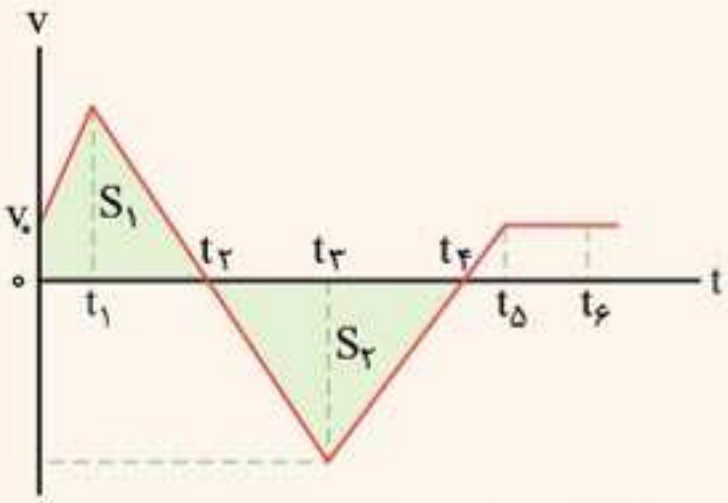
نمودار سرعت ـ زمان ($v-t$)

نموداری است که سرعت متحرک را در هر لحظه مشخص می‌کند.

نکته‌ها:

۱ نقطهٔ برخورد نمودار با محور قائم (v)، سرعت اولیه (v_0) را نشان می‌دهد.



۲ در لحظاتی که سرعت مثبت است، متحرک در جهت محور x حرکت می‌کند (0 تا t_2) و در لحظاتی که سرعت منفی است، متحرک در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند (t_2 تا t_4).

۳ در لحظاتی که نمودار محور t را قطع کند، سرعت صفرشده و تغییر علامت می‌دهد و متحرک در این لحظات تغییر جهت می‌دهد (t_2 و t_4).

۴ مساحت محصور بین نمودار $v-t$ و محور t، برابر جابه‌جایی است.

$$\Delta x_1 = S_1 \ , \Delta x_2 = -S_2$$

$$\Rightarrow \text{جابه‌جایی از ۰ تا } t_4 : \Delta x_1 + \Delta x_2 = S_1 - S_2$$

۵ برای به‌دست آوردن مسافت کافی است مساحت‌ها را با هم جمع کنیم:

$$\text{مسافت از ۰ تا } t_4 : \ell = S_1 + S_2$$

۶ در زمان‌هایی که نمودار در حال دورشدن از محور t است، حرکت **تندشونده** است. (صفر تا t_1، t_2 تا t_3 و t_4 تا t_5) همچنین در لحظاتی که نمودار در حال نزدیک‌شدن به محور t است، حرکت **کندشونده** است (t_1 تا t_2 و t_3 تا t_4).

۷ در لحظاتی که نمودار سرعت ـ زمان افقی و موازی با محور t است، حرکت **یکنواخت** است (t_5 تا t_6).

خـط واصـل بین این دو نقطـه، در حالتی که بازهٔ زمانی Δt خیلی خیلی کوچک شود، به خط مماس بر منحنی در نقطهٔ A میل می‌کند. شیب این خط، برابر با سرعت متحرک در لحظهٔ t_1 است.

شیب خط مماس $= v =$ سرعت لحظه‌ای

نکته‌ها: ۱ اگر نمودار مکان ـ زمان صعودی باشد (شیب مثبت)، سـرعت مثبت اسـت و حرکت در جهت مثبت محور x هاسـت و اگر نمودار مکان ـ زمان نزولی باشد (شیب منفی)، سرعت منفی و حرکت در خلاف جهت محور x هاست.

۲ در حرکـت بـر خـط راسـت در قلـه و قعـر نمـودار (بیشـینه و کمینه)، خط مماس افقی و شـیب آن صفر اسـت. در نتیجه سـرعت در این لحظات صفر است و متحرک تغییر جهت می‌دهد.

۳ در حرکـت بـر خـط راسـت، در لحظه‌هایـی کـه انـدازهٔ سـرعت افزایـش می‌یابـد، حرکـت جسـم را **تندشـونده** و در لحظاتـی کـه انـدازهٔ سـرعت کاهـش می‌یابـد، حرکـت جسـم **کندشـونده** اسـت؛ بنابرایـن در نمـودار مـکان ـ زمـان، اگـر شـیب نمـودار بـا گذشـت زمـان افزایش یابد، حرکت **تندشـونده** و اگر شـیب با گذشـت زمان کاهـش یابـد حرکت **کندشـونده** اسـت. دقـت کنید کـه در لحظات قبـل از توقـف (قبـل از قله و قعـر) حرکت **کندشـونده** و در لحظات بعد از توقف (بعد از قله و قعر) حرکت **تندشونده** است.

