



世纪普通高等教育基础课规划教材

第3版

大学物理实验II

EXPERIMENT OF COLLEGE PHYSICS

黄耀清 王 竑 葛坚坚 主 编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

21 世纪普通高等教育基础课规划教材

大学物理实验 II

第 3 版

主 编	黄耀清	王 竑	葛坚坚	
副主编	张 欣	李 琳	王向欣	李月锋
参 编	赵宏伟	张灿云	吴文娟	庞晓莹
	李 澜	尹亮亮	刘聚坤	王 欢
	胡 健	汪惠明		



机械工业出版社

本书是在 2009 年出版的《大学物理实验》和 2011 年出版的《大学物理实验》(第 2 版)的基础上,为了更好地适应我校人才培养的目标和定位,适应课程体系的变化,根据教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会 2010 年制定的《理工科类大学物理实验课程教学基本要求》,整合新编实验项目,结合编者多年从事大学物理实验教学的实践经验编写而成。全书共有 45 个实验,以光学、热学、电磁学及应用性项目为主,分成三个教学层次:第一层次为基础性实验,由 12 个实验组成,第二层次为综合与应用性实验,由 14 个实验项目组成,第三层次为近代物理实验和设计与创新性物理实验,由 19 个实验项目组成。书中既精选了应用性物理实验,又适当引入近代物理实验项目和设计创新性物理实验项目,部分实验或采用新的测量方法,或使用更为先进、精确的测量仪器,在一定程度上反映出近几年来大学物理实验课程教学改革和发展的趋势。

本书可作为高等工科院校各相关专业大学物理实验课程的教材或参考书,也可供相关专业广大科技工作者和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

大学物理实验. II/黄耀清,王竑,葛坚坚主编.

—3 版. —北京:机械工业出版社,2017.2

21 世纪普通高等教育基础课规划教材

ISBN 978-7-111-55689-3

I. ①大… II. ①黄…②王…③葛… III. ①物理学
—实验—高等学校—教材 IV. ①04-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 323573 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张金奎 责任编辑:张金奎 陈崇昱

责任校对:任秀丽 责任印制:常天培

北京京丰印刷厂印刷

2017 年 1 月第 3 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·17.5 印张·336 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-55689-3

定价:29.50 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

2010年教育部高等学校物理学与天文学教学指导委员会物理基础课程教学指导分委会制定了《理工科类大学物理实验课教学基本要求》。按照这份文件的要求,2011年8月我们编写并出版了《大学物理实验》(第2版)。《大学物理实验》(第2版)至今已经使用了五年多时间,一方面在实验教学过程中发现其中存在一些问题需要修订;另一方面,根据物理实验中心的课程建设所开设的新实验没能包含在第2版教材中。因此,为了更好地适应我校人才培养的目标和定位,适应课程体系的变化,我们在第2版的基础之上,对教材做了修订。根据教学需要,新版分为两册出版:《大学物理实验I》和《大学物理实验II》。

本书为《大学物理实验II》,共编入45个实验项目:一部分为经典的基础实验项目;另外部分则是近年来在我校物理实验中心重点建设过程中新建的实验项目,这些实验项目融合了科研领域中的新成果和现代应用技术,使本书的内容在兼顾基础的同时又具有时代性和先进性。根据我们的教学改革思路和我校现行的物理实验课程体系,内容以光学、热学、电磁学及应用性项目为主。本书在结构上将实验项目按其性质划分为三个层次:第一层次为基础性实验项目;第二层次为综合与应用性实验项目;第三层次为近代物理实验和设计与创新性物理实验项目。如此划分层次,意在通过由浅入深、由易到难、由基础到综合和应用的物理实验教学模式,使学生的科学实验能力和创新能力能够循序渐进地得到提高。

本书的编写与我校物理实验中心的建设与发展紧密相连,是全体实验教师和实验技术人员长期以来辛勤耕耘、努力工作、不断改革创新的结果,是集体智慧的结晶。本书在编写和修订过程中得到了校内外许多同仁的关心和帮助,并借鉴了兄弟院校教学改革的经验和参阅了有关的优秀教材,在此一并致以衷心感谢。同时也非常感谢机械工业出版社的编辑对本书出版发行给予的大力支持。

物理实验教学改革是一项长期的任务,随着教学改革的不断深入,以及新的实验内容和新的实验技术手段的不断出现,加之编者水平有限,书中难免会有不够完善和不妥当之处,恳请各位同仁及广大读者提出宝贵意见。

