E = \frac{\bar{I}_1 - I'_1}{\bar{I}_{\frac{1}{4}} - I'_{\frac{1}{4}}} \times 100\% = 22.8\%$ ，误差 $\frac{25\% - 22.8\%}{25\%} \times 100\% = 8.8\%$

六、双棱镜干涉实验

菲涅耳双棱镜干涉实验是一个基于分波振面干涉原理的经典而又重要的实验。该实验和杨氏双缝干涉实验共同奠定了光的波动学的实验基础。

【实验目的】

- (1) 掌握用双棱镜获得双光束干涉的方法，了解双棱镜干涉条件和原理。
- (2) 学会用双棱镜测定 He-Ne 激光器波长。

【实验原理】

菲涅耳双棱镜干涉实验原理和杨氏双缝干涉实验原理类似，都是分波振面干涉。激光通过凸透镜扩束后打到菲涅耳双棱镜上，而菲涅耳双棱镜可以看成是有两块底面相接、棱角很小的直角棱镜合成，激光经过菲涅耳双棱镜折射后，在两等效虚光源共同光场区域发生干涉，即可以看到明暗相间的干涉条纹，如图 6-1 所示绿色区域。图中，光源 S 表示从凸透镜扩束出来的球面波等效光源， S_1 、 S_2 表示菲涅耳双棱镜后方光场分布的两等效虚光源， d 表示两等效虚光源间距， l 表示虚光源到光屏接受面之间的距离。

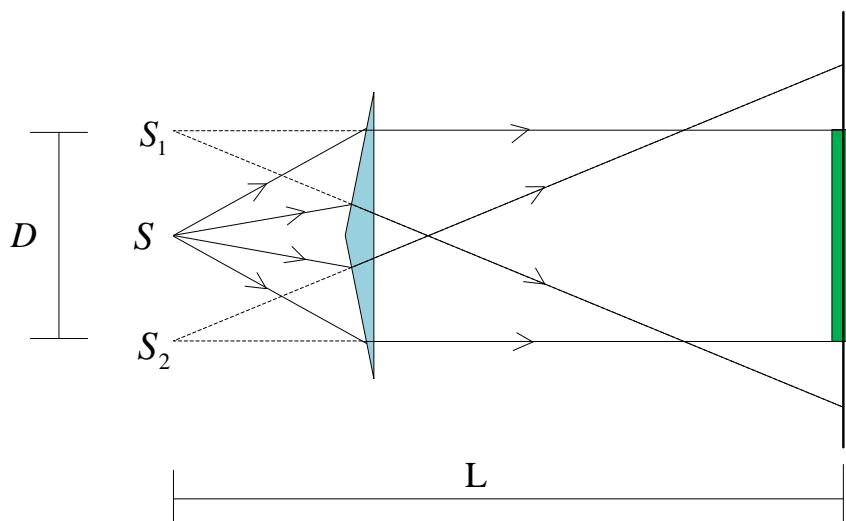


图 6-1 菲涅耳双棱镜干涉光路原理图

采用位移法来测量虚光源间距 d 再计算激光光源波长，如图 6-2 所示， S 为 He-Ne 激光器， A 为衰减片， L_1 为焦距为 10 mm 凸透镜扩束镜， B 为双棱镜， E 为测微目镜， L_2 为焦距 70mm 的凸透镜（测虚光源间距 D ）， L_2 透镜位于实线位置时，表示虚光源 S_1S_2 在测微目镜中成放大像， L_2 透镜位于虚线位置时，表示虚光源在测微目镜中成缩小像，所有光学元件都放在长导轨上，长导轨上附有刻度可读出各元件的位置。条纹间距 Δx 可直接用测微目镜测出。虚光源间距 D 用二次成像法测得：当保持物、屏位置不变且间距 L 大于 $4f$ 时，移动透镜可在其间的两个位置成清晰的实像，一个是放大像，一个是缩小像。设 b 为虚光源缩小像间距， b' 为放大像间距，则两虚光源的实际距离为 $D = \sqrt{bb'}$ ，其中 b 和 b' 由测微目镜读出，同时根据两次成像的规律，利用公式 2-4 可得，

$$L = 2f + \sqrt{4f^2 + d^2} \quad (6-1)$$

测出呈缩小像和放大像时透镜 L_2 移动距离 d ，则可知光源到像屏之间的距离 L 。根据波长的计算公式，得波长和各测量值之间的关系是：

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot D}{L} = \frac{\Delta x \sqrt{bb'}}{2f + \sqrt{4f^2 + d^2}} \quad (6-2)$$

