光到底是什么？

萌芽时期（公元前5世纪—16世纪）

中国《墨经》

《经下》、《经说下》

“光学八条”：光影关系、小孔成像等。

古希腊

毕达哥拉斯、德谟克里特：物体 → 人眼

柏拉图、欧几里得：人眼 → 物体

微粒说　牛　顿　17世纪到18世纪末占统治地位

波动说　惠更斯　19世纪占统治地位

杨氏双缝实验（1801年），干涉和衍射

傅科光速测量（1862年）

麦克斯韦电磁理论与赫兹实验——光是电磁波

17.1 光源 光程 相干光

一、光

可见光波长：$3.9\times10^{-7}m\sim7.7\times10^{-7}m$

$$1\text{nm}=10^{-9}\text{m},1\overset{\circ}{\text{A}}=0.1\text{nm}=10^{-10}\text{m}$$

实验表明：1 引起眼睛视觉效应和光化学效应的是光波中的电场

定义：光矢量 --光振动中的电矢量 $\vec{E}$

光振动--电矢量周期性的变化 $E=E_0\cos(\omega t+\varphi)$

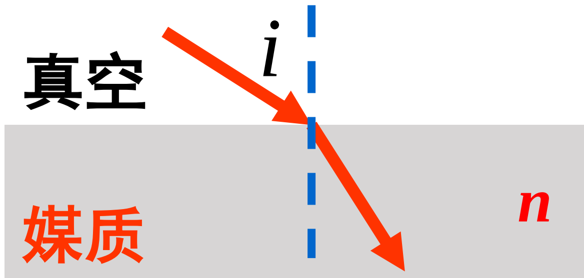
2 人眼及物理仪器检测光的强度由光的能流密度决定

定义：光强度—光的相对强度　$I=E_0^2$

3 人眼对于颜色的感觉由光的频率决定

频率只由光源决定，与介质无关

二、介质中光的速度与波长



光在介质中的速度：$u=\dfrac{c}{n}$

光在介质中的波长：

$$\lambda'=Tu=T(\frac{c}{n})=\frac{\lambda}{n}$$

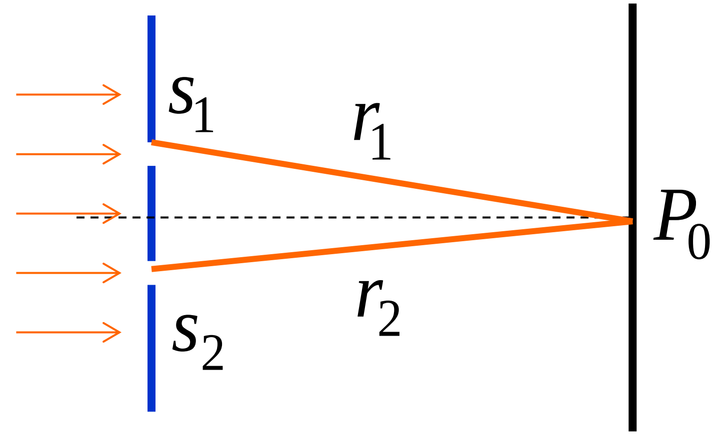
$$\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{c}{u}=n$$ --折射率

三、相位关系

1、真空中的相位关系

$$E_1 = E_{10}\cos(\omega t - 2\pi\frac{r_1}{\lambda} + \varphi_1)$$

$$E_2 = E_{20}\cos(\omega t - 2\pi\frac{r_2}{\lambda} + \varphi_2)$$



设 $\varphi_1 = \varphi_2$ **S_1 S_2传到P点的光振动的相位差：**

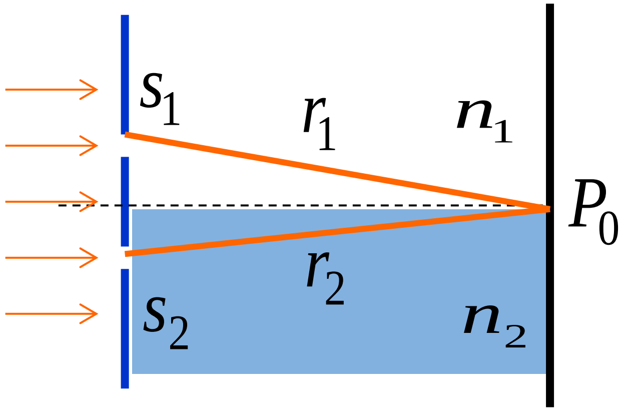
$$\Delta\varphi = (\omega \boldsymbol{t} - 2\pi\frac{\boldsymbol{r}_1}{\lambda} + \varphi_1) - (\omega \boldsymbol{t} - 2\pi\frac{\boldsymbol{r}_2}{\lambda} + \varphi_2)$$