۴ **حرکت یکنواخت:** در لحظاتی که نمودار مکان ـ زمان خط راست باشد، شیب آن ثابت است؛ در نتیجه سرعت و تندی نیز ثابت و **حرکت یکنواخت** است. پس در حرکت بر خط راست، سه نوع حرکت داریم:
۱. تندشونده ۲. کندشونده ۳. یکنواخت

معادلهٔ مکان ـ زمان در حرکت با شتاب ثابت

اگر متحرکی درلحظهٔ $t = ۰$ در مکان $x_۰$ باشد و سرعت آن در این لحظه برابر $v_۰$ باشد و با شتاب ثابت a در حال حرکت باشد، برای به‌دست آوردن مکان متحرک (x) در لحظهٔ t از معادلهٔ مکان ـ زمان زیر استفاده می‌کنیم:

$$x = \frac{۱}{۲}at^۲ + v_۰t + x_۰$$

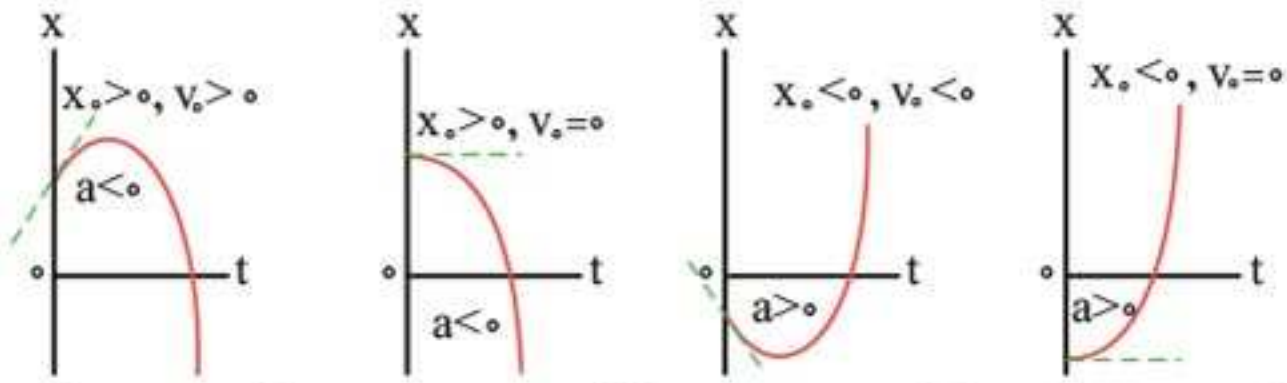
این معادله نشان می‌دهد که در حرکت با شتاب ثابت، مکان متحرک تابعی درجه دوم از زمان است. بنابراین نمودار $x - t$ به‌صورت سهمی می‌باشد. دقت کنید با توجه به شیب خط مماس بر نمودار در لحظهٔ صفر، می‌توانید سرعت اولیهٔ متحرک $(v_۰)$ و با استفاده از جهت گودی (کاسه) نمودار می‌توانید علامت شتاب را مشخص کنید به‌طوری که:

۱ اگر گودی (کاسهٔ) نمودار رو به بالا باشد، $a > ۰$ است.

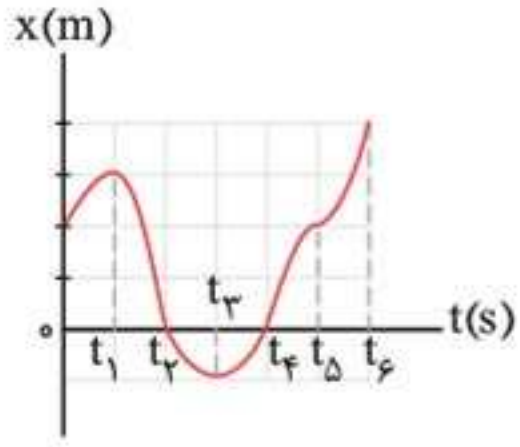
۲ اگر گودی (کاسهٔ) نمودار رو به پایین باشد، $a < ۰$ است.

۳ در لحظه‌ای که جهت تقعر نمودار تغییر می‌کند شتاب صفر شده و تغییر علامت می‌دهد.

در شکل‌های زیر، نمودارهای مکان ـ زمان در حرکت با شتاب ثابت برای چند حالت مختلف رسم شده است.



پرسش ۱-۳



با توجه به نمودار مکان ـ زمان شکل مقابل به پرسش‌های زیر پاسخ دهید.

