*波的干涉——两相干波的迭加

相干波源三条件：**振动方向相同,频率相同,位相差恒定**

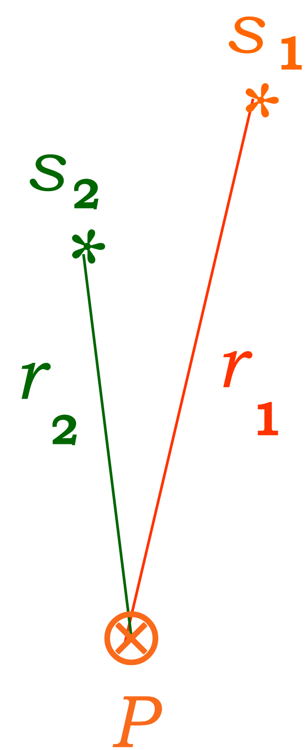
干涉现象：干涉区域中有些点 $A=A_1+A_2$ 干涉加强

有些点 $A=\left|A_1-A_2\right|$ 干涉减弱

干涉加强的条件：

$$\Delta\Phi=\varphi_2-\varphi_1-2\pi(r_2-r_1)/\lambda=\pm 2k\pi$$

若$\varphi_1=\varphi_2$， $\Delta r=r_2-r_1=\pm k\lambda$



干涉减弱的条件：

$$\Delta\Phi=\varphi_2-\varphi_1-2\pi(r_2-r_1)/\lambda=\pm(2k+1)\pi$$

若$\varphi_1=\varphi_2$， $\Delta r=r_2-r_1=\pm(2k+1)\lambda/2$

振动、行波能量的比较

振 动	行 波
研究对象：　振动系统	一体元
动能：$E_k \propto \sin^2(\omega t+\varphi)$	$\frac{1}{2}\rho\Delta V A^2\omega^2\sin^2\omega(t-\frac{x}{u})$
势能：$E_p \propto \cos^2(\omega t+\varphi)$	$\frac{1}{2}\rho\Delta V A^2\omega^2\sin^2\omega(t-\frac{x}{u})$
总能量：$E=\frac{1}{2}kA^2$（守恒）	$\rho\Delta V A^2\omega^2\sin^2\omega(t-\frac{x}{u})$
动能 $\Leftrightarrow$ 势能	每个质元不断吸收、释放能量——能量传播。

§ 5-7 驻　波

一、驻波

1. 概念：一对振幅相同、在同一条直线上沿反向传播的相干波叠加而形成的波。

2. 驻波方程

两波的波动方程分别为：

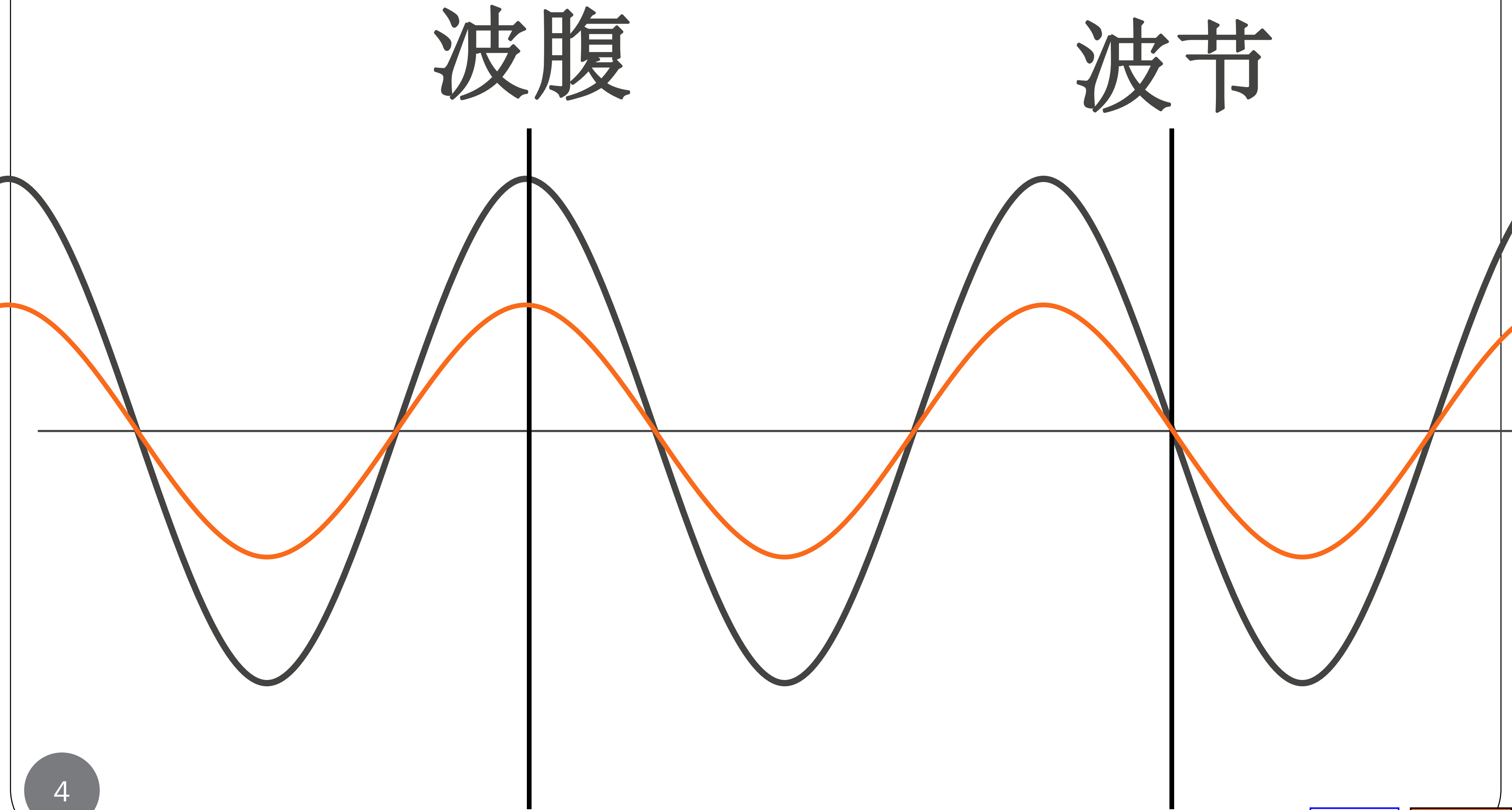
$$y_1 = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$$

$$y_2 = A\cos 2\pi\left(\frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda}\right)$$

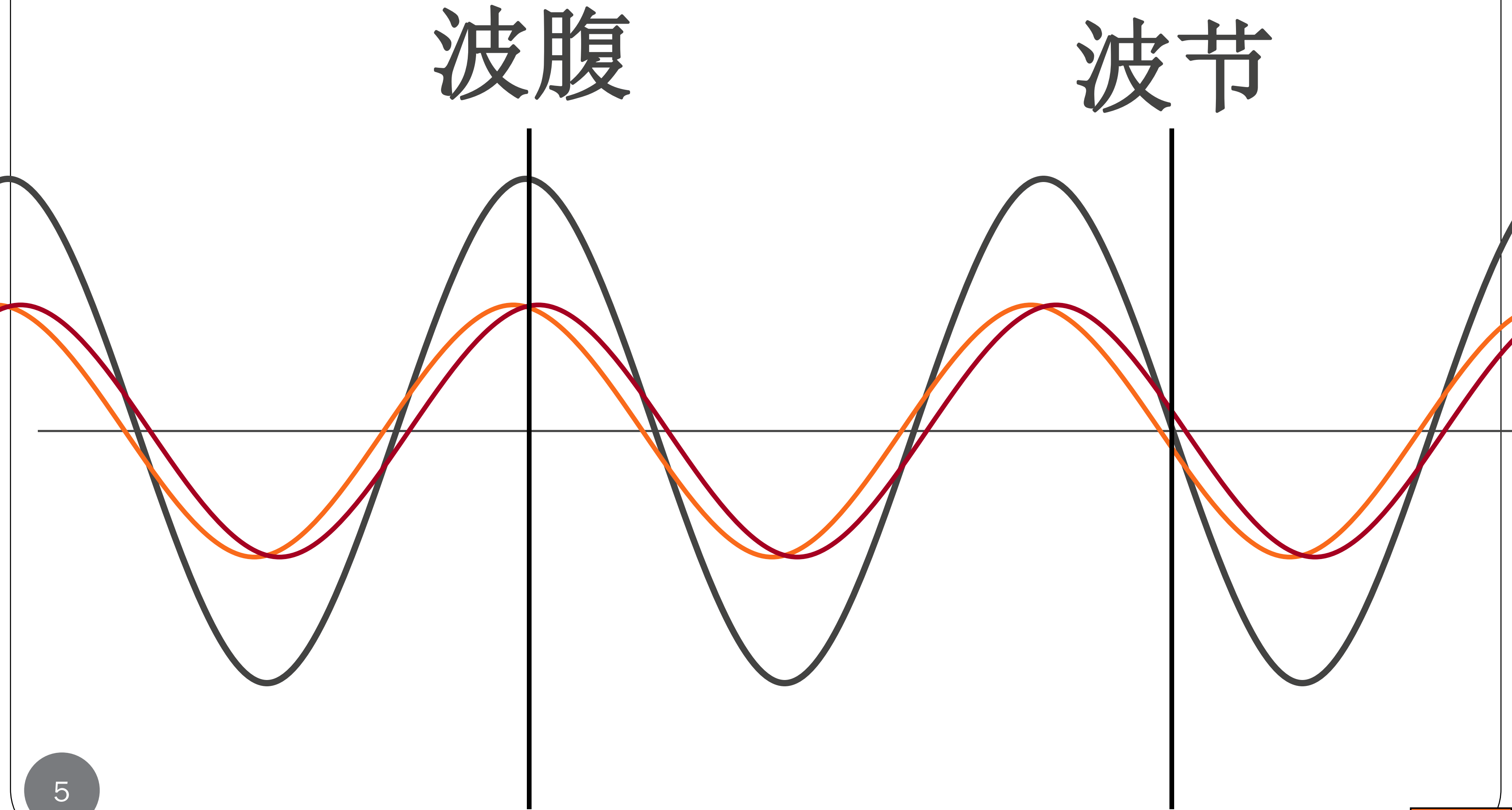
$$y = y_1 + y_2 = \left(2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\right)\cos\frac{2\pi}{T}t$$

