# فصل سه: نوسان و موج

## حرکت هماهنگ ساده

### – مفاهیم اولیهٔ حرکت دوره‌ای –

- **نوسان دوره‌ای:** نوسان‌هایی که در هر دوره عیناً تکرار می‌شوند و به هر دور آن چرخه (سیکل) می‌گویند.
- **دورهٔ تناوب (T):** مدت‌زمان یک چرخه (بدیهی است یکای آن ثانیه باشد. ☺)

**توجه** اگر متحرک در زمان t، n نوسان کامل انجام دهد، خواهیم داشت:

$$T = \frac{t}{n}$$

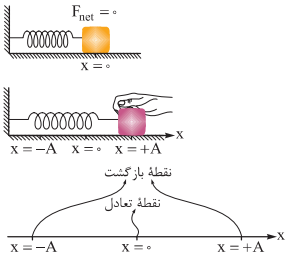
- **بسامد یا فرکانس (f):** تعداد چرخه‌های طی‌شده در هر یک ثانیه (یکای آن در SI، هرتز (Hz) یا $\frac{1}{S}$ است.)

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{t}$$

### – حرکت هماهنگ ساده (SIM) –

- به نوسان‌هایی که به طور سینوسی رخ می‌دهند، حرکت هماهنگ ساده می‌گویند.
- معروف‌ترین نمونهٔ این نوسان، حرکت جسم متصل به فنر است.

#### چند اصطلاح مهم:




**الف) نوسانگر:** جسم متصل به فنر که در حال نوسان است.

**ب) نقطهٔ تعادل:** نقطه‌ای روی محور x که در آن‌جا نیروی خالص وارد بر جسم متصل به فنر، صفر است.

**پ) دامنه (A):** بیشینهٔ جابه‌جایی جسم نسبت به نقطهٔ تعادل

**ت) نقطهٔ بازگشت:** دو نقطهٔ $x = +A$ و $x = -A$ که در آن‌جا جسم تغییر جهت می‌دهد.

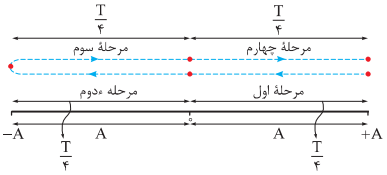
**ث) پاره‌خط نوسان:** مسیری که جسم روی آن نوسان می‌کند (طول پاره‌خط نوسان ۲ برابر دامنه است).

**ج) بسامد زاویه‌ای:** بسامد زاویه‌ای از رابطهٔ روبه‌رو حساب می‌شود:

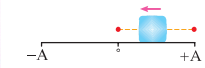
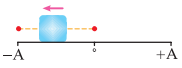
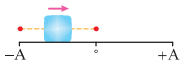
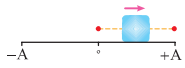
$$\omega = 2\pi f \quad \text{یا} \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

یکای آن در SI: $\frac{rad}{s}$

### – بررسی چند کمیت در حرکت هماهنگ ساده –




مسافت طی‌شده در هر نوسان: ۴A

| مرحله | اول | دوم | سوم | چهارم |
|---|---|---|---|---|
| شکل |  |  |  |  |
| مکان (x) | $x > 0 \ , \ \lvert x \rvert : \downarrow$ | $x < 0 \ , \ \lvert x \rvert : \uparrow$ | $x < 0 \ , \ \lvert x \rvert : \downarrow$ | $x > 0 \ , \ \lvert x \rvert : \uparrow$ |

| مرحله | اول | دوم | سوم | چهارم |
|---|---|---|---|---|
| سرعت (v) | $v < 0 \ , \ \lvert v \rvert : \uparrow$ | $v < 0 \ , \ \lvert v \rvert : \downarrow$ | $v > 0 \ , \ \lvert v \rvert : \uparrow$ | $v > 0 \ , \ \lvert v \rvert : \downarrow$ |
| شتاب (a) | $a < 0 \ , \ \lvert a \rvert : \downarrow$ | $a > 0 \ , \ \lvert a \rvert : \uparrow$ | $a > 0 \ , \ \lvert a \rvert : \downarrow$ | $a < 0 \ , \ \lvert a \rvert : \uparrow$ |
| تکانه (p) | $p < 0 \ , \ \lvert p \rvert : \uparrow$ | $p < 0 \ , \ \lvert p \rvert : \downarrow$ | $p > 0 \ , \ \lvert p \rvert : \uparrow$ | $p > 0 \ , \ \lvert p \rvert : \downarrow$ |
| نیرو (F) | $F < 0 \ , \ \lvert F \rvert : \downarrow$ | $F > 0 \ , \ \lvert F \rvert : \uparrow$ | $F < 0 \ , \ \lvert F \rvert : \downarrow$ | $F < 0 \ , \ \lvert F \rvert : \uparrow$ |
| انرژی پتانسیل (U) | $U : \downarrow$ | $U : \uparrow$ | $U : \downarrow$ | $U : \uparrow$ |
| انرژی جنبشی (K) | $K : \uparrow$ | $K : \downarrow$ | $K : \uparrow$ | $K : \downarrow$ |
| انرژی مکانیکی (E) | ثابت: E | ثابت: E | ثابت: E | ثابت: E |

@DaneshSad

## نکته

بررسی کمیت‌های بالا در نقاط بازگشت و تعادل:




| | | |
|---|---|---|
| $x = -x_{max} = -A$ | $x = 0$ | $x = +x_{max} = +A$ |
| $v = 0$ | $v = \pm v_{max}$ | $v = 0$ |
| $p = 0$ | $p = \pm p_{max}$ | $p = 0$ |
| $a = +a_{max}$ | $a = 0$ | $a = -a_{max}$ |
| $F = +F_{max}$ | $F = 0$ | $F = -F_{max}$ |
| $U = U_{max}$ | $U = 0$ | $U = U_{max}$ |
| $K = 0$ | $K = K_{max}$ | $K = 0$ |

