

# 第五章 光的干涉

## (Interference of light)

### § 5.6 光源的非单色性对干涉条纹

可见度的影响 空间相干性

#### 一、光源的单色线宽

实际的单色光源，他们所发出的光波都不是严格的单一频率（波长）的光，它包含着一定的波长范围，不同波长的光的相对光强不同。

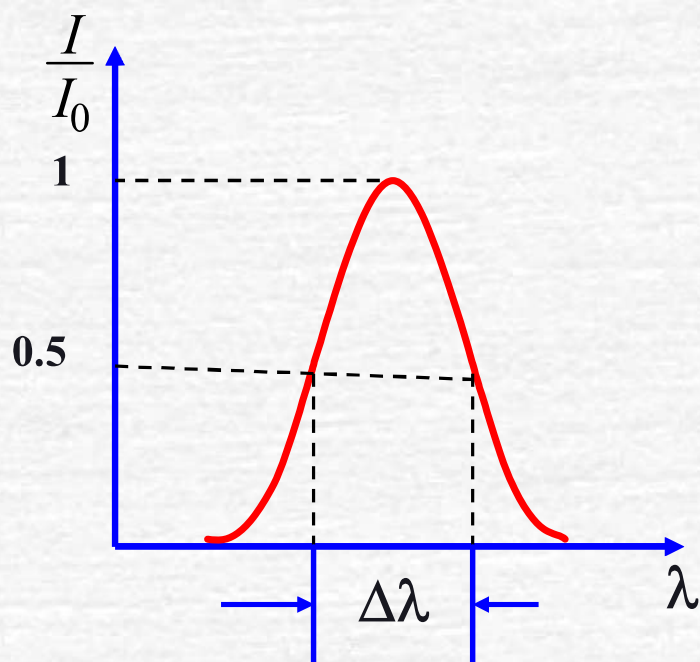


聊城大学

物理科学与信息工程学院

其分布的大致情况如图

定义：当相对光强下降为峰值光强一半时的波长间隔 $\Delta\lambda$ （或者频率间隔 $\Delta\nu$ ），称为**光源的谱线宽度或单色线宽**。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

为什么实际单色光源发出的光波都有一定的线宽呢？

这是因为光源的发光过程在时间上是断续的，即原子每次持续发光时间只有 $\Delta t$ ，在 $\Delta t$ 内，发出的波列长度为 $L=C \Delta t$ 。由傅立叶分析可以证明，光波的这种振动可以看成是许多频率的严格单色光振动的叠加，这些光的频率连续分布在中心频率的两侧。

计算表明，单色线宽 $\Delta\nu$ 和原子一次持续发光时间 $\Delta t$ 的倒数有相同的数量级，即

$$\Delta\nu \sim \frac{1}{\Delta t} \quad \text{或}$$

$$\Delta\nu \cdot \Delta t \approx 1$$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

由  $\lambda = \frac{c}{\nu}$  对其微分并取绝对值，可得

$$\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta\nu}{\nu}, \quad \text{则} \quad \Delta\nu = \frac{\nu \Delta\lambda}{\lambda} = \frac{c}{\lambda^2} \Delta\lambda$$

因此，波列的长度可写为

$$L = c\Delta t = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

$\lambda$ 为真空中的波长。 $L$ 为真空中的波列长度，称为相干长度， $\Delta t$ 称为相干时间。



聊城大学

物理科学与信息工程学院



若  $\Delta t \rightarrow \infty$ , 则  $L \rightarrow \infty$

这便是绝对（严格）单色光。

设原子持续发光的时间  $\Delta t = 10^{-9}$  秒, 则  $L = c \Delta t$   
 $= 3 \times 10^8 \times 10^{-9} = 0.3$  米。

与  $\Delta t$  对应的线宽为  $\Delta \nu = \frac{1}{\Delta t} = 10^9 \text{ Hz}$

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda}{\nu} \Delta \nu = \left( \frac{\lambda^2}{c} \right) \Delta \nu$$

若  $\lambda = 600 \text{ nm}$  则  $\Delta \lambda = 0.0012 \text{ nm}$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

实际常用的普通单色光源的谱线宽度的数量级为百分之几埃到几埃，相干长度为几毫米到几十厘米，而激光的相干长度可达几米到几十米。

## 二、光源的非单色性对干涉条纹的影响

由于不同波长的光是不相干的，所以观察到的干涉条纹将是各种波长成分的光各自形成的干涉条纹的非相干叠加。

对于杨氏实验 明条纹位置为：
$$y_{\text{明}} = \pm \frac{r_0}{d} k\lambda,$$

可见对于不同的波长产生的干涉条纹，除零级重合外（ $y=0$ 处）其他各级条纹相互均有一定的位移。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

设光源的波长为 $\lambda$ ，其波长范围为 $\Delta\lambda$ ，由于在波长 $\lambda$ 与 $\lambda+\Delta\lambda$ 内各种波长的干涉条纹非相干叠加，结果仅零级条纹是完全重合在一起的，其它各级条纹不再重合。