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

2、介质中的相位关系

$$E_1 = E_{10}\cos(\omega t - 2\pi\frac{r_1}{\lambda_1} + \varphi_1)$$

$$E_2 = E_{20}\cos(\omega t - 2\pi\frac{r_2}{\lambda_2} + \varphi_2)$$



设 $\varphi_1 = \varphi_2$ **S_1 S_2传到P点的光振动的相位差：**

$$\Delta\varphi = (\omega t - 2\pi\frac{r_1}{\lambda_1} + \varphi_1) - (\omega t - 2\pi\frac{r_2}{\lambda_2} + \varphi_2)$$

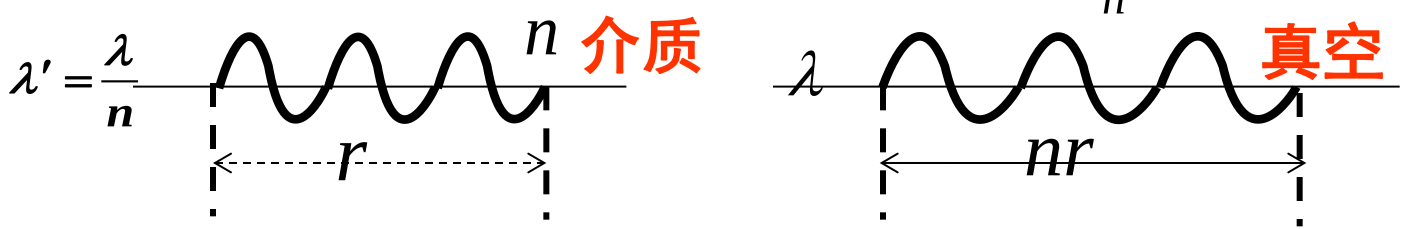
$$= 2\pi\frac{r_2}{\lambda_2} - 2\pi\frac{r_1}{\lambda_1} = 2\pi(\frac{r_2}{\lambda / n_2} - \frac{r_1}{\lambda / n_1})$$

$$= 2\pi(\frac{n_2 r_2 - n_1 r_1}{\lambda})$$

光程*L*=*nr*

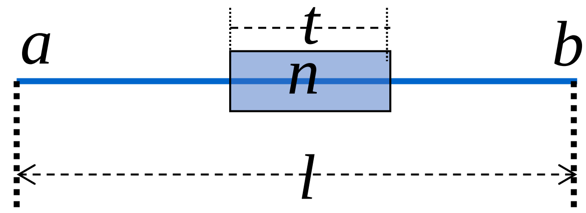
说明： 1）就相位变化而言，单色光在折射率为 n 的介质中通过的几何路程 r，相当于在真空中通过 nr 的几何路程。

$$\Delta\varphi = 2\pi\frac{r}{\lambda'} = 2\pi\frac{r}{\frac{\lambda}{n}} = 2\pi\frac{nr}{\lambda}$$



2）光在介质中传播时，其相位变化，不但与几何路程有关，还与介质的折射率有关。

例：求光程



$$L_{ab} = 1\cdot(l-t)+n\cdot t = l+(n-1)\,t$$

3 、光程差

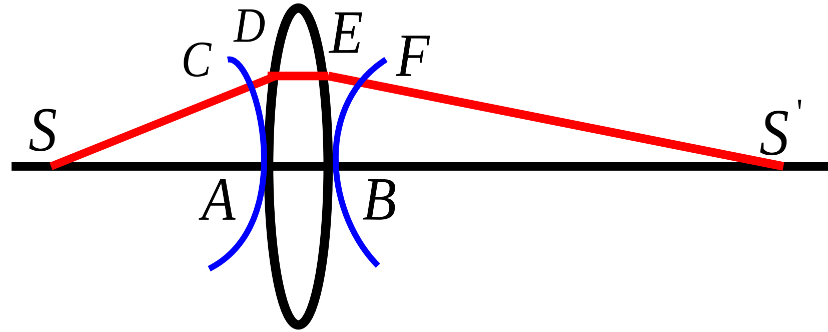
两光程之差 $\delta = (n_2 r_2 - n_1 r_1)$ 叫做**光程差**

