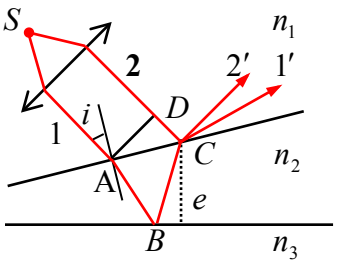
第 4 节　薄膜干涉

（1）等厚干涉（2）等倾干涉

一、等厚干涉的一般理论



1、光路图

厚度不均匀薄膜 n_2

i：入射角

薄膜上下表面产生的两条反射光在薄膜上表面相遇相干迭加

2、光程差 $\delta = n_2(\overline{AB}+\overline{BC}) - n_1\overline{DC}$，$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i}$

$n_2 > n_1, n_3$，光线 2 有半波损失，光线 1 没有，应加上 $\lambda/2$

$n_2 < n_1, n_3$，光线 2 没有半波损失，光线 1 有，应加上 $\lambda/2$

$n_1 < n_2 < n_3$，光线 2 和光线 1 都有半波损失，　不加 $\lambda/2$

$n_1 > n_2 > n_3$，光线 2 和光线 1 都没有半波损失，不加 $\lambda/2$

$$\boxed{\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + <\frac{\lambda}{2}>}$$

3、等厚干涉条纹　　i 一定，$\delta = \delta(e)$

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + <\frac{\lambda}{2}> = \begin{cases} k\lambda & k \in N \quad \text{干涉加强} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k \in N \quad \text{干涉相消} \end{cases}$$

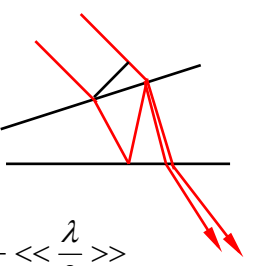
k：干涉级，k 的取值必须保证 $e \geq 0$

干涉条纹形状与薄膜等厚线形状相同

说明：（1）用日光照射薄膜，呈现彩色条纹

（2）从薄膜上方看到的是反射光的干涉

从薄膜下方看到的是透射光的干涉



透射光光程差 $\delta' = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + <<\frac{\lambda}{2}>>$

λ 一定：反射光干涉加强时，透射光干涉相消

反射光干涉相消时，透射光干涉加强

例：用日光垂直照射空气中 $e = 0.40\mu m$、折射率为 1.50 的玻璃片

求：可见光范围，哪些波长的光反射加强、哪些波长的光透射加强？

解：反射加强条件 $\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} + \frac{\lambda}{2} = 2n_2 e + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$

$$\lambda = \frac{4n_2 e}{2k-1}$$

$$k = 3，\lambda = \frac{4\times 1.50\times 0.40\times 10^{-6}}{2\times 3 - 1} = 0.48\mu m$$

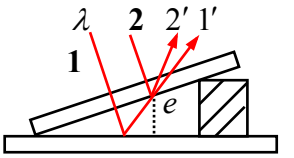
透射加强条件（反射光相消条件）

$$\delta = 2e\sqrt{n_2^2 - n_1^2\sin^2 i} = 2n_2 e = k\lambda，\quad \lambda = \frac{2n_2 e}{k}$$

$k = 2$，$\lambda = 0.60\mu m$；$k = 3$，$\lambda = 0.40\mu m$

二、几种重要的薄膜干涉

1、劈尖干涉



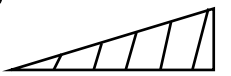
空气劈尖

用波长λ的单色光垂直照射劈尖

$i=0$

$$\delta=2e\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i}+<\frac{\lambda}{2}>$$

$\delta=2e+\dfrac{\lambda}{2}$（空气中的玻璃劈尖$\delta=2ne+\dfrac{\lambda}{2}$）



玻璃劈尖

$$\delta=2e+\frac{\lambda}{2}=\begin{cases}k\lambda & k=1,2,3,\cdots\text{明纹}\\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k=0,1,2,\cdots\text{暗纹}\end{cases}$$

