

班号 2103206 学号 210320621 姓名 吴俊达 教师签字 吴俊达  
 实验日期 2023.5.12 组号 \_\_\_\_\_ 预习成绩 2 总成绩 \_\_\_\_\_

### 实验名称 光的等厚干涉现象与应用

#### 一、预习

预习指导书，设牛顿环的第  $m$  级暗环半径为  $r_m$ ，该处对应的空气隙厚度为  $d$ ，凸透镜的凸面曲率半径为  $R$ ，空气隙折射率取  $n=1$ ，推导出牛顿环的第  $m$  级暗环半径  $r_m$  的表达式

$$r_m = \sqrt{m\lambda \left( R - \frac{m\lambda}{4} \right)}$$

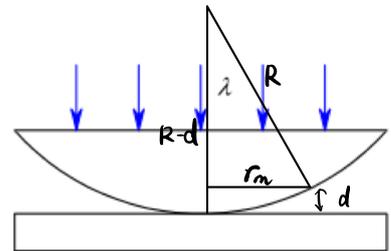
如右图，推导如下：

由勾股定理  $R^2 = (R-d)^2 + r_m^2$ ,

则  $r_m^2 = 2Rd - d^2$  ①

第  $m$  级暗环满足  $2nd + \frac{1}{2} = m\lambda + \frac{1}{2} \quad (m=0, 1, \dots) \Rightarrow d = \frac{m\lambda}{2n} = \frac{m\lambda}{2}$   
 → 下表面反射有半波损失  
 而上表面反射没有

代入①，则有  $r_m = \sqrt{2R \times \frac{m\lambda}{2} - \left(\frac{m\lambda}{2}\right)^2} = \sqrt{m\lambda \left( R - \frac{m\lambda}{4} \right)}$ .



## 二、原始数据记录

1.

牛顿环测透镜曲率半径数据记录

环的序数	$m$	31	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21
		36.783	36.720	36.656	36.591	36.521	36.451	36.380	36.310	36.238	36.164	36.087
环的位置读数	左	26.363	26.298	26.237	26.168	26.099	26.032	25.961	25.891	25.820	25.745	25.670
/mm	右	18.075	18.138	18.202	18.269	18.338	18.417	18.480	18.552	18.622	18.698	18.777
		28.499	28.559	28.625	28.694	28.763	28.827	28.896	28.965	29.040	29.110	29.184

环的序数	$n$	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10
		35.010	35.935	35.858	35.772	35.685	35.600	35.506	35.410	35.315	35.210	35.102
环的位置读数	左	25.590	25.510	25.430	25.345	25.257	25.170	25.079	24.987	24.888	24.785	24.673
/mm	右	18.860	18.932	19.007	19.095	19.178	19.263	19.355	19.440	19.550	19.648	19.769
		29.268	29.345	29.427	29.509	29.600	29.686	29.779	29.870	29.969	30.070	30.173

2.

$$\lambda = 589.3 \text{ nm}$$

$$L = 3.90 \text{ cm} \quad d = L \frac{\lambda}{2}$$

劈尖干涉测磁带厚度数据记录

→ 劈尖接到磁带的总长

测量次数	第 $i$ 条干涉条纹位置 $x_1$ (mm)	第 $(i+10)$ 条干涉条纹位置 $x_2$ (mm)
1	21.179	29.358
2	21.702	29.851
3	22.165	30.294
4	21.479	29.613
5	21.870	29.021

21.515

29.682

教师	姓名
签字	

### 三、数据处理

用逐差法求  $D_m^2 - D_n^2$  的平均值；计算曲率半径  $R$  的平均值及不确定度；计算磁带的厚度，要有完整的计算过程。

解：（一）牛顿环实验：

$D_m^2$  的计算如下：

环的序数	<b>m</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>
环的位置读数 /mm	左	26.363	26.298	26.237	26.168	26.099
	右	18.075	18.138	18.202	18.269	18.338
环的直径 $D_m$ /mm		8.288	8.160	8.035	7.899	7.761
$D_m^2$		68.69	66.59	64.56	62.39	60.23

