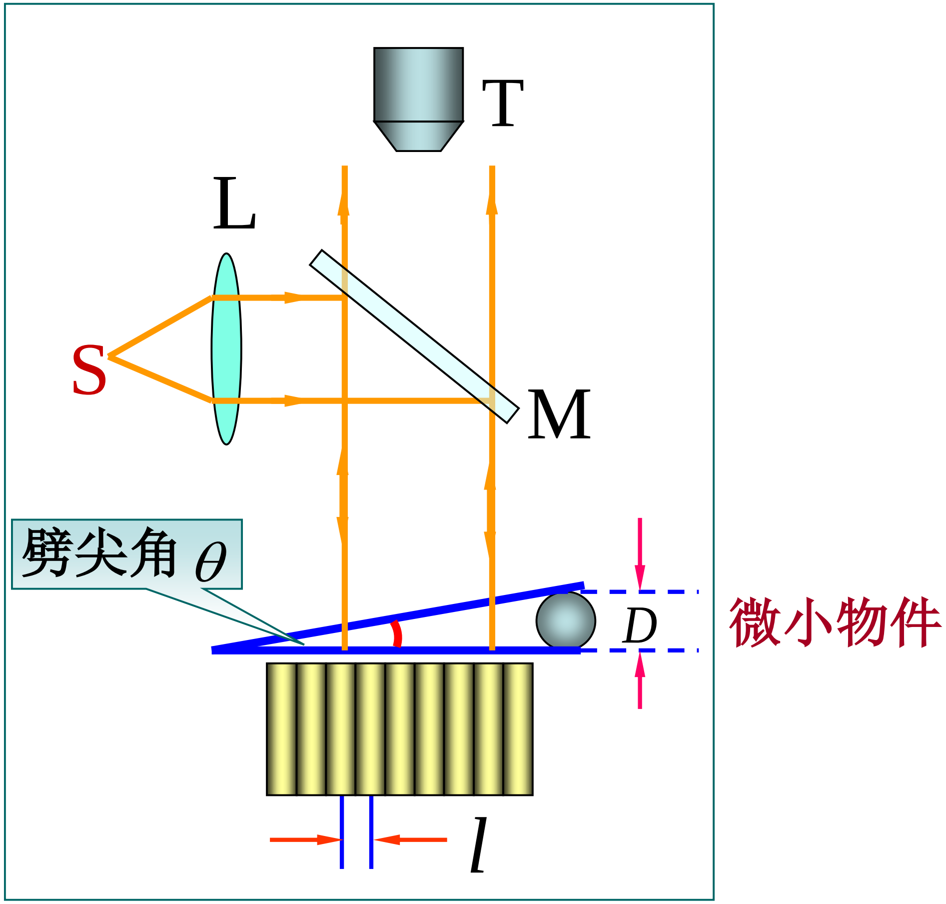
第 十一 章 光 学

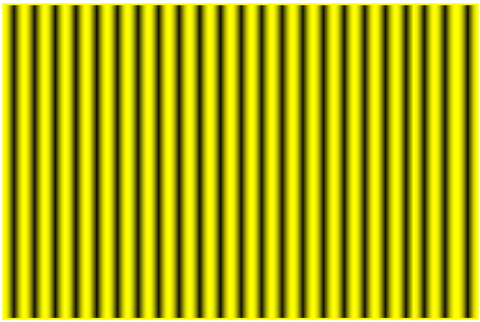
11-4 劈尖、牛顿环、迈克耳孙干涉仪

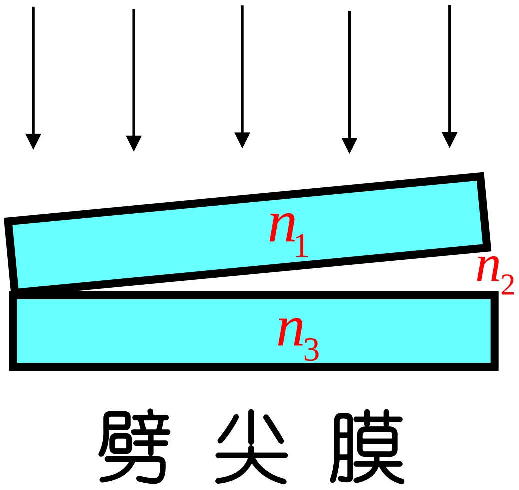
一、等厚干涉

1、劈尖膜

1）劈尖膜



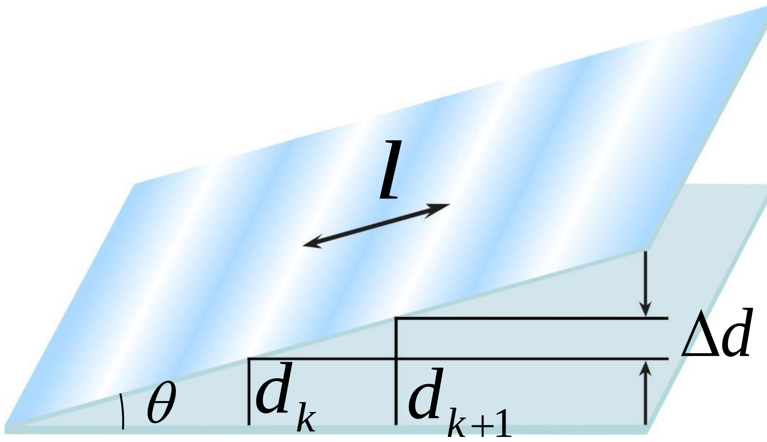




一、等厚干涉

1、劈尖膜

1）劈尖膜



以$n_1 = n_3$、垂直入射，观察反射光为例

$n_1 < n_2 > n_3$ 或 $n_1 > n_2 < n_3$，$\Delta_0 = \dfrac{\lambda}{2}$

明纹：$$\Delta_r = 2n_2 d_k + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad k = 1, 2, \cdots$$

暗纹：$$\Delta_r = 2n_2 d_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, \cdots$$

相邻条纹间距 l 与所对应的膜厚度差Δd 之间的关系：

$$\Delta d = d_{k+1} - d_k = \frac{\lambda}{2n_2}, \qquad \Delta d = \boxed{l\sin\theta = \frac{\lambda}{2n_2}}$$

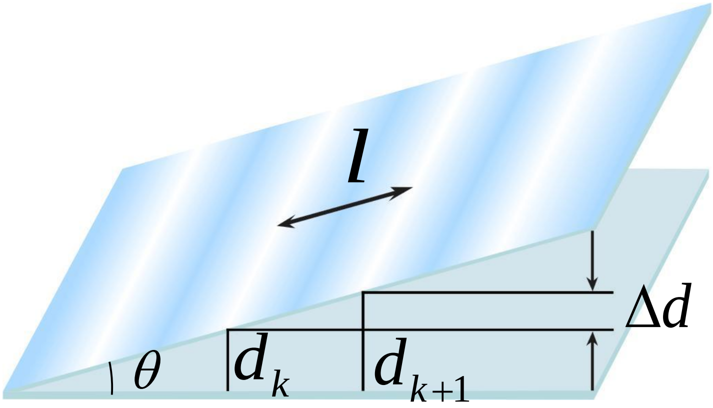
相邻条纹间距l与劈尖顶角θ之间的关系

一、等厚干涉

1、劈尖膜

1）劈尖膜

以$n_1 = n_3$、垂直入射，观察反射光为例



$n_1 < n_2 > n_3$ 或 $n_1 > n_2 < n_3$，$\Delta_0 = \dfrac{\lambda}{2}$

明纹：$\Delta_r = 2n_2 d_k + \dfrac{\lambda}{2} = 2k\dfrac{\lambda}{2} = k\lambda,\quad k = 1, 2, \cdots$ $\quad \Delta d = d_{k+1} - d_k = \dfrac{\lambda}{2n_2}$，

