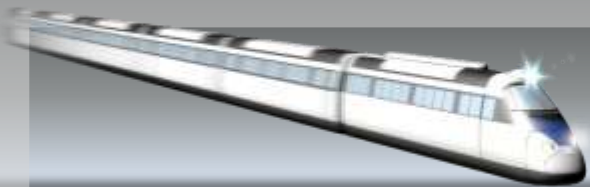


A photograph of a modern high-speed train, possibly a Shinkansen, traveling on an elevated concrete bridge. The train is white with blue and yellow accents. The background shows a cloudy sky and some greenery.

第11章光的干涉

光の干渉と干渉縞





11.1 光源 光的相干性

11.1.1 光源

1. 光源的发光机理

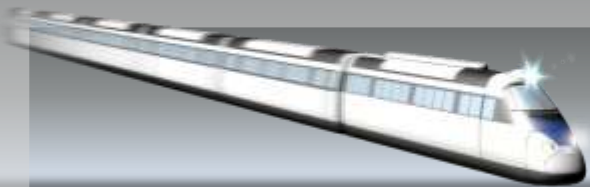
凡能发光的物体称为**光源**。

按发光的激发方式光源可分为：

热光源—由热能激发，如白炽灯、碳火、太阳等。

冷光源—由化学能、电能或光能激发，如萤火、磷火、日光灯等。

作为光学光源的是**热光源**。



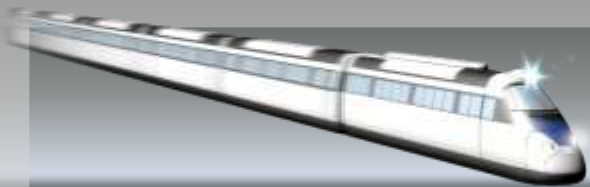
11.1.1 光源

2 光的颜色和光谱

光属于电磁波 $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_0)$ ，不同波长的可见光给人以不同颜色的感觉。

光的颜色与频率、波长对照表

光色	波长范围(Å)	频率范围(Hz)
红	7 600~6 220	$3.9 \times 10^{14} \sim 4.7 \times 10^{14}$
橙	6 220~5 970	$4.7 \times 10^{14} \sim 5.0 \times 10^{14}$
黄	5 970~5 770	$5.0 \times 10^{14} \sim 5.5 \times 10^{14}$
绿	5 770~4 920	$5.5 \times 10^{14} \sim 6.3 \times 10^{14}$
青	4 920~4 500	$6.3 \times 10^{14} \sim 6.7 \times 10^{14}$
蓝	4 500~4 350	$6.7 \times 10^{14} \sim 6.9 \times 10^{14}$
紫	4 350~3 900	$6.9 \times 10^{14} \sim 7.7 \times 10^{14}$



11.1.1 光源

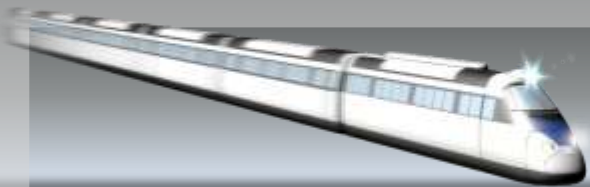
光学中常用的单位是米(m), 微米(μm), 纳米(nm), 埃(\AA), 他们之间的换算关系如下所示

$$1 \text{\AA} = 10^{-10} m \quad 1 nm = 10^{-9} m \quad 1 \mu m = 10^{-6} m$$

3 光强

对于光波来说, 振动的是电场强度和磁感应强度, 其中能引起人眼视觉和底片感光的是电场强度, 光学中常把电场强度 \vec{E} 代表光振动 $\vec{E} = \vec{E}_0 \cos(\omega t - \frac{2\pi}{\lambda} x + \varphi_0)$, 其中 \vec{E}_0 称为振幅矢量。电磁波在传播过程中伴随着能量传播, 通过垂直传播方向的单位面积的单位面积内的平均能流, 即光强 I , 可以表示为

$$I = \frac{1}{2} \varepsilon_0 c E_0^2 \propto E_0^2$$



11.1.2 光的相干性

对于两列光波，在它们的相遇区域满足什么条件才能观察到干涉现象呢？

$$\begin{cases} E_1 = E_{10} \cos(\omega t - \frac{2\pi r_1}{\lambda} + \varphi_{10}) \\ E_2 = E_{20} \cos(\omega t - \frac{2\pi r_2}{\lambda} + \varphi_{20}) \\ E = E_1 + E_2 \end{cases}$$