明纹中心下面空气薄膜厚度$e=\dfrac{2k-1}{4}\lambda$，$\dfrac{1}{4}\lambda$，$\dfrac{3}{4}\lambda$，$\dfrac{5}{4}\lambda$，

暗纹中心下面空气薄膜厚度$e=\dfrac{1}{2}k\lambda$，　　0，$\dfrac{1}{2}\lambda$，λ，

等厚线是平行棱边的直线

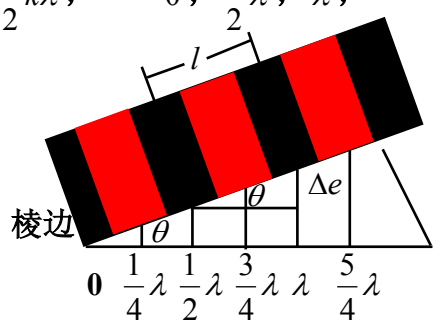
条纹是平行棱边的直条纹

相邻两明纹或两暗纹下面

空气薄膜厚度差$\Delta e=\lambda/2$

相邻两明纹或两暗纹的

距离$l=\Delta e/\sin\theta=\dfrac{\lambda}{2\sin\theta}$



θ：劈尖的夹角，条纹均匀分布

$\theta\downarrow$，$l\uparrow$条纹容易分辨，$\theta\uparrow$，$l\downarrow$

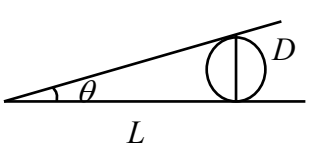
用途：已知λ，测量l，求θ；已知θ，测量l，求λ；

　　检验玻璃表面是否平整

棱边处是一暗纹，$\delta=2e+\dfrac{\lambda}{2}=\dfrac{\lambda}{2}$，是半波损失的有力证据

空气中的玻璃劈尖：$\Delta e=\dfrac{\lambda}{2n}$，$l=\dfrac{\lambda}{2n\sin\theta}$

例：$L=28.880mm$，用波长$\lambda=0.5893\mu m$的光垂直照射劈尖，测得第一条明纹到第 **31** 条明纹的距离为$4.295mm$

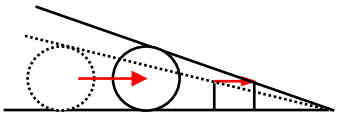


求：金属丝的直径D

解：相邻两明纹的距离 $l=\dfrac{4.295}{31-1}=0.14317mm$

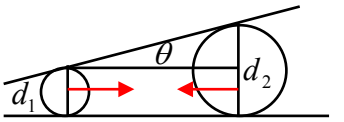
$l=\dfrac{\lambda}{2\sin\theta}$，$\sin\theta=\dfrac{\lambda}{2l}$

$D\approx Ltg\theta\approx L\sin\theta=L\dfrac{\lambda}{2l}=0.05944mm$



圆柱向右移动，条纹如何变化？

条纹间距↓，向右移动



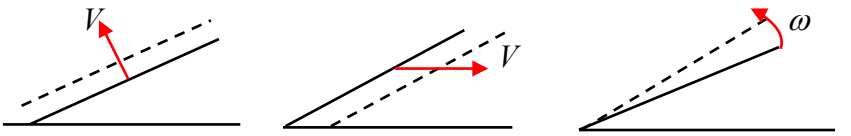
L

L↓，条纹如何变化？

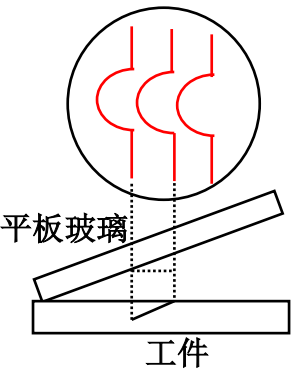
条纹间距↓

$$N=\frac{L/\cos\theta}{\lambda/2\sin\theta}=\frac{2L}{\lambda}tg\theta=\frac{2}{\lambda}(d_2-d_1)$$

