جزوه شب امتحان فیزیک

بخون و 20 بگیر

دکتر محمد جواد سورچی

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

فصل ۱: حرکت بر خط راست

شناخت حرکت

برای شناخت حرکت، نیاز داریم تعاریف و مفاهیمی را در فیزیک به دقت بررسی کنیم. این تعاریف عبارت‌اند از: مسافت و جابه‌جایی، سرعت و تندیِ متوسط و لحظه‌ای، مکان و ...

مسافت و جابه‌جایی

از نظر شما شاید در نگاه اول دو مفهوم مسافت و جابه‌جایی فرقی با هم نداشته باشند، اما این دو کمیت در فیزیک، دو کمیت متفاوت از هم هستند:

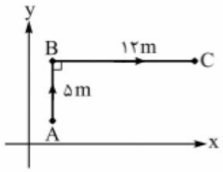
مسافت: به طول مسیری که متحرک طی می‌کند تا از مکانی به مکان دیگر منتقل شود، مسافت گفته می‌شود. مسافت یک کمیت عددی است و واحد آن در SI، متر (m) است.

جابه‌جایی: به پاره‌خط جهت‌داری که مکان شروع حرکت را به مکان پایان آن وصل کند، بردار جابه‌جایی گفته می‌شود.

- جابه‌جایی یک **کمیت برداری** است.

برای درک بهتر این دو مفهوم به مثال زیر توجه کنید:

مثال: متحرکی در صفحهٔ xy از نقطهٔ A به B و سپس از نقطهٔ B به نقطهٔ C می‌رود.



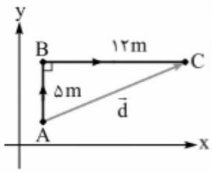
الف) مسافت طی‌شده توسط متحرک در مسیر ABC چند متر است؟

ب) اندازهٔ بردار جابه‌جایی متحرک در مسیر ABC چند متر است؟

پاسخ: الف) مسافت طی‌شده از جمع طول مسیرهای AB و BC به دست می‌آید:

$$L = AB + BC = ۵\ m + ۱۲\ m = ۱۷\ m$$

ب) بردار جابه‌جایی را با وصل‌کردن A به C رسم می‌کنیم.



برای به دست آوردن اندازهٔ بردار جابه‌جایی از رابطهٔ فیثاغورس استفاده می‌کنیم:

$$d = \sqrt{(AB)^۲ + (BC)^۲}$$

$$\Rightarrow d = \sqrt{(۵\ m)^۲ + (۱۲\ m)^۲} = \sqrt{۱۶۹\ m^۲} = ۱۳\ m$$

تذکر: در یک حرکت رفت و برگشت به نقطهٔ اول، جابه‌جایی صفر است، اما مسافت طی‌شده صفر نیست.

تندی متوسط ـ سرعت متوسط

اصطلاح تندی و سرعت را بارها شنیده‌اید و معمولاً این دو مفهوم را یکی در نظر گرفته‌اید؛ مثلاً عددی را که تندی‌سنج اتومبیل به ما نشان می‌دهد، به عنوان سرعت اتومبیل در نظر گرفته‌اید. اما در فیزیک بین تندی و سرعت تفاوت‌هایی وجود دارد.

تندی متوسط: به نسبت **مسافت** طی‌شده به مدت‌زمان صرف‌شده برای طی مسافت، تندی متوسط گفته می‌شود:

$$S_{av} = \frac{l}{\Delta t}$$

تندی متوسط کمیتی **عددی** است که یکای اندازه‌گیری آن در SI، m/s است.

سرعت متوسط: به نسبت **جابه‌جایی** به مدت‌زمان صرف‌شده برای جابه‌جایی، سرعت متوسط گفته می‌شود:

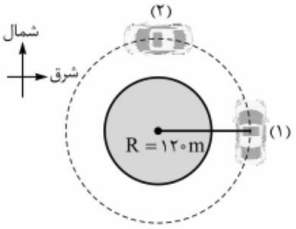
$$\vec{v}_{av} = \frac{\vec{d}}{\Delta t}$$

سرعت متوسط کمیتی **برداری** است که یکای اندازه‌گیری آن در SI، m/s است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

نکته همان‌طور که مسافت و جابه‌جایی دو کمیت متفاوت بودند، تندی متوسط و سرعت متوسط نیز دو کمیت متفاوت هستند.

مثال **اتومبیلی مطابق شکل بر روی یک مسیر دایره‌ای در حال دور زدن میدانی است. اگر فاصلهٔ اتومبیل از مرکز میدان ۱۲۰ متر باشد و یک دقیقه طول بکشد تا اتومبیل $\frac{۱}{۴}$ محیط میدان را بپیماید:**



الف) تندی متوسط اتومبیل چند متر بر ثانیه است؟ ($\pi = ۳$)

ب) سرعت متوسط اتومبیل را به دست آورید.

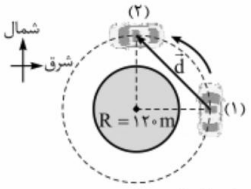
پاسخ الف) در ابتدا مسافت طی‌شده را محاسبه می‌کنیم. مسافتی که اتومبیل از مکان (۱) تا مکان (۲) طی کرده به اندازهٔ $\frac{۱}{۴}$ محیط دایره است:

$$l = \frac{۱}{۴}(۲\pi R) = \frac{۱}{۴}(۲\times ۳\times ۱۲۰\ m) = ۱۸۰\ m$$

حالا با استفاده از مسافت به دست آمده، تندی متوسط را به دست می‌آوریم:

$$S_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۱۸۰\ m}{۶۰\ s} = ۳\ m/s$$

ب) بردار جابه‌جایی اتومبیل را رسم کرده و اندازهٔ بردار جابه‌جایی را به کمک رابطهٔ فیثاغورس به دست می‌آوریم:



$$d = \sqrt{R^۲ + R^۲} = \sqrt{۲}R \Rightarrow d = ۱۲۰\sqrt{۲}\ m$$

اندازهٔ بردار جابه‌جایی $۱۲۰\sqrt{۲}\ m$ و جهت آن به سمت شمال غربی است.

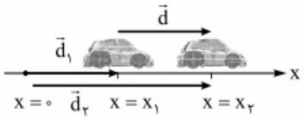
جهت بردار سرعت متوسط همان جهت بردار جابه‌جایی، یعنی شمال غربی است و اندازهٔ آن به کمک رابطهٔ $v_{av} = \frac{d}{\Delta t}$ برابر است با:

$$v_{av} = \frac{d}{\Delta t} = \frac{۱۲۰\sqrt{۲}\ m}{۶۰\ s} = ۲\sqrt{۲}\ m/s$$

بردار مکان

به برداری که مبدأ حرکت را در هر لحظه به مکان جسم وصل می‌کند، **بردار مکان** گفته می‌شود. از تفاضل برداری بردار مکان نهایی $(\vec{d}_۲)$ و بردار مکان اولیه $(\vec{d}_۱)$، بردار جابه‌جایی به دست می‌آید $(\vec{d} = \vec{d}_۲ - \vec{d}_۱)$.

مثلاً اگر حرکت بر روی خط راست یا بر روی یک محور انجام شود، بردار جابه‌جایی به صورت زیر به دست می‌آید:



$$\vec{d} = \vec{d}_۲ - \vec{d}_۱ = x_۲\vec{i} - x_۱\vec{i} = \Delta x\vec{i}$$

بر مبنای بردار جابه‌جایی به دست آمدهٔ بالا، بردار سرعت متوسط را برای حرکت روی محور x بازنویسی می‌کنیم:

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

نکته در حرکت بر خط راست می‌توانیم از حالت برداری صرف‌نظر کنیم. در این صورت مثبت‌بودن v_{av} یعنی متحرک در جهت محور x حرکت کرده است و منفی‌بودن آن بیانگر حرکت متحرک به سمت منفی محور x است.

تندی لحظه‌ای و سرعت لحظه‌ای

تندی لحظه‌ای: اگر تندی متوسط جسم را در بازهٔ زمانی بسیار کوتاهی که به آن لحظه گفته می‌شود به دست آوریم، تندی لحظه‌ای جسم را مشخص کرده‌ایم. تندی لحظه‌ای، تندی متحرک در هر لحظهٔ معین است. مثلاً تندی‌سنج اتومبیل، تندی اتومبیلی را در هر لحظه نمایش می‌دهد. تندی لحظه‌ای کمیتی نرده‌ای است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

سرعت لحظه‌ای: اگر علاوه بر تندی لحظه‌ای جهت حرکت جسم را نیز مشخص کنیم، سرعت لحظه‌ای متحرک را مشخص کرده‌ایم، از این رو تندی لحظه‌ای را با v و سرعت لحظه‌ای را با $\vec{v}$ نمایش می‌دهیم.

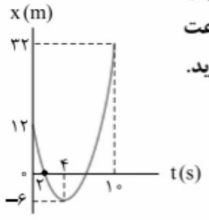
تذکر در متن‌های فیزیکی به سرعت لحظه‌ای به اختصار سرعت و به تندی لحظه‌ای، تندی گفته می‌شود.

نمودار مکان ـ زمان

نمودار مکان ـ زمان، نموداری است که به کمک آن مکان متحرک را می‌توان در هر لحظه مشخص کرد.

تذکر نمودار مکان ـ زمان با مسیر حرکت متفاوت است.

مثال **در شکل مقابل، نمودار مکان ـ زمان متحرکی را مشاهده می‌کنید که بر روی محور x در حرکت است. سرعت متوسط متحرک را در بازهٔ زمانی $(2\,s, 4\,s)$ به دست آورید.**

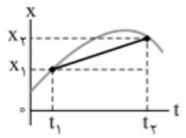


پاسخ در بازهٔ زمانی $(2\,s, 4\,s)$ متحرک از $x_1 = 0$ تا $x_2 = -6\ m$ جابه‌جا شده است:

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

$$\vec{v}_{av} = \frac{-6\ m - 0}{4\ s - 2\ s}\vec{i} = -3\ (m/s)\vec{i}$$

نکته شیب خطی که دو نقطه از نمودار مکان ـ زمان را به هم وصل می‌کند، سرعت متوسط را بین آن دو نقطه به ما نشان می‌دهد. اگر شیب خط مثبت باشد، علامت سرعت متوسط مثبت و اگر شیب خط منفی باشد، علامت سرعت متوسط منفی است. مثلاً در نمودار مقابل داریم:



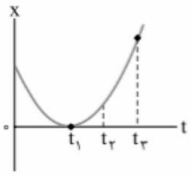
$$\text{شیب خط} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{av}$$

نکته به کمک نمودار مکان ـ زمان می‌توان سرعت لحظه‌ای را به دست آورد.

برای این کار کافی است در لحظهٔ موردنظر مماسی را بر نمودار رسم کنیم.

شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان سرعت لحظه‌ای متحرک را نشان می‌دهد. اگر شیب مثبت باشد، سرعت مثبت و حرکت در جهت مثبت محور xها است. اگر شیب منفی باشد، سرعت منفی و حرکت در جهت منفی محور xها است.

مثال **نمودار مکان ـ زمان متحرکی که بر خط راست حرکت می‌کند مطابق شکل است:**

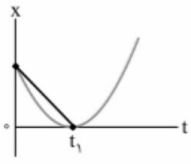


الف) علامت سرعت متوسط متحرک را از لحظهٔ شروع تا لحظهٔ t_1 تعیین کنید.

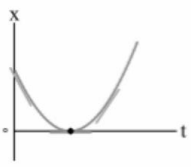
ب) در چه لحظه‌ای متحرک، جهت حرکت خود را عوض کرده است؟

پ) اندازهٔ سرعت متحرک در لحظهٔ t_2 بیشتر است یا در لحظهٔ t_3؟

پاسخ الف) بر روی نمودار، لحظهٔ شروع تا لحظهٔ t_1 را به هم وصل می‌کنیم. شیب این خط سرعت متوسط بین این دو لحظه را نشان می‌دهد. چون شیب این خط منفی است؛ پس علامت سرعت متوسط آن نیز منفی است.



ب) متحرک در لحظهٔ t_1 جهت حرکت خود را عوض کرده است. در این لحظه شیب خط صفر و در دو سمت این لحظه علامت شیب خط‌ها متفاوت است.



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

حرکت شتاب‌دار

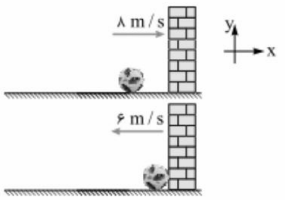
حرکت شتاب‌دار حرکتی است که در آن سرعت متحرک تغییر می‌کند. این تغییر سرعت می‌تواند ناشی از تغییر اندازهٔ سرعت، تغییر جهت بردار سرعت یا هر دو باشد.

شتاب متوسط: به نسبت تغییرات سرعت به زمان صرف‌شده برای این تغییرات، شتاب متوسط گفته می‌شود:

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

شتاب کمیتی برداری و یکای آن در SI، متر بر مربع ثانیه (m/s^2) است.

مثال: **مطابق شکل توپی با سرعت $8\ m/s$ به دیواری برخورد کرده و با سرعت $6\ m/s$ باز می‌گردد. اگر مدت‌زمان تماس توپ با دیوار $0/2\ s$ باشد شتاب متوسط توپ در این برخورد چند متر بر مربع ثانیه است؟**



پاسخ: با توجه به این‌که حرکت در راستای محور x است، بردار سرعت‌های اولیه و ثانویهٔ توپ را به صورت مقابل می‌نویسیم: $\vec{v}_2 = (-6\ m/s)\vec{i}$ و $\vec{v}_1 = (8\ m/s)\vec{i}$

حالا می‌توانیم بردار شتاب متوسط را به دست آوریم:

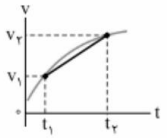
$$\vec{a}_{av} = \frac{\overrightarrow{\Delta v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{\Delta t} = \frac{(-6\ m/s)\vec{i} - (8\ m/s)\vec{i}}{0/2\ s} = \vec{a}_{av} = (-70\ m/s^2)\vec{i}$$

شتاب لحظه‌ای: به نسبت تغییرات سرعت به یک بازهٔ زمانی بسیار کوتاه (که در فیزیک به آن لحظه گفته می‌شود) شتاب لحظه‌ای می‌گوییم.

نمودار سرعت ـ زمان

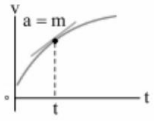
نموداری است که سرعت متحرک را در هر لحظه به ما می‌دهد.

نکته: شیب خطی که دو نقطه از نمودار سرعت ـ زمان را به هم وصل کند، شتاب متوسط را در آن بازهٔ زمانی به ما می‌دهد:

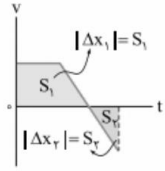


$$\text{شیب} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = a_{av}$$

- شیب خط مماس بر نمودار سرعت ـ زمان، شتاب متحرک را در آن لحظه نشان می‌دهد:



- مساحت محصور بین نمودار سرعت ـ زمان و محور t، جابه‌جایی متحرک را در آن بازهٔ زمانی نشان می‌دهد. اگر نمودار بالای محور t باشد، جابه‌جایی مثبت و اگر زیر محور t باشد، جابه‌جایی منفی است: $\Delta x_1 > 0$, $\Delta x_2 < 0$



$$\Delta x_{\text{کل}} = \Delta x_1 + \Delta x_2$$

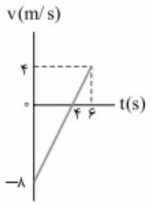
$$\text{مسافت } l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2|$$

مثال: **نمودار سرعت ـ زمان متحرکی مطابق شکل است.**

الف) شتاب متحرک در بازهٔ زمانی ($1\ s$ تا $3\ s$) چند متر بر مربع ثانیه است؟

ب) جابه‌جایی متحرک تا لحظهٔ $t = 6\ s$ چند متر است؟

پ) تندی متوسط متحرک در ۶ ثانیهٔ اول حرکت چند متر بر ثانیه است؟

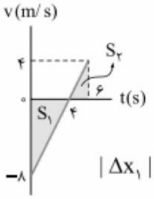


پاسخ: الف) در نمودار سرعت ـ زمان، شیب نمودار بین دو نقطه شتاب متوسط متحرک را در آن بازهٔ زمانی نشان می‌دهد. شیب نمودار ثابت است؛ پس شتاب متحرک در ۶ ثانیهٔ اول حرکت ثابت است. با توجه به این موضوع، با محاسبهٔ شیب خط یا شتاب در بازهٔ زمانی ($0\ s$ تا $6\ s$) می‌توانیم به شتاب متحرک در بازهٔ زمانی ($1\ s$ تا $3\ s$) نیز دست یابیم:

$$a_{av} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{4\ m/s - (-8\ m/s)}{6\ s - 0}\ ,\ a_{av} = 2\ m/s^2$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

ب) مساحت دو ناحیهٔ رنگ‌شده را محاسبه می‌کنیم. دقت کنید که چون S_1 پایین محور t قرار دارد، $\Delta x_1 < 0$ و چون S_2 بالای محور t قرار دارد، $\Delta x_2 > 0$ است:



$$|\Delta x_1| = S_1 = \frac{1}{2}(8\ m/s)(4\ s) = 16\ m \Rightarrow \Delta x_1 = -16\ m$$

$$|\Delta x_2| = S_2 = \frac{1}{2}(4\ m/s)(2\ s) = 4\ m \Rightarrow \Delta x_2 = +4\ m$$

$$\Delta x = \Delta x_1 + \Delta x_2 = -16\ m + 4\ m = -12\ m$$

پ) برای به دست آوردن تندی متوسط باید در قدم اول مسافت طی‌شده را محاسبه کرد. برای این کار قدرمطلق Δxها را با هم جمع می‌کنیم:

$$l = |\Delta x_1| + |\Delta x_2| = 16\ m + 4\ m = 20\ m$$

در قدم بعد به کمک رابطهٔ $S_{av} = \frac{l}{\Delta t}$، تندی متوسط را محاسبه می‌کنیم:

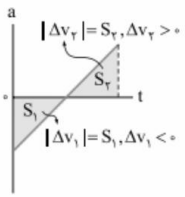
$$S_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{20\ m}{6\ s} = \frac{10}{3}\ m/s \simeq 3/3\ m/s$$

نمودار شتاب ـ زمان

این نمودار شتاب متحرک را در هر لحظه به ما نشان می‌دهد.

به کمک مساحت محصور بین نمودار و محور t می‌توان تغییرات سرعت را محاسبه کرد.

اگر نمودار زیر محور t باشد، تغییرات سرعت منفی و اگر بالای محور t باشد، تغییرات سرعت مثبت است:

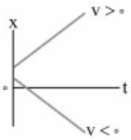


حرکت با سرعت ثابت

ساده‌ترین نوع حرکت، حرکت با سرعت ثابت است. در این نوع حرکت، اندازه و جهت سرعت متحرک در طول مسیر ثابت است.

معادله و نمودار مکان ـ زمان حرکت با سرعت ثابت

معادلهٔ حرکت با سرعت ثابت، یک معادلهٔ درجه‌یک و به صورت $x = vt + x_0$ است که در آن x_0 مکان اولیه و v سرعت حرکت است. نمودار مکان ـ زمان برای این حرکت مطابق شکل مقابل است:



مثال: معادلهٔ حرکت متحرکی در SI به صورت $x = 3t - 12$ است.

الف) سرعت و مکان اولیهٔ حرکت را مشخص کنید.

ب) در چه لحظه‌ای متحرک در مکان $x = 9\ m$ است؟

پ) نمودار مکان ـ زمان حرکت را تا لحظهٔ $t = 10\ s$ رسم کنید.

پاسخ: الف) با مقایسهٔ معادلهٔ $x = vt + x_0$ و $x = 3t - 12$ می‌فهمیم که $v = 3\ m/s$ و $x_0 = -12\ m$ است.

