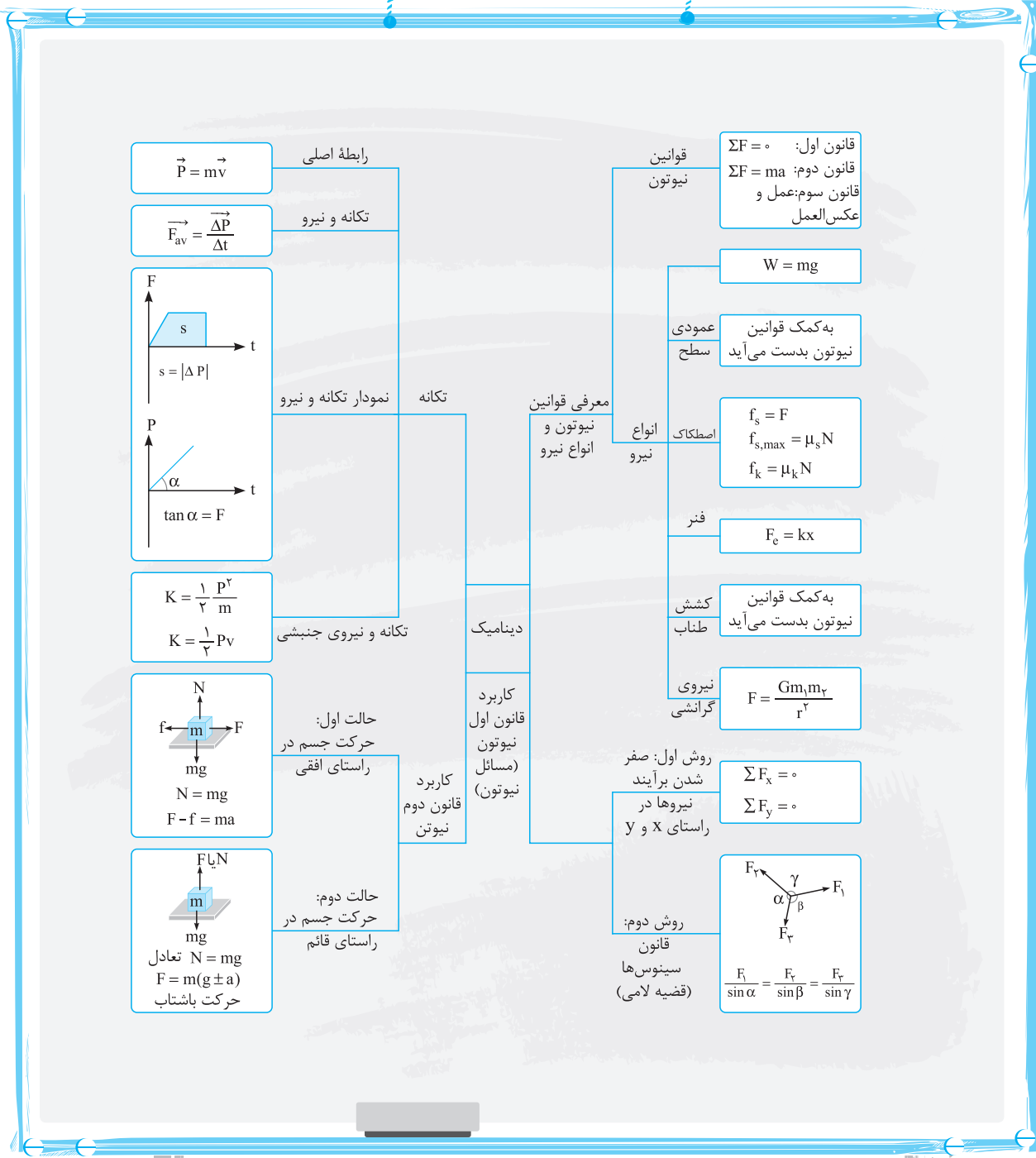




## جمع بندی فصل دوم در یک نگاه



## مبحث (۱): قانون اول نیوتون

یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند، مگر آنکه نیروی خالص غیر صفری به آن وارد شود. به عبارت دیگر وقتی نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشند (نیروی خالص وارد شده به جسم صفر باشد). اگر جسم ساکن باشد، همچنان ساکن باقی می‌ماند و اگر در حال حرکت باشد، به حرکت خود با سرعت ثابت ادامه می‌دهد.

**نکته!** اگر به جسمی نیروی خالصی وارد نشود، جسم تمایل دارد وضعیت قبلی خود را حفظ کند، به این خاصیت در اصطلاح لغتی می‌گویند. لغتی نتیجه‌ای از قانون اول نیوتون است. بنابر خاصیت لغتی هنگامی که شما در اتومبیل در حال حرکت هستید و راننده ناگهان ترمز می‌کند، شما تمایل دارید وضعیت قبلی خود را که در حال حرکت بودید حفظ کنید، اما اتومبیل می‌خواهد بایستد به همین خاطر شما به جلو پرتاب می‌شوید.

## مبحث (۲): قانون دوم نیوتون

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

به عبارت دیگر داریم:

$$\vec{F}_{\text{net}} = m\vec{a} \quad \text{یا} \quad \sum \vec{F} = m\vec{a}$$

$\vec{F}_{\text{net}}$  ← نیروی خالص وارد شده به جسم بر حسب نیوتون (N)

$m$  ← جرم جسم بر حسب کیلوگرم (kg)

$\vec{a}$  ← شتاب حرکت جسم بر حسب متر بر مجذور ثانیه ( $\frac{m}{s^2}$ )

**نکات ۱** در رابطه فوق برای محاسبه  $F_{\text{net}}$ ، نیروهایی که در جهت حرکت هستند (نیروهایی که به حرکت جسم کمک می‌کنند یا به عبارت دیگر نیروهای خوب) با علامت مثبت و نیروهایی که در خلاف جهت حرکت هستند (نیروهایی که با حرکت جسم مخالفت می‌کنند یا به عبارت دیگر نیروهای بد) با علامت منفی جایگذاری می‌شوند.