编 者

2016年12月

目 录

前言

第一章 第一层次实验	1
实验一 迈克尔逊干涉仪 (一)	1
迈克尔逊干涉仪 (二)	5
实验二 衍射光栅	9
实验三 直流电桥与电阻的测量	16
实验四 不良导体导热系数的测定	19
实验五 非线性元件伏安特性的研究	24
实验六 太阳能电池伏安特性的测量	29
实验七 电阻应变传感器	33
实验八 集成电路温度传感器的特性测量及应用	41
实验九 光电传感器基本特性的测量	44
实验十 磁性材料基本特性的研究	49
实验十一 霍尔效应及其应用	55
实验十二 霍尔传感器测量铁磁材料的磁滞回线和磁化曲线	62
第二章 第二层次实验	70
实验十三 磁电阻传感器实验	70
实验十四 巨磁电阻效应及应用	78
实验十五 CCD 微机密立根油滴实验	91
实验十六 夫兰克-赫兹实验	96
实验十七 利用声光器件测定光速及透明介质中的声速	100
(一) 光速的测定	100
(二) 透明介质里的声速测量	105
实验十八 液晶电光效应特性研究	108
实验十九 压电陶瓷特性及振动的干涉测量	113
实验二十 光纤传感器设计与应用	116
实验二十一 物体色度值的测量	123
实验二十二 用光学多通道分析器研究氢原子光谱	133
实验二十三 电子束的电偏转和磁偏转研究	139
实验二十四 磁聚焦法测定电子荷质比	148
实验二十五 光纤通信原理	158
实验二十六 音频信息的光纤通信	174
第三章 第三层次实验	180

(一) 近代物理实验	180
实验二十七 微波电子顺磁共振实验	180
实验二十八 热重法分析物质固相反应	192
实验二十九 红外分光光度计的使用	194
实验三十 拉曼光谱实验	200
实验三十一 原子力显微镜 (AFM) 观察光栅表面形貌	204
实验三十二 扫描隧道显微镜 (STM) 观察光栅表面形貌	209
实验三十三 低温巨磁阻效应实验	213
实验三十四 真空镀膜系列实验	217
(一) 真空技术及蒸发镀膜	217
(二) 离子溅射镀膜	224
(三) 真空的获得与真空镀膜	227
(二) 设计性实验	241
实验三十五 亥姆霍兹线圈磁场分布规律的研究	241
实验三十六 利用硅光电池测量高锰酸钾浓度与透射率关系	242
实验三十七 均匀毫特斯拉级弱磁场的建立及其直接测量	243
实验三十八 光电二极管伏安特性的计算机数据采集	245
实验三十九 磁性材料居里温度计算机数据采集	246
实验四十 RC 电路暂稳态的研究	248
实验四十一 薄膜制备技术及性能测试	249
实验四十二 坡莫合金磁阻传感器特性研究 and 应用	250
实验四十三 PN 结物理特性的测量	252
实验四十四 模拟电冰箱制冷系数的测量	254
实验四十五 硅光电池特性的研究	256
附录 不确定度和数据处理基础知识	257
附录 A 测量与误差	257
附录 B 测量的不确定度和测量结果的表示	259
附录 C 有效数字及其运算规则	265
附录 D 数据处理的基本方法	267
参考文献	273

第一章 第一层次实验

实验一 迈克尔逊干涉仪（一）

19 世纪的物理学家坚信所有物理现象归根结底都起源于力学。为了解释电磁波的传播规律，他们提出了“以太”理论。“以太”的存在，使光在真空中沿各个方向的速度略有不同。在证实“以太”存在的众多实验中，最重要的是迈克尔逊于 1881 年用自己发明的光学干涉仪进行的干涉实验。1887 年，迈克尔逊又与莫雷合作进行了更精密的研究，实验结果证明了光的传播速度 c 的不变性，从而否定了“以太”的存在。这个著名实验为近代物理学的诞生和兴起开辟了道路。迈克尔逊干涉仪原理简明、构思巧妙，堪称精密光学仪器的典范。随着人们对仪器的不断改进，它还能用于光谱线精细结构的研究和利用光波标定标准米尺等实验。目前，根据迈克尔逊干涉仪的基本原理研制的各种精密仪器已被广泛应用于生产和科技领域。

【实验目的】

1. 了解迈克尔逊干涉仪的结构、原理及调节方法。
2. 观察非定域干涉现象，测量 He-Ne 激光的波长。

【实验原理】

从同一单色光源发出的两列相干波，在空间某点因相对的相位不同，将产生相长或相消干涉。一般可以通过让一列波比另一列波走更长或更短距离的方法，来改变两者的相位。迈克尔逊干涉仪就是根据这一原理设计的光学干涉仪。