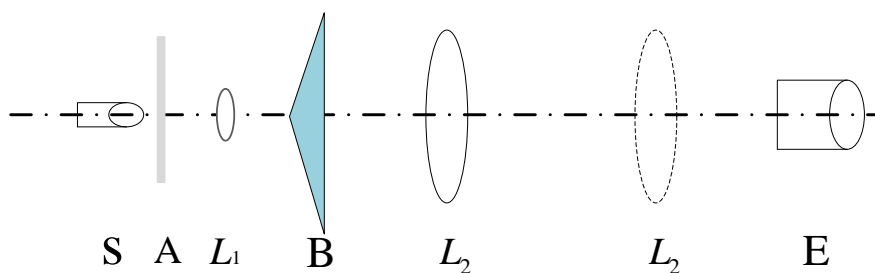


图 6-2 位移法测激光波长元件光路示意图

【实验仪器】

He-Ne 激光器，凸透镜 $L_1(f=10\text{mm})$ 和 $L_2(f=70\text{mm})$ ，双棱镜，测微目镜，100 倍衰减片（2 片），带刻度导轨，带托板精密调整架若干。

【实验内容】

（1）激光器固定到导轨上，检查激光是否与导轨平行且在中心位置，若偏离较大，重新调整到中心位置，并在另一端固定好测微目镜，确保激光打在测微目镜中心，**若通过眼睛直接观察必须在激光器前增加合适衰减片。**

（2）在离测微目镜一定距离（两者托板刻度线间隔 200mm）处固定双棱镜 B，通过调节旋钮左右移动双棱镜使激光达到棱上出射两个等亮度的光斑（可通过放置白纸观察），接着在棱镜和激光器之间加上扩束镜 L_1 ，直接可以看到明显的干涉条纹，由于激光亮度较高，在激光器前加上衰减片，调节扩束镜与双棱镜的距离，直到在测微目镜中观察到有 10 条的清晰条纹，固定扩束镜（距离双棱镜 20mm）；并记录 10 条干涉条纹距离，求干涉条纹间距 Δx 。

（3）在靠近双棱镜后加凸透镜 L_2 （ $f=70\text{mm}$ ），并且在激光器出光处加第二块衰减片，移动凸透镜可以在测微目镜中观察到清晰放大的两个点像，读出间距 b ；记录位置 1，继续移动凸透镜在测微目镜观察到清晰缩小的两个点像，读出间距 b' ，则可得虚光源间距 $D = \sqrt{bb'}$ 。同时记录位置 2，获得呈缩小像和放大像时透镜 L_2 移动距离 d ；

（4）代入公式求出波长和不确定度，以及相对误差。

注意：测量时避免产生回程差。

【数据与结果】

6-1 数据表（单位 mm）

d= 588.4-505.1=83.3 mm

读数值	左刻度	右刻度	间距
放大像	4.420	5.656	1.236
缩小像	5.274	5.672	0.398
10 条纹间距	3.136	5.906	2.870

$$L = 2f + \sqrt{4f^2 + d^2} = 302.9\text{mm}$$

$$D = \sqrt{bb'} = 0.701\text{mm}$$

$$\lambda = \frac{\Delta x \cdot D}{L} = 664.2\text{nm} \quad \text{相对误差为 } 5.0\%$$

七、双缝干涉实验

杨氏双缝干涉实验是一个基于分波振面干涉原理的经典而又重要的实验。该实验和菲涅耳双棱镜干涉实验共同奠定了光的波动学的实验基础。

【实验目的】

- (1) 掌握双缝干涉条件和原理，了解光的波动性。
- (2) 观察干涉光强的分布，学会用双缝测定 He-Ne 激光器波长。

【实验原理】

杨氏双缝干涉实验是基于分波振面而产生干涉效应的。激光通过焦距为 10 mm 凸透镜扩束后打到双缝上，而后在双缝后方共同光场区域发生干涉，即可以在光屏上看到明暗相间的干涉条纹，如图 7-1 所示。

