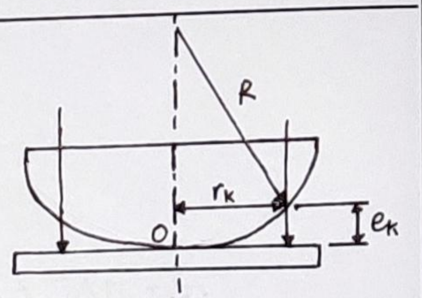
【实验目的】

① 理解牛顿圈和劈尖干涉条纹的成因

② 学习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

把一块曲率半径相当大的平凸镜的凸面放在一块很平的平玻璃上，那么在两玻璃面之间就形成类似劈尖形的空气薄层。如果将一束单色光垂直地投射进去，于是入射光在空气层上下两表面反射且在上表面相遇，在反射光中形成一系列以接触点O为中心的明暗相间的同心圆圈叫牛顿圈。其中，两束相干光的光程差为 $\delta=2e_kn+\frac{\lambda}{2}$ 其中n为空气的折射率，实验中近似为1，$\frac{\lambda}{2}$为半波损失

满足明暗圈的干涉条件分别是，$\begin{cases}\delta=2e_k+\frac{\lambda}{2}=k\lambda & (k=1,2,3\cdots) \quad 明圈\\ \delta=2e_k+\frac{\lambda}{2}=(2k+1)\frac{\lambda}{2} & (k=1,2,3\cdots) \quad 暗圈\end{cases}$

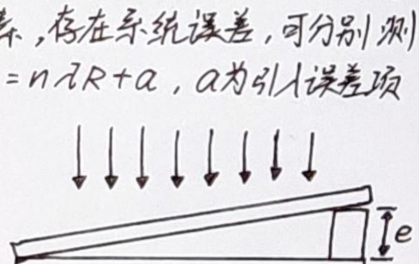
由几何关系可知 $R^2=r_k^2+(R-e_k)^2$

由 $R\gg e_k$，上式近似为：$e_k=\frac{r_k^2}{2R}$，代入有 $r_k^2=(2k-1)R\frac{\lambda}{2}$（明圈），$r_k^2=k\lambda R$（暗圈）

随着圈半径增加，条纹变密。由于接触点有灰尘或其他因素，存在系统误差，可分别测量第n圈半径 r_n 和第m圈半径 r_m $(m>n)$，$r_m^2=m\lambda R+a$，$r_n^2=n\lambda R+a$，a为引入误差项

两式相减 $R=\frac{d_m^2-d_n^2}{4(m-n)\lambda}$，即可求出R

2. 劈尖测细丝直径



当两片很平的玻璃叠合在一起，并在其中一端时，两片之间就形成夹角很小的空气薄膜。在单照射下，经空气薄膜上、下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，干涉条纹是间隔相等且平行于两玻璃交线的明暗交替的条纹。由于相邻两明条纹或暗条纹在空气薄膜中对应的厚度差总是等于 $\frac{\lambda}{2}$。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，劈尖厚度 $e=\frac{N\lambda}{2}$，$N=nL$，所以 $e=nL\frac{\lambda}{2}$

但是，由于玻璃接触处的压力引起了局部的弹性形变，同时因玻璃表面的不洁净引入的附加程差，使实验中看到的干涉级数并不代表真正的干涉级数n，将上式变化为：

$$e=L\frac{20}{\Delta l}\frac{\lambda}{2}$$

在实验中，我们在劈尖玻璃面上选择三个不同的部分，测出20条暗纹的总长度 Δl_1、Δl_2、Δl_3 求出平均值 Δl；测三次两玻璃片交线处到夹细丝处的总长度 L_1、L_2、L_3 并求平均L；最后代入上式，即得细丝直径e

【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，开始读取数据

2. 利用牛顿圈测量平凸透镜曲面的曲率半径

① 将牛顿环放置在读数显微镜和入射光调节架下方，调节玻璃片角度，使通过显微镜目镜观察时视场最亮

② 调节目镜，使看清目镜视场的十字叉丝后，使显微镜镜筒下降到接近牛顿环仪然后缓慢上升，直到观察到干涉条纹，再微调玻璃片角度和显微镜，使条纹清晰

③ 使显微镜十字叉丝交点和牛顿环中心重合，并使水平方向的叉丝和标尺平行

④转动显微镜微调鼓轮，使显微镜沿一个方向移动，同时读出十字叉丝竖丝移过的暗环数，直到竖丝与第45环相切为止。记录标尺读数

⑤反向转动鼓轮，当竖丝与第40环相切时，记录读数显微镜上的位置读数，然后，继续转动鼓轮，使竖丝依次与第35、30、25、20、15、10、5环相切并记下读数，越过中心环后再记下第5、10、15、20、25、30、35、40环的读数

