

به نام پروردگار مهربان

فیزیک

ریاضی

دوازدهم

مفاهیم، تعاریف، تصاویر و فرمول‌ها

مهندس حسن محمدی



مهروماه

مقدمه

یکی از دغدغه‌های بزرگ دانش‌آموزان توی چند سال اخیر این بوده که با این کتاب درسی پر از نکته که کوچک‌ترین جزئیاتش، مثال‌هاش، پرسش‌ها و تمرین‌های بدون جوابش 😞 مستقیماً توی امتحانات نهایی و کنکور به عنوان سؤال و تست مطرح میشه چیکار کنن؟ جواب این سؤال مهم و طولانی همینجاست! یکم صبر کنید تا دونه دونه بهتون بگم چه لقمه خوشمزه‌ای 😊 براتون آوردم: **لقمه اول:** همه مفاهیم کتاب درسی، شکلا و توضیحاتشون، فرمول‌ها و نکاتشون رو توی این لقمه براتون آماده کردم. اما این لقمه وقتی جذاب‌تر میشه که بدونید سؤالی امتحان نهایی چند سال اخیر، تمرین‌ها و پرسش‌های مهم کتاب که به مثال تبدیل شدن رو لابه‌لای درسنامه براتون خیلی شیک چیدم تا برید بخونید و لذتجو ببرید. هنوز تموم نشده! یه سورپرایزم دارم! اگه میخواید آخر هر فصل خودتونو محک بزنید، چنتا سؤال خوب و چالشی به عنوان محتوای افزوده براتون توی سایت گذاشتیم 😎

لقمه دوم: تمام پرسش‌ها، فعالیت‌ها و آزمایش‌ها رو توی این لقمه با جوابشون براتون آوردم تا بتونید خوب خوب کتاب رو هضم کنید! **لقمه آخر:** یک لقمه شگفت‌انگیز: اسمش تعاریف و فرمولنامست جاشم آخر کتابه! فرمول‌ها و تعاریف همه فصل‌ها رو یکجا آوردم تا بتونید توی کمتر از ۱ ساعت کل کتاب رو بیلعید!

خیلی تلاش کردیم تا کتاب کاملاً جامعی رو براتون آماده کنیم اما کتاب کوچیکه و محدودیت حجم همیشه اذیتمون میکنه. اما اصلاً



نگران نباشید چون چیزی کم نگذاشتیم و یه سری سوال ترکیبی جون‌دار و پاسخ فعالیت‌ها و آزمایش‌ها رو به عنوان محتوای افزوده تو سایت براتون آپلود کردیم که با اسکن کردن کدی که میبینید میتونید راحت دانلودش کنید.

حرف آخر: ببینید بچه‌ها من ادعا میکنم این کتاب کوچیک با تمام جمع و جور بودنش کتابیه که میتونید با خوندنش از پس هر آزمونی بر بیاید! از امتحانای تشریحی و تستی مدرسه گرفته تا امتحان نهایی و کنکور! پس قورتش 🍌 بدید استیکر قبل اینکه امتحانا شما رو قوت بدن.

تشکر و سپاس فراوان از:

در اینجا لازمه از کلیه عزیزانی که در به چاپ رسیدن کتاب سهیم بودن تشکر کنم:

- جناب آقای احمد اختیاری، مدیر محترم انتشارات، که همیشه با اعتمادشون به جوون‌ترها، به اونها امید میبخشن.
- جناب آقای محمدحسین انوشه مدیر محترم شورای تألیف و جناب آقای نصرالله افاضل مدیر و ناظر علمی گروه فیزیک که فرصت نوشتن این کتاب رو به من دادن.
- سرکار خانم مهندس مهدیه اسکندری مسئول تألیف گروه فیزیک که باید بگم کل زحمات از صفر تا صد روی دوششون بوده و توی این یکی دو خط نمیشه به هیچ شکلی از ایشون تشکر کرد.
- جنای آقای محسن فرهنگی مدیر هنری، سرکار خانم سمیرا سیاوشی مدیر تولید و جناب آقای میلاد صفایی مدیر فنی که زحمت کشیدن تا کتاب با بهترین کیفیت به دست شما برسه.
- شما دبیران و دانش‌آموزان عزیز که قراره کتاب رو نقد کنید و نظراتتونو از طریق پل ارتباطی @physics_mehromah با ما در میون بزارید.

ارادتمند شما

حسن محمدی

فهرست

لقمه دوم

لقمه اول

۴۸	۸	فصل ۱ حرکت بر خط راست
۱۰۵	۶۸	فصل ۲ دینامیک و حرکت دایره‌ای
۱۶۷	۱۲۰	فصل ۳ نوسان و موج
۲۱۱	۱۷۶	فصل ۴ برهم‌کنش‌های موج
۲۴۹	۲۲۰	فصل ۵ آشنایی با فیزیک اتمی
۲۸۱	۲۵۴	فصل ۶ آشنایی با فیزیک هسته‌ای
۲۸۳		لقمه آخر

نمودار مکان - زمان ($x-t$)

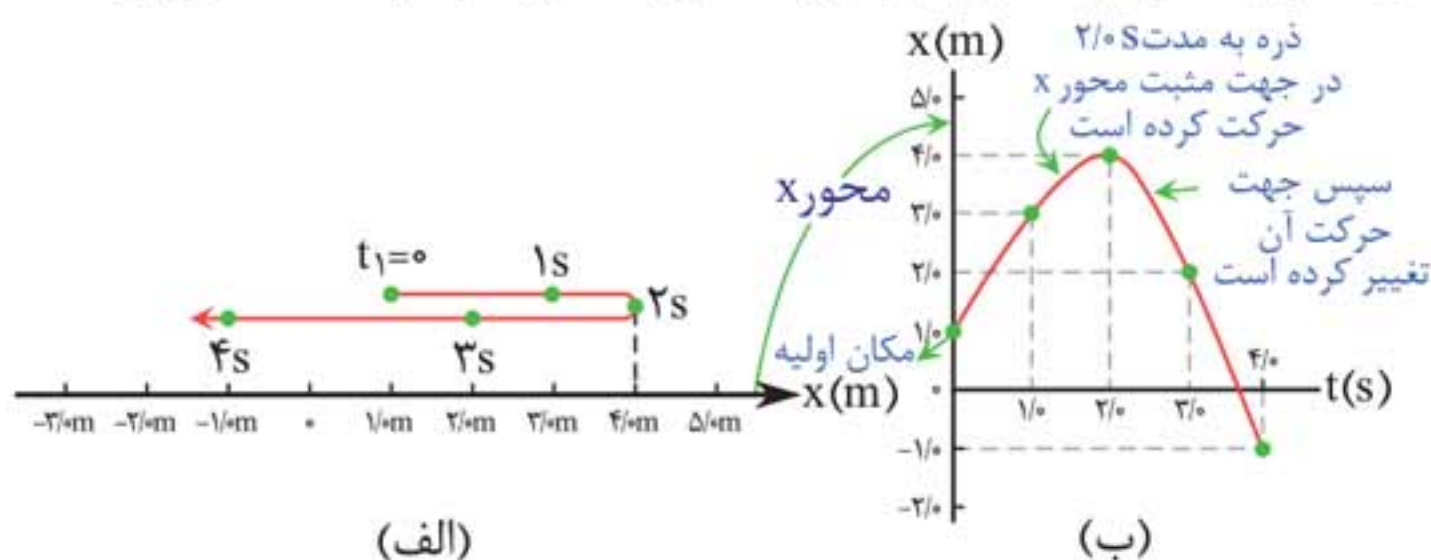
برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نمودار مکان - زمان که مکان جسم را در هر لحظه نشان می‌دهد، استفاده کرد. در شکل (الف) مسیر حرکت متحرک نشان داده شده است. متحرک در مسیر حرکت خود:

۱ در مبدأ زمان، در $x_1 = 1\text{ m}$ بوده است.

۲ در $t_2 = 1\text{ s}$ ، در مکان $x_2 = 3\text{ m}$ بوده است.

۳ در لحظه $t_3 = 2\text{ s}$ در مکان $x = 4\text{ m}$ بوده است و به همین ترتیب حرکت خود را ادامه داده است.

اگر نقاط بالا را که مربوط به زمان‌ها و مکان‌های مشخص است، روی صفحه $x-t$ مشخص کنیم و به وسیله یک منحنی (خم) هموار به هم وصل کنیم، نمودار مکان - زمان مطابق شکل (ب) به دست می‌آید.

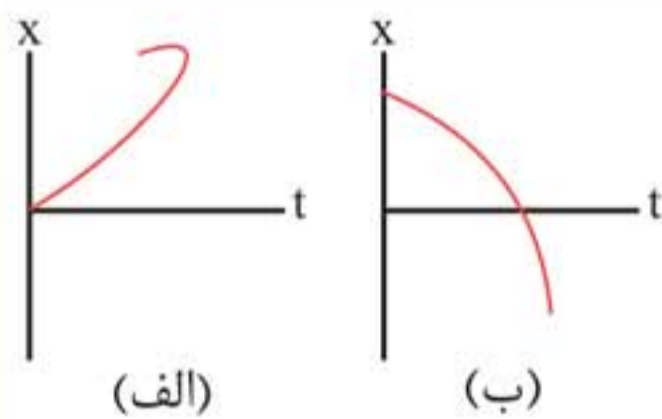


نکته‌ها: ۱ نقطه برخورد نمودار با محور عمودی نشان‌دهنده مکان اولیه متحرک است.

۲ در زمان‌هایی که نمودار مکان - زمان، افقی و موازی محور t باشد، متحرک ساکن است.

۳ نقطه برخورد نمودار با محور افقی نشان‌دهنده لحظه‌ای است که متحرک در مبدأ است. اگر نمودار محور t را قطع کند، بردار مکان آن تغییر جهت می‌دهد (قطع کند، نه این که مماس شود!).

