فهرست

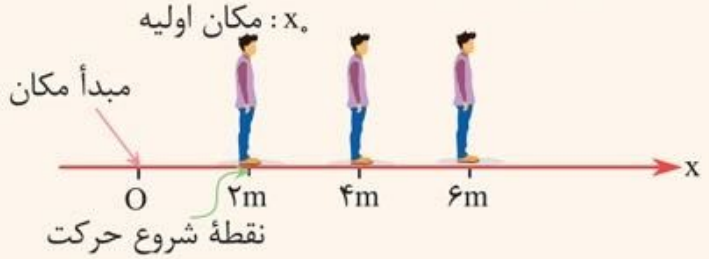
لقمهٔ اول مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

مفاهیم اولیهٔ حرکت

مبدأ مکان: نقطهٔ $x = ۰$ روی محور x، که به آن **مبدأ مکان** یا **مبدأ** گفته می‌شود.

مکان اولیه ($x_۰$): به مکان جسم در لحظهٔ $t_۰ = ۰s$ (مبدأ زمان)، مکان اولیه می‌گویند.

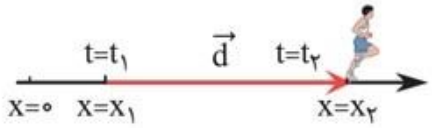
تذکر: هیچ‌گاه مبدأ مکان را با مکان اولیهٔ متحرک اشتباه نگیرید. (ممکن است گاهی این اتفاق بیفتد اما لزوماً این‌گونه نیست)



بردار مکان: برداری است که مبدأ مکان را به مکان جسم در هر لحظه متصل می‌کند.

بردار مکان در لحظهٔ $t_۱$ — بردار مکان در لحظهٔ $t_۲$

بردار جابه‌جایی ($\vec{d}$): پاره‌خط جهت‌داری است که مکان آغازین حرکت را به مکان پایانی حرکت وصل می‌کند.



بردار جابجایی در لحظهٔ $t_۱$ و $t_۲$

$$\vec{d} = \vec{d}_۲ - \vec{d}_۱ \xrightarrow[\vec{d}_۱ = x_۱\vec{i}]{\vec{d}_۲ = x_۲\vec{i}} \vec{d} = x_۲\vec{i} - x_۱\vec{i}$$

$$= (x_۲ - x_۱)\vec{i} = \Delta x\,\vec{i}$$

تذکر: در این فصل چون فقط حرکت در یک بُعد را بررسی می‌کنیم، $\vec{i}$ را کنار می‌گذاریم و جابه‌جایی را به‌صورت $d = \Delta x$ می‌نویسیم و چون روی خط راست دو جهت ممکن است وجود داشته باشد، در این‌صورت برای هر جابه‌جایی دو حالت زیر را داریم:

حالت ۱: $\xrightarrow[\Delta x > ۰]{\text{جابه‌جایی در جهت مثبت محور } x}$

حالت ۲: $\xleftarrow[\Delta x < ۰]{\text{جابه‌جایی در خلاف جهت محور } x}$

مسافت (ℓ): طول مسیر پیموده‌شده توسط متحرک را **مسافت** می‌نامند. دقت کنید که مطابق شکل مقابل، مسافت پیموده‌شده به مسیر حرکت بستگی دارد، درحالی‌که جابه‌جایی فقط به نقطهٔ ابتدایی و انتهایی حرکت وابسته است.

همچنین دو نکتهٔ زیر را هم به‌خاطر داشته باشید:

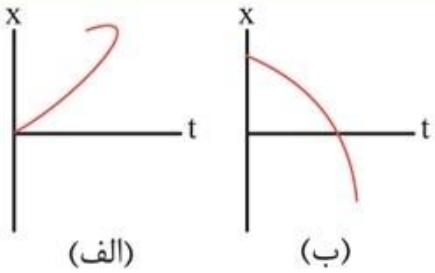
۱ جابه‌جایی کمیتی برداری و مسافت کمیتی نرده‌ای است.

۲ همواره داریم: مسافت طی‌شده $\geq$ اندازهٔ جابه‌جایی

تذکر: تنها درصورتی که متحرک در یک بازهٔ زمانی روی خط راست حرکت کند و تغییر جهت ندهد، مسافت طی‌شده در آن بازه با اندازهٔ جابه‌جایی برابر است.

۴ اگر مکان ثانویه بالاتر از مکان اولیه باشد جابه‌جایی مثبت و اگر مکان ثانویه پایین‌تر از مکان اولیه باشد، جابه‌جایی منفی است.

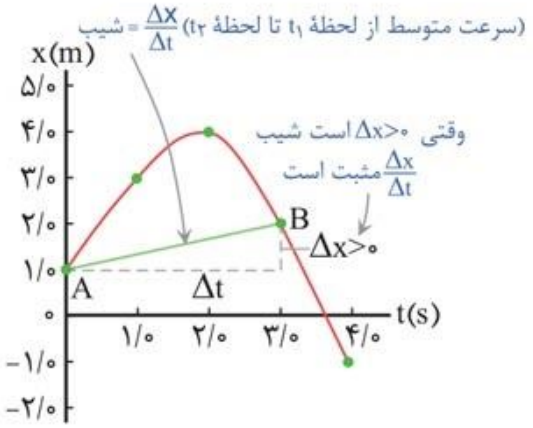
مثال ۴: با توجه به شکل مقابل، توضیح دهید کدام‌یک از نمودارهای مکان ـ زمان (الف) یا (ب) می‌تواند نشان‌دهندهٔ نمودار مکان ـ زمان متحرک باشد؟ (تجربی ـ شهریور ۹۸)



■ **پاسخ:** نمودار (ب)؛ در برخی نقاط نمودار (الف)، متحرک در یک لحظه در دو مکان است که این امکان‌پذیر نیست!

تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان ـ زمان

مطابق شکل، سرعت متوسط متحرک بین دو لحظهٔ دلخواه، برابر شیب خطی است که نمودار مکان ـ زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. مثلاً سرعت متوسط بین $t_1 = ۰s$ و $t_2 = ۳s$ برابر است با شیب خط AB ؛ بنابراین داریم:



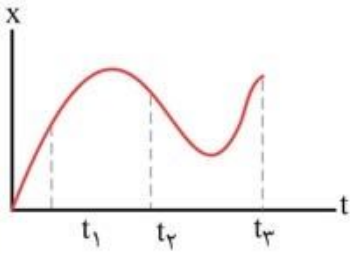
$$v_{av} = \text{شیب خط واصل بین دو نقطه} = \frac{۲-۱}{۳-۰} = \frac{۱}{۳}\ m/s$$

در مورد علامت سرعت متوسط از روی نمودار $x-t$ به‌جدول زیر توجه کنید:

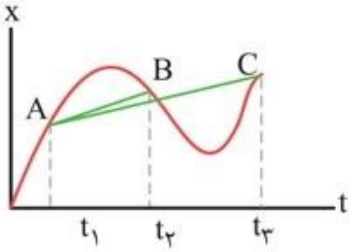
شیب خط	علامت v_{av}
مثبت	$+$: سرعت متوسط در جهت محور x
منفی	$-$: سرعت متوسط در خلاف جهت محور x

نکته: اگر شیب نمودار مکان ـ زمان یک متحرک در طول حرکت ثابت باشد، سرعت متوسط در هر بازهٔ زمانیِ دلخواه یکسان است.

مثال ۵: نمودار مکان ـ زمان متحرکی که بر روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل مقابل است. سرعت متوسط این متحرک را در بازه‌های زمانی t_1 تا t_2 و t_1 تا t_3 با هم مقایسه کنید.



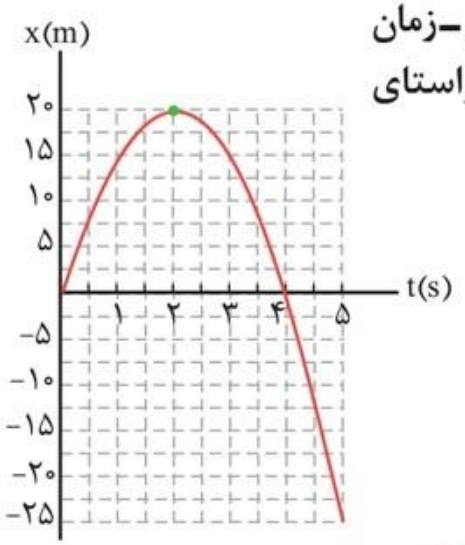
پاسخ:



شیب خط AB > شیب خط AC

$\Rightarrow v_{av_{t_1 \text{ تا } t_2}} > v_{av_{t_1 \text{ تا } t_3}}$

مثال ۶: شکل مقابل نمودار مکان ـ زمان خودرویی را نشان می‌دهد که در راستای خط راست حرکت می‌کند.



الف) سرعت و تندی متوسط را در بازهٔ زمانی $t_1 = 1s$ تا $t_3 = 3s$ پیدا کنید.

ب) سرعت متوسط و جهت آن را در بازهٔ زمانی $t_1 = 1s$ تا $t_5 = 5s$ به‌دست آورید.

