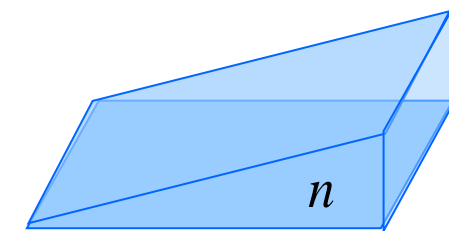


17.4 薄膜的等厚干涉

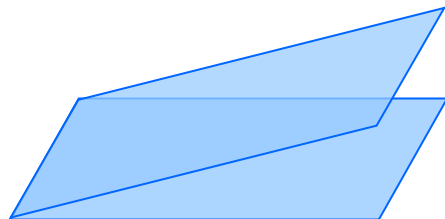
一、劈尖干涉

1、劈尖干涉装置

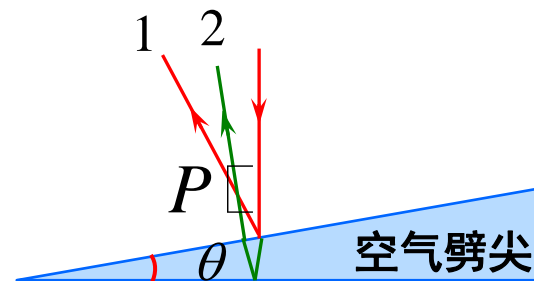
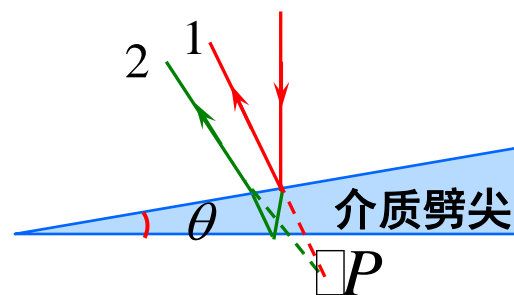
劈尖：指薄膜两表面互不平行，且成很小夹角的**劈形膜**。



空气中的介质劈尖



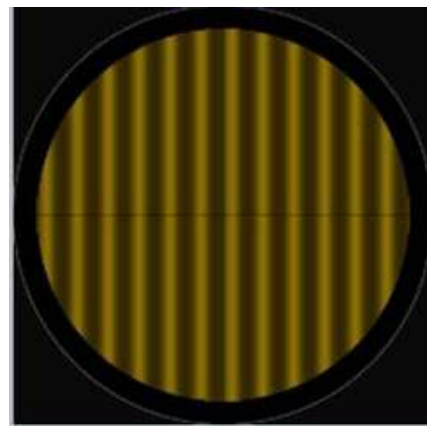
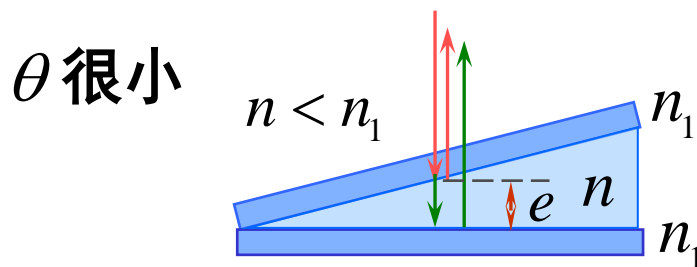
介质中的空气劈尖



劈尖干涉条纹**定域**在薄膜表面附近

2、劈尖干涉光程差分析

平行光垂直入射 $i \approx 0$



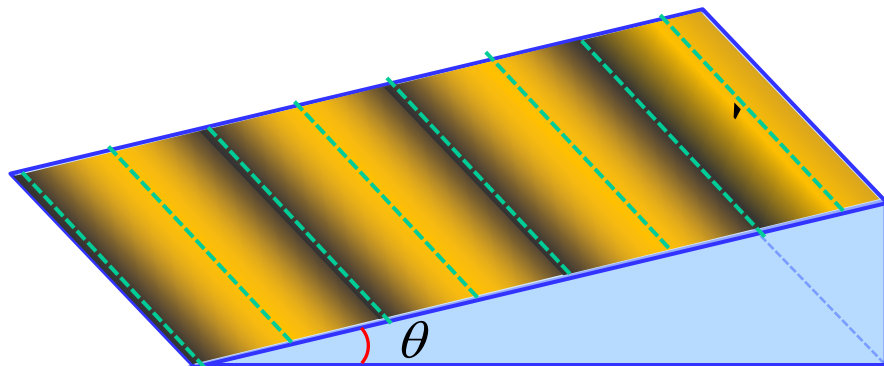
$$\delta = 2n_2e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2, 3 \dots \quad \text{明条纹} \\ (2k + 1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, 3 \dots \quad \text{暗条纹} \end{cases}$$

