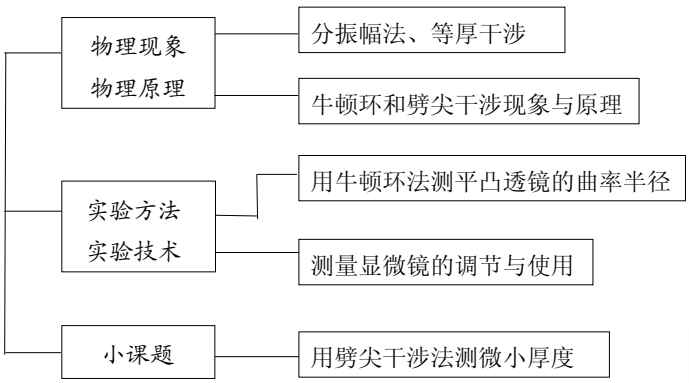
牛顿环和劈尖干涉

牛顿环和劈尖干涉是分振幅法产生的等厚干涉现象，其特点是同一条干涉条纹所对应的两反射面间的厚度相等。利用牛顿环和劈尖干涉现象，可用来测量光波波长、薄膜厚度、微小角度、曲面的曲率半径以及检验光学器件的表面质量（如球面度、平整度和光洁度等），还可以测微小长度的变化，因此等厚干涉现象在科学研究和工程技术中有着广泛的应用。

学习导航



实验原理

1. 用牛顿环法测定透镜的曲率半径R

将一块曲率半径很大的平凸透镜放在一块磨光的平板玻璃上，即构成一个上表面为球面，下表面为平面的空气薄膜（见图 1），若用波长为λ的单色平行光垂直射入透镜平面时，由空气薄膜上下两表面反射的两束光在透镜凸表面附近相遇发生等厚干涉，其干涉图样是以接触点 O 为中心的一系列明暗交替的同心圆环（中心处是一个暗斑），且同一圆环的薄膜厚度相等。这些圆形干涉条纹是牛顿当年在制作天文望远镜时，偶然将一个望远镜物镜放在平板玻璃上发现的，故称为牛顿环。

设透镜的曲率半径为R，形成k级干涉暗纹的牛顿环半径为r_k，则有①

$$r_k = \sqrt{kR\lambda} \qquad (k=0,1,2,\ldots) \qquad (1)$$

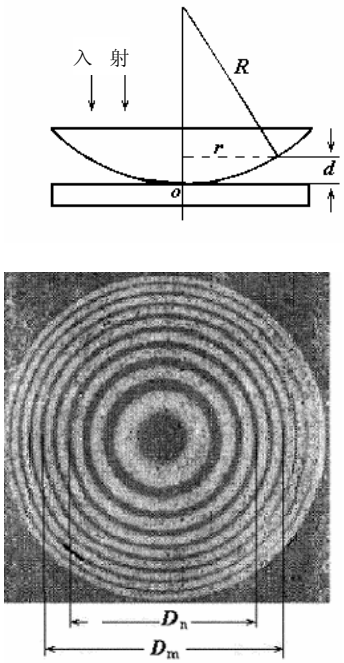


图 1　牛顿环干涉

①参阅马文蔚主编《物理学》第四版，第三册，高等教育出版社，1999 年，P125-127。

上式表明，当波长 λ 已知时，测出 r_k 即可算出 R，但是，由于玻璃的弹性形变以及接触处难免有尘埃等微粒，使得玻璃中心接触处并非一个几何点，而是一个较大的暗斑（或明斑，为什么？）。所以牛顿环的圆心难以定位，且绝对干涉级次无法确定。实验中将采用以下方法来测定曲率半径 R。

