فصل اول حرکت‌شناسی

به آشنایی با حرکت اجسام، حرکت‌شناسی یا سینماتیک گفته می‌شود.

بردار مکان

برداری که مبدأ محور O را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند، بردار مکان جسم در آن لحظه نامیده می‌شود.

مسافت و جابه‌جایی

طول مسیر، مسافت پیموده شده یا به اختصار مسافت نامیده می‌شود.

هم‌چنین پاره‌خط ← جهت‌داری که مکان آغازین حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند، بردار جابه‌جایی نامیده می‌شود.

بردار جابه‌جایی از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$\vec{d} = \vec{d}_2 - \vec{d}_1 = x_2\vec{i} - x_1\vec{i} = (\Delta x)\vec{i}$$

نکته

تندی متوسط و سرعت متوسط

به مسافت طی شده در واحد زمان تندی متوسط و به جابجایی متحرک در واحد زمان سرعت متوسط گفته می‌شود.

$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}: \quad \text{(سرعت متوسط)}$$

نکته

$$S_{av} = \frac{1}{\Delta t}: \quad \text{(تندی متوسط)}$$

نکته

△ نکته: تندی متوسط نرده‌ای و سرعت متوسط برداری است.

△ نکته: برای تبدیل یکای km/h به m/s، باید آن را بر عدد ثابت ۳/۶ تقسیم ÷ کنیم.

△ نکته: در حرکت روی خط راست -، بردار سرعت متوسط و اندازه آن از رابطه‌های مقابل محاسبه می‌شود.

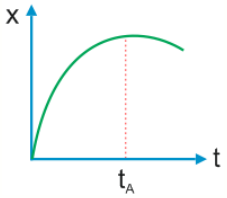
$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

نکته

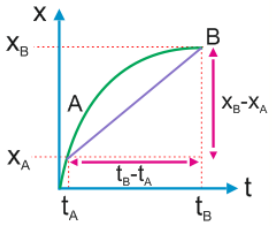
$$\vec{v}_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}\vec{i}$$

نکته

نمودار مکان – زمان، مکان جسم ■ را در هر لحظه نشان می‌دهد.



سرعت متوسط متحرک در یک بازه زمانی برابر شیب / پاره‌خطی است، که نقاط ● نظیر آن دو لحظه در نمودار مکان – زمان را به یکدیگر وصل می‌کند.



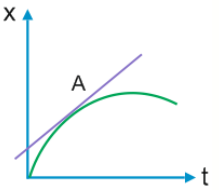
تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای

تندی متحرک در هر لحظه از زمان را تندی لحظه‌ای می‌نامند. اگر هنگام گزارش تندی لحظه‌ای، به جهت حرکت متحرک نیز اشاره شود، در واقع سرعت لحظه‌ای $(\vec{v})$ آن را، که کمیتی برداری است بیان کرده‌ایم.

اگر متحرک در جهت محور x حرکت کند، v مثبت + و اگر خلاف آن حرکت کند، v منفی - است.

△ نکتـــــه: اگر اندازه و جهت سرعت تغییر نکند، سرعت متوسط و لحظه‌ای با هم برابر خواهند بود.

△ نکتـــــه: سرعت در هر لحظه دلخواه t، برابر شیب‌خط / مماس بر نمودار مکان – زمان در آن لحظه است.



حرکت شتاب‌دار

اگر اندازه یا جهت سرعت و یا هر دو آن‌ها تغییر کند، می‌گوییم حرکت شتاب‌دار است.

شتاب متوسط عبارت است از تغییر سرعت در واحد زمان و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\vec{a}_{av} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

نکته

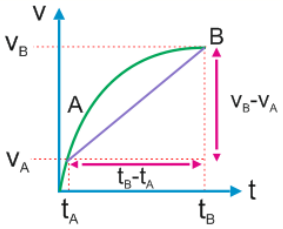
یکای SI شتاب متوسط، متر بر مربع ثانیه (m/s^2) است.

اگر متحرک در یک راستا حرکت کند می‌توان نوشت:

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

نکته

شتاب متوسط بین دو لحظه برابر شیب / خطی است که نمودار سرعت – زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند.



شتاب لحظه‌ای شیب‌خط / مماس بر نمودار سرعت – زمان است.

شتاب لحظه‌ای را شتاب می‌نامند و آن را با نماد α نشان می‌دهند.

حرکت با سرعت ثابت

در این حرکت اندازه و جهت سرعت تغییر نمی‌کند. در این حرکت، سرعت متوسط متحرک در هر بازه زمانی دلخواه، برابر سرعت لحظه‌ای آن است.

$$v = v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \Rightarrow \Delta x = v\Delta t$$

نکته

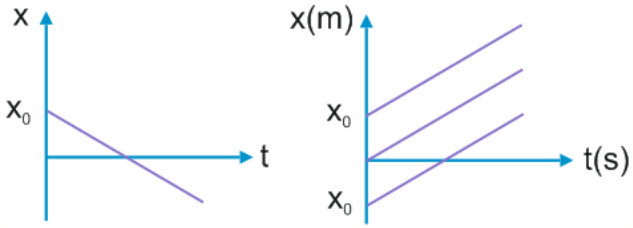
(معادله مکان – زمان در حرکت با سرعت ثابت)

$$x = vt + x_.$$

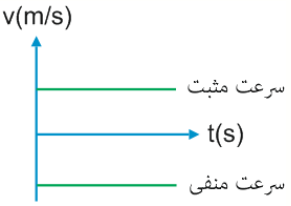
نکته

$x_.$ را که مکان متحرک در لحظه $t = 0$ است مکان اولیه متحرک می‌نامند.

نمودار مکان – زمان حرکت با سرعت ثابت، به دلیل ثابت بودن سرعت که همان شیب / نمودار است، باید به صورت خط راست - باشد. اگر شیب / رو به بالا ⇧ باشد، علامت سرعت مثبت + و اگر رو به پایین ⇩ باشد، علامت سرعت منفی - است.



نمودار سرعت – زمان حرکت با سرعت ثابت، به دلیل ثابت بودن سرعت، خطی به موازات محور زمان است.



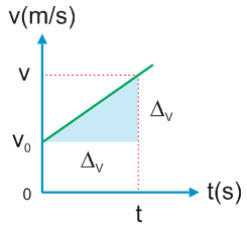
حرکت با شتاب ثابت

هرگاه شتاب متحرکی در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، حرکت جسم ■ را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این

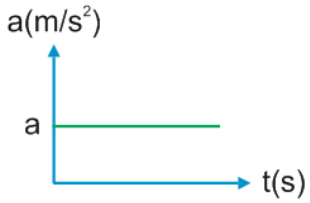
حرکت 🚌، سرعت متحرک 🚌 با زمان ⏱ به صورت خطی تغییر می‌کند و شیب / نمودار سرعت – زمان ⏱ ثابت است.

در این شرایط، شتاب متوسط 🚦 $a_{av} = \Delta v/\Delta t$ در بازه‌های مختلف یکسان است. در چنین حرکتی 🚌 شتاب متوسط 🚦 در هر بازه زمانی ⏱ برابر شتاب لحظه‌ای ⏱ متحرک 🚌 است، یعنی $a_{av} = a$

نمودار سرعت – زمان حرکت با شتاب ثابت



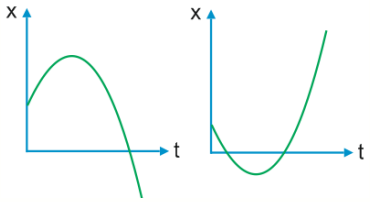
نمودار شتاب – زمان حرکت با شتاب ثابت



△ تذکـــــر: نمودارهای فوق برای حالتی که شتاب مثبت + است، رسم شده‌اند.

نمودار مکان – زمان در حرکت با شتاب ثابت

این نمودار به شکل سهمی U است.



معادله‌های حرکت با شتاب ثابت

(معادله سرعت – زمان ⏱ در حرکت 🚌 با شتاب ثابت)

$$v = at + v_0$$

(معادله سرعت متوسط 🚦 در حرکت 🚌 با شتاب ثابت)

$$v_{av} = \frac{v_0 + v}{2}$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

(معادله مکان – زمان در حرکت با شتاب ثابت)

$$x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$$

نکته

(معادله سرعت – جابه‌جایی در حرکت با شتاب ثابت)

$$v^2 = v_0^2 + 2a\Delta x$$

نکته

△ نکتـــــه: سطح بین نمودار سرعت – زمان و محور زمان در هر بازه زمانی برابر جابه‌جایی در آن بازه است.

❋ مخصوص ریاضی ❋

سقوط آزاد

اگر به جسمی ■ هنگام سقوط تنها نیروی گرانشی ← زمین اثر کند، می‌گوییم حرکت آن سقوط آزاد است.

△ نکتـــــه: حرکت سقوط آزاد، افزون بر رها کردن جسم ■، شامل پرتاب کردن جسم ■ رو به پایین ⇩ یا رو به بالا ⇧ نیز می‌شود.

معادله‌های حرکت سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

با فرض اینکه جهت رو به بالا ⇧ را مثبت + بگیریم، معادله‌های سقوط آزاد بدون سرعت اولیه به صورت زیر است:

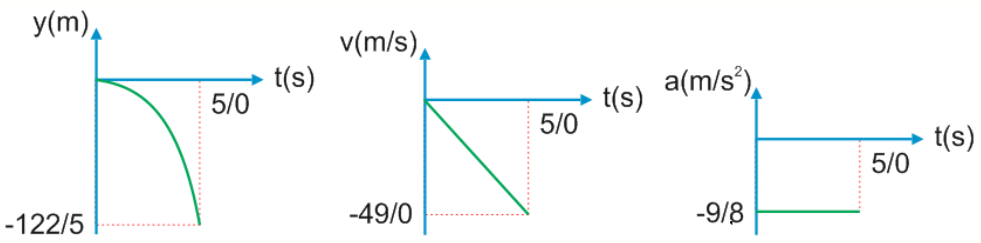
$$v = -gt$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + y_0$$

$$v^2 = -2g(y - y_0)$$

نکته

نمودارهای مکان – زمان، سرعت – زمان و شتاب – زمان جسمی ■ که در حال سقوط آزاد است به ترتیب رسم شده است.



فصل دوم دینامیک

نیرو

به عامل تغییر شکل یا سرعت جسم ■ نیرو گفته می‌شود.

نیرو، حاصل برهم‌کنش یا اثر متقابل دو جسم ■ بر یکدیگر است. نیرو کمیّتی برداری است، که علاوه بر اندازه، جهت نیز دارد.

معمولاً نیرو را با $\vec{F}$ نشان می‌دهند.

نیرو را به کمک نیروسنج اندازه‌گیری می‌کنیم و یکای آن، نیوتون است که با نماد N نشان داده می‌شود.

