如何目测估算牛顿环装置所用透镜的曲率半径

璜

怎样将理论教学与实验教学紧密结合起来, 加强学生对于理论知识的综合理解和整合应用是物理教学工作者一直勤于探讨的问题。

笔者通过教学实践, 将光学中的等厚干涉与光学仪器的分辨率结合起来, 提出一种通过目测来估算牛顿环装置中所用平凸透镜的曲率半径数量级的简单而有趣的方法, 并以此作为思考题, 在讲授实验原理的教学过程中以启发的方式向学生剖析, 得到了学生的肯定。

一、牛顿环实验现象及估算透镜曲率半径的基本思路

牛顿环是典型的等厚干涉现象, 一般工科院校均会开设这一普通物理实验。在平整的光学玻璃板上放置一曲率半径较大的(通常采用 1m 数量级) 平凸透镜(如图 1), 两者之间将形成一空气隙, 则在两者接触点 O′ 附近可以看到一系列同心的明暗交替的干涉环纹, 不同的环纹对应于不同的空气隙厚度, 且最近邻的两条暗纹(或明纹) 下方的空气隙的厚度在光源垂直入射的情况下相差 $\lambda/2$(λ为观察牛顿环所用单色光在空气中波长)。放大后, 如图 2 所示。干涉环纹自圆心所在的接触点向外, 随半径及

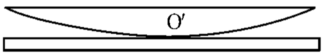

图 1　牛顿环装置

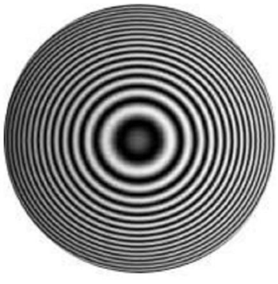

图 2　干涉环纹

其所对应的气隙厚度逐渐增加, 环纹间距连续变小。当此间距小至某一极限以下, 则用肉眼观察环纹将连成一片, 从而不可分辨。

通常这一实验装置中所用的平凸透镜的曲率半径是在具有固定光频的单色或近单色光源垂直照射下, 配合移测显微镜测量具有固定级别差的两条干涉纹的直径而获得的。然而如果我们可以估测到牛顿环纹的目测可见范围对透镜曲率中心所张的最大空间角度, 即可由此估得透镜的曲率半径。如图 3, O 为透镜的曲率中心, $\overline{AB}$为目视可见最大干涉纹直径, α 为其对曲率中心所张的角度, 则曲率半径可近似为

$$\rho = \overline{AB} / \alpha, \tag{1}$$

其中$\overline{AB}$可作为一次性目测后的已得结果, 关键是 α 如何求出。

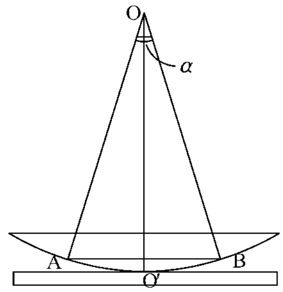

图 3

虽然牛顿环的理论教学过程中看似没有可资直接导出 α 的相关内容, 但在劈尖状空气膜所形成的干涉纹的教学过程中却有着可以用于求解空间角度的信息, 若将其善加利用, 则可以求出 α。

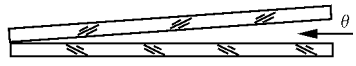

图 4

二、局域空气劈尖等厚干涉近似

将两块平板玻璃片如图 4 放置, 一端相互叠合,

更强、体积更小、更易使用的智能功率模块。其控制端子可直接兼容 5V CMOS/TTL 电平, 外部可不加光耦或隔离变压器等隔离电路, 单一控制电源 15VDC, 故障输出脉冲宽度可外部调节, 过流保护阈值也可通过外部电阻来设置。在实现系统小型化、专用化、高性能、低成本方面又推进了一步。现在, 有些公司已经把 IPM 和整流模块封装在同一模块内, 使系统电路设计更简单、体积更小。因此, IPM 在电力电子领域有着广阔的发展前景。

(安徽合肥工业大学计算机与信息学院　230009)