ب) مکان $x = 9\ m$ را در معادله قرار می‌دهیم:

$$x = 3t - 12 \Rightarrow 9 = 3t - 12 \Rightarrow 3t = 21 \Rightarrow t = 7\ s$$

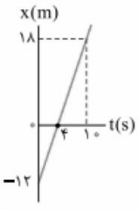
پ) برای رسم نمودار در قدم اول مکان متحرک را در لحظهٔ $t = 10\ s$ به دست می‌آوریم:

$$x = 3t - 12 \xrightarrow{t=10\ s} x = 3(10) - 12 = 18\ m$$

بهتر است که در قدم بعد، لحظه‌ای که متحرک از مبدأ مختصات عبور کرده و نمودار محور t را قطع می‌کند، پیدا کنیم. برای این کار به جای x در معادله صفر قرار می‌دهیم:

$$x = 3t - 12 \xrightarrow{x=0} 0 = 3t - 12 \Rightarrow t = 4\ s$$

در قدم آخر با توجه به اطلاعات به دست آمده نمودار مکان ـ زمان را رسم می‌کنیم:



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

حرکت با شتاب ثابت

هرگاه شتاب متحرک در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، حرکت جسم را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم.

نکته در این حرکت شتاب در هر لحظه برابر با شتاب متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه است.

نکته در حرکت با شتاب ثابت، اگر در یک بازهٔ زمانی سرعت اولیه v_1 و سرعت نهایی v_2 باشد، سرعت متوسط از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید: $v_{av} = \frac{v_1 + v_2}{2}$

حواستان باشد که رابطهٔ بالا فقط در حرکت با شتاب ثابت قابل استفاده است.

معادلهٔ مکان ـ زمان

معادله‌ای است که به ما کمک می‌کند تا مکان متحرک را در هر لحظه مشخص کنیم، این معادله در حرکت با شتاب ثابت یک معادلهٔ درجهٔ ۲ است: $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$

که در آن x_0 مکان اولیه و v_0 سرعت اولیه است.

مثال **معادلهٔ مکان ـ زمان متحرکی که بر روی محور x حرکت می‌کند، به صورت $x = 2t^2 - 16t + 24$ است.**

الف) شتاب، سرعت اولیه و نقطهٔ آغاز حرکت را مشخص کنید.

ب) سرعت متوسط متحرک را در بازهٔ زمانی (۰٫۵ s) به دست آورید.

پاسخ الف) با مقایسهٔ معادله‌های $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$ و $x = 2t^2 - 16t + 24$ می‌توان شتاب، سرعت اولیه و نقطهٔ آغاز حرکت را مشخص کرد:

$$\frac{1}{2}a = 2\ m/s^2 \Rightarrow a = 4\ m/s^2$$

$$v_0 = -16\ m/s \text{ و } x_0 = +24\ m$$

ب) برای به دست آوردن سرعت متوسط، اول مکان متحرک را در $t = 5s$ به دست می‌آوریم: $x = 2t^2 - 16t + 24 \xrightarrow{t=5s} x = 2(5)^2 - 16(5) + 24 = -6\ m$

حالا سرعت متوسط متحرک را از رابطهٔ $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ محاسبه می‌کنیم:

$$v_{av} = \frac{x_5 - x_0}{t_5 - t_0} = \frac{-6\ m - 24\ m}{5\ s - 0} = -6\ m/s$$

معادلهٔ سرعت ـ زمان

معادلهٔ سرعت ـ زمان معادله‌ای است که سرعت متحرک را در هر لحظه مشخص می‌کند؛ این معادله در حرکت با شتاب ثابت به صورت یک معادلهٔ درجهٔ یک است: $v = at + v_0$

مثال **معادلهٔ سرعت ـ زمان متحرکی که بر خط مستقیم حرکت می‌کند به صورت $v = 4t - 8$ است. در چه لحظه‌ای متحرک، جهت حرکت خود را عوض می‌کند؟**

پاسخ در حرکت با شتاب ثابت، در لحظه‌ای که سرعت متحرک صفر شود، جهت حرکتش عوض می‌شود. با توجه به این موضوع باید لحظه‌ای را به دست آوریم که در آن $v = 0$ است: $v = 4t - 8 \xrightarrow{v=0} 0 = 4t - 8 \Rightarrow t = 2\ s$

معادلهٔ مستقل از زمان

معادله‌ای است که نشان می‌دهد متحرک در هر مکانی دارای چه سرعتی است. معادلهٔ مستقل از زمان برای حرکت با شتاب ثابت به صورت مقابل است: $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$

مثال **خودرویی با سرعت $30\ m/s$ بر روی مسیر مستقیمی در حرکت است. ناگهان راننده مانع ثابتی را در فاصلهٔ $95\ m$ می‌بیند. بلافاصله با شتاب $-5\ m/s^2$ ترمز می‌کند. آیا خودرو به مانع برخورد می‌کند؟**

پاسخ ابتدا به کمک معادلهٔ مستقل از زمان محاسبه می‌کنیم که خودرو پس از چند متر جابه‌جایی متوقف می‌شود. سپس این مقدار را با فاصلهٔ اولیهٔ خودرو از مانع مقایسه می‌کنیم. اگر این مقدار کم‌تر یا مساوی فاصلهٔ اولیه باشد برخوردی اتفاق نمی‌افتد، در غیر این صورت خودرو به مانع برخورد می‌کند: $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$

$$\Rightarrow 0 - (30\ m/s)^2 = 2(-5\ m/s^2)\Delta x \Rightarrow \Delta x = 90\ m$$

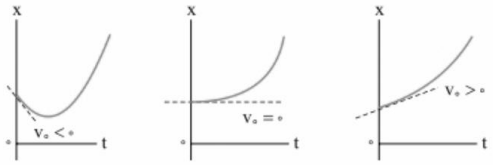
Δx کم‌تر از فاصلهٔ اولیه است، پس خودرو به مانع برخورد نمی‌کند.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

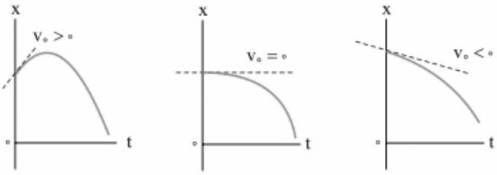
نمودارشناسی در حرکت با شتاب ثابت

نمودار مکان ـ زمان

نمودار مکان ـ زمان حرکت با شتاب ثابت بخشی از یک سهمی است. اگر $a > 0$ باشد، نمودار بخشی از یک سهمی دارای تقعر (دارای دره) است:

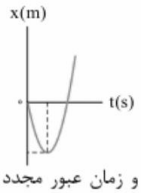


اگر $a < 0$ باشد، نمودار بخشی از یک سهمی دارای تحدب (دارای قله) است:



مثال: حرکت متحرکی از مبدأ مختصات شروع شده و معادلهٔ سرعت ـ زمان آن در SI به صورت $v = 2t - 8$ است. نمودار مکان ـ زمان آن را رسم کنید.

پاسخ: با مقایسهٔ معادلهٔ $v = at + v_0$ و معادلهٔ $v = 2t - 8$ می‌فهمیم که $a = 2\ m/s^2$ و $v_0 = -8\ m/s$ است؛ افزون بر این به علت این‌که شروع حرکت از مبدأ مختصات بوده، $x_0 = 0$ است. با توجه به علامت شتاب، مکان اولیه و سرعت اولیه، شکل اولیهٔ نمودار به صورت مقابل است:



برای تکمیل نمودار باید مکان و زمان نقطهٔ تغییر جهت حرکت و زمان عبور مجدد متحرک از مبدأ مختصات را به دست آوریم.

برای به دست آوردن زمان تغییر جهت حرکت، در معادلهٔ سرعت ـ زمان، v را مساوی صفر قرار می‌دهیم:

$$v = 2t - 8 \xrightarrow{v=0} 0 = 2t - 8 \Rightarrow t = 4\ s$$

حالا $t = 4\ s$ را در معادلهٔ مکان ـ زمان قرار می‌دهیم تا مکانی که متحرک تغییر جهت داده است، به دست آید:

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

$$x = \frac{1}{2}(2\ m/s^2)(4\ s)^2 + (-8\ m/s)(4\ s) + 0 \quad , \quad x = -16\ m$$

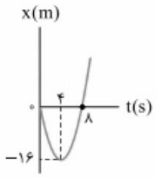
برای به دست آوردن لحظهٔ عبور متحرک از مبدأ مختصات، در معادلهٔ مکان ـ زمان، x را مساوی صفر قرار می‌دهیم:

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

$$0 = \frac{1}{2}(2\ m/s^2)t^2 + (-8\ m/s)t + 0 \Rightarrow 0 = t^2 - 8t$$

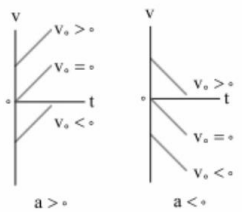
$$\Rightarrow 0 = t(t-8) \Rightarrow t = \begin{cases} 0 \\ 8\ s \end{cases}$$

حالا به کمک اطلاعات به دست آورده، نمودار را تکمیل می‌کنیم:



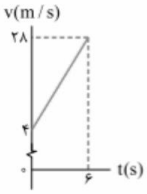
نمودار سرعت ـ زمان

نمودار سرعت ـ زمان در حرکت با شتاب ثابت، خطی است که شیب آن شتاب و عرض از مبدأ آن سرعت اولیه را نشان می‌دهد.



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

مثال **نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که بر خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل است:**

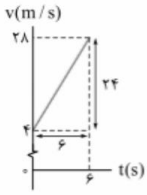


الف) شتاب حرکت را به دست آورید.

ب) سرعت متوسط متحرک را از ابتدای حرکت تا لحظهٔ $t = ۶\ s$ به دست آورید.

پ) در لحظهٔ $t = ۲/۵\ s$، سرعت متحرک چند متر بر ثانیه است؟

پاسخ الف) برای به دست آوردن شتاب حرکت، شیب خط را محاسبه می‌کنیم: $\text{شیب خط} = \frac{۲۴}{۶} = ۴ \Rightarrow a = ۴\ m/s^۲$



ب) از رابطهٔ $v_{av} = \frac{v_۱ + v_۲}{۲}$، سرعت متوسط را تا ثانیهٔ ششم به دست می‌آوریم: $v_{av} = \frac{v_۱ + v_۲}{۲} = \frac{۴\ m/s + ۲۸\ m/s}{۲}$

$$v_{av} = ۱۶\ m/s$$

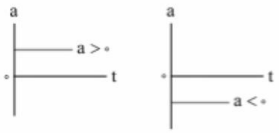
پ) برای به دست آوردن سرعت متحرک در لحظهٔ موردنظر از معادلهٔ سرعت ـ زمان استفاده می‌کنیم. برای این کار در قدم اول با توجه به شیب خط و عرض از مبدأ نمودار، معادلهٔ سرعت ـ زمان را می‌نویسیم: $v = at + v_۰ \Rightarrow v = ۴t + ۴$

در قدم بعد $t = ۲/۵\ s$ را در معادله قرار می‌دهیم:

$$v = (۴\ m/s^۲)(۲/۵\ s) + ۴\ m/s = ۱۴\ m/s$$

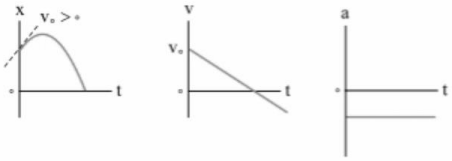
نمودار شتاب ـ زمان

نمودار شتاب ـ زمان در حرکت با شتاب ثابت خطی موازی محور t است:



مثال **نمودار مکان ـ زمان متحرکی مطابق شکل است، نمودارهای سرعت ـ زمان و شتاب ـ زمان آن را به صورت کیفی رسم کنید.**

پاسخ نمودار مکان ـ زمان داده‌شده، بخشی از یک سهمی دارای تحدب (دارای قله) است، پس شتاب حرکت منفی است. از طرفی شیب خط مماس بر نمودار در لحظهٔ شروع حرکت مثبت است؛ بنابراین سرعت اولیه حرکت مثبت است. حالا با توجه به نکات ذکرشده نمودارهای v ـ t و a ـ t را رسم می‌کنیم:



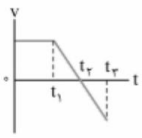
انواع حرکت

۱ **حرکت یکنواخت**: در این حرکت شتاب صفر و سرعت متحرک ثابت است.

۲ **حرکت تندشونده**: در این حرکت اندازهٔ سرعت جسم افزایش می‌یابد. در بازه‌های زمانی‌ای که شتاب و سرعت هم‌علامت باشند، حرکت تندشونده است $(av > ۰)$.

۳ **حرکت کندشونده**: در این حرکت اندازهٔ سرعت جسم در حال کاهش است. در بازه‌های زمانی‌ای که علامت‌های شتاب و سرعت مخالف هم باشند، حرکت کندشونده است $(av < ۰)$.

مثال **نمودار سرعت ـ زمان متحرکی که بر مسیر مستقیمی حرکت می‌کند، مطابق شکل است. نوع حرکت را در هر یک از بازه‌های زمانی $(۰, t_۱)$، $(t_۱, t_۲)$ و $(t_۲, t_۳)$ مشخص کنید.**



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پاسخ در بازهٔ زمانی $(0, t_1)$ شیب خط صفر است، بنابراین شتاب حرکت صفر و حرکت یکنواخت است.

در بازهٔ زمانی (t_1, t_2) علامت سرعت مثبت و شتاب حرکت (شیب خط) منفی است، بنابراین حرکت کندشونده است.

در بازهٔ زمانی (t_2, t_3) علامت سرعت منفی و علامت شتاب حرکت (شیب خط) نیز منفی است، بنابراین به علت هم‌علامت بودن شتاب و سرعت، حرکت تندشونده است.

فصل ۲: دینامیک

قانون اول نیوتون

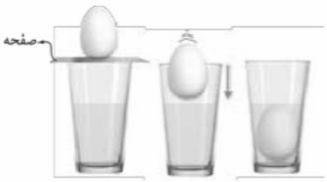
تا به حال این تجربه را داشته‌اید که وقتی ماشین ترمز می‌کند، مخصوصاً اگر ترمز شدید باشد رو به جلو پرت می‌شوید یا هنگام به حرکت در آمدن ماشین کمی در صندلی خود فرو می‌روید. قانون اول نیوتون علت این اتفاق‌ها را توضیح می‌دهد.

قانون اول نیوتون: یک جسم حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت بر روی خط راست خود را حفظ می‌کند، مگر آن‌که نیروی خالص غیرصفری به آن وارد شود.

لختی: براساس قانون اول نیوتون اجسام میل دارند وضعیت حرکتی خود را حفظ کنند، اگر ساکن هستند، ساکن بمانند و اگر با سرعت ثابت در حرکت‌اند، با همان سرعت به حرکت خود ادامه دهند به این تمایل اجسام، لختی گفته می‌شود.

نکته جرم جسم معیاری از لختی یک جسم در برابر تغییر وضعیت حرکتی آن است، هر چه جرم جسم بیشتر باشد سختی آن نیز بیشتر است.

مثال **در شکل‌های مقابل، مشاهده می‌کنید که با زدن یک ضربهٔ سریع به صفحهٔ زیر تخم‌مرغ، صفحه کنار رفته و تخم‌مرغ درون لیوان می‌افتد، چرا تخم مرغ همراه با صفحه حرکت نکرد؟**



پاسخ طبق قانون اول نیوتون، اجسام علاقه دارند که وضعیت حرکتی خود را حفظ کنند. در این شکل تخم مرغ می‌خواهد که ساکن بماند، بنابراین با کنار رفتن صفحه هم‌چنان سر جای خود می‌ماند. اما پس از کنار رفتن صفحه بر اثر نیروی وزن به درون لیوان سقوط می‌کند.

قانون دوم نیوتون

اگر نیروی خالص وارد بر جسم صفر یا متوازن نباشد، بر اثر این نیرو وضعیت حرکتی جسم تغییر می‌کند. مثلاً جسم ساکن به حرکت درمی‌آید یا سرعت ثابت جسم تغییر می‌کند. همان‌طور که می‌دانید اگر سرعت جسم تغییر کند حرکت جسم شتاب‌دار است؛ بنابراین نیرو می‌تواند به جسم شتاب دهد.

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

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \Rightarrow \vec{F} = m\vec{a}$$

نکته با توجه به قانون دوم نیوتون، یکای شتاب را علاوه بر m/s^2 با N/kg نیز نمایش می‌دهند.

مثال **نیروی خالص وارد بر جسم ۱۸ N و معادلهٔ حرکت جسم بر روی خط راست در SI به صورت $x = 2t^2 + 5$ است. جرم جسم چند کیلوگرم است؟**

پاسخ ابتدا به کمک مقایسهٔ معادله‌های $x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0$ و $x = 2t^2 + 5$ شتاب حرکت را مشخص می‌کنیم:

$$\begin{cases} x = 2t^2 + 5 \\ x = \frac{1}{2}at^2 + v_0 t + x_0 \end{cases} \Rightarrow \frac{1}{2}a = 2\,(N/kg) \Rightarrow a = 4\,N/kg$$

حالا به کمک قانون دوم نیوتون جرم جسم را محاسبه می‌کنیم:

$$F = ma \Rightarrow 18\,N = m(4\,N/kg) \Rightarrow m = 4/5\,kg$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

مثال در صفحهٔ افقی xـy نیروی $\vec{F}=(۱۲\ N)\vec{i}+(۱۸\ N)\vec{j}$ بر جسمی به جرم ۳ kg وارد می‌شود.

الف) بردار شتاب جسم را به دست آورید.

ب) اندازهٔ شتاب جسم را محاسبه نمایید.

پاسخ الف) از رابطه $\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}$ بردار شتاب را به دست می‌آوریم:

$$\vec{a}=\frac{\vec{F}}{m}=\frac{(۱۲\ N)\vec{i}+(۱۸\ N)\vec{j}}{۳\ kg}\Rightarrow \vec{a}=(۴\ N/kg)\vec{i}+(۶\ N/kg)\vec{j}$$

ب) از رابطهٔ $a=\sqrt{a_x^۲+a_y^۲}$ که برگرفته از رابطهٔ فیثاغورس است، اندازهٔ شتاب را محاسبه می‌کنیم:

$$a=\sqrt{a_x^۲+a_y^۲}$$

$$a=\sqrt{(۴\ N/kg)^۲+(۶\ N/kg)^۲}=\sqrt{۱۶+۳۶}\ N/kg$$

$$=\sqrt{۵۲}\ N/kg=۲\sqrt{۱۳}\ N/kg$$

قانون سوم نیوتون

نیرو اثر متقابل دو جسم بر هم است. مثلاً اگر شما با مشت به دیوار بکوبید و به آن نیرو وارد کنید، دیوار نیز به دست شما نیرو وارد می‌کند.

تذکر در طبیعت یک جسم نمی‌تواند بدون آن‌که خود تحت تأثیر نیرو قرار گیرد بر جسم دیگر نیرو وارد کند. در واقع همواره نیروها به صورت زوج وجود دارند که به یکی از آن‌ها کنش و به دیگری واکنش گفته می‌شود.

قانون سوم نیوتون: هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند (کنش)، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی (واکنش) هم‌اندازه و هم‌راستا اما در خلاف جهت وارد می‌کند.

نکته نیروهای کنش و واکنش هم‌نوع‌اند. مثلاً هر دو الکتریکی یا هر دو مغناطیسی هستند.

به پرواز درآمدن هلیکوپتر، حرکت قایق پارویی در آب، راه‌رفتن ما بر روی زمین و ... نمونه‌هایی از اثر قانون سوم نیوتون در طبیعت است.

تذکر چون نیروهای کنش و واکنش به دو جسم متفاوت وارد می‌شوند، نمی‌توان آن‌ها را با هم جمع کرد.

مثال **شناگر درون آب در حال شنا کردن است. چه نیرویی شناگر را به جلو هل می‌دهد؟**

پاسخ شناگر با دست آب را به عقب هل می‌دهد. طبق قانون سوم نیوتون آب نیز نیرویی به همان اندازه و در خلاف جهت یعنی رو به جلو به شناگر وارد می‌کند و او رو به جلو حرکت می‌کند.

معرفی برخی از نیروهای خاص

وزن

وزن یک جسم نیروی گرانشی است که از طرف زمین (یا سیاره‌ای که جسم در آن قرار دارد) بر آن وارد می‌شود. اگر شتاب جاذبه (در محل اندازه‌گیری وزن) g باشد و جسم را رها کنیم، زمین (یا سیاره) نیرویی برابر جرم ضرب‌در شتاب جاذبه، به آن وارد کرده و جسم به سمت پایین سقوط می‌کند، بنابراین می‌توان وزن را به صورت $\vec{W}=m\vec{g}$ نوشت. نیروی وزن همواره به سمت مرکز زمین (سیاره) است.