الف) متحرک چند بار از مبدأ مکان عبور می‌کند؟

ب) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال دور شدن از مبدأ است؟

پ) در کدام بازه‌های زمانی متحرک در حال نزدیک شدن به مبدأ است؟

ت) جهت حرکت چند بار تغییر کرده است؟ در چه لحظه‌هایی؟

ث) جابه‌جایی کل در جهت محور x است یا خلاف آن؟

■ **پاسخ:** الف) دوبار، در لحظه‌های t_2 و t_4

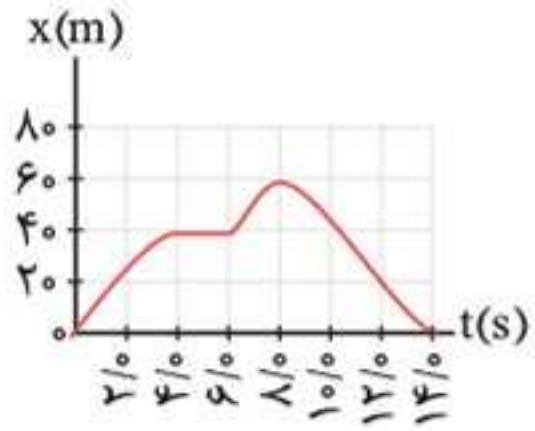
ب) در بازه‌های (صفر تا t_1)، (t_2 تا t_3) و (t_4 تا t_6)

پ) در بازه‌های (t_1 تا t_2) و (t_3 تا t_4)

ت) دو بار، در لحظه‌های t_1 و t_3

ث) جابه‌جایی کل مثبت و در جهت محور x است.

تمرین ۱-۲



شکل مقابل نمودار مکان ـ زمان دوچرخه‌سواری را نشان می‌دهد که روی مسیری مستقیم در حال حرکت است.

الف) در کدام لحظه دوچرخه‌سوار بیشترین فاصله از مبدأ را دارد؟

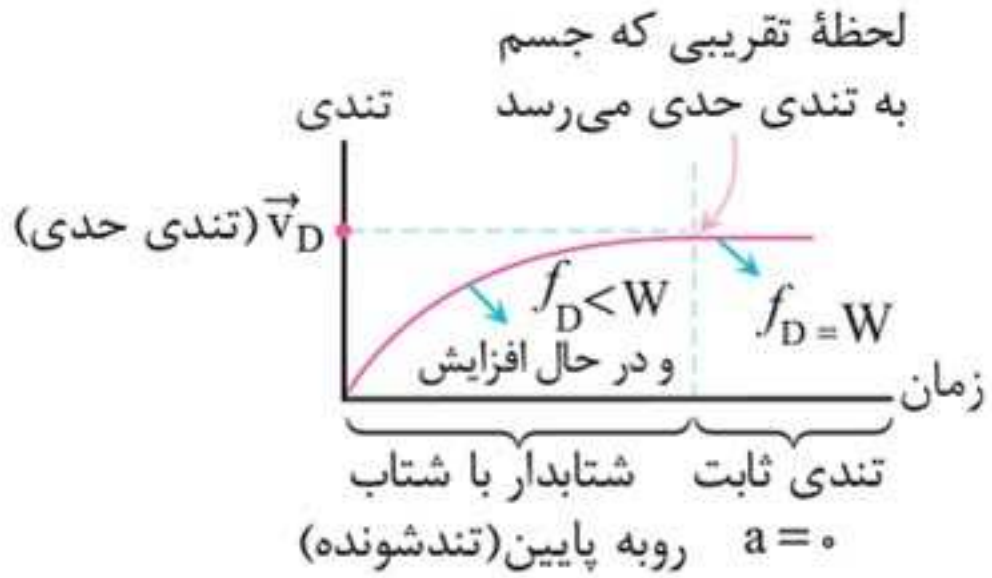
ب) در کدام بازه‌های زمانی دوچرخه‌سوار در جهت محور x حرکت می‌کند؟

پ) در کدام بازه زمانی، دوچرخه‌سوار در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند؟

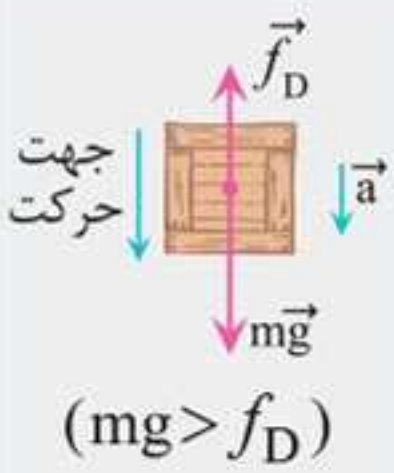
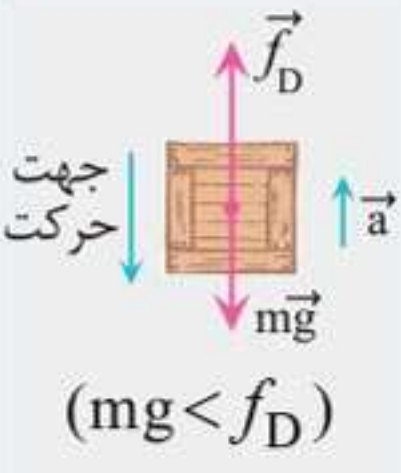
ت) در کدام بازهٔ زمانی، دوچرخه‌سوار ساکن است؟

ث) تندی متوسط و سرعت متوسط دوچرخه‌سوار را در هر یک از بازه‌های زمانی ۰s تا ۲s، ۴s تا ۶s، ۲s تا ۵s، ۸s تا ۱۴s، ۰s تا ۱۴s حساب کنید.