3、劈尖干涉图样分析

(1) 明纹中心处劈尖厚度

$$2ne_k + \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

$$e_k = (2k-1)\frac{\lambda}{4n} \quad k=1, 2 \dots$$



(2) 暗纹中心处劈尖厚度

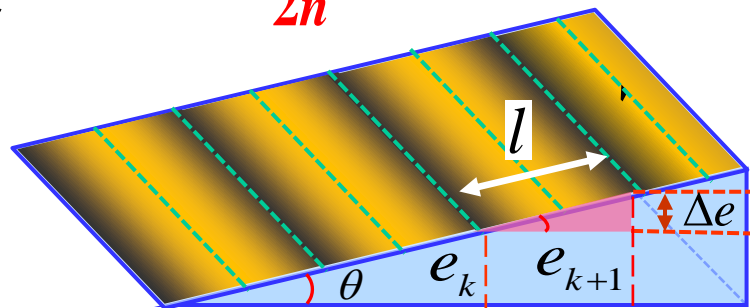
$$2ne_k + \frac{\lambda}{2} = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \quad e_k = k\frac{\lambda}{2n} \quad k=0, 1, 2 \dots$$

空气劈尖：棱边处 $e=0$ 为暗条纹

(3) 相邻明或暗条纹中心对应的厚度差相等

$$\Delta e = e_{k+1} - e_k = \frac{1}{2n}(k+1)\lambda - \frac{1}{2n}k\lambda \quad \Delta e = \frac{\lambda}{2n}$$

每移动1个条纹，
膜厚度改变 $\frac{\lambda}{2n}$



(4) 条纹间距相等，疏密程度与 θ 有关

$$\Delta e = l \sin \theta = \frac{\lambda}{2n}$$

$$l = \frac{\lambda}{2n \sin \theta} \approx \frac{\lambda}{2n\theta} \quad \theta < 1^\circ$$

