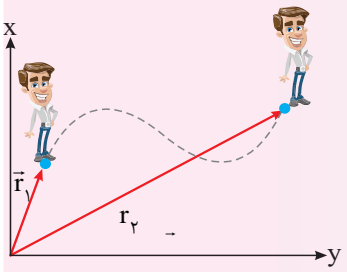
حرکت بر خط راست (مشخصه‌های حرکت)

مکان

بردار مکان ($\vec{r}$)

- برداری که مبدأ مکان را به مکان متحرک وصل می‌کند.
- کمیتی برداری است. $(\vec{r}_1 ,\vec{r}_2)$



بردار جابه‌جایی ($\vec{d}$)

- برداری است که مکان اولیهٔ متحرک را به مکان نهایی آن وصل می‌کند.
- کمیتی برداری است.
- به مسیر حرکت بستگی ندارد.

مسافت طی‌شده (l)

- طول مسیر حرکت را مسافت طی‌شده گویند.
- به مسیر حرکت بستگی دارد.
- کمیتی نرده‌ای است.
- **نکته** ۱) مسافت طی‌شده متحرک مساوی و یا بزرگ‌تر از اندازه جابه‌جایی است: $l \geq |\vec{d}|$
- ۲) اگر متحرک روی خط راست و بدون تغییر جهت حرکت کند: $l = |\vec{d}|$

معادلهٔ حرکت

- معادلهٔ مکان - زمان حرکت است: $x = f(t)$
- مثلا $x = t^2 - 4t + 5$
  - مبدأ مکان $x = 0$
  - مکان اولیه (مبدأ حرکت) $x = f(t=0)$
- به ازای $x > 0$ بردار مکان مثبت (بردار مکان در جهت مثبت محور x است.)
- به ازای $x < 0$ بردار مکان منفی (بردار مکان خلاف جهت محور x است.)
- تغییر جهت بردار مکان در لحظه‌ای است که مکان متحرک صفر شود $(x = 0)$ و علامت و جهت بردار مکان تغییر کند.

بازهٔ زمان

- ثانیهٔ nام: $t_1 = nm - n$ تا $t_2 = nm$
  - مثلا دو ثانیهٔ سوم: $t_1 = 2\times3-2 = 4s$ تا $t_2 = 2\times3 = 6s$
- ثانیهٔ nام: $t_1 = n-1$ تا $t_2 = n$
  - مثلا ثانیهٔ پنجم: $t_1 = 4s$ تا $t_2 = 5s$

حرکت بر خط راست (مشخصه‌های حرکت)

سرعت - تندی

سرعت متوسط: جابه‌جایی تقسیم بر بازهٔ زمانی:

$$\vec{v}_{av}\,(m/s) = \frac{\Delta\vec{x}\,(m)}{\Delta t\,(s)}$$

کمیتی برداری و هم‌جهت با بردار جابه‌جایی است.

اگر متحرک به مکان اولیهٔ خود باز گردد: $\Delta x = 0 \Rightarrow v_{av} = 0$

تندی متوسط: مسافت طی‌شده تقسیم بر بازهٔ زمانی

$$s_{av}\,(m/s) = \frac{\Delta l\,(m)}{\Delta t\,(s)}$$

کمیتی نرده‌ای است.

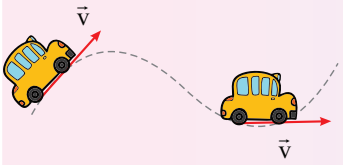
کمیتی همواره مثبت است.

نکته ۱ تندی متوسط همواره بزرگ‌تر یا مساوی اندازهٔ سرعت متوسط است: $s_{av} \geq |v_{av}|$

۲ در یک حرکت روی خط راست اگر متحرک تغییر جهت ندهد: $s_{av} = v_{av}$

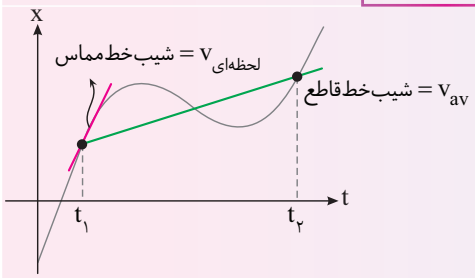
سرعت لحظه‌ای: سرعت متحرک در هر لحظه بوده و کمیتی برداری است.

تندی لحظه‌ای: تندی متحرک در هر لحظه بوده و برابر اندازهٔ سرعت است.



جهت سرعت متحرک در هر لحظه مماس برمسیر متحرک است.

سرعت متوسط در نمودار $x-t$ ← شیب خط قاطع بین دو لحظهٔ t_1 تا t_2 در نمودار $x-t$ است.



سرعت لحظه‌ای در نمودار $x-t$ ← شیب خط مماس بر نمودار $x-t$ در هر لحظه است.

معادلهٔ سرعت - زمان: تابعی است که در هر لحظه سرعت متحرک را مشخص می‌کند: $v = f(t)$

مثلا: $v = t^2 - 4t + 5$

سرعت متحرک مشخص کنندهٔ جهت حرکت متحرک است.
- $v > 0$: متحرک در جهت محور x در حال حرکت است.
- $v < 0$: متحرک در خلاف جهت محور x در حال حرکت است.

تغییر جهت حرکت: لحظه‌ای است که سرعت متحرک صفر شده و علامت آن تغییر می‌کند.

شتاب (a)

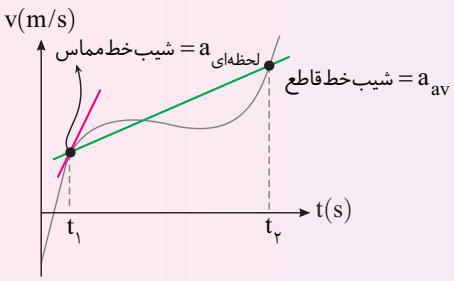
شتاب متوسط: آهنگ تغییر سرعت است:

$$\vec{a}_{av}\,(m/s^2) = \frac{\Delta\vec{v} \to m/s}{\Delta t \to s}$$

کمیتی برداری است و اندازهٔ آن برابر شیب خط قاطع نمودار $v-t$ است.

شتاب لحظه‌ای: شتاب متحرک در هر لحظه است.

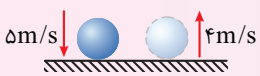
کمیتی برداری است و اندازهٔ آن برابر شیب خط مماس بر نمودار $v-t$ است.



نوع حرکت
- حرکت تندشونده: $\vec{a}$ و $\vec{v}$ هم‌جهت باشند $\Leftarrow av > 0$
- حرکت کندشونده: $\vec{a}$ و $\vec{v}$ خلاف جهت هم باشند $\Leftarrow av < 0$

نکته ۱ جهت شتاب متوسط هم‌جهت با بردار تغییر سرعت است.

۲ در محاسبهٔ شتاب متوسط باید به جهت سرعت دقت کنیم، به طور مثال در شکل روبه‌رو اگر گوی با سرعت $5\,m/s$ به زمین برخورد کرده و با سرعت $4\,m/s$ به سمت بالا برگردد، تغییر سرعت برابر است با:



$$\Delta\vec{v} = +4\vec{j} - (-5\vec{j}) = +9\vec{j}$$

حرکت بر خط راست (دو حرکت خاص)

سرعت ثابت

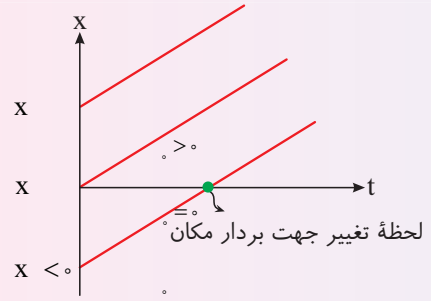
حرکتی که در آن، اندازه و جهت سرعت ثابت است.

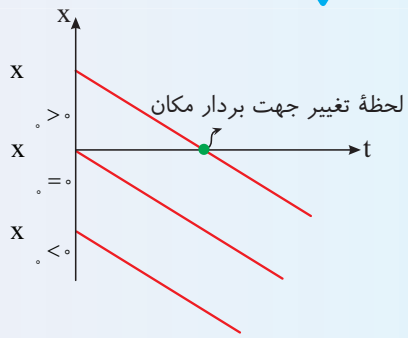
- $v_{av} = v_{\text{لحظه‌ای}}$
- جهت حرکت ثابت و بدون تغییر است.
- شتاب لحظه‌ای و شتاب متوسط صفر است.

معادلهٔ مکان - زمان: $x = vt + x_{\circ} \Rightarrow \Delta x = vt$

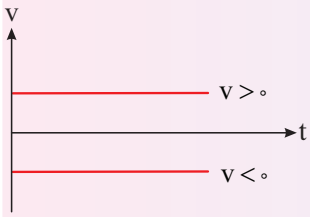
($x_{\circ}$: مکان اولیه، v: سرعت متحرک، x: مکان متحرک در هر لحظه)

نمودار مکان - زمان: شیب خط ثابت و برابر سرعت متحرک است.





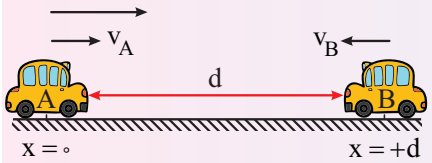
نمودار سرعت - زمان:



حرکت چند مرحله‌ای: اگر متحرک در چند بازهٔ زمانی Δt_1، Δt_2 و ...، جابه‌جایی‌های Δx_1، Δx_2 و ... را با سرعت‌های v_1، v_2 و ... طی کند:

$$v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \cdots} \Rightarrow v_{av} = \frac{v_1 \Delta t_1 + v_2 \Delta t_2 + \cdots}{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \cdots} \quad , \quad v_{av} = \frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \cdots}{\frac{\Delta x_1}{v_1} + \frac{\Delta x_2}{v_2} + \cdots}$$

حرکت دو متحرک با سرعت ثابت: در بررسی حرکت دو متحرک نوشتن معادلهٔ حرکت مهم است. برای این کار جهت مثبت اختیاری (معمولا به سمت راست) و مبدأ مکان اختیاری (معمولا مکان اولیهٔ یکی از متحرک‌ها) را باید مشخص کنیم.



$$\begin{cases} x_A = v_A t + 0 \\ x_B = -v_B t + d \end{cases}$$

شتاب ثابت

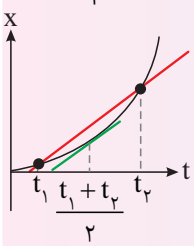
حرکتی که در آن آهنگ تغییر سرعت (شتاب) ثابت است و شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای متحرک با هم برابر است.

معادلهٔ حرکت	معادلهٔ سرعت - زمان	معادلهٔ مستقل از شتاب	معادلهٔ مستقل از زمان
$x = \frac{1}{2}at^2 + v_{\circ}t + x_{\circ}$	$v = at + v_{\circ}$	$\Delta x = \frac{v_1 + v_2}{2}\Delta t$	$v_2^2 - v_1^2 = 2a\Delta x$

فرمول‌های جانبی

سرعت متوسط:

- در بازهٔ صفر تا t: $v_{av} = \frac{1}{2}at + v_{\circ}$ ، $v_{av} = \frac{v_1 + v_2}{2}$
- در حرکت با شتاب ثابت سرعت متوسط در بازهٔ t_1 تا t_2 با سرعت در لحظهٔ $\frac{t_1 + t_2}{2}$ برابر است.



حرکت بر خط راست (دو حرکت خاص)

شتاب ثابت

فرمول‌های جانبی

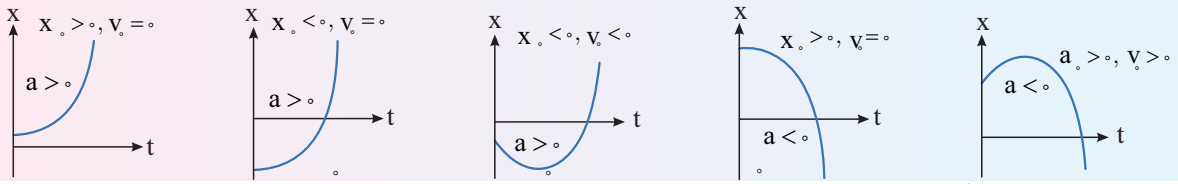
مدت زمان و جابه‌جایی توقف متحرک

$$\Delta x_{\text{توقف}} = \frac{v_0^2}{|2a_{\text{ترمز}}|} \qquad \Delta t_{\text{توقف}} = \frac{v_0}{|a_{\text{ترمز}}|}$$

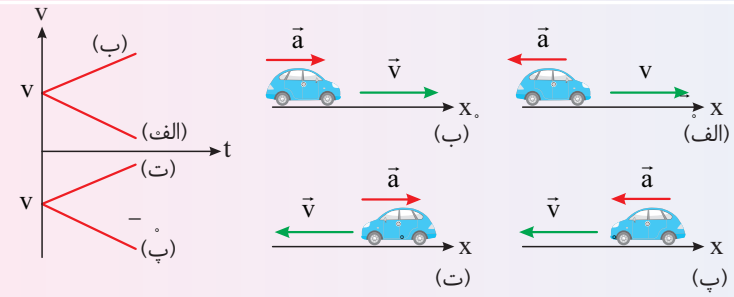
جابه‌جایی در ثانیهٔ t ام: $\Delta x(\text{ام } t) = \frac{1}{2}a(2t-1)+v_0$

جابه‌جایی‌ها در ثانیه‌های متوالی تصاعد حسابی با قدر نسبت a تشکیل می‌دهند.

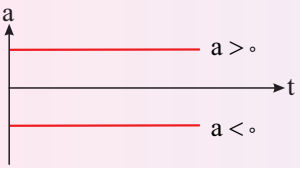
نمودار مکان - زمان: جهت دهانهٔ نمودار علامت شتاب را مشخص می‌کند.



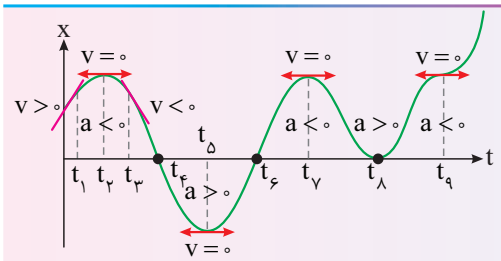
نمودار سرعت - زمان: شیب خط مماس بر این نمودار شتاب را مشخص می‌کند.



نمودار شتاب - زمان



نمودار مکان - زمان



شیب خط مماس بر نمودار برابر سرعت لحظه‌ای است.

- در بازه‌ای که نمودار صعودی بوده یا زاویهٔ خط مماس برنمودار با جهت مثبت محور زمان حاده است: $v>0$
- در بازه‌ای که نمودار نزولی بوده یا زاویهٔ خط مماس بر نمودار با جهت مثبت محور زمان منفرجه است: $v<0$
- در قله و درهٔ نمودار: $v_{t_2}=v_{t_5}=v_{t_7}=v_{t_8}=v_{t_9}=0$

شیب خط قاطع بین دو لحظه برابر سرعت متوسط است.

محل تلاقی نمودار با محور زمان « لحظهٔ گذر از مبدأ t_4 و t_6 » لحظهٔ تغییر جهت بردار مکان

در لحظهٔ t_8 به مبدأ می‌رسد و از آن نمی‌گذرد » جهت بردار مکان تغییر نمی‌کند.

جهت دهانه نمودار

- رو به بالا شتاب مثبت
- رو به پایین شتاب منفی

با تشخیص علامت سرعت و شتاب از روی نمودار می‌توان نوع حرکت را مشخص کرد.

- در لحظهٔ t_1، $av<0$ کندشونده
- در لحظهٔ t_3، $av>0$ تندشونده

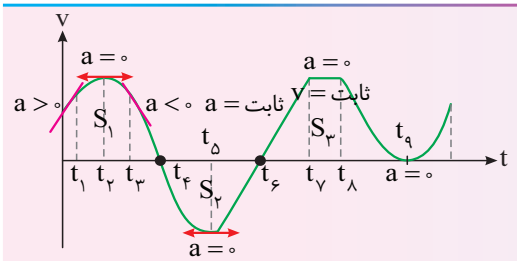
به تعداد نقاط قله و درهٔ نمودار، علامت سرعت و جهت حرکت تغییر می‌کند.

در t_2، t_5، t_7، t_8 متحرک تغییر جهت می‌دهد، در t_9 جسم به طور لحظه‌ای متوقف شده اما علامت سرعت تغییر نمی‌کند و متحرک تغییر جهت نمی‌دهد.

حرکت‌شناسی در یک بعد (ویژگی‌های نمودارها)

حرکت‌شناسی در یک بعد (ویژگی‌های نمودارها)

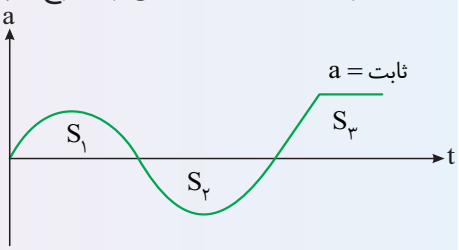
نمودار سرعت - زمان



- شیب خط مماس بر نمودار برابر شتاب لحظه‌ای
  - در بازه‌ای که نمودار صعودی است یا زاویه خط مماس بر نمودار با جهت مثبت محور زمان حاده است: $a > 0$
  - در بازه‌ای که نمودار نزولی است یا زاویه خط مماس بر نمودار با جهت مثبت محور زمان منفرجه است: $a < 0$
  - در نقاط قله و درهٔ نمودار: $a_{t_5} = a_{t_2} = 0$
- شیب خط قاطع بین دو لحظه برابر شتاب متوسط است.
- در محل تلاقی نمودار $v-t$ با محور زمان
  - تغییر جهت سرعت (حرکت) مانند لحظه‌های t_4 و t_6
  - عدم تغییر جهت سرعت (حرکت) مانند لحظهٔ t_9
- سطح محصور بین نمودار و محور زمان
  - جابه‌جایی $= S_1 + S_2 + S_3 + \cdots$ ، $S_1, S_3 > 0$ ، $S_2 < 0$
  - مسافت[1] $= |S_1| + |S_2| + |S_3| + \cdots$
- در بازه‌ای که
  - نمودار به محور زمان نزدیک می‌شود حرکت متحرک کندشونده است.
  - نمودار از محور زمان دور می‌شود حرکت متحرک تندشونده است.

نمودار شتاب - زمان

از روی نمودار شتاب - زمان نمی‌توان نوع حرکت را مشخص کرد مگر آن که سرعت اولیه مشخص باشد.



سطح محصور بین نمودار شتاب - زمان و محور زمان برابر تغییرات سرعت است. $\Delta v = S_1 + S_2 + S_3$ ، $S_1, S_3 > 0$ ، $S_2 < 0$

جمع‌بندی

- شیب نمودار $x-t$ = شیب خط قاطع $= v_{av}$ = شیب خط مماس $= v_{\text{لحظه‌ای}}$
- شیب نمودار $v-t$ = شیب خط قاطع $= a_{av}$ = شیب خط مماس $= a_{\text{لحظه‌ای}}$
- مکان - زمان $x-t$
- سرعت - زمان $v-t$
- شتاب - زمان $a-t$
- سطح زیر نمودار $v-t$ $\Delta x = v-t$
- سطح زیر نمودار $a-t$ $\Delta v = a-t$

۱ - می‌دانیم سطح مثبت است تنها برای نمادگذاری از این روش استفاده کرده‌ایم.

سقوط آزاد

در مسیر سقوط آزاد، جسم تنها تحت تأثیر نیروی وزن است.

این حرکت نمونهٔ خوبی از حرکت با شتاب ثابت است.

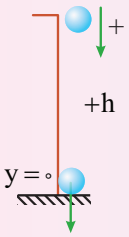
شتاب سقوط تمام اجسام در شرایط خلأ یکسان است و به جرم جسم بستگی ندارد.

