

新编

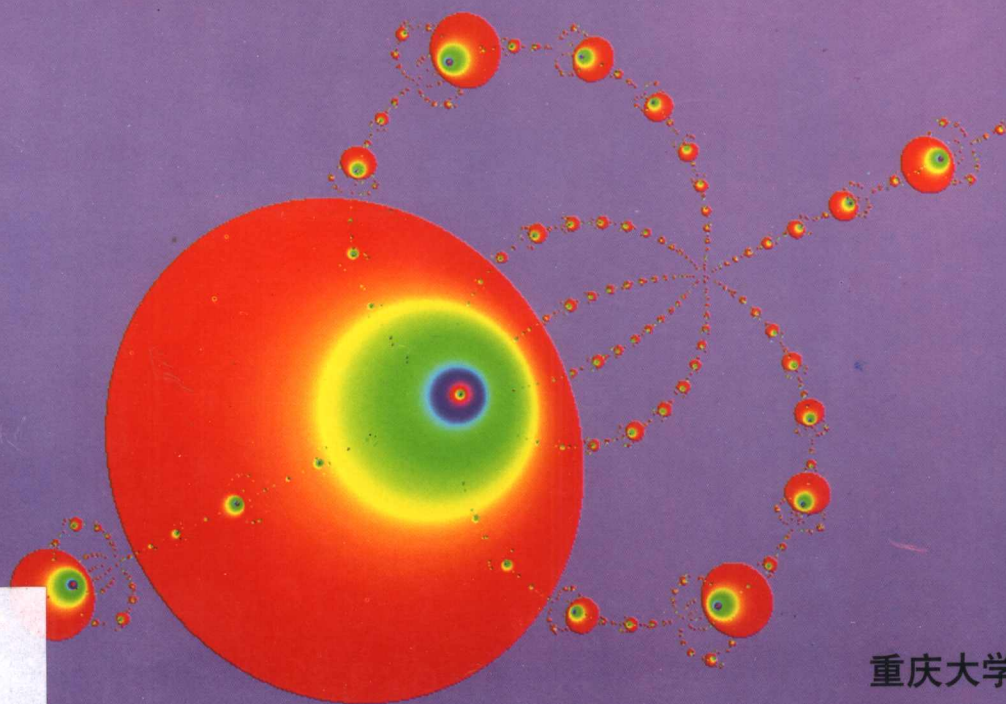
大学物理实验

college physics experiment

下 册

综合提高应用性实验

唐远林 朱肖平 主编



重庆大学出版社

Cy-12
7/21

新编大学物理实验

下 册

综合提高应用性实验

唐远林 朱肖平 主编

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书是参照 1993 年国家教委高等学校工科物理实验课程教学指导小组制订的《物理实验课程教学基本要求》编写的,全书共分上、下册,上册为基础实验部分,共 23 个实验,主要适用于大专以上层次;下册为提高综合与应用创新实验部分,共 30 个实验,主要适用于本科以上层次。全书内容广泛,系统性较强,共收入 53 个实验。上册内容包括绪言,常用物理量的测量方法,力学、热学和声学实验,电学和磁学实验,光学实验,附表罗列了 16 个常用物理基本参数表,以便学生查阅。下册内容包括提高性实验,应用性实验,常用传感器实验,仿真实验,设计性实验和创新实验。本书对有关的实验方法及其原理的叙述力求繁简适当和深入浅出。

本书可作为高等院校各专业的大学物理实验课程的教材或教学参考书,也可作为涉及物理学的广大实验工作者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新编大学物理实验/唐远林,朱肖平主编. —重庆:重庆大学出版社,2001.8

ISBN 7-5624-2160-9

I. 新... II. ①唐... ②朱... III. 物理—实验—高等学校—教材 IV. 04—33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 14685 号

新编大学物理实验

下 册

综合提高应用性实验

唐远林 朱肖平 主编

责任编辑 曾令维

*

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆建筑大学印刷厂印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:12.5 字数:312 千

2001 年 8 月第 1 版 2001 年 8 月第 1 次印刷

印数:1—4 000

ISBN 7-5624-2160-9/O·182

定价:32.00 元(上、下册)

本册定价:16.00 元

前 言

本书是根据 1993 年国家教委委托课程教学指导委员会制订的《物理实验课程教学基本要求》,结合后勤工程学院现行开设的大学物理实验和使用的教材,参考其他工科院校的物理实验资料整理编写而成的。

本书分上、下两册。上册内容包括绪言,物理实验数据处理理论,常用力、热物理量的测量方法,常用电磁量的测量方法,光学参数的测量方法,力学、热学和声学实验电学和磁学实验,光学实验和附录,上册共 7 章 23 个实验。上册主要是基础性实验,适用于大专和本科层次的物理实验教学。下册内容包括提高性实验,应用性实验,常用传感器实验,仿真实验,设计性实验和创新实验,共 6 章 30 个实验。下册主要是综合、提高及应用创新实验,适用于本科以上层次的物理实验教学。

为了深化物理实验课的教学改革,本书注意了以下几个问题:

1. 本书较系统地介绍了物理实验数据处理理论,较详尽地描述了各种基本物理量的测量方法,以利于物理实验课教师的课堂讲课和学生自学。

2. 本书在各实验中对数据处理都提出了明确的要求,有利于学生在数据处理的技能上始终得到训练。

3. 本书着眼于加强基本技能的培养和实验方法的训练,对基本的实验方法在实验中反复使用。在基础实验之后,又安排了提高性实验和设计性实验,以利于培养和提高学生的实验能力。