图 1-1 是迈克尔逊干涉仪的原理图。光束 S 经扩束透镜会聚成扩展的激光束，玻璃板 G_1 的第二表面上涂有半透射膜，能将入射光分成两束，一束透射，一束反射，故称为分光板。 G_2 为补偿板，其材料和厚度与 G_1 完全相同，起光程补偿作用。 G_1 、 G_2 两者互相平行并与光束中心线成 45° 倾斜角。 M_1 和 M_2 为互相垂直并与 G_1 和 G_2 都成 45° 角的平面反射镜。被 G_1 的半透射膜分开的两束光，光束 1 经 G_2 后入射到 M_1 ，光束 2 经 G_1 后反射到 M_2 ，被 M_1 和 M_2 反射回来的两束光在 E 处相遇时，由于满足光的干涉条件，因而能观察到干涉现象。为了便于说明，图中还画出了 M_1 的虚像 M_1' 。在 E 处的干涉可等效为由 M_1' 和 M_2 反射的光线所形成的。对于点光源发出的光线，也可以等效为图 1-2 所示的两个虚光源 S_2 和 S_1' 发出的相干光束。设 M_2 与 M_1' 的距离为 d ，那么 S_2 和 S_1' 的间距为 $2d$ 。激光的相干性很好，在 E 处放一块毛玻璃屏，

便可以观察到干涉条纹。设屏上干涉图样是以 O 点为圆心的一组同心圆环, S_2 、 S_1' 与 O 点应在同一条直线上。两虚光源发出的光线到达屏上距 O 点 R 处的某点 A 时, 其光程差为

$$\begin{aligned}\delta &= \overline{AS_1'} - \overline{AS_2} \\ &= \sqrt{(L+2d)^2 + R^2} - \sqrt{L^2 + R^2} \\ &= \sqrt{L^2 + 4Ld + 4d^2 + R^2} - \sqrt{L^2 + R^2} \\ &= \sqrt{L^2 + R^2} \left(\sqrt{1 + \frac{4Ld + 4d^2}{L^2 + R^2}} - 1 \right) \quad (1-1)\end{aligned}$$

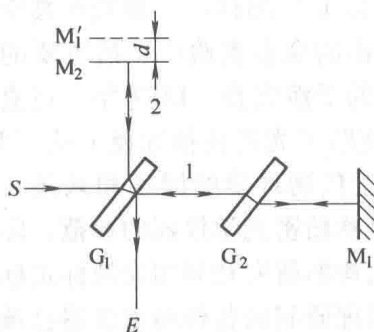


图 1-1 迈克尔逊干涉仪原理图

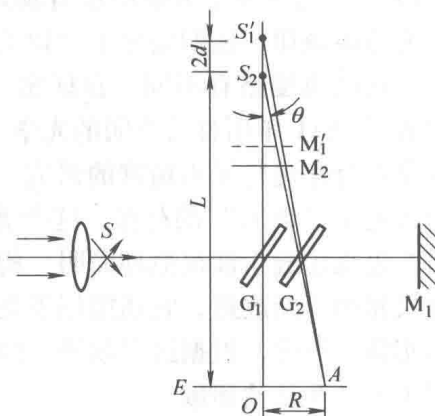


图 1-2 等倾干涉等效图

通常 $L \gg d$ ($L = \overline{S_2O}$), 利用展开式

$$\sqrt{1+x} = 1 + \frac{1}{2}x - \frac{1}{2 \cdot 4}x^2 + \dots$$

可以将式 (1-1) 改写成

$$\begin{aligned}\delta &= \sqrt{L^2 + R^2} \left[\frac{1}{2} \frac{4Ld + 4d^2}{L^2 + R^2} - \frac{1}{8} \frac{16L^2d^2}{(L^2 + R^2)^2} \right] \\ &= \frac{2Ld}{\sqrt{L^2 + R^2}} \left[1 + \frac{dR^2}{L(L^2 + R^2)} \right] \quad (1-2)\end{aligned}$$

令 $\angle AS_2O = \theta$, 则式 (1-2) 可以写成

$$\delta = 2d \cos \theta \left(1 + \frac{d}{L} \sin^2 \theta \right) \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可知, 倾角 θ 相同的光线, 光程差必相同, 因而干涉情况也相同。当 M_1 与 M_2 完全垂直, 即 M_1' 与 M_2 严格平行时, 得到的是以 O 点为中心的环形干涉条纹。 $\theta = 0$ 时, 光程差最大, O 点处对应的干涉级别最高, 这与牛顿环干涉情况