## معادلهٔ حرکت هماهنگ ساده

$$x = A\cos(\omega t)$$

- $x$: مکان متحرک در لحظهٔ $t$ (m)
- $A$: دامنهٔ نوسان (m)
- $\omega$: بسامد زاویه‌ای (rad/s)

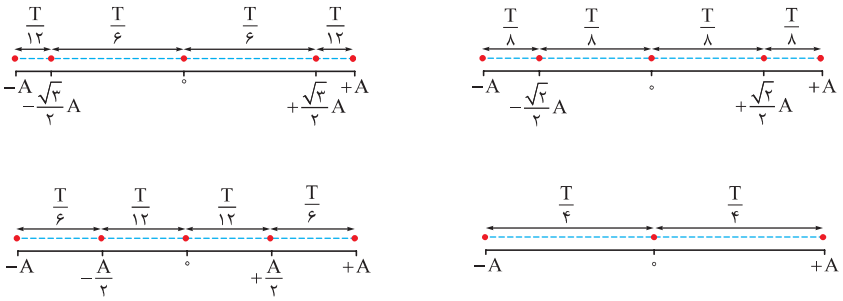
**توجه** هر یکایی برای دامنه در نظر بگیرید، مکان نوسانگر هم با همان یکا به دست می‌آید.

## نکته

**نوسانگر در لحظه‌های**

- $t = n(\frac{T}{2})$ : در نقطهٔ بازگشت قرار دارد.
- $t = (2n-1)\frac{T}{4}$ : در نقطهٔ تعادل قرار دارد.

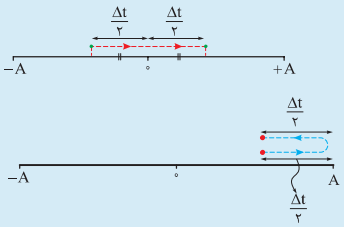
## مدت‌زمان جابه‌جایی در حالت‌های خاص




## نکته

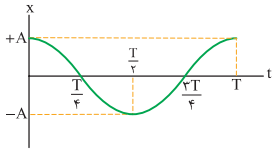
**مسافت طی‌شده در یک بازهٔ زمانی معین**

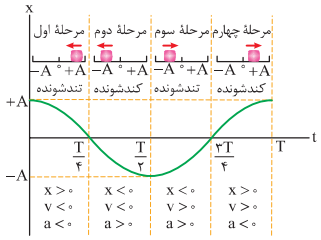
- بیشترین: متقارن حول نقطهٔ تعادل جابه‌جا شود.
- کم‌ترین: متقارن حول نقطهٔ بازگشت جابه‌جا شود.




## نمودار مکان ـ زمان در حرکت هماهنگ ساده

با توجه به معادلهٔ مکان ـ زمان این حرکت خواهیم داشت:

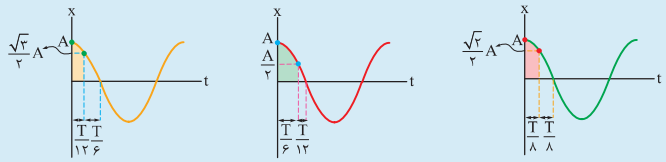


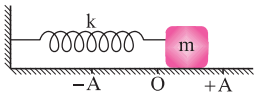

@DaneshSad

## نکته

برای نقاط معروف، نمودار مکان ـ زمان به صورت‌های زیر است:



### – عوامل مؤثر بر سامانهٔ جرم ـ فنر –




جسمی به جرم m به فنری با ثابت k متصل و در حال نوسان است. آن‌گاه

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

**توجه** یکاها

- $k$ برحسب $(N/m)$
- $m$ برحسب $(kg)$
- $\omega$ برحسب $(rad/s)$
- $T$ برحسب $(s)$
- $f$ برحسب $(Hz)$

## نکته

بسامد زاویه‌ای سامانهٔ جرم ـ فنر به دامنهٔ نوسان بستگی ندارد.

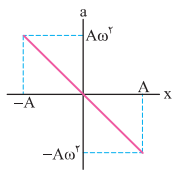
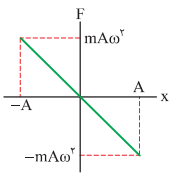
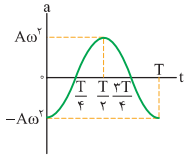
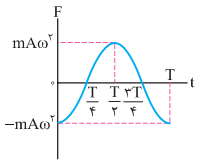
### – شتاب و نیرو در حرکت هماهنگ ساده –

$$F = -m\omega^2 x$$

## نکته

اندازهٔ شتاب نوسانگر در نقاط بازگشت بیشینه است. $\Leftarrow$ $a_{max} = \omega^2 A \ , \ F_{max} = m\omega^2 A$

**نمودارهای شتاب و نیرو**

| نام | شتاب ـ مکان | نیرو ـ مکان | شتاب ـ زمان | نیرو ـ زمان |
|---|---|---|---|---|
| معادله | $a = -\omega^2 x$ | $F = -m\omega^2 x$ | $a = -A\omega^2 \cos\omega t$ | $F = -mA\omega^2 \cos\omega t$ |
| نمودار |  |  |  |  |

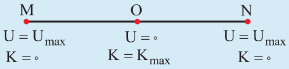
### – انرژی در حرکت هماهنگ ساده –

**انرژی‌ها**

| نام | انرژی پتانسیل کشسانی | انرژی جنبشی | انرژی مکانیکی |
|---|---|---|---|
| فرمول | در کتاب درسی فرمول ندارد. | $K = \frac{1}{2}mv^2$ | $E = \frac{1}{2}kA^2$<br>$E = 2\pi^2 mf^2 A^2$<br>$E = \frac{1}{2}m\omega^2 A^2$ |

## نکته

بیشینه و کمینهٔ انرژی جنبشی و پتانسیل کشسانی:




@DaneshSad

## بررسی نسبت انرژی‌ها در حرکت هماهنگ ساده

اگر در یک نقطه از مسیر حرکت، تندی نوسانگر برابر «v» باشد، خواهیم داشت:

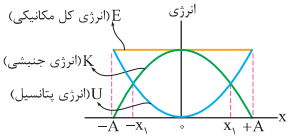
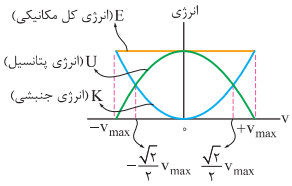
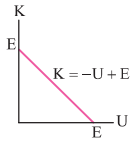
$$\begin{cases}\frac{K}{E}=(\frac{v}{v_{max}})^{2}\\ \frac{U}{E}=\frac{E-K}{E}=1-(\frac{v}{v_{max}})^{2}\end{cases}$$

### نکته

در لحظه‌ای که $U=K$ باشد، تندی نوسانگر برابر $\frac{\sqrt{2}}{2}v_{max}$ است.

## نمودارهای انرژی در حرکت هماهنگ ساده

**نمودارهای انرژی**

| نام | انرژی ـ مکان | انرژی ـ سرعت | انرژی جنبشی ـ انرژی پتانسیل کشسانی |
|---|---|---|---|
| نمودار |  |  |  |

## آونگ ساده

**روابط بسامد زاویه‌ای و دورهٔ تناوب و بسامد**

| بسامد زاویه‌ای | دورهٔ تناوب | بسامد |
|---|---|---|
| $\omega=\sqrt{\frac{g}{L}}$ | $T=2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$ | $f=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{L}}$ |

یکاها: $L$ برحسب متر، $g$ برحسب متر بر مربع ثانیه

### نکته

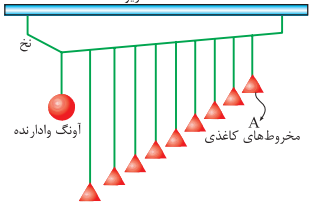
دوره، بسامد و بسامد زاویه‌ای آونگ ساده، به جرم و دامنهٔ آن بستگی ندارند.

**یادآوری** در یک سیاره: $g=\frac{GM}{R^{2}}$ (M: جرم سیاره، R: شعاع سیاره)

## تشدید یا رزونانس

- **نوسان آزاد، بسامد طبیعی:** نوسانگری که بدون اعمال نیرویی خارجی در حال نوسان است. در این حالت به بسامد نوسانگر، بسامد طبیعی ($f_0$) می‌گوییم.
- **نوسان واداشته، بسامد واداشته:** نوسانگری‌که با اعمال نیروی خارجی، با بسامد دلخواه در حال نوسان است. در این حالت به بسامد نوسانگر، بسامد واداشته ($f_D$) می‌گوییم.
- **تشدید:** هرگاه بسامد واداشته با بسامد طبیعی نوسانگر برابر شد ($f_D=f_0$)، دامنهٔ نوسان حداکثر مقدار خود را پیدا می‌کند. در این حالت می‌گوییم نوسانگر دچار تشدید شده است.

## آونگ بارتون




مطابق شکل، از چندین آونگ سبک با طول‌های متفاوت و یک آونگ سنگین (آونگ وادارنده) تشکیل شده است. با نوسان آونگ وادارنده، آونگ هم‌طول با آن دچار تشدید شده و با دامنهٔ بیشینه نوسان می‌کند.

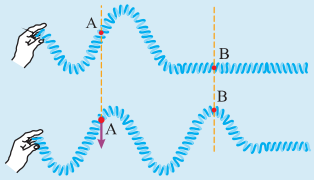
@DaneshSad

# موج

انتقال ارتعاشات ایجادشده در محیط کشسان که همراه با انتقال انرژی است.

## نکته

در انتشار موج، ذرات جابه‌جا نمی‌شوند و فقط در محل خود ارتعاش دارند.

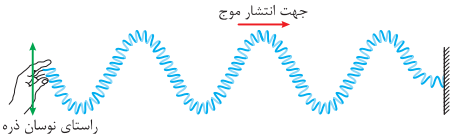
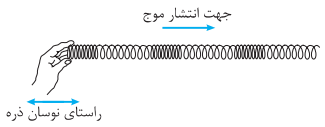



## دسته‌بندی امواج

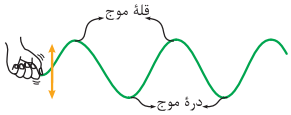
**الف) براساس ماهیت ذرات:**

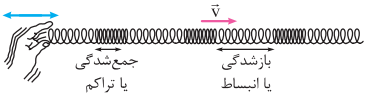
| نوع موج | ویژگی | نمونه |
|---|---|---|
| مکانیکی | برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند و در خلأ منتشر نمی‌شوند. | امواج زلزله، صوت، امواج آب |
| الکترومغناطیسی | برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند و در خلأ هم منتشر می‌شوند. | نور، امواج رادیویی، پرتو X |

**ب) براساس راستای انتشار موج و راستای نوسان:**

| نوع موج | ویژگی | تصویر موج | نمونه |
|---|---|---|---|
| امواج عرضی | راستای نوسان ذرات، عمود بر راستای انتشار موج است. |   | امواج الکترومغناطیسی، امواج آب، امواج تار مرتعش، امواج ثانویهٔ زلزله |
| امواج طولی | راستای نوسان ذرات در راستای انتشار موج است. |   | صوت، امواج اولیهٔ زلزله، موج در فنر کشیده‌شده |