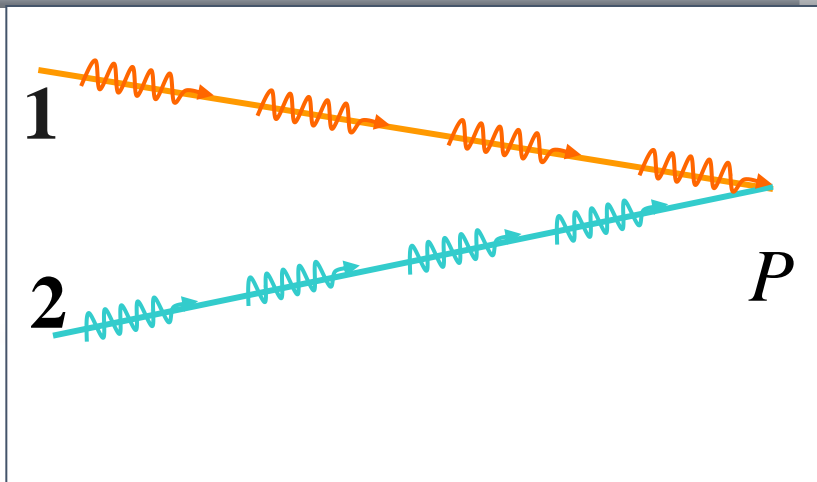
$$E = \sqrt{E_{10}^2 + E_{20}^2 + 2E_{10}E_{20} \cos \Delta\varphi}$$

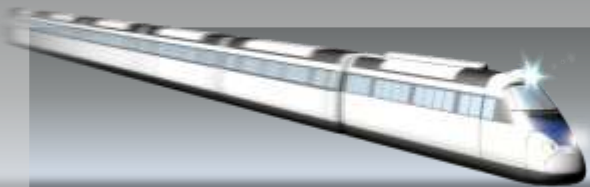
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$$

$$\Delta\varphi = (\varphi_{20} - \varphi_{10}) - 2\pi \frac{r_2 - r_1}{\lambda}$$

在观察时间 τ 内，人所感觉到的为光强 I ，

$$I = \frac{1}{\tau} \int_0^\tau (I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi) dt = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \frac{1}{\tau} \int_0^\tau \cos \Delta\varphi dt$$





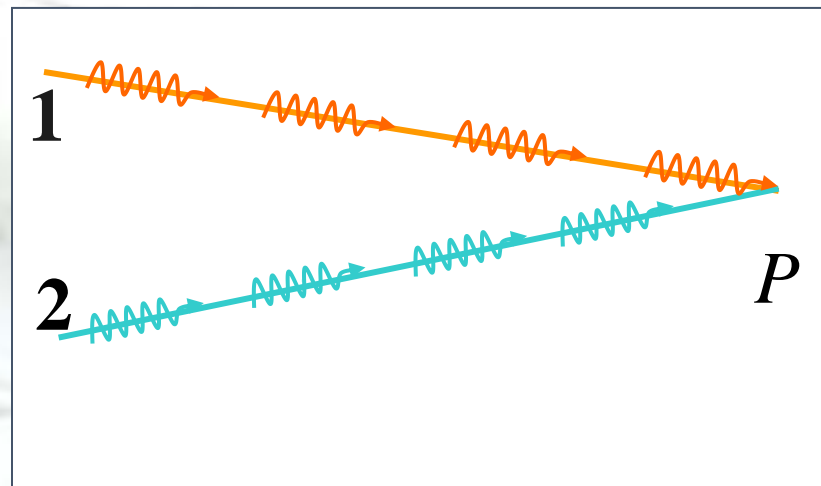
11.1.2 光的相干性

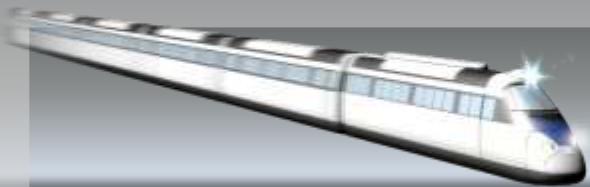
1. 非相干叠加

由于分子或原子发光的间断性和独立性，在时间 τ 内，在 P 点随这光波列的大量更替，来自同一光源的不同部位所发出的光，或者来自两个独立光源的两束光的相位差 $\Delta\varphi$ ，它可以取到0到 2π 的一切数值，且机会均等，因此 $\cos \Delta\varphi$ 对时间的平均值为零，因此

