第二章 波动光学基本原理

第三节 波的叠加和波的干涉

第三节 波的叠加和波的干涉

3.1 波的叠加原理

3.2 波的干涉和相干叠加条件

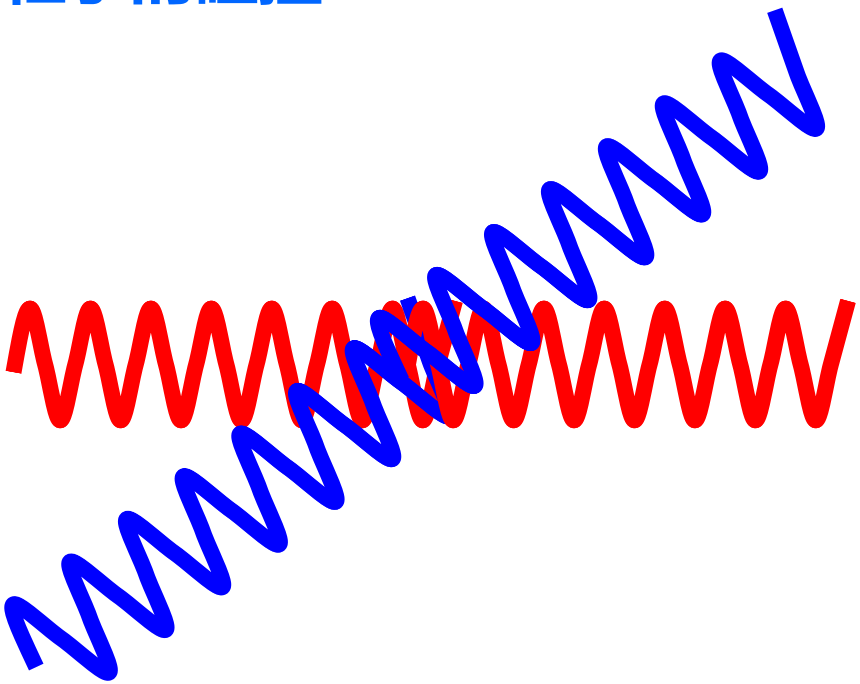
3.3 普通光源发光的微观机制和特点

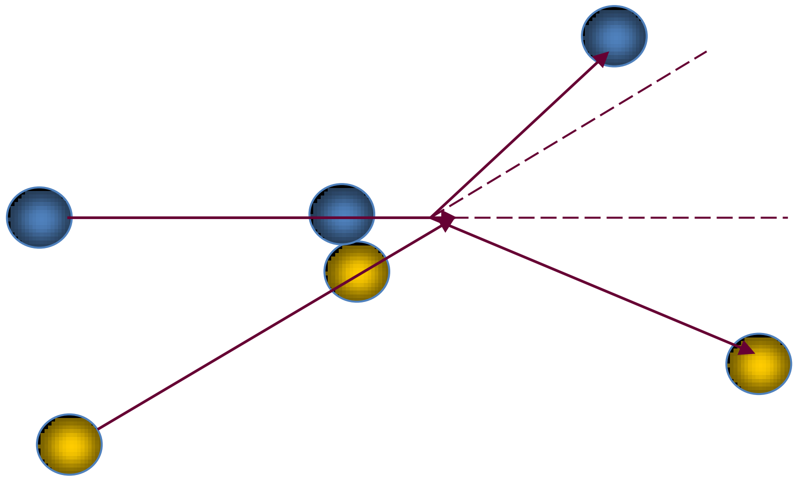
1.4 干涉的反衬度

3.1 波的叠加原理

3.1 波的叠加原理

粒子的碰撞





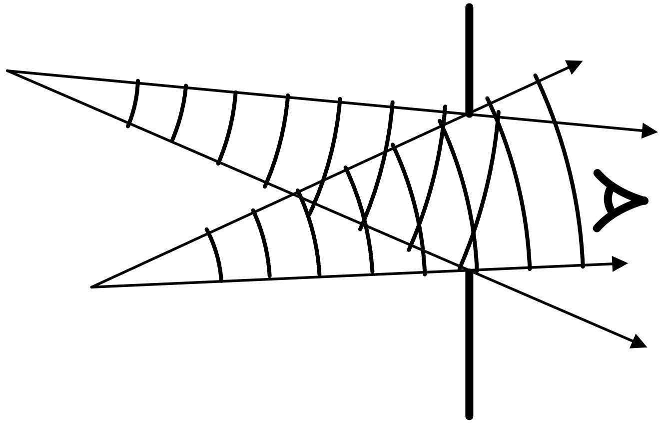
若是粒子相遇，则将发生碰撞，各自的状态和路径都将发生改变

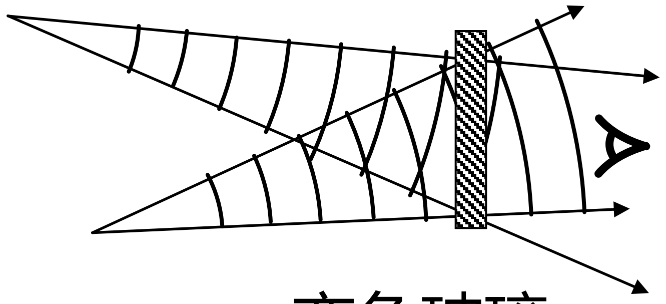
3.1 波的叠加原理

1. 波的独立传播定律

当两列（或多列）波同时存在时，在它们的交叠区域内，其传播互不干扰。

光波在真空中总是独立传播的，而在媒质中，有时会违反独立传播定律，出现“非线性”。

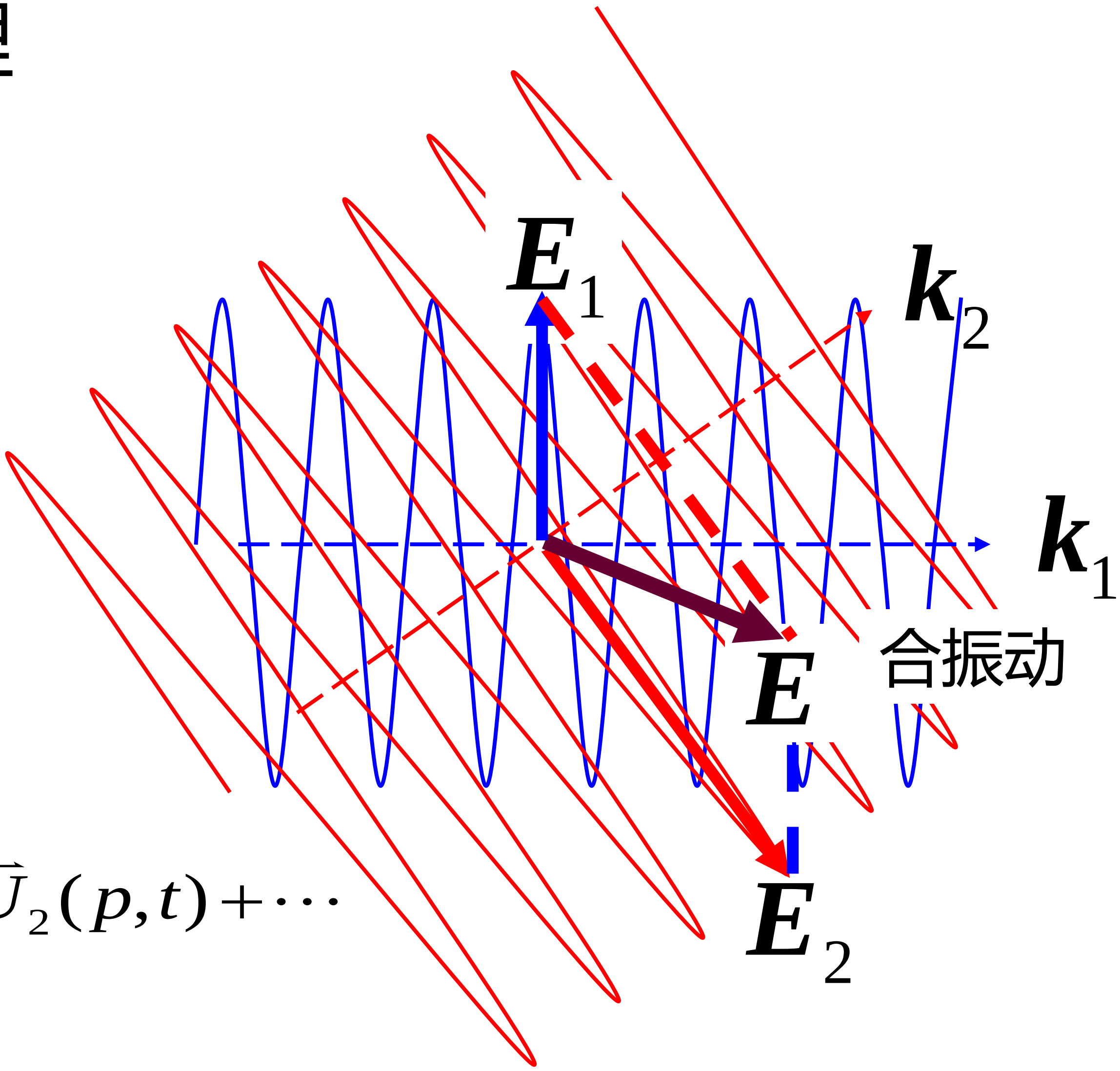




3.1 波的叠加原理

2. 波的叠加原理

交叠区域内每个点的振动是各列波单独在该点产生振动的矢量线性叠加，表述为



$$\vec{U}(p,t)=\vec{U}_1(p,t)+\vec{U}_2(p,t)+\cdots$$

振动在相遇点的叠加

3.1 波的叠加原理