توجه برای اجسامی که ساکن هستند یا با شتابی به غیر از g سقوط می‌کنند یا در هر جهتی حرکت می‌کند، اندازهٔ نیروی وزن همان mg است.

نکته جرم یک جسم ثابت است، اما وزن آن به اندازهٔ شتاب جاذبهٔ محل اندازه‌گیری وزن بستگی دارد.

نکته عکس‌العمل نیروی وزن از طرف جسم به مرکز زمین (سیاره) وارد می‌شود.

مثال **وزن یک جعبهٔ ۱۰ کیلوگرمی روی سطح زمین و مریخ چند نیوتون است؟**
($g_{زمین}=۹/۸\ N/kg$ و $g_{مریخ}=۳/۷\ N/kg$)

پاسخ برای محاسبهٔ وزن در هر کدام از مکان‌ها کافی است در روابط $W=mg$ ، g مربوط به محل موردنظر را قرار دهیم:

روی زمین: $W=mg_{زمین}\Rightarrow W=(۱۰\ kg)(۹/۸\ N/kg)=۹۸\ N$

روی مریخ: $W=mg_{مریخ}\Rightarrow W=(۱۰\ kg)(۳/۷\ N/kg)=۳۷\ N$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

نیروی مقاوم شاره (f_D)

هنگامی که یک پر و یک سکه را از ارتفاع معینی رها می‌کنید، پر نسبت به سکه آرام‌تر به سمت زمین سقوط می‌کند. این موضوع به این علت است که علاوه بر نیروی وزن، نیروی دیگری برخلاف حرکت پر به آن وارد می‌شود و اجازه نمی‌دهد که پر با شتابی به اندازهٔ شتاب گرانش سقوط کند. به این نیرو، نیروی مقاوم شاره گفته می‌شود و آن را با f_D نمایش می‌دهیم.

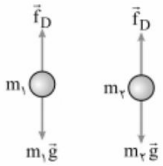
نیروی مقاومت هوا: اگر شاره‌ای که جسم در آن حرکت می‌کند، هوا باشد، به نیروی مقاوم در برابر حرکت، نیروی مقاومت هوا می‌گوییم.

نکته نیروی مقاوم شاره به ابعاد جسم، تندی آن و ... بستگی دارد.

نکته هر چه تندی جسم بیشتر باشد، نیروی مقاوم شاره بیشتر است.

مثال **دو گوی هم‌اندازه به جرم‌های $m_1 = 1\,kg$ و $m_2 = 2\,kg$ از ارتفاع $5\,m$ سطح زمین رها می‌شوند. اگر متوسط نیروی مقاوم هوا بر هر دو گوی یکسان و به اندازهٔ $4\,N$ باشد، تندی هر یک از گوی‌ها در لحظهٔ برخورد به زمین چند متر بر ثانیه است؟ $(g = 10\,N/kg)$**

پاسخ نیروهای وارد بر گوی‌ها را رسم و قانون دوم نیوتون را برای آن‌ها می‌نویسیم:



$$m_1 g - f_D = m_1 a_1 \Rightarrow a_1 = \frac{10\,N - 4\,N}{1\,kg} \Rightarrow a_1 = 6\,N/kg$$

$$m_2 g - f_D = m_2 a \Rightarrow a_2 = \frac{20\,N - 4\,N}{2\,kg} \Rightarrow a_2 = 8\,N/kg$$

از رابطهٔ $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$ تندی برخورد هر گوی را در لحظهٔ برخورد با زمین به دست می‌آوریم:

جسم (۱): $v_1^2 - v_0^2 = 2a_1\Delta x \Rightarrow v_1 = \sqrt{2a_1\Delta x}$

$$v_1 = \sqrt{2(6\,m/s^2)(5\,m)} = \sqrt{60}\,m/s = 2\sqrt{15}\,m/s$$

جسم (۲): $v_2^2 - v_0^2 = 2a_2\Delta x \Rightarrow v_2 = \sqrt{2a_2\Delta x}$

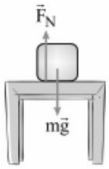
$$v_2 = \sqrt{2(8\,m/s^2)(5\,m)} = \sqrt{80}\,m/s = 4\sqrt{5}\,m/s$$

تندی حدی: اگر نیروی مقاوم هوا در حین سقوط هم‌اندازهٔ وزن جسم شود، نیروی خالص وارد بر جسم صفرشده و جسم از آن‌جا به بعد با تندی ثابت رو به پایین حرکت می‌کند. به این تندی ثابت، تندی حدی گفته می‌شود.

برای چتربازها تندی حدی در حدود $5\,m/s$ و برای قطرات باران در حدود $7\,m/s$ است.

نیروی عمودی سطح (F_N)

جسمی بر روی میز ساکن است اما نیروی وزن به آن وارد می‌شود. طبق قانون دوم نیوتون باید نیروی خالص وارد بر جسم صفر باشد تا ساکن بماند یا با سرعت ثابت حرکت کند. نیرویی که این‌جا بر جسم وارد شده و باعث می‌شود که نیروی خالص وارد بر آن صفر شود، نیرویی است که از طرف سطح به آن وارد می‌شود. این نیرو بر سطح عمود بوده و به سمت خارج سطح است و به آن نیروی عمودی سطح گفته می‌شود و با نماد F_N آن را نمایش می‌دهیم:



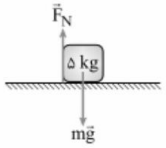
نکته نیروی عمودی سطح همواره برابر با نیروی وزن نیست و اندازهٔ آن با توجه به شرایط مسئله به دست می‌آید.

مثال **در شکل‌های زیر جسم‌ها ساکن هستند، اندازهٔ نیروی عمودی سطح را به دست آورید. $(g = 10\,N/kg)$**

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

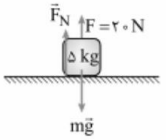
پاسخ نیروهای وارد بر جسم را رسم کرده و نیروی خالص وارد بر آن‌ها را مساوی صفر قرار می‌دهیم:

شکل (۱):



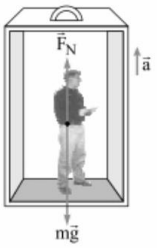
$$F_{net} = F_N - mg = ۰$$
$$\Rightarrow F_N = (۵\ kg)(۱۰\ N/kg) = ۵۰\ N$$

شکل (۲):



$$F_{net} = F_N + F - mg = ۰$$
$$\Rightarrow F_N = (۵\ kg)(۱۰\ N/kg) - ۲۰\ N = ۳۰\ N$$

مثال **شخصی به جرم ۸۰ kg درون آسانسوری است که با شتاب ۱/۵ N/kg رو به بالا شروع به حرکت می‌کند، نیروی عمودی سطح که از طرف آسانسور به شخص وارد می‌شود چند نیوتون است؟ (g = ۱۰ N/kg)**



پاسخ نیروهای وارد بر جسم را رسم کرده و قانون دوم نیوتون را برای آن‌ها می‌نویسیم:

$$F_{net} = F_N - mg = ma \Rightarrow F_N = ma + mg$$
$$F_N = (۸۰\ kg)(۱/۵\ N/kg + ۱۰\ N/kg)$$
$$\Rightarrow F_N = ۹۲۰\ N$$

نکته عددی که ترازو نشان می‌دهد نیروی عمودی سطح است. به همین دلیل گاهی اوقات به نیروی عمودی سطح، وزن ظاهری نیز گفته می‌شود.
مثلاً در این مثال اگر شخص روی ترازو ایستاده بود، ترازو وزن شخص را ۹۲۰ N نشان می‌داد.

نیروی اصطکاک

نیرویی را که با به حرکت درآمدن اجسام ساکن و یا حرکت اجسام متحرک بر روی سطح مخالفت می‌کند، **نیروی اصطکاک** می‌نامیم. نیروی اصطکاک دو نوع است:

الف) نیروی اصطکاک ایستایی (f_s): اگر بر جسم ساکن نیرو وارد کنیم و جسم حرکت نکند، نیرویی با حرکت جسم مخالفت می‌کند که نیروی اصطکاک ایستایی است.

نکته اندازهٔ نیروی اصطکاک ایستایی برابر با نیرویی است که می‌خواهد جسم را به حرکت درآورد چرا که باید نیروی خالص وارد بر جسم صفر شود.

ب) نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه: بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی ($f_{s\,max}$) که در آستانهٔ حرکت بر جسم وارد می‌شود با نیروی عمودی سطح متناسب است و از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید:

$$f_{s\,max} = \mu_s F_N$$

- μ_s ضریب اصطکاک ایستایی نام دارد که به **جنس سطوح تماس، میزان صافی و زبری سطوح** بستگی دارد.

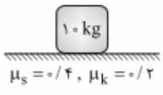
پ) نیروی اصطکاک جنبشی (f_k): هنگامی که جسمی بر روی سطحی کشیده می‌شود از طرف سطح نیرویی موازی با سطح و در خلاف جهت حرکت به جسم وارد شده و با حرکت آن مخالفت می‌کند، به این نیرو، نیروی اصطکاک جنبشی گفته می‌شود. نیروی اصطکاک جنبشی با اندازهٔ نیروی عمودی تکیه‌گاه متناسب است و اندازهٔ آن از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$f_k = \mu_k F_N$$

μ_k ضریب اصطکاک جنبشی است که به **جنس سطوح تماس** و **میزان نرمی** و **زبری** آن‌ها بستگی دارد.

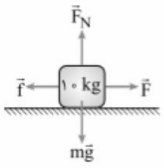
برای یک جسم و سطح معینی $\mu_k < \mu_s$ است.

مثال **در شکل مقابل یک بار نیروی افقی $F_1 = ۲۰\ N$ و بار دیگر نیروی افقی $F_2 = ۵۰\ N$ به جسم وارد می‌شود. اندازهٔ نیروی اصطکاک وارد بر جسم را در هر یک از حالت‌ها به دست آورید.**



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر جسم را رسم کرده و سپس اندازهٔ F_N را محاسبه می‌کنیم:



$$F_N - mg = ۰$$
$$F_N = mg = (۱۰\,kg)(۱۰\,N/kg) = ۱۰۰\,N$$

در قدم بعدی بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی را محاسبه می‌کنیم:

$$f_{s\,max} = \mu_s F_N = (۰/۴)(۱۰۰\,N) = ۴۰\,N$$

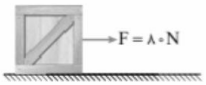
چون $F_۱ < f_{s\,max}$ است، پس نمی‌تواند جسم را به حرکت درآورد. در این حالت نیروی اصطکاک ایستایی هم‌اندازهٔ نیروی $F_۱$ است؛ پس:

$$f_s = F_۱ = ۲۰\,N$$

اگر $F_۲$ به جسم وارد شود، چون $F_۲ > f_{s\,max}$ است، جسم به حرکت درمی‌آید؛ بنابراین برای محاسبهٔ نیروی اصطکاک باید نیروی اصطکاک جنبشی را محاسبه کنیم:

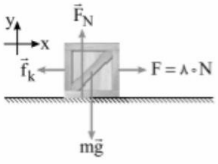
$$f_k = \mu_k F_N = (۰/۲)(۱۰۰\,N) = ۲۰\,N$$

مثال **در شکل زیر نیروی $F = ۸۰\,N$ بر جسمی به جرم $۲۰\,kg$ اثر کرده و آن را به حرکت درمی‌آورد. اگر شتاب جسم $۲/۵\,N/kg$ باشد، اندازهٔ ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح چه‌قدر است؟ $(g = ۱۰\,N/kg)$**



پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر جسم را رسم کرده و قانون دوم نیوتون را در هر راستا می‌نویسیم:

جمع نیروها را در راستای y نوشته و F_N را به دست می‌آوریم:



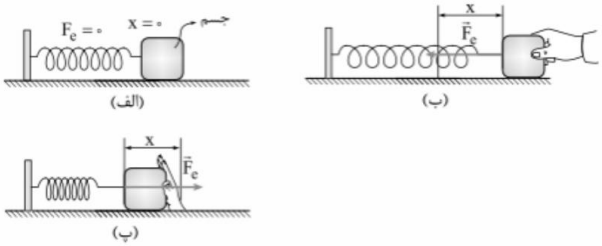
$$F_N - mg = ۰$$
$$\Rightarrow F_N = mg = (۲۰\,kg)(۱۰\,N/kg)$$
$$\Rightarrow F_N = ۲۰۰\,N$$

حالا جمع نیروها را در راستای x نوشته و به کمک معادلهٔ به دست آمده ضریب اصطکاک جنبشی را محاسبه می‌کنیم:

$$F - f_k = ma$$
$$۸۰\,N - \mu_k(۲۰۰\,N) = (۲۰\,kg)(۲/۵\,N/kg)$$
$$\Rightarrow \mu_k = \frac{۸۰\,N - ۵۰\,N}{۲۰۰\,N} \Rightarrow \mu_k = ۰/۱۵$$

نیروی کشسانی فنر (F_e)

اگر در فنر تغییر طول ایجاد کنیم، نیروی بازگرداننده‌ای در آن به وجود می‌آید که قصد دارد فنر را به طول یا شکل اول بازگرداند. در شکل «الف» فنر را در حالت اولیه و با طول عادی می‌بینید. در شکل «ب» فنر را کشیده‌ایم و در شکل «پ» فنر را فشرده کرده‌ایم. در هر دوی این حالت‌ها یک نیروی بازگرداننده به سمت نقطهٔ تعادل در فنر ایجاد می‌شود که به آن نیروی کشسانی فنر گفته می‌شود.



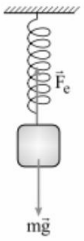
نیروی کشسانی فنر یک نیروی متغیر است که با تغییر طول فنر متناسب است. اگر تغییر طول فنر را x بنامیم، نیروی کشسانی فنر از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید: $\boxed{F_e = kx}$

در این معادله k ثابت فنر است که به جنس و شکل فنر بستگی دارد و یکای اندازه‌گیری آن در SI، N/m است.

مثال **طول فنرِ نیروسنجی در حالت عادی $۲۰\,cm$ و ثابت آن $۵۰۰\,N/m$ است، اگر وزنه‌ای به جرم $۲\,kg$ را از آن بیاویزیم، طول آن به چند سانتی‌متر می‌رسد؟ $(g = ۱۰\,N/kg)$**

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پاسخ ابتدا نیروهای وارد بر جسم را رسم کرده و قانون دوم نیوتون را برای آن می‌نویسیم:



$$F_e - mg = 0 \Rightarrow F_e = mg$$

از طرفی $F_e = kx$ است، پس:

$$kx = mg \Rightarrow x = \frac{(2\,kg)(10\,N/kg)}{500\,N/m} \Rightarrow x = \frac{2}{50}\,m = 4\,cm$$

طول اولیهٔ فنر $20\,cm$ بوده و فنر $4\,cm$ کشیده شده است، پس:

$$L_2 - L_1 = x \Rightarrow L_2 = 20\,cm + 4\,cm = 24\,cm$$

نیروی کشش طناب (T)

طناب را می‌توان به عنوان فنری با ثابت زیاد فرض کرد که بر اثر کشیده‌شدن تغییر طول زیادی ندارد. وقتی که جسمی را توسط طنابی می‌کشید، نیروی کشش طناب در راستای طناب و به سمت بیرون جسم، بر جسم وارد می‌شود. اگر طناب بسیار سبک باشد نیروی کشش طناب در طول طناب ثابت است.

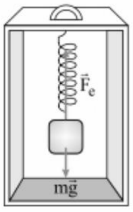
چند مثال ترکیبی

مثال **فنری با ثابت $400\,N/m$ از سقف آسانسوری آویزان است، جسمی به جرم $5\,kg$ را از فنر آویزان می‌کنیم:**

الف) فنر چند سانتی‌متر تغییر طول می‌دهد؟ $(g = 10\,N/kg)$

ب) اگر آسانسور با شتاب $2\,m/s^2$ رو به پایین شروع به حرکت کند، تغییر طول فنر نسبت به حالت عادی چند سانتی‌متر است؟

پاسخ الف) اگر آسانسور ساکن باشد، نیروی خالص وارد بر جسم صفر است:

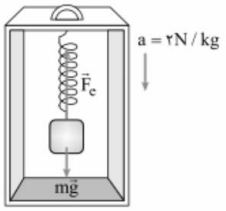


$$\left.\begin{array}{l} F_e - mg = 0 \\ F_e = kx \end{array}\right\} \Rightarrow kx = mg$$

$$\Rightarrow x = \frac{(5\,kg)(10\,N/kg)}{400\,N/m}$$

$$\Rightarrow x = 0/125\,m = 12/5\,cm$$

ب) در حالی که آسانسور با شتاب $2\,N/kg$ رو به پایین در حرکت است، جهت حرکت را $(+)$ و هر آن‌چه را که برخلاف آن باشد، منفی در نظر می‌گیریم:



$$mg - F_e = ma$$

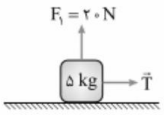
$$\Rightarrow F_e = mg - ma$$

$$\Rightarrow kx = m(g - a)$$

$$\Rightarrow x = \frac{(5\,kg)(10\,N/kg - 2\,N/kg)}{400\,N/m}$$

$$\Rightarrow x = 0/1\,m = 10\,cm$$

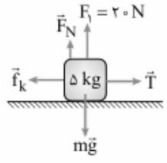
مثال **در شکل مقابل، نیروی $F_1 = 20\,N$ و ضریب اصطکاک جنبشی بین جسم و سطح $0/4$ است. اندازهٔ نیروی کشش طناب چند نیوتون باشد تا جسم از حالت سکون شروع به حرکت کرده و پس از $40\,cm$ جابه‌جایی تندی آن به $2\,m/s$ برسد؟ $(g = 10\,N/kg)$**



پاسخ **گام ۱** از رابطهٔ $v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$ شتاب جسم را به دست می‌آوریم:

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x \Rightarrow (2\,m/s)^2 - 0 = 2a(0/4\,m) \Rightarrow a = 5\,m/s^2$$

گام ۲ چون در راستای قائم شتاب جسم صفر است؛ پس نیروی خالص در راستای قائم صفر است. نیروی خالص وارد بر جسم در راستای قائم را نوشته و به کمک آن F_N را به دست می‌آوریم:



$$F_N + F_1 - mg = 0 \Rightarrow F_N = mg - F_1$$

$$\Rightarrow F_N = (5\,kg)(10\,N/kg) - 20\,N = 30\,N$$

گام ۳ نیروی اصطکاک جنبشی را به دست می‌آوریم:

$$f_k = \mu_k F_N = (0/4)(30\,N) = 12\,N$$

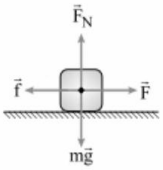
فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

گام ۲: قانون دوم نیوتون را در مورد نیروهای در راستای افق نوشته و به کمک آن نیروی کشش طناب را به دست می‌آوریم:

$$F_{net} = ma \Rightarrow T - f_k = ma$$
$$\Rightarrow T - ۱۲\,N = (۵\,kg)(۵\,N/kg) \Rightarrow T = ۲۵\,N + ۱۲\,N = ۳۷\,N$$

مثال: ضریب اصطکاک ایستایی بین جعبه‌ای به جرم ۴ kg برابر ۰/۵ است و جسم را با نیروی افقی ۱۶ N می‌کشیم، بزرگی نیروی وارد بر جسم از طرف سطح چند نیوتون است؟ $(g = ۱۰\,N/kg)$

پاسخ: گام ۱: شکل مسئله و نیروهای وارد بر جسم را رسم کرده و نیروی عمودی سطح را محاسبه می‌کنیم:



$$F_N - mg = ۰ \Rightarrow F_N = (۴\,kg)(۱۰\,N/kg) = ۴۰\,N$$

گام ۲: بیشینهٔ نیروی اصطکاک ایستایی را به دست می‌آوریم:

$$f_{s\,max} = \mu_s F_N = (۰/۵)(۴۰\,N) = ۲۰\,N$$

با مقایسهٔ $f_{s\,max}$ و F درمی‌یابیم که $F < f_{s\,max}$ است؛ پس جسم حرکت نمی‌کند. در حالی که جسم ساکن است نیروی اصطکاک ایستایی هم‌اندازهٔ نیروی F است؛ پس $f_s = ۱۶\,N$.

