第0章 绪 论

§0-1 光学的研究内容和方法

一、什么是光学（光学研究的内容）？

光学是普通物理学的重要组成部分，是研究光的本性、光的传播和光与其它物质的相互作用（如光的吸收、散射和色散，光的机械作用和光的热、电、化学和生理效应等），以及光在生产和社会生活中的应用的一门基础科学。

二、光学研究的方法

在观察和实验的基础上，对光学现象进行分析、抽象和综合，进而提出假说，形成理论，并不断反复经受实践的检验。

三、光学的分类

1、几何光学：以光的直线传播为基础，研究光在介质中的传播和成象规律的学科。

2、波动光学：以光的波动性为基础，研究光的干涉、衍射和偏振现象和规律的学科

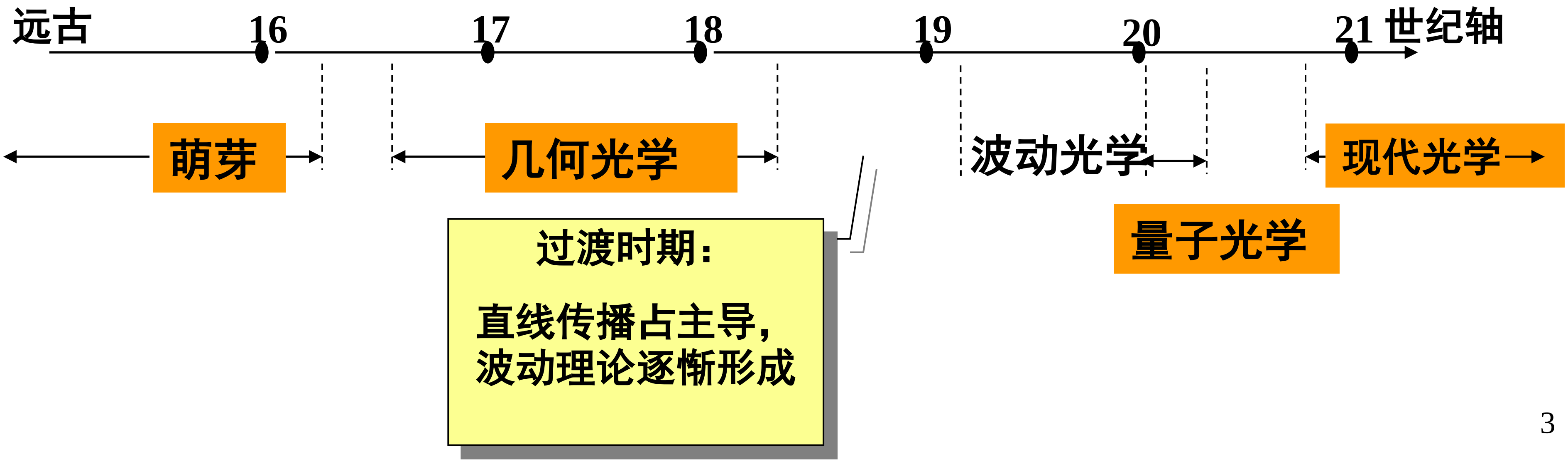
3、量子光学：以光的粒子性（量子性）为基础，研究光与物质的相互作用规律的学科。

4、现代光学：以数学公式为工具，研究光现象和应用的学科。包括色差、象差理论，非线性光学，傅里叶光学，光信息处理，光通讯，激光，全息术等。

§0-2　光学发展简史

光学

- 萌芽时期：　远古至十六世纪初
- 几何光学时期：十六世纪中叶至十八世纪初
- 波动光学时期：十九世纪初至十九世纪末
- 量子光学时期：十九世纪末至二十世纪初
- 现代光学时期：二十世纪六十年代至今

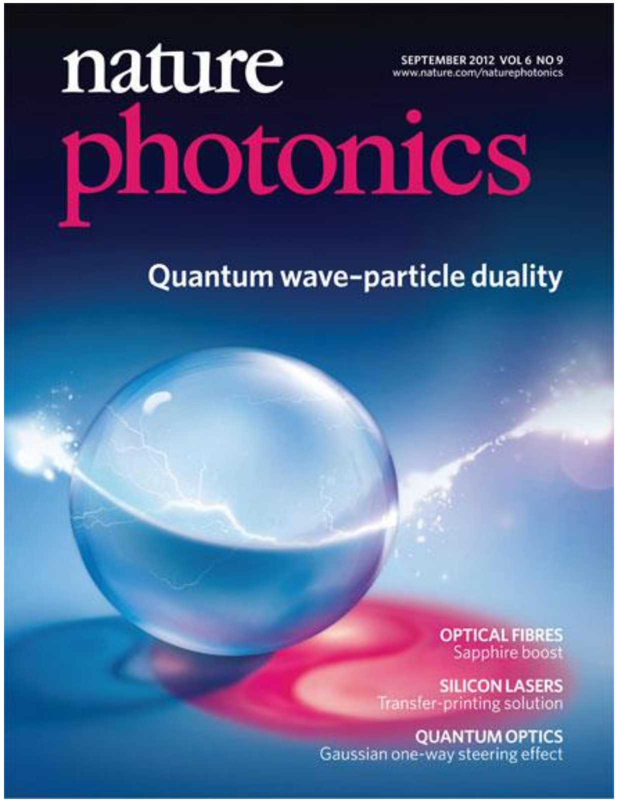


光的本质是什么?

波动性：光在传播时表现出**干涉、衍射和偏振**等波动特性。

粒子性：光在与物质相互作用时表现出粒子性，如黑体辐射、光电效应、康普顿效应等。

光在本质上到底是一种什么东西？



第1章 光的干涉
Interference of Light

➢**内容提要：**通过光的干涉现象和实验事实来揭示光的波动本性。介绍几个典型的干涉装置和几个重要概念。

1.1 波动的特性

讨论波的独立性、叠加性和相干性

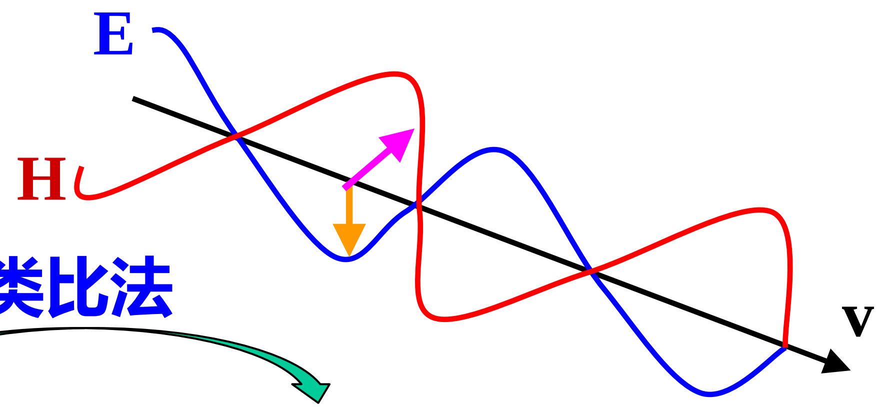
1.2—1.7 光的干涉

- 相干光的获得
  - 分波面　杨氏双缝干涉
  - 分振幅　等倾干涉、等厚干涉
  - 分振动面　偏振光的干涉
- 几种重要的干涉实验

1.8—1.10 干涉仪和其他应用

迈克尔孙干涉仪、法布里–珀罗干涉仪、牛顿环

§1.1 波动的独立性、叠加性和相干性



一、光是某一波段的电磁波

类比法

	电磁波	光波（已知）
实验事实	反射、折射、干涉、衍射和偏振且满足反射、折射定律	反射、折射、干涉、衍射和偏振且满足反射、折射定律
传播速度	真空中：C=3×10^{5}km/s	真空中：C=3×10^{5}km/s
波动种类	横波：$E \perp r$　$H \perp r$　$E \perp H$	横波：$E \perp r$　$H \perp r$　$E \perp H$
结论	光是电磁波	

二、介质中的光波与电磁波

电磁波速度：$v = c \big/ \sqrt{\varepsilon_r \mu_r}$ ……① 其中,ε_r为相对介电系数，μ_r为相对磁导率,c为真空中的光速

