文章编号:1005-4642(2021)12-0019-04

比累对切透镜双光束干涉实验测量光的波长

朱 玲,赵 伟,代如成,张 权,张增明

(中国科学技术大学物理学院,安徽合肥 230026)

摘 要:阐述了比累对切透镜双光束干涉实验测量光波长的实验原理和方法.以氦氖激光为光源,分别利用比累对 切透镜的平面波干涉和球面波干涉进行实验,测量氦氖激光的波长,结果表明这2种干涉实验测量得到的氦氖激光波长 值合理.

 关键词:比累对切透镜;双光束干涉;波长

 中图分类号:O437.1
 文献标识码:A

 DOI:10.19655/j.cnki.1005-4642.2021.12.003

频率相同且具有相互平行的振动分量及稳定 相位差的2束光波,在传播空间交叠产生干涉,在 干涉区域内能够观察到干涉现象,即亮暗相间的 干涉条纹^[1].通过测量干涉条纹的间距,可实现 对光波长的测量.能够产生双光束干涉并能对光 源波长测量的装置有很多,如杨氏双缝、菲涅耳双 棱镜、迈克耳孙干涉仪等^[2-4].本文阐述的实验装 置——比累(Billet)对切透镜,也可实现双光束干 涉.比累对切透镜是将一定焦距的薄透镜沿直径 切开分成两半,再按照一定的方式组合,实现将1 束光分成2束光,这2束光在传播空间内交叠,产 生干涉.组合方式有2种:第1种是沿垂直切口 方向移开小段距离^[5];第2种是将切开的透镜粘 合在一起^[6].本文拟采用第2种组合方式进行实 验,测量光的波长.

1 实验原理

将焦距为 f 的薄透镜沿直径方向切开,将切 为两半的透镜粘合为一体,这样的组合透镜称为 比累对切透镜^[7],如图 1 所示,图中 a 为薄透镜切 去部分的宽度.

比累对切透镜与其他干涉装置相比,其特殊 性在于它具有原薄透镜的性质.由于比累对切透 镜拥有原薄透镜焦平面,所以在光路中,点光源距 离它的位置不同,其出射的光波形式就不同.当 点光源放在比累对切透镜粘合中心线,并且在原 薄透镜焦平面上时,通过该装置出射的2束光为 有夹角的平面波,平面波在传播过程中交叠,产生 干涉;当点光源放在原薄透镜焦平面以外,即距离 比累对切透镜大于原薄透镜的1倍焦距,其出射 的2束光为会聚的球面波,2束光在会聚成像的 过程中交叠,产生干涉.平面波干涉和球面波干 涉是比累对切透镜作为干涉装置的2种典型干涉 形式.



图 1 比累对切透镜结构

1.1 比累对切透镜平面波干涉

比累对切透镜平面波干涉光路图如图 2 所 示,其中 O 为比累对切透镜粘合的中心位置, O_1 为上半透镜的光心位置, O_2 为下半透镜的光心位 置.在原薄透镜物方焦平面 P 且在比累对切透镜 粘合中心线上,放置点光源 S.由点光源 S 发出 的球面波经过比累对切透镜的上、下两半透镜分 割,出射夹角为 θ 的 2 束平面波,该平面波在传播

 [&]quot;第 11 届全国高等学校物理实验教学研讨会"论文
 收稿日期:2021-07-09;修改日期:2021-09-22
 基金项目:安徽省级质量工程教学研究项目(No. 2019jyxm0016)
 作者简介:朱 玲(1972-),女,安徽霍邱人,中国科学技术大学物理学院实验师,学士,主要从事大学物理实验教学工作,E-mail;zhuling@ustc.edu.cn

空间中交叠,产生干涉,如图中阴影部分所示,在 该区域内能够观察到2束光的干涉现象.从图中 可以看出,阴影部分较大,即干涉区域较大.



图 2 比累对切透镜平面波干涉光路图

2 列平行光产生的干涉场,其场内干涉条纹 为等间距直条纹,条纹间距表示为^[8]

$$\Delta X = \frac{\lambda}{2\sin\frac{\theta}{2}} , \qquad (1)$$

可见干涉条纹间距大小与光的波长和两平行光束 夹角有关.由几何关系可知,在 *θ* 满足小角度的 情况下,有:

$$\sin\frac{\theta}{2} \approx \tan\frac{\theta}{2} = \frac{\frac{a}{2}}{\frac{f}{f}} = \frac{a}{2f} , \qquad (2)$$

其中,f为原薄透镜焦距, λ 为点光源波长.代入式(1),可得点光源波长为

$$\lambda = \frac{a\Delta X}{f} . \tag{3}$$

1.2 比累对切透镜球面波干涉

比累对切透镜球面波干涉光路图如图 3 所 示,其中 R 为接收干涉条纹的光屏.点光源 S 位 于原薄透镜物方焦平面 P 以外,且在比累对切透 镜粘合中心线上.根据薄透镜成像原理,点光源 S 将在透镜的像方成实像.由于比累对切透镜上 下两半透镜光心错开,因此 S 经过比累对切透镜 后得到 2 个实像 S₁(上半透镜成的实像点)和 S₂ (下半透镜成的实像点).这样点光源 S 发出的球 面波经过比累对切透镜分成 2 束球面波,这 2 束 球面波在会聚成像过程中交叠,产生干涉.在图 中阴影区域内可以观察到两光束的干涉现象.从 图中可以看出,干涉区域较小.