相位差： $\Delta\varphi = 2\pi \dfrac{\delta}{\lambda}$

注意:对干涉**起决定作用的是光程差**,而不是波程差

光程差决定相位差。式中 λ 为光在**真空的波长**

四、薄透镜的等光程性



如图所示：

$$SC \approx SA$$

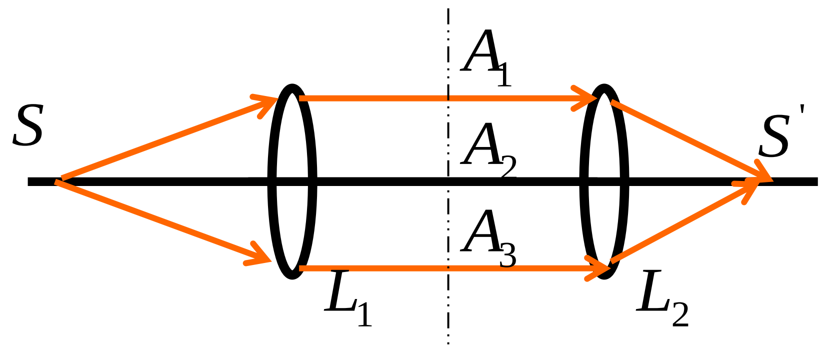
$$S'B \approx S'F$$

可以证明：

$$CD + n \cdot DE + EF = n \cdot AB$$

结论：当用薄透镜观测干涉时，不会带来附加的光程差

当用薄透镜或薄透镜组成的光学仪器观测干涉时，观测仪器也不会带来附加的光程差。



五、光的相干条件

相干条件： 频率相同、振动方向平行且相位差恒定

干涉相长和干涉相消的条件：

$$\Delta\varphi=\varphi_2-\varphi_1-2\pi\frac{\delta}{\lambda}=\begin{cases}2k\pi & \text{相长（明纹）}\\(2k+1)\pi & \text{相消（暗纹）}\\\text{其它值} & \text{最强最弱之间}\end{cases}\qquad k=0,\pm1,\pm2,\pm3\cdots$$

讨论同方向、同频率的光的叠加

$$E_1 = E_{10}\cos[\omega(t-\frac{r_1}{c})+\varphi_1]$$

$$E_2 = E_{20}\cos[\omega(t-\frac{r_2}{c})+\varphi_2]$$

P点的合振幅

$$E_0 = \sqrt{E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\cos(\varphi_2-\varphi_1-2\pi\frac{r_2-r_1}{\lambda})}$$

人只能观察到其光强度的平均值

$$\overline{I} = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\frac{1}{\tau}\int_0^\tau \cos\Delta\varphi\, dt$$

1、非相干叠加 $\overline{I} = E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20}\dfrac{1}{\tau}\int_0^\tau \cos\Delta\varphi \mathrm{d}t$

$\Delta\varphi$ 无恒定的值　　　随时间迅速变化

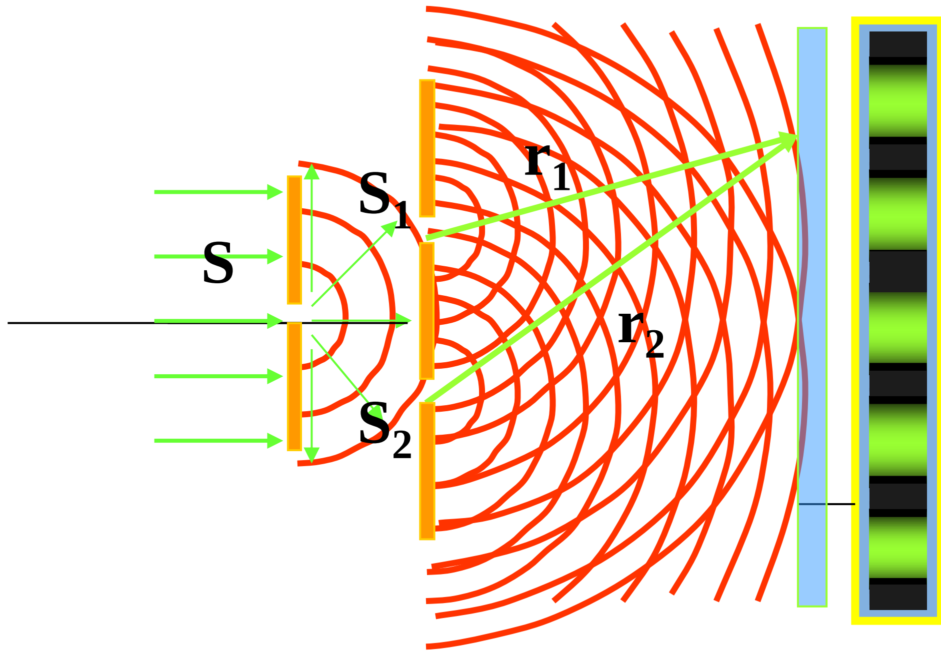
$$\int_0^\tau \cos(\varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{r_2 - r_1}{\lambda})\mathrm{d}t = 0$$

$$\overline{I} = E_{10}^2 + E_{20}^2 = I_1 + I_2$$

非相干叠加时的光强度等于叠加的两光波的强度之和

2、相干叠加

$$\Delta\varphi\text{保持恒定}\quad \bar{I}=E_{10}^2+E_{20}^2+2E_{10}E_{20}\frac{1}{\tau}\int_0^\tau\cos\Delta\varphi dt$$