4. 本书结合我院相关专业特点,体现高科技在物理中的应用,编写了应用性实验,将计算机、传感器等技术运用于测试技术之中,有利于学生了解新技术,提高学生的学习积极性,拓宽学生的知识面,为学生后续课程增加了必要的基础知识。

5. 本书为了开阔学生视野,注重创新思维和创新能力的培养,特别编写了创新实验的章节,有利于学生开动脑筋,培养思考问题和解决问题的能力,为学生今后的科研工作打下一定的基础。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,望读者批评指正。

编 者
2001 年 2 月

目 录

第 1 章 提高性实验	1
实验一 迈克尔逊干涉仪	2
实验二 全息照相	6
实验三 密立根油滴实验	13
实验四 交流电桥测电容和电感	18
实验五 用霍尔元件测量磁场	22
实验六 光电效应和普朗克常数的测定	31
第 2 章 应用性实验	37
实验七 模拟金属梁应力应变的测定	38
实验八 不良导体导热系数的测定	46
实验九 致冷系数的测定	49
实验十 用自扫描光电二极管阵列测细丝直径	54
实验十一 用超声脉冲回波法测距	58
第 3 章 常用传感器实验	61
实验十二 电阻温度计与不平衡电桥	62
实验十三 热电偶标定和测温	66
实验十四 压电加速度传感器	70
实验十五 差动变面积式电容传感器	73
实验十六 移相器	77
实验十七 差动螺管式电感传感器	79
第 4 章 仿真实验	83
前言	83
4.1 系统需求	83
4.2 单用户版的安装	83
4.3 多用户版的安装	84
4.4 BDE 的配置	87
4.5 实验报告的配置	88
实验十八 电子自旋共振	90
实验十九 弗兰克-赫兹实验	102
实验二十 低真空的获得和测量	111
实验二十一 核磁共振	122
实验二十二 塞曼效应	136
第 5 章 设计性实验	151

5.1 设计性实验概论	151
5.2 实验方案的选择原则	151
5.3 设计性实验举例	155
实验二十三 误差分配和实验仪器的选择	158
实验二十四 重力加速度的研究	160
实验二十五 简谐振动的研究	162
实验二十六 变阻器在电路中的使用和研究	164
实验二十七 电位差计校准电表和测定电阻	169
实验二十八 非线性电阻的观察与测量	171
实验二十九 光栅常数测定及光栅特性研究	174
实验三十 光电技术的研究——硅光电池的特性	176
第 6 章 创新实验	178
6.1 创新实验概论	178
6.2 创新实验目的与要求	180
6.3 创新实验结题形式与要求	181
附 表	183
附表 1 基本物理常数	183
附表 2 国际制词头	184
附表 3 在 20 ℃ 时常用固体和液体的密度	184
附表 4 在标准大气压下不同温度的水的密度	185
附表 5 在海平面上不同纬度处的重力加速度	185
附表 6 在 20 ℃ 时某些金属的弹性模量(杨氏模量)	186
附表 7 固体的线膨胀系数	186
附表 8 液体的比热	187
附表 9 在 20 ℃ 时与空气接触的液体表面张力系数	187
附表 10 在不同温度下与空气接触的水的表面张力系数	188
附表 11 不同温度时水的粘滞系数	188
附表 12 液体的粘滞系数	188
附表 13 某些金属和合金的电阻率及其温度系数	189
附表 14 不同金属或合金与铂(化学纯)构成热电偶的热电动势(热端在 100 ℃,冷端在 0 ℃ 时)	189
附表 15 在常温下某些物质相对于空气的光的折射率	190
附表 16 常用光源的谱线波长表	190

第 1 章 提高性实验

本章中所选的实验,大多属于近代物理的实验内容,有的使用仪器复杂,综合性较强;有的方法新颖,构思巧妙;有的则为了提高学生的实验素养。它们是专供具有一定实验基础的学生进一步提高时选用的。

实验一 迈克尔逊干涉仪

光的干涉现象在科学研究和工程技术上应用很广。除了可以测定长度、长度的微小改变以及检查表面的磨光程度外,还有其他很多方面的应用。干涉仪是根据光的干涉原理制成的,是近代精密仪器之一。根据不同的需要,采用不同类型的干涉仪。在工业上常用显微干涉仪检查光学玻璃的表面质量,测定机件磨光面的光洁度、屈光度等。在光谱学中,应用精密度极高的近代干涉仪如迈克尔逊式的和法布里-珀罗式的干涉仪,可以精确而详细地测定谱线的波长及其精细机构。在工业上和化学分析中,常用折射干涉仪,准确地测定气体和液体的折射率,以及气体或液体中杂质的浓度。在天文学中,利用特种天体干涉仪还可以测定远距离星体的直径。本实验只介绍迈克尔逊干涉仪。

