

学院 2013 年级 通信工程 专业 3 班 姓名 张静

成绩

9.5

实验日期: 2015.5.5 学号 2013204248 同组实验者

实验题目: 牛顿环和劈形膜干涉

一. 实验目的

- 1) 牛顿环产生的原理, 曲率半径测量公式的推导。
- 2) 了解对实验装置的调整要求和测量方法。

二. 实验仪器

牛顿环仪、移测显微镜、低压钠灯、平行平面玻璃两块及待测薄片。

三. 实验原理

1) 利用牛顿环测凸透镜的曲率半径

一个曲率半径很大的平凸透镜, 以其凸面朝下, 放在一块平面玻璃板上(图 29-1), 二者之间形成从接触点中心向周边逐渐增厚的空气膜。若对透镜垂直投射单色平行光, 则空气膜下表面与上表面反射的光就在空气膜上表面附近相遇而干涉, 出现以玻璃接触点为中心的一系列明暗相间的圆环, 即牛顿环。

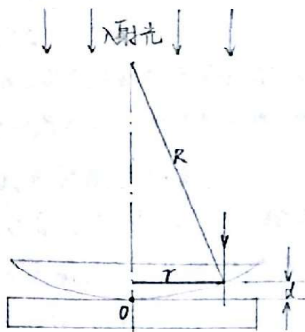


图 29-1 牛顿环的形成

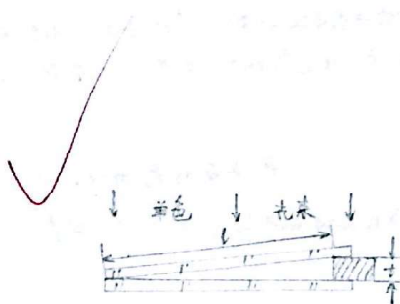


图 29-2 劈形膜

设透镜曲率半径为 R , 与接触点相距 r 处的膜厚为 d , 则

$$r^2 = d(2R - d) = 2Rd - d^2$$

因为 $R \gg d$, 所以 d^2 可略去, 得

$$d = \frac{r^2}{2R} \quad (29-1)$$

光线垂直入射, 几何程差为 $2d$, 还要考虑光波在平面玻璃上反射会有半波损失, 从而带来 $\lambda/2$ 的附加程差, 所以总程差

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} \quad (29-2)$$

产生暗环的条件是

$$\delta = (2m+1)\frac{\lambda}{2} \quad (m=0,1,2,\dots) \quad (29-3)$$

其中 m 为干涉级。联合以上 3 式, 第 m 级暗环半径

$$r_m = \sqrt{mR\lambda} \quad (29-4)$$

实际上, 由于两镜面接触点之间难免存在细微的尘埃, 使程差产生难以确定的变化, 中央亮点可变为亮点或若明若暗; 再者, 接触压力使玻璃产生的形变会使接触点扩大为接触面, 以致接近圆心处的干涉条纹宽阔而模糊, 这就给 m 带来不^暗确定性。根据式 (29-4), 可得

$$r_m^2 = mR\lambda \quad r_n^2 = nR\lambda$$

两式相减, 得: $r_m^2 - r_n^2 = (m-n)R\lambda$

所以

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} \quad (29-5)$$

因 m 和 n 有相同的不确定程度, 利用 $m-n$ 这一相对性测量恰好消除了由绝对测量的不确定性带来的误差。

2) 利用劈形膜干涉测薄片厚度

在叠合的两块平板玻璃的一端夹一薄片, 即构成空气的劈形膜(图 29-2)。在单色光垂直照射下, 可见空气膜上形成平行于两块玻璃面交线的干涉条纹。据式 (29-2), 形成暗条纹的条件是

天津大学物理实验报告

学院 _____ 年级 _____ 专业 _____ 班 姓名 _____ 成绩 _____

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验题目:

$$\delta = 2d + \frac{\lambda}{2} = (k+1)\frac{\lambda}{2} \quad (k=0, 1, 2, \dots) \quad (29-6)$$