$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 - 2\pi\frac{\delta}{\lambda}$$

特殊情况：$\varphi_1 = \varphi_2$，$\Delta\varphi = 2\pi\frac{\delta}{\lambda}$ ，用**光程差与波长**表示的干涉相长、相消条件为

$$\delta = \begin{cases} k\lambda & \text{相长（明纹）} \\ (2k+1)\dfrac{\lambda}{2} & \text{相消（暗纹）} \\ \text{其它值} & \text{最强最弱之间} \end{cases}$$

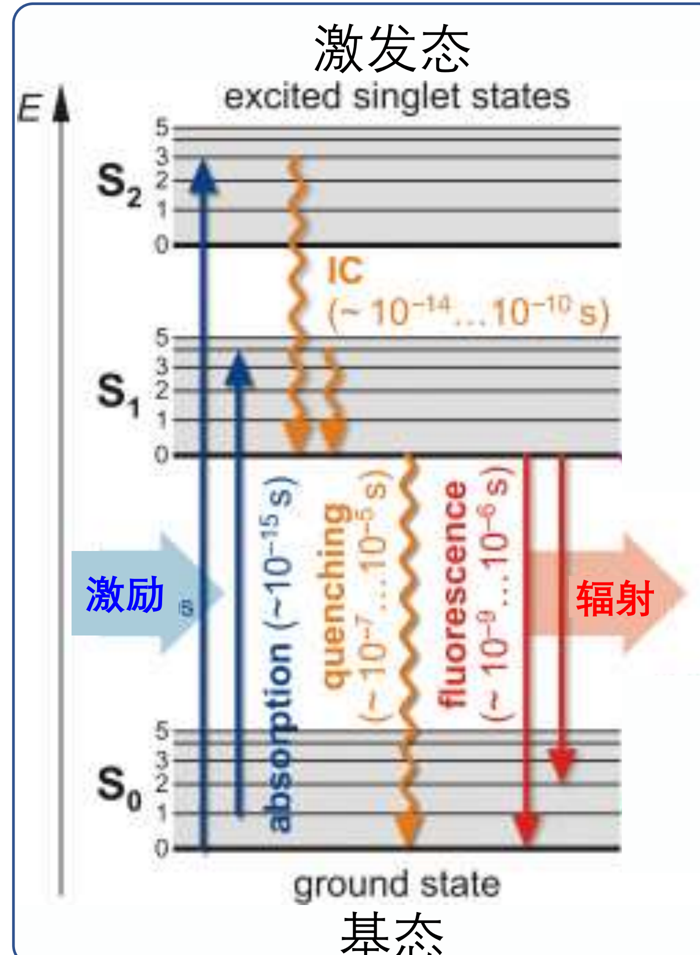
$$k = 0, \pm1, \pm2, \pm3 \cdots$$

λ 为**真空中的波长**

六、获得相干光的方法

普通光源发光：

◆ **自发辐射**：处于激发态的原子分子不稳定，会自发地跃迁回基态或较低能量的激发态，在这个过程中向外辐射电磁波，即发光。



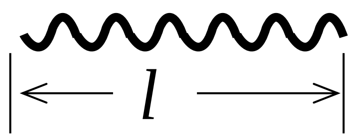
1、原子的发光特点

间歇性---同一原子，不同时刻发出的 $\vec{E}, \nu$ 不同；

独立性---不同原子，同一时刻发出的 $\vec{E}, \nu$ 不同；

跃迁时间

$\Delta t < 10^{-8}$秒