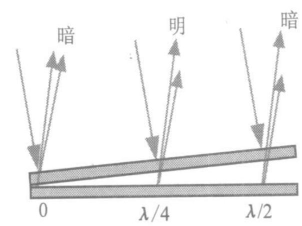

图 5

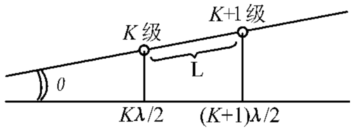

图 6

两玻璃片间形成一劈尖状空气隙。若其顶角较小(角度小于等于 1′数量级)则在单色光的照射下, 劈尖顶角附近可以看到明暗交替的等距干涉条纹, 不同的明纹或暗纹对应于不同的气隙厚度——实际其产生干涉条纹的机理与牛顿环本质上是一致的。图 5 显示了在光线垂直入射的情况下前两条暗纹(0 级与 1 级)与第一条明纹(1 级)出现的位置和其所对应的空气隙厚度, 其余条纹按照空间平移的方式等距的分布于劈尖上。离玻璃片的叠合点越远, 条纹级别越高。而其相邻干涉条纹间距 L(可以是 K 与 $K+1$ 级明纹间距, 或 K 与 $K+1$ 级暗纹间距, 不妨设为暗纹间距)可由其光程差为 λ(λ 为观察牛顿环所用单色光在空气中波长), 对应干涉纹所在处空气隙厚度相差 $\lambda/2$ 而定出。如图 6 所示, 圆形空心点显示暗条纹出现位置, 对应的空气隙厚度标于空心点下方, 则

$$L\sin\theta=\lambda/2, \qquad (2)$$

其中 $L\sin\theta$ 为 K 与 $K+1$ 级暗条纹所在处空气隙的厚度之差。因 θ 很小, (2) 式近似为

$$L\theta=\lambda/2。 \qquad (3)$$

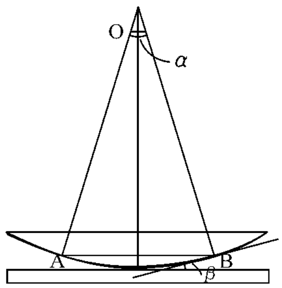

图 7

在图 3 中牛顿环可视范围边界 B 做平凸透镜的切线(此切线应位于 OO′B 所在平面内), 如图 7, 使其与放置在下方的玻璃板交角 β, 若不考虑实际情况下可能出现的相对较小的不对称因素, 则

$$\beta=\alpha/2, \qquad (4)$$

显然, 如果把牛顿环装置 B 点附近的空气隙看成厚度是沿接触点 O′ 向外的径向线性增加的(即等效为空气劈尖, 亦即将牛顿环在此点附近据其条纹间距连续变化的特征看成是等距的), 则在已知所用单色光波长和 B 处条纹间距的情况下, 可由(3) 和(4) 定出 α, 即

$$\alpha=\lambda/L, \qquad (5)$$

而其中的条纹间距可由在 B 处条纹间距达到了人眼的分辨极限这一事实来确定。

三、人眼分辨极限及曲率半径估算式

上面所提到的人眼的分辨极限实际是指在明视距离上(约距离眼球 25 厘米远处) 人眼作为一种光学仪器所能分辨的最小线距离。这一数值可以通过把人眼经由瞳孔接受光线观察物体的过程近似等效为一个圆孔夫琅和费衍射的过程, 以瑞利判据估算得到; 或根据一般性常识, 在可见光范围内的正常照度下, 约为米尺最小刻度的十分之一, 即 0.1 毫米。

综合以上, 用于估算牛顿环装置中平凸透镜曲率半径的算式为:

$$\rho=\overline{AB}/\alpha=L\cdot\overline{AB}/\lambda, \qquad (6)$$

其中 L 取 0.1 毫米。

四、实际实验数据

若采用钠灯(空气中波长 λ 约为 600 纳米) 照射牛顿环装置(其中平凸透镜真实曲率半径为 1.2 米), 经目测干涉纹可见范围约为 $\overline{AB}\approx 5$ 毫米, 则由(6) 式, $\rho\approx 1$ 米。可见用本文所述方法估算牛顿环装置所用平凸透镜曲率半径的数量级是较可靠的。

(江苏南京工业大学应用物理系　210009)