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

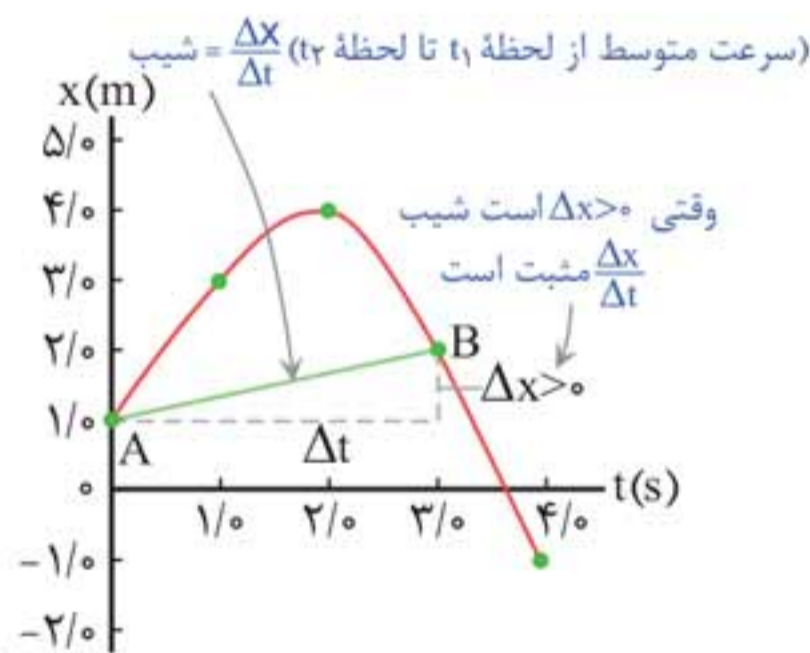


مثال ۴: با توجه به شکل مقابل، توضیح دهید کدام یک از نمودارهای مکان - زمان (الف) یا (ب) می‌تواند نشان‌دهنده نمودار مکان - زمان متحرک باشد؟ (تجربی - شهریور ۹۸)

■ **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 - زمان

مطابق شکل، سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه دلخواه، برابر شیب خطی است که نمودار مکان - زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. مثلاً سرعت متوسط بین $t_1 = 0\text{ s}$ و $t_2 = 3\text{ s}$ برابر است با شیب خط AB؛ بنابراین داریم:



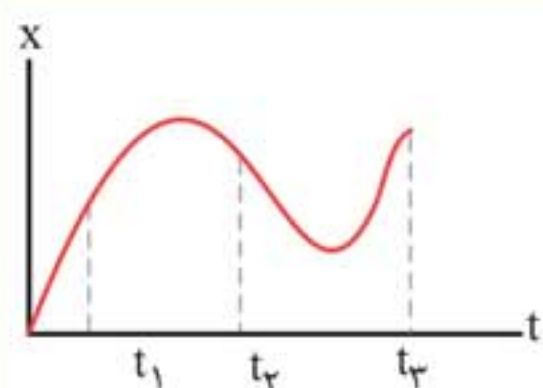
$$v_{av} = \text{شیب خط واصل بین دو نقطه} = \frac{2-1}{3-0} = \frac{1}{3} \text{ m/s}$$

حرکت بر خط راست مهر و ماه

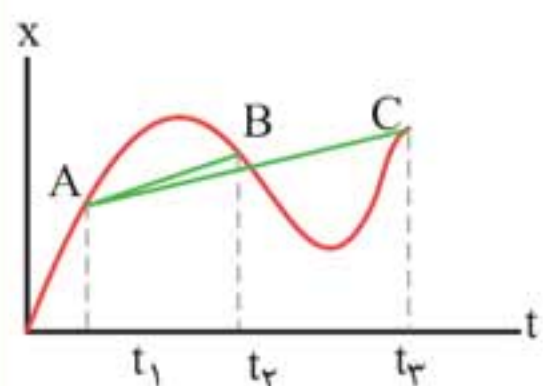
در مورد علامت سرعت متوسط از روی نمودار $x-t$ به جدول زیر توجه کنید:

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

نکته: اگر شیب نمودار مکان-زمان یک متحرک در طول حرکت ثابت باشد، سرعت متوسط در هر بازه زمانی دلخواه یکسان است.



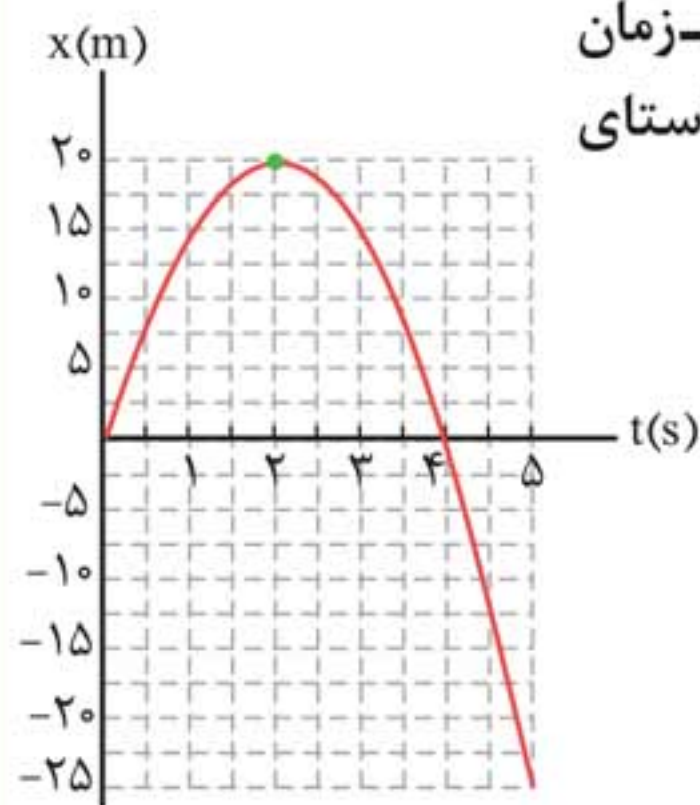
مثال ۵: نمودار مکان-زمان متحرکی که بر روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل مقابل است. سرعت متوسط این متحرک را در بازه‌های زمانی t_1 تا t_2 و t_1 تا t_3 با هم مقایسه کنید.



پاسخ:

شیب خط $AC >$ شیب خط AB

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



مثال ۶: شکل مقابل نمودار مکان-زمان

خودرویی را نشان می‌دهد که در راستای خط راست حرکت می‌کند.

الف) سرعت و تندی متوسط

را در بازه زمانی $t_1 = 1s$ تا

$t_3 = 3s$ پیدا کنید.

ب) سرعت متوسط و جهت

آن را در بازه زمانی $t_1 = 1s$

تا $t_5 = 5s$ به دست آورید.

■ پاسخ: الف)

$$\left. \begin{array}{l} t_1 = 1s \Rightarrow x_1 = 15m \\ t_3 = 3s \Rightarrow x_3 = 15m \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta x = 0 \Rightarrow v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = 0 \text{ m/s}$$

$$l = |20 - 15| + |15 - 20| = 10 \text{ m}$$

$$\Rightarrow s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{10}{3-1} = 5 \text{ m/s}$$

تذکر: در محاسبه مسافت دقت کنید که متحرک در لحظه $t_3 = 2s$ تغییر جهت داده است.

$$\left. \begin{array}{l} t_1 = 1s \Rightarrow x_1 = 15m \\ t_5 = 5s \Rightarrow x_5 = -25m \end{array} \right\} \Rightarrow v_{av} = \frac{x_5 - x_1}{t_5 - t_1} \quad (\text{ب})$$

$$= \frac{-25 - 15}{5 - 1} = -10 \text{ m/s} \xrightarrow{v_{av} < 0} \text{ در خلاف جهت محور } x$$

◀ تندى و سرعت لحظه‌ای

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

- نکته‌ها: ۱** عقربه تندى سنج خودرو، تندى لحظه‌ای را نشان می‌دهد و هیچ گونه اطلاعی در خصوص جهت حرکت خودرو به ما نمی‌دهد.
- ۲** منظور از سرعت و تندى، همان سرعت و تندى لحظه‌ای است.
- ۳** هرگاه متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند، $v > 0$ و هرگاه در خلاف جهت محور x حرکت کند، $v < 0$ است. دقت کنید که تندى، یک کمیت نرده‌ای و همواره مثبت است.

تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها

لقمه دوم

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 اندازه 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 اندازه بردار جابه‌جایی را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.

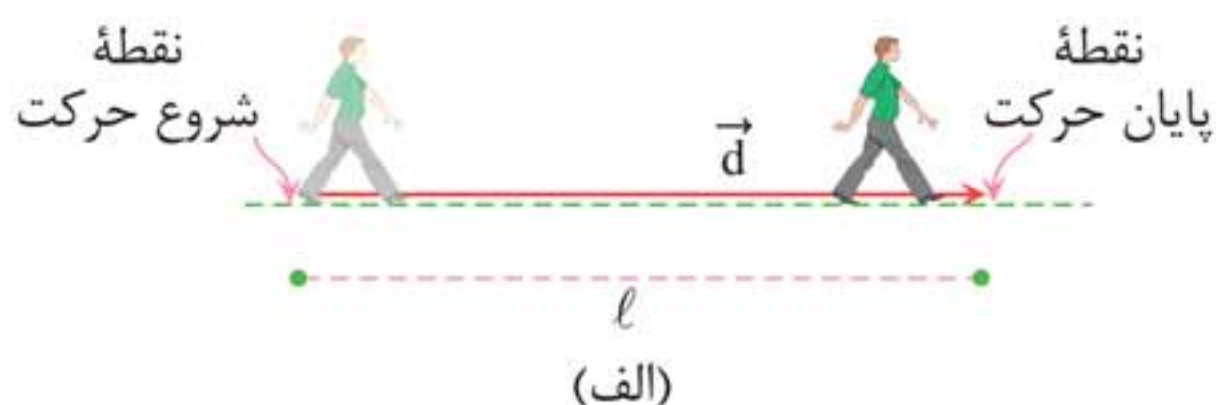


۳. شکل (پ) مسیر حرکت ماه به دور زمین را نشان می‌دهد. وقتی ماه در جهت نشان داده شده در شکل، از مکان ۱ به مکان ۲ می‌رود، مسیر حرکت و بردار جابه‌جایی آن را روی شکل مشخص و اندازه بردار جابه‌جایی آن را با مسافت پیموده شده مقایسه کنید.

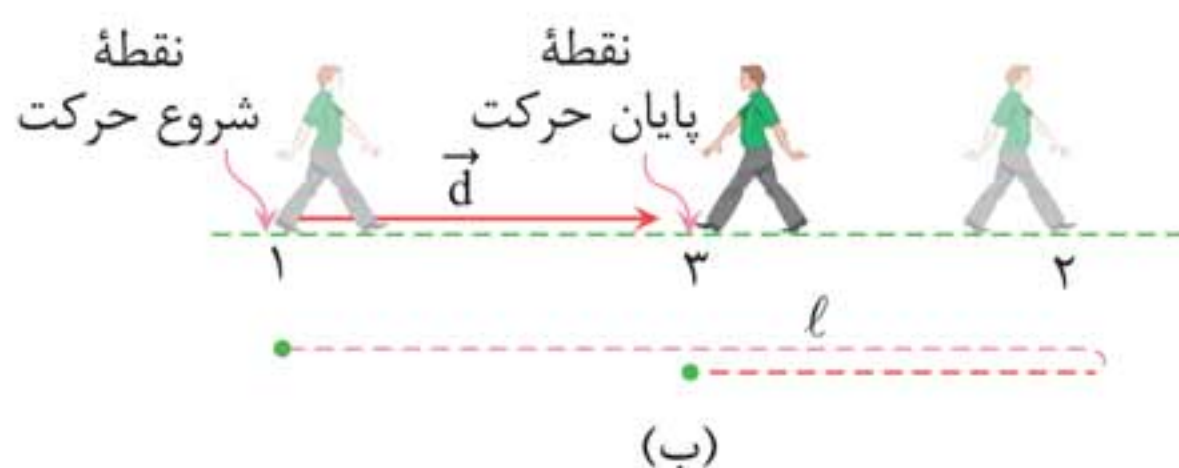


حرکت بر خط راست مهروماه

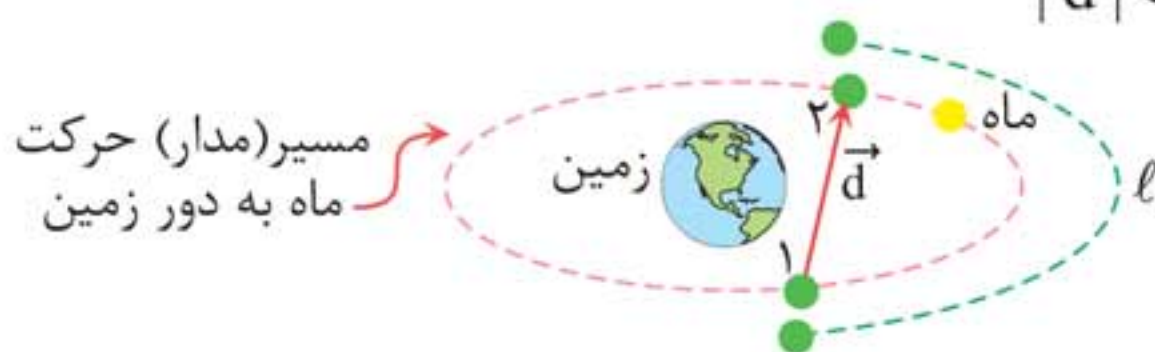
■ پاسخ: ۱) چون متحرک روی خط راست و در یک جهت ثابت حرکت کرده است (تغییر جهت نداده است)، مسافت و اندازه جابه‌جایی برابرند.