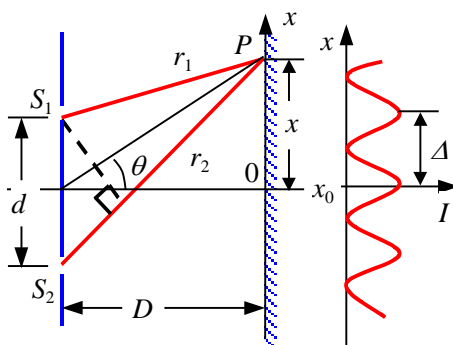


图 7-1 双缝干涉光路原理图

P 点处的光程差， $\Delta\delta = r_2 - r_1$ ，（空气的折射率 $n=1$ ）

在 $D \gg d, D \gg x$ ，即 θ 很小时， $\delta = r_2 - r_1 \approx d \sin \theta \approx d \tan \theta = \frac{xd}{D}$ （其中 $\tan \theta = \frac{x}{D}$ ）

(1) 双缝干涉的明暗纹条纹

$$\delta = \frac{d}{D} x = \begin{cases} \pm k\lambda & \text{明纹 } k=0,1,2,3,\dots \text{干涉相长} \\ \pm (2k+1)\lambda & \text{暗纹 } k=0,1,2,3,\dots \text{干涉相消} \end{cases}$$

(2) 干涉明暗纹的位置

$$\text{明纹 } x = \pm k \frac{D\lambda}{d}, \quad k=0,1,2,3,\dots$$

$$\text{暗纹 } x = \pm (2k+1) \frac{D\lambda}{2d}, \quad k=0,1,2,3,\dots$$

两相邻明纹或暗纹的间距都是 $\Delta x = \frac{D\lambda}{d}$

在测量激光光源波长过程中，如图 7-2 所示，S 为 He-Ne 激光器，A 为衰减片，L 为焦

距为 10 mm 凸透镜扩束镜，B 为双缝，E 为测微目镜。条纹间距 Δx 可直接用测微目镜测出，双缝到测微目镜的距离 D 可以由长导轨上的刻度线读出，双缝间距 d 已知，根据波长的计算公式，得波长和各测量值之间的关系是：

$$\lambda = \frac{d \cdot \Delta x}{D}$$

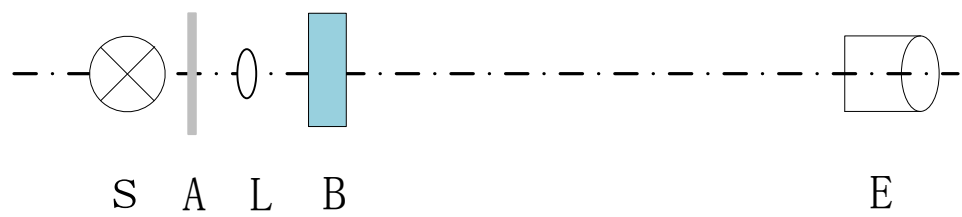


图 7-2 双缝干涉测激光波长元件光路示意图

【实验仪器】

He-Ne 激光器，凸透镜 L(f=10mm)，双缝，测微目镜，100 倍衰减片，带刻度导轨，带托板精密调整架若干。

【实验内容】

- (1) 确认激光器出光基本平行于导轨中心线，再另一端固定测微目镜，再在距离测微目镜分划板 300mm 处固定双缝，激光通过双缝时，可以看到（通过白纸）明显明暗条纹。
- (2) 再激光器和双缝间增加透镜，调整其等高同轴度，调节旋钮左右移动透镜使光斑中心落在双缝上。
- (3) 增加衰减片如图 7-2，通过测微目镜观察，前后移动透镜至可以清晰看到 5 条亮条纹，则中间最亮的为中央亮条纹，分别记录为级数为 $m= -2、-1、0、1、2$ 亮条纹中心刻度。分别记录极大值间距以及中心到极大值距离。

【数据与结果】

D= <u>300.0</u> mm		双缝间距 d= <u>0.3mm</u>			
	第二级（左） (m= -2)	第一级（左） (m= -1)	中央条纹 (m=0)	第一级（右） (m=1)	第二级（右） (m=2)
读数刻度/mm	2.444	3.148	3.795	4.425	5.052
极大值间距					
中心到极大距离					

$$\lambda = \frac{d \cdot \Delta x}{D} = 639.5nm \quad \text{相对误差为 } 1.1\%$$