环的序数	<b>m</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>
环的位置读数 /mm	左	26.032	25.961	25.891	25.820	25.745	25.670
	右	18.417	18.480	18.552	18.622	18.698	18.777
环的直径 $D_m$ /mm		7.615	7.481	7.339	7.198	7.047	6.893
$D_m^2$		57.99	55.97	53.86	51.81	49.66	47.51

$D_n^2$  的计算如下：

环的序数	<b>n</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>16</b>
环的位置读数 /mm	左	25.590	25.510	25.430	25.345	25.257
	右	18.860	18.932	19.007	19.095	19.178
环的直径 $D_n$ /mm		6.730	6.578	6.423	6.250	6.079
$D_n^2$		45.29	43.27	41.25	39.06	36.95

环的序数	<b>n</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
环的位置读数 /mm	左	25.170	25.079	24.987	24.888	24.785	24.673
	右	19.263	19.355	19.440	19.550	19.648	19.769
环的直径 $D_n$ /mm		5.907	5.724	5.547	5.338	5.137	4.904
$D_n^2$		34.89	32.76	30.77	28.49	26.39	24.05

$D_m^2 - D_n^2$  的计算如下：

环的序数	<b>m</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>
	<b>n</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>16</b>
$D_m^2 - D_n^2$		23.40	23.32	23.31	23.33	23.28

环的序数	<b>m</b>	<b>26</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>
	<b>n</b>	<b>15</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
$D_m^2 - D_n^2$		23.10	23.20	23.09	23.32	23.27	23.46

根据逐差法，得  $\overline{D_m^2 - D_n^2} = \frac{1}{11} \sum_{n=10}^{20} (D_{n+11}^2 - D_n^2) = 23.28 \text{mm}^2$ 。

曲率半径  $\bar{R} = \frac{\overline{D_m^2 - D_n^2}}{4(m-n)\lambda} = \frac{23.28 \text{mm}^2}{44 \times 589.3 \text{nm}} = 897.8 \text{mm}$ 。

下面计算不确定度。

$$U_{\overline{D_m^2 - D_n^2}} = \sqrt{S_{\overline{D_m^2 - D_n^2}}^2 + u^2} \approx S_{\overline{D_m^2 - D_n^2}} = \sqrt{\frac{1}{11 \times 10} \sum_{i=1}^{11} [(D_m^2 - D_n^2)_i - (\overline{D_m^2 - D_n^2})]^2}$$

环的序数	<b>m</b>	<b>31</b>	<b>30</b>	<b>29</b>	<b>28</b>	<b>27</b>	<b>26</b>
	<b>n</b>	<b>20</b>	<b>19</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>15</b>
$(D_m^2 - D_n^2)_i - (\overline{D_m^2 - D_n^2})$		0.12	0.04	0.03	0.05	0.00	-0.18
$[(D_m^2 - D_n^2)_i - (\overline{D_m^2 - D_n^2})]^2$		0.01440	0.001600	0.0009000	0.002500	0.00	0.03240

环的序数	<b>m</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>23</b>	<b>22</b>	<b>21</b>
	<b>n</b>	<b>14</b>	<b>13</b>	<b>12</b>	<b>11</b>	<b>10</b>
$(D_m^2 - D_n^2)_i - (\overline{D_m^2 - D_n^2})$		-0.08	-0.19	0.04	-0.01	0.18
$[(D_m^2 - D_n^2)_i - (\overline{D_m^2 - D_n^2})]^2$		0.006400	0.03610	0.001600	0.0001000	0.03240

此处所有的平方结果都保留四位有效数字。

代入计算得  $U_{\overline{D_m^2 - D_n^2}} = 0.03416 \text{mm}^2$ 。

$$\text{不确定度 } U_{\overline{R}} = \frac{U_{\overline{D_m^2 - D_n^2}}}{4(m-n)\lambda} = \frac{0.03416}{44 \times 589.3} \text{mm} = 1.317 \text{mm}。$$

$$\text{相对误差 } E = \frac{U_{\overline{R}}}{\overline{R}} \times 100\% = \frac{1.317}{897.8} \times 100\% = 0.1467\%。$$