极大值位置的范围由  $\Delta y' = k \frac{r_0}{d} \Delta\lambda$ ， 决定  
称为明条纹宽度。

在 $\Delta y'$ 以内，充满着同一干涉级波长在 $\lambda$ 与 $\lambda+\Delta\lambda$ 之间的各种波长的明条纹。

随着干涉级次的提高，同一级干涉条纹的宽度增大，干涉条纹的可见度便相应的降低，当波长为 $\lambda+\Delta\lambda$ 的第 $k$ 级明条纹与波长为 $\lambda$ 的第 $k+1$ 级明条纹重合时，条纹的可见度降为零，无法观察到条纹。

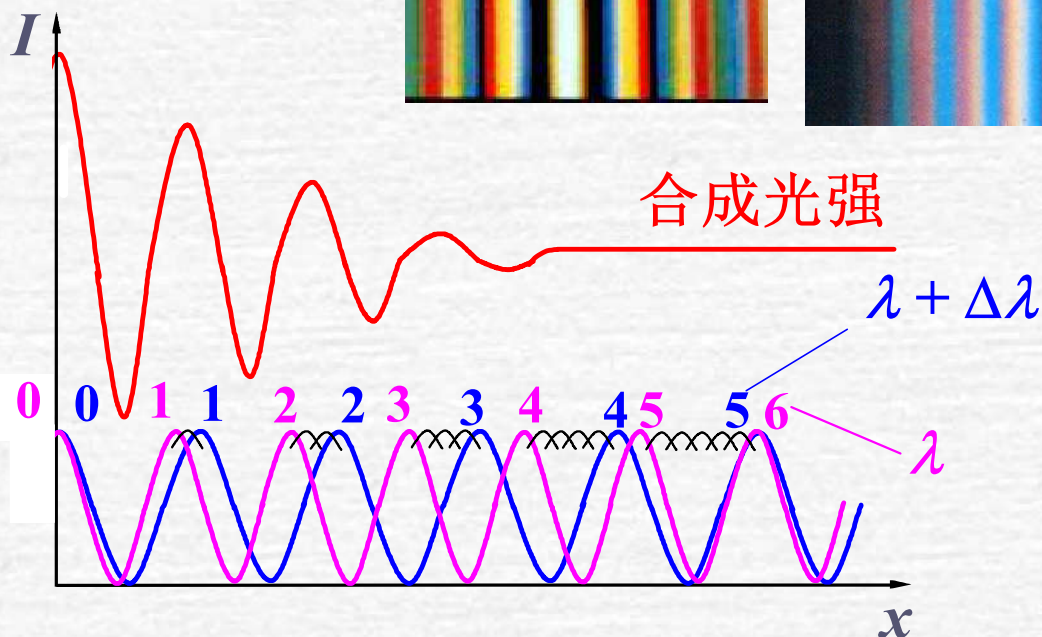
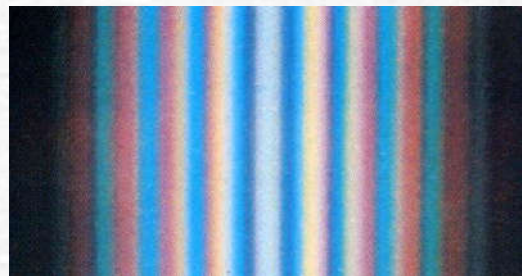
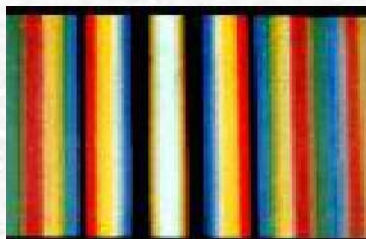


聊城大学

物理科学与信息工程学院



叠加后强度分布如图



当波长  $(\lambda + \Delta \lambda)$  的光所对应的  $k$  级亮纹与波长  $\lambda$  的光所对应的  $k+1$  级亮纹重合时，条纹就看不见了，此后条纹连成一片。



聊城大学

物理科学与信息工程学院



即能产生干涉条纹的最大光程差为

$$\text{光程差 } \delta_{\max} = k(\lambda + \Delta\lambda) = (k + 1)\lambda$$

由此可得，能观察到的最大干涉级次为：

$$k_{\max} = \frac{\lambda}{\Delta\lambda}$$

因而能产生干涉的最大光程差可以写为：

$$\delta_{\max} = k(\lambda + \Delta\lambda) \approx \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = L$$



聊城大学

物理科学与信息工程学院

由此可见光波的波列长度就等于能产生干涉的最大光程差。因此称为相干长度。

所对应的原子的持续发光时间 $\Delta t$ ，称为相干时间。

$$L = \delta_{\max} = c\Delta t = \frac{c}{\Delta\nu} = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda}$$

