

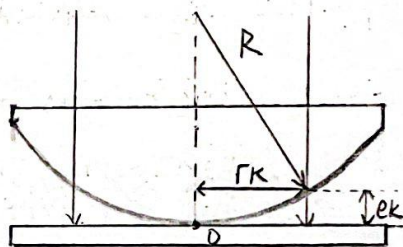
【实验目的】

1. 理解牛顿圈和劈尖干涉条纹的成因
2. 学会用等厚干涉法测量平透镜曲率半径和薄膜厚度
3. 学会使用读数显微镜

【实验原理】（电学、光学画出原理图）

1. 牛顿圈

若将一束单色光垂直地投射至右图装置，入射光将在空气层上下两表面反射且在上表面相遇，在反射光会形成一系列以O为中点的，明暗相间的同心圆圈，叫牛顿圈。其中，两束相干光的光程差为



$\delta = 2ekn + \frac{\lambda}{2}$ (n 为空气的折射率) 满足明暗圈的干涉条件分别是

$$\begin{cases} \delta = 2ek + \frac{\lambda}{2} = k\lambda & \text{明圈} \\ \delta = 2ek + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} & \text{暗圈} \end{cases}$$

由几何关系可得 $R^2 = r_k^2 + (R - e_k)^2$

R 是透镜的曲率半径. $\because R \gg e_k, \therefore e_k = \frac{r_k^2}{2R}$. 若将结果代入上式, 可得

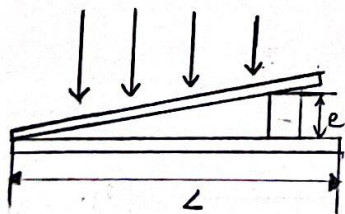
$$\begin{cases} r_k^2 = (2k-1) \cdot R \cdot \frac{\lambda}{2} & \text{明圈} \\ r_k^2 = k \cdot \lambda \cdot R & \text{暗圈} \end{cases}$$

由此可知, 圈的半径越大, 相应的干涉级数越高.

为方便测量, 实验中利用暗圈公式来计算透镜曲率半径. 若设 a 为引入误差项, 则 R 的计算公式为.

$$R = \frac{r_m^2 - r_n^2}{4(m-n)\lambda} = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda} \quad (d_m \text{ 为第 } m \text{ 圈直径, } d_n \text{ 为第 } n \text{ 圈直径})$$

2. 劈尖



当两片很平的玻璃叠合在一起时, 并在其中一端垫入薄片时, 两玻璃片之间就形成夹角很小的空气薄膜. 在单色光垂直照射下, 经空气上下膜表面反射后两束反射光在薄膜上表面附近相遇并产生干涉, 为间隔相等且平行于玻璃交线的明暗交替的条纹.

设劈尖到待测薄膜厚度 e 处的距离为 L , 在这一间隔中明或暗条纹数为 N , 在忽略劈尖小脏物或灰尘线条等影响下, 厚度 $e = \frac{N \cdot \lambda}{2}$. 而 $N = n \cdot L$. (n 为单位长度上明或暗条纹的数目)

$$\therefore e = n \cdot L \cdot \frac{\lambda}{2}$$

任意取一条条纹, 记录读数显微镜当前位置 S_1 . 依次读取 20 条条纹位置, 每 10 条条纹的平均间距

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=1}^{20} (S_{x+i0} - S_x)}{10} \quad \therefore n = \frac{10}{\bar{S}}$$

$$\therefore e = \frac{50 \lambda L}{\sum_{i=1}^{20} (S_{x+i0} - S_x)}$$

【实验内容】（重点说明）

1. 读数显微镜系统调节

- ① 开启钠灯，将牛顿圈或劈尖样品盒放在玻片架下，将玻片架放置在读数显微镜的物镜正下方。
- ② 调整钠灯位置，使钠光正对读数显微镜物镜。
- ③ 调节读数显微镜目镜，使十字叉丝最清晰。调节物镜调焦滚轮，同时转动玻片架上的玻片（约向前方倾斜 45° ），使干涉条纹既清晰又明亮。
- ④ 转动鼓轮读数盘，开始读取位置。