**۲** همان طور که می‌دانید نیرو کمیته برداری است، بنابراین برای محاسبه  $\vec{F}_{\text{net}}$  باید برآیند نیروها را به صورت برداری محاسبه کنیم.

**۳** کمیت شتاب ( $a$ ) هم در فصل حرکت‌شناسی و هم در فصل دینامیک به چشم می‌خورد. بنابراین می‌توان گفت پل ارتباطی این دو فصل کمیت شتاب است. بنابراین در سؤالاتی که داده‌ها و خواسته‌های مسئله ترکیبی از فصل حرکت و دینامیک می‌باشند، اول شتاب حرکت متحرک را به دست آورید.

## مبحث (۳): قانون سوم نیوتون

هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اول نیرویی هم‌اندازه و هم‌راستا اما در خلاف جهت وارد می‌کند.

**نکات ۱** نیروها همواره به صورت جفت وجود دارند. اگر یکی از این نیروها را کنش بنامیم، نیروی دیگر واکنش نامیده می‌شود.

قانون سوم نیوتون رابطه کمی بین نیروهای کنش و واکنش است.

**۲** نیروی واکنش همواره به عامل به وجود آورنده کنش وارد می‌شود (یعنی اگر من تو رو هل بدم، تو منو هل می‌دی نه یه نفر دیگه رو!).

**۳** از آنجایی که نیروهای کنش و واکنش همواره به دو جسم وارد می‌شوند، هیچ‌گاه یکدیگر را خنثی نمی‌کنند.

**۴** نیروهای کنش و واکنش همواره هم نوع‌اند؛ مثلاً هر دو الکتریکی و یا هر دو مغناطیسی هستند.

## ۱ کدام یک از عبارات‌های زیر نادرست است؟

- ۱) قانون اول نیوتون بیان می‌کند که یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالص غیر صفری به آن وارد شود.
- ۲) به جلو پرت شدن ما در اثر ترمز شدید در اتومبیل نمونه‌ای از قانون اول نیوتون است.
- ۳) هنگامی که یک اتومبیل با یک کامیون تصادف می‌کند، کامیون به علت جرم بیشتری که دارد نیروی بیشتری به اتومبیل وارد می‌کند.
- ۴) وقتی جسمی روی زمین قرار دارد، اندازه نیرویی که زمین به جسم وارد می‌کند، برابر اندازه نیرویی است که جسم به زمین وارد می‌کند.
- حل** وقتی کامیون و اتومبیل تصادف کنند نیرویی که به هم وارد می‌کنند برابر است ولی علت کمتر آسیب دیدن کامیون وزن بالاتر (استحکام بیشتر) آن نسبت به اتومبیل است.

(ریاضی قارچ ۹۸)

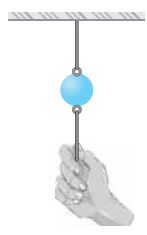
## ۲ اگر نیروهای وارد بر یک جسم در حال حرکت، متوازن باشند (برآیندشان صفر باشد)؛

- ۱) سرعت جسم ثابت می‌ماند.
- ۲) حرکت جسم با شتاب ثابت تندشونده خواهد بود.
- ۳) مسیر حرکت جسم ممکن است دایره‌ای یا سهمی باشد.
- ۴) سرعت جسم در مسیر مستقیم کاهش می‌یابد تا متوقف شود.
- حل** بنا به قانون اول نیوتون هنگامی که نیروهای وارد بر جسمی متوازن باشد اگر جسم ساکن باشد، ساکن می‌ماند و اگر در حال حرکت با سرعت ثابت روی خط راست باشد به حرکت خود ادامه می‌دهد.



گزینه ۲

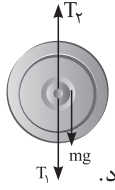
۳ در شکل روبه‌رو، بار اول نخ را به آرامی پایین می‌کشیم و به تدریج این نیرو را افزایش می‌دهیم تا یکی از نخ‌ها پاره شود. بار دوم همین آزمایش را به این ترتیب تکرار می‌کنیم که نخ را به صورت ضربه‌ای در یک لحظه به پایین می‌کشیم تا یکی از نخ‌های دو طرف وزنه پاره شود. در مورد این آزمایش کدام گزینه درست است؟



- (۱) در هر دو آزمایش نخ از قسمت پایین وزنه پاره می‌شود.
- (۲) در هر دو آزمایش نخ از قسمت بالای وزنه پاره می‌شود.
- (۳) در آزمایش اول نخ از بالای وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از پایین وزنه.
- (۴) در آزمایش اول نخ از پایین وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از بالای وزنه.

**حل** اگر فرض کنیم جنس نخ بالایی و پایینی با هم یکی باشد، حداکثر نیروی قابل تحمل هر دو با هم برابر است، یعنی هر دو نخ با رسیدن به یک نیرو پاره می‌شوند. در حالت اول که به آرامی نیرو را زیاد می‌کنیم به دلیل تعادل گلوله داریم:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow T_y = T_1 + mg \Rightarrow T_y > T_1$$



پس در این حالت نیروی کشش نخ بالایی مقدار بیشتری دارد و با افزایش نیرو زودتر به حد نهایی تحمل خودش می‌رسد و نخ از بالا پاره می‌شود. اما در حالت دوم چون به شکل ضربه‌ای در یک لحظه نخ کشیده می‌شود فرصت انتقال نیرو به نخ بالایی وجود ندارد و نخ از قسمت پایین پاره می‌شود.

