一、预习报告（10分）

1. 实验综述 （5分）

   实验现象：

   在实验过程中观察到，牛顿圈为明暗相间的同心圆环，中心通常为暗斑，条纹内疏外密；劈尖干涉产生平行、等间距的明暗直条纹，向薄端弯曲。

   实验原理：

   （1）牛顿圈

   将一束单色光垂直地投射进一块放在平玻璃上的平凸透镜上（曲率半径相当大，凸面朝下），入射光在空气层上下表明反射，在上表面相遇，在反射光中形成一系列以接触点O为中心的明暗相同的同心圆圈（称为牛顿圈）。其中，两束相干光的光程差$\delta = 2e_k n + \frac{\lambda}{2}$。其中，n为空气折射率，实验中近似为1，$\frac{\lambda}{2}$是由光从光疏介质到光密介质交界面上反射发生的半波损失引起的。

   由明暗圈的干涉条件可得：

$$\begin{cases} \delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda & (k = 1, 2, 3, \cdots) \quad (\text{明圈}) \\ \delta = 2e_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} & (k = 1, 2, 3, \cdots) \quad (\text{暗圈}) \end{cases}$$

由课本图的几何关系可知：

$$R^2 = r_k^2 + (R - e_k)^2$$

即 $r_k^2 = 2e_k R - e_k^2$， R是透镜的曲率半径。由于 $R >> e_k$，所以上式近似为

$$e_k = \frac{r_k^2}{2R}$$

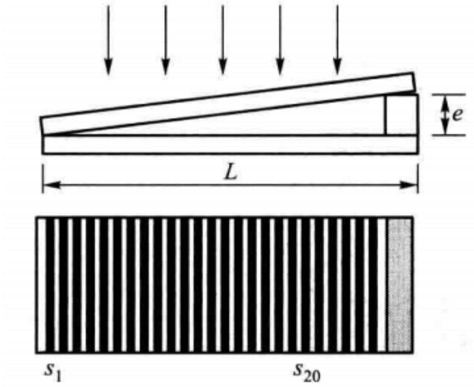
将此式代入明、暗圈公式分别有：

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

为了消除由于接触点$e_k \neq 0$造成的系统误差，可以分别测出第n圈的半径r_a和第m圈的半径r_m,($m > n$)。实验中利用了暗圈公式来计算透镜曲率半径，因此得到${r_m}^2 = m\lambda R + a$和${r_n}^2 = n\lambda R + a$，其中a为引入误差项，两式相减2得到R的计算公式：

$$R = \frac{{r_m}^2 - {r_n}^2}{(m-n)\lambda} = \frac{{d_m}^2 - {d_n}^2}{(m-n)\lambda}$$

(2)劈尖



单色光束垂直照射如图平玻璃片，上下表面产生的两束反射光在空气薄膜上表面附近相遇并干涉，干涉条纹是明暗相间的，在空气薄膜中对应的厚度差等于$\lambda/2$。设劈尖到待测薄膜厚度 e 处的距离为 L，在这段距离中明条纹或暗条纹数为 N，在忽略劈尖小脏物或灰尘线度等影响下，厚度为 $e = N\lambda/2$，而 $N = nL$，n 为单位长度上的明条或暗条的数目。

$$e = nL\frac{\lambda}{2}①$$

任意取一条条纹，记录读数显微镜当前位置为 s_1，依次读取 20 条条纹的位置，其中每 10 条条纹的平均间距值为：

$$\bar{s} = \frac{\sum_{x=1}^{10}(s_{x+10} - s_x)}{10}$$

$\therefore n = \frac{10}{\bar{s}}$，代入①式后为：

$$e = \frac{50L\lambda}{\sum_{x=1}^{10}(s_{x+10} - s_x)}$$

所以我们可以通过读取任意20条干涉条纹的位置和劈尖到待测薄膜边缘间的距离L来测定待测薄膜厚度e。

实验方法：

该实验主要运用了光的干涉法、转换测量法和逐差法。通过将微小的厚度、曲率变化转换为易于观测的干涉条纹，并利用条纹间距和位置进行精确测量。

2. 实验重点（3分）

掌握钠光灯与读数显微镜的配合使用，通过调节玻片架角度和显微镜焦距获得清晰干涉条纹；准确测量牛顿圈各环直径或劈尖连续条纹位置，运用逐差法处理数据，根据相应公式计算平凸透镜曲率半径或薄膜厚度。