3. 波的线性叠加原理成立的条件

- 传播介质为线性介质。（非线性介质：太阳镜的变色玻璃）
- 振动不太强。在振动很强烈时，线性介质可能会变为非线性的，出现非线性效应。（随着激光的出现蓬勃发展）
- 注意要点：不是强度的叠加，也不是振幅的简单相加，而是振动矢量（瞬时值）的叠加。
- 对于电磁波，就是电场强度（电场分量，光矢量）、磁场强度的叠加

3.2 波的干涉和相干叠加条件

对于同频率、同振动方向的单色光

A．代数法:瞬时值叠加

$$\psi_1(P)=A_1\cos[\omega t-\varphi_1(P)] \quad \psi_2(P)=A_2(P)\cos[\omega t-\varphi_2(P)]$$

合振动 $\psi=\psi_1+\psi_2=A(P)\cos[\omega t-\varphi(P)]$

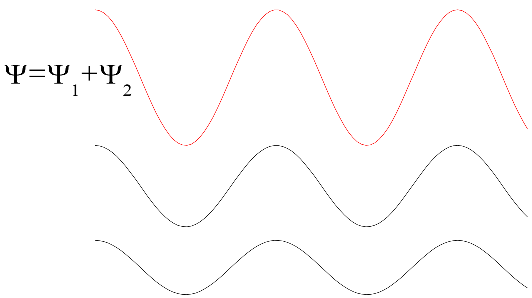
振幅 $A^2(P)=A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\varphi_2-\varphi_1)$

相位 $\tan\varphi(P)=\dfrac{A_1(P)\sin\varphi_1(P)+A_2(P)\sin\varphi_2(P)}{A_1(P)\cos\varphi_1(P)+A_2(P)\cos\varphi_2(P)}$