下面几种情况条纹如何变化？



例：用波长λ的单色平行光垂直照射由平板玻璃和工件形成的空气劈尖，观察干涉条纹弯曲，弯曲部分的顶部恰与左边条纹直线部分相切，说明工件上有一凹槽，深度$\lambda/2$



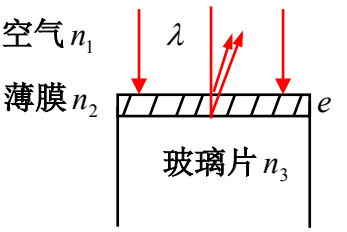
解；条纹是空气薄膜的等厚线

某条纹弯曲部分的顶部下面空气薄膜厚度与同一条纹上直线部分下面空气薄膜厚度相同工件上必有一凹槽，深度等于相邻两明纹直线部分对应的空气薄膜厚度差$\lambda/2$

2、增透膜与增反膜

反射光的光程差

$$\delta=2n_2e+<\frac{\lambda}{2}>$$



如果反射光干涉加强，增反膜

如果反射光干涉相消，增透膜

例：设$n_1=1$，$n_2=1.38$，$n_3=1.55$，用$\lambda=550nm$的黄绿光垂直照射薄膜，若使反射光强最小

求：薄膜最小厚度

解：$\delta=2n_2e$

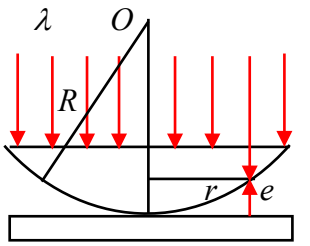
$$\delta=2n_2e=(2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$e=\frac{2k+1}{4n_2}\lambda，\quad k=0，\quad e_{\min}=\frac{\lambda}{4n_2}=\frac{550}{4\times1.38}=100nm$$

注：n_1、n_2、n_3、e给定，薄膜只对特定波长的光增透或增反

若用日光照射，反射光中缺少黄绿光，反射光呈蓝紫色

3、牛顿环



$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1,2,3,\cdots \text{明纹} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & k = 0,1,2,\cdots \text{暗纹} \end{cases}$$

k：干涉级

空气薄膜的等厚线是圆环

条纹是圆环

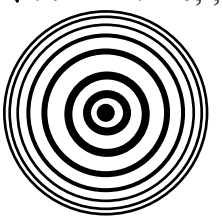
明环下空气薄膜厚度 $e = \dfrac{2k-1}{4}\lambda$， $\dfrac{1}{4}\lambda$， $\dfrac{3}{4}\lambda$， $\dfrac{5}{4}\lambda$，

暗环下空气薄膜厚度 $e = \dfrac{1}{2}k\lambda$， 0， $\dfrac{1}{2}\lambda$， λ，

相邻两明环或暗环下面空气薄膜厚度差： $\dfrac{\lambda}{2}$

$r^2 = e(2R - e) \approx 2eR$， $e = \dfrac{r^2}{2R}$

$$\delta = 2e + \frac{\lambda}{2} = \frac{r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明环半径} r = \sqrt{(k - \frac{1}{2})\lambda R} \quad k = 1,2,3,\cdots \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗环半径} r = \sqrt{k\lambda R} \quad k = 0,1,2,\cdots \end{cases}$$



中心是暗斑（**0** 级暗纹）

$k\uparrow$， $r\uparrow$

条纹分布不均匀，向外越来越密

例：用 $\lambda = 5893\,\mathring{A}$ 的黄光观察牛顿环，看到

第 k 级暗环半径 $r_k = 4mm$，第 $k+5$ 级暗环半径 $r_{k+5} = 6mm$

求：凸透镜半径 R 及 k

解： $r_k = \sqrt{k\lambda R}$,$r_{k+5} = \sqrt{(k+5)\lambda R}$， $\dfrac{r_{k+5}^2}{r_k^2} = \dfrac{k+5}{k} = 1 + \dfrac{5}{k}$， $\dfrac{r_{k+5}^2 - r_k^2}{r_k^2} = \dfrac{5}{k}$

$$k = \frac{5r_k^2}{r_{k+5}^2 - r_k^2} = \frac{5 \times 4^2}{6^2 - 4^2} = 4，\quad R = \frac{r_k^2}{k\lambda} = \frac{(4 \times 10^{-3})^2}{4 \times 5893 \times 10^{-10}} = 6.79m$$