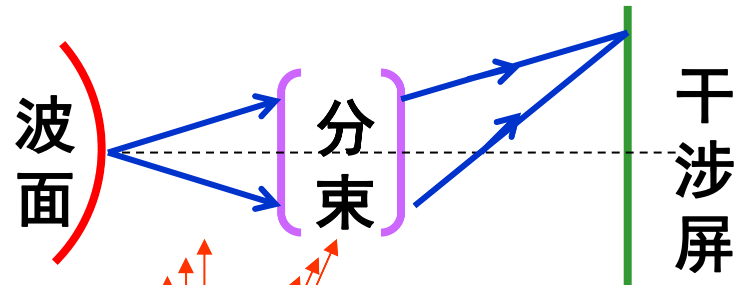


光波列长度 $l = \Delta t \times c$

只有**同一原子、同一次**发出的光波列相遇才是**相干光！**

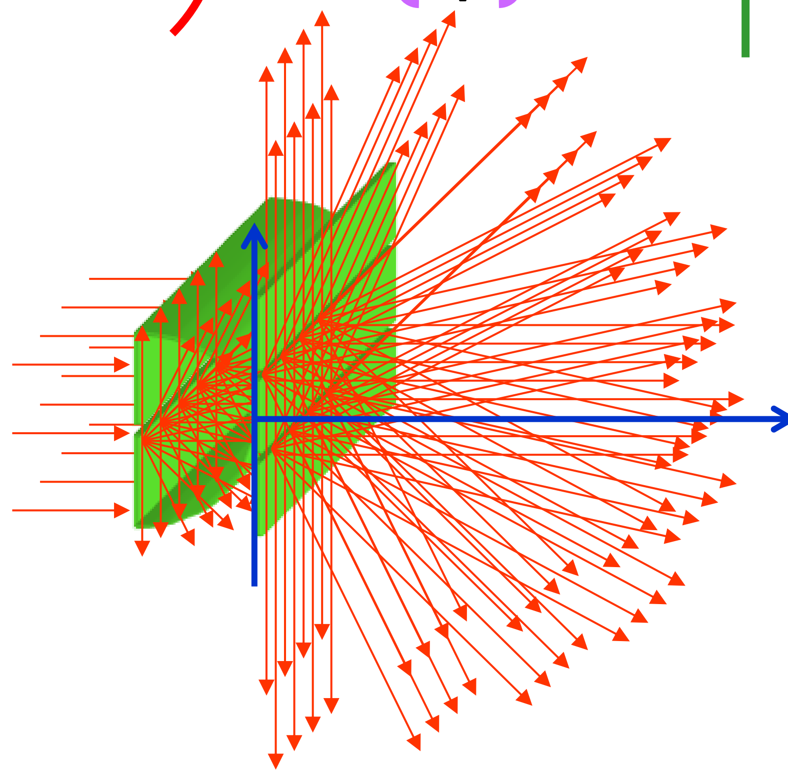
2、获得相干光的方法

原则： 同一点光源，先分束，再合成。

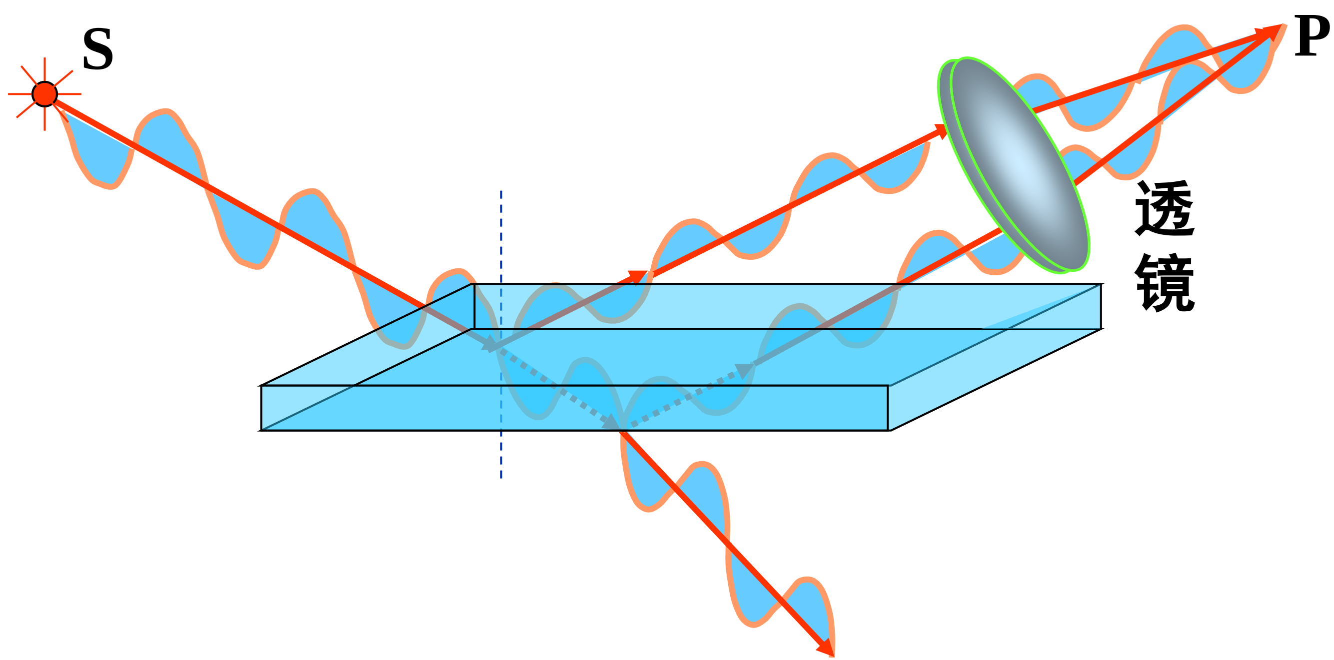


1）分波阵面法

让光通过几个并列的小缝或小孔把光的每束波列分开，称为分割波振面法。



2）分振幅法



让光在薄膜的上下表面反射或透射，形成分束

分振幅实际上是分能量

17.2 双缝干涉

一、杨氏双缝干涉实验

托马斯.杨

英国物理学家、医生和考古学家

光的波动说的奠基人之一

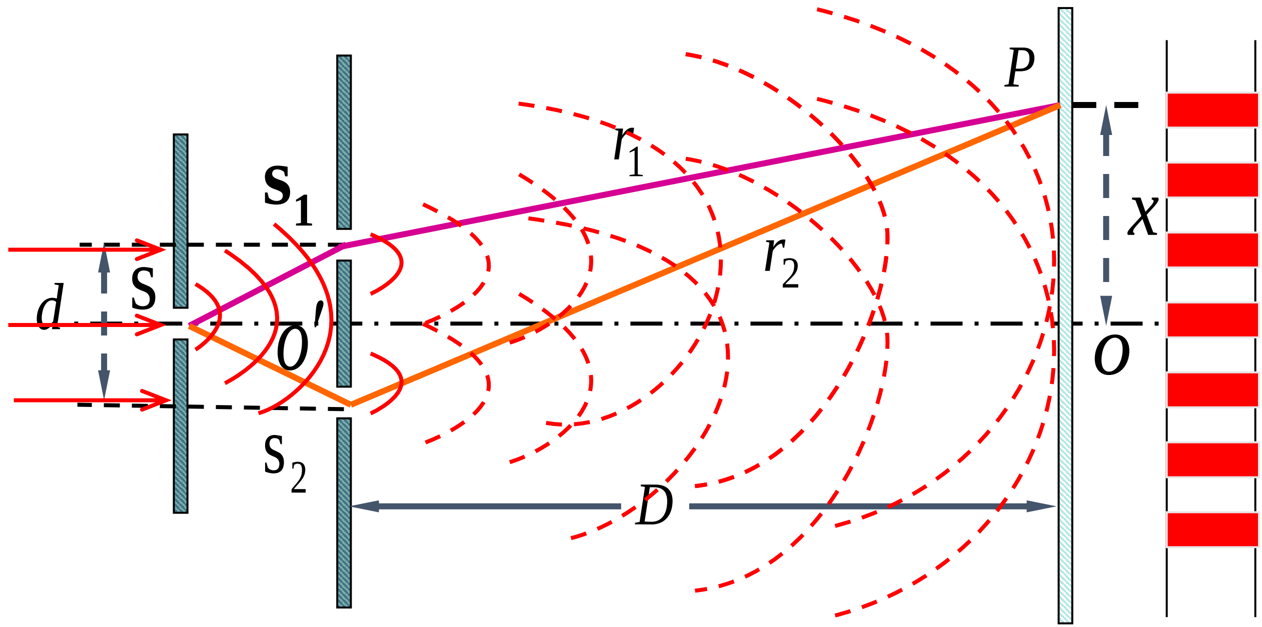
生理光学：三原色原理

波动光学：杨氏双缝干涉实验

材料力学：杨氏弹性模量

考古学：破译古埃及石碑上的文字

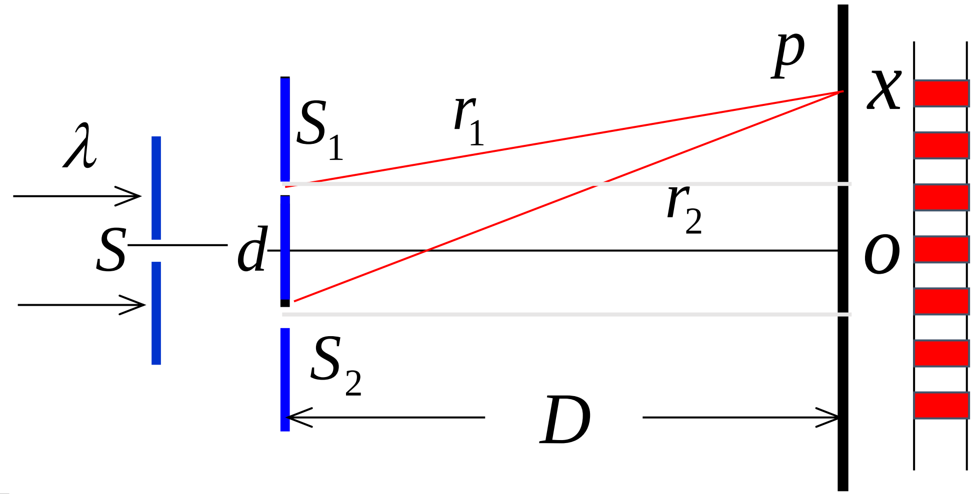
1、实验装置　获得相干光的方法是分波阵面法



d：0.1~1mm　　D：1~10m　　$D>>d$

二、定量分析

$$\delta = r_2 - r_1$$



$$r_1^2 = D^2 + (x - \frac{d}{2})^2 \qquad r_2^2 = D^2 + (x + \frac{d}{2})^2$$