上玻璃片上移

条纹向棱端移动

上玻璃片下移

条纹远离棱端移动

每移动一个条纹，上玻璃片移动距离：$\Delta d = \dfrac{\lambda}{2n_2}$，

移动N个条纹，上玻璃片移动距离：$\Delta h = N\dfrac{\lambda}{2n_2}$

如果在空气中：$n_2 = 1$

$\Delta d = \dfrac{\lambda}{2}$，

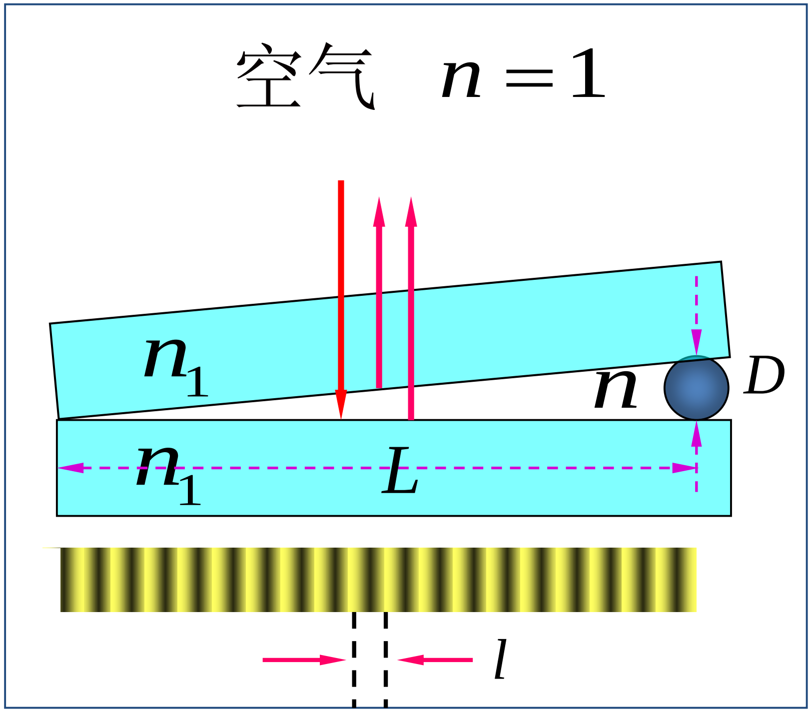
$\Delta h = N\dfrac{\lambda}{2}$

一、等厚干涉

1、劈尖膜

2）劈尖膜的应用

(1) 测波长、劈尖顶角及细丝的直径



$$\theta \approx \sin\theta = \frac{\lambda}{2nl}$$

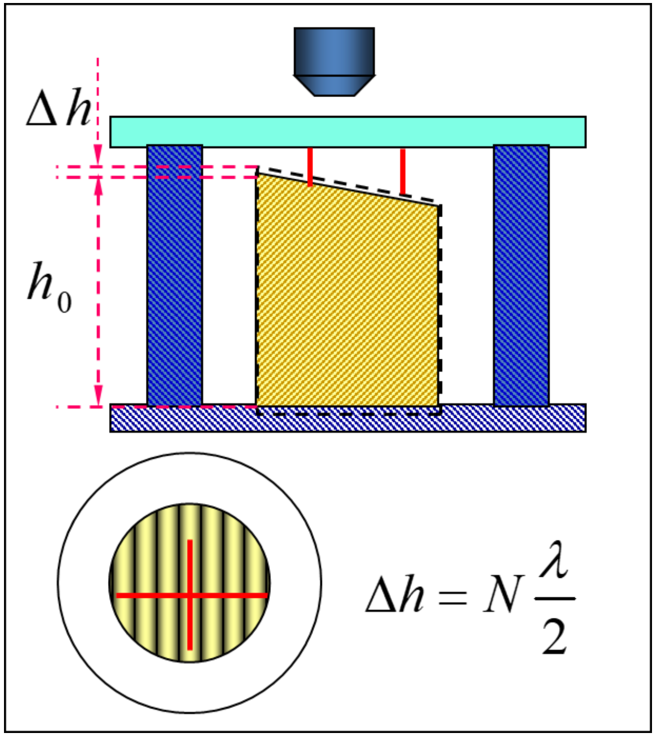
$$D = \frac{\lambda}{2n} \cdot \frac{L}{l}$$

一、等厚干涉

1、劈尖膜

2）劈尖膜的应用

(2) 干涉膨胀仪



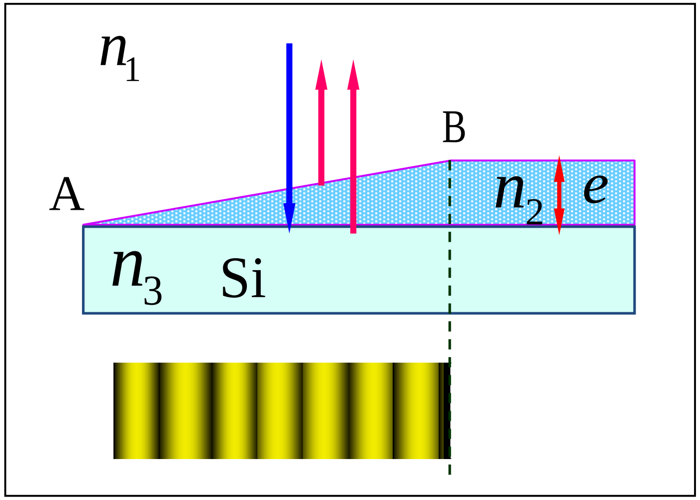
一、等厚干涉

1、劈尖膜

2）劈尖膜的应用

例10： 用波长为600nm平行单色光垂直照射，观察反射光，在AB段共有8条暗纹，B处恰好是一条暗纹，n_1=1.00，n_2=1.50，n_3=3.42，求：薄膜厚度e。

(3) 测膜厚



解：反射光： $n_1 < n_2 < n_3$， $\Delta_0 = 0$

$$\Delta_r = 2n_2 d + \Delta_0 = 2n_2 d$$

干涉减弱（暗）：

$$\Delta_r = 2n_2 d_k = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \ k = 0,1,2,\cdots$$

B处，7级暗纹： $k = 7$， $d_7 = d_B = e$

$$\Rightarrow 2n_2 e = (2\times 7+1)\frac{\lambda}{2} = \frac{15\lambda}{2}$$

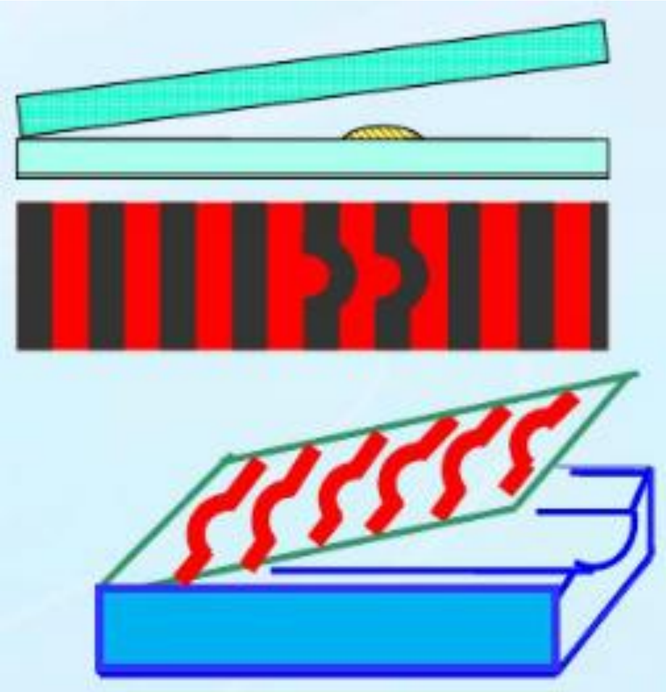
$$\Rightarrow e = \frac{15\lambda}{4n_2} = 1500\text{nm}$$