گام ۳: از طرف سطح نیروهای اصطکاک و عمودی سطح بر جسم وارد می‌شوند که این نیروها بر هم عمودند. در نهایت برایند این دو نیرو را به عنوان نیروی وارد بر جسم از طرف سطح که با R نمایش می‌دهیم، محاسبه می‌کنیم:

$$R = \sqrt{f_s^۲ + F_N^۲} = \sqrt{(۱۶\,N)^۲ + (۴۰\,N)^۲} \Rightarrow R = ۸\sqrt{۲۹}\,N$$

تکانه و قانون دوم نیوتون

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

به حاصل‌ضرب جرم در سرعت جسم، **تکانه** گفته می‌شود:

تکانه کمیتی **برداری** است که یکای اندازه‌گیری آن در SI، $kg \cdot \frac{m}{s}$ است.

تغییرات تکانه: اگر سرعت جسم تغییر کند (چه جهت، چه اندازه و چه هر دو) تکانهٔ آن تغییر می‌کند. پس:

$$\Delta\vec{p} = m\vec{v}_۲ - m\vec{v}_۱ \Rightarrow \Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v}$$

اگر دو طرف معادله را بر مدت‌زمانی که طول می‌کشد تا تکانه تغییر کند (Δt)، تقسیم کنیم، داریم:

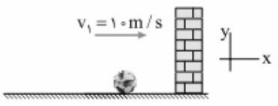
$$\frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = m\vec{a}_{av} \Rightarrow \vec{F}_{av} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

که $\vec{F}_{av}$ نیروی خالص متوسط واردشده به جسم است.

نکته: اگر نیروی واردشده بر جسم ثابت باشد، رابطهٔ بالا به صورت زیر درمی‌آید که بیان قانون دوم نیوتون برحسب تکانه برای نیروی ثابت است:

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$$

مثال: مطابق شکل زیر توپی به جرم ۴۰۰ g با سرعت $۱۰\,m/s\vec{i}$ به دیواری برخورد کرده و با سرعت $-۸\,m/s\vec{i}$ برمی‌گردد.



الف) تغییر تکانهٔ جسم را به دست آورید.

ب) اگر زمان تماس توپ با دیوار ۰/۲ s باشد، نیروی متوسط وارد بر توپ را محاسبه کنید.

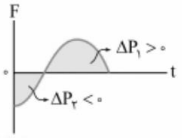
پاسخ: الف) تکانه یک کمیت برداری است؛ پس تغییر تکانه هم یک کمیت برداری است:

$$\Delta\vec{p} = m\vec{v}_۲ - m\vec{v}_۱$$
$$\Delta\vec{p} = (۰/۴\,kg)(-۸\,m/s\vec{i}) - (۰/۴\,kg)(۱۰\,m/s\vec{i})$$
$$\Delta\vec{p} = -۷/۲\,\frac{kg \cdot m}{s}\vec{i}$$

ب) از رابطهٔ $\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t}$ بردار نیروی وارد بر توپ را به دست می‌آوریم:

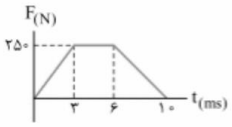
$$\vec{F} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} = \frac{-۷/۲\,\frac{kg \cdot m}{s}\vec{i}}{۰/۲\,s} = -۳۶\,N\vec{i}$$

نکته: در نمودار F ـ t، مساحت بین نمودار و محور t، تغییر تکانه را نشان می‌دهد:



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

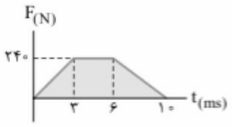
مثال **نمودار تغییرات نیروی وارد بر جسم برحسب زمان مطابق شکل است.**



الف) تغییر تکانهٔ جسم را در ۱۰ ms اول محاسبه کنید.

ب) متوسط نیروی واردشده بر جسم را در ۱۰ ms اول به دست آورید.

پاسخ الف) به کمک محاسبهٔ مساحت بین نمودار و محور t (مساحت ذوزنقه)، تغییر تکانه را به دست می‌آوریم. دقت کنید که محور زمان برحسب میلی‌ثانیه است:



$$S=\frac{۱۰\times۱۰^{-۳}\,s+۳\times۱۰^{-۳}\,s}{۲}\times(۲۴۰\,N)\Rightarrow \Delta p=۱/۵۶\,\frac{kg\cdot m}{s}$$

ب) از رابطهٔ $F_{av}=\frac{\Delta p}{\Delta t}$ می‌توانیم نیروی متوسط وارد بر جسم را در ۱۰ میلی‌ثانیهٔ اول به دست می‌آوریم:

$$F_{av}=\frac{\Delta p}{\Delta t}=\frac{۱/۵۶\,\frac{kg\cdot m}{s}}{۱۰\times۱۰^{-۳}\,s}=۱۵۶\,N$$

رابطهٔ تکانه و انرژی جنبشی

با توجه به این‌که تکانهٔ جسم از رابطهٔ $p=mv$ و انرژی جنبشی از رابطهٔ $K=\frac{۱}{۲}mv^۲$ به دست می‌آید، از طریق دو معادلهٔ زیر می‌توان انرژی جنبشی و تکانه را به هم مرتبط کرد:

$$K=\frac{۱}{۲}mv^۲\Rightarrow K=\frac{۱}{۲}m(\frac{p}{m})^۲\Rightarrow \boxed{K=\frac{p^۲}{۲m}}$$

$$K=\frac{۱}{۲}mv^۲\Rightarrow K=\frac{۱}{۲}mv\cdot v\Rightarrow \boxed{K=\frac{۱}{۲}pv}$$

مثال **تکانهٔ جسمی به جرم ۴۰۰ g در SI برابر ۳/۶ است. انرژی جنبشی آن چند ژول است؟**

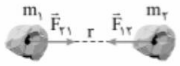
پاسخ با توجه به این‌که جرم و تکانه را داریم از رابطهٔ $K=\frac{p^۲}{۲m}$ استفاده می‌کنیم:

$$K=\frac{p^۲}{۲m}=\frac{(۳/۶\,\frac{kg\cdot m}{s})^۲}{۲(۰/۴\,kg)}=۱۶/۲\,J$$

نیروی گرانشی

دو جسم دارای جرم که در فاصلهٔ معینی از هم قرار دارند بر هم نیروی گرانشی وارد می‌کنند که با حاصل‌ضرب جرم‌های آن‌ها نسبت مستقیم و با مربع فاصلهٔ آن‌ها نسبت عکس دارد. جملهٔ قبل بیانی از قانون عمومی گرانش بود، که توسط ایزاک نیوتون بیان شد. قبل از نیوتون مردم می‌دانستند که زمین اجسام را به خود جذب می‌کند. اما نیوتون به درک عمیق‌تری از گرانش رسید و ادعا کرد این نیرو بین هر دو جسم دارای جرم وجود دارد حتی بین شما و کتابی که در دست دارید.

نیروی گرانشی برخلاف نیروهای الکتریکی و مغناطیسی که هم به صورت جاذبه و هم دافعه هستند، **فقط از نوع جاذبه** است:



نیروی گرانشی بین دو جسم به جرم‌های $m_۱$ و $m_۲$ که فاصلهٔ مرکز آن‌ها از هم r است، از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\boxed{F=G\frac{m_۱m_۲}{r^۲}}$$

در این معادله G ثابت گرانش عمومی است، که مقدار آن $۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,\frac{N\cdot m^۲}{kg^۲}$ است.

مثال **جرم شما ۷۰ kg و جرم دوستتان که در فاصلهٔ ۰/۵ متری از شما نشسته است، ۸۰ kg است. نیروی گرانشی که بر هم وارد می‌کنید، چند نیوتون است؟**

$$(G=۶/۶۷\times۱۰^{-۱۱}\,\frac{N.m^۲}{kg^۲})$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پاسخ جرم شما و دوستتان به همراه فاصلهٔ شما از هم را در معادلهٔ گرانش قرار می‌دهیم:

$$F = G\frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$F = (6/67\times10^{-11}\ \frac{N\cdot m^2}{kg^2})\times\frac{(70\ kg)(80\ kg)}{(0/5\ m)^2} = 15\times10^{-7}\ N$$

نتیجه با توجه به مقدار به دست آمده در مثال بالا می‌فهمیم که به علت کوچک‌بودن این نیرو است که ما نیروی گرانشی را که اجسام اطراف ما بر ما وارد می‌کنند، حس نمی‌کنیم.

مثال **ماهواره‌ای به جرم ۵۰۰ kg در ارتفاع ۳۶۰۰ km از سطح زمین در حال چرخش به دور زمین است.**
نیروی گرانش بین زمین و ماهواره چند نیوتون است؟ ($M_e = 6\times10^{24}\ kg$. $R_e = 6400\ km$)

پاسخ فاصلهٔ مرکز زمین از ماهواره را باید در معادلهٔ زیر قرار دهیم:

$$F = G\frac{M_e m}{(R_e + h)^2}$$

$$\Rightarrow F = (6/67\times10^{-11}\ \frac{N.m^2}{kg^2})\times\frac{(6\times10^{24}\ kg)\times(500\ kg)}{(6/4\times10^6\ m + 3/6\times10^6\ m)^2}$$

$$\Rightarrow F \simeq 2000\ N$$

وزن و نیروی گرانش

قبلاً آموخته بودیم که وزن، نیروی گرانشِ زمین یا سیاره‌ها بر اجسام نزدیک آن‌ها است؛ پس می‌توانیم برای وزن بنویسیم:

$$W = G\frac{m M_{\text{سیاره}}}{R^2}$$

با مقایسهٔ معادلهٔ نیروی وزن به این شکل و معادلهٔ $W = mg$ می‌توانیم معادله‌ای برای محاسبهٔ شتاب جاذبه در اطراف زمین یا هر سیارهٔ دیگری بیابیم:

$$\left.\begin{matrix} W = mg_{\text{سیاره}} \\ W = G\frac{m M_{\text{سیاره}}}{R^2} \end{matrix}\right\} \Rightarrow g_{\text{سیاره}} = G\frac{M_{\text{سیاره}}}{R^2}$$

در این معادله M جرم سیاره و R فاصله از مرکز سیاره است.

مثال **اگر به اندازهٔ R_e از سطح زمین فاصله بگیریم، شتاب گرانش چند برابر می‌شود؟**

پاسخ در رابطهٔ $g = G\frac{M}{R^2}$، R فاصله از مرکز زمین است. اگر به اندازهٔ h از سطح آن فاصله بگیریم، داریم:

$$g' = G\frac{M}{(R_e + h)^2} \Rightarrow \frac{g'}{g} = (\frac{R_e}{R_e + h})^2$$

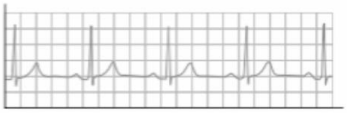
در این مسئله $h = R_e$ است، پس:

$$\frac{g'}{g} = (\frac{R_e}{R_e + R_e})^2 = \frac{1}{4}$$

فصل ۳: نوسان و امواج

نوسان دوره‌ای

در دنیای اطراف ما حرکت‌های نوسانی بسیاری وجود دارد، برخی از این حرکت‌ها مانند بالا و پایین رفتن کشتی در دریای متلاطم، نوسان غیر دوره‌ای و برخی دیگر مانند حرکت پاندول ساعت یک نوسان دوره‌ای است.



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

چرخه: در حرکت نوسانی، یک حرکت در مدت‌زمان معینی تکرار می‌شود که به آن چرخه یا سیکل می‌گویند.

دورهٔ تناوب: به مدت‌زمانی که یک چرخه یا یک نوسان کامل انجام می‌گیرد، دورهٔ تناوب (T) گفته می‌شود.

بسامد: به تعداد نوسان‌ها در مدت یک ثانیه، بسامد یا فرکانس می‌گویند و با f نمایش داده می‌شود:

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

- یکای اندازه‌گیری بسامد در SI، هرتز Hz است که معادل $\frac{1}{s}$ می‌باشد.
- یکی دیگر از راه‌های اندازه‌گیری بسامد محاسبهٔ نسبت تعداد نوسان بر مدت‌زمان نوسان است:

$$f_{(Hz)} = \frac{N}{t_{(s)}}$$

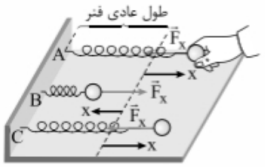
مثال: **قلب یک نوزاد در هر دقیقه تقریباً ۱۰۰ بار می‌تپد. بسامد تپش قلب او چند هرتز است؟**

پاسخ: از رابطهٔ $f = \frac{N}{t}$، بسامد تپش قلب نوزاد را محاسبه می‌کنیم. البته باید زمان برحسب ثانیه باشد:

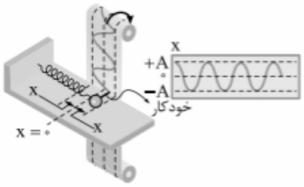
$$f = \frac{N}{t} \Rightarrow f = \frac{100}{60\,s} = \frac{5}{3}\,Hz$$

حرکت هماهنگ ساده

در این فصل نوع ساده‌ای از نوسان دوره‌ای به نام حرکت هماهنگ ساده را بررسی می‌کنیم. حرکت جسمی که به فنری متصل است و حول نقطهٔ تعادل نوسان می‌کند، نمونه‌ای از حرکت هماهنگ ساده است.



در حرکت هماهنگ سادهٔ دستگاه جرم ـ فنر، عامل حرکت نوسانی نیروی بازگردانندهٔ فنر است و چون نیروی فنر متناسب با x است، پس در هر لحظه در حال تغییر است. بنابراین حرکت نوسانی دستگاه جرم ـ فنر یک حرکت با شتاب متغیر است.



اگر در حرکت هماهنگ ساده نمودار مکان ـ زمان را رسم کنیم، یک نمودار سینوسی (یا کسینوسی) خواهد بود.

نکته۱: به نوسان‌های سینوسی، حرکت هماهنگ ساده (SHM) می‌گوییم.

نکته۲: هر نوسان دوره‌ای را می‌توان مجموعه‌ای از نوسان‌های سینوسی در نظر گرفت.

دامنهٔ نوسان: در شکل مشاهده می‌کنید که بیشترین فاصلهٔ جسم از حالت تعادل در دو سمت آن برابر است. به این فاصله دامنهٔ نوسان (A) گفته می‌شود.

معادلهٔ مکان ـ زمان یک حرکت هماهنگ ساده را می‌توان به صورت یک تابع سینوسی یا کسینوسی نوشت. اگر ما مبدأ زمان را لحظهٔ رهاکردن جسم از نقطهٔ $x = +A$ در نظر بگیریم، معادلهٔ مکان ـ زمان را به صورت یک تابع کسینوسی می‌نویسیم: $x = A\cos\omega t$

زاویهٔ (ωt) در این معادله برحسب رادیان است.

در این رابطه ω بسامد زاویهٔ حرکت است که از رابطهٔ مقابل به دست می‌آید:

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

نکات مهم در مورد نوسان هماهنگ ساده:

۱) نوسانگر در هر نوسان مسافتی را به اندازهٔ 4A می‌پیماید.

۲) در اولین نوسان، نوسانگر در زمان‌های $\frac{T}{4}$ و $\frac{3T}{4}$ از نقطهٔ تعادل عبور می‌کند.

۳) در اولین نوسان، نوسانگر در زمان‌های ۰، $\frac{T}{2}$ و T بیشترین فاصله را از مرکز نوسان دارد.

۴) سرعت نوسانگر در دو انتهای پاره‌خطی که روی آن نوسان می‌کند صفر و در نقطهٔ تعادل بیشینه است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

۵ شتاب نوسانگر در دو انتهای پاره‌خطی که بر روی آن نوسان می‌کند، بیشینه و در نقطهٔ تعادل صفر است.

مثال: جسمی را به فنری متصل کرده و بر روی یک سطح افقی بدون اصطکاک به اندازهٔ $۲۰\ cm$ از حالت تعادل خارج می‌کنیم. پس از رهاکردن جسم $۰/۲۵\ s$ بعد، جسم از مرکز تعادل می‌گذرد.

الف) دورهٔ نوسان حرکت چند ثانیه است؟

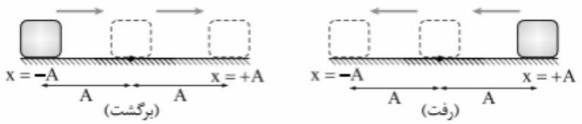
ب) معادلهٔ مکان ـ زمان جسم را بنویسید.

پ) نمودار مکان ـ زمان جسم را رسم کنید.

ت) چند ثانیه پس از شروع حرکت برای اولین بار جسم در مکان $x = ۱۰\ cm$ است؟

ث) چند ثانیه پس از شروع حرکت برای اولین بار شتاب جسم بیشینه می‌شود؟

پاسخ: برای پاسخ به قسمت (الف) دقت کنید که یک نوسان کامل زمانی انجام می‌شود که نوسانگر یک رفت و برگشت کامل را انجام دهد؛ یعنی در یک نوسان کامل نوسانگر مسافتی برابر $۴A$ را می‌پیماید.



چون متحرک پس از شروع حرکت فقط یک دامنه را طی کرده پس $t = \frac{۱}{۴}T$ است، بنابراین:

$$۰/۲۵\ s = \frac{۱}{۴}T \Rightarrow T = ۱\ s$$

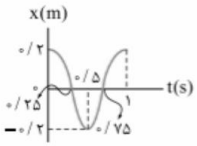
ب) ابتدا بسامد زاویه‌ای را به دست می‌آوریم:

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} \Rightarrow \omega = ۲\pi$$

حالا معادلهٔ مکان ـ زمان را می‌نویسیم. $A = ۲۰\ cm = ۰/۲\ m$ است:

$$x = A\cos\omega t \Rightarrow x = ۰/۲\cos ۲\pi t$$

پ) نمودار حرکت نوسانگر، یک نمودار کسینوسی است. ابتدا نقاط مهم را مشخص می‌کنیم و براساس آن‌ها نمودار را رسم می‌کنیم:



ت) $x = ۱۰\ cm = ۰/۱\ m$ را در معادلهٔ مکان ـ زمان قرار می‌دهیم تا t به دست آید:

$$x = ۰/۲\cos ۲\pi t \Rightarrow ۰/۱\ m = (۰/۲m)\cos ۲\pi t \Rightarrow \cos ۲\pi t = \frac{۱}{۲}$$

در $\cos\alpha = \frac{۱}{۲}$، α می‌تواند $\frac{\pi}{۳}$ و $\frac{۵\pi}{۳}$ باشد، چون در این‌جا اولین عبور نوسانگر از نقطهٔ $x = ۱۰\ cm$ را خواسته، پس $\frac{\pi}{۳}$ را انتخاب می‌کنیم.

$$۲\pi t = \frac{\pi}{۳} \Rightarrow t = \frac{۱}{۶}\ s$$

ث) شتاب حرکت در $x = +A$ و $x = -A$ بیشینه است. در شروع حرکت متحرک در $x = +A$ قرار دارد. اما ما اولین بار **پس از** شروع حرکت را می‌خواهیم. در لحظهٔ $t = \frac{T}{۲}$، نوسانگر برای اولین بار به $x = -A$ می‌رسد؛ پس:

$$t = \frac{T}{۲} \Rightarrow t = \frac{۱\ s}{۲} = ۰/۵\ s$$

نکته: بسامد و بسامد زاویه‌ای نوسان دستگاه جرم ـ فنر مستقل از دامنه است و به جرم و ثابت فنر بستگی دارد و از رابطه‌های زیر به دست می‌آید:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad , \quad f = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

پس می‌توان دورهٔ نوسان را هم از رابطهٔ مقابل به دست آورد:

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

مثال **جسمی به جرم ۴۰۰ g را به فنری با ثابت ۲۵۰ N/m آویزان کرده و یک بار به اندازهٔ ۱۰ cm از حالت تعادل خارج کرده و رها می‌کنیم، تا نوسان کند و بار دیگر جسم را به اندازهٔ ۱۵ cm از حالت تعادل خارج می‌کنیم. در هر دو حالت بسامد زاویه‌ای و دورهٔ تناوب نوسانگر را محاسبه کنید.**

پاسخ بسامد زاویه‌ای و دورهٔ تناوب مستقل از دامنه است و در هر دو حالت یکسان هستند:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{۲۵۰\frac{N}{m}}{۰/۴kg}} = \frac{۵۰}{۲} = ۲۵\ Rad/s$$

$$\omega = \frac{۲\pi}{T} \Rightarrow T = \frac{۲\pi\ Rad}{۲۵\frac{Rad}{s}} = ۰/۰۸\pi\ s$$

انرژی در حرکت هماهنگ ساده

هرگاه فنری را از حالت تعادل خارج کنیم یا آن را فشرده کنیم، در آن انرژی **پتانسیل کشسانی** ذخیره می‌شود و هنگامی که در حالت تعادل باشد، انرژی در آن ذخیره نمی‌شود. پس می‌توان گفت که در دستگاه نوسانگر جرم ـ فنر در حالتی که جسم در دو انتهای مسیر است، بیشترین انرژی در آن **ذخیره شده** و از طرفی در لحظهٔ عبور از نقطهٔ تعادل، انرژی **ذخیره‌شده** در آن صفر است.

