

牛顿环测量透镜曲率半径实验中一点问题的思考

王雁冰

(内蒙古科技大学包头师范学院物理科学与技术学院, 内蒙古 包头 014030)

【摘 要】“牛顿环测量透镜的曲率半径”是光学实验一个重要的实验,通过实验加深对“等厚干涉”现象及光的波动性的理解,干涉环的直径和弦长的测量,对二者的进行了对比,说明了测量环纹的直径和弦长对实验结果是没有影响的,并且对实验中出现的其它问题进行了简单的论述。

【关键词】牛顿 曲率半径 直径 弦长

牛顿环仪是由一块曲率半径较大的平凸透镜,和一块光学平面玻璃片所组成的器件;如果用显微镜从反射方向观察,用钠光平行垂直照射在牛顿环上,便可以清楚的看到中心为一小暗斑,周围是明暗相间宽度逐渐减小的许多同心圆环,观察到的这种现象即为等厚干涉现象。从图一看当单色钠光灯的平行光束垂直照射时,就会在空气层形成等厚干涉条纹,条纹是一组以接触点为中心的明暗相间的同心圆环,理论上接触点为一个点,但因为重力作用或者灰尘的附着,实验所观察的中心并不是一个点,而是一个暗斑,在实验中要求测量第 m 级的暗环直径和第 n 环暗环的直径,如果实验中没有测量暗环纹的直径,而是测量成弦长,是否会对测量结果造成很大误差,这里通过对原理和测量数据的分析进行论述。

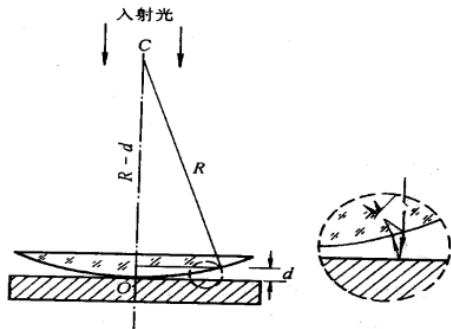


图 1

1 用牛顿环测量曲率半径原理概述

当一曲率半径很大的平凸透镜的凸面与一磨光平玻璃板相接触时,在透镜的凸面与平玻璃之间将形成一空气薄膜,离接触点等距离的地方,厚度相同。如图一所示,若以波长为 λ 的单色平行光,投射到这种装置上,则由空气膜上下表面反射的光波将互相干涉,形成的干涉条纹为膜的等厚各点的轨迹,这种干涉是一种等厚干涉。在反射方向观察时,将看到一组以接触点为中心的亮暗相间的圆环形干涉条纹,而且中心是一暗斑如果在透射方向观察,则看到的干涉条纹与反射光的干涉条纹的光强分布恰成互补,中心是亮斑,原来的亮环处变为暗环,暗环处变为亮环,这种干涉现象最早为牛顿所发现,故称为牛顿环。

设透镜 L 的曲率半径为 R ,形成的 m 级干涉暗条纹的半径为 r_m , m 级干涉亮条纹的半径为 r'_m ,不难证明

$$r_m = \sqrt{mR\lambda}$$

通过修正,只要精确测量 m 环和 n 环个环的半径,由 m 和 n 半径的平方差值就可准确地算出透镜的曲率半径 R ,也可以测出第 m 环直径 D_m 和第 n 环直径 D_n 。

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$$

2 测量暗环直径和测量暗环的弦长对实验结果的影响

测暗环直径时,若十字叉丝的交点未通过圆环的中心,可能

所测量长度非真正的直径而是弦长,分析对实验结果。

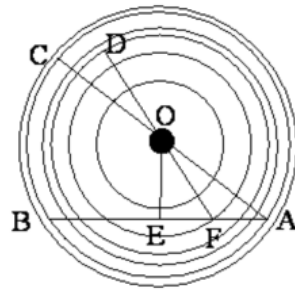


图 2

设第 m 环半径为 OA ,第 n 环半径为 OF ,如果测量第 m 环的弦长 AE 和第 n 环弦长 EF ,从图二中分析:

$$r_{OA}^2 - EA^2 = OE^2$$

$$r_{OF}^2 - EF^2 = OE^2$$

$$r_{OA}^2 - r_{OF}^2 = EA^2 - EF^2$$

所以从图二和公式推导来看,测量第 m 环直径和测量第 n 环直径,测量第 m 环弦长和测量第 n 环弦长,根据公式计算,测量暗环的直径和测量暗环的弦长对实验结果没有任何影响。