گزینه ۱

۴ فردی درون یک قایق موتوری نشسته است؛ موتور این قایق به گونه‌ای تنظیم شده که همواره نیروی افقی خالص  $600 \text{ N}$  را به جلو وارد کند، اگر مجموع جرم قایق و فرد نشسته در آن  $500 \text{ kg}$  باشد، شتاب حرکت قایق بر حسب متر بر مجذور ثانیه و اندازه نیروی پیشران آن وقتی نیروی مقاوم  $300 \text{ N}$  باشد بر حسب نیوتون به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

- (۱)  $900 - 1/2$
- (۲)  $900 - 1$
- (۳)  $300 - 1/2$
- (۴)  $300 - 1$



**حل** نیروی خالص وارد بر قایق و فرد،  $600 \text{ N}$  نیوتون است با استفاده از قانون دوم نیوتون به سادگی شتاب حرکت قایق را محاسبه می‌کنیم:

$$F = ma \Rightarrow \frac{F=600 \text{ N}}{m=500 \text{ kg}} \Rightarrow 600 = 500a \Rightarrow a = 1/2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

نیروی خالص وارد بر قایق، برآیند نیروی پیشران و نیروی مقاوم است. بنابراین به سادگی داریم:

$$900 \text{ N} = \text{نیروی پیشران} \Rightarrow 900 = 600 - 300 = \text{نیروی پیشران} - \text{نیروی مقاوم}$$

گزینه ۱

۵ نیروی  $F$  به جسمی به جرم  $m$ ، شتاب  $a$  می‌دهد. اگر نیروی  $3F + 1$  به جسمی به جرم  $\frac{m}{4}$  شتاب  $2 + 6a$  بدهد،  $m$  چند کیلوگرم است؟ (تمامی مقادیر در واحد SI هستند).

- (۱) ۱
- (۲) ۲
- (۳) ۳
- (۴) ۴

**حل** با دو مرتبه نوشتن قانون دوم نیوتون مسئله حل می‌شود:

$$\left. \begin{array}{l} \text{حالت اول: } F = ma \\ \text{حالت دوم: } 3F + 1 = \frac{m}{4}(6a + 2) \end{array} \right\} \Rightarrow 3ma + 1 = 3ma + m \Rightarrow m = 1 \text{ kg}$$

گزینه ۲

۶ گلوله‌ای فولادی به جرم  $20 \text{ g}$  با سرعت  $300 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  در تنه درختی که ضخامت آن  $10 \text{ cm}$  است فرو می‌رود و از طرف دیگر آن با سرعت  $200 \frac{\text{m}}{\text{s}}$  خارج می‌شود. اندازه نیروی متوسطی که تنه به آن وارد می‌کند چند نیوتون است؟

- (۱) ۵۰
- (۲)  $5 \times 10^3$
- (۳)  $5 \times 10^4$
- (۴)  $5 \times 10^8$

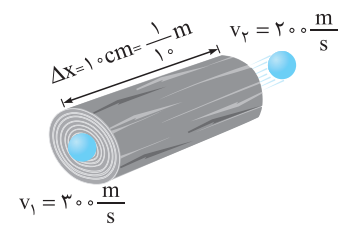
**حل** اول باید از رابطه مستقل از زمان شتاب حرکت را تعیین کنیم.

$$v_f^2 - v_i^2 = 2a\Delta x \Rightarrow 200^2 - 300^2 = 2a \times \frac{1}{10} \Rightarrow a = -250000 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

مفهوم علامت منفی در رابطه شتاب این است که سرعت در حال کاهش بوده است.

برای محاسبه نیرو هم باید هواستون باشه که جرم بر حسب گرم داده شده و باید تبدیل به کیلوگرم بشه.

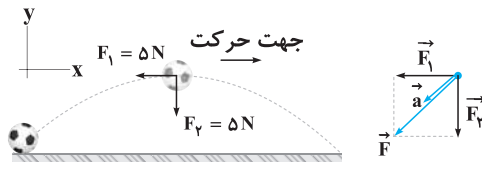
$$|F_{net}| = m|a| \Rightarrow |F_{net}| = \frac{20}{1000} \times 250000 = 5 \times 10^3 \text{ N}$$



حرف آخر: توی سوالات ترکیب حرکت و دینامیک هواستون باشه که عامل مشترک بین این دو فصل، دوست عزیزمون شتابه. پس شما باید دو بار رابطه‌هایی رو استفاده کنید که دانش شتاب وجود داره، یکبار با کمیت‌های حرکت و یکبار هم با کمیت‌های دینامیک



شکل زیر نیروهای وارد بر توپ فوتبالی به جرم  $500$  گرم را در بالاترین نقطه مسیرش نشان می‌دهد.  $\vec{F}_1$  نیروی مقاومت هوا و  $\vec{F}_2$  وزن توپ است.