与第 k 级暗纹对应的空气膜厚度

$$d = \frac{k\lambda}{2} \quad (29-7)$$

设薄片厚为 t , 从劈形膜尖端到 k 级暗纹和薄片端面的距离分别为 x 和 l , 可知相邻暗条纹的间距

$$\Delta x = \lambda / k \quad (29-8)$$

于是有

$$\lambda / x = t / l \quad (29-9)$$

将式 (29-7) 和式 (29-8) 代入式 (29-9) 得

$$t = \frac{l}{\Delta x} \cdot \frac{\lambda}{2} \quad (29-10)$$

四. 实验步骤

1) 调节仪器

1) 在白光下观察牛顿环仪可以看到很小的彩色干涉环, 轻微调节圆形框架上面的3个调节螺丝, 使环中心大致位于牛顿环仪中心。注意不要拧得过紧以免干涉条纹变形或光学玻璃破裂。

2) 使显微镜筒位于主尺中间, 镜筒下45°反射玻璃对准光源。

3) 将牛顿环仪放在显微镜筒下方的载物台上, 使钠黄光经牛顿环仪反射进入显微镜视场 (见图29-3)。

4) 转动目镜对十字叉丝聚焦, 并使一根叉丝与镜筒移动方向平行。再转动显微镜, 以调焦手轮对牛顿环聚焦并且消除视差。

天津大学物理实验报告

附 页

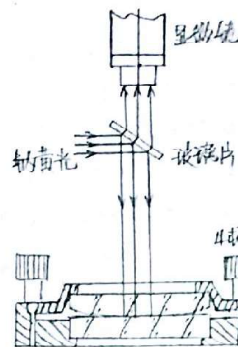


图29-3 牛顿环实验装置

5) 移动牛顿环装置, 让牛顿环中心位于视场中心。移动显微镜筒, 检查环心在左均能看清大约70条以上的干涉环。

2) 测量

由于螺紋间隙带来的移动显微镜, 在改变移动方向时的空程误差, 测量时必须使显微镜的读数鼓轮单向转动读取数据。具体取向由鼓轮上的零点与直尺读值的配合情况决定。例如, 先从中心向一侧移动镜筒, 同时要数叉丝扫过的环数, 到50环后反向移动, 记下50~41环以及25~16环范围内各环的位置 L_m 和 L_n , 再继续移至环心另一侧, 记下16~25和41~50各环的位置读数 L'_m 和 L'_n 。

3) 观察白光牛顿环

以白炽灯取代钠灯, 用显微镜观察牛顿环, 记录干涉条纹的特征。

4) 劈形膜干涉的观察

把劈形膜干涉装置放在移动显微镜的载物台上, 参照牛顿环实验调节光源, 使得测薄片的主边与干涉条纹平行。由劈形膜两个端面的相对位置测得 l , 量出20个暗条纹的总间距计算 Δx 。

五. 数据处理

1) 列表表示测得的数据 L_m , L_n 和 L'_m , L'_n , 以及20个牛顿环的半径 r_m 和 r_n ; 以逐差法求得 $m-n=25$ 的10个 $(r_m^2 - r_n^2)$ 值, 取其平均, 代入式 (29-5) 得出 \bar{R} 。估算 \bar{R} 的不确定度 ($\lambda = 589.3 \text{ nm}$ 视为常量)。

天津大学物理实验报告

天津大学物理实验报告

附 页

学院 _____ 年级 _____ 专业 _____ 班 姓名 _____ 成绩 _____

实验日期: _____ 学号 _____ 同组实验者 _____

实验题目:

记录 L_m, L_n, L'_m, L'_n 如下表:

	L_m/mm		L_n/mm		L'_m/mm		L'_n/mm
50	32.115	25	31.995	16	26.320	41	22.375
49	32.070	24	31.874	17	26.285	40	22.292
48	32.024	23	31.736	18	26.160	39	22.242
47	32.930	22	31.532	19	25.992	44	22.162
46	32.840	21	31.425	20	25.824	43	22.060
45	32.752	20	31.270	21	25.700	46	22.978
44	32.675	19	31.120	22	25.529	47	22.898
43	32.562	18	30.912	23	25.335	48	22.810
42	32.470	17	30.718	24	25.240	49	22.710
41	32.376	16	30.496	25	25.100	50	22.506

计算牛顿环半径: $r_m = \frac{L_m - L'_m}{2}$, $r_n = \frac{L_n - L'_n}{2}$

例: $r_{50} = \frac{L_{50} - L'_{50}}{2} = \frac{32.115 - 22.606}{2} = 5.2795 \text{ mm}$