——驻波方程

驻 波

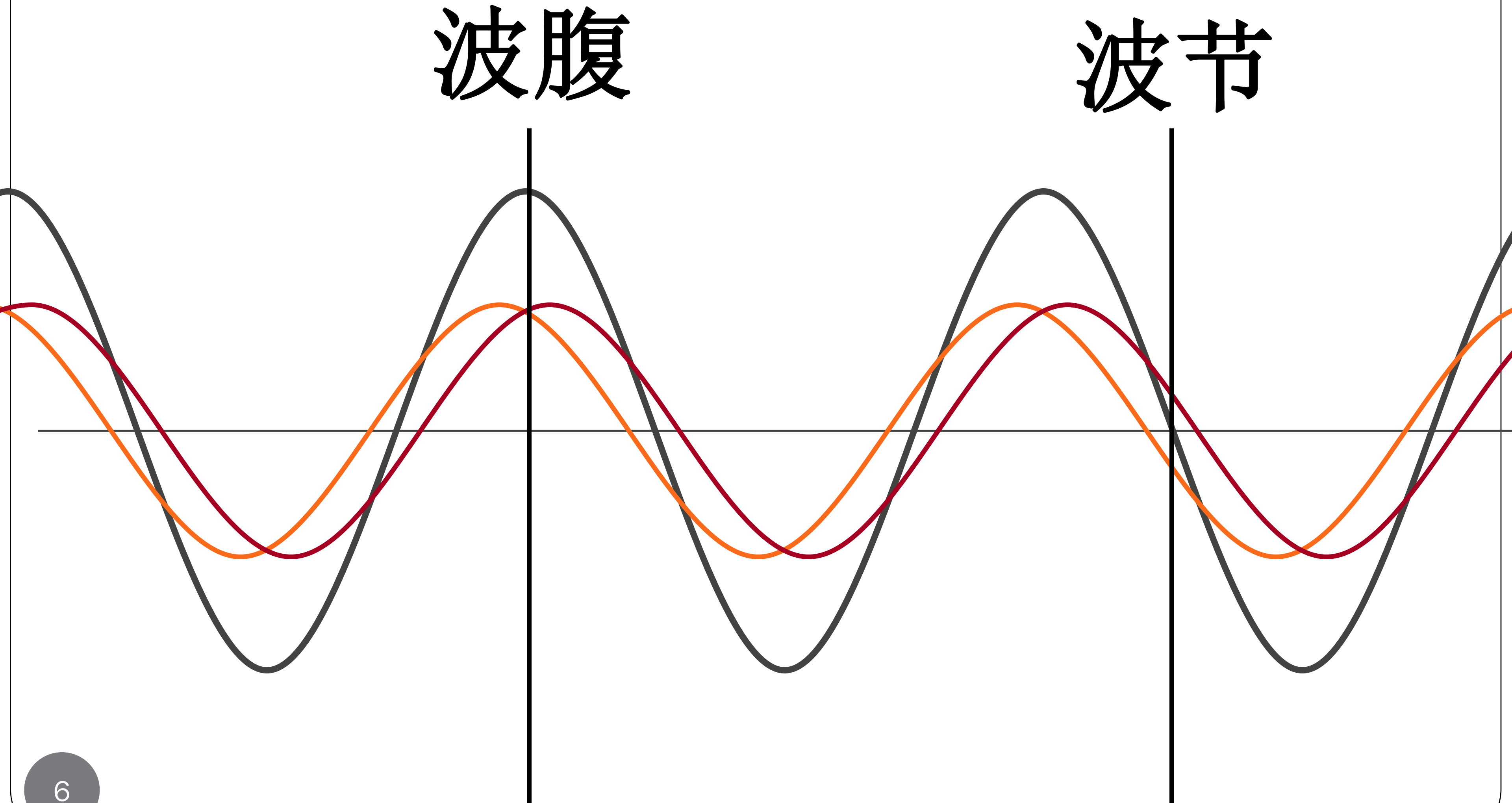


驻　波



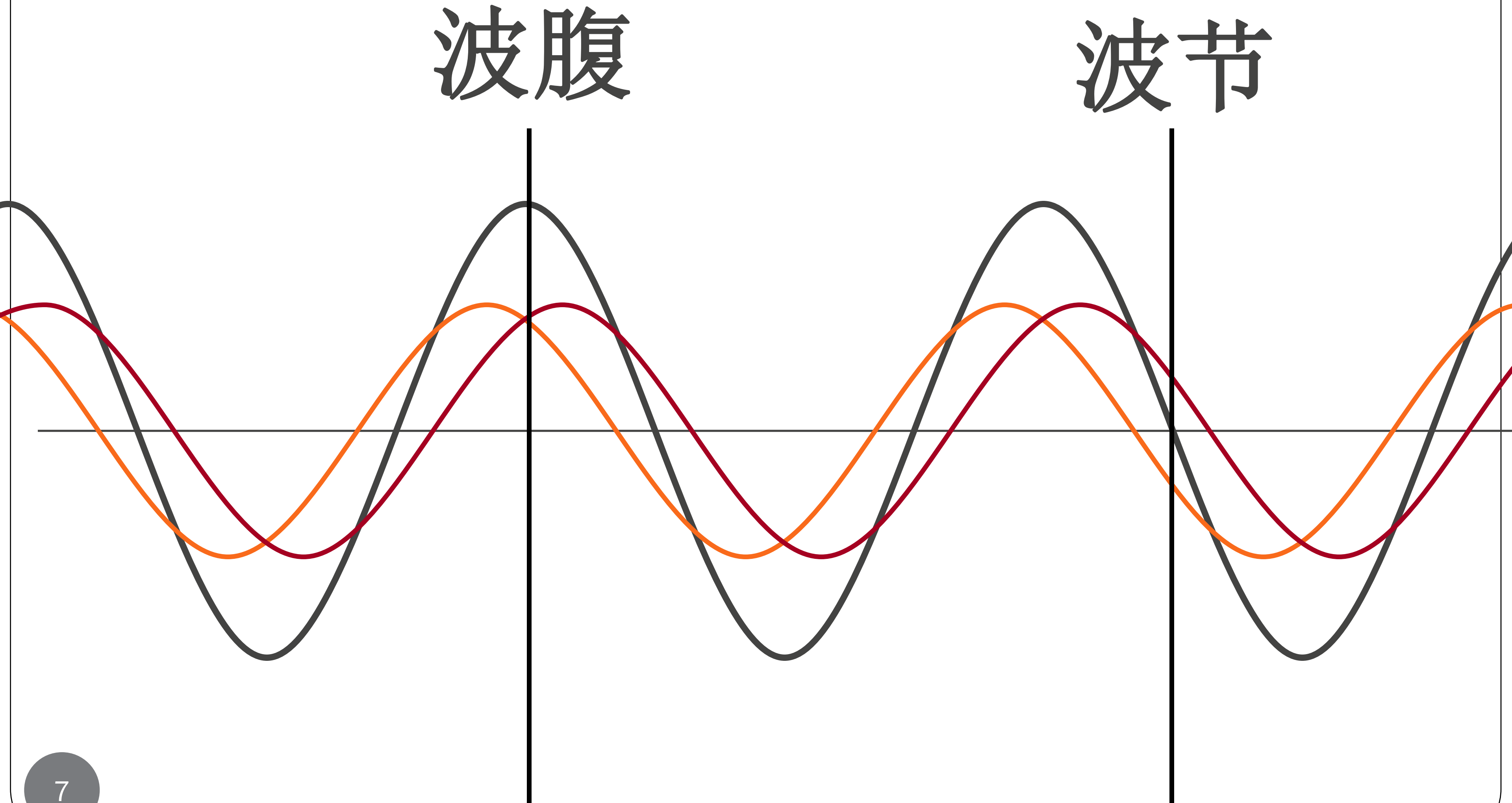
返回

驻　波



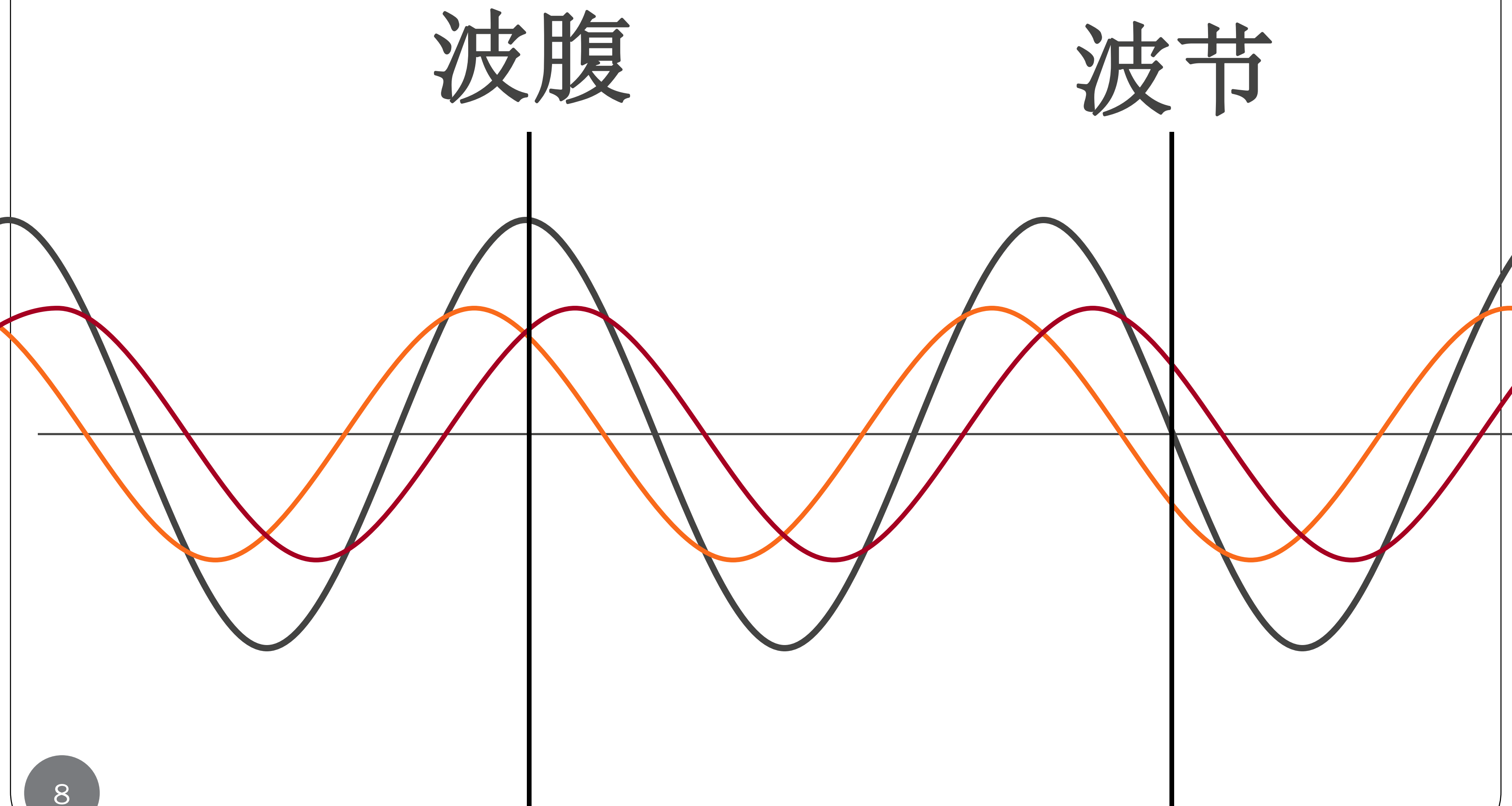
返回

驻 波



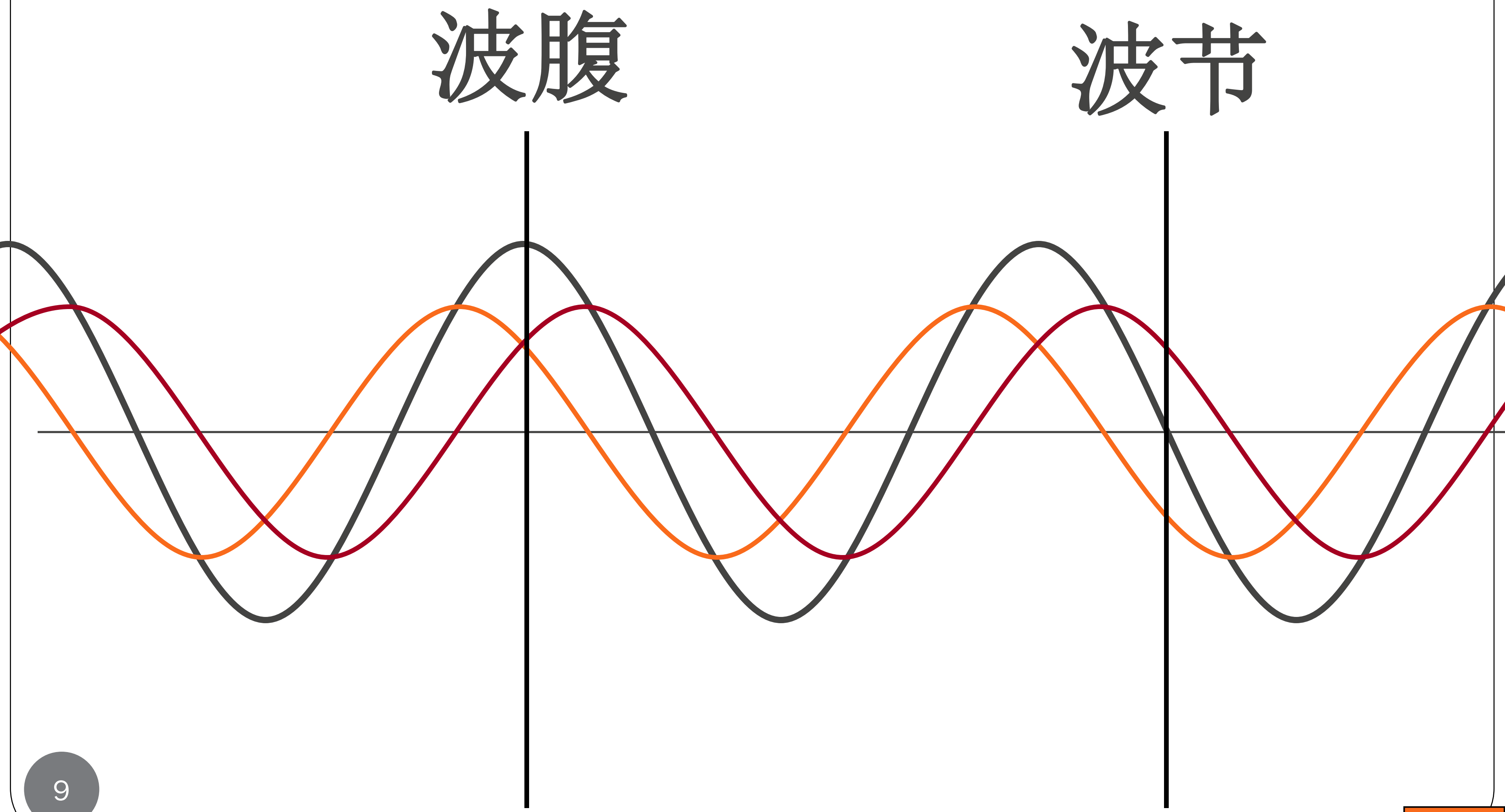
返回

驻　波



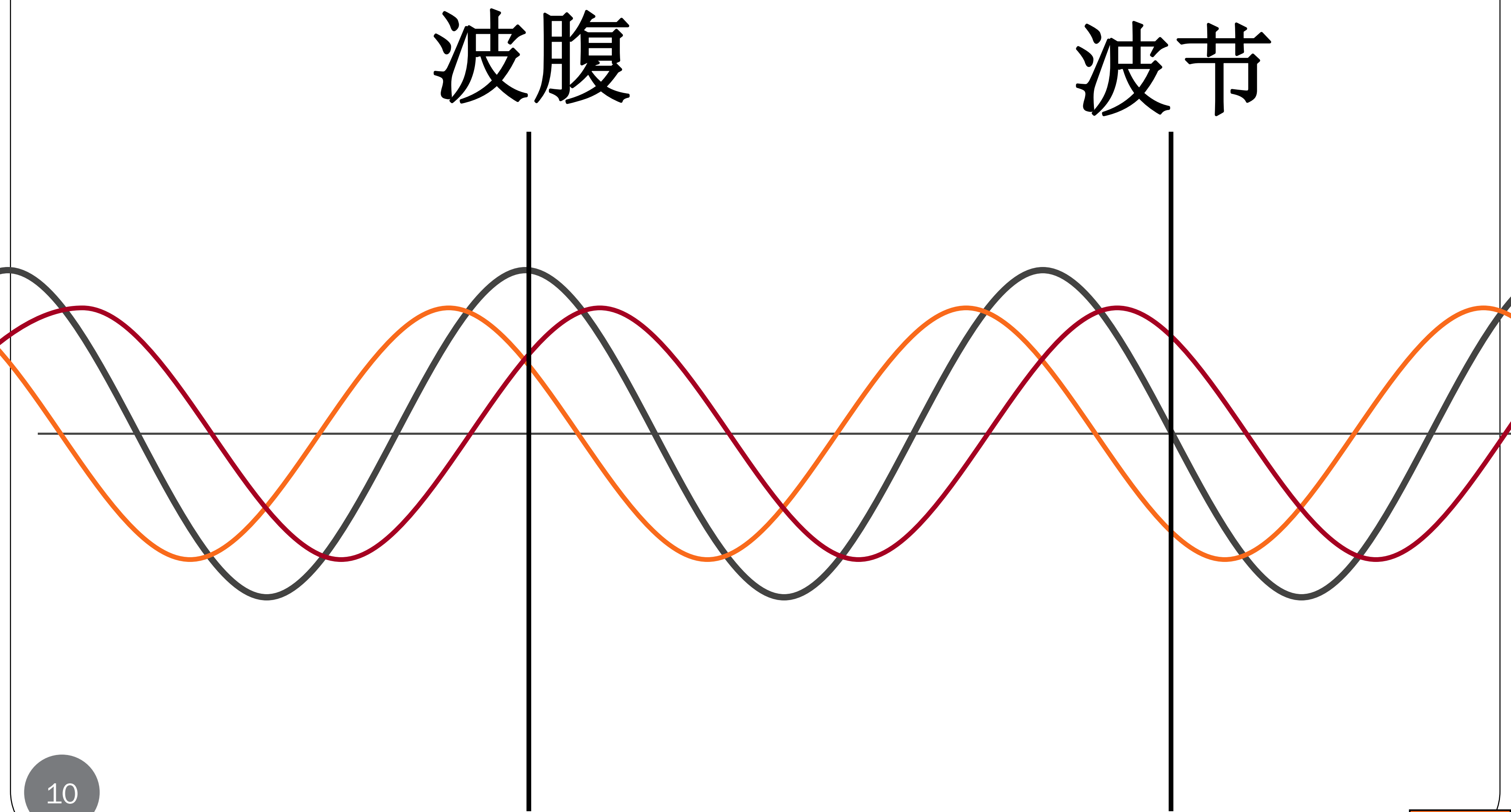
返回

驻 波



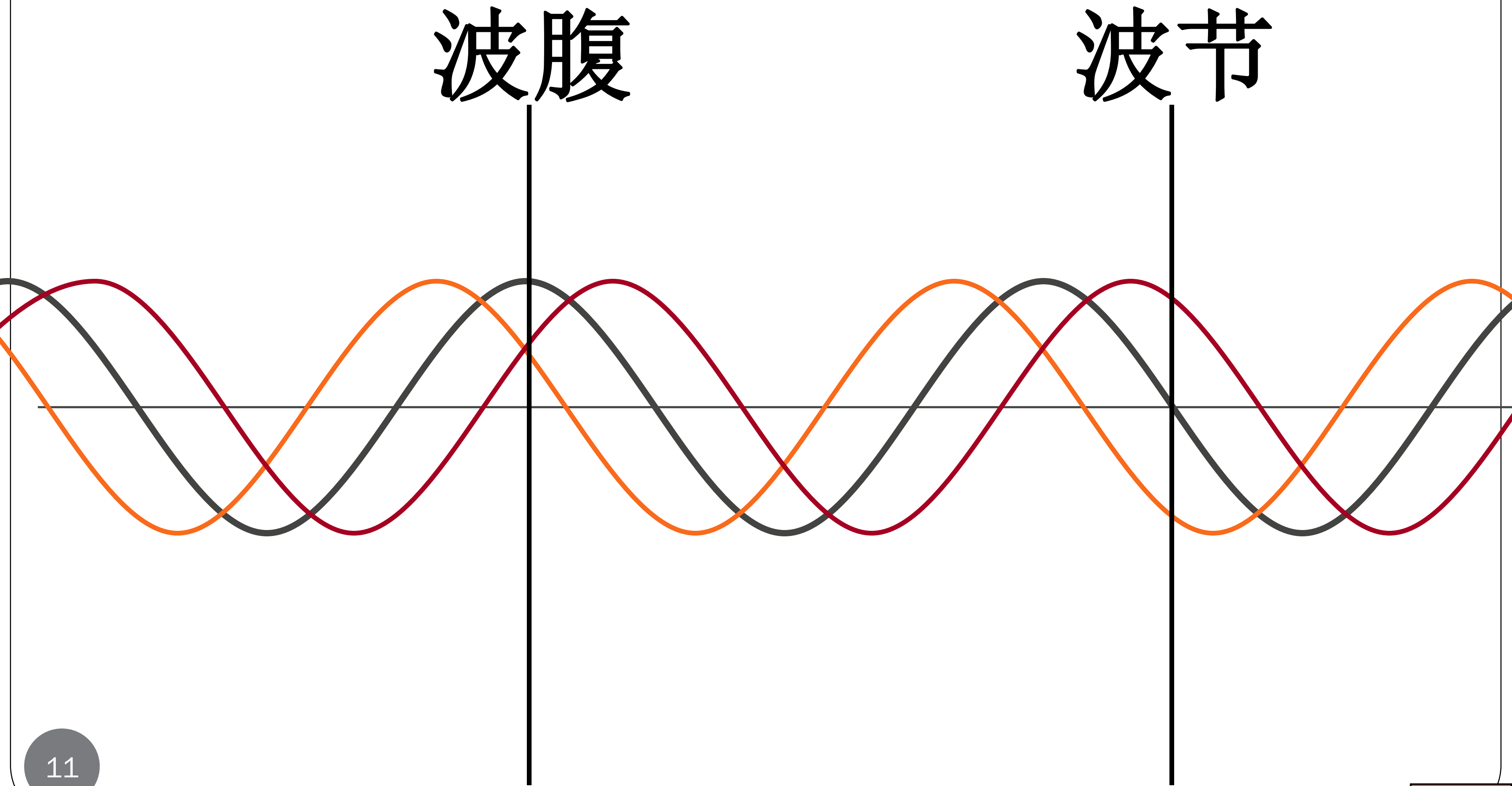
返回

驻　波



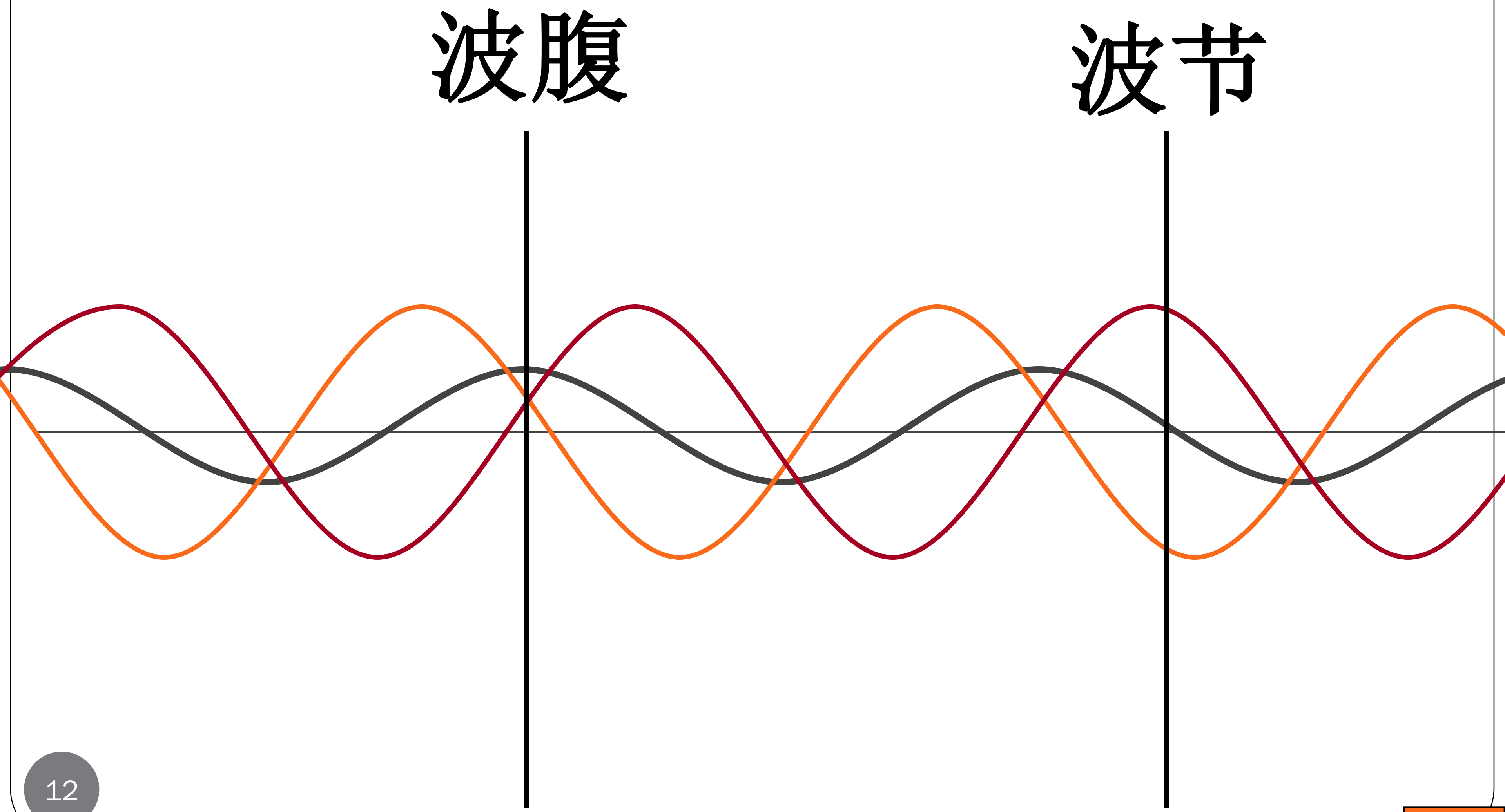
返回

驻　波



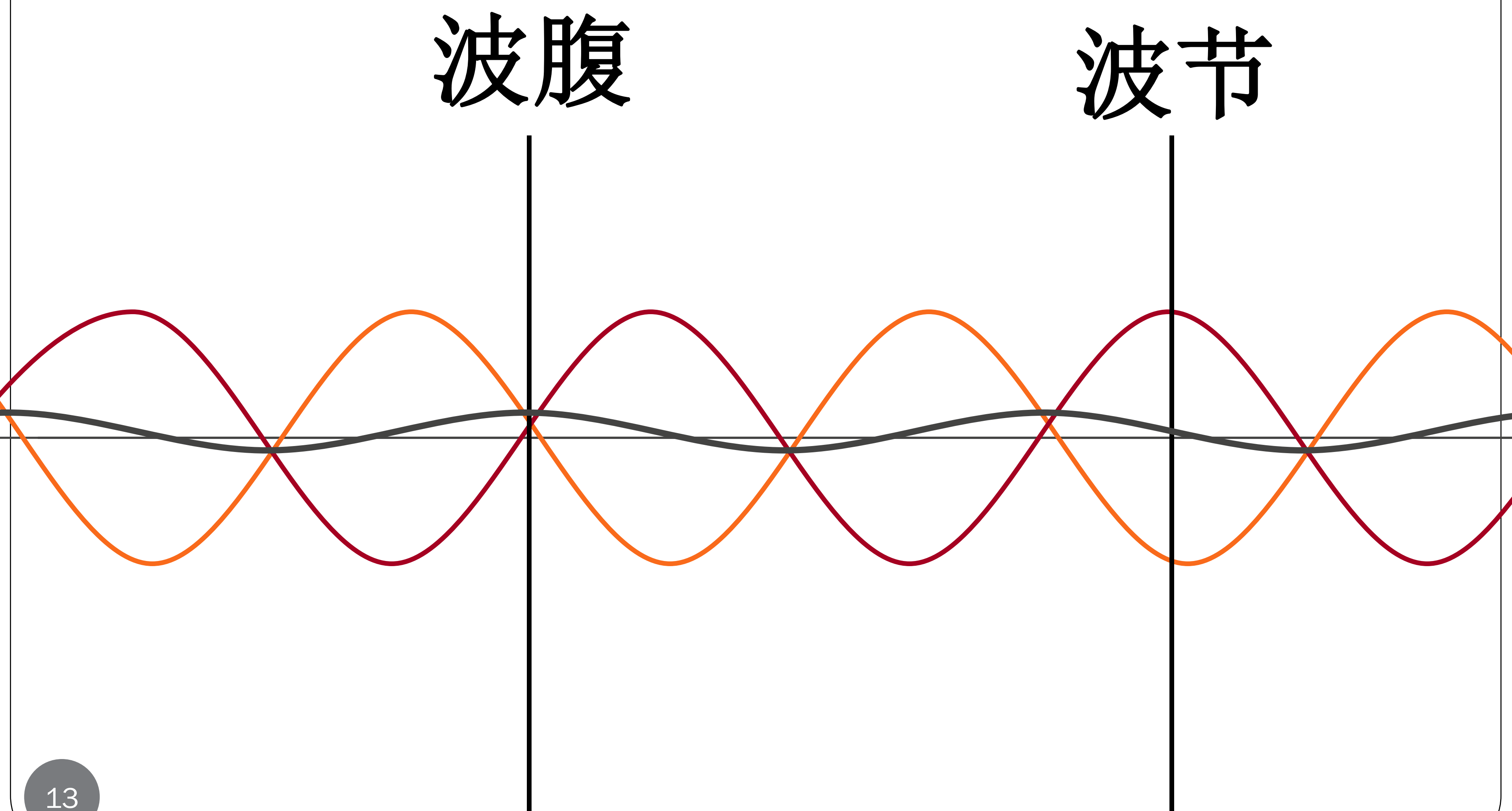
返回

驻　波



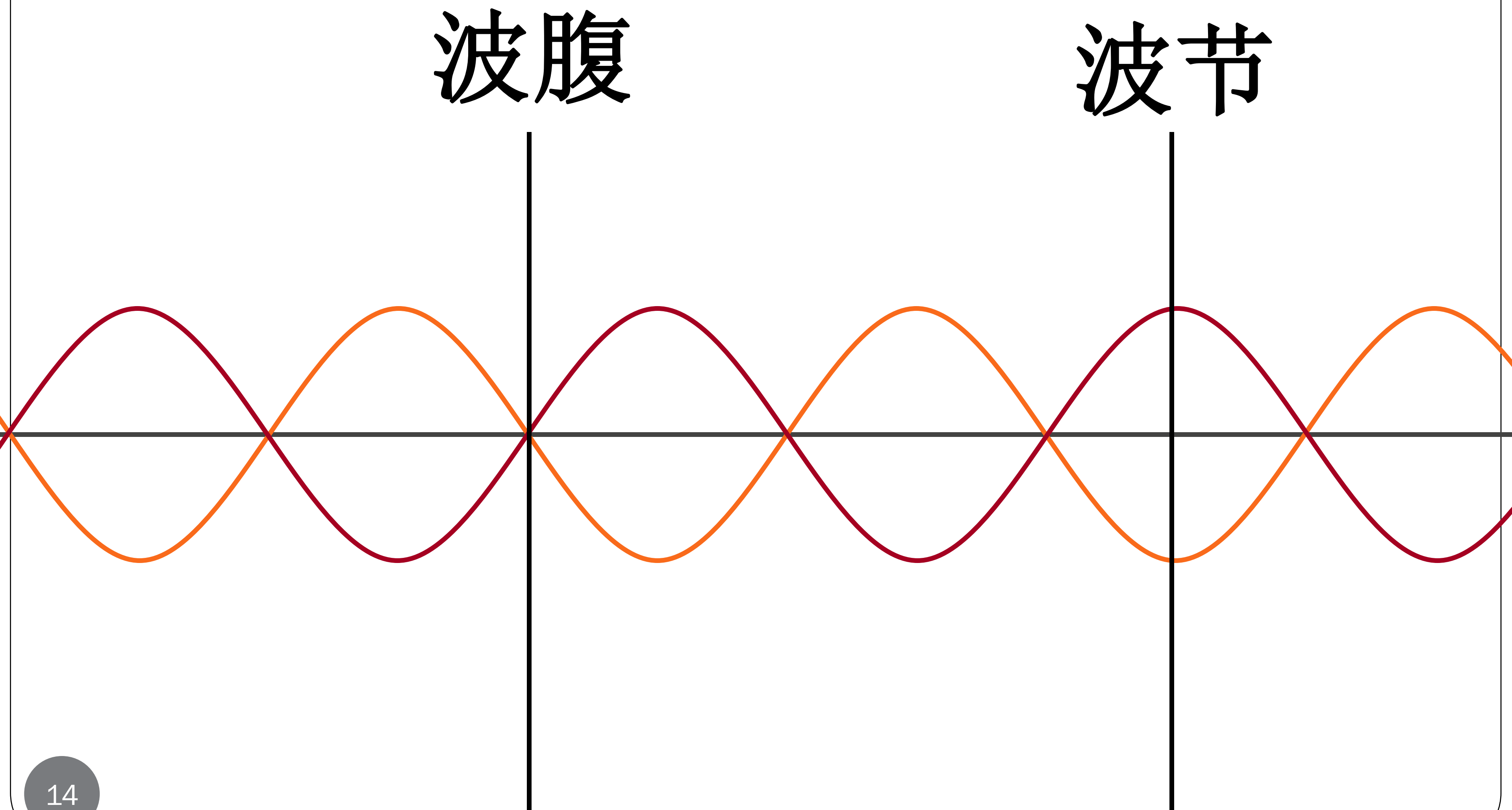
返回

驻 波



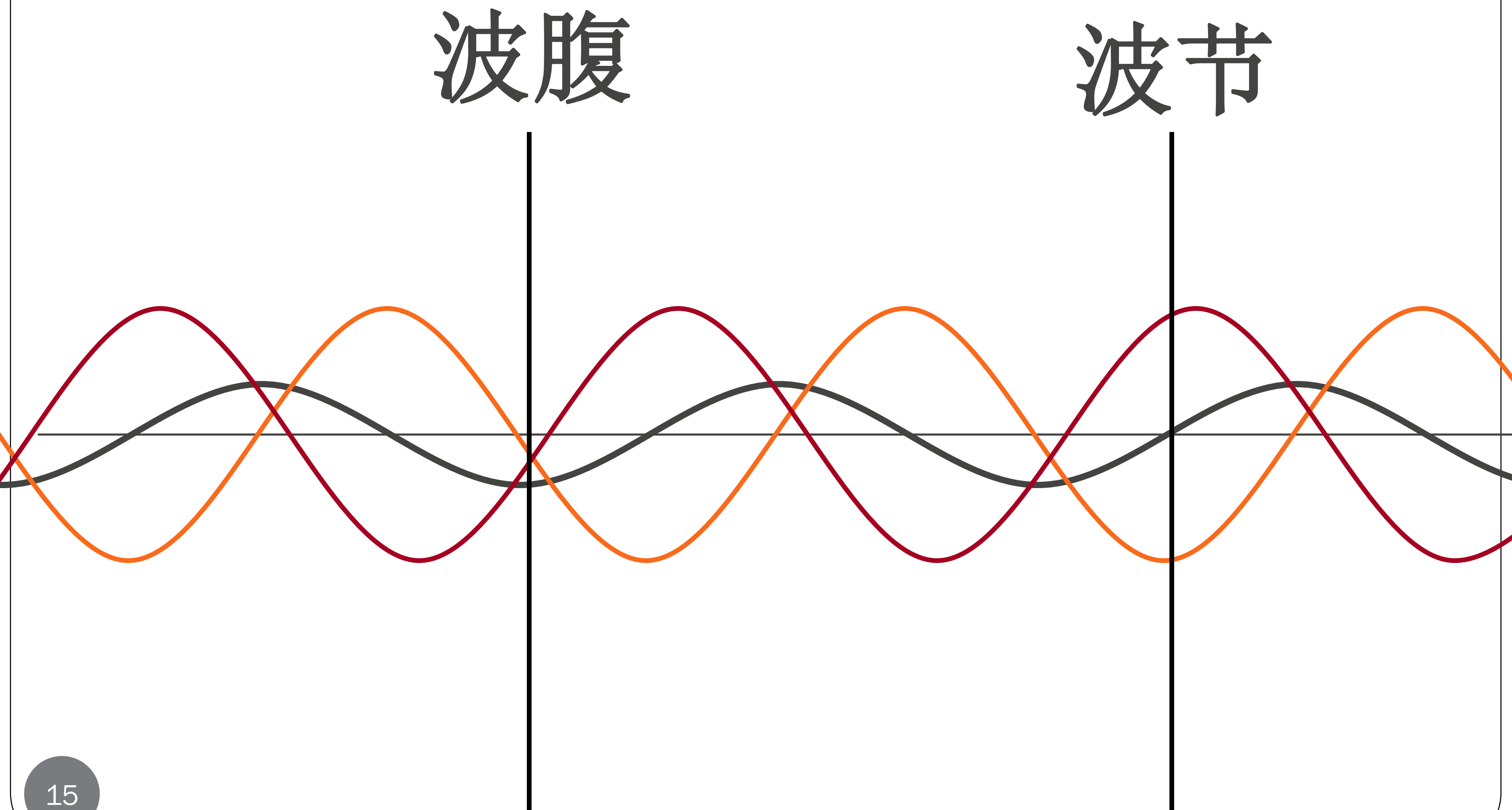
返回

驻 波