光波速度：$v = c \big/ n$ ……② n为介质折射率

比较①、②两式可得：$n=\sqrt{\varepsilon_r\mu_r}$

说明: 1、光学、电磁学两个不同领域中的物理量通过上式联系起来；

2、对光波来说, $\mu_r\approx 1$, ε_r 随光波的频率而改变,所以,n随光波的频率而改变

三、光矢量：$\vec{E}$

事实证明：在电磁波中能引起生理效应和感光作用的是电场强度 $\vec{E}$

所以，$\vec{E}$亦称为光矢。光波存在的空间称为光场。

四、可见光

1、定义：能够被人眼感受到的电磁波，称为可见光。

2、频率范围：7.5×10^{14}Hz～4.1×10^{14}Hz

波长范围：390nm ～760nm

$$\lambda=c/f$$

3、频率与颜色一一对应

4、可见光波谱：

波长：长 → 短

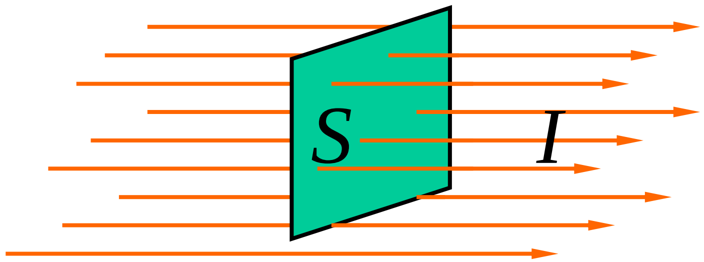
红外线 红 橙 黄 绿 青 蓝 紫 紫外线

频率：低 → 高

五、光强：$\bar{I}$

光的传播总是伴随着光能量的传递。光的强度常用光传播时的平均能流密度（也称为光照度）$\bar{I}$ 来描述

定义： 在一个振动周期内，单位时间内通过与光波传播方向垂直的单位面积的光能量平均值，即单位面积的功率。



可以证明：$\bar{I} \propto A^2$, A为光波在空间某点的振幅。

由于我们关心的是空间点的相对强度，所以，在上式中取比例系数为1，得：

$$\boxed{\bar{I} = A^2}$$

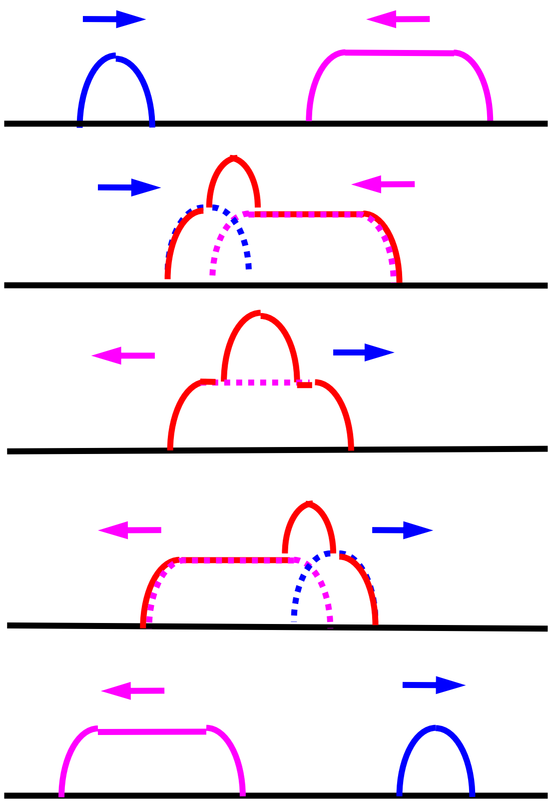
结论

光在空间某点的振幅平方称为该点的光强。

五、波动的独立性和叠加性

1、波动的独立性

从几个振源发出的波动相遇于同一区域，只要满足振动不十分强烈，则它们将各自保持自己的原有特性（频率、振幅和振动方向），按原前进方向继续传播，彼此不受影响。



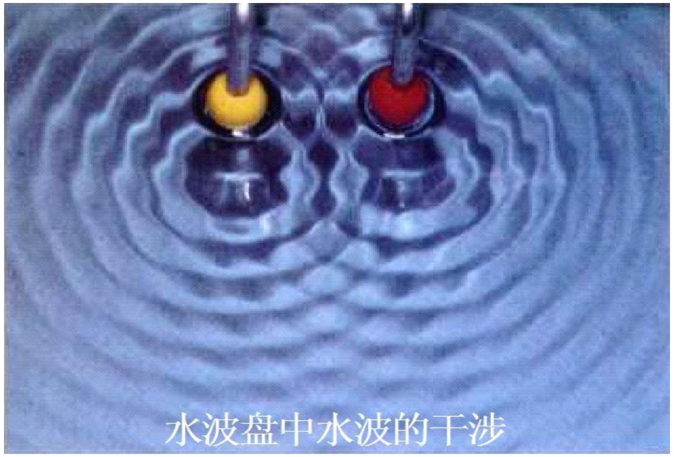
2、波动的叠加性

叠加原理： 从几个振源发出的波动如果在同一区域相遇，则在该相遇区域内介质质点的合位移是各波动分别单独传播时在该点所引起的位移的矢量和。

说明： 1、叠加性是以独立性为条件的；

2、叠加的数学意义：一般情况下，波动方程是线性微分方程，简谐波表达式是它的一个解；如果有两个独立的函数都能满足同一个给定的微分方程，则这两个函数的和也必然是这个微分方程的解。

六、波动的相干性（即波动的干涉）



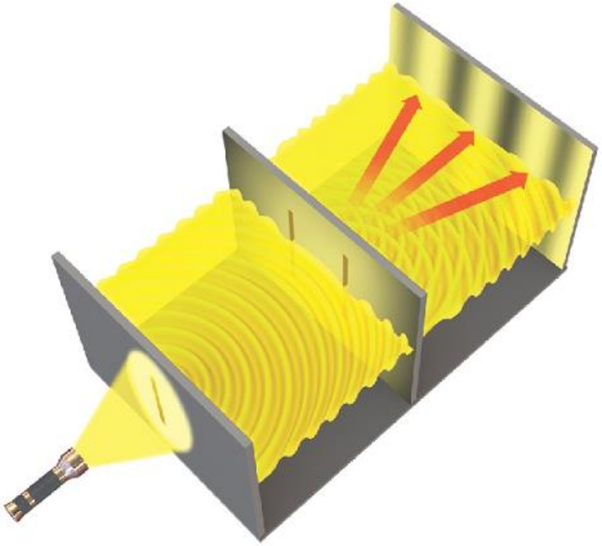
1、定义：

两列独立传播的波动，若在相遇区域内叠加的结果是合振动在一些地方加强、一些地方减弱，则这一强度按空间周期性变化的现象称为波的干涉。

2、干涉的充要条件：

① 频率相等　② 相位差恒定

③ 振动在一条直线上。



3、说明：

① 干涉的结果：产生振动强度的非均匀分布，即出现干涉图样。

② 干涉是波动的一大特征：凡出现干涉花样的物理过程，一定是波动。

③ 波动能量的传递：以振动形式在物质中传播，物质本身并不随波移动。

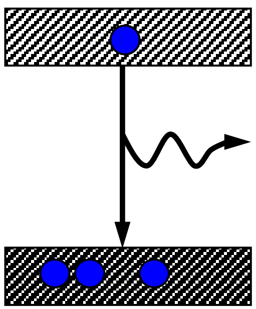
④ 光具有干涉现象，说明光是一种波动。

七、相干叠加与非相干叠加 (P12)

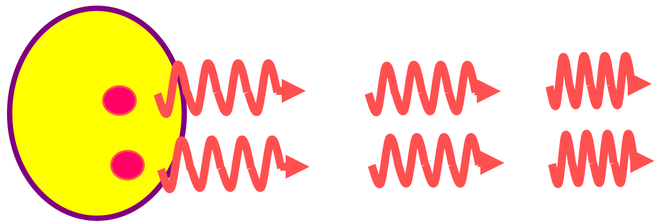
（一）、相干光源与非相干光源

若两光源所发出的两束光波叠加能产生干涉，则这两个光源称为相干光源；否则，称为非相干光源。

1. 普通光源：自发辐射



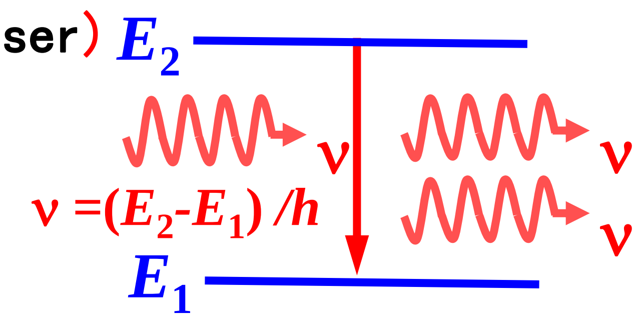
自发辐射



同一原子先后发的光　　不同原子发的光

不相干！　　互相独立

2. 激光光源：受激辐射 Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation(Laser)



频率, 位相, 振动方向, 传播方向完全一样！（相干）

能产生干涉花样的叠加称为相干叠加；否则，称为非相干叠加。

两波相干叠加后合振动的强度 $\overline{I} = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos(\varphi_2 - \varphi_1)$

P11： Eq. (1-7)

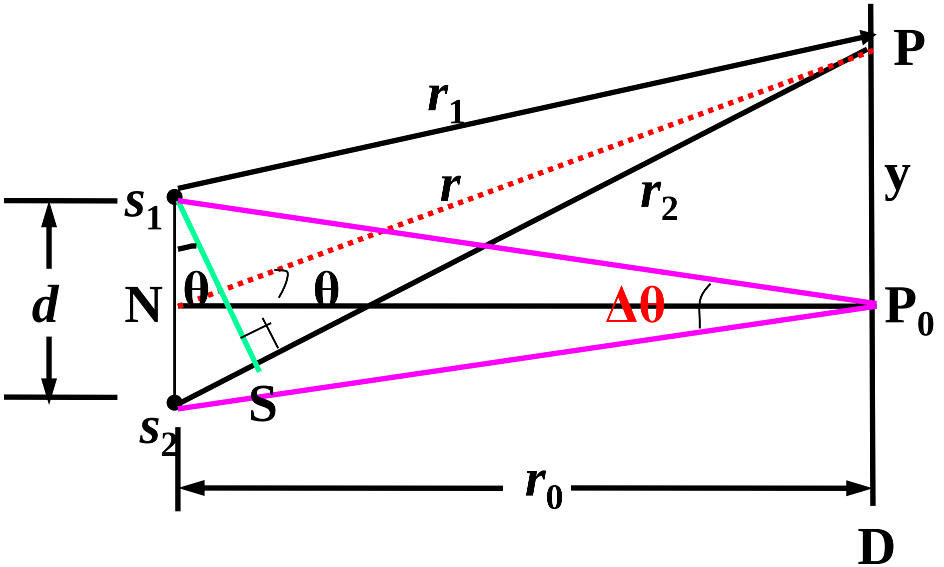
§1.2 单色光波叠加形成的干涉条纹

频率单一且恒定的光波称为单色光。本节及以后的几节将运用叠加原理和干涉的充要条件，研究几种特殊情况下的双光束干涉现象。

首先，研究空间两单色点光源所发光波的干涉。

一、相位差、光程和光程差

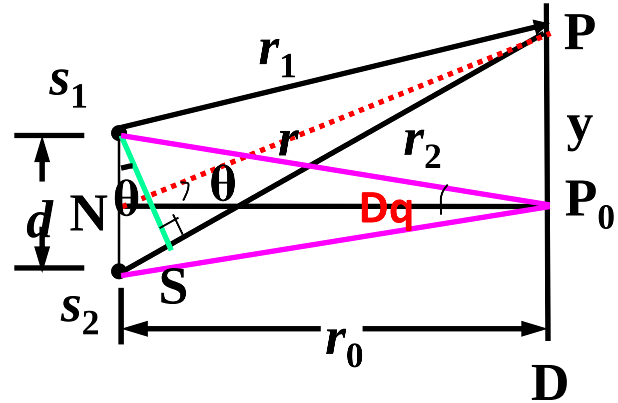
如右图示：从空间两定点S_1、S_2发出的两列单色简谐波（波动方程可用正弦或余弦函数表示），同时到达空间另一点P



设两点光源S_1、S_2的振动可表示为

$$\begin{cases} E_{01} = A_{01}\cos\left(\omega t + \varphi_{01}\right) \\ E_{02} = A_{02}\cos\left(\omega t + \varphi_{02}\right) \end{cases}$$

当它们同时到达P点时，其振动方程为：



$$\begin{cases} E_1 = A_1\cos\left[\omega\left(t - r_1/v_1\right) + \varphi_{01}\right] \\ E_2 = A_2\cos\left[\omega\left(t - r_2/v_2\right) + \varphi_{02}\right] \end{cases}$$

1、**相位差：** $\Delta\varphi = \omega\left(\dfrac{r_2}{v_2} - \dfrac{r_1}{v_1}\right) + \left(\varphi_{01} - \varphi_{02}\right)$

$$\nu = \frac{1}{T},\ c = \frac{\lambda}{T}$$

将$\omega = 2\pi\nu = 2\pi c/\lambda$ 和 $c/v_1 = n_1, c/v_2 = n_2$ 代入上式有

$$\boxed{\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\left(n_2 r_2 - n_1 r_1\right) + \left(\varphi_{01} - \varphi_{02}\right) = \frac{2\pi}{\lambda}\delta + \left(\varphi_{01} - \varphi_{02}\right)}$$