2. 利用牛顿圈测量平凸透镜曲面的曲率半径

- ① 把牛顿圈样品盒放入玻片架内，正对显微镜下方，打开钠光灯，调节玻片使显微镜中可以看到较强黄光。
- ② 调节显微镜，清晰看见牛顿圈，移动样品盒，使叉丝与干涉条纹相切，并旋转鼓轮读数盘，使显微镜筒往一个方向移动，对每一圈一一读数直至通过牛顿圈中心，继续左移读出1至10圈的读数，记录数据，算出牛顿圈直径。

3. 测量薄片厚度

- ① 把夹有涤纶纸片的两平晶样品盒放入玻片架内，正对显微镜下方。
- ② 调整反光玻片方向使显微镜中看到较强黄光，然后调节显微镜直至看见清晰干涉条纹（如图）。



若条纹出现倾斜，说明两平晶间留有灰尘或涤纶纸片不平，应用专用的擦镜纸把平晶再擦干净或轻轻压涤纶纸片，使条纹恢复正常。

在测量过程中要始终保持叉丝垂直显微镜筒的标尺方向。

【实验器材及注意事项】

实验器材：样品架（平凸透镜与平板玻璃组成的牛顿圈装置或两块叠在一起的平板玻璃组成的劈尖装置），单色光源（钠光灯），读数显微镜

- 注意事项：钠光灯
- ① 开亮后需等数分钟才会发出强的黄光。
 - ② 每开、关一次对灯的寿命很有影响，不要轻易开、关。
 - ③ 应垂直放置，不得倾倒，以免金属钠流动，影响灯的性能。

读数显微镜 ① 测量过程中读数显微镜的鼓轮只能往一个方向转动。

② 正式读数之前，鼓轮必须先转几圈，以便去除初始值。

③ 实验数据常用差值法处理，以减小系统误差带来的影响。

④ 读数值等于主刻度尺数据加鼓轮数盘上数据，并估读至 10^{-4} 。

【数据处理与结果】

一. 牛顿圆测量平凸透镜曲面的曲率半径 ($\lambda = 589.3 \text{ nm}$) 数据记录表

圈数 <i>k</i>	标尺读数		$d_k - d_5$	直径平方	相邻圆直径平方之差	R/m
	d_k/mm	d_5/mm	$/mm$	d_k^2/mm^2		
10	21.084	26.279	-5.195	26.988	$d_{10}^2 - d_5^2 = 11.875$	1.009
9	21.202	26.157	-4.955	24.552	$d_9^2 - d_5^2 = 11.821$	1.002
8	21.339	26.037	-4.698	22.071	$d_8^2 - d_5^2 = 11.959$	1.015
7	21.473	25.876	-4.423	19.563	$d_7^2 - d_5^2 = 12.077$	1.025
6	21.598	25.750	-4.152	17.239	$d_6^2 - d_5^2 = 12.185$	1.034
5	21.736	25.621	-3.885	15.093		
4	21.901	25.469	-3.568	12.731		
3	22.107	25.287	-3.180	10.112		
2	22.332	25.068	-2.736	7.486		
1	22.568	24.816	-2.248	5.054		

二. 利用劈尖测量薄片厚度数据记录表 ($\lambda = 589.3 \text{ nm}$)

标尺读数 S/mm	标尺读数 S/mm	$(S_{k+10} - S_k) / mm$	e/mm
44.305	40.810	3.495	4.031×10^{-2}
43.885	40.515	3.370	
43.492	40.270	3.222	
43.118	39.992	3.126	
42.765	39.650	3.115	
42.400	39.213	3.187	
42.074	39.068	3.006	
41.737	38.631	3.106	
41.413	38.359	3.054	
41.121	38.110	3.011	

一. 由公式 $R = \frac{d_m^2 - d_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 可得 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 的计算结果

$$\bar{R} = \frac{\sum R_i}{5} = 1.017 \text{ m.}$$

$$\Delta R = \sqrt{\frac{1}{5 \times 4} \sum_{i=1}^5 (R_i - \bar{R})^2} = 0.006 \text{ m.}$$