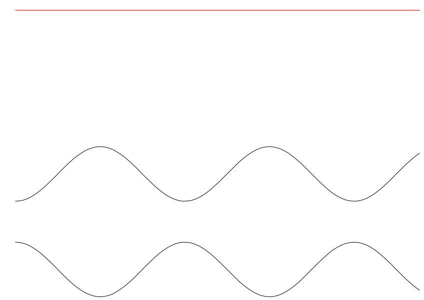
叠加之后，仍然是原频率的定态光波

3.2 波的干涉和相干叠加条件

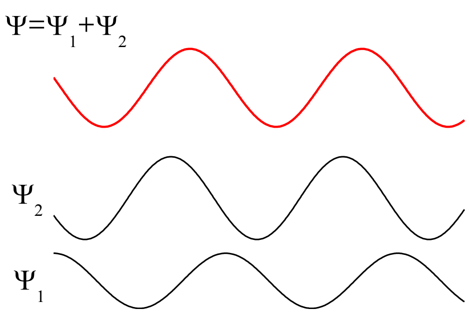
定态光波叠加的方法



相位处处相同



相位处处相反



叠加之后的振动取决于两列波的**相位差**

对于同频率、同振动方向的单色光

1. 振幅矢量图解法
2. 复数法

3.2 波的干涉和相干叠加条件

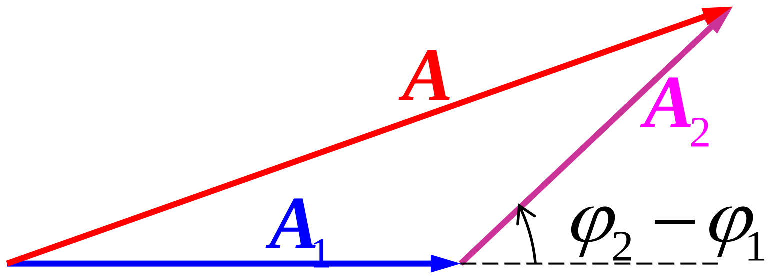
由瞬时值引出的矢量方法

$$\psi_1(P)=A_1(P)\cos[\varphi_1(P)-\omega t] \quad \psi_2(P)=A_2(P)\cos[\varphi_2(P)-\omega t]$$