相位差$\Delta\varphi$ 与 $\left(\varphi_{01} - \varphi_{02}\right)$有关。

2、光程Δ 、光程差δ

➢**定义：**介质折射率与光波在该介质中所通过路程的乘积，称为光程，

用Δ表示，$\Delta = nr$

光程差：$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$

讨论：① 当光在真空中传播时，$n=n_1=n_2=1$ 此时 $\Delta = r \Rightarrow \delta = r_2 - r_1$

② 在均匀介质中 $\Delta = nr = \frac{c}{v} r = c\frac{r}{v} = c\,t$

介质中光程等于相同时间内光在真空通过的路程（光程的物理意义）

因此，利用光程的概念，可以将光在不同介质中的光程折算成在真空中传播的路程，从而加以比较。

③ 若s1, s2为相干光源，（即 $\varphi_{02} - \varphi_{01} = \text{const}$ ，设 $\varphi_{02} = \varphi_{01}$ ），且处在真空中（$n_1=n_2=1$），则

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}\delta = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1) = k(r_2 - r_1)$$

$\Delta\varphi$ 仅与几何路程有关。

波矢：$k = \frac{2\pi}{\lambda}$

二、干涉花样

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(r_2 - r_1)$$

1、干涉公式：

$$\Delta\varphi = \begin{cases} 2j\pi & \text{干涉相长，强度最大} \\ (2j+1)\pi & \text{干涉相消，强度最小} \end{cases}$$

对真空中的S_1、S_2发出的两列相干光波有：

$$r_2 - r_1 = \begin{cases} (2j)\dfrac{\lambda}{2} & \text{相干相长} \quad \bar{I}_{\max} = (A_1 + A_2)^2 \\ (2j+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{相干相消} \quad \bar{I}_{\min} = (A_1 - A_2)^2 \end{cases}$$

$(j = 0, \pm 1, \pm 2 \cdots)$

j 称为干涉级，∵ j 可取0，∴第m个条纹对应的干涉级 j = m-1

2、干涉花样

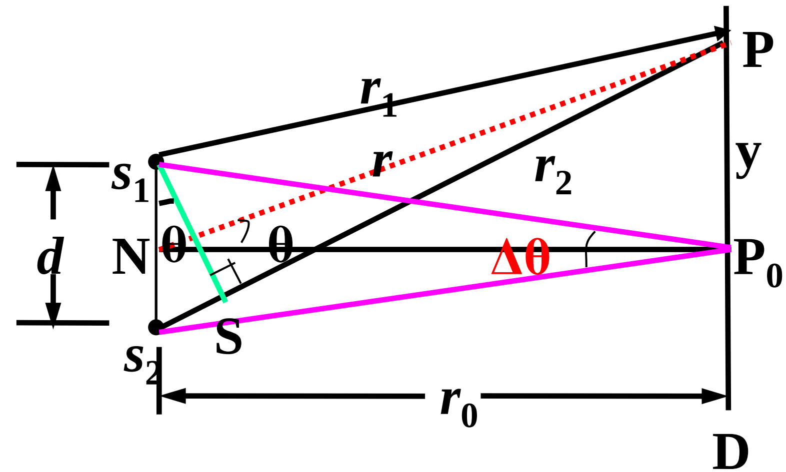
形状： 强度相同的空间点形成同一级条纹，∴r_2-r_1=同一常量的点构成同一级条纹。

故：干涉花样是以S_1S_2为轴线、S_1、S_2为焦点的双叶旋转双曲面——空间干涉花样；

双叶旋转双曲面

3、条纹间距Δy

$$\boxed{\Delta y = y_{j+1} - y_j = \frac{r_0}{d}\lambda}$$



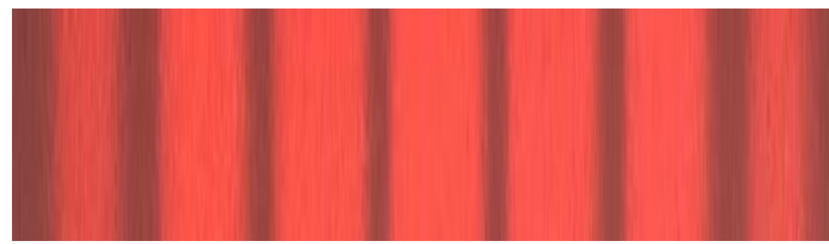
与 j 无关 ⟹ 等间距，明暗条纹均适用

由：$\sin\dfrac{\Delta\theta}{2} \approx \tan\dfrac{\Delta\theta}{2} = \dfrac{d}{2}\Big/ r_0$ 且 $\sin\dfrac{\Delta\theta}{2} \approx \dfrac{\Delta\theta}{2}$

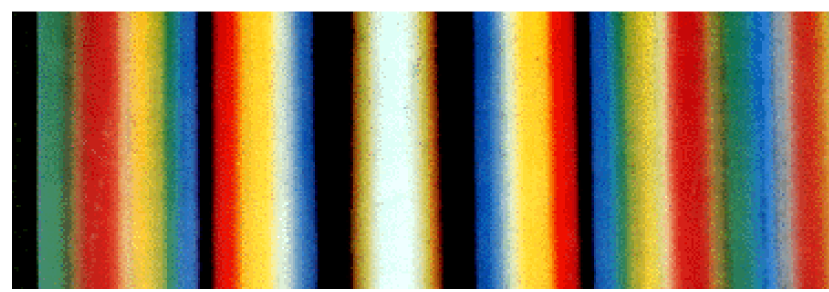
得：$\Delta\theta \approx \dfrac{d}{r_0}$ ，代入间距公式有 $\Delta\theta \cdot \Delta y = \lambda$

对于一定的单色光波： $\Delta y \propto \dfrac{1}{\Delta\theta}$

波长λ表征光波的空间周期性，不易观察，Δy表示光强分布的周期性，因此，可以通过干涉的方法，将光波的空间周期性转化、放大为条纹间距而直接观测。

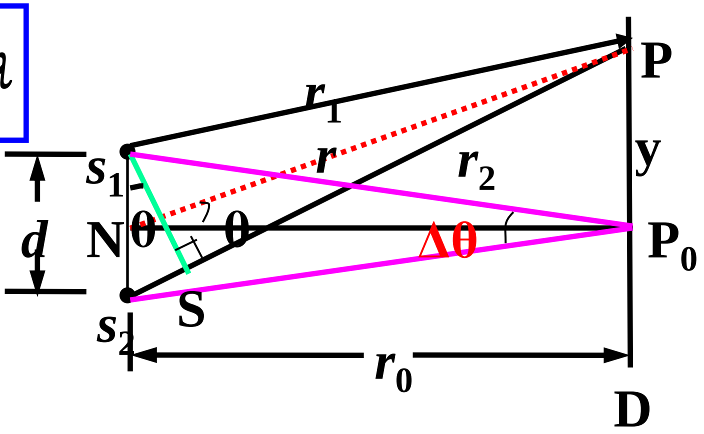


红光入射的干涉条纹照片



白光入射的干涉条纹照片

$$\Delta y = \frac{r_0}{d}\lambda$$



综上所述，干涉条纹具有如下特征：

- 各级亮条纹强度相等，相邻条纹（明或暗）间距相等，且与干涉级 j 无关；
  - 当波长λ一定时，$\Delta y \propto r_0$，$\Delta y \propto 1/d$
- 当r_0、d 一定时，$\Delta y \propto \lambda$。历史上第一次测定光波波长就是通过测定Δy来实现的；
- 当用白光（复色光）作光源时，除j=0的中央条纹仍为白色外，其余各级条纹均成 彩色且内紫外红
- 由$\overline{I} = 4A^2\cos^2\left[(\varphi_2 - \varphi_1)/2\right]$知：干涉条纹实质上体现了参加叠加的光波见相位差的空间分布，即干涉花样的强度也记录了相位差的信息；
- 若$\varphi_{02} \neq \varphi_{01}$，但 $\varphi_{02} - \varphi_{01} = \text{const}$，干涉花样仍然不变，不过相对于$S_1S_2$有一个移动，其移动距离和方向由$\left(\varphi_{02} - \varphi_{01}\right)$的大小和正负决定。

三、相干与不相干的本质

- 相干与不相干在本质上都是波动叠加的结果；
- 相干是绝对的，不相干是相对的。

§ 1.4 分波面双光束干涉

一、光源和机械波源的区别

- 宏观振子的振动在媒质中的传播形成机械波，独立的振子在观测时间内一般不中断，所以，**独立的机械波源是相干的**，干涉通常容易实现；
- 光波一般是由电偶极子的振动或原子能级的跃迁产生的，由于原子辐射是随机的且常常中断，因而两个**独立的光源甚至同一发光体的不同部分都是不相干的**。所以，光波的干涉较难实现。

二、相干光的获得

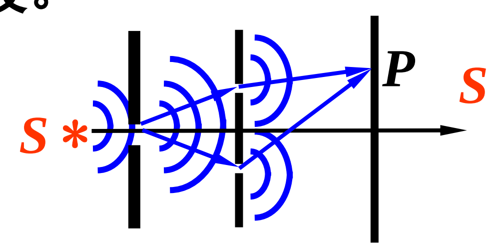
1、条件：在任何瞬时，到达观察点的必须是同一批原子发射的但经过不同的光程的两列光波。