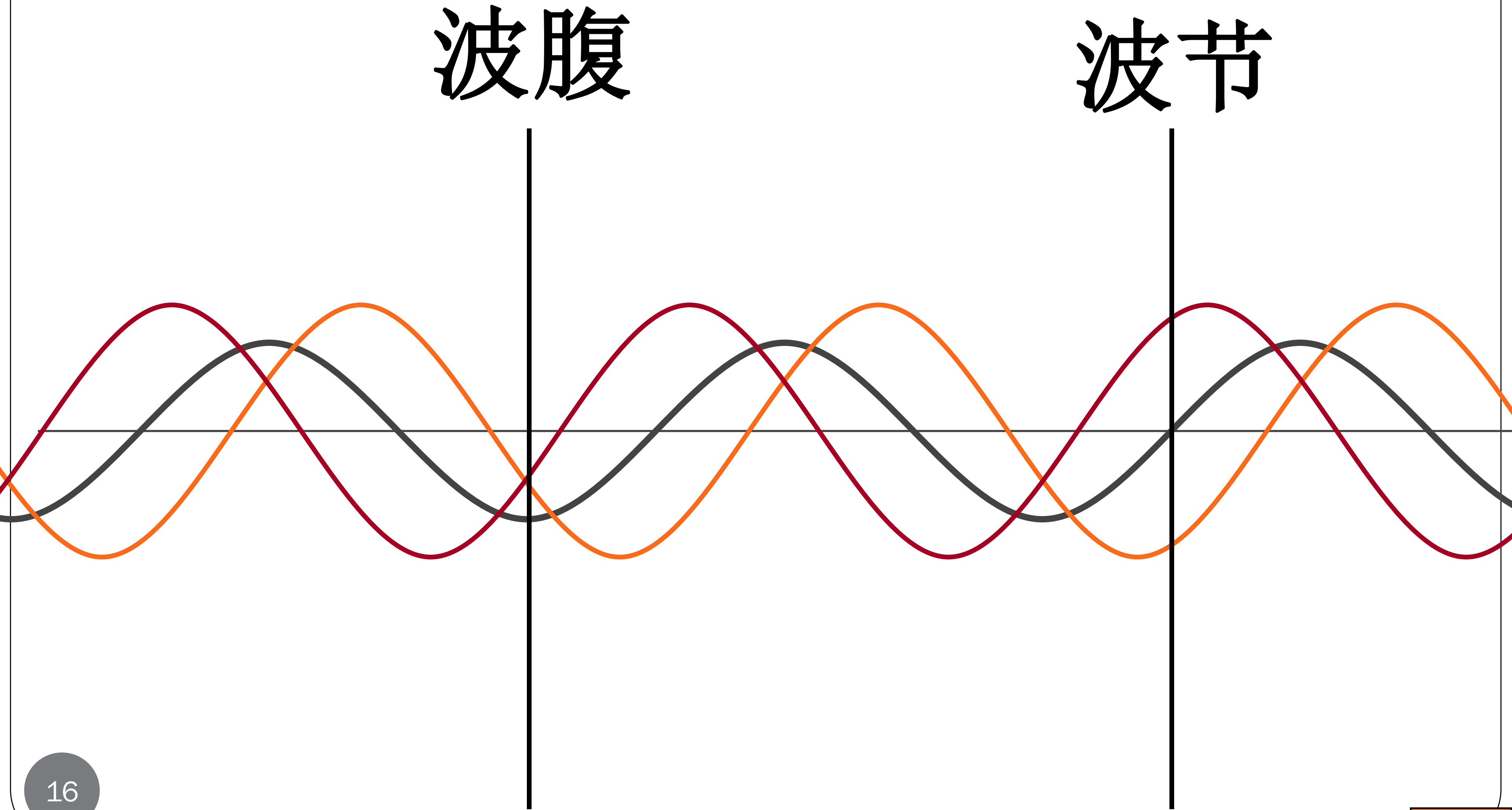
返回

驻　波



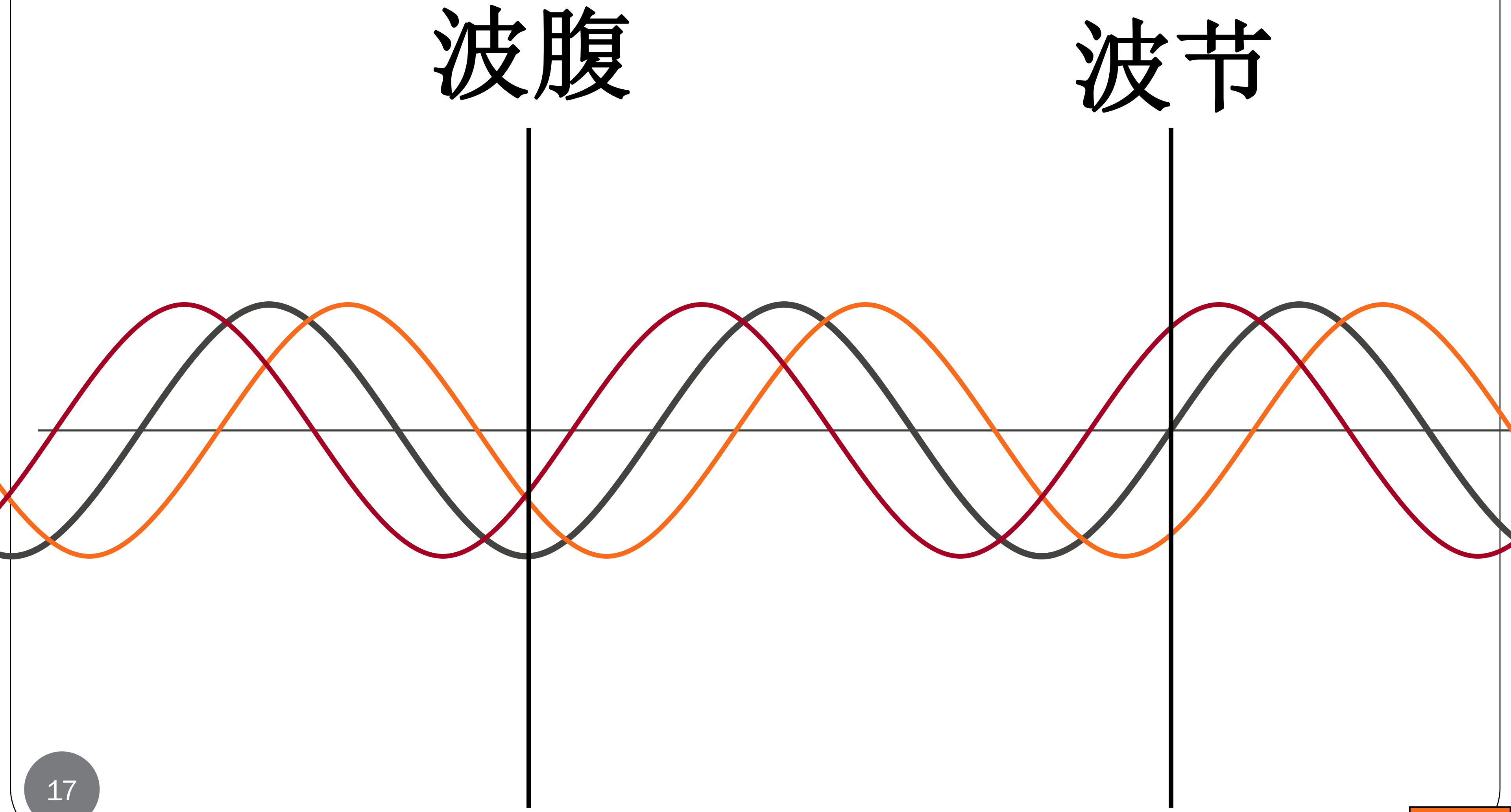
返回

驻 波



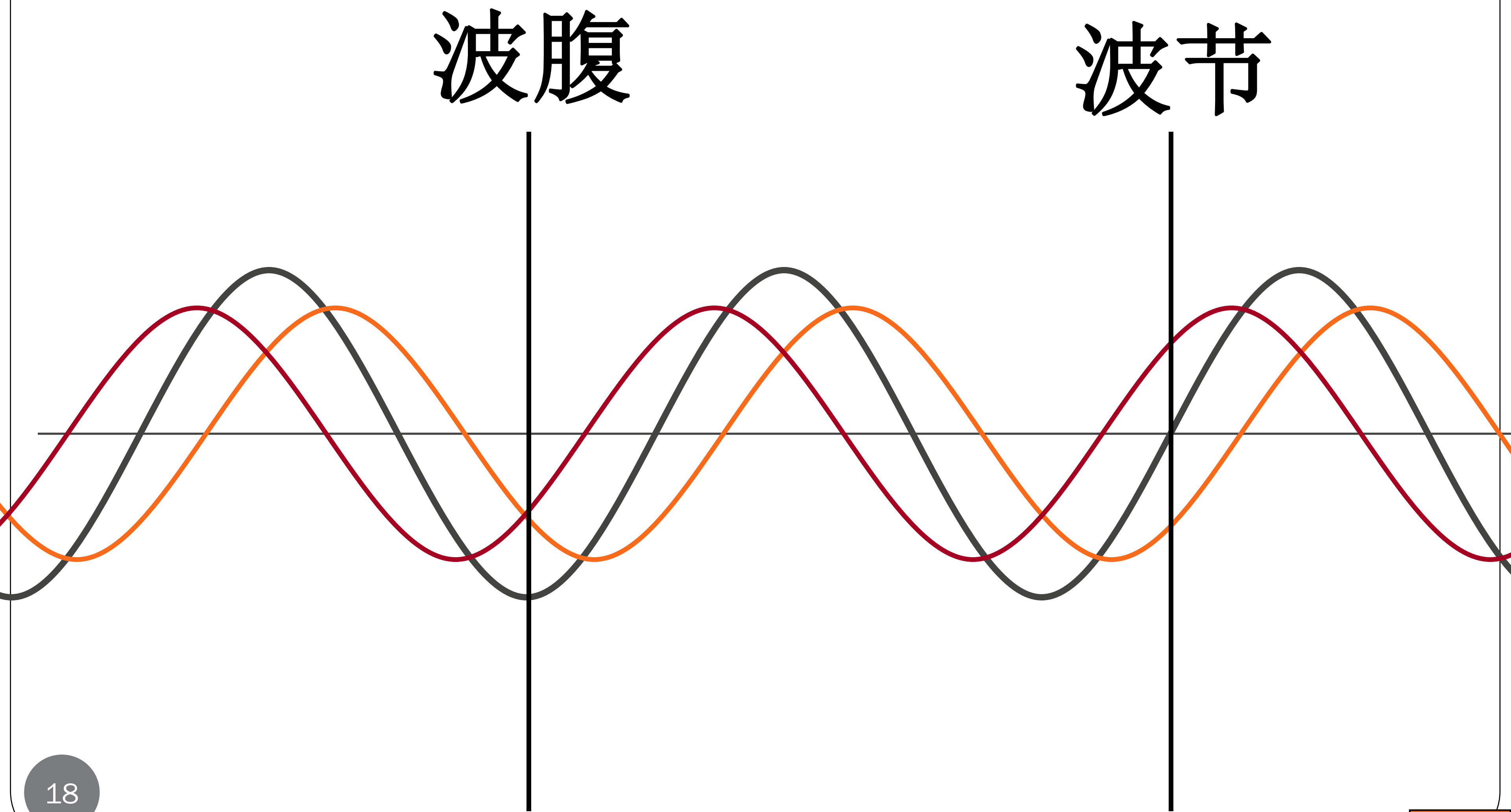
返回

驻　波



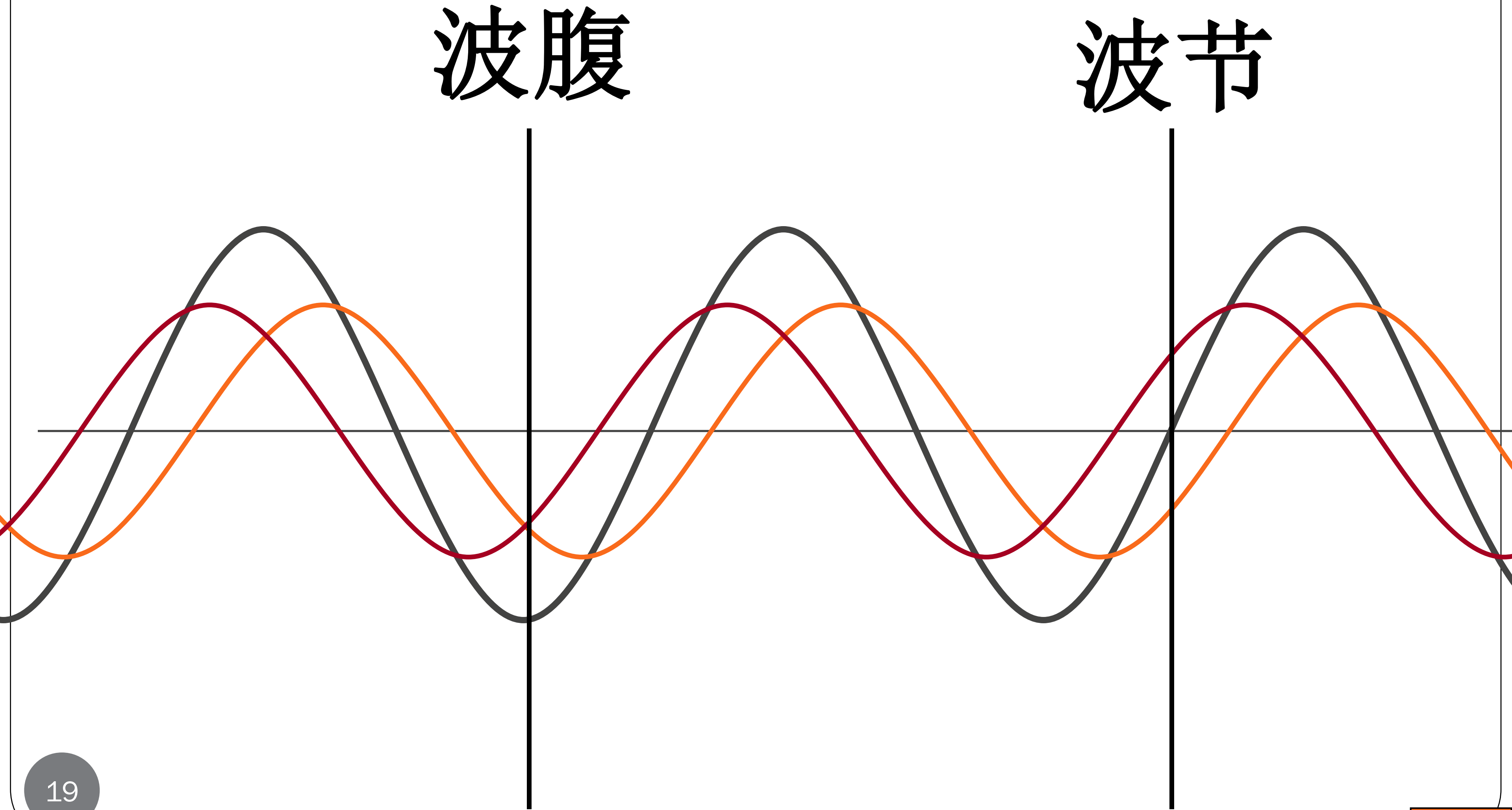
返回

驻　波



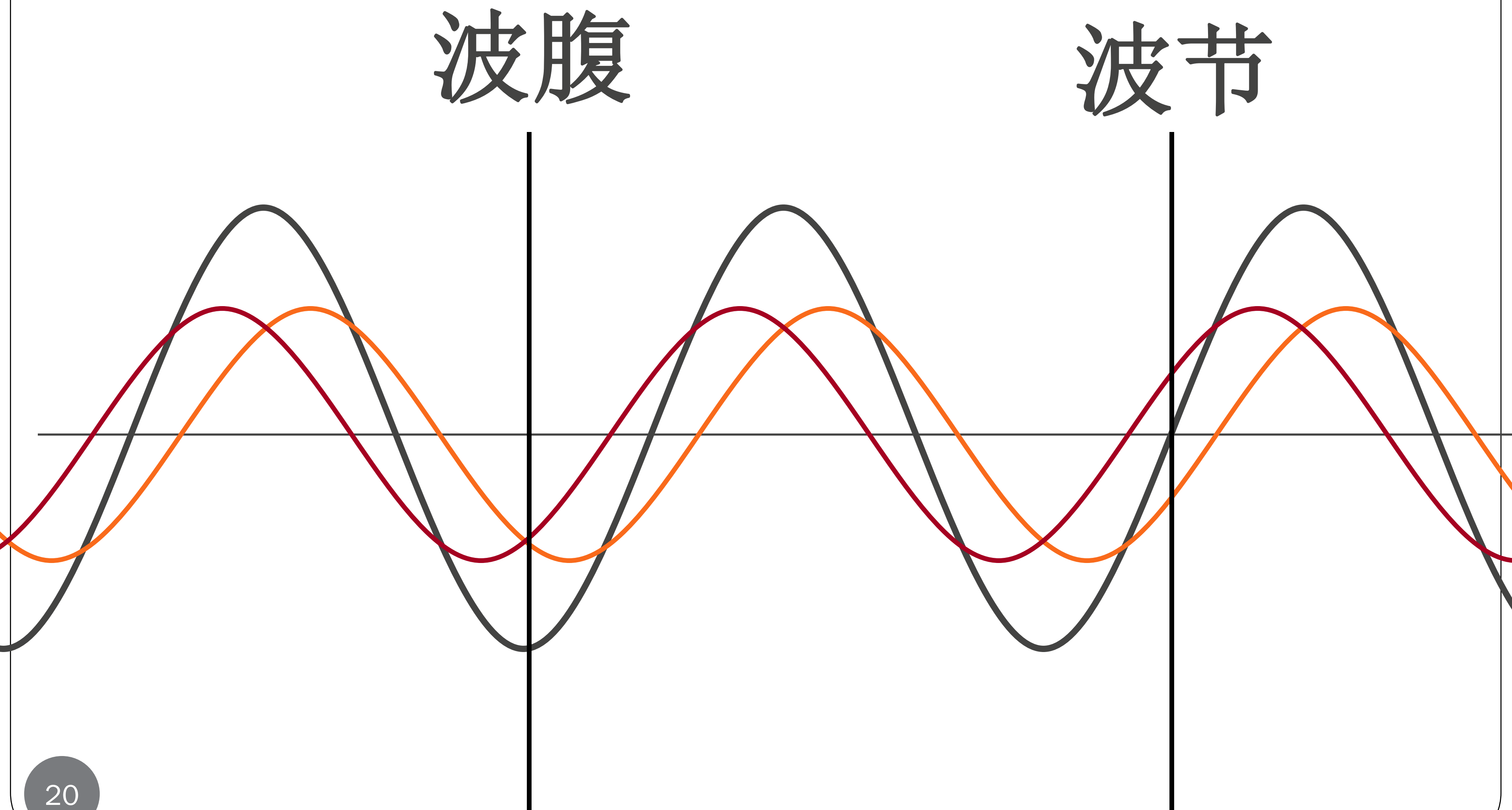
返回

驻　波



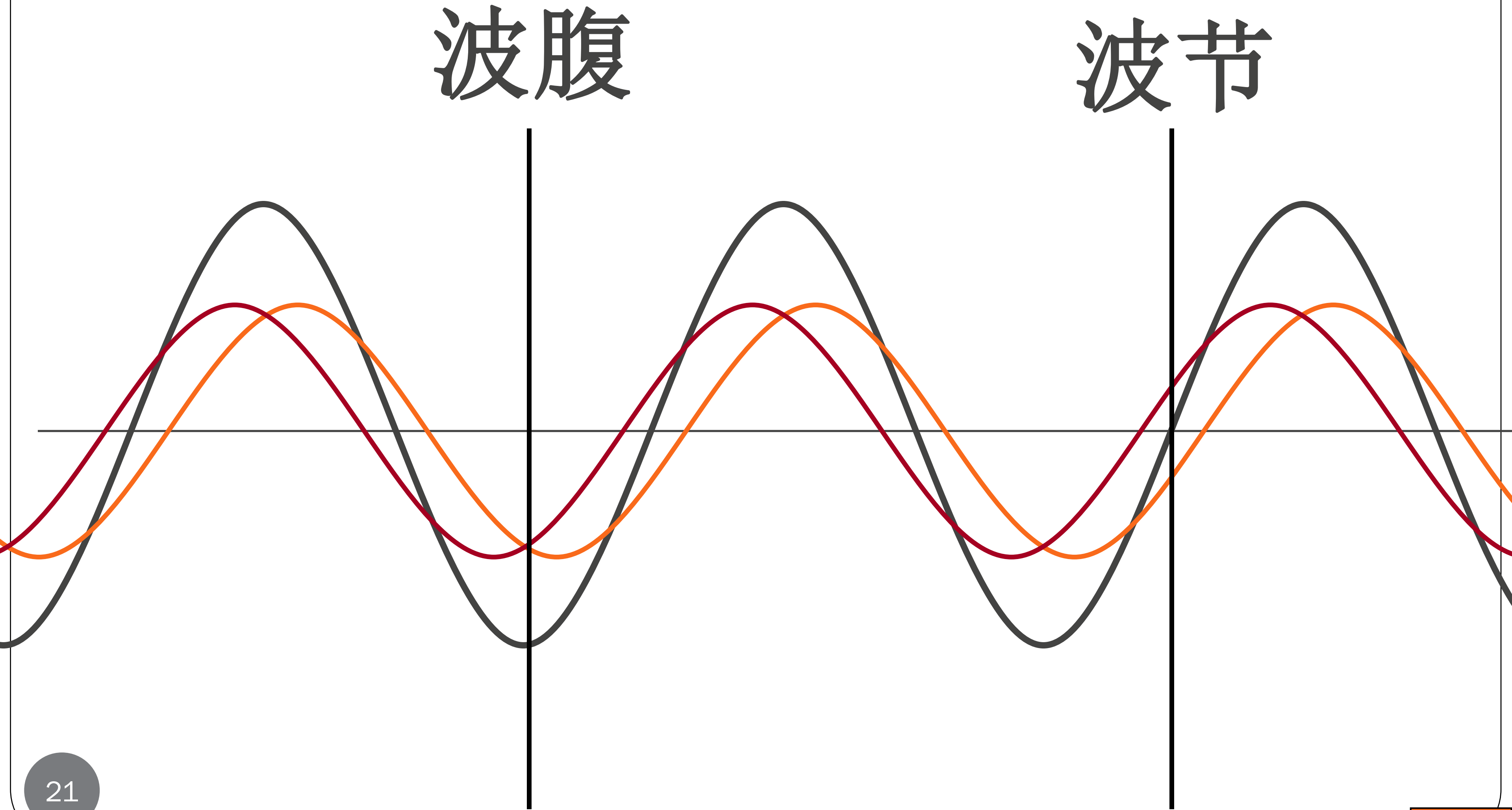
返回

驻 波



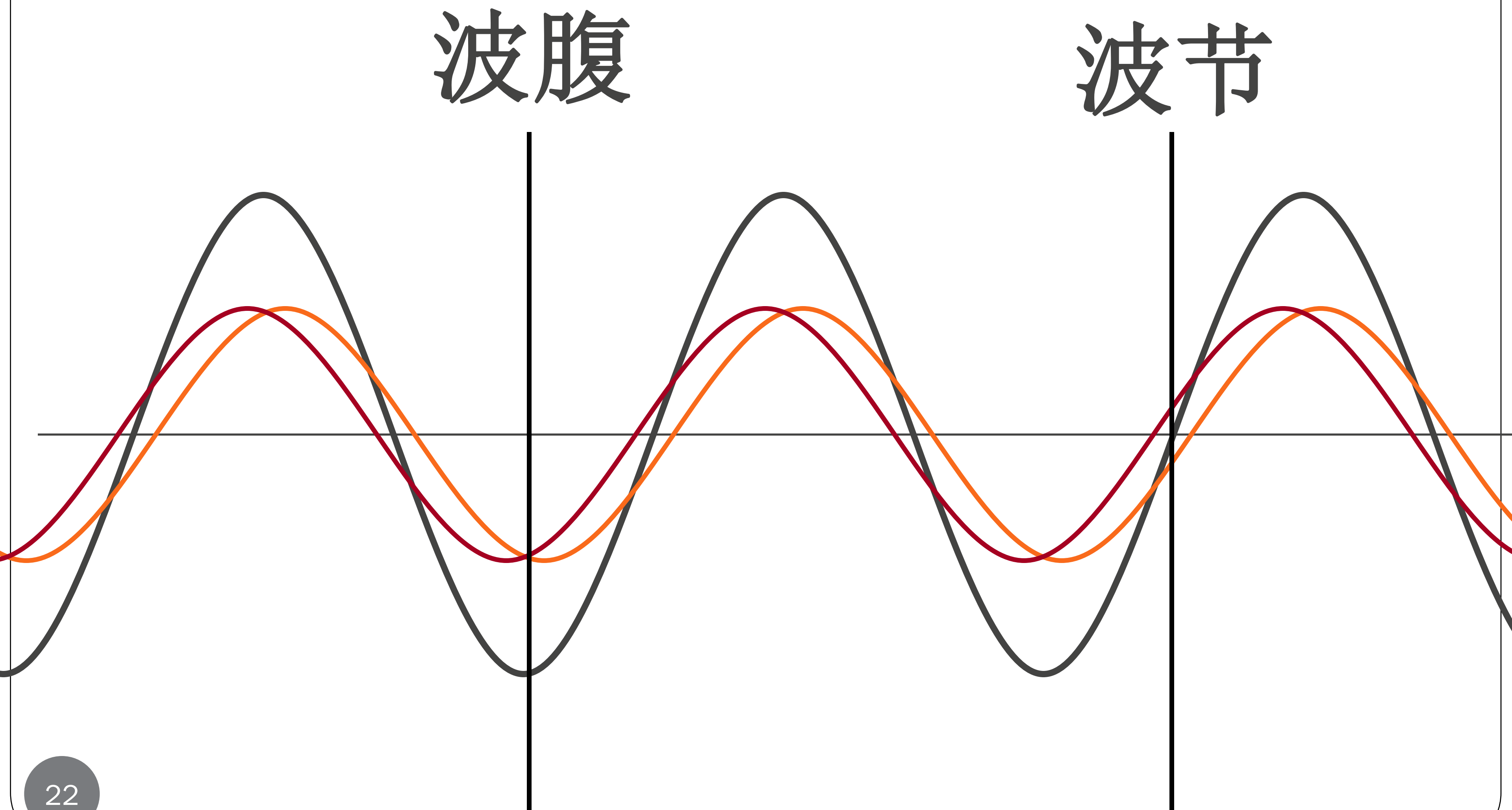
返回

驻 波



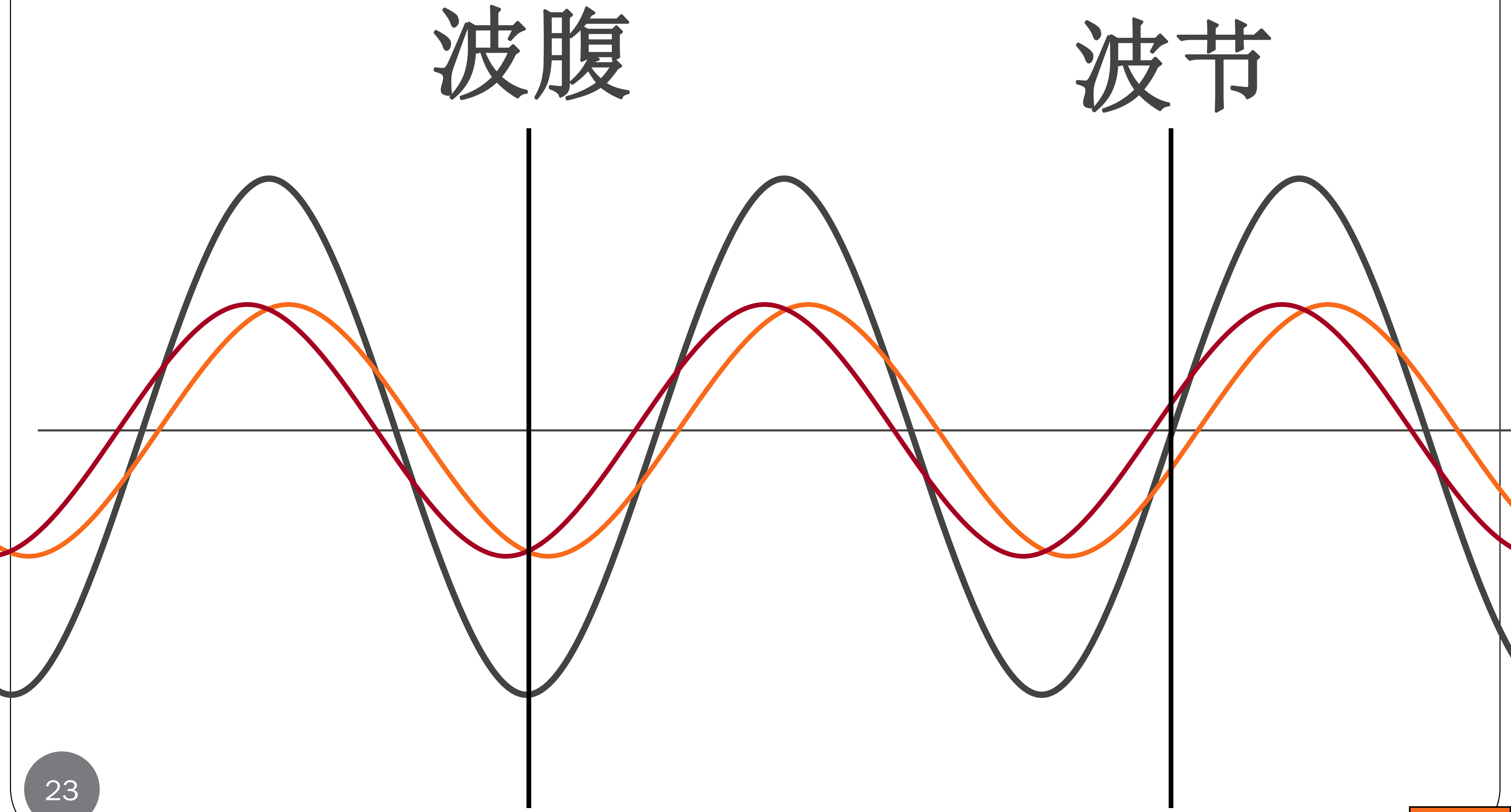
返回

驻　波



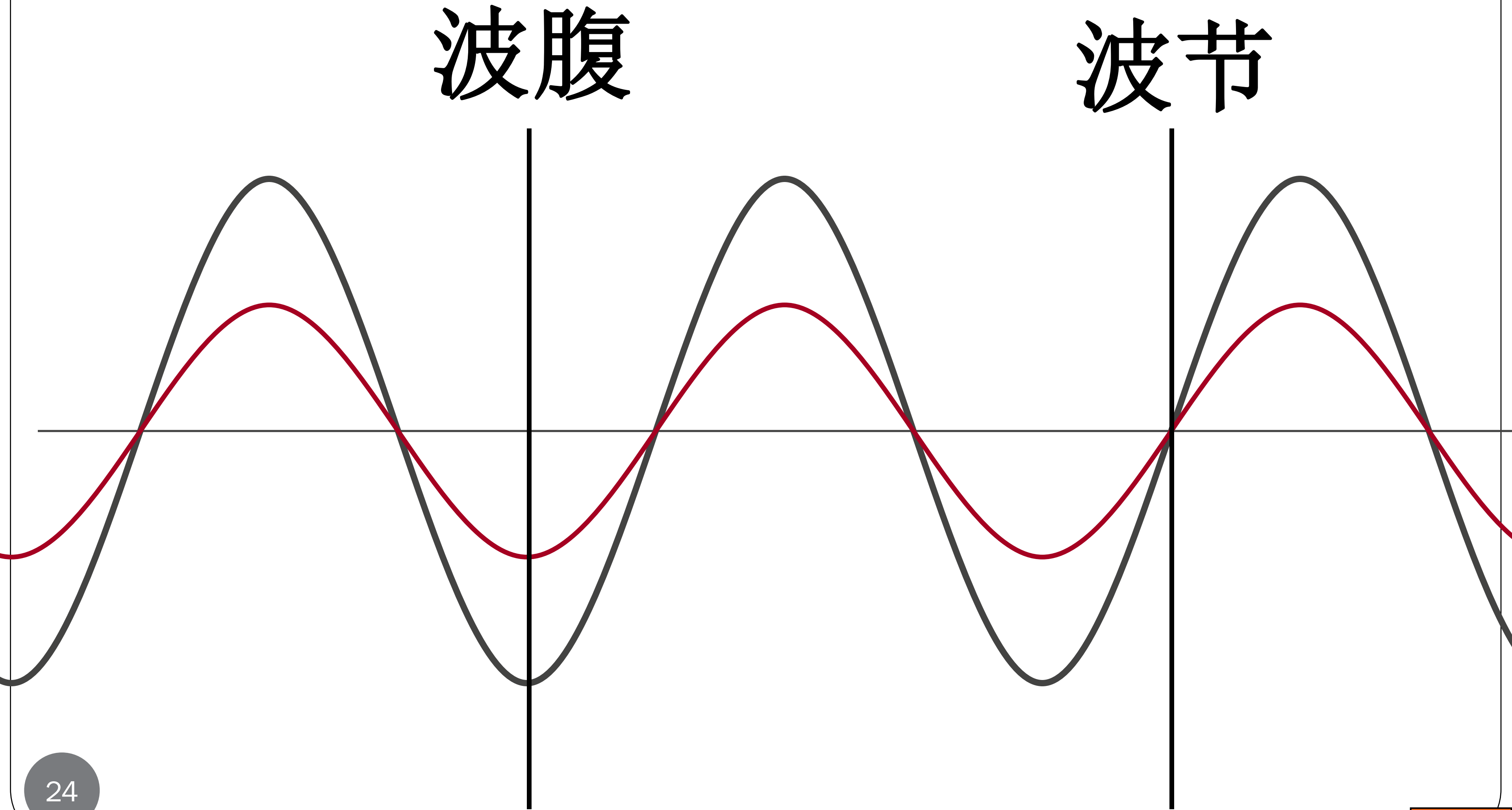
返回

驻　波

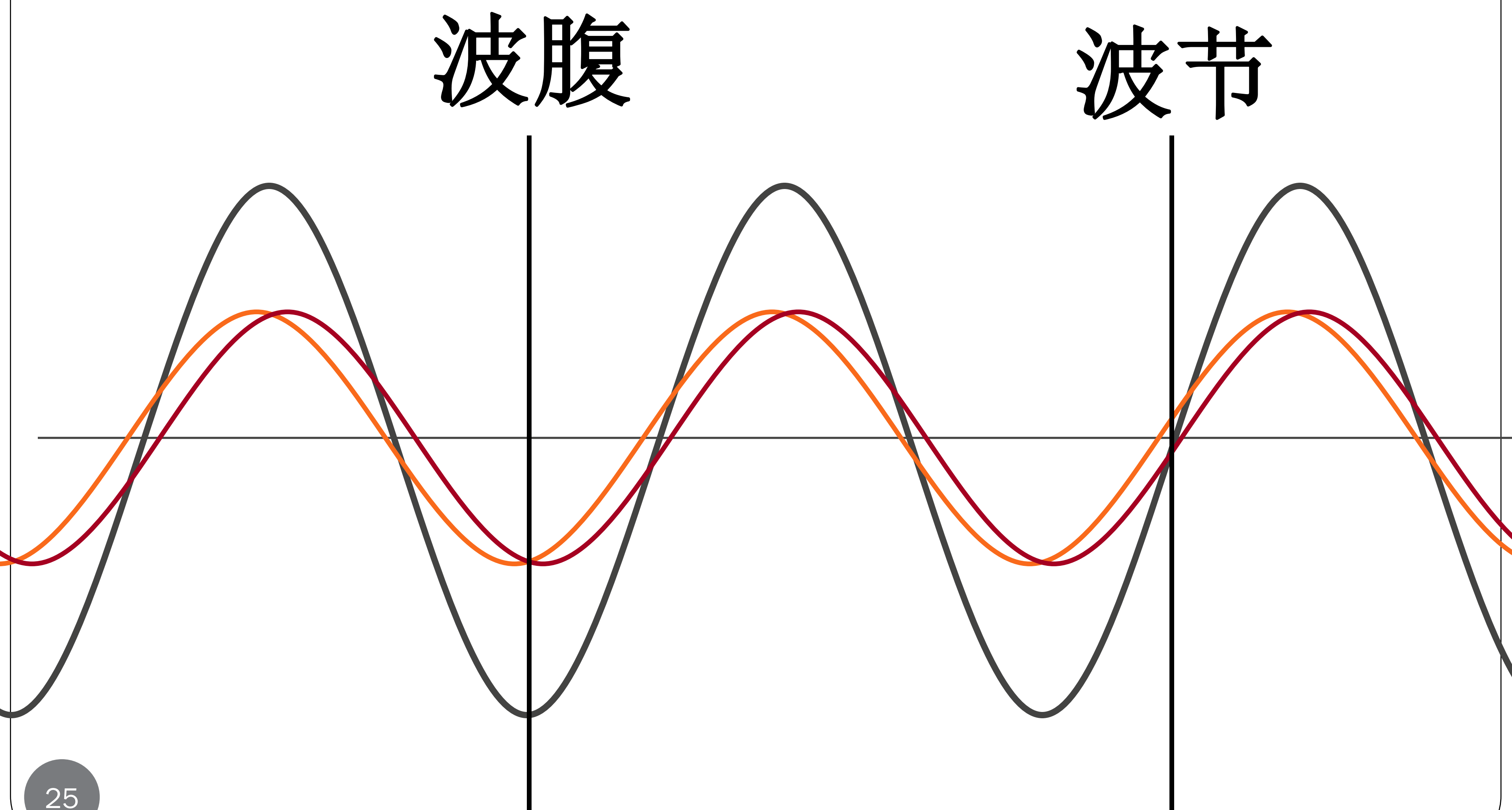


返回

驻　波