- یک پر و یک گلوله در شرایط خلأ با یک شتاب سقوط می‌کنند.
- اگر ارتفاع رها شدن دو جسم از سطح زمین یکسان باشد، در شرایط خلأ دو جسم با هم به زمین می‌رسند و تندی برخورد آن‌ها به زمین یکسان است.

روابط‌های اصلی

رابطه‌های سقوط آزاد همان رابطه‌های حرکت با شتاب ثابت بدون سرعت اولیه است.

جهت مثبت رو به پایین

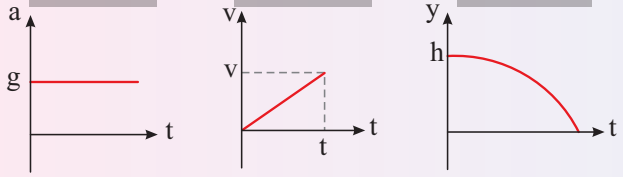


$y = \frac{۱}{۲} gt^۲$

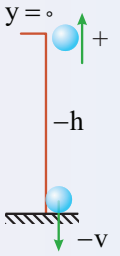
$v = gt$

$v_y^۲ = ۲gy$

نمودارها



جهت مثبت رو به بالا

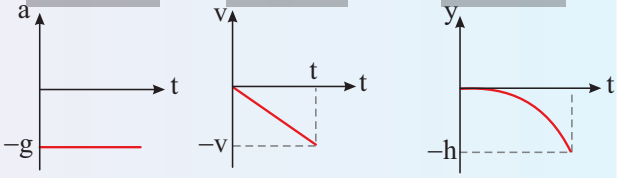


$y = -\frac{۱}{۲} gt^۲$

$v = -gt$

$v_y^۲ = -۲gy$

نمودارها



دینامیک

علم بررسی علل سکون و حرکت اجسام به کمک نیروهای وارد بر آن‌ها را دینامیک گویند.

نیرو: برهم‌کنش دو جسم را نیرو گویند. ← نیرو کمیتی است برداری و دارای اندازه و جهت است.

اثر نیرو: تغییر تندی جسم، تغییر جهت سرعت و تغییر شکل جسم

قوانین حرکت نیوتون

قانون اول نیوتون

یک جسم حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالص غیر صفری به آن وارد شود.

اگر نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند $(F_{net}=0)$
- جسم ساکن، ساکن می‌ماند (تعادل ایستایی)
- جسم متحرک به حرکت با سرعت ثابت ادامه می‌دهد (تعادل جنبشی)

لختی: تمایل اجسام به حفظ وضع موجود را لختی (اینرسی) گویند.

مثال

- انحراف سرنشین در پیچ جاده به دلیل لختی و تمایل به حرکت روی خط راست

$n\frac{v^2}{r}$

- کشیدن سریع مقوا از زیر سکه و سقوط سکه در لیوان در اثر لختی

- حرکت سریع دست و پاره شدن نخ پایینی در اثر لختی وزنه

قانون دوم نیوتون

هرگاه بر جسم نیروی خالصی وارد شود، جسم در جهت نیرو شتابی می‌گیرد که با نیرو نسبت مستقیم و با جرم جسم نسبت وارون دارد.

$$\vec{F}_{net}=m\vec{a} \Leftarrow \vec{a}=\vec{F}_{net}/m$$

در کاربرد قانون دوم نیوتون، ابتدا تمام نیروهای وارد بر جسم را رسم می‌کنیم و برایند آن‌ها را مساوی $m\vec{a}$ قرار می‌دهیم.

تذکر! $m\vec{a}$ نیرو نیست بلکه نیروی خالص وارد بر جسم برابر جرم جسم در شتاب آن است.

قانون سوم نیوتون

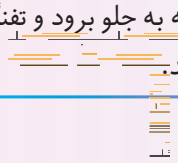
هر گاه جسم A بر جسم B نیروی F را وارد کند، جسم B نیز بر جسم A نیرویی هم اندازه F و در خلاف جهت وارد می‌کند.

$(F_{AB}=-F_{BA})$

نیروهای کنش و واکنش بر دو جسم مختلف وارد می‌شوند و بررسی برایند آن‌ها غیرفیزیکی است.

نمونه‌هایی از قانون سوم نیوتون

- راه رفتن: زمین را به عقب هل می‌دهیم زمین به ما رو به جلو نیرو وارد می‌کند و ما جلو می‌رویم.
- عامل رانش موشک به جلو: موشک به گازهای خروجی نیرو وارد می‌کند و گازها نیروی رو به جلو به موشک وارد می‌کنند.

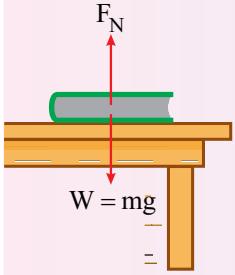


- شلیک گلوله از تفنگ سبب می‌گردد که گلوله به جلو برود و تفنگ به عقب لگد بزند.

مثالی از تحلیل واکنش نیروهای وارد بر جسم

نیروهای وارد بر کتاب ← نیروی وزن و نیروی عمودی سطح

W از طرف کره زمین بر جسم وارد می‌شود و واکنش W نیرویی است که از طرف جسم به کرهٔ زمین وارد می‌شود.



F_N نیرویی که سطح میز بر کتاب رو به بالا وارد می‌کند، واکنش F_N توسط کتاب بر سطح میز رو به پایین وارد می‌شود.

نیروهای خاص

وزن

وزن یک جسم روی زمین، نیروی گرانشی است که از طرف زمین به جسم وارد می‌شود $(\vec{W}=m\vec{g})$

جهت نیروی وزن همواره در امتداد قائم و به طرف مرکز زمین است.

مقاومت شاره

نیرویی که در اثر حرکت جسم در شاره، از سوی شاره و در خلاف جهت حرکت جسم به جسم وارد می‌شود $(\vec{f}_D)$.

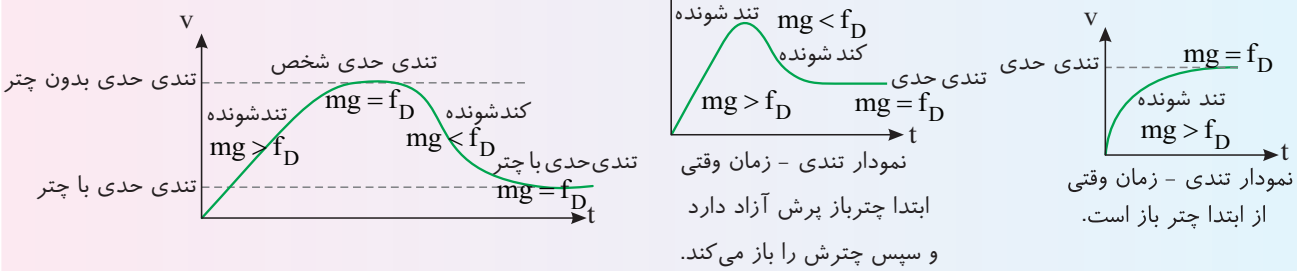
بعضی از عوامل مؤثر در مقاومت شاره ← بزرگی و شکل جسم

تندی جسم ← هرچه تندی بیشتر شود، مقاومت هوا (شاره) بیشتر می‌شود.

تندی حدی ← با افزایش تندی، لحظه‌ای فرا می‌رسد که نیروی وزن و نیروی مقاومت هوا برابر می‌شود $(f_D=W)$ و حرکت جسم با تندی ثابتی به نام تندی حدی ادامه می‌یابد.

تندی حدی چترباز $5\,m/s$ و قطرهٔ باران $7\,m/s$ است.

حرکت چترباز



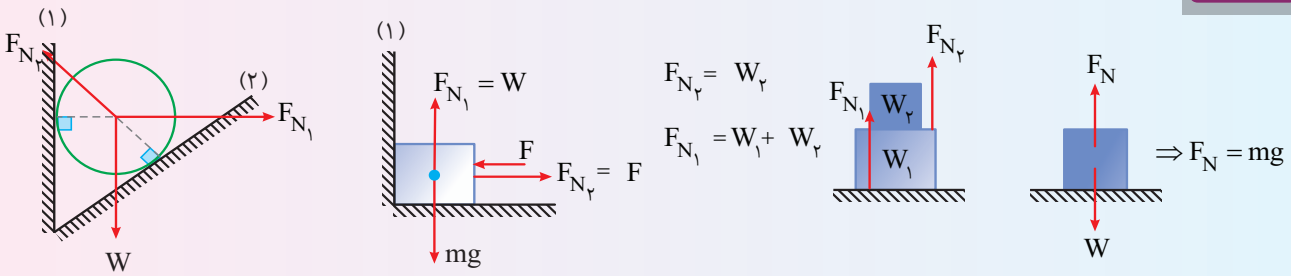
نمودار تندی - زمان وقتی از ابتدا چتر باز است.

نمودار تندی - زمان وقتی ابتدا چترباز پرش آزاد دارد و سپس چترش را باز می‌کند.

نیروی عمودی سطح

نیرویی که از طرف سطح، عمود بر سطح در جهت جسم بر جسم وارد می‌شود (F_N).

مثال



نکته نیروسنج همواره نیروی عمودی سطح را نشان می‌دهد.

آسانسور

سرعت ثابت ← $F_N=W$

شتاب رو به بالا

شتاب رو به پایین

پاره شدن کابل آسانسور ← سقوط آزاد ← شتاب g ← $F_N=0$

ترازو عدد صفر را نشان می‌دهد.

نیروهای خاص

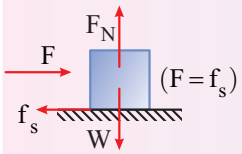
اصطکاک

هر گاه دو جسم که با یکدیگر در تماس‌اند بخواهند نسبت به هم حرکت کنند، بین آن‌ها یک نیروی تماسی ایجاد می‌شود که با حرکت آن‌ها نسبت به هم مخالفت می‌کند. این نیرو را اصطکاک گویند.

نیروی اصطکاک به جنس سطح دو جسم و زبری و نرمی آن‌ها و ... بستگی دارد.

نیروی اصطکاک برای دویدن، راه رفتن، ترمز کردن و ... مفید است.

اصطکاک ایستایی ← بر جسم نیرو وارد می‌شود و جسم حرکت نمی‌کند. در این حالت اصطکاک بین جسم و سطح، اصطکاک ایستایی است (f_s).

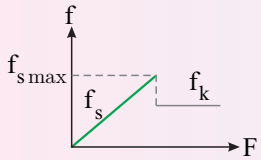


این اصطکاک مقدار ثابتی ندارد.

بیشینه اصطکاک ایستایی: اصطکاک در آستانهٔ حرکت $f_{s_{max}}=\mu_s F_N$ ، $f_s<f_{s_{max}}$

اصطکاک جنبشی ← این اصطکاک، وقتی جسم در حال حرکت روی سطح است، ظاهر می‌شود (f_k).

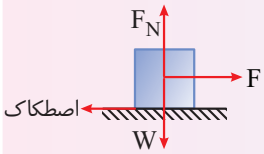
$$f_k=\mu_k F_N$$



μ_s ضریب اصطکاک ایستایی، μ_k ضریب اصطکاک جنبشی ← $\mu_k<\mu_s$

بررسی اصطکاک

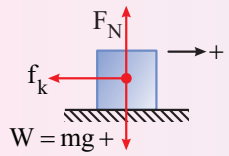
اگر $F<f_k$ ← $F<f_{s_{max}}$ جسم ساکن می‌ماند ← اصطکاک ایستایی $(f_s=F)$



اگر $F=f_{s_{max}}$ ← جسم ساکن می‌ماند ← اصطکاک آستانهٔ حرکت $F=F_{s_{max}}=\mu_s F_N$

اگر $F>f_{s_{max}}$ ← جسم به حرکت در می‌آید ← اصطکاک جنبشی: $f_k=\mu_k F_N$

پرتاب جسم با سرعت اولیه



جسم نیروی جلوبری ندارد

$$F_{net}=ma \Rightarrow -\mu_k mg=ma \Rightarrow a=-\mu_k g$$

این شتاب به جرم جسم بستگی ندارد.

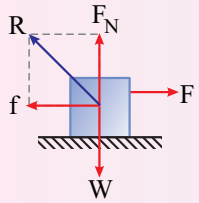
مسافت توقف $\Delta x=\frac{v_0^2}{2\mu_k g}$ ← به جرم بستگی ندارد.

زمان توقف $\Delta t=\frac{v_0}{\mu_k g}$ ← به جرم جسم بستگی ندارد.

نیروی سطح

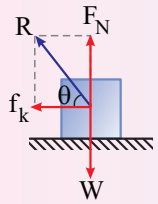
نیرویی که سطح بر جسم وارد می‌کند (R).

این نیرو دارای دو مؤلفهٔ نیروی عمودی سطح (F_N) و نیروی اصطکاک (f) است.



اگر جسم در اثر نیروی F همچنان ساکن بماند $R=\sqrt{f_s^2+F_N^2}$

اگر جسم به حرکت در آید. $R=\sqrt{f_k^2+F_N^2}$



زاویهٔ بین نیروی سطح و امتداد افقی: $\tan\theta=\frac{F_N}{f_k}=\frac{F_N}{\mu_k F_N} \Rightarrow \tan\theta=\frac{1}{\mu_k}$ (جسم در حال حرکت)

این زاویه به اندازهٔ نیروی عمودی سطح بستگی ندارد.

اگر سطح بدون اصطکاک باشد، نیروی سطح وارد بر جسم همان نیروی عمودی سطح است. $f_{\text{اصطکاک}}=0 \Rightarrow R=F_N$

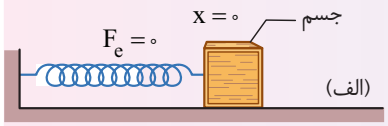
نیروهای خاص

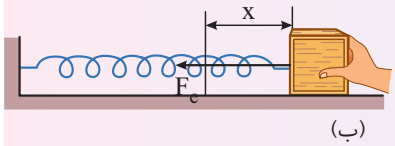
نیروی کشسانی فنر

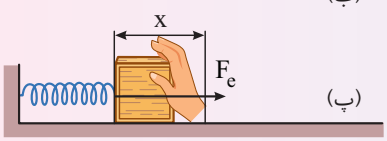
هر گاه بخواهیم طول یک فنر را تغییر دهیم (فنر را بکشیم یا فشرده کنیم)، فنر با اعمال نیرویی با تغییر طولش مخالفت می‌کند، این نیرو را نیروی کشسانی فنر گویند.

یادمان باشد برای کشیدگی و فشردگی فنر باید از دو طرف فنر به آن نیرو وارد شود.

همواره نیروی کشسانی فنر به سمت حالت طبیعی آن است.

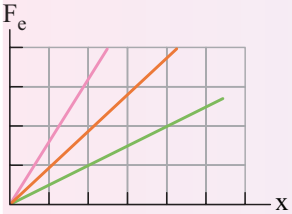






قانون هوک: $|F_e|=k|x| \Leftarrow F_e=-kx$

- تغییر طول فنر از طول طبیعی‌اش
- ثابت فنر (N/m)
  - به اندازه، شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد.
  - شیب نمودار F_e-x

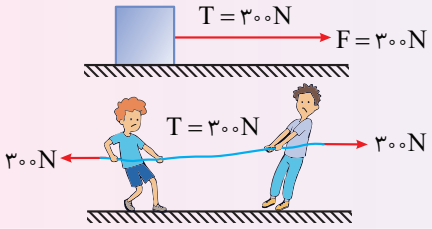


کشش طناب

برابر نیرویی است که در صورت پاره شدن در محل پارگی باید وارد شود تا نخ در وضعیت اولیهٔ کشیدگی باقی بماند.

کشش یک طناب که جرم ناچیز دارد در تمام نقاط آن یکسان است.

نیروی کشش طناب در دو شکل روبه رو ۳۰۰N است.



تکانه و قانون دوم نیوتون

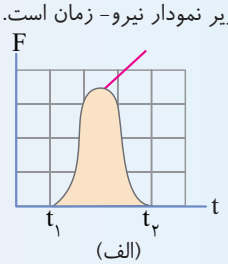
حاصل‌ضرب جرم در سرعت جسم را تکانه گویند. $\vec{P}=m\vec{v}$ ، کمیت برداری است.

رابطهٔ نیرو و تغییر تکانه: $\vec{F}_{net}=m\vec{a}=m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\Rightarrow\vec{F}_{net}=\frac{\Delta\vec{P}}{\Delta t}$

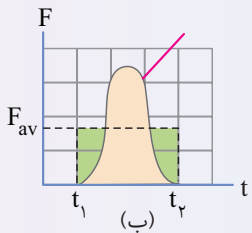
آهنگ تغییر تکانه برابر نیروی وارد بر جسم است (بیان دیگر قانون دوم نیوتون).

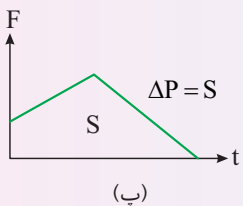
سطح محصور بین نمودار نیرو - زمان و محور زمان برابر تغییر تکانه است.

تغییر تکانه برابر با مساحت سطح زیر نمودار نیرو- زمان است.



تغییرتکانهٔ ناشی از نیروی متوسط برابر با تغییر تکانهٔ نیروی واقعی متغیر با زمان است.



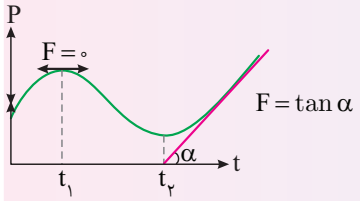


رابطهٔ تکانه و انرژی جنبشی

$(K=\frac{1}{2}mv^2, P=mv)\rightarrow K=\frac{P^2}{2m}$

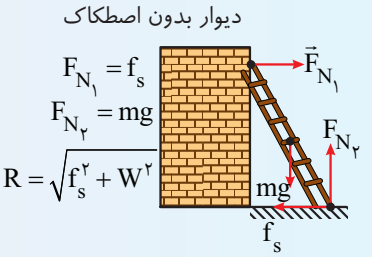
ویژگی‌های نمودار $(P-t)$

- شیب خط مماس بر نمودار برابر بزرگی نیرو است.
- در نقاط max و min نیرو صفر است.
- از صفر تا t_1 حرکت تندشونده، از t_1 تا t_2 کندشونده، از t_2 به بعد تندشونده

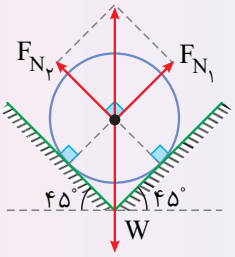


تعادل

هر گاه نیروهای وارد بر جسم متوازن باشند، جسم در حال تعادل است.



اگر نردبان در آستانهٔ حرکت باشد ← $F_{N_1}=f_{s_{max}}$



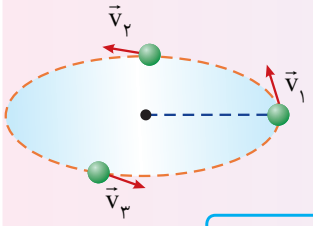
$$F_{N_1}^2+F_{N_2}^2=W^2$$

$$F_{N_1}=F_{N_2}$$

حرکت دایره‌ای

مفاهیم اولیه

حرکت دایره‌ای، حرکتی است روی یک مسیر خمیده (دایره) بنابراین این حرکت، شتابدار است.



دوره ← مدت زمان لازم برای پیمودن یک دور محیط دایره را دوره می‌نامیم (T).

مثال

- دوره عقربه ثانیه‌شمار: $T_s=60s=1\min=\frac{1}{60}h$
- دوره عقربه دقیقه‌شمار: $T_m=1h=60\min=3600s$
- دورهٔ عقربه ساعت‌شمار: $T_h=12h=720\min=43200s$

بسامد ← تعداد دورها در مدت ۱s (f).