下面通过具体测量数据看测量暗环的直径并测量暗环的弦长对实验结果是否产生影响,这里测量 5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24 暗环的直径和弦长进行分析, $m-n=10$ 。

(1) 测量暗环直径

单位: mm

| 环数 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 右 | 28.175 | 27.875 | 27.622 | 27.371 | 27.155 | 26.965 | 26.791 | 26.635 | 26.435 | 26.278 |
| 左 | 31.225 | 31.571 | 31.805 | 32.059 | 32.275 | 32.451 | 32.655 | 32.819 | 32.975 | 33.125 |
| 直径 D | 3.050 | 3.696 | 4.183 | 4.688 | 5.120 | 5.486 | 5.864 | 6.184 | 6.540 | 6.847 |

| 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 26.135 | 25.995 | 25.868 | 25.731 | 25.599 | 25.495 | 25.355 | 25.239 | 25.121 | 25.021 |
| 33.285 | 33.425 | 33.569 | 33.695 | 33.835 | 33.955 | 34.061 | 34.191 | 34.295 | 34.405 |
| 7.150 | 7.430 | 7.701 | 7.964 | 8.236 | 8.460 | 8.706 | 8.952 | 9.174 | 9.384 |

根据 $R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 代入数据 钠黄灯的平均波长为 589.3 nm

$$D_m^2 - D_n^2 = 41.558 \times 10^{-6} (\text{m}^2) = 41558 \times 10^{-9} (\text{m}^2)$$

$$R = \frac{41558 \times 10^{-9}}{4 \times 5893 \times 10^{-10} \times 10} = 1.76302 \text{ m} \quad \text{相对误差 } 2.05\%$$

如图 2,在这里测量 5、6、7、8、9、10、11、12、13、14、15、16、17、18、19、20、21、22、23、24 暗环的弦长,此时 D_m 为 m 环的弦长, D_n 为 n 环的弦长。

(2) 测量暗环的弦长

单位: mm

| 环数 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 右 | 38.375 | 38.010 | 37.803 | 37.603 | 37.395 | 37.109 | 37.015 | 36.845 | 36.690 | 36.540 | 36.370 |
| 左 | 41.575 | 41.890 | 42.145 | 42.380 | 42.585 | 42.785 | 42.950 | 43.135 | 43.285 | 43.435 | 43.595 |
| 弦长 D | 3.2 | 3.88 | 4.342 | 4.777 | 5.19 | 5.676 | 5.935 | 6.29 | 6.595 | 6.895 | 7.225 |

| | | | | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 |
| 36.245 | 36.105 | 35.985 | 35.855 | 35.720 | 35.605 | 35.500 | 35.405 | 35.300 |
| 43.735 | 43.865 | 44.005 | 44.125 | 44.260 | 44.375 | 44.480 | 44.605 | 44.715 |
| 7.490 | 7.86 | 8.055 | 8.27 | 8.54 | 8.77 | 8.98 | 9.2 | 9.415 |

根据 $R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 代入数据, 钠黄灯的平均波长为 589.3 m

$$D_m^2 - D_n^2 = 41.462 \times 10^{-6} (\text{m}^2) = 41462 \times 10^{-9} (\text{m}^2)$$

$$R = \frac{41462 \times 10^{-9}}{4 \times 5893 \times 10^{-10} \times 10} = 1.7589 \text{ m} \quad \text{相对误差 } 2.28\%$$

3 结语

从上述结果来看, 在测量中从暗环的外边缘开始测量, 测量干涉环纹暗环的直径和测量干涉环纹暗环的弦长都是可以的, 只要按照严格的规范要求, 没有使环纹产生变形就能测出精确的数据, 得出良好的实验测量效果; 实验操作前需要强调的是,

在测量前需要把干涉环纹调在牛顿环中心位置上, 调节牛顿环上三个螺旋把环纹调在中心位置, 如果三个螺旋旋的太紧, 那么就有可能使干涉环纹出现变形, 如果调的太松, 中心的暗斑变成了亮斑, 这是因为球面和平面之间没有紧密接触从而产生了附加光程差, 在测量之前需要把一些调节注意事项强调给学生, 让学生正确的操作实验仪器, 仔细的测量实验数据, 那么测量干涉环纹的直径和测量干涉环纹的弦长, 是一样的。

参考文献:

- [1] 周希尚, 杨之昌. 牛顿环实验综述 [J]. 物理实验, 1993.
- [2] 曹春梅. 简析变形牛顿环 [J]. 大学物理实验, 2004(1): 35 - 36.
- [3] 宋淑珍等. 牛顿环中心暗斑大小对测量结果影响的研究 [J]. 大学物理实验, 2006.