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



۳) به علت تغییر جهت، اندازه جابه‌جایی کوچک‌تر از مسافت طی شده است: $|\vec{d}| < l$



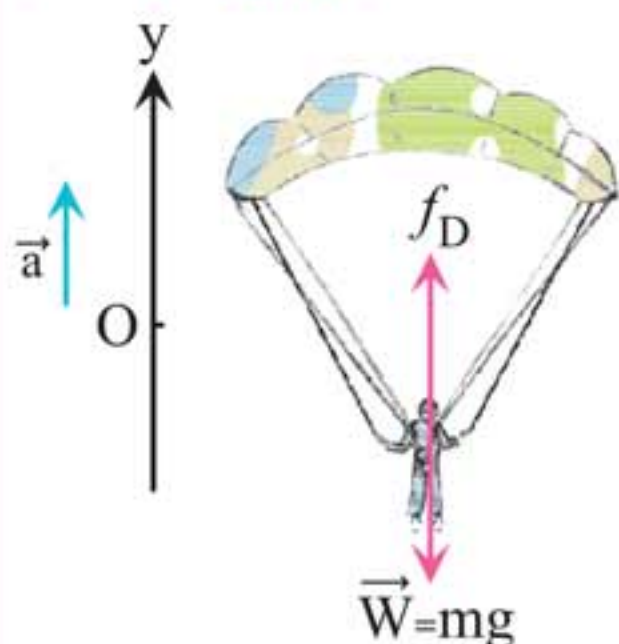
پرسش ۲-۱

در چه صورت اندازه سرعت متوسط یک متحرک با تندی متوسط آن برابر است؟ برای پاسخ خود می‌توانید به شکل‌های پرسش ۱-۱ نیز توجه کنید.

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

دینامیک و حرکت دایره‌ای مهرماه

ب) واکنش هر یک از نیروهای وارد بر چتر باز به چه جسمی وارد می‌شود؟
(تجربی - خرداد ۹۸)



■ پاسخ: الف) چون نیروی مقاومت هوا ($f_D = 1000\text{N}$) از نیروی وزن ($W = mg = 800\text{N}$) بیشتر است، نیروی خالص و شتاب چتر باز رو به بالاست:

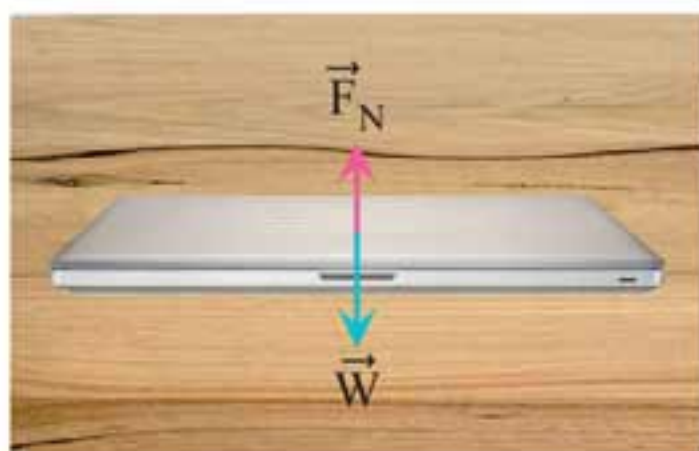
$$F_{\text{net}} = ma \Rightarrow f_D - W = ma$$

$$\Rightarrow 1000 - 800 = 80a$$

$$\Rightarrow 200 = 80a \Rightarrow a = 2/5 \text{ m/s}^2$$

ب) واکنش نیروی مقاومت هوا (f_D) به مولکول‌های هوا و واکنش نیروی وزن (W) به مرکز زمین وارد می‌شود.

نیروی عمودی سطح (F_N)



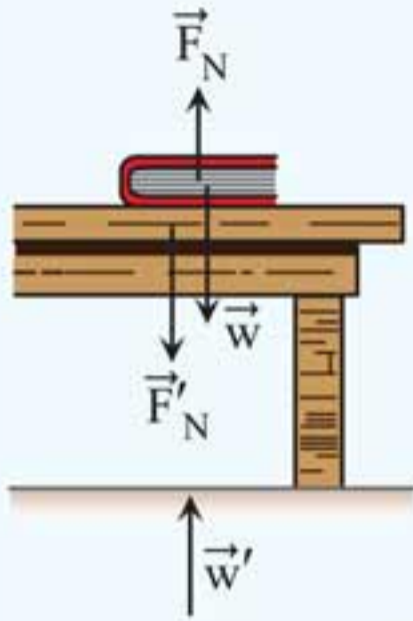
نیروهای وارد بر لپ‌تاپ متوازن‌اند.

لپ‌تاپی را مطابق شکل روی یک سطح افقی در نظر بگیرید. در این حالت نیروهای وارد بر لپ‌تاپ متوازن‌اند. بنابراین باید نیرویی هم‌اندازه و در خلاف جهت نیروی وزن از طرف میز

(سطح) بر لپ‌تاپ وارد شده باشد تا نیروی وزن را خنثی کند. این نیرو که عمود بر سطح تماس است را نیروی عمودی سطح گویند.

📌 نکته‌ها: ۱) نیروی عمودی سطح ناشی از تغییر شکل سطح تماس دو جسم است که مربوط به نیروهای بین مولکولی است.

۲ با توجه به شکل درمی یابیم که:



• نیروی عمودی تکیه گاه از طرف سطح به جسمی که روی آن قرار دارد وارد می شود (\vec{F}_N).

• واکنش \vec{F}_N ، \vec{F}'_N است که در خلاف جهت آن از طرف جسم به سطح وارد می شود.

• واکنش نیروی وزن (\vec{W})، نیرویی است (\vec{W}')

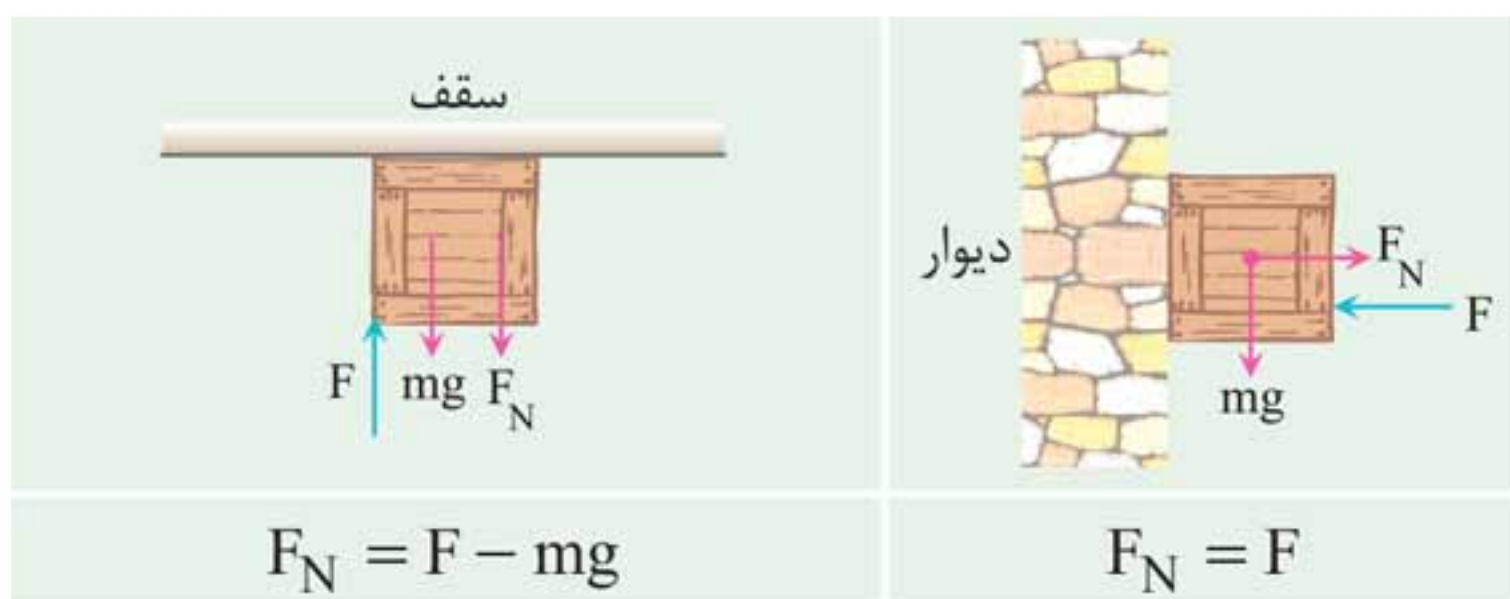
که از طرف جسم به زمین و در خلاف جهت \vec{W} به آن وارد می شود.

🔧 **تذکر:** نیروی وزن (\vec{W})، واکنش نیروی عمودی سطح نیست!!! و بالعکس.

۳ اگر جسمی روی ترازو قرار داشته باشد، ترازو F_N را نشان می دهد.

🔧 **تکنیک:** جدول زیر چند حالت مهم را برای F_N بررسی می کند:

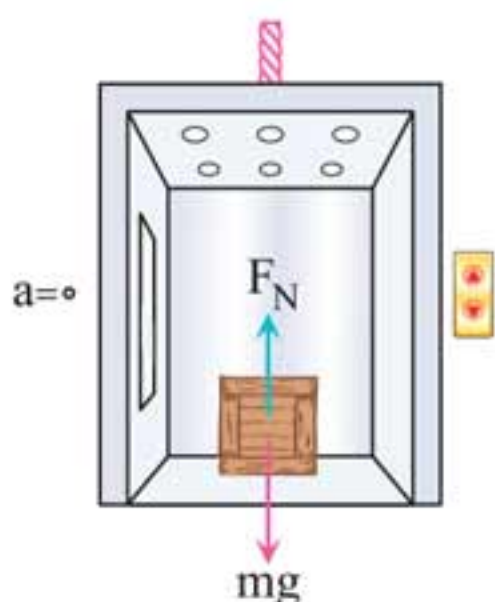
$F_N = mg + F$	$F_N = mg$
$F_N = mg - F_y$	$F_N = mg - F$



آسانسور

اگر جسمی را در یک آسانسور تصور کنیم، بسته به اندازه و جهت شتاب آسانسور، نیروی عمودی سطح در برخی حالت‌ها دیگر برابر mg نیست. به حالت‌های زیر به خوبی توجه کنید.