 ۸ (۲)

 ۱۰ (۱)

 ۲۰ (۴)

  $10\sqrt{2}$  (۳)

**حل** در راستای افقی نیروی  $\vec{F}_1 = 5N$  و در راستای قائم  $\vec{F}_2 = 5N$  به توپ وارد می‌شود. با

نوشتن قانون دوم نیوتون برای جسم در هر دو راستای افقی، مؤلفه‌های شتاب را به دست می‌آوریم:

$$\sum F_x = ma_x \Rightarrow -\vec{F}_1 = ma_x \xrightarrow{\frac{\vec{F}_1=5N}{m=0.5kg}} -5 = 0.5a_x \Rightarrow a_x = -10 \frac{m}{s^2}$$

$$\sum F_y = ma_y \Rightarrow -\vec{F}_2 = ma_y \xrightarrow{\frac{\vec{F}_2=5N}{m=0.5kg}} -5 = 0.5a_y \Rightarrow a_y = -10 \frac{m}{s^2}$$

حالا با برآیندگیری بین مؤلفه‌های شتاب، بزرگی شتاب را به دست می‌آوریم:

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} \Rightarrow |a| = \sqrt{(-10)^2 + (-10)^2} \Rightarrow |a| = 10\sqrt{2} \frac{m}{s^2}$$

فقط دو نیروی  $\vec{F}_1 = 2\vec{i} - 6\vec{j}$  و  $\vec{F}_2 = 4\vec{i} - 2\vec{j}$  با سرعت ثابت  $v_1 = 4\vec{i} - 2\vec{j}$  حرکت می‌کند. در این حالت نیروی  $\vec{F}_3$  کدام

(ریاضی قارچ ۸۸)

  $-2\vec{i} + 6\vec{j}$  (۴)

  $2\vec{i} - 6\vec{j}$  (۳)

  $-\vec{i} - 2\vec{j}$  (۲)

  $\vec{i} + 2\vec{j}$  (۱)

**حل** جسم در حال حرکت با سرعت ثابت است و این به معنای صفر بودن شتاب و برآیند نیروها است. پس نیروی  $\vec{F}_3$  باید قرینه نیروی  $\vec{F}_1$  باشد تا کاملاً

آن را خنثی کند.

$$\vec{F}_3 + \vec{F}_1 = 0 \Rightarrow \vec{F}_3 = -\vec{F}_1 \Rightarrow \vec{F}_3 = -2\vec{i} + 6\vec{j}$$

جسمی به جرم  $5kg$  تحت تأثیر سه نیروی  $\vec{F}_1 = -15\vec{i} + 8\vec{j}$ ،  $\vec{F}_2 = -21\vec{i} + 19\vec{j}$  و  $\vec{F}_3$  قرار گرفته و شتاب  $\vec{a} = -4\vec{i} + 3\vec{j}$  را پیدا کرده است.

(ریاضی دافل ۱۸۹)

 ۴۸ (۴)

 ۲۸ (۳)

 ۲۰ (۲)

 ۴ (۱)

**حل** ابتدا از قانون دوم نیوتون برآیند نیروها را به شکل برداری حساب می‌کنیم تا از روی آن بردار نیروی  $\vec{F}_3$  به دست بیاید.

$$\vec{F}_{net} = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = m\vec{a} \Rightarrow (-15\vec{i} + 8\vec{j}) + (-21\vec{i} + 19\vec{j}) + \vec{F}_3 = 5(-4\vec{i} + 3\vec{j}) \Rightarrow -36\vec{i} + 27\vec{j} + \vec{F}_3 = -20\vec{i} + 15\vec{j} \Rightarrow \vec{F}_3 = 16\vec{i} - 12\vec{j}$$

حالا نوبت پیدا کردن اندازه نیروی  $\vec{F}_3$  می‌شود.

$$|\vec{F}_3| = \sqrt{16^2 + 12^2} = 20N$$

سه نیروی  $\vec{F}_1 = 2\vec{i} + 2\vec{j}$ ،  $\vec{F}_2 = 3\vec{i} + \beta\vec{j}$  و  $\vec{F}_3 = 3\vec{i} + 8\vec{j}$  به طور همزمان به جسمی به جرم  $4kg$  اثر می‌کنند. اگر به ازای دو مقدار  $\beta$  اندازه

شتاب متحرک  $2\sqrt{2} \frac{m}{s^2}$  شود، مجموع دو مقدار  $\beta$  در SI کدام است؟

  $-16$  (۲)

  $-20$  (۱)

  $-8$  (۴)

  $+16$  (۳)

**حل** با توجه به این که مؤلفه افقی تمامی نیروها را در اختیار داریم، مؤلفه افقی شتاب متحرک را محاسبه می‌کنیم.

$$\sum F_x = ma_x \Rightarrow 2 + 3 + 3 = 4a_x \Rightarrow a_x = 2 \frac{m}{s^2}$$

شتاب برآیند را در اختیار داریم پس به سادگی اندازه مؤلفه عمودی شتاب را هم محاسبه می‌کنیم.

$$a^2 = a_x^2 + a_y^2 \Rightarrow (2\sqrt{2})^2 = 2^2 + a_y^2 \Rightarrow |a_y| = 2 \frac{m}{s^2}$$

حالا با استفاده از اندازه شتاب قائم، اندازه برآیند نیروهای قائم را حساب می‌کنیم.

$$|\sum F_y| = m|a_y| \xrightarrow{\frac{|a_y|=2 \frac{m}{s^2}}{m=4kg}} |\sum F_y| = 4 \times 2 = 8N \Rightarrow \sum F_y = 8 \text{ یا } \sum F_y = -8$$

$$\left. \begin{aligned} \sum F_y = 8 &\Rightarrow 8 + 2 + \beta_1 = 8 \Rightarrow \beta_1 = -2 \\ \sum F_y = -8 &\Rightarrow 8 + 2 + \beta_2 = -8 \Rightarrow \beta_2 = -18 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \beta_1 + \beta_2 = -20$$

برای هر دو حالت اندازه  $\beta$  را حساب می‌کنیم.