## (二) 测量磁带厚度实验

劈棱到磁带端的总长  $\overline{L} = 3.90 \text{cm} = 39.0 \text{mm}$

10 个条纹间距及其平均值如下：（共测了 6 组数据）

实验次数/次	1	2	3	4	5	6
$x_1/\text{mm}$	21.179	21.702	22.165	21.479	20.870	21.515
$x_2/\text{mm}$	29.358	29.851	30.294	29.613	29.021	29.682
$l/\text{mm}$	8.179	8.149	8.129	8.134	8.151	8.167

$\overline{l} = 8.152 \text{mm}$ ，则单位长度干涉条纹条数为  $\frac{10}{\overline{l}} = 1.227 \text{mm}^{-1}$ ，

$$\text{磁带厚度 } d = \frac{h\overline{L}\lambda}{2} = \frac{1.227 \times 39.0 \times 589.3}{2} \text{nm} = 14.10 \mu\text{m}$$

## 四、实验结论及现象分析

根据逐差法，得  $\overline{D_m^2 - D_n^2} = \frac{1}{11} \sum_{n=10}^{20} (D_{n+11}^2 - D_n^2) = 23.28 \text{mm}^2$ 。

$$\text{曲率半径 } \overline{R} = \frac{\overline{D_m^2 - D_n^2}}{4(m-n)\lambda} = \frac{23.28 \text{mm}^2}{44 \times 589.3 \text{nm}} = 897.8 \text{mm}。$$

$$\text{不确定度 } U_{\overline{R}} = \frac{U_{\overline{D_m^2 - D_n^2}}}{4(m-n)\lambda} = \frac{0.03416}{44 \times 589.3} \text{mm} = 1.317 \text{mm}。$$

$$\text{相对误差 } E = \frac{U_{\overline{R}}}{\overline{R}} \times 100\% = \frac{1.317}{897.8} \times 100\% = 0.1467\%。$$

$$\text{磁带厚度 } d = \frac{h\overline{L}\lambda}{2} = \frac{1.227 \times 39.0 \times 589.3}{2} \text{nm} = 14.10 \mu\text{m}。$$

## 五、讨论题

1. 理论上牛顿环中心是个暗点，实际上看到的往往是个忽明忽暗的班，其原因是什么？对透镜曲率半径 $R$ 测量有无影响？
2. 实验中，若平板玻璃上有微小的凸起，则凸起处的干涉条纹会发生如何变化？

答：1. 因为牛顿环装置的平凸透镜和底板玻璃接触时，由于接触压力引起形变，使接触处并非一个点而是一圆面；装置也不可能完全密封（可能有微尘进入），引入附加光程差。所以牛顿环中心的光程差不一定对应 $\frac{\lambda}{2}$ ，可能略大或略小，当它恰好等于半波长偶数倍的时候，此处就出现亮条纹了。

对透镜的曲率半径测量无影响。因为在我们的数据处理中，已经去除了实验装置圆心处附加厚度的影响。推导如下：（图见实验报告第1页预习题）

假定该实验装置圆心处附加厚度为 $a$ ，则图中第 $k$ 级条纹对应空气层的厚度为 $d_k+a$ 。形成暗纹的条件为： $\Delta = 2(d_k + a) + \lambda / 2 = (2k + 1)\lambda / 2, k = 0, 1, 2, \dots$ ，得 $d_k + a = k\lambda / 2, k = 0, 1, 2, \dots$

由勾股定理仍有 $R^2 = (R - d_k)^2 + r_k^2$ ，因此仍有 $2Rd_k - d_k^2 = r_k^2$ ，式中第二项很小，可以忽略，再将上式代入，得到 $r_k^2 = 2R(k\lambda / 2 - a) = Rk\lambda - 2Ra$ 。

取 $k = m$ 、 $k = n$ ，将 $r_m^2$ 和 $r_n^2$ 相减得 $r_m^2 - r_n^2 = (m - n)R\lambda$ ，得不含 $a$ 的表达式 $R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{(m - n)\lambda}$ ，或者本

次实验中使用的 $R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m - n)\lambda}$ 。可见， $R$ 的表达式与 $a$ 无关，所以对透镜曲率半径 $R$ 测量无影响。

2. 凸起处的干涉条纹会向外（背离劈尖方向）弯曲。