图 3 比累对切透镜球面波干涉光路图

由图 1 所示的比累对切透镜结构可知,比累 对切透镜上半透镜的光心 O_1 在粘合中心 O 点下 方 a/2 处,下半透镜的光心 O_2 在粘合中心 O 点 上方 a/2 处,若原薄透镜焦距为 f,则可以通过透 镜成像原理计算得到实像点 S_1 和 S_2 间距离为

$$d = \frac{aL}{L-f} , \qquad (4)$$

式中, L为光源 S到 O 点的距离.

根据两点光源的干涉原理和比累对切透镜成 像情况,在阴影区域内,光屏上的干涉条纹应为双 曲线型.在傍轴情况下,近似为等间距平行直条 纹^[9],且条纹间距为

$$\Delta X = \frac{fL - DL + Df}{aL} \lambda \quad , \tag{5}$$

其中,D为O点到接收屏 R 的距离. 因此可得光 源波长为

$$\lambda = \frac{aL\Delta X}{fL - DL + Df} \,. \tag{6}$$

2 实验测量与结果分析

点光源通过比累对切透镜产生干涉,测出干 涉条纹间距后,在已知薄透镜焦距 *f* 和薄透镜切 去部分宽度 *a* 的情况下,根据式(3)或式(6),即可 计算得到光源波长 λ. 采用氦氖激光作为待测波 长光源,通过比累对切透镜 2 种典型干涉形式分 别进行实验,再利用式(3)或式(6),则可通过实验 测量结果计算得到氦氖激光波长.

通过比累对切透镜 2 种典型干涉形式进行的 实验装置图如图 4 所示.激光器与扩束镜之间的 双偏振片用以减弱光强,实验采用的扩束镜为短 焦距单凸透镜,其焦距 $f_1=2.2$ mm.另外,本文 采用比累对切透镜原薄透镜的焦距 f=120 mm, 比累对切透镜切去部分的宽度 a=0.42 mm. 图 中的 CCD 为接收光屏,距离比累对切透镜为 D, 与计算机连接,其分辨率为 2 748×2 200,单个像 素尺寸为 4.54 μ m×4.54 μ m,CCD 采集的干涉 条纹由其自带的图像处理软件处理.



在实验过程中,氦氖激光器始终放置在比累 对切透镜粘合中心线上,其发出的激光束正入射 到扩束镜,激光经过扩束镜后,在其焦点处会聚成 光点 *S*,*S* 位于比累对切透镜粘合中心线上,且*S* 与比累对切透镜的距离为*L*,光点*S* 发出的光经 过比累对切透镜后产生干涉,CCD 接收干涉条 纹.下面对比累对切透镜 2 种典型干涉形式的实 验分别进行讨论.

2.1 氦氖激光源在原薄透镜物方焦平面上

氦氖激光器发出的激光束经过扩束镜后会聚 成的光点 *S* 位于原薄透镜焦平面上,因此光点 *S* 与比累对切透镜的距离 L = f = 120 mm. 由 *S* 发 出球面波,照射比累对切透镜,经由比累对切透镜 上、下两半透镜分割成 2 束有夹角的平行光,这 2 束光在传播空间交叠,产生干涉,光路如图 2 所 示. CCD 放置在图 2 中的阴影区域,以采集干涉 条纹. 实验装置实物图如图 5 (a)所示,CCD 采集 到的干涉条纹如图 5 (b)所示. 干涉条纹间距为 ΔX ,其大小通过读取 5 条干涉条纹距离计算得 出.为了减小测量误差,本文进行了多次测量,具 体测量值如表 1 所示. 根据表中数值可计算求得 $\Delta \overline{X} = 0.180$ 62 mm.





(b) **干涉条纹**

图 5 比累对切透镜平面波干涉实验实物图与干涉条纹

表 1 平面波干涉的 ΔX 数据表

i	$\Delta X/\mathrm{mm}$	i	$\Delta X/\mathrm{mm}$
1	0.180 4	6	0.181 0
2	0.180 8	7	0.180 6
3	0.180 5	8	0.181 1
4	0.180 3	9	0.180 7
5	0.180 2		

将 $a, \Delta \overline{X}, f$ 等值代入式(3),计算得到氦氖 激光波长 $\lambda = 632.2 \text{ nm}, i \alpha \lambda$ 与氦氖激光标准波 长 $\lambda_{is} = 632.8 \text{ nm}$ 的相对偏差 E = 0.095%. 2.2 氦氖激光源在原薄透镜焦平面以外

氦氖激光器发出的激光束经过扩束镜后会聚 成光点 *S*, *S* 位于原薄透镜焦平面以外,与比累对 切透镜的距离范围在 $f \sim 2f$. 由 *S* 发出球面波, 照射比累对切透镜,经比累对切透镜上、下两半透 镜分割,出射 2 束球面波,2 束球面波在会聚成像 的过程中交叠,产生干涉,光路如图 3 所示.将 CCD 放置在干涉区域内,以接收干涉条纹.实验 装置实物图如图 6(a)所示,CCD 采集到的干涉条 纹如图 6(b)所示.条纹间距 ΔX 由读取的 5 条干 涉条纹距离计算得出. 各参量的具体测量值如表 2 所示. 根据表中数值计算求得 \overline{L} =179.98 mm, \overline{D} =245.89 mm, $\Delta \overline{X}$ =0.057 24 mm.