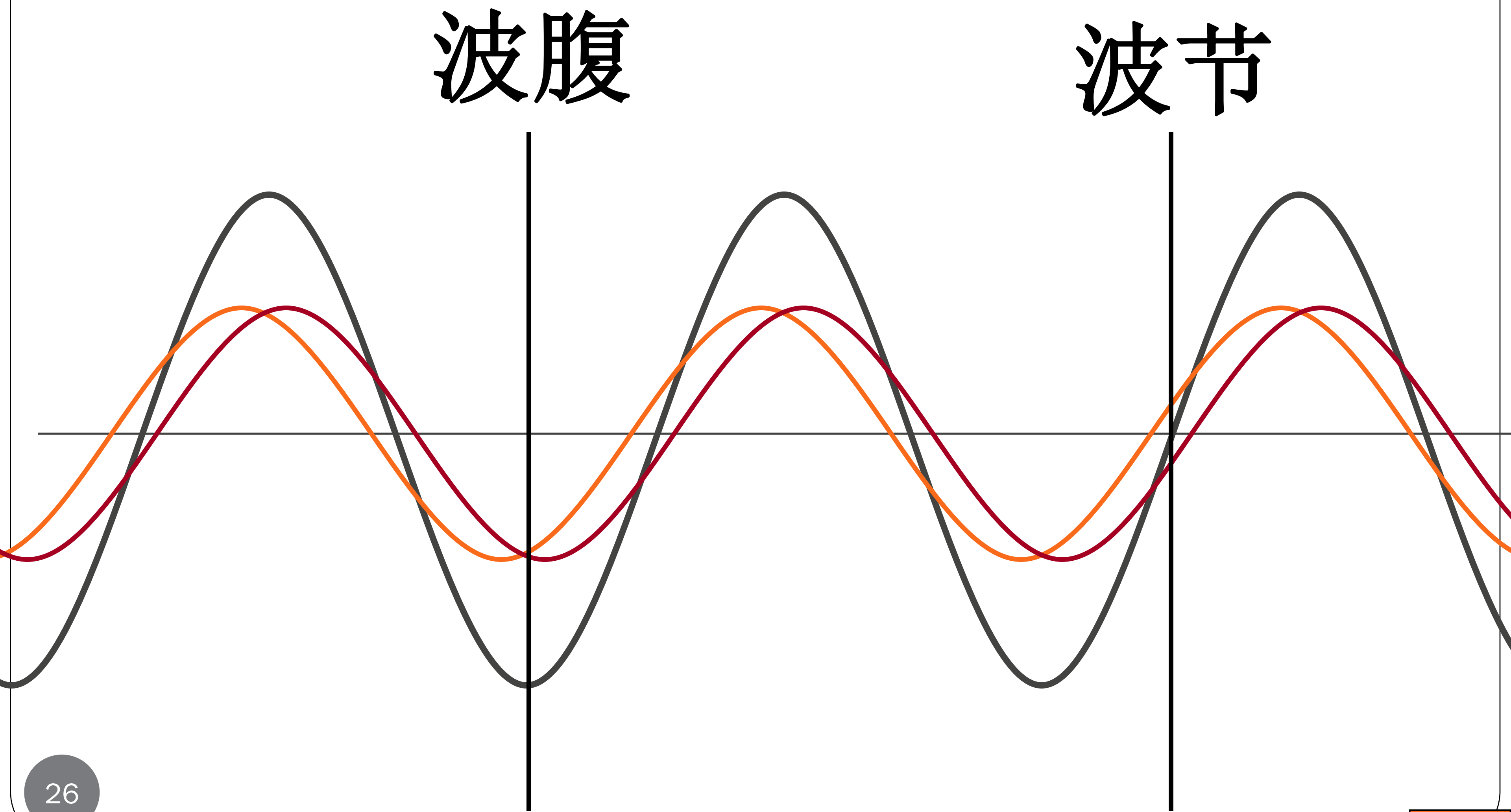


驻　波



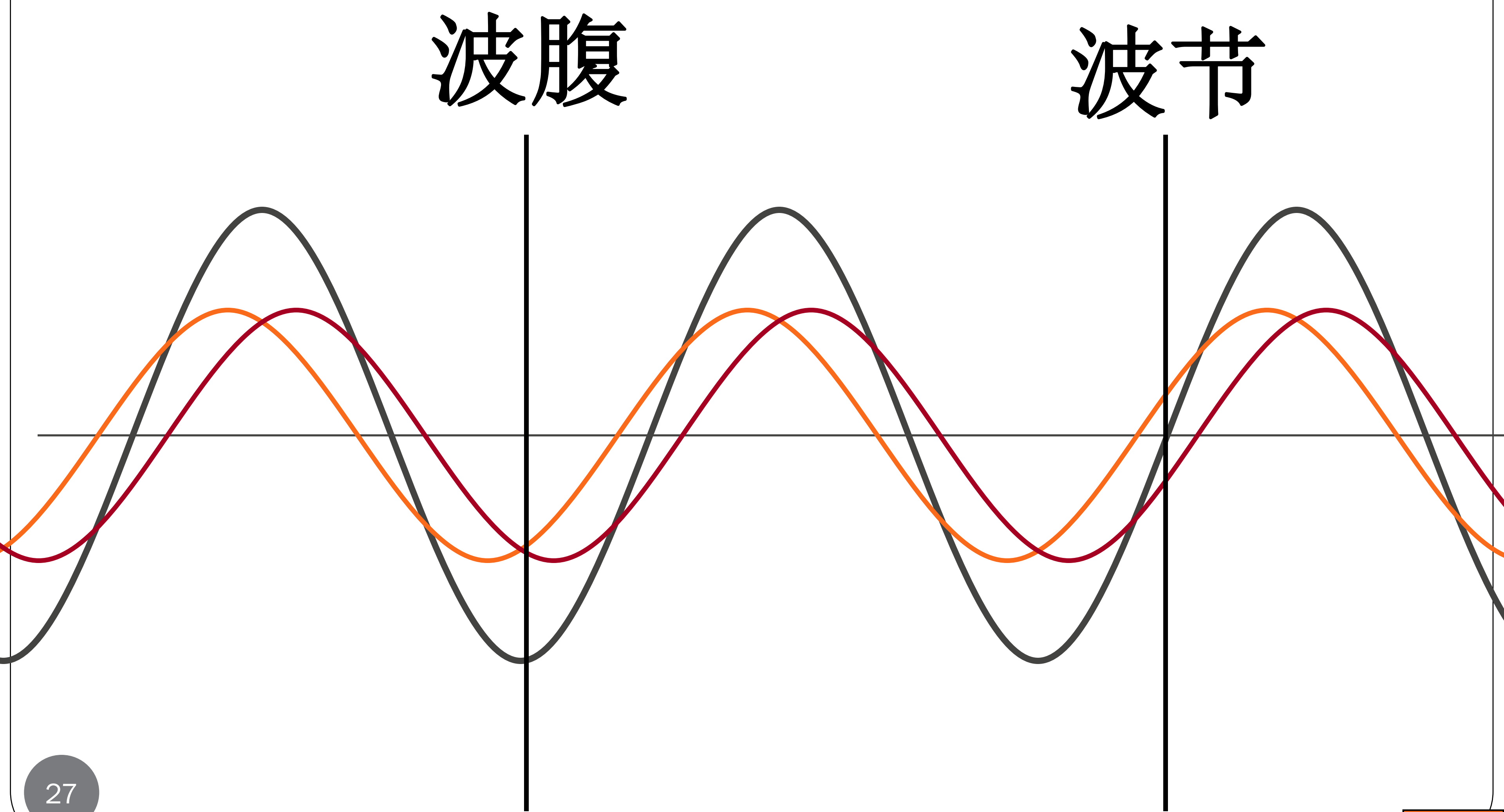
返回

驻 波



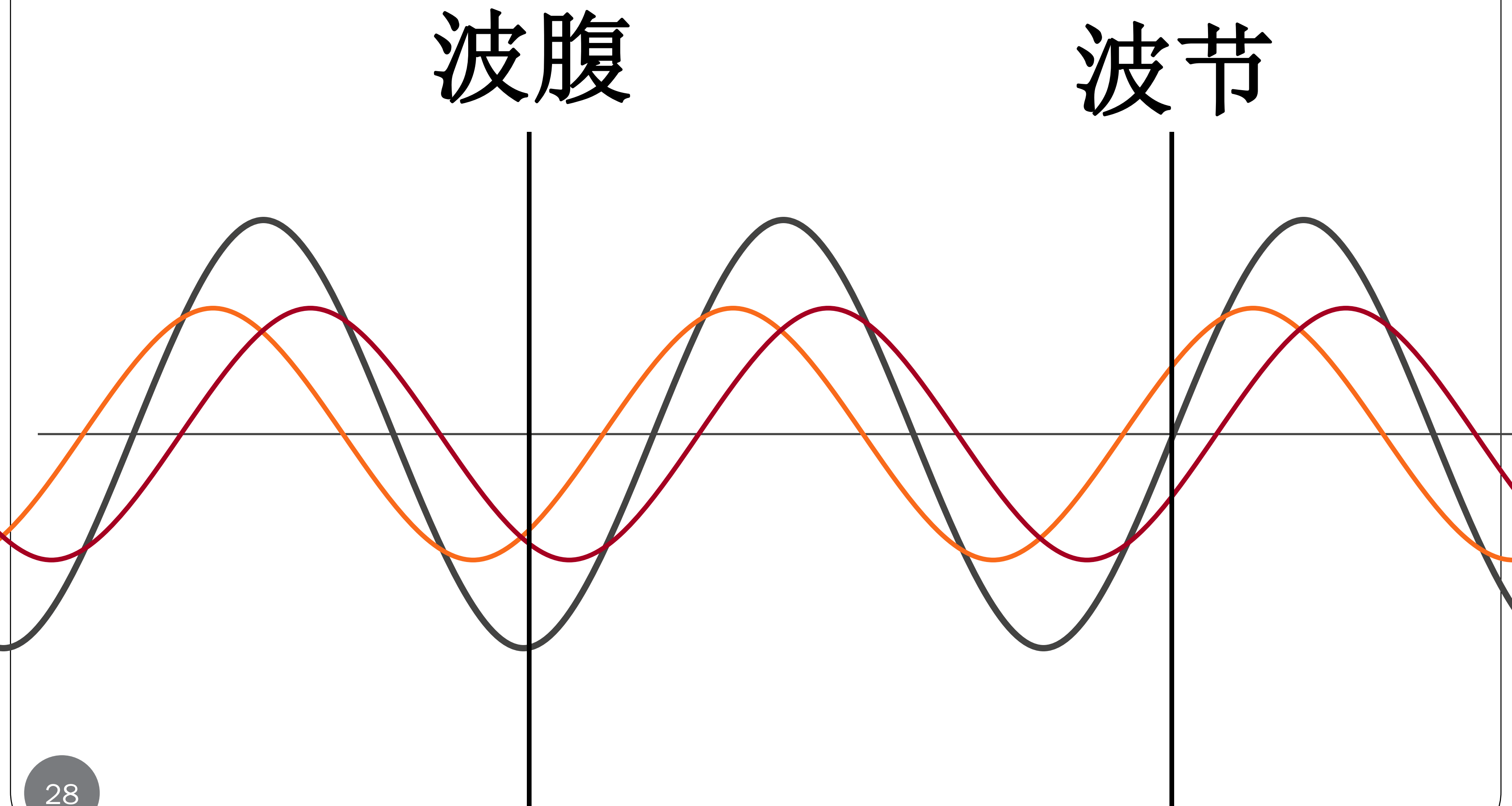
返回

驻　波



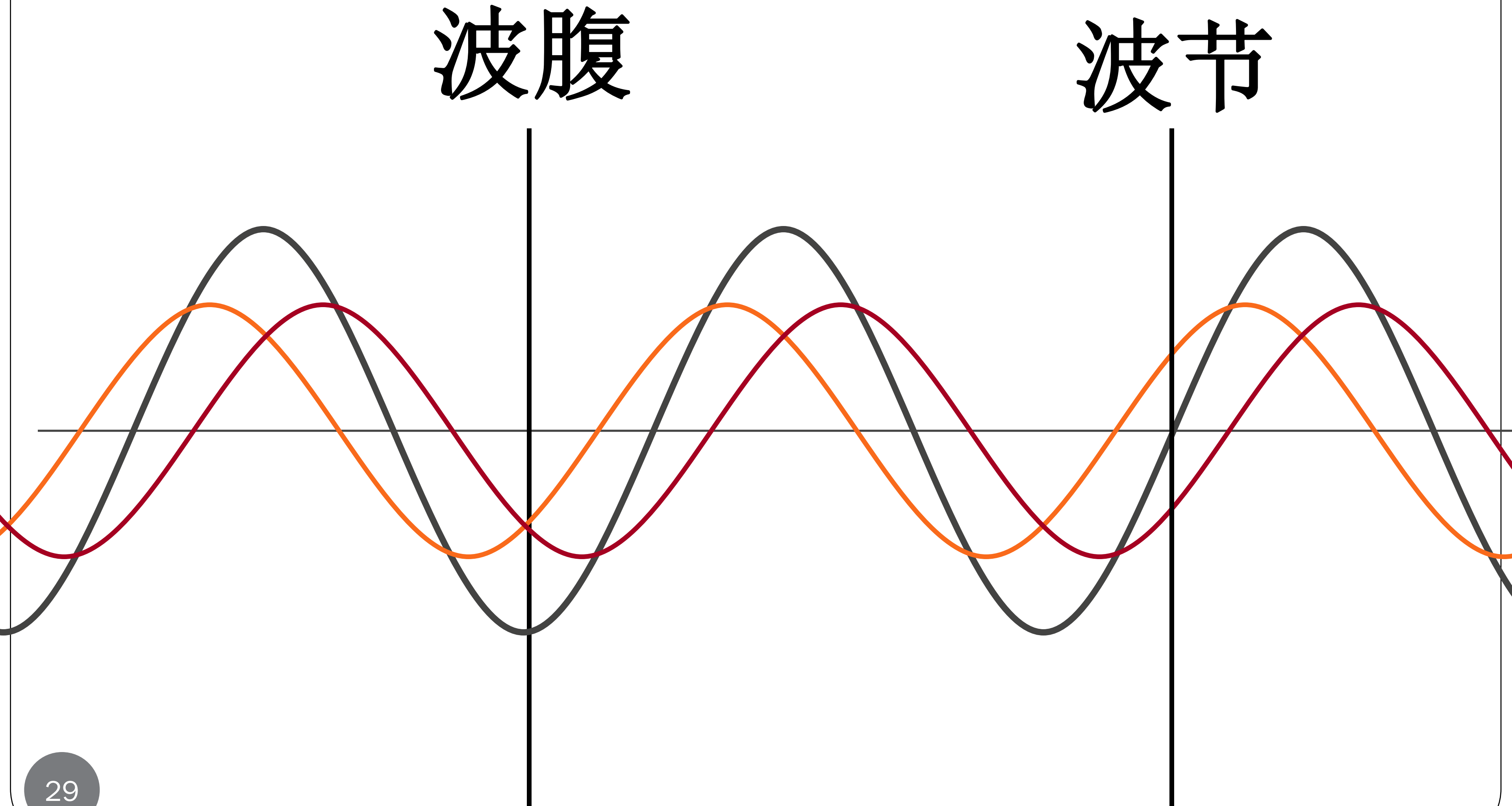
返回

驻　波



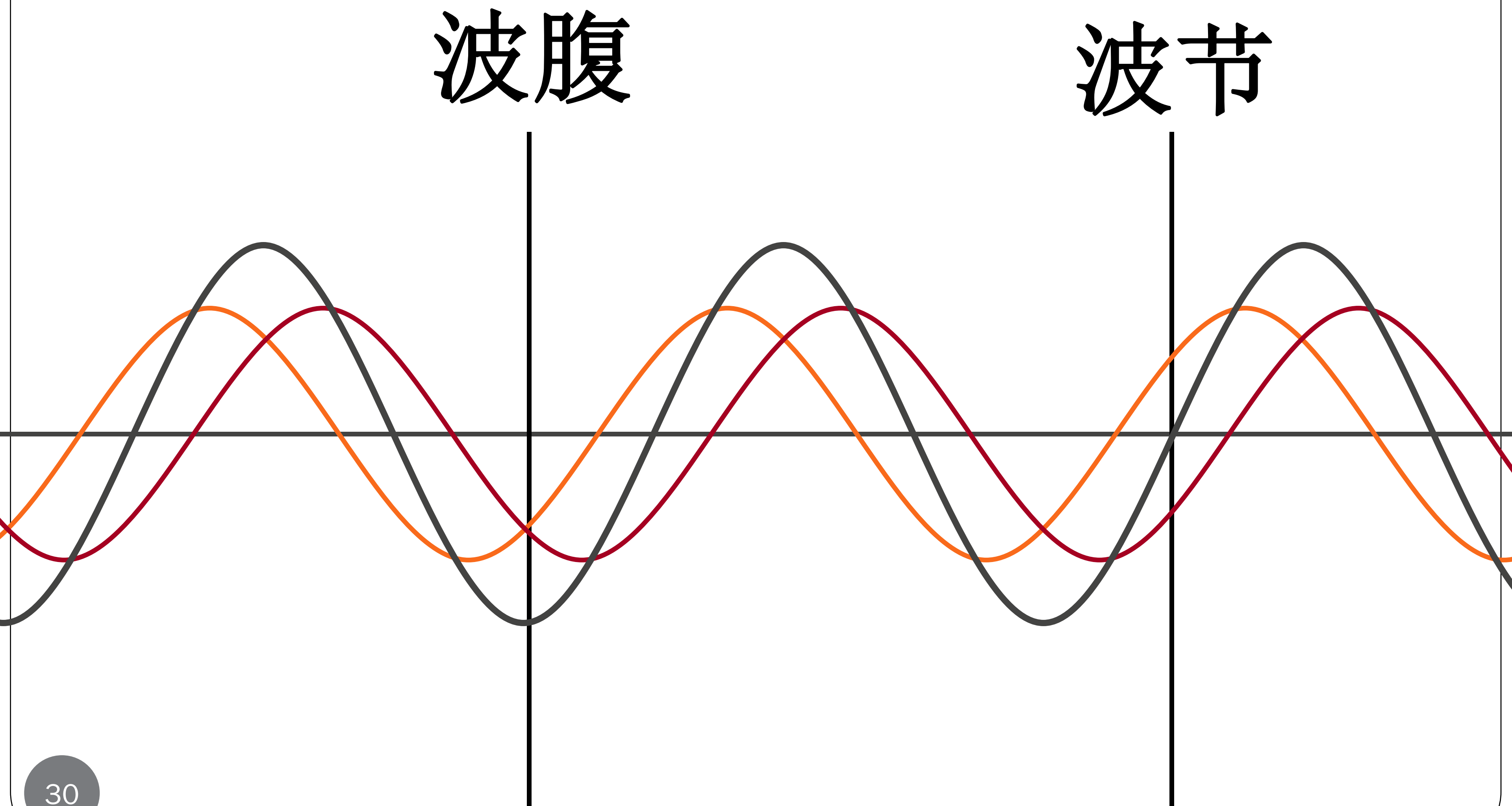
返回

驻 波

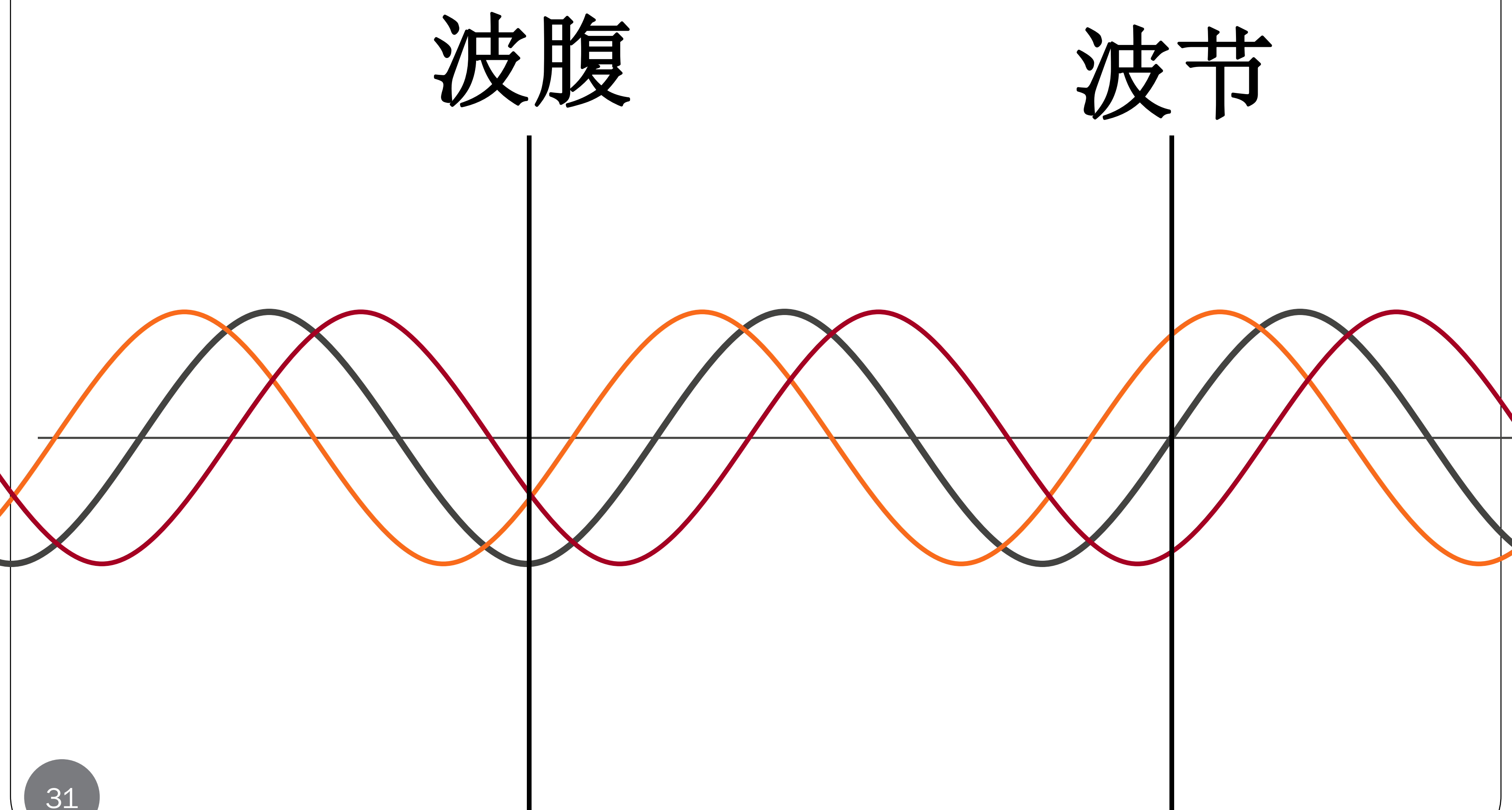


返回

驻 波

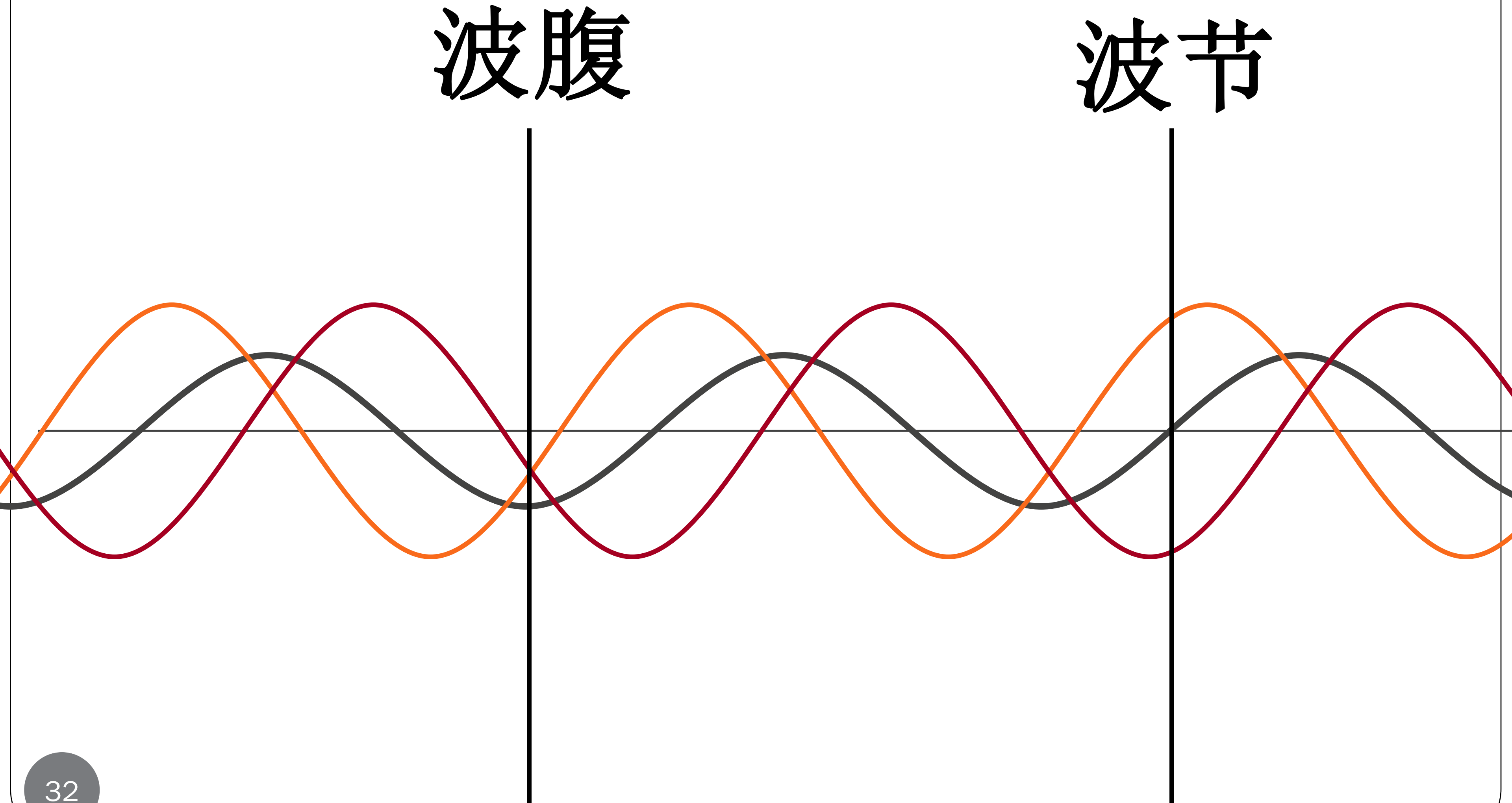


驻　波



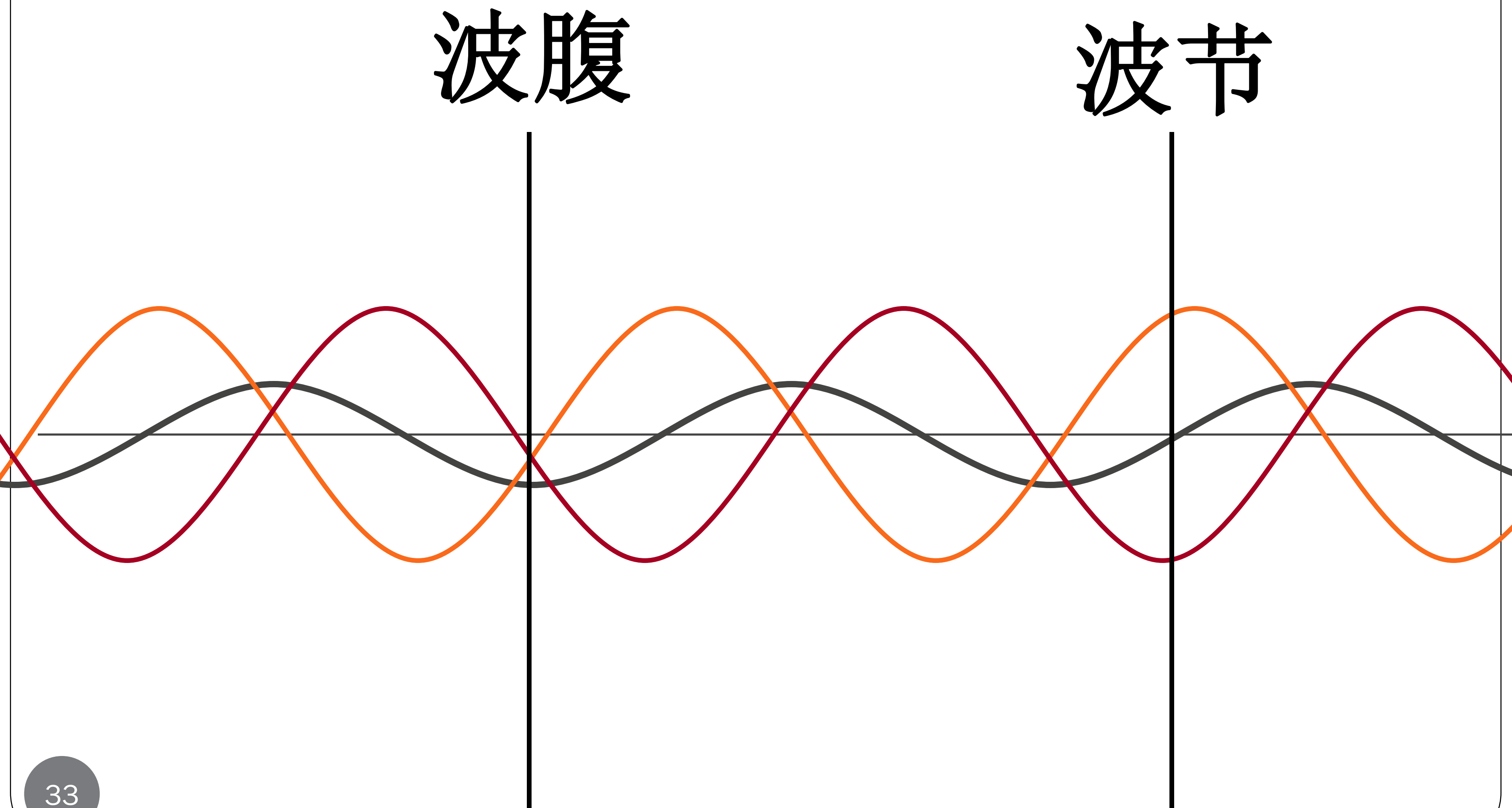
返回

驻 波



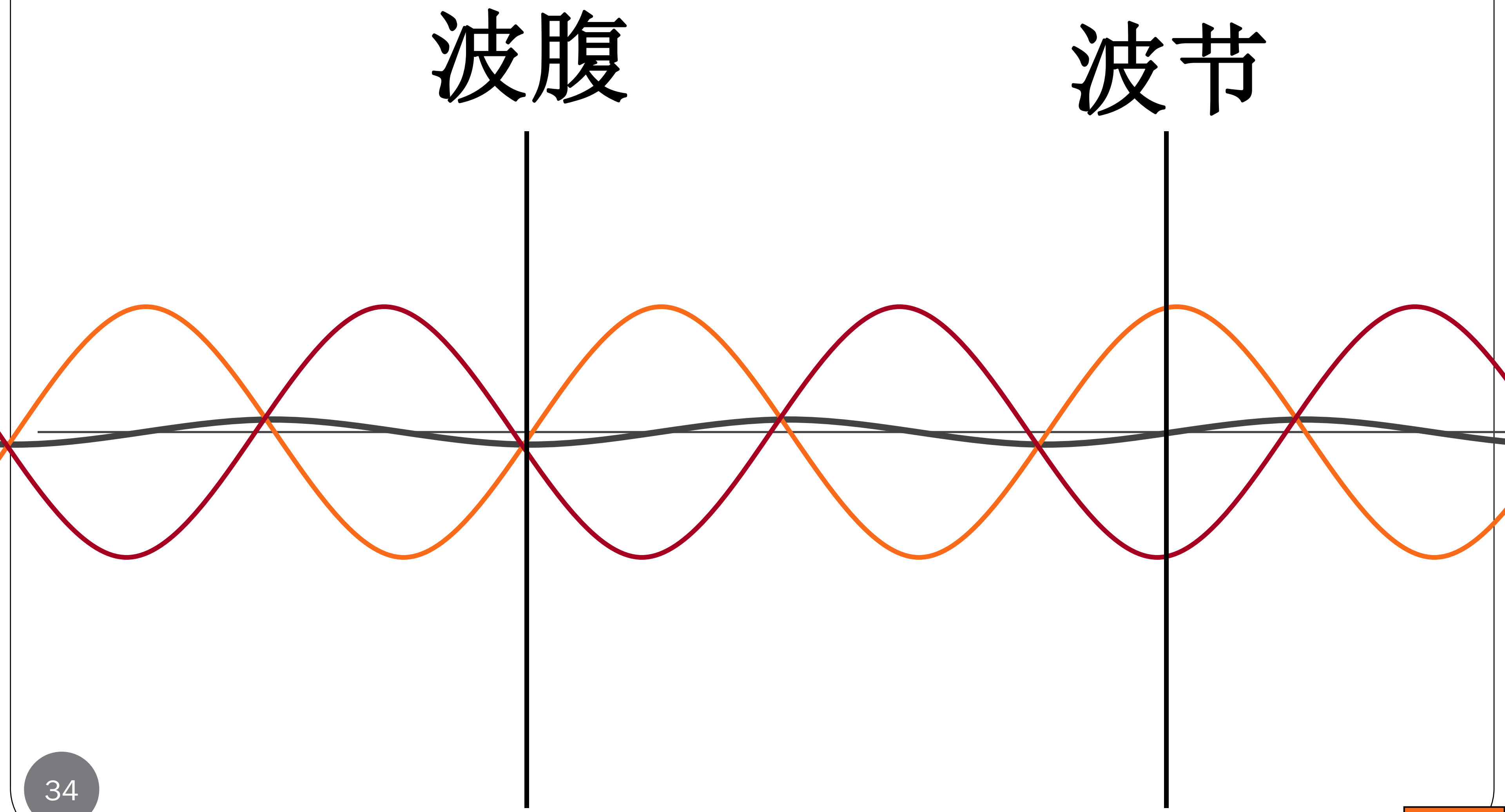
返回

驻 波



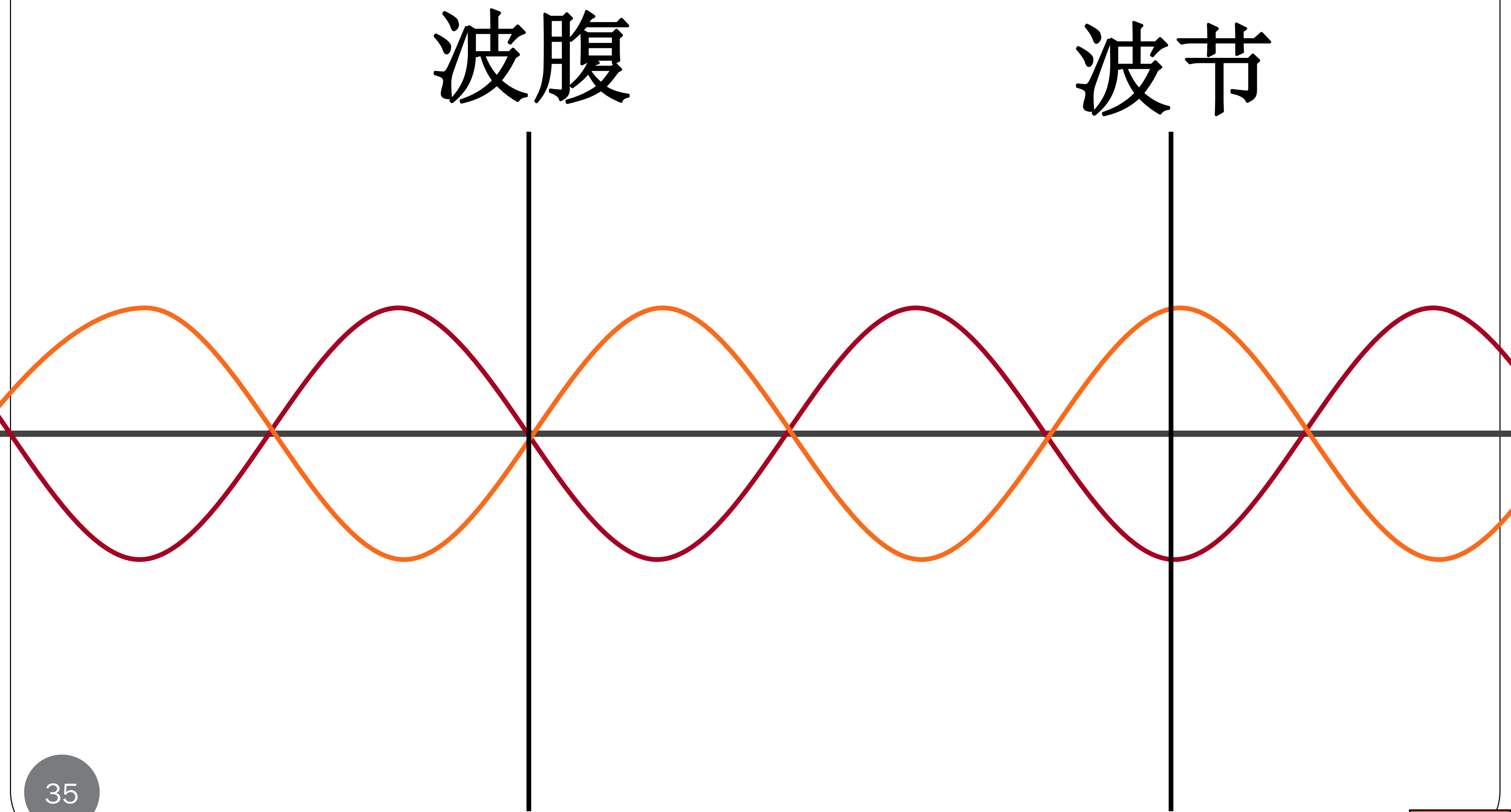
返回

驻 波



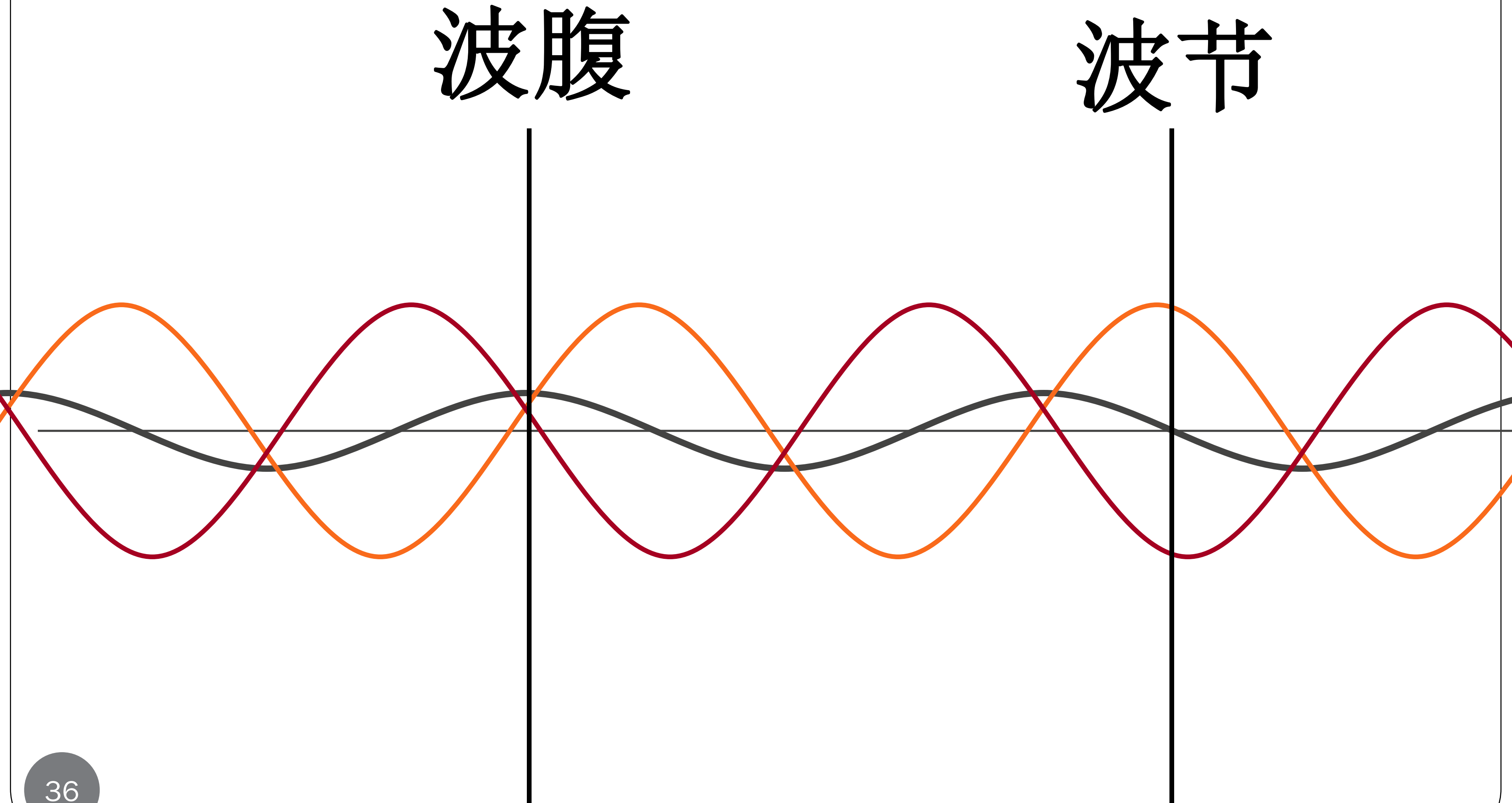