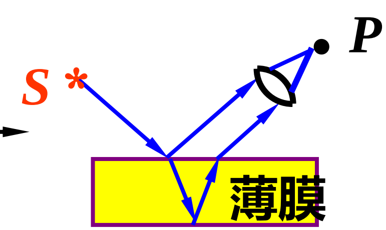
2、方法：

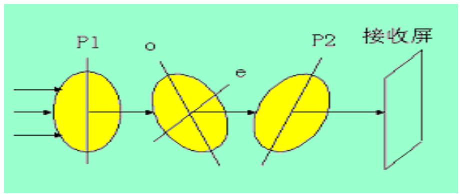
A、分波面　如杨氏双缝干涉

B、分振幅　如等倾干涉、等厚干涉

C、分振动面 如偏振光的干涉



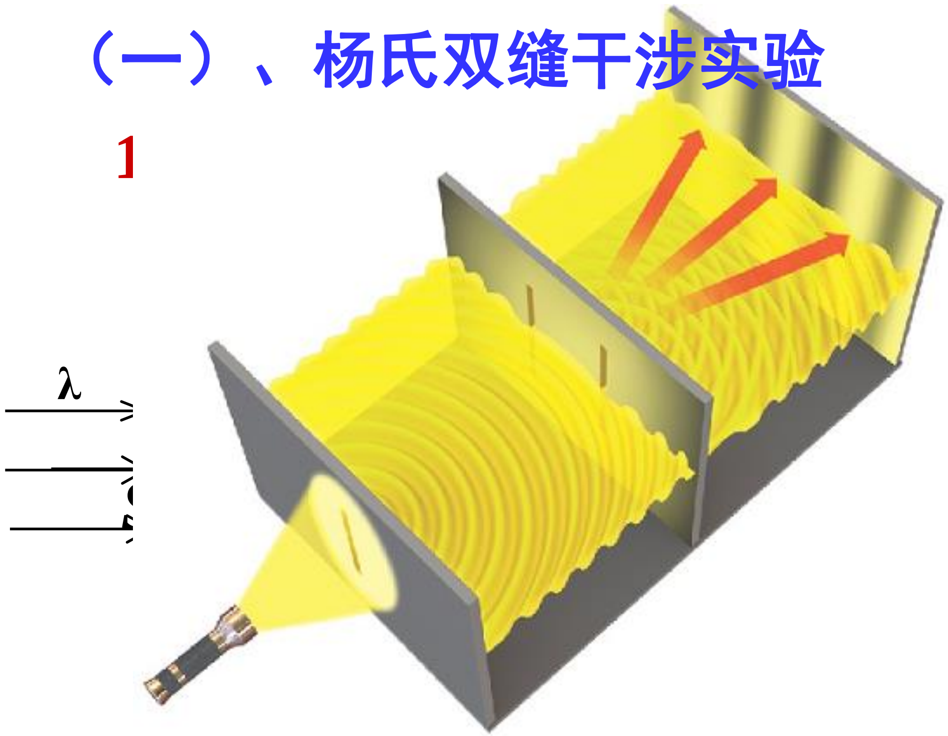




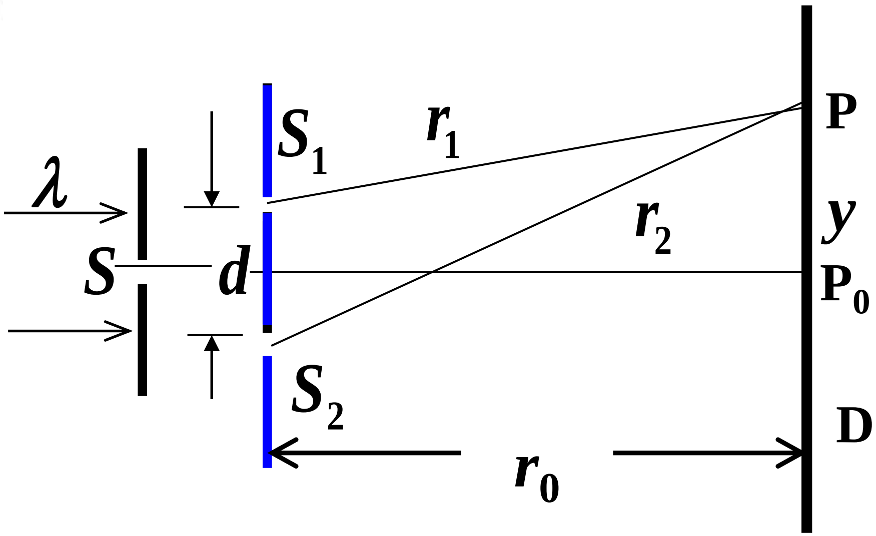
三、典型的干涉实验

（一）、杨氏双缝干涉实验

1



2、原理图



3、相干性分析

由当时已出现的惠更斯原理—子波假设，S_1、S_2来自于同一光源S，采用分波面的方法得到，所以，

(A) 具有相同的频率；(B) 具有确定的相位关系；(C) 振动方向基本相同（在傍轴远场条件下）。 ➔ ➔ S_1、S_2发出的是两束相干光。

4、干涉条纹

A、干涉公式：

$$y=\begin{cases}(2j)\dfrac{r_0}{d}\dfrac{\lambda}{2} & \text{明纹}\\ (2j+1)\dfrac{r_0}{d}\dfrac{\lambda}{2} & \text{暗纹}\end{cases}\qquad (j=0,\pm1,\pm2\cdots)$$

条纹间距：$\boxed{\Delta y=\dfrac{r_0}{d}\lambda}$ $\qquad \Delta\theta\cdot\Delta y=\lambda$

B、光强分布： 由 $\bar{I}=4A^2\cos^2\dfrac{\varphi_2-\varphi_1}{2}$ 可知：

$\varphi_2-\varphi_1=\pm2k\pi$ 时 $\bar{I}=4A^2$ 最强，亮纹

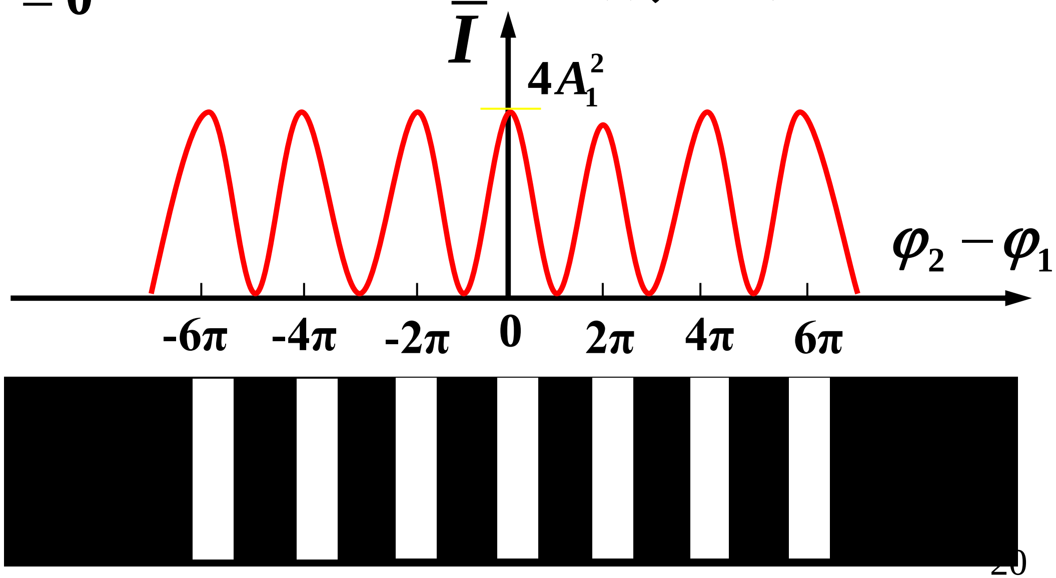
k=0,1,2,3……

$\varphi_2-\varphi_1=\pm(2k+1)\pi$ 时 $\bar{I}=0$ 最弱，暗纹

强度分布曲线如右图示:

对应的条纹分布如右图示:

由于具有相同的y的点构成同一级条纹,∴条纹为一组等间距、明暗相间的线状条纹，亮纹强度相等且对称地分布在P_0两边，中央为亮条纹。如右下图示。



§ 1.4 干涉条纹的可见度

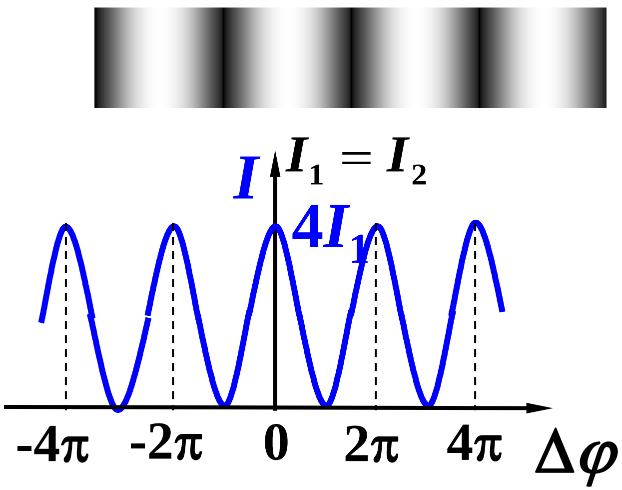
一、定义

$$V=\frac{I_{max}-I_{min}}{I_{max}+I_{min}}$$

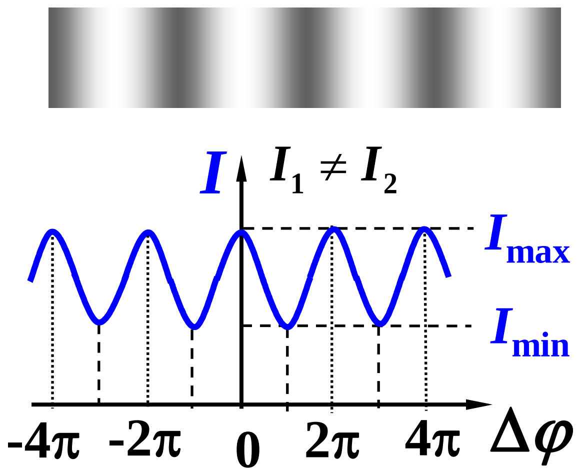
对比度
或反衬度

强度最大值

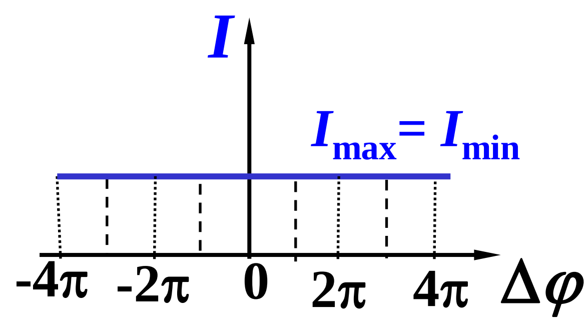
同一幅花样中的强度最小值



可见度好 ($V = 1$)



可见度差 ($V < 1$)



可见度最差 ($V =0$)

二、讨论

1、当$I_{min}=0$时（暗纹全黑），V=1，条纹反差最大，清晰可见；

2、当$I_{max}=I_{min}$时，V=0，条纹模糊不清，不可辨认；

3、V与两相干光的相对强度、光源的大小和光源的单色性有关；

4、V是相干叠加的判据：V大→条纹清晰→相干叠加；

V小→条纹模糊→非相干叠加。

$$\boxed{\begin{aligned} I_{max} &= (A_1 + A_2)^2 \\ I_{min} &= (A_1 - A_2)^2 \end{aligned}}$$

$$V = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} = \frac{2A_1A_2}{A_1^2 + A_2^2} = \frac{2\frac{A_1}{A_2}}{1+\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2}$$