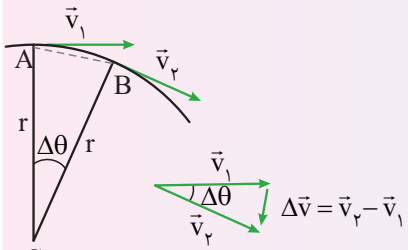
تعداد دور بر دقیقه (rpm) ← ۵۰rpm یعنی ۵۰ دور در مدت یک دقیقه

سینماتیک حرکت دایره‌ای

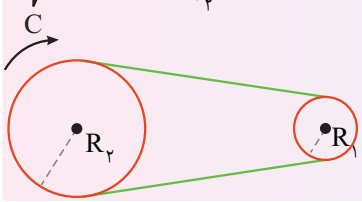
سرعت

در هر نقطه بر مسیر حرکت مماس است.

اندازه سرعت (تندی): ذره در مدت یک دوره (T) محیط دایره $(2\pi r)$ را طی می‌کند: $v=\frac{2\pi r}{T}$



یک مثال مهندسی از انتقال حرکت در حرکت دایره‌ای:



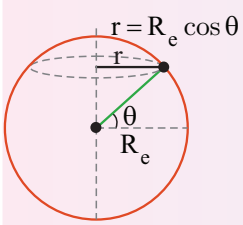
$$v_1=v_2\Rightarrow\frac{2\pi R_2}{T_2}=\frac{2\pi R_1}{T_1}$$

نقاط کره زمین

دوره چرخش تمام نقاط کرهٔ زمین به حول محور زمین ۲۴h است.

در دوران زمین حول محورش، تندی نقاط در نزدیک استوا از تندی نقاط نزدیک قطب بیشتر است.

به زاویهٔ θ، مدار یا عرض جغرافیایی گویند.



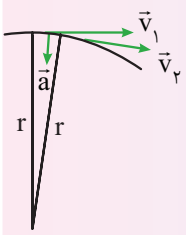
شتاب

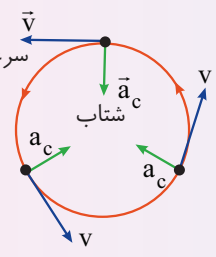
شتاب مرکزگرا در امتداد شعاع و رو به مرکز است.

اندازهٔ شتاب مرکزگرا:

$$a_c=\frac{v^2}{r}$$

$$a_c=r\left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right)$$

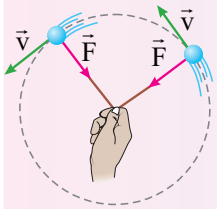




دینامیک دایره‌ای

نیرو

در حرکت دایره‌ای یکنواخت، نیروی خالص وارد بر جسم در امتداد شعاع و رو به مرکز است که آن را **نیروی مرکزگرا** گویند.



جهت نیروی مرکزگرا دائماً در حال تغییر است، بنابراین نیروی مرکزگرا یک نیروی متغیر است حتی اگر اندازهٔ آن ثابت باشد.

اندازهٔ نیروی مرکزگرا: $F = m\frac{v^2}{r}$ و $F = mr\frac{4\pi^2}{T^2}$

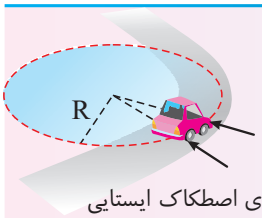
مثال‌هایی از نیروی مرکزگرا

عبور از پیچ افقی

نیروی مرکزگرا نیروی اصطکاک ایستایی است ← $f_s = m\frac{v^2}{R}$

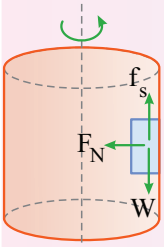
بیشینه تندی برای گذر از پیچ

$f_{s_{max}} = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow \mu_s mg = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\mu_s Rg}$



استوانه دوار

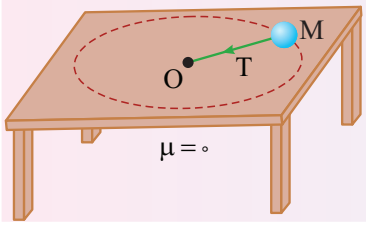
جسم روی دیوارهٔ یک استوانه دوار قرار دارد.



نیروی عمودی سطح نیروی مرکزگرا $F_N = mr(\frac{4\pi^2}{T^2})$

نیروی اصطکاک ایستایی برابر نیروی وزن $f_s = W$

جسم متصل به ریسمان



نیروی کشش نخ نیروی مرکزگرا است.

$T = m\frac{v^2}{r}$

نیروی گرانش

گرانش

تمام اجرام بر هم نیروی ربایشی وارد می‌کنند که به آن نیروی گرانشی گویند.

قانون گرانش عمومی

نیروی گرانشی میان دو ذره با حاصل‌ضرب جرم دو ذره نسبت مستقیم و با مربع فاصلهٔ آن‌ها از یکدیگر نسبت وارون دارد.

$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$ ← G ثابت گرانش عمومی $G = 6/67\times10^{-11}\,Nm^2/kg^2$

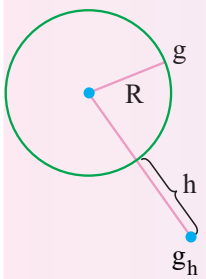
میدان گرانشی

خاصیتی در فضای اطراف هر جرم که بر اجرام دیگر نیرو وارد می‌کند.

برابر نیروی وارد بر یکای جرم جسم $(\vec{g} = \frac{\vec{F}}{m})$ است که به آن **شتاب گرانشی** نیز می‌گویند.

در سطح سیاره $g = G\frac{M}{R^2}$، M جرم سیاره، R شعاع سیاره

در ارتفاع h از سطح سیاره $g = G\frac{M}{(R+h)^2}$



ماهواره

نیرویی که ماهواره را در مدار خود نگه می‌دارد نیروی گرانش زمین (وزن ماهواره) است که همان نیروی مرکزگرا است. $m\frac{v^2}{r} = G\frac{M_e m}{r^2}$

سرعت ماهواره ← فاصله از مرکز زمین ← $v^2 = \frac{GM_e}{r} \xleftarrow{GM_e = R_e^2 g} v^2 = \frac{R_e^2 g}{r} \Rightarrow \boxed{v = R_e\sqrt{\frac{g}{r}}} \Rightarrow r = R_e + h \Rightarrow \boxed{v = R_e\sqrt{\frac{g}{R_e + h}}}$

دوره ← $v = r\omega \Rightarrow T = \frac{2\pi r}{v} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{R_e\sqrt{\frac{g}{r}}} \Rightarrow T = \frac{2\pi}{R_e}\sqrt{\frac{r^2}{g}} \Rightarrow T^2 = \frac{4\pi^2}{R_e^2 g} \Rightarrow T^2 \propto r^2$

حرکت نوسانی

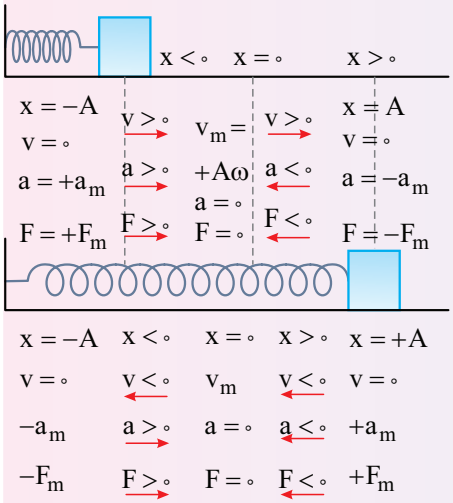
مفاهیم اولیه

نوسان دوره‌ای نوسان‌ها می‌توانند دوره‌ای یا غیردوره‌ای باشند.

- در نوسان‌های دوره‌ای، نوسان‌ها در هر دوره تکرار می‌شوند.
- به نوسان‌های سینوسی، حرکت هماهنگ ساده (SHM) گویند.

حرکت هماهنگ ساده حرکت روی یک پاره‌خط در دو طرف نقطه‌ای در وسط مسیر (حالت تعادل، مرکز نوسان، مبدأ).

در این حرکت یک نیروی برگرداننده وجود دارد که همواره رو به مرکز نوسان است.



دوره (T) زمان یک نوسان کامل

بسامد (f) تعداد نوسان در یکای زمان

$$f(\text{Hz}) = \frac{1}{T(\text{s})}$$

بُعد یا مکان (x) فاصله از مبدأ (مرکز نوسان، حالت تعادل)

دامنه بیشینه بُعد $x_m = \pm A$، به نقاط $\pm A$ نقاط بازگشت گویند.

- طول پاره‌خط مسیر نوسان $2A$ است.
- در یک دوره مسافت طی‌شده $4A$ و جابه‌جایی صفر است.

با گذر از مرکز نوسان جهت بردار شتاب و نیرو تغییر می‌کند.

همواره شتاب (نیرو) با مکان مختلف‌العلامه هستند.

قانون هوک $F = -kx$

در یک دوره شتاب، نیرو و سرعت دوبار صفر و دوبار بیشینه می‌شوند.

مشخصه‌های حرکت نوسانی

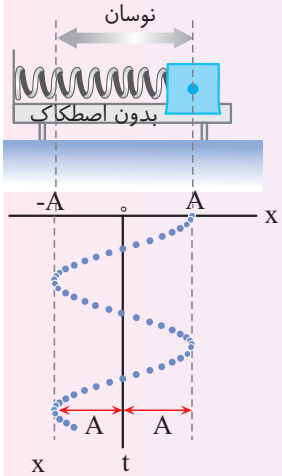
مکان یا بُعد

معادلهٔ حرکت هماهنگ ساده را می‌توان به صورت سینوسی یا کسینوسی نوشت.

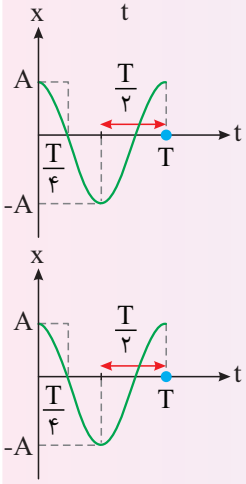
معادلهٔ مکان – زمان $x = A\cos\omega t$

- x مکان (فاصله از مبدأ) و A دامنه
- ωt شناسه تابع کسینوسی (فاز) بر حسب رادیان

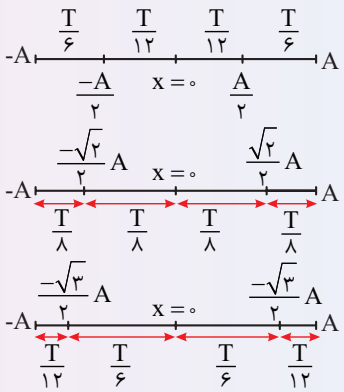
بسامد زاویه‌ای: $\omega = \frac{2\pi}{T}(\text{rad/s})$ و $\omega = 2\pi f$



نمودار مکان – زمان



بازه‌های زمانی شناخته شده



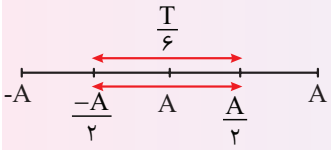
حرکت نوسانی

مشخصه‌های حرکت نوسانی

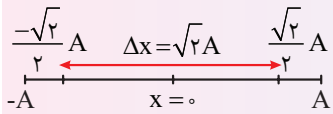
مکان یا بُعد

بازه‌های زمانی شناخته شده

حداقل مدت زمان طی جابه‌جایی به اندازهٔ یک دامنه، برابر $\frac{T}{6}$ است.



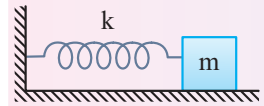
بیشینه سرعت متوسط در بازه‌های قرینه در دو طرف حالت تعادل اتفاق می‌افتد. مثلاً در $\frac{T}{4}$ بیشترین جابه‌جایی و سرعت متوسط در بازهٔ $\frac{T}{8}$ در دو طرف مبدأ رخ می‌دهد.

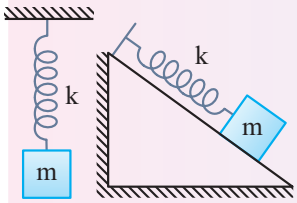


$$v_{av}=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{\sqrt{2}A}{\frac{T}{4}}=\frac{4\sqrt{2}A}{T}$$

سامانه جرم – فنر

دوره $T=2\pi\sqrt{m/k}$، بسامد زاویه‌ای $\omega=\sqrt{k/m}$ و $\frac{T'}{T}=\sqrt{\frac{m'}{m}}\times\sqrt{\frac{k}{k'}}$





دوره به دامنه بستگی ندارد.

دورهٔ یک سامانه جرم - فنر در همهٔ محیط‌ها و نقاط کرهٔ زمین ثابت است و تنها به جرم نوسانگر و ثابت فنر بستگی دارد.

شتاب – نیرو

معادله شتاب – مکان $|a|=+\omega^2 x \Leftarrow a=-\frac{k}{m}x \Leftarrow ma=-kx$

بیشینه شتاب $a_m=A\omega^2$

معادله نیرو – مکان $F=ma\Rightarrow|F|=m\omega^2|x|$

نیروی بیشینه $F_m=mA\omega^2$

انرژی حرکت هماهنگ ساده

انرژی پتانسیل در نقاط بازگشت بیشینه و در مرکز نوسان صفر است.

انرژی جنبشی در نقاط بازگشت صفر و در مرکز نوسان بیشینه است.

$$K=\frac{1}{2}mv^2 \rightarrow K_m=\frac{1}{2}mv_m^2$$

انرژی مکانیکی $E=U+K$ در تمام نقاط مسیر، مقدار ثابتی است.

انرژی مکانیکی برابر بیشینه انرژی جنبشی و بیشینه انرژی پتانسیل است. $E=U_m=K_m$

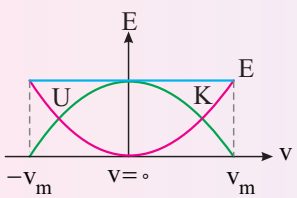
روابط انرژی مکانیکی $E=\frac{1}{2}kA^2$، $E=\frac{1}{2}mA^2\omega^2$، $E=\frac{1}{2}mv_m^2$

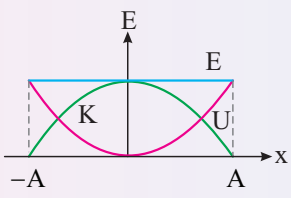
$$E=K+U\Rightarrow U=E-K$$

انرژی پتانسیل بر حسب سرعت

$$\Rightarrow U=\frac{1}{2}mv_m^2-\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(v_m^2-v^2)$$

نمودارهای انرژی بر حسب مکان و سرعت





بیشینه تندی $v=A\omega$

رابطه بیشینه تندی و بیشینه شتاب $a_m=A\omega^2\Rightarrow a_m=v_m\omega$ ، $v_m=A\omega$

حرکت نوسانی

آونگ

آونگ ساده آونگی با وزنهٔ کوچکی متصل به یک نخ با طول ثابت و جنس کش نیامدنی و زاویهٔ انحراف کوچک از حالت تعادل

دوره $T=2\pi\sqrt{l/g}$ ، بسامد زاویه‌ای $\omega=\sqrt{g/l}$ ،

$$\frac{T}{T'}=\sqrt{\frac{l}{l'}}\times\sqrt{\frac{g'}{g}}$$

- دورهٔ آونگ به جرم آونگ و دامنه بستگی ندارد.
- دورهٔ آونگ با دور شدن از سطح زمین و کاهش g افزایش می‌یابد.
- دورهٔ آونگ در قطب‌های زمین از استوا کمتر است.
- اگر دورهٔ آونگ یک ساعت آونگ‌دار کاهش یابد، ساعت تندتر کار می‌کند و ساعت جلو می‌افتد.

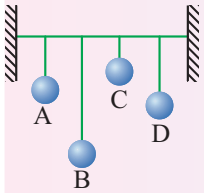
تشدید

هر نوسانگر می‌تواند با بسامدی ویژهٔ خود که به ساختار آن بستگی دارد نوسان کند که به آن بسامد طبیعی (f_0) گویند.

برای جلوگیری از میرایی نوسان یک نوسانگر مانند یک آونگ، باید به آن انرژی داده شود تا نوسان‌ها میرا نباشد، این نوع نوسان‌ها را نوسان واداشته گویند.

هر گاه بر جسمی که می‌تواند با دوره یا بسامد خاصی (بسامد طبیعی) نوسان کند نیرویی دوره‌ای با همان بسامد وارد شود، جسم شروع به نوسان می‌کند و دامنهٔ نوسان افزایش می‌یابد $(f_d=f_0)$ و در این حالت تشدید رخ داده است.

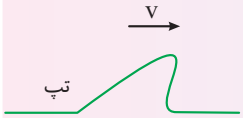
از پدیده تشدید برای نامیرا کردن نوسان‌های میرا استفاده می‌شود.



در شکل روبه‌رو با نوسان آونگ A به آونگ‌های B و C انرژی منتقل می‌شود و آن‌ها می‌جنبند و به نوسان در می‌آیند، این آونگ‌ها با بسامدهای دیگر به نوسان در می‌آیند اما هر گاه بسامد نوسان واداشته با بسامد آونگی برابر شود $(f_0=f_d)$ در مورد آن آونگ تشدید رخ می‌دهد.

موج مکانیکی (مفاهیم اولیه)

آشفتگی منتشر شده در محیط را **تپ** گویند و انتقال تپ را در محیط انتشار تپ گویند.



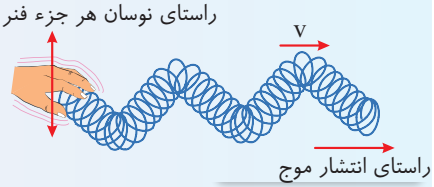
به تپ‌های متوالی ایجاد شده در یک محیط کشسان **موج** گویند.

موج‌ها عموماً به دو دسته تقسیم می‌شود.

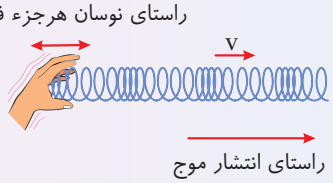
موج‌های الکترومغناطیسی این موج‌ها برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند.

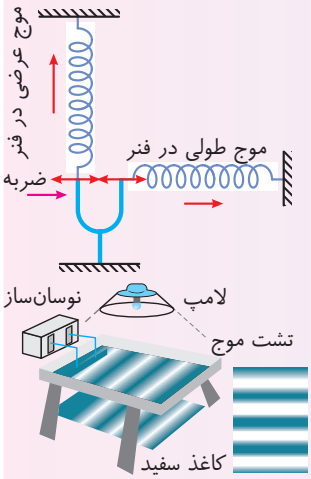
موج‌های مکانیکی این موج‌ها برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند.

موج عرضی: موجی است که راستای نوسان ذره‌های محیط بر راستای پیشروی موج عمود است.



موجی طولی: موجی است که راستای نوسان ذره‌های محیط هم‌راستای پیشروی موج است.





(ب)

مشخصه‌های موج برای مطالعهٔ مشخصات موج از وسیله‌ای موسوم به تشت موج استفاده می‌شود.

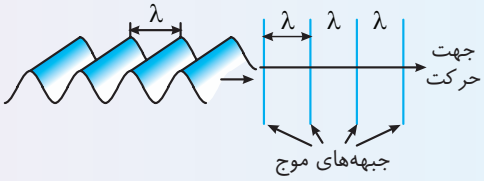
به برآمدگی‌های موج ایجاد شده **قله (ستیغ)** و به فرورفتگی‌ها **درّه (پاستیغ)** گفته می‌شود.

طول موج به فاصلهٔ بین دو برآمدگی یا دو فرورفتگی مجاور، طول موج (λ) گویند.

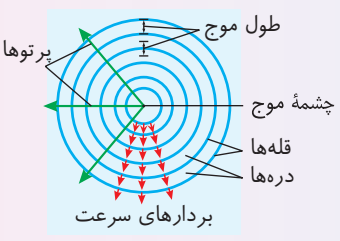
مسافتی که موج در مدت یک دوره طی می‌کند.