■ **پاسخ:** الف)

$$\left.\begin{array}{l} t_۱=۱s \Rightarrow x_۱=۱۵m \\ t_۳=۳s \Rightarrow x_۳=۱۵m \end{array}\right\} \Rightarrow \Delta x=۰ \Rightarrow v_{av}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=۰\,m/s$$

$$\ell=|۲۰-۱۵|+|۱۵-۲۰|=۱۰m$$

$$\Rightarrow s_{av}=\frac{\ell}{\Delta t}=\frac{۱۰}{۳-۱}=۵m/s$$

تذکر: در محاسبهٔ مسافت دقت کنید که متحرک در لحظهٔ $t_۲=۲s$ تغییر جهت داده است.

ب)

$$\left.\begin{array}{l} t_۱=۱s \Rightarrow x_۱=۱۵m \\ t_۵=۵s \Rightarrow x_۵=-۲۵m \end{array}\right\} \Rightarrow v_{av}=\frac{x_۵-x_۱}{t_۵-t_۱}$$

$$=\frac{-۲۵-۱۵}{۵-۱}=-۱۰m/s \xrightarrow{v_{av}<۰} \text{در خلاف جهت محور } x$$

تندی و سرعت لحظه‌ای

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

نکته‌ها:
۱ عقربهٔ تندی‌سنج خودرو، تندی لحظه‌ای را نشان می‌دهد و هیچ گونه اطلاعی در خصوص جهت حرکت خودرو به ما نمی‌دهد.
۲ منظور از سرعت و تندی، همان سرعت و تندی لحظه‌ای است.
۳ هرگاه متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند، $v>۰$ و هرگاه در خلاف جهت محور x حرکت کند، $v<۰$ است. دقت کنید که تندی، یک کمیت نرده‌ای و همواره مثبت است.

لقمهٔ دوم تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها

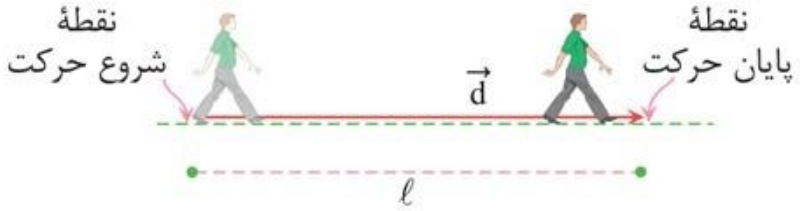
پرسش ۱-۱

۱. شکل (الف) شخصی را در حال پیاده‌روی در راستای خط راست و بدون تغییر جهت، از مکان ۱ به مکان ۲ نشان می‌دهد. مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازهٔ بردار جابه‌جایی را با مسافت مقایسه کنید.

۲. شخص پس از رسیدن به مکان ۲، برمی‌گردد و روی همان مسیر به مکان ۳ می‌رود (شکل ب). مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی شخص را روی شکل مشخص و اندازهٔ بردار جابه‌جایی را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.

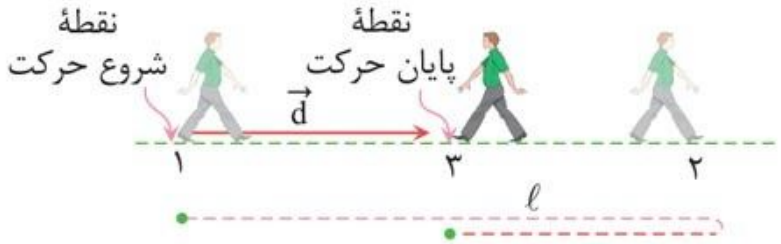
۳. شکل (پ) مسیر حرکت ماه به دور زمین را نشان می‌دهد. وقتی ماه در جهت نشان داده شده در شکل، از مکان ۱ به مکان ۲ می‌رود، مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی آن را روی شکل مشخص و اندازهٔ بردار جابه‌جایی آن را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.

■ **پاسخ:** ۱) چون متحرک روی خط راست و در یک جهت ثابت حرکت کرده است (تغییر جهت نداده است)، مسافت و اندازهٔ جابه‌جایی برابرند.



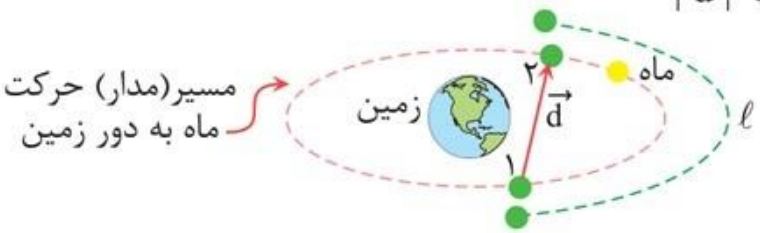
(الف)

۲) به این دلیل که متحرک تغییر جهت داده است، مسافت و جابه‌جایی برابر نیستند و مسافت طی‌شده بیشتر از اندازهٔ جابه‌جایی است. $|\vec{d}| < \ell$



(ب)

۳) به علت تغییر جهت، اندازهٔ جابه‌جایی کوچک‌تر از مسافت طی‌شده است: $|\vec{d}| < \ell$



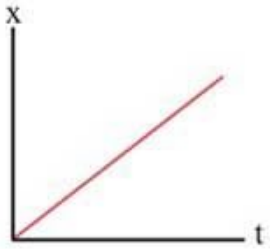
پرسش ۱-۲

در چه صورت اندازهٔ سرعت متوسط یک متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟ برای پاسخ خود می توانید به شکل های پرسش ۱-۱ نیز توجه کنید.

■ **پاسخ:** اگر متحرک در یک بازهٔ زمانی روی خط راست و در یک جهت ثابت حرکت کند، در آن بازهٔ زمانی، تندی متوسط با اندازهٔ سرعت متوسط برابر است.

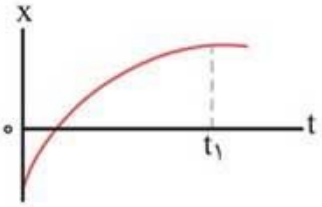
پرسش ۱-۴

از روی نمودار مکان ـ زمان توضیح دهید در چه صورت سرعت لحظه‌ای متحرک همواره با سرعت متوسط آن برابر است.



■ **پاسخ:** اگر شیب نمودار مکان ـ زمان یک متحرک مطابق شکل در طول حرکت ثابت باشد، سرعت متوسط در هر بازهٔ زمانی دلخواه یکسان و برابر سرعت متحرک در هر لحظهٔ دلخواه است.

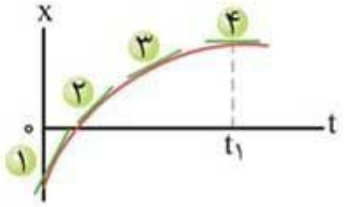
پرسش ۱-۵



شکل مقابل نمودار مکان ـ زمان متحرکی را نشان می‌دهد که در امتداد محور x در حرکت است.

الف) از لحظهٔ صفر تا لحظهٔ t_1 سرعت متحرک رو به افزایش است یا کاهش؟

ب) اگر در لحظهٔ t_1 خط مماس بر منحنی موازی محور زمان باشد، سرعت متحرک در این لحظه چقدر است؟



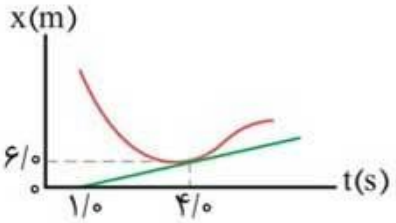
■ **پاسخ:** الف) چون شیب خط مماس بر نمودار مکان ـ زمان که نشان‌دهندهٔ سرعت متحرک است کاهش می‌یابد، بنابراین سرعت متحرک نیز رو به کاهش است.

شیب خط ۴ < شیب خط ۳ < شیب خط ۲ < شیب خط ۱

⇒ سرعت در حال کاهش است

ب) خط مماس بر منحنی در لحظهٔ t_1 موازی محور زمان است، بنابراین شیب آن برابر صفر و سرعت متحرک در این لحظه صفر است.

تمرین ۱-۳



شکل مقابل نمودار مکان ـ زمان متحرکی را نشان می‌دهد. خط مماس بر منحنی در لحظهٔ $t = ۴/۰s$ رسم شده است. سرعت متحرک را در این لحظه پیدا کنید.

لقمهٔ اول مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

نیرو

وقتی جسمی را می‌کشیم یا هُل می‌دهیم، به آن نیرو وارد می‌کنیم. در واقع، نیرو حاصل برهم‌کُنش یا اثر متقابل دو جسم بر یکدیگر است.

نکته‌ها: ۱ نیرو کمیتی برداری است که آن را با $\vec{F}$ نشان می‌دهند. بنابراین علاوه بر اندازه، جهت نیز دارد.

هنگام وارد کردن نیرو به توپ باید جهت و اندازهٔ نیروی وارد بر توپ به گونه‌ای باشد که توپ به مکان موردنظر بازیکن برخورد کند.

۲ یکای نیرو در SI، $kg \cdot m / s^2$ است که به آن نیوتون (N) می‌گویند و آن را به کمک نیروسنج اندازه می‌گیرند.