两式相减 $r_2^2 - r_1^2 = (r_2 + r_1)(r_2 - r_1) = 2xd$

$\boldsymbol{r_2 + r_1 \approx 2D}$ $$\delta = r_2 - r_1 = \frac{d}{D}x$$

$$\boxed{\delta = \frac{dx}{D}}$$

明条纹位置（干涉加强）

$$\delta = k\lambda \qquad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \cdots$$

暗条纹位置（干涉相消）

$$\delta = (2k+1)\frac{\lambda}{2} \qquad k = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \cdots$$

相邻两明(或暗)条纹的间距

$$\Delta x = x_{k+1} - x_k = \frac{D\lambda}{d}$$

例题 以单色光照射到距离为0.2mm的双缝上，双缝与屏幕的垂直距离为1m。从第一级明纹到同侧的第四级明纹间的距离为7.5mm，求单色光的波长。

解： 根据双缝干涉明纹的条件

$$x_k = \pm k \frac{D}{d}\lambda, \qquad k = 0, 1, 2\ldots$$

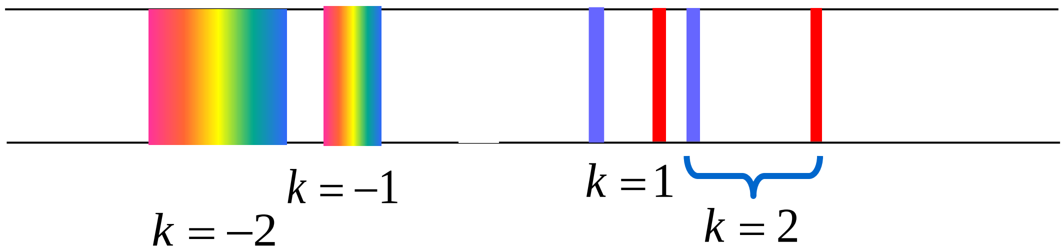
以k=1和k=4代入上式，得

$$\Delta x_{14} = x_4 - x_1 = \frac{D}{d}(k_4 - k_1)\lambda$$