$$\psi=\psi_1+\psi_2=A(P)\cos[\varphi(P)-\omega t]$$

$$A^2(P)=A_1^2+A_2^2+2A_1A_2\cos(\varphi_2-\varphi_1)$$

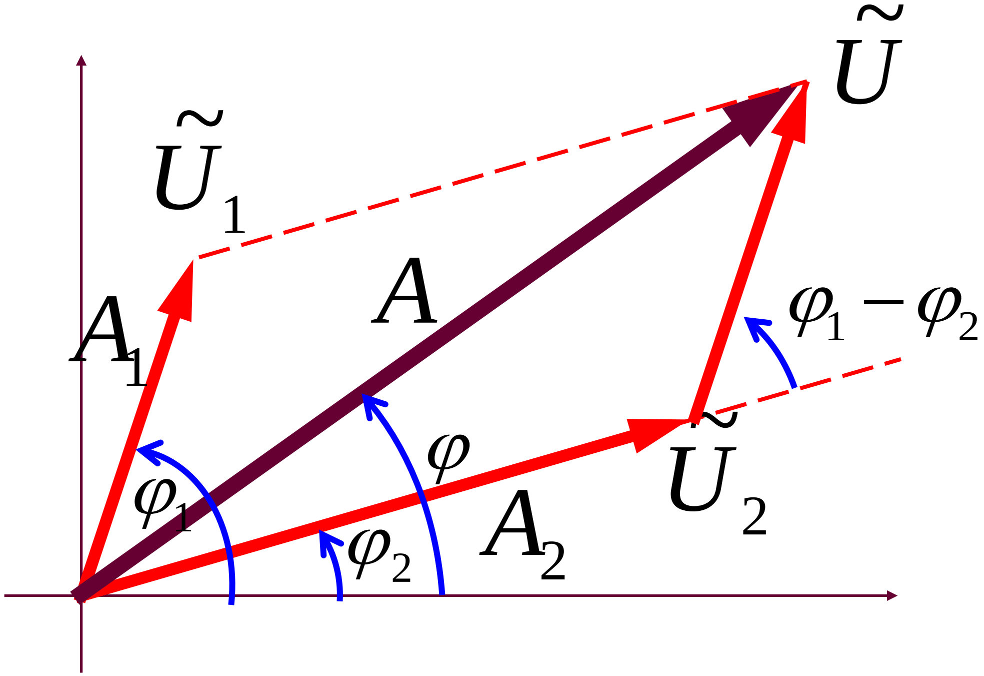
- 合振动的振幅与两列波的振幅之间满足**余弦公式**



3.2 波的干涉和相干叠加条件

1. 振幅矢量图解法

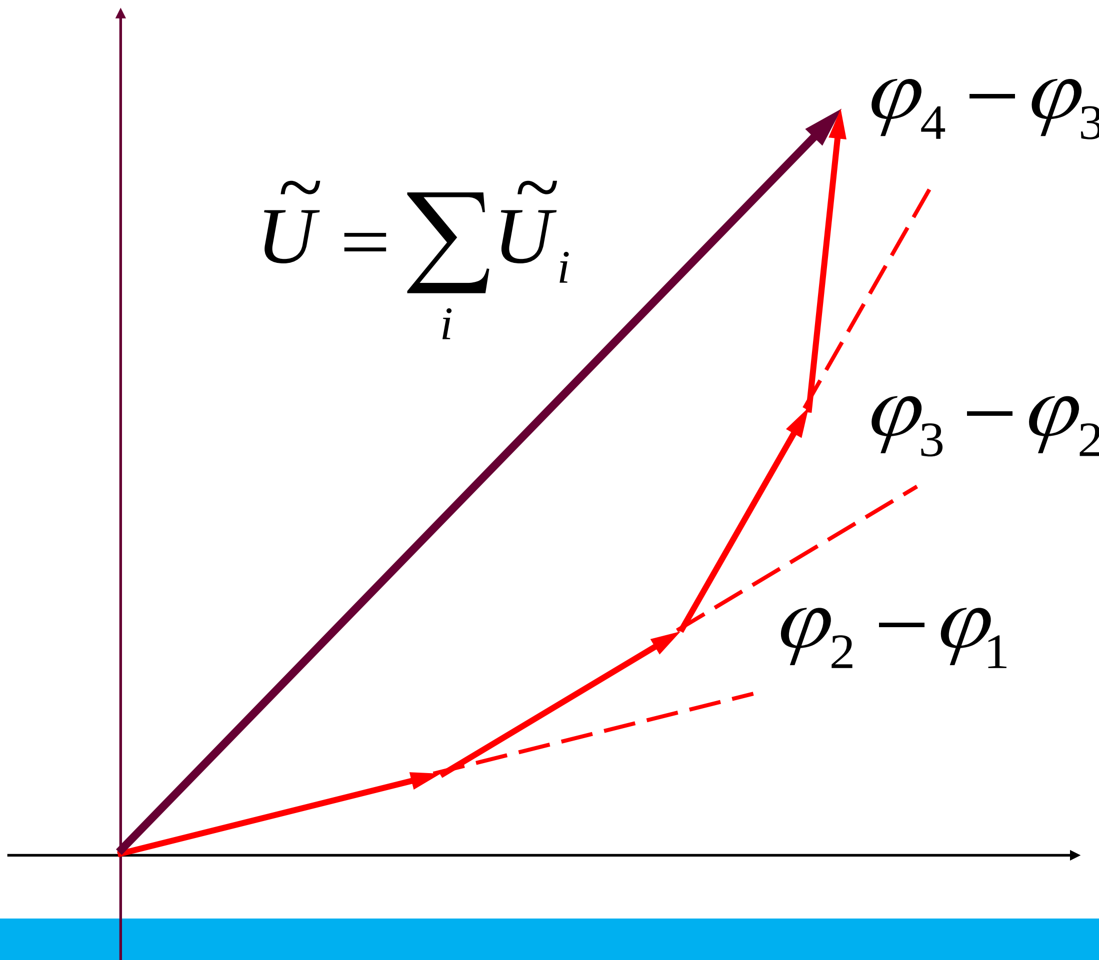
$$\tilde{U} = \tilde{U}_1 + \tilde{U}_2$$



3.2 波的干涉和相干叠加条件

1. 振幅矢量图解法

连续多个振幅矢量的叠加



各个矢量首尾相接，夹角为相应的相位差

3.2 波的干涉和相干叠加条件

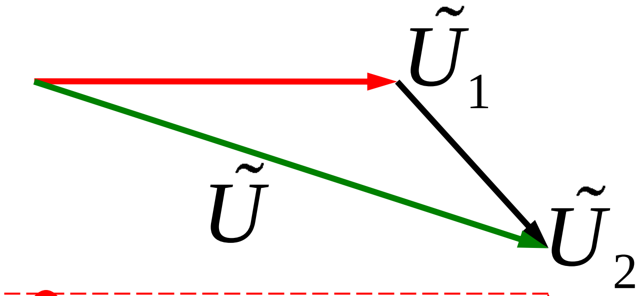
对振幅矢量的说明

- 定态光波的振幅矢量，仅仅是对其复振幅在复数平面中的几何表示，反映了光波振动的振幅和相位
- 振幅矢量的大小、方向与光波振动的大小、方向无关
- 振幅矢量合成的结果，则是合振动的振幅大小和相位
- 采用振幅矢量方法，仅仅是出于数学处理上的考虑