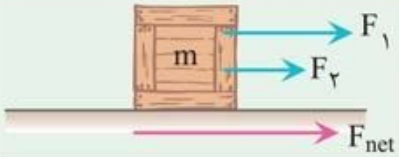
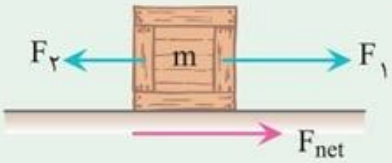
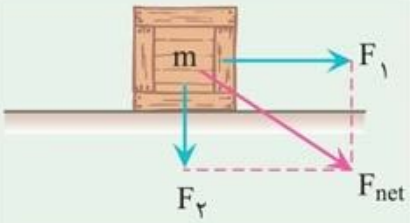
۳ تأثیر نیرو بر یک جسم می‌تواند شکل‌های متفاوتی داشته باشد، مانند به‌حرکت درآوردن، متوقف کردن، کاهش یا افزایش اندازهٔ سرعت، تغییر جهت یا تغییر شکل و... .

قوانین حرکت نیوتون

ارتباط بین نیروها، چگونگی حرکت جسم و ارتباط بین نیروهایی که دو جسم به یکدیگر وارد می‌کنند با سه قانون بیان می‌شود که نقطهٔ مشترک همهٔ قوانین مفهوم نیروی خالص (F_{net}) است. بنابراین ابتدا از نیروی خالص صحبت می‌کنیم و در ادامه سه قانون نیوتون را شرح می‌دهیم.

نیروی خالص (F_{net})

وقتی بر جسمی چند نیرو اثر کند، برایند آنها را نیروی خالص می‌گویند و آن را با F_{net} نشان می‌دهند. در جدول زیر چند نمونه مهم از محاسبهٔ F_{net} با دو نیروی F_1 و F_2 مشاهده می‌کنید.

وضعیت نیروها	شکل	F_{net}
هم‌جهت		$F_{net} = F_1 + F_2$
خلاف جهت		$F_{net} = F_1 - F_2$
عمود برهم		$F_{net} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
$\vec{j}$, $\vec{i}$	$\vec{F}_1 = F_{x_1}\vec{i} + F_{y_1}\vec{j}$ $\vec{F}_2 = F_{x_2}\vec{i} + F_{y_2}\vec{j}$	$\vec{F}_{net} = (F_{x_1} + F_{x_2})\vec{i}$ $+(F_{y_1} + F_{y_2})\vec{j}$

تذکر: اگر به جسم بیشتر از دو نیرو اثر کند:

F_{net} = (مجموع نیروهای موافق حرکت) − (مجموع نیروهای مخالف حرکت)

قانون اول نیوتون

یک جسم حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالصی (غیرصفر) به آن وارد شود؛ یعنی وقتی نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشند، همچنان ساکن باقی می‌ماند و اگر درحال حرکت باشد، سرعت جسم تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند.

تذکر: متوازن بودن نیروهای وارد بر جسم به چه معناست؟ اگر نیروهایی که به یک جسم به‌صورت هم‌زمان اثر می‌کنند، اثر یکدیگر را خنثی کنند (برایند آن‌ها برابر صفر شود)، می‌گوییم نیروهای وارد بر جسم متوازن‌اند.

نکته‌ها: ۱ یک نیوتون برابر مقدار نیروی خالصی است که به جسمی به جرم یک کیلوگرم، شتابی برابر $1\,m/s^2$ می‌دهد.

۲ اگر سرعت حرکت جسمی ثابت باشد: $a = 0 \Leftrightarrow \vec{F}_{net} = 0$

۳ دقت کنید که نیروی خالص برابر با جمع برداری تک‌تک نیروهای وارد بر جسم است.

مثال ۲: سه نیرو، هم‌زمان بر وزنه‌ای به جرم $5\,kg$ اثر می‌کنند. اگر بردار نیروها در SI به‌صورت $\vec{F}_1 = 20\vec{i} - 50\vec{j}$ ، $\vec{F}_2 = 10\vec{i} + 20\vec{j}$ و $\vec{F}_3 = -10\vec{j}$ باشند، بزرگی شتاب حاصل از این نیروها چند متر بر مجذور ثانیه خواهد شد؟

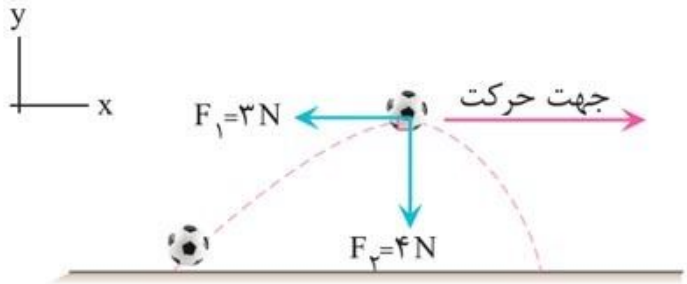
پاسخ:

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} \Rightarrow \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a}$$

$$\Rightarrow (20\vec{i} - 50\vec{j}) + (10\vec{i} + 20\vec{j}) + (-10\vec{j}) = 5\vec{a}$$

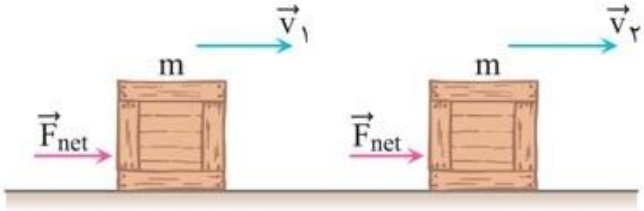
$$\Rightarrow \vec{a} = 6\vec{i} - 8\vec{j} \Rightarrow |\vec{a}| = \sqrt{6^2 + 8^2} = 10\,m/s^2$$

مثال ۳: شکل زیر، نیروهای وارد بر توپ فوتبال به جرم $500g$ را نشان می‌دهد که در آن F_1 نیروی مقاومت هوا و F_2 نیروی وزن توپ است. بزرگی شتاب توپ در این نقطه چند متر بر مجذور ثانیه است؟ (از نیروهای دیگر وارد بر توپ صرف‌نظر شود.)



تکانه و قانون دوم نیوتون

اگر مطابق شکل تحت اثر نیروی خالص $\vec{F}_{net}$، سرعت جسم در مدت Δt از $\vec{v}_1$ به $\vec{v}_2$ برسد، قانون دوم نیوتـون را می‌توان برای این جسم به شکل صفحهٔ بعد نوشت:



$$\vec{F}_{net} = m\vec{a} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \xrightarrow[\text{جرم جسم (m)}]{\text{با فرض ثابت بودن}} \vec{F}_{net} = \frac{\Delta(m\vec{v})}{\Delta t}$$

به حاصلضرب جرم جسم در بردار سرعت آن تکانه می‌گویند و آن را با $\vec{p}$ نشان می‌دهند.

$$\text{تکانه}(kg \cdot m/s) \leftarrow \vec{p} = m\vec{v} \xrightarrow[\text{نیوتون}]{\text{رابطهٔ قانون دوم}}$$

بردار سرعت جسم (m/s)

جرم جسم (kg)

$$\vec{F}_{net} = \frac{\Delta\vec{p}}{\Delta t} \rightarrow \text{تغییر تکانهٔ جسم}$$

بنابراین تعریف دیگری می‌توان برای قانون دوم نیوتون ارائه کرد:

«تغییر تکانهٔ یک جسم در بازهٔ زمانی Δt، برابر نیروی خالص وارد بر جسم در این بازه است.»

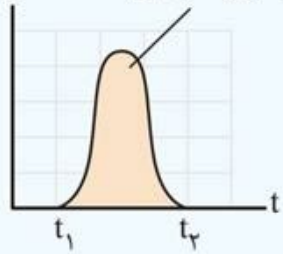
نکته‌ها: ۱ تکانه کمیتی برداری هم‌جهت با بردار سرعت است.

۲ از نگاه دیگری می‌توان گفت تغییر تکانه حاصل‌ضرب نیرو در مدت زمان تأثیر آن است: $\Delta\vec{p} = \vec{F}_{net}\Delta t$

۳ انرژی جنبشی یک جسم را برحسب تکانهٔ آن نیز می‌توان نوشت:

$$K = \frac{1}{2}mv^2 \xrightarrow{p=mv} \boxed{K = \frac{p^2}{2m}} \ , \ \boxed{K = \frac{pv}{2}}$$

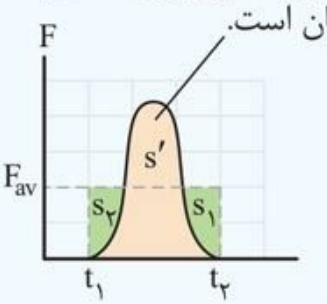
۴ مساحت محصور بین نمودار نیرو ـ زمان با محور t، برابر با تغییر تکانهٔ جسم است.