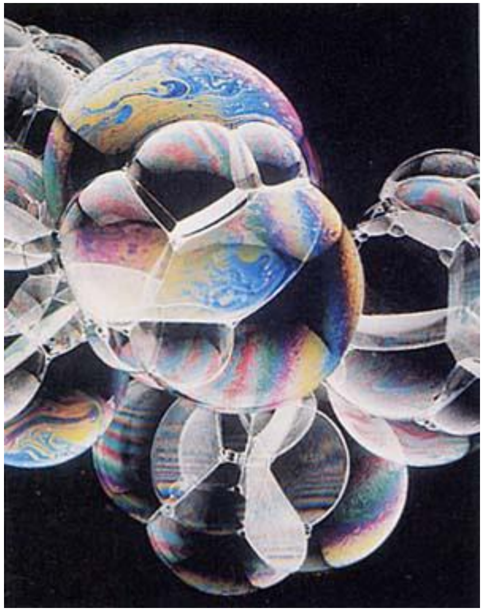
5、对两相干光束，$I=A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos\Delta\varphi$ P13: Eq. (1-7)

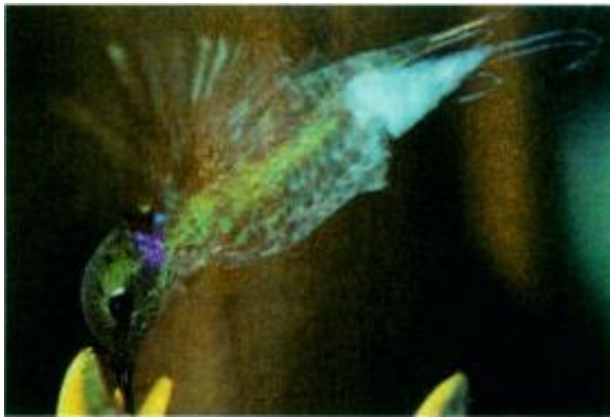
$\Delta\varphi=2j\pi$时, $\cos\Delta\varphi=1 \rightarrow I=I_{max}=(A_1+A_2)^2$

$\Delta\varphi=(2j+1)\pi$时, $\cos\Delta\varphi=-1 \rightarrow I=I_{min}=(A_1-A_2)^2$

令：$I_0=A_1^2+A_2^2$，则$I=I_0(1+V\cos\Delta\varphi)$——用V表示的双光束干涉光强分布

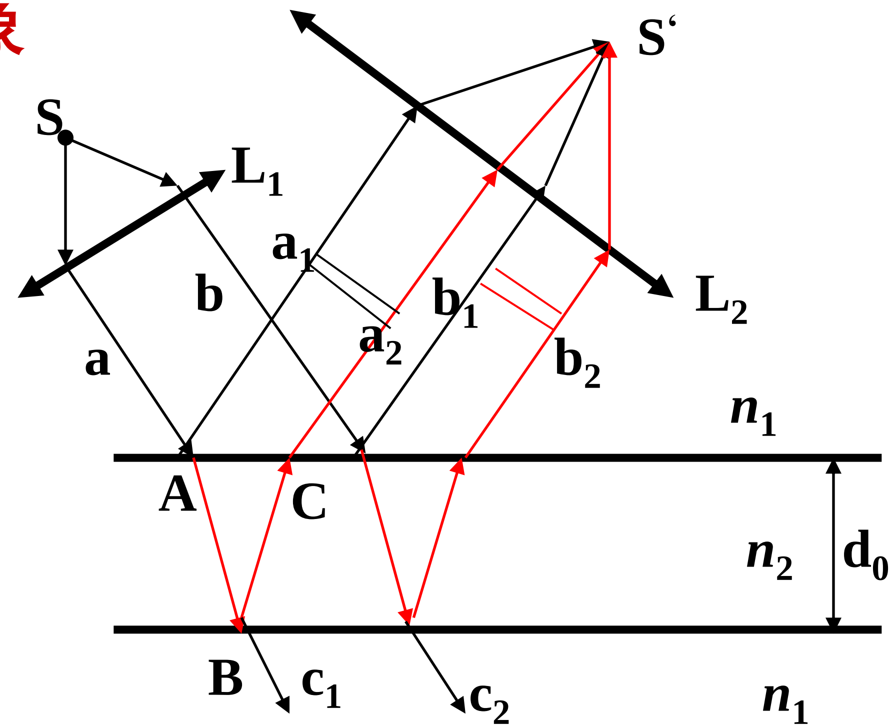
§1.6 分振幅薄膜干涉（一）——等倾干涉





一、单色点光源引起的干涉现象

1、装置：在一均匀透明介质n_1中放入上下表面平行,厚度为 d_0 的**均匀透明介质**薄膜n_2 ,用单色点光源照射薄膜，其反射和透射光如右图所示。

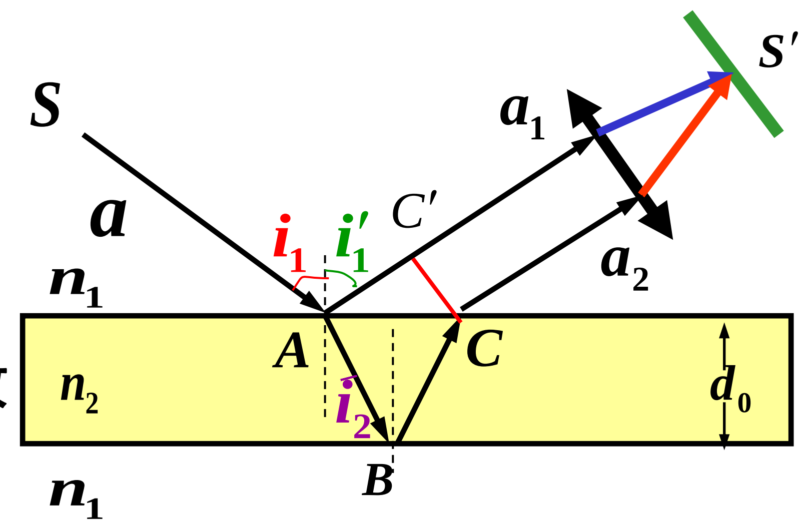


2、光路分析：如右图所示。

3、相干性分析：如右图所示，两光束a_1a_2和b_1b_2由同一光源发出且有相同的传播方向，所以频率相同、相差恒定、振动方向相同，是相干光束。

4、光程差：原理图如右下图所示。

(1)额外程差：无论$n_1<n_2$还是$n_1>n_2$，在两反射光束中，始终存在半波损失，故有$\lambda/2$的额外程差



(P27-30，菲涅尔公式， MOOC课程视频)

2.4 半波损失

東南大學
SOUTHEAST UNIVERSITY

中国大学MOOC

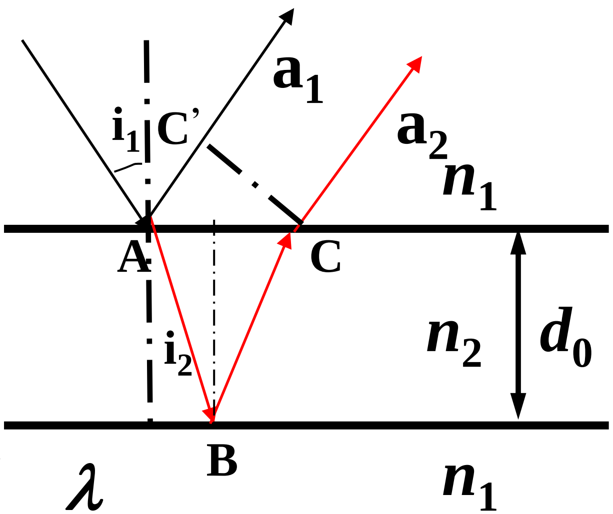
半波损失

- 掠入射或正入射情况下
  - 结论1：光从光疏到光密，反射产生半波损失。($n_1<n_2$)
  - 结论2：光从光密光疏，反射不产生半波损失。($n_1>n_2$)
  - 结论3：折射光不产生半波损失。
  - 结论4：只要是两束经历了不同物理性质的反射的反射光之间就会有额外光程差$\lambda/2$

自动播放下一视频　报告故障>

(2)光程差：两光束的光程差为

$$\delta = n_2(AB+BC) - n_1 AC' - \frac{\lambda}{2}$$



其中，额外程差取 $-\lambda/2$

经几何计算可得：$\delta = 2n_2 d_0 \cos i_2 - \dfrac{\lambda}{2}$

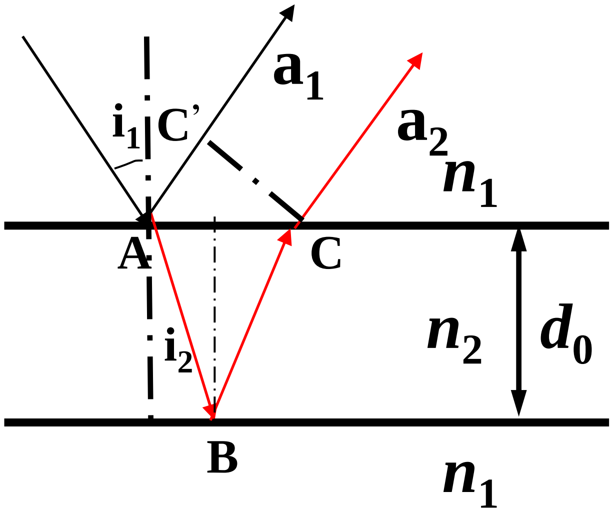
$$= 2d_0\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1\right)} - \frac{\lambda}{2}$$

5、干涉公式

由 $\delta = \begin{cases} 2j\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相长，亮点} \\ (2j+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相消，暗点} \end{cases}$

得：$2d_0\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1\right)} = \begin{cases} (2j+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相长 亮点} \\ 2j\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相消 暗点} \end{cases}$

$(j = 0, 1, 2\cdots)$



6、说明：

A、从下表面出射的折射光也可产生干涉现象；

B、反射光中还有经过三、五、七…次反射后从上表面出射的光束，但由于经过多次反射，光强与a_1,a_2比较相当弱，叠加时几乎不起有效作用，故只考虑a_1,a_2两束光的干涉。