نمودار زیر مربوط به تندی جسمی است که در هوا از حالت سکون رها می‌شود.



نکته: دقت کنید که نیروی مقاومت هوا همواره در خلاف جهت حرکت جسم به آن وارد می‌شود. جدول زیر وضعیت نیروی وزن و مقاومت هوا را در چند حالت مهم نشان می‌دهد.

جسم با تندی کمتر از تندی حدی به سمت پایین حرکت می‌کند.	 $(mg > f_D)$	$F_{net} = mg - f_D$ $a = g - \frac{f_D}{m}$	حرکت تندشونده
جسم با تندی بیشتر از تندی حدی به سمت پایین حرکت می‌کند.	 $(mg < f_D)$	$F_{net} = f_D - mg$ $a = \frac{f_D}{m} - g$	حرکت کندشونده

مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

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 نیروی مقاومت نیز اثر یکدیگر را خنثی می‌کنند.

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.

۲ یکای بسامد در SI، هرتز (Hz) است.

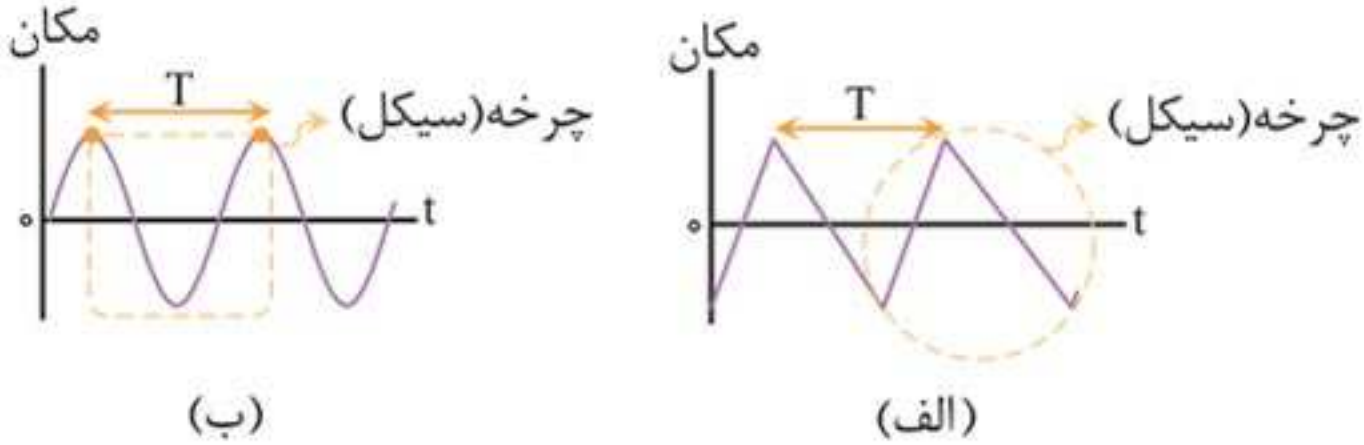
$$۱\,\text{Hz} = \frac{۱}{\text{s}}$$

۳ اگر نوسانگر در مدت t ثانیه، n نوسان کامل را انجام دهد:

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

نوسان دوره‌ای و حرکت هماهنگ ساده

شکل‌های زیر، نمودار مکان ـ زمان دو نمونه از نوسان‌های دوره‌ای را نشان می‌دهد.

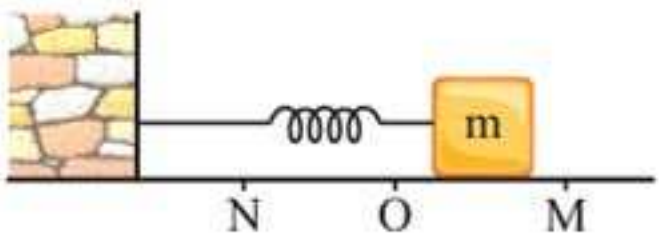


نوسان شکل (ب) که به‌طور سینوسی رخ داده است مربوط به یک **حرکت هماهنگ ساده** است.

در واقع، حرکتی که به‌صورت نوسان رفت و برگشتی روی پاره‌خطی ثابت (**پاره‌خط نوسان**) در دو طرف نقطه‌ای به نام **نقطهٔ تعادل** (واقع بر وسط پاره‌خط نوسان) انجام می‌شود را **حرکت هماهنگ ساده** می‌نامند.

نوسانگر جرم ـ فنر

هرگاه جسمی به جرم m را مطابق شکل به انتهای فنری با جرم ناچیز و ثابت k متصل نموده و روی سطح



بدون اصطکاکی به نوسان درآوریم، بسامد زاویه‌ای حرکت از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

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

ω: بسامد زاویه‌ای (rad/s) ← k: ثابت فنر (N/m) → m: جرم جسم (kg) →

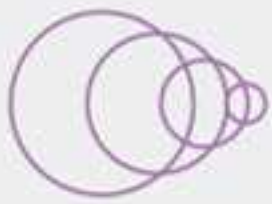
تذکر: از رابطهٔ بالا $k = m\omega^2$ حاصل می‌شود.