恰好相反。当倾角 θ 不太大时, 式 (1-3) 可简化为

$$\delta = 2d\cos\theta \quad (1-4)$$

第 k 级亮条纹对应的入射光应满足的条件是

$$2d\cos\theta_k = k\lambda \quad (1-5)$$

第 $(k+1)$ 级亮条纹应在 k 级亮条纹的内侧。对同一级来讲, d 若改变, θ 角将增加或减小, 因而可以在屏上观察到环形条纹将向外“涌出”或向内“陷入”现象。如果 S_2 和 S_1' 的间距改变 Δd , 屏上将观察到有 N 个条纹自中心 $\theta_k = 0$ “涌出”或“陷入”, 因每改变一个 $\lambda/2$ 距离, 条纹将变化一次, 故

$$\Delta d = N \frac{\lambda}{2} \quad (1-6)$$

$$\lambda = 2 \frac{\Delta d}{N} \quad (1-7)$$

由式 (1-7) 可求得入射波的波长。如果 M_1 与 M_2 不严格垂直, 还会形成其他形状的干涉条纹, 这方面内容本实验不作讨论。

【实验仪器】

迈克尔逊干涉仪、He-Ne 多束光纤激光源、毛玻璃。

1. 迈克尔逊干涉仪

图 1-3 中, 两个平面反射镜 M_1 和 M_2 放置在相互垂直的两臂上, 它们由光学平面玻璃涂金属反射膜构成。 M_1 是固定的, 背面上有三个螺钉可以调节镜面的倾斜度, 下端还有两个方向相互垂直的微动螺钉, 用以精确地调节镜面的水平和垂直位置。 M_2 的镜面一般预先调好, 一般不要经常去动它后面的螺钉。它可以沿导轨移动, 具有两种移动速度, 一是快移, 二是微量移动, 可对干涉条纹进行计数。粗调手轮可以快速移动 M_2 , 上面标有“0.01”字样。微调鼓轮可以微量移动 M_2 。转动微调鼓轮前, 先要拧紧紧固螺钉, 微调鼓轮上标有“0.0001”字样。(对有些型号的仪器粗调手轮上配有紧固螺钉, 转动粗调手轮前必须松开, 否则会损坏精密的丝杆。) 在两臂轴的相交处放有两个与臂轴各成 45° 角的平行平面玻璃板 G_1 和 G_2 。 G_1 是分光板, 它的第二平面上涂有半反射(透射)膜, 能将入射光分成振幅(或

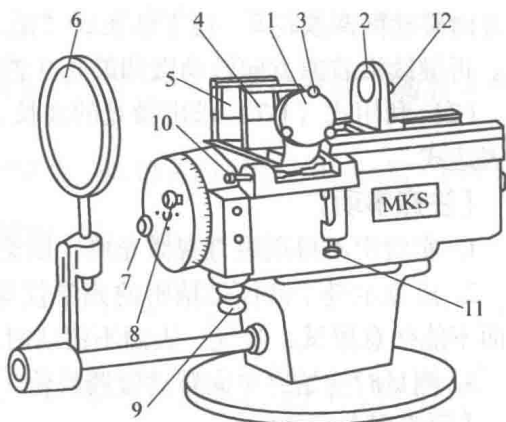


图 1-3 迈克尔逊干涉仪

- 1—反射镜 M_1 2—反射镜 M_2 3、12— M_1 、 M_2 镜面调节螺钉 4—补偿玻璃板 G_2 5—分光板 G_1
6—观察屏 7—粗调手轮 8—紧固螺钉
9—微调鼓轮 10、11— M_1 的调节装置

光强) 近于相等的一束反射光和一束透射光。 G_2 和 G_1 厚度相同, 折射率也相同, 叫作补偿板。观察光屏是直径为 90 mm 的毛玻璃, 用激光做实验时, 用它来观察干涉条纹, 如果用扩展光源或其他单色光源, 可以配用望远镜来观察。

2. He-Ne 多束光纤激光源

多束光纤激光源为多组实验仪器提供激光光源, 利用光纤把激光束分别引到迈克尔逊干涉仪的支架上, 并在出口处配以扩束装置。输出激光波长为 $6328 \text{ \AA}$ ($1 \text{ \AA} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$)。

【实验内容】

1. 调节仪器, 观察非定域干涉现象

(1) 调节光纤的激光出口支架, 激光束大致垂直入射; 若遮住 M_1 , 激光束由出射孔射出, 经分光板 G_1 反射到动镜 M_2 再反射回到分光板 G_1 , 放下光屏, 眼睛在光屏处, 透过 G_1 能看到一组光点。不遮 M_1 , 可以看到定镜也反射回来一组光点, 调节 M_1 背面螺钉, 使当中最亮的光点与动镜 M_2 反射回来的最亮一个光点重合。