3. 实验难点（2分）

有效消除读数显微镜空程误差，精准判定牛顿圈中心及环序；保持叉丝与条纹严格相切，避免视差；确保劈尖条纹质量，排除灰尘干扰。

二、原始数据（20分）

0.299　42.479　$R=\frac{d_m^2-d_n^2}{4(m-n)\lambda}$

圈数号 (k)	$d_右$ (mm)	$d_左$ (mm)	$d_右-d_左$ (mm)	直径平方 d_k^2 (mm^2)	相隔6圈直径平方数之差	R (m)
12	2.249	7.794	5.545	30.75	$d_{17}^2-d_{11}^2$	
11	2.370	7.678	5.308	28.17	$d_{16}^2-d_{10}^2$	
10	2.496	7.560	5.064	25.64	$d_{15}^2-d_9^2$	
9	2.608	7.490	4.882	23.83	$d_{14}^2-d_8^2$	
8	2.748	7.310	4.562	20.81	$d_{13}^2-d_7^2$	
7	2.881	7.168	4.287	18.38	$d_{12}^2-d_6^2$	
6	3.026	7.024	3.998	15.98	14.77	1.044
5	3.192	6.852	3.660	13.40	14.77	1.044
4	3.371	6.671	3.300	10.89	14.75	1.043
3	3.569	6.463	2.894	8.375	15.46	1.093
2	3.808	6.250	2.442	5.963	14.85	1.050
1	4.082	5.939	1.857	3.448	14.93	1.056

$\bar{R}=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}R_i=\frac{1}{6}(1.044+1.044+1.043+1.093+1.050+1.056)\,m=1.055m$

$u(R)=\sqrt{\frac{1}{6\times5}\sum_{i=1}^{6}(R_i-\bar{R})^2}=\sqrt{\frac{1}{30}[(1.046-1.055)^2+\cdots+(1.056-1.055)^2}=0.008\,mm$

$\therefore R=(1.055\pm0.008)\,mm$

$e=\frac{5\lambda L}{S_{x+10}-S_x}$，$\lambda=589.3nm$

$L=42.18mm$

标尺读数 s (mm)	标尺读数 s (mm)	$s_{x+10}-s_x$ (mm)	e (mm)
$s_1=$ 15.479	$s_{11}=18.341$	$s_{11}-s_1=2.862$	0.04343
$s_2=15.780$	$s_{12}=18.611$	$s_{12}-s_2=2.831$	0.04390
$s_3=16.080$	$s_{13}=18.871$	$s_{13}-s_3=2.791$	0.04453
$s_4=16.378$	$s_{14}=19.128$	$s_{14}-s_4=2.750$	0.04519
$s_5=16.673$	$s_{15}=19.393$	$s_{15}-s_5=2.720$	0.04569
$s_6=16.955$	$s_{16}=19.650$	$s_{16}-s_6=2.695$	0.04612
$s_7=17.240$	$s_{17}=19.897$	$s_{17}-s_7=2.657$	0.04678
$s_8=17.522$	$s_{18}=20.158$	$s_{18}-s_8=2.636$	0.04715
$s_9=17.800$	$s_{19}=20.407$	$s_{19}-s_9=2.607$	0.04767
$s_{10}=18.080$	$s_{20}=20.670$	$s_{20}-s_{10}=2.590$	0.04799

$\bar{e}=\frac{50L\lambda}{\sum_{i=1}^{10}(S_{i+10}-S_i)}=\frac{50\times42.18\times589.3\times10^{-6}}{\sum_{i=1}^{10}(S_{i+10}-S_i)}=$