$$I = I_1 + I_2$$

上式表明来自同一光源的不同部位所发出的光，或是来自两个独立光源的两束光，叠加后的光强等于两光束单独照射时的光强之和，故观察不到干涉现象。



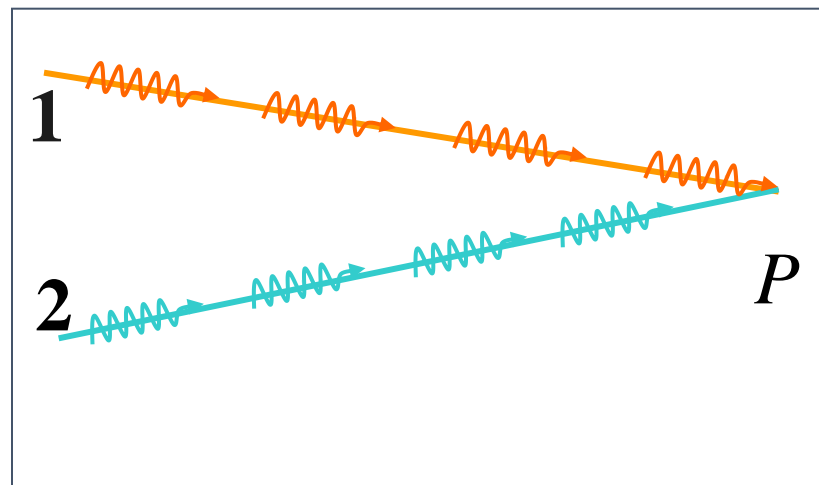


11.1.2 光的相干性

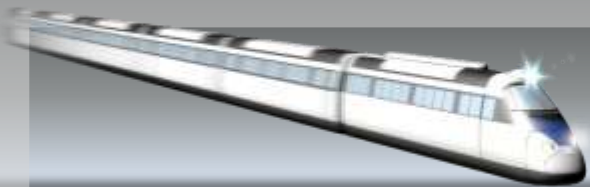
2. 相干叠加

两列光波的相干条件是频率相同、振动方向相同、相位相同或者相位差保持恒定。则在空间 P 点相遇处合成的光强为

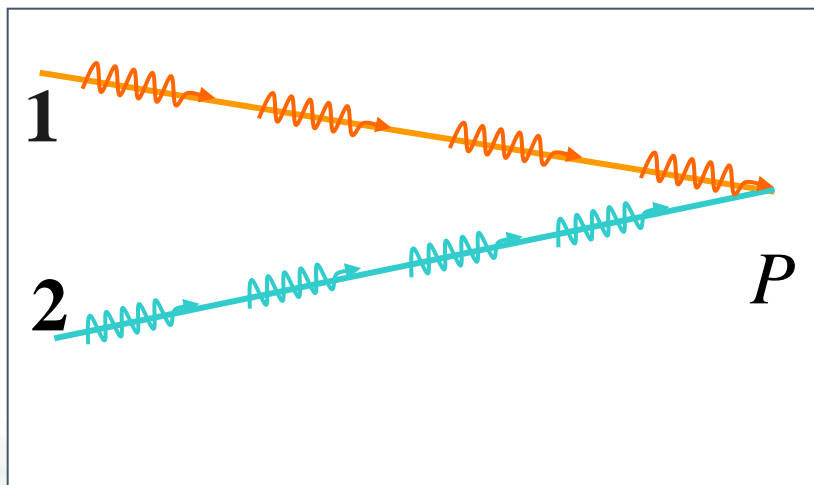
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$$



对于两波相遇区域的不同位置，其光强的大小将由这些位置的相位差决定，即空间各处光强分布将由干涉项 $2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$ 决定