### 三、时间相干性

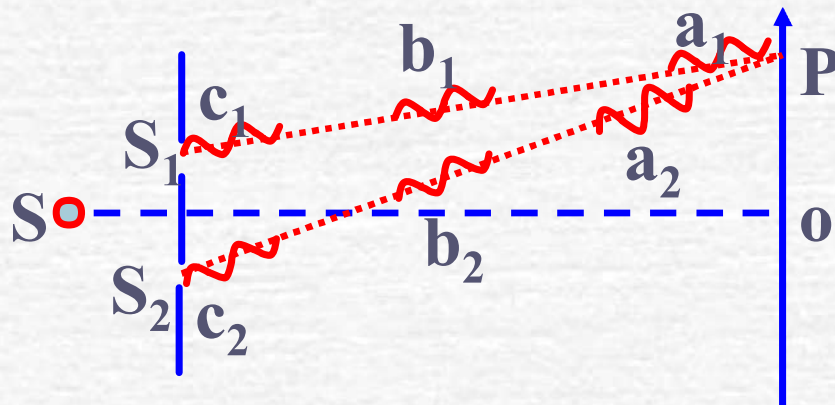
由于原子发光在时间上是断断续续的，实际上只能得到有限长的波列L。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

干涉的最大光程差 $\delta_M$ 的直观理解：就是波列的长度。



如果光源S发射一列光波 $a_1$ ,  $a_2$ , 这两个波列沿不同路径 $r_1$ ,  $r_2$ 传播后, 又重新相遇。由于这两列波是从同一列光波分割出来的, 它们具有完全相同的频率和确定的相位关系。因此可以发生干涉, 并可观察到干涉条纹。若两路的光程差太大, 致使 $S_1$ 和 $S_2$ 到观察点P的光程差大于波列的长度, 使得当波列 $a_2$ 刚到达P点时, 波列 $a_1$ 已经过去了, 两列波不能相遇, 当然无法发生干涉。



聊城大学

物理科学与信息工程学院

而另一时刻发出的波列**b**经**S<sub>1</sub>**分割后，波列**b<sub>1</sub>**和**a<sub>2</sub>**相遇并叠加。但由于波列**a**和**b**无固定的相位关系，因此在考察点**P**无法发生干涉。

因此，产生干涉的另一必要条件是：

两光波在相遇点的光程差应小于波列的长度。

由  $\delta_{\max} = L = \frac{\lambda^2}{\Delta\lambda} = c\Delta t$  可以看出

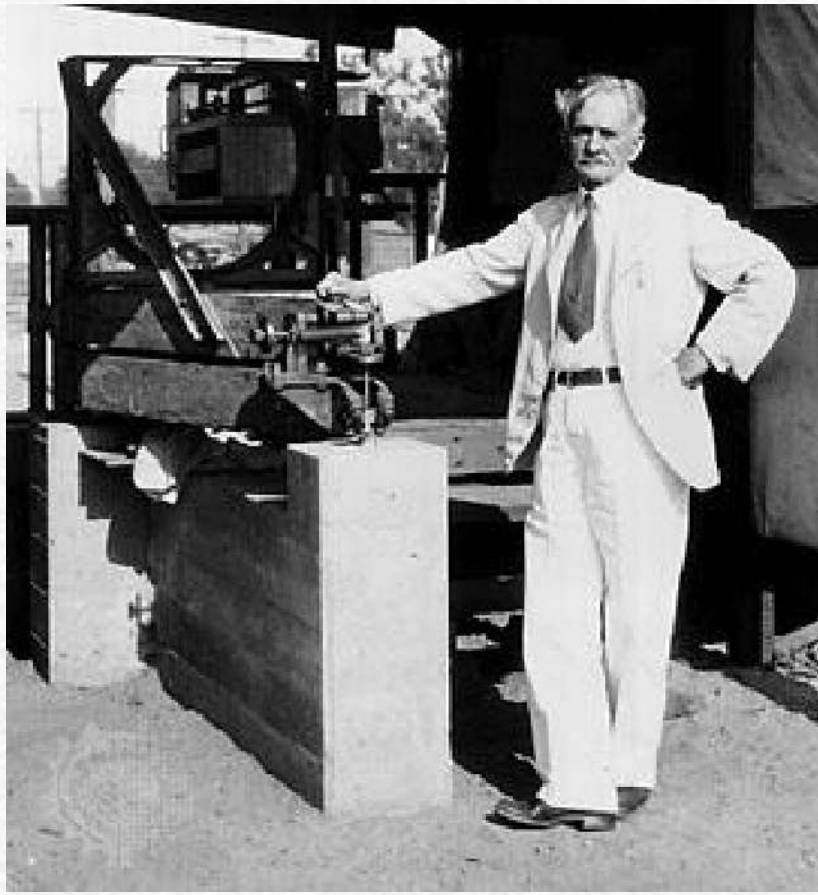
光源的单色线度宽 $\Delta\lambda$ 越小，或发光时间 $\Delta t$ 越长，则波列长度越长。这说明在光程差比较大的地方还可观察到比较清晰的干涉条纹。说明光源的相干性好。这种由单色线宽所决定的光波的相干性称为**时间相干性**。



聊城大学

物理科学与信息工程学院





本节结束

聊城大学

物理科学与信息工程学院