(2) 转动粗调手轮, 移动 M_2 , 使 M_1 、 M_2 与分光板 G_1 距离大致相等; 放上光屏, 此时, 一般在光屏上就能看到环状的干涉条纹。

(3) 仔细调节固定镜 M_1 的水平和垂直微调螺钉, 将环形干涉条纹的中心调至适当的位置, 就能得到清晰的圆环状干涉条纹。

2. 测量 He-Ne 激光的波长

(1) 向一个方向转动 (不可以来回转动) 微调鼓轮 9, 使干涉条纹连续“陷入”或“涌出”若干条, 以消除鼓轮空程差, 记下 M_2 的起始位置 d_{i1} 。继续沿着该方向转动微调鼓轮 9, 使干涉条纹“陷入”或“涌出”50 条, 记下 M_2 的末位置 d_{i2} 。再继续沿着原方向转动微调鼓轮 9 若干圈, 重复上述步骤 6 次。

(2) 利用式 (1-7) 求出激光的波长, 并计算测量结果的不确定度, 写出结果的表达式。

【注意事项】

1. 实验中不得用眼直视激光束, 以免损伤眼睛。

2. 迈克尔逊干涉仪是精密的光学仪器, 必须小心爱护, G_1 、 G_2 、 M_1 和 M_2 的表面不能任意擦拭、吹气。表面不清洁时应请指导老师处理。

3. 测量时应始终单向转动微调鼓轮 9。

【思考题】

1. 用公式 $2d\cos\theta_k = k\lambda$ 说明 d 的变化与干涉条纹的变化关系。

2. 如果 G_1 分离的两束光强度并不相等, 而是一束比另一束强, 对于最后的干涉图样有什么影响?

迈克尔逊干涉仪 (二)

白光是一种波长由 380 ~ 760 nm 的混合光, 其光谱为连续光谱, 它的相干长度约为波长数量级。如果用它作为光源, 不同波长的光所产生的干涉条纹明暗相互重叠, 一般看不到干涉条纹。迈克尔逊干涉仪是根据光的干涉原理制成的一种精密仪器, 它在近代物理学的发展和近代计量技术中起过重要作用。目前, 迈克尔逊干涉仪用途更加广泛, 可测定光谱结构、薄膜厚度、介质的折射率, 还可以用光波长作度量标准等。本实验就是利用迈克尔逊干涉仪来测定白光的相干长度及薄透明体的厚度。

【实验目的】

1. 熟悉光的干涉原理。
2. 测定白光相干长度。
3. 测定薄透明体的厚度。

【实验原理】

1. 光源的时间相干性

光源发出的光波不是无限长的正弦波, 而是一段一段有限长的振幅不变或缓慢的正弦波, 将其称为波列。由于各波列之间无固定的相位关系, 所以各波列之间不会发生稳定的干涉。因此用分振幅法 (如分束镜将一束光分成两束) 所形成的两束光只能在波列持续时间 Δt 内发生稳定干涉。把波列持续时间 Δt 称为光源的相干时间, 把波列的长度 $L_m = c\Delta t$ 称为相干长度 (c 为光速)。

实际的光源发出的单色光并不是绝对单色的, 假定光源的波长处在 $\left(\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}, \lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}\right)$ 之间, 干涉时每个波长都对应于一套干涉花纹, 随着 d 的增加, $\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}$ 和 $\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}$ 两套干涉条纹彼此错开, 直到它们相差一级条纹, 干涉条纹完成一个清晰-模糊-清晰或者模糊-清晰-模糊周期。即

$$L_m = k\left(\lambda_0 + \frac{\Delta\lambda}{2}\right) = (k+1)\left(\lambda_0 - \frac{\Delta\lambda}{2}\right) \quad (1-8)$$

其中, k 是干涉级次。通常情况下, $\lambda_0 \gg \Delta\lambda$, 故可得到 $k = \frac{\lambda_0}{\Delta\lambda}$, 即相干长度

$$L_m = \frac{\lambda_0^2}{\Delta\lambda} \quad (1-9)$$

相干时间

$$t_m = \frac{\lambda_0^2}{c\Delta\lambda} \quad (1-10)$$

由此可见,一般来说光源的单色性好,就看 $\Delta\lambda$ 是否小, $\Delta\lambda$ 越小,相干长度越长,相干时间越长。白光是一种混合光,它的相干长度约为波长数量级。