۵ اگر نیروی خالص وارد بر جسم ثابت نباشد، در مدت زمان اثر نیرو، از **نیروی خالص متوسط** استفاده می‌کنیم:

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

• با توجه به نمودار، می‌توان سطح مستطیل مربوط به نیروی متوسط را برابر با تغییر تکانه گرفت؛ زیرا مجموع s_1 و s_2 با s' برابر است. $(s' = s_1 + s_2)$



مثال ۱۸: شخصی به جرم ۶۰kg از یک بلندی روی یک تشک سقوط می‌کند. اگر تندی او در هنگام رسیدن به تشک ۵m/s باشد و پس از ۰/۲s متوقف شود، اندازهٔ نیروی متوسطی که تشک بر او وارد می‌کند، چقدر است؟ (ریاضی ـ دی ۹۷)

■ **پاسخ:**

$$F_{av} = \frac{\Delta p}{\Delta t} \xrightarrow{\Delta p = m\Delta v} F_{av} = \frac{m(v_2 - v_1)}{\Delta t}$$

$$\Rightarrow |F_{av}| = \left|\frac{60 \times (0 - 5)}{0/2}\right| = 1500\,N$$

تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها لقمهٔ دوم

پرسش ۲-۱

در شکل زیر یک کشتی در حال حرکت را می‌بینید که نیروهای وارد بر آن متوازن‌اند. کدام نیروها اثر یکدیگر را خنثی کرده‌اند؟

■ **پاسخ:** نیروی شناوری و نیروی وزن اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند. نیروی پیشران و مقاومت نیز اثر یکدیگر را خنثی می‌کند.

پرسش ۲-۲

در فیلمی علمی ـ تخیلی، موتور یک کشتی فضایی که در فضای تهی خارج از جو زمین و دور از هر سیاره و خورشید در حرکت است، از کار می‌افتد. در نتیجه حرکت کشتی فضایی کُند می‌شود و می‌ایستد. آیا امکان وقوع چنین رویدادی وجود دارد؟ توضیح دهید.

■ **پاسخ:** بر طبق قانون اول نیوتون، وقتی نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشند (برایند نیروهای وارد بر آن صفر باشد)، اگر جسم در حال حرکت باشد، سرعت جسم تغییر نمی‌کند و ثابت می‌ماند. بنابراین امکان رخداد چنین اتفاقی وجود ندارد.

پرسش ۲-۳

الف) چرا حرکت سریع مقوا در شکل (الف)، سبب افتادن سکه در لیوان می‌شود؟

(الف)


(ب)

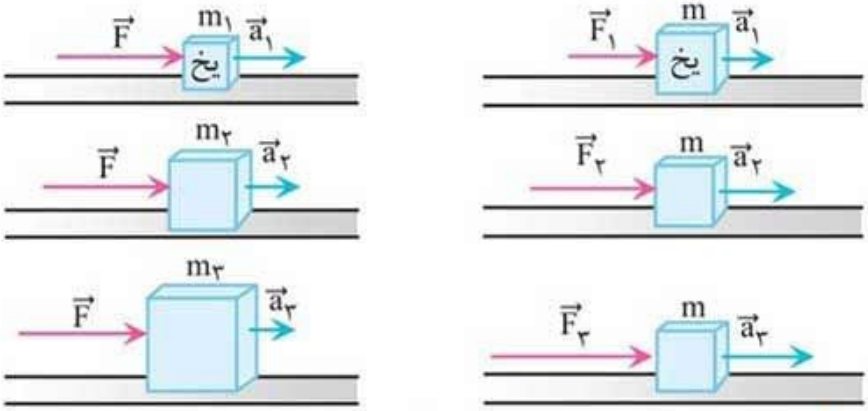
ب) چرا در شکل (ب)، اگر به آرامی نیروی وارد بر گوی سنگین را زیاد کنیم نخ بالای گوی پاره می‌شود، اما اگر ناگهان نخ را بکشیم، نخ پایین آن پاره می‌شود؟

■ **پاسخ:** الف) بر طبق قانون اول نیوتون، جسم تمایل دارد وضعیت سکون خود را حفظ کند. بنابراین با حرکت سریع مقوا، سکه در راستای افقی ساکنِ مانده و به درون لیوان می‌افتد.

ب) در حالت اول چون جسم لَختی کمتری از خود نشان می‌دهد، با زیاد شدن نیرو به‌صورت تدریجی نخ بالایی زودتر پاره خواهد شد. در کشیدن ناگهانی نخ، لَختی جرم گلوله سبب می‌شود که در فاصلهٔ زمانی کوتاه، ضربهٔ ناگهانی وارد شده به نخ بالایی منتقل نشود و نخ پایینی زودتر پاره می‌شود.

پرسش ۲-۴

در شکل‌های زیر، قطعه یخ‌ها روی یک سطح افقی بدون اصطکاک قرار دارند. تفسیر خود را از این شکل‌ها بیان کنید.



■ **پاسخ:** در شکل‌های سمت راست، که جرم جسم ثابت است، با افزایش نیرو، شتاب حرکت جسم افزایش می‌یابد.

در شکل‌های سمت چپ، که نیروی وارد شده ثابت است، با افزایش جرم جسم، شتاب حرکت کاهش می‌یابد.

پرسش ۲-۵

شخصی در حال هُل دادن جعبه‌ای سنگین روی سطح افقی است و این جعبه در جهت این نیرو حرکت می‌کند. با توجه به این‌که نیرویی که

پ) آسانسور درحالی که به طرف بالا حرکت می‌کند، متوقف شود.

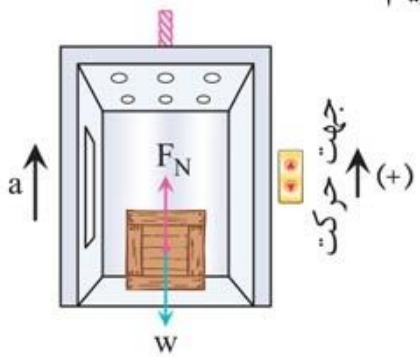
ت) آسانسور درحالی که به طرف پایین حرکت می‌کند، متوقف شود.

■ **پاسخ:** جهت بالا را مثبت در نظر می‌گیریم.

الف)

$$F_N - mg = ma$$
$$\Rightarrow F_N = m(g+a)$$
$$\Rightarrow F_N > mg$$

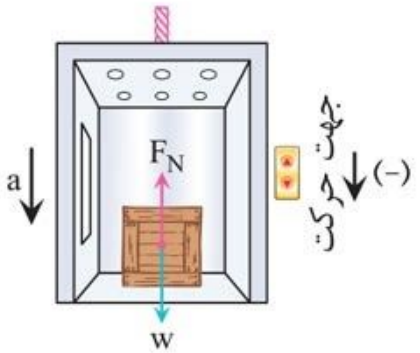
عددی که ترازو نشان می‌دهد، از وزن شخص بیشتر است.



ب)

$$F_N - mg = -ma$$
$$\Rightarrow F_N = m(g-a)$$
$$\Rightarrow F_N < mg$$

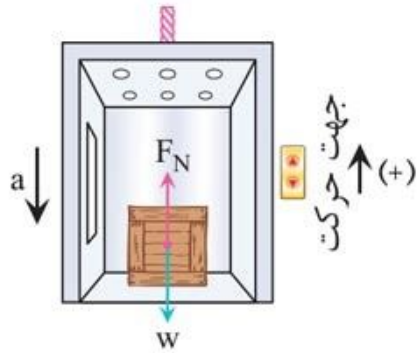
عددی که ترازو نشان می‌دهد، از وزن شخص کمتر است.



پ)

$$F_N - mg = -ma$$
$$\Rightarrow F_N = m(g-a)$$
$$\Rightarrow F_N < mg$$

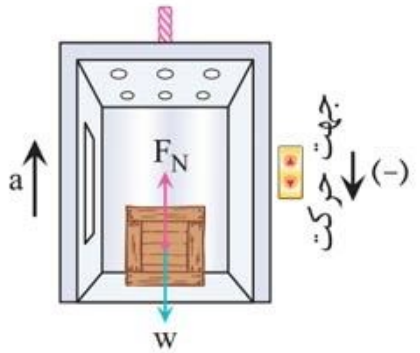
عددی که ترازو نشان می‌دهد، از وزن شخص کمتر است.



ت)

$$F_N - mg = ma$$
$$\Rightarrow F_N = m(g+a)$$
$$\Rightarrow F_N > mg$$

عددی که ترازو نشان می‌دهد از وزن شخص بیشتر است.



لقمهٔ اول مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

حرکت نوسانی

به حرکت‌های پی‌درپی و مداوم روبه‌جلو و عقب یا بالا و پایینِ جسم، حرکت نوسانی می‌گویند.

مفاهیم اولیه

نوسان دوره‌ای: نوسان‌هایی را که هر دور آن در دوره‌های دیگر تکرار شود، **نوسان دوره‌ای** می‌نامند.

شکل مقابل، تصویری از ضرباهنگ (ریتم) قلب یک شخص را نشان می‌دهد که در هر دقیقه ۶۵ بار می‌زند که نمونه‌ای از یک نوسان دوره‌ای است.

چرخه (سیکل): نقش‌های تصویر ریتم قلب که به‌طور منظم درحال تکرار هستند را **چرخه (سیکل)** گویند.

تذکر: نوسانگر: جسمی است که در نوسان است!