返回

驻 波



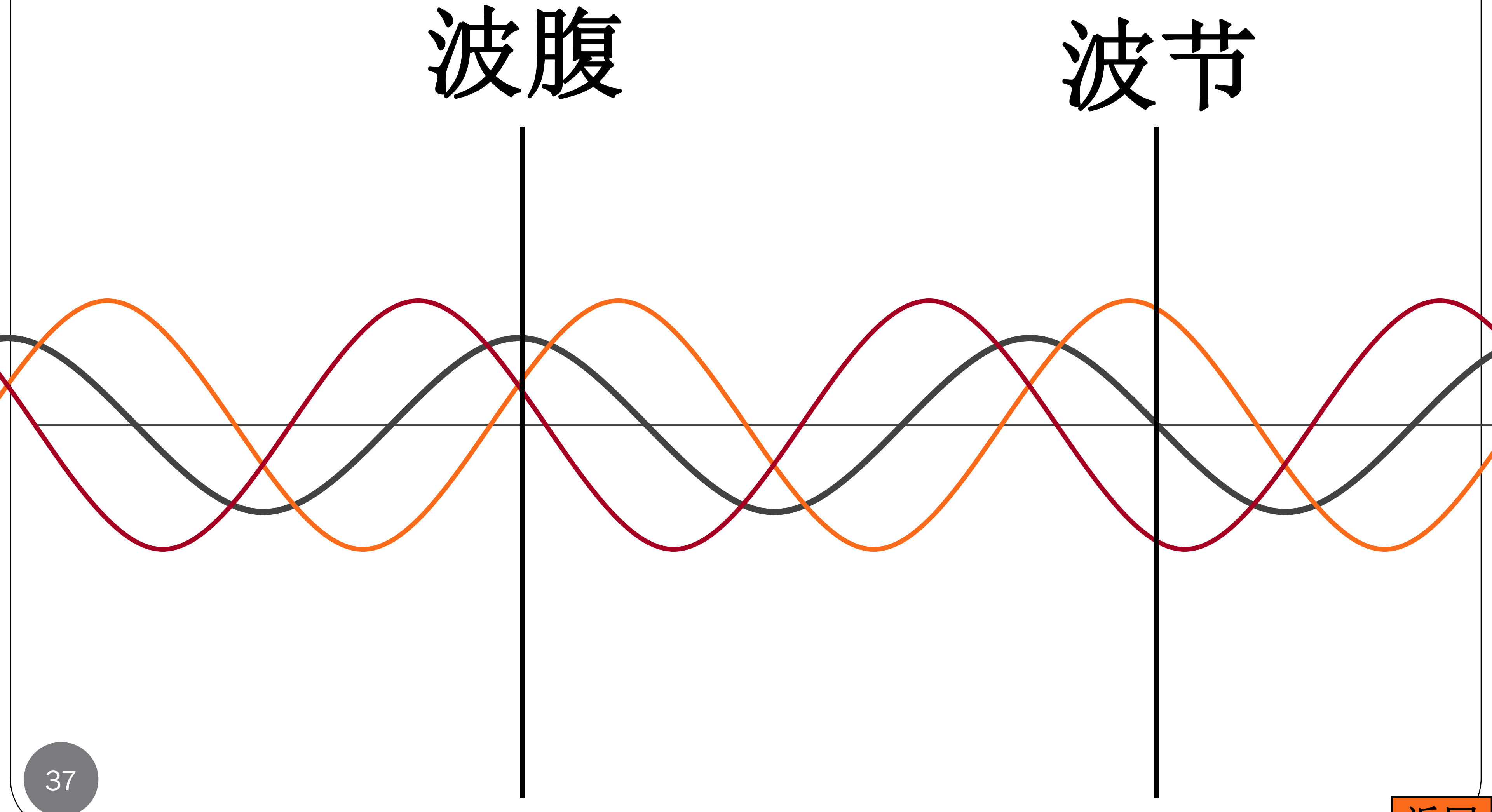
返回

驻　波



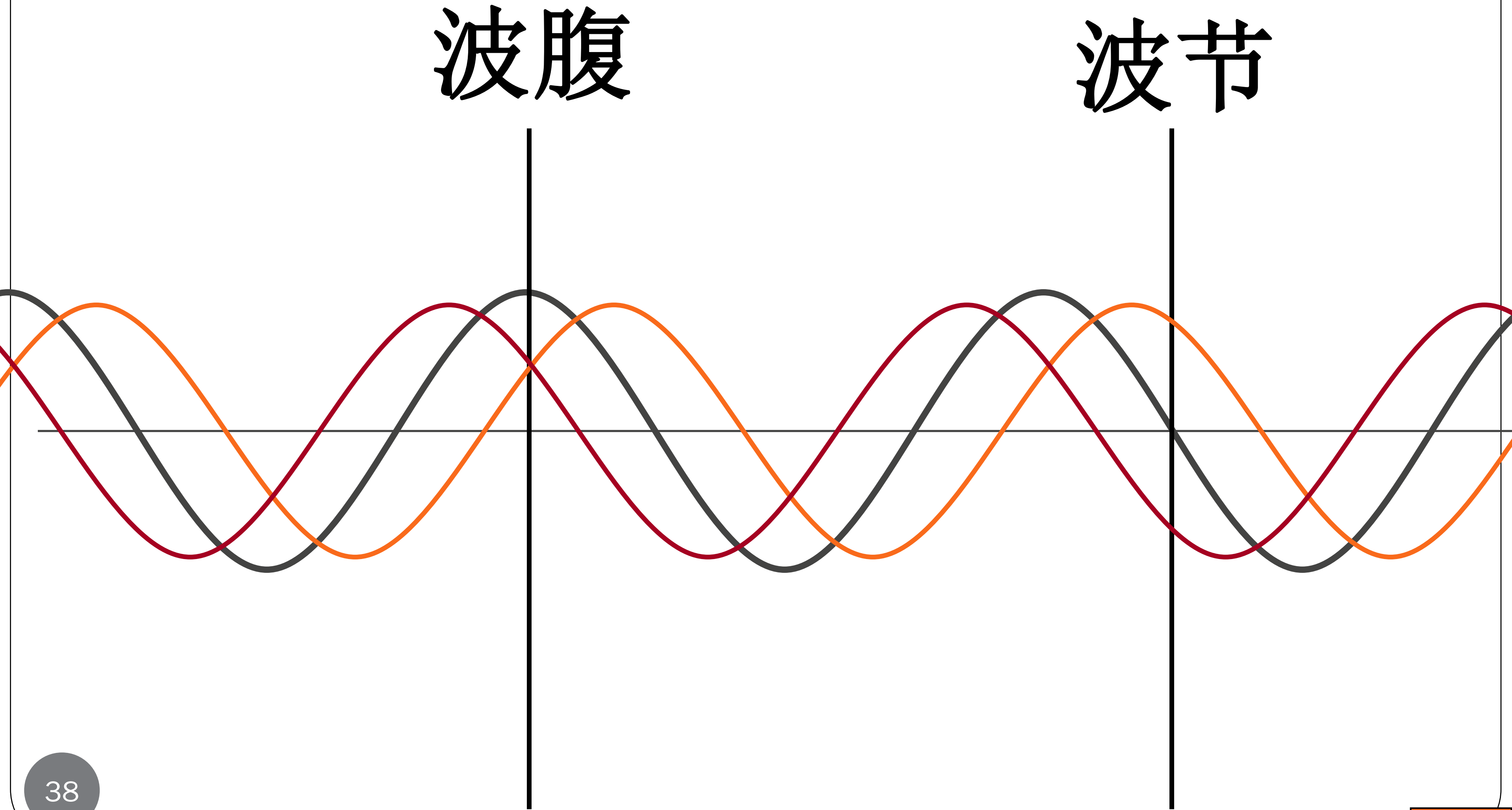
返回

驻 波



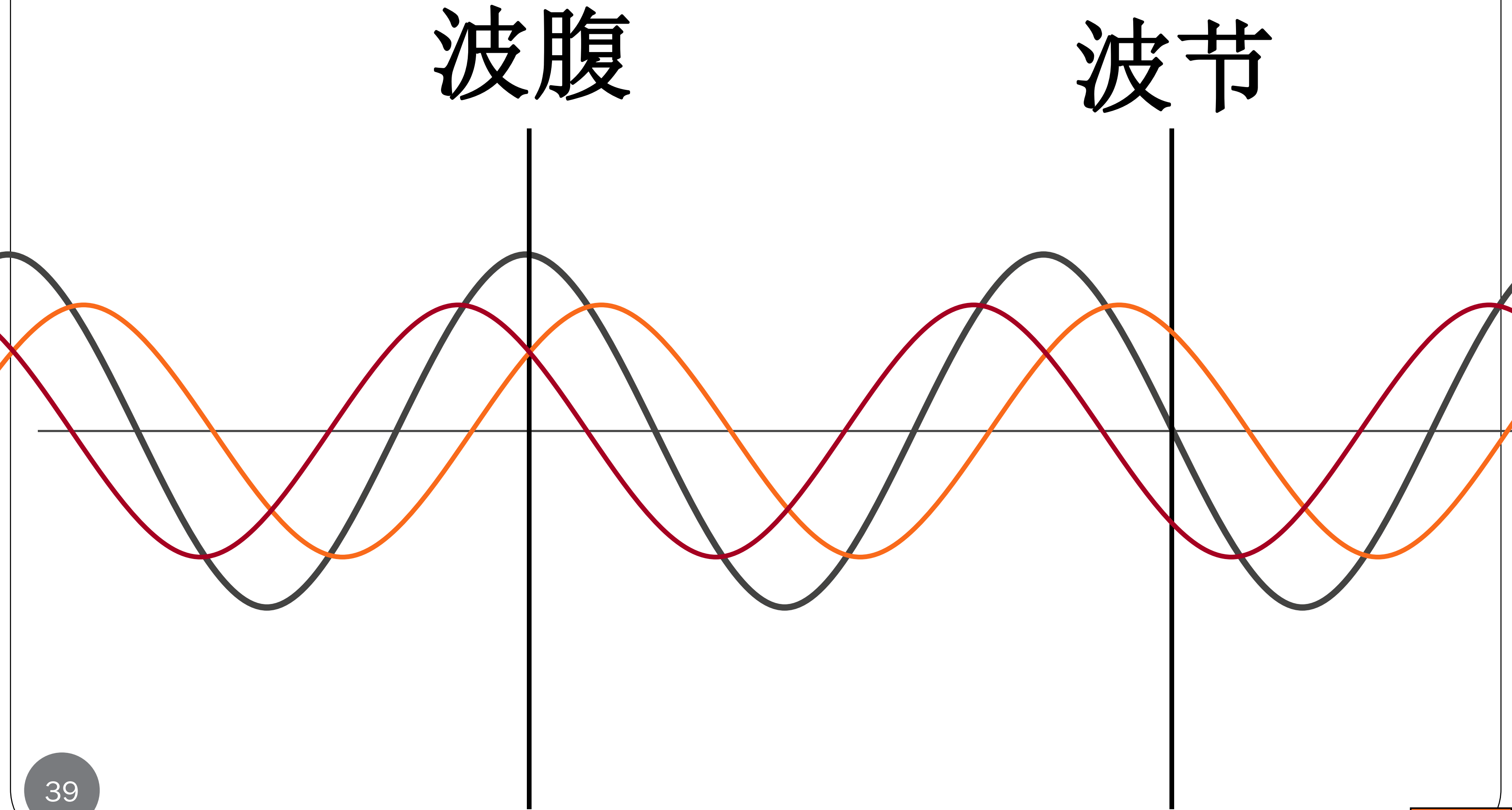
返回

驻　波



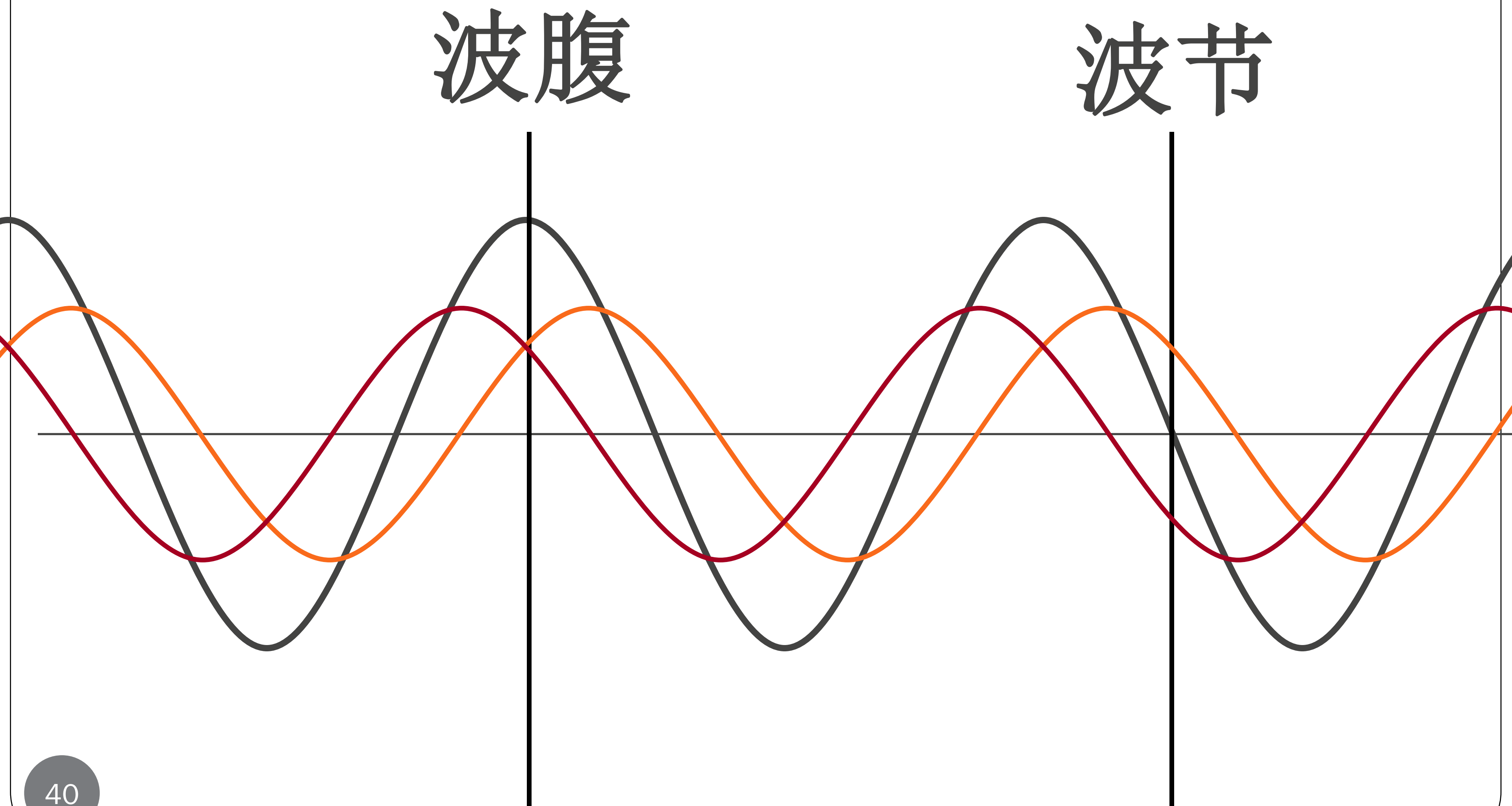
返回

驻 波



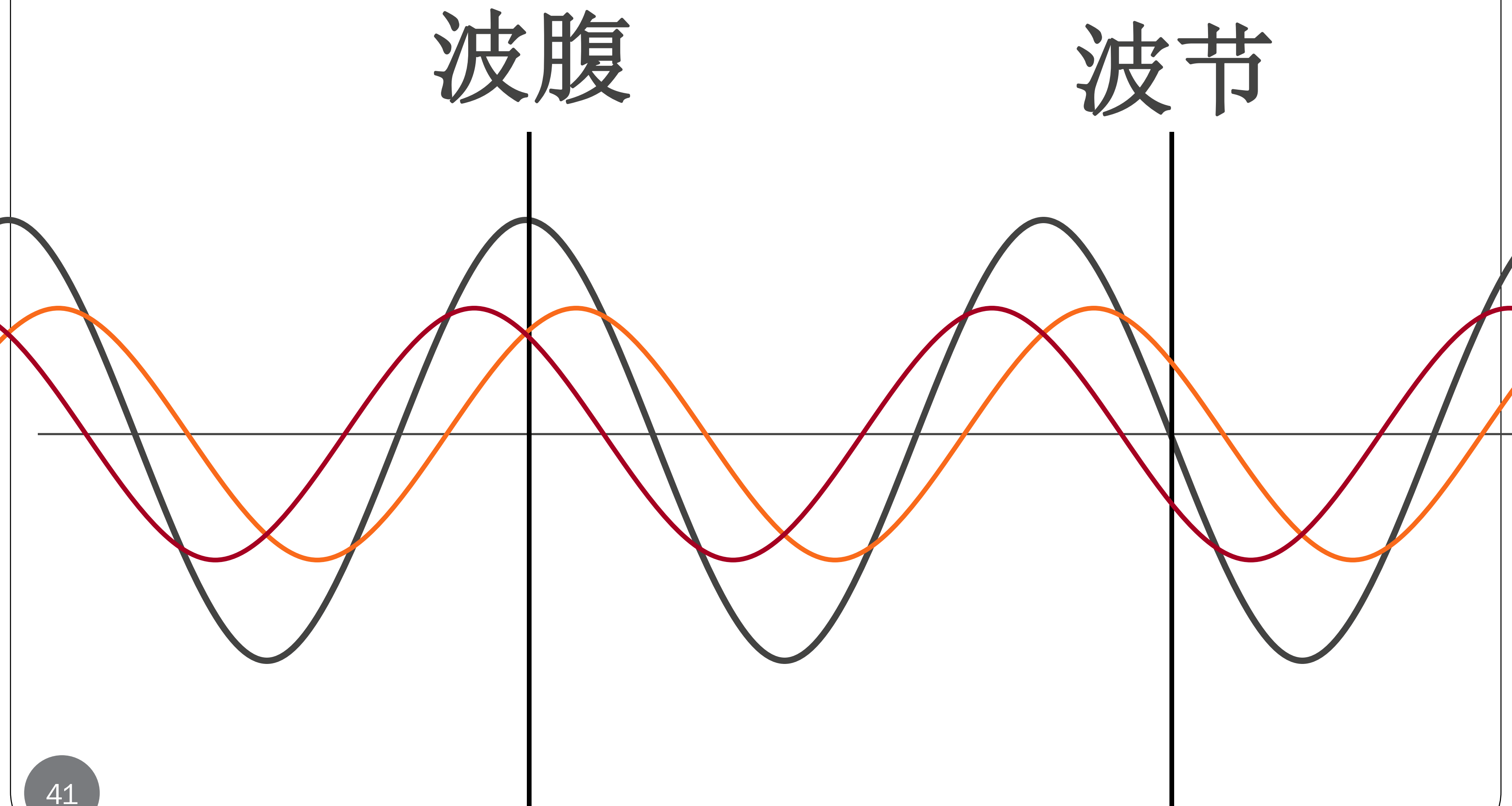
返回

驻　波



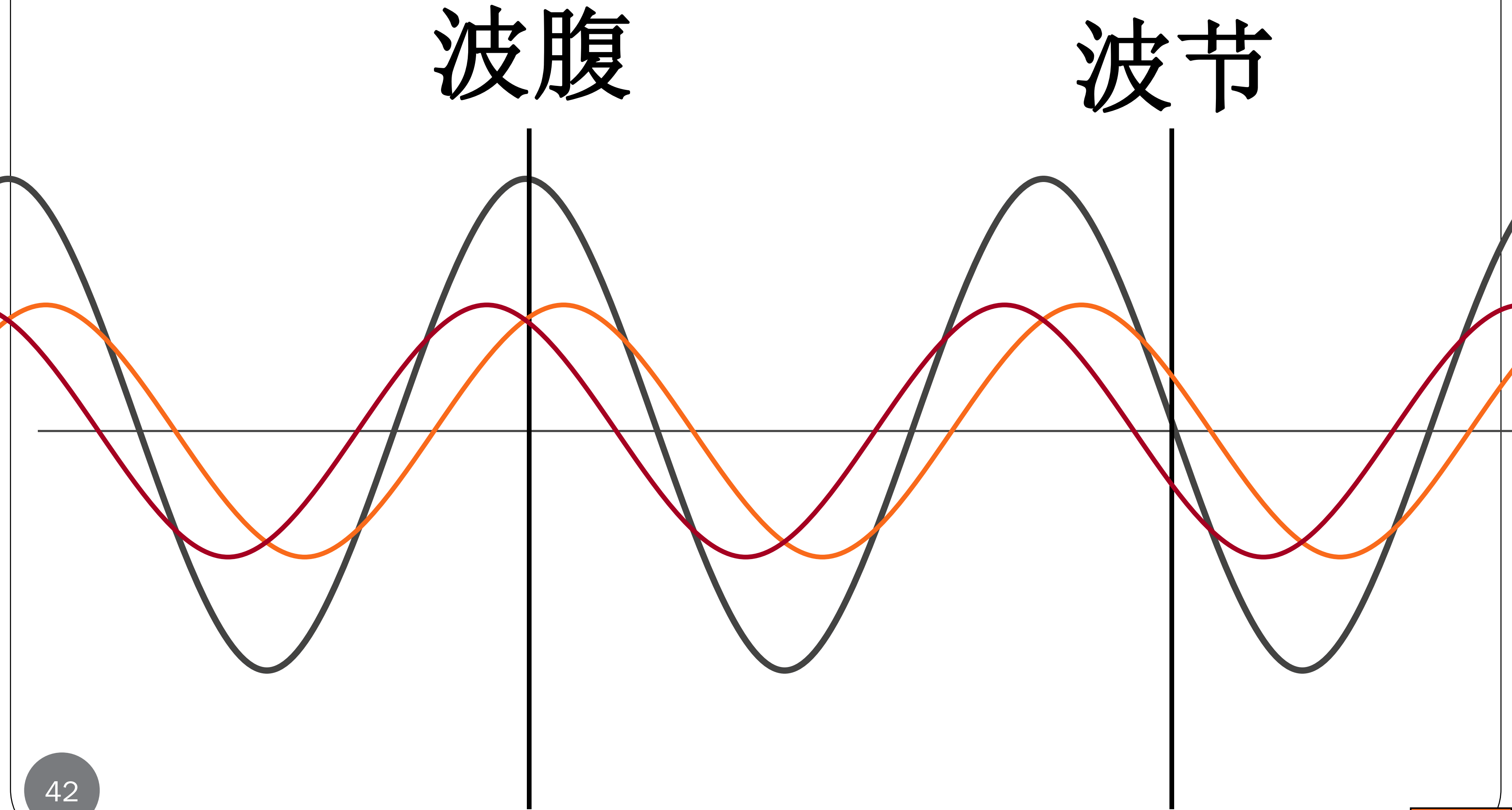
返回

驻 波



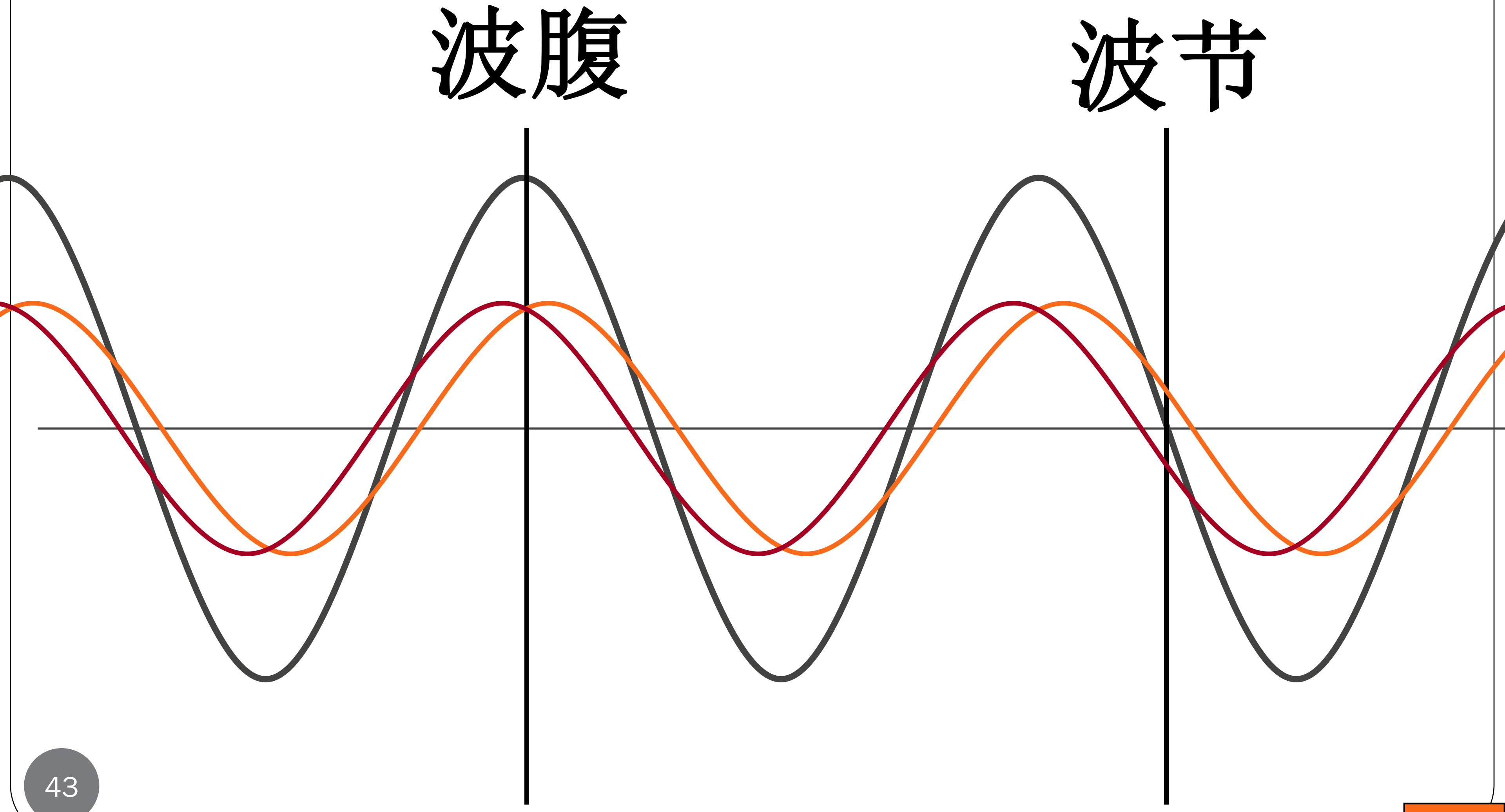
返回

驻　波



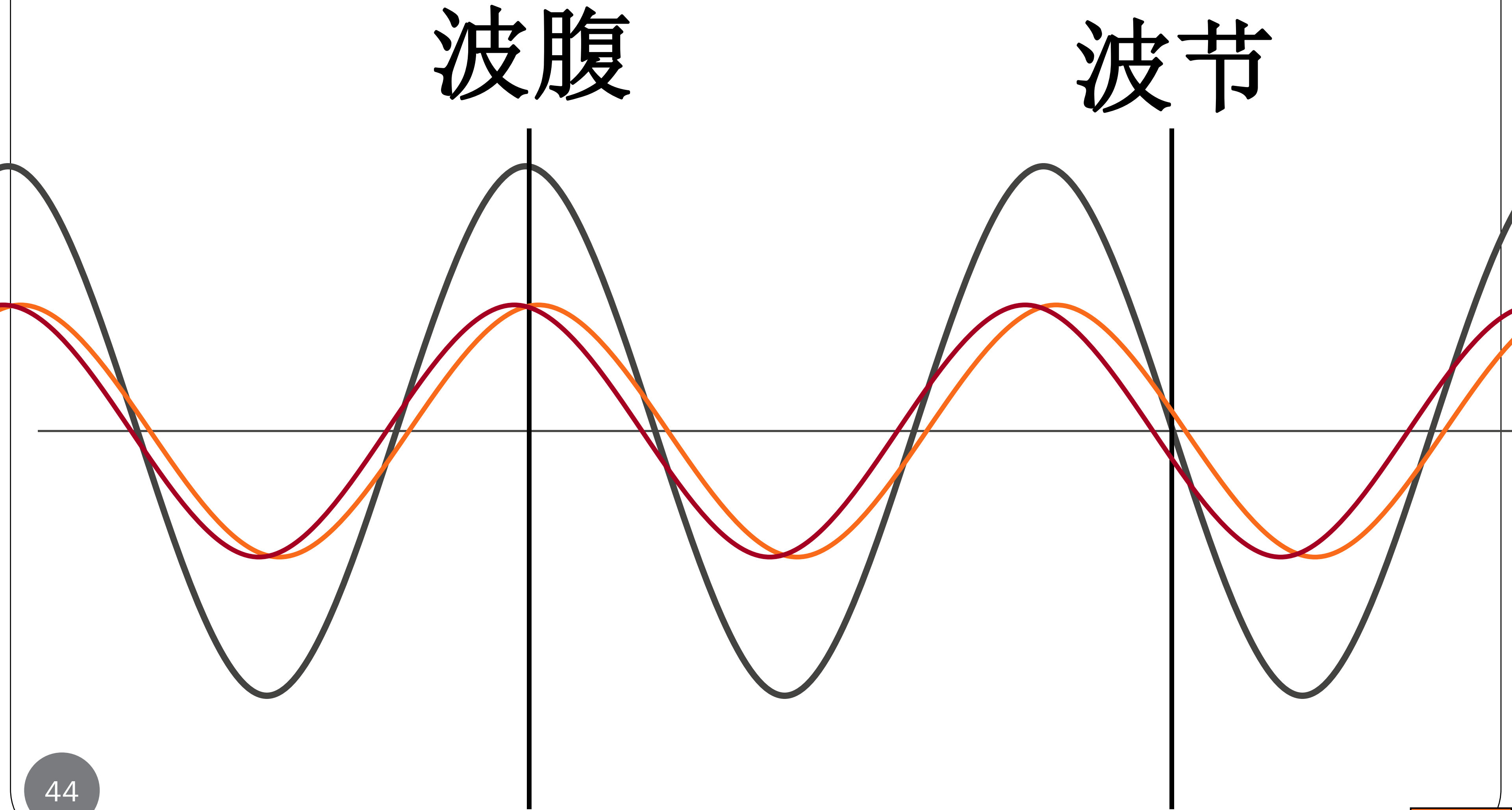
返回

驻　波



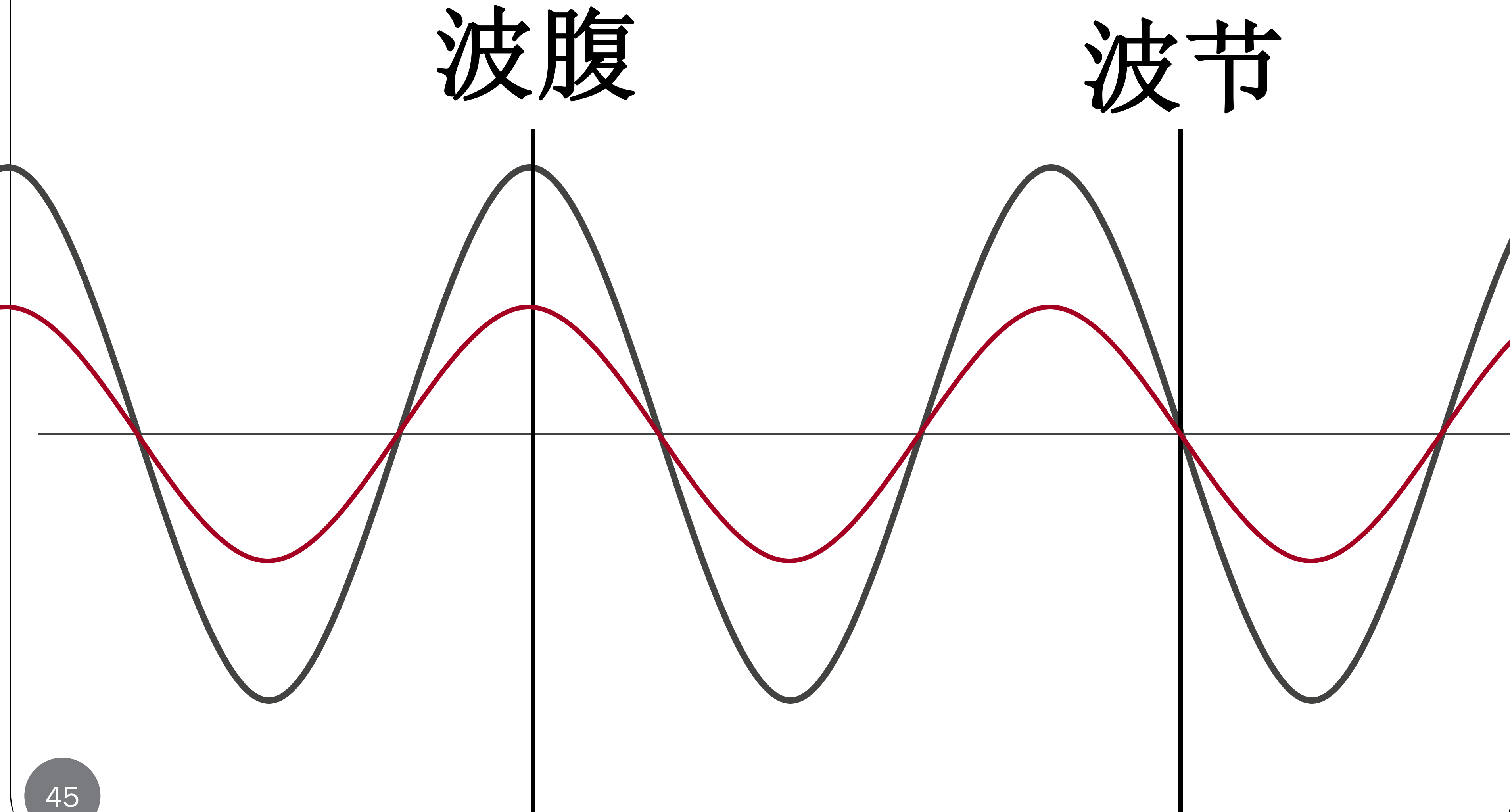
返回

驻 波



返回

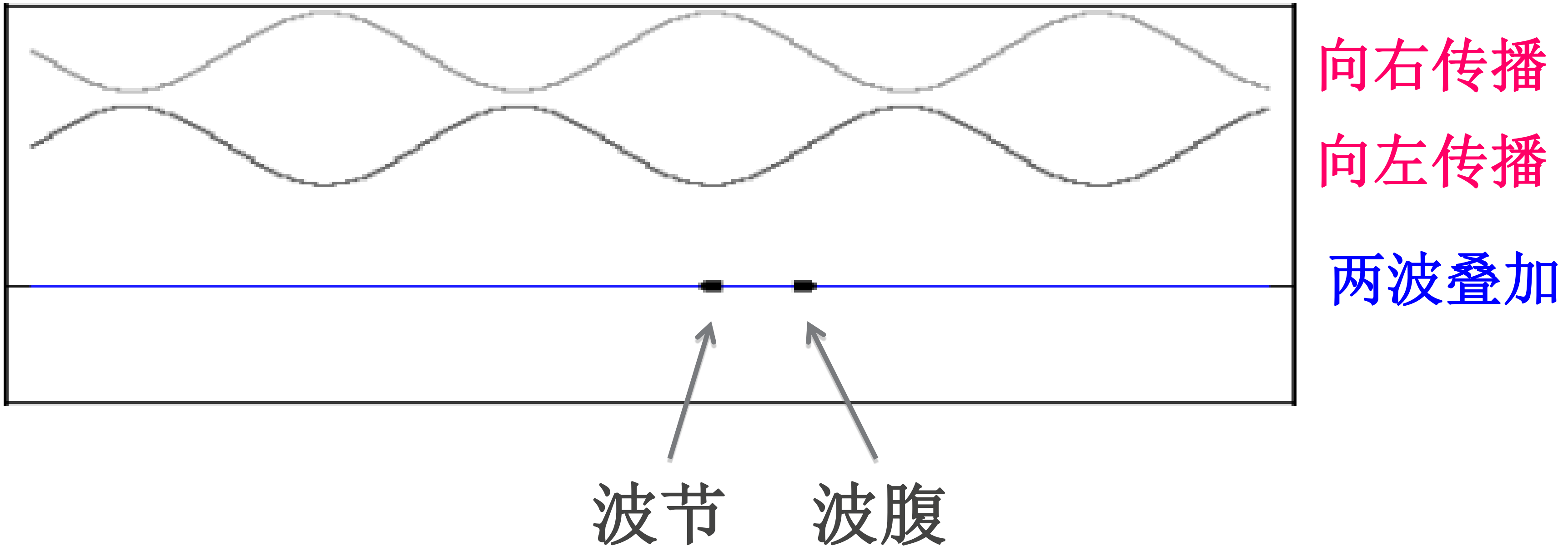
驻 波