C、额外程差：无论$n_1 < n_2$ 还是$n_1 > n_2$，在两反射光束中，始终存在半波损失。

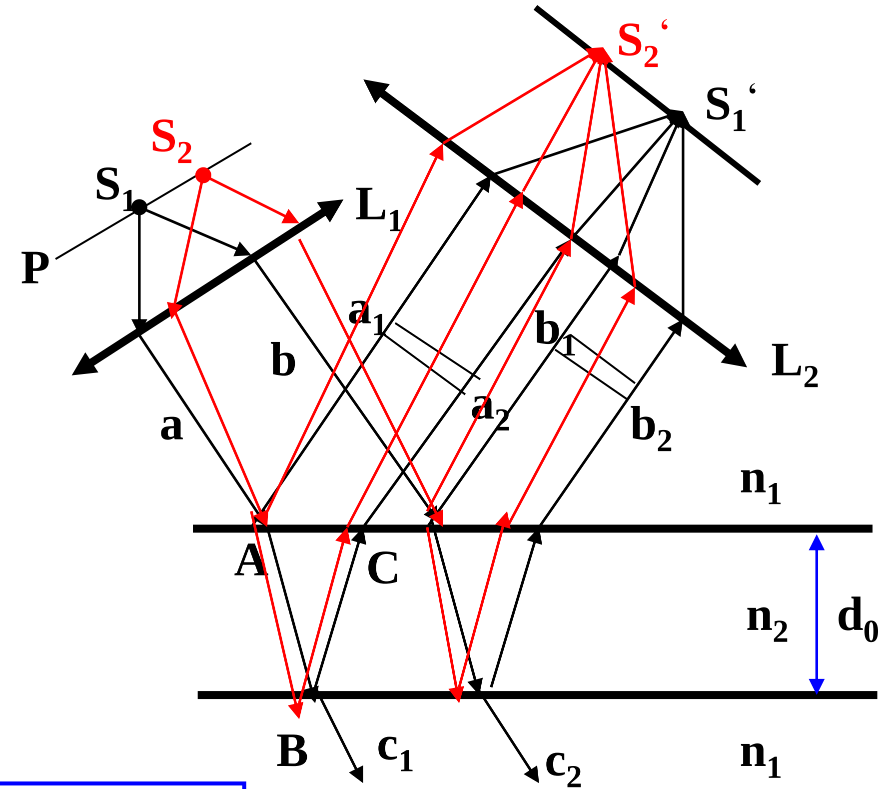
D、由于 $\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i_1\right)} \geq 0$ 所以 $j \geq 0$ ⟹ j 不能取负值

E、若额外程差取+λ/2，则j=1,2,3,4….

F、由于S为点光源且经过透镜，使成为一个方向的平行光，所以，S'处只能成一个点（亮或暗点）。

二、单色面光源引起的干涉

P为一置于透镜L_1焦平面上的面光源，S_1，S_2为其上任意两点，各自发出光束，经薄膜后分别会聚于S_1'，S_2'形成干涉点。由于众多的点发出的光束有不同的程差，因而各会聚点有不同的光强，若将光强相等的会聚点连结起来，则在L_2的焦平面上就会出现按强度分布的明暗条纹。

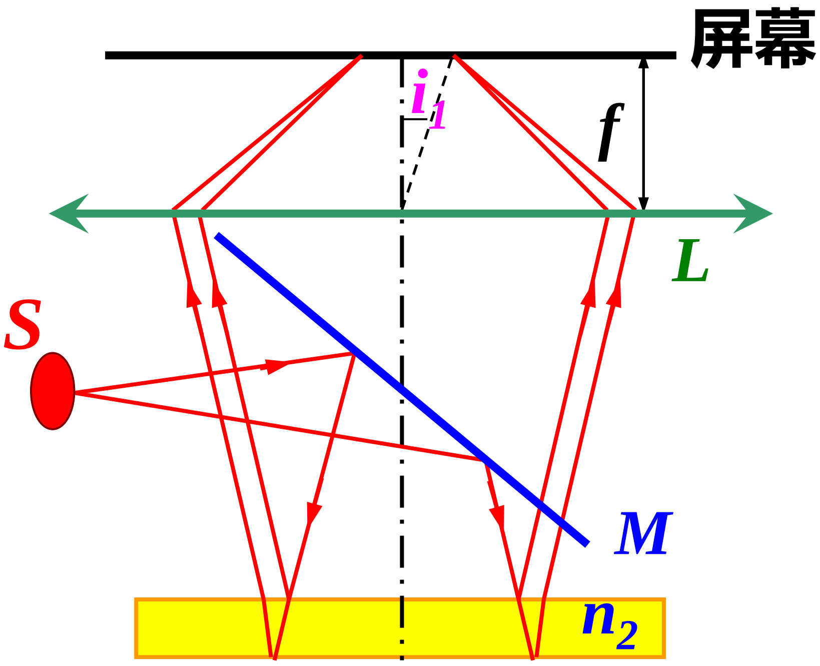


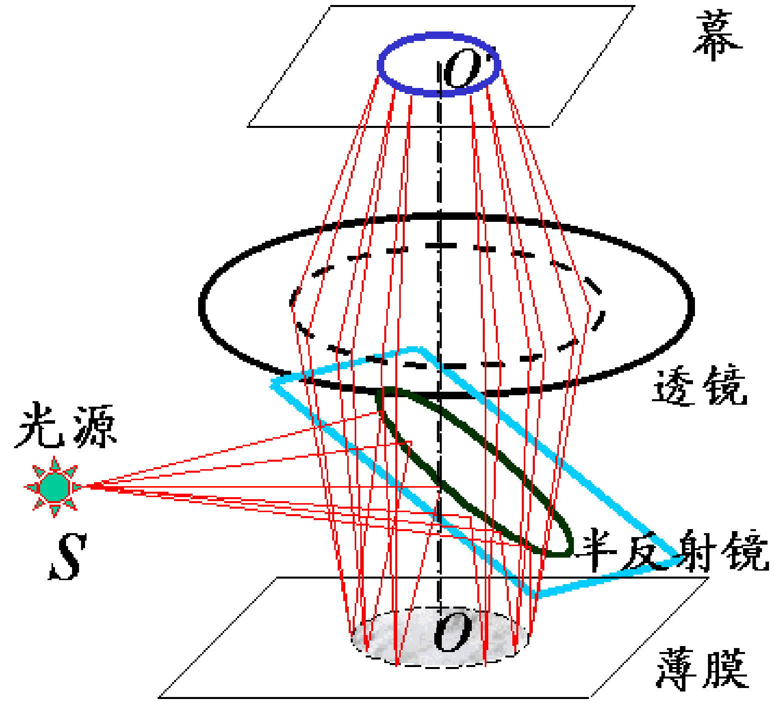
1、等倾干涉：

$$\delta = 2d_0\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1\right)} - \frac{\lambda}{2}$$

可知，强度相等的点对应的相同的光程差，而δ由i_1唯一确定，所以 i_1相同的点具有相同的光强，从而形成同一级条纹。

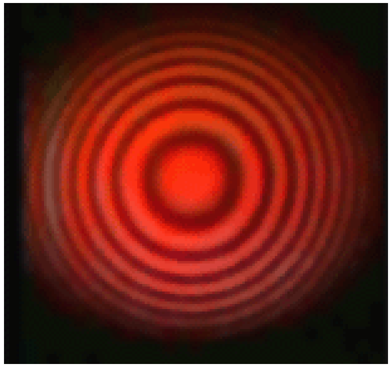
➢**定义：**由具有相同入射角（或倾角）的光束叠加而形成同一级条纹的薄膜干涉称为**等倾干涉**。





2、干涉条纹形状：

在L_2的焦平面上以其焦点为圆心的一组明暗相间的同心圆环。



等倾干涉条纹照片

3、干涉条纹特点：

A、干涉公式：

$$2d_0\sqrt{\left(n_2^2-n_1^2\sin^2 i_1\right)}=\begin{cases}(2j+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相长　亮环}\\ 2j\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相消　暗环}\end{cases}$$

或 $2n_2d_0\cos i_2$

$(j=0,1,2\cdots)$

B、$i_1=i_2=0$时，在屏上形成中央条纹（注意：并非零级条纹）；

C、<u>条纹干涉级内高外低；</u>

由 $2n_2d_0\cos i_2=(2j+1)\dfrac{\lambda}{2}$ 可知

当 d_0,λ,n_2 一定时

$i_2\uparrow\Rightarrow\cos i_2\downarrow\Rightarrow j\downarrow$;

$i_2\downarrow\Rightarrow\cos i_2\uparrow\Rightarrow j\uparrow$

等倾条纹

D、干涉条纹间距不等：内疏外密；

设i_2对应j级条纹，i_2'对应j+1级条纹，则由干涉公式有：

$$\begin{cases} 2n_2d_0\cos i_2 = (2j+1)\dfrac{\lambda}{2} \\ 2n_2d_0\cos i_2' = [2(j+1)+1]\dfrac{\lambda}{2} \end{cases}$$

两式相减有：$$\cos i_2' - \cos i_2 = \frac{\lambda}{2n_2d_0}$$

当i_2很小时，$\cos i_2$可按级数展开且略去高次项有

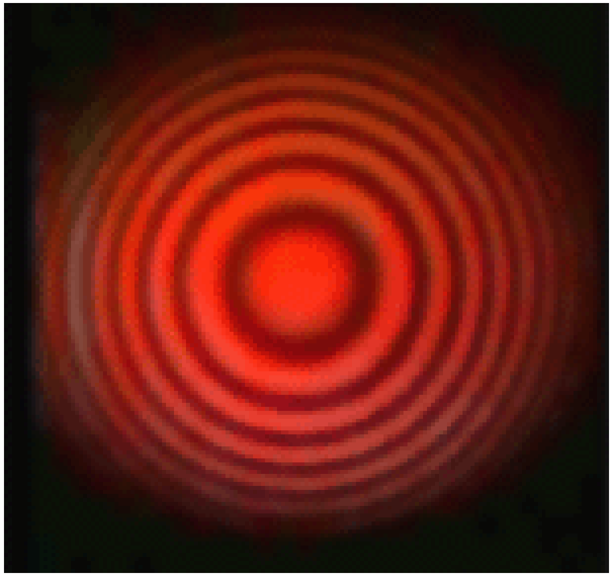
$$\cos i_2' - \cos i_2 \approx \frac{i_2^2}{2} - \frac{i_2'^2}{2} = \left(i_2 - i_2'\right)\left(i_2 + i_2'\right)/2 = \frac{\lambda}{2n_2d_0}$$

令 $i_2 - i_2' = \Delta i,\ \ i_2 + i_2' = 2i_2'$

则有 $$\Delta i = \frac{\lambda}{2n_2d_0i_2'}$$

$\therefore i_2' \uparrow$(远离中心) $\Rightarrow \Delta i \downarrow$;

