

对切透镜的光学实验 1

学号: PB22511902 姓名: 王冬雪

实验目的

理解分波前干涉的原理；通过比列对切透镜干涉实验测量对切透镜的切距。

实验原理

比列对切透镜一般是将焦距为 f 的透镜中间宽度为 a 的部分切去，将剩余部分粘合后构成。粘合的比列对切透镜分波前双光束干涉可分为会聚光的干涉和发散光的干涉两种情况。当点光源 S 与中心 O 距离 $L > f$ 时，点光源在像方成两个实像 S_1 和 S_2 ，两汇聚光束交叠区会出现干涉现象。根据光学原理， S_1 和 S_2 距离 $d = \frac{aL}{L-f}$ ，干涉条纹为双曲线型，傍轴条件下为平行直条纹，若光屏距离透镜距离为 D ，条纹间距 $\Delta x = \frac{fL-DL+Df}{aL}\lambda$ 。当点光源位于焦平面，分波前折射后变成夹角为 θ 的两束平行光，叠加区域出现干涉条纹，条纹间距 $\Delta x = \lambda/2\sin\frac{\theta}{2}$ ，根据几何关系，在 $a \ll f$ 时，有 $a = \frac{f\lambda}{\Delta x}$ 。

实验仪器

比列对切透镜、劳埃德镜、菲涅耳双棱镜、光学导轨和支座、He-Ne 激光器、会聚透镜、单狭缝、测微目镜、扩束镜、光屏、扑克牌。

测量记录与数据分析

比列对切透镜焦距 $f = 12\text{cm}$ ，放大镜焦距 $f_1 = 3.5\text{cm}$ ，实验室光源波长 $\lambda = 632.8\text{nm}$ 。

（一）基础内容

光屏上干涉条纹为等间隔的平行直条纹。

表 1.1 1 倍焦距处测量值

放大镜距比列对切透镜 $L_1(cm)$	48.5	48.5	48.5
放大镜距屏 $L_2(cm)$	30.5	38.5	52.0
条纹间距 $\Delta x_{\text{大}}(cm)$	1.1/5	1.4/5	1.8/5

根据物像距公式 $\frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_2} = \frac{1}{f}$ ，以及放大率公式 $\frac{\Delta x_{\text{大}}}{\Delta x} = \frac{L_2}{L_3}$ ，以及 $a = \frac{f\lambda}{\Delta x}$ ，那么 $\Delta x = \frac{f_1}{L_2 - f_1} \Delta x_{\text{大}}$ ， $a = \frac{f\lambda}{f_1 \Delta x_{\text{大}}} (L_2 - f_1)$ 。

于是得到：

表 1.2 1 倍焦距处处理值

序号	1	2	3	均值
$\Delta x(cm)$	0.0285	0.0280	0.0260	
$a(cm)$	0.0266	0.0271	0.0292	0.0276

(二) 提升内容

光屏上条纹亦是平行直条纹，但是比（一）更密集。

表 2.1 1.5 倍焦距处测量值

放大镜距比列对切透镜 $L_1(cm)$	26.0	26.0	26.0
放大镜距屏 $L_2(cm)$	55.0	66.0	81.0
条纹间距 $\Delta x_{\text{大}}(cm)$	1.1/8	1.5/9	1.5/7

同（一），有 $\Delta x = \frac{f_1}{L_2 - f_1} \Delta x_{\text{大}}$ ，由 $\Delta x = \frac{fL - DL + Df}{aL} \lambda$ 知 $a = \frac{\lambda(fL - DL + Df)}{\Delta xL}$ ， $D = L_1 - L_3 = L_1 - \frac{f_1 L_2}{L_2 - f_1}$ ， $L = 1.5f$ ，可得：

表 2.2 1.5 倍焦距处处理值

序号	1	2	3	均值
$\Delta x(\text{cm})$	0.0093	0.0093	0.0097	
$a(\text{cm})$	0.0310	0.0310	0.0298	0.0306

(三) 进阶内容

劳埃德镜分波前原理是在平面反射镜 M 上置光源 S_1 ，它发出的光一部分直接到达光屏，一部分经反射到达光屏，重叠区出现干涉条纹。根据光学原理，条纹间距 $\Delta x = \frac{\lambda}{d}L$ ，其中 d 是光源 S_1 与像点 S_2 距离，即 $d = 2(H - h)$ ， L 为光源与光屏距离， λ 为光源波长。分别测量 M 下加不加物体的条纹间距，可以得到物体厚度 $\Delta h = \frac{L\lambda}{2} \left(\frac{1}{\Delta x_1} - \frac{1}{\Delta x_2} \right)$ 。

表 3 劳埃德镜测量值

扩束镜与屏距离 $L(\text{cm})$	无牌条纹间距 $\Delta x_1(\text{cm})$	有牌条纹间距 $\Delta x_2(\text{cm})$
132.5	0.5/4	0.5/3

纸牌厚度

$$\Delta h = \frac{L\lambda}{2} \left(\frac{1}{\Delta x_1} - \frac{1}{\Delta x_2} \right) = 0.0084\text{cm}$$

查阅资料，知理想值为 0.027cm ，与理想值相对误差高达 68.9%。分析原因，可能是由于杂光影响，测量工具精度较低，光路平行度不够良好，光屏并不正对接收，条纹模糊致使读数出错等因素共同造成。