## چند تعریف مهم



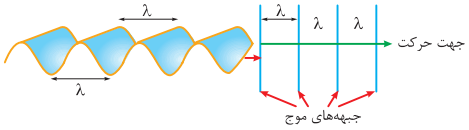

**الف) منبع (چشمه) موج:** یک نوسانگر که با ارتعاش خود، ذرات محیط را به نوسان درمی‌آورد.

**ب) تپ:** آشفتگی ایجادشده توسط منبع موج

**پ) قله و دره در موج عرضی:** به برآمدگی‌ها موج قله و به فرورفتگی‌ها دره می‌گویند.

**ت) مناطق انبساط و تراکم در موج طولی:** این تراکم و انبساط‌ها به صورت بازشدگی و جمع‌شدگی‌های متوالی است.

## مشخصه‌های موج




**الف) دامنه (A):** بیشترین جابه‌جایی ذره از مکان تعادل

**ب) دورهٔ تناوب (T):** مدت‌زمانی که هر ذره (یا چشمه) یک نوسان کامل انجام دهد.

**پ) بسامد موج (f):** بسامد چشمه یا تعداد نوسان‌های انجام‌شدهٔ هر ذره در یک ثانیه: $f = \frac{1}{T}$

**ت) طول موج ($\lambda$):** مسافت طی‌شده توسط موج در یک دورهٔ تناوب یا فاصلهٔ دو قله یا درهٔ متوالی

**ث) تندی انتشار موج (v):** مسافتی که موج در واحد زمان طی می‌کند.

$$v = \frac{\lambda}{T} \quad (\lambda: m,\ T: s,\ v: m/s) \qquad \text{یا} \qquad v = \lambda f \quad (\lambda: m,\ f: Hz,\ v: m/s)$$

@DaneshSad

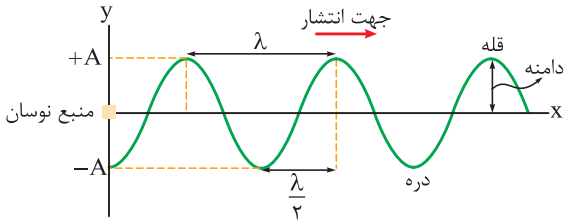
## نکته

۱ تندی انتشار موج، فقط به جنس و ویژگی‌های محیط وابسته است و به ویژگی‌های چشمهٔ موج بستگی ندارد.

۲ هر چه عمق آب بیشتر باشد، تندی انتشار موج و طول موج بیشتر است.

### نقش موج عرضی

اگر چشمهٔ موج نوسانگر هماهنگ ساده باشد، شکل موج عرضی تابعی سینوسی است.




**محور y**: راستای نوسان ذرات

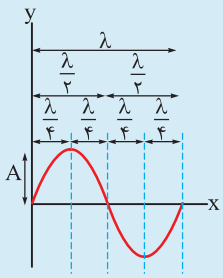
**محور x**: راستای انتشار موج

## نکته

۱ شکل روبه‌رو را به خاطر بسپارید.

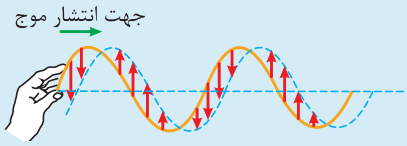
۲ الف) تندی ذرات محیط: بین صفر تا $V_{max} = A\omega$ است.

ب) تندی انتشار موج: ثابت و برابر $v = \lambda f$




۳ در شکل زیر می‌توانید جهت حرکت ذرات را با توجه به جهت انتشار موج، مشاهده کنید.

همان‌طور که می‌بینید، در هر لحظه، هر ذره در جهتی نوسان می‌کند که شبیه ذرات قبلی خود شود.




### تندی انتشار موج عرضی در یک ریسمان یا فنر

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{FL}{m}}$$

$F$: نیروی کشش (N)، $v$: تندی انتشار موج عرضی (m/s)

$\mu = \frac{m}{L}$: چگالی خطی طناب، جرم واحد طول طناب

$m$: جرم تار (kg)، $L$: طول تار (m)

اگر چگالی ($\rho$)، مساحت مقطع ریسمان ($A$) یا قطر مقطع آن ($d$) در مسئله بیان شده باشد:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho A}}$$

($\rho$: $kg/m^3$، $A$: $m^2$)

$$v = \frac{2}{d}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$$

($d$: m)

## نکته

تندی انتشار موج عرضی به طول ریسمان بستگی ندارد.

@DaneshSad

## – انتقال انرژی متوسط توسط موج عرضی –

آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) با مربع دامنه و مربع بسامد موج رابطهٔ مستقیم دارد.

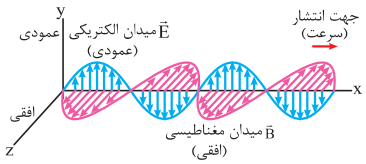
$$\frac{\bar{P}_2}{\bar{P}_1} = (\frac{A_2}{A_1})^2 \times (\frac{f_2}{f_1})^2$$

## – امواج الکترومغناطیسی –

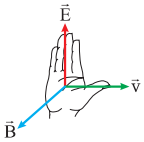
**موج الکترومغناطیسی**

**چگونگی تشکیل:** حرکت نوسانی یک ذرهٔ باردار که باعث تغییر هم‌زمان میدان الکتریکی و مغناطیسی می‌شود.

**نقش موج:**




**تشخیص جهت انتشار:** استفاده از قاعدهٔ دست راست به شکل روبه‌رو:




**ویژگی‌ها**

۱) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر هم عمودند. $(\vec{B} \perp \vec{E})$

۲) میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی همواره به جهت حرکت موج عمودند. (موج عرضی)

۳) تغییرات میدان‌ها همواره سینوسی است.

۴) نوسان میدان‌ها هم بسامد و هم‌گام است.

۵) برای انتشار نیاز به محیط مادی ندارند.

## – تندی انتشار موج الکترومغناطیسی –

تندی این امواج در خلأ از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$$

$\varepsilon_0 = 8/85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$ (ضریب گذردهی خلأ)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{T.m}{A}$ (تراوایی مغناطیسی خلأ)

## – طیف امواج الکترومغناطیسی –

همهٔ امواج زیر، با وجود کاربرد و چگونگی تولید متفاوت، ماهیت یکسانی دارند و موج‌های الکترومغناطیسی هستند.