$$\lambda = \frac{d}{D}\frac{\Delta x_{14}}{(k_4 - k_1)} = \frac{0.2 \times 7.5}{1000 \times (4-1)} = 5 \times 10^{-7}\,\mathrm{m}$$

若用复色光源，则干涉条纹是彩色的

$$\boxed{x = \pm k \frac{D\lambda}{d}}$$



在屏幕上x处刚发生重叠时，满足：

$$x = (k+1)\frac{D}{d}\lambda_1 = k\frac{D}{d}\lambda_2$$

干涉级次越高重叠越容易发生

例题 用**白光**作双缝干涉实验时，能观察到几级清晰可辨的彩色光谱？

解： 由 $x_{k红} = x_{(k+1)紫}$ 的临界条件得

$$k\frac{D}{d}\lambda_{红} = (k+1)\frac{D}{d}\lambda_{紫}$$

$$k\lambda_{红} = (k+1)\lambda_{紫}$$

$\lambda_{红} = 760nm, \lambda_{紫} = 400nm$ 代入得

$k=1.1$ 因 k 只能取整数，所以取 $k=1$

讨论

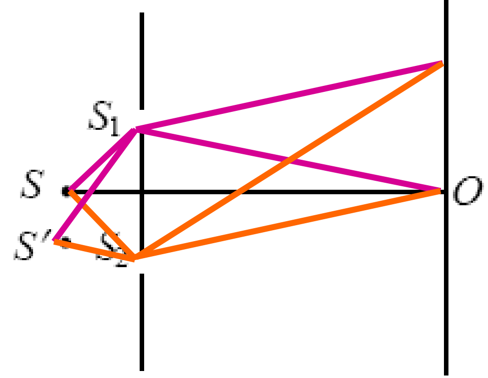
在双缝干涉实验中，若单色光源S到两缝S_1、S_2距离相等，则观察屏上中央明条纹位于图中O处。现将光源S向下移动到示意图中的S'位置，则（　　）