同理,求得各牛顿环半径,记录如下:

r_m/mm	r_{50}	5.2795	r_{16}	4.2460
	r_{49}	5.1800	r_{24}	4.7565
	r_{48}	5.1070	r_{20}	4.6800
	r_{47}	5.0160	r_{23}	4.5290
	r_{46}	4.9310	r_{21}	4.5105
r_n/mm	r_{25}	3.4475	r_{10}	2.7230
	r_{24}	3.3170	r_{19}	2.5610
	r_{23}	3.2005	r_{18}	2.4060
	r_{22}	3.0215	r_{17}	2.2165
	r_{21}	2.8625	r_{16}	2.0880

利用逐差法求 $(r_m^2 - r_n^2)$ 的值:

$$\begin{aligned} r_{50}^2 - r_{25}^2 &= 5.2795^2 - 3.4475^2 \approx 15.988(\text{mm})^2 \\ r_{49}^2 - r_{24}^2 &= 5.1800^2 - 3.3170^2 \approx 15.820(\text{mm})^2 \\ r_{48}^2 - r_{23}^2 &= 5.1070^2 - 3.2005^2 \approx 15.838(\text{mm})^2 \\ r_{47}^2 - r_{22}^2 &= 5.0160^2 - 3.0215^2 \approx 16.031(\text{mm})^2 \\ r_{46}^2 - r_{21}^2 &= 4.9310^2 - 2.8625^2 \approx 16.121(\text{mm})^2 \\ r_{45}^2 - r_{20}^2 &= 4.8460^2 - 2.7230^2 \approx 16.064(\text{mm})^2 \\ r_{44}^2 - r_{19}^2 &= 4.7565^2 - 2.5610^2 \approx 16.066(\text{mm})^2 \\ r_{43}^2 - r_{18}^2 &= 4.6800^2 - 2.4060^2 \approx 15.928(\text{mm})^2 \\ r_{42}^2 - r_{17}^2 &= 4.5890^2 - 2.2165^2 \approx 16.146(\text{mm})^2 \\ r_{41}^2 - r_{16}^2 &= 4.5105^2 - 2.0880^2 \approx 15.985(\text{mm})^2 \end{aligned}$$

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m-n)\lambda} = \frac{15.988 \times 10^{-6}}{25 \times 589.2 \times 10^{-9}} = 1.085 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} R_1 &= 1.074 \text{ m} \\ R_2 &= 1.075 \text{ m} \\ R_3 &= 1.088 \text{ m} \\ R_4 &= 1.094 \text{ m} \\ R_5 &= 1.093 \text{ m} \\ R_6 &= 1.091 \text{ m} \\ R_7 &= 1.081 \text{ m} \\ R_8 &= 1.096 \text{ m} \\ R_9 &= 1.085 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \overline{(r_m^2 - r_n^2)} &= \frac{(r_{50}^2 - r_{25}^2) + (r_{49}^2 - r_{24}^2) + (r_{48}^2 - r_{23}^2) + (r_{47}^2 - r_{22}^2) + (r_{46}^2 - r_{21}^2) + (r_{45}^2 - r_{20}^2) + (r_{44}^2 - r_{19}^2) + (r_{43}^2 - r_{18}^2) + (r_{42}^2 - r_{17}^2) + (r_{41}^2 - r_{16}^2)}{10} \\ &= \frac{15.933 + 15.820 + 15.838 + 16.031 + 16.121 + 16.064 + 15.928 + 16.146 + 15.985}{10} \end{aligned}$$

$$\approx 15.900(\text{mm})^2$$

代入式(29-5), 得: $\bar{R} = \frac{\overline{(r_m^2 - r_n^2)}}{(m-n)\lambda} = \frac{15.900 \times 10^{-6}}{25 \times 589.2 \times 10^{-9}} \approx 1.079 \text{ m}$

不确定度: $U_R^* = \sqrt{\frac{\sum (R_i - \bar{R})^2}{n(n-1)}} = 2.842 \times 10^{-3}$

置信概率 $P: 68.3\%$

$$U_R = 1.08 U_R^* = 1.08 \times 2.842 \times 10^{-3} = 3.07 \times 10^{-3}$$

$$\therefore \frac{U_R}{\bar{R}} \times 100\% = \frac{2.842 \times 10^{-3}}{1.079} \times 100\% = 0.26\%$$