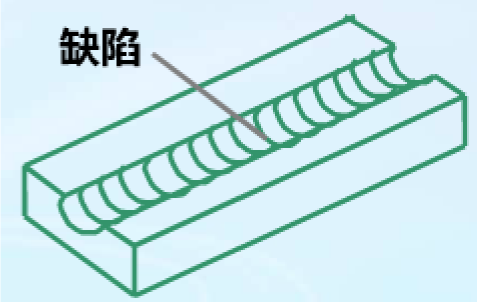
一、等厚干涉

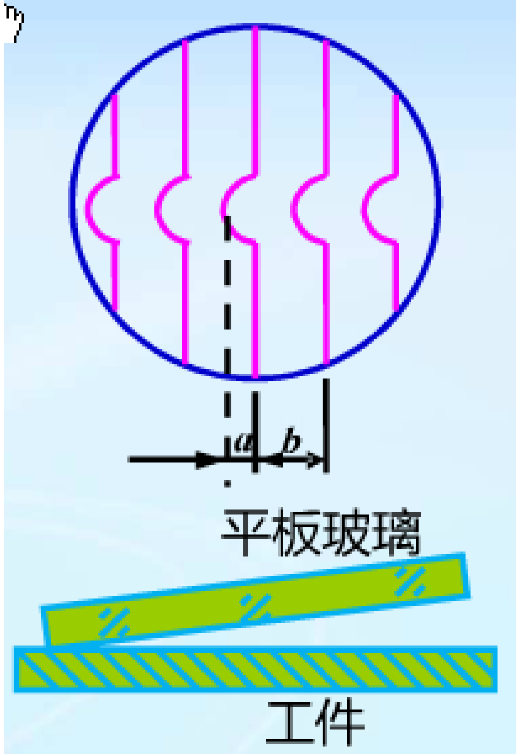
1、劈尖膜

2）劈尖膜的应用

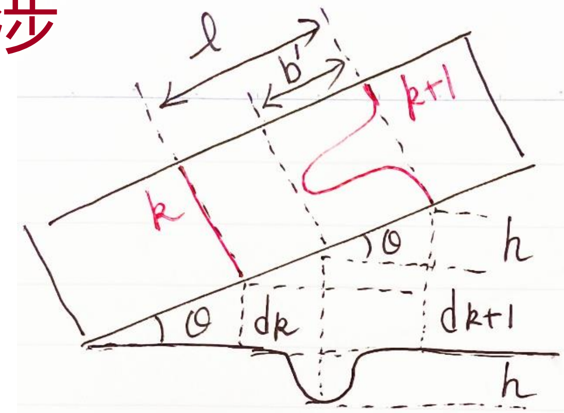
(4)检验光学元件表面的平整度







一、等厚干涉



设：空气中

$n_1=n_3,\ n_2=1.0$

$$\Delta d = d_{k+1}-d_k = \frac{\lambda}{2n_2} = \frac{\lambda}{2}$$

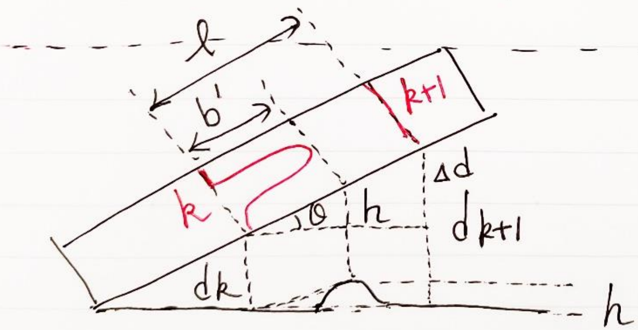
相邻条纹间距 l：

$$l\sin\theta = \frac{\lambda}{2}$$

最大深度 h：

$$b'\sin\theta = h$$

$$\Rightarrow h = b'\cdot\frac{\lambda}{2l}$$



$n_1=n_3,\ n_2=1.0$

$$\Delta d = d_{k+1}-d_k = \frac{\lambda}{2}$$

$$\left.\begin{array}{l} l\sin\theta = \Delta d = \frac{\lambda}{2} \\ b'\sin\theta = h \end{array}\right\} \Rightarrow h = b'\cdot\frac{\lambda}{2l}$$

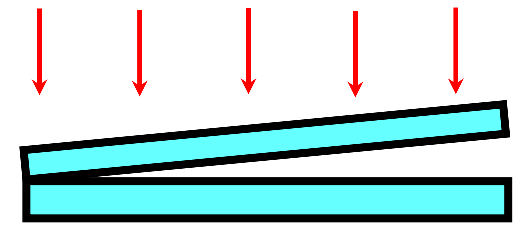
例 11：一光学平板玻璃A与待测工件B之间形成空气劈尖，用波长 **500 nm** 的单色光垂直入射。 看到的反射光的干涉条纹如图所示，有些条纹弯曲部分的顶点恰好与其右边条纹的直线部分相切，则工件的上表面缺陷是：

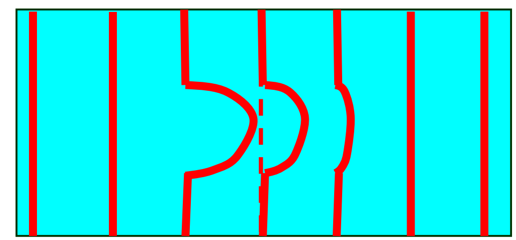
(A) 不平处为凸起，最大高度为500 nm；

(B) 不平处为凸起，最大高度为250 nm;

(C) 不平处为凹槽，最大深度为500 nm；

(D) 不平处为凹槽，最大深度为250 nm





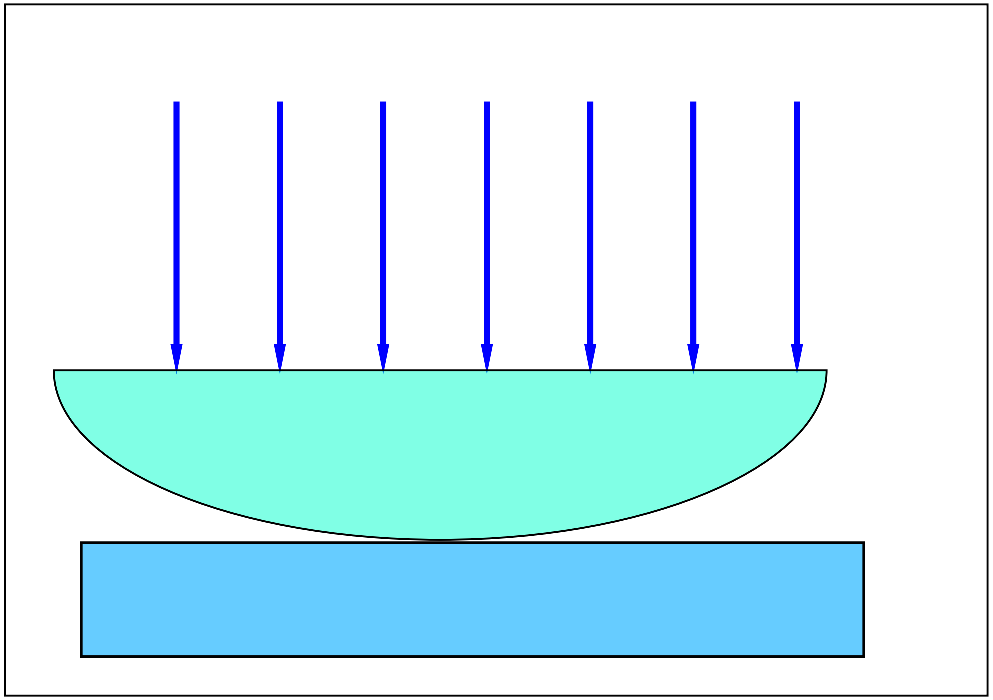
凸起，最大高度h：$h = b'\dfrac{\lambda}{2l} = l\dfrac{\lambda}{2l} = \dfrac{\lambda}{2}$