三、结果与分析（60分）

1. 数据处理与结果（30分）
   ①牛顿环曲率半径

圈数号 (k)	$d_{右}$ (mm)	$d_{左}$ (mm)	$d_{右}-d_{左}$ (mm)	直径平方 d_k^2 (mm^2)	相隔6圈直径平方数之差	R (m)
12	2.249	7.794	5.545	30.75	$d_{17}^2-d_{11}^2$	
11	2.370	7.678	5.308	28.17	$d_{16}^2-d_{10}^2$	
10	2.496	7.560	5.064	25.64	$d_{15}^2-d_9^2$	
9	2.608	7.490	4.882	23.82	$d_{14}^2-d_8^2$	
8	2.748	7.310	4.562	20.81	$d_{13}^2-d_7^2$	
7	2.881	7.168	4.287	18.38	$d_{12}^2-d_6^2$	
6	3.026	7.024	3.998	15.98	14.71	1.044
5	3.192	6.852	3.660	13.40	14.71	1.044
4	3.371	6.671	3.300	10.89	14.75	1.043
3	3.569	6.463	2.894	8.375	15.46	1.093
2	3.808	6.250	2.442	5.963	14.85	1.050
1	4.082	5.939	1.857	3.448	14.93	1.056

其中，$d_{右}$和$d_{左}$为测量得到的数据，R是通过$R=\frac{{d_m}^2-{d_n}^2}{4(m-n)\lambda}$计算得到的。

$$\overline{R}=\frac{1}{6}\sum_{i=1}^{6}R_i=\frac{1}{6}(1.044+1.044+1.043+1.083+1.050+1.056)\mathrm{m}=1.055\mathrm{m}$$

仅考虑R的B类不确定度，计算过程如下：(因显示原因，将公式拆为两部分显示)

$$\begin{aligned}u(R)&=\sqrt{\frac{1}{6\times5}\sum_{i=1}^{6}(R_i-\bar{R})^2}\\&=\sqrt{\frac{1}{30}\times S}\\S&=(1.044-1.053)^2+(1.044-1.053)^2+(1.043-1.053)^2\\&\quad+(1.083-1.053)^2+(1.050-1.053)^2+(1.056-1.053)^2\\\therefore u(R)&=0.006\mathrm{m}\end{aligned}$$

最终可得

$$R=(1.053\pm0.006)\mathrm{m}$$

②测量薄膜厚度

标尺读数 S (mm)	标尺读数 S (mm)	$S_{x+10}-S_x$ (mm)	e (mm)
$S_1=15.479$	$S_{11}=18.741$	$S_{11}-S_1=2.862$	0.04343
$S_2=15.780$	$S_{12}=18.611$	$S_{12}-S_2=2.831$	0.04390
$S_3=16.080$	$S_{13}=18.871$	$S_{13}-S_3=2.791$	0.04453

标尺读数 S (mm)	标尺读数 S (mm)	$S_{x+10}-S_x$ (mm)	e (mm)
$S_4=16.378$	$S_{14}=19.128$	$S_{14}-S_4=2.750$	0.04519
$S_5=16.673$	$S_{15}=19.393$	$S_{15}-S_5=2.720$	0.04569
$S_6=16.955$	$S_{16}=18.650$	$S_{16}-S_6=2.695$	0.04612
$S_7=17.240$	$S_{17}=19.897$	$S_{17}-S_7=2.657$	0.04678
$S_8=17.522$	$S_{18}=20.158$	$S_{18}-S_8=2.636$	0.04715
$S_9=17.800$	$S_{19}=20.407$	$S_{19}-S_9=2.607$	0.04767
$S_{10}=18.080$	$S_{20}=20.670$	$S_{20}-S_{10}=2.590$	0.04799

$$
\begin{aligned}
\overline{e} &= \frac{1}{10}\sum_{v=1}^{10} e_v \\
&= \frac{0.04343+0.04390+0.04453+0.04519+0.04569}{10} \\
&\quad+\frac{0.04612+0.04678+0.04715+0.04767+0.04799}{10} \\
&= 0.04585\mathrm{mm}
\end{aligned}
$$