记录各次迈克尔逊干涉仪形成的白光干涉条纹由模糊到清晰再到模糊的位置,即可计算出白光的相干长度 $L_m = 2d = 2(d_2 - d_1)$ 。在测量白光相干长度的过程中,只能使用微调鼓轮。

2. 白光干涉

首先了解迈克尔逊干涉仪产生等倾干涉和等厚干涉的原理(见迈克尔逊干涉仪其他实验内容)。

迈克尔逊干涉仪作为测量波长的最常见实验仪器,使用 He-Ne 激光源观测非定域干涉条纹或使用钠光源观测定域干涉条纹。通常情况下,我们看到的是等倾干涉,由于光程差与波长的关系,此时用白光作光源时,由于各种波长的光所产生的干涉条纹明暗交错重叠,无法观测到可见的条纹。结合干涉仪的使用说明书,可以发现,移动 M_2 大致与 M_1' 重合时,视场中会出现直线干涉条纹,我们称之为等厚干涉条纹,此时换上白光光源,即可见到彩色直条纹,其中中央一黑(暗)条纹,两旁对称分布的彩色条纹,稍远处即看不到任何条纹。所以找到等光程位置,是观测到白光干涉条纹的必要条件。

由式

$$\Delta = 2d\cos\delta = 2d\left(1 - 2\sin^2\frac{\delta}{2}\right) \approx 2d\left(1 - \frac{\delta^2}{2}\right) = 2d - d\delta^2 \quad (1-11)$$

可知:在中央条纹位置, $d\delta^2$ 可忽略,则 $\Delta = 2d$, 中央为直条纹。

3. 透明薄片厚度的测量

白光干涉的主要应用即是对一透明薄片的测量,等正常跳出彩色条纹时,我们在光路中放置一折射率为 n , 厚度为 l 的均匀透明薄片,由于光程发生的改变: $\Delta' = 2l(n-1)$, 原所见的条纹移出视场,将 M_2 向 G_1 方向前移 $\Delta d = \Delta'/2$, 使彩色条纹重现,由式

$$\Delta d = \frac{\Delta'}{2} = l(n-1) \quad (1-12)$$

$n = 1.4586$, 读出 Δd , 可计算出透明薄片的厚度 l 。

【实验仪器】

迈克尔逊干涉仪、He-Ne 多束光纤激光源、平行光源及底座、调光变压器、薄片。

【实验内容】

1. 调节迈克尔逊干涉仪,以 He-Ne 激光源作为光源,用投影屏观察,先调出等倾圆条纹,并使条纹基本居中。

2. 转动粗调手轮,使条纹逐渐变粗,当圆条纹变成直条纹时(从一个弯曲方

向向另一个弯曲方向改变时), 调节固定镜的两个微调螺钉, 使直条纹变成铅垂方向。

3. 移动激光, 换用白光光源; 移去投影屏, 略微转动微调鼓轮 (不能超过一圈, 否则说明第2步未调好), 转动方向为向观察者方向转 (即逆时针方向), 直接用眼观察, 在视场中可见彩色直条纹。

4. 调节白光光源的调节钮, 使看到的彩色条纹具有较好的对比度和适当的亮度。

5. 适当调节微调鼓轮, 使条纹刚模糊出现时记录 d_1 , 按原来方向转动, 直到条纹又变模糊消失时记录 d_2 。

白光相干长度测量

次数 i	d_{i1}/mm	d_{i2}/mm	$\Delta d_i/\text{mm}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

注: 表中 d_1 为模糊位置, d_2 为由模糊变清晰再变模糊的位置。

6. 仍调节固定镜的两个微调螺钉, 使直条纹成铅垂方向 (便于确定位置), 读出此时位置 d_3 , 以中央黑色纹为准。

7. 在移动镜前放置薄片, 注意使之尽量与光路垂直, 即与移动镜平行, 此时彩色条纹消失。

8. 继续逆时针转动微调鼓轮, 直至彩色条纹再次出现, 仍以中央黑色纹为准, 读出此时的位置值 d_4 。

薄片厚度测量结果

次数 i	d_{i3}/mm	d_{i4}/mm	$\Delta d'_i/\text{mm}$
1			
2			
3			
4			
5			
6			

【数据处理】

1. $\Delta d' = d_3 - d_4$ 由式 (1-12) 计算出薄片厚度 l 。

2. 分别计算相干长度和薄片厚度的平均值, 计算测量结果的不确定度并写出结果表示式。

【注意事项】

1. 薄片是石英材料, 既薄又脆, 实验过程中必须轻拿轻放。

2. 因薄片的两面平行度不是很高, 所以加入薄片后观察的彩色条纹会有弯曲现象。
3. 在整个测量过程中, 微调鼓轮必须沿同一方向转动。
4. 微调鼓轮每转动一圈为 0.01 mm , 当薄片厚度为 0.3 mm 时, 即微调鼓轮需转过 30 圈, 而彩色条纹的位置点很精确, 所以在靠近这个位置时, 鼓轮要缓慢转动, 否则彩色条纹一晃而过不易找到。