افزایش بسامد

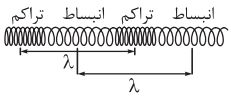
پرتوهای گاما – پرتوهای x – فرابنفش – مرئی – فروسرخ – میکروموج – امواج رادیویی

افزایش طول موج

**توجه** این طیف هیچ گسستگی‌ای ندارد.

## – موج طولی و مشخصه‌های آن –

**الف) طول موج ($\lambda$):** فاصلهٔ دو مرکز تراکم متوالی یا دو مرکز انبساط متوالی




**ب) دامنهٔ موج (A):** بیشینهٔ جابه‌جایی ذرات محیط از وضعیت تعادلشان

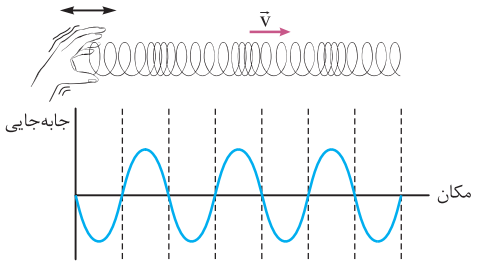
| | قله و درهٔ موج عرضی | مراکز بیشینهٔ تراکم و انبساط در موج طولی |
|---|---|---|
| جابه‌جایی ذرات | بیشینه | صفر |
| تندی ذرات | صفر | بیشینه |

**نکته**

تندی انتشار موج طولی بیشتر از تندی انتشار موج عرضی در همان محیط است.

@DaneshSad

## نمودار جابه‌جایی مکان برای موج طولی



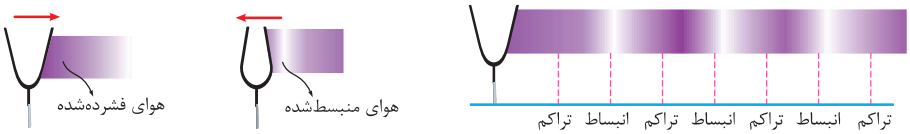

## امواج زلزله

**انواع امواج زلزله**

- **موج اولیه (p)**: موجی طولی است. تندی این موج حدود $8\ km/s$ است.
- **امواج ثانیه (s)**: موجی عرضی است. تندی این موج حدود $4/5\ km/s$ است.

## صوت

- یک موج مکانیکی و طولی است.
- در تمام جهات منتشر می‌شود، یعنی جبهه‌های موج صوتی کروی هستند.
- ارتعاش تیغه‌های دیاپازون (مثل هر چشمهٔ صوت دیگر) باعث ایجاد و انتشار جبهه‌های تراکمی و انبساطی در هوای اطراف خود می‌شود.




(الف) (ب) (پ)

### نکته

تندی انتشار صوت به جنس و دمای محیط وابسته است، به طوری که عموماً:

$v_{جامد} > v_{مایع} > v_{گاز}$

## شدت صوت (I)

انرژی‌ای که در واحد زمان از واحد سطح به طور عمود عبور می‌کند.

$$I = \frac{\frac{E}{\Delta t}}{A} \quad \left(\frac{J}{m^2.s} \text{ یا } W/m^2\right)$$

E: انرژی صوت (J)، $\Delta t$: زمان (s)، A: سطحی که صوت عمود بر آن وارد می‌شود. $(m^2)$، I: شدت صوت

$$\frac{E}{\Delta t} = P_{av} \Rightarrow I = \frac{P_{av}}{A}$$

$\frac{E}{\Delta t}$: توان متوسط صوت

### نکته

رابطهٔ شدت صوت و فاصله از چشمه:

$$I = \frac{P_{av}}{A} \xrightarrow[A=4\pi r^2]{\text{جبهه‌های موج کروی هستند.}} I = \frac{P_{av}}{4\pi r^2}$$

### نکته

آهنگ انتقال انرژی در همهٔ امواج با مربع دامنه و مربع بسامد موج متناسب است:

$$\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{A_2}{A_1} \times \frac{f_2}{f_1} \times \frac{r_1}{r_2}\right)^2$$

@DaneshSad

## – تراز شدت صوت ($\beta$) –

$$\beta = 10\log\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

($I$: شدت صوت ($W/m^2$)، $\beta$: تراز شدت صوت (دسی‌بل dB)، $I_0$: شدت صوت مرجع $= 10^{-12}\ W/m^2$)

**یادآوری** روابط لگاریتمی زیر را به خاطر بسپارید.

$$\log 10^n = n \;,\; \log A^n = n\log A \;,\; \log A \times B \;,\; \log A + \log B \;,\; \log\frac{A}{B} \;,\; \log A - \log B$$

## – اختلاف تراز شدت دو صوت –

$$\beta_2 - \beta_1 = 10\log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

## – اختلاف تراز شدت دو صوت در فاصله‌های $r_1$ و $r_2$ از منبع –

$$\beta_2 - \beta_1 = 20\log\left(\frac{r_1}{r_2}\right)$$

## – ادراک شنوایی –

**الف) بلندی**: درک انسان از شدت صوتی که می‌شنود.

**ب) ارتفاع**: درک انسان از بسامد صوتی که می‌شنود.

### نکته

۱ گوش انسان تن‌های صدای ۲۰ Hz تا ۲۰ kHz را درک می‌کند.

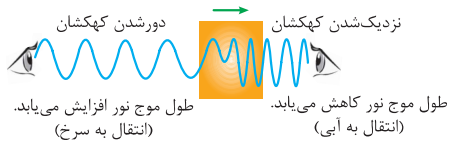
۲ بیشترین حساسیت گوش انسان در گسترهٔ بسامدی ۲kHz تا ۵kHz است.