我们采用间接法计算不确定度。先计算ΔS的不确定度：

$$u_A(\Delta s)=\sqrt{\frac{1}{10\times 9}\sum_{i=1}^{10}(\Delta s_i-\overline{\Delta s})^2}=0.031\mathrm{mm}$$

$$u_B(\Delta s)=\frac{0.004\mathrm{mm}}{\sqrt{3}}=0.00231\mathrm{mm}$$

$$u(\Delta s)=\sqrt{u_A^2(\Delta s)+u_B^2(\Delta s)}=\sqrt{0.031^2+0.00231^2}=0.0311\mathrm{mm}$$

$$
\begin{aligned}
\Delta s &= \frac{1}{10}\sum_{i=1}^{10}(S_{i+10}-S_i) \\
&= \frac{2.862+2.83+2.791+2.756+2.720}{10} \\
&\quad+\frac{2.695+2.657+2.676+2.667+2.590}{10} \\
&= 2.7244\mathrm{mm}
\end{aligned}
$$

$$\therefore \frac{\mu(\Delta s)}{\overline{\Delta s}}=0.01142$$

又$\because \frac{\mu(\Delta e)}{\overline{\Delta e}}^2=\frac{\mu(\Delta L)}{\overline{\Delta L}}^2+\frac{\mu(\Delta s)}{\overline{\Delta s}}^2$，$\frac{\mu(\Delta L)}{\overline{\Delta L}}^2$很小可以忽略，所以我们可以得到：

$$\mu(e)=\frac{\mu(\Delta s)}{\overline{\Delta s}}\times\overline{e}=0.0005$$

$$\therefore e=(0.04585\pm 0.0005)mm$$

2. 误差分析（20分）

牛顿环和劈尖实验中，不确定度分别是0.006m和0.0311mm，可以看到，实验存在一定的

误差。
①叉丝和条纹边缘相切的地方很难准确判断，实验时难以操作叉丝和条纹边缘完全对准，且实验后期眼睛疲劳，读数存在误差。
②使用读数显微镜估读的时候，由于主观原因，某些数字出现得比较多，可能会引入误差。
③牛顿环装置表明存在灰尘或杂质，在显微镜下（没有调好干涉条纹时）可以看到有不少明显的斑点。劈尖表明可能不平整，角度不均匀。
④读数显微镜存在系统误差。
⑤数据处理时，劈尖干涉采用近似处理可能引入一定误差，逐差法会带来累积误差。

3. 实验探讨（10分）
本实验通过读数显微镜观察牛顿环与劈尖的等厚干涉现象。牛顿环为中心暗斑的明暗相间同心圆环，条纹内疏外密；劈尖为平行等间距直条纹。通过测量牛顿环直径或劈尖条纹间距，运用逐差法计算出了透镜曲率半径和薄膜厚度，掌握了转换测量法与干涉光路调节技巧。

四、思考题（10分）

1. 如果读数显微镜的叉丝不是准确地通过圆心，那么测出的直径实际上是弦长，这对测量结果有无影响？并解释原因。
没有影响。假设测量量为l_m, l_n,则实际测量的直径$l = 2\sqrt{r^2 - h^2}$,(h表示圆心到弦的距离)。则$l_m^2 - l_n^2 = 4(r_m^2 - h^2) - 4(r_n^2 - h^2) = d_m^2 - d_n^2$,与理论结果相同。
2. 反射光干涉观察到牛顿环中央是暗斑，那么从透射方向观察，牛顿环中央是暗斑还是亮斑？
反射光干涉由于半波损失，光程差为$\frac{\lambda}{2}$,干涉相消，形成暗斑。但是透射光光程差为0，所以会形成亮斑。