پس در حالت کلی و با توجه به این‌که معادلهٔ انرژی مکانیکی از رابطهٔ $E = K + U$ به دست می‌آید، می‌توان گفت که در دو انتهای پاره‌خط نوسان خواهیم داشت:

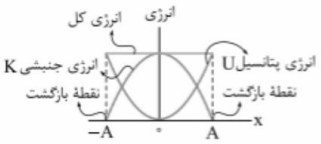
$$\left.\begin{array}{l} U_{max} = \frac{۱}{۲}kA^۲ \\ K = ۰ \\ E = K + U \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{E = \frac{۱}{۲}kA^۲}$$

در لحظهٔ عبور نوسانگر از نقطهٔ تعادل، سرعت و انرژی جنبشی بیشینه و انرژی پتانسیل صفر است.

بیشینهٔ تندی نوسانگر در نقطهٔ تعادل از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\boxed{v_{max} = A\omega}$$

در شکل مقابل طرح ساده‌ای از تبدیل انرژی پتانسیل به انرژی جنبشی و برعکس را در یک نوسانگر مشاهده می‌کنید:



مثال **جسمی را به فنری با ثابت ۸۰۰ N/m بسته و فنر را به اندازهٔ ۳۰ cm فشرده کرده و جسم را بر روی سطح بدون اصطکاکی رها می‌کنیم. اگر ۰/۴ s پس از رها شدن مجدداً انرژی پتانسیل کشسانی برای اولین بار بیشینه شود.**

الف) انرژی مکانیکی دستگاه جرم ـ فنر چند ژول است؟

ب) تندی بیشینهٔ جسم به چند متر بر ثانیه می‌رسد؟ ($\pi = ۳$)

پ) جرم جسم متصل به فنر چند کیلوگرم است؟ ($\pi^۲ \simeq ۱۰$)

پاسخ الف) از رابطهٔ $E = \frac{۱}{۲}kA^۲$، انرژی مکانیکی را محاسبه می‌کنیم:

$$E = \frac{۱}{۲}kA^۲ \Rightarrow E = \frac{۱}{۲}(۸۰۰\frac{N}{m})(۰/۳\ m)^۲ = ۳۶\ J$$

ب) برای محاسبهٔ تندی بیشینه ابتدا باید ω را حساب کنیم.

پس از ۰/۴ s دوباره برای دومین بار انرژی پتانسیل بیشینه می‌شود؛ بنابراین جسم پس از ۰/۴ s به انتهای دیگر پاره‌خط نوسان رسیده است:

$$t = \frac{T}{۲} \Rightarrow T = ۲(۰/۴s) = ۰/۸s \Rightarrow \omega = \frac{۲\pi}{T} = \frac{۲\pi}{\frac{۴}{۵}s} = ۲/۵\pi\ Rad/s$$

$$\Rightarrow v_{max} = A\omega = (۰/۳m)(۲/۵\times ۳\ \frac{Rad}{s}) = ۲/۲۵\ m/s$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پ) از رابطهٔ $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$، جرم متصل به فنر را محاسبه می‌کنیم:

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow (۲/۵\pi \frac{Rad}{s}) = \sqrt{\frac{۸۰۰\frac{N}{m}}{m}}$$

$$\Rightarrow ۶۲/۵ \frac{۱}{s^۲} = \frac{۸۰۰\frac{N}{m}}{m} \Rightarrow m = \frac{۸۰۰}{۶۲/۵} kg = ۱۲/۸ kg$$

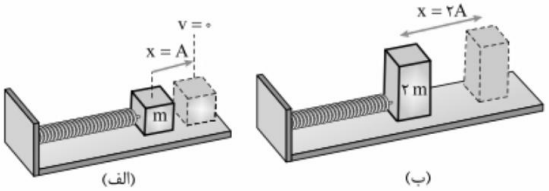
نکته می‌توانیم انرژی مکانیکی نوسانگر را از رابطهٔ دیگری نیز به دست آوریم:

$$\left.\begin{array}{l} E = \frac{۱}{۲}kA^۲ \\ \omega = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow k = m\omega^۲ \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{E = \frac{۱}{۲}m\omega^۲A^۲}$$

و باز هم رابطهٔ دیگر:

$$\left.\begin{array}{l} E = \frac{۱}{۲}m\omega^۲A^۲ \\ \omega = ۲\pi f \end{array}\right\} \Rightarrow \boxed{E = ۲\pi^۲mf^۲A^۲}$$

مثال **مطابق شکل، جرم و دامنهٔ نوسان نوسانگری را دو برابر می‌کنیم، انرژی مکانیکی آن چند برابر می‌شود؟**



پاسخ از بین ۳ رابطهٔ $E = \frac{۱}{۲}mA^۲\omega^۲$، $E = \frac{۱}{۲}kA^۲$ و $E = ۲\pi^۲mf^۲A^۲$، بهتر است که مسئله را از $E = \frac{۱}{۲}kA^۲$ حل کنیم، چرا که در این رابطه k ثابت و فقط A متغیر است، پس:

$$\frac{E_۲}{E_۱} = \frac{k_۲}{k_۱} \times (\frac{A_۲}{A_۱})^۲ \Rightarrow \frac{E_۲}{E_۱} = (\frac{۲A_۱}{A_۱})^۲ \Rightarrow E_۲ = ۴E_۱$$

آونگ ساده

حرکت یک آونگ ساده، شامل وزنهٔ کوچکی به نام وزنهٔ آونگ و نخ بسیار سبک با طول ثابت، به شرط آن‌که θ زاویهٔ کوچکی باشد، مانند حرکت هماهنگ ساده است.

در حرکت هماهنگ سادهٔ آونگ، دورهٔ تناوب از رابطهٔ زیر به دست می‌آید:

$$\boxed{T = ۲\pi\sqrt{\frac{l}{g}}}$$

در این رابطه، (l) طول نخ و g شتاب گرانشی آن محل است.

نکته دورهٔ تناوب آونگ ساده به جرم وزنهٔ آونگ و دامنهٔ آن بستگی ندارد.

مثال **آونگی به طول ۲/۵ m در حال نوسان است. دورهٔ تناوب آن چند ثانیه است؟** $(\pi \simeq ۳, g = ۱۰ N/kg)$

پاسخ از رابطهٔ $T = ۲\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$، دورهٔ تناوب را به دست می‌آوریم:

$$T = ۲\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \Rightarrow T = ۲\pi\sqrt{\frac{۲/۵m}{۱۰\frac{N}{kg}}} \Rightarrow T = ۲\pi(۰/۵s) \Rightarrow T = ۳s$$

تشدید

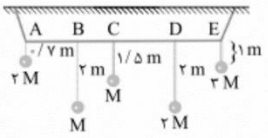
به بسامد نوسان‌های دستگاه جرم ـ فنر و آونگ ساده که از رابطه‌های $f_۰ = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$ و $f_۰ = \frac{۱}{۲\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$ به دست می‌آید، بسامد **نوسان‌های طبیعی** این دستگاه‌ها می‌گوییم. این بسامد حاصل از خارج و رها کردن آن‌ها از حالت تعادل است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

اما اگر به این نوسانگرها یک نیروی وادارندهٔ نوسانی با بسامد (f_D) وارد شود، نوسانی را انجام می‌دهد که به آن نوسان واداشته می‌گوییم. اگر بسامد نوسان واداشته یعنی f_D با بسامد طبیعی نوسانگر (f_0) برابر باشد، دامنهٔ نوسان بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود. به این پدیده، تشدید (رزونانس) گفته می‌شود.

نکته اگر $f_D < f_0$ یا $f_D > f_0$ باشد، دامنهٔ نوسان کوچک‌شده و تشدیدی رخ نمی‌دهد.

مثال **در شکل مقابل، کدام‌یک از آونگ‌ها را به نوسان درآوریم تا در یک آونگ دیگر تشدید رخ دهد؟**



پاسخ اگر آونگ B را به حرکت درآوریم، آونگ D به نوسان درمی‌آید؛ چرا که بسامد طبیعی این دو آونگ به خاطر این‌که طول‌های یکسانی دارند، برابرند. با توجه به این موضوع حرکت آونگ B باعث تشدید در آونگ D می‌شود.

موج و انواع آن

هرگاه در یک محیط کشسان ارتعاشی (آشفتگی) ایجاد شود، این ارتعاش در محیط منتشر شده که به آن موج گفته می‌شود.

در اطراف خود پدیده‌های موجی زیادی را مشاهده می‌کنید، مانند شنیدن صدا، امواج دریا، دریافت اطلاعات از طریق امواج الکترومغناطیسی در موبایل‌ها و تلویزیون و ... .

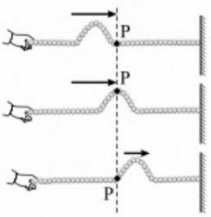
امواج به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱ امواج مکانیکی ۲ امواج الکترومغناطیسی.

۱- امواج مکانیکی: انتشار همگی آن‌ها به محیط مادی نیاز دارد. مانند: صوت، حرکت یک تپ در طناب، امواج روی سطح آب و ...

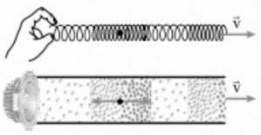
۲- امواج الکترومغناطیس: انتشار آن‌ها به محیط مادی نیاز ندارد. مانند نور مرئی، امواج موبایل و ...

یک دسته‌بندی دیگری نیز می‌توان در مورد امواج به کار برد.

۱- امواج عرضی: در امواج عرضی راستای نوسان بر جهت انتشار موج عمود است، مانند امواج روی آب، تپی که در طناب ایجادشده و امواج الکترومغناطیس.



۲- امواج طولی: در امواج طولی راستای نوسان (ارتعاش) در راستای جهت انتشار موج است. مانند صوت یا فشردگی و بازشدگی حلقه‌های فنر که در فنر منتشر می‌شود:



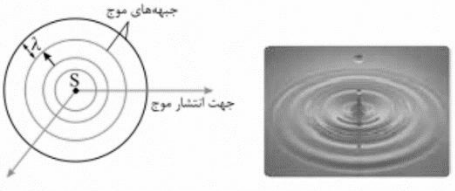
چند نکته در مورد موج:

۱ ذرات به همراه موج در محیط منتقل نمی‌شوند، بلکه در محدودهٔ کوچکی نوسان می‌کنند.

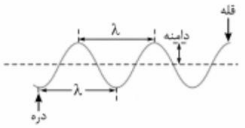
۲ در موج، این ارتعاش یا نوسان است که منتشر می‌شود. در واقع به کمک موج می‌توان انرژی را از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل کرد.

مشخصه‌های موج

جبههٔ موج: در شکل زیر موجی بر روی سطح آب تشکیل شده است، به برآمدگی‌ها یا فرورفتگی‌های ایجادشده در سطح آب جبههٔ موج گفته می‌شود.



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021



طول موج (λ): به فاصلهٔ دو قلهٔ متوالی یا دو درهٔ متوالی طول موج گفته می‌شود:

دامنهٔ موج (A): دامنهٔ موج همان دامنهٔ ارتعاش ذرات است که فاصلهٔ بین دره یا قله نسبت به سطح آرام یا ساکن است.

دورهٔ تناوب (T): مدت‌زمانی را که یک ذره، یک نوسان کامل انجام می‌دهد، دورهٔ تناوب موج می‌نامیم.

نکته دورهٔ تناوب موج برابر با دورهٔ تناوب منبع موج است.

بسامد (f): تعداد نوسان‌های هر ذره در مدت یک ثانیه، بسامد موج است که همان بسامد منبع موج است.

تندی انتشار موج: تندی انتشار موج به **جنس** و **ویژگی‌های** محیط بستگی دارد و از ویژگی‌های محیط است اما می‌توان به کمک طول موج و بسامد نیز آن را محاسبه کرد: $v = \lambda f$

مثال **چشمهٔ موجی با بسامد ۶۰۰ Hz موجی در محیط ایجاد کرده که فاصلهٔ هر دو قلهٔ متوالی آن ۲ cm است، سرعت انتشار موج را در محیط محاسبه نمایید.**

پاسخ فاصلهٔ دو قلهٔ متوالی برابر طول موج است. از رابطهٔ $v = \lambda f$، سرعت انتشار موج را به دست می‌آوریم: $v = \lambda f = (۲\times۱۰^{-۲}\,m)(۶۰۰\,Hz) \Rightarrow v = ۱۲\,m/s$

تندی موج عرضی در ریسمان یا فنر کشیده شده

برای یک تار یا طناب کشیده، تندی انتشار موج به چگالی خطی جرم و نیروی کشش طناب بستگی دارد و از رابطهٔ روبه‌رو به دست می‌آید:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

در این رابطه μ، چگالی خطی جرم نام دارد، که از رابطهٔ $\mu = \frac{m}{L}$ به دست می‌آید و یکای اندازه‌گیری آن در SI، کیلوگرم بر متر ($\frac{kg}{m}$) است.

مثال **ریسمانی به طول ۳ m و به جرم ۱/۵ kg را به دیوار بسته و با نیروی ۵۰ N آن را کشیده و یک تپ موج در آن ایجاد می‌کنیم. تندی انتشار موج را محاسبه نمایید.**

پاسخ ابتدا چگالی خطی جرم را محاسبه می‌کنیم:

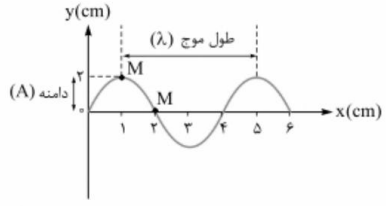
$$\mu = \frac{m}{L} = \frac{۱/۵\,kg}{۳\,m} = ۰/۵\,kg/m$$

حالا می‌توانیم تندی انتشار موج را محاسبه کنیم:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}} = \sqrt{\frac{۵۰\,N}{۰/۵\,\frac{kg}{m}}} \Rightarrow v = ۱۰\,m/s$$

نمودار جابه‌جایی ـ مکان برای موج عرضی

نموداری که در یک لحظهٔ مشخص نشان می‌دهد که هر نقطه از محیطی که موج در آن منتشر می‌شود چه فاصله‌ای از محل تعادل دارد، نمودار جابه‌جایی ـ مکان است. مثلاً شکل زیر نمودار جابه‌جایی ـ مکان برای یک موج عرضی است که در یک لحظهٔ مشخص رسم شده است. مثلاً در این لحظه جابه‌جایی نقطهٔ M که در $x = ۱\,cm$ قرار دارد، نسبت به حالت تعادل برابر ۲ cm است و جابه‌جایی نقطهٔ N که در $x = ۲\,cm$ قرار دارد، نسبت به حالت تعادل برابر با صفر است.



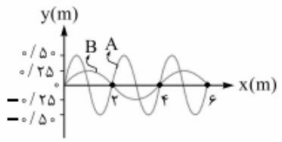
فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

انتقال انرژی در موج عرضی

به کمک موج می‌توان انرژی منبع موج را از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل کرد. انرژی موج متناسب با A^2 و f^2 است:

$$E = 2\pi^2 m f^2 A^2$$

مثال: نمودار مکان ـ جابه‌جایی برای دو موج A و B که در یک محیط منتشر می‌شوند، مطابق شکل است. انرژی موج A چند برابر انرژی موج B است؟



پاسخ: همان‌طور که در شکل می‌بینید دامنهٔ موج A، ۲ برابر دامنهٔ موج B است:

$$A_A = 2A_B$$

چون هر دو موج در یک محیط منتشر می‌شوند، تندی یکسانی دارند. از طرفی مطابق شکل طول موج B دو برابر طول موج A است، پس:

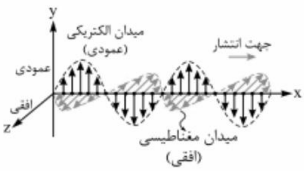
$$\left.\begin{array}{l}\lambda_B = 2\lambda_A \\ v_B = v_A \\ v = \lambda f\end{array}\right\} \Rightarrow \frac{v_B}{v_A} = \frac{\lambda_B}{\lambda_A} \times \frac{f_B}{f_A} \Rightarrow 1 = \frac{2\lambda_A}{\lambda_A} \times \frac{f_B}{f_A} \Rightarrow f_A = 2f_B$$

انرژی موج با f^2 و A^2 متناسب است، پس:

$$\frac{E_A}{E_B} = \left(\frac{A_A}{A_B}\right)^2 \times \left(\frac{f_A}{f_B}\right)^2 \Rightarrow \frac{E_A}{E_B} = \left(\frac{2A_B}{A_B}\right)^2 \left(\frac{2f_B}{f_B}\right)^2 \Rightarrow \frac{E_A}{E_B} = 16$$

امواج الکترومغناطیس

همان‌طور که در کتاب فیزیک (۲) مشاهده کردید، تغییر میدان مغناطیسی باعث ایجاد میدان الکتریکی می‌شود. علاوه بر آن تغییر میدان الکتریکی باعث ایجاد میدان مغناطیسی می‌گردد. اگر این تغییرات آهنگ ثابتی نداشته باشند، میدان مغناطیسی متغیر، میدان الکتریکی متغیر و میدان الکتریکی متغیر، میدان مغناطیسی متغیر ایجاد می‌کند و این آشفتگی در میدان‌های محیط به صورت یک موج عرضی در محیط منتشر می‌شود که به آن موج الکترومغناطیسی گفته می‌شود:



نکته: امواج الکترومغناطیسی در خلأ هم منتشر می‌شوند.

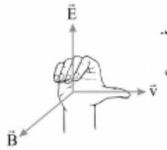
چند مشخصهٔ بارز امواج الکترومغناطیسی به قرار زیر است:

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.

جهت انتشار امواج الکترومغناطیسی را می‌توان مطابق شکل روبه‌رو از قاعدهٔ دست راست تعیین کرد:



نکته: نور نوعی موج الکترومغناطیس است که در گسترهٔ فرکانس 4×10^{14} Hz تا $7/9\times10^{14}$ Hz برای چشم انسان قابل رؤیت است.

تندی انتشار امواج الکترومغناطیس: تندی همهٔ امواج الکترومغناطیسی در خلأ عدد ثابتی نزدیک به 3×10^8 m/s (تندی نور) است، که به مشخصات الکتریکی و مغناطیسی خلأ (محیط) بستگی دارد. می‌توان نشان داد که تندی نور در خلأ از رابطهٔ $c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}}$ به دست می‌آید که در آن ε_0 ضریب گذردهی الکتریکی خلأ و برابر $8/85\times10^{-12}\ \frac{C^2}{N.m^2}$ و μ_0 ضریب تراوایی مغناطیسی خلأ و برابر $4\pi\times10^{-7}\ \frac{T.m}{A}$ است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

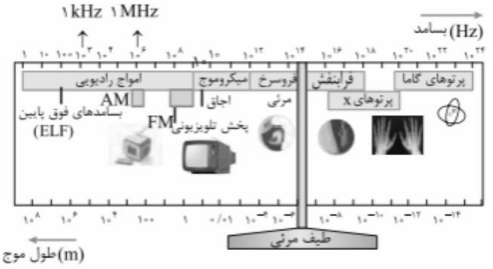
مثال طول موج نور سبز در خلأ تقریباً ۵۵۵ nm است. بسامد آن را محاسبه کنید. $(c = ۳\times۱۰^{۸}\ m/s)$

پاسخ در رابطهٔ $v = \lambda f$ به جای v، c را قرار می‌دهیم:

$$c = \lambda f \Rightarrow f = \frac{۳\times۱۰^{۸}\ \frac{m}{s}}{۵۵۵\times۱۰^{-۹}\ m} = ۵/۴\times۱۰^{۱۴}\ Hz$$

طیف امواج الکترومغناطیس

امواج الکترومغناطیس از بسامدهای پایین و طول موج‌های بلند شروع و تا بسامدهای بالا و طول موج‌های کوتاه ادامه دارد. هر گسترهٔ فرکانسی این امواج به یک نام مشخص شناخته می‌شود.