نیروهای متوازن

اگر به جسمی ■ به طور هم‌زمان ② چند نیرو اثر کند و این نیروها اثر یکدیگر را خنثی کنند، به عبات دیگر برآیند نیروهای وارد بر جسم ■ صفر شود، می‌گوییم نیروهای وارد بر جسم ■ متوازن هستند.

قانون اول نیوتون

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

لختی

به خاصیت اجسام ■ که میل دارند وضعیت حرکت خود را هنگامی که نیروی خالص وارد بر آن‌ها صفر است حفظ کنند، لختی گویند.

قانون دوم نیوتون

هرگاه بر جسم ■ نیروی خالصی وارد شود، جسم ■ تحت تأثیر آن نیرو شتاب می‌گیرد، که این شتاب با نیروی خالص وارد بر جسم نسبت مستقیم دارد و در همان جهت نیروی خالص است و با جرم جسم ■، نسبت عکس دارد.

نیوتون

یک نیوتون برابر با مقدار نیروی خالصی است که به جسمی ■ به جرم یک کیلوگرم، شتابی برابر یک متر بر مربع ثانیه می‌دهد.

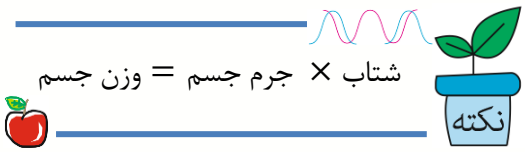
قانون سوم نیوتون

هرگاه جسمی ■ به جسم ■ دیگر نیرو وارد کند، جسم ■ دوم نیز به جسم ■ اول نیرویی هم‌اندازه و هم‌راستا اما در خلاف ⇆ جهت وارد می‌کند. براساس قانون سوم نیوتون، جفت نیروهای کنش و واکنش هم‌اندازه و هم‌راستا ولی در خلاف ⇆ جهت یکدیگرند.

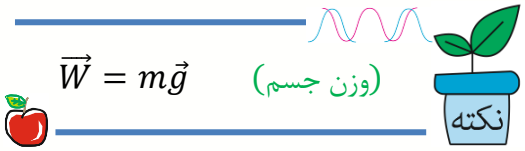
توجه کنید که نیروهای کنش و واکنش همواره به دو جسم ■ وارد می‌شوند و هم‌نوع‌اند؛ مثلاً هر دو الکتریکی‌اند، یا هر دو مغناطیسی اند یا هر دو گرانشی‌اند ←→ و یا ..... .

وزن

وزن یک جسم ■ روی زمین ⊕، نیروی گرانشی ←→ است که از طرف زمین ⊕ بر جسم ■ وارد می‌شود.



اگر جرم جسم ■ را با m، شتاب گرانشی ←→ را با $\vec{g}$ و وزن را با $\vec{W}$ نشان دهیم، رابطه بالا به شکل زیر در می‌آید:



جرم یک جسم ■ در مکان‌های 📍 مختلف ثابت است، اما وزن آن به مقدار $\vec{g}$ در آن مکان 📍 بستگی دارد.

وقتی جسمی ■ در یک شاره (مایع 💧 یا گاز 🌫) قرار دارد و نسبت به آن حرکت 🚆 می‌کند. از طرف شاره نیرویی در خلاف ⇆ جهت حرکت 🚆 جسم ■، به آن وارد می‌شود، که به آن نیروی مقاومت شاره می‌گویند و معمولاً آن را با $\vec{f}_D$ نشان می‌دهند. نیروی مقاومت شاره به بزرگی جسم ■، تندی آن و ... بستگی دارد. هرچه تندی جسم ■ بیش‌تر ⇧ باشد، نیروی مقاومت شاره بیش‌تر ⇧ خواهد شد. اگر جسم ■ در هوا 🌫 حرکت 🚆 کند، به این نیرو، نیروی مقاومت هوا 🌫 می‌گویند.

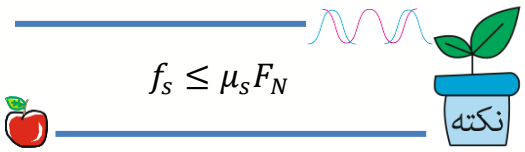
تندی حدی

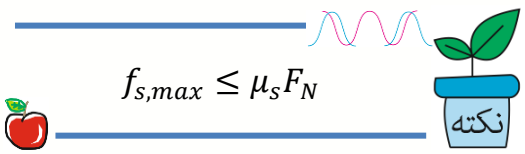
زمانی ⏱ که جسمی ■ در یک شاره در حال سقوط باشد، حالتی ایجاد می‌شود، که در آن نیروی مقاومت هوا 🌫 بر جسم ■ با نیروی وزن جسم ■ برابر ولی درخلاف ⇆ جهت یکدیگر خواهند شد. بنابراین دیگر تندی جسم ■ تغییر نمی‌کند. به این تندی ثابت، تندی حدی گفته می شود.

نیروی عمودی سطح

وقتی دو جسم ■ در تماس با هم قرار می‌گیرند، در محل تماس با یکدیگر نیرویی وارد می‌کنند، که بر سطح تماس دو جسم ■ عمود ↓ است. به این نیرو، نیروی عمودی ↓ سطح (F_N) گفته می‌شود.

در حالت کلی نیروی اصطکاک ایستایی کوچک‌تر ⇩ و یا مساوی $f_{s,max}$ است:



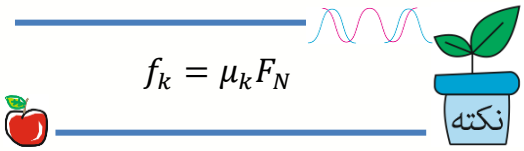


نیروی اصطکاک جنبشی

وقتی جسمی ■ روی سطحی می‌لغزد از طرف سطح بر جسم ■، نیروی اصطکاک جنبشی وارد می‌شود، که موازی با سطح و درخلاف جهت لغزش جسم ■ است. آزمایش نشان می‌دهد؛ که اندازه نیروی اصطکاک جنبشی متناسب با اندازه نیروی عمودی ↓

سطح است.

(نیروی اصطکاک جنبشی)



در این رابطه μ_k ضریب × اصطکاک جنبشی نام دارد.

ضریب × اصطکاک جنبشی و ضریب × اصطکاک ایستایی هر دو به عامل‌هایی؛ مانند جنس سطح تماس دو جسم ■، میزان صافی و زبری آن‌ها و ... بستگی دارد.

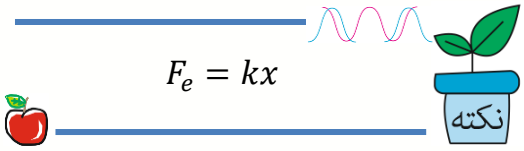
معمولاً ضریب × اصطکاک جنبشی میان دو سطح، کم‌تر ⇩ از ضریب × اصطکاک ایستایی میان آن دو سطح است؛ یعنی $\mu_k < \mu_s$

نیروی کشسانی فنر

اگر فنر را به اندازه x بکشیم ←→ یا فشرده →← کنیم، فنر نیرویی به طرف نقطه ● تعادل به جسم ■ وارد می‌کند. تجربه نشان می‌دهد، هرچه فنر را بیش‌تر ⇧ بکشیم ←→ یا فشرده →← کنیم (در محدوده معینی از تغییر طول فنر)، نیروی کشسانی ←→ فنر بیش‌تر ⇧ می‌شود.

برای بیش‌تر ⇧ فنرها با تقریب قابل قبولی، نیروی کشسانی ←→ فنر با اندازه تغییر طول آن (x) رابطه مستقیم دارد.

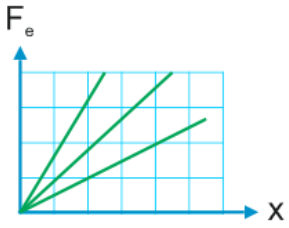
(نیروی کشسانی ←→ فنر)



ضریب k، ثابت فنر نام دارد. ثابت فنر از مشخصات فنر است و به اندازه، شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد. در رابطه فوق نیرو برحسب نیوتون (N) و برحسب متر (m) و برحسب نیوتون بر متر (N/m) است.

معادله فوق را قانون هوک می‌نامند.

در شکل روبه‌رو نمودار نیروی کشسانی ←→ فنر را برحسب تغییر طول فنر برای سه فنر متفاوت مشاهده می‌کنید.



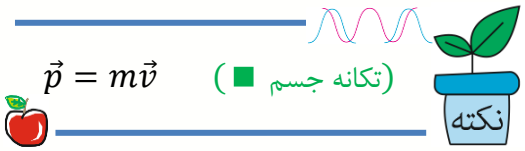
نیروی کشش طناب

وقتی طناب (کابل، ریسمان و ...) متصل به جسمی ■ را می‌کشیم، طناب جسم ■ را با نیرویی می‌کشد، که جهت آن از جسم ■ به سمت بیرون و در راستای طناب است. چون در این حالت طناب تحت کشش ←→ قرار دارد، به این نیرو، نیروی کشش ←→

طناب گفته می‌شود و آن را با $\vec{T}$ نشان می‌دهند.

تکانه

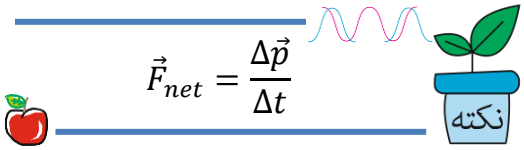
حاصل ضرب × جرم جسم ■ (m) در سرعت آن (v)، تکانه جسم ■ نامیده می‌شود و آن را با $\vec{p}$ نشان می‌دهیم.



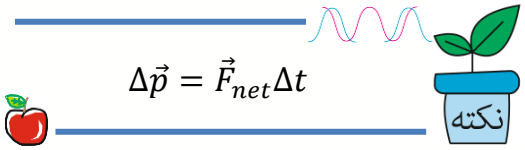
تکانه کمیّتی برداری است. زیرا سرعت، یک کمیّت برداری و جرم، یک کمیّت نرده‌ای است. جهت تکانه همان جهت سرعت است.

یکای SI تکانه $kg.m/s$ است. با توجه به تعریف تکانه، قانون دوم نیوتون برای نیروی ثابت را می‌توان چنین نوشت:

(قانون دوم نیوتون برحسب تکانه برای نیروی ثابت)

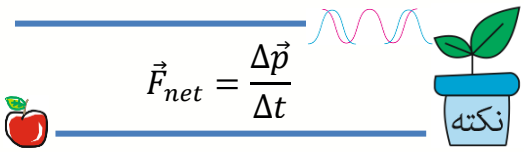


یعنی نیروی خالص وارد بر جسم برابر با تغییر تکانه جسم تقسیم بر زمان ⏲ تغییر آن است. هم‌چنین از این رابطه نتیجه می‌گیریم، که تغییر تکانه برابر با حاصل ضرب × نیرو در مدت زمان ⏲ تأثیر آن است.