思考题

（**1**）把牛顿环装置放在水中，条纹如何变化？

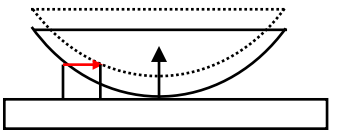
（$n_{水} = 1.33$， $n_{玻} = 1.52$）

$$\delta = 2n_{水}e + \frac{\lambda}{2} = \frac{n_{水}r^2}{R} + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & \text{明环半径} r = \sqrt{(k - \frac{1}{2})\lambda R / n_{水}} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗环半径} r = \sqrt{k\lambda R / n_{水}} \end{cases}$$

条纹变密

（**2**）凸透镜向上移动，

条纹如何变化？

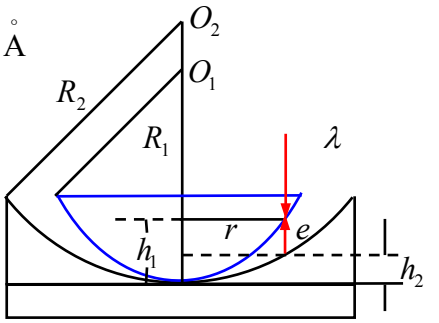


条纹向中心收缩

例：凸透镜 $R_1 = 102.3cm$， $\lambda = 5893\,\mathring{A}$

暗环 $r_4 = 2.25cm$

求：凹面镜半径 R_2



解：$\delta = 2e + \dfrac{\lambda}{2}$

$r^2 = h_1(2R_1 - h_1) \approx h_1 2R_1$，

$r^2 = h_2(2R_2 - h_2) \approx h_2 2R_2$

$$e = h_1 - h_2 = \frac{r^2}{2R_1} - \frac{r^2}{2R_2}$$

$$\delta = \frac{r^2}{R_1} - \frac{r^2}{R_2} + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$$

$$R_2 = \frac{r^2 R_1}{r^2 - k\lambda R_1} = 102.8cm$$

第 5 节　麦克尔逊干涉仪

M_1、M_2：反射镜

$M_1 \perp M_2$

M_1 固定，M_2 可调

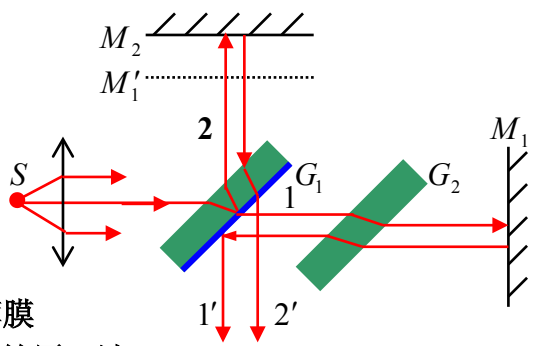
G_1 背面镀有半反射膜，

G_1：分光板

G_2：补偿板

$G_1\ G_2$ 与 $M_1\ M_2$ 成 45°

$M_1'\ M_2$ 之间形成空气薄膜



M_1、M_2 不严格垂直，等厚干涉

M_2 移动 $\lambda/2$，光程差改变 λ，视场中有一个条纹移动

如果观察到 N 个条纹移动，M_2 移动的距离 $d = N\dfrac{\lambda}{2}$ 或 $2d = N\lambda$

例：在 M_2 前插入一块 $n = 1.632$ 的玻璃片，可观察到 **150** 条条纹移动，已知 $\lambda = 500nm$

求：玻璃片厚度 d

解：因插入玻璃片所引起的光程差改变

$\delta = 2d(n-1) = 150\lambda$

$$d = \frac{150\lambda}{2(n-1)} = \frac{150 \times 500 \times 10^{-9}}{2 \times (1.632 - 1)} = 5.93 \times 10^{-5}(m)$$

M_1、M_2 严格垂直，将发生等倾干涉，条纹是环状的