دورهٔ تناوب (T): مدت زمان انجام یک چرخهٔ کامل (نوسان کامل) را **دورهٔ تناوب** می‌نامند.

بسامد (فرکانس) (f): تعداد نوسان‌های انجام شده (تعداد چرخه‌ها) در هر ثانیه، **بسامد (فرکانس)** نامیده می‌شود.

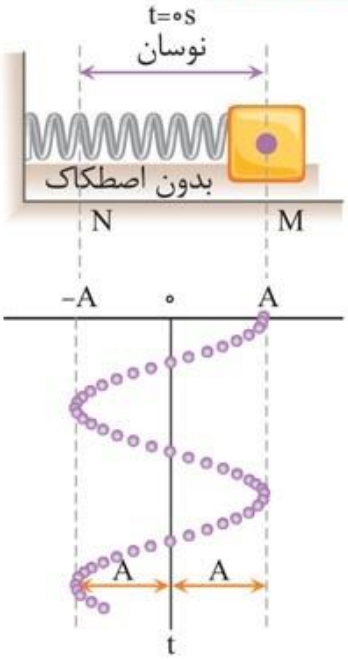
تذکر: بسامد عکس دورهٔ تناوب است.

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

f ← بسامد (Hz)

T → دورهٔ تناوب (s)

معادله و نمودار مکان ـ زمان حرکت هماهنگ ساده

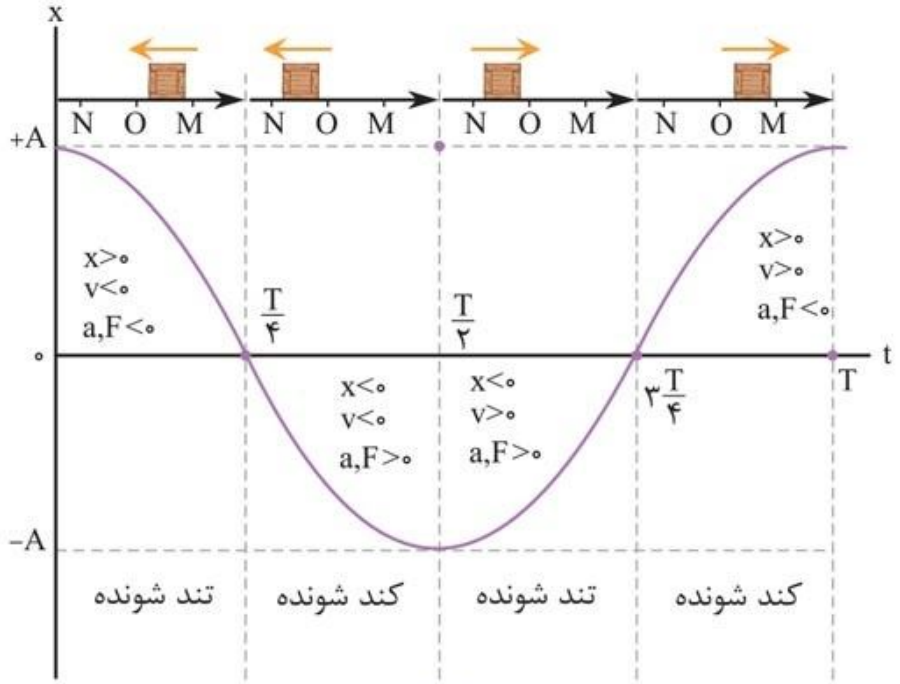


اگر جسم متصل به فنری را مطابق شکل روی سطح افقی بدون اصطکاکی کشیده و سپس رها کنیم و مکان جسم را در زمان‌های متوالی ثبت کنیم، به نمودار سینوسی می‌رسیم که در زیرِ سامانهٔ جرم ـ فنر نشان داده شده است. اگر نوسانگر در لحظه $t_0 = 0s$ از مکان $x_0 = +A$، از حال سکون حرکت خود را شروع کند، در این‌صورت، معادلهٔ مکان ـ زمان به‌صورت زیر است:

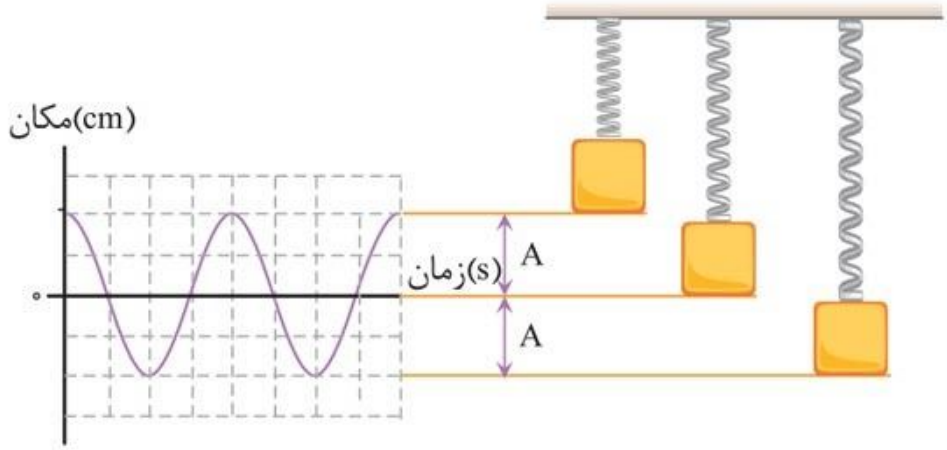
$$x(t) = A\cos(\omega t)$$

مکان نوسانگر (m) ← $x(t)$ ، A: دامنهٔ نوسان (m) ، ωt: شناسهٔ تابع کسینوس (rad)

نمودار مکان ـ زمان حرکت هماهنگ ساده به‌صورت زیر است:



مثال ۱: با توجه به شکل زیر، جرمی متصل به یک فنر با بسامد $۲/۵\ Hz$ و دامنهٔ $۱۰\ cm$ به‌طور هماهنگ در امتداد قائم نوسان می‌کند. پس از گذشت $\frac{۱}{۱۵}s$ از رها شدن جرم از بالای نقطهٔ تعادل، جابه‌جایی جرم نسبت به نقطهٔ تعادل چقدر است؟

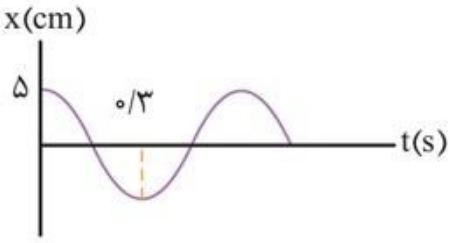


■ **پاسخ:** با استفاده از رابطهٔ $x = A\cos\omega t$، جابه‌جایی نسبت به نقطهٔ تعادل جرم ـ فنر را محاسبه می‌کنیم:

$$\left.\begin{array}{l} A = ۱۰\,cm = ۰/۱m \\ f = ۲/۵Hz \Rightarrow \omega = ۲\pi f = ۲\pi \times ۲/۵ = ۵\pi\,rad/s \\ t = \frac{۱}{۱۵}s \end{array}\right\}$$

$$\Rightarrow x = A\cos\omega t \Rightarrow x = ۰/۱\cos(۵\pi \times \frac{۱}{۱۵}) = ۰/۰۵m$$

مثال ۲: نمودار مکان ـ زمان یک حرکت هماهنگ ساده به شکل مقابل است.



الف) دورهٔ این حرکت چقدر است؟

ب) معادلهٔ حرکت آن را بنویسید.

■ **پاسخ:** با استفاده از رابطهٔ $v=\sqrt{\frac{F}{\rho A}}$ داریم:

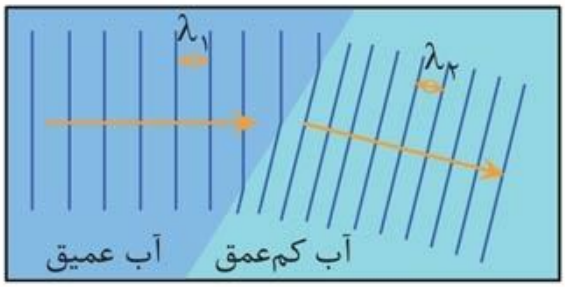
$$\frac{v_B}{v_A}=\sqrt{\frac{F_B}{F_A}\times\frac{\rho_A}{\rho_B}\times\frac{A_A}{A_B}}\xrightarrow[A_B=۲A_A]{\rho_B=\frac{۱}{۲}\rho_A}$$

$$\frac{v_B}{v_A}=\sqrt{۱\times\frac{۲\rho_B}{\rho_B}\times\frac{A_A}{۲A_A}}\Rightarrow\frac{v_B}{v_A}=۱$$

حالا با استفاده از رابطهٔ $\lambda=\frac{v}{f}$ داریم:

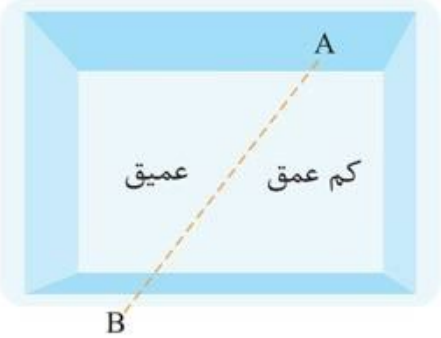
$$\frac{\lambda_B}{\lambda_A}=\frac{v_B}{v_A}=۱$$ (f یکسان است)