(1) 实验目的

- ①掌握迈克尔逊干涉仪的原理和调节方法。
- ②观察各种干涉现象,巩固和加深对干涉理论的理解。
- ③测量 He-Ne 激光的波长和钠光 D 双线的波长差。

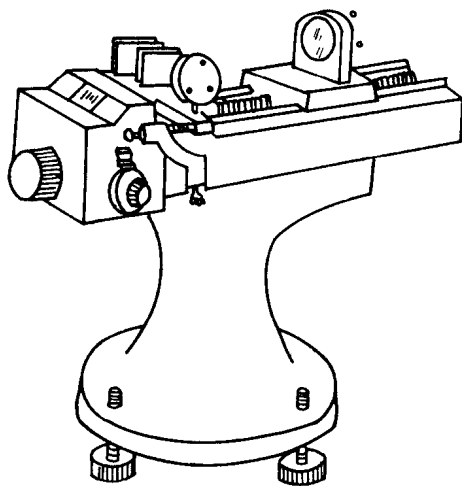


图 1-1-1 迈克尔逊干涉仪的结构图

(2) 实验仪器

迈克尔逊干涉仪,氦氖激光器,钠光灯。

(3) 实验仪器描述

迈克尔逊干涉仪主要由传动、读数机构和光学系统两部分组成,其基本结构如图 1-1-1 所示。

1) 传动与读数

精密的导轨固定在底座上,底座上有 3 个调节水平的螺钉。在导轨内装有一根精密的丝杆,与丝杆相连的是装在传动盒内的轮系,转动大手轮,即可使轮系动作带动丝杆。由丝杆传动移动镜拖板,前后移动镜子 M_1 。仪器有 3 个读尺,主尺附在导轨侧面,最小分度为 1mm;从窗口内可以看到一个 100 等分的圆盘,圆盘转动一个格相当于拖板直线移动 0.01mm;微动手轮有一个刻度轮,分为 100 等份,刻度轮上 1 格,对应于拖板移动 0.1 μm 。

2) 光学系统

主要由两块反射镜 M_1 、 M_2 及分光镜 G_1 和补偿镜 G_2 组成(图 1-1-2)。分光镜 G_1 的后表面镀有半反射镜,起分束器作用。两反射镜互相垂直,背面各有 3 个螺丝可以调节其方位,镜 M_2 的下端附有两个方向相互垂直的微动螺母,以便精确地调节两反射镜之间的方位。

(4) 实验原理

迈克尔逊干涉仪是用分振幅法产生双光束以实现干涉的仪器,图 1-1-2 为干涉仪的光路图。

从光源 S 发出的光射在 G_1 的半透半反射膜上,被分解成反射光(1)和透射光(2)。因 G_1 和 M_2 及 M_1 均成 45° 角,所以两束光分别垂直入射到 M_1 和 M_2 上,经反射后再回到半反射膜(即分光镜),又汇集成一束光并产生干涉,在 E 处即可观察到干涉条纹。图中 M_2' 是 M_2 被反射成的虚像,从观察者来看,两束相干光束与由 M_1 和 M_2' 间的空气膜所产生的干涉是一样的。

薄膜干涉是很复杂的,其中较简单的并有实用价值的是等倾干涉和等厚干涉,现分别简述如下。

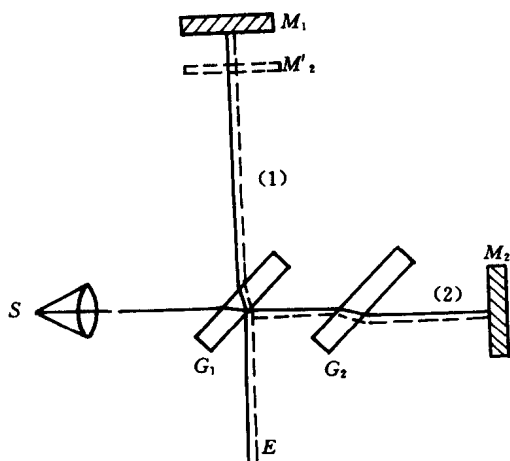


图 1-1-2 迈克尔逊干涉仪光路图

1) 等倾干涉条纹及测长原理

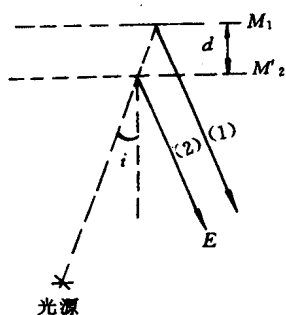


图 1-1-3

当 M_1 及 M_2' 互相平行时,在无穷远处形成等倾干涉条纹,如图 1-1-3 所示,对入射角 i 相同的各光束,自 M_1 和 M_2' 反射的(1)和(2)两光的光程差为:

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

这时,如在 E 处放一会聚透镜,并在其焦平面上放一屏,则在屏上可以看见一组同心圆,而干涉条纹的级数是以圆心为最高(这时 $i=0$),对第 k 级中心条纹光程差应满足下式

$$\delta = 2d = k\lambda \quad (1-1-2)$$

式中 λ 为入射光的波长。

当移动 M_1 使 d 增加时,圆心的干涉级别越来越高,就看到圆条纹一个一个从中心“冒”出来;反之,当 d 减小时,条纹一个一个向中心“缩”进去。每当“冒出”或“缩进”一条条纹时, d 就增加或减少 $\frac{1}{2}\lambda$ 。所以,若已知波长 λ 就可以从“冒出”或“缩进”的条纹数知道 M_1 移动的距离,这就是长度计量原理。反之,若已知移动的距离和条纹数,就可以从公式(1-1-2)测出波长 λ 。

2) 等厚干涉的直条纹

当 M_1 和 M_2' 相距不远且成微小夹角 α 时,如图 1-1-4 所示,由于反射镜 M_1 可前后移动,倾斜度又可改变,所以在迈克尔逊干涉仪中既可观察到因空气隙厚度 d 改变而引起的条纹的移动,又可以看到因劈尖的夹角 α 的变化引起条纹宽度的改变。

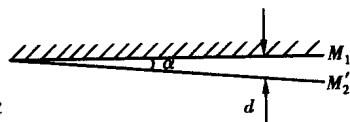


图 1-1-4

3) 点光源产生的非定域干涉条纹

用凸透镜会聚后的激光束,可以认为是一个很好的点光源,它向空间传播的球面波,经 M_1 和 M_2' 反射后,可以看成是由两个虚光源 S_1 和 S_2' 分别发出的,如图 1-1-5 所示。两相距为 $2d$