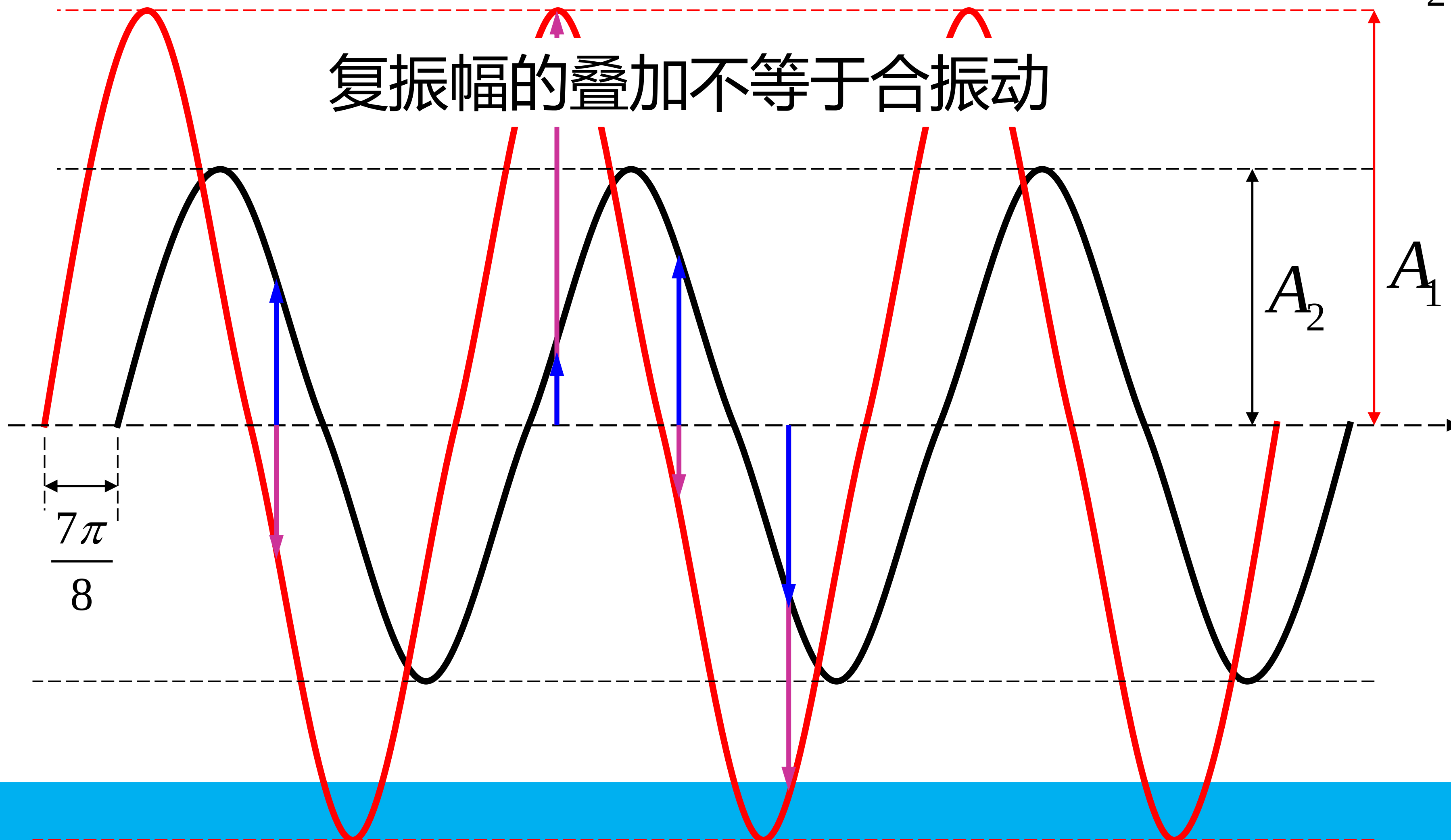
3.2 波的干涉和相干叠加条件

$$\tilde{U}_1 = A_1\cos(kz-\omega t)$$

$$\tilde{U}_2 = A_2\cos(kz-\omega t-\frac{7\pi}{8})$$



复振幅的叠加不等于合振动



3.2 波的干涉和相干叠加条件

2. 复数法

$$\tilde{\psi}_1 = A_1 e^{i(\varphi_1 - i\omega t)} = A_1 e^{i\varphi_1} e^{-i\omega t} = \tilde{U}_1 e^{-i\omega t}$$

$$\tilde{\psi}_2 = A_2 e^{i(\varphi_2 - i\omega t)} = A_2 e^{i\varphi_2} e^{-i\omega t} = \tilde{U}_2 e^{-i\omega t}$$

$$\tilde{U}_1 = A_1 e^{i\varphi_1} \qquad \tilde{U}_2 = A_2 e^{i\varphi_2}$$

$$\tilde{\psi} = \tilde{\psi}_1 + \tilde{\psi}_2 = \tilde{U}_1 e^{-i\omega t} + \tilde{U}_2 e^{-i\omega t} = (\tilde{U}_1 + \tilde{U}_2) e^{-i\omega t}$$

$$\tilde{U} = \tilde{U}_1 + \tilde{U}_2 = A_1 e^{i\varphi_1} + A_2 e^{i\varphi_2} = A e^{i\varphi}$$