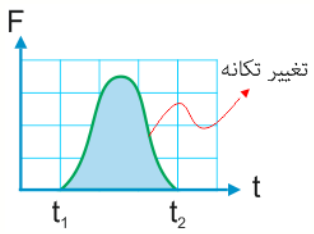


بین اندازه تکانه (p) و انرژی جنبشی (K) جسمی ■ به جرم m، رابطه $K = \frac{p^2}{2m}$ برقرار است.

(نیروی حاصل متوسط ⍐ برحسب تکانه)



سطح زیر نمودار نیرو – زمان ⏲ عبارت است از تغییر تکانه

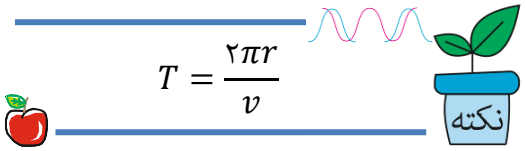


حرکت دایره‌ای یکنواخت

به حرکت ذره‌ای ⊙ که روی مسیر دایره‌ای ○ با تندی ثابت حرکت می‌کند، حرکت دایره‌ای ○ یکنواخت می‌گویند. با این که تندی جسم ■ در این حرکت ثابت است، حرکت ذره ⊙ شتاب‌دار است. زیرا جهت سرعت تغییر می‌کند. در حرکت

دایره‌ای ○ یکنواخت، مدت زمان ⏱ لازم برای پیمودن یک دور محیط دایره ○ را دوره تناوب (دوره) می‌نامیم.

$$T = \frac{۲\pi r}{v}$$



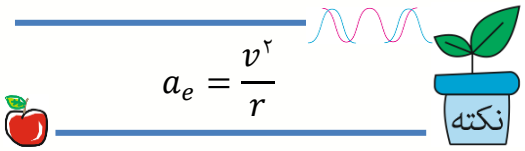
یکای دوره ثانیه (s) است.

❋ مخصوص ریاضی ❋

شتاب مرکزگرا

در حرکت دایره‌ای ○ یکنواخت، شتاب رو به مرکز دایره ○ است.

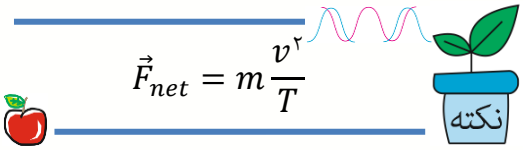
$$a_e = \frac{v^۲}{r}$$



قانون دوم نیوتون $(F_{net} = ma)$ را در حرکت دایره‌ای ○ یکنواخت به صورت زیر می‌توانیم بنویسیم:

(قانون دوم نیوتون برحسب تکانه برای نیروی ثابت)

$$\vec{F}_{net} = m\frac{v^۲}{T}$$



در این رابطه F_{net} بزرگی ⇧ نیروی خالص وارد بر جسم ■ در راستای شعاع و به طرف مرکز دایره ○ است.

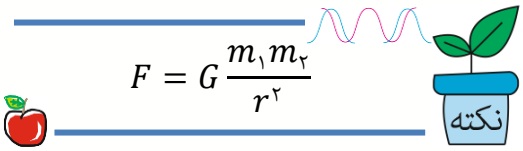
قانون گرانش عمومی بیان می‌دارد

نیروی گرانشی ←→ میان دو ذره ⊙ با حاصل ضرب × جرم دو ذره ⊙ نسبت مستقیم و با مربع □ فاصله آن‌ها از یکدیگر نسبت وارون ↓↑ دارد.

اگر جرم دو ذره ⊙ $m_۱$ و $m_۲$ و فاصله آن‌ها از یکدیگر r باشد، اندازه نیروی گرانشی ←→ میان دو ذره ⊙ یعنی F از رابطه زیر به دست می‌آید:

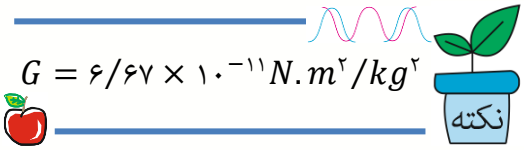
(نیروی گرانشی ←→ بین دو ذره ⊙)

$$F = G\frac{m_۱m_۲}{r^۲}$$

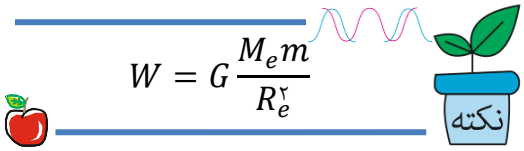


در این رابطه، G ثابت گرانش ←→ عمومی نام دارد و برابر است با:

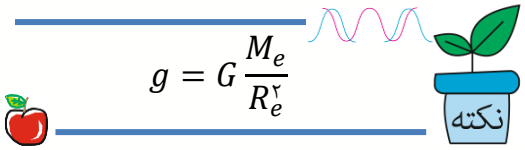
$$G = ۶/۶۷ \times ۱۰^{-۱۱} N.m^۲/kg^۲$$



(وزن جسم ■ در سطح زمین 🌍)



شتاب گرانشی ⟷ روی زمین 🌍 برابر است با:



فصل سوم نوسان و موج

نوسان دوره‌ای

نوسان‌هایی را که هر چرخه ⬚ آن در دوره‌های دیگر تکرار شود، نوسان‌های دوره‌ای می‌نامند.

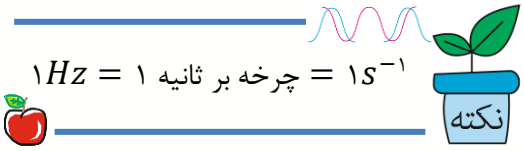
دوره تناوب

مدت زمان ⏱ یک چرخه ⬚، دوره تناوب حرکت 🚌 نامیده می‌شود و آن را با T نشان می‌دهند.

بسامد

تعداد نوسان‌های انجام شده (تعداد چرخه ⬚) در هر ثانیه بسامد (فرکانس) نامیده می‌شود و آن را با f نشان می‌دهند.

یکای بسامد در SI، هرتز (Hz) است. طبق تعریف



حرکت هماهنگ ساده

به نوسان‌های سینوسی، حرکت 🚌 هماهنگ ساده (SHM) گفته می‌شود.

دامنه حرکت

بیشینه ⇧ فاصله جسم ■ از نقطه ● تعادل است.

△ نکتـــــه: دامنه نصف طول پاره‌خط نوسان است.

در حرکت 🚌 هماهنگ ساده نمودار مکان 📍 – زمان ⏱، نموداری سینوسی است.

مکان 📍 $x(t)$، نوسان‌گر را می‌توان چنین نوشت:

(معادله مکان 📍 – زمان ⏱ در حرکت 🚌 هماهنگ ساده)

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

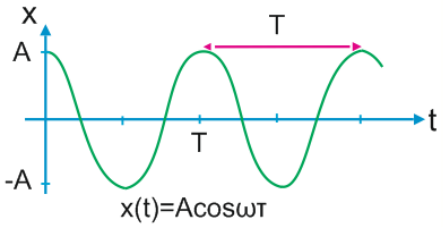
در این رابطه ω بسامد زاویه‌ای نوسان‌گر نامیده می‌شود و برابر است با:

(بسامد زاویه‌ای)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

یکای بسامد زاویه‌ای در SI برابر rad/s است.

نمودار مکان – زمان هماهنگ ساده



وقتی نوسان‌گر در $x = \pm A$ است، سرعت آن برابر با صفر است. به این نقطه‌ها • اصطلاحاً نقطه‌های بازگشت حرکت می گویند. هم چنین وقتی $x = 0$ است. (یعنی نوسان‌گر از نقطه • تعادل می‌گذرد) اندازه سرعت بیشینه ⇧ است، یعنی بسته به این که جسم ■ در جهت $+x$ یا $-x$ از نقطه • تعادل بگذرد، $v = +v_{max}$ یا $v = -v_{max}$ خواهد بود.

دوره تناوب سامانه جرم – فنر با وزنه‌ای به جرم m و فنری با ثابت k برابر است با

(دوره تناوب سامانه جرم – فنر)

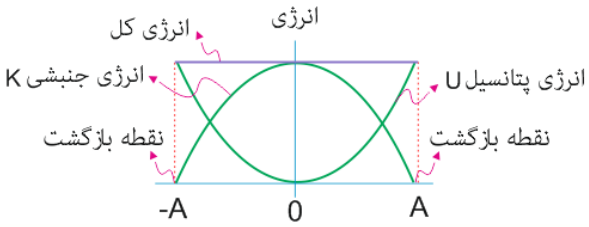
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

(بسامد زاویه‌ای سامانه جرم – فنر)

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

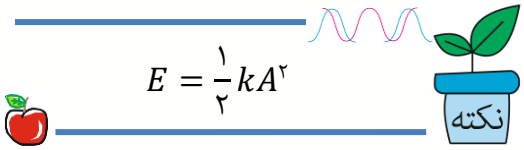
انرژی در حرکت هماهنگ ساده انرژی پتانسیل سامانه جرم – فنر در نقاط • بازگشتی $(x = \pm A)$ بیشینه ⇧ و در نقطه • تعادل $(x = 0)$ برابر صفر است. انرژی جنبشی این سامانه نیز به جرم قطعه متصل به فنر و تندی آن بستگی دارد و برابر با $K = \frac{1}{2}mv^2$ است. انرژی مکانیکی این سامانه برابر است، با مجموع انرژی جنبشی و انرژی پتانسیل آن است

$(E = K + U)$. چون سطح بدون اصطکاک است، انرژی ↗ مکانیکی 🛠 سامانه پایسته می‌ماند و بنابراین مجموع انرژی‌های جنبشی و پتانسیل در نقاط● بازگشتی، نقطه ● تعادل، و هر نقطه● دلخواه دیگری از مسیر باهم برابر است. به همان اندازه که با افزایش ⇧ جابه‌جایی 🔄 از نقطه ● تعادل، انرژی ↗ پتانسیل افزایش ⇧ می یابد. انرژی ↗ جنبشی کاهش ⇩ می‌یابد و بالعکس.



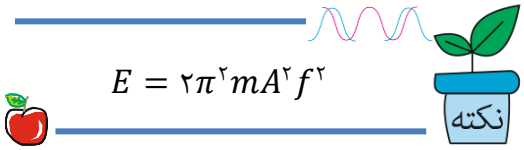
انرژی مکانیکی سامانه جرم – فنر در حرکت هماهنگ ساده از رابطه زیر به دست می‌آید

(انرژی ↗ مکانیکی 🛠 سامانه جرم – فنر)



که در آن k ثابت فنر و A دامنه نوسان است.