گزینه ۱

۱۱ به جرمی به جرم ۳ kg هم زمان نیروهای ۳، ۷ و ۱۷ نیوتونی اثر می‌کنند. کدام گزینه می‌تواند شتاب حرکت این جسم در SI باشد؟

- ۴ (۱)  ۱۰ (۳)  ۲ (۲)  صفر (۴)

**حل** هرگاه چند نیرو به یک جسم وارد شود و یکی از نیروها بزرگ‌تر از مجموع نیروهای دیگر باشد ( $17 > 7 + 3$ ) جسم الزاماً به حرکت درمی‌آید (چرا؟). کمترین شتاب حرکت آن هنگامی خواهد بود که مابقی نیروها در خلاف جهت نیروی بزرگ‌تر باشند و بیشترین شتاب هنگامی است که همه نیروها هم جهت باشند بنابراین می‌توان نوشت:

$$F_{\min} \leq F \leq F_{\max} \xrightarrow{F_{\max} = 17 + 7 + 3} \xrightarrow{F_{\min} = 17 - 7 - 3} \gamma \leq F \leq 27 \xrightarrow{F = ma} \gamma \leq ma \leq 27 \xrightarrow{m = 3 \text{ kg}} \frac{\gamma}{3} \leq a \leq 9$$

تنها گزینه «۱» در این بازه قرار دارد.

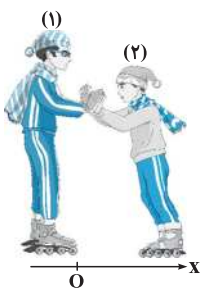
گزینه ۱

۱۲ جسمی به جرم ۲ kg تحت اثر چهار نیروی ۲، ۴، ۸ و ۱۱ نیوتونی در تعادل است. اگر اندازه نیروهای ۲، ۴ و ۱۱ نیوتونی را سه برابر کنیم، جسم با چه شتابی بر حسب متر بر مربع ثانیه به حرکت درخواهد آمد؟

- ۸ (۱)  ۲ (۳)  ۴ (۲)  ۱ (۴)

**حل** وقتی که جسمی تحت اثر چهار نیرو در تعادل است؛ هر کدام از این چهار نیرو توسط سه نیروی دیگر خنثی می‌شود، به بیان دیگر برآیند هر سه نیروی دلخواه از این جمع برابر با نیروی چهارم است؛ بنابراین برآیند نیروهای ۲، ۴ و ۱۱ نیوتونی برابر ۸ نیوتون است و وقتی هر کدام از آن‌ها سه برابر شود برآیند آن‌ها هم سه برابر می‌شود؛ پس داریم:

$$\sum F = \underset{\substack{\uparrow \\ \text{نیروی ۸ نیوتونی بدون تغییر}}}{24} - \underset{\substack{\downarrow \\ \text{نیروهای سه برابر شده}}}{8} = 16 = ma \xrightarrow{m = 2 \text{ kg}} a = 8 \frac{m}{s^2}$$



۱۳ مطابق شکل روبه‌رو دو اسکیت‌باز (۱) و (۲) به ترتیب، به جرم‌های ۸۰ kg و ۴۰ kg در یک سالن مسطح و صاف بدون اصطکاک روبروی هم ایستاده‌اند. شخص اول با نیروی ۲۰ N شخص دوم را به سمت راست هل می‌دهد. اندازه شتابی که شخص دوم و شخص اول بر حسب متر بر مربع ثانیه می‌گیرند به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

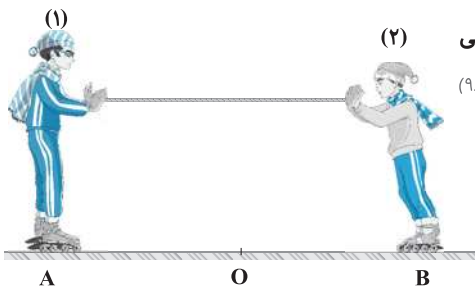
- ۰/۲۵ - ۰/۵ (۱)  ۰/۵ - ۰/۵ (۲)  ۰/۵ - ۰/۲۵ (۴)  ۰/۲۵ - ۰/۲۵ (۳)

**حل** طبق قانون سوم نیوتون وقتی شخص اول به شخص دوم نیروی ۲۰ نیوتونی به سمت راست وارد می‌کند، شخص دوم هم به شخص اول همان نیرو را به سمت چپ (خلاف جهت نیرویی که شخص اول وارد کرده) وارد می‌کند؛ با نوشتن قانون دوم نیوتون برای هر دو شخص خواهیم داشت:

$$|\sum F_2| = |m_2 a_2| \xrightarrow{m_2 = 40 \text{ kg}} |20| = |40 a_2| \Rightarrow |a_2| = 0.5 \frac{m}{s^2}$$

$$|\sum F_1| = |m_1 a_1| \xrightarrow{m_1 = 80 \text{ kg}} |20| = |80 a_1| \Rightarrow |a_1| = 0.25 \frac{m}{s^2}$$

۱۴ مطابق شکل زیر، دو نفر به جرم‌های  $m_1$  و  $m_2 = \frac{1}{3} m_1$  روی یک سطح افقی با اصطکاک ناچیز قرار دارند. اگر در ابتدا به فاصله‌های مساوی از نقطه O قرار داشته باشند و توسط طنابی هریک دیگری را به سمت خود بکشند، کدام یک از موارد زیر درست است؟ (تجربی شارچ ۹۸)



- ۱ (۱) در نقطه O به یکدیگر می‌رسند.   
 ۲ (۲) بین O و B به یکدیگر می‌رسند.   
 ۳ (۳) بین O و A به یکدیگر می‌رسند.   
 ۴ (۴)  $m_1$  ساکن می‌ماند و  $m_2$  به او می‌رسد.

**حل** بنا به قانون سوم نیوتون اندازه نیروی وارد بر دو شخص برابر است.

$$F_{12} = F_{21}$$

$$m_1 a_1 = m_2 a_2 \xrightarrow{m_2 = \frac{1}{3} m_1} a_2 = 3 a_1$$

$$\Delta x = \frac{1}{2} a t^2 \xrightarrow{a_2 = 3 a_1} \Delta x_2 = 3 \Delta x_1$$

با توجه به معادله حرکت با شتاب ثابت خواهیم داشت:

پس جابه‌جایی شخص (۲) دو برابر شخص (۱) است و دو متحرک در نقطه‌ای بین O و A به هم می‌رسند.