11.1.2 光的相干性



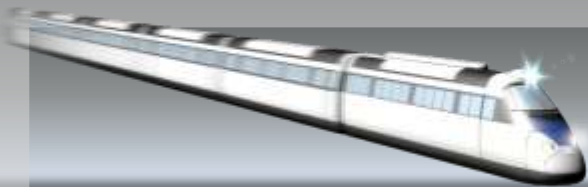
若 $I_1 = I_2 = I_0$, $I = 2I_0(1 + \cos \Delta\varphi) = 4I_0 \cos^2 \frac{\Delta\varphi}{2}$

$\Delta\varphi = \pm 2k\pi$

干涉相长 $I_{\max} = 4I_1$

$\Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi$

干涉相消 $I_{\min} = 0$



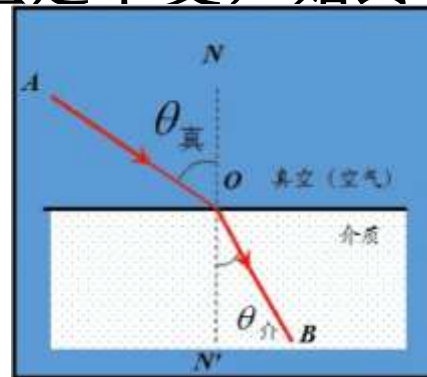
11.1.3 光程与光程差

1 光程

单色光的频率不论在何种媒质中传播都恒定不变，始终等于光源的频率。

介质的
折射率

$$n = \frac{\sin \theta_{\text{真}}}{\sin \theta_{\text{介}}}$$

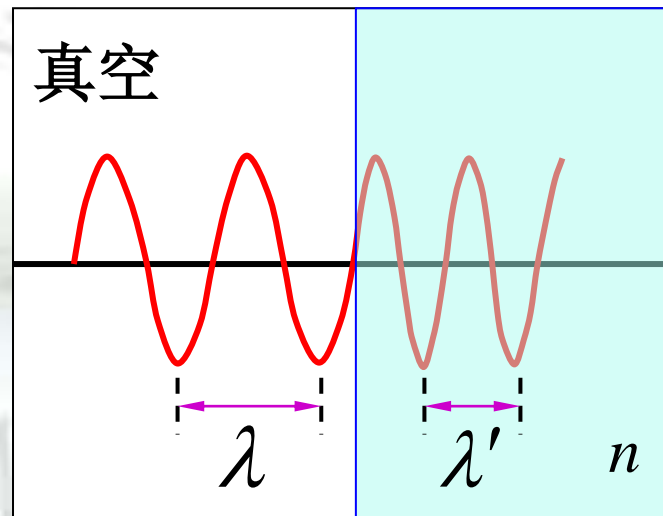


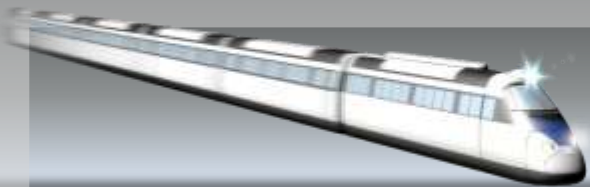
✓ 光在媒质中的速度 $v = \frac{c}{n}$

✓ 媒质中的波长

$$\lambda' = \frac{v}{\nu} = \frac{c}{n\nu} = \frac{\lambda}{n}$$

光在折射率 n 的介质中传播时，其波长只有真空中波长的 $1/n$ 倍。

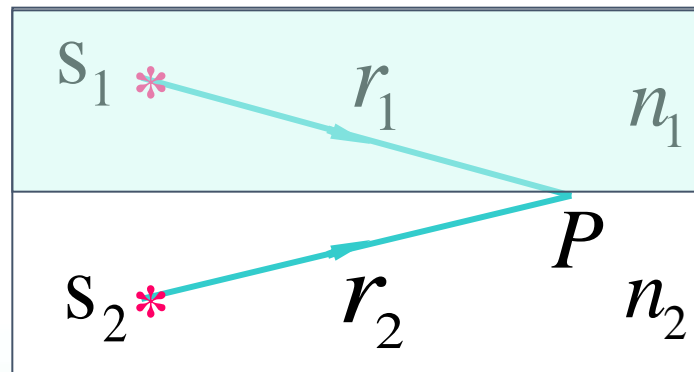




11.1.3 光程与光程差

由于每经过一个波长的距离，相位变化为 2π ，若光在媒质中通过路程 r 时，那么相应的相位变化为

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



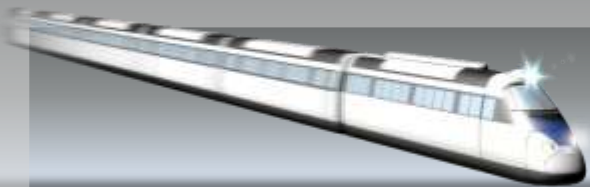
当光在不同的媒质中传播时，即使传播的几何路程相同，但相位的变化是不同的。

光程：媒质折射率 n 与光的几何路程 r 的乘积，用 L 表示。