3. 劈尖测细丝直径

① 将劈尖放在读数显微镜镜筒和入射光调节架下方，调节玻璃片的角度，使通过显微镜目镜时视场最亮

②调节目镜使看清目镜视场的十字叉丝后，使显微镜镜筒下降到接近牛顿环仪然后缓慢上升，直到观察到干涉条纹，再微调玻璃片角度和显微镜使清晰

③使十字叉丝交点与劈尖中心重合，并使其与显微镜镜筒移动方向平行，并将实验原理中要求测出数据（实际实验中，若出现图2情况，应再擦净平晶，恢复为图1）

图1

图2

【实验器材及注意事项】

<u>注意事项</u>

1. 钠光灯（若真实操作）

①开启后需等待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，因此不要轻易开、关

③钠光灯应垂直放置，不得倾倒，以免金属钠流动，影响灯的性能

2. 读数显微镜（线上仿真只需注意该项）

①在测量过程中读数显微镜的鼓轮只能在一个方向转动

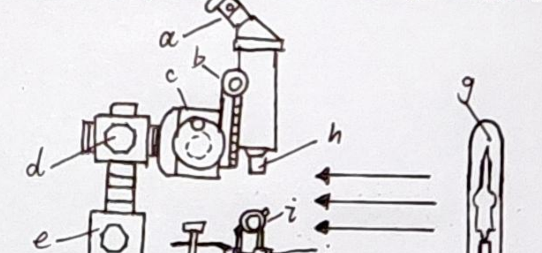
②正式读数之前，鼓轮必须先转几圈，以便去除初始值

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数值等于主刻度尺数据加鼓轮读数盘上的数据，并估读到$10^{-3}mm$

<u>实验器材</u>

钠光灯（单色光源）、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）、读数显微镜



a-目镜　b-物镜调焦滚轮　c-鼓轮读数盘，
d-伸杆螺钉　e-升杆螺钉　f-底座　g-钠光灯
h-物镜　i-玻片架　j-样品盒

【数据处理与结果】

环数	$d_右$/mm	$d_左$/mm	直径 $d_右-d_左$ /mm	直径平方 d_k^2 /mm²	间隔20圈平方差
5	56.950	53.070	3.880	15.0544	$d_{25}^2-d_5^2=$
10	57.800	52.285	5.515	30.415225	59.7681
15	58.400	51.670	6.730	45.2929	$d_{30}^2-d_{10}^2=$
20	58.920	51.170	7.750	60.0625	60.405675
25	59.360	50.710	8.650	74.8225	$d_{35}^2-d_{15}^2=$
30	59.830	50.300	9.530	90.8209	61.0032
35	60.245	49.935	10.310	106.2961	$d_{40}^2-d_{20}^2=$
40	60.750	49.570	11.180	124.9924	64.9299

钠光灯 $\lambda = 589\,nm$ 显微镜最大允差为0.004mm，即Δ仪 = 0.004 mm

$\overline{d}_{m+20} = \dfrac{d_{25}+d_{30}+d_{35}+d_{40}}{4} = 9.9175\,mm$ $\overline{d}_m = \dfrac{d_5+d_{10}+d_{15}+d_{20}}{4} = 5.96875\,mm$

$\Delta d_1^2 = d_{25}^2 - d_5^2 = 59.7681\,mm^2$ $\Delta d_2^2 = 60.405675\,mm^2$ $\Delta d_3^2 = 61.0032\,mm^2$ $\Delta d_4^2 = 64.9299\,mm^2$

$\overline{\Delta d^2} = \overline{d}_{m+20}^2 - \overline{d}_m^2 = 62.7308\,mm^2$ $R = \dfrac{\overline{\Delta d^2}}{4\times 20\times\lambda} = 1.3313\,m$

$u_A(\Delta d^2) = \sqrt{\dfrac{1}{3\times 4}\sum_{i=1}^{4}(\overline{\Delta d^2}-\Delta d_i^2)^2} = 1.4\,mm^2$ $u_B(d_{侧}) = \dfrac{\Delta仪}{\sqrt{3}}$

$d = d_左 - d_右$ 因而 $u_B(d) = \sqrt{u_B^2(d_左)+u_B^2(d_右)} = \sqrt{2}\,u_B(d_{侧}) = \sqrt{\frac{2}{3}}\,\Delta仪$

$u_B(\Delta d^2) = \sqrt{[2\overline{d}_m u_B(d)]^2 + [2\overline{d}_n u_B(d)]^2} = \dfrac{2\sqrt{2}}{\sqrt{3}}\sqrt{\overline{d}_m^2+\overline{d}_n^2}\,\Delta仪 = 0.08\,mm^2$