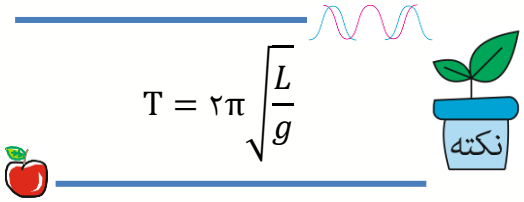
(انرژی ↗ مکانیکی 🛠 نوسان‌گر هماهنگ ساده)



آونگ ساده

آونگ ساده شامل وزنه کوچکی به جرم m (موسوم به وزنه آونگ) است، که از نخی بدون جرم و کش‌نیامدنی به طول L که سر دیگر آن ثابت شده، می‌باشد. دوره تناوب آونگ ساده فقط به شتاب گرانشی ←→ (g) و طول آونگ (L) بستگی دارد، و از رابطه زیر به دست می‌آید:

(دوره تناوب آونگ ساده)



این رابطه نشان می‌دهد که دوره تناوب آونگ ساده به جرم و دامنه آن بستگی ندارد.

نوسان‌گر واداشته

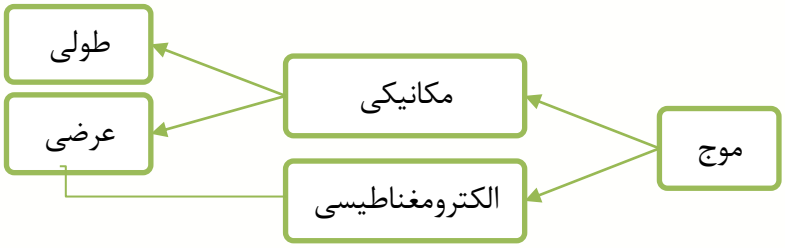
وقتی به یک نوسان‌گر نیروی خارجی اعمال شود، به آن نوسان‌گر واداشته گفته می‌شود.

تشدید

اگر نیروی خارجی وارد بر نوسان‌گر باعث افزایش ⇧ دامنه نوسان شود می‌گوییم تشدید رخ داده است.

موج و انواع آن

به انتشار آشفتگی در محیط، موج 〰 گفته می‌شود.



موج‌های 〰 مکانیکی 🛠 برای انتشار به محیط مادی نیاز دارند، در صورتی که موج‌های 〰 الکترومغناطیسی برای انتشار به محیط مادی نیاز ندارند.

موج عرضی

در این موج 〰، راستای ارتعاش 〰 ذره‌های ⊙ محیط بر راستای انتشار آن‌ها عمود ↓ است.

موج طولی

در این موج 〰، راستای ارتعاش 〰 ذره‌های ⊙ محیط و راستای انتشار آن‌ها یکسان است.

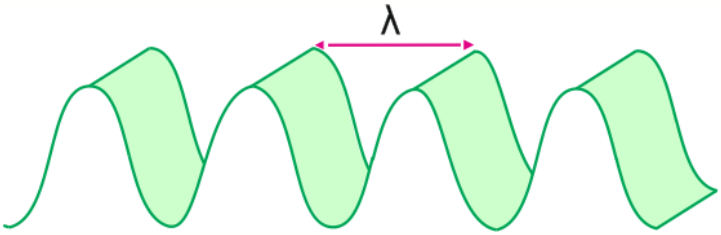
هنگام انتقال موج 〰 مکانیکی 🛠، ماده منتقل نمی‌شود.

به هر یک از برآمدگی‌ها ∩ یا فرورفتگی‌های ∪ ایجاد شده روی سطح آب 💧، یک جبهه موج 〰 می‌گویند.

به برآمدگی‌ها ∩، قله (ستیغ) و به فرورفتگی‌های ∪ دّره (پاستیغ) گفته می‌شود.

فاصله بین دو برآمدگی ∩ یا دو فرورفتگی ∪ مجاور، طول موج 〰 نامیده می‌شود و آن را با λ نشان می‌دهند.

طول موج 〰 λ برابر با مسافتی است، که موج 〰 در مدت دوره تناوب نوسان چشمه طی می‌کند.



دامنه (A)

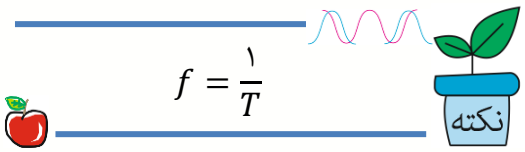
بیشینه ⇧ فاصله یک ذره ⊙ از مکان 🚶 تعادل، دامنه موج 〰 نامیده می‌شود، که همان فاصله قله ∩ یا دره ∪ نسبت به سطح آرام یا ساکن است.

دوره تناوب (T)

مدت زمانی ⏱ که هر ذره ⊙ محیط یک نوسان کامل انجام می‌دهد، دوره تناوب موج 〰 نامیده می‌شود.

بسامد (f)

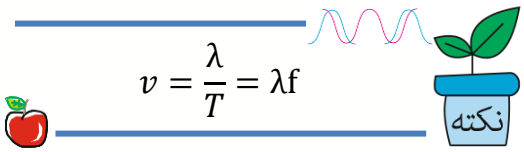
تعداد نوسان‌های انجام شده توسط هر ذره ⊙ محیط در یک ثانیه بسامد موج 〰 نامیده می‌شود، که برابر با بسامد چشمه موج 〰 نیز هست. بنابراین:



تندی انتشار موج (v)

اگر جبهه موج در مدت Δt مسافت L را طی می‌کند، تندی انتشار موج از رابطه $v = \frac{L}{\Delta t}$ به دست می‌آید. از آن‌جا که طول موج λ در دوره T طی می‌شود، داریم:

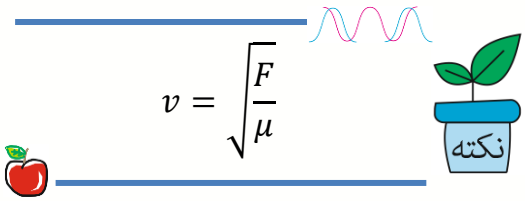
(تندی انتشار موج)



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

تندی انتشار موج عرضی در یک فنر، تار یا ریسمان کشیده به نیروی کشش (F) ⟷ و چگالی خطی جرم $(\mu = m/L)$ بستگی دارد و از رابطه زیر به دست می‌آید:

(تندی انتشار موج عرضی در تار یا فنر)



△ نکتـــــه: هر موجی حامل انرژی است.

مقدار متوسط آهنگ انتقال انرژی (توان متوسط) در یک موج سینوسی برای همه انواع امواج مکانیکی با مربع □ دامنه (A^2) و نیز مربع □ بسامد (f^2) موج متناسب است.

چند مشخصه بارز موج‌های الکترومغناطیسی به قرار زیر است

۱. میدان ○ الکتریکی $\vec{E}$ همواره عمود ↓ بر میدان ○ مغناطیسی $\vec{B}$ است.

۲. میدان‌های ○ الکتریکی و مغناطیسی $\vec{E}$ و $\vec{B}$ همواره بر جهت حرکت موج عمودند ↓ و در نتیجه موج الکترومغناطیسی، یک موج عرضی است.

۳. میدان‌ها ○ با بسامد یکسان و همگام با یکدیگر تغییر می‌کنند.

تندی انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلأ از رابطه $c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \varepsilon_0}}$ به دست می‌آید، که μ_0 تراوایی مغناطیسی در خلأ و برابر $4\pi \times 10^{-7} T.m/A$ و ε_0 ضریب × گذردهی الکتریکی خلأ و برابر $8/85 \times 10^{-12} C^2/N.m^2$ است. مقدار c با استفاده از

این رابطه $۳/۰۰ \times ۱۰^{۸}\, m/s$ می‌شود که همان تندی انتشار نور در خلأ است.

طیف امواج الکترومغناطیسی 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 روش‌های تولید و کاربردهای آن‌ها، امواج الکترومغناطیسی هستند و همگی با تندی نور در خلأ حرکت می‌کنند و هیچ گسستگی در این طیف وجود ندارد.

امواج طولی

در امواج طولی، طول موج برابر با فاصله بین دو تراکم ←→ (برای فنر، جمع‌شدگی) یا دو انبساط ←→ (برای فنر، بازشدگی) متوالی است. هم چنین دامنه موج طولی برابر با بیشینه 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.

امواج لرزه‌ای موج‌های مکانیکی‌ای هستند، که از لایه‌های زمین عبور می‌کنند. یکی از منشأهای مهم امواج لرزه‌ای، زمین لرزها هستند. دو نوع از امواج لرزه‌ای، امواج اولیه P و امواج ثانویه S هستند. امواج P، امواجی طولی و امواج S امواجی عرضی هستند.

موج صوتی

صوت یک موج طولی است که توسط جسمی مرتعش تولید می‌شود، که اصطلاحاً به آن چشمه صوت گفته می‌شود. معمولاً صوت ایجاد شده در تمام جهت‌ها منتشر می‌شود.

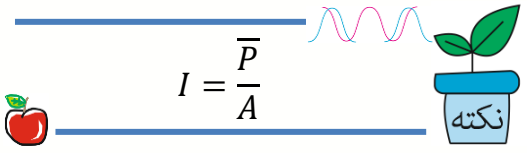
صوت در محیط‌های مادی مانند گاز، مایع، یا جامد می‌تواند ایجاد و منتشر شود. عموماً صوت در جامدها سریع‌تر از مایع‌ها و در مایع‌ها سریع‌تر از گازها حرکت می‌کند. تندی صوت افزون بر جنس محیط به دما نیز بستگی دارد.

شدت صوت

شدت یک موج صوتی (I) در یک سطح، برابر با آهنگ متوسط انرژی‌ای است؛ که توسط موج به واحد سطح، عمود بر راستای انتشار صوت می‌رسد یا از آن عبور می‌کند.

(شدت صوت)

$$I = \frac{\overline{P}}{A}$$



که در آن $\overline{P}$ آهنگ متوسط انتقال انرژی و A مساحت سطحی است، که صوت با آن برخورد می‌کند. بنابراین یکای شدت

صوت 📣، وات بر متر مربع □ (W/m^2) است.

شدت صوت 📣 را می‌توان با یک آشکارساز اندازه گرفت.

تراز شدت صوت (تراز صوتی) به صوت زیر تعریف می‌شود.

(تراز شدت صوت 📣)

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

نکته

که در آن dB مخفف دسی‌بل، یکای تراز شدت صوت 📣 است. همچنین I_0 شدت مرجع $(1/00 \times 10^{-12}\ W/m^2)$ به این دلیل انتخاب شده است، که نزدیک به حد پایین ⇩ گستره شنیداری 👂 انسان است.

با شنیدن هر تن، دو ویژگی را می‌توان از هم متمایز ساخت

ارتفاع و بلندی آن، ارتفاع و بلندی، هر دو به ادراک شنوایی 👂 ما مربوط می‌شوند. ارتفاع، بسامدی است که گوش 👂 انسان درک می‌کند.