实验二 衍射光栅

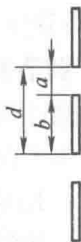
衍射光栅是一种根据多缝衍射原理制成、可将复色光分解成光谱的重要分光元件。光栅的应用十分广泛，它不仅用于光谱分析中，还在计量、光通信、信息处理等许多领域中都有重要的应用。衍射光栅有透射光栅和反射光栅两种，本实验要求在分光计上用平面透射光栅测定未知光波波长。

【实验目的】

1. 观察光栅衍射现象，了解光栅衍射的主要特性。
2. 学会用光栅测定光波波长的方法。
3. 熟悉分光计的调节和使用。

【实验原理】

平面透射光栅相当于一组数目极多的等宽、等间距的平行狭缝，它是用高精度机械刀在光学玻璃板上刻成的，利用复制或全息干涉照相方法亦可获得光栅。设光栅的狭缝宽为 a （透光），刻痕宽为 b （不透光），则相邻两缝的间距 $d = a + b$ 称为光栅常数，它是表征光栅特性的重要参数，如图 2-1 所示。



根据夫琅禾费衍射理论，当一束平行光垂直照射到光栅平面时，透过每条狭缝的光都发生衍射，同时所有狭缝的衍射光又彼此发生干涉。如果用透镜把这些衍射后的平行光会聚起来，图 2-1 光栅常数则在透镜焦平面上将形成一系列的亮条纹，称为谱线。各级亮条纹产生的条件是

$$d \sin \varphi_k = k \lambda \quad (k=0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2-1)$$

式 (2-1) 称为光栅方程，其中， λ 是入射光的波长； k 是光谱线的级次； φ_k 是第 k 级谱线对应的衍射角，即衍射光线与光栅平面的法线之间的夹角。在 $\varphi_0 = 0$ 的方向上可以看到零级亮条纹，称为零级谱线，其他级次的谱线对称地分布于零级谱线的两侧，如图 2-2 所示。

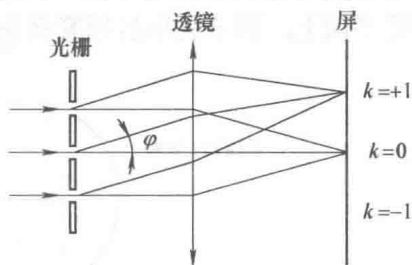


图 2-2 光栅衍射

若光源发出的是不同波长的复色光，则由式 (2-1) 可以看出，不同波长光的同一级谱线将有不同的衍射角 $\varphi_{k\lambda}$ 。因此，在透镜的焦平面上出现按波长大小、谱线级次排列的各种颜色的谱线，称为光谱。图 2-3 为汞光源的光栅衍射光谱。

用分光计可观察到光栅衍射光谱，并可以测出与 k 级谱线对应的衍射角 φ_k 。根据式 (2-1)，若已知入射光波长，则可求得光栅常数 d ；若已知光栅常数 d ，则可求得入射光波长 λ 。