返回

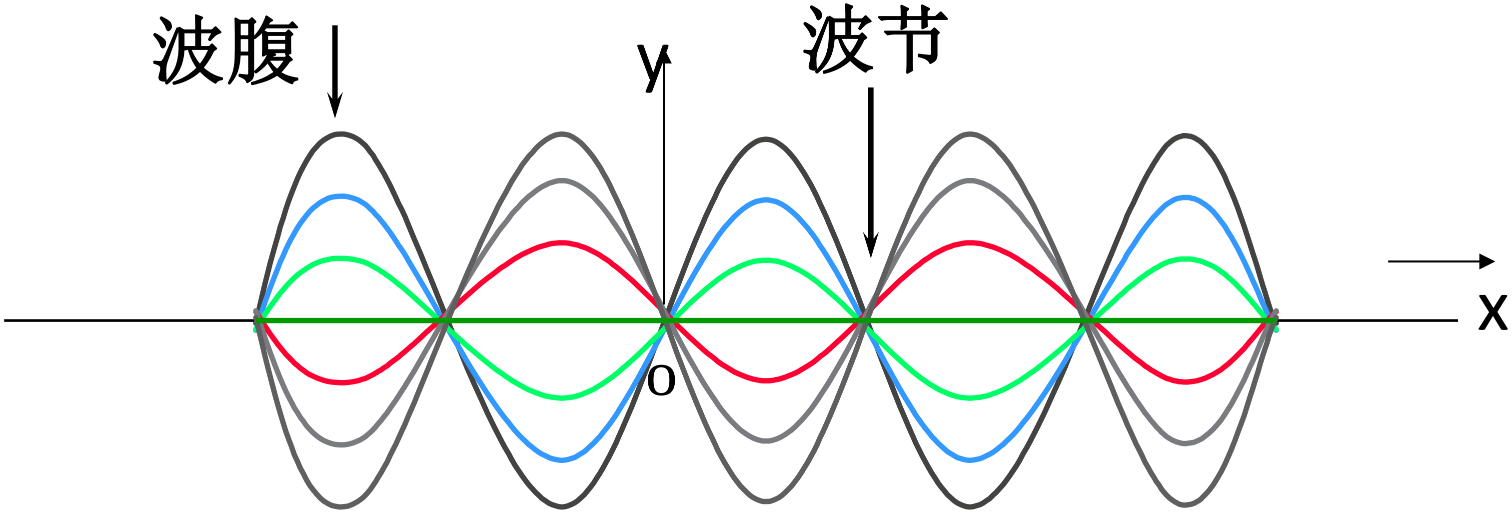
驻波的形成 动画演示

驻波演示



$$y = y_1 + y_2 = (2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x)\cos\frac{2\pi}{T}t$$

3. 驻波形象



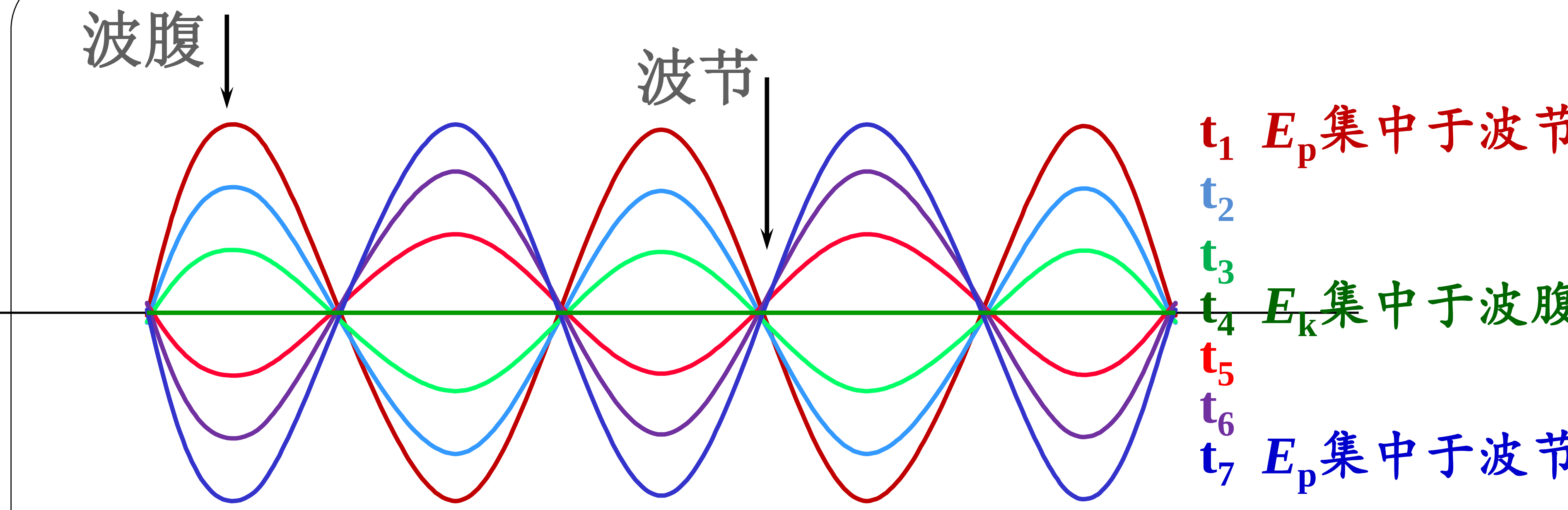
(1)有波节、有波腹

各点振幅 $A' = \left|2A\cos 2\pi\frac{x}{\lambda}\right|$ 随x作周期性变化

波腹（$A'=2A$）位置： $x = \pm 2k\frac{\lambda}{4} \quad (k = 0,1,2\ldots)$

波节（$A'=0$）位置： $x = \pm(2k+1)\frac{\lambda}{4} \quad (k = 0,1,2\ldots)$

相邻波节(或波腹)的距离： $x_{k+1} - x_k = \lambda / 2$



$$y = y_1 + y_2 = (2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x)\cos\frac{2\pi}{T}t$$