همان‌طور که در شکل می‌بینید این امواج به ترتیب از **بسامدهای کم** به **بسامدهای زیاد** عبارت‌اند از:

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

موج طولی و شاخصه‌های آن

موج طولی، موجی است که راستای نوسان ذرات محیط در راستای انتشار موج باشد.

موج طولی نیز همچون موج عرضی دارای بسامد و طول موج است.

چند نکتهٔ مهم در مورد موج طولی:

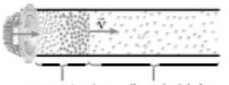
۱) تندی انتشار موج طولی در یک محیط بیش از تندی انتشار موج عرضی در آن است.

۲) در محیطی که موج طولی در آن انتشار می‌یابد، در مکان‌هایی که بیشترین جمع‌شدگی (تراکم بیشینه) یا بیشترین بازشدگی (انبساط بیشینه) رخ می‌دهد، جابه‌جایی هر جزء محیط از وضعیت تعادل صفر است.

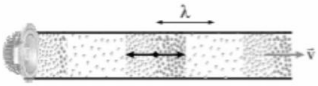
۳) در محیطی که موج طولی در آن انتشار می‌یابد، در وسط فاصلهٔ بین یک جمع‌شدگی بیشینه و یک بازشدگی بیشینهٔ مجاور هم، اندازهٔ جابه‌جایی هر جزء محیط از وضعیت تعادل، بیشینه است.

موج صوتی

صوت یک موج طولی است که با ارتعاش تارهای صوتی یا تارهایی مثل تار گیتار یا ارتعاش صفحهٔ بلندگو و ... که چشمهٔ صوت نامیده می‌شوند، تولید می‌شود.



با نوسان چشمهٔ صوت، هوای جلوی چشمه متراکم و منبسط می‌شود و این آشفتگی در فشار هوا، در محیط منتشر می‌شود.



نکاتی در مورد صوت:

۱) صوت یک موج طولی است.

۲) صوت در تمام جهات منتشر می‌شود.

۳) تندی انتشار صوت به ویژگی‌های محیط بستگی دارد و معمولاً در جامدها بیشتر از مایع‌ها و در مایع‌ها بیشتر از گازها است.

۴) سرعت انتشار موج به دمای محیط نیز وابسته است.

۵) تندی انتشار صوت را می‌توان به کمک رابطهٔ $v = \lambda f$ محاسبه نمود.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

مثال **به وسیله یک چشمهٔ صوت، صوتی را در هوا و یک میلهٔ آلومینیم تولید می‌کنیم. اگر تندی انتشار صوت در هوا $330\ m/s$ و در میلهٔ آلومینیمی $6204\ m/s$ باشد:**

الف) بسامد صوت منتشرشده در میله چند برابر هوا است؟

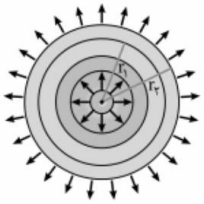
ب) طول موج صوت منتشرشده در میله چند برابر هوا است؟

پاسخ الف) بسامد از مشخصه‌های چشمهٔ صوت است و به محیط انتشار بستگی ندارد، بنابراین بسامد صوت منتشرشده در هر دو محیط یکسان است.

ب) با استفاده از رابطهٔ $v = \lambda f$، نسبت طول موج‌ها را به دست می‌آوریم:

$$\frac{v_{Al}}{v_{Air}} = \frac{\lambda_{Al}}{\lambda_{Air}} \times \frac{f_{Al}}{f_{Air}} \Rightarrow \frac{6204\ \frac{m}{s}}{330\ \frac{m}{s}} = \frac{\lambda_{Al}}{\lambda_{Air}} \Rightarrow \frac{\lambda_{Al}}{\lambda_{Air}} = 18/8$$

شدت و تراز شدت صوت



صوت به عنوان یک موج مکانیکی می‌تواند انرژی چشمهٔ صوت را از نقطه‌ای به نقطهٔ دیگر منتقل کند.

چشمهٔ صوت نقطه‌ای، موج‌هایی با جبههٔ موج کروی شکل تولید می‌کند که هر چه از چشمه دورتر می‌شوند مساحت جبههٔ موج زیاد می‌شود و صدا ضعیف‌تر می‌شود. اگر از اتلاف و جذب انرژی صوتی در محیط صرف‌نظر کنیم، در واحد زمان انرژی با توان P به سطح کره‌ای به مساحت $4\pi r^2$ می‌رسد. با افزایش r، مقدار انرژی‌ای که به واحد سطح می‌رسد کاهش می‌یابد.

شدت صوت را به صورت مقابل تعریف می‌کنیم:

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

- یکای شدت صوت در SI، W/m^2 است.

نکته با افزایش فاصله از چشمهٔ صوت، شدت کاهش می‌یابد.

مثال **شخصی در فاصلهٔ $50\ m$ از منبع صوتی با توان $1/2\ kW$ ایستاده است.**

الف) شدت صوتی را که به شخص می‌رسد، محاسبه کنید. ($\pi = 3$)

ب) اگر مساحت گوش شخص $10\ cm^2$ باشد، چه توانی به گوش او می‌رسد؟

پاسخ الف) از رابطهٔ $I = \frac{P}{A}$، شدت صوت را در فاصلهٔ $50\ m$ منبع به دست می‌آوریم:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2}\ ,\ I = \frac{1200\ W}{4 \times 3 \times (50\ m)^2} \Rightarrow I = 0/04\ W/m^2$$

ب) با توجه به این‌که شدت صوت در نقطه‌ای که شخص ایستاده $0/04\ W/m^2$ است، توانی را که به گوش او می‌رسد، محاسبه می‌کنیم:

$$I = \frac{P}{A} \Rightarrow P = (0/04\ W/m^2)(10 \times 10^{-4}\ m^2)\ ,\ P = 4 \times 10^{-5}\ W$$

تراز شدت صوت: هر چه‌قدر شدت صوتی که به گوش انسان می‌رسد بیشتر باشد، گوش صدا را بلندتر می‌شنود. اما بلندی صوت با شدت آن نسبت مستقیم ندارد و به صورت یک رابطهٔ لگاریتمی بیان می‌شود.

تراز شدت صوت، کمیتی است که درک انسان را از بلندی صوت بیان می‌کند. تراز شدت صوت عبارت است از، لگاریتم (در پایهٔ ۱۰) نسبت شدت صوت مورد نظر به شدت صوت مبنا و به صورت مقابل تعریف می‌شود:

$$\beta = (10\ dB)\ Log \frac{I}{I_0}$$

- یکای اندازه‌گیری شدت صوت در این معادله دسی‌بل (dB) است.
- I_0 شدت صوت مرجع است که مقدار آن $10^{-12}\ W/m^2$ است.

مثال **شنونده‌ای صوتی با شدت $10^{-1}\ W/m^2$ می‌شنود، تراز شدت این صوت چند دسی‌بل است؟ ($I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$)**

پاسخ با توجه به این‌که $I_0 = 10^{-12}\ W/m^2$ است، مسئله را حل می‌کنیم:

$$\beta = (10\ dB)\ Log \frac{I}{I_0} \Rightarrow \beta = (10\ dB) Log \frac{10^{-1}}{10^{-12}} \Rightarrow \beta = 110\ dB$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

مثال **اگر شدت صوت چشمه‌ای را ۴ برابر کنیم، تراز شدت صوت برای شنونده‌ای که به فاصلهٔ معینی از چشمه قرار دارد ۱/۳ برابر می‌شود. تراز شدت صوت اولیه برای شنونده چند دسی‌بل بوده است؟ (Log۲ = ۰/۳)**

پاسخ شدت صوت ۴ برابر شده است؛ یعنی $I_۲ = ۴I_۱$. از طرفی تراز شدت صوت ۱/۳ برابر شده است؛ یعنی $\beta_۲ = ۱/۳\beta_۱$. پس با توجه به رابطهٔ $\beta = (۱۰\,dB)Log\frac{I}{I_۰}$ داریم:

$$\beta_۲ - \beta_۱ = (۱۰\,dB)Log\frac{I_۲}{I_۰} - (۱۰\,dB)Log\frac{I_۱}{I_۰} = (۱۰\,dB)Log\frac{\frac{I_۱}{I_۰}}{\frac{I_۲}{I_۰}}$$

$$= (۱۰\,dB)Log\frac{I_۲}{I_۱} \Rightarrow ۱/۳\beta_۱ - \beta_۱ = (۱۰\,dB)\,Log\frac{۴I_۱}{I_۱}$$

$$\Rightarrow ۰/۳\beta_۱ = (۱۰\,dB)Log۲^۲ \Rightarrow ۰/۳\beta_۱ = (۲۰\,dB)Log۲$$

$$\Rightarrow ۰/۳\beta_۱ = (۲۰\,dB)(۰/۳) \Rightarrow \beta_۱ = ۲۰\,dB$$

ادراک شنوایی

هنگامی که یکی از کلیدهای (کلاویه‌های) پیانو را می‌نوازید صدایی به گوش شما می‌رسد، که اصطلاحاً به آن تُن موسیقیایی یا به اختصار تُن گفته می‌شود. در واقع **به صوت تولیدشده توسط چشمه‌های صوتی‌ای که حرکت هماهنگ ساده می‌کند، تن می‌گوییم**. ادراک شنوایی ما از صدایی که می‌شنویم را به دو دسته تقسیم می‌کنیم:

۱) **ارتفاع صوت**: ارتفاع صوت بسامدی است که از هر تُن درک می‌کنیم. مثلاً بدون آن‌که فاصله خود را از پیانو تغییر دهیم، اگر دو کلید (کلاویه) مختلف را بنوازیم، دو صوت با ارتفاع متفاوت حس می‌کنیم.

۲) **بلندی صوت**: بلندی صوت به شدت صوتی که از هر تُن می‌شنویم، بستگی دارد. مثلاً صدای یک تُن را در فواصل مختلفی از یک پیانو با بلندی‌های متفاوت درک می‌کنیم.

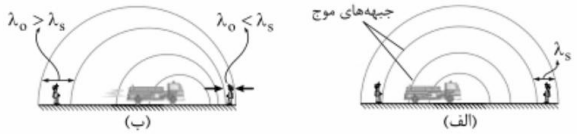
نکته۱ گوش انسان قادر به شنیدن صداهایی در گسترهٔ فرکانس ۲۰Hz تا ۲۰۰۰۰Hz است.

نکته۲ بیشترین حساسیت گوش انسان به صداهایی در گسترهٔ فرکانس ۲۰۰۰ Hz تا ۵۰۰۰ Hz است.

اثر دوپلر

اگر چشمهٔ صوت و شنونده نسبت به هم متحرک باشند، فرکانس صوتی که شنونده می‌شنود با فرکانسی که چشمهٔ صوت ایجاد می‌کند متفاوت است، به این پدیده، اثر دوپلر گفته می‌شود. اثر دوپلر را در دو حالت بررسی می‌کنیم:

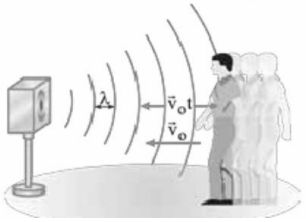
۱) **شنونده ساکن و چشمهٔ صوت متحرک باشد:**



وقتی که چشمهٔ صوت به سمت شنونده حرکت می‌کند، طول موج‌هایی که به شنونده می‌رسد، کوتاه‌تر و بسامدی که شنونده می‌شنود، بزرگ‌تر می‌شود. هنگامی که چشمه از شنونده دور می‌شود، طول موجی که به شنونده می‌رسد، بلندتر می‌شود و شنونده صوتی با بسامد کم‌تر را می‌شنود (شکل ب).

۲) **چشمهٔ موج ساکن و شنونده (ناظر) متحرک:**

وقتی که شنونده به سمت چشمهٔ صوت حرکت می‌کند، به علت سرعت نسبی او و جبهه‌های موج در مدت‌زمان کوتاه‌تری نسبت به زمانی که ساکن است، به جبههٔ موج بعدی می‌رسد؛ بنابراین بسامدی که می‌شنوند بیشتر از حالت ساکن است و هنگامی که از چشمه دور می‌شود، مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد تا جبههٔ موج بعدی به او برسد، بنابراین فرکانس کم‌تری را می‌شنود.



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

نتیجه:

۱) در هر دو حالت وقتی شنونده و منبع صوت از هم دور می‌شوند، بسامد صوتی که شنونده می‌شنود، کم می‌شود.

۲) در هر دو حالت وقتی شنونده و منبع صوت به هم نزدیک می‌شوند، بسامد صوتی که شنونده می‌شنود، زیاد می‌شود.

اثر دوپلر برای امواج الکترومغناطیس

اثر دوپلر علاوه بر صوت برای امواج الکترومغناطیس نیز رخ می‌دهد.

- اگر چشمهٔ نور مرئی از ناظری دور شود، طول موجی که به ناظر می‌رسد بلندتر می‌شود و اصطلاحاً انتقال به سرخ رخ می‌دهد.
- اگر چشمهٔ نور مرئی به ناظر نزدیک شود، طول موجی که به ناظر می‌رسد کوتاه‌تر می‌شود و اصطلاحاً انتقال به آبی رخ می‌دهد.

کاربردهای اثر دوپلر:

۱) از اثر دوپلر در کیهان‌شناسی و بررسی حرکت ستارگان و کهکشان‌ها استفاده می‌شود.

۲) از اثر دوپلر در دوربین‌های کنترل تندی اتومبیل‌ها در پلیس راهنمایی و رانندگی نیز استفاده می‌شود.

بازتاب موج

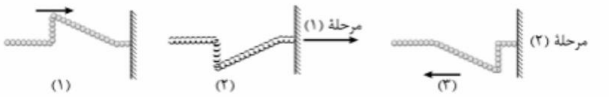
تولید صدا در آلات موسیقی، پژواک صداها، دیدن ماه، دیدن صفحهٔ این کتاب، گرم‌شدن مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی، جمع‌شدن امواج رادیویی در کانون آنتن‌های بشقابی و ... مثال‌هایی از کاربردِ بازتاب امواج در زندگی هستند.

بازتاب امواج مکانیکی

وقتی یک تپ موج مکانیکی به مانع سفتی برخورد کند (مانند تپ موجی که در یک طناب به سر بسته‌شدهٔ طناب برخورد کند)، موج بازتاب می‌کند. در این حالت، برای رسم بازتاب موج به صورت زیر عمل می‌کنیم:

مرحلهٔ (۱): شکل تپ موج را نسبت به راستای طناب وارون می‌کنیم.

مرحلهٔ (۲): به صورت آینه‌ای تپ را عکس می‌کنیم.



در واقع شکل (۳) بازتاب موج شکل (۱) است. برای همین شکل (۲) را نقطه‌چین کشیدیم، چون وجود خارجی ندارد و برای درک و رسم بهتر از آن کمک گرفتیم.

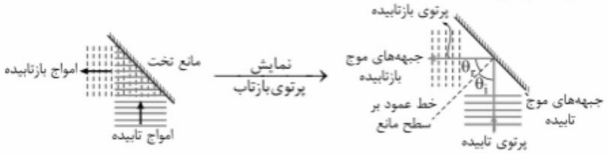
علت بازتاب موج این است که در محل اتصال طناب به دیوار، طناب به دیوار نیرویی وارد می‌کند، که طبق قانون سوم نیوتون دیوار نیز به طناب نیرو وارد می‌کند که باعث ایجاد موج بازتابی در طناب می‌شود.

پرتو موج: پیکانی است عمود بر جبههٔ موج که جهت انتشار موج را نشان می‌دهد.

قانون بازتاب عمومی: اگر موجی به مانعی برخورد کند، زاویهٔ تابش (θ_i) برابر زاویهٔ بازتابش (θ_r) است.

- زاویهٔ تابش (θ_i) زاویهٔ بین پرتو موج تابیده‌شده (فرودی) و خط عمود بر مانع است.
- زاویهٔ بازتابش (θ_r) زاویهٔ بین پرتو موج بازتاب‌شده و خط عمود بر مانع است.

قانون بازتاب عمومی برای هر نوع موجی (تخت، کروی، الکترومغناطیسی و...) و هر نوع مانعی صدق می‌کند:



نکته۱: اگر یک جبههٔ موج تخت به یک مانع برخورد کند، به صورت یک جبههٔ موج تخت بازتابیده می‌شود.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

نکته۲: اگر امواجی با جبههٔ موج تخت به یک مانع سخت برخورد کنند، موج در کانون سطح کاو، کانونی می‌شود. این موضوع اساس کار برخی از نیروگاه‌های خورشیدی و میکروفون‌های سهموی است.

پژواک: اگر در فاصلهٔ مناسبی از یک دیوار یا صخره ایستاده باشید و فریاد بزنید، پس از مدت کوتاهی بازتاب صدای خود را می‌شنوید. به چنین بازتابی پژواک گفته می‌شود.

تعریف پژواک: بازتاب صوتی را پژواک می‌نامیم که با یک تأخیر زمانی به گوش شنونده‌ای برسد که صوت اولیه را مستقیماً می‌شنود.

- اگر تأخیر زمانی بین دو صوت (مثلاً صوت اصلی و پژواک) کم‌تر از ۰/۱ s باشد، گوش انسان قادر نیست که آن‌ها را از هم تمیز دهد.

مکان‌یابی پژواکی: پژواک در طبیعت و گاهاً در تکنولوژی در امر مکان‌یابی کاربرد دارد، جانورانی همچون خفاش، دُلفین‌ها و نهنگ‌ها به کمک پژواک و اثر دوپلر مکان‌یابی انجام می‌دهند.

نکته: در کشتی‌ها و دستگاه‌های سونوگرافی نیز از مکان‌یابی پژواکی استفاده می‌شود.

مثال: دستگاه سونار که در یک کشتی جنگی کار مکان‌یابی پژواکی را انجام می‌دهد، امواج صوتی را در آب منتشر می‌کند. اگر این دستگاه پس از ۸ s بازتاب یک تپ موج صوتی را از یک زیردریایی دریافت کند، زیردریایی در چه فاصله‌ای از آن قرار دارد؟ (تندی انتشار صوت در آب $۱/۵\times۱۰^{۳}\ m/s$ است).

پاسخ: رفت و برگشت صوت ۸ s طول کشیده است؛ یعنی ۴ s رفت و ۴ s برگشت. با توجه به این موضوع از رابطهٔ $x = vt$، فاصلهٔ بین کشتی و زیردریایی را حساب می‌کنیم:

$$x = vt \ , \ x = (۱/۵\times۱۰^{۳}\ m/s)(۴s) = ۶۰۰۰m = ۶\ km$$

بازتاب امواج الکترومغناطیسی

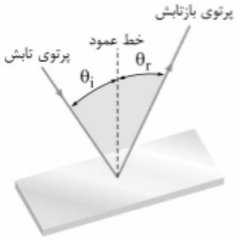
امواج الکترومغناطیسی نیز، مانند امواج دیگر در برخورد با موانع، بازتاب می‌شوند.

- کانونی‌شدن امواج الکترومغناطیسی در کانون آنتن‌های بشقابی یا گرمکن‌های خورشیدی، مثال‌هایی از بازتاب امواج الکترومغناطیس هستند.

قوانین بازتاب برای امواج الکترومغناطیسی نیز برقرار است؛ یعنی:

۱) زاویهٔ تابش و بازتابش هم اندازه هستند.

۲) پرتو تابش، پرتو بازتابش و خط عمود بر سطح هر سه در یک صفحه‌اند:

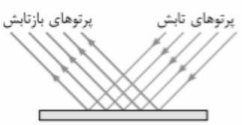


کانونی‌شدن نور در مرکز اجاق‌های خورشیدی، رادارهای دوپلری، دیدن تصویر در آینه، دیدن محیط اطراف به خاطر بازتاب نوری که از منبع به اجسام می‌تابد و ... همگی به علت بازتاب امواج الکترومغناطیسی است.

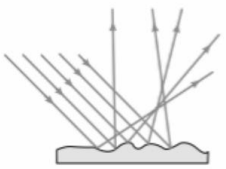
چند نکته در مورد بازتاب نور:

۱) قوانین بازتاب برای همهٔ سطوح صدق می‌کند.