برای رسم موج می‌توان تنها مکان قله‌ها یا درّه‌های موج را در شکل نشان داد که به آن‌ها جبههٔ موج گویند.

به طور مثال:



(الف)



(ب)

(الف)

موج مکانیکی (مفاهیم اولیه)

مشخصه‌های موج

ویژگی‌های وابسته به چشمه

دامنه (A): بیشینهٔ فاصلهٔ یک ذره از مکان تعادل، دامنهٔ موج نامیده می‌شود که همان فاصلهٔ قله یا دره نسبت به سطح آرام یا ساکن است.

دورهٔ تناوب (T): مدت زمانی که هر ذرهٔ محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد، دورهٔ تناوب موج نامیده می‌شود که برابر دورهٔ چشمه نوسان است.

بسامد (f): تعداد نوسان‌های انجام شده توسط هر ذرهٔ محیط در یک ثانیه بسامد موج نامیده می‌شود که برابر بسامد چشمهٔ موج است. $\left(f=\frac{1}{T}\right)$

ویژگی‌های وابسته به محیط

تندی انتشار موج (v): اگر جبهه‌های موج در مدت Δt مسافت l را طی کنند، تندی انتشار موج از رابطهٔ روبه‌رو به‌دست می‌آید: $v=\frac{l}{\Delta t}=\frac{\lambda}{T}=\lambda f \quad (\lambda \propto T)$

تندی انتشار موج به جنس و ویژگی‌های محیط انتشار بستگی دارد.

به طور مثال: در آب‌های عمیق تندی انتشار موج به عمق آب بستگی ندارد، اما در عمق‌های کم‌عمق هر چه عمق آب کمتر شود، تندی انتشار موج کاهش می‌یابد.

بررسی طول موج در دو حالت مختلف $\left(\lambda=\frac{v}{f}\right)$

دو موج توسط یک چشمه در دو محیط منتشر شوند:
چون چشمهٔ موج‌ها یکسان است پس بسامد دو نیز یکسان است.

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{\frac{v_2}{f}}{\frac{v_1}{f}}\Rightarrow\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{v_2}{v_1}$$

دو موج توسط دو چشمه در یک محیط منتشر شوند:
چون موج‌ها در یک محیط منتشر شده‌اند، تندی انتشار آن‌ها یکسان است.

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{\frac{v}{f_2}}{\frac{v}{f_1}}\Rightarrow\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{f_1}{f_2}$$

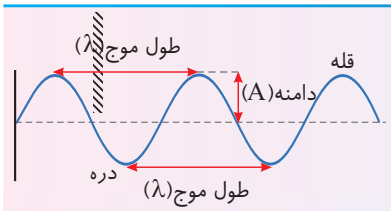
موج‌های عرضی و مشخصه‌های آن

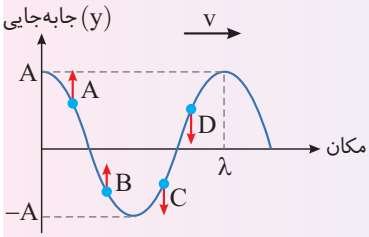
موج سینوسی

هر گاه چشمهٔ موج دارای حرکت هماهنگ ساده باشد، موج سینوسی است.

هر نقطه از محیط دارای حرکت هماهنگ ساده است.

بسامد دورهٔ نوسان تمام نقاط محیط با بسامد و دورهٔ چشمه برابر است.





رفتار ذرات محیط

هر ذره از محیط حرکت ذرهٔ قبل از خود را تکرار می‌کند.

ذرهٔ A: در حال حرکت رو به بالا، کندشونده (شبیه نوسانگر در حال حرکت به سوی دامنه)
$a<0 \quad , \quad v>0 \quad , \quad y>0$

ذرهٔ B: رو به بالا، تندشونده (نوسانگر در حال نزدیک شدن به حالت تعادل)
$a>0 \quad , \quad v>0 \quad , \quad y<0$

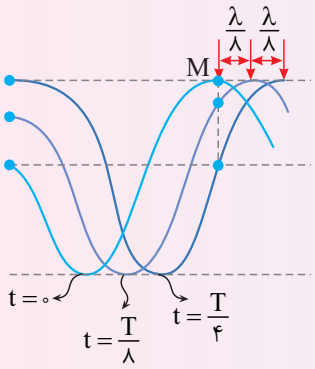
ذرهٔ C: رو به پایین، کندشونده، $a>0 \quad , \quad v<0 \quad , \quad y<0$

ذرهٔ D: رو به پایین، تندشونده، $a<0 \quad , \quad v<0 \quad , \quad y>0$

موج‌های عرضی و مشخصه‌های آن

موج سینوسی

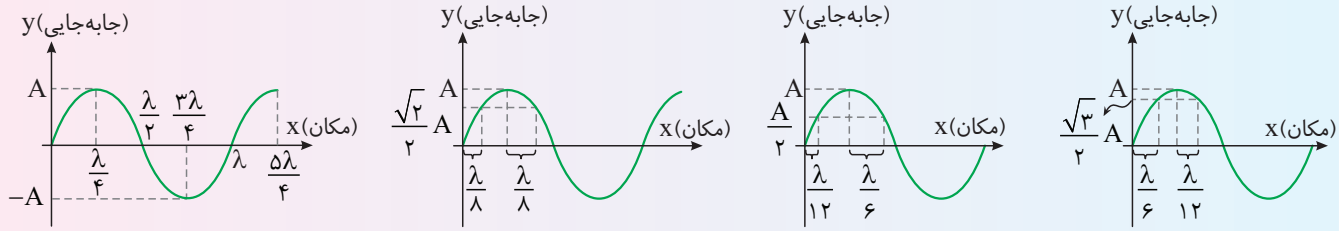
در شکل روبه‌رو از یک موج در بازه‌های زمانی $\frac{T}{8}$ عکس گرفته شده است. با



توجه به شکل و همانطور که در بالا نیز گفته شده ذرهٔ M حرکت ذرهٔ قبل از خود را تکرار کرده و به سمت پایین در حال نوسان است و قلهٔ موج در حال پیشروی به سمت راست است.

همانطور که در شکل نیز مشخص است با توجه به ثابت بودن تندی انتشار موج، طول موج و دورهٔ موج با هم متناسب‌اند. $T \propto \lambda \Rightarrow \frac{T}{8} \propto \frac{\lambda}{8}$

بررسی طول موج در شکل موج سینوسی:



تندی انتشار موج عرضی در تار یا فنر

سرعت انتشار موج در تار یا فنر: $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ (F: نیروی کشش طناب، N (نیوتون)، v: m/s)

چگالی خطی جرمی: $\mu = \frac{m \to kg}{L \to m}$

تندی انتشار موج به طول تار بستگی ندارد.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \frac{۲}{D}\sqrt{\frac{F}{\pi\rho}}$$

(چگالی سیم، سطح مقطع سیم، قطر سیم)

نکته

- اگر طول تار یا فنر n برابر شود، جرم آن نیز n برابر شده و μ ثابت می‌ماند.
- اگر تار را بکشیم تا با ثابت ماندن جرم، طول تار n برابر شود، در این صورت μ تار $\frac{۱}{n}$ می‌شود.

انتقال انرژی در موج مکانیکی عرضی

هر موجی حامل انرژی است.

با انتشار موج مکانیکی این انرژی به صورت انرژی جنبشی و پتانسیل در موج منتقل می‌شود.

در یک موج سینوسی (برای همهٔ انواع امواج مکانیکی) مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) با مربع دامنه و بسامد $(f^۲, A^۲)$ موج متناسب است.

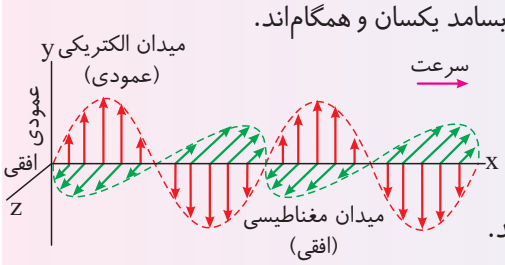
امواج الکترومغناطیسی

امواج الکترومغناطیسی از رابطهٔ متقابل میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به وجود می‌آیند، یعنی تغییر در هر کدام از آن‌ها میدان متغیر دیگری را به‌وجود می‌آورد.

منشأ تولید امواج الکترومغناطیسی، حرکت شتابدار ذرهٔ باردار است.

موج الکترومغناطیسی

۱ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی دارای بسامد یکسان و همگام‌اند.



۲ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر هم عمودند.

۳ میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی بر مسیر انتشار موج (راستای انتقال انرژی) عمودند و موج عرضی است.

موج‌های عرضی و مشخصه‌های آن

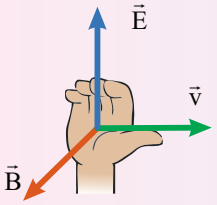
امواج الکترومغناطیسی

موج الکترومغناطیسی

۴ این موج‌ها حامل بار الکتریکی نیستند و در میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی منحرف نمی‌شوند.

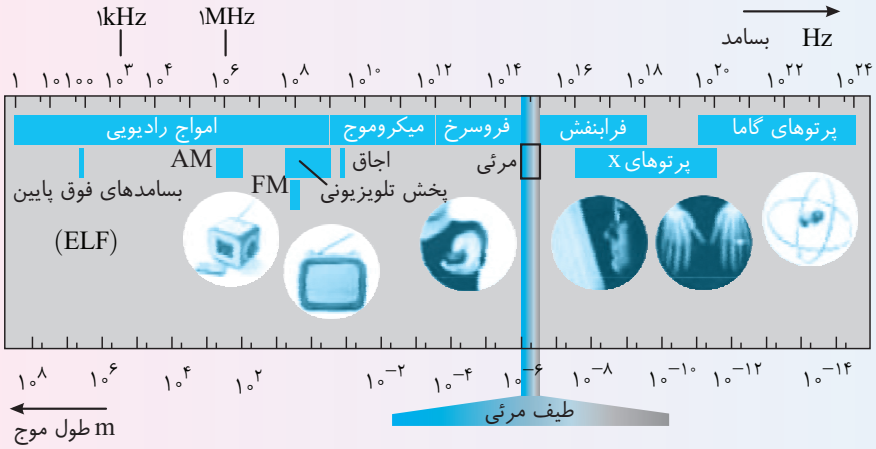
۵ سرعت تمام موج‌های الکترومغناطیسی در خلأ یکسان و برابر $c=\frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0\mu_0}}=3\times10^8\,m/s$ است.

طول موج الکترومغناطیسی در خلأ برابر است با: $\lambda=\frac{c}{f}$



۶ جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را می‌توان مطابق شکل از قاعدهٔ دست راست به‌دست آورد.

۷ **طیف امواج الکترومغناطیسی** امروزه طیف وسیعی از امواج الکترومغناطیسی را می شناسیم. این طیف شامل امواج رادیویی، میکروموج، فروسرخ، طیف نور مرئی، فرابنفش، پرتوهای X و پرتوهای گاما است که از کمترین بسامد تا بیشترین بسامد گسترده شده‌اند. تمام این امواج به رغم تفاوت فراوان در روش های تولید و کاربردهای آن‌ها، امواجی الکترومغناطیسی هستند و همگی با تندی نور در خلأ حرکت می کنند و هیچ گسستگی‌ای در این طیف وجود ندارد.



هر چه از پرتوهای گاما به سمت امواج رادیویی حرکت کنیم، طول موج امواج افزایش یافته و انرژی و بسامد آن‌ها کاهش می‌یابد.

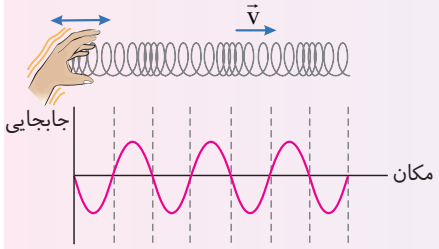
موج طولی و مشخصه‌های آن

در انتشار موج طولی در یک فنر بلند کشیده شده ناحیه‌های جمع‌شدگی و بازشدگی به طور متناوب در طول فنر ظاهر می‌شود.

در یک لحظه از زمان در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی یا بیشترین بازشدگی حلقه‌ها رخ می‌دهد، جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل برابر صفر است.

در یک لحظه در وسط فاصلهٔ بین یک جمع‌شدگی بیشینه و یک بازشدگی بیشینهٔ مجاور هم، اندازهٔ جابه‌جایی هر جزء فنر از وضعیت تعادل بیشینه است.

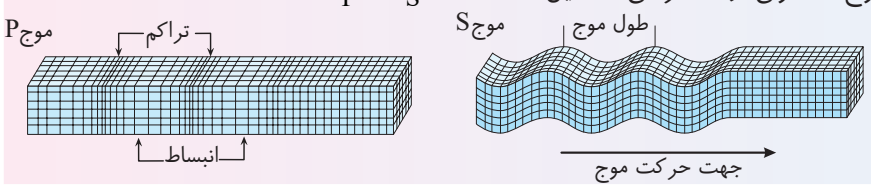
برای فنر زیر نمودار جابه‌جایی - مکان رسم شده است:



برای موج طولی
- طول موج برابر با فاصلهٔ بین دو تراکم (برای فنر، جمع‌شدگی) یا دو انبساط متوالی (برای فنر، بازشدگی) است.
- همچنین دامنهٔ موج طولی برابر با بیشینهٔ جابه‌جایی از مکان تعادل است.

برای امواج مکانیکی، تندی انتشار امواج طولی در یک محیط جامد بیشتر از تندی انتشار امواج عرضی در همان محیط است.

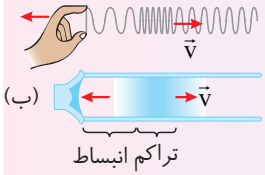
به طور مثال: امواج زمین لرزه از دو موج P (طولی) و S (عرضی) تشکیل شده است: $v_P > v_S$



صوت

مشخصه‌های امواج صوتی

امواج صوتی موج‌های مکانیکی است که راستای نوسان ذرات محیط هم راستا با انتشار صوت است.



صوت به صورت ناحیه‌های بازشدگی (لایه‌های انبساطی) و ناحیه‌های جمع‌شدگی (لایه‌های تراکمی) در محیط منتشر می‌شود.

هر مولکول هوا با موج حرکت نمی‌کند، بلکه در مکان ثابتی به جلو و عقب نوسان می‌کند.

جبهه‌های موج صوتی به صورت کروی‌اند $(A=4\pi r^2)$

تندی انتشار موج

مشابه بقیه امواج از ویژگی‌های محیط بوده و از رابطه $\lambda=\frac{v}{f}$ به‌دست می‌آید.

در هر سه محیط جامد، مایع و گاز منتشر می‌شود.

عموماً: تندی صوت در جامدها > تندی صوت در مایع‌ها > تندی صوت در گازها

آزمایش نشان می‌دهد که تندی صوت افزون بر جنس محیط به دما نیز بستگی دارد و در یک محیط با افزایش دما، تندی نیز افزایش می‌یابد.

شدت و تراز شدت صوت

شدت صوت: به مقدار انرژی صوتی که در واحد زمان در یکای سطح عمود بر راستای انتشار صوت می‌گذرد.

$$I=\frac{E}{t.A}=\frac{\overline{P}}{A}$$ (انرژی صوت: E، توان صوت: $\overline{P}$)

برای یک چشمهٔ نقطه‌ای صوت با جبهه‌های موج کروی:

$$A=4\pi r^2$$ (فاصله از چشمه: r)

عوامل مؤثر بر شدت صوت:

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

(A: دامنه، f: بسامد، r: فاصله از چشمه)

شدت صوت به محیط انتشار نیز بستگی داشته و با آشکارساز قابل اندازه‌گیری است.

تراز شدت صوت: به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta=10\log\frac{I}{I_0}$$ (β: دسی بل، I: شدت صوت)

I_0: شدت مرجع بوده و نزدیک به حد پایین گسترهٔ شنوایی است:

$$I_0=10^{-12}\,W/m^2$$

یادآوری ریاضی:

۱) $\log ab=\log a+\log b$

۲) $\log\frac{a}{b}=\log a-\log b$

۳) $\log a^n=n\log a$

۴) $\log a=\log b\Rightarrow a=b$

۵) $\log 1=0$

۶) $\log 10=1$

اختلاف تراز شدت صوت:

$$\beta_2-\beta_1=10\left(\log\frac{I_2}{I_0}-\log\frac{I_1}{I_0}\right)\Rightarrow\Delta\beta=10\log\frac{I_2}{I_1}$$

ادراک شنوایی

به صوت حاصل از چشمهٔ موجی کم‌میرا که دارای حرکت هماهنگ ساده است (مثل دیاپازون) تُن موسیقی یا به اختصار تن گویند.

شنیدن هر تن موسیقی دارای دو ویژگی متمایز **ارتفاع** و **بلندی** است که هر دو به ادراک شنوایی ما مربوط می‌شود:

ارتفاع بسامدی است که گوش انسان درک می‌کند.
به طور مثال اگر چند دیاپازون با بسامدهای مختلف به طور یکسان نواخته شوند بسامدهای آن را می‌توان از کمترین (بم‌ترین) تا بیشترین (زیرترین) مقدار تشخیص داد.

بلندی شدتی است که گوش انسان از صوت درک می‌کند.
به طور مثال اگر یک دیاپازون با بسامد مشخص را با ضربه‌هایی متفاوت به ارتعاش واداریم، بسامد صوت (ارتفاع صوت) ثابت امّا بلندی‌های مختلفی به گوش می‌رسد.

نکته بلندی متفاوت با شدت است. شدت را می‌توان با آشکارساز اندازه گرفت اما بلندی چیزی است که ما حس می‌کنیم.

دستگاه شنوایی انسان به بسامدهای متفاوت حساسیت‌های متفاوتی نشان می‌دهد.

بیشترین حساسیت گوش انسان به بسامدهایی در گسترهٔ ۲۰۰۰Hz تا ۵۰۰۰Hz است.

گوش انسان قادر به شنیدن تن‌های صدای ۲۰Hz تا ۲۰۰۰۰Hz است.

نکته ۱ اگر به مدت ۱۰ دقیقه در معرض صوتی با تراز شدت ۱۲۰dB باشیم، آستانهٔ شنوایی به طور موقت از ۰dB به ۲۸dB افزایش می‌یابد.

نکته ۲ مطالعه نشان می‌دهد که به طور متوسط اگر به مدت ۱۰ سال در معرض صدایی با تراز شدت ۹۲dB قرار گیریم، آستانهٔ شنوایی به طور دائم ۲۸dB افزایش می‌یابد.

اثر دوپلر

تغییر بسامد صوت در اثر حرکت منبع یا شنونده یا هر دو را اثر دوپلر گویند.

اگر چشمهٔ صوت و ناظر شنونده ثابت باشند، طول موج و بسامد رسیده به شنونده با طول موج و بسامد چشمه یکسان است.

چشمهٔ متحرک و ناظر (شنونده) ساکن:

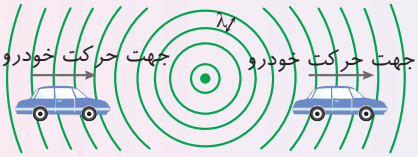
طول موج: طول موج نسبت به حالت سکون چشمه در جلوی چشمه کاهش و در عقب آن افزایش می‌یابد.

بسامد موج: بسامد موج نسبت به حالت سکون چشمه در جلوی چشمه $(\downarrow \lambda = \frac{v}{\uparrow f})$ افزایش و در پشت چشمه $(\uparrow \lambda = \frac{v}{f \downarrow})$ کاهش می‌یابد.

چشمه ساکن و ناظر (شنونده) متحرک باشد:

ناظر در حال نزدیک شدن به چشمه ← طول موج ثابت ← بسامد موج افزایش می‌یابد.

ناظر در حال دور شدن از چشمه ← طول موج ثابت ← بسامد موج کاهش می‌یابد.