(2).相邻两波节之间的质点振动相位相同,波节两侧质点的振动相位相反。

(3).能量只在两波节间的波腹与波节转移，而无能量的定向传播

。(4).形式象波,本质却是介质质点不等幅的振动。

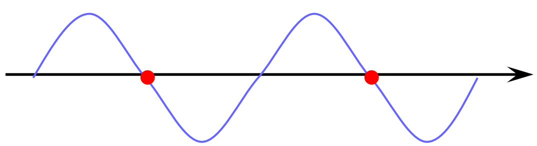
4. 驻波与行波的区别

行波

1. $$y = A\cos[\omega(t \mp \frac{x - x_0}{u}) + \varphi_{x0}]$$

（有振动状态的传播）

2. 各质元的振幅均为A

3. 

一个波段中各质元振动位相均不同.

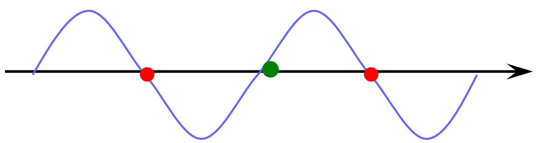
4.能量随波传播

驻波

$$y = A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\cos\frac{2\pi}{T}t$$

（无振动状态的传播）

各质元的振幅(x),范围:0~2A



相邻波节间各质元振动位相相同,一波节两边各点振动位相相反.

能量仅在相邻二波节间转换.