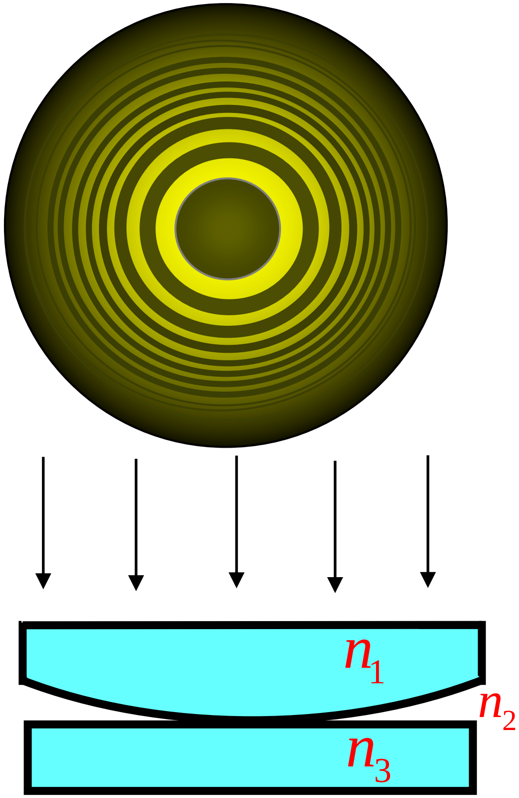
一、等厚干涉

2、牛顿环

1）牛顿环

由一块平板玻璃和
一(曲率半径很大)平凸透镜组成





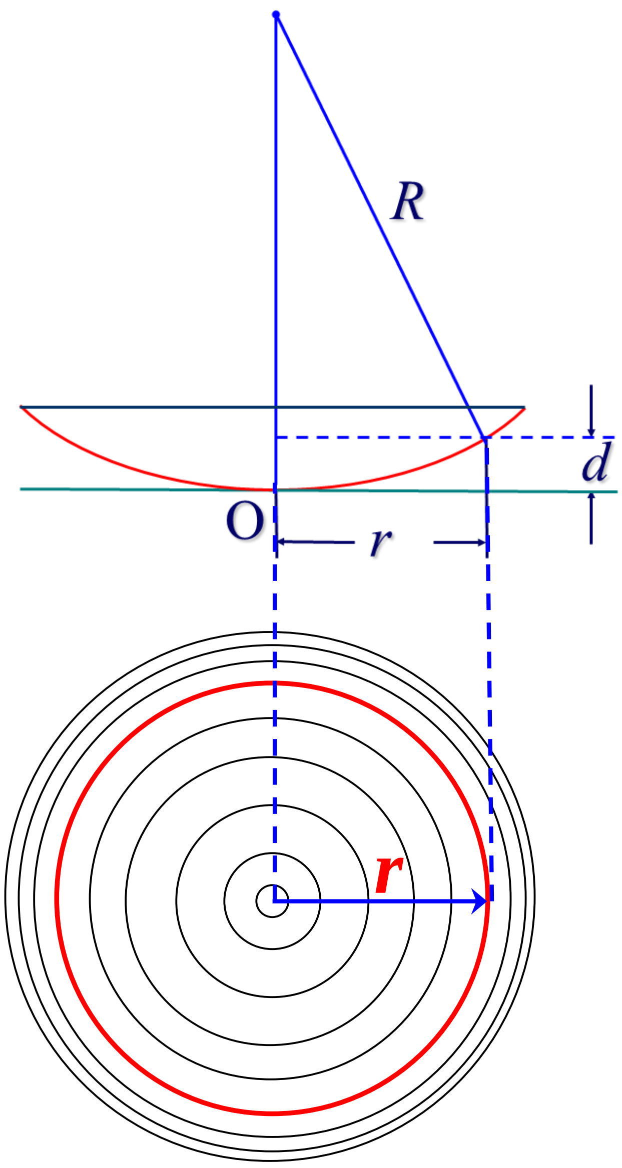
牛 顿 环

一、等厚干涉

2、牛顿环

2）条纹半径公式

以 $n_1 = n_3$、垂直入射，
观察反射光为例



$$n_1 < n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 > n_2 < n_3, \quad \varDelta_0 = \frac{\lambda}{2}$$

明纹： $\varDelta_r = 2n_2 d_k + \frac{\lambda}{2} = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda, \quad k = 1, 2, \cdots$

暗纹： $\varDelta_r = 2n_2 d_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2}, \quad k = 0, 1, \cdots$

接触点O（中心）： $d = 0, \varDelta_r = \frac{\lambda}{2}$， 暗斑

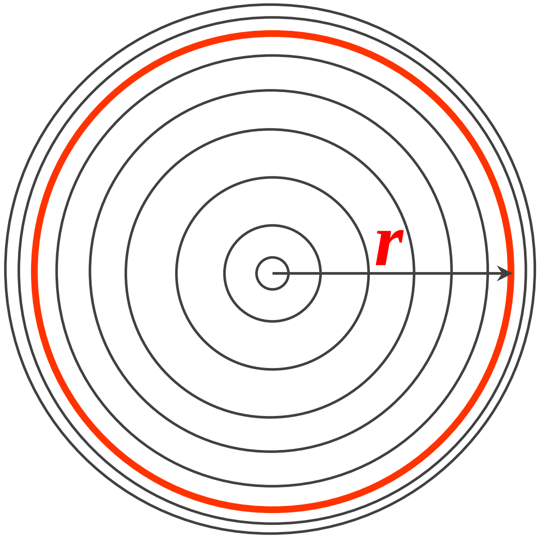
条纹半径： $r^2 = R^2 - (R-d)^2 = 2Rd - d^2$

$$\because \quad R >> d \to 2Rd >> d^2 \Rightarrow d \approx \frac{r^2}{2R}$$

一、等厚干涉

2、牛顿环

2）条纹半径公式



以$n_1 = n_3$、垂直入射，观察反射光为例

$$n_1 < n_2 > n_3 \text{ 或 } n_1 > n_2 < n_3, \quad \Delta_0 = \frac{\lambda}{2}$$

牛顿环半径公式：

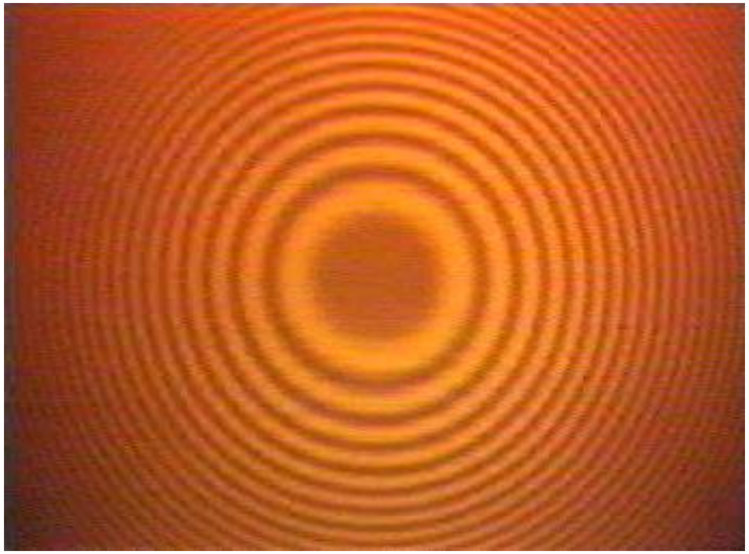
明环：$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2n_2}}, \qquad (k = 1, 2, \cdots)$$

暗环：$$r_k = \sqrt{\frac{kR\lambda}{n_2}}, \qquad (k = 0, 1, 2, \cdots)$$

一、等厚干涉

2、牛顿环

3）条纹形状

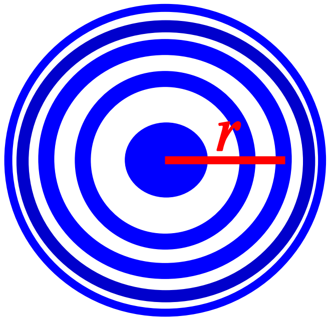


等厚干涉条纹每级明纹或暗纹都与一定的膜厚相对应，条纹是一组以接触点为中心的不等间距的明暗相间的同心圆环（内环疏，外环密），级数 k 越大，干涉圆环 r_k 则越大。

一、等厚干涉

2、牛顿环

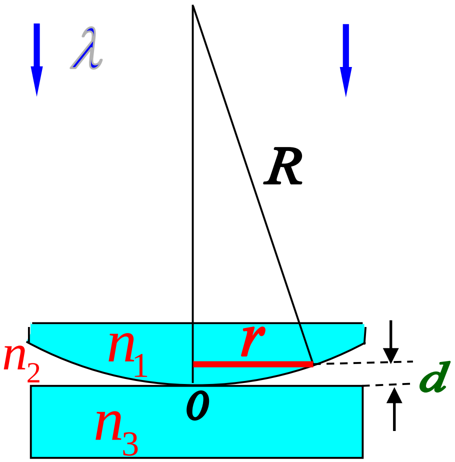
4）接触点



在接触处，$d=0$，则$\delta_r=\lambda/2$出现暗斑。

（夹心型：$n_1<n_2>n_3$ 或 $n_1>n_2<n_3$）

如 $n_1>n_2>n_3$ 或 $n_1<n_2<n_3$ 时，$d=0$，$\delta_r=2n_2d=0$，则接触处会出现亮斑。

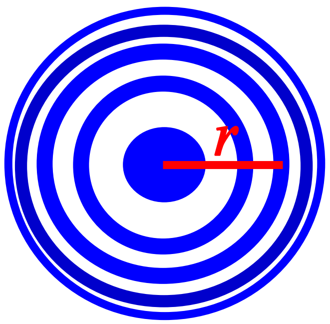


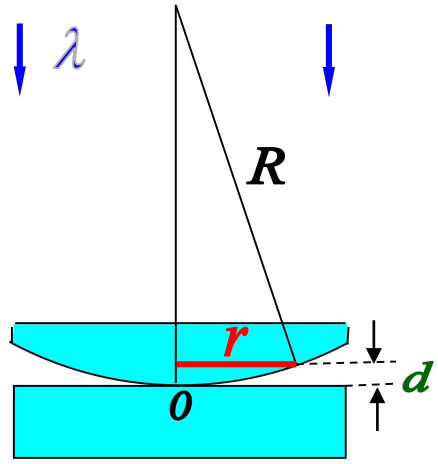
一、等厚干涉

2、牛顿环

5）牛顿环的平凸透镜向上平移，薄膜变厚，原来第k级处变为$k+k`$级，于是条纹向中心收缩；

反过来，则条纹向外扩张。

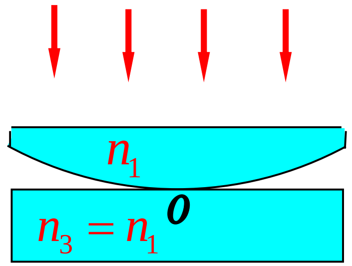




牛顿环的应用——测量曲率半径

例 12：空气(折射率 n=1.0)中，用波长为633nm的单色光做牛顿环实验，如图所示，测得 k 级暗环的半径为 5.63 mm，k+5 级暗环的半径为 7.96mm，求平凸透镜的曲率半径R。

