

原始记录

	1	2	3	4	5	6
X_m	38.675	38.679	38.674	38.675	38.677	38.675
X_m'	33.550	33.553	33.548	33.551	33.549	33.552
$D_m = X_m - X_m' $	5.125	5.126	5.126	5.124	5.128	5.123
\bar{D}_m	5.125					

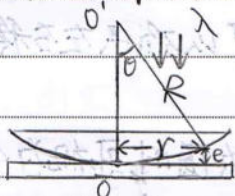
X_n	37.266	37.271	37.270	37.270	37.272	37.268
X_n'	34.995	34.993	34.991	34.989	34.990	34.993
$D_n = X_n - X_n' $	2.271	2.278	2.279	2.281	2.282	2.275
\bar{D}_n	2.278					

实验目的

1. 观察等厚干涉现象, 加深对光的波动的认识。
2. 熟悉读数显微镜的调节和使用。
3. 掌握用牛顿环测球面曲率半径的原理和方法。

实验原理

① 实验装置与干涉结构形式: 将一个具有较大曲率半径 R 的平凸透镜的凸面放在平板玻璃上, 其间形成一层厚度由中心向边缘逐渐增加的空气薄膜。



② 干涉现象的产生: 用单色平行光 (波长为 λ) 垂直照射到装置上, 入射线会在平凸透镜的下表面和平板玻璃的上表面发生反射。这两束反射光来自同一入射光, 满足相干条件, 它们在相遇时会发生干涉。

③ 光程差与干涉条件: 两束相干光的光程差主要由空气膜厚度 e 决定。由于光线在反射时有半波损失, 总光程差为 $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$

暗条纹 (相消干涉): 当 δ 等于半波长的奇数倍时发生, 即 $\delta = (2k+1) \frac{\lambda}{2}$

其中 $k=0, 1, 2, \dots$ 。由 $\delta = 2e + \frac{\lambda}{2}$ 得, $2e = k\lambda$ ($k=0, 1, 2, \dots$)

亮条纹 (相长干涉): 当 δ 等于波长的整数倍时发生, 即 $\delta = k\lambda$, 其中 $k=1, 2, 3, \dots$

④ 根据几何关系, 对于曲率半径为 R 的球面, 当 $e \ll R$ 时, 近似有 $r^2 \approx 2Re$ 。代入暗环条件 $2e = k\lambda$ ($k=0, 1, 2, \dots$) 得 $r^2 = k\lambda R$ 。若用直径表示则为 $D^2 = 4kR\lambda$ 。

⑤ 实际测量的数据方法: 实际测量中, 由于接触点形变等原因, 中心点可能不是理想的零厚度暗点, 且中心点位置难以确定, 导致直接使用公式产生较大误差。

通过测量两个相隔较远的暗环直径可减小误差。

如第 m 级暗环直径 D_m 和第 n 级暗环直径 D_n ($m > n$):

$$\begin{cases} D_m^2 = 4m\lambda R \\ D_n^2 = 4n\lambda R \end{cases} \Rightarrow R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda}$$

实验仪器

牛顿环 ($R_0 = 855.1 \text{ mm}$)、数码读数显微镜、钠光灯 ($\lambda = 589.3 \text{ nm}$)

实验步骤与数据记录

1. 开启钠光灯电源预热 $2 \sim 5 \text{ min}$.
2. 调节牛顿环装置的三颗螺钉, 使干涉条纹中心在牛顿环装置的中央. 调节完毕后用装牛顿环的盒子托住牛顿环, 置于载物台上.
3. 转动测微手轮, 使显微镜镜筒准线位于标尺中部以确保左右移动时有足够行程.
4. 调节半透半反镜的角度, 当目镜中的明亮度达到最大值时可视为 45° .
5. 缓慢转动调焦手轮使物镜接近牛顿环装置, 观察物镜与牛顿环装置距离以避免碰撞.
6. 再次缓慢转动调焦手轮, 使物镜远离牛顿环装置, 同时观察目镜, 当视野中干涉条纹由模糊变为清晰时停止转动.
7. 缓慢挪动载物台上的牛顿环, 观察目镜, 使牛顿环中心与目镜中的“+”字叉丝大致重合.
8. 测量顺序为第1环外径 \rightarrow 第0环外径 \rightarrow 第1环内径 \rightarrow 第11环内径. 由于回程差的存在, 在往反方向转动测微手轮前, 需多转动至大约13环处的位置, 再往反方向转动, 以消除回程差, 提高测量精度.

测量 6 组数据, 结果如下:

测量次数	1	2	3	4	5	6
x_m	38.675	38.679	38.674	38.675	38.677	38.675
x_m'	33.550	33.553	33.548	33.551	33.549	33.552
$D_m = x_m - x_m' $	5.125	5.126	5.126	5.124	5.128	5.123
x_n	37.266	37.271	37.270	37.270	37.272	37.268
x_n'	34.995	34.993	34.991	34.989	34.990	34.993
$D_n = x_n - x_n' $	2.271	2.278	2.279	2.281	2.282	2.275

实验数据处理

1. 由测量数据得, $\bar{D}_m = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{m,i} = 5.125 \text{ mm}$
 $\bar{D}_n = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 D_{n,i} = 2.278 \text{ mm}$

由 $R = \frac{\bar{D}_m^2 - \bar{D}_n^2}{4(m-n)\lambda}$ 得, $\bar{R} = \frac{5.125^2 - 2.278^2}{4 \times (14-1) \times 589.3 \times 10^{-6}} \approx 894.1 \text{ nm}$