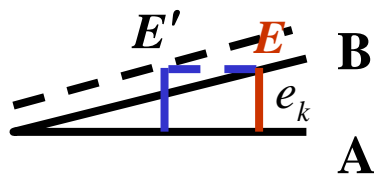
讨论

劈尖干涉条纹的动态变化问题

$$l \approx \frac{\lambda}{2n\theta}$$

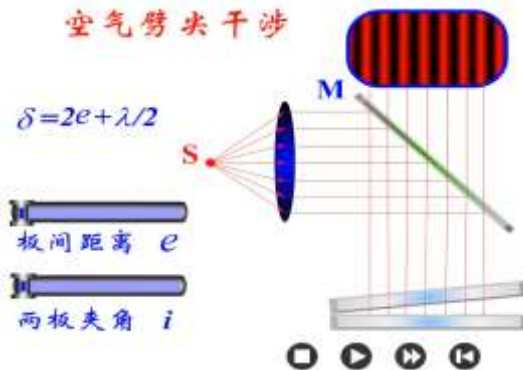


条纹间距变小
向棱边方向移动

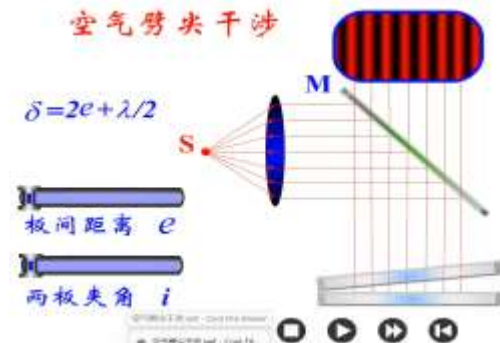


条纹间距不变
向棱边方向移动

空气劈尖干涉

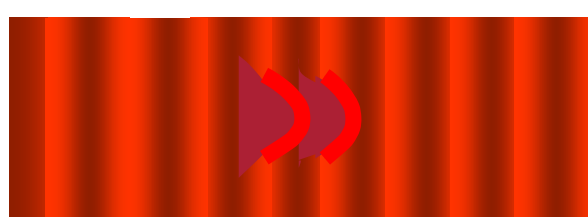
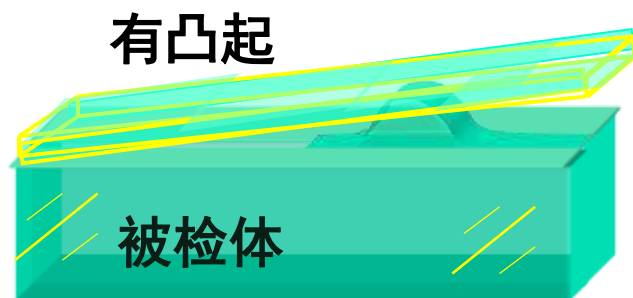
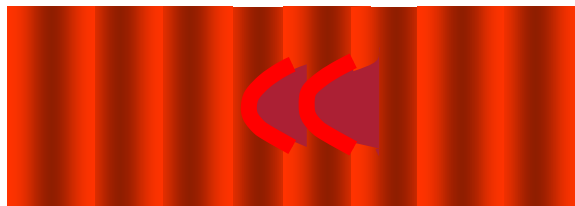
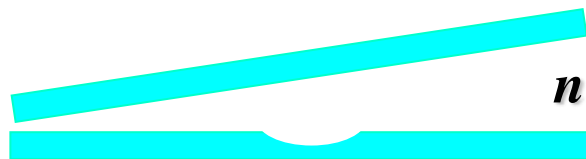


空气劈尖干涉



二、劈尖干涉的应用

1、检查表面平整度



讨论

由平板玻璃和某工件之间形成**空气劈尖**，若600nm单色光垂直照射时，观测到劈尖的等厚干涉明条纹如图，若P与相邻明纹相切，工件表面P点对应处是()

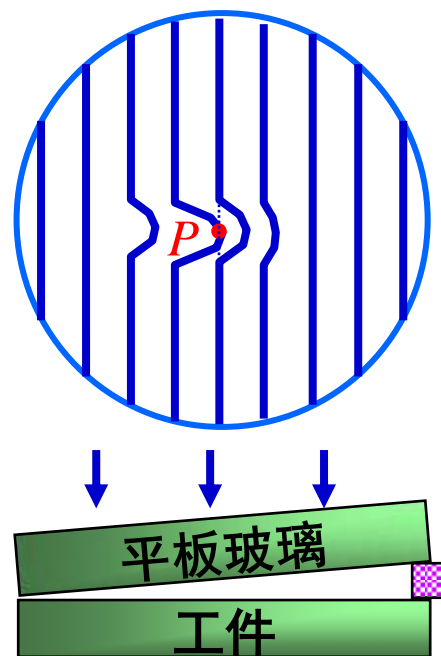
A 凸起的，最大高度为600nm



凸起的，最大高度为300nm

C 凹陷的，最大深度为600nm

D 凹陷的，最大深度为300nm

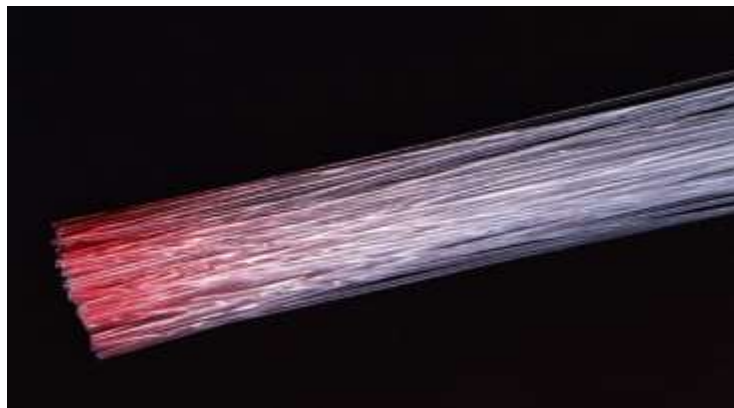
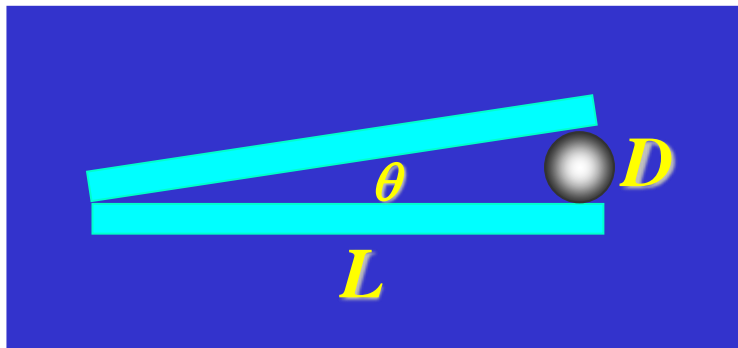