## مرحله دوم جمع بندی معرفی انواع نیرو

در این مرحله شما را با برخی نیروهای خاص آشنا می‌کنیم:

## مبحث (۱): نیروی وزن

نیروی گرانشی که از طرف زمین به جسمی در نزدیکی زمین وارد می‌شود، وزن نام دارد و به صورت روبه‌رو محاسبه می‌شود:

$$\vec{W} = m\vec{g}$$

$\vec{W}$  ← نیروی وزن بر حسب نیوتون (N)

m ← جرم جسم بر حسب کیلوگرم (kg)

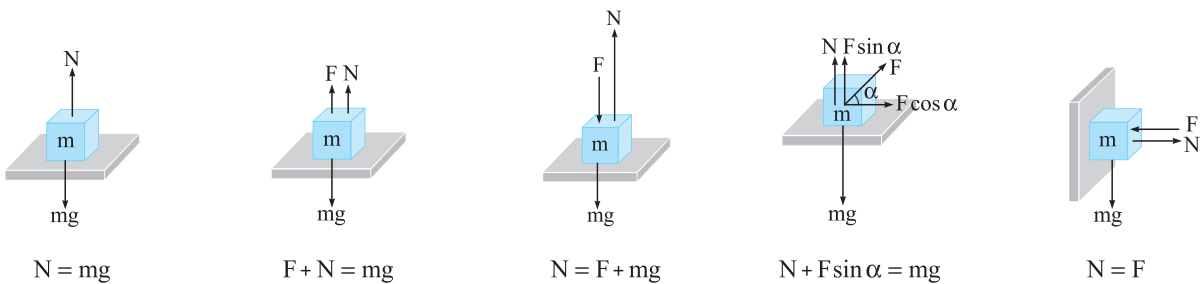
$\vec{g}$  ← شتاب گرانش بر حسب نیوتون به کیلوگرم ( $g = 9.8 \frac{N}{kg} \approx 10 \frac{N}{kg}$ )

**نکته!** دقت کنید که جرم جسم به مقدار ماده تشکیل دهنده جسم بستگی دارد و در تمام نقاط ثابت است، اما وزن جسم علاوه بر جرم به  $\vec{g}$  نیز بستگی دارد که در نقاط مختلف می‌تواند متفاوت باشد. به طور مثال اگر یک کتاب را از سطح زمین به سطح ماه منتقل کنید، جرم آن ثابت می‌ماند، اما وزن آن کاهش می‌یابد، چون جاذبه گرانش در سطح ماه ضعیف‌تر از سطح زمین است.

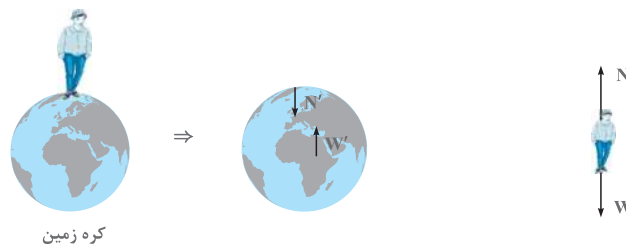
## مبحث (۲): نیروی عمودی سطح

اگر جسمی بر روی سطحی قرار بگیرد سطح تماس دو جسم تغییر شکل می‌دهد و باعث می‌شود سطح به طور عمودی نیرویی به جسم وارد کند که به آن **نیروی عمودی سطح** (تکیه‌گاه) می‌گویند و آن را با نماد  $\vec{F}_N$  نشان می‌دهند که در این کتاب برای سادگی بیشتر گاهی با  $\vec{N}$  نشان داده می‌شود.

همان‌طور که می‌دانید نیروهای وارد به جسم ساکن متوازن هستند. بنابراین برای به دست آوردن اندازه نیروی عمودی سطح در حالت‌های مختلف می‌توانیم به صورت زیر عمل کنیم:



**نکته!** دقت کنید که نیروهای وزن ( $\vec{W}$ ) و عمودی سطح ( $\vec{N}$ ) به یک جسم وارد می‌شوند و نیروهای کنش و واکنش نیستند. نیروی واکنش وزن ( $\vec{W}'$ ) به مرکز کره زمین و نیروی واکنش عمودی سطح ( $\vec{N}'$ ) به سطح وارد می‌شود. به شکل زیر دقت کنید:



## مبحث (۳): نیروی اصطکاک

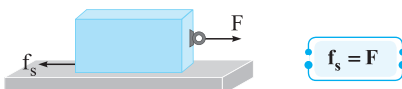
نیروی اصطکاک یک نیروی تماسی است که با حرکت نسبی دو جسمی که با هم در تماس هستند مخالفت می‌کند. نیروی اصطکاک به علت ناهمواری‌های محل تماس دو جسم ایجاد می‌شود. حتی سطوحی که بسیار صاف به نظر می‌رسند، ناهمواری‌های میکروسکوپی بسیاری دارند که باعث به وجود آمدن نیروی اصطکاک می‌شود. نیروی اصطکاک بین دو جسم به جنس سطح دو جسم و زبری و نرمی آن‌ها و ... بستگی دارد.

نیروی اصطکاک دارای دو نوع ایستایی و جنبشی است که در ادامه مورد بررسی قرار می‌گیرد:

**نیروی اصطکاک ایستایی:** به نیروی اصطکاک که در حالت سکون به جسم وارد می‌شود، اصطکاک ایستایی می‌گویند و آن را با  $f_s$  نشان می‌دهند.