解：暗环半径：$r_k = \sqrt{\dfrac{kR\lambda}{n_2}} = \sqrt{kR\lambda}$



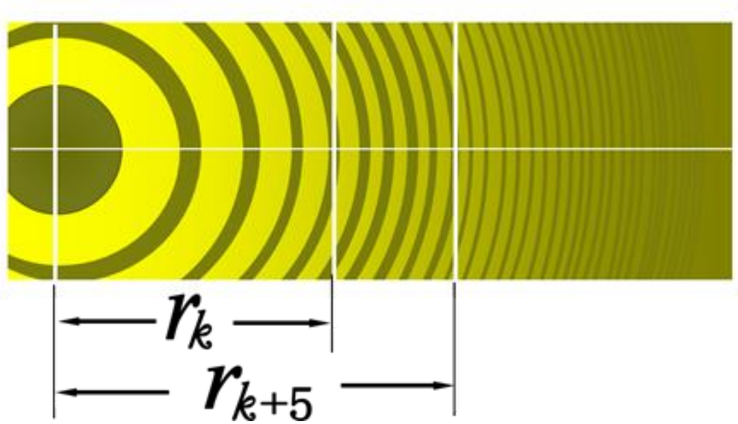
$$r_k = \sqrt{kR\lambda},$$

$$r_{k+5} = \sqrt{(k+5)R\lambda},$$

$$\Rightarrow r_{k+5}^2 - r_k^2 = 5R\lambda$$

$$\Rightarrow R = \frac{r_{k+5}^2 - r_k^2}{5\lambda}$$

$$= \frac{(7.96\text{mm})^2 - (5.63\text{mm})^2}{5\times 633\text{nm}} = 10\text{m}$$



牛顿环的应用——测量曲率半径

例 13: 空气(折射率 n=1.0)中，用紫光照射一牛顿环，借助于低倍测量显微镜测得由中心往外数第 k 级明环的半径 $r_k = 3.0\times10^{-3}m$ ，

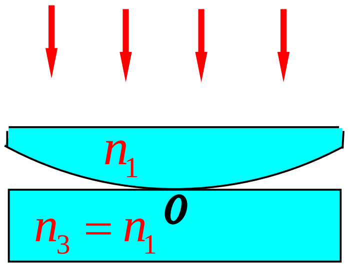
k 级往上数第16 个明环半径 $r_{k+16} = 5.0\times10^{-3}$m ，

平凸透镜的曲率半径R=2.5m，求紫光的波长?

解：

明环半径：

$$r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2n_2}} = \sqrt{\frac{(2k-1)R\lambda}{2}}$$