$i_2' \downarrow$(靠近中心) $\Rightarrow \Delta i \uparrow$



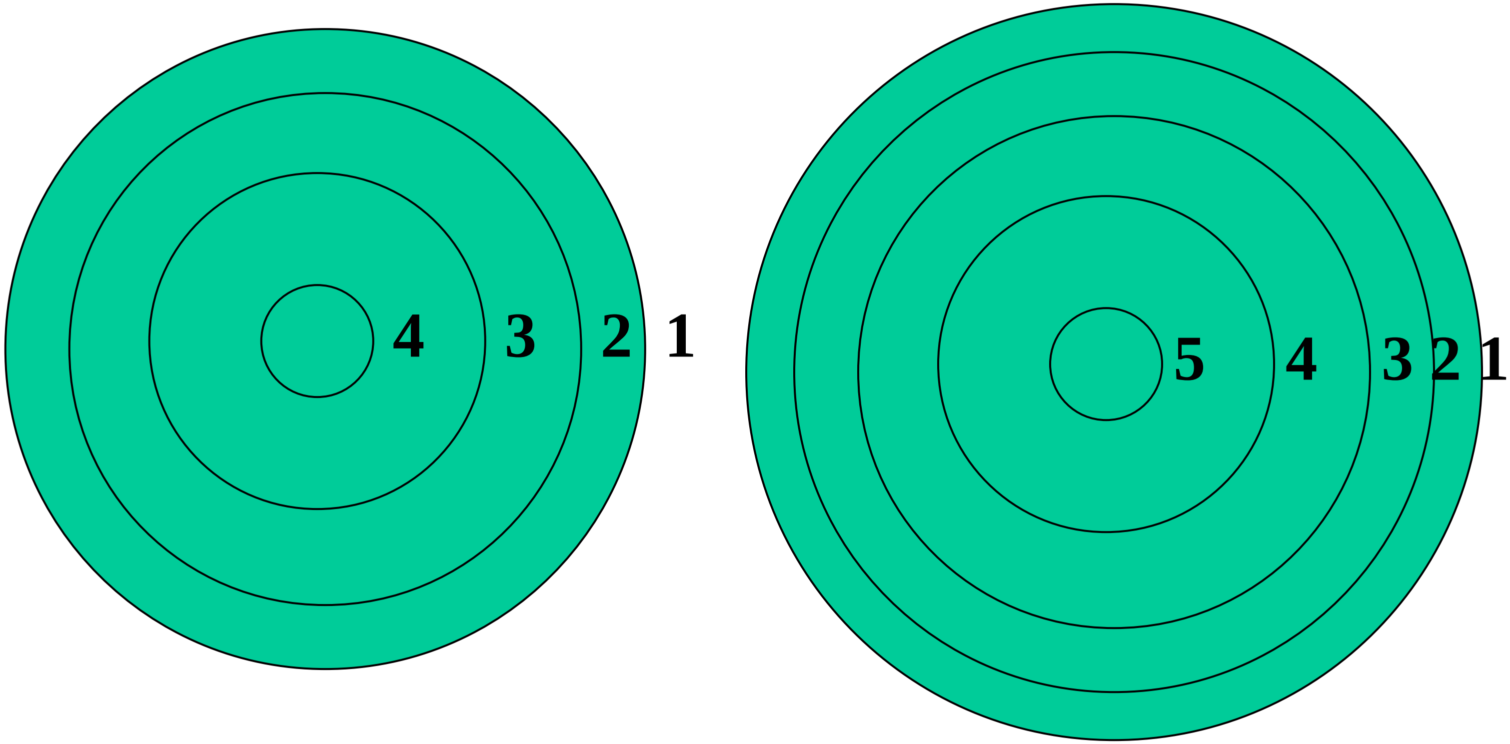
E、条纹随薄膜厚度的变化：

$$\Delta i = \frac{\lambda}{2n_2 d_0 i_2'}$$

$d_0 \uparrow \Rightarrow \Delta i \downarrow$ 条纹越密，越不容易辨认

当d_0连续增大时，所有条纹向外移动；当d_0连续减小时，所有条纹向内移动。

动态反应：若d↑则 j ↑：原来是第4级条纹的位置现在是第5级，4、3、2、1级分别向外移动一条，故看到条纹自内向外冒出。



根据冒出的条纹数，可以测定微小长度的变化。

$$2n_2d_0\cos i_2=(2j+1)\frac{\lambda}{2}$$ 明环

对一认定干涉级 j 的条纹，由于λ,n_2一定，$d_0\cos i_2=const.$

$\therefore d_0\uparrow\Rightarrow \cos i_2\downarrow\Rightarrow i_2\uparrow\Rightarrow$ 该级条纹向外移动，半径增大

$\therefore d_0\downarrow\Rightarrow \cos i_2\uparrow\Rightarrow i_2\downarrow\Rightarrow$ 该级条纹向内收缩，半径减小，以至为0

当$2n_2d_0$改变一个λ，即d_0改变$\lambda/2n_2$时，在中心处冒出或消失一个条纹

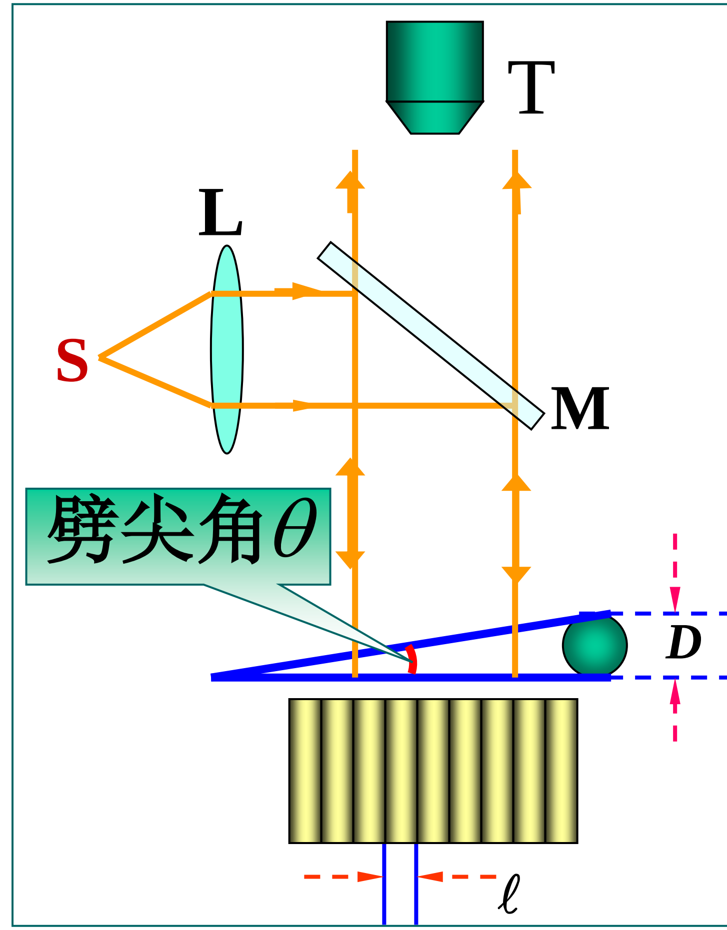
F、等倾干涉定域于无穷远；

G、从下表面出射的光束仍能产生干涉，但由于第一次透射光强远强于之后透射光场的强度，故干涉条纹可见度很低；

H、当用激光作光源时，由于光束横截面积很窄，为保证条纹强度，在将其扩束，使其成为扩展光源。

§1.7 分振幅薄膜干涉（二）——等厚干涉

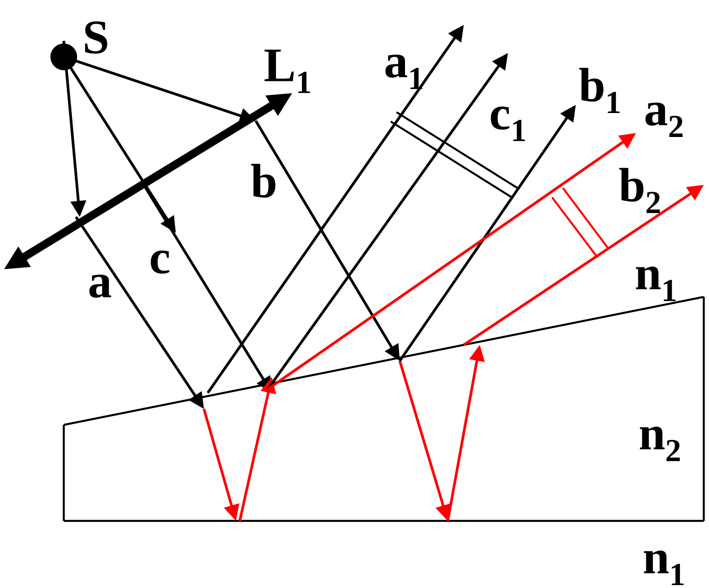
一、单色点光源引起的等厚干涉条纹



1、装置：

在一均匀透明介质n_1中放入上下表面成一微小夹角 的均匀透明介质薄膜n_2(也称劈尖), 用单色点光源照射薄膜，其反射和透射光如右图所示。

2、光路和相干性分析：



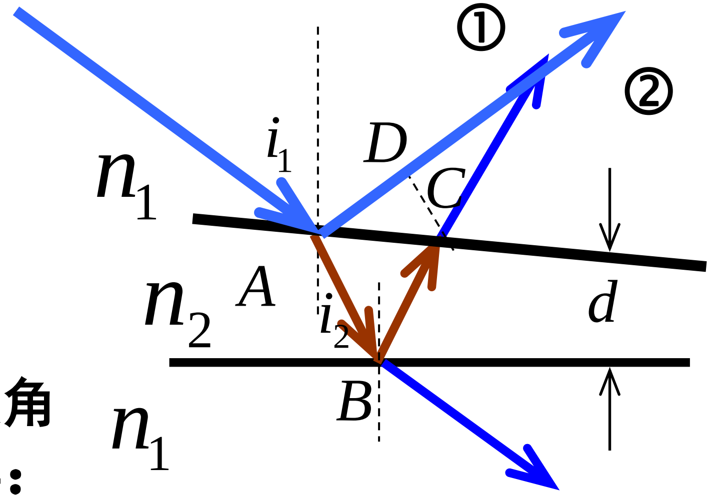
3、光程差：如右下图所示。

(1) **额外程差：** 无论$n_1 < n_2$还是$n_1 > n_2$，在两反射光束中，始终存在半波损失，故有$\lambda/2$的额外程差

(2)光程差：两光束的光程差为

$$\delta = n_2(AB+BC) - n_1 AD - \frac{\lambda}{2}$$

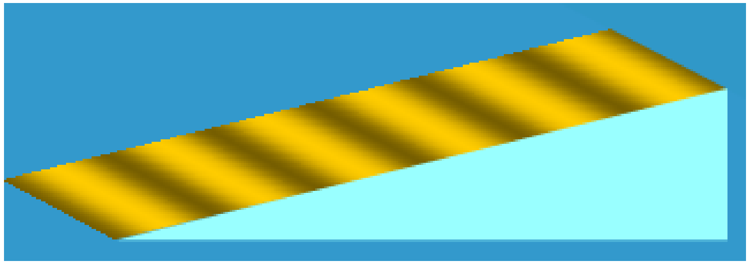
其中，额外程差取 --λ/2



一般情况下薄膜很薄，且上、下两表面夹角很小，所以，可用等倾干涉的推导方法得：

$$\delta = 2d_0\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1\right)} - \frac{\lambda}{2}$$

(d_0为入射点C的厚度)