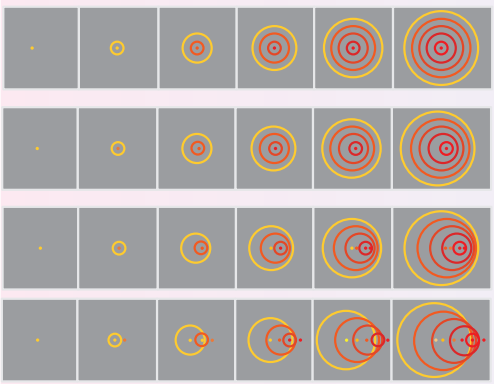


نکته

۱) اگر در اثر حرکت چشمه یا شنونده یا هر دو، بسامد افزایش یابد ← ارتفاع صوت افزایش می‌یابد.

۲) اگر در اثر حرکت چشمه یا شنونده یا هر دو، بسامد کاهش یابد ← ارتفاع صوت کاهش می‌یابد.

مقایسه جبهه‌های موج در اثر دوپلر



چشمه و ناظر ساکن

چشمه با تندی کمتر از تندی صوت در حال حرکت به سمت راست است.

چشمه با تندی برابر با تندی صوت در حال حرکت به سمت راست است.

چشمه با تندی بیشتر از تندی صوت به سمت راست در حرکت است.

دوپلر برای امواج الکترومغناطیسی

برای امواج الکترومغناطیسی مانند هر موج دیگری اثر دوپلر برقرار است.

با حرکت چشمهٔ موج نسبت به ناظر (آشکارساز)، بسامد و طول موج دریافتی تغییر می‌کند.

در پدیده‌های نجومی از جابه‌جایی دوپلری استفاده می‌شود.

با دور شدن چشمه از آشکارساز طول موج افزایش می‌یابد که به آن انتقال به سرخ گویند.

با نزدیک شدن چشمه به آشکارساز طول موج کوتاه‌تر می‌شود که به آن انتقال به آبی گویند.

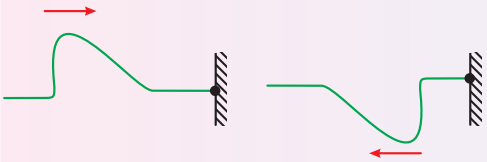
بازتاب امواج

بازتاب موج در یک بعد

اگر تپی را در یک فنر کشیدهٔ بلند که یک سر آن به تکیه‌گاهی ثابت شده است، روانه کنیم وقتی تپ به تکیه‌گاه (مرز) می‌رسد نیرویی به آن وارد می‌کند و طبق قانون سوم نیوتون تکیه‌گاه نیز نیرویی با اندازهٔ برابر و خلاف جهت بر فنر وارد می‌کند.

تپ بازتاب نسبت به تپ فرودی قرینه و معکوس است.

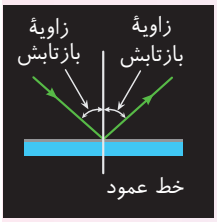
به طور مثال:



تپ فرودی و تپ بازتاب (در یک محیط منتشر شده‌اند) دارای تندی یکسان‌اند ← بسامد آن‌ها نیز یکی است.

بازتاب موج در دو یا سه بعد

قانون بازتاب عمومی زاویهٔ پرتو تابش با نیم‌خط عمود (زاویهٔ تابش) با زاویهٔ پرتو بازتاب با نیم‌خط عمود (زاویهٔ بازتاب) با هم برابرند.

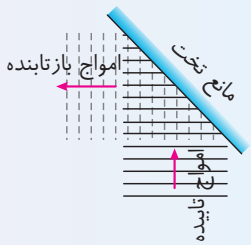


پرتوی تابش، پرتوی بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در هر بازتابشی در یک صفحه قرار دارند.

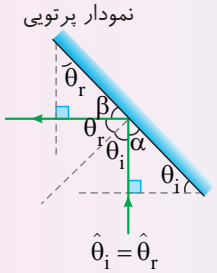
فاصلهٔ دو جبههٔ موج متوالی برابر طول موج است. پرتو موج بر جبهه‌های موج عمود بوده و راستای انتشار موج را نشان می‌دهد.

به طور مثال:

طرحی از جبهه‌های موج



نمودار پرتویی

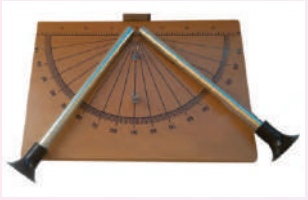


زاویهٔ بین جبهه‌های موج و سطح برابر زاویهٔ بین پرتو و خط عمود است.

$\theta_r =$ زاویه بین جبهه‌های بازتاب و سطح، $\theta_i =$ زاویه بین جبهه‌های تابش و سطح، $\theta_r =$ زاویه بازتاب، $\theta_i =$ زاویه تابش

نکته اگر پرتویی عمود بر سطح به آن برخورد کند پرتو روی خودش بازتاب می‌شود.

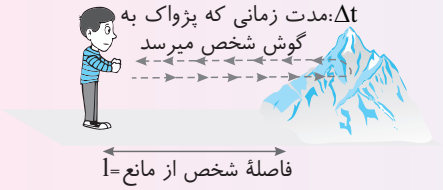
در اسباب نشان داده شده در شکل روبه‌رو، با توجه به قانون بازتاب عمومی هنگامی صوت ایجاد شده در یکی از دهانه‌ها در دهانهٔ دیگر با بلندی بیشینه شنیده می‌شود که زاویه‌ای که هر دو لوله با نیم‌خط عمود $(\theta_i = \theta_r)$ می‌سازند یکسان باشد.



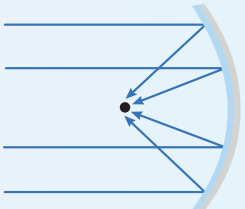
نمایشی از اسباب آزمایش بازتاب صوت

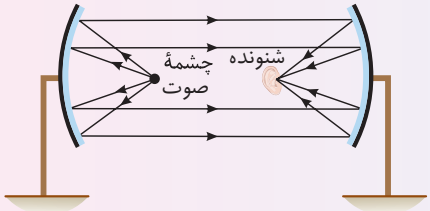
پژواک: به بازتاب صوت از یک سطح پژواک گویند.

برای تشخیص دو صوت از هم باید اختلاف زمانی رسیدن دو صوت به گوش از ۰/۱s بیشتر باشد.



بازتاب از سطح کاو: اگر پرتوهای موج موازی با محور سطح به آن برخورد کند، پرتوهای بازتاب از کانون سطح عبور می‌کنند:

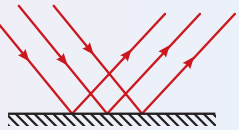




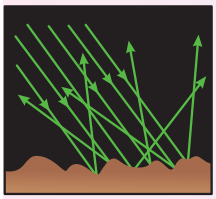
بازتاب امواج

در بازتاب دو نوع سطح وجود دارد، امّا در هر دو حالت قانون بازتاب عمومی برقرار است.

بازتاب منظم یا آینه‌ای: اگر یک دسته پرتو موازی به سطح صیقلی تابیده شود، پرتوهای بازتاب از سطح نیز با یکدیگر موازی‌اند.



بازتاب نامنظم یا پخشنده: اگر یک دسته پرتو موازی به سطح غیر صیقلی تابیده شود، پرتوهای بازتاب در جهت‌های مختلف پخش می‌شوند که این پدیده را پخش نور گویند.



نکته یک سطح برای پرتوهای نوری غیرصیقلی است که ناهمواری‌های سطح بزرگ‌تر از طول موج نور باشد.

کاربرد بازتاب:

۱ میکروفون سهموی که با استفاده از بازتاب صوت از سطح کاو صدای رسیده به آن را تقویت می‌کند.

۲ لیتوتریپسی که از آن برای شکستن سنگ‌های کلیه به کمک بازتابنده‌های بیضوی استفاده می‌شود.

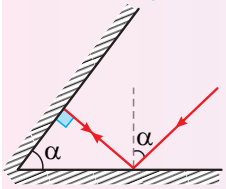
۳ در دستگاه سونار که در کشتی‌ها برای مکان‌یابی اجسام زیر آب به‌کار می‌رود از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود.

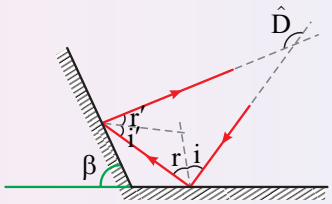
۴ در دستگاه سونوگرافی از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود.

۵ برای اندازه‌گیری تندی شارش خون از مکان‌یابی پژواکی به همراه اثر دوپلر می‌توان استفاده کرد.

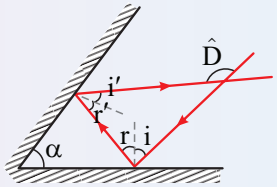
۶ در دوربین‌های کنترل سرعت (رادار دوپلری) از امواج الکترومغناطیسی برای مکان‌یابی پژواکی استفاده شده است.

بررسی چند نمونه بازتاب از روی آینه‌های متقاطع

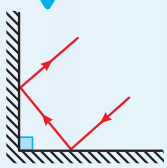




$\hat{D} = 2\beta$



$\hat{D} = 2\alpha$



اگر دو آینه بر هم عمود باشند پرتوی تابش و بازتاب از سطح دوم با هم موازی‌اند

شکست موج

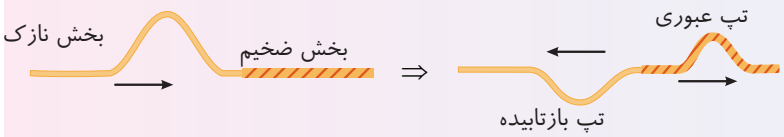
تغییر تندی پیشروی موج در ورود به محیط جدید را گویند.

هنگام گذر موج از یک محیط به محیط دیگر بسامد ثابت می‌ماند اما تندی انتشار موج و طول موج تغییر می‌کند. $f_1 = f_2 \Rightarrow \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$

شکست موج در یک بعد

هنگام رسیدن موج به مرز جدایی دو محیط بخشی از موج بازتاب و بخشی دیگر عبور می‌کند.

اگر یک تپ را در سمت نازک ریسمان تولید کنیم.



اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، قطر سیم کاهش یافته و با توجه به رابطهٔ تندی موج در ریسمان $v = \frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$ تندی موج افزایش می‌یابد: $\xrightarrow{\lambda = \frac{v}{f}} \lambda_2 > \lambda_1$

- $v_2 > v_1$
- $f_2 = f_1$: چشمهٔ موج تغییر نکرده است.

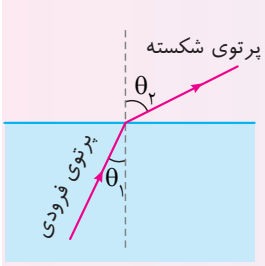
شکست موج

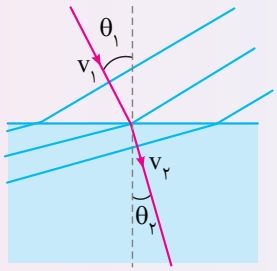
شکست موج در دو یا سه بعد

اگر یک موج به طور مایل از یک محیط به محیط دیگر وارد شود، جهت پیشروی موج در مرز بین دو محیط تغییر می‌کند.

قانون شکست عمومی نسبت سینوس زاویهٔ تابش و زاویهٔ شکست با نسبت تندی در دو محیط برابر است.

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





در هر محیطی که تندی موج در آن بیشتر است، زاویهٔ پرتو موج با نیم‌خط عمود بر مرز بین دو محیط بزرگ‌تر است.

نکته اگر پرتو موجی عمود بر مرز بین دو محیط بتابد، در ورود به محیط دوم منحرف نمی‌شود اما تندی و طول موج آن تغییر می‌کند.

شکست امواج الکترومغناطیسی

ضریب شکست هر محیط برابر نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در آن محیط است.

$$n=\frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}}=\frac{c}{v}$$

هر چه ضریب شکست یک محیط بیشتر باشد، تندی نور در آن محیط کمتر است، می‌توان گفت آن محیط غلیظ‌تر است.

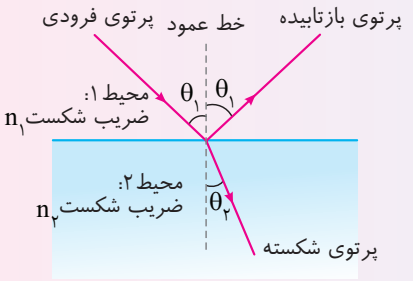
در یک محیط با ضریب شکست بیشتر، طول موج کوتاه‌تر است.

قانون شکست اسنل

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

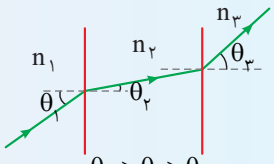
جمع‌بندی

$$\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}=\frac{\lambda_2}{\lambda_1}=\frac{n_1}{n_2}$$



در گذر نور از چند محیط به سه نکته زیر دقت کنید:

هر محیطی که در آن زاویهٔ پرتو با خط عمود بزرگ‌ترین باشد، تندی نور در آن محیط بیشترین است و آن محیط کمترین ضریب شکست را دارد.

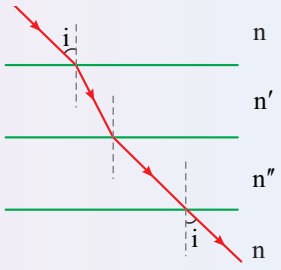


$\theta_3>\theta_1>\theta_2$

$v_3>v_1>v_2$

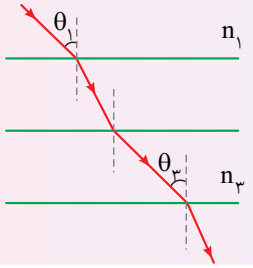
$n_3<n_1<n_2$

اگر محیط ابتدا اول و آخر یکسان باشند. پرتو نور ورودی و خروجی با هم موازی می‌شوند.



برای هر دو محیط دلخواهی می‌توانیم روابط شکست را بنویسیم به طور مثال:

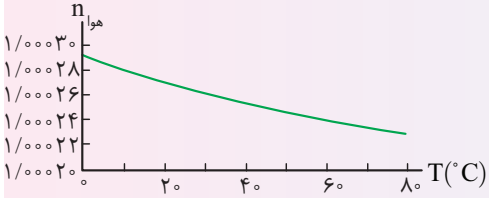
$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_3}=\frac{v_1}{v_3}=\frac{\lambda_1}{\lambda_3}=\frac{n_3}{n_1}$$



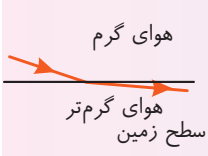
سراب

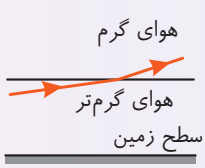
۱ در روزهای گرم اتفاق می‌افتد.

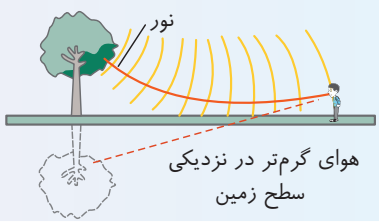
۲ ضریب شکست یک محیط مثل هوا به دمای آن نیز بستگی دارد و با افزایش دما ضریب شکست محیط کاهش می‌یابد.



۳ در بررسی دقیق‌تر پدیدهٔ سراب متوجه می‌شویم که در روزهای گرم لایه‌های هوایی نزدیک به زمین گرم‌تر است و مطابق شکل زیر بخش‌های پایینی جبهه موج کمی تندتر از بخش بالایی جبههٔ موج حرکت می‌کنند (زیرا با افزایش دما محیط رقیق‌تر و تندی موج در آن محیط بیشتر می‌شود) و این باعث می‌شود پرتوهای موج رو به بالا خم شوند:



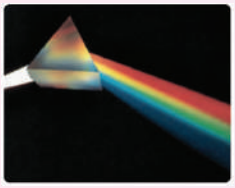


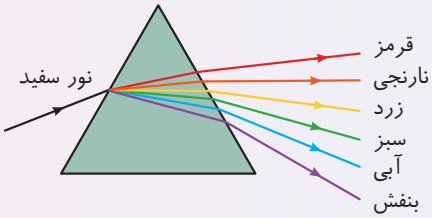


شکست موج

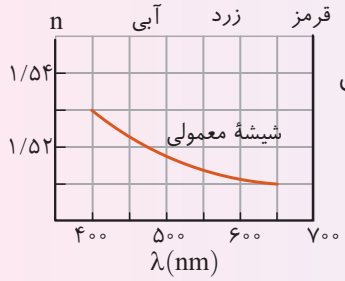
پاشندگی نور

تجزیه نور سفید به رنگ‌های متفاوت به وسیلهٔ منشور نمونه‌ای از پاشندگی نور است:

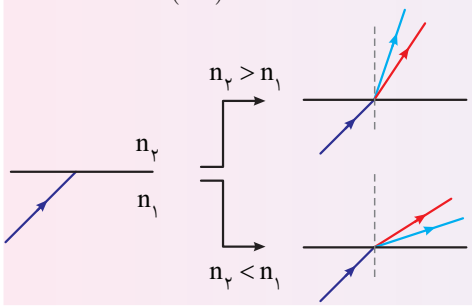




- علت پاشندگی نور متفاوت بودن ضریب شکست یک محیط معین غیر خلأ برای طول موج‌های مختلف است.
- عموماً ضریب شکست یک محیط معین برای طول موج‌های کوتاه‌تر بیشتر است.
  - ضریب شکست یک محیط معین، برای نور قرمز کمترین و برای نور بنفش بیشترین مقدار است.

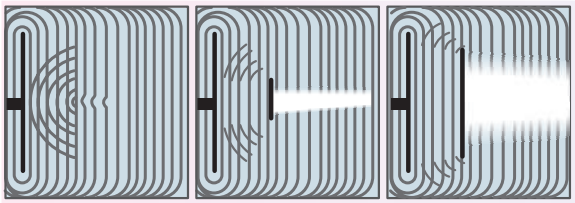


- مثال: پرتو نور اولیه ترکیبی از نور آبی و قرمز است.



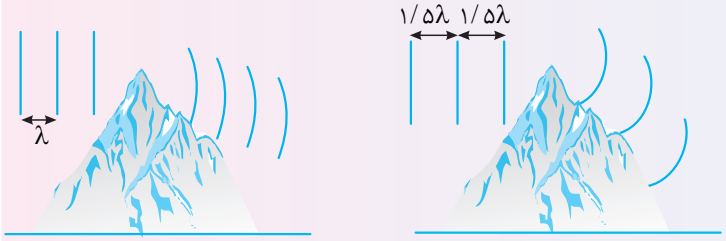
پراش

اگر در مسیر پیشروی موج مانعی قرار دهیم، بخشی از موج از لبه‌های مانع یا شکاف‌های آن می‌گذرد. در صورتی که ابعاد مانع یا شکاف در حدود طول موج باشد، بخشی از موج که از لبه‌ها یا شکاف‌ها عبور می‌کند به وضوح به اطراف مانع یا شکاف گسترده می‌شود که به این رفتار موج، پراش می‌گویند.

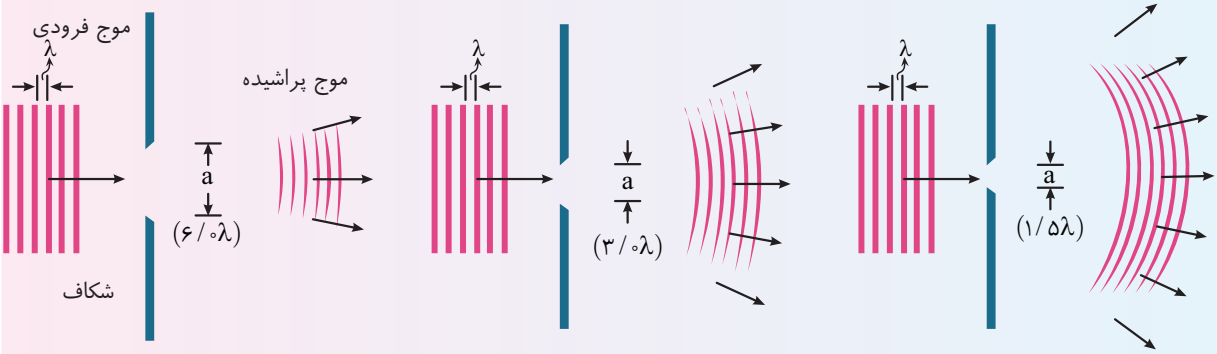


هر چه ابعاد شکاف یا لبهٔ یک مانع بیشتر در حدود طول موج باشد، پراش بارزتری رخ می‌دهد و موج به ناحیهٔ سایه بیشتری دسترسی پیدا می‌کند:

- با افزایش طول موج پراش بارزتری رخ می‌دهد.