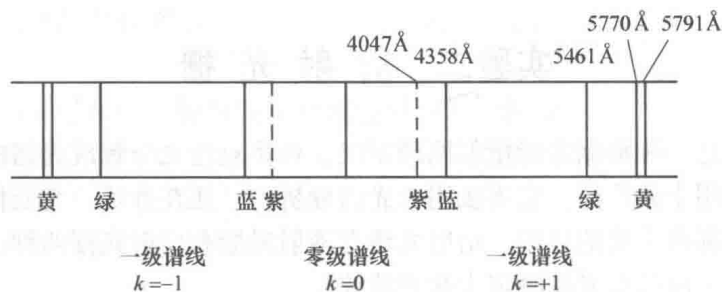


图 2-3 汞光源光栅衍射光谱

【实验仪器】

分光计、透射光栅、平面镜、汞灯。

【实验内容】

1. 调节分光计

按照附录“分光计”中的调节要求和方法（要求实验前认真阅读这部分内容），调节分光计至工作状态。

2. 调节光栅

分光计调节好后，将光栅放置在其载物台上，并进行调节。光栅调节的要求是：使其平面垂直于平行光管的光轴，光栅刻痕与仪器主轴平行。

(1) 用低压汞灯照明平行光管的狭缝，转动望远镜，使其分划板叉丝对准狭缝中央，并固定望远镜。把平面镜如图 2-4a 所示置于载物台上，转动载物台，使平面镜平面大致垂直于望远镜光轴。通过望远镜观察由平面镜平面反射回来的亮“+”字像，调节载物台的调平螺钉 B_1 或 B_3 ，使亮“+”字像与分划板上方十字叉丝重合（见附图 2-1-8）。这时通过望远镜应能看到如图 2-4b 所示的图像，则平面镜平面与望远镜光轴垂直，同时也与平行光管光轴垂直，使入射光垂直照射到平面镜平面上。调节完毕后锁紧载物台锁紧螺钉。

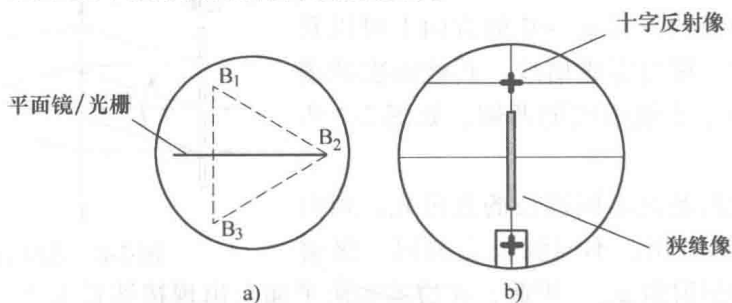


图 2-4

注意：①在如上自准直法调节过程中，需对平面镜的两个表面进行调节，并不能调整望远镜的倾斜度。

②将光栅置于载物台上（见图 2-4a）。

(2) 松开望远镜的制动螺钉，转动望远镜观察衍射光谱的分布情况，若谱线不等高，则说明光栅刻痕与仪器主轴不平行，可调节载物台的调平螺钉 B_2 ，直至谱线等高为止。调后再检查光栅平面是否仍与平行光管光轴垂直，若有变化，则按上述两个步骤反复调节，最终达到光栅调节的基本要求。

注意：光栅调节好后，度盘（连同载物台）应固定，测量过程中不要再碰动光栅。

3. 测定光栅常数及未知光波波长

(1) 测量汞灯 $k = \pm 1$ 级时各谱线的衍射角。先将望远镜向右转，用垂直叉丝分别对准 $k = +1$ 级各谱线的某一边，从左、右两个窗口分别读出望远镜所处位置的角坐标 $\theta_{\text{左}}^+$ 和 $\theta_{\text{右}}^+$ 。然后，将望远镜转至左侧，用垂直叉丝分别对准 $k = -1$ 级各谱线的同侧边，同样从左、右两个窗口分别读出望远镜所在位置的角坐标，分别记为 $\theta_{\text{左}}^-$ 和 $\theta_{\text{右}}^-$ ，则左、右两个窗口的转角为

$$\begin{cases} |\theta_{\text{左}}^- - \theta_{\text{左}}^+| = 2\varphi_{\text{左}} \\ |\theta_{\text{右}}^- - \theta_{\text{右}}^+| = 2\varphi_{\text{右}} \end{cases} \quad (2-2)$$

由于分光计偏心差的存在，衍射角 $\varphi_{\text{左}}$ 和 $\varphi_{\text{右}}$ 是有差异的，求其平均值可消除偏心差的影响。所以，谱线的衍射角为

$$\varphi = \frac{\varphi_{\text{左}} + \varphi_{\text{右}}}{2} = \frac{|\theta_{\text{左}}^- - \theta_{\text{左}}^+| + |\theta_{\text{右}}^- - \theta_{\text{右}}^+|}{4} \quad (2-3)$$

测量时，要求对绿色谱线重复测量两次，用于计算光栅常数 d ，其他各色谱线测量一次。数据记录表格如下（供参考）。

数据记录表

谱线	读数窗	$k = +1$ 级位置 θ^+	$k = -1$ 级位置 θ^-	$\varphi = \frac{ \theta_{\text{左}}^- - \theta_{\text{左}}^+ + \theta_{\text{右}}^- - \theta_{\text{右}}^+ }{4}$
黄 ₂	左			
	右			
黄 ₁	左			
	右			
绿	左			$\varphi_1 =$
				$\varphi_2 =$
	右			
蓝	左			
	右			