A. 中央明条纹也向下移动，且条纹间距不变

中央明条纹向上移动，且条纹间距不变

C. 中央明条纹向下移动，且条纹间距增大

D.中央明条纹向上移动，且条纹间距增大



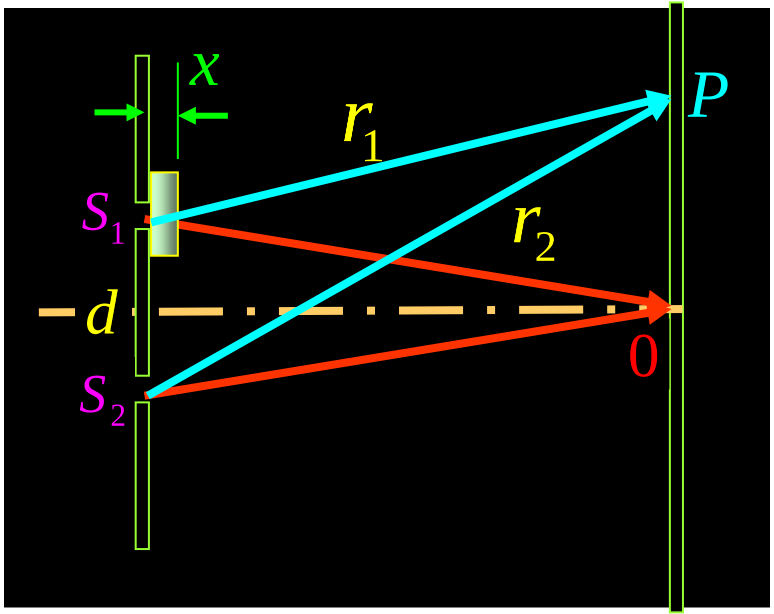
例题 当双缝干涉装置的一条狭缝后面盖上折射率为n=1.58的云母薄片（设光在云母片中通过的路程等于云母片的厚度），观察到屏幕上干涉条纹移动了5个条纹间距。已知λ=632.8nm，求云母片的厚度x 。

解 P 点为放入薄膜后中央明纹的位置

$$r_2-[(r_1-x)+nx]=0$$

又因P 点是未放薄膜时第k级的位置

$$r_2-r_1=k\lambda$$



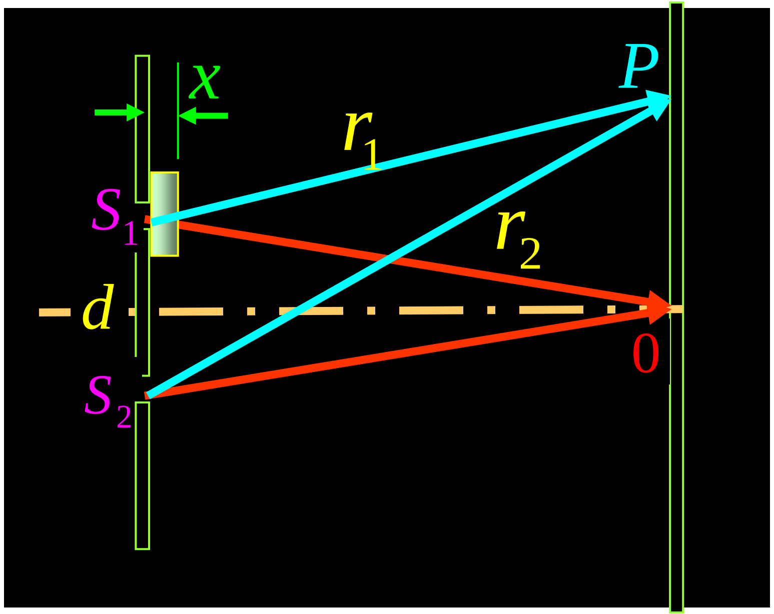
可得：

$$x=\frac{k\lambda}{n-1}$$

$$=\frac{5\times 6.328\times 10^{-7}}{1.58-1}$$

$$=5.46\times 10^{-6}\ \mathrm{m}$$

零程差分析



作业： P103：一.1,3 二.2,4 三.2,3