由于 $\delta\Delta h = \frac{\lambda}{2} \left(\frac{1}{\Delta x_1} - \frac{1}{\Delta x_2} \right) \delta L + \frac{L\lambda}{2} \left(\frac{1}{\Delta x_2^2} \delta\Delta x_2 - \frac{1}{\Delta x_1^2} \delta\Delta x_1 \right) = 6.382 \times 10^{-5} \delta L + 0.152 \delta\Delta x_2 - 0.271 \delta\Delta x_1$ ， Δh 的测量对于 Δx_1 ， Δx_2 的精度要求极高，但凡两者有 0.01cm 的误差， $|\delta\Delta h| > 0.00152$ ， $\frac{|\delta\Delta h|}{h_{\text{理想值}}} > 5.63\%$ 。而实验中所用光屏最小刻度

为 0.1cm，条纹亦宽，故误差极大。实际工程应用中需用放大镜以及更精确测量尺测量。

由于只测量了一次数据，且光屏的仪器误差未知，无法计算不确定度。

（四）高阶内容

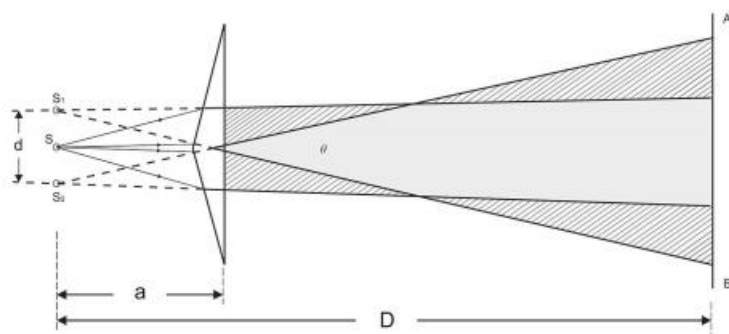


图 1 菲涅耳双棱镜

如图示菲涅耳双棱镜，同源光将在两折射面被分开，叠加区形成干涉条纹，两个虚像点等同于杨氏干涉的双缝。

设计实验以测量 d ：1.在 He-Ne 激光器与扩束镜组成的点光源前放置菲涅耳双棱镜，将扩束镜记为原点，测量菲涅耳双棱镜位置 a 。2.在菲涅耳双棱镜后置放大镜与光屏，记录两者位置 L_1 和 L_2 。3.在光屏上测量干涉条纹间距 $\Delta x_{\text{大}}$ ，为了精确需多数几道取平均。4.根据光学原理计算放大前条纹位置 D 和间距 Δx 。

设菲涅耳双棱镜顶角为 α ，由折射定律， $\sin\alpha = n\sin(\alpha - \frac{\theta}{2})$ ，故傍轴条件下有 $d = 2(n - 1)\alpha a$ ，如果知道菲涅耳双棱镜的折射率，就可以求得双棱镜顶角角度。

思考题

- 1.根据比列对切透镜的基本过程推导公式 $\Delta x = \frac{fL - DL + Df}{aL} \lambda$ 。

如图所示，

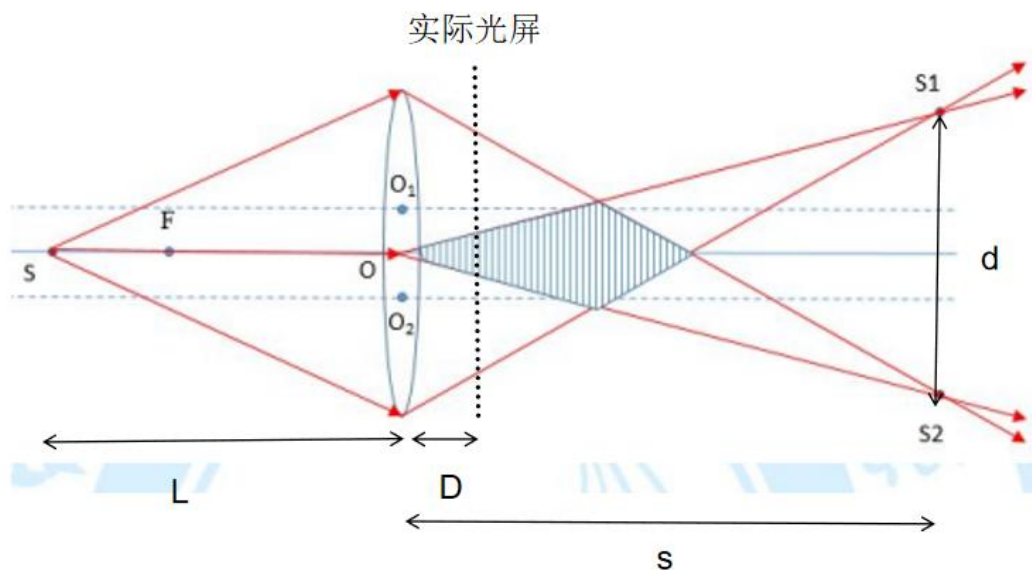


图 2 比列对切透镜干涉过程

由物像距公式 $\frac{1}{L} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f}$, 放大率公式 $V = -\frac{\frac{d}{2}}{\frac{a}{2}} = -\frac{s}{L}$, 得 $s = \frac{fL}{L-f}$, $d = \frac{aL}{L-f}$ 。根据杨氏实验结果, $\Delta x = \frac{s-D}{d} \lambda = \frac{fL-DL+Df}{aL} \lambda$ 。

2.在杨氏双孔干涉实验中, 若双孔间距 0.45mm, 孔与屏幕距离为 1.2m, 第 1 条亮纹与第 10 条亮纹间距为 1.5cm, 那么光源波长为多少?

$$\lambda = \frac{d}{D} \Delta x = \frac{0.45\text{mm}}{1.2\text{m}} \times 1.5\text{cm} \div (10 - 1) = 625\text{nm}$$