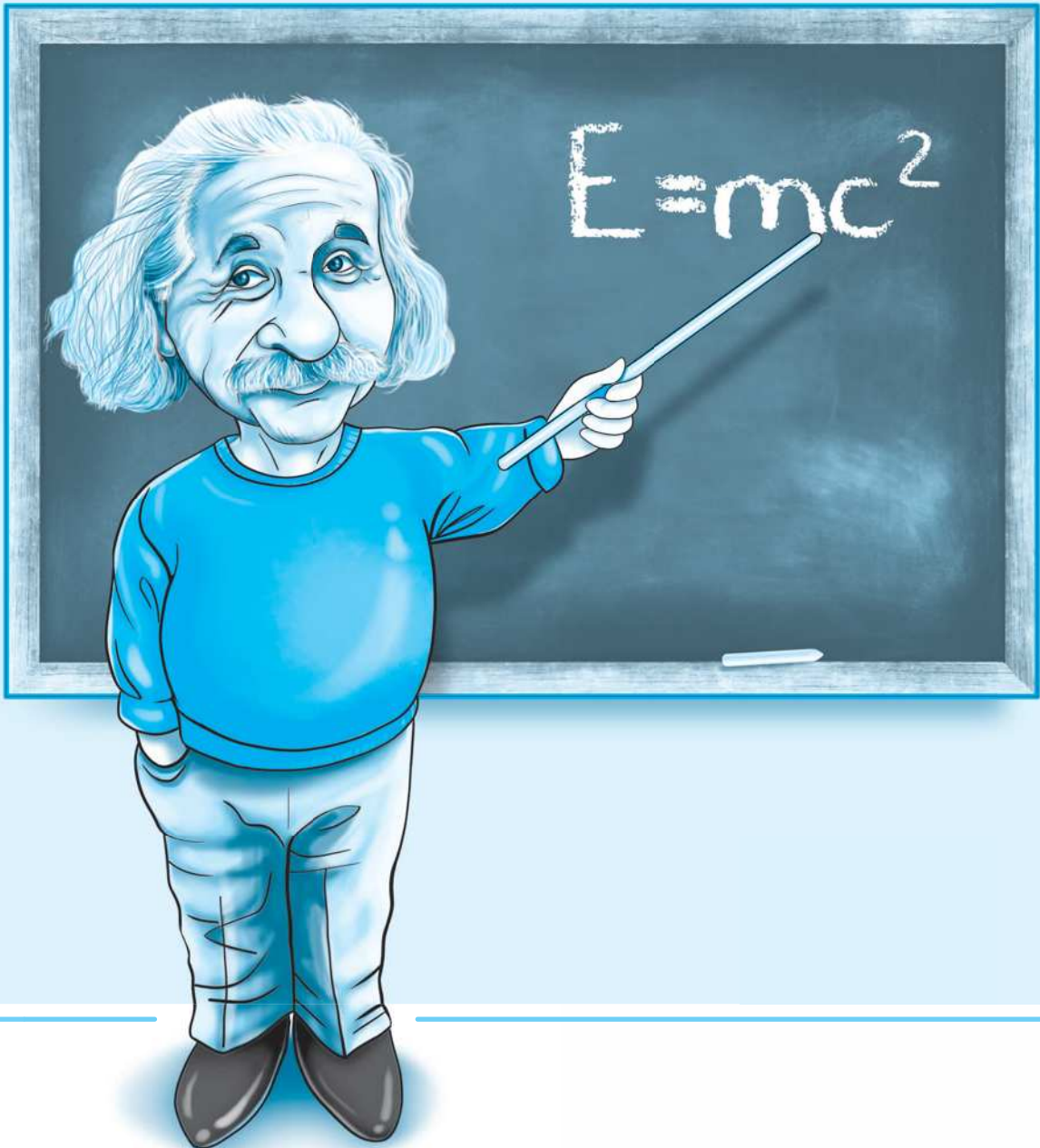
فرض کنید، مطابق شکل زیر جسمی را با نیروی  $F$  روی سطح افقی بکشیم و جسم حرکت نکند، در این حالت، نیروی اصطکاک ایستایی ( $f_s$ ) در خلاف جهت  $F$  به جسم وارد می‌شود و مانع حرکت جسم می‌شود.

با توجه به این که جسم ساکن است، بنابر قانون دوم نیوتون برآیند نیروهای وارد شده به آن صفر است و داریم:



## فصل سوم

# نوسان و امواج



# جمع بندی فصل سوم در یک نگاه

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

$$\mu = \frac{m}{L}$$

$$\mu = \rho A$$

عرضی مانند موج ایجاد شده در طناب

مکانیکی

مانند صوت

انواع موج

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

مانند نور

امواج الکترومغناطیسی (عرضی)