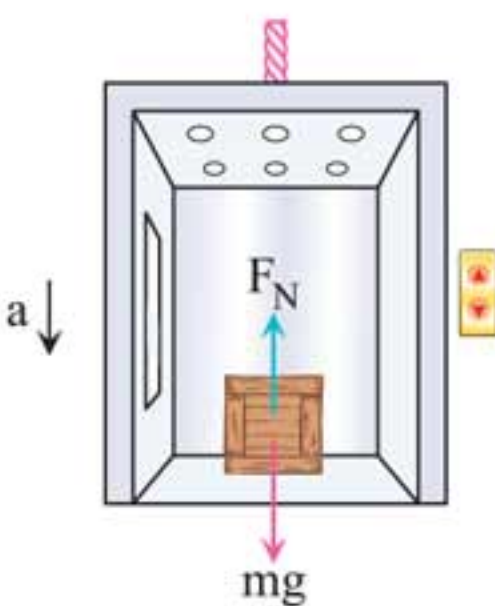
حالت اول: آسانسور ساکن است:



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

تذکر: در حالتی که آسانسور با سرعت ثابت حرکت می‌کند نیز $F_N = mg$ است.

حالت دوم: آسانسور تندشونده رو به پایین یا کندشونده رو به بالا حرکت کند: (در این حالت جهت شتاب رو به پایین است)

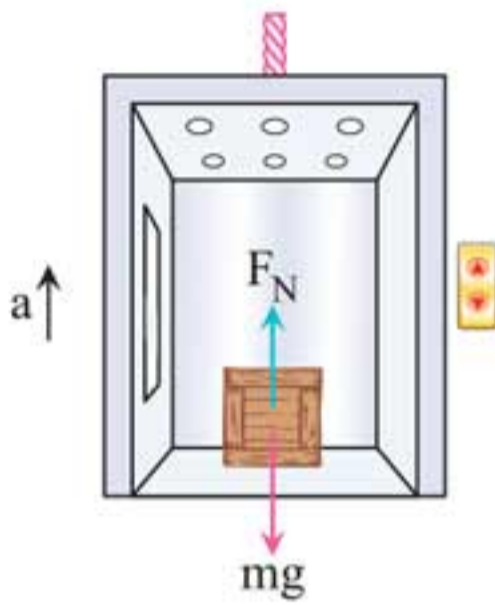


$$mg - F_N = m a \Rightarrow F_N = m(g - a)$$

اندازه شتاب آسانسور

تذکر: در این حالت ترازو عددی کوچک‌تر از اندازه وزن را نشان می‌دهد.

حالت سوم: آسانسور تندشونده رو به بالا یا کندشونده رو به پایین حرکت کند: (در این حالت جهت شتاب رو به بالا است.)

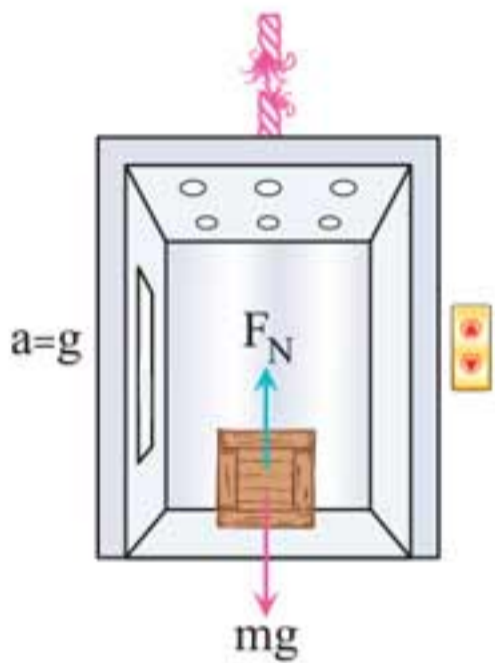


$$F_N - mg = ma \Rightarrow F_N = m(g + a)$$

اندازه شتاب آسانسور

تذکر: در این حالت ترازو عددی بزرگتر از اندازه وزن را نشان می‌دهد.

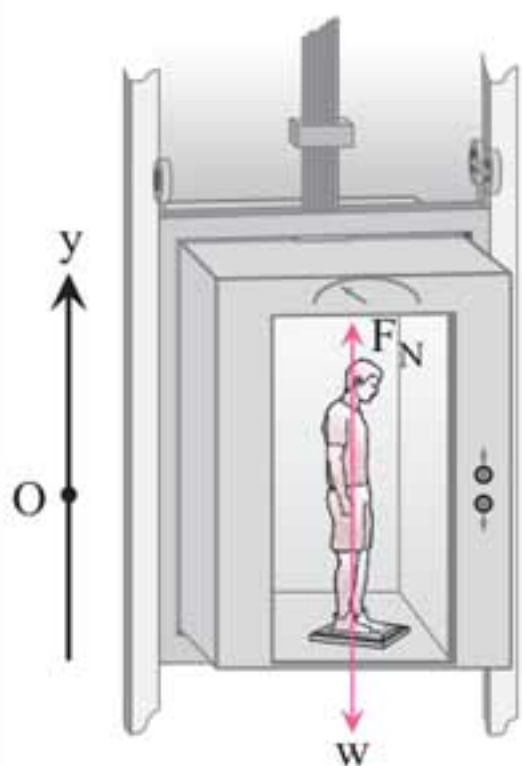
حالت چهارم: کابل آسانسور پاره شود (آسانسور سقوط آزاد کند): (در این حالت شتاب آسانسور برابر g و رو به پایین است.)



$$mg - F_N = ma \Rightarrow F_N = m(g - a) = m(g - g) = 0$$

تذکر: در سقوط آزاد، نیروی عمودی سطح صفر است (ترازو عدد صفر را نشان می‌دهد)

مثال ۱۰: دانش‌آموزی به جرم 60 kg روی یک ترازوی فنری در آسانسور ساکن ایستاده است. آسانسور با شتاب ثابت $1/2 \text{ m/s}^2$ به طرف بالا شروع به حرکت می‌کند؛ الف) ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟ ب) اگر کابل آسانسور پاره شده و آسانسور سقوط آزاد کند، ترازو چه عددی را نشان می‌دهد؟ ($g = 9.8 \text{ N/kg}$) (تجربی - خرداد ۹۸)



■ **پاسخ:** الف) چون شتاب رو به بالاست، نیروی خالص نیز رو به بالاست. عددی که ترازو نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} F_{\text{net}} = ma &\Rightarrow F_N - W = ma \\ &\Rightarrow F_N = m(g + a) \\ &\Rightarrow F_N = 60 \times (9/8 + 1/2) = 660 \text{ N} \end{aligned}$$

ب) در حالتی که آسانسور سقوط آزاد می‌کند، شتاب حرکت آن برابر g و رو به پایین است.

$$mg - F_N = ma \xrightarrow{a=g} F_N = m(g - g) = 0$$

بنابراین، در سقوط آزاد، نیروی عمودی سطح صفر است و ترازو عدد صفر را نشان می‌دهد.

نیروی اصطکاک

وقتی تلاش می‌کنیم جسمی را روی سطحی به حرکت در آوریم، چه جسم حرکت کند و چه ساکن بماند، نیروی مقاومتی در خلاف جهتی که تلاش کرده‌ایم جسم را به حرکت در آوریم ظاهر می‌شود که به آن **نیروی اصطکاک** می‌گویند. با دو حالت روبه‌رو هستیم:

حالت اول: اگر جسمی را هل دهیم و نتوانیم آن را حرکت دهیم، با نیروی اصطکاک ایستایی (f_s) مواجه هستیم که با حرکت جسم مخالفت کرده است.

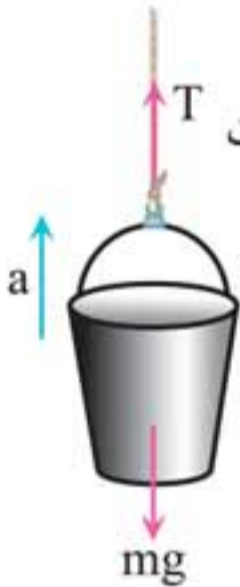


تمرین ۶-۲



کارگری یک سطل محتوی مصالح به جرم 16 kg را با طناب سبکی به طرف بالا می کشد. اگر شتاب رو به بالای سطل $1/2 \text{ m/s}^2$ باشد، نیروی کشش طناب چقدر است؟
($g = 9/80 \text{ m/s}^2$)

پاسخ:



(+) جهت حرکت

$$T - mg = ma$$

$$\Rightarrow T = m(g + a)$$

$$= 16 \times (9/8 + 1/2) = 176 \text{ N}$$

تمرین ۷-۲

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

پاسخ:

$$\left. \begin{array}{l} K = \frac{1}{2}mv^2 \\ p = mv \Rightarrow v = \frac{p}{m} \end{array} \right\} \Rightarrow K = \frac{1}{2}m\left(\frac{p}{m}\right)^2 \Rightarrow K = \frac{p^2}{2m}$$

پرسش ۸-۲

چرا در حرکت دایره‌ای یکنواخت، ذره در بازه‌های زمانی برابر، مسافت‌های یکسانی را طی می کند؟

پاسخ: در حرکت دایره‌ای یکنواخت، تندی متحرک در بازه‌های زمانی متفاوت ثابت است. پس متحرک در بازه‌های زمانی برابر، مسافت‌های یکسانی را طی می کند.

مفاهیم، تعاریف، نکته‌ها و روابط

لقمه اول

حرکت نوسانی

به حرکت‌های پی‌درپی و مداوم روبه‌جلو و عقب یا بالا و پایین 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 ضربانگ (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 در حال تکرار هستند را چرخه (سیکل) گویند.

تذکر: نوسانگر: جسمی است که در نوسان است!

دوره تناوب (T): مدت زمان انجام یک چرخه کامل (نوسان کامل) را دوره تناوب می‌نامند.

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

تذکر: بسامد عکس دوره تناوب است.

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

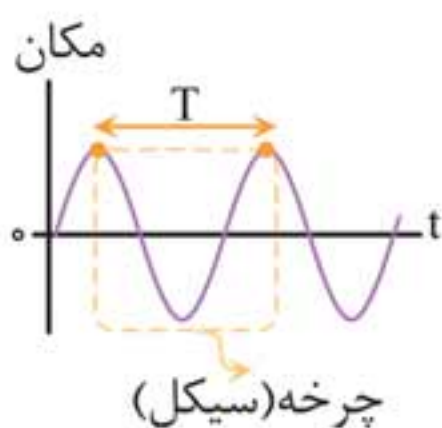
بسامد (Hz) ← $f = \frac{1}{T}$ → دوره تناوب (s)

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

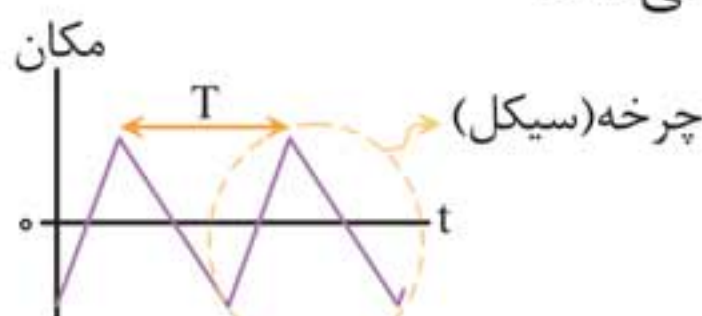
$$T = \frac{t}{n} \quad , \quad f = \frac{n}{t}$$

حرکت هماهنگ ساده

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



(ب)



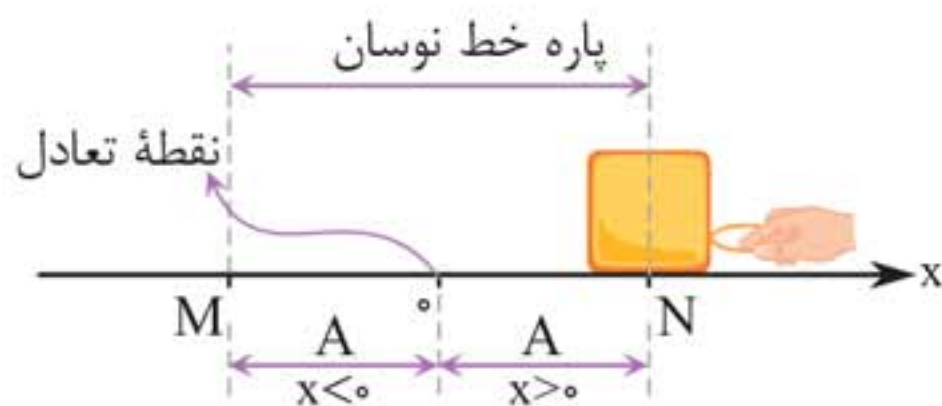
(الف)

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 نقطه تعادل (واقع بر وسط پاره‌خط نوسان) انجام می‌شود را حرکت هماهنگ ساده می‌نامند.