بلندی، شدتی است که گوش 👂 انسان از صوت 📣 درک می‌کند.

بیش‌ترین حساسیت گوش 👂 انسان به بسامدهایی در گستره $2000Hz$ تا $5000Hz$ است، در حالی که گوش 👂 انسان قادر به شنیدن 👂 تن‌های صدای $20Hz$ تا $20000Hz$ است.

اثر دوپلر

اگر شنونده 👂 به چشمه صوت 📣 نزدیک شود، یا این که چشمه صوت📣 به شنونده 👂 نزدیک شود، بسامد صوتی📣 که شنونده 👂 می‌شنود، از بسامد اصلی صوت📣 چشمه بیش‌تر ⇧ خواهد بود. اگر شنونده 👂 از چشمه صوت 📣 دور شود یا چشمه صوت📣 از شنونده دور شود، بسامد صوتی📣 که شنونده می‌شنود؛ از بسامد اصلی چشمه صوت📣 کم‌تر ⇩ خواهد بود. این اثر در امواج الکترومغناطیسی نیز رخ می‌دهد.

اگر یک چشمه نور 🕯 به ناظر نزدیک شود بسامد افزایش ⇧ یافته که اصطلاحاً به آن انتقال به آبی گفته می‌شود و اگر چشمه نور 🕯 از ناظر دور شود، بسامد کاهش ⇩ می‌یابد که به آن انتقال به سرخ گفته می‌شود.

فصل چهارم: برهم‌کنش‌های موج

بازتاب و شکست ↯ و پراش، راه‌های برهم‌کنش موج با محیط هستند.

شکست ↯ وقتی رخ می‌دهد، که جهت پیشروی موج 〰 در ورود به یک محیط جدید تغییر کند. شکست ↯ هم برای امواج 〰 مکانیکی 🛠 و هم برای امواج 〰 الکترومغناطیسی رخ می‌دهد.

زاویه تابش

زاویه بین خط عمود ↓ بر سطح مانع و پرتوی تابیده (فرودی) را زاویه تابش می‌نامند و با θ_i نشان می‌دهند.

زاویه بازتابش

زاویه بین خط عمود ↓ بر سطح مانع و پرتوی بازتابیده را زاویه بازتابش می‌نامند و با θ_r نشان می‌دهند.

قانون بازتاب عمومی

همواره زاویه تابش برابر است با زاویه بازتابش

پژواک

اگر صوت 📣 پس از بازتاب، با یک تأخیر زمانی 🕓 به گوش 👂 شنونده‌ای برسد، که صوت 📣 اولیه را مستقیماً می‌شنود، به چنین بازتابی پژواک می‌گویند. اگر تأخیر زمانی 🕓 بین این دو صوت 📣 کم‌تر ⇩ از $0/1\ s$ باشد، گوش 👂 انسان نمی‌تواند پژواک را از صوت 📣 مستقیم اولیه تمیز دهد.

مکان‌یابی 📍 پژواکی روشی است که براساس امواج 〰 صوتی 📣 بازتابیده از یک جسم ■، مکان 📍 آن جسم ■ را تعیین می‌کند.

در مواردی که سطح بازتابنده نور 🕯 همچون آینه، بسیار هموار باشد، بازتاب نور 🕯 را بازتاب آینه‌ای یا منظم می‌گویند.

نوع دیگر بازتابش، بازتاب پخشنده یا نامنظم است. این بازتاب وقتی رخ می‌دهد، که نور 🕯 به سطحی برخورد کند؛ که صیقلی و هموار نباشد.

پرتو تابش

به پرتویی که به سطح جداکننده دو محیط می‌تابد، پرتو تابش گفته می‌شود.

پرتو شکست

به پرتویی که پس از عبور ↓ از سطح جداکننده تغییر مسیر داده است، پرتو شکست ↯ گفته می‌شود.

زاویه تابش

به زاویه بین پرتوی شکست ↯ و خط عمود ↓ بر سطح جداکننده در نقطه • تابش، زاویه تابش گفته می‌شود و آن را با θ_i نمایش می‌دهیم.

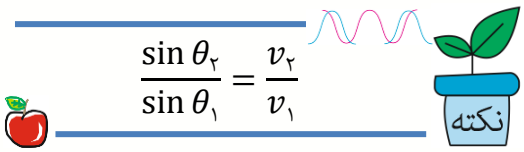
زاویه شکست

به زاویه بین پرتوی شکست ↯ و خط عمود ↓ بر سطح جداکننده در نقطه • تابش، زاویه شکست ↯ گفته می‌شود و آن را با θ_r نمایش می دهیم.

اگر تندی انتشار موج 〰 فرودی را v_1 و تندی انتشار موج 〰 شکست ↯ یافته را v_2 بنامیم، بین تندی‌های v_1 و v_2 و زاویه‌های θ_1 و θ_2 رابطه زیر برقرار است، که به آن قانون شکست ↯ عمودی ↓ می‌گویند.

(قانون شکست ↯ عمومی)

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



△ نکتـــــه: اگر تندی موج 〰 هنگام عبور از یک محیط به محیط دیگر افزایش ⇧ یابد، زاویه شکست ↯ از زاویه تابش بزرگ‌تر ⇧ می‌شود و اگر تندی موج 〰 هنگام عبور از یک محیط به محیط دیگر کاهش ⇩ یابد، زاویه شکست ↯ از زاویه تابش کوچک‌تر ⇩ خواهد بود.

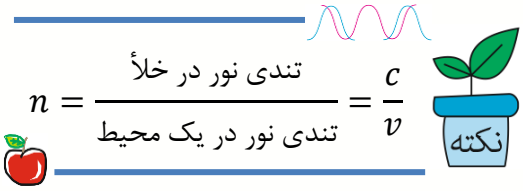
ضریب شکست

به نسبت سرعت نور 🕯 در هوا 🌬 یا خلأ به سرعت نور 🕯 در یک محیط شفاف، ضریب × شکست ↯ آن محیط شفاف گفته می‌شود.

هرچه ضریب × شکست ↯ بزرگ‌تر ⇧ باشد، انحراف نور 🕯 بیش‌تر ⇧ می‌شود.

(تعریف ضریب × شکست ↯)

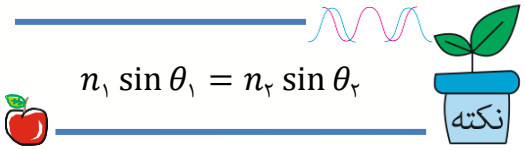
$$n=\frac{\text{تندی نور در خلأ}}{\text{تندی نور در یک محیط}}=\frac{c}{v}$$



چون تندی نور 🕯 در خلأ بیش‌ترین ⇧ تندی ممکن است، ضریب × شکست ↯ همواره بزرگ‌تر ⇧ یا مساوی ۱ است (که ۱ مربوط به خلأ است.)

(قانون شکست ↯ اسنل)

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

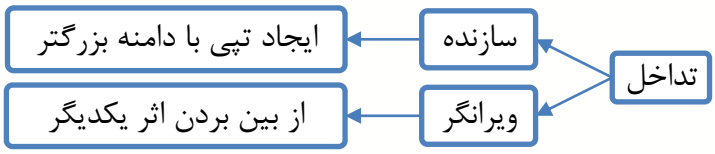


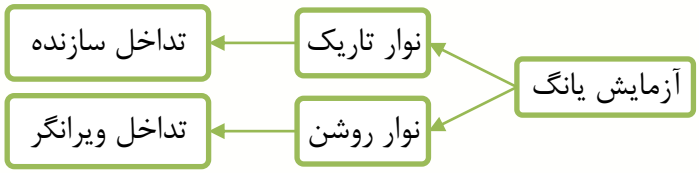
ضریب × شکست ↯ هر محیطی به جز خلأ به طول موج 〰 نور 🕯 بستگی دارد.

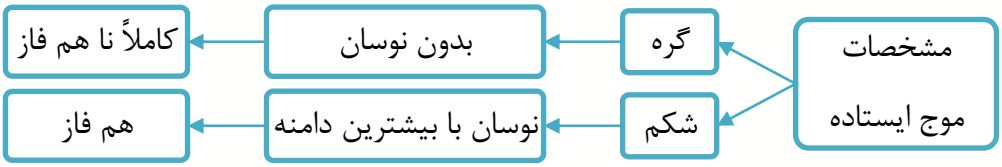
وقتی باریکه نوری 🕯 شامل پرتوهایی با طول موج‌های 〰 مختلف باشد، این پرتوها هنگام عبور از مرز دو محیط در زاویه‌های مختلفی شکسته ↯ می‌شوند. به این پخش‌شدگی نور 🕯، پاشندگی نور 🕯 می‌گویند. عموماً ضریب × شکست ↯ یک محیط معین برای طول موج‌های 〰 کوتاه‌تر ⇩، بیش‌تر ⇧ است.

اصل برهم‌نهی امواج 〰 بیان می‌دارد، وقتی چندین موج 〰 به طور هم‌زمان 🕓 بر ناحیه‌ای از فضا تأثیر بگذارند، اثر خالص آن‌ها برابر مجموع اثرهای مجزای هر یک از آن‌ها است. به ترکیب موج‌ها 〰 با یکدیگر، تداخل می‌گویند. به بیان دیگر تداخل، ترکیب دو یا چند موج 〰 است که هم‌زمان 🕓 از یک منطقه عبور می‌کنند.

❋ مخصوص ریاضی ❋

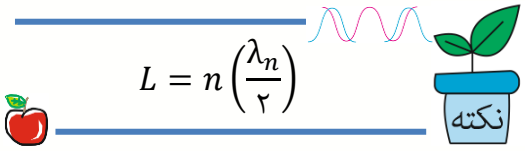




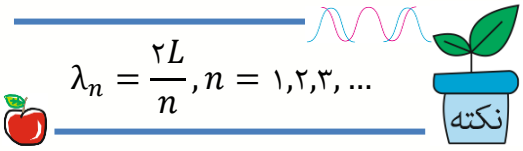


تار کشیده با دو انتهای بسته

وقتی در این تار بسامدهای تشدیدی ایجاد می‌شود، می‌توان نوشت:

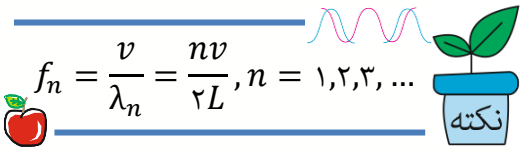


(طول موج‌های 〰 تشدیدی تار)



بنابراین بسامدهای تشدیدی متناظر با این طول موج‌ها 〰 چنین می‌شود:

(بسامدهای تشدیدی تار)

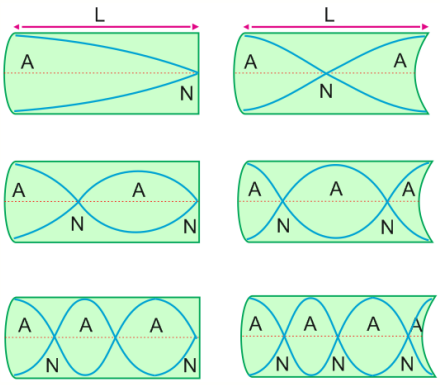


در رابطه‌های فوق n تعداد شکم‌ها $\cap$ است و تعداد گره‌ها $\cup$ یکی بیش‌تر $\Uparrow$ از تعداد شکم‌ها $\cap$ است. به n عدد هماهنگ گفته می شود.

