

实验 40 菲涅耳双棱镜

在历史上,光的干涉实验曾经是确定光具有波动性的判据。早在 17 世纪人们就提出解释光的本性的两种学说——微粒说和波动说。由于牛顿 (Newton, I. 1642-1727) 的权威,特别是牛顿的后继者们偏执和固守牛顿的微粒说,摒弃惠更斯 (Huygens, C. 1629-1695) 等人的波动说,导致波动说停滞于整个 18 世纪,直至 19 世纪初一些决定性的光学发现才使波动说再次复苏。

1801 年 11 月托马斯·扬 (Young, T. 1773-1829) 在他的论文中提出了光的干涉原理,后来又做了著名的杨氏双缝干涉实验,第一个给微粒说造成严重困难,但当时并没有产生重大影响。

1818 年菲涅耳 (Fresnel, A. J. 1788-1827) 在建立较严密的光干涉理论的同时,设计了双镜等实验,作为无可辩驳的证据,为波动光学奠定了坚实的基础。

菲涅耳双棱镜实验与杨氏实验、菲涅耳双镜实验以及捞埃德 (Lloyd, H. 1800-1881) 镜实验都是用波阵面分割法产生双光来干涉,对此应注意融会贯通。

【预习重点】

- (1) 结合杨氏实验理解菲涅耳双棱镜实验的原理,弄清有关物理量之间的关系。
- (2) 影响干涉条纹视见度的主要因素。
- (3) 光路的调节。
- (4) 测微目镜的使用常识。

【实验目的】

- (1) 掌握光路的调整技术。
- (2) 了解菲涅耳双棱镜与杨氏双缝的异同。
- (3) 进一步理解光的波动性理论。

【实验仪器】

光具座、菲涅耳双棱镜、狭缝、仪器高压汞灯、干涉滤光片、测微目镜和凸透镜等。

【实验原理】

若让单色光先通过一个针孔 S, 再经过相同的路程到达靠得很近的两个针孔 S_1 和 S_2 上, 因穿过此二针孔的光是由同一波阵面分割而得, S_1 和 S_2 即为同相位的次级单色光源, 这两处的光波只要在传播过程中叠加起来, 就可以用屏幕接收到干涉图样。图 40-1 中 xy 屏幕垂直于 S_1S_2 的垂直等分线 CO, 而 x 轴平行于 S_1S_2 。设 d 为两个针孔的间距, l 为二针孔连线到观察面的垂直距离, 对屏上某点 P (x, y) 而言, 光从二针孔到该点的几何路程分别为

$$r_1 = S_1P = \sqrt{l^2 + y^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} \quad (40-1a)$$

$$r_2 = S_2P = \sqrt{l^2 + y^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} \quad (40-1b)$$

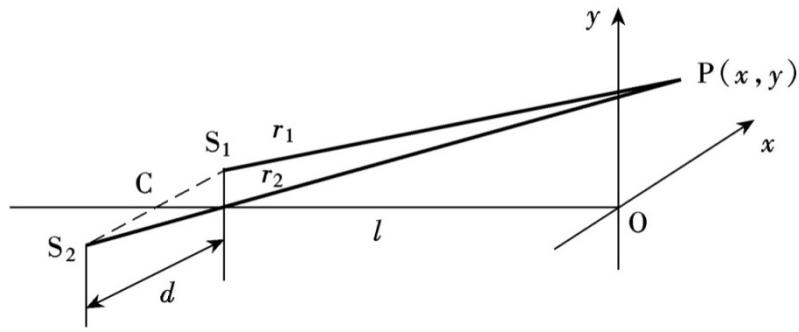


图 40-1 杨氏实验原理

两式平方相减得

$$r_2^2 - r_1^2 = 2xd \quad (40-2)$$

或

$$r_2 - r_1 = \frac{2xd}{r_2 + r_1} \quad (40-3)$$

$r_2 - r_1$ 是光从 S_1 和 S_2 到达 P 点的几何程差，在空气中近似等于光程差 δ 。实际上，可见光的波长很短，只有当 d 比 l 小很多时才便于观测到干涉条纹。如果 x 和 y （即观测范围）也很小，则

$$r_2 + r_1 = 2l \quad (40-4)$$

把式 (40-4) 代入式 (40-3) 得到

$$\delta = r_2 - r_1 = \frac{xd}{l} \quad (40-5)$$

当两束光到达幕上某点的光程差满足 $\delta = k\lambda$ 时，该点因干涉加强有最大亮度。所以 x 坐标满足下式的各点亮度皆为最大：

$$x = \frac{k\lambda}{d}l \quad (40-6a)$$

其中 $k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$ 为干涉条纹的级次。而相消干涉即最暗各点的 x 坐标满足