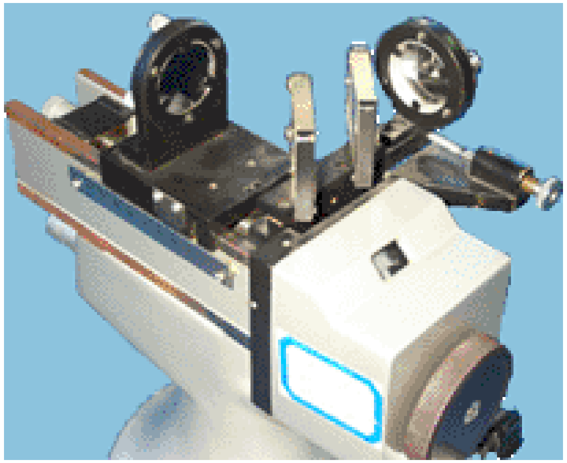


$$r_{k+16} = \sqrt{\frac{[2(k+16)-1]R\lambda}{2}},$$

$$\Rightarrow r_{k+16}^2 - r_k^2 = 16R\lambda$$

$$\Rightarrow \lambda = \frac{r_{k+16}^2 - r_k^2}{16R} = 400\text{nm}$$

二、迈克耳逊干涉仪



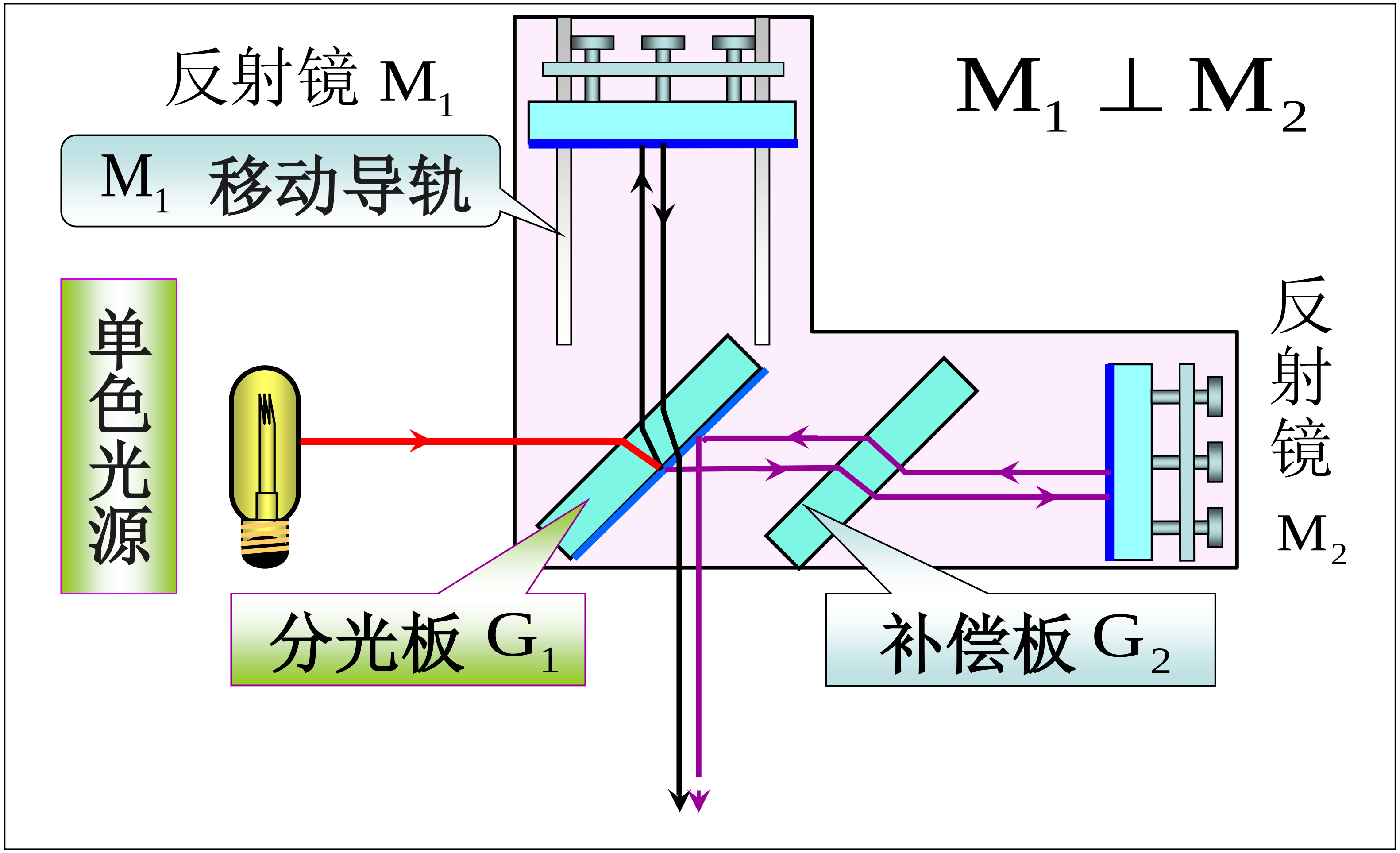
迈克耳逊干涉仪是利用光的干涉精确测量长度和长度变化的仪器。

迈克耳逊和莫雷曾利用它进行过著名的否定旧以太说的实验，在物理学中占有一定地位。

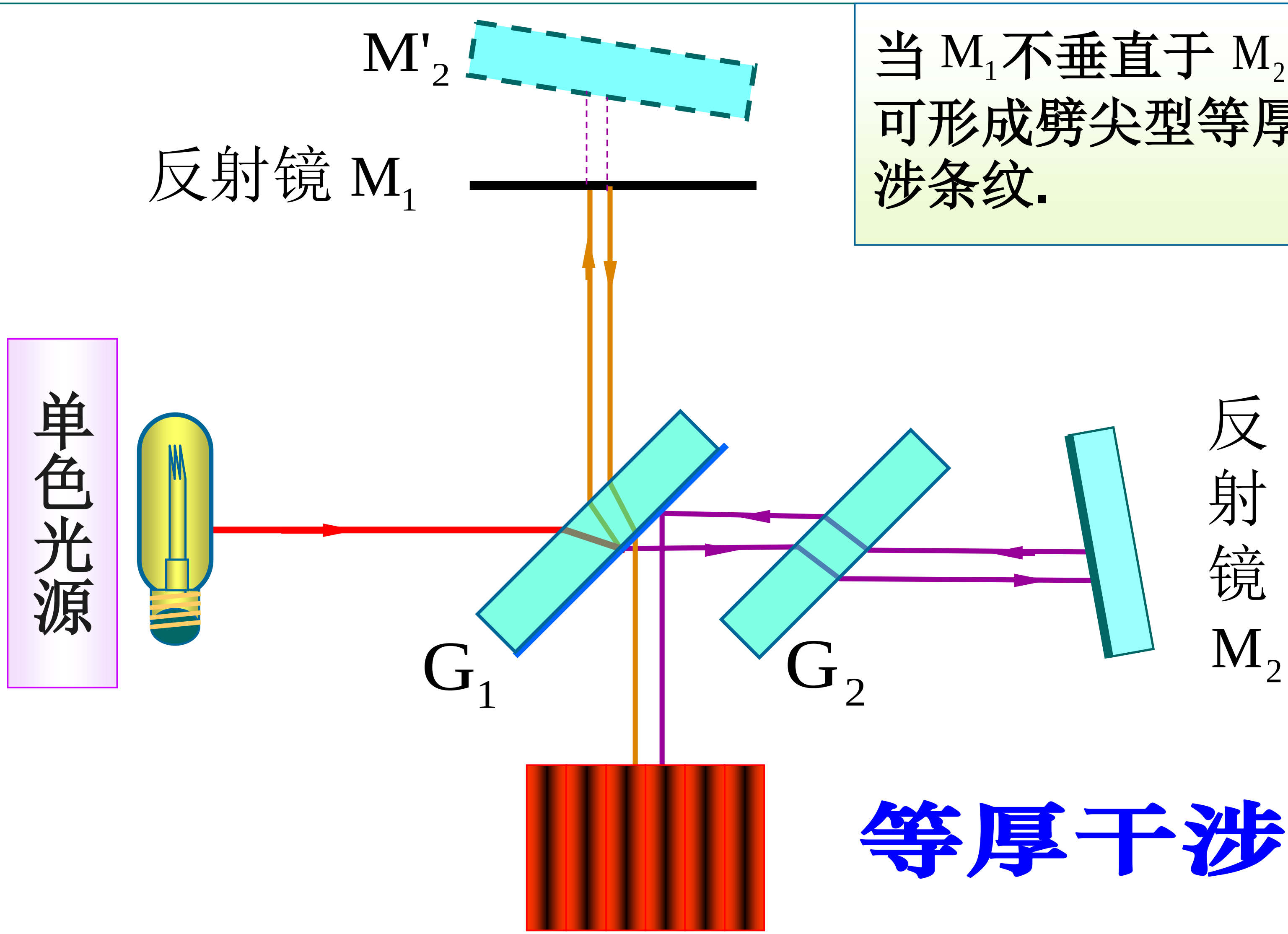
在近代科学技术中也有重要应用。

二、迈克耳逊干涉仪

迈克耳逊干涉仪光路及结构



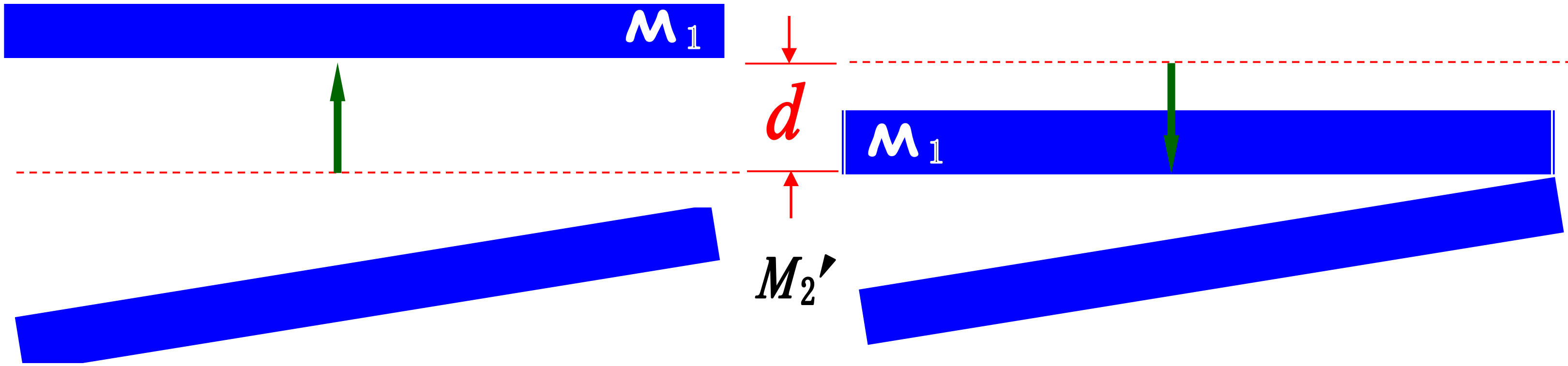
二、迈克耳逊干涉仪



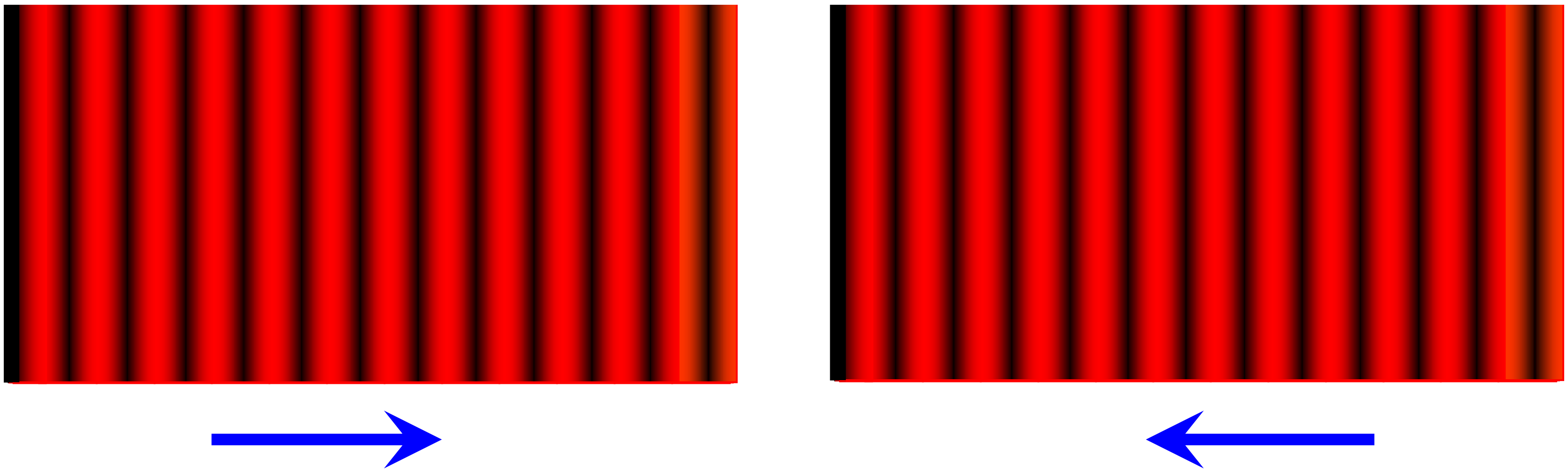
当 M_1 不垂直于 M_2 时，可形成劈尖型等厚干涉条纹.

等厚干涉

二、迈克耳逊干涉仪



M1平移d,条纹右移(或左移)N级. $d = N\lambda/2$



例 14: 当把折射率 $n=1.40$ 的薄膜放入迈克耳逊干涉仪的一臂时，产生了 7 个条纹的移动，已知钠光的波长为 589.3 nm，求薄膜的厚度 e。

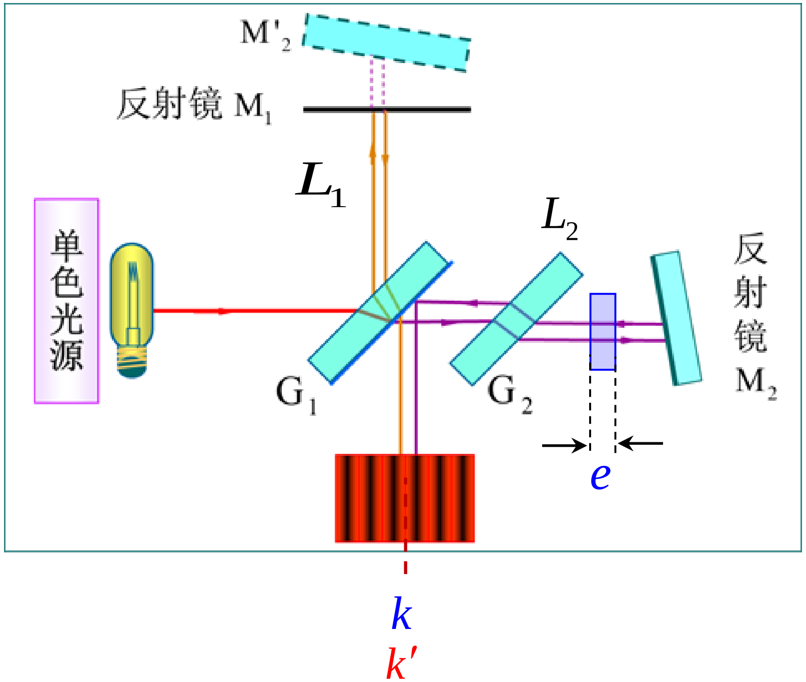
解： 放入薄膜前，k 级明纹：

$$\Delta = L_2 - L_1 = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

放入薄膜后，k' 级明纹：

$$\Delta' = (L_2 - 2e + 2ne) - L_1$$

$$= (L_2 - L_1) + 2(n-1)e = 2k'\frac{\lambda}{2} = k'\lambda$$



$$\Rightarrow 2(n-1)e = (k'-k)\lambda = 7\lambda \Rightarrow e = \frac{(k'-k)\lambda}{2(n-1)} = \frac{7\times 589.3\text{nm}}{2\times(1.40-1.00)}$$