2、测量细丝、薄片厚度

$$\frac{D}{L} = \tan \theta \approx \theta$$

$$l \approx \frac{\lambda}{2\theta} \quad \theta \approx \frac{\lambda}{2l}$$

$$\frac{D}{L} = \frac{\lambda}{2l} \quad D = \frac{\lambda}{2l} L$$



2023年6月，我国实现508公里**光纤**量子通信

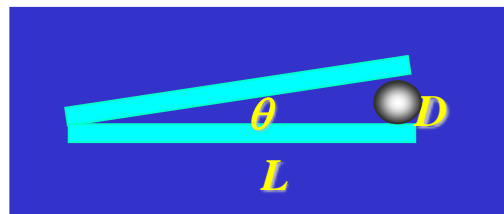
实例分析

将光纤夹在介质板中构成空气劈尖，用波长为 $\lambda = 589.3\text{nm}$ 的激光照射劈尖，测得光纤距劈尖顶点 $L = 28.880\text{mm}$ ，第1条明纹到第31条明纹的距离为 4.295mm ，求光纤的直径。

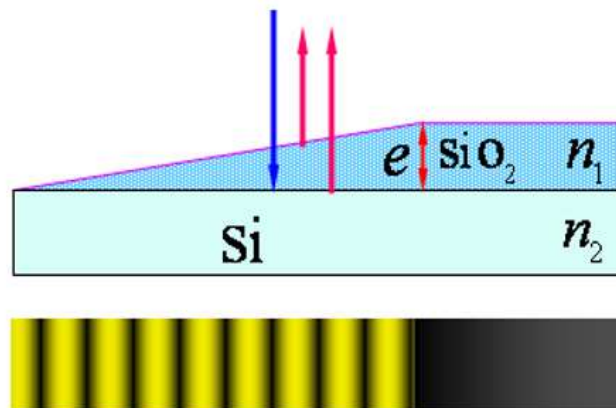
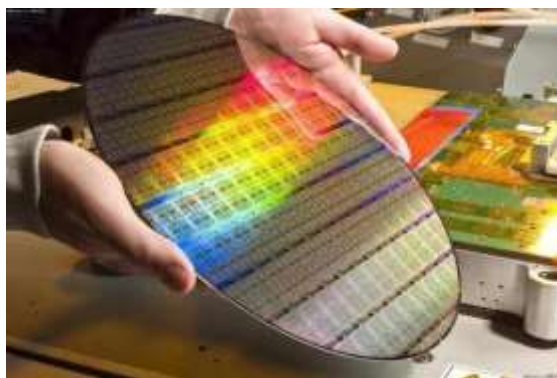
分析： 相邻明纹间距：

$$l = \frac{4.295}{30} = 0.14317 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} D &= L \tan \theta \approx L \theta = \frac{L \lambda}{2l} \\ &= 5.944 \times 10^{-5} \text{ m} \end{aligned}$$



3、测量薄膜的厚度



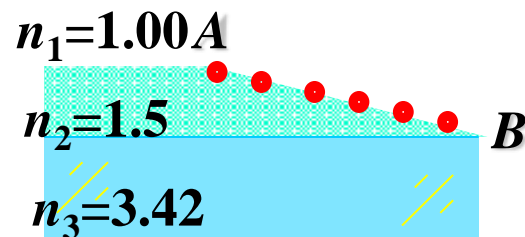
实例分析

测Si表面SiO₂薄膜的厚度，已知Si的折射率为3.42，SiO₂的折射率为1.5，用氦氖激光($\lambda=632.8\text{nm}$)垂直照射，在反射光中观察到在腐蚀区域内有6条暗纹，其中A端为暗纹，求SiO₂薄膜的厚度。