شکست امواج سطحی آب

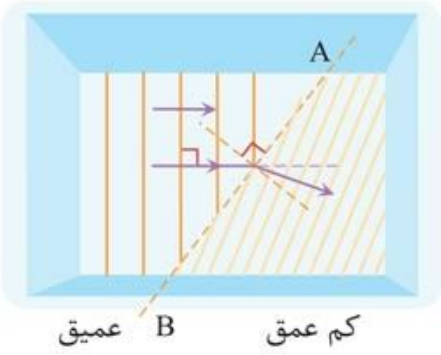


همان‌طور که می‌دانیم، تندی امواج روی سطح آب به عمق آب بستگی دارد؛ مشاهده می‌شود که با ورود آب از بخش عمیق به بخش کم‌عمق، تندی موج سطحی کاهش می‌یابد. در نتیجه آن بخش از جبههٔ موج که زودتر به ناحیهٔ کم‌عمق می‌رسد، چون با تندی کم‌تری حرکت می‌کند، از بقیهٔ جبههٔ موج که هنوز وارد این ناحیه نشده است، عقب می‌افتد و فاصلهٔ بین جبهه‌های موج و در نتیجه طول‌موج کاهش یافته ($\lambda_۲<\lambda_۱$) و مطابق شکل، جبهه‌های موج در مرز دو محیط می‌شکنند و جهت انتشارشان تغییر می‌کند.

مثال ۳۳: در تشت موج شکل زیر، خط **AB**، مرز میان دو ناحیهٔ کم‌عمق و عمیق را نشان می‌دهد. موج تختی در ناحیهٔ عمیق ایجاد می‌شود. وضعیت جبهه‌های موج مربوط به این تشت را رسم کنید.

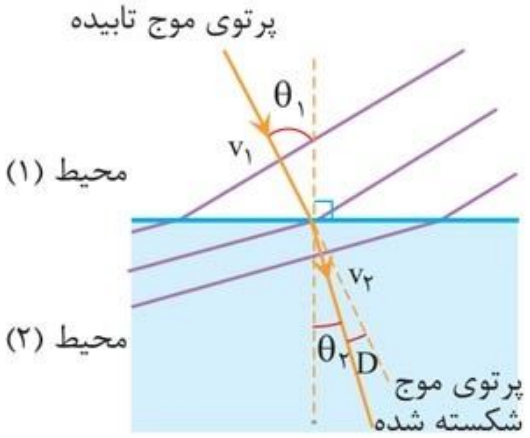


■ **پاسخ:** فاصلهٔ جبهه‌های موج (طول‌موج) در ناحیهٔ کم‌عمق (که تندی کم‌تری دارد) باید کم‌تر از ناحیهٔ عمیق (که تندی بیشتری دارد) باشد. همچنین، پرتو موج در عبور از مرز جدایی دو محیط باید مطابق شکل شکسته شده و به خط عمود نزدیک‌تر شود.

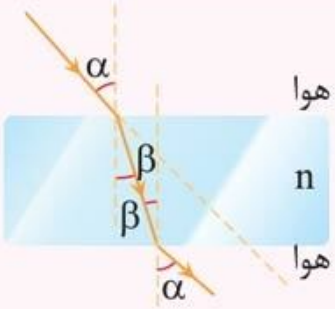


قانون شکست عمومی

اگر مطابق شکل، جبهه‌های موج تختی به طور مایل از محیط (۱) وارد محیط (۲) شوند، می‌شکنند و پرتوهای موج که همواره عمود بر جبهه‌های موج هستند، در عبور از این مرز تغییر جهت می‌دهند.



جبههٔ موجی با زاویهٔ تابش θ_1 از محیط اول وارد محیط دوم می‌شود و با زاویهٔ θ_2 شکست پیدا می‌کند (شکل با فرض $v_1>v_2$ رسم شده است).

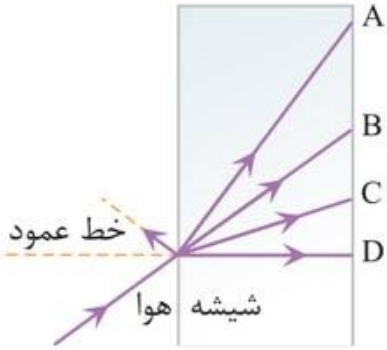


نکته: تیغه متوازی‌السطوح: مطابق شکل پرتو نوری از هوا وارد یک تیغهٔ شیشه‌ای شده است و سپس از آن خارج شده است. مشاهده می‌کنیم که:

۱ پرتو نور در داخل شیشه به خط عمود نزدیک‌تر است.

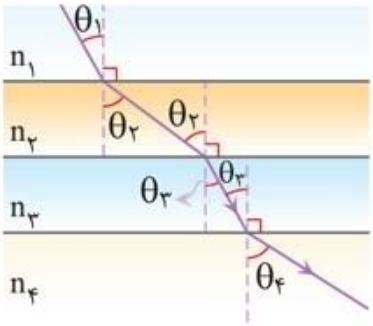
۲ پرتو ورودی به تیغه با پرتو خروجی از آن موازی است (انحراف صفر است)

مثال ۳۶: شکل مقابل پرتویی را نشان می‌دهد که از هوا وارد شیشه شده است. کدام گزینه‌های A تا D، می‌تواند پرتوی داخل شیشه را نشان دهد؟



■ **پاسخ:** شیشه ضریب شکست بیشتری نسبت به هوا دارد، بنابراین پرتو در ورود به آن دچار شکست شده و به خط عمود نزدیک می‌شود پس پرتوی C پاسخ سؤال است.

◄ عبور نور از محیط‌های متوالی موازی



شکل، مسیر عبور پرتو نور از چند محیط شفاف متوالی با سطوح موازی را نشان می‌دهد. با استفاده از رابطهٔ شکست اسنل داریم:

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2 = n_3 \sin\theta_3 = n_4 \sin\theta_4$$

لقمهٔ دوم تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها

پرسش ۳-۱

بسامد ضربان قلب مربوط به نمودار شکل ۳-۲ چقدر است؟

■ پاسخ:

$T=\frac{۱}{۶۵}min=۰/۹۲s$

$$f=\frac{۱}{T}=\frac{۱}{۰/۹۲}=۱/۰۸Hz$$

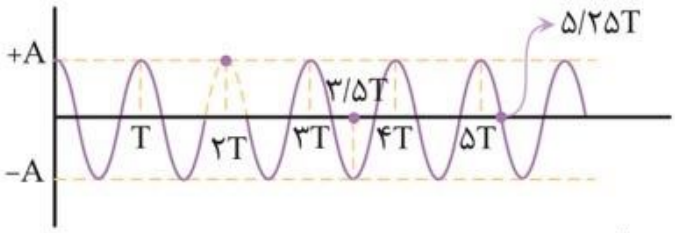
تمرین ۳-۱

ذره‌ای در حال نوسان هماهنگ ساده با دورهٔ تناوب T است. با فرض این‌که در $t=۰s$ ذره در $x=+A$ باشد، تعیین کنید در هر یک از لحظات زیر، آیا ذره در $x=-A$، در $x=+A$، یا در $x=۰$ خواهد بود؟

الف) $t=۲T$ ، ب) $t=۳/۵T$ ، پ) $t=۵/۲۵T$

(راهنمایی: برای پاسخ به این تمرین، ساده‌تر آن است که چند دوره از یک نمودار کسینوسی را رسم کنید)

■ پاسخ:



الف) $x=+A : t=۲T$

ب) $x=-A : t=۳/۵T$

پ) $x=۰ : t=۵/۲۵T$

■ **پاسخ:** ابتدا با توجه به این‌که فاصلهٔ بین دو برآمدگی متوالی برابر طول‌موج است، داریم:

$$\lambda_{\text{عمیق}} = ۱۰\,\text{cm}$$

حالا با استفاده از رابطهٔ زیر، طول‌موج در ناحیهٔ کم‌عمق را محاسبه می‌کنیم:

$$\frac{v_{\text{کم‌عمق}}}{v_{\text{عمیق}}} = \frac{\lambda_{\text{کم‌عمق}}}{\lambda_{\text{عمیق}}} \Rightarrow \frac{۰/۴v_{\text{عمیق}}}{v_{\text{عمیق}}} = \frac{\lambda_{\text{کم‌عمق}}}{۱۰} \Rightarrow \lambda_{\text{کم‌عمق}} = ۴\,\text{cm}$$

تمرین ۳-۱۰

در تمرین ۳-۹ با فرض این‌که زاویهٔ تابش امواج برابر ۳۰° باشد، زاویهٔ شکست چقدر می‌شود؟

■ **پاسخ:** با استفاده از قانون شکست عمومی داریم:

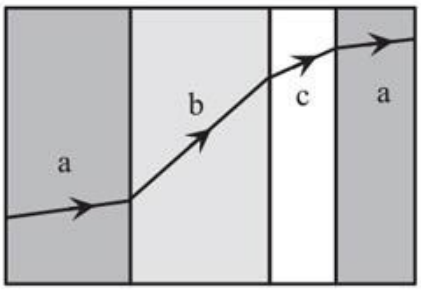
$$\frac{\sin\theta_۲}{\sin\theta_۱} = \frac{v_۲}{v_۱}$$

(ناحیهٔ (۲) کم‌عمق، ناحیهٔ (۱) عمیق)

$$\xrightarrow[v_۲=۰/۴v_۱]{\theta_۱=۳۰^\circ} \frac{\sin\theta_۲}{\sin ۳۰^\circ} = \frac{۰/۴v_۱}{v_۱} \Rightarrow \sin\theta_۲ = ۰/۲$$

$$\Rightarrow \theta_۲ = \theta_r = ۱۱/۵۳^\circ$$

پرسش ۳-۹



شکل روبه‌رو یک پرتوی موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد که با عبور از محیط اولیهٔ a، از طریق محیط‌های b و c به محیط a بازمی‌گردد. این محیط‌ها را بر حسب تندی موج در آن‌ها از بیشترین تا کم‌ترین مرتب کنید.