的虚光源 S_1 与 S_2' 发出的球面波在空间处处相干,是非定域的。如果屏垂直于 S_1 、 S_2' 的连线,则可以看到一组同心圆,而圆心就是 S_1 、 S_2' 连线的延长线和屏的交点,如果屏不和 S_1 、 S_2' 的延长线垂直,即看到椭圆、双曲线或直线。

如 M_1 和 M_2' 平行,则对应圆心处,两光束的光程差为 $2d$,和等倾干涉仪的讨论时情况一样,当 d 增加时,圆环一个一个“冒”出来;当 d 减少时,圆环一个一个“缩”进去,所以,也可以用下式表示:

$$2 \cdot \Delta d = \Delta k \cdot \lambda \quad (1-1-3)$$

测出 Δd 和 Δk ,可计算出波长 λ 。

4) 光源的单色性对干涉条纹的影响

干涉条纹的清晰程度,用“视见度”来描述,若干涉条纹为理想的单色光源所产生,当改变光程差(即改变 d)时,条纹一直清晰可见,视见度为最大。

如果光源中包含有两种波长(λ_1 和 λ_2)的单色光时,例如钠双线,这时观察到的干涉条纹,实际上是 λ_1 和 λ_2 二单色光所形成的干涉条纹的叠加。若逐渐增大 d ,即增大光程差,当 λ_1 的 k_1 级亮纹和 λ_2 的 k_2 级暗纹重合时,条纹就不清晰,如果 λ_1 和 λ_2 的光强相等,则干涉条纹完全消失,称条纹的视见度等于零(并不等于视场是暗的),此时

$$\delta_1 = 2d_1 = k_1 \lambda_1 = (k_2 + \frac{1}{2}) \lambda_2 \quad (1-1-4)$$

若继续改变光程差 δ ,上述条纹被破坏,条纹又逐渐清晰,直到光程差的改变达到

$$\delta_2 = 2d_2 = (k_1 + \Delta k) \lambda_1 = [k_2 + (\Delta k + 1) + \frac{1}{2}] \lambda_2 \quad (1-1-5)$$

则遇到一次视见度为零的情况。

由(1-1-5)一(1-1-4)式得

$$2 \cdot \Delta d = \Delta k \lambda_1 = (\Delta k + 1) \lambda_2 \quad (1-1-6)$$

故

$$\Delta \lambda = \lambda_1 - \lambda_2 = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{2 \Delta d}$$

当 λ_1 与 λ_2 相差很小时(如钠双线)

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

其中 $\overline{\lambda} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$ 。如果已知 Δd 和 $\overline{\lambda}$ 即可计算出 $\Delta \lambda$ 。

(5) 实验内容

1) 调节非定域干涉条纹,并测量 He-Ne 激光的波长 λ

①使 He-Ne 激光束大致垂直于 M_2 ,先用纸片将 M_1 挡住,调节 M_2 后面的 3 个螺丝,使反射光束仍返回到原光阑处(这时可能看到两排亮点,调节 M_2 时,应使移动的一排亮点中最亮的点与光阑孔重合)。把遮挡 M_1 的纸片移到 M_2 上,调节 M_1 ,使由 M_1 反射的光束亦和光阑孔

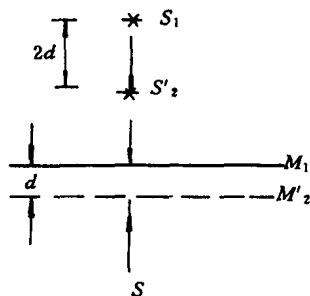


图 1-1-5

重合,这时 M_1 和 M_2 大致互相垂直,即 M_1 和 M'_2 大致互相平行。在屏 E 处也可以看到完全重合的亮点,注意到重合的光点在闪动(如重合不太好,可以调整一下 M_2 后面的 3 个螺丝,使它们全部重合)。

②在未进入干涉仪的光束上加一个扩束镜,并调整它使之照亮干涉图像中心区,这时在屏上可以看到一组明暗相间的同心圆,移动 M_1 镜,观察条纹的变化规律。

③朝一个方向移动微动手轮,使条纹中心为一暗点,记录此时 M_1 镜所在位置,仍按原方向慢慢移动微动手轮,并同时数自中心“冒”出(或“缩”进)的条纹数,每数 100 条,记录一次 M_1 镜的位置,每次记录时,中心暗点的情况应与开始时一样,共数 1 000 条。

④朝原来转动的相反方向移动,先看到条纹“缩”进去(或“冒”出来),重复步骤③再做一遍。

⑤利用公式(1-1-3)式求波长值。

2) 测钠光双线的波长差 $\Delta\lambda$

①在用激光作光源的情况下,要看到圆形干涉条纹,并且 M_1 与 M_2 距分束镜 G_1 的距离大致相等(在主尺上的读数是 35 cm),然后,换上钠光光源,即可看到钠光的圆形干涉条纹。若看不见,或看不清楚,可微调 M_2 的微动螺丝。

②转动微动手轮,找到视见度最小(条纹最不清晰)时 M_1 镜的位置,并记下读数。再按原方向慢慢转动微动手轮,细心观察条纹的清晰度,直到又一次遇到视见度最小的现象,再记下此时 M_1 镜的读数,前后两次位置的读数差即为 Δd 。

③重复以上步骤共作 5 次(注意要一直按一个方向转动微动手轮,避免空回引起的读数误差)。求出每次平均值 Δd ,利用公式(1-1-7)及 $\bar{\lambda} = 5893 \text{ \AA}$ 计算出波长差 $\Delta\lambda$ 。