حالا با کمک رابطه‌های $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$ به راحتی دورهٔ تناوب و بسامد نوسانگر جرم و فنر را به‌دست می‌آوریم:

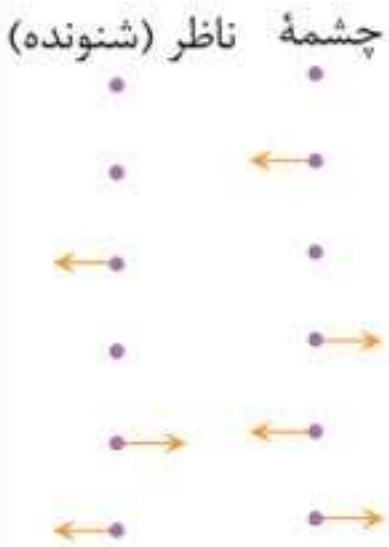
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}} \quad , \quad f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$$

نکته: بسامد زاویه‌ای، دورهٔ تناوب و بسامد نوسانگر جرم ـ فنر فقط به جرم جسم و ثابت فنر بستگی داشته و مستقل از دامنهٔ نوسان است.

نکته: جدول زیر وضعیت جبهه‌های موج مربوط به صدای تولیدی توسط چشمه را درچند حالت نشان می‌دهد:

نحوهٔ حرکت چشمه	چشمهٔ صوت ساکن است.	چشمه با تندی کمتر از تندی صوت به سمت راست حرکت می‌کند.
وضعیت جبهه‌های موج		
نحوهٔ حرکت چشمه	چشمه با تندی برابر تندی صوت به سمت راست حرکت می‌کند.	چشمه با تندی بیشتر از تندی صوت به سمت راست می‌رود.
وضعیت جبهه‌های موج		

مثال ۳۹: شکل روبه‌رو جهت‌های حرکت یک چشمهٔ صوتی و یک ناظر (شنونده) را در وضعیت‌های مختلف نشان می‌دهد. بسامدی را که ناظر در حالت‌های (۱) تا (۵) می‌شنود در مقایسه با حالت «الف» کمتر است یا بیشتر؟



(تجربی- شهریور ۹۸)

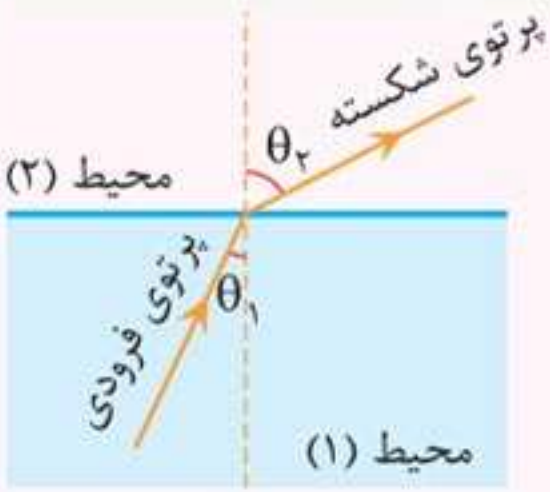
تذکر: با شکسته شدن موج، بسامد موج تغییری نمی‌کند (بسامد موج، به محیط انتشار بستگی ندارد)، اما طول موج و تندی آن تغییر می‌کند.

زاویهٔ θ_1 که زاویهٔ پرتو تابش با خط عمود است را **زاویهٔ تابش** و زاویهٔ θ_2 که زاویهٔ پرتو شکست با خط عمود است را **زاویهٔ شکست** می‌نامیم. رابطه‌ای بین زوایای θ_1، θ_2 و سرعت انتشار موج در دو محیط برقرار است که به آن **قانون شکست عمومی** می‌گویند:

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

نکته‌ها:

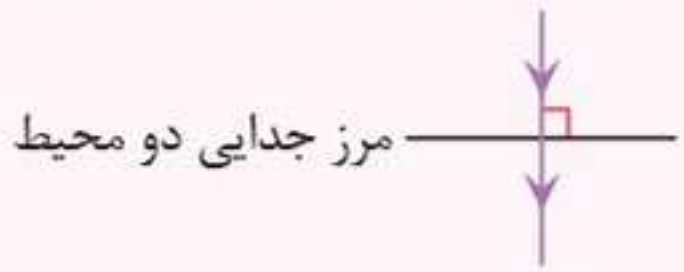
۱ در هر محیطی که تندی انتشار موج بیشتر باشد، پرتو از خط عمود دورتر می‌شود؛ بنابراین در شکل مقابل $v_2 > v_1$ است.



۲ در هر محیطی که تندی انتشار موج بیشتر باشد، فاصلهٔ جبهه‌های موج (طول‌موج) نیز بیشتر است.