۲) اگر سطحی صاف باشد، یعنی ابعاد پستی و بلندی آن کم‌تر از طول موج موج الکترومغناطیسی فرودی باشد، بازتاب دسته پرتوها **منظم** یا **آینه‌ای** خواهد بود.

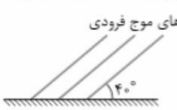


۳) اگر سطح صاف نباشد، یعنی ابعاد پستی و بلندی‌های آن بیشتر از طول موج موج الکترومغناطیسی فرودی باشد، پرتوها به صورت کاتوره‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتاب و در تمام جهات پراکنده می‌شوند. به این نوع بازتابش، **بازتاب پخشنده** یا **نامنظم** می‌گوییم.



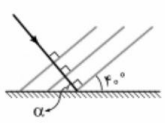
۴) علت دیدن اجسام اطراف، بازتاب پخشندهٔ نور از سطوح ناهمواری است که اجسام دارند.

مثال: در شکل مقابل جبهه‌های موج تختی به سطح آینه برخورد می‌کنند، زاویهٔ بازتاب پرتوی موج را محاسبه کنید.



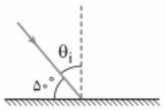
فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پاسخ در قدم اول پرتوی موج فرودی را رسم و زاویهٔ آن را با سطح آینه به دست می‌آوریم. دقت کنید که پرتوی موج بر سطح جبههٔ موج عمود است.



$$\alpha + 90^\circ + 40^\circ = 180^\circ \Rightarrow \alpha = 50^\circ$$

در قدم بعدی زاویهٔ تابش پرتوی فرودی را به دست می‌آوریم:

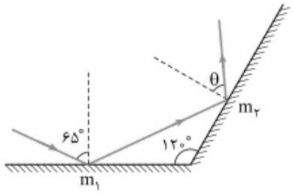


$$\theta_i + \alpha = 90^\circ \Rightarrow \theta_i = 40^\circ$$

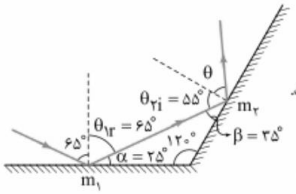
زاویهٔ بازتابش با زاویهٔ تابش برابر است؛ پس:

$$\theta_r = \theta_i \Rightarrow \theta_r = 40^\circ$$

مثال **در شکل مقابل پرتوی فرودی با زاویهٔ تابش 65° به آینه M_1 برخورد می‌کند. زاویهٔ بازتاب را از آینهٔ M_2 (θ) محاسبه کنید.**



پاسخ



زاویهٔ بازتاب از آینهٔ M_1، $\theta_{1r} = 65^\circ$ است.

α زاویهٔ متمم θ_{1r} است، پس $\alpha = 25^\circ$ است.

جمع زوایای داخلی مثلث 180° است، پس:

$$25^\circ + 120^\circ + \beta = 180^\circ \Rightarrow \beta = 35^\circ$$

β زاویهٔ متمم θ_{2i} است، پس $\theta_{2i} = 55^\circ$ است. زاویهٔ تابش و بازتابش هم‌اندازه هستند، بنابراین $\theta = 55^\circ$ است.

شکست موج

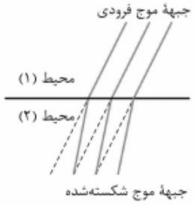
تجزیهٔ نور در منشور، دیدن سراب در روزهای گرم تابستان، اصلاح دید به کمک عینک و ... مثال‌های آشنایی از شکست نور به عنوان نوعی از موج هستند. اما موج‌های مکانیکی نیز دچار شکست می‌شوند.

زمانی که محیط انتشار موج عوض می‌شود به علت تغییر تندی موج، شکست موج رخ می‌دهد. البته دقت داشته باشید که شکست موج هنگام تغییر محیط زمانی اتفاق می‌افتد که پرتو موج به صورت مایل به سطح جداکنندهٔ دو محیط بتابد.

علت شکست موج

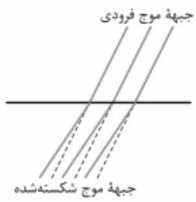
هنگامی‌که جبهه‌های موج به صورت مایل به سطح جدا کننده می‌تابند، بخشی از جبههٔ موج وارد محیط بعدی شده و تندی آن نسبت به نقاط دیگر همان جبههٔ موج تغییر می‌کند. با این اتفاق قسمتی از جبههٔ موج جلو یا عقب می‌افتد و باعث شکست موج می‌شود.

حالت اول موج وارد محیطی شود که سرعت آن افزایش یابد:



در این حالت بخشی از جبههٔ موج که وارد محیط بعدی شده چون تندی‌اش افزایش یافته، از بقیه نقاط دیگری که روی همان جبههٔ موج بودند جلو می‌افتد و جبههٔ موج شکسته می‌شود.

حالت دوم موج وارد محیطی شود که سرعت آن کاهش می‌یابد:

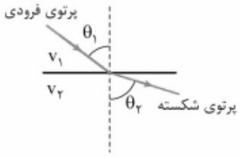


در این حالت چون سرعت موج کاهش یافته، بخشی از جبههٔ موجی که وارد محیط بعدی می‌شود از بقیهٔ نقاطی که روی جبههٔ موج بودند عقب می‌افتد و جبههٔ موج شکسته می‌شود.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

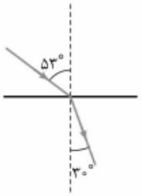
قانون شکست عمومی

قانون شکست عمومی برای هر نوع موجی، چه موج مکانیکی و چه موج الکترومغناطیسی صدق می‌کند. این قانون که به صورت زیر است به رابطهٔ بین تندی موج در دو محیط و زوایای تابش و شکست پرتو می‌پردازد:



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

مثال: **در شکل مقابل موجی با تندی $320\ m/s$ وارد محیط دیگری می‌شود. تندی موج در محیط دوم را به دست آورید.**



پاسخ: زاویهٔ تابش 53° و زاویهٔ شکست 30° است، پس داریم:

$$\frac{v_2}{v_1}=\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}\Rightarrow\frac{v_2}{320\frac{m}{s}}=\frac{0/5}{0/8}\Rightarrow v_2=200\ m/s$$

شکست نور

ضریب شکست: به نسبت تندی نور در خلأ به تندی نور در محیط شفاف، ضریب شکست محیط شفاف می‌گوییم:

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

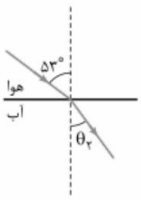
تذکر: ضریب شکست خلأ برابر ۱ و ضریب شکست هوا تقریباً ۱ است.

به کمک قانون عمومی شکست و تعریف ضریب شکست می‌توان به رابطه‌ای برای شکست نور براساس ضریب شکست محیط رسید که به آن قانون شکست اسنل گفته می‌شود:

$$\left.\begin{aligned}&\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{v_2}{v_1}\\&n=\frac{c}{v}\Rightarrow v=\frac{c}{n}\end{aligned}\right\}\Rightarrow\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{\frac{c}{n_2}}{\frac{c}{n_1}}\Rightarrow\boxed{\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1}=\frac{n_1}{n_2}}$$

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

مثال: **مطابق شکل، پرتو نوری با زاویهٔ تابش 53° به سطح آب می‌تابد، زاویهٔ شکست پرتو را محاسبه کنید. $(n_{\text{آب}}=\frac{4}{3})$**



پاسخ: پرتو از هوا به آب تابیده است؛ پس $n_1=1$ و $n_2=\frac{4}{3}$ است. براساس قانون اسنل داریم:

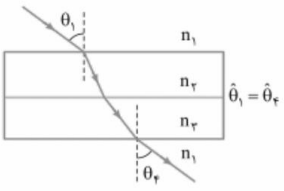
$$n_1\sin\theta_1=n_2\sin\theta_2$$

$$\Rightarrow 1\times\sin53^\circ=\frac{4}{3}\times\sin\theta_2\Rightarrow 0/8\times\frac{3}{4}=\sin\theta_2$$

$$\Rightarrow\sin\theta_2=0/6\Rightarrow\theta_2=37^\circ$$

نکات:

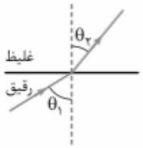
۱) در تیغه‌های متوازی السطوح اگر محیط اول و آخر یکسان باشد، پرتو نور فرودی و پرتو نور خروجی موازی هم هستند.



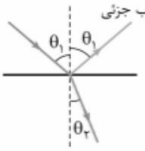
فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

۲) اگر نور از محیط غلیظ وارد محیط رقیق شود (یعنی $n_1 > n_2$)، پرتو شکست از خط عمود دور می‌شود.

۳) اگر نور از محیط رقیق وارد محیط غلیظ شود (یعنی $n_2 > n_1$)، پرتو شکست به خط عمود نزدیک می‌شود.



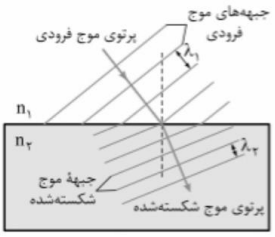
۴) هنگام تابش پرتو نور به سطح جداکننده، بخشی از آن وارد محیط بعد نمی‌شود و در محیط اول بازتاب می‌شود، که به آن بازتاب جزئی گفته می‌شود.



مثال **در شکل مقابل شکست جبهه‌های موج تخت الکترومغناطیسی را مشاهده می‌کنید:**

الف) n_2 بزرگ‌تر است یا n_1؟

ب) طول موج λ_2 و λ_1 را مقایسه کنید.



پاسخ الف) چون بخشی از جبهه‌های موج واردشده به محیط (۲) از نقاط دیگر روی جبهه عقب مانده‌اند، تندی موج در محیط (۲) کم‌تر است. پس:

$$n = \frac{c}{v} \Rightarrow c = nv \Rightarrow n_1 v_1 = n_2 v_2 \ , \ v_2 < v_1 \Rightarrow n_2 > n_1$$

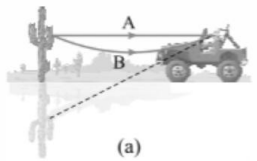
البته می‌توان با توجه به نزدیک‌شدن پرتو شکست به خط عمود نیز استدلال کرد که $n_1 < n_2$ است.

ب) با ورود پرتو از محیط (۱) به (۲) تندی آن کاهش می‌یابد، اما چون بسامد به منبع موج وابسته است، نه جنس محیط انتشار موج، بسامد آن تغییر نمی‌کند. پس می‌توان گفت که:

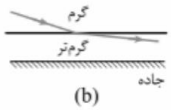
$$\left.\begin{array}{l} v = \lambda f \\ f_1 = f_2 \\ v_2 < v_1 \end{array}\right\} \Rightarrow \left.\frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right\} \Rightarrow \lambda_2 < \lambda_1$$

سراب

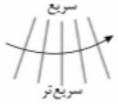
در روزهای تابستان دمای جاده به علت رنگ تیرهٔ آن افزایش می‌یابد، بنابراین هوای مجاور آن نیز داغ‌شده و غلظت آن کاهش می‌یابد. هر چه از سطح جاده دور می‌شویم غلظت هوا زیاد می‌شود، بنابراین نوری که از دور است و از ارتفاع بالا به سمت جاده حرکت می‌کند، وارد محیط رقیق‌تری شده و رفته‌رفته از خط عمود دور و سپس بازتاب می‌شود و این نور به چشم ناظری که درون اتومبیل است می‌رسد. چشم ناظر چون شکست نور را تشخیص نمی‌دهد، تصویر آسمان را در سطح جاده می‌بیند و تصور می‌کند که آب در سطح جاده وجود دارد. به این پدیده سراب گفته می‌شود:



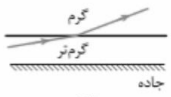
(a)



(b)



(c)



(d)

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

پاشندگی نور

ضریب شکست محیط‌های شفاف برای بسامدهای مختلف نور متفاوت است، به‌گونه‌ای که با افزایش بسامد، ضریب شکست محیط برای آن نیز افزایش می‌یابد. این موضوع سبب می‌شود که هنگام شکست نور سفید که شامل طیف‌های مختلفی است هر کدام از طیف‌ها به میزان متفاوتی دچار شکست شوند. به این پدیده پاشندگی نور گفته می‌شود.

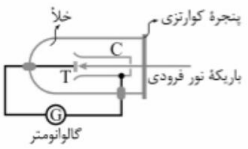
- در گسترهٔ نور مرئی **بیشترین** ضریب شکست یک محیط شفاف برای نور **بنفش** و **کم‌ترین** ضریب شکست برای نور **قرمز** است.
- اگر به کمک یک منشور بتوانیم نور را دو بار دچار شکست کنیم، به طوری که پاشندگی نور در هر شکست تشدید شود، نور سفید به هفت رنگ قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش تجزیه می‌شود.

فصل ۴
آشنایی با فیزیک اتمی و هسته‌ای

اثر فوتوالکتریک

اگر بر کلاهک برق‌نمایی که بار الکتریکی آن منفی است، نور با بسامد مناسب مثلاً فرابنفش بتابانیم، مشاهده می‌کنیم که تیغه‌های برق‌نما کم‌کم بسته می‌شوند؛ چرا که بر اثر تابش نور فرابنفش به سطح فلز، الکترون‌های آن از فلز کنده شده و گسیل می‌شوند. به این پدیدهٔ فیزیکی، پدیدهٔ **فوتوالکتریک** و به الکترون‌های کنده‌شده از سطح فلز **فوتوالکترون** گفته می‌شود.

ناتوانی فیزیک کلاسیک از توجیه پدیدهٔ فوتوالکتریک



اگر آزمایشی مطابق شکل روبه‌رو ترتیب داده و بر سطح فلز نور تک‌فام فرابنفش بتابانیم، الکترون‌ها از صفحهٔ فلزی T شکل گسیل شده و گالوانومتر در مدار جریانی را نشان می‌دهد. اما اگر نور فرودی مثلاً قرمز باشد، گالوانومتر جریانی را نشان نمی‌دهد.

افزایش شدت تابش نور قرمز نیز تأثیری در نتیجه ندارد و هم‌چنان گالوانومتر جریانی را نشان نمی‌دهد.

فیزیک کلاسیک پدیدهٔ فوتوالکتریک را این‌گونه توجیه می‌کند:

۱) میدان‌های موج الکترومغناطیس از رابطهٔ $\vec{F} = -e\vec{E}$ بر الکترون نیرو وارد کرده و آن را از سطح فلز جدا می‌کند. با توجه به این موضوع هر نوری با هر بسامدی می‌تواند از صفحهٔ فلزی الکترون جدا کند. در حالی‌که این‌گونه نبود.

۲) با افزایش شدت نور فرودی، از آن‌جایی که $I \propto E^2$ است، باید الکترون‌های کنده‌شده، انرژی جنبشی بیشتری داشته باشند. در حالی‌که افزایش شدت روی انرژی جنبشی فوتوالکترون‌های کنده‌شده تأثیری نداشت.

توجیه پدیدهٔ فوتوالکتریک

فوتون: پس از نزدیک به ۲۰ سال تلاش برای پدیدهٔ فوتوالکتریک اینشتین فرض کرد که نور مجموعه‌ای از بسته‌های انرژی به نام فوتون است. او فرض کرد که انرژی هر بسته متناسب با بسامد آن است و از رابطهٔ روبه‌رو به دست می‌آید:

$$E = hf$$

- در رابطهٔ بالا، h ثابت پلانک نامیده می‌شود و برابر است با: $h = 6/63 \times 10^{-34}\ J.s$

توجیه پدیدهٔ فوتوالکتریک به کمک فوتون: بنابر نظریهٔ اینشتین هر فوتون انرژی خود را فقط به یک الکترون می‌دهد و الکترون انرژی لازم را برای جداشدن از سطح فلز به دست می‌آورد. اگر بسامد فوتون از حدی پایین‌تر باشد، انرژی آن برای جداشدن الکترون از سطح فلز کافی نبوده و پدیدهٔ فوتوالکتریک رخ نمی‌دهد. اما اگر بسامد نور فرودی مناسب باشد و بتواند انرژی لازم برای کنده‌شدن الکترون را فراهم کند، حتی با شدت کم نیز این پدیده رخ می‌دهد.

الکترون‌ولت: الکترون‌ولت یکای اندازه‌گیری انرژی است و از رابطهٔ $\Delta U = q\Delta V$ معادل اندازهٔ تغییر انرژی پتانسیل الکتریکی یک الکترون بر اثر جابه‌جایی بین دو نقطه با اختلاف پتانسیل یک ولت است.

یک الکترون‌ولت معادل $1\ eV = 1/6 \times 10^{-19}\ J$ است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

نکته ثابت پلانک برحسب الکترون‌ولت ثانیه تقریباً برابر $۴/۱۴\times۱۰^{-۱۵}\ eV.s$ است.

نکته اگر در مسئله طول موج نور فرودی داده شود، E را می‌توان به صورت $E=\frac{hc}{\lambda}$ نوشت. اگر λ برحسب (nm) و h برحسب $eV.s$ باشد، $hc=۱۲۴۰\ eV.nm$ است (این عدد را حتماً به خاطر بسپارید).

مثال **در آزمایش فوتوالکتریک توسط یک لامپ ۲۰۰ W با بازده ۴۰٪ نور تکفامی با طول موج ۱۵۵ nm بر ورقهٔ آهنی می‌تابانیم.**

الف) انرژی هر فوتون را برحسب الکترون‌ولت به دست آورید.

ب) در هر ثانیه چند فوتون توسط لامپ گسیل می‌شود؟

پاسخ الف) چون طول موج فرودی برحسب نانومتر داده شده است، پس:

$$E=hf \Rightarrow E=\frac{hc}{\lambda}=\frac{۱۲۴۰\ nm.eV}{۱۵۵\ nm}=۸\ eV$$

ب) با توجه به این‌که بازده لامپ ۴۰٪ است، پس انرژی گسیل‌شده به صورت فوتون را در هر ثانیه محاسبه می‌کنیم:

$$Ra=\frac{P_{out}}{P_{in}} \Rightarrow \frac{۴}{۱۰}=\frac{P_{out}}{۲۰۰} \Rightarrow P_{out}=۸۰\ W$$

$$E=P.t \Rightarrow E=(۸۰\ W)(۱\ s)=۸۰\ J$$

حالا از رابطهٔ $E=nhf$ تعداد فوتون‌های گسیل‌شده را به دست می‌آوریم:

$$E=nhf=n\frac{hc}{\lambda}$$

$$\Rightarrow (۸۰\ J)(\frac{۱\ eV}{۱/۶\times۱۰^{-۱۹}\ J})=n(۸\ eV) \Rightarrow n=۶/۲۵\times۱۰^{۱۹}$$

طیف خطی

تابش گرمایی

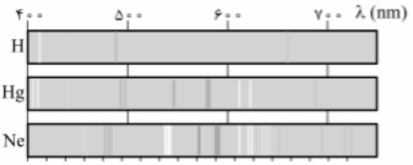
همهٔ اجسام در هر دمایی از خود امواج الکترومغناطیس گسیل می‌کنند که به آن **تابش گرمایی** گفته می‌شود.

طیف پیوسته: اگر یک جسم جامد (متراکم) را گرم کنیم تا دمای آن به حدی برسد که گداخته شود، در هر دمایی از خود امواج الکترومغناطیسی گسیل می‌کند. اجسام جامد در حالت گداخته گسترهٔ پیوسته‌ای از طول موج‌هایی را از خود گسیل می‌کنند که به آن‌ها طیف گسیلی پیوسته یا به اختصار طیف پیوسته گفته می‌شود.

طیف خطی: اگر گاز بسیار رقیقی را که فشار کمی دارد، گداخته کنیم، طیفی که گسیل می‌کند پیوسته نیست. این طیف شامل تعدای طول موج معین و گسسته است که به آن طیف **گسیلی خطی** یا به اختصار **طیف خطی** گفته می‌شود.

نکته۱ علت گسسته‌بودن طول موج‌ها عدم وجود برهم‌کنش‌های قوی بین اتم‌های گاز رقیق و کم‌فشار است.

نکته۲ نقش طیف خطی اتم‌های هر گاز منحصربه‌فرد است و از آن برای شناسایی گاز موجود در یک محیط استفاده می‌کنند. در شکل‌های زیر طیف خطی گازهای هیدروژن، نئون و جیوه را مشاهده می‌کنید.