(6) 实验数据处理

①数据记录表格自行设计。

②在计算 He-Ne 激光波长时,要求计算测量波长的估计误差 $\Delta\lambda$,并用 $\lambda = \bar{\lambda} + \Delta\lambda$ 表示测量结果。

③在计算钠双光波长差 $\Delta\lambda$ 时,要求根据 5 组测量数据计算 $\Delta\lambda$ 的误差 $\Delta(\Delta\lambda)$,并用 $\Delta\lambda = \overline{\Delta\lambda} \pm \Delta(\Delta\lambda)$ 的标准式表示测量结果。

(7) 注意事项

①切勿用手摸仪器的各光学表面,也不能对它们呼气。

②调节 M_1 和 M_2 时,动作不要太快,用力也不能过大,以免调节过头,损坏调节件或压坏镜面,测量时一定要避免因螺丝的空回引起的误差。

③不要眼睛直接对着激光束进行观察。

(8) 问题与讨论

①在实验中看到的圆形干涉条纹是属于等倾干涉条纹还是属于点光源产生的非定域干涉条纹?为什么?

②在测量中,多次强调要朝一个方向拧动微动手轮来观察干涉条纹,这是为什么?

③试分析测量过程中产生误差的原因。

实验二 全息照相

(1) 实验目的

- ①了解全息照相机的基本原理以及全息照相的主要特点。
- ②学习拍摄静态全息照片的有关技术和再现观察的方法。

(2) 实验仪器

全息实验台, He-Ne 激光器, 全息干板, 光束升降器, 连续分光镜, 全反镜, 扩束镜, 白屏, 载物台, 被摄物体, 调节支架, 停表, 照相冲洗设备等。

(3) 实验仪器描述

1) He-Ne 激光器

有关激光器的介绍请参阅上册 4.1 中的“激光器”一节。

拍摄全息照片必须用相干光源。He-Ne 激光的相干长度较大, 故用它来作为拍摄全息照片的光源。其功率大小可根据被摄物体的大小尺寸来选定。若被摄物尺寸较大, 则选用功率较大的 He-Ne 激光器; 若被摄物尺寸较小, 则可选用功率较小的 He-Ne 激光器。

2) 全息实验台

拍摄全息照片除了要保证光学系统中各元件有良好的机械稳定性外, 用一个防震系统来保证所需要的光学稳定性是绝对必要的。我们采用的是气囊式防震台, 它不仅能满足一般全息实验要求, 还可以进行一些光信息的基础研究。

3) 全息干板

记录全息图, 应该采用性能(主要指分辨率、灵敏度和其他感光化学特性)良好的感光材料——全息干板。

①理论指出, 全息干涉条纹的间距取决于物光和参考光束的夹角 θ , 如图 1-2-1 所示, 关系为:

$$\bar{\Delta} = \frac{\lambda}{2 \sin \frac{\theta}{2}} \quad (1-2-1)$$

$\bar{\Delta}$ 为干涉条纹的平均间距。一般用它的倒数表示:

$$\eta = \frac{1}{\bar{\Delta}} = \frac{2 \sin \frac{\theta}{2}}{\lambda} \quad (1-2-2)$$

η 称为条纹的空间频率或感光材料的分辨率, 表示每毫米中的干涉条纹数。 θ 与 $\bar{\Delta}$ 、 η 在数量上的对应关系可由表 1-2-1 查出。

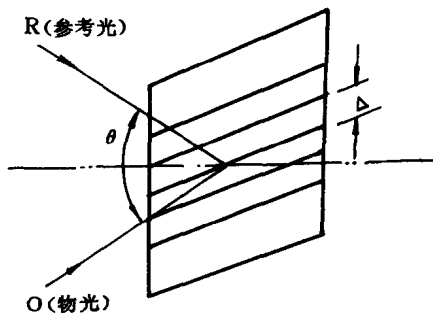


图 1-2-1 条纹间距 $\bar{\Delta}$ 取决于 O 光与 R 光的夹角 θ

表 1-2-1 θ 与 Δ 、 η 的对应关系 $(\lambda = 632.8 \text{ nm})$

θ	5°	10°	15°	30°	45°	60°	90°	120°	150°	180°
$\Delta \times 10^{-3}/\text{mm}$	7.254	3.630	2.424	1.223	0.826 8	0.632 8	0.447 5	0.365 4	0.327 6	0.316 4
η/mm	137.8	275.5	412.5	818.0	1 210	1 580	2 235	2 737	3 053	3 160

由表 1-2-1 可见,一般全息干涉条纹的间距很小,故要求高分辨率的感光材料。通常需要分辨率 $\eta > 1\,000$ 条/mm 的感光材料,而普通照相感光材料的分辨率约为 100 条/mm。

②感光材料分辨率的提高导致感光速度下降,其曝光时间远较普通照相长,一般需几秒、几十秒甚至几十分钟。具体时间由激光光强、被摄物大小和反射性决定。

③曝光后的显影、定影等化学处理过程和普通感光胶片的处理相同。显影液可采用 D—19 配方,定影液可用 F—5 配方(参见附录)。全息干板对红光敏感,故冲洗时不能在红灯下进行,但可在暗绿色安全灯下进行冲洗。

(4) 实验原理

1) 光波的信息

在任何物体表面上所发出的光波,可以看成是由其表面上各物点所发出球面光波的总和,其表达式为

$$Y = \sum_{i=1}^n A_i \cos(\omega t + \varphi_i - \frac{2\pi x_i}{\lambda}) = A \cos(\omega t + \varphi - \frac{2\pi x}{\lambda}) \quad (1-2-3)$$