$u(\Delta d^2) = \sqrt{u_A^2(\Delta d^2) + u_B^2(\Delta d)^2} = 1.4\,mm^2$

$u(R) = \dfrac{u(\Delta d^2)}{4\times 20\times\lambda} = \dfrac{1.4\times 10^{-6}}{4\times 20\times 589\times 10^{-9}} = 0.02971 = 0.03\,m$

$$R = (1.33 \pm 0.03)\,m$$

序	l_1	l_2	l_3
20条暗条纹宽 /mm	1.370	1.300	1.310

$L = 0.04\,m$ $\lambda = 589\,nm$ $\Delta l = \dfrac{l_1+l_2+l_3}{3} = 1.327\,mm$

$d = L\cdot\dfrac{20}{\Delta l}\dfrac{\lambda}{2} = 4\times 10\times\dfrac{20}{1.327}\times\dfrac{589}{2}\times 10^{-9} = 1.7754\times 10^{-4}\,m = 0.17754\,mm$

$d = \dfrac{10L\lambda}{\Delta l}$ 由不确定度传导公式 $\ln d = \ln 10L\lambda - \ln\Delta l$ $\dfrac{\partial \ln d}{\partial \Delta l} = \dfrac{-1}{\Delta l}$

$\dfrac{u_d}{d} = \sqrt{\left(\frac{1}{\Delta l}\right)^2 (u_{\Delta l})^2}$ $u_{\Delta l A} = \sqrt{\dfrac{1}{3\times 2}\sum_{i=1}^{3}(l_i - \Delta l)^2} = 0.022\,mm$ $u_{\Delta l B} = \dfrac{0.004\,mm}{\sqrt{3}} = 0.0023\,mm$

$u_{\Delta l} = \sqrt{u_{\Delta l A}^2 + u_{\Delta l B}^2} = 0.023\,mm$ $\therefore u_d = d\sqrt{\left(\frac{1}{\Delta l}\right)^2 (u_{\Delta l})^2} = 0.003077\,mm = 0.003\,mm$

$$d = (0.178 \pm 0.003)\,mm$$

【误差分析】

① 在牛顿圆与劈尖的实验中，明暗条纹的分界线都比较模糊，因此在用读数显微镜测量时很难对一条条纹进行精准定位，偶然误差较大

② 测量劈尖时条纹与读数显微镜难以达到精准垂直

③ 由于显微镜类似于螺旋测微器的主尺和螺旋尺刻度对应不上导致记录数据时毫米测量部分误差较大（一致取上/一致取下的个人习惯也会影响实验）

④ 十字刻度与边缘相切时由于眼睛疲劳等因素导致读数不准

⑤ 平晶间有灰尘、绕纸纸片不平整有凸凹等物件精度不佳导致系统误差

⑥ 在牛顿环实验中，最终关于R的几何关系为近似关系（$R \gg e_k$），存在系统误差

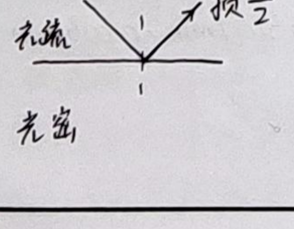
【实验心得及思考题】

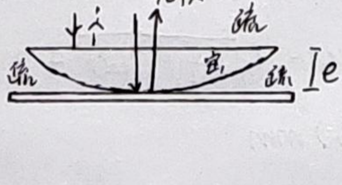
实验心得

刚开始的实验过程中我由于着急做，在细看要求前我就逐条测量了劈尖产生的明暗条纹，后来才发现应每次累积10条条纹进行测量，在与我原来的实验数据对比，发现误差明显减小，这让我意识到了增大被测样本对于减小误差的巨大意义。由于本次实验是线上仿真实验，因此在调光学仪器（尤其是显微镜时，并无遇到线下实验那样大的困难）

思考题

1. 电磁波原理可知，光从光疏介质射向光密介质，在界面的反射光有相位π的突变，即相当于有 $\frac{\lambda}{2}$ 的路程的改变，称为半波损失





在牛顿环实验中，透镜的凸面和平玻璃板的上表面之间形成一个类似于劈尖的空气层，当平行光垂直入射时，在空气层的上、下两表面的反射光将发生干涉——而上表面反射光为从光疏到光密因而发生半波损失；下面为从光密到光疏，不发生半波损失，因而反射光的光程差为：

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$$

2. 对暗环，有：

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad ①$$

$$r^2 = 2Re - e^2 \quad (R \gg e)$$

$$r = \sqrt{2Re} \quad ②$$

综合①、②得 $r_k = \sqrt{kR\lambda}$　$k = 0, 1, 2 \cdots$

中心暗纹半径为 $\sqrt{R\lambda}$，即与平凸透镜的曲率半径和波长的根号成正比。

暗环与明环对比度与光强有关，暗环颜色与入射光波长有关

3. 不是。①实际中，玻璃片不是完美平整的，存在一定程度的弯曲、形变、凹槽、突起等问题 ②大学物理实验中的入射光并非是严格的平行光，存在一定的发散角

正是由于条纹并非严格等间距，因而间隔许多条纹测一次的方法并不合适，因而需要采用每10、20次测一次间距的方式