作者简介: 王雁冰 (1966 -), 男, 内蒙古包头人, 内蒙古科技大学包头师范学院物理科学技术学院实验师, 主要从事物理实验教学, 承担包头师范学院教改项目 (BSJG14Y019)。

(上接第216页)

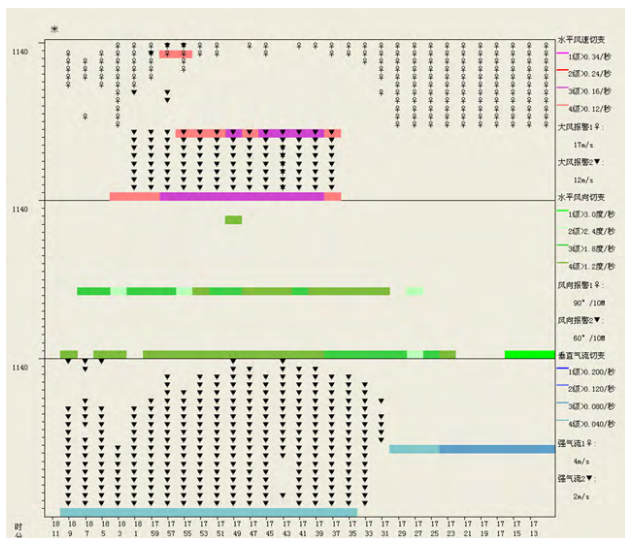


图8 2010年6月25日16:11-17:13不同时刻的风切变图

3.3 小结

从以上的分析中, 我们可以知道边界层风廓线资料有很重要的应用意义, 但风廓线雷达的探测数据部分存在不正确性, 在以后的使用中还需要质量控制。

4 结语

边界层风廓线雷达是用于探测边界层大气风场的无线电遥感系统, 具有高时空分辨率的特征特点, 在短时临近天气预报中的应用日趋广泛, 特别是当有天气过程影响时, 能够对大气在垂直方向上的风场特征进行实时监测, 有效地补充了探空数

据的不足, 以及常规多普勒雷达观测的局限。本文只是通过对边界层风廓线雷达资料的初步认识进行分析, 没有进行数据的统计和定量计算, 水平有限, 并且最近没有发生强对流天气, 未来有望通过个例分析, 进行定量计算, 结合其他探测资料总结分析。

参考文献:

- [1] 张朝林, 王迎春. 北京地区风廓线仪布网方案的数值研究 [J]. 气象学报, 2002, 60(6): 786 - 791.
- [2] 顾映欣, 陶祖钰. UHF 多普勒风廓线雷达资料的初步分析和应用 [J]. 气象, 1991, 17(1): 29 - 33.
- [3] 李晨光, 刘淑媛, 陶祖钰. 华南暴雨试验期间香港风廓线雷达资料的评估 [J]. 热带气象学报, 2003, 19(3): 269 - 276.
- [4] 黄伟, 张沛源, 葛润生. 风廓线雷达估测雨滴谱参数 [J]. 气象科技, 2002, 30(6): 334 - 337.
- [5] 杨引明, 陶祖钰. 上海 LAP_3000 边界层风廓线雷达在强对流天气预报中的应用初探 [J]. 成都信息工程学院学报, 2003, 18(2): 155 - 160.
- [6] 毕亚琴, 张彦飞, 苏敏. 九寨黄龙机场风廓线雷达应用 [J]. 技术与理论, 2007, (3): 10 - 13.
- [7] 古红萍. 风廓线雷达资料在北京夏季强降水天气中的分析和应用及数值模拟 [D]. 中国气象科学研究院, 2007: 10 - 11.

作者简介: 李雪 (1987 -), 女, 汉族, 山东聊城人, 助理工程师, 主要从事气象探测工作。