❋ مخصوص ریاضی ❋

لوله‌های صوتی

در لوله‌های صوتی 🔊 نیز موج 〰 ایستاده تشکیل می‌شود، چه هر دو انتهای آن باز باشد و چه یک انتها باز و یک انتها بسته باشد.



فصل پنجم آشنایی با فیزیک اتمی

اثر فتوالکتریک و فوتون

از سطح یک جسم ■، وقتی در معرض تابش الکترومغناطیس با طول موج‌های کوتاه قرار گیرد (نور مرئی برای فلزات قلیایی و فرابنفش برای دیگر فلزات)، الکترون جدا می‌شود. به الکترون جدا شده، فوتوالکترون گفته می‌شود.

ناسازگاری‌های فیزیک کلاسیک و اثر فوتوالکتریک

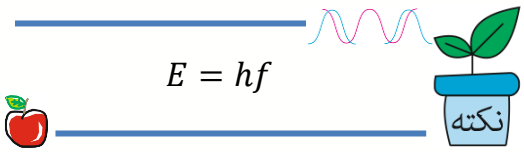
۱. طبق فیزیک کلاسیک اثر فوتوالکتریک باید در هر بسامدی رخ دهد که چنین نیست.

۲. طبق فیزیک کلاسیک با افزایش ⇧ شدت نور باید انرژی ↗ جنبشی فوتوالکترون‌ها بیشتر ⇧ شود که باز هم چنین نیست.

نظریه اینشتین در مورد اثر فوتوالکتریک

نور از بسته‌های انرژی ↗ به نام فوتون تشکیل شده است.

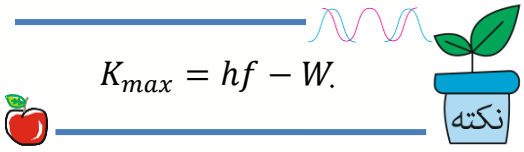
(انرژی ↗ فوتون)



در این رابطه h ثابت پلانک نامیده می‌شود و به طور تجربی معلوم شده است که مقدار آن $h = ۶/۶۳ \times ۱۰^{-۳۴} J.s$ است.

بنابر نظر اینشتین، وقتی نوری تک‌فام بر سطح فلزی می‌تابد، هر فوتون صرفاً با یکی از الکترون‌های فلز برهم‌کنش می‌کند. اگر فوتون انرژی ↗ کافی داشته باشد، تا فرآیند خارج کردن الکترون از فلز را انجام دهد، الکترون به طور آنی از آن گسیل می‌شود. در این صورت بخشی از انرژی ↗ فوتون صرف جدا کردن الکترون از فلز می‌شود و مابقی آن به انرژی ↗ الکترون خارج شده تبدیل می‌شود.

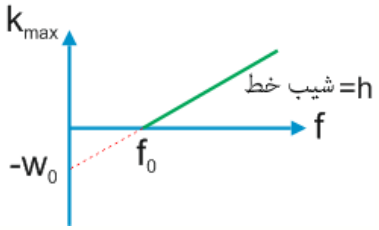
(معادله فوتوالکتریک)



❋ مخصوص ریاضی ❋

$W_.$ را تابع کار فلز می‌نامند که به جنس فلز بستگی دارد و کمینه کار لازم برای خارج کردن یک الکترون از یک فلز معین است.

نمودار بیشینه انرژی جنبشی فوتوالکترون‌ها برحسب بسامد نور فرودی

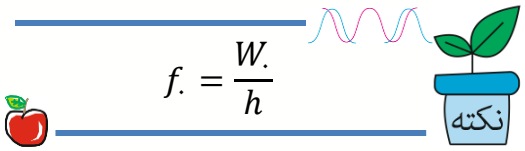


❋ مخصوص ریاضی ❋

وقتی بسامد نور فرودی بزرگ‌تر از $f_.$ یا مساوی با آن باشد فوتون‌ها می‌توانند الکترون‌ها را از فلز خارج کنند.

کم‌ترین بسامدی که می‌تواند باعث ایجاد اثر فوتوالکتریک در یک فلز شود، بسامد آستانه نامیده می‌شود.

$$f_. = \frac{W_.}{h}$$

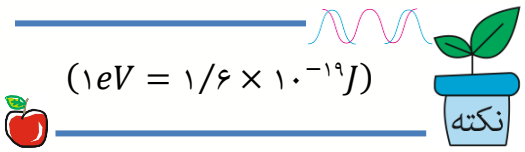


در رابطه فوق $f_.$ بسامد آستانه نامیده می‌شود.

به بیشینه طول موجی که می‌تواند باعث ایجاد اثر فوتوالکتریک شود، طول موج آستانه $(\lambda_.)$ گفته می‌شود.

در فیزیک اتمی و فیزیک هسته‌ای، یکای ژول برای انرژی فوتون‌ها و ذرات، یکای بسیار بزرگی است. به همین دلیل از یکایی به نام الکترون ولت (eV) استفاده می‌کنیم.

$$(1eV = 1/6 \times 10^{-19} J)$$



همه اجسام در هر دمایی که باشند، از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل (نشر) می‌کنند، که به آن تابش گرمایی گفته می‌شود.

اگر طیف شامل گستره پیوسته‌ای از تمام طول موج‌ها باشد، به آن طیف پیوسته یا طیف گسیلی پیوسته گفته می‌شود.

تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم‌کنش قوی بین اتم‌های سازنده آن است. حال آن که گازهای کم‌فشار و رقیق، که اتم‌های منفرد آن‌ها از برهم‌کنش‌های قوی موجود در جسم جامد آزادند؛ به‌جای طیف پیوسته، طیفی گسسته گسیل می‌کنند. که شامل طول موج‌های معینی است. این طیف گسسته را، معمولاً طیف گسیلی خطی یا به اختصار طیف خطی می‌نامند و طول موج‌های ایجاد شده در آن، برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد است.

رابطه بالمر برای محاسبه طول موج‌های مرئی طیف خطی اتم هیدروژن

(معادله بالمر)

$$\lambda = (۳۶۴/۵۶\,nm)\frac{n^۲}{n^۲ - ۲^۲}$$

نکته

که در آن $n \geq ۳$ و همواره عددی صحیح است.

رابطه ریدبرگ برای محاسبه تمام طول موج‌های طیف خطی اتم هیدروژن:

(معادله ریدبرگ)

$$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right) \quad n > n'$$

نکته

که در آن R ثابت ریدبرگ و مقدار آن برابر $۰/۰۱۰۹۷۳۷۳۱\ (nm)^{-۱}$ است و برای سادگی در محاسبه‌ها، مقدار آن را می‌توان $۰/۰۱۱\ (nm)^{-۱}$ در نظر گرفت. همچنین n' عدد صحیح مثبت + است.

رشته خط‌های طیف گسیلی هیدروژن اتمی

نام طیف	تاریخ کشف	n'	رابطه ریدبرگ مربوط به رشته	مقدارهای n	ناحیه طیف
لیمان	۱۹۰۶-۱۹۱۴	۱	$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{۱^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$	۲,۳,۴, ...	فرابنفش
بالمر	۱۸۸۵	۲	$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{۲^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$	۳,۴,۵, ...	فرابنفش و مرئی
پاشن	۱۹۰۸	۳	$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{۳^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$	۴,۵,۶, ...	فروسرخ
براکت	۱۹۲۲	۴	$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{۴^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$	۵,۶,۷, ...	فروسرخ
پفوند	۱۹۲۴	۵	$\frac{۱}{\lambda} = R\left(\frac{۱}{۵^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$	۶,۷,۸, ...	فروسرخ

مدل اتمی تامسون

بنابر مدل تامسون، اتم همچون کره‌ای ● است که بار مثبت + به طور همگن در سرتاسر آن گسترده شده است و الکترون‌ها که سهم ناچیزی در جرم اتم دارند در جاهای مختلف آن پراکنده شده‌اند. این مدل را گاهی مدل کیک کشمشی هم می‌گویند، زیرا الکترون‌ها مانند دانه‌های کشمش در آن پخش شده‌اند. یکی از ناکامی‌های مدل تامسون این بود که بسامدهای تابش گسیل شده از اتم، که این مدل پیش‌بینی می‌کرد، با نتایج تجربی سازگار نبود.

مدل اتمی رادرفورد

بنابر مدل رادرفورد، اتم دارای یک هسته بسیار چگال و کوچک $\left(\text{شعاع} \approx ۱۰^{-۱۵}m\right)$ و با بار مثبت + است، که الکترون‌ها خارج از

آن قرار دارند. مدل اتمی رادرفورد را مدل اتم هسته‌ای یا مدل هسته‌ای اتم می‌نامند.

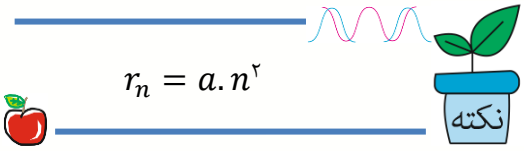
ضعف مدل اتمی رادرفورد

اگر الکترون‌ها را نسبت به هسته ساکن فرض کنیم، باید تحت تأثیر نیروی ربایشی الکتریکی بین هسته و الکترون، روی هسته سقوط کنند و در نتیجه اتم باید ناپایدار باشد؛ هم‌چنین اگر الکترون‌ها، مانند منظومه خورشیدی ☼ که دور خورشید ☼ می‌چرخند، به دور هسته در گردش باشند، باز هم این حرکت 🚆 پایدار نمی‌ماند. زیرا حرکت 🚆 مداری الکترون به دور هسته شتاب‌دار است. بنابر فیزیک کلاسیک، این حرکت 🚆 شتاب‌دار الکترون سبب تابش امواج 〰 الکترومغناطیسی می‌شود که بسامد آن، با بسامد حرکت 🚆 مداری الکترون برابر است. با تابش موج 〰 الکترومغناطیسی توسط الکترون، از انرژی آن کاسته ⇩ می‌شود.