$$\therefore R = (1.017 \pm 0.006) \text{ m.}$$

$$R_1 = \frac{d_{10}^2 - d_5^2}{4(10-5)\lambda} = 1.009$$

$$R_2 = \frac{d_9^2 - d_5^2}{4 \times 5 \times \lambda} = 1.002$$

$$R_3 = \frac{d_8^2 - d_5^2}{4 \times 5 \times \lambda} = 1.015$$

$$R_4 = \frac{d_7^2 - d_5^2}{4 \times 5 \times \lambda} = 1.025$$

$$R_5 = \frac{d_6^2 - d_5^2}{4 \times 5 \times \lambda} = 1.034$$

$$\bar{S} = \frac{\sum (S_{k+10} - S_k)}{10} = 3.167 \text{ mm}$$

$$\text{条纹密度 } \rho = \frac{10}{\bar{S}} \approx 3.158 \times 10^3 \text{ 条/m.}$$

$$\therefore L_1 = 50.841 \text{ mm}$$

$$L_2 = 7.517 \text{ mm}$$

$$\therefore L = 43.324 \text{ mm}$$

根据公式 $e = \frac{50 \times L \times \lambda}{\sum_{k=1}^5 (S_{k+10} - S_k)}$ 可得相应结果

$$e = 4.031 \times 10^{-2} \text{ mm}$$

【误差分析】

1. 测量劈尖形成的明暗条纹时, 条纹难以调节至准确与“+”叉丝平行, 会引入偏角 θ , 使测量数据结果偏大。
 $d \sin \theta = d_{\text{测}} \cdot \cos \theta$ 。另外, 因为条纹本身存在宽度, 在决定测量位置时, 存在误差。
2. 因实验仪器精度限制, 存在读数误差。因实验者主观估读, 存在估读误差。若使用读数显微镜读数时非单向转动, 会因齿轮咬合结构空隙而引入误差。
3. 牛顿圆实验中, 最终计算曲率半径的表达式为近似方程 (需要以 $R \gg ek$) 作为前提, ek 为空气层高度, 因而存在一定的系统误差。
4. 因劈尖装置需要橡胶固定, 在测量劈尖夹角总长度时, 会受到黑色橡胶影像的影响, 因而使 \angle 的测量带有误差。
5. 在测量暗纹间间距及牛顿圆暗纹半径时, 必要时会移动钠灯或显微镜, 可能引起条纹清晰及稳定程度的变化, 从而给数据测量引入误差。

【实验心得及思考题】

思考题 1:

在开始测量前, 使“+”叉丝移于较初始端较远的位置, 自此开始单向转动以测量数据, 使读数显微镜齿轮结构一直处于啮合状态。

思考题 2:

数据推导 $r_k^2 = k\lambda R$ 所以暗纹半径与波长关系为 $r = \sqrt{k\lambda R}$ ($k \in N$) 因而条纹的密度差异由 k 倍波长引起, 即与空气薄膜的厚度相关。

牛顿圆半径增大, 薄膜厚度增加, 且变化率也逐渐增大, 每变化一个波长所引起的半径长度变化逐渐减小 $r_1:r_2:r_3 \dots = 1:\sqrt{2}:\sqrt{3} \dots$ 的趋势特点, 因而条纹越来越密。

思考题 3:

可以, 但相位可能存在差异。

以牛顿圆为例干涉条纹的形成是由于空气层上下表面的反射光所引起, 因反射较强的位置, 根据能量守恒定律, 透射光相对较少, 也可形成相位不同的干涉条纹。

实验心得:

较为速战速决的一个光学实验, 但真正将课本中理论知识付诸于实践时, 干涉仿佛变得更加有趣。在高中、在大学, 我们都学习了干涉, 而课本上的图解, 则正是基于牛顿圆与劈尖这两大类。在本次实验中, 亲身获得教科书理论讲解图的效果, 可谓成就感满满, 不得不承认, 光学实验对眼力、对专注度的要求真的很高, 仅有显微镜上的小小一柄, 便要去观察干涉所造的神奇世界, 而钠灯的轻微移动往往可以使条纹呈现明暗产生较大的差异, 可谓是个精工活。

在实验中, 因为测量数据的需要, 镜筒必须左右移动以读取间隔数据, 但一些时刻往往会受到光源条件的限制, 必须调整钠灯或显微镜位置来寻找合适且适当的观察环境, 但钠灯或显微镜的移动往往会使更清晰稳定的条纹发生一些变化, 有时极具影响测量结果, 干扰对数据的测量与读取, 希望可以克服一下相关问题, 进而使实验结果更准确。