$$x = (2k + 1)\frac{\lambda}{2} \frac{l}{d} \quad (40-6b)$$

由于干涉加强和干涉相消各点位置只与 x 坐标有关，因而在 O 点附近的干涉图样是一系列平行于 y 轴等间隔的明暗条纹。相邻明条纹或暗条纹的距离

$$\Delta x = \lambda \frac{l}{d} \quad (40-7)$$

所以

$$\lambda = \frac{d}{l} \Delta x \quad (40-8)$$

因上述干涉条纹是平行于y轴的，如采用狭缝光源代替针孔S，发出柱面波前照射平行的双缝S₁和S₂，就能大大加强干涉图样的亮度。这就是著名的杨氏双缝实验。

菲涅耳双棱镜可以看成是由两个顶角很小(0.5°~1°)的直角棱镜底边相接而成的(图40-2)。通过狭缝S的光波被双棱镜折射成两束，在两束光的交叠区(图40-2中以斜线表示)发生干涉现象。S₁和S₂是S因折射产生的两个虚像，相当于杨氏双缝，可称虚光源。S₁和S₂与S近似在同一平面上。S与M相距为l，S₁和S₂相距为d，条纹间距为Δx，即可利用式(40-8)计算单色光的波长λ。

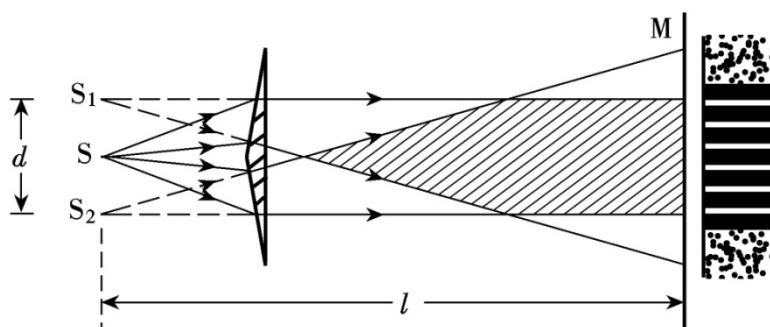


图 40-2 菲涅耳双棱镜干涉条纹的产生

【实验内容及要求】

1) 调节光路

- (1) 如图 40-3 所示，在光具座上安装光源系统(汞灯W、滤光片F、狭缝S)和光屏，并使屏到狭缝的距离略大于凸透镜焦距的 4 倍。目测让单色光通过竖直取向的狭缝照在屏的中心线上。
- (2) 将狭缝旋转成水平方向。支起凸透镜L。移动透镜，用两次成像法调节光具组“等高”。
- (3) 恢复狭缝呈竖直取向，再调节凸透镜，使两次像共轴。
- (4) 当狭缝像清晰时，在凸透镜与狭缝之间距狭缝约 20cm，用横向可调光凳支起双棱镜B。横向调节双棱镜至屏上出现两条亮度相当的缝像为止，说明光已照在棱镜的棱脊上。
- (5) 以测微目镜M取代光屏(如图 40-3 所示)，并将狭缝调至足够窄时在测微目镜中出现两条亮线即虚光源的像S₁和S₂。



图 40-3 实验装置

(6) 移去透镜，移近测微目镜，细微调节狭缝的铅直微调使狭缝与棱镜的棱脊平行，在目镜中观察到出现清晰的干涉条纹。若条纹的亮度或清晰度不理想还可微动狭缝的宽窄调节螺丝。重复这两步调节直至调出满意的干涉条纹。

2) 测量条纹间距 Δx

移远测微目镜移到距狭缝恰当位置处（最好取略大于4倍焦距处），用目镜叉丝逐一对准视场中部的10条明条纹，记录每一明条纹在目镜测微尺上的位置 x_1, x_2, \dots, x_{10} ，用逐差法求 Δx 的平均值。记录狭缝S、双棱镜B和测微目镜M在光具座上的位置，并求观测距 l （ l 为S到M的距离）。

3) 用共轭法测量虚光源 S_1 和 S_2 的间距 d

不改变狭缝与双棱镜的相对位置（目镜至狭缝的距离应大于透镜焦距的4倍），在双棱镜B与测微目镜M之间加上凸透镜L，移动透镜（注意等高同轴），在测微目镜中两次出现虚光源的像。用测微目镜分别测出两虚光源较大像之间距离 d' 和较小像之间距离 d'' ，计算两虚光源之间的实际距离

$$d = \sqrt{d' d''} \quad (40-9)$$

适当改变测微目镜M的位置重复测量求 d 的平均值。将所测 $\overline{\Delta x}$ 和 \bar{d} 代入式(40-8)求出单色光的波长 λ 。

4) 观察现象

- (1) 先后改变双棱镜和目镜的位置，分别观察干涉条纹的变化并作定性解释。
- (2) 从光具座上取下滤光片，观察干涉条纹的变化，说明其特征。

【拓展设计】

设计一种测双棱镜的楔角的方法。