معادلهٔ بالمر

بالمر برای توجیه طیف خطی اتم هیدروژن اتمی، معادله‌ای را پیشنهاد کرد که در آن طول موج‌های طیف خطی هیدروژن را که در گسترهٔ نور مرئی قرار داشت، به دست می‌آورد:

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

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

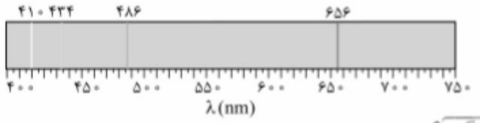
- در این معادله n، همواره عددی صحیح و بزرگ‌تر مساوی ۳ بود $(n \geq 3)$.
- برای nهای متفاوت:

$n = 3 \Rightarrow \lambda_1 = 656/2\ nm$ (خط قرمز)

$n = 4 \Rightarrow \lambda_2 = 486/08\ nm$ (خط آبی)

$n = 5 \Rightarrow \lambda_3 = 434\ nm$ (خط نیلی)

$n = 6 \Rightarrow \lambda_4 = 410/13\ nm$ (خط بنفش)



معادلهٔ ریدبرگ

ریدبرگ معادله‌ای را به دست آورد که علاوه بر طیف خطی نور مرئی اتم هیدروژن، طیف‌های دیگری را که در ناحیهٔ فرابنفش و فروسرخ نیز هستند، تعیین می‌کرد:

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

- در این معادله R ثابت ریدبرگ و برابر $R = 0/01097\ (nm)^{-1}$ است که برای سادگی در محاسبه آن را $0/011\ (nm)^{-1}$ یا $0/01\ (nm)^{-1}$ در نظر می‌گیریم.
- n' عدد صحیح مثبت $(n' \geq 1)$.
- n عدد صحیح مثبت و $n > n'$.

رشته‌خط‌های طیف گسیلی هیدروژن اتمی:

نام طیف	تاریخ کشف	مقدار n'	رابطهٔ ریدبرگ مربوط به رشته	مقدارهای n	ناحیهٔ طیف
لیمان	۱۹۰۶ - ۱۹۱۴	۱	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	۲,۳,۴,...	فرابنفش
بالمر	۱۸۸۵	۲	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	۳,۴,۵,...	فرابنفش و مرئی
پاشن	۱۹۰۸	۳	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	۴,۵,۶,...	فروسرخ
براکت	۱۹۲۲	۴	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	۵,۶,۷,...	فروسرخ
پفوند	۱۹۲۴	۵	$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2}\right)$	۶,۷,۸,...	فروسرخ

نکته۱ بلندترین طول موج (کم‌ترین بسامد) به ازای $n = n' + 1$ رخ می‌دهد.

نکته۲ کوتاه‌ترین طول موج (بیشترین بسامد) به ازای $n = \infty$ رخ می‌دهد.

مثال: بلندترین و کوتاه‌ترین طول موج در رشتهٔ پاشن $(n' = 3)$ را به دست آورید. $(R = 0/011\ (nm)^{-1})$

پاسخ: به ازای $n = 4$ بلندترین و $n = \infty$ کوتاه‌ترین طول موج این رشته را می‌توانیم به دست آوریم:

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

$$\frac{1}{\lambda_{max}} = 0/011\ (nm)^{-1} \times \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}\right) \Rightarrow \lambda_{max} = 1870\ nm$$

$$\frac{1}{\lambda_{min}} = 0/011\ (nm)^{-1} \times \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty}\right) \Rightarrow \lambda_{min} = 818\ nm$$

مدل اتمی رادرفورد ـ بور

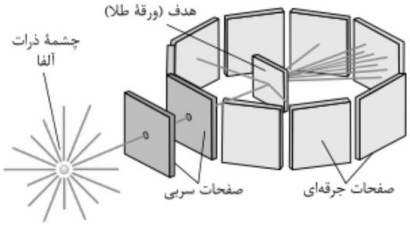
مدل اتمی تامسون

در این مدل تامسون فرض کرد که بار مثبت به صورت یکنواخت در کل اتم پخش شده است و الکترون‌ها در آن به صورت پراکنده در این بار مثبت پخش شده‌اند. مانند یک کیک کشمشی که کشمش‌ها (الکترون‌ها) درون کیک پخش شده‌اند:

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

آزمایش رادرفورد

رادرفورد در آزمایشی که با بمباران یک ورقهٔ نازک طلا توسط ذرات سنگین α انجام داد، مشاهده کرد که تعداد زیادی از ذرات α بدون انحراف و یا انحراف کم از ورقه رد شده‌اند، اما تعداد کمی از ذرات α دچار انحراف زیادی شده بودند که این موضوع با مدل اتمی تامسون هم‌خوانی نداشت:

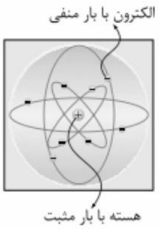


نتایج آزمایش رادرفورد:

۱) بیشتر فضای اتم خالی است.

۲) در مرکز هر اتم هستهٔ بسیار چگالی با بار مثبت وجود دارد.

مدل اتمی رادرفورد



براساس نتایج به دست آمده از آزمایش، رادرفورد مدلی را برای اتم پیشنهاد کرد که در آن اتم دارای یک هستهٔ بسیار چگال و کوچک ($۱۰^{-۱۵}$ m) و دارای بار الکتریکی مثبت است که الکترون‌ها در فاصلهٔ نسبتاً دوری از هسته قرار دارند.

ناکامی‌های مدل اتمی رادرفورد:

۱) اگر الکترون‌ها ساکن باشند، باید بر اثر جاذبهٔ کولنی بر روی هسته سقوط کنند.

۲) اگر الکترون در حال چرخش به دور هسته باشد، به علت شتابدار بودن باید از خود موج الکترومغناطیس گسیل کند. در این صورت بر اثر از دست دادن انرژی به طور پیوسته شعاع حرکت آن کوچک‌تر و بسامد آن افزایش می‌یابد و در نهایت بر روی هسته سقوط می‌کند که این موضوع با نتایج آزمایش‌ها و خطی‌بودن طیف گسیلی در تناقض بود.

مدل اتمی بور

مدل اتمی بور برای برطرف‌شدن مشکلات مدل اتمی رادرفورد اصول متفاوتی را نسبت به فیزیک کلاسیک فرض کرد.

اصول مدل اتمی بور:

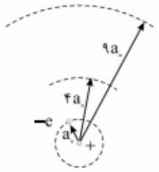
۱) مدارها و انرژی‌های الکترون‌ها در هر اتم کوانتیده‌اند؛ یعنی فقط مدارها و انرژی‌های گسستهٔ معینی مجاز هستند که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$r_n = a_0 n^2 \qquad n = 1, 2, \ldots$$

a_0 شعاع کوچک‌ترین مدار به ازای $n = 1$ است. به $a_0 = 0/529 \times 10^{-10}$ m، شعاع بور گفته می‌شود.

$$E_n = \frac{-13/6\ eV}{n^2}$$:انرژی مجاز در هر تراز

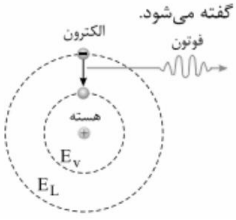
در روابط بالا n عدد کوانتومی نامیده می‌شود.



به ازای $n = 1$، $E_1 = -13/6\ eV$ است که به **اندازهٔ** آن یک ریدبرگ گفته می‌شود:

$$E_R = 13/6\ eV$$

۲) وقتی یک الکترون در یکی از مدارهای مجاز است، هیچ نوع تابش الکترومغناطیسی گسیل نمی‌شود. بنابراین به این مدارها، مدارهای مانا گفته می‌شود.



۳) اگر الکترون از یک مدار مانا با انرژی بیشتر (E_U) به مدار مانای دیگری با انرژی کم‌تر (E_L) برود، فوتونی تابش می‌کند که انرژی آن برابر با اختلاف انرژی بین دو مدار است:

$$hf = E_U - E_L$$

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

مثال الکترونی در مداری به شعاع $۰/۴۷۶۱\,nm$ به دور هستهٔ اتم هیدروژن قرار دارد.
الف) انرژی الکترون در این مدار چند الکترون‌ولت است؟
ب) اگر الکترون به یک مدار پایین‌تر جهش کند، فوتونی گسیل می‌کند، طول موج این فوتون چند نانومتر است؟ $(a_۰ = ۵/۲۹\times۱۰^{-۱۱}\,m)$

پاسخ الف) ابتدا به کمک $r_n = a_۰n^۲$، عدد کوانتومی n را به دست می‌آوریم:

$$\left.\begin{matrix} r_n = a_۰n^۲ \\ a_۰ = ۵/۲۹\times۱۰^{-۱۱}\,m \end{matrix}\right\} \Rightarrow ۰/۴۷۶۱\times۱۰^{-۹} = ۵/۲۹\times۱۰^{-۱۱}n^۲$$

$$\Rightarrow n^۲ = ۹ \Rightarrow n = ۳$$

حالا انرژی الکترون را در این مدار به دست می‌آوریم:

$$E_n = \frac{-۱۳/۶\,eV}{n^۲} \Rightarrow E_n = \frac{-۱۳/۶\,eV}{۹} = -۱/۵۱\,eV$$

ب) الکترون از تراز $n=۳$ به تراز $n=۲$ رفته است، انرژی آن را در این مدار محاسبه می‌کنیم:

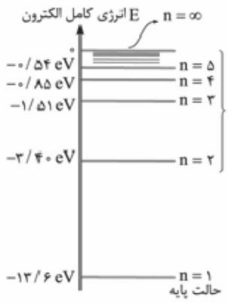
$$E_n = \frac{-۱۳/۶\,eV}{۴} = -۳/۴\,eV$$

حالا اختلاف انرژی را محاسبه می‌کنیم:

$$hf = E_۳ - E_۲ = -۱/۵۱\,eV - (-۳/۴\,eV) = ۱/۸۹\,eV$$

$$E_۳ - E_۲ = hf = \frac{hc}{\lambda} \Rightarrow \lambda = \frac{hc}{۱/۸۹\,eV} = \frac{۱۲۴۰\,eV.nm}{۱/۸۹\,eV} = ۶۵۶\,nm$$

نمودار ترازهای انرژی الکترون برای اتم هیدروژن

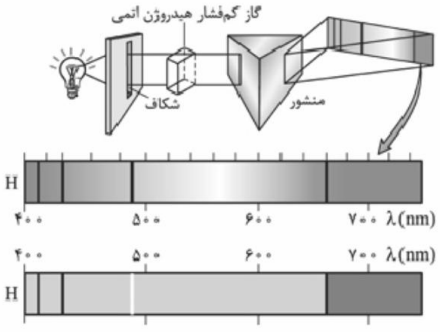


اگر از $n=۱$ تا $n=\infty$ را در معادلهٔ $E_n = -\frac{۱۳/۶\,eV}{n^۲}$ قرار دهیم، ترازهای انرژی مربوط به اتم هیدروژن به دست می‌آید که می‌توان مطابق نمودار روبه‌رو آن‌ها را نمایش داد:

- به پایین‌ترین تراز انرژی به ازای $n=۱$، حالت پایه گفته می‌شود.
- به ترازهای بالاتر حالت‌های برانگیخته گفته می‌شود.
- با افزایش n، ترازهای انرژی به هم نزدیک می‌شوند.
- چون انرژی آخرین تراز $(n=\infty)$ صفر و انرژی تراز پایه $-۱۳/۶\,eV$ است، می‌توان نتیجه گرفت که با صرف $۱۳/۶\,eV$ انرژی اتم هیدروژن یونیده شده که به آن انرژی یونش الکترون گفته می‌شود.

طیف جذبی گاز هیدروژن اتمی و مدل بور

مطابق شکل زیر، از محفظه‌ای که دارای گاز کم‌فشار هیدروژن اتمی است، نور سفیدی را عبور می‌دهیم. می‌بینیم که در طیف گسیلی پیوسته که به کمک منشور بر روی صفحه تشکیل شده، خط‌های تاریکی وجود دارد که نشان می‌دهد گاز هیدروژن اتمی آن‌ها را جذب کرده است. به این خط‌ها، طیف جذبی هیدروژن اتمی گفته می‌شود.



فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

نکات:

۱) اتم‌های هر گاز دقیقاً همان طول موج‌هایی را از نور سفید جذب می‌کنند که اگر دمای آن‌ها به اندازهٔ کافی بالا برود و یا به هر صورت دیگری برانگیخته شوند، همان طول موج‌ها را تابش می‌کند.

۲) طبق مدل اتمی بور اگر الکترونی، فوتونی را جذب کند و به تراز بالاتر برود هنگام برگشت به همان تراز، همان فوتون را تابش می‌کند.

۳) طیف گسیلی و طیف جذبی هیچ دو گازی همانند یکدیگر نیست.

موفقیت‌ها و نارسایی‌های مدل اتمی بور

موفقیت‌ها:

۱) تبیین پایداری اتم

۲) توضیح درست طیف گسیلی و جذبی گاز هیدروژن اتمی

۳) محاسبهٔ انرژی یونش اتم هیدروژن

۴) به کار بردن این نتایج برای اتم‌های هیدروژن‌گونه مانند Li^{2+}

نارسایی‌های مدل اتمی بور:

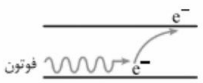
۱) نمی‌توان آن را برای اتم‌هایی که بیش از یک الکترون دارند به کار برد.

۲) تفاوت شدت نور خط‌های طیف گسیلی را نمی‌تواند توضیح دهد.

لیزر

لیزرها کاربردهای بسیار زیادی در زندگی روزمرهٔ ما دارند. از قبیل دستگاه‌های بازخوانی اطلاعات از روی لوح‌های فشرده، چاپگرها، کابل نوری در شبکه‌های مخابرات، دستگاه‌های برش فلزات و ... برای آشنایی با اساس کار لیزر باید با برهم‌کنش‌های زیر آشنا شوید.

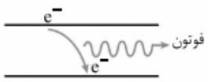
۱- برهم‌کنش جذب: اگر فوتونی با انرژی مناسب به یک الکترون بتابد، الکترون از حالت پایه به حالت برانگیخته می‌رود و داریم:



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

* علامت برانگیخته است.

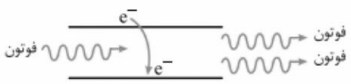
۲- برهم‌کنش گسیل خودبه‌خودی: الکترونی که به حالت برانگیخته رفته است، می‌تواند به حالت پایه بازگردد و انرژی خود را به صورت فوتون گسیل کند. در این حالت داریم:



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

۳- برهم‌کنش گسیل القایی: اگر به یک اتم برانگیخته یک فوتون با انرژی مناسب تابانده شود، دو فوتون هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌انرژی از اتم گسیل می‌شوند و اتم به حالت پایه می‌رسد و داریم:

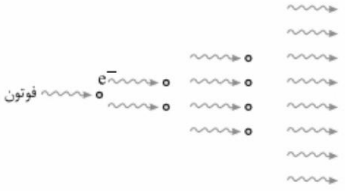
$$\text{۲ فوتون} + \text{اتم} \rightarrow {}^{*}\text{اتم} + \text{فوتون}$$



نکته: گسیل القایی اساس کار لیزر است.

ایجاد باریکهٔ لیزر

برای ایجاد لیزر به مجموعه‌ای از اتم‌های یکسان که همگی در یک حالت برانگیخته‌اند، فوتونی با انرژی مناسب تابانده می‌شود. با برخورد این فوتون با اتم اول دو فوتون آزاد می‌شود و این واکنش ادامه می‌یابد تا در نهایت باریکه‌ای از فوتون‌های هم‌جهت، هم‌فاز و هم‌انرژی ایجاد شود که به آن باریکهٔ لیزری می‌گوییم.



ترازهای شبه‌پایدار: ترازهایی هستند که الکترون‌های برانگیخته در این ترازها مدت‌زمان بسیار طولانی‌تری نسبت به حالت برانگیختهٔ معمولی باقی می‌مانند.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

وارونی جمعیت:

اگر در وضعیتی تعداد الکترون‌ها در ترازهایی به نام ترازهای شبه‌پایدار نسبت به تراز پایین‌تر بسیار بیشتر باشد، وارونی جمعیت رخ داده است. این موضوع باعث وارونی جمعیت و در نتیجه تقویت نور لیزر می‌شود:

وارونی جمعیت زمانی رخ می‌دهد که انرژی کافی به اتم‌ها داده شود تا الکترون‌های بیشتری به تراز بالاتر بروند. این انرژی می‌تواند به روش‌های متعددی از جمله درخش‌های شدید نور معمولی و یا تخلیه‌های ولتاژ بالا فراهم شود.

ساختار هسته

تلاش‌های هنری بکرل در کشف پرتوزایی طبیعی (رادیواکتیو) سرآغازی برای مسیر کشف هستهٔ اتم و ساختار آن بود. هستهٔ اتم از نوترون‌ها و پروتون‌ها تشکیل شده است. **به طور کلی به نوترون‌ها و پروتون‌ها، نوکلئون گفته می‌شود.**

برخی ویژگی‌های فیزیکی ذرات تشکیل‌دهندهٔ اتم را در جدول زیر می‌بینید:

ذره	بار الکتریکی (C)	جرم	
		کیلوگرم (kg)	یکای جرم اتمی (u)[1]
الکترون	$-1/6\times10^{-19}$	$9/109389\times10^{-31}$	$5/4858\times10^{-4}$
پروتون	$+1/6\times10^{-19}$	$1/672622\times10^{-27}$	$1/00727$۶
نوترون	۰	$1/674929\times10^{-27}$	$1/008664$

عدد اتمی (Z): به تعداد پروتون‌های هسته، عدد اتمی (Z) گفته می‌شود که در اتم خنثی برابر با تعداد الکترون‌ها است.

عدد جرمی (A): به‌جز هستهٔ هیدروژن، هستهٔ بقیهٔ عناصر از پروتون و نوترون تشکیل شده است. عدد جرمی مجموع تعداد پروتون‌ها و نوترون‌های هسته است. اگر تعداد نوترون‌ها را با N نمایش دهیم:

$$A = Z + N$$

نمایش هستهٔ یک عنصر شیمیایی به صورت زیر است:

$${}^{\text{عدد جرمی}\leftarrow A}_{\text{عدد اتمی}\leftarrow Z}X_{N\rightarrow\text{عدد نوترونی}}$$

در نمایش بالا نوشتن N ضروری نیست و اگر نام عنصر مشخص باشد، نوشتن Z نیز ضروری نیست.

نمونه: ${}^{16}_{8}O$ را می‌توانیم به صورت ${}^{16}O$ بنویسیم.

مثال: **در نمایش هستهٔ عناصر زیر جاهای خالی را پر کنید.**

الف) ${}^{64}_{30}Zn_{\dots}$ ب) ${}^{\dots}_{20}Ca_{22}$

پاسخ: الف) در عنصر ${}^{64}_{30}Zn_{\dots}$، $A = 64$ و $Z = 30$ است، پس:

$$A = Z + N \Rightarrow N = 64 - 30 = 34$$

بنابراین: ${}^{64}_{30}Zn_{34}$

ب) در عنصر ${}^{\dots}_{20}Ca_{22}$، A مجهول است: $A = Z + N = 20 + 22 = 42$

بنابراین: ${}^{42}_{20}Ca_{22}$

ایزوتوپ‌ها

به عناصری که عدد اتمی یکسان اما عدد جرمی متفاوتی دارند ایزوتوپ (هم‌مکان) گفته می‌شود. مانند کربن۱۲ که دارای ۶ پروتون و ۶ نوترون و کربن۱۳ که دارای ۶ پروتون و ۷ نوترون است: ${}^{12}C$ و ${}^{13}C$ ایزوتوپ‌های عنصر کربن هستند.

۱- (u) یکای جرم اتمی است که برابر با $\frac{1}{12}$ جرم اتم کربن ۱۲ است. بنابراین تعریف جرم اتم کربن ۱۲u است.

فیزیک به سبک سورچی
@Physics_sourchi
09033787021

دکتر محمد جواد سورچی

_رتبه **506** تجربی

_درصد **100** فیزیک کنکور

_**طراح** سوال آزمون های آزمایشی

_**مدرس** فیزیک آموزشگاه ها و مدارس برتر

دریافت جزوات وآموزش رایگان

مبحث دلخواه ارسال کلمه(جزوه) به

09033787021