$$\Rightarrow e = 5.156\times 10^{-6}\,\text{m}$$

思考： 在迈克耳孙干涉仪的一支光路中，放入一片折射率为n的透明介质薄膜后，测出两束光的光程差的改变量为一个波长λ，则薄膜的厚度是： $e=\dfrac{\lambda}{2(n-1)}$

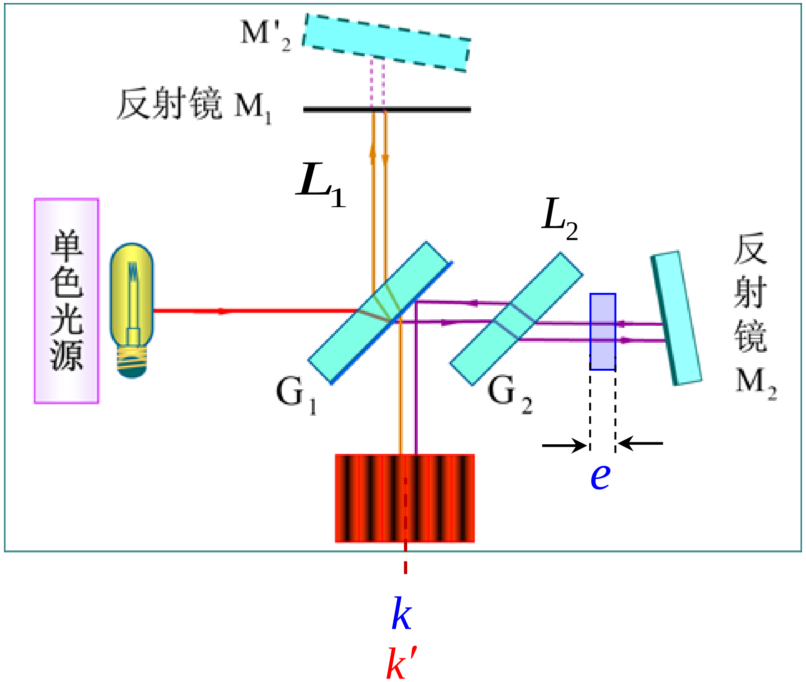
解： 放入薄膜前，k 级明纹：

$$\varDelta = L_2 - L_1 = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

放入薄膜后，k' 级明纹：

$$\varDelta' = (L_2 - 2e + 2ne) - L_1$$

$$= (L_2 - L_1) + 2(n-1)e = 2k'\frac{\lambda}{2} = k'\lambda$$



$$\Rightarrow 2(n-1)e = (k'-k)\lambda = 7\lambda \Rightarrow e = \frac{(k'-k)\lambda}{2(n-1)} = \frac{7\times 589.3\text{nm}}{2\times(1.40-1.00)}$$