其中,振幅 A 和位相 $(\omega t + \varphi - \frac{2\pi x}{\lambda})$ 为此光波的两个主要特征,又称为信息。当实验中用单色光作光源时,位相信息中反映光的颜色特征的 ω (或 λ) 可不予讨论。通常感光乳胶的感光特性,其频率响应远跟不上光波的频率 (10^{14} Hz 以上),感光的程度仅与总曝光量有关,它只能反映光波的振幅分布。所以,在普通照相技术中记录的物像,只反映被摄表面上各点光波振幅信息的分布,而不反映位相的信息,因而也不能反映被摄物表面凹凸及远近的差别,所以无立体感。

全息照相在记录被摄物表面光波(称为物光波)振幅信息的同时,也记录了位相的信息,因而它具有立体感。

2) 全息照相的记录原理——物光和参考光在感光板上的干涉

光的干涉理论分析指出,干涉图像中亮条纹和暗条纹之间亮暗程度的差异(反差),主要取决于参与干涉的两束光波的强度(振幅的平方),而干涉条纹的疏密程度则取决于这两束光位相的差别(光程差)。全息照相就是采用干涉方法,以干涉条纹的形式记录物光波的全部信息。

由于利用光的干涉进行全息记录,就要求光源满足相干条件。一般使用相干性极好的激光作光源。拍摄全息照片的光路如图 1-2-2 所示。在图中,激光束经过分光板后分成两束光:一束经 M_1 反射再被透镜 L_1 扩束后均匀地照射在被摄物 D 的整个表面上,并使拍摄物表面漫反射的光波(物光)能射到感光板 H 上;另一束光(称为参考光)经反射镜 M_2 和扩束镜 L_2 后,

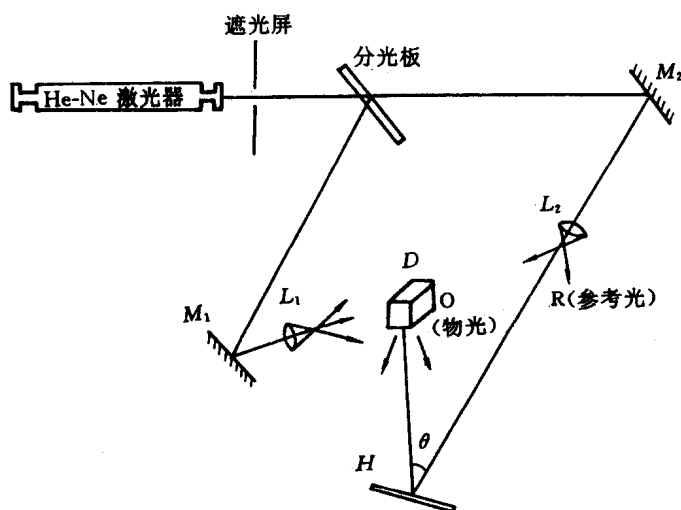


图 1-2-2 拍摄全息照片的光路图

直接投射到感光板 H 上。当参考光和物光在感光板 H 上相遇到时,叠加形成的干涉条纹被 H 记录,有关物光和参考光干涉的数学表达式请参阅上册 4.5 中的“全息照相技术”一节。

按照图 1-2-2 曝光后的全息干板,经过显影、定影、水洗和晾干后就成了一张全息照片。全息照片是由物体所发出的复杂的物光和参考光相互干涉的结果。一个物点的物光形成一组干涉条纹。不同物点对应的干涉条纹的疏密、走向和反差等分布均不相同,形成干涉图的外貌是均匀颗粒状的背影上叠加不规则的、断续的细条光栅似的结构。图 1-2-3 是用高倍显微镜观察全息图时得到的放大图像。

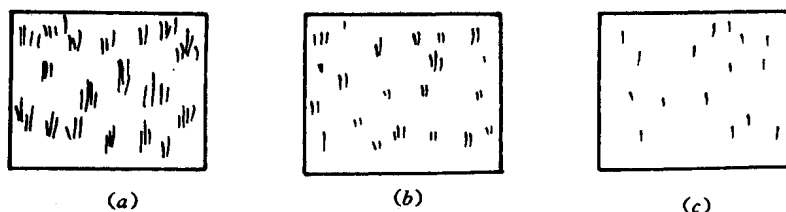


图 1-2-3 全息图的显微图像(从左至右、放大倍数依次增加)

3) 全息照相的再现原理——再现光束被全息图衍射

全息照相在感光板上记录的不是被摄物的直观形象,而是复杂的干涉条纹,故在观察时必须采用一定的再现手段。再现观察时的光路示于图 1-2-4。用一束被扩大的激光(称为再现光),从特定方向射向全息照片,对于再现光束来说,全息照片相当于一块透过率不均匀的障碍物,再现光经过它时会发生衍射。观察者透过全息照片,向被摄物的方向看,就可看到逼真的立体形象。若改变全息照片相对于激光束的方位,或改变观察方向,看到的被摄物的形象将有所改变,甚至看不到。全息照片在再现激光束照射下,再现出物光波的现象和光栅衍射类似,每一族干涉条纹好比一幅复杂的光栅,再现出