■ **پاسخ:** در محیط b پرتو از خط عمود دور می‌شود: نور از محیطی با تندی کم‌تر به محیطی با تندی بیشتر وارد شده است.

لقمهٔ اول مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

فیزیک کلاسیک و فیزیک جدید

علی‌رغم موفقیت فیزیک کلاسیک در توصیف گسترهٔ وسیعی از پدیده‌های فیزیکی، در ابتدای قرن بیستم، پدیده‌هایی مشاهده و آزمایش‌هایی انجام شد که تبیین آنها به کمک فیزیک کلاسیک ممکن نبود. تلاش برای توضیح رفتار برخی پدیده‌های فیزیکی منجر به بنیان‌گذاری نظریه‌هایی از جمله نظریهٔ نسبیت خاص، نسبیت عام و نظریهٔ کوانتومی شد که امروزه به آن **فیزیک جدید** می‌گویند.

نظریهٔ نسبیت خاص: به مقایسهٔ پدیده‌های فیزیکی در تندی‌های بسیار زیاد و قابل مقایسه با تندی نور می‌پردازد.

نظریهٔ نسبیت عام: مربوط به مطالعهٔ هندسهٔ فضا ـ زمان و گرانش است.

نظریهٔ کوانتومی: پدیده‌های فیزیکی در مقیاس‌های بسیار کوچک، مانند اتم‌ها و ذره‌های سازندهٔ آن‌ها را مورد مطالعه قرار می‌دهد.

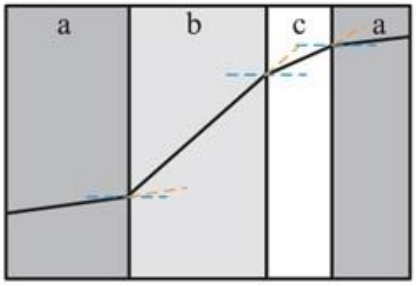
اثر فوتوالکتریک و فوتون

مطابق شکل (الف) اگر به کلاهک برق‌نمایی با بار منفی، نور فرابنفش تابیده شود، انحراف ورقه‌های آن کاهش می‌یابد.

(الف)

این در حالی است که مطابق شکل (ب) اگر نور فرابنفش را با یک نور مرئی جایگزین کنیم، تغییری در انحراف ورقه‌های برق‌نما ایجاد نمی‌شود.

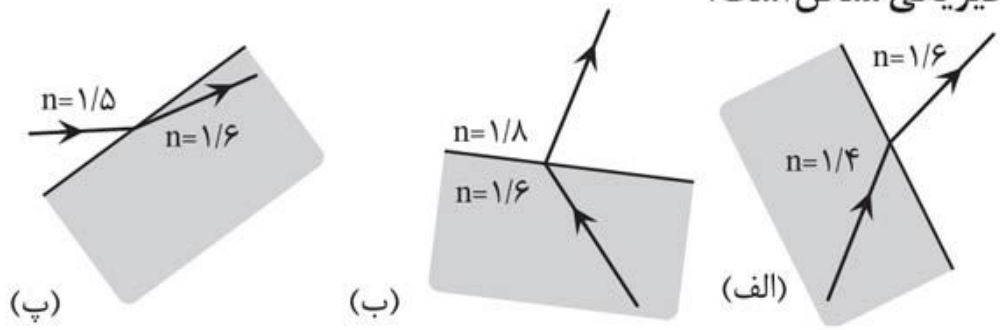
ب)



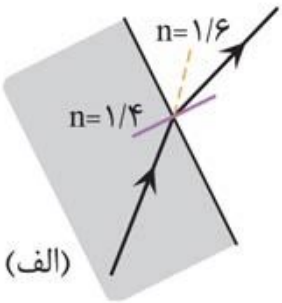
در محیط c پرتو به خط عمود نزدیک شده است: تندی در محیط c کم‌تر از b است. در محیط a نیز پرتو به خط عمود نزدیک شده است: تندی در محیط a کم‌تر از c است. بنابراین $v_b > v_c > v_a$ می‌باشد.

پرسش ۳-۱۰

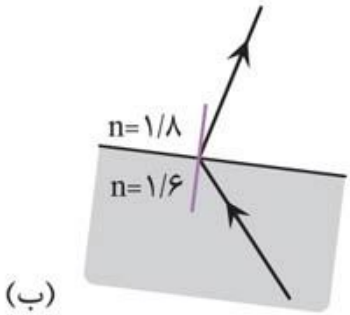
کدام‌یک از سه شکل زیر یک شکست را نشان می‌دهد که از لحاظ فیزیکی ممکن است؟



■ **پاسخ:** در شکل الف، پرتو از محیطی با ضریب شکست کم‌تر وارد محیطی با ضریب شکست بیشتر شده و به خط عمود نزدیک شده است که از لحاظ فیزیکی امکان‌پذیر است.



در شکل (ب) پرتو در سوی درستی شکسته نشده است و امکان شکستن در سوی نشان داده‌شده وجود ندارد.



کمیت کوانتومی: کمیتی گسسته است که مضرب درستی از مقدار پایه یا کوانتوم آن کمیت است. انرژی موج الکترومغناطیسی کمیتی کوانتومی است که مضرب درستی از انرژی یک فوتون (hf) است.

بسامد نور فرودی

$$E = n\,h\,f = nh\frac{c}{\lambda}$$

تندی انتشار موج در خلأ

طول موج نور فرودی

تعداد فوتون‌ها

تذکر: **توان تابشیِ** یک منبع نور تکفام با بسامد f برابر است با:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{nhf}{t} = \frac{nhc}{\lambda t}$$

مثال ۱: **توان باریکهٔ نور خروجی از لیزری ۶۰۰ میکروواتاست. اگر توان ورودی این لیزر ۳۰W باشد:**

الف) بازده این لیزر چند درصد است؟

ب) اگر طول موج باریکهٔ نور خروجی ۶۶۰nm باشد، در هر ثانیه چند فوتون از این لیزر گسیل می‌شود؟

$(c = ۳\times۱۰^{۸}\,m/s\,,\ h = ۶/۶\times۱۰^{-۳۴}\,J\cdot s)$

■ **پاسخ:** الف)

$$P_۲ = ۶۰۰\mu W\ ,\ P_۱ = ۳۰W$$

$$R_a = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}}\times۱۰۰ = \frac{۶۰۰\times۱۰^{-۶}}{۳۰}\times۱۰۰ = ۰/۰۰۲\%$$

ب)

$$E = Pt \rightarrow nh\frac{c}{\lambda} = Pt \xrightarrow[P=۶۰۰\times۱۰^{-۶}W]{\lambda=۶۶۰\times۱۰^{-۹}m\,,\ t=۱s}$$

$$\frac{n\times۶/۶\times۱۰^{-۳۴}\times۳\times۱۰^{۸}}{۶۶۰\times۱۰^{-۹}} = ۶۰۰\times۱۰^{-۶}\times۱$$

$$\Rightarrow n = ۲\times۱۰^{۱۵}\ \text{فوتون}$$

نکته‌ها: ۱ برای به‌دست آوردن **بلندترین طول موج (کم‌ترین بسامد)** فوتون گسیلی مربوط به یک رشته با توجه به معلوم بودن n'، $n = n' + ۱$ قرار می‌دهیم.

۲ برای به‌دست آوردن **کوتاه‌ترین طول موج (بیشترین بسامد)** فوتون گسیلی مربوط به یک رشته با توجه به معلوم بودن n'، $n = \infty$ قرار می‌دهیم.