2. 计算 ΔA

对 D_m : $S_m = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^6 (D_{m,i} - \bar{D}_m)^2} \approx 0.00175 \text{ mm}$

$\Delta A(D_m) = \frac{S_m}{\sqrt{N}} \approx 0.00072 \text{ mm}$, $\Delta A'_{(D_m)} = \Delta A(D_m) \cdot t_p \approx 0.00185 \text{ mm}$

对 D_n : $S_n = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^6 (D_{n,i} - \bar{D}_n)^2} \approx 0.00409 \text{ mm}$

$\Delta A(D_n) = \frac{S_n}{\sqrt{N}} \approx 0.00167 \text{ mm}$, $\Delta A'_{(D_n)} = \Delta A(D_n) \cdot t_p \approx 0.00429 \text{ mm}$

3. 计算 ΔB

$\Delta B(D_m) = \Delta B(D_n) = \Delta \lambda = 0.02 \text{ mm}$

4. 合成不确定度

$\Delta_{(D_m)} = \sqrt{\Delta A'_{(D_m)}^2 + \Delta B_{(D_m)}^2} \approx 0.006551 \text{ mm}$
 $\Delta_{(D_n)} = \sqrt{\Delta A'_{(D_n)}^2 + \Delta B_{(D_n)}^2} \approx 0.02009 \text{ mm}$

$\Delta_{(D_n)} = \sqrt{\Delta A'_{(D_n)}^2 + \Delta B_{(D_n)}^2} \approx 0.02045 \text{ mm}$

5. 不确定度传播

$\Delta \varphi = \sqrt{\left(\frac{\partial R}{\partial \bar{D}_m}\right)^2 \Delta_{(D_m)}^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial \bar{D}_n}\right)^2 \Delta_{(D_n)}^2}$

$C = 4(m-n)\lambda$

$R = \frac{\bar{D}_m^2 - \bar{D}_n^2}{C} \Rightarrow \frac{\partial R}{\partial \bar{D}_m} = \frac{2\bar{D}_m}{C}, \frac{\partial R}{\partial \bar{D}_n} = \frac{-2\bar{D}_n}{C}$

$\Delta \varphi \approx 8.81 \text{ mm}$
 $\Delta \varphi \approx 8.807$
 $\Delta \varphi \approx 9.59 \text{ mm}$
 $\Delta \varphi \approx 9.6 \text{ mm}$

综上, $R = \bar{R} + \Delta \varphi = (894.1 \pm 9.6) \text{ nm}$

实验结论

本次实验通过牛顿环法测得平凸透镜球面曲率半径为
 $(894.1 \pm 9.6) \text{ mm}$.

实验讨论

1. 牛顿环干涉条纹各级宽窄不同的原因?

牛顿环是由一块平凸透镜放在平玻璃板上产生的, 接触点厚度为0, 向外逐渐增加. 设高于接触点 r 处空气层厚度为 $t(r)$, 平凸透镜的曲率半径为 R .

由 $R^2 = (R-t)^2 + r^2 = R^2 - 2Rt + t^2 + r^2$ 得, $t = \frac{r^2}{2R}$ (忽略 t^2 , 因为 t^2 很小.)

空气膜厚度 t 处, 反射光发生干涉. 其中暗环的产生条件是:

$$2t = (k + \frac{1}{2})\lambda, \text{ 其中 } k = 0, 1, 2, 3 \dots$$

代入上式得 $r^2 = R\lambda(k + \frac{1}{2})$, 得出结论 $r^2 \propto k$, 即 $r \propto \sqrt{k}$.

因为 \sqrt{k} 的增长越来越慢, 所以条纹之间间距 $\Delta r = r_{k+1} - r_k$ 会随 k 增大而变小. 综上, 靠外的干涉条纹各级宽窄不同.

2. 若中心出现亮斑是何原因?

平凸透镜与玻璃板没有紧密接触, 使得厚度不为0. 导致干涉条件发生改变: 中心变为相长干涉, 出现亮斑.

3. 透射牛顿环与反射牛顿环的不同.

① 透射: 从光源对侧观察透过系统的光.

反射: 从光源同侧观察反射回来的光.

② 透射: 中心点明亮

反射: 中心点黑暗

③ 透射为暗环处, 反射为亮环. 反之亦然.

思考题

(1) 显微镜的调焦分为哪两步？调整的要求是什么？

① 调节目镜，使十字叉丝自身清晰，且无眼睛晃动引起的视差；

② 调节镜筒，看清被测物体，且十字叉丝与物像之间无视差。

(2) 在实验中，假如平板玻璃上有微小凸起，则微小凸起处薄膜厚度减小，导致等厚干涉条纹发生畸变。试问：这时的牛顿环（暗环）将局部内凹还是局部外凸？为什么？

牛顿环暗环是等厚干涉条纹，同一条暗环上的所有点对应的空气膜厚度必须相等。而微小凸起使得该处的平板表面抬高，实际厚度比理想厚度小。为实现所需厚度，暗环必须移动到距离中心更远的位置，表现为局部外凸。

(3) 用白光照射时能否看到牛顿环？此时的条纹有什么特征？

能够看到牛顿环，靠近中心处为彩色圆环，颜色按光谱顺序排列。

(4) 什么叫回程差？实验中应如何避免？

回程差的机械传动结构当改变运动方向时，驱动部件需转动一小段距离，而被驱动部件才开始真正反向移动的现象。

通过始终从同一个方向逼近目标可以消除回程差。