分析: $n_1 < n_2 < n_3$ $\delta = 2n_2e = (2k+1)\frac{\lambda}{2}$

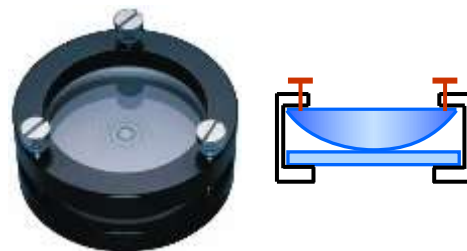
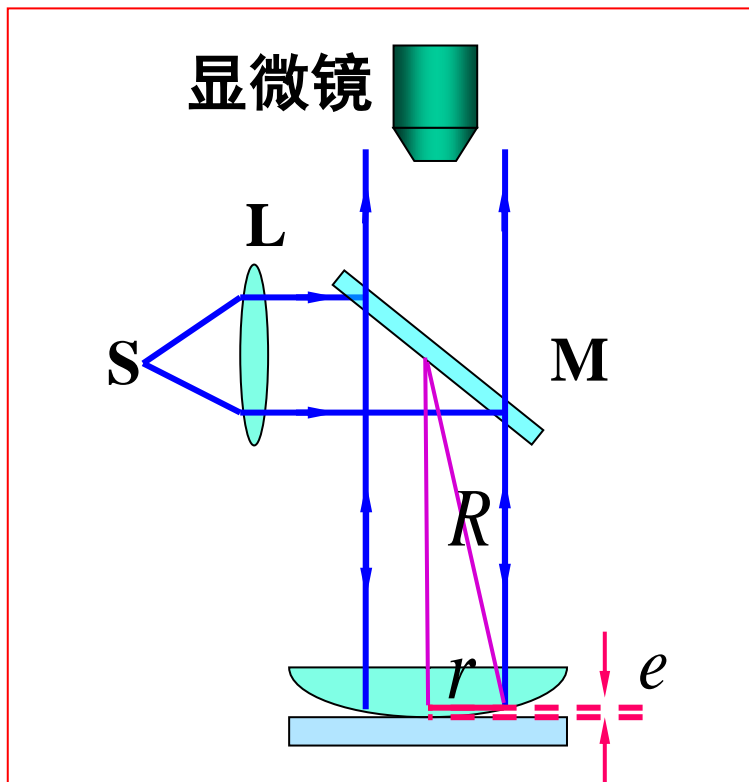
$k=0, 1, 2, 3, 4, 5$ $k=5$ 为A点的暗纹

$$e_A = \frac{(2k+1)\lambda}{4n_2} = \frac{11\lambda}{4n_2} = 1160(\text{nm})$$



三、牛顿环干涉

1、牛顿环装置



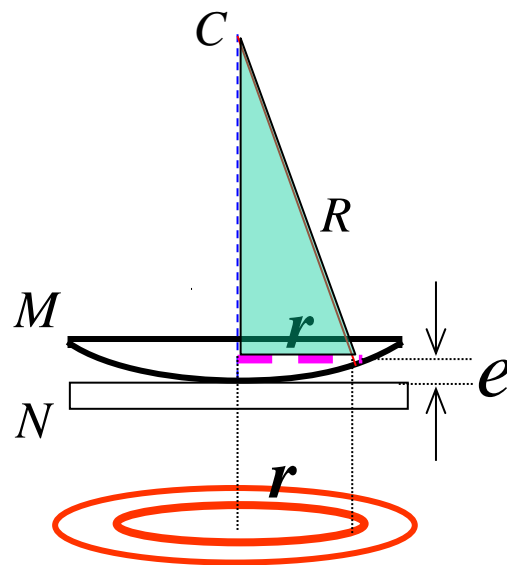
2、牛顿环干涉光程差分析

$$\delta = 2n_2 e + \frac{\lambda}{2} = \begin{cases} k\lambda & k = 1, 2, 3 \dots \text{明环} \\ (2k + 1)\frac{\lambda}{2} & k = 0, 1, 2, \dots \text{暗环} \end{cases}$$