## – اثر دوپلر –

| وضعیت ناظر (شنونده) | وضعیت منبع (چشمهٔ) صوت | بسامدی که شنونده می‌شنود | طول موج صوت |
|---|---|---|---|
| ساکن | به ناظر نزدیک شود. | بیشتر از بسامد منبع صوت است. | کاهش می‌یابد. |
| ساکن | از ناظر دور شود. | کم‌تر از بسامد منبع صوت است. | افزایش می‌یابد. |
| به منبع نزدیک شود. | ساکن | بیشتر از بسامد منبع صوت است. | ثابت می‌ماند. |
| از منبع دور شود. | ساکن | کم‌تر از بسامد منبع صوت است. | ثابت می‌ماند. |

### نکته

| اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی | |
|---|---|
| انتقال به آبی | انتقال به سرخ |
| هرگاه چشمهٔ نور به ناظر نزدیک شود، طول موج کاهش و بسامد افزایش می‌یابد. | هرگاه چشمهٔ نور از ناظر دور شود، طول موج افزایش و بسامد آن کاهش می‌یابد. |

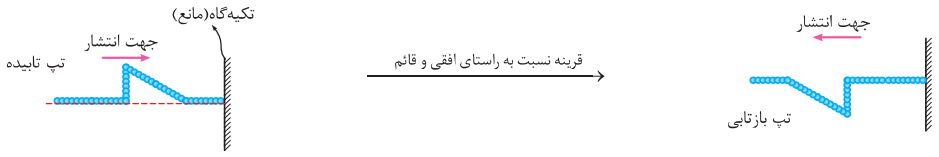



@DaneshSad

# بازتاب موج

## بازتاب موج در یک بُعد

تپ تابیده در ریسمان به صورت وارونه از انتها ثابت بازتاب می‌شود.

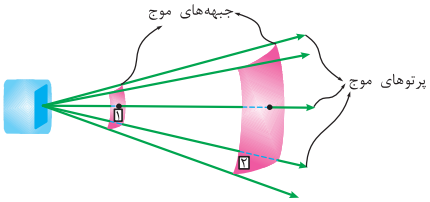


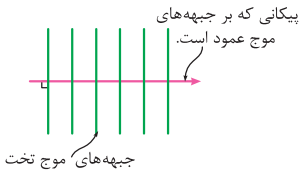

### نکته

قانون سوم نیوتون علت وارونه‌شدن موج بازتابی است.

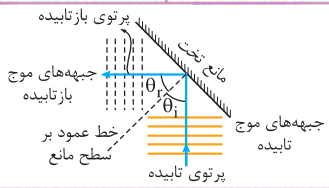
## بازتاب جبهه‌های موج تخت از مانع تخت

**نمودار پرتویی:** پیکانی جهت‌دار و مستقیم که هم‌جهت با انتشار موج و بر جبهه‌های موج عمود است.

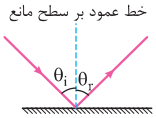


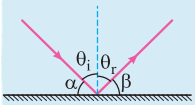

| زاویهٔ تابش ($\theta_i$) | زاویهٔ بازتابش ($\theta_r$) |
|---|---|
| زاویهٔ بین پرتوی تابش و خط عمود بر سطح مانع | زاویهٔ بین پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح مانع |




**قانون بازتاب عمومی:** در تمامی امواج زاویهٔ تابش و بازتاب برابر است.



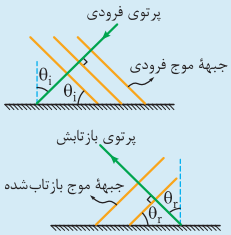

### نکته




### نکته

الف) زاویهٔ بین جبههٔ موج تخت فرودی و سطح مانع برابر زاویهٔ تابش است.

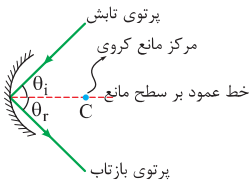
ب) زاویهٔ بین جبههٔ موج تخت بازتابی و سطح مانع برابر زاویهٔ بازتابش است.




@DaneshSad

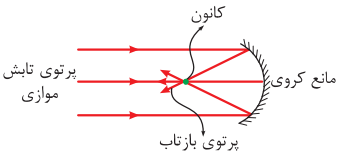
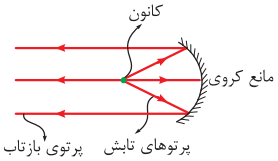
## بازتاب از سطوح مقعر:

قانون بازتاب عمومی برای موانع کروی هم برقرار است.



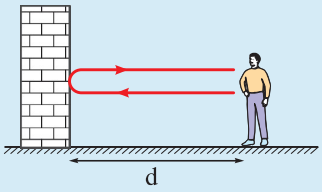

### نکته

**دو حالت خاص در سطوح مقعر**

| اگر پرتوهای تابیده‌شده موازی یکی از قطرهای مانع کروی باشند، پرتوهای بازتابی در کانون متمرکز می‌شوند. | اگر پرتوهای تابیده‌شده از کانون سطح کروی بتابند، پرتوهای بازتابی موازی می‌شوند. |
|---|---|
|   |   |

### نکته

محاسبهٔ اختلاف زمان شنیدن پژواک و صوت اصلی:




$$\Delta t = \frac{2d}{v}$$

مسافت طی‌شدهٔ صوت

تندی انتشار صوت $(m/s)$

**توجه** حداقل فاصلهٔ زمانی لازم برای تفکیک صوت پژواکی از صوت اصلی $0/1\ s$ است.

## مکان‌یابی پژواکی:

تعیین مکان جسم با استفاده از امواج صوتی بازتابیده‌شده

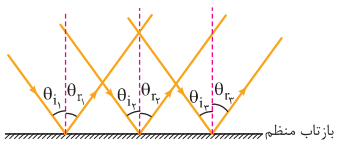
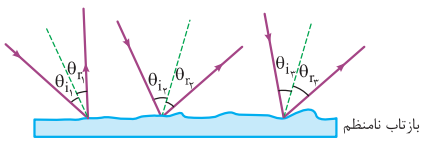
## کاربردها

۱ دستگاه سونار کشتی‌ها، دستگاه سونوگرافی

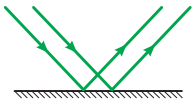
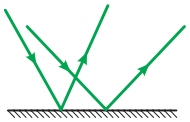
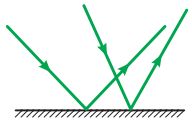
۲ خفاش‌ها و دلفین‌ها برای تعیین مکان اجسام اطراف خود

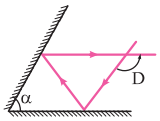
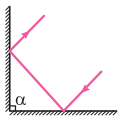
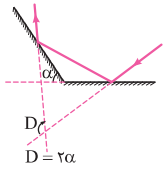
## بازتاب امواج الکترومغناطیسی:

از قانون بازتاب عمومی پیروی می‌کنند.