۳ با استفاده از رابطهٔ $\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2}{v_1}$ داریم: $\frac{\sin\theta_2}{\sin\theta_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$

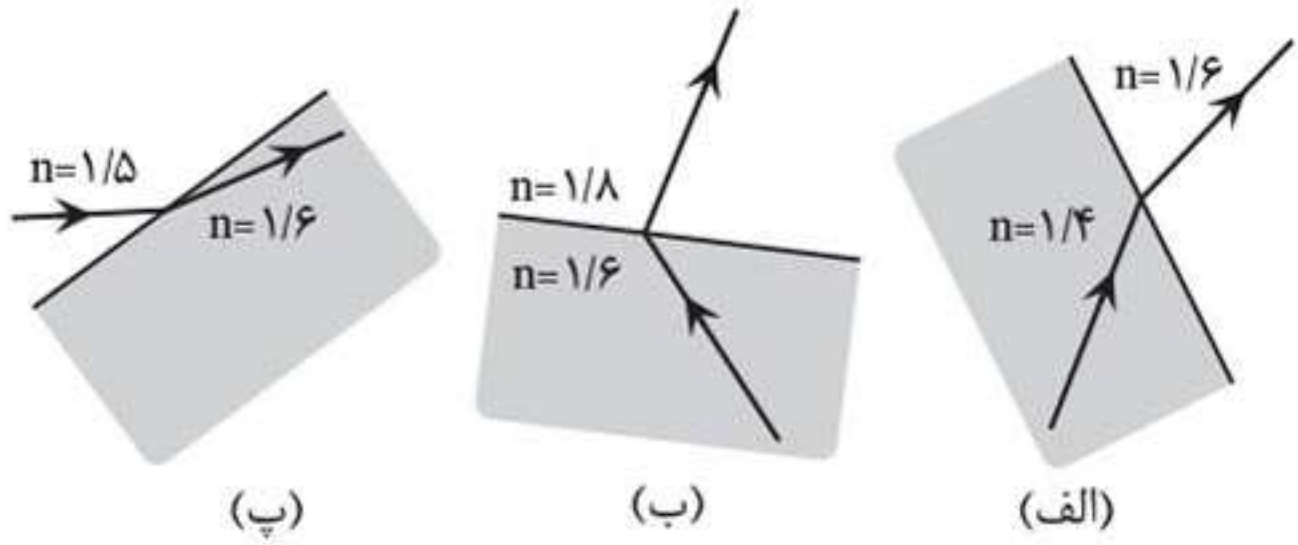
۴ اگر پرتو موج بر سطح جدایی دو محیط عمود باشد، پرتو بدون انحراف وارد محیط دوم می‌شود (تغییر جهت نمی‌دهد).



۵ زاویهٔ انحراف پرتو شکست نسبت به پرتو تابش را D می‌نامیم که از رابطهٔ $D = |\theta_2 - \theta_1|$ به‌دست می‌آید.

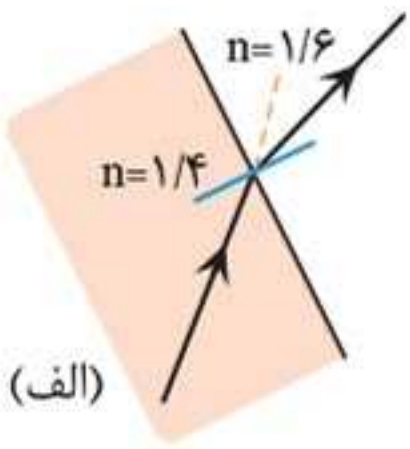
پرسش ۳-۱۰

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



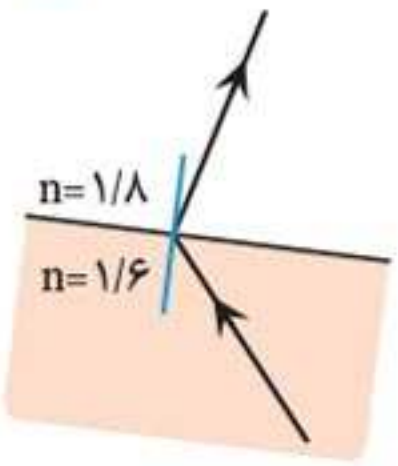
(پ) (ب) (الف)

■ **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.



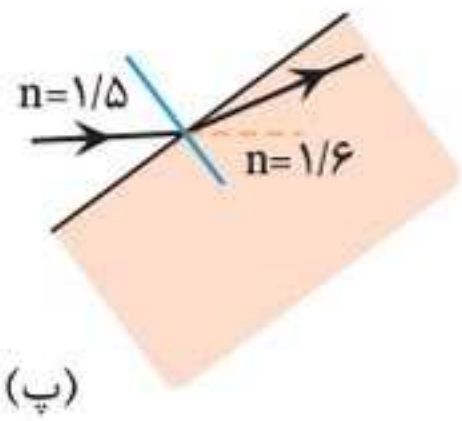
(الف)

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



(ب)

در شکل (پ) پرتو از محیطی با ضریب شکست کمتر وارد محیطی با ضریب شکست بیشتر شده، اما از خط عمود دور شده است که از لحاظ فیزیکی غیرممکن است.