- با کاهش پهنای شکاف پراش بارزتری رخ می‌دهد.



در عبور از یک شکاف طول موج، بسامد و تندی موج ثابت می‌ماند.

اگر پراش نور تک‌فام از یک شکاف باریک یا لبه‌ای تیز را روی یک پرده ملاحظه کنیم، همواره نوارهای تاریک و روشنی موسوم به نقش پراش موازی با لبه‌های شکاف مشاهده می‌کنیم. البته تحلیل نقش پراش مبتنی بر بحث تداخل امواج است.

تداخل امواج

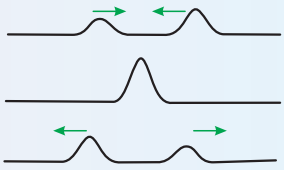
اصل برهم‌نهی ← وقتی چندین موج به طور همزمان بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آن‌ها برابر مجموع اثرهای مجزای هریک از آن‌ها است.

به طور مثال اگر دو قلهٔ موج در یک نقطه به هم برسند، آن نقطه از محیط به اندازهٔ مجموع دامنهٔ دو موج از حالت تعادل خود بالا می‌رود.

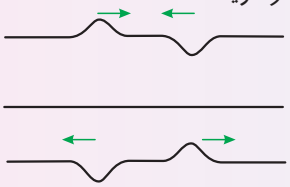
$$(A_t = A_1 + A_2)$$

به ترکیب موج‌ها با یکدیگر تداخل گویند، به بیان دیگر، تداخل ترکیب دو یا چند موج است که همزمان از یک نقطه عبور می‌کنند.

در شکل زیر تپ‌ها هنگام هم‌پوشانی تپ بزرگ‌تری را ایجاد کرده‌اند که به آن تداخل سازنده می‌گویند.

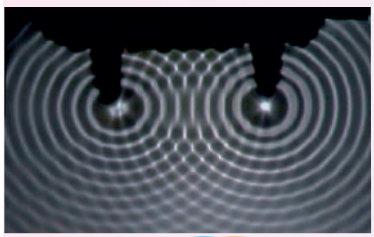


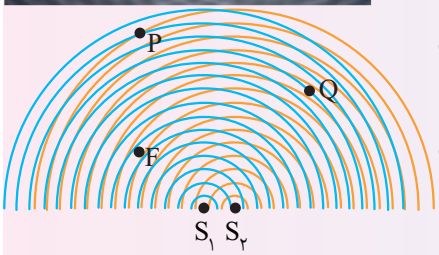
در شکل زیر تپ‌ها هنگام هم‌پوشانی اثر یکدیگر را حذف کرده‌اند که به آن تداخل ویرانگر گویند.



دقت کنید که تداخل تپ‌ها مسیر حرکت آن‌ها را تغییر نمی‌دهد و پس از تداخل شکل تپ‌ها و مسیر حرکت آن‌ها مشابه قبل از هم‌پوشانی باقی می‌ماند. تداخل موج‌ها نیز مانند تداخل تپ‌هایی که در بالا توضیح دادیم خواهد بود.

تداخل امواج سطحی آب ← هر گاه دو نوسان‌ساز هم‌دوره (با بسامد یکسان) روی سطح آب مطابق شکل موج ایجاد کنند. پس از انتشار دو موج با هم تداخل می‌کنند.



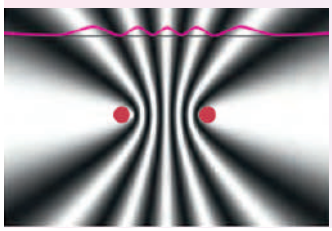


به طور مثال در نقطهٔ P: قله‌های دو موج به هم رسیده و تداخل سازنده است و دامنهٔ موج آب بیشینه می‌شود. $(A_T = A_1 + A_2)$

در نقطهٔ Q: قله موج S_1 به درهٔ موج S_2 رسیده و تداخل ویرانگر است و دامنهٔ موج آب کمینه می‌شود. $(A_T = A_1 - A_2)$

در نقطهٔ F: دره‌های دو موج به هم رسیده و تداخل سازنده است و سطح آب به شدت پایین می‌رود.

به چنین نقش متناوب یک در میان از بیشینه و کمینه موج تداخلی، نقش تداخل گفته می‌شود.



تداخل امواج صوتی

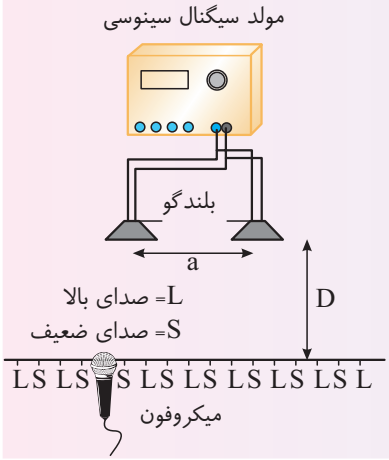
در آزمایش شکل زیر، توسط دو بلندگوی هم‌بسامد در فاصلهٔ مناسب از بلندگوها روی خط افقی نقش تداخلی ایجاد می‌شود.

در نقاط L تداخل صوتی سازنده بوده و صدای بلندی شنیده می‌شود.

در نقاط S تداخل صوتی ویرانگر بوده و صدای ضعیف شنیده می‌شود.

فاصلهٔ نقاط S و L متناسب با طول موج صوت است و با افزایش طول موج فاصلهٔ این نقاط از هم بیشتر می‌شود.

با حرکت دادن میکروفون صدای دریافتی به طور متناوب کم و زیاد می‌شود.

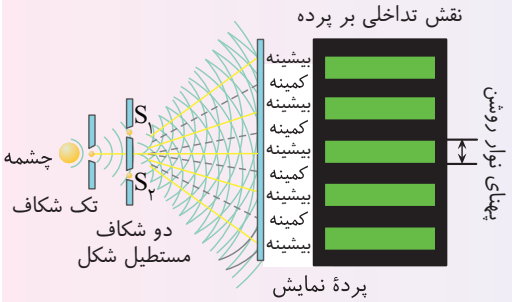


تداخل امواج

تداخل امواج نوری

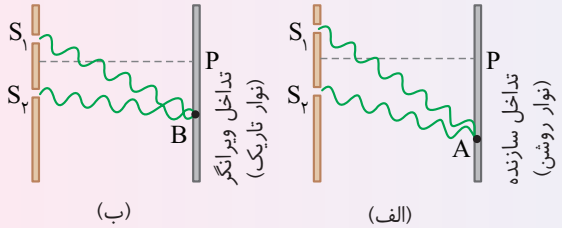
آزمایش یانگ نشان‌دهندهٔ رفتار موجی نور است.

در این آزمایش نورهای پراش یافته از دو شکاف S_1 و S_2 با یکدیگر تداخل کرده و روی پردهٔ نمایش نوارهای (فریزهای) تاریک و روشن ایجاد می‌کنند.



در محل نوارهای (فریزهای) روشن تداخل دو موج سازنده است و دو موج یکدیگر را تقویت می‌کنند.

در محل نوارهای (فریزهای) تاریک تداخل دو موج ویرانگر است و دو موج یکدیگر را تضعیف می‌کنند.



نوارهای روشن و تاریک روی پرده که ناشی از تداخل‌های سازنده و ویرانگرند، نقش‌های تداخلی خوانده می‌شوند.

پهنای نوارهای تاریک و روشن (که مساوی فرض می‌شوند) متناسب با طول موج نور به‌کار رفته در آزمایش است.

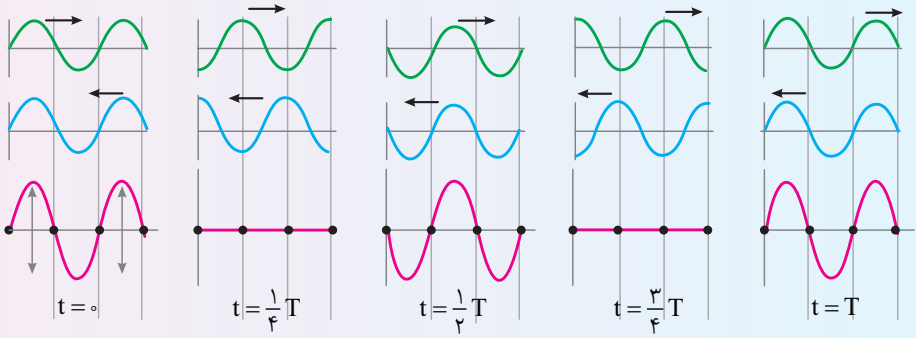
- به طور مثال اگر آزمایش یانگ را یک بار با نور قرمز و بار دیگر با نور سبز انجام دهیم $(\lambda_{\text{سبز}} < \lambda_{\text{قرمز}})$، پهنای نوارهای تاریک و روشن نور قرمز بزرگ‌تر از پهنای نوارهای تاریک و روشن نور سبز است.
- اگر آزمایش یانگ در محیط شفافی با ضریب شکست n انجام شود، به دلیل کاهش طول موج، پهنای نوارها نسبت به آزمایش یانگ در هوا، $\frac{1}{n}$ می‌شود.

موج ایستاده و تشدید در ریسمان

امواج ایستاده

هر گاه دو موج رفت و برگشت هم‌دوره و هم‌دامنه در یک ریسمان منتشر شوند در اثر تداخل آن‌ها امواج ایستاده تشکیل می‌شود.

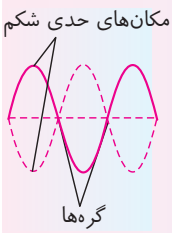
برای تولید امواج ایستاده کافی است موجی را در یک ریسمان متصل به انتهای ثابت بفرستیم، موج پس از بازتاب از مانع، تشکیل امواج ایستاده می‌دهد.



نکته بازهٔ زمانی بین دو بارِ متوالی تخت شدن ریسمان، $\frac{T}{2}$ است. به شکل $t=\frac{T}{4}$ و $t=\frac{3T}{4}$ دقت کنید.

به نقاطی از ریسمان که هنگام تشکیل امواج ایستاده هرگز حرکت نمی‌کند، گره گفته می‌شود.

وسط دو گرهٔ مجاور را شکم گویند.



جمع‌بندی امواج ایستاده:

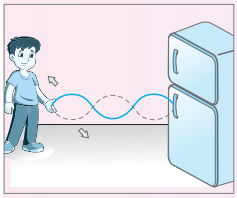
- امواج عرضی، می‌توانند امواج ایستاده تولید کنند.
- امواج طولی، می‌توانند امواج ایستاده تولید کنند.
- بسامد ارتعاش تمام نقاط محیط یکسان و برابر بسامد چشمه موج است.
- پس از تشکیل امواج ایستاده، جای گره‌ها و شکم‌ها ثابت است.
- تمام نقاط بین دو گرهٔ متوالی با هم بالا و پایین می‌روند اما دامنهٔ آن‌ها یکسان نیست.
- دو شکم مجاور هم حرکتشان قرینهٔ هم است وقتی یکی رو به بالا می‌رود دیگری رو به پایین می‌رود.

موج ایستاده و تشدید در ریسمان

امواج ایستاده

جمع‌بندی امواج ایستاده:

- فاصلهٔ دو گرهٔ متوالی یا دو شکم متوالی $\frac{\lambda}{2}$ و فاصلهٔ یک گره از شکم مجاورش $\frac{\lambda}{4}$ است.
- پس از تشکیل امواج ایستاده، این موج به سمت راست و چپ حرکت نمی‌کند و هر ذره دارای حرکت هماهنگ ساده است و انرژی از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل نمی‌شود.



- با توجه به شکل روبه‌رو پس از تشکیل امواج ایستاده در محل چشمه (نوسان‌ساز)، گره وجود دارد.
- در نقاط گره دو موج به هم رسیده کاملاً ناهمفاز (در فاز مخالف)اند و تداخل ویرانگر است.
- در نقاط شکم دو موج به هم رسیده کاملاً همفازاند و تداخل سازنده است.

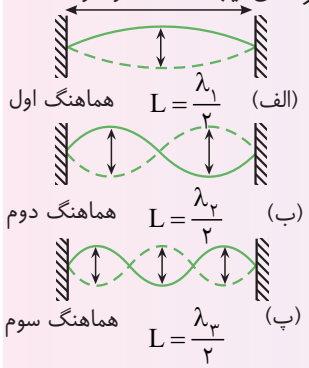
فاصلهٔ گرهٔ nام از انتهای ثابت برابر $\Delta x = 2n\frac{\lambda}{4}$ و فاصلهٔ شکم nام از انتهای ثابت برابر $\Delta x = (2n-1)(\frac{\lambda}{4})$ است.

تشدید در ریسمان

اگر دو سر یک تار را به یک نوسان ساز وصل کنیم، در این تار به‌ازای بسامدهای معینی امواج ایستادهٔ بارز رخ می‌دهد و گره و شکم به خوبی روی تار قابل مشاهده است. به این بسامدهای معین، بسامدهای تشدیدی می‌گویند.

با توجه به شکلِ سه بسامد تشدیدی اول یک تار، می‌توان طول موج تار را بر حسب عدد هماهنگ به‌دست آورد:

- عدد هماهنگ یک تار برابر تعداد شکم‌های ایجادشده در تار یا یک واحد کمتر از تعداد گره‌های ایجاد شده در تار است.



$\lambda_n = \frac{2L}{n}$ ← طول تار ← شمارهٔ هماهنگ

یادآوری برای یک موج رابطهٔ $\lambda = \frac{v}{f}$ برقرار است بنابراین بسامدهای تشدیدی تار با استفاده از رابطهٔ روبه‌رو به‌دست می‌آیند.

$f_n = \frac{v}{\lambda_n} \Rightarrow f_n = \frac{nv}{2L}$ ← عدد هماهنگ ← تندی تار ← طول تار ← بسامد تشدیدی

- تندی تار برابر $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F}{\rho A}} = \frac{2}{D}\sqrt{\frac{F}{\rho\pi}}$ است که در این رابطه F نیروی کشش ریسمان و μ چگالی خطی جرمی تار یعنی $\frac{m}{L}$ است.

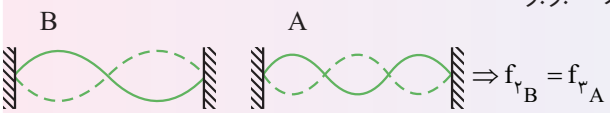
(چگالی تار، قطر مقطع تار، سطح مقطع تار)

مدهای نوسان را با بسامد تشدیدی مشخص می‌کنند.

کمینه بسامد یک تار مربوط به $n=1$ است که به آن بسامد اصلی گفته می‌شود و مد مربوط به آن را مد اصلی یا هماهنگ اول گویند. $f_1 = \frac{v}{2L}$

- در هماهنگ اول، طول موج تار بیشینه است. $\lambda_1 = \frac{2L}{1} = 2L$
- **میانبر** بسامد هماهنگ nام، n برابر بسامد هماهنگ اول است. $f_n = nf_1$
- نسبت بسامد دو هماهنگ m ام و nام برابر است با: $\frac{f_m}{f_n} = \frac{mf_1}{nf_1} = \frac{m}{n}$
- تفاضل دو بسامد متوالی همواره برابر بسامد اصلی خواهد شد: $f_n - f_{n-1} = nf_1 - (n-1)f_1 = f_1$

هنگامی بین دو تار یا یک تار و یک وسیله تشدید رخ می‌دهد که بسامد آن‌ها با هم برابر باشد. به طور مثال اگر دو تار زیر با یکدیگر تشدید کنند، بسامد هماهنگ سوم تار A با بسامد هماهنگ دوم تار B برابر است:



$\Rightarrow f_{2B} = f_{3A}$

موج ایستاده و تشدید در لولهٔ صوتی

اگـر در یـک لوله بدمیم به شـرطی که طـول لوله مضرب‌های معینی از طول موج صوت باشـد، در لوله تشـدید رخ می‌دهد و موج‌های صوتی تشکیل امواج ایستاده با شکم و گره مشخص می‌دهند.

در یک لولهٔ در حال تشدید، فاصلهٔ دو گره یا دو شکم مجاور $\frac{\lambda}{2}$ و فاصلهٔ یک شکم از یک گره $\frac{\lambda}{4}$ است.

دقت کنید که صوت یک موج طولی است و در شکل‌های زیر برای اینکه آن را راحت‌تر نمایش دهیم به صورت موج عرضی مدلسازی کرده‌ایم.

در انتهای بستهٔ لوله گره و در انتهای باز آن شکم ایجاد می‌شود.

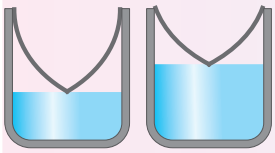
الف) لولهٔ صوتی با دو انتهای باز (لولهٔ صوتی باز)		ب) لولهٔ صوتی با یک انتهای باز و یک انتهای بسته (لولهٔ صوتی بسته)[1]	
مد اصلی (بم‌ترین صوت)	$L=\frac{\lambda_1}{2}$	مد اصلی (بم‌ترین صوت)	$L=\frac{\lambda_1}{4}$
مد دوم (هماهنگ دوم)	$L=2\frac{\lambda_2}{2}$	مد دوم (هماهنگ سوم)	$L=3\frac{\lambda_3}{4}$
مد سوم (هماهنگ سوم)	$L=3\frac{\lambda_3}{2}$	مد سوم (هماهنگ پنجم)	$L=5\frac{\lambda_5}{4}$
مد n اُم (هماهنگ n اُم)	$L=n\frac{\lambda_n}{2}$	مد n اُم (هماهنگ n اُم)	$L=(2n-1)\frac{\lambda_n}{4}$
در لولهٔ صوتی با دو انتهای باز، تعداد شکم از تعداد گره‌ها یک واحد بیشتر است. / در لولهٔ صوتی با دو انتهای باز، طول لوله مضرب درست $\frac{\lambda}{2}$ یا مضرب زوج $\frac{\lambda}{4}$ است.		در لولهٔ صوتی با یک انتهای باز تعداد شکم‌ها و تعداد گره‌ها یکسان است. / در لولهٔ صوتی با یکی انتهای باز، طول لوله مضرب فرد $\frac{\lambda}{4}$ است.	

نکتهٔ مهم

۱) در تار مرتعش، موج ایستاده در تار عرضی ← امّا ← موج صوتی ایجاد شده در محیط، طولی است.

۲) در لولهٔ صوتی، موج ایستاده در لوله طولی ← همچنین ← موج صوتی ایجاد شده در محیط، طولی است.

۳) هنگام پر کردن یک ظرف استوانه‌ای تو پر مطابق شکل فضای خالی لیوان در حال کاهش بوده و طول موج صوت ایجاد شده کاهش می‌یابد بنابراین:



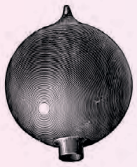
$\lambda \downarrow \xrightarrow{\lambda=\frac{v}{f}}$ بسامد افزایش می‌یابد ← ارتفاع صوت زیاد می‌شود / صدا زیرتر می‌شود

هنگام خالی کردن یک پارچ یا لیوان بر عکس حالت بالا اتفاق می‌افتد و طول موج افزایش می‌یابد در نتیجه بسامد صوت حاصل کاهش یافته و ارتفاع صوت کم می‌شود و صدا بم‌تر خواهد شد.