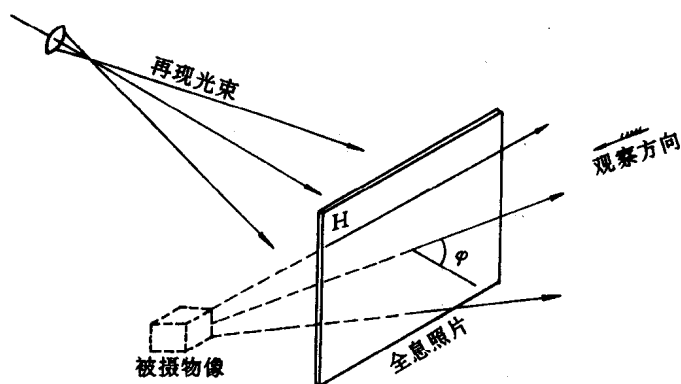


图 1-2-4 全息照片的再现观察方式

再现出物光波的现象和光栅衍射类似,每一族干涉条纹好比一幅复杂的光栅,再现出

来的物光波就是由这些无数组光栅的衍射光波叠加而成的。为了比较,先观察光栅衍射的情况。

设波长为 λ 的平行光垂直投射在光栅常数为 d 的光栅上,其衍射角满足光栅方程

$$d \sin \varphi_k = k \lambda$$

其中, $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 。

入射光是平行光时,各级衍射光也是平行光,衍射图像是一组规则的图像,如图 1-2-5(a) 所示。

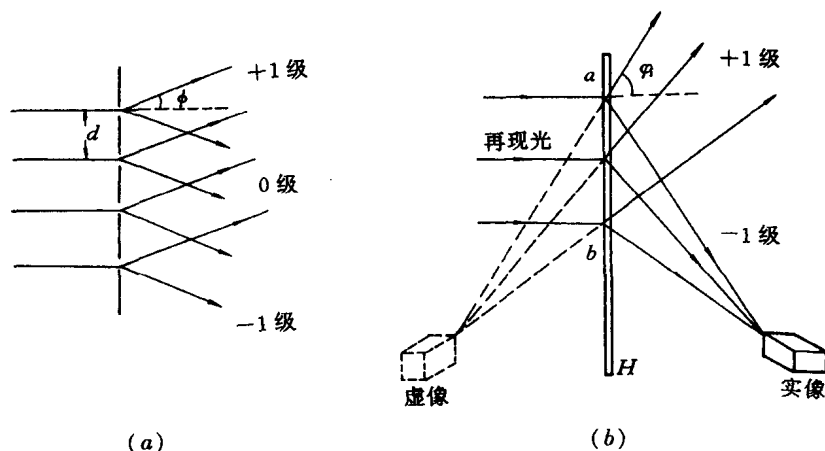


图 1-2-5

图 1-2-5(b) 所示的是再现光对全息照片的衍射现象。比较严格的推导指出(请参阅上册 4.5“波阵面再现”一节),只要再现光与参考光完全一致(如波阵面形状、照射方向等),则 +1 级衍射光是发散光。在原物点处成一虚像,与原物完全相像,称为真像; -1 级衍射光是会聚光,会聚点在与原物点对称的位置上,是一个实像,但凹凸情况与原物相反,称为虚像。

4) 全息照片的特点

- ① 全息照片所再现的物体形象是与原物惟妙惟肖的三维立体形象,具有明显的视差特性。
- ② 全息照片具有可分割的特性,即它一旦被敲碎(或被掩盖,或被玷污了一部分),任一片仍能完整地再现出被摄物体的形象。

③ 全息照片再现的被摄物像的亮度可调,由于再现光波是照明光波的一部分,故照明光越强,再现物像就越亮。

④ 同一张全息感光板可进行多次重复曝光记录,一般在每次拍摄曝光前稍微改变全息感光板的方位(如转动一个小角度),或改变参考光束的入射方向,或改变物体在空间的位置,就可在同一感光板上重叠记录,并能互不干扰地再现各个不同的图像。若物体在外力作用下产生微小的位移或形变,并在变化前后重复曝光,则再现时物光波将形成物体形态变化特征的干涉条纹。这就是全息干涉计量的基础。

⑤ 全息图无正负片之分。因为它记录的是干涉条纹而不是记录的原物形象,再现是靠衍射。如有必要复制时,可将制作好的全息图与未曝光的全息干板药面相对,用扩束后的激光作光源,紧压曝光。复制片具有母片一样的再现观察效果。

⑥ 全息图的再现像可放大和缩小。当再现照明光波波长不同时,或波阵面大小不同时,再

现像就会放大或缩小。

(5) 实验内容

1) 拍摄三维全息图

①熟悉实验室布局,熟悉全息干板装夹的方法和各光学元件支架的调整方法,熟悉冲洗设备、药液等放置的位置。

②拍摄三维全息图

按图 1-2-2 布置光路,拍摄时,应按工作程序检查实验的准备工作:

- A. 被摄物及全息干板是否被均匀地照明。
- B. 物光和参考光程差是否控制在几厘米之内。
- C. 物光和参考光的光强比是否合适,其光强比值一般在 $1:2 \sim 1:4$ 范围内,即参考光要比物光强三倍左右。