3.2 波的干涉和相干叠加条件

2. 复数法

干涉：因波的迭加而引起振动强度重新分布的现象。

两列波：
$$\begin{cases}\tilde{\vec{U}}_1(p,t)=\vec{A}_1(p)e^{-i[\omega_1 t-\varphi_1(p)]}\\ \tilde{\vec{U}}_2(p,t)=\vec{A}_2(p)e^{-i[\omega_2 t-\varphi_2(p)]}\end{cases}$$

合成波：
$$\tilde{\vec{U}}(p,t)=\tilde{\vec{U}}_1(p,t)+\tilde{\vec{U}}_2(p,t)$$

合成波的强度：
$$I(p)=\tilde{\vec{U}}(p,t)\cdot\tilde{\vec{U}}^*(p,t)$$

$$=I_1(p)+I_2(p)+2\vec{A}_1(p)\cdot\vec{A}_2(p)\cos[(\omega_1-\omega_2)t+\delta(p)]$$

其中：$\delta(p)=\varphi_1(p)-\varphi_2(p)$为两列波在p点的位相差

干涉项 $2\vec{A}_1(p)\cdot\vec{A}_2(p)\cos[(\omega_1-\omega_2)t+\delta(p)]$：

3.2 波的干涉和相干叠加条件

相干条件

$$2\vec{A}_1(p)\cdot\vec{A}_2(p)\cos[(\omega_1-\omega_2)t+\delta(p)]$$

相干条件：

i） 频率相同（一切波动干涉的必要条件）

ii）存在着相互平行的振动分量（矢量波的要求）

iii）存在着稳定的位相差 $\delta(p)$（光波的要求）

3.2 波的干涉和相干叠加条件

相干条件的讨论—不同频率单色波的叠加

振动方向相同、传播方向相同，频率不同

$$\psi_1 = A_0 \cos(\omega_1 t - k_1 z) \qquad \psi_2 = A_0 \cos(\omega_2 t - k_2 z) \qquad \psi = \psi_2 + \psi_2$$

$$= 2A_0 \cos\frac{(\omega_1 - \omega_2)t - (k_1 - k_2)z}{2} \cos\frac{(\omega_1 + \omega_2)t - (k_1 + k_2)z}{2}$$

$$= 2A_0 \cos(\omega_{\mathrm{m}} t - k_{\mathrm{m}} z)\cos(\bar{\omega} t - \bar{k} z)$$