分别测量两个暗环的直径 D_m 和 D_n，由式（1）可得

$$D_m^2 = 4(m+j)R\lambda \qquad (2)$$

$$D_n^2 = 4(n+j)R\lambda \qquad (3)$$

式中 j 表示由于中心暗斑的影响而引入的干涉级数的修正值，m 和 n 为实际观察到的圆环序数。式（2）减式（3）得

$$R = \frac{D_m^2 - D_n^2}{4(m-n)\lambda} \qquad (4)$$

可见上式中 R 只与牛顿环的级次差 $(m-n)$ 有关，这样就回避了对绝对干涉级次 k 的确定和牛顿环半径 r_k 直接测量的问题。

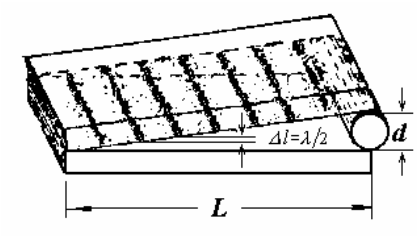


图 2　劈尖干涉

2. 用劈尖干涉法测量微小厚度

将两块平玻璃板叠在一起，一端夹入细丝或薄片，则玻璃板之间形成一空气劈尖（见图 2）。以波长为 λ 的单色光垂直照射在玻璃板上，由劈尖薄膜上下表面反射的两束光在空气劈尖表面附近相遇发生等厚干涉。其条纹形状为平行于劈棱的一组等距离直线，且相邻两条纹中间对应的空气隙厚度差为半个波长。若劈尖总长度为 L，夹入细丝的厚度为 d，单位长度中所含的干涉条纹数为 n，则

$$d = nL\frac{\lambda}{2} \qquad (5)$$

据此，可测得细丝的直径或薄膜的厚度。

实验仪器

单色光源、牛顿环装置、劈尖装置、测量显微镜、游标卡尺。

1. 单色光源

由汞灯前加绿色滤光片获得（λ=546.1nm）。

2. 牛顿环装置

由待测平凸透镜和磨光的平板玻璃叠合后装在塑料框架（或金属框架）中构成。框架上有三只螺钉，用于调节透镜与平板玻璃之间的接触程度，以改变干涉圆环的形状与位置。

注意：螺钉不可旋得太紧，以免压力过大而引起透镜的弹性形变，甚至损坏透镜。

3. 测量显微镜

测量显微镜又称读数显微镜或工具显微镜，常用来测量微小长度或微小长度的变化，其优点是可以实现非接触性测量，如测量干涉条纹的宽度、虚像距、虚物距等。

测量显微镜的型号和规格很多，但基本结构相同，它们均由显微镜和机械调节部分组成。JXD 型测量显微镜如图 3 所示。

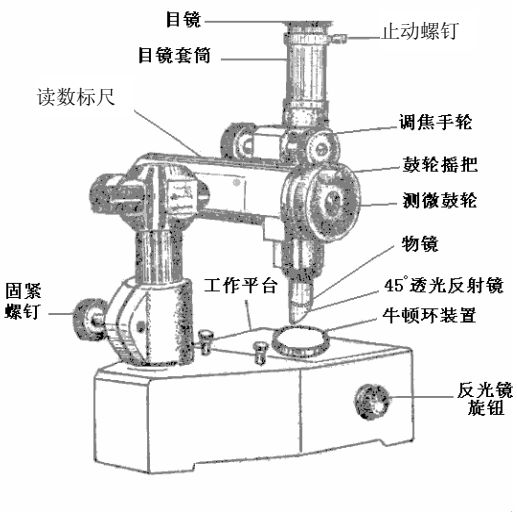


图 3　JXD 型测量显微镜

显微镜的光学系统由物镜、目镜和分划板（安置在目镜套筒内）组成，位于物镜焦平面前的物体经物镜成放大倒立实像于目镜焦平面附近，并与分划板的刻线在同一平面上。目镜的作用如同放大镜，人眼通过它观察放大后的虚像。分划板上刻有十字叉丝，供对准被测物体用。工作平台下面的反光镜可用于提高显微镜筒内的视场亮度。

测量前先调节目镜，使十字叉丝聚焦清晰后，再调节调焦手轮，对被测物进行聚焦，使被测物成像清晰无视差①。

显微镜镜筒是与套在测微丝杆上的螺母套管相固定的，旋转测微鼓轮（相当于螺旋测微计的微分套筒）可带动显微镜镜筒左右移动。测微丝杆的螺距为 1mm，测微鼓轮的圆周上刻有 100 个等分格，因此，测量显微镜的分度值为 0.01mm。

使用测量显微镜时应注意以下几点：

(1) 当眼睛注视目镜，用调焦旋钮对被测物体进行聚焦前，应该先使物镜接近被测物体，然后使镜筒慢慢向上移动，这样可避免两者相碰。

(2) 目镜中的十字叉丝，其中一条应和被测物体相切，另一条与镜筒移动方向平行。

(3) 避免空程差。

由于分划板的移动是靠测微丝杆的推动，但丝杆与螺母套管之间不可能完全密合，存在间隙。如果螺旋转动方向发生改变，则必须待转过这个间隙后，分划板的叉丝才能重新跟着螺旋移动。因此，当显微镜沿相反方向对准同一测量目标时，两次读数将不同，由此产生的测量误差称为空程差，为了防止空程差，每次测量时，螺旋应沿同一方向旋转，不得中途反向，若旋转过头，必须退回几圈，再从原方向旋转推进，对准目标后重新测量。