5、干涉公式：

$$2d_0\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1\right)} = \begin{cases} (2j+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相长 亮纹} \\ 2j\cdot\dfrac{\lambda}{2} & \text{时，干涉相消 暗纹} \end{cases}$$

$(j = 0, 1, 2\cdots)$

6、等厚干涉：$\delta = 2d_0\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2\sin^2 i_1\right)} - \frac{\lambda}{2}$

当入射光和薄膜一定的情况下，λ、n_1、n_2和i_1为常量，光程差δ由d_0唯一确定。 d_0相同的点δ相等，具有相同的光强，构成同一级条纹。

①定义：同一级条纹由具有相同厚度的各点反射光所形成的薄膜干涉，称为等厚干涉。

②干涉条纹的特点：

A、条纹为一组平行于棱的明暗相间的直线状条纹；

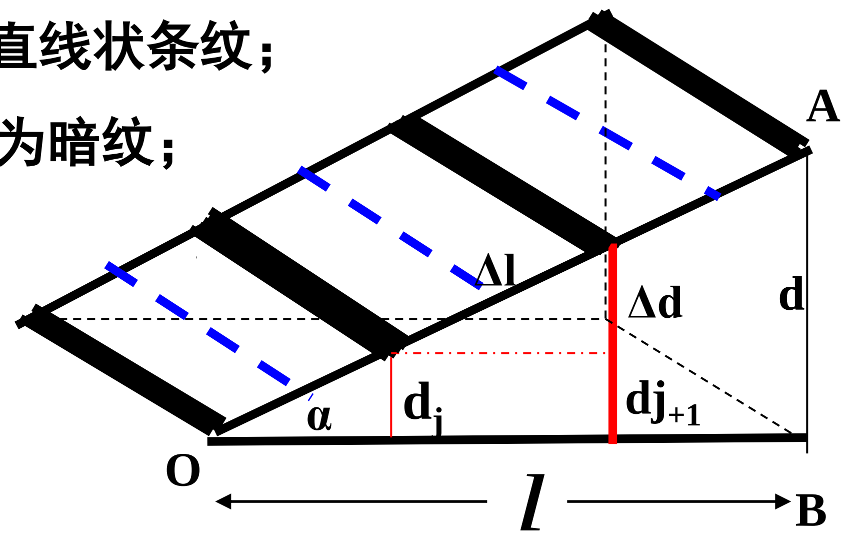
B、$j=0 \rightarrow d_0=0$，即零级条纹在棱处，且为暗纹；

C、由干涉公式可知：$d_0\uparrow \rightarrow j\uparrow$，反之，

$j\downarrow$；即d_0越大，j越高，反之j越小。

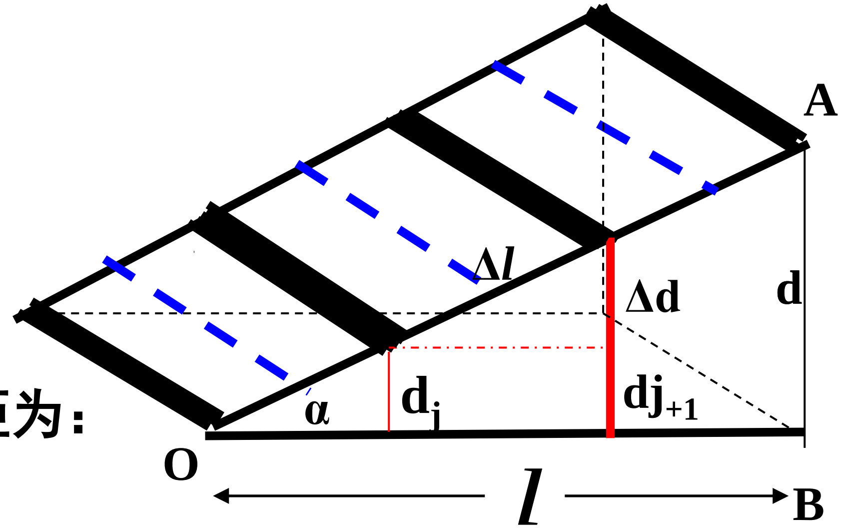
——高高低低；

D、条纹定域于薄膜表面；



E、条纹间距Δl:

设两表面夹角为α，j, j+1级亮（或暗）条纹对应的高度分别为d_j, d_{j+1}，则相邻条纹间的高度差：



$$\Delta d = d_{j+1} - d_j = \frac{\lambda}{2\sqrt{\left(n_2^2 - n_1^2 \sin^2 i_1\right)}}$$

与 j 无关，等高度差。所以，条纹间距为：

$$\Delta l = \frac{\Delta d}{\sin\alpha} \approx \frac{\Delta d}{\alpha}$$

对一定的劈尖， α一定。所以，$\triangle l$=const.;

等厚干涉条纹是一组平行于棱的明暗相间的等间距的直线条纹

F、对空气劈尖，且正射时，$n_2=1$，$i_2=0 \rightarrow \triangle d=\lambda/2$，$\Delta l=\lambda/2\alpha$。由于$d_0\uparrow \rightarrow j\uparrow$，若将OB面下移，条纹将向棱方向移动，当下移λ/2时，移过一个条纹。设厚度改变△d，移过了本系统N个，则

$$\Delta d = N \cdot \frac{\lambda}{2}$$

G、若S为一扩展光源（发光面），面上各点对薄膜有不同的入射角，各自产生一组等厚干涉条纹，而它们是不相干的，光强直接相加，使条纹发生弯曲，可见度降低。

6、等倾与等厚干涉的区别

类别 / 项目	等倾	等厚
光源	面光源	点光源
条纹形状	内疏外密的同心圆环	等间距直线状
干涉级	内高外低	高高低低

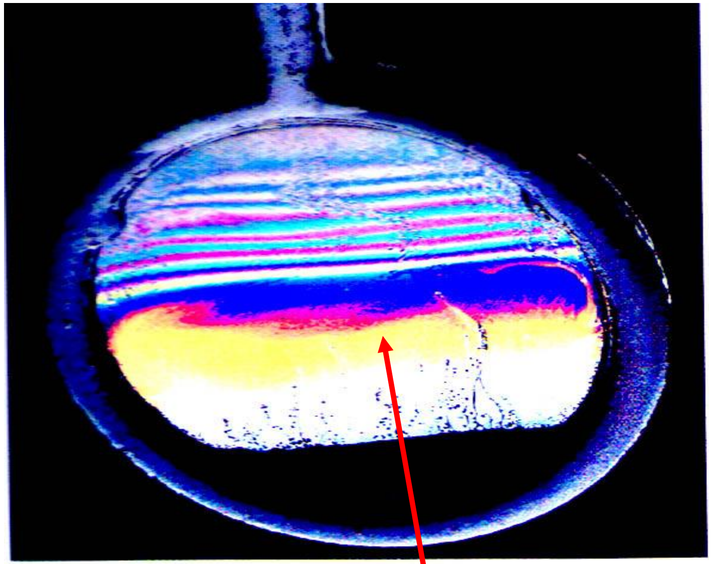
二、复色光源引起的等厚干涉条纹

明纹：$$d_0=(j+\frac{1}{2})\frac{\lambda}{2\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i_1}}$$

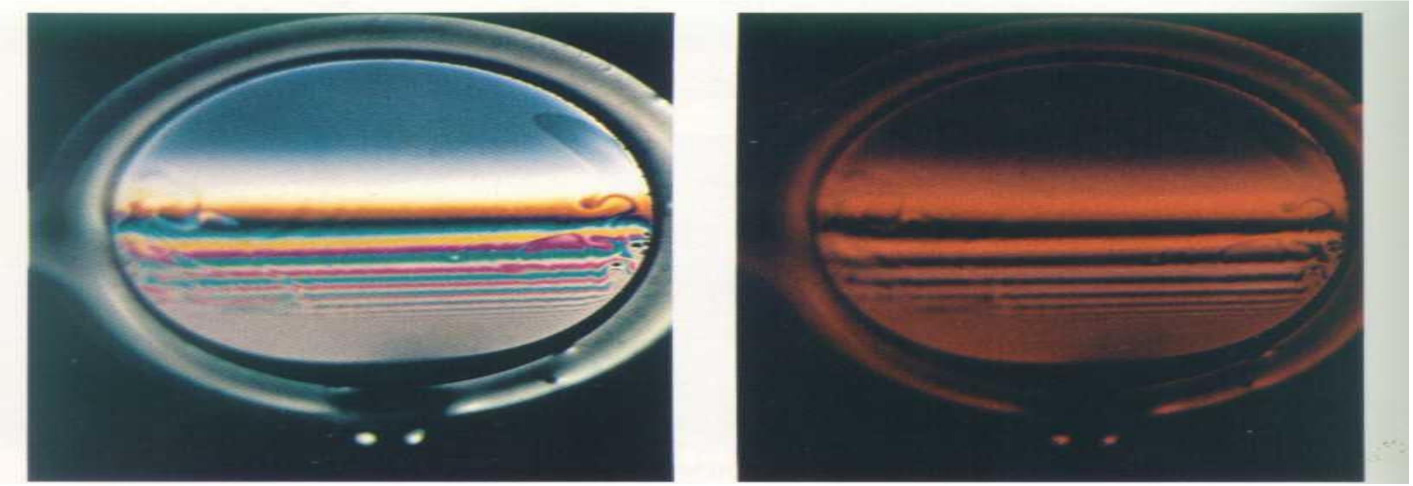
$$(j=0,1,2,\ldots)$$

$$\sqrt{n_2^2-n_1^2\sin^2 i_1}=(j+\frac{1}{2})\frac{\lambda_1}{2d_0}$$

$$=(j+\frac{3}{2})\frac{\lambda_2}{2d_0}=(j+\frac{5}{2})\frac{\lambda_3}{2d_0}=\ldots$$



薄层色



白光入射 ⬅ 等厚干涉条纹 ➡ 单色光入射

➢小结

§1.1 波动的独立性、叠加性和相干性

§1.2 单色光波叠加形成的干涉条纹

光程差：$\delta = n_2 r_2 - n_1 r_1$　　相位差：$\Delta\varphi = 2\pi\delta/\lambda$

§1.4 分波面双光束干涉

杨氏双缝干涉 

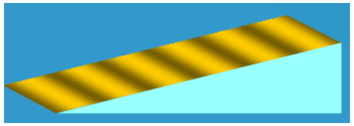
§1.5 干涉条纹的可见度

可见度 $V = \dfrac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$

§1.7 分振幅薄膜干涉: 等倾干涉

薄膜干涉 

§1.8 分振幅薄膜干涉: 等厚干涉

劈尖干涉 

下次课内容：

§1.8 迈克尔逊干涉仪

§1.9 法布里-珀罗干涉仪 多光束干涉

§1-10 干涉现象的应用 牛顿环