(پ)

لقمهٔ دوم تمرین‌ها و پرسش‌ها

پرسش ۳-۱

بسامد ضربان قلب مربوط به نمودار شکل زیر چقدر است؟

■ پاسخ:

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

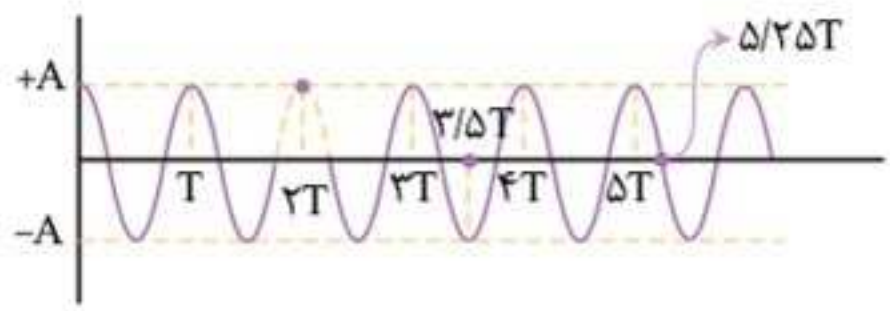
تمرین ۳-۱

ذره‌ای در حال نوسان ساده با دورهٔ تناوب T است. با فرض این‌که در $t = ۰$ 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.)

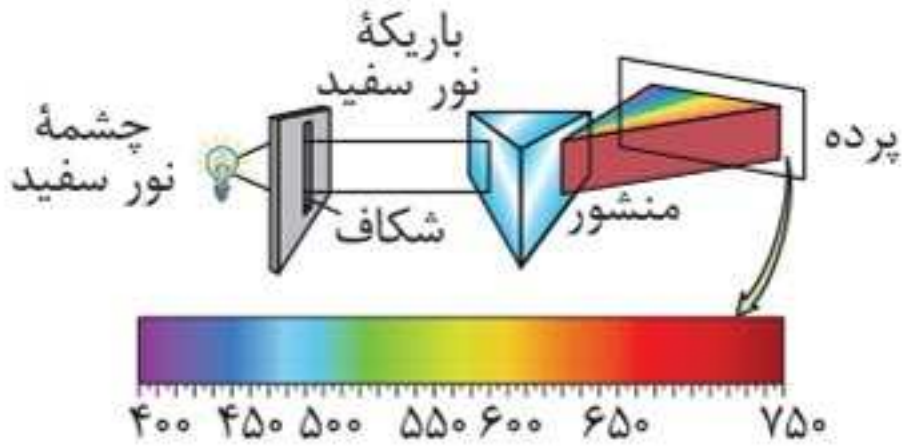
■ پاسخ:



الف) $x = +A : t = ۲T$

ب) $x = -A : t = ۳/۵T$

پ) $x = ۰ : t = ۵/۲۵T$



بخش مرئی طیف گسیلی پیوستهٔ نور از رشتهٔ داغ یک لامپ روشن

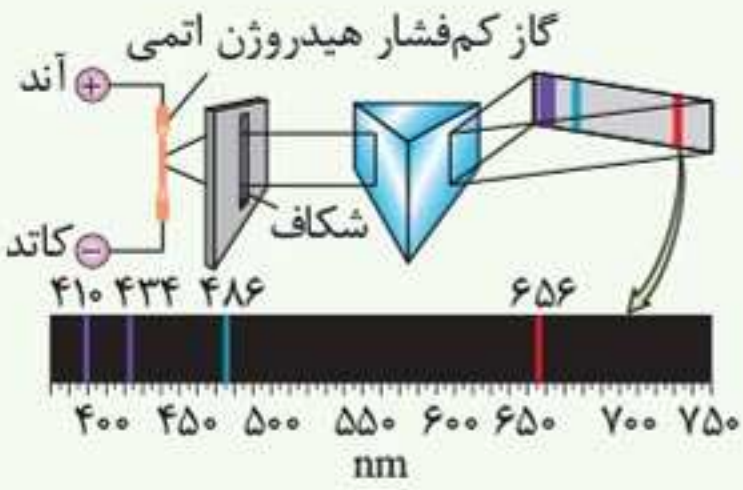
تذکر: تشکیل طیف پیوسته توسط جسم جامد، ناشی از برهم کنش قوی بین اتم‌های سازندهٔ آن است.

طیف گسیل خطی (طیف خطی)

گازهای کم‌فشار و رقیق که اتم‌های منفرد آن‌ها از برهم کنش قوی موجود در جسم جامد آزادند، به جای طیف پیوسته، طیفی گسسته را گسیل می‌کنند که شامل طول موج‌های معینی است که به آن **طیف گسیلی خطی** می‌گویند.