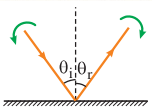
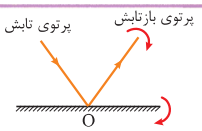
| | بازتاب منظم (آینه‌ای) | بازتاب نامنظم (پخشنده) |
|---|---|---|
| نکات | ۱) سطح بازتابنده باید بسیار هموار باشد.<br>۲) ابعاد ناهمواری‌های سطح > طول موج فرودی | ۱) سطح بازتابنده ناهموار است.<br>۲) ابعاد ناهمواری‌های سطح < طول موج فرودی |
| شکل |   |   |
| | $\theta_{i_1} = \theta_{r_1} = \theta_{i_2} = \theta_{r_2} = \theta_{i_3} = \theta_{r_3}$ | $\theta_{i_1} = \theta_{r_1}, \theta_{i_2} = \theta_{r_2}, \theta_{i_3} = \theta_{r_3}$ |

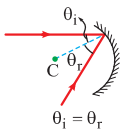
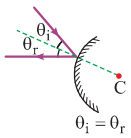
@DaneshSad

| پرتوی تابیده به سطح تخت | | |
|---|---|---|
| پرتوهای فرودی موازی | پرتوهای فرودی واگرا | پرتوهای فرودی هم‌گرا |
| پرتوهای بازتابیدهٔ هم موازی | پرتوهای بازتابیدهٔ واگرا | پس از بازتاب پرتو بازتابیدهٔ هم‌گرا و سپس واگرا |
|  |  |  |

| زاویهٔ انحراف در دو مانع تخت متقاطع | | |
|---|---|---|
| زاویهٔ بین دو آینه $< 90^\circ$ | زاویهٔ بین دو آینه $= 90^\circ$ | زاویهٔ بین دو آینه $> 90^\circ$ |
|   |   |   |

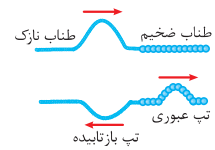
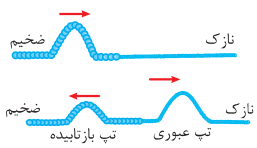
**توجه** D، زاویه انحراف است.

| تغییر وضعیت پرتو تابش و سطح | |
|---|---|
| تغییر زاویهٔ تابش | چرخش سطح حول نقطهٔ O |
| اگر پرتو تابش به اندازهٔ $\alpha$ بچرخد، پرتو بازتاب به اندازه $\alpha$ و خلاف جهت آن می‌چرخد. | اگر سطح به اندازهٔ $\alpha^\circ$ در جهت ساعتگرد بچرخد، پرتوی بازتابش به اندازهٔ $2\alpha$ در همان جهت می‌چرخد. |
|   |   |

| بازتاب نور از آینه‌های کروی | |
|---|---|
| آینهٔ مقعر | آینهٔ محدب |
|   |   |

**توجه** خط عمود بر سطح کره در امتداد شعاع کره است.

## شکست موج

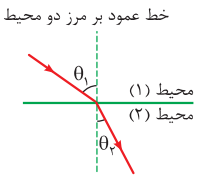
| | عبور تپ از طناب ضخیم به نازک | عبور تپ از طناب ضخیم به نازک |
|---|---|---|
| توضیح | الف) تپ بازتابنده با همان بسامد، طول موج و تندی، ولی با دامنهٔ کوچک‌تر به صورت فرورفتگی برمی‌گردد.<br>ب) تپ عبوری، با همان بسامد، ولی تندی، طول موج و دامنهٔ کوچک‌تر به صورت برآمدگی عبور می‌کند. | الف) تپ بازتابیده، با همان بسامد، طول موج و تندی، ولی با دامنهٔ کوچک‌تر به صورت برآمدگی برمی‌گردد.<br>ب) تپ عبوری، با همان بسامد، ولی تندی و طول موج بزرگ‌تر به صورت برآمدگی عبور می‌کند. |
| شکل |   |   |

@DaneshSad

## تعاریف اصلی

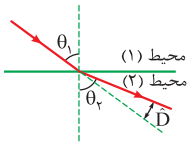
**الف) زاویهٔ تابش ($\theta_1$)**: زاویهٔ بین پرتوی تابش و خط عمود به مرز دو محیط

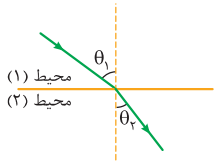
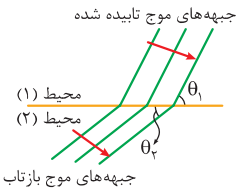
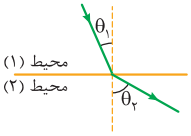
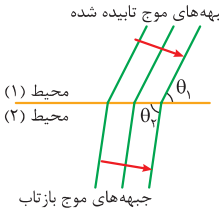
**ب) زاویهٔ شکست ($\theta_2$)**: زاویهٔ بین پرتوی شکسته‌شده در محیط دوم و خط عمود بر دو محیط