$$r^2 = R^2 - (R - e)^2$$
$$= 2Re - e^2$$

$$\because R \gg e$$

$$\therefore e = \frac{r^2}{2R}$$

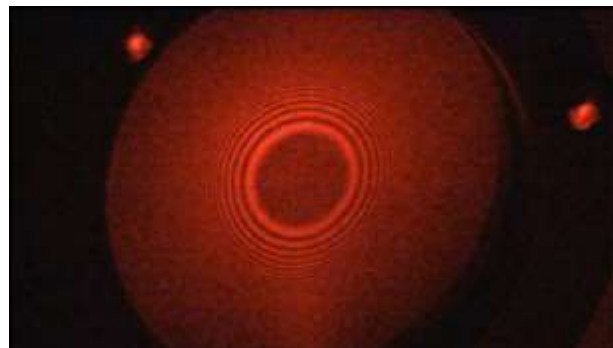


3、牛顿环图样分析

(1) 条纹形状：同心圆环

相同的 e 对应同一级条纹

空气膜中心处 ($e = 0$) 为暗纹



(2) 条纹疏密：内疏外密

$$r_{k+1} - r_k = (\sqrt{k+1} - \sqrt{k})\sqrt{R\lambda/n}$$

干涉级越高，环间距越小 间距随 n 、 λ 变

(3) 条纹级次：内低外高

r 越大，干涉级越高

讨论

牛顿环干涉动态变化问题

$$\delta = 2ne + \lambda/2 = k\lambda$$

e 增大:

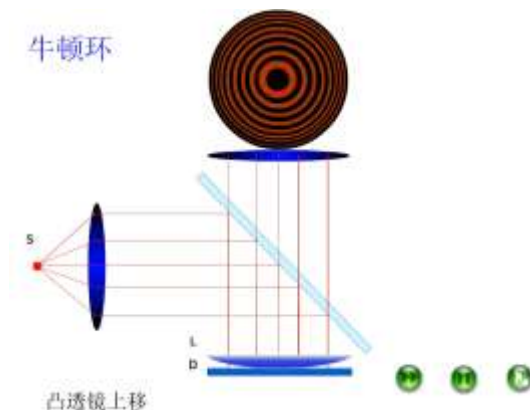
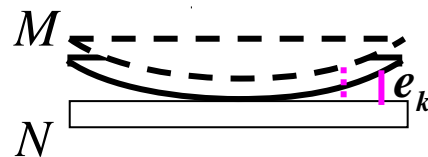
圆形条纹向内收缩

向中心湮灭

e 减小:

圆形条纹向外扩张

从中心冒出



中心处明暗交替变化

四、牛顿环的应用

$$\text{明环: } r_k = \sqrt{\frac{(2k-1)\lambda R}{2n_2}} \quad \text{暗环: } r_k = \sqrt{kR\lambda/n_2}$$

- 测光波波长
- 测透镜球面镜半径
- 检查光学仪器表面质量
- 研究机械零件内应力的分布

应用1: 测量光波波长

光垂直照射空气中的牛顿环，借助于显微镜测得由中心往外数第 k 级明环半径 $r_k = 3 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，从 k 级往外数第16个明环半径为 $r_{k+16} = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$ ，平凸透镜的曲率半径为 $R = 2.5 \text{ m}$ 。试求该光的波长。

解：由明环半径公式

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

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

$$\lambda = \frac{(5 \times 10^{-3})^2 - (3 \times 10^{-3})^2}{16 \times 2.50} = 4 \times 10^{-7} \text{ m}$$