مثال ۳: طول موج سومین خط طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ بالمر $(n' = ۲)$ چندنانومتر است؟ $(R \approx ۰/۰۱(nm)^{-۱})$ (تجربی ـ خرداد ۹۸)

■ **پاسخ:** سومین خط طیفی اتم هیدروژن در رشتهٔ بالمر $(n' = ۲)$، به ازای $n = ۵$ به‌دست می‌آید:

$$\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲}) \Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = ۰/۰۱ \times (\frac{۱}{۲^۲} - \frac{۱}{۵^۲})$$

$$\Rightarrow \frac{۱}{\lambda} = \frac{۲۱ \times ۰/۰۱}{۱۰۰} \Rightarrow \lambda = ۴۷۶/۲\,nm$$

مثال ۴: کوتاه‌ترین طول موج رشته پاشن $(n' = ۳)$ در اتم هیدروژن را به‌دست آورید. $(R = ۰/۰۱nm^{-۱})$ (ریاضی ـ خرداد ۹۸)

■ **پاسخ:** کوتاه‌ترین طول موج، با $n = \infty$ متناظر است. در این‌صورت با استفاده از رابطهٔ $\frac{۱}{\lambda} = R(\frac{۱}{n'^۲} - \frac{۱}{n^۲})$ داریم:

$$R = \frac{۱}{۱۰۰} nm^{-۱}\ ,\ n' = ۳$$

$$\frac{۱}{\lambda} = \frac{۱}{۱۰۰} \times (\frac{۱}{۳^۲} - \frac{۱}{\infty}) = \frac{۱}{۹۰۰} \Rightarrow \lambda = ۹۰۰\,nm$$

نیمه‌عمر	صفر	اول	دوم	سوم	چهارم
تعداد هسته‌های باقی‌مانده	$N_\circ = ۱۶$	$\frac{N_\circ}{۲} = ۸$	$\frac{N_\circ}{۴} = ۴$	$\frac{N_\circ}{۸} = ۲$	$\frac{N_\circ}{۱۶} = ۱$

رابطهٔ نیمه‌عمر:

اگر تعداد هسته‌های مادر اولیه در یک نمونهٔ پرتوزا $N_\circ$ باشد، پس از گذشت زمان t تعداد هسته‌های پرتوزای باقیمانده از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

تعداد هسته‌های پرتوزای باقیمانده

$$N = N_\circ (\frac{۱}{۲})^n$$

تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده

تعداد هسته‌های پرتوزای اولیه

تذکر: تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده (n)، از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

$$n = \frac{t}{T_{\frac{۱}{۲}}}$$

t → مدت زمان سپری‌شده (s)

$T_{\frac{۱}{۲}}$ → مدت زمان نیمه‌عمر مادهٔ پرتوزا (s)

مثال ۱۹: پس از گذشت ۵ نیمه‌عمر یک مادهٔ پرتوزا، چه کسری از مادهٔ پرتوزای اولیه، باقی می‌ماند؟ (تجربی- شهریور ۹۸)

پاسخ:

$n = ۵$

$$N = N_\circ (\frac{۱}{۲})^n \Rightarrow \frac{N}{N_\circ} = (\frac{۱}{۲})^۵ = \frac{۱}{۳۲}$$

مثال ۲۰: نیمه‌عمر بیسموت ۲۱۲، حدود یک ساعت است. پس از گذشت ۵ ساعت، در نمونه‌ای از این بیسموت چه کسری از مادهٔ اولیه باقی می‌ماند؟ (تجربی- خرداد ۹۸)

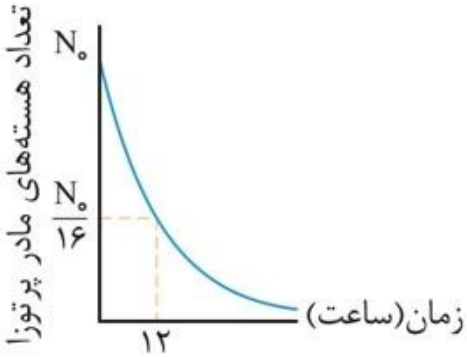
■ **پاسخ:** ابتدا تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده را محاسبه می‌کنیم:

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \xrightarrow[T_{\frac{1}{2}}=1\text{ ساعت}]{t=5\text{ ساعت}} n = \frac{5}{1} = 5$$

حالا با استفاده از رابطهٔ $N = (\frac{1}{2})^n N_0$ ، پاسخ سؤال را به‌دست می‌آوریم:

$$\frac{N}{N_0} = (\frac{1}{2})^n = (\frac{1}{2})^5 = \frac{1}{32}$$

مثال ۲۱: شکل مقابل نمودار تغییرات تعداد هسته‌های مادر پرتوزای موجود در یک مادهٔ پرتوزا را برحسب زمان نشان می‌دهد. نیمه‌عمر این ماده پرتوزا چند ساعت است؟ (تجربی ـ دی ۹۷)



(الف)

■ **پاسخ:** ابتدا با استفاده رابطهٔ $N = N_0 (\frac{1}{2})^n$ ، تعداد نیمه‌عمرهای سپری‌شده را محاسبه می‌کنیم:

$$N = N_0 (\frac{1}{2})^n \xrightarrow{\text{نمودار}} \frac{N_0}{16} = N_0 (\frac{1}{2})^n \Rightarrow \frac{1}{2^4} = \frac{1}{2^n} \Rightarrow n = 4$$

حالا با استفاده از رابطهٔ $n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}}$ ، نیمه عمر $(T_{\frac{1}{2}})$ مادهٔ پرتوزا را محاسبه می‌کنیم:

$$n = \frac{t}{T_{\frac{1}{2}}} \xrightarrow[t=12\text{ ساعت}]{n=4} 4 = \frac{12}{T_{\frac{1}{2}}} \Rightarrow T_{\frac{1}{2}} = \frac{12}{4} = 3\text{ ساعت}$$

■ **پاسخ:** با توجه به جدول تناوبی داریم:

الف) عدد اتمی F برابر $Z = ۹$ است، بنابراین داریم:

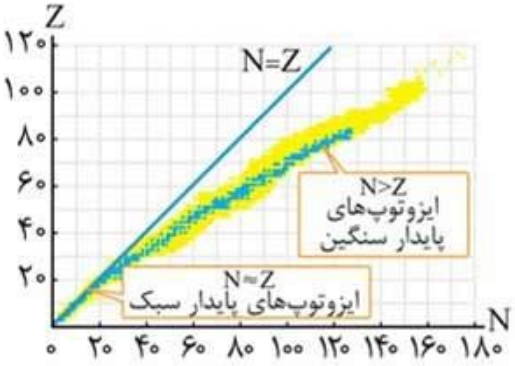
$$A = Z + N = ۹ + ۱۰ = ۱۹ \Rightarrow {}^{۱۹}_{۹}F_{۱۰}$$

ب) عدد اتمی قلع برابر $Z = ۵۰$ است، بنابراین داریم:

$$A = Z + N = ۵۰ + ۶۶ = ۱۱۶ \Rightarrow {}^{۱۱۶}_{۵۰}Sn_{۶۶}$$

پرسش ۴-۲

هر نقطه آبی‌رنگ در نمودار شکل زیر نشان‌دهندهٔ یک هستهٔ پایدار است. با توجه به این نمودار به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.



الف) نسبت تعداد نوترون به تعداد پروتون (N / Z) برای هسته‌های پایدار مختلف، ثابت است یا متفاوت؟ توضیح دهید.

ب) ایزوتوپ‌های مختلف، یک عنصر را چگونه می‌توان با استفاده از این نمودار تشخیص داد؟

■ **پاسخ:** الف) تا حدود $Z = ۲۰$، نسبت $\frac{N}{Z}$ برابر یک است ولی به‌تدریج با افزایش Z، تعداد نوترون‌های درون هسته افزایش بیشتری یافته به‌طوری که پس از $Z = ۵۰$، به‌ازای افزایش یک پروتون، چندین نوترون به هسته اضافه شده و نسبت $\frac{N}{Z}$ متفاوت است.

ب) به‌ازای عدد اتمی (Z) معین، با شمارش تعداد نقطه‌های آبی‌رنگ و زردرنگ در امتداد محور N می‌توان تعداد ایزوتوپ‌های هر عنصر را مشخص کرد.

فصل ۱ حرکت بر خط راست ـ فرمولنامه

۱ تندی متوسط

$$s_{av} = \frac{\ell}{\Delta t}$$

$\ell \rightarrow$ مسافت (m)

$\Delta t \rightarrow$ زمان حرکت (s)

۲ سرعت متوسط

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

$\Delta x \rightarrow$ جابه‌جایی (m)

$\Delta t \rightarrow$ زمان حرکت (s)

۳ شتاب متوسط

$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$\Delta v \rightarrow$ تغییرات سرعت (m/s)

$\Delta t \rightarrow$ زمان حرکت (s)

۴ معادلهٔ مکان ـ زمان در حرکت با سرعت ثابت

$$x = v\,t + x_{\circ}$$

$x_{\circ}$: مکان اولیهٔ متحرک (m)

v: سرعت متحرک (m/s)

۵ معادلهٔ سرعت ـ زمان در حرکت با شتاب ثابت

$$v = a\,t + v_{\circ}$$

t: مدت زمان حرکت (s)

a: شتاب متحرک ($m/s^{۲}$)

$v_{\circ} \rightarrow$ سرعت اولیهٔ متحرک (m / s)

۶ معادلهٔ سرعت متوسط در حرکت با شتاب ثابت

$$v_{av} = \frac{v + v_{\circ}}{۲}$$

v: سرعت نهایی متحرک (m / s)

$v_{\circ} \rightarrow$ سرعت اولیهٔ متحرک (m/s)