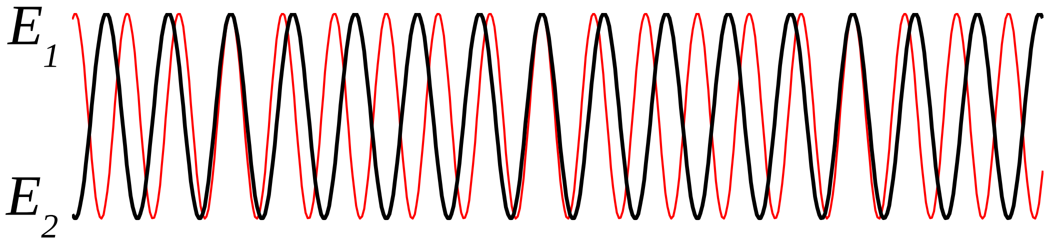
不是定态光波

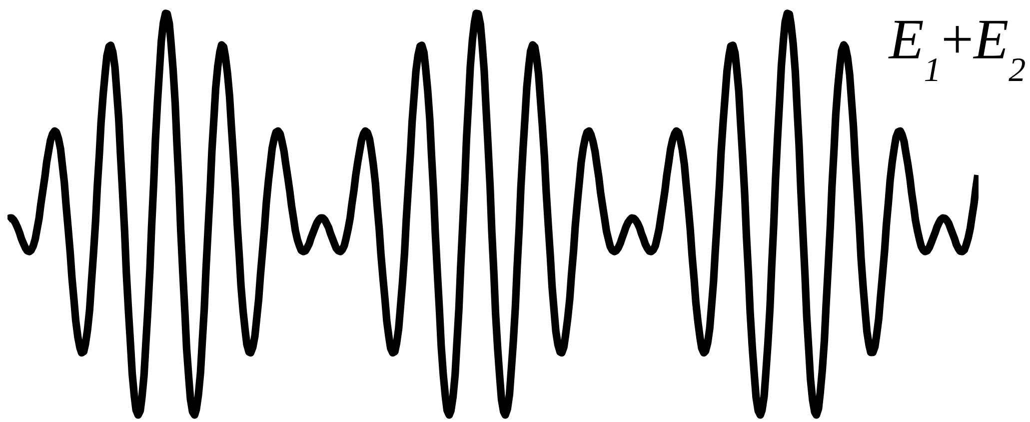
$$\omega_{\mathrm{m}} = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \qquad \bar{\omega} = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} \qquad k_{\mathrm{m}} = \frac{k_1 - k_2}{2} \qquad \bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

3.2 波的干涉和相干叠加条件

非定态光波

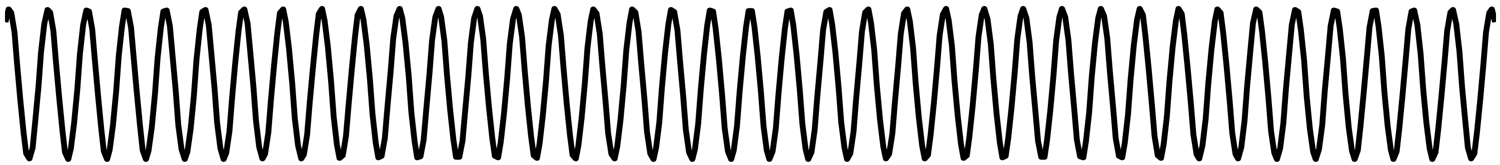
$$\Psi = 2A_0\cos(\omega_m t - k_m z)\cos(\bar{\omega} t - \bar{k} z)$$



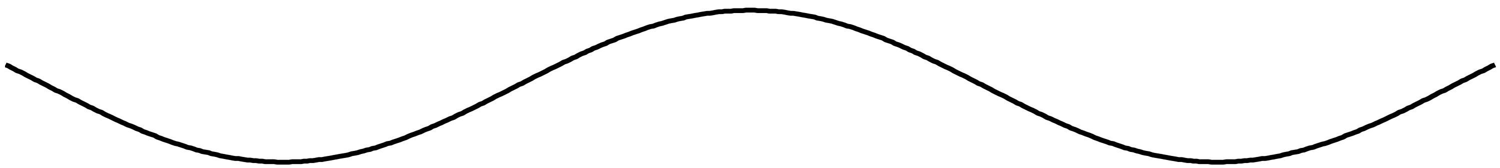


3.2 波的干涉和相干叠加条件

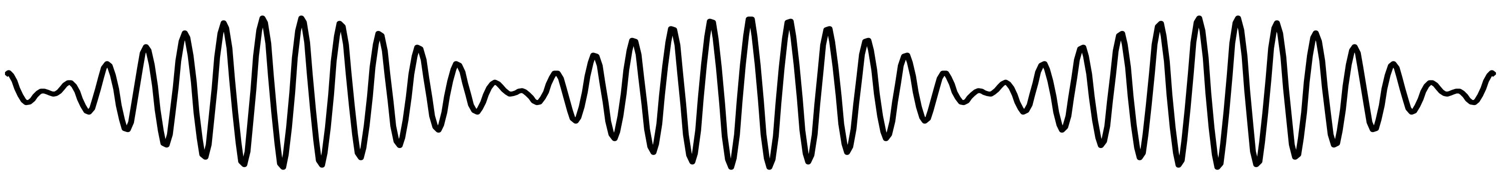
$$\cos(\bar{\omega}t-\bar{k}z)$$



$$2A_0\cos(\omega_m t-k_m z)$$



$$2A_0\cos(\omega_m t-k_m z)\cos(\bar{\omega}t-\bar{k}z)$$



低频波对高频波的振幅调制