$$\Rightarrow e = 5.156\times 10^{-6}\,\text{m}$$

第 十一 章 光 学

11-5 光的衍射

知识点：

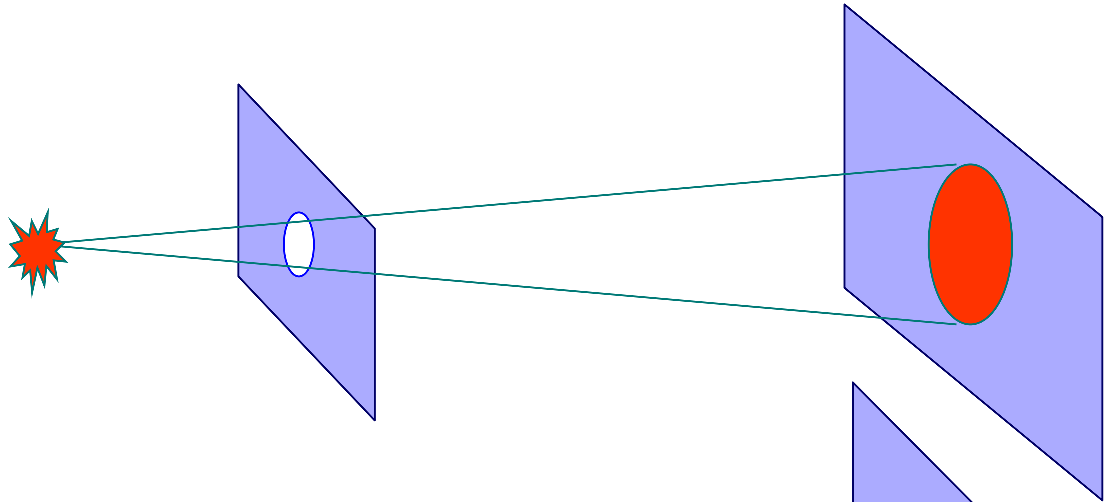
定性掌握：

两类衍射（夫琅禾费衍射、菲涅尔衍射）、

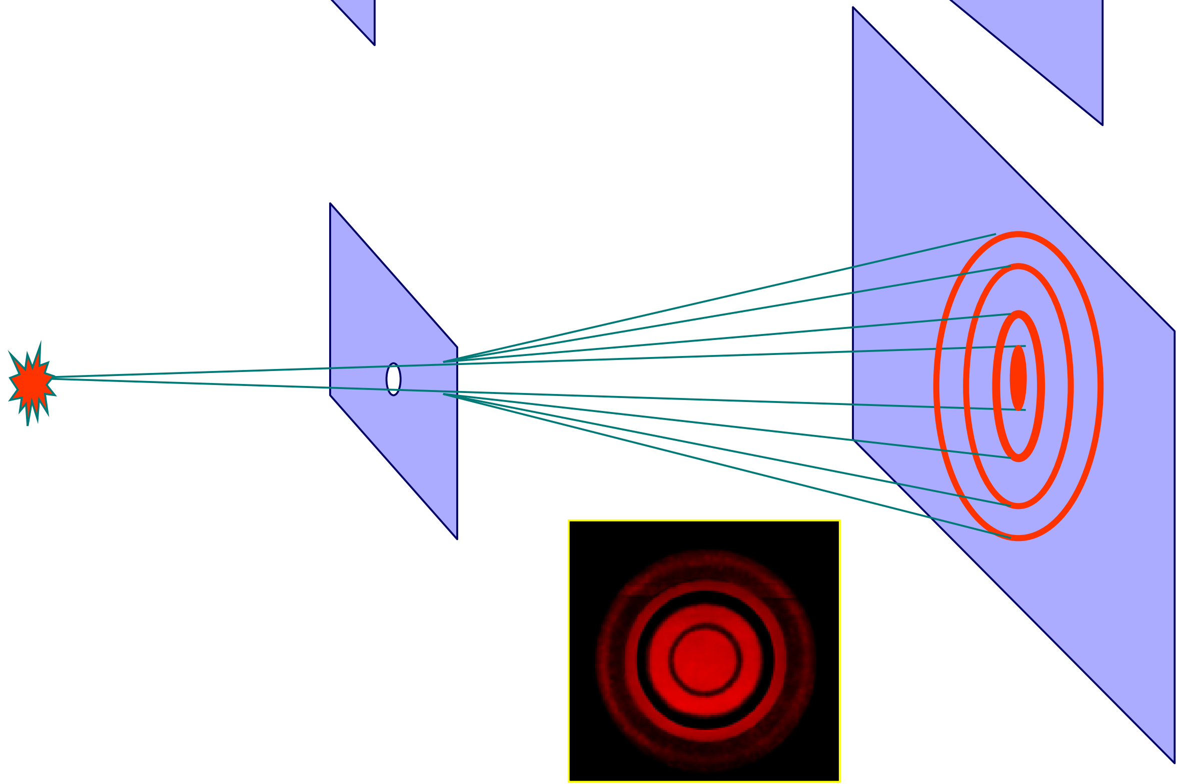
惠更斯-菲涅耳原理、光衍射的实质。

一、光的衍射现象

光通过宽缝时，是沿直线传播的。



若将缝的宽度减小到约10^{-4}m及更小时，缝后几何阴影区的光屏上将出现衍射条纹，这就是光的衍射现象。



一、光的衍射现象

1、波的衍射现象

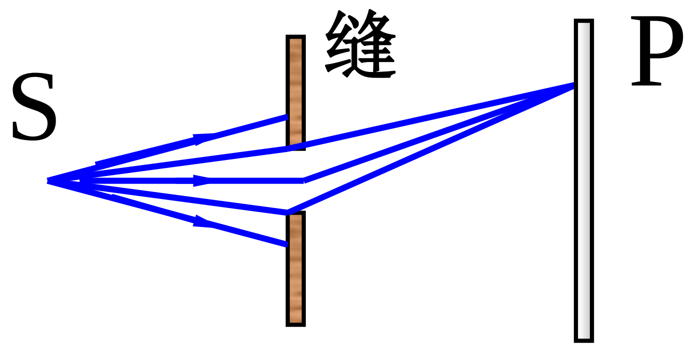
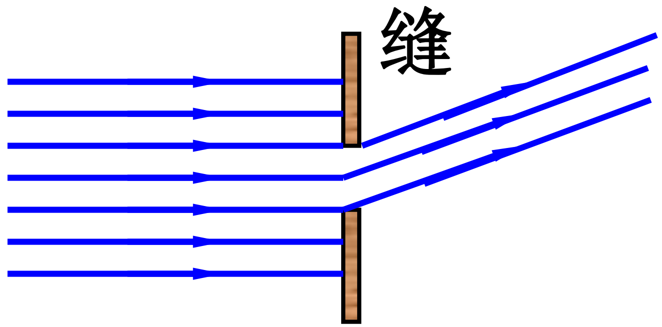
波在传播过程中，遇到障碍物后不沿直线传播而向各方向绕射的现象。

2、光的衍射现象

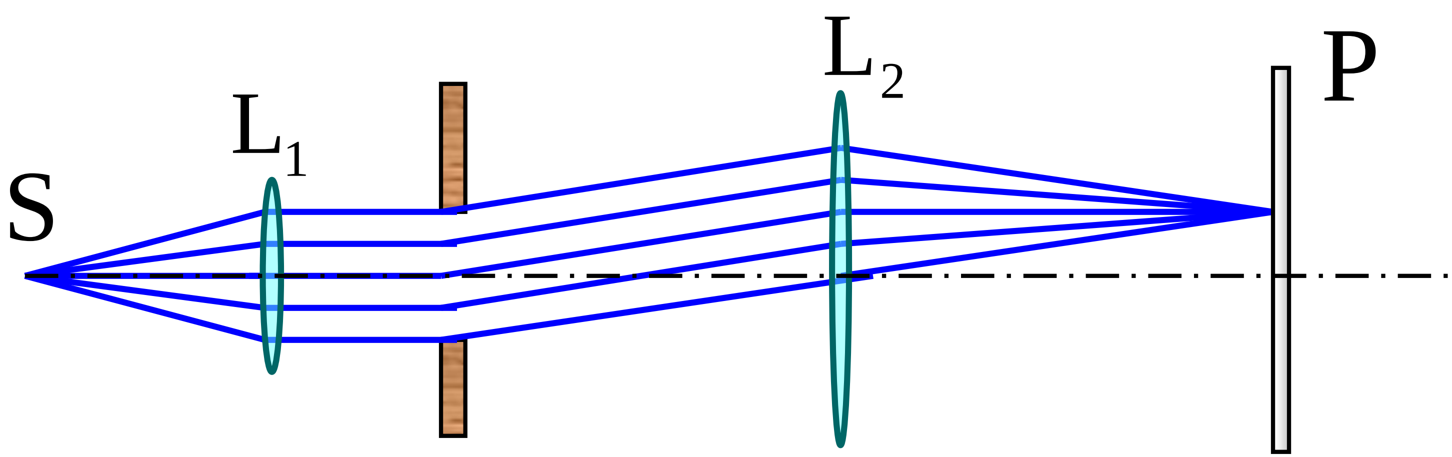
当光遇到小的障碍物（小孔、金属细线）时，也出现偏离直线传播而进入几何阴影区，并在屏幕上出现光强分布不均匀的现象。

—— 说明光是一种波动

3、两类衍射（按光源−障碍物−观察屏相对距离区分）

菲涅尔衍射	夫琅禾费衍射
	
光源与缝或屏与缝相距**有限远**	光源与缝、屏与缝相距**无限远**

夫琅禾费衍射在实验中实现

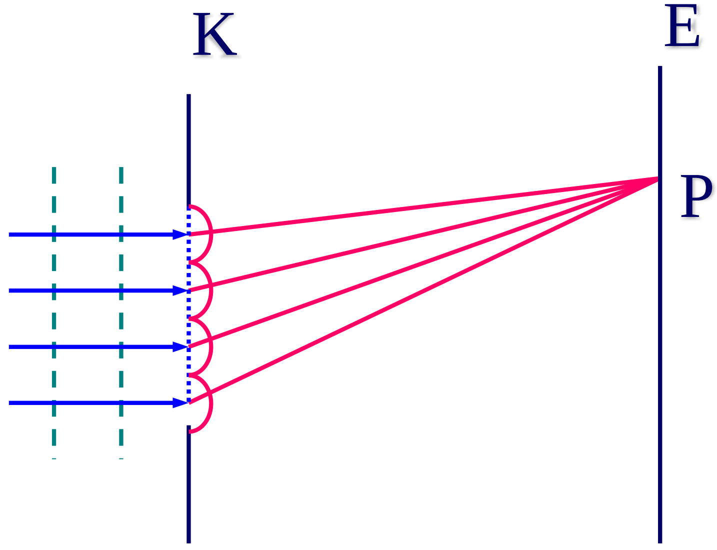


二、惠更斯-菲涅耳原理

1、惠更斯原理

惠更斯原理可定性地说明衍射现象，但不能解释光的衍射图样中光强的分布。

2、惠更斯-菲涅耳原理



菲涅耳假定：

波在传播过程中，从同一波阵面上各点发出的子波，经传播而在空间某点相遇时，产生相干叠加。

光的衍射的实质：多光束干涉

二、惠更斯-菲涅耳原理

1、惠更斯原理

惠更斯原理可定性地说明衍射现象，但不能解释光的衍射图样中光强的分布。

2、惠更斯-菲涅耳原理

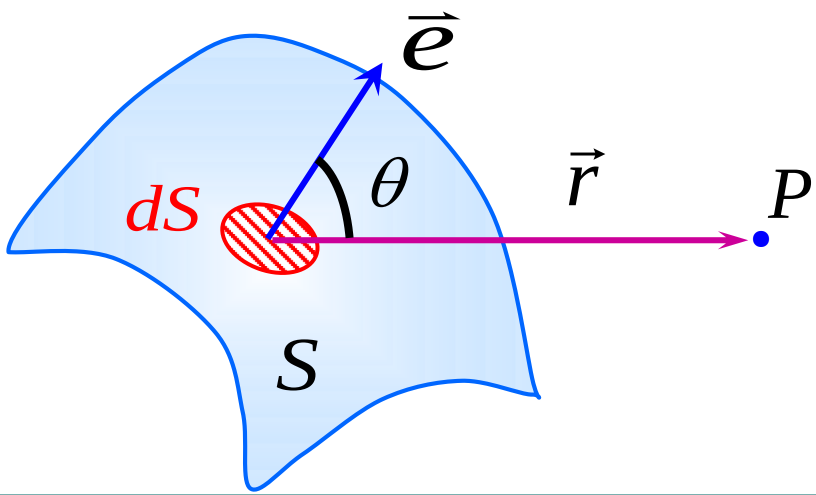
波阵面（波前）上的每一点都可视为发射次波（子波）的波源，在其后的任一时刻，这些次波（子波）的包络面就是该时刻的波阵面（波前）。

从同一波前上的各点发出的各个次波（子波）是相干波，经传播在媒质中某点相遇时的叠加是相干叠加。

二、惠更斯-菲涅耳原理

2、惠更斯-菲涅耳原理

了解，不要求



S： t 时刻波阵面

dS： 波阵面上面元

（子波波源）

假设:

1）次波在P点的振幅 A 与距离 r 成反比，与面积元 dS 成正比。

2）振幅 A 随 θ 角增加而减小。

$$dE = CK(\theta)\frac{dS}{r}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{r}{\lambda}\right)+\varphi_0\right]$$

$$E = C\int_S \frac{K(\theta)}{r}\cos\left[2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{r}{\lambda}\right)+\varphi_0\right]dS$$

根据这一原理，原则上可计算任意形状衍射物的衍射问题