D. 各光学元件装夹是否牢固。

E. 有无杂散光干扰。

F. 曝光时间选择是否合适。

拍摄的具体参数由实验室提供。安置感光板时要用遮光板遮住激光,并注意感光乳胶面应对着激光束。曝光后的感光板,经显影、定影处理,漂洗晾干,即成全息照片。

2) 拍摄全息光栅

当物光和参考光均为平行光时,它们干涉的结果是一组平行的条纹——光栅。由于它是用全息照相方法获得,故称为全息光栅。它制作方便,尺寸较大,杂散光干扰小,故应用较广。

①按图 1-2-6 布置光路。

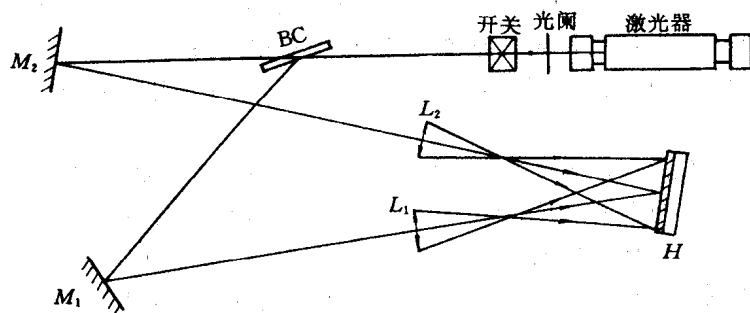


图 1-2-6 拍摄全息光栅的参考光路

②调整光路,使由分光板分离的两束光经过扩束镜扩展成两束平行光投射于全息干板处,两束光的夹角约为 $15^\circ \sim 20^\circ$,光强为 $1:1$,光程接近相等。

③测量夹片处的总光强值,参考实验室所给数据,选择曝光时间。

④用遮光板遮掉激光,安装感光干板,注意乳胶面对准激光束。

⑤移去遮光板曝光。曝光后的感光板经显影和定影、漂白处理,漂洗晾干。

⑥用一束光垂直入射于光栅,观测它的衍射图样,估算此光栅的光栅常数(光栅常数 $d = \frac{L}{\Delta} \lambda$, L 为全息片到观察屏的距离, Δ 为干涉条纹间距, λ 为入射光的波长)。又根据光路中

物光和参考光的夹角 θ , 按表 1-2-1 查出记录的全息干涉条纹间距, 并将它和测量出的光栅常数作一比较。

3) 观察全息照片的再现物像

① 判别所拍全息照片的乳胶面 (即感光药膜面), 仔细观察其上所记录的干涉图样。

② 观察再现的虚像。如图 1-2-7 布置光路。

将全息照片 H 放到光束截面被放大的激光束中, 注意感光药膜应向着再现光束, 再现光束的扩束镜 L_2 的位置和方向 (α 和 θ) 最好与拍摄时一致。观察的角度由全息照片的尺寸和被摄物的距离决定。按图 1-

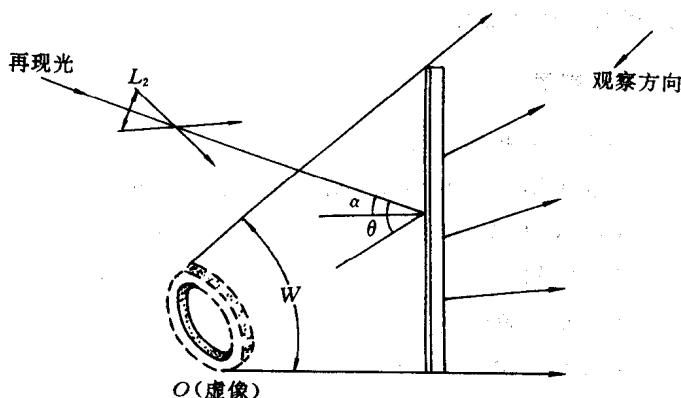


图 1-2-7 观察再现虚像的光路图

2-7 中的箭头方向观察, 就可观察到再现虚像。观察再现虚像出现的位置、亮度, 判别能看到再现虚像的视角范围 (即立体角 ω 大小) 和观察者距全息照片的距离与全息照片尺寸的关系。

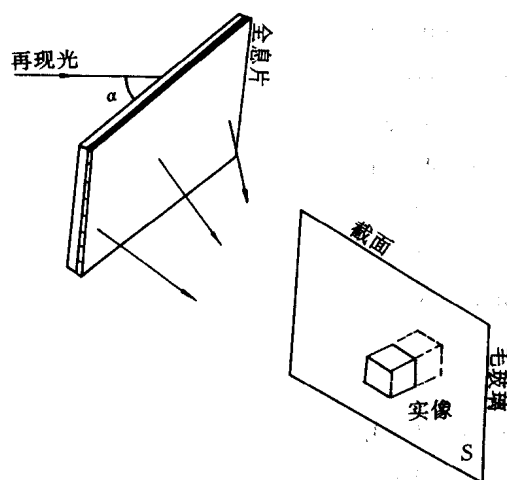


图 1-2-8 观察再现实像的光路图

③ 观察再现实像。通常采用图 1-2-8 所示的光路, 用未扩束激光直接射到全息照片的玻璃片基面 (反面) 上, 选取适当的夹角 α , 再用毛玻璃漫射观察屏 S 来接收再现实像。应当注意, 再现入射光束的入射光不同时, 再现实像的视差效应和清晰程度不同; 当观察屏 S 与全息照片距离不同时, 屏上所截得像的大小和清晰程度也不相同。只有像质量最佳的位置才是实像位置。

(6) 注意事项

① 保持各光学元件清洁, 否则将影响全息图的质量。如果光学面被玷污或有灰尘, 应按实验室规定的方法去处理, 不能用手、手帕或纸片擦拭。

② 曝光过程中切勿触及全息实验台, 人员也不宜随意走动, 以免引起振动, 影响全息图质量。

③ 绝对不能用眼睛直视未扩的激光, 以免造成视网膜永久损伤 (但经过透镜扩束后的激光束除外)。

④ 全息照片及观察屏均为玻璃片基, 易碎, 使用时应小心轻放, 以免损坏。

(7) 问题与讨论

① 为什么要求光路中物光和参考光的光程尽量相等?

② 在观察全息照片的虚像时, 你能否尝试用手去触及再现景物? 当手移近或远离再现景