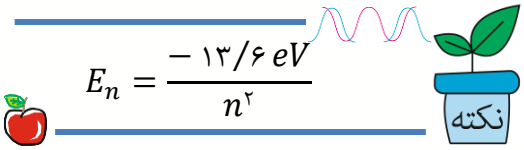
مفروضات مدل بور

۱. مدارها و انرژی‌های ↗ الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های ↗ گسسته معینی مجاز هستند.

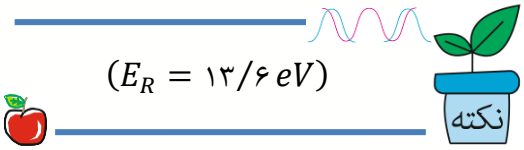
(شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن)



(ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن)



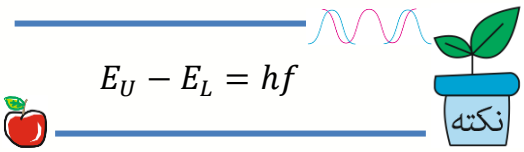
در این رابطه n عدد کوانتومی نامیده می‌شود $(n = ۱,۲,۳, \dots)$ که مدار الکترون را دور هسته مشخص می‌کنند. هم‌چنین $a.$ شعاع کوچک‌ترین ⇩ مدار در اتم هیدروژن (به ازای $n = ۱$) و مقدار آن برابر $a. = r_۱ = ۵/۲۹ \times ۱۰^{-۱۱} m$ است. این مقدار خاص، شعاع بور برای اتم هیدروژن نامیده می‌شود. هم‌چنین انرژی ↗ الکترون در $n = ۱$ برابر $E_۱ = -۱۳/۶\ eV$ است، که اندازه آن را معمولاً یک ریدبرگ می‌نامند و با نماد E_R نشان می‌دهند.



۲. وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. از این رو گفته می‌شود الکترون در مدار مانا یا حالت مانا قرار دارد.

۳. الکترون نمی‌تواند از یک حالت مانا به حالت مانای دیگر برود. هنگام گذار الکترون از یک حالت مانا با انرژی ↗ بیش‌تر ⇧ E_U به یک حالت مانا با انرژی ↗ کم‌تر ⇩ E_L، یک فوتون تابش می‌شود؛ در این صورت انرژی ↗ فوتون تابش شده برابر اختلاف انرژی ↗ بین دو مدار اولیه و مدار نهایی است، یعنی:

(معادله گسیل فوتون از اتم)



پایین‌ترین ⇩ تراز انرژی ↗، حالت پایه نامیده می‌شود، تا از ترازهای بالاتر ⇧ که حالت برانگیخته نامیده می‌شوند متمایز باشد.

کم‌ترین ⇩ انرژی ↗ لازم برای خارج کردن الکترون از حالت پایه، انرژی ↗ یونش الکترون نامیده می‌شود.

اگر طیف پیوسته نور🕯 سفید را از یک گاز ≋ عبور دهیم، در آن خط‌های تیره ایجاد می‌شود به این طیف، طیف جذبی گفته می‌شود.

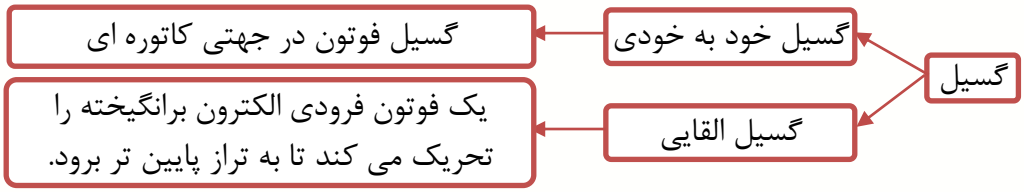
هم در طیف گسیلی و هم در طیف جذبی اتم‌های گاز ≋ هر عنصر، طول موج‌های 〰 معینی وجود دارد، که از مشخصه‌های آن عنصر است. یعنی طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی ≋ همانند یکدیگر نیست.

اتم‌های هر گاز ≋ دقیقاً همان طول موج‌هایی 〰 را از نور 🕯 سفید جذب می‌کنند، که اگر دمای 🌡 آن‌ها به اندازه کافی بالا ⇧ رود و یا به هر صورت دیگر برانگیخته شوند، آن‌ها را تابش می‌کنند.

موفقیت‌ها و نارسایی‌های مدل بور

مدل بور تصویری از چگونگی حرکت 🚌 الکترون‌ها به دور هسته ارائه می‌کند. این مدل در تبیین پایداری اتم، طیف گسیلی و جذبی گاز ≋ هیدروژن اتمی و محاسبه انرژی ↗ یونش اتم هیدروژن با موفقیت همراه است. افزون بر این، مدل بور را برای اتم‌های هیدروژن گونه نیز می‌توان به کار برد.

این مدل برای وقتی که بیش از یک الکترون به دور هسته می‌گردد به کار نمی‌رود، زیرا در مدل بور، نیروی الکتریکی که یک الکترون دیگر وارد می‌کند به حساب نیامده است. هم‌چنین این مدل نمی‌تواند متفاوت بودن شدت خط‌های طیف گسیلی را توضیح دهد.



△ نکتـــــه: در گسیل القایی، انرژی ↗ فوتون فرودی باید دقیقاً برابر اختلاف انرژی ↗ دو تراز باشد.

گسیل القایی سه ویژگی عمده دارد. اول این‌که یک فوتون وارد و دو فوتون خارج می‌شود؛ به این ترتیب این فرآیند تعداد فوتون‌ها را افزایش ⇧ می‌دهد و نور 🕯 را تقویت می‌کند. دوم این‌که فوتون گسیل شده، در همان جهت فوتون ورودی حرکت 🚌 می‌کند. سوم این‌که فوتون گسیل شده با فوتون ورودی همگام یا دارای همان فاز است. به این ترتیب فوتون‌هایی که باریک لیزری را ایجاد می‌کنند هم‌بسامد، هم‌جهت و هم‌فاز هستند.

وارونی جمعیت الکترون‌ها در یک محیط لیزری، مربوط به وضعیتی است، که تعداد الکترون‌ها در ترازهایی موسوم به ترازهای شبه پایدار نسبت به تراز پایین‌تر ⇩ بسیار بیش‌تر ⇧ باشند.

فصل ششم آشنایی با فیزیک هسته‌ای

هسته اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است، که به طور کلی نوکلئون نامیده می‌شوند.

تعداد پروتون‌های هسته را عدد اتمی (Z) می‌نامند و در عنصرهای مختلف متفاوت است. در یک اتم خنثی، تعداد پروتون‌های هسته با تعداد الکترون‌های دور هسته برابر است. تعداد نوترون‌های هسته، عدد نوترونی (N) نامیده می‌شود. هم‌چنین مجموع تعداد کل پروتون‌ها و نوترون‌ها را عدد جرمی (A) می‌نامند.

نکته

$$\underbrace{A}_{\text{تعداد پروتون‌ها و نوترون‌ها (عدد جرمی)}} = \underbrace{Z}_{\text{تعداد پروتون‌ها (عدد اتمی)}} + \underbrace{N}_{\text{تعداد نوترون‌ها (عدد نوترونی)}}$$

نکته

$$\text{نماد عنصر} \leftarrow X \quad \begin{matrix} A \rightarrow \text{عدد جرمی} \\ Z \rightarrow \text{عدد اتمی} \end{matrix} \qquad N \leftarrow \text{عدد نوترونی}$$

هسته‌هایی که تعداد پروتون مساوی ولی تعداد نوترون متفاوت دارند، خواص شیمیایی یکسانی دارند، در نتیجه این هسته‌ها در جدول تناوبی عناصر هم‌مکان هستند و بنابراین ایزوتوپ (هم‌مکان) نامیده می‌شوند.

نیروی هسته‌ای، کوتاه‌بُرد است و تنها در فاصله‌ای کوچک‌تر از ابعاد هسته اثر می‌کند.

انرژی بستگی هسته و ترازهای انرژی هسته‌ای

برای جدا کردن نوکلئون‌های یک هسته، انرژی لازم است. انرژی لازم برای این منظور، انرژی بستگی هسته نامیده می‌شود.

جرم هسته از مجموع جرم پروتون‌ها و نوترون‌های تشکیل‌دهنده‌اش کمی کم‌تر است. اگر این اختلاف جرم را که به آن کاستی جرم هسته گفته می‌شود، مطابق رابطه معرف اینشتین $(E = mc^2)$، در مربع تندی نور (c^2) ضرب کنیم، انرژی بستگی هسته به دست می‌آید.

انرژی نوکلئون‌های وابسته به هسته نیز مانند الکترون‌های وابسته به اتم، کوانتیده‌اند و نوکلئون‌های درون هسته نمی‌توانند هر انرژی دلخواهی را اختیار کنند.

اختلاف بین ترازهای انرژی نوکلئون‌ها در هسته از مرتبه keV تا مرتبه MeV است، در حالی که اختلاف بین ترازهای انرژی الکترون‌ها در اتم از مرتبه eV است. از این‌رو، هسته‌ها در واکنش‌های شیمیایی برانگیخته نمی‌شوند.

در پرتوزایی طبیعی سه نوع پرتو ایجاد می‌شود

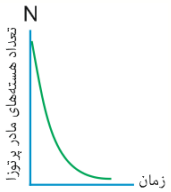
پرتوهای آلفا (α)، پرتوهای بتا (β) و پرتوهای گاما (γ). پرتوهای α کم‌ترین نفوذ را دارند و با ورقه نازک سربی با ضخامت ناچیز $(\approx 0/01\ mm)$ متوقف می‌شوند، در حالی که پرتوهای β مسافت خیلی بیش‌تری را $(\approx 0/1\ mm)$ در سرب

نفوذ می‌کنند. پرتوهای γ بیش‌ترین نفوذ را دارند و می‌توانند از ورقه‌ای سربی به ضخامت قابل ملاحظه‌ای $(\approx ۱۰۰mm)$ بگذرند.

واپاشی (α)	$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-۴}_{Z-۲}Y + {}^{۴}_{۲}H_e$
واپاشی (β^-)	$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+۱}Y + {}^{}_{-۱}e^-$
واپاشی (β^+) یا (E^+)	$^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-۱}Y + {}^{}_{۱}e^+$
واپاشی (γ)	$^{A}_{Z}X^* \Rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$

نکته

بنا به تعریف، نیمه عمر، مدت زمانی ⏲ است که طول می‌کشد تا تعداد هسته‌های مادر موجود در یک نمونه، به نصف برسد.



(تعداد هسته‌های پرتوزای باقی مانده)

$$N = N_{۰}.\left(\frac{۱}{۲}\right)^{n}$$

نکته

که در آن n از رابطه $\frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}}$ به دست می‌آید.