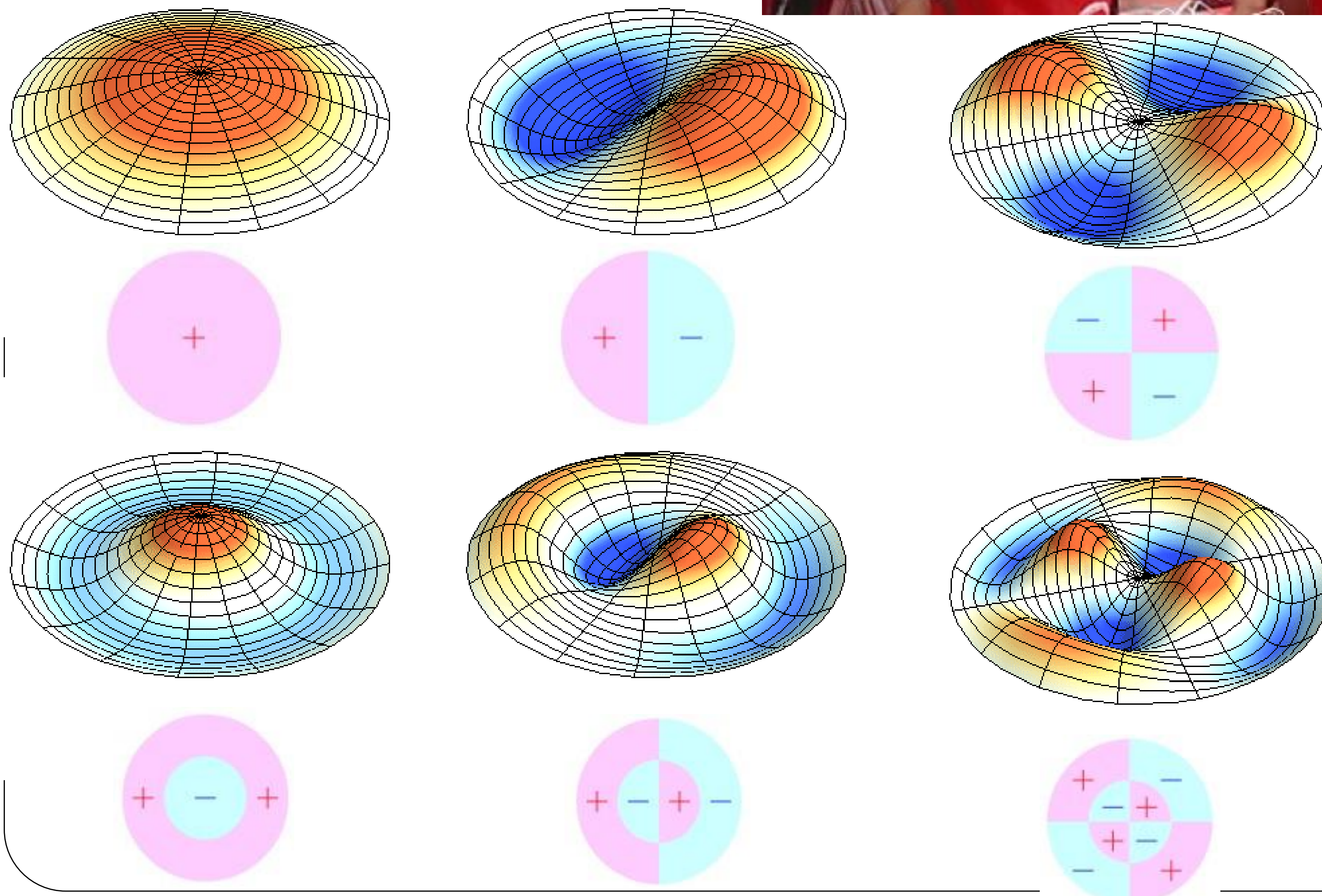
5. 能量的比较——振动、行波、驻波

	振动	行波	驻波
研究对象：	振动系统	一体元	二波节间的波段
动能：	$E_k \propto \sin^2(\omega t+\phi)$	$\frac{1}{2}\rho\Delta VA^2\omega^2\sin^2\omega(t-\frac{x}{u})$	集中在波腹附近
势能：	$E_p \propto \cos^2(\omega t+\varphi)$	$\frac{1}{2}\rho\Delta VA^2\omega^2\sin^2\omega(t-\frac{x}{u})$	集中在波节附近
总能量：	$E=\frac{1}{2}kA^2$ (守恒)	$\rho\Delta VA^2\omega^2\sin^2\omega(t-\frac{x}{u})$	二相邻波节间总能量守恒。
	动能 $\Leftrightarrow$ 势能	每个质元不断吸收、释放能量——能量传播。	动能 $\Leftrightarrow$ 势能 波腹 $\Leftrightarrow$ 波节 无能量的空间传播

5、驻波的应用

1). 乐器

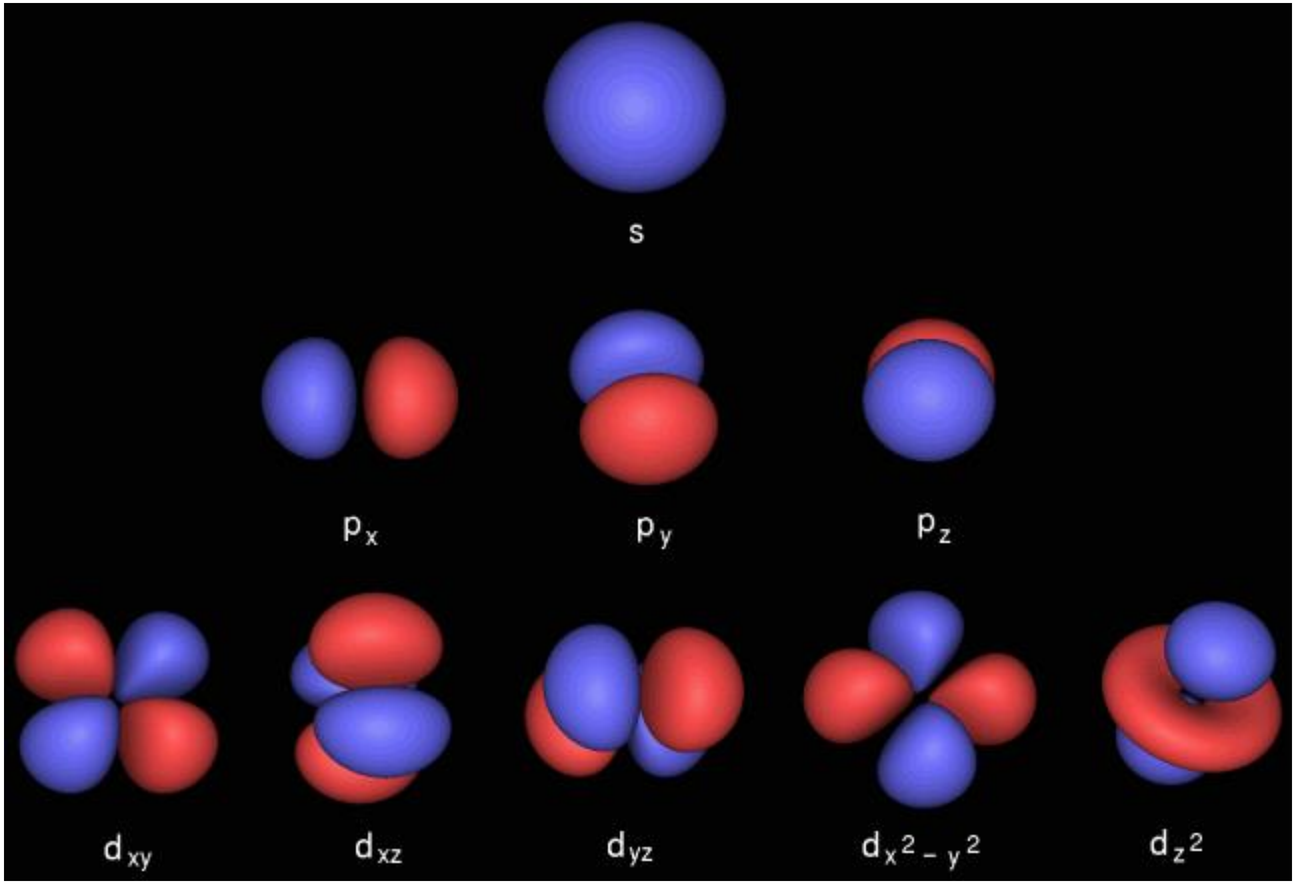
管弦乐器、打击乐器…



波节、波腹

不同的频率，
不同的音调

2).原子轨道的形状



三维驻波：波节波腹？

二、半波损失

1.波疏媒质与波密媒质

用 ρu 表示介质对波的疏密程度, 其中 ρ 是介质的密度, u 是波在介质中的传播速度。

ρu 小表示波疏介质， ρu 大表示波密介质。

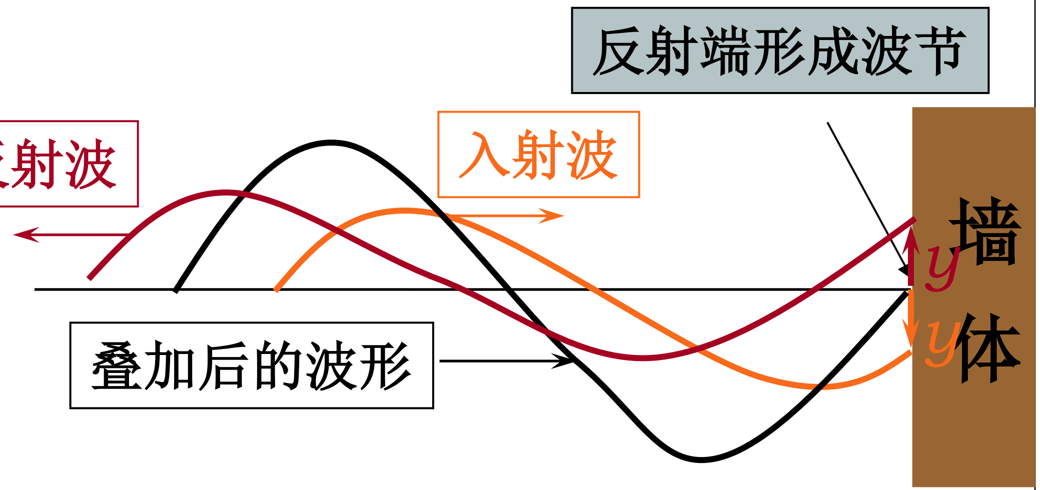
2.实验表明:

波从波疏媒质入射到波密媒质，反射端是波节。

$$y_{入} = A\cos(\omega t + \varphi)$$

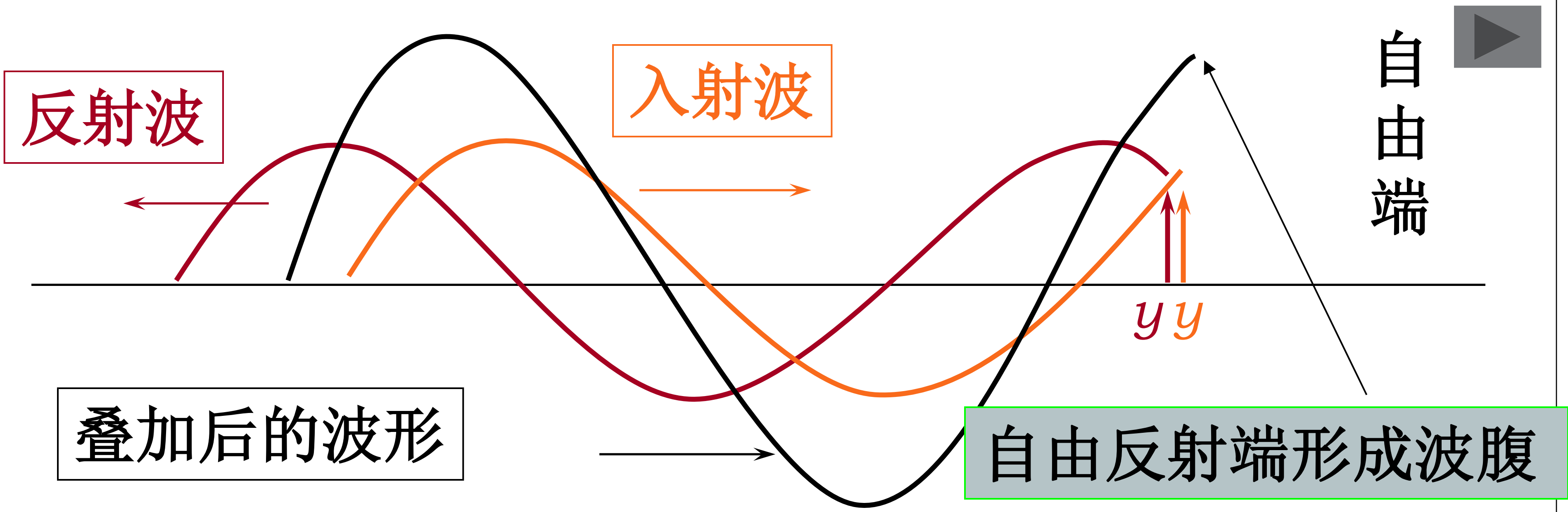
$$y_{反射端} = y_{入} + y_{反} = 0$$

$$y_{反} = A\cos(\omega t + \varphi + \pi)$$



入射波到达两种媒质分界面时发生相位突变（在反射端入射波和反射波相位相反）,这一现象称为半波损失

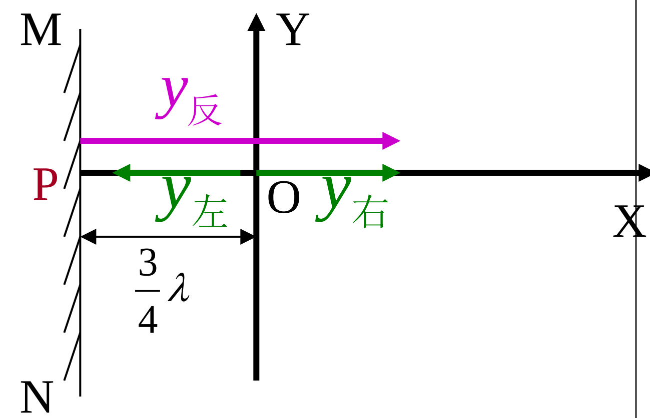
波从波密媒质入射到波疏媒质，**反射端是波腹(自由端）。**



在反射端入射波和反射波相位相同，反射无半波损失

[例]：已知 $x=0$ 处有一 $y_o = A\cos\omega t$ 的振源，产生的波沿 x 轴正、负方向传播。波长为 λ，MN 为一波密反射面。

求：合成波



分析：OMN区域内的合成波：

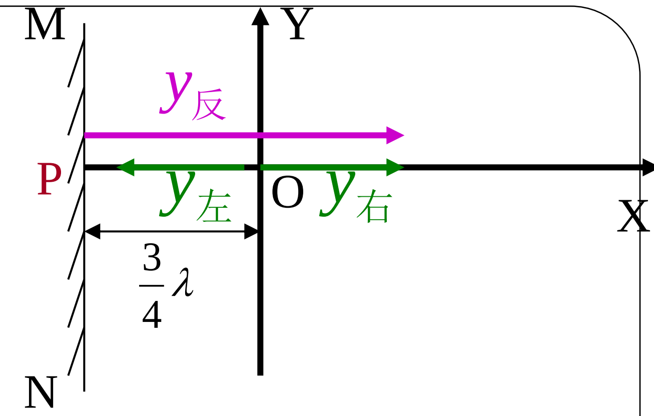
$$y_{合} = y_{左} + y_{反}$$

$x>0$ 区域内的合成波：

$$y'_{合} = y_{反} + y_{右}$$

其中：

$$y_{右} = A\cos\left[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x\right] \qquad y_{左} = A\cos\left[\frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi}{\lambda}x\right]$$



解： $y_{入}^{P} = A\cos[\frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi}{\lambda}x]_{x=-\frac{3}{4}\lambda}$

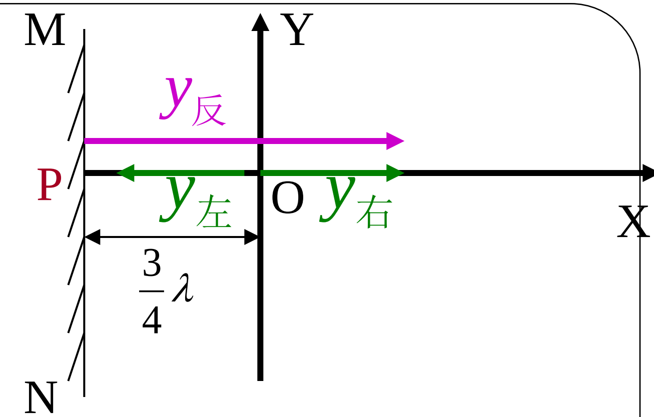
$$= A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{3}{2}\pi]$$

$$y_{反}^{P} = A\cos[(\frac{2\pi}{T}t - \frac{3}{2}\pi) + \pi] = A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{1}{2}\pi]$$

$$y_{反} = A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}(x - x_{p}) - \frac{1}{2}\pi] \qquad [P]$$

$$\xlongequal{x_{p} = -\frac{3}{4}\lambda} A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x] \qquad [O]$$

另解：$y_{反}=A\cos[\frac{2\pi}{T}t-\frac{2\pi}{\lambda}x+\alpha]$



其中：α为反射波在$x=0$处的初相

振源o处初相$\varphi=0$

入射波在P点位相落后o的位相为：$\varphi'=2\pi\frac{3\lambda/4}{\lambda}=\frac{3}{2}\pi$

反射波在o点位相落后P的位相为：$\varphi''=\varphi'=\frac{3}{2}\pi$

且在P点存在半波损失，

故反射波在o点位相较振源o点的位相落后：$2\times(\frac{3}{2}\pi)+\pi=4\pi$

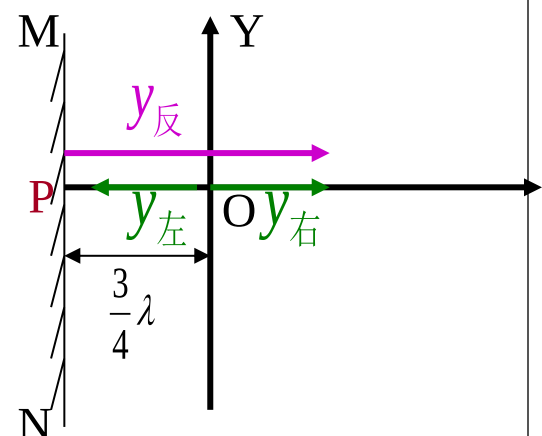
即：$\alpha=4\pi$　　$\therefore y_{反}=A\cos[\frac{2\pi}{T}t-\frac{2\pi}{\lambda}x]$

OMN区域内的合波：

$$y_{合} = y_{左} + y_{反}$$

$$= A\cos[\frac{2\pi}{T}t + \frac{2\pi}{\lambda}x] + A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x]$$

$$= 2A\cos\frac{2\pi}{\lambda}x\cos\frac{2\pi}{T}t$$ —— 驻波



$x > 0$区域内的合成波：

$$y'_{合} = y_{反} + y_{右}$$

$$= A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x] + A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x]$$

$$= 2A\cos[\frac{2\pi}{T}t - \frac{2\pi}{\lambda}x]$$ —— 行波

§ 5-8 多普勒效应

一、多普勒效应的概念

当波源、观察者彼此存在相对运动时，观察者接收到的频率与波源发出的频率不同的现象。

声波：频率决定音调
（不是音量）

光波：频率决定颜色
（不是光强）

物理学家多普勒
(1803~1853)
（奥地利 1992）

	波源s	介质波w	接收者r
速度	u_s	u	u_r
频率	ν_s	ν_w	ν_r

二、多普勒效应的物理机制分析

$1.u_s = 0, u_r \neq 0$

接收者和波前相对速度： $u + u_r$

所以接收者接收到频率为：

∵ 波源不动

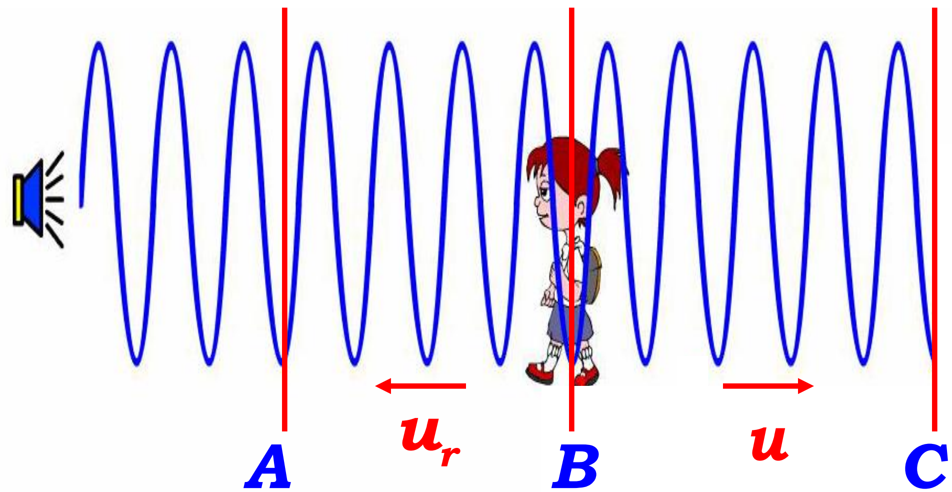
$\therefore \nu_\omega = \nu_s$

$$\nu_r = (u + u_r) / \lambda$$

$$= (u + u_r) / (u / \nu_w)$$

$$= \frac{u + u_r}{u} \nu_w$$

$$= \frac{u + u_r}{u} \nu_s$$



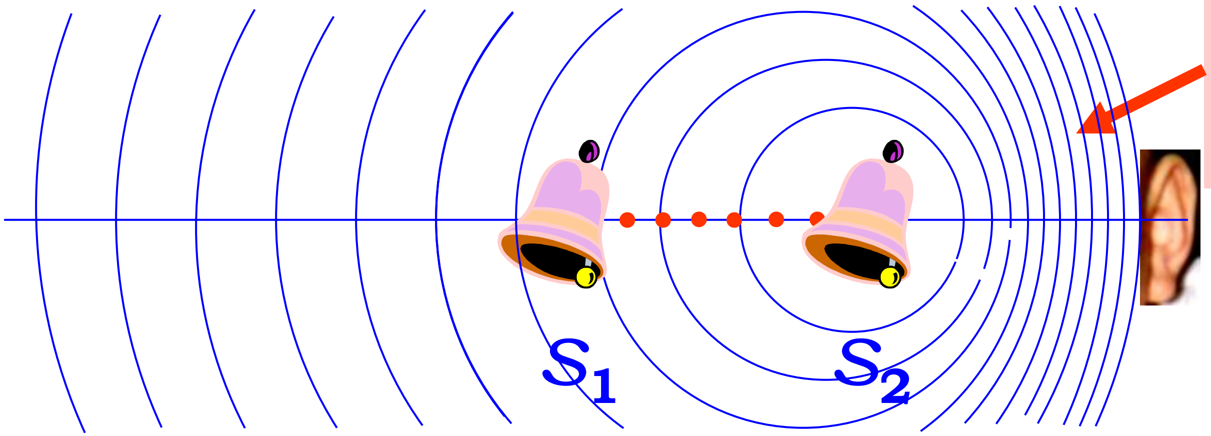
接收者向着波源运动： $u_r > 0$

接收者远离波源运动： $u_r < 0$

本质：单位时间

接收波数变化!!

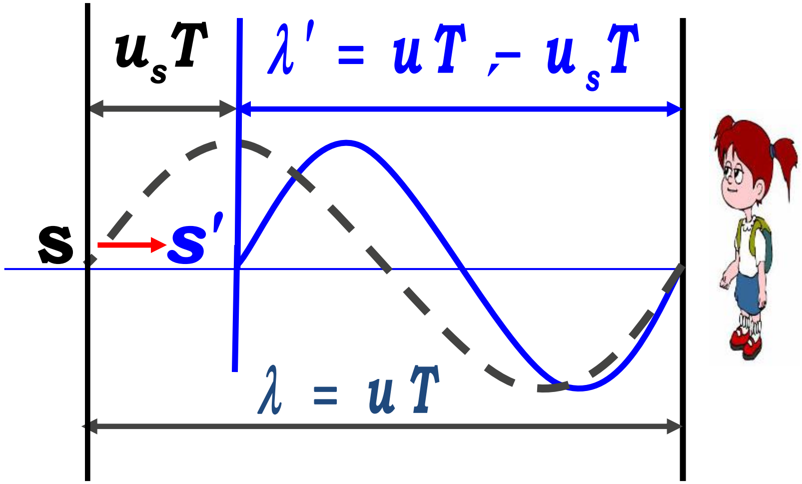
2。$u_r=0$、$u_s \neq 0$



由于波源的运动引起波长变化

$$\nu_r = \nu_w = \frac{u}{\lambda'}$$

$$= \frac{u}{u-u_s}\nu_s$$



波源向着接收者运动：$u_s>0$

波源远离接收者运动：$u_s<0$

本质：波长变化!!

$$\lambda' = uT_s - u_s T_s = \frac{1}{\nu_s}(u-u_s)$$

3。$u_r \neq 0$、$u_s \neq 0$

由于观察者运动： $v_r = \dfrac{u+u_r}{u} v_w$

由于波源运动： $v_w = \dfrac{u}{u-u_s} v_s$

$$v_r = \left(\frac{u+u_r}{u-u_s}\right) v_s$$

观察者趋近波源u_r（+），反之u_r（–）；

波源趋近观察者u_s（+），反之u_s（–）。

结论：

不论是波源运动，还是观察者运动，或是二者同时运动，定性地说，只要二者互相接近，接受到的频率就高于原来波源的频率；二者互相远离，接受到的频率就低于原来波源的频率。

多普勒效应的物理机制分析小结

	观察者动	波源动	观察者动 波源动	结　论
关系式	$\dfrac{\nu_r}{\nu_s}=\dfrac{u+u_r}{u}$	$\dfrac{\nu_r}{\nu_s}=\dfrac{u}{u-u_s}$	$\dfrac{\nu_r}{\nu_s}=\dfrac{u+u_r}{u-u_s}$	波源与 观察者
本　质	波数增减	波长压拉	波数增减 波长压拉	接近$\nu_r>\nu_s$ 远离$\nu_r<\nu_s$