دامنه حرکت (A)

بیشینه فاصله نوسانگر از نقطه تعادلش را گویند. در حرکت هماهنگ ساده، نوسانگر مطابق شکل روی محور x بین $x = +A$ و $x = -A$ به جلو و عقب می‌رود که در آن A دامنه حرکت است.



نکته‌ها: ۱ نقطه تعادل، نقطه‌ای وسط پاره خط مسیر نوسان است.

۲ طول پاره خط نوسان (MN) دو برابر دامنه نوسان است:

$$\overline{MN} = 2A$$

بسامد زاویه‌ای (ω)

کمیتی است که برای توصیف حرکت هماهنگ ساده به کار می‌رود و به صورت زیر تعریف می‌شود:

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

← بسامد زاویه‌ای (rad / s) → بسامد (Hz)

↓
دوره تناوب (s)

نکته‌ها: ۱ تندی نوسانگر در نقطه تعادل بیشینه و در دو سر

پاره خط نوسان (نقاط بازگشت)، صفر است (نوسانگر در دو نقطه $M(x = +A)$ و $N(x = -A)$ ، متوقف شده و تغییر جهت می‌دهد).

تذکر: بسته به این که جسم در جهت $+x$ یا $-x$ از نقطه تعادل بگذرد، به ترتیب $v = +v_{\max}$ یا $v = -v_{\max}$ خواهد بود.

۲ مسافت طی شده توسط نوسانگر:

نوسانگر در هر مکانی باشد، پس از دو بار طی کردن پاره خط نوسان، یک نوسان کامل انجام داده و به همان وضعیت اولیه باز می‌گردد؛ بنابراین مسافت طی شده توسط نوسانگر پس از یک نوسان کامل از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$l = 2(\overline{MN}) = 4A \rightarrow \text{دامنه نوسان}$$

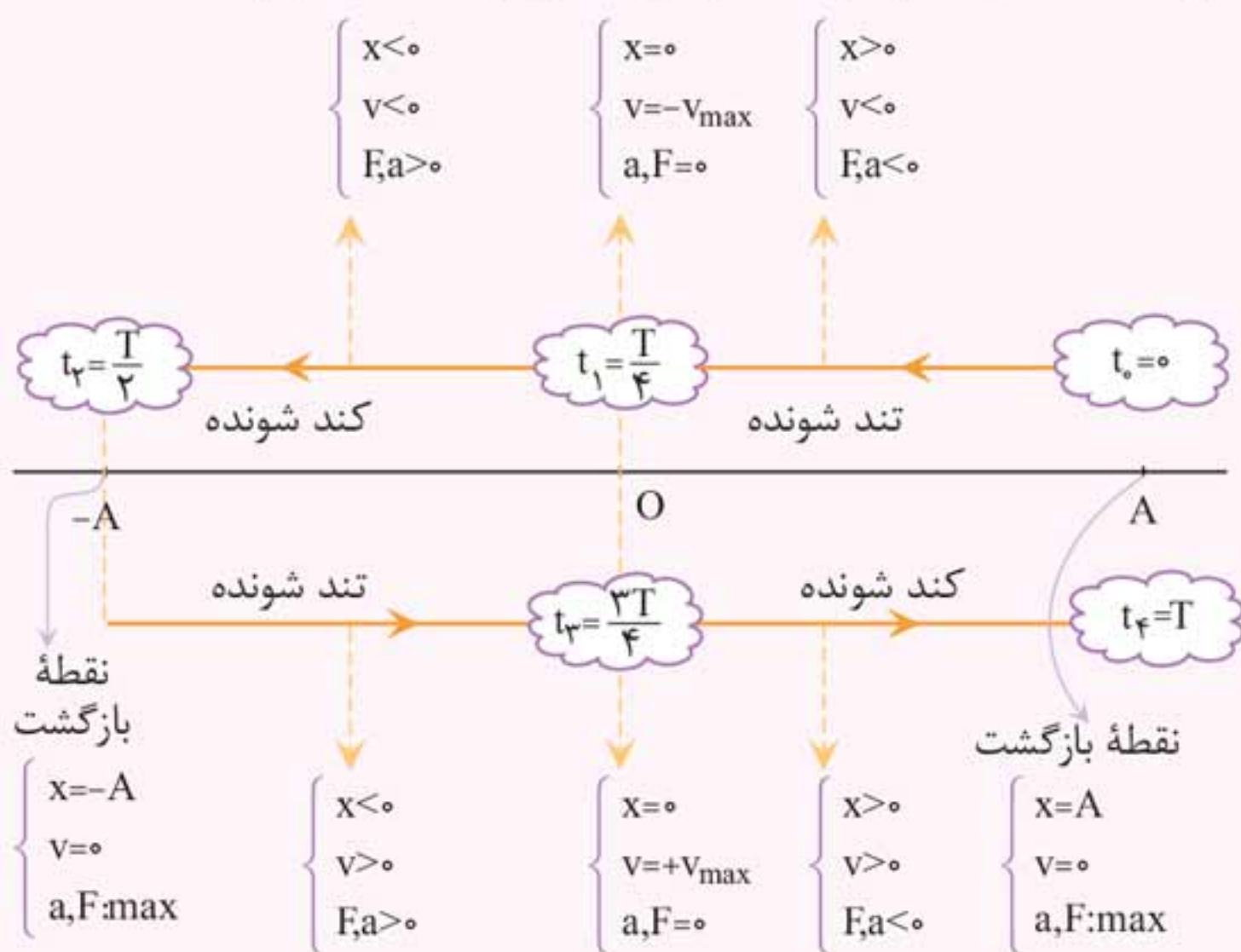
↓
طول پاره خط نوسان

۳ نیروی وارد بر نوسانگر و شتاب آن در نقطه تعادل برابر صفر و در دو سر پاره خط نوسان بیشینه است. در مورد جهت نیرو و شتاب نوسانگر، چون نیروی وارد بر نوسانگر از رابطه $F = -kx$ به دست می آید، علامت x و F همواره قرینه یکدیگرند و هنگام عبور نوسانگر از مرکز نوسان ($x = 0$)، نیرو و شتاب تغییر جهت می دهند. این جمله طلایی را به خاطر داشته باشید:

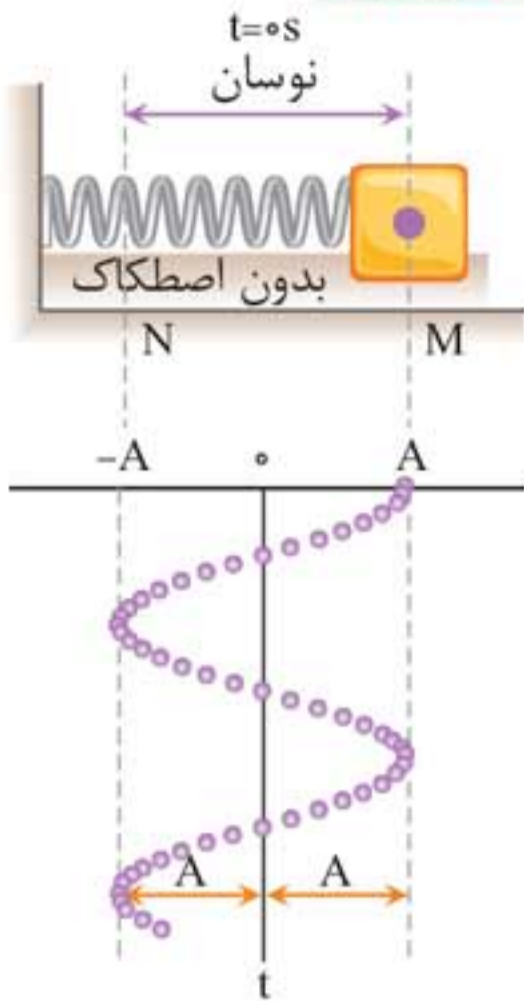
«جهت نیرو و شتاب نوسانگر، همواره به سمت مرکز نوسان است»

۴ نوع حرکت نوسانگر: در لحظاتی که نوسانگر در حال نزدیک شدن به مرکز نوسان است، تندی نوسانگر در حال افزایش (حرکت تندشونده) و در لحظاتی که نوسانگر از مرکز نوسان دور می شود، حرکت کندشونده است.

۵ در شکل زیر، علامت کمیت های مکان، سرعت، نیرو، شتاب و نوع حرکت یک نوسانگر در یک نوسان کامل را مشاهده می کنید:



معادله و نمودار مکان - زمان حرکت هماهنگ ساده

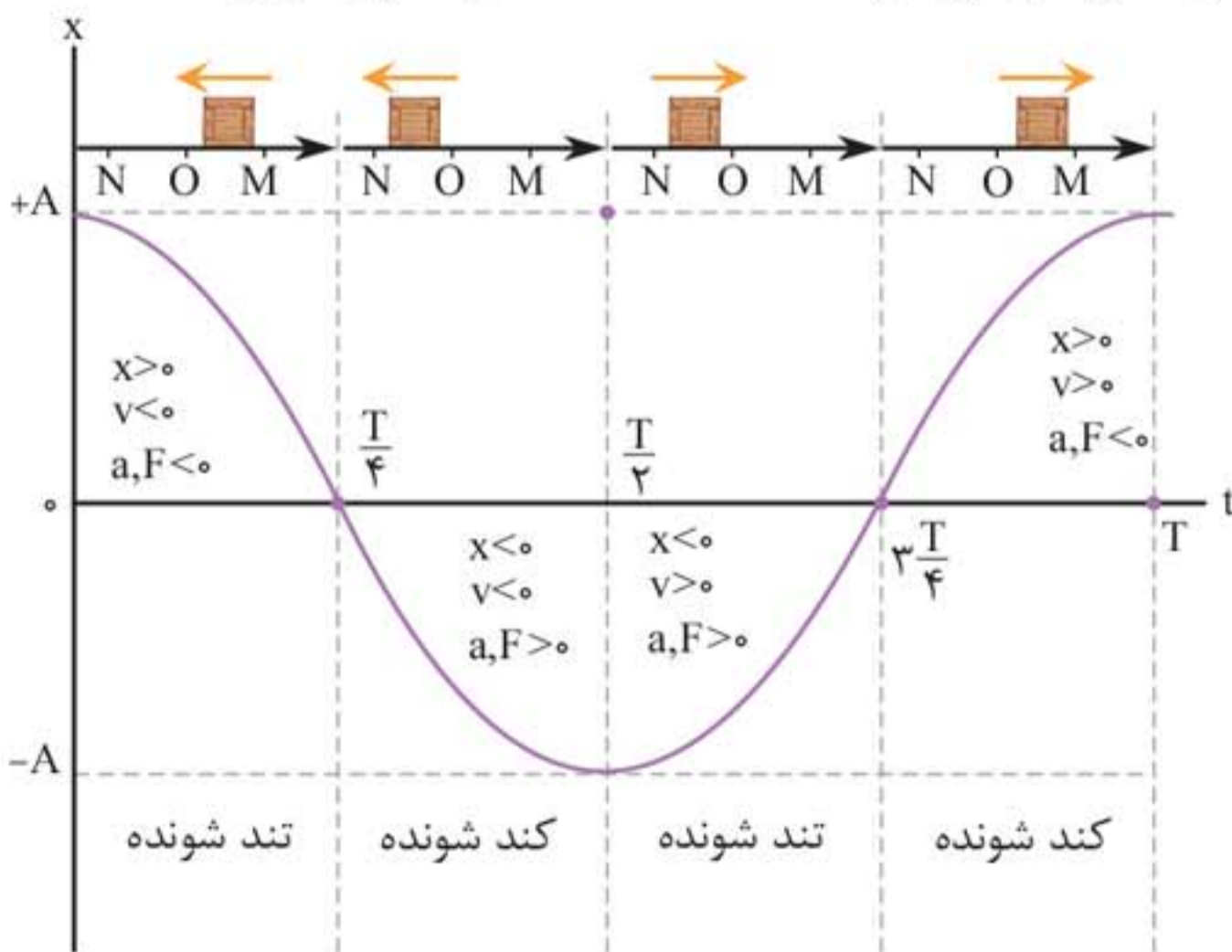


اگر جسم متصل به فنری را مطابق شکل روی سطح افقی بدون اصطکاکی کشیده و سپس رها کنیم و مکان جسم را در زمان‌های متوالی ثبت کنیم، به نمودار سینوسی می‌رسیم که در زیر سامانه جرم - فنر نشان داده شده است. اگر نوسانگر در لحظه $t_0 = 0s$ از مکان $x_0 = +A$ ، از حال سکون حرکت خود را شروع کند، در این صورت، معادله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

$$x(t) = A \cos(\omega t) \quad \leftarrow \text{مکان نوسانگر (m)}$$

\downarrow دامنه نوسان (m) \nearrow شناسه تابع کسینوس (rad)

نمودار مکان - زمان حرکت هماهنگ ساده به صورت زیر است:



مثال ۱۰: جسمی به جرم 1 kg به فنری افقی با ثابت 6 N/cm متصل است. فنر به اندازه 9 cm فشرده و سپس رها می شود و جسم روی سطح شروع به نوسان می کند. با چشم پوشی از اصطکاک: الف) دامنه نوسان و تندی بیشینه جسم چقدر است؟ ب) وقتی تندی جسم $1/6 \text{ m/s}$ است، انرژی پتانسیل کشسانی آن چقدر است؟

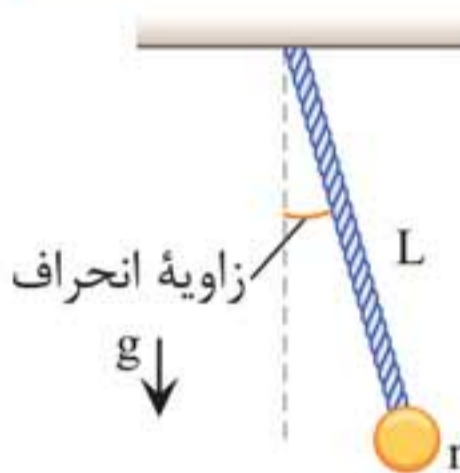
■ پاسخ: الف) $m = 1 \text{ kg}$, $k = 600 \text{ N/m}$, $A = 0.09 \text{ m}$

$$v_{\max} = A\omega = 0.09 \times \sqrt{\frac{k}{m}} = 0.09 \times \sqrt{\frac{600}{1}} = 2.2 \text{ m/s}$$

$$E = K + U \Rightarrow U = E - K = \frac{1}{2}kA^2 - \frac{1}{2}mv^2 \quad \text{ب)}$$

$$= \frac{1}{2} \times 600 \times (0.09)^2 - \frac{1}{2} \times 1 \times (1/6)^2 = 1.15 \text{ J}$$

آونگ ساده



مطابق شکل، آونگ ساده شامل وزنه کوچکی به جرم m (موسوم به وزنه آونگ) است که از نخ بدون جرم و غیرقابل کشش به طول L که سر دیگر آن ثابت شده است، آویزان است. اگر

زاویه انحراف آونگ از وضع تعادل کوچک باشد، آونگ حرکت هماهنگ ساده دارد؛ در این صورت بسامد زاویه‌ای، دوره تناوب و بسامد آونگ از روابط زیر به دست می آیند:

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \xrightarrow{T = \frac{2\pi}{\omega}} T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \xrightarrow{f = \frac{1}{T}} f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

در روابط صفحه قبل، g شتاب گرانشی بر حسب m/s^2 و L طول آونگ بر حسب m است.

تذکر: بسامد و دوره تناوب آونگ ساده، به جرم گلوله آونگ (m) و دامنه نوسان آن (A) بستگی ندارد.

نکته‌ها: ۱ اگر آونگی را در نقطه‌ای به ارتفاع h از سطح زمین به نوسان در آوریم، به علت کاهش شتاب گرانشی (g)، دوره تناوب آونگ (T) افزایش می‌یابد. به‌طور کلی برای مقایسه دوره تناوب آونگ در این دو نقطه داریم:

$$\frac{T_h}{T} = \sqrt{\frac{g}{g_h}} \xrightarrow{\frac{g}{g_h} = \frac{(R+h)^2}{R^2}} \frac{T_h}{T} = \frac{R+h}{R}$$

۲ برای یک ساعت آونگ‌دار:

- اگر دوره تناوب آونگ کاهش یابد، آونگ تندتر کار کرده و ساعت جلو می‌افتد.
- اگر دوره تناوب آونگ افزایش یابد، آونگ کندتر کار کرده و ساعت عقب می‌افتد.

تذکر: مقدار جلو یا عقب افتادن ساعت در مدت یک دوره برابر تفاضل دوره تناوب در آونگ $\Delta T = |T_1 - T_2|$ است.

مثال ۱۱: حساب کنید طول یک آونگ ساده کم دامنه چند متر باشد تا

در هر دقیقه ۳۰ نوسان کامل انجام دهد؟ ($g = \pi^2$) (تجربی-شهریور ۹۴)

پاسخ: ابتدا با استفاده از رابطه $T = \frac{t}{n}$ ، دوره تناوب آونگ را می‌یابیم:

$$T = \frac{t}{n} \xrightarrow{\substack{t=60s \\ n=30}} T = \frac{60}{30} = 2s$$

حالا با استفاده از رابطه $T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$ ، طول آونگ را محاسبه می‌کنیم:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \xrightarrow{T=2s, g=\pi^2} \cancel{2} = \cancel{2} \pi \sqrt{\frac{L}{\pi^2}}$$

$$\xrightarrow{\text{توان}^2} 1 = \frac{\cancel{\pi} \times L}{\cancel{\pi}} \Rightarrow L = 1 \text{ m}$$

مثال ۱۲: الف) ساعتی آونگ‌دار (با آونگ ساده) در تهران تنظیم شده است. اگر این ساعت به منطقه‌ای در استوا برده شود، عقب می‌افتد یا جلو؟ مقدار این عقب یا جلو افتادن در طول یک شبانه‌روز چقدر است؟ ($g_{\text{استوا}} = 9.8 \text{ m/s}^2$ ، $g_{\text{تهران}} = 9.78 \text{ m/s}^2$)
ب) به نظر شما آیا با افزایش دما، یک ساعت آونگ‌دار جلومی‌افتد یا عقب؟

پاسخ: الف)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow \frac{T_{\text{استوا}}}{T_{\text{تهران}}} = \sqrt{\frac{g_{\text{تهران}}}{g_{\text{استوا}}}} = \sqrt{\frac{9.78}{9.8}} = 1/0.001$$

دوره تناوب آونگ در استوا بیشتر از دوره تناوب آونگ در تهران است؛ پس ساعت کندتر کار کرده و عقب می‌افتد.

$$T_{\text{استوا}} = 1/0.001 T_{\text{تهران}}$$

$$\Rightarrow \Delta T = T_{\text{استوا}} - T_{\text{تهران}} = 1/0.001 T_{\text{تهران}} - T_{\text{تهران}} = 0/0.001 T_{\text{تهران}}$$

$$= 0/0.001 \times 24 \text{ h} = 0/0.001 \times 86400 \text{ s} = 86/4 \text{ s}$$

ب) با افزایش دما، طول افزایش می‌یابد و با توجه به این که

$$\frac{T_2}{T_1} = \sqrt{\frac{L_2}{L_1}} > 1$$

می‌شود، دوره تناوب بزرگتر شده، ساعت کندتر

کار کرده و عقب می‌افتد.

پرسش ۱-۳

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



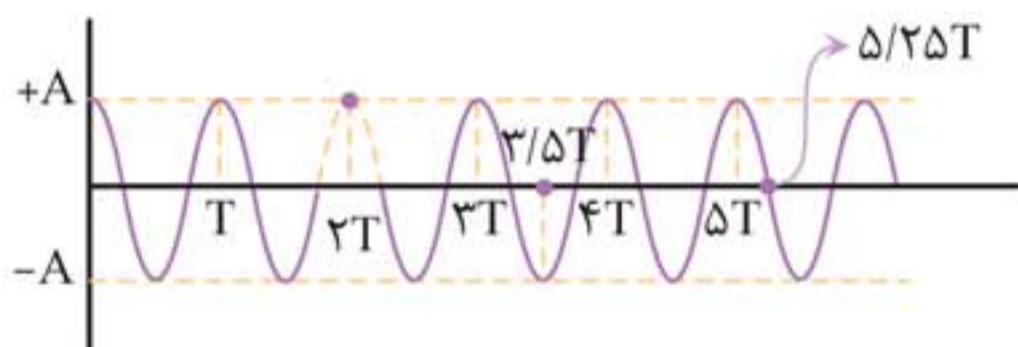
■ پاسخ:

$$T = \frac{1}{65} \text{ min} = 0.92 \text{ s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.92} = 1.08 \text{ Hz}$$

تمرین ۱-۳

ذره‌ای در حال نوسان هماهنگ ساده با دوره تناوب T است. با فرض این که در $t = 0 \text{ s}$ ذره در $x = +A$ باشد، تعیین کنید در هر یک از لحظات زیر، آیا ذره در $x = -A$ ، در $x = +A$ ، یا در $x = 0$ خواهد بود؟
 الف) $t = 2T$ ، ب) $t = 3/5 T$ ، پ) $t = 5/25 T$
 (راهنمایی: برای پاسخ به این تمرین، ساده‌تر آن است که چند دوره از یک نمودار کسینوسی را رسم کنید)



■ پاسخ:

الف) $x = +A : t = 2T$

ب) $x = -A : t = 3/5 T$

پ) $x = 0 : t = 5/25 T$

📌 **تذکر:** از همین سازوکار برای دریافت امواج رادیویی توسط آنتن‌های بشقابی و یا امواج فرسرخ برای گرم کردن آب یا مواد غذایی در اجاق‌های خورشیدی استفاده می‌شود.