应用2: 测量透镜球面曲率半径



高分七号卫星立体影像



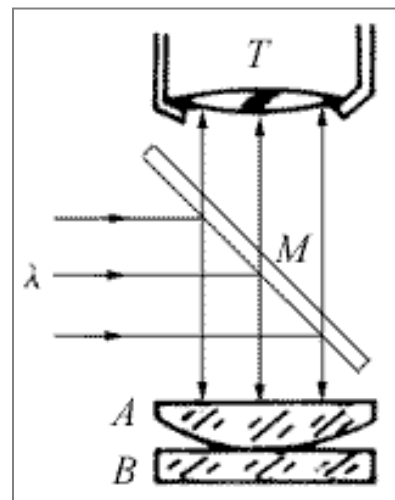
地面像元分辨率优于0.8m,
能获取5谱段高空间分辨率
立体测绘遥感数据。

2020年免费开放高分1号6号卫星的16米全球数据。

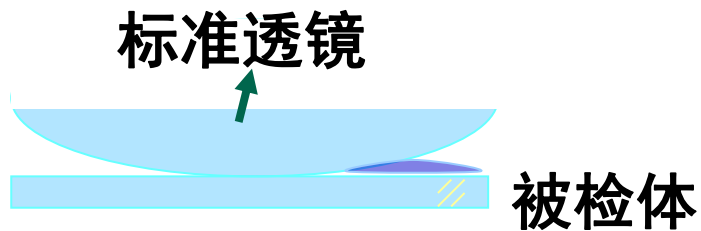
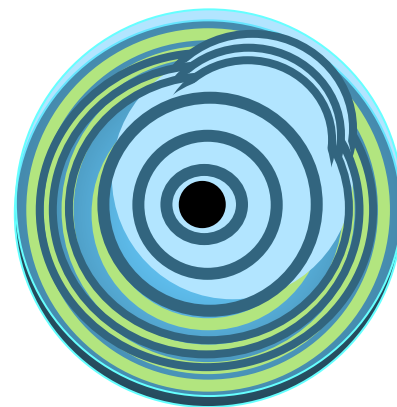
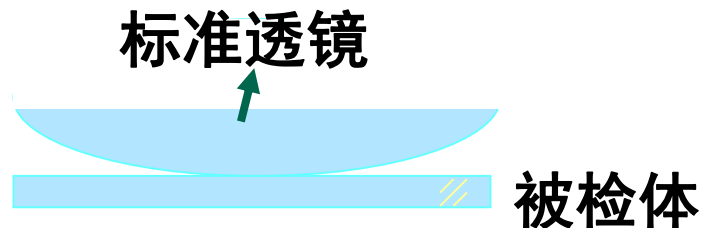
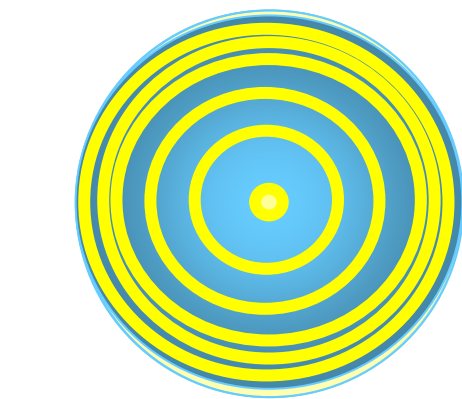
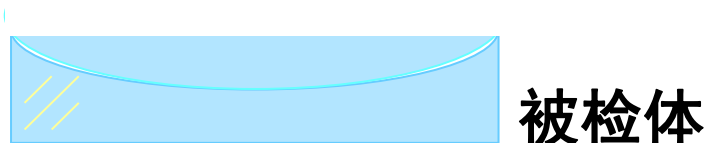
观察牛顿环的装置如图所示。波长 $\lambda=589\text{nm}$ 的钠光平行光束，经部分反透平面镜 M 反射后，垂直入射到牛顿环装置上。今用读数显微镜 T 观察牛顿环，测得第 k 级暗环半径 $r_k=4.00\text{mm}$ ，第 $k+5$ 级暗环半径 $r_{k+5}=6.00\text{mm}$ 。求平凸透镜 A 的球面曲率半径 R 。

解：为空气薄膜牛顿环，折射率 $n=1$

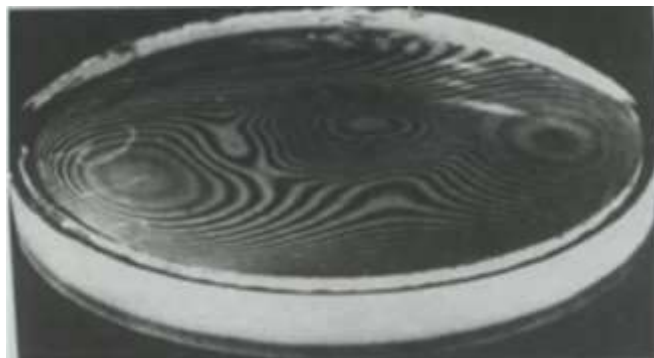
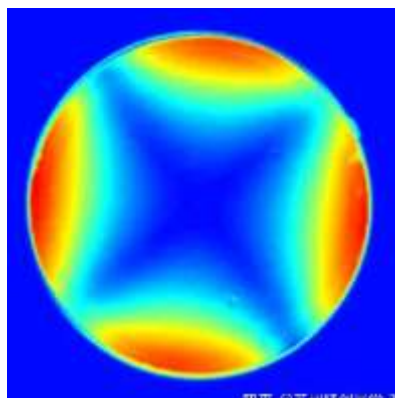
$$\begin{aligned}r_k &= \sqrt{kR\lambda} & r_{k+5} &= \sqrt{(k+5)R\lambda} \\ R &= \frac{r_{k+5}^2 - r_k^2}{5\lambda} \\ &= \frac{(6.00^2 - 4.00^2) \times 10^{-6}}{5 \times 589 \times 10^{-9}} = 6.79(\text{m})\end{aligned}$$