تذکر: طول موج‌های ایجادشده در طیف خطی برای اتم‌های هر گاز منحصر به فرد هستند و اطلاعات مهمی را دربارهٔ نوع و ساختار اتم‌های آن گاز در اختیار ما قرار می‌دهند. شکل زیر قسمت‌های مرئی طیف‌های خطی دو گاز نئون و جیوه را نشان می‌دهد که طول موج‌های مرئی گسیل‌شده رنگ خاصی به تابلوهای نئونی و لامپ‌های جیوه‌ای می‌دهند.

نکته: آزمایش تشکیل و مشاهدهٔ طیف گسیلی گازها:



برای ایجاد طیف گسیلی خطی به یک منبع تغذیهٔ ولتاژ بالا و مقدار کمی گاز رقیق و کم‌فشار (هیدروژن، هلیم، نئون و...) نیاز داریم که در یک محفظهٔ شیشه‌ای بلند قرار دارند. اگر به دو الکترود آند و کاتد دو سر محفظه که به منبع تغذیه متصل می‌شوند، ولتاژ بالایی اعمال شود، در گاز تخلیهٔ الکتریکی رخ داده و اتم‌های گازِ درون لامپ شروع به گسیل نور می‌کنند.

شکل طیف گسیلی خطی اتم هیدروژن را نشان می‌دهد که شامل یک رشتهٔ منظم از خط‌هایی است که در یک زمینهٔ تیره مشخص شده‌اند.

تذکر: ۱ طیف خطی ایجادشده و همچنین رنگ نور گسیل‌شده، به نوع گاز درون لامپ بستگی دارد.

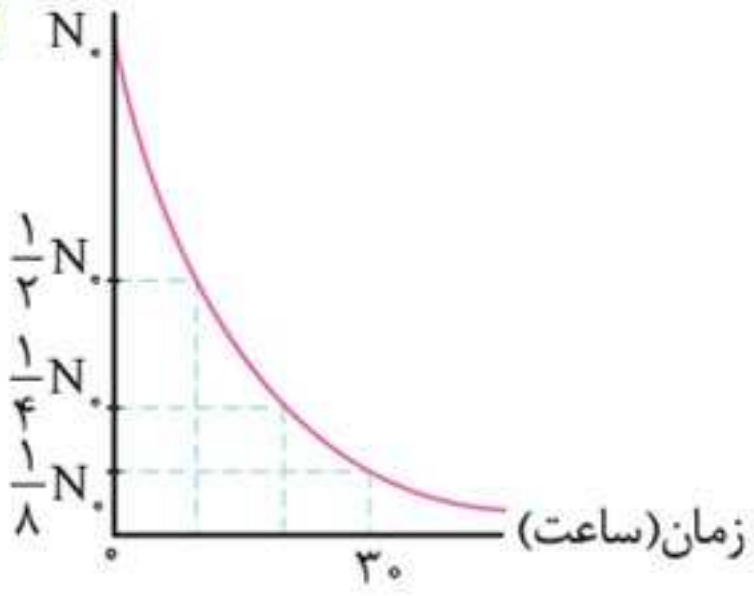
۲ شدت نور خطوط این طیف یکسان نیست.

معادلهٔ بالمر

بالمر رابطهٔ ساده‌ای پیشنهاد کرد که با استفاده از آن می‌توان طول موج هر یک از خط‌های شناخته‌شده مربوط به طیف گسیلی خطی اتم هیدروژن را به‌دست آورد:

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

مثال ۲۱: شکل زیر تعداد هسته‌های مادهٔ پرتوزا را برحسب زمان نشان می‌دهد. پس از گذشت ۸۰ ساعت، چه کسری از هسته‌های اولیه باقی می‌ماند؟ (ریاضی ـ دی ۱۴۰۱)



■ **پاسخ:** مطابق نمودار، ۳ نیمه‌عمر ۳۰h طول کشیده است، پس نیمه‌عمر مادهٔ پرتوزا برابر ۱۰h است؛ در نتیجه ۸۰h برابر ۸ نیمه‌عمر است و داریم:

$$N = \frac{N_0}{2^n} \Rightarrow N = \frac{N_0}{2^8} = \frac{1}{256} N_0$$

مثال ۲۲: پس از ۱۵ دقیقه، $\frac{7}{8}$ هسته‌های یک نمونهٔ مس پرتوزا به فلز دیگری تبدیل می‌شود. نیمه‌عمر این نمونه مس چند دقیقه است؟ (تجربی ـ شهریور ۱۴۰۱)

■ **پاسخ:** $\frac{7}{8}$ مادهٔ فعال اولیه واپاشیده شده است؛ یعنی $\frac{1}{8}$ مادهٔ فعال اولیه باقی مانده است؛ بنابراین داریم:

$$N = N_0 (\frac{1}{2})^n \xrightarrow{N=\frac{1}{8}N_0} \frac{1}{8} N_0 = N_0 (\frac{1}{2})^n$$

$$\Rightarrow \frac{1}{2^3} = \frac{1}{2^n} \Rightarrow n = 3$$