当光经历几种介质时：

$$\text{光程} = L = \sum n_i r_i$$

物理意义：光程就是光在介质中通过的路程按相位变化相同折合到光在真空中的路程。

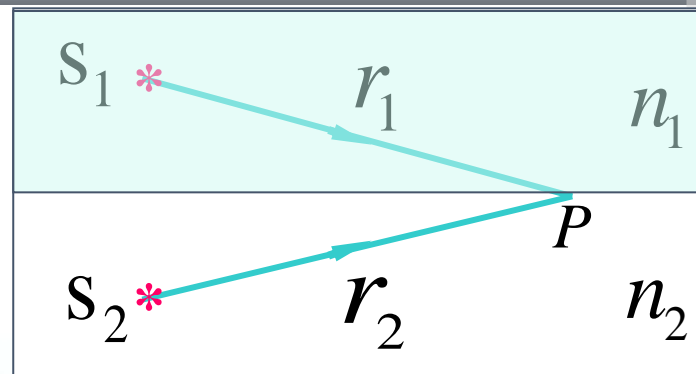


11. 1. 3 光程与光程差

2 光程差

光程差 $\delta = n_1 r_1 - n_2 r_2$

相位差 $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda}(n_1 r_1 - n_2 r_2) = \frac{2\pi}{\lambda} \delta$

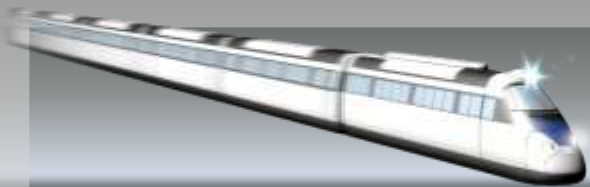


对于两同相的相干光源发出的两相干光，其干涉条纹的明暗条件便可由两光的光程差 δ 决定，即

$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \Delta\varphi$$

✓ 干涉加强 $\left\{ \begin{array}{l} \delta = \pm k\lambda, k = 0, 1, 2, \dots \\ \Delta\varphi = \pm 2k\pi, k = 0, 1, 2, \dots \end{array} \right.$

✓ 干涉减弱 $\left\{ \begin{array}{l} \delta = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{2}, k = 0, 1, 2, \dots \\ \Delta\varphi = \pm(2k+1)\pi, k = 0, 1, 2, \dots \end{array} \right.$

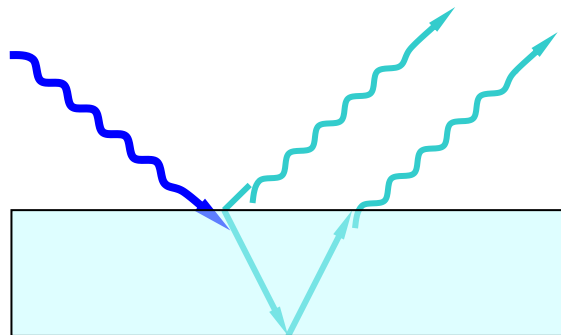


11.1.2 光的相干性

3 相干光的获取方法

只有满足相干条件的两束光叠加才能观察到光的干涉现象。怎样才能获得两束相干光呢？从普通光源获取相干光的基本方法是把由光源上同一点发出的光设法“一分为二”，沿不同的路径传播并相遇。

分振幅法



分波阵面法