应用3：检查光学仪器样品表面质量



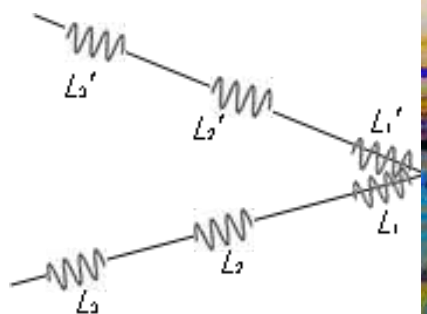
应用4：研究机械零件内应力的分布



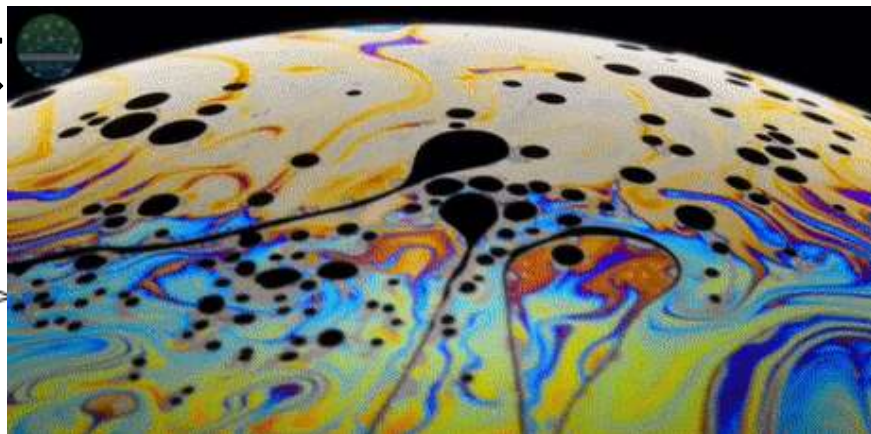
讨论

为什么要强调“薄膜”干涉？

相干时间 Δt ：原



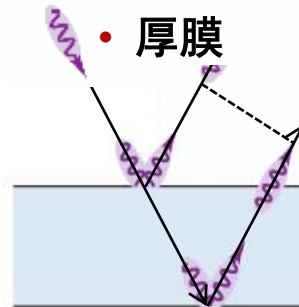
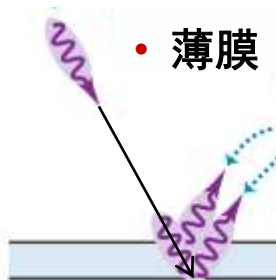
(a)



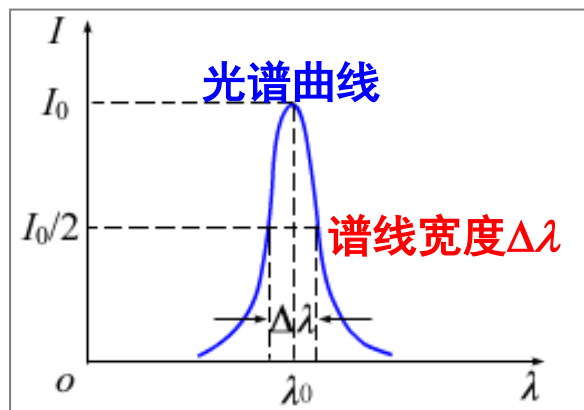
$$| \overleftarrow{L = c\Delta t} \overrightarrow{}$$

(b)

相干长度：光波列能相干的最大光程差，可视为一个光波列长度。



相干长度与谱线宽度之间的关系：
$$L = \delta_m = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$



光源	中心波长 λ_0	谱线宽度 $\Delta\lambda$	相干长度 L
太阳光	550nm	~ 300nm	1 μ m
钠光灯	589.3nm	~ 0.6nm	0.6mm
氦氖激光器	632.8nm	< 10 ⁻⁹ nm	400km

光源的时间相干性

作业:

P105: 二. 6, 8; 三. 8, 10