فرآیند تقسیم شدن یک هسته سنگین به دو هسته با جرم کم‌تر ⇩، شکافت هسته‌ای نامیده می‌شود.

$$^{۱}_{۰}n + {}^{۲۳۵}_{۹۲}U \rightarrow \underbrace{{}^{۲۳۶}_{۹۲}U^*}_{\text{(ناپایدار) هسته مرکب}} \rightarrow \underbrace{{}^{۱۴۱}_{۵۶}Ba}_{\text{باریم}} + \underbrace{{}^{۹۲}_{۳۶}Kr}_{\text{کریپتون}} + \underbrace{۳\,{}^{۱}_{۰}n}_{\text{سه نوترون}}$$

نکته

در واکنش‌های شکافت هسته‌ای، جرم محصولات شکافت، کم‌تر ⇩ از جرم هسته مرکب است.

این اختلاف جرم بنا به رابطه $E = mc^۲$، سبب آزاد شدن انرژی ↗ گرمایی 🌡 زیادی می‌شود.

به فرآیند افزایش ⇧ درصد یا غلظت ایزوتوپ ۲۳۵ در یک نمونه، غنی‌سازی گفته می‌شود.

از مواد کندساز مانند آب 💧 معمولی و آب 💧 سنگین و گرافیت برای کند کردن نوترون‌ها در رآکتور استفاده می‌شود.

از مواد جذب‌کننده نوترون مانند کادمیم و بور برای جذب نوترون و کاهش ⇩ واکنش زنجیری استفاده می‌شود.

یک رآکتور هسته‌ای دارای سوخت هسته‌ای و ماده کندساز و میله‌های کنترل و شاره‌ای برای انتقال گرما 🌡 هستند.

در فرآیند گداخت هسته‌ای، دو هسته سبک با یکدیگر ترکیب می‌شوند و هسته سنگین‌تری به وجود می‌آورند. مانند:

$$D + T \rightarrow {}^{۴}_{۲}He + {}^{۱}_{۰}n$$

نکته

سینماتیک

روابط کلی حرکت‌شناسی	
تندی متوسط	$S_{av} = \frac{۱}{\Delta t}$
سرعت متوسط	$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$
شتاب متوسط	$\vec{a}_{av} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$
حرکت با سرعت ثابت	
معادله حرکت	$x = vt + x_۰$
سرعت متحرک	$V = v_{av} =$ ثابت
شتاب متحرک	$a = ۰$
حرکت با شتاب ثابت	
معادله حرکت	$x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰$
معادله سرعت – زمان	$v = at + v_۰$
شتاب متحرک	$a = a_{av} =$ ثابت
معادله مستقل از زمان (معادله سرعت – مکان)	$v^۲ = v_۰^۲ + ۲a\Delta x$
معادله مستقل از شتاب	$\Delta x = \frac{v + v_۰}{۲} \times \Delta t$
سرعت متوسط	$v_{av} = \frac{v + v_۰}{۲}$
دانش آموزان رشته ریاضی و فیزیک در سقوط آزاد از روابط فوق استفاده نمایید. بطوریکه در روابط $a \to -g$ و $x \to y$ تبدیل شود.	

دینامیک

روابط مربوط به نیروها	
قانون دوم نیوتون	$\vec{F}_{net} = m\vec{a}_{net}$
نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه	$f_{s,max} \leq \mu_s F_N$
نیروی اصطکاک جنبشی	$f_k = \mu_k F_N$
نیروی کشسانی فنر	$F = k\Delta x$
روابط تکانه	
تکانه	$\vec{p} = m\vec{v}$
قانون دوم نیوتون برحسب تکانه برای نیروی ثابت	$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$
روابط تکانه و انرژی جنبشی	$K = \frac{p^2}{2m}$
نیروی گرانشی	
نیروی گرانشی بین دو ذره	$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$
شتاب گرانشی در سطح زمین	$g = G\frac{M_e}{R_e^2}$
شتاب گرانشی زمین در فاصله h از سطح زمین	$g = G\frac{M_e}{R_e^2} \quad , \quad r = h + R_e$
مقایسه گرانش دو کره	$\frac{g_2}{g_1} = \frac{M_2}{M_1} \times \frac{r_1^2}{r_2^2}$
حرکت دایره‌ای ویژه رشته ریاضی و فیزیک	
دوره حرکت	$T = \frac{2\pi r}{v}$
اندازه شتاب مرکزگرا	$a_c = \frac{v^2}{r} = rW^2 = \frac{4\pi r^2}{T^2}$

نوسان

مفاهیم کلی	
بسامد	$f = \frac{۱}{T}$
بسامد زاویه‌ای و دوره	$\omega = \frac{۲\pi}{T}$
بسامد زاویه‌ای و بسامد	$\omega = ۲\pi f$
حرکت نوسانی هماهنگ ساده (دستگاه جرم – فنر)	
معادله حرکت نوسانی ساده	$x = A\cos\omega t$
دوره تناوب سامانه جرم – فنر	$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$
بسامد زاویه‌ای سامانه جرم - فنر	$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$
تندی بیشینه	$v_m = A\omega$
شتاب	$a_m = -\omega^۲ x$
بزرگی شتاب بیشینه	$\lvert a_m\rvert = A\omega^۲$
حرکت نوسانی هماهنگ ساده (آونگ ساده)	
دوره تناوب آونگ ساده	$T = ۲\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$
بسامد زاویه‌ای سامانه جرم – فنر	$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$
انرژی در حرکت هماهنگ ساده	
انرژی مکانیکی با انرژی جنبشی پتانسیل	$E = K + U$
انرژی مکانیکی با انرژی جنبشی بیشینه و پتانسیل بیشینه	$E = K_m = U_m$
انرژی مکانیکی با دامنه و بسامد زاویه‌ای	$E = \frac{۱}{۲}mA^۲\omega^۲$
انرژی مکانیکی با دامنه و ثابت فنر	$E = \frac{۱}{۲}kA^۲$
نسبت انرژی جنبشی به انرژی مکانیکی	$\frac{K}{E} = \left(\frac{V}{V_m}\right)^۲$

امواج

تندی انتشار امواج	
تندی انتشار امواج	$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$
تندی انتشار موج عرضی در تار یا فنر	$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{F.l}{m}} = \sqrt{\frac{F}{p.A}}$
تندی انتشار امواج الکترومغناطیسی در خلأ	$C = \frac{۱}{\sqrt{\mu.\varepsilon.}}$
حرکت دو موج از یک نقطه و طی مسافت برابر L با تأخیر زمانی	$L = \frac{v_۱ \times v_۲}{\lvert v_۱ - v_۲ \rvert} \times \Delta t$
شدت صوت	
شدت صوت براساس انرژی	$I = \frac{E}{t.A} \quad , A = ۴\pi r^۲$
شدت صوت بر اساس توان	$I = \frac{\overline{P}}{A} \quad , A = ۴\pi r^۲$
مقایسه شدت صوت یک چشمه در دو نقطه	$\frac{I_۲}{I_۱} = \left(\frac{r_۱}{r_۲}\right)^۲$
تراز شدت صوت	
تراز شدت صوت	$\beta = k \log\left(\frac{I}{I_.}\right)$
مقایسه تراز شدت صوت برحسب شدت	$\beta_۲ - \beta_۱ = k \log\left(\frac{I_۲}{I_.}\right)$
مقایسه تراز شدت صوت یک چشمه در دو فاصله مختلف	$\beta_۲ - \beta_۱ = k \log\left(\frac{r_۱}{r_۲}\right)^۲$

امواج

قانون شکست و روابط مربوطه	
قانون شکست عمومی	$\frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱}=\frac{v_۲}{v_۱}$
ضریب شکست	$n=\frac{c}{v}$
مقایسه ضریب شکست دو محیط	$\frac{n_۲}{n_۱}=\frac{v_۱}{v_۲}$
قانون شکست اسنل برای امواج الکترومغناطیس (نور)	$n_۱\sin\theta_۱=n_۲\sin\theta_۲$
در حالت کلی در روابط فوق به جای نسبت تندی نسبت طول موج قرار دارد.	$\frac{v_۲}{v_۱}=\frac{\lambda_۲}{\lambda_۱}$
تار (ریسمان) با دو انتهای بسته (ویژه رشته ریاضی و فیزیک)	
طول ریسمان	$L=\frac{n\lambda_n}{۲}$
بسامدهای تشدیدی تار	$f_n=\frac{v}{\lambda_n}=\frac{nv}{۲L}$ $f_n=n\times f_۱$
تعداد گره	$n+۱$
تعداد شکم	n

فیزیک اتمی

انرژی پلانگ و فوتوالکتریک	
انرژی فوتون	$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$
انرژی فوتون برحسب الکترون ولت و طول موج نانومتر	$E = \frac{hc}{\lambda} \qquad hc = ۱۲۴۰ ev.nm$
محاسبه تعداد فوتون‌ها	$n = \frac{E_{\text{موج}}}{E_{\text{فوتون}}}$
تبدیل الکترون ولت به ژول	$۱eV = ۱/۶ \times ۱۰^{-۱۹} J$
الکترون ژول به الکترون ولت	$۱J = ۶/۲۵ \times ۱۰^{+۱۸} ev$
معادله فوتوالکتریک (ویژه رشته ریاضی و فیزیک)	$K_{max} = hf - W_.$ $K_{max} = \frac{hc}{\lambda} - W_.$
تابع کار فنر (ویژه رشته ریاضی و فیزیک)	$W_. = hf_. = \frac{hc}{\lambda_.}$
معادله ریدبرگ و روابط اتمی بور	
محاسبه طول موج تابشی اتم هیدروژن	$\frac{۱}{\lambda} = R_H \left(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}\right)$
شعاع مدارهای الکترون برای اتم هیدروژن	$r_n = a.n^۲$
ترازهای انرژی الکترون در اتم هیدروژن	$E_n = \frac{-E_R}{n^۲}$ $(E_R = ۱۳/۶\, eV = ۱Ry)$
معادله گسیل فوتون از اتم	$E_{\text{فوتون}} = E_U - E_L$ $E_{\text{فوتون}} = hf = \frac{hc}{\lambda}$

فیزیک هسته‌ای

فیزیک هسته‌ای و انواع تابش و نیمه عمر	
رابطه جرم انرژی انیشتین	$E = mc^2$
واپاشی آلفا	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^{4}_{2}H_e$
واپاشی الکترون β^-	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z+1}Y + {}^{0}_{-1}e^-$
واپاشی پوزیترون β^+	${}^{A}_{Z}X \rightarrow {}^{A}_{Z-1}Y + {}^{0}_{1}e^+$
تابشی گاما γ	${}^{A}_{Z}X^* \Rightarrow {}^{A}_{Z}X + \gamma$
نیمه عمر	$m = \frac{m_0}{2^n} \quad , \quad n = \frac{t}{T}$
واکنش شکافت هسته‌ای (ویژه رشته ریاضی فیزیک)	${}^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \rightarrow {}^{236}_{92}U^* \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3{}^{1}_{0}n$