همان‌طور که قبلاً گفتیم، نور مرئی بخشی از طیف امواج الکترومغناطیسی است، بنابراین مطابق شکل:

۱ نور مرئی نیز از همان قانون بازتاب عمومی امواج پیروی می‌کند. ($\theta_i = \theta_r$)

۲ پرتو تابش، پرتو بازتابش و خط عمود بر سطح بازتابنده در یک صفحه واقعند.

انواع بازتاب براساس نوع مانع:

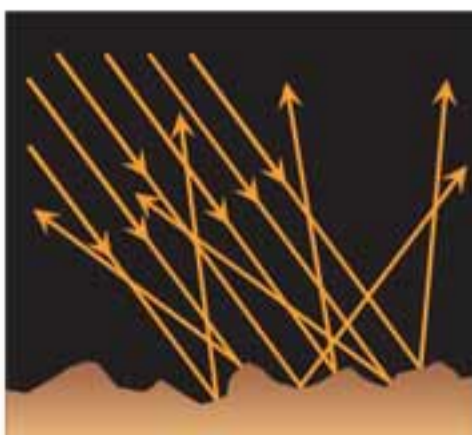
بازتاب نور براساس نوع مانع به دو صورت کلی تقسیم می‌شود:

۱. بازتاب آینه‌ای (منظم)



اگر سطح بازتابنده نور همچون یک آینه، بسیار هموار باشد، بازتاب نور را **آینه‌ای** یا **منظم** می‌گوییم.

۲. بازتاب پخشنده (نامنظم)



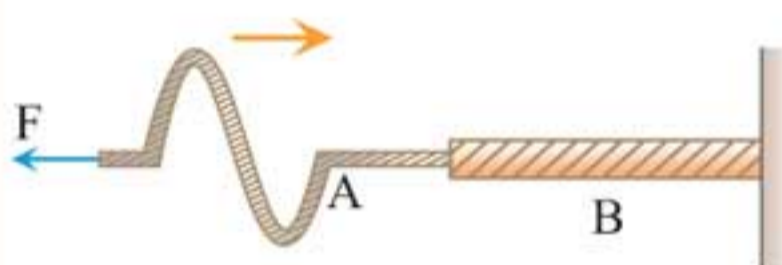
اگر سطح بازتابنده نور، صیقلی و هموار نباشد، بازتاب را **پخشنده** یا **نامنظم** گویند. در این نوع بازتاب، پرتوهای نور به طور کاتوره‌ای از پستی و بلندی‌های سطح بازتابنده و در تمام جهات پراکنده می‌شوند.

مثال ۴: طول موج نور قرمز لیزر در هوا حدود 630 nm و در محیط شیشه حدود 420 nm است. تندی این نور در شیشه را محاسبه کنید (تندی نور در هوا $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ فرض شود). (تجربی - خرداد ۹۸)

■ **پاسخ:** با استفاده از رابطه $\frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$ داریم:

$$\frac{v_{\text{هوا}}}{v_{\text{شیشه}}} = \frac{\lambda_{\text{هوا}}}{\lambda_{\text{شیشه}}} \Rightarrow \frac{3 \times 10^8}{v_{\text{شیشه}}} = \frac{630}{420} \Rightarrow v_{\text{شیشه}} = 2 \times 10^8 \text{ m/s}$$

مثال ۵: مطابق شکل، طناب مرکبی متشکل از دو طناب A و B است. سطح مقطع طناب B، ۲ برابر طناب A و چگالی طناب B، نصف چگالی طناب A است. یک موج سینوسی از طناب A وارد



طناب B می‌شود. طول موج در طناب B چند برابر طول موج در طناب A است؟

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

$$\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{\frac{F_B \times \rho_A \times A_A}{F_A \times \rho_B \times A_B}} \xrightarrow{\rho_B = \frac{1}{2} \rho_A, A_B = 2A_A}$$

$$\frac{v_B}{v_A} = \sqrt{1 \times \frac{2\rho_B}{\rho_B} \times \frac{A_A}{2A_A}} \Rightarrow \frac{v_B}{v_A} = 1$$

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

$$\left(f \text{ یکسان است} \right) \frac{\lambda_B}{\lambda_A} = \frac{v_B}{v_A} = 1$$

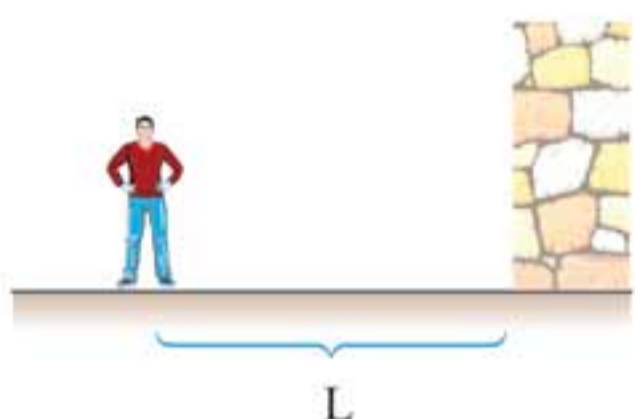
تمرین‌ها، فعالیت‌ها و پرسش‌ها

لقمه دوم

تمرین ۱-۴

کم‌ترین فاصله بین شما و یک دیوار بلند چقدر باشد تا پژواک صدای خود را از صدای اصلی تمیز دهید؟ تندی صوت در هوا را 340 m/s در نظر بگیرید.

■ **پاسخ:** با توجه به این که اگر تأخیر زمانی صوت بازتابیده و صوت اولیه کم‌تر از 0.1 s باشد، گوش انسان قادر به تمیز دادن پژواک از صوت اولیه نمی‌باشد، فاصله کمینه بین چشمه و سطح بازتابنده را محاسبه می‌کنیم:



$$\left. \begin{array}{l} x = 2L \\ x = vt \end{array} \right\} \Rightarrow 2L = vt \Rightarrow L = \frac{1}{2} vt$$

$$\frac{v=340 \text{ m/s}}{t=0.1 \text{ s}} \rightarrow L = \frac{1}{2} \times 340 \times 0.1 = 17 \text{ m}$$

پرسش ۱-۴

اگر موج سینوسی از قسمت ضخیم طناب به قسمت نازک آن وارد شود، بسامد، تندی، و طول موج موج عبوری در مقایسه با موج فرودی چه تغییری می‌کند؟

■ **پاسخ:** بسامد تغییری نمی‌کند، چون بسامد از ویژگی‌های ذاتی چشمه موج است و به محیط انتشار بستگی ندارد!

• تندی در قسمت نازک طناب بیشتر است؛ طبق رابطه $v = \frac{2}{D} \sqrt{\frac{F}{\pi \rho}}$

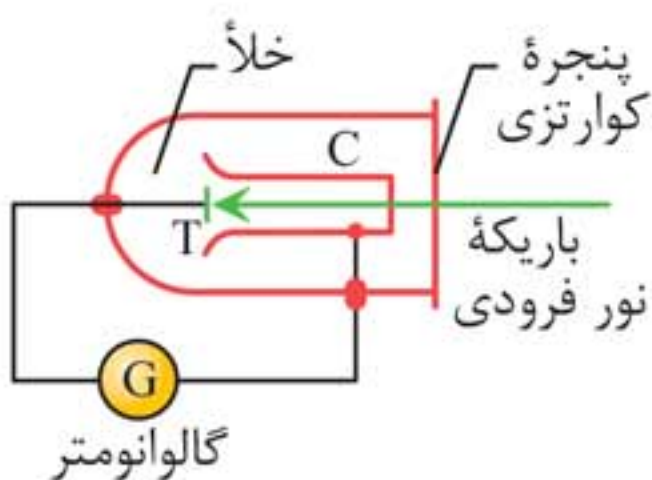
برای یک طناب، هر چه ضخامت کم‌تر باشد، تندی بیشتر است.

آشنایی با فیزیک اتمی مهر و ماه

آزمایش نشان می‌دهد که هر گاه نوری با بسامد مناسب مانند نور فرابنفش به سطح فلزی بتابد، الکترون‌هایی از آن گسیل می‌شوند. این پدیده فیزیکی را اثر فوتوالکتریک و الکترون‌های جدا شده از سطح فلز را فوتوالکتریک می‌نامند.



بررسی پدیده فوتوالکتریک



دستگاهی مطابق شکل مقابل را در نظر بگیرید. در این دستگاه، صفحه فلزی هدف T و جمع‌کننده فلزی C درون یک محفظه شیشه‌ای خلأ قرار گرفته‌اند که از بیرون به یک گالوانومتر (آمپرسنج حساس) متصل شده‌اند.

مشاهدات

• اگر نور تکفام (تک بسامد)، با بسامد به قدر کافی بالا بر صفحه T فرود آید:
 ۱ فوتوالکتریک‌ها آزاد شده و به جمع‌کننده C می‌رسند و گالوانومتر جریانی را آشکار می‌کند. ۲ با افزایش شدت نور فرودی، گالوانومتر عدد بزرگ‌تری را نشان می‌دهد.

• اگر بسامد نور فرودی از مقدار معینی کمتر باشد:

۱ گالوانومتر جریانی را آشکار نمی‌کند.
 ۲ با افزایش شدت نور فرودی، گالوانومتر همچنان عبور جریانی را نشان نمی‌دهد.

نارسایی فیزیک کلاسیک در توجیه پدیده فوتوالکتریک

۱ نور، موجی الکترومغناطیسی است. می‌توان انتظار داشت هنگام برهم‌کنش نور فرودی با سطح فلز، نیروی $\vec{F} = -e\vec{E}$ ناشی از میدان الکتریکی این موج، به الکترون‌های فلز وارد شود و آن‌ها را به نوسان وادارد، بنابراین با رسیدن دامنه نوسانات به یک حد معین، الکترون‌ها انرژی جنبشی لازم برای جدا شدن از سطح فلز را پیدا می‌کنند.

مثال ۱: توان باریکه نور خروجی از لیزری ۶۰۰ میکرووات است.