**پ) زاویهٔ انحراف (D)**: زاویهٔ بین امتداد پرتوی تابش و پرتوی شکست

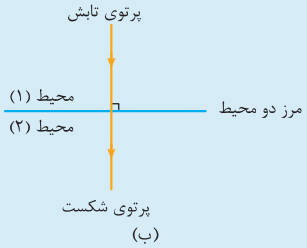
$$\hat{D} = |\theta_2 - \theta_1|$$

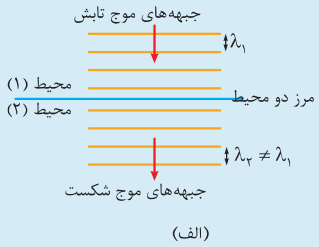



| مقایسهٔ تندی موج در محیط‌های اول و دوم | اتفاقی که برای پرتو و جهههٔ موج رخ می‌دهد | شکل شکست پرتو موج | شکل شکست جبهه‌های موج | مقایسهٔ بسامد موج در هر دو محیط | مقایسهٔ طول موج در هر دو محیط |
|---|---|---|---|---|---|
| $v_1 > v_2$ | پرتو موج به خط عمود نزدیک می‌شود.<br>جبههٔ موج شکست با مرز دو محیط زاویهٔ کوچک‌تری می‌سازد. |  |  | $f_1 = f_2$ | $\lambda_1 > \lambda_2$ |
| $v_1 < v_2$ | پرتو موج از خط عمود دور می‌شود.<br>جبههٔ موج شکست با مرز دو محیط زاویهٔ بزرگ‌تری می‌سازد. |  |  | $f_1 = f_2$ | $\lambda_1 < \lambda_2$ |

### نکته

اگر پرتو موج به طور عمود بر مرز جدایی دو محیط برسند، شکست رخ نمی‌دهد.

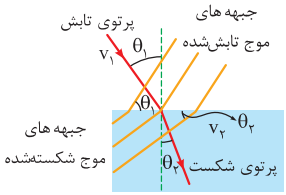



### قانون شکست عمومی

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

(تندی موج در محیط (۲) / تندی موج در محیط (۱)) = (طول موج در محیط (۲) / طول موج در محیط (۱))




@DaneshSad

**نکته**

این قانون برای تمام امواج برقرار است.

## – ضریب شکست

تندی نور در خلأ
$(c=3\times10^{8}\ m/s)$
↑
$n=\frac{c}{v}$
↓
تندی نور
در محیط

**نکته**

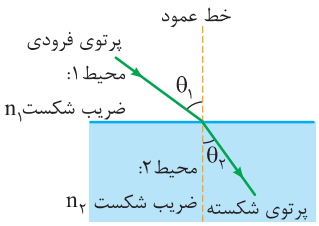
ضریب شکست خلأ برابر یک و هوا تقریباً برابر یک و ضریب شکست سایر محیط‌ها بیشتر از یک است.

**نکته**

ضریب شکست دو محیط با تندی انتشار نور در آن دو محیط رابطهٔ عکس دارد:

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{v_2}{v_1}$$

## – قانون شکست اسنل




$$\left.\begin{matrix}\frac{v_2}{v_1}=\frac{n_1}{n_2}\\ \frac{v_2}{v_1}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}\end{matrix}\right\}\Rightarrow n_2\sin\theta_2=n_1\sin\theta_1 \text{ یا } \frac{v_2}{v_1}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{n_1}{n_2}$$

**نکته**

اگر پرتوی نور از چندین محیط با مرزهای موازی عبور کند:

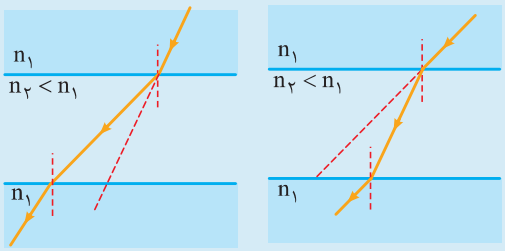
$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2=n_3\sin\theta_3$$

یعنی قانون شکست و اسنل را برای دو محیط موازی و غیر متوالی هم می‌توان استفاده کرد.

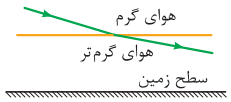
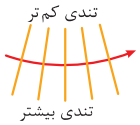
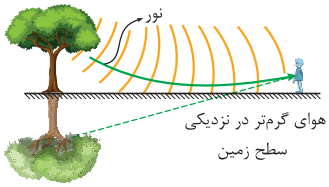
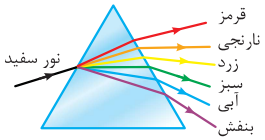
ضریب شکست کم‌تر $\Rightarrow$ تندی بیشتر $\Rightarrow$ زاویهٔ پرتو با خط عمود بیشتر

**نکته**

اگر محیط اول و آخر یکسان باشند، پرتوی خروجی و ورودی موازی می‌شوند.




@DaneshSad

| پدیده‌های ناشی از شکست نور | | |
|---|---|---|
| سراب | با افزایش دمای هوا، چگالی و ضریب شکست هوا کاهش می‌یابد و در روزهای گرم، لایه‌های نزدیک به سطح زمین داغ‌تر از لایه‌های بالایی است. | <br> |
| | پرتوهای نور به علت رقیق‌ترشدن محیط انتشار رفته‌رفته شکسته می‌شوند. |  |
| پاشندگی نور | نور سفید از رنگ‌ها یعنی طول موج‌های مختلف تشکیل شده است که با تغییر محیط، رنگ‌ها از هم جدا می‌شوند.<br>$\Rightarrow \lambda_{\text{قرمز}} > \lambda_{\text{نارنجی}} > \lambda_{\text{زرد}} > \lambda_{\text{سبز}} > \lambda_{\text{آبی}} > \lambda_{\text{بنفش}}$<br>$n_{\text{قرمز}} < n_{\text{نارنجی}} < n_{\text{زرد}} < n_{\text{سبز}} < n_{\text{آبی}} < n_{\text{بنفش}}$ |  |

**نکته**

ضریب شکست خلأ برای تمام رنگ‌ها یک است.

@DaneshSad