即 $R = 1.079 \pm 0.003 \text{ m}$

天津大学物理实验报告

学院 年级 专业 班 姓名 成绩

实验日期: 学号 同组实验者

实验题目:

(1) 算出待测薄片的厚度 t , 估算其不确定度 u_t 。

$$t = \frac{L}{\Delta x} \cdot \frac{\lambda}{2} = \text{---}$$

$$\Delta x = \frac{L_2 - L_1}{20}$$

实验测得: 劈形膜两端位置 $L_1: 8.836 \text{ mm}$, $L_2: 45.708 \text{ mm}$

20个条纹宽度起终点位置 $L_3: 22.760 \text{ mm}$, $L_4: 26.100 \text{ mm}$

\therefore 劈形膜长 $L = L_2 - L_1 = 45.708 - 8.836 = 36.872 \text{ mm}$

$$\text{相邻暗条纹间距 } \Delta x = \frac{L_4 - L_3}{20} = \frac{26.100 - 22.760}{20} = 0.167 \text{ mm}$$

$$\therefore t = \frac{L}{\Delta x} \cdot \frac{\lambda}{2} = \frac{36.872}{0.167} \times \frac{589.3 \times 10^{-9}}{2} = 0.064 \text{ mm}$$

(2) 观察白光牛顿环, 记录干涉条纹的特征如下:

呈彩色条纹圆环, 红光波长最长, 在每级最外面。

六. 思考题

(1) 由牛顿环与劈形膜干涉有什么相同与不同之处?

光源由钠灯为光源, 则二者都是明暗相间的条纹; 不同的是牛顿环条纹中间疏外边密, 而劈形膜干涉条纹是等间距的。

(2) 牛顿环各环是否等宽, 环的密度是否均匀, 如何解释?

因为环是由空气膜上下表面反射的两束光干涉形成的, 膜的上表面变化在横面是不均匀的, 故光程差也不是均匀变化的, 所以条纹是不等宽的, 密度也不均匀。

天津大学物理实验报告

附 页

(3) 如何解释用白光照射产生的彩色牛顿环?

产生干涉的条件: $\delta = (k+1)\frac{\lambda}{2}$, $k=0,1,2,\dots$

白光包含不同波长的光, 每种光对应的同级暗纹的光程差都不同, 所以位置不同, 形成各色干涉条纹也如此, 使白光散开, 成为彩色牛顿环。

(4) 若用单色光照射由平凹透镜的曲面和平玻璃板形成的空气薄膜, 如何分析这个装置产生的干涉条纹的形状?

因为空气膜的厚度为圆形厚度, 所以仍是明亮相间的圆形干涉条纹。区别为, 凹透镜中心处空气膜最厚, 两边最薄, 与凸透镜相反。

七. 总结

由于实验中记录牛顿环的环数时可能会出错, 所以环的位置记录可能有偏差, 牛顿环有时不是很清晰也可能造成偏差。需要准确对焦并认真记录环的个数及位置。



天津大学

TIANJIN UNIVERSITY

L_m	L_n	L_m	L_n	L_m	L_n	L_m	L_n
1. 50	33.115	25	31.995	16	26.320	44	22.375
49	33.070	24	31.874	17	26.285	43	22.292
48	33.034	23	31.736	18	26.100	42	22.242
47	32.930	22	31.552	19	25.998	41	22.162
46	32.840	21	31.425	20	25.824	40	22.060
45	32.762	20	31.270	21	25.700	39	22.978
44	32.675	19	31.120	22	25.509	38	22.878
43	32.562	18	30.912	23	25.335	37	22.810
42	32.470	17	30.728	24	25.240	36	22.710
41	32.396	16	30.496	25	25.100	35	22.606

2. 梯形膜

两端位置 l_1 : 8.836

l_2 : 45.208

$$l = l_2 - l_1 = 36.372 \text{ mm}$$

20条波起、终点位置: l_3 : 22.760

l_4 : 26.100

$$\Delta x = \frac{l_4 - l_3}{20} = \frac{26.100 - 22.760}{20} = 0.167 \text{ mm}$$

5.6
7.5