(a)**实物图**



(b)干涉条纹图 6 比累对切透镜球面波干涉实验实物图与干涉条纹

表 2 球面波干涉的 $L, D, \Delta X$ 数据表

i	L/mm	D/mm	$\Delta X/\mathrm{mm}$
1	180.1	245.9	0.057 2
2	179.9	245.7	0.057 2
3	180.0	246.1	0.057 3
4	179.9	245.8	0.057 4
5	180.1	246.0	0.057 3
6	179.9	245.9	0.057 2
7	180.1	245.7	0.057 2
8	179.8	246.1	0.057 2
9	180.0	245.8	0.057 2

将 f, a 和 $\overline{L}, \overline{D}, \Delta \overline{X}$ 代入式(6),计算得到氦 氖激光的波长 $\lambda = 631.7 \text{ nm}, \overline{\alpha} \lambda$ 与氦氖激光标 准波长 $\lambda_{\overline{\alpha}} = 632.8 \text{ nm}$ 的相对偏差 E = 0.17%.

2.3 实验结果分析

根据光源相对于比累对切透镜的距离不同, 分别用比累对切透镜平面波干涉和球面波干涉 2 种干涉形式对氦氖激光波长 λ 进行测量,并将测 得的 λ 与氦氖激光标准波长 λ_{ki} 进行了对比,从相 对偏差处理结果可以看出,用 2 种形式的干涉求 得的氦氖激光波长与氦氖激光标准波长的相对偏 差均小于 0.2%,说明通过实验测量求得的 λ 值 合理.通过比较可知,采用比累对切透镜平面波 干涉求得的波长 λ 更接近标准值 λ_{ki} ,这是因为比 累对切透镜球面波干涉实验光路较复杂,实验中 需测量的参量多于平面波干涉实验,较多的参量 测量给实验结果带来了一定的误差.

3 结束语

本文对比累对切透镜双光束干涉测量光源波 长的实验原理和实验方法进行了阐述. 根据氦氛 激光源与比累对切透镜距离不同,分别利用比累 对切透镜平面波干涉和球面波干涉 2 种典型干涉 形式进行实验,求得待测氦氖激光波长 λ,并分别 计算了 2 种干涉形式下 λ 的相对偏差,结果表明, 2 种干涉实验测得的 λ 合理. 比累对切透镜作为 干涉装置实现了双光束干涉,是测量光源波长的 又一方法和手段.

参考文献:

- [1] 陆慧.光学[M].上海:华东理工大学出版社,2014: 56-61.
- [2] 陈子阳,李浩然,蒲继雄.杨氏双缝干涉实验中双缝
 缝宽的讨论[J].大学物理实验,2019,32(6):43-46.
- [3] 杨振军,许景周,庞兆广,等.利用菲涅耳双棱镜研究 光的干涉现象[J].物理实验,2017,37(4):23-26.
- [4] 曲广媛,韦先涛,赵伟,等.迈克耳孙干涉实验[J]. 物理实验,2017,37(11):26-30.
- [5] 梁铨廷,刘翠红.物理光学简明教程[M].北京:电 子工业出版社,2016:55-56.
- [6] 朱玲,卢荣德,赵伟,等.分波前法双光束干涉实验 对比累对切透镜切去部分的宽度测量[J].大学物 理,2021,40(9):28-32.
- [7] 崔宏滨.光学基础教程[M].合肥:中国科学技术 大学出版社,2013:267-269.
- [8] 赵建林.光学[M].北京:高等教育出版社,2006: 141-145.
- [9] 郑植仁.光学[M].哈尔滨:哈尔滨工业大学出版 社,2006:89-92.

Measuring the wavelength by using double-beam interference experiment of the Billet split lens

ZHU Ling, ZHAO Wei, DAI Ru-cheng, ZHANG Quan, ZHANG Zeng-ming (School of Physical Science, University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: The experimental principle and method of measuring wavelength by using the doublebeam interference experiment of the Billet split lens were described. Experiments were carried out to measure the wavelength of He-Ne laser source by using the plane wave interference and the spherical wave interference with the Billet split lens. Compared with the standard wavelength of the He-Ne laser, the relative errors were analyzed respectively. The analysis results indicated that the measuring values obtained by the two kinds of interference experiments were reasonable.

Key words: Billet split lens; double-beam interference; wavelength

[责任编辑:郭 伟]