①所谓视差是指当两个物体静止不动时，观察者改变位置感觉到两个物体之间有相对移动的现象。在光学仪器中，视差是指当人的眼睛移动时，目镜中的虚像相对于十字叉丝有明显的移动。视差现象可用来作为对正在调焦的仪器的一种检验方法，当判定没有视差时，说明像与十字叉丝在同一平面上，仪器聚焦良好。

实验内容

1．用牛顿环法测定透镜的曲率半径

(1) 目测

借助室内灯光，用眼睛直接观察牛顿环装置，看干涉条纹是否为圆环形，干涉条纹是否位于透镜的中心。必要时可重新调整牛顿环装置的三个螺钉，但注意勿使螺钉旋得过紧。

(2) 观察测量显微镜中的牛顿环

牛顿环装置和 45° 透光反射镜的安放如图 3 所示。单色光源放在反射镜前方与反射镜等高。移动牛顿环装置，使牛顿环落在显微镜筒的正下方。调节目镜，使十字叉丝清晰。转动套在物镜头上的 45° 透光反射镜，使镜面正对光源，显微镜视场达到最亮。调节调焦手轮对牛顿环聚焦，使环纹清晰，并适当移动牛顿环装置，使牛顿环圆心处在视场正中央。

(3) 测定牛顿环直径，计算透镜的曲率半径R

为了有效地利用测量数据并保证测量结果的准确性，建议采集从牛顿环第 5 圈到第 20 圈范围内的各暗环的直径数据（靠近牛顿环中心的几圈因形变较大，不予采集），用逐差法处理数据，计算出 R。

为了避免显微镜的空程差给实验数据带来影响，你应如何进行以上数据的采集？

注意事项：牛顿环装置安放的位置与测量显微镜的第一次读数位置如不事先配合好，有可能测量了一部分数据后，由于环纹超出量程以外，无法继续测量。因此在正式测量前，应该先作定性观察和调整，然后再作定量测量，这是实验技术中一条很重要的原则。

2．用劈尖干涉法测定微小厚度

（1）将待测物与两块平板玻璃制作成一个劈尖装置。

（2）拟定实验方案和实验步骤。

（3）拟定数据采集方案和数据处理方法（逐差法、图解法）

（4）对实验结果进行分析讨论。

观察思考

4. 在牛顿环实验中，注意观察以下现象并加以解释

(4) 牛顿环的各环纹是否等宽，环的密度是否均匀？

(5) 观察到的牛顿环是否发生畸变，原因是什么？

(6) 牛顿环中心是亮斑还是暗斑、何原因引起、对测量R有无影响？

(7) 用白光照射牛顿环是何现象，为什么？

5. 实验中为什么测牛顿环直径而不测半径？若十字叉丝中心并没有通过牛顿环的圆心，则以叉丝中心对准暗环中央所测的并不是牛顿环的直径，而是弦长。如此测量，如何计算R，与公式（4）作对比。

6. 公式（1）的结果推导中作了哪些近似，实验中这些近似条件满足了吗？

数据表格（供参考）

1．牛顿环法测定透镜的曲率半径

光源波长　$\lambda = 5.461 \times 10^{-7}$ m

圈 数	显微镜读数（mm）		直径 D （mm）	D^2 (mm^2)	组合方式	$D_m^2 - D_n^2$ (mm^2)
	（左方）	（右方）				
5					13 – 5	
6						
7					14 – 6	
8						
9					15 – 7	
10						
11					16 – 8	
12						
13					17 – 9	
14						
15					18 – 10	
16						
17					19 – 11	
18						
19					20 – 12	
20						
平均值 $\overline{D_m^2 - D_n^2} =$						

2．劈尖干涉法测量薄膜厚度

级数 j	显微镜读数 D_j（mm）	组合方式	$n = \dfrac{j_m - j_n}{D_m - D_n}$
5		20－5	
10			
15		25－10	
20			
25		30－15	
30			
平均值 $\overline{n} =$			

$d =$