تشدیدگر هلمهولتز و امواج ایستاده در لوله‌های میکروموج

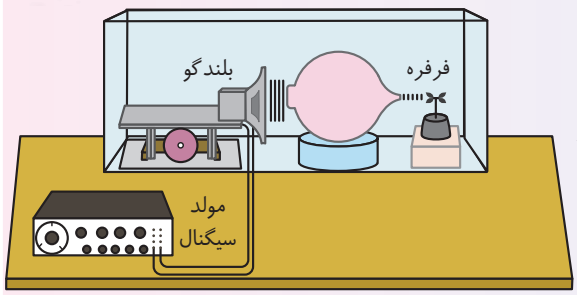
وقتی در دهانهٔ یک بطری می‌دمیم، گسـترهٔ وسـیعی از بسامدها ایجاد می‌شود که اگر یکی از این بسامدها با یکی از بسامدهای تشدیدی بطری منطبق باشد، یک موج صوتی قوی ایجاد می‌شود.

تشدیدگر هلمهولتز: به ظرفی مانند بطری که دارای یک گردن است، تشدیدگر هلمهولتز گفته می‌شود و ساده‌ترین آن به صورت کره‌هایی تو خالی با دهانه‌ای باز به شکل گردن بوده و به صورت روبه‌رو است:



تشدیدگر هلمهولتز مانند لوله‌های صوتی، بسامدهای تشدیدی معینی دارند و هرگاه بسامد یک صوت برابر با یکی از بسامدهای تشدیدی آن باشد، تشدیدگر پاسخ قوی‌تری به آن می‌دهد.

به طور مثال: در شـکل روبه‌رو تنها به ازای بسـامدهای معینی صـوت عبوری از تشـدیدگر باعث چرخیدن فرفره خواهد شـد که این بسـامدهای معین همان بسـامدهای تشدیدی تشدیدگر هلمهولتز است.



۱- بررسی شکل‌های کتاب درسی جزء برنامهٔ رسمی کتاب نیست اما حضور مسائل آن به دلیل شباهت زیاد با تار مرتعش در سؤالات کنکور ممکن است.

تشدیدگر همولتز و امواج ایستاده در اجاق میکروموج

اجاق‌های میکروموج (مایکروفر) بر اساس تداخل امواج الکترومغناطیسی و تشکیل امواج ایستاده کار می‌کند.

بسامد امواج ایستادهٔ ایجادشده ۲/۴۵۰GHz و طول موج آن حدود ۱۲cm است.

در محل شکم‌ها دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی بیشینه است و مولکول‌های آب موجود در مواد غذایی به شدت به ارتعاش درآمده و بیشترین افزایش دما ایجاد می‌شود.

در محل گره‌ها، دامنهٔ نوسان میدان الکتریکی صفر است و هیچ نوسان میدان الکتریکی‌ای نداریم و در گره‌ها اصطلاحاً نقاط سرد داریم.

به همین دلیل اجاق‌های میکروموج صفحه‌های گردانی دارند تا با گرداندن غذا در اجاق هیچ بخشی از غذا در گره باقی نماند.

آشنایی با فیزیک اتمی

فیزیک کلاسیک

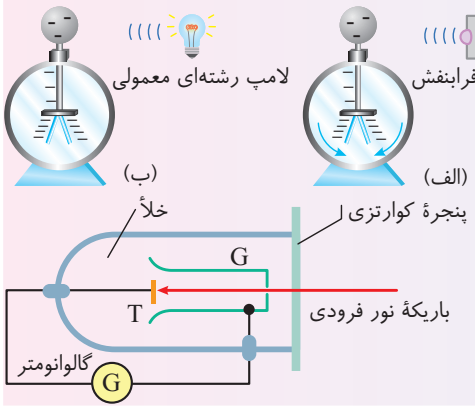
به مکانیک نیوتونی، نظریه الکترومغناطیس ماکسول و ترمودینامیک، فیزیک کلاسیک گویند.

فیزیک جدید

- شالودهٔ فیزیک جدید نظریه‌های نسبیت خاص و عام و نظریه کوانتومی است.
- نظریهٔ نسبیت خاص، پدیده‌های فیزیکی در سرعت‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با سرعت نور را توجیه می‌کند.
- نظریهٔ نسبیت عام، پدیده‌های مربوط به مطالعهٔ هندسه فضا - زمان و گرانش را بررسی می‌کند.
- نظریهٔ کوانتومی به مطالعهٔ پدیده‌ها در مقیاس بسیار کوچک، مانند مولکول‌ها، اتم‌ها و ذره‌های ریزی که اتم‌ها را می‌سازند (ذره‌های زیراتمی) می‌پردازد.
- فیزیک جدید در واقع به پدیده‌هایی می‌پردازد که توسط فیزیک کلاسیک قابل توجیه نیست از جمله این پدیده‌ها می‌توان به اثر فوتوالکتریک، ساختار اتم، طیف اتمی و ساختار هسته اشاره کرد.

اثر فوتوالکتریک

- جدا شدن الکترون از سطح فلز توسط تاباندن نور (تابش الکترومغناطیسی) بر آن را اثر فوتوالکتریک گویند و الکترون‌های جداشده را فوتوالکترون می‌نامند.
- با تاباندن نور مرئی بر کلاهک الکتروسکوپ باردار با بار منفی، انحراف ورقه‌ها تغییر نمی‌کند اما با تاباندن نور فرابنفش، انحراف ورقه‌ها کاهش می‌یابد که علت آن اثر فوتوالکتریک است.



- برای بررسی اثر فوتوالکتریک از مدار روبه‌رو استفاده می‌شود.

دیدگاه فیزیک کلاسیک

- رخ دادن پدیدهٔ فوتوالکتریک به بسامد نور فرودی بر فلز بستگی ندارد و با هر بسامدی رخ می‌دهد.
- در نظریهٔ ماکسول، شدت نور با مربع دامنهٔ میدان الکتریکی موج متناسب است $(I \propto E^2)$ و با افزایش شدت نور باید انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها افزایش یابد.
- عامل جدا شدن الکترون نیرویی است که توسط میدان الکتریکی نور بر الکترون وارد می‌شود. $(\vec{F} = -e\vec{E})$

تجربه آزمایشگاهی

- رخ دادن اثر فوتوالکتریک به شدت نور فرودی بر فلز بستگی ندارد.
- رخ دادن اثر فوتوالکتریک به بسامد نور بستگی دارد.
- کمترین بسامد را (و بلندترین طول موج) که اثر فوتوالکتریک با آن رخ می‌دهد، **بسامد آستانه** (طول موج آستانه) گویند.
- با افزایش شدت نور، انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها تغییر نمی‌کند و تنها تعداد فوتوالکترون‌ها افزایش می‌یابد.

نظریهٔ اینشتین

فوتون ← نور از بسته‌های حاوی انرژی به نام فوتون تشکیل شده است.

- انرژی هر فوتون $E = hf$ (بسامد نور) و انرژی کل پرتو نور $E = nhf$ (تعداد فوتوالکترون‌ها) است.

ثابت پلانک $h = 6/63 \times 10^{-34}\ J.s$

- با تاباندن نور مناسب و جدا شدن الکترون، بخشی از انرژی فوتون سبب جدا شدن الکترون (W) می‌شود و بخشی از انرژی فوتون به انرژی جنبشی الکترون تبدیل می‌شود $K = hf - W_0 (K)$.
- W مقدار انرژی لازم برای جدا شدن الکترون است.

تابع کار ← برای هر فلز، یک حداقل انرژی (کار) لازم است تا الکترون از فلز جدا شود، این حداقل انرژی را تابع کار گویند (W_0).

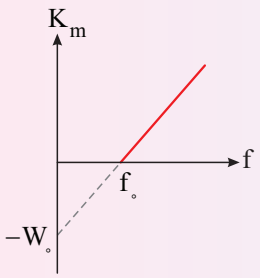
- تابع کار به جنس فلز بستگی دارد.
- بین تابع کار و بسامد آستانه و طول موج آستانه رابطهٔ $W_0 = hf_0$ و $W_0 = hc/\lambda_0$ برقرار است.
- تابع کار مربوط به سست‌ترین الکترون است، بنابراین با جدا شدن الکترون انرژی جنبشی آن بیشینه است.

$K_m = hf - W_0$

آشنایی با فیزیک اتمی

اثر فوتوالکتریک

نمودار $K_m - f$ ← نمودار خط راست است.



- عرض از مبدأ آن $-W_\circ$ است.
- شیب خط آن ثابت پلانک است.
- طول از مبدأ آن بسامد آستانه است.
- در تمام آزمایش‌های فوتوالکتریک برای هر فلزی شیب خط نمودار $(K_m - f)$ برابر h است، یعنی نمودارها با هم موازی‌اند.

الکترون ولت

- مقدار انرژی مورد نیاز برای گذر یک الکترون در اختلاف پتانسیل $1\,V$ در خلأ را الکترون‌ولت (eV) گویند.
- هر الکترون ولت معادل $1/6\times10^{-19}\,J$ است. $(1\,eV = 1/6\times10^{-19}\,J)$
- ثابت پلانک: $h = 4/14\times10^{-15}\,eV.s$ ← تقریب مهم $hc = 1240\,eV.nm$
- نمودار $k_m - f$ خطی است و شیب آن برای هر فلزی h است.
- اگر بسامد نور دو برابر شود، انرژی جنبشی بیشینه، بیش از دو برابر افزایش می‌یابد.

آشنایی با فیزیک اتمی (طیف اتمی، الگوهای اتمی)

طیف گسیلی از گازها و بخار عنصرها از خطوط رنگی جدا از هم با طول موج‌های معین تشکیل شده است که به آن **طیف گسیلی (نشری) خطی** گویند.

طیف نور سفیدی را که بعضی از خط‌ها یا طول موج‌های آن جذب شده باشد **طیف جذبی** گویند.

طیف خورشید

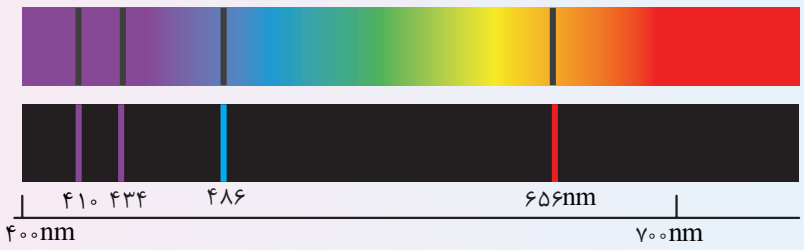
- در طیف نور خورشید خط‌های تاریک جذبی (به نام خطوط فرانهوفر) دیده می‌شود.
- خط‌های جذبی طیف خورشید معرف عنصرهای موجود در جو خورشید و جو زمین است.
- با بررسی طیف جذبی نور ستارگان می‌توان به عنصرهای تشکیل‌دهنده آن‌ها پی برد.

طیف اتمی

به طیف گسیلی خطی و طیف جذبی خطی عنصری طیف اتمی می‌گویند.

ویژگی‌های طیف اتمی

- طیف اتمی هیچ دو عنصری شبیه به هم نیست و طول موج‌های گسیلی و جذبی هر عنصر منحصر به فرد است.
- اتم هر عنصر دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کند که اگر دمای آن به اندازه کافی بالا رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شود، آن‌ها را تابش می‌کند.



جذب و گسیل نور توسط اتم هیدروژن

تصویر بالایی: طیف جذبی، خط‌های تاریک در زمینهٔ روشن معرف طول موج‌های جذب شده هستند.

تصویر پایینی: طیف گسیلی، خط‌های روشن معرف طول موج‌های گسیلی هستند.

آشنایی با فیزیک اتمی (طیف اتمی، الگوهای اتمی)

رابطهٔ ریدبرگ – بالمر

$n' < n$

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right)$$

$R_H = 0/0109 (nm^{-1})$

در هر رشته خطوط شماره‌گذاری دارند. اولین خط طیفی بلندترین طول موج گسیلی آن رشته و گذار الکترون از اولین تراز بالاتر به آن تراز است.

این رابطه تنها برای اتم هیدروژن است.

نام رشته	مقدار n'	رابطهٔ ریدبرگ مربوط	مقدارهای n	گسترهٔ طول موج
لیمان	$n'=1$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=2,3,4,\ldots$	فرابنفش
بالمر	$n'=2$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=3,4,5,\ldots$	فرابنفش و مرئی
پاشن	$n'=3$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{3^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=4,5,6,\ldots$	فروسرخ
براکت	$n'=4$	$\frac{1}{\lambda}=R_H(\frac{1}{4^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=5,6,7,\ldots$	فروسرخ
پفوند	$n'=5$	$\frac{1}{\lambda}=(\frac{1}{5^2}-\frac{1}{n^2})$	$n=6,7,8,\ldots$	فروسرخ

الگوهای اتمی

الگوی اتمی تامسون

اتم به صورت توزیع کروی یکنواختی از جرم و بار مثبت است که الکترون‌ها درون آن قرار دارند.

این الگو توانایی توجیه کردن طیف اتمی را ندارد.

این الگو با آزمایش رادرفورد و کشف هستهٔ اتم در تضاد است.

الگوی اتمی رادرفورد

آزمایش ورقهٔ طلا: انحراف غیر عادی ذرات آلفای تابیده‌شده به ورقهٔ نازک طلا و پراکندگی غیرعادی آن‌ها سبب ارائهٔ الگوی اتمی رادرفورد شد.

همهٔ بار مثبت اتمی در فضای کوچکی به نام هسته قرار دارد و الکترون‌ها در فاصلهٔ زیادی از هسته قرار دارند. این مدل را **مدل اتم هسته‌ای** یا **مدل هسته‌ای اتم** می‌نامند.

نارسایی‌های الگوی رادرفورد

این الگو در مورد چگونگی حرکت الکترون‌ها اظهار نظری ندارد.

این الگو پایداری اتم را توجیه نمی‌کند.

شکل (الف)

شکل (ب)

الکترون ساکن باشد جذب هسته می‌شود. (شکل الف)

الکترون متحرک باشد به دلیل تابش الکترومغناطیسی سرانجام بر هسته سقوط می‌کند. (شکل ب)

این الگو ساختار هسته را توجیه نمی‌کند.

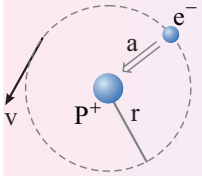
این الگو گسسته بودن طیف اتمی را توضیح نمی‌دهد.

الگوهای اتمی

الگوی اتمی بور

۱ مدارها و انرژی الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند، یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسستهٔ معینی مجاز هستند.

۲ الکترون در حین حرکت روی یک مدار مانا، بر خلاف نظریهٔ الکترومغناطیسی کلاسیک، تابشی گسیل نمی‌کند. این حالت الکترون را **مدار مانا یا حالت مانا** گویند.



شعاع مدارهای مانا دارای مقدارهای مشخص گسسته‌ای است.

$r_n = n^2 a_\circ \leftarrow n$ عدد طبیعی

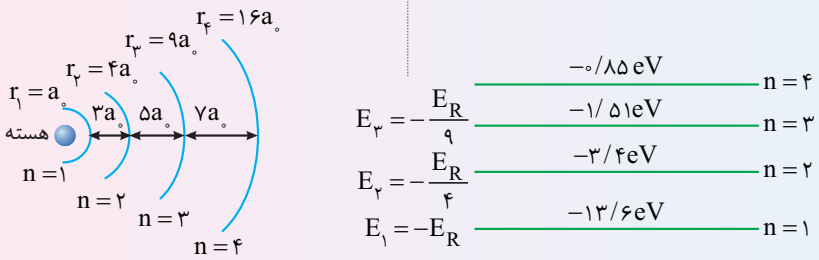
$a_\circ$ کوچک‌ترین شعاع مدار الکترون که به آن شعاع اتمی بور می‌گویند. $a_\circ = 0/529\ \mathring{A}$

انرژی الکترون در این مدارها مقدارهای مشخص گسسته‌ای است.

$E_n = -\frac{E_R}{n^2} \rightarrow E_R$ را یک ریدبرگ گویند. $E_R = 13/6 eV = 2/17 \times 10^{-18} J$

$n=1$ را حالت پایه گویند و مدارهای بالاتر را حالت‌های برانگیخته می‌نامند.

نکتهٔ مهم با افزایش n، فاصلهٔ مدارها از هم در اتم هیدروژن افزایش می‌یابد، اما اختلاف انرژی ترازهای انرژی کاهش می‌یابد.



دقت کنید با پرش الکترون از $n=1$ به $n=2$، نسبت انرژی‌ها به صورت $\frac{E_2}{E_1} = \frac{1}{4}$ است، اما به دلیل دریافت انرژی توسط الکترون انرژی آن افزایش می‌یابد.

۳ الکترون تنها هنگامی که از حالت مانای $(E_U = -\frac{E_R}{n_U^2})$ به حالت مانای $(E_L = -\frac{E_R}{n_L^2})$ با انرژی کمتر می‌رود، تابش الکترومغناطیسی به صورت فوتون گسیل می‌کند. انرژی فوتون برابر اختلاف انرژی دو تراز است.

$$hf = E_U - E_L \rightarrow h\frac{c}{\lambda} = \frac{-E_R}{n_U^2} - \frac{-E_R}{n_L^2} \rightarrow \frac{1}{\lambda} = \frac{E_R}{hc}\left(\frac{1}{n_L^2} - \frac{1}{n_U^2}\right) \Rightarrow R_H = \frac{E_R}{hc}$$

انرژی یونش الکترون

انرژی لازم برای جدا شدن الکترون از اتم و قید هسته را انرژی یونش الکترون گویند.

توانایی‌های الگوی بور

- توجیه جذب و گسیل تابش توسط اتم
- توجیه خطی بودن طیف اتمی
- توجیه منحصر به فرد بودن طیف اتمی

قابل کاربرد در هر اتم تک‌الکترونی که به آن اتم هیدروژن‌گونه گویند، هر چند بار هستهٔ آن بیشتر از $+e$ باشد.

نارسایی‌های الگوی بور

رفتار اتم‌های چند الکترونی را توجیه نمی‌کند.

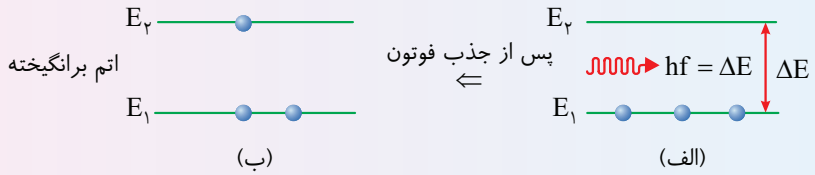
این الگو متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را نمی‌تواند توضیح دهد.

آشنایی با فیزیک اتمی (آشنایی با لیزر)

برانگیختگی اتم

جذب انرژی توسط الکترون و رفتن از حالت n_1 به حالت n_2 $(n_2 > n_1)$

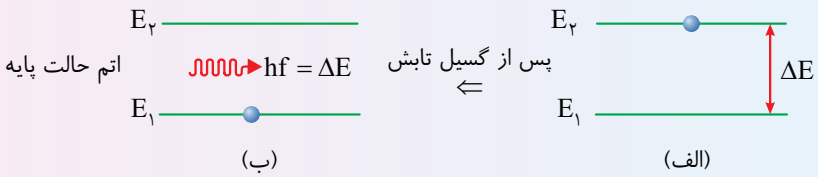
$$\text{اتم} + \text{فوتون} \rightarrow {}^{*}\text{اتم}$$



گسیل خودبه‌خودی

الکترون با گسیل تابش و از دست دادن انرژی از حالت برانگیخته به حالت پایه می‌رود.

$$\text{فوتون} + \text{اتم} \rightarrow {}^{*}\text{اتم}$$



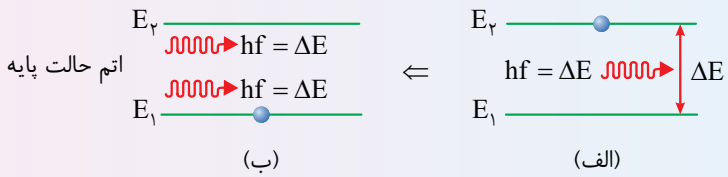
گسیل القایی

تابش یک فوتون به یک اتم برانگیخته

انرژی فوتون تابیده به اتم برابر اختلاف انرژی دو تراز حالت برانگیخته و حالت پایه

پرش الکترون از حالت برانگیخته به حالت پایه و گسیل یک فوتون هم‌انرژی و هم‌جهت فوتون تابیده شده به اتم برانگیخته

$$\text{۲ فوتون} + \text{اتم} \rightarrow {}^{*}\text{اتم} + \text{فوتون}$$



در گسیل القایی، فوتون گسیل شده با فوتون فرودی هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌انرژی است.

لیزر

اساس کار لیزر گسیل القایی است.

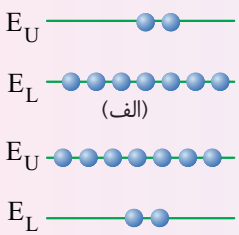
به باریکه‌ای از فوتون‌های هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌انرژی، باریکهٔ لیزری گویند.

لیزر نور مرئی است.

در تولید لیزر، ابتدا یک چشمهٔ خارجی سبب برانگیختن الکترون‌ها می‌شود تا لحظه‌ای که وارونی جمعیت رخ دهد.

وارونی جمعیت تعداد الکترون‌ها در یک محیط لیزری در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه‌پایدار نسبت به ترازهای پایین‌تر بیشتر است.

در ترازهای شبه‌پایدار الکترون در مدت زمان بسیار طولانی $(10^{-3}\,s)$ از حالت معمولی $(10^{-8}\,s)$ باقی می‌مانند.



الف) به طور معمول و در دمای اتاق، بیشتر الکترون‌ها در تراز انرژی پایین‌تر قرار دارند.
ب) در وضعیتی که وارونی جمعیت به‌وجود آید بیشتر الکترون‌ها در تراز بالاتری (در مقایسه با تراز پایین‌تر) قرار دارند.

آشنایی با ساختار هسته

تعریف‌ها

با آزمایش رادرفورد مشخص شد که اتم تقریباً از فضای تهی تشکیل شده است و بیشتر جرم آن در یک هستهٔ چگال با بار مثبت قرار دارد.

ابعاد هسته حدود $10^{-15}\,m$ (۱ فمتومتر یا ۱ فرمی) و حدود صدهزار مرتبه کوچک‌تر از ابعاد اتم $(1\,\mathring{A}=10^{-10}\,m)$ است.

عدد اتمی Z: تعداد پروتون‌های هسته » محدودهٔ عدد اتمی عناصر طبیعی $1\le Z\le 92$

- عناصری که عدد اتمی آن‌ها بیشتر از ۸۳ باشد، ناپایدارند. هستهٔ پایدار با بیشترین تعداد پروتون $Z=83$ متعلق به بیسموت $(^{209}_{83}Bi)$ است.

عدد نوترونی N: تعداد نوترون‌های هسته » محدودهٔ عدد نوترونی عناصر طبیعی $0\le N\le 146$

نوکلئون: به پروتون و نوترون، نوکلئون می‌گویند.

عدد جرمی A: مجموع عدد اتمی و عدد نوترونی (تعداد نوکلئون‌های هسته) $A=Z+N$

نماد هسته: $^{A}_{Z}X$ = هسته اتم X

ایزوتوپ:
- اتم‌های با مقدار پروتون معین و تعداد نوترون‌های مختلف را ایزوتوپ (هم‌مکان) گویند.
- رفتار شیمیایی ایزوتوپ‌های یک عنصر یکسان است. به همین دلیل با روش‌های شیمیایی ایزوتوپ‌های یک عنصر را نمی‌توان جدا کرد.
- برای جداسازی ایزوتوپ‌های یک عنصر از اختلاف جرم آن‌ها استفاده می‌شود و جداسازی با روش‌های فیزیکی صورت می‌گیرد.

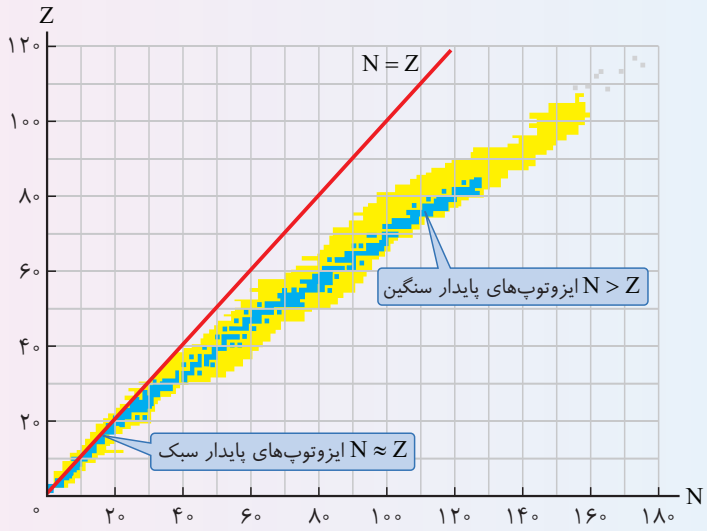
نیروی هسته‌ای

نیروی ربایشی بین نوکلئون‌های هسته را نیروی هسته‌ای گویند.

۱ این نیرو کوتاه‌بُرد است و در ابعاد هسته عمل می‌کند و در ابعاد اتمی اثری از آن مشاهده نمی‌شود.

۲ از نیروی رانش کولنی بین پروتون‌های هسته قوی‌تر است به همین علت به نیروی هسته‌ای قوی مشهور است.

۳ با بزرگ شدن هسته در عناصر سنگین نیروی رانش کولنی بارزتر شده و هسته ناپایدار می‌شود.



از منظر نیروی هسته‌ای تفاوتی بین پروتون و نوترون وجود ندارد به همین علت آن‌ها را نوکلئون گویند.

ترازهای انرژی هسته: انرژی نوکلئون‌ها کوانتیده است.

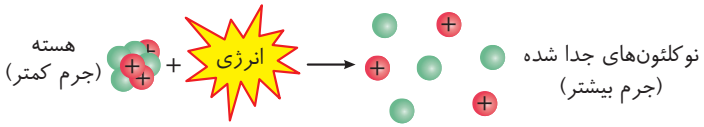
- اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون‌ها در هسته بسیار بیشتر از اختلاف ترازهای انرژی اتم است.
- در هسته‌های سبک اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون حدود MeV (مگاالکترون ولت) است.
- در هسته‌های سنگین اختلاف انرژی ترازهای نوکلئون حدود keV (کیلوالکترون ولت) است.
- بزرگ بودن اختلاف ترازهای انرژی هسته نسبت به ترازهای انرژی الکترون سبب می‌گردد که هسته در واکنش‌های شیمیایی تغییر نکند.

آشنایی با ساختار هسته

انرژی بستگی هسته

جرم هسته از مجموع جرم نوکلئون‌های هسته کمتر است. این اختلاف جرم را **کاستی جرم هسته** گویند.

نظریهٔ اینشتین هرگاه کاستی جرم هسته را در رابطهٔ معروف اینشتین $(E=mc^2)$ در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم، انرژی بستگی هسته‌ای به‌دست می‌آید.



قانون پایستگی جرم و انرژی مجموع جرم و انرژی در برهم‌کنش پایسته می‌ماند.

یکای جرم اتمی $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ که طبق تعریف $12/000000u$ است را یکای جرم اتمی گویند.

- یکای جرم اتمی برابر $1/66\times10^{-27}kg$ است.
- جرم پروتون $1/007276u$، جرم الکترون $0/000549u$ و جرم نوترون $1/008665u$ است.
- انرژی معادل جرم $1u$ برابر $931/5MeV$ است. برای به‌دست آوردن انرژی آزاد شده در فرایندهای هسته‌ای کافی است اختلاف جرم در دو طرف واکنش بر حسب u، در $931/5$ ضرب شود تا انرژی بر حسب MeV به‌دست آید.

آشنایی با ساختار هسته (پرتوزایی)

واپاشی هسته‌های ناپایدار را پرتوزایی (رادیواکتیویته) گویند.

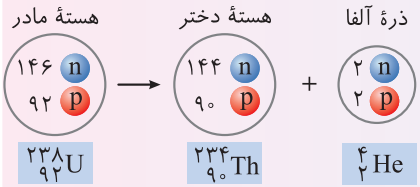
هسته‌های پرتوزا با گسیل یکی از پرتوهای آلفا، بتا (الکترون)، بتای مثبت (پوزیترون) و گاما واپاشیده می‌شوند.

آلفا

آلفا ذره است » آلفا از دو پروتون و دو نوترون تشکیل شده است. $(\alpha={}^4_2He)$

در واپاشی آلفازا، از عدد اتمی و عدد نوترونی دو واحد و از عدد جرمی چهار واحد کاسته می‌شود.

واپاشی آلفازا: ${}^A_ZX\rightarrow{}^{A-4}_{Z-2}Y+{}^4_2He$، هسته X را «هسته مادر» و هسته Y را «هسته دختر» می‌گویند.



در اثر ورود ذرات آلفا از راه تنفس و گوارش به بدن، بافت‌های بدن به شدت آسیب می‌بینند.

بُرد ذرات آلفا کم است و به سرعت جذب می‌شوند.

بتا

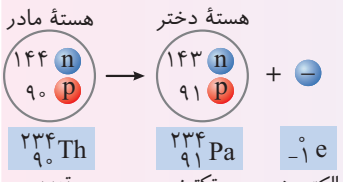
بتا ذره است.

در اثر واپاشی یک نوترون در هسته، بتا (الکترون) و یک پروتون ایجاد می‌شود.

$${}^1_0n\rightarrow{}^1_1H+{}^0_{-1}e$$

واپاشی بتازای منفی: ${}^A_ZX\rightarrow{}^A_{Z+1}Y+{}^0_{-1}e^-$

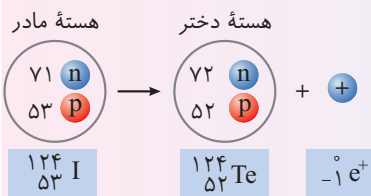
در واپاشی بتای منفی (الکترون)، عدد جرمی تغییر نمی‌کند و عدد اتمی یک واحد افزایش می‌یابد و عنصر به عنصر خانه بعدی جدول تناوبی تبدیل می‌شود.



بتای مثبت (پوزیترون): در اثر واپاشی یک پروتون ایجاد می‌شود: ${}^1_1H\rightarrow{}^1_0n+{}^0_1e^+$

واپاشی بتازای مثبت: ${}^A_ZX\rightarrow{}^A_{Z-1}Y+{}^0_{+1}e^+$

در این واپاشی عدد جرمی ثابت و عدد اتمی یک واحد کاهش می‌یابد.

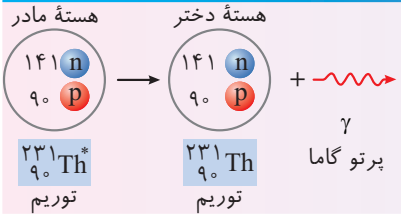


گاما

گاما موج الکترومغناطیسی است و همان ویژگی‌های پرتو X را دارد اما از آن پرانرژی‌تر است.

در واپاشی گاما از عدد جرمی و عدد اتمی تغییر نمی‌کند. ${}^A_ZX^*\rightarrow{}^A_ZX+{}^0_0\gamma$

گسیل گاما اغلب با گسیل آلفا و بتا همراه است.



آشنایی با ساختار هسته (پرتوزایی)

قانون‌های پایستگی

۱ مجموع بار الکتریکی در دو طرف واکنش‌های هسته‌ای یکسان است.

۲ مجموع عدد جرمی در دو طرف واکنش‌های هسته‌ای یکسان است.

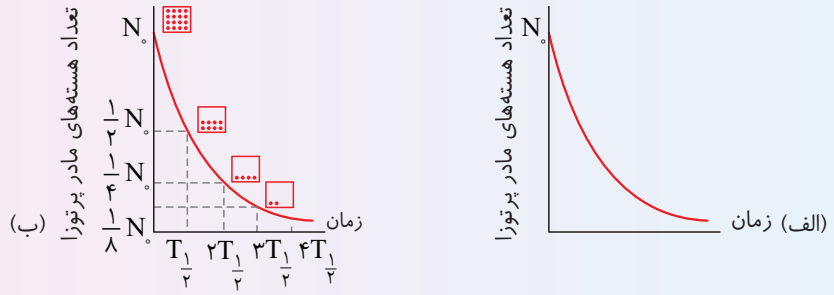
نیمه‌عمر ($T_{\frac{1}{2}}$)

نیمه‌عمر زمانی است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های پرتوزای موجود در یک نمونه به نصف برسد.

$N=\frac{N_0}{2^n}$ و $n=\frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ ← n تعداد نیمه‌عمرها و t زمان واپاشی

N_0 تعداد هسته‌های اولیه، N تعدادهسته‌های فعال باقیمانده

نمودارها



آشنایی با فیزیک هسته‌ای

راکتور شکافت هسته‌ای

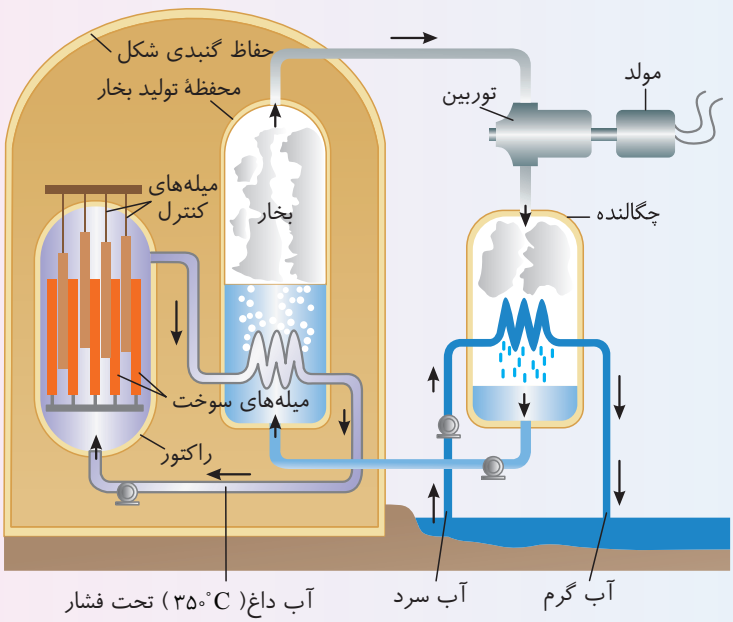
در واکنش شکافت نیاز به نوترون کند داریم.

از آب معمولی (H_2O)، آب سنگین (D_2O) و گرافیت (اتم‌های کربن) به عنوان کُندساز نوترون‌ها استفاده می‌شود.

اجزای راکتور ← کندکننده، میله‌های کنترل، شاره‌ای مانند آب برای خارج کردن گرما و سوخت هسته‌ای

میله‌های کنترل از جنس کادمیم یا بور هستند.

با وارد کردن میله‌های کنترل به داخل راکتور، آهنگ واکنش شکافت، یعنی تعداد نوترون‌های موجود برای به‌وجود آوردن شکافت، تنظیم می‌شود.



طرح‌واره‌ای از یک راکتور PWR و قسمت‌های اصلی یک نیروگاه شکافت هسته‌ای

آشنایی با فیزیک هسته‌ای

شکافت هسته‌ای

واپاشی یک هسته سنگین به دو هسته سبک را واکنش شکافت گویند.

در واکنش شکافت، جرم محصولات واکنش از جرم هسته‌های اولیه کمتر است و اختلاف جرم طبق رابطهٔ $(E=mc^2)$ به انرژی تبدیل می‌شود.

در واکنش شکافت، ابتدا یک نوترون کند توسط ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ جذب شده و به $^{236}_{92}U^*$ تبدیل می‌شود، سپس واکنش شکافت رخ می‌دهد.

هسته‌های سبک متفاوتی در واکنش شکافت ایجاد می‌شود که یک نمونه آن به شکل زیر است.

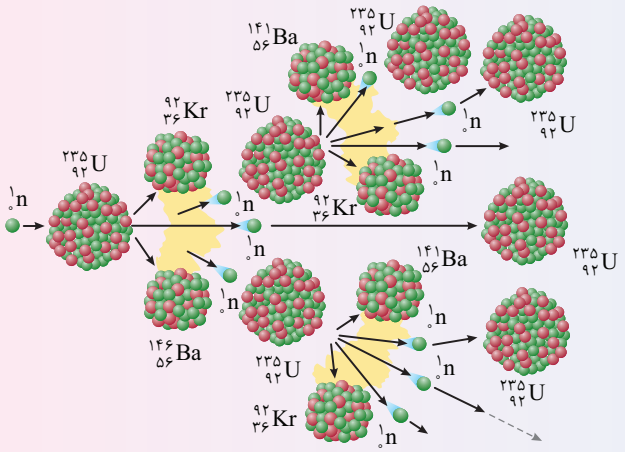
$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U^* \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\,{}^{1}_{0}n + 200\,MeV$$

هسته مرکب (ناپایدار) — باریم — کریپتون — نوترون — انرژی

با جذب نوترون، هستهٔ اورانیم شروع به ارتعاش کرده و تا جایی تغییر شکل می‌دهد که نیروی جاذبهٔ هسته‌ای دیگر نمی‌تواند با نیروی دافعهٔ الکتروستاتیکی بین پروتون‌های هسته متوازن باشد و هسته به پاره‌های سبک که حامل انرژی (عمداً انرژی جنبشی) هستند، واپاشیده می‌شود.

واکنش زنجیری

اگر نوترون‌های آزاد شده در شکافت بتوانند به هسته‌های دیگر برخورد کنند و سبب واکنش‌های دیگر شوند، یک رشته از واکنش شکافت ایجاد می‌شود که به آن واکنش زنجیری گویند.



گداخت (همجوشی) هسته‌ای

در فرایند گداخت هسته‌ای، دو هستهٔ سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هستهٔ سنگین‌تری به‌وجود می‌آورند.

نمونه‌ای از واکنش گداخت:

$$^{2}_{1}D + {}^{3}_{1}T \rightarrow {}^{4}_{2}He + {}^{1}_{0}n$$

دوتریم — تریتیم — هسته هلیم — نوترون

جرم محصولات گداخت هسته‌ای از جرم هسته‌های اولیه کمتر است و این اختلاف جرم با توجه به رابطهٔ $E=mc^2$ به انرژی تبدیل می‌شود.

در واکنش گداخت، دو هسته‌ای که به هم نزدیک می‌شوند دارای بار مثبت‌اند و به شدت یکدیگر را دفع می‌کنند و مانع گداخت هسته‌ای می‌شوند و برای ایجاد گداخت باید دما بسیار بالا باشد تا هسته‌ها انرژی جنبشی لازم برای برخورد به هم را داشته باشند.

برای شروع واکنش دوتریم - تریتیم، به دمایی حدود ده‌ها میلیون درجهٔ سلسیوس نیاز داریم.

غنی‌سازی

در سنگ همدان اورانیم دو ایزوتوپ $^{235}_{92}U$ و $^{238}_{92}U$ وجود دارد.

۰/۷۲ درصد سنگ اورانیم، ایزوتوپ ^{235}U است.

برای اورانیم ^{238}U احتمال واکنش شکافت بسیار کم است و واکنش زنجیره‌ای برای آن ناممکن است.

برای کاربرد اورانیم در واکنش شکافت به اورانیم ^{235}U نیاز است. به فرایند افزایش درصد یا غلظت ایزوتوپ ^{235}U در یک نمونه **غنی‌سازی** می‌گویند.