اگر توان ورودی این لیزر ۳۰W باشد:

الف) بازده این لیزر چند درصد است؟

ب) اگر طول موج باریکه نور خروجی ۶۶۰nm باشد، در هر ثانیه

چند فوتون از این لیزر گسیل می‌شود؟

$$(c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s})$$

الف) پاسخ: $P_2 = 600 \mu\text{W}$, $P_1 = 30 \text{ W}$

$$R_a = \frac{\text{توان خروجی}}{\text{توان ورودی}} \times 100 = \frac{600 \times 10^{-6}}{30} \times 100 = 0.002\%$$

ب) $E = Pt \rightarrow nh \frac{c}{\lambda} = Pt \xrightarrow[\substack{\lambda = 660 \times 10^{-9} \text{ m}, t = 1 \text{ s} \\ P = 600 \times 10^{-6} \text{ W}}]{}$

$$\frac{n \times 6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{660 \times 10^{-9}} = 600 \times 10^{-6} \times 1$$

$$\Rightarrow n = 2 \times 10^{15} \text{ فوتون}$$

مثال ۲: اگر شدت تابشی متوسط خورشید در سطح زمین به ازای

هر مترمربع 330 W/m^2 باشد، در هر دقیقه چند فوتون به هر

مترمربع از سطح زمین می‌رسد؟ (طول موج متوسط فوتون‌ها را

۵۷۰nm فرض کنید.) (تجربی - خرداد ۹۸)

$$(h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}, c = 3 \times 10^8 \text{ m/s})$$

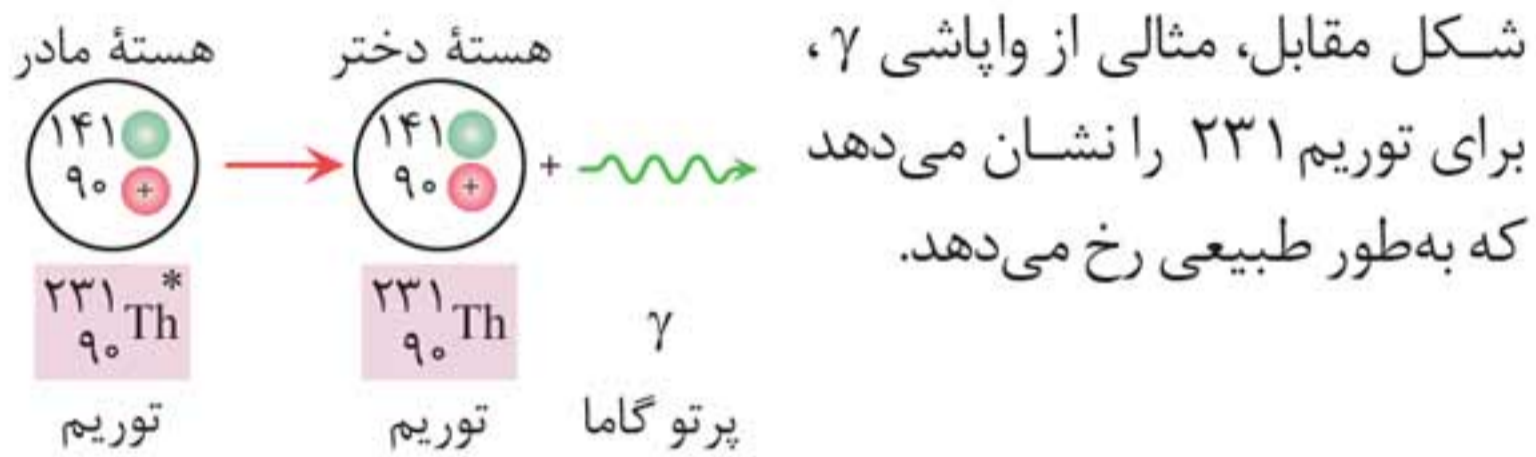
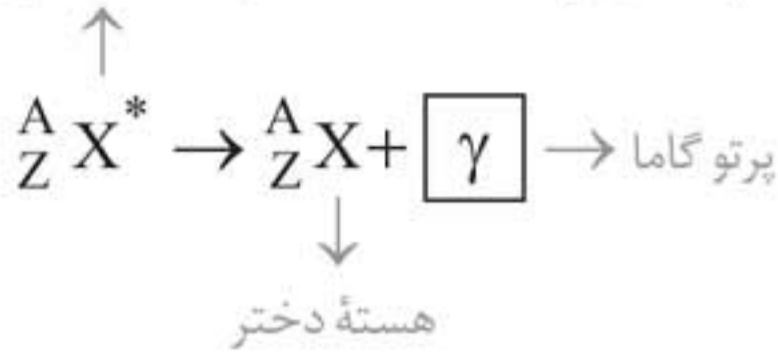
پاسخ:

$$I = \frac{E}{A \cdot t} = \frac{nhc}{A \cdot t \cdot \lambda} \xrightarrow[\substack{I = 330 \text{ W/m}^2, h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} \\ c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \lambda = 570 \times 10^{-9} \text{ m} \\ t = 1 \text{ min} = 60 \text{ s}, A = 1 \text{ m}^2}]{}$$

$$330 = \frac{n \times 6.6 \times 10^{-34} \times 3 \times 10^8}{1 \times 60 \times 570 \times 10^{-9}} \Rightarrow n = 5.7 \times 10^{22}$$

واپاشی گاما (γ)

اغلب هسته‌ها پس از واپاشی آلفا یا بتا، در حالت برانگیخته قرار می‌گیرند و با گسیل فوتون‌های پرانرژی گاما به حالت پایه می‌رسند. هسته برانگیخته مادر



تذکره: در واپاشی γ ، Z و A تغییر نمی‌کنند، بلکه هسته برانگیخته که با علامت * نشان داده شده با گسیل یک ذره گاما به حالت پایه می‌رسد.

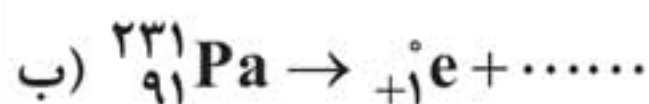
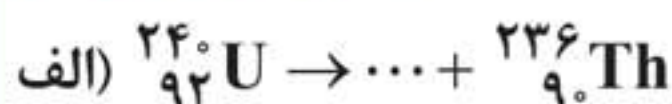
مثال ۶: هر یک از گزاره‌های ستون (الف) تنها به یک واپاشی در ستون (ب) ارتباط دارد. گزاره مرتبط با هر واپاشی را در پاسخ‌نامه مشخص کنید. (در ستون (ب) یک مورد اضافه است). (تجربی - خرداد ۹۸)

ستون (الف)	ستون (ب)
۱. پرتوهای این واپاشی بیشترین نفوذ را در ورقهٔ سرب دارند.	a. آلفا
۲. نوترون درون هسته به الکترون و پروتون تبدیل می‌شود.	b. بتای مثبت
۳. این نوع واپاشی در هسته‌های سنگین صورت می‌گیرد.	c. بتای منفی
	d. گاما

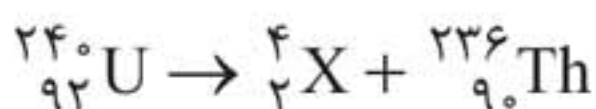
■ پاسخ: (۱) d (۲) c (۳) a

آشنایی با فیزیک هسته‌ای مهروماه

مثال ۷: معادله‌های واپاشی زیر را کامل کنید. (عنصر مجهول را با X نمایش دهید).
(شهریور-تجربی ۹۶)

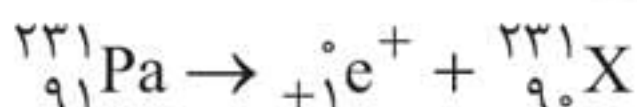


■ **پاسخ:** الف) دو واحد از عدد اتمی و چهار واحد از عدد جرمی کاسته شده است، بنابراین ذره گسیل شده، ذره آلفا بوده است.

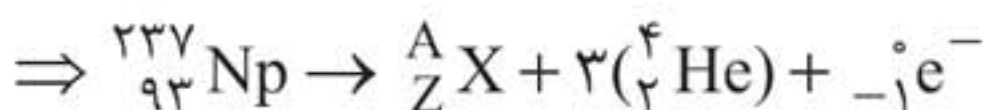
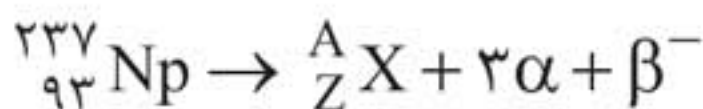


■ **تذکر:** عنصر ${}_2^4\text{X}$ همان هسته اتم هلیم یعنی ذره آلفا است.

ب) فرایند واپاشی β^+ (پوزیترون) است.



مثال ۸: نپتونیم ${}_{93}^{237}\text{Np}$ ایزوتوپی است که در راکتورهای هسته‌ای تولید می‌شود. این ایزوتوپ ناپایدار است و واپاشی آن از طریق گسیل ذرات α ، β^- ، α و α صورت می‌گیرد. پس از وقوع تمام این واپاشی‌ها، عدد اتمی و عدد جرمی هسته نهایی را محاسبه کنید.
■ **پاسخ:** واکنش انجام شده به شکل زیر است:



$$\left\{ \begin{array}{l} \text{عدد جرمی} \\ 237 = A + 3(4) + 0 \rightarrow A = 225 \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{عدد اتمی} \\ 93 = Z + 3(2) - 1 \rightarrow Z = 88 \end{array} \right.$$

لقمة آخر تعاريف فرمولنامه

حرکت بر خط راست - تعاریف

فصل ۱

۱ مبدأ مکان

به نقطه $x=0$ روی محور x ، مبدأ مکان یا به اختصار مبدأ گفته می‌شود.

۲ مکان اولیه (x_0)

به مکان جسم در لحظه $t_0 = 0$ s مکان اولیه گفته می‌شود.

۳ بردار مکان

برداری است که مبدأ مکان را به مکان جسم در هر لحظه وصل می‌کند.

۴ بردار جابه‌جایی

پاره‌خط جهت‌داری است که مکان اولیه جسم را به مکان نهایی آن وصل می‌کند.

۵ مسافت

طول مسیر پیموده شده توسط متحرک را مسافت می‌نامند.

۶ تندی متوسط

نسبت مسافت طی‌شده به مدت زمان طی کردن آن را تندی متوسط گویند که کمیتی نرده‌ای است.

۷ سرعت متوسط

نسبت جابه‌جایی صورت گرفته به مدت زمان انجام جابه‌جایی را سرعت متوسط گویند که کمیتی برداری است.

۸ تندی لحظه‌ای

تندی متحرک در هر لحظه از زمان را تندی لحظه‌ای گویند.

۹ سرعت لحظه‌ای

تندی متحرک در هر لحظه با در نظر گرفتن جهت حرکت آن را سرعت لحظه‌ای می‌نامند که یک کمیت برداری است.

حرکت بر خط راست - فرمولنامه

فصل ۱

۱. تندی متوسط

$$s_{av} = \frac{\ell \rightarrow (m) \text{ مسافت}}{\Delta t \rightarrow (s) \text{ زمان حرکت}}$$

۲. سرعت متوسط

$$v_{av} = \frac{\Delta x \rightarrow (m) \text{ جابه جایی}}{\Delta t \rightarrow (s) \text{ زمان حرکت}}$$

۳. شتاب متوسط

$$a_{av} = \frac{\Delta v \rightarrow (m/s) \text{ تغییرات سرعت}}{\Delta t \rightarrow (s) \text{ زمان حرکت}}$$

۴. معادله مکان - زمان در حرکت با سرعت ثابت

مکان اولیه متحرک (m)

$$x = vt + x_0$$

سرعت متحرک (m/s)

۵. معادله سرعت - زمان در حرکت با شتاب ثابت

مدت زمان حرکت (s)

$$v = at + v_0 \rightarrow (m/s) \text{ سرعت اولیه متحرک}$$

شتاب متحرک (m/s²)

۶. معادله سرعت متوسط در حرکت با شتاب ثابت

سرعت نهایی متحرک (m/s)

$$v_{av} = \frac{v + v_0 \rightarrow (m/s) \text{ سرعت اولیه متحرک}}{2}$$