موج

حرکت هماهنگ نوسان و امواج ساده

روابط و کمیت‌های اصلی

$v = \lambda f$

$v$  تابع ویژگی‌های محیط

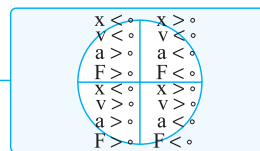
$f$  تابع ویژگی‌های چشمه

$\lambda$  تابع  $v$  و  $f$

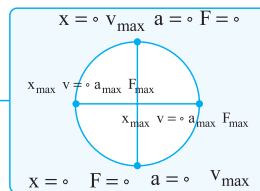
جابه‌جایی

مکان

علامت کمیت‌های مختلف



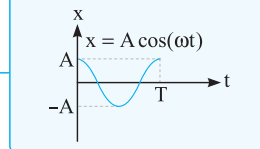
اندازه کمیت‌های مختلف



روابط اولیه

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

معادله نمودار مکان-زمان



جرم-نوسانگرها

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

آونگ ساده

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

روابط انرژی

$$E = K + U$$

$$E = \frac{1}{2} k A^2 = 2\pi^2 m A^2 f^2$$

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

بیشینه کمیت‌ها

$$x_{\max} = A$$

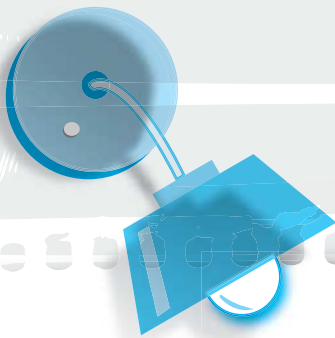
$$v_{\max} = A\omega$$

$$a_{\max} = A\omega^2$$

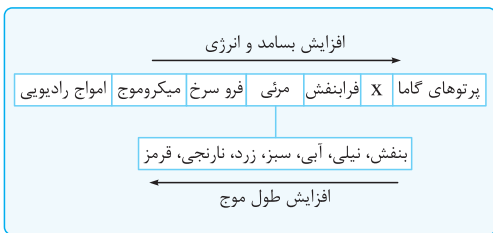
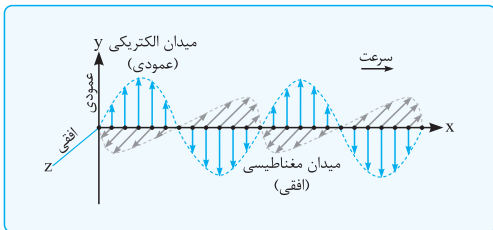
$$F_{\max} = mA\omega^2$$

$$K_{\max} = U_{\max} = 2\pi^2 mA^2 f^2$$





(۱) امواج الکترومغناطیسی از E متغیر و B متغیر به وجود می آیند.  
 (۲) E متغیر B تولید می کند، B متغیر E تولید می کند.  
 (۳) E و B برهم عمودند و هم فازند.  
 (۴) B و E بر جهت انتشار عمودند و امواج الکترومغناطیسی عرضی هستند.  
 (۵) نیاز به محیط مادی برای انتشار ندارند.



**ویژگی ها**

تندی انتشار صوت:  $v_{\text{گازها}} > v_{\text{مایعات}} > v_{\text{جامدات}}$

شدت صوت:  $I = \frac{\bar{P}}{A} = \frac{E}{A \cdot t}$       $\frac{I_2}{I_1} = \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^2 \times \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^2$

تراز شدت صوت:  $\beta = 10 \log \frac{I}{I_0}$       $\Delta\beta = 10 \log \frac{I_2}{I_1}$

چشمه ساکن ناظر متحرک:  $\lambda_A = \lambda_S = \lambda_B$       $f_A > f_S > f_B$

چشمه متحرک ناظر ساکن:  $\lambda_A > \lambda_S > \lambda_B$       $f_A < f_S < f_B$

**ضریب شکست**:  $n = \frac{c}{v} \quad \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$

**قانون عمومی شکست**:  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$

**قانون اسنل**:  $\frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$

**جمع بندی روابط شکست**:  $\frac{v_2}{v_1} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1} = \frac{n_1}{n_2}$

**بازتاب امواج**

بازتاب امواج:  $\theta_i = \theta_r$

قانون عمومی بازتاب:  $D = 2\alpha$

انحراف پرتوهای درآینه های متقاطع:  $D = 360^\circ - 2\alpha$

برخورد امواج به موانع: (موج فرودی) and (موج بازتابیده)



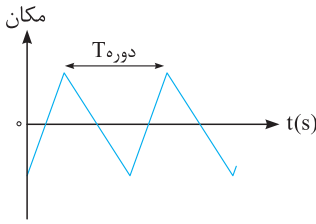
مرحله اول جمع بندی حرکت نوسانی

مبحث (۱): تعاریف اولیه

به هر حرکت رفت و برگشتی حرکت نوسانی می‌گویند. حرکت‌های نوسانی می‌توانند به صورت دوره‌ای یا غیر دوره‌ای باشند.

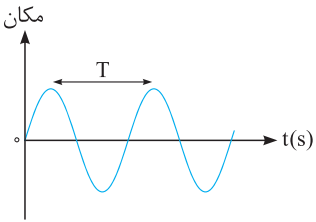
**نوسان‌های دوره‌ای:** نوسان‌هایی که چرخه (سیکل) آن‌ها در دوره‌های دیگر تکرار شود، نوسان دوره‌ای نام دارند.

در شکل روبه‌رو چرخه یک نوسان دوره‌ای مشخص شده است.



**حرکت هماهنگ ساده (SHM):** حرکت نوسانی دوره‌ای که به صورت سینوسی باشد، حرکت هماهنگ ساده نام دارد.

در شکل روبه‌رو چرخه یک حرکت ساده مشخص شده است.



**دوره تناوب:** مدت زمان یک چرخه، دوره تناوب حرکت نامیده می‌شود. دوره تناوب را با T نشان می‌دهند و یکای آن در SI ثانیه است و به صورت زیر به دست می‌آید:

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

T ← دوره تناوب بر حسب ثانیه (s)

t ← کل زمان طی شدن چرخه‌ها بر حسب ثانیه (s)

n ← تعداد چرخه‌های طی شده

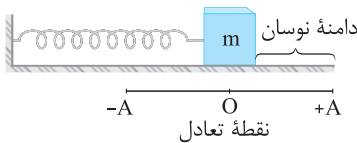
**بسامد (فرکانس):** تعداد نوسان‌های انجام شده (تعداد چرخه) در هر ثانیه بسامد (فرکانس) نامیده می‌شود. بسامد (فرکانس) را با f نشان می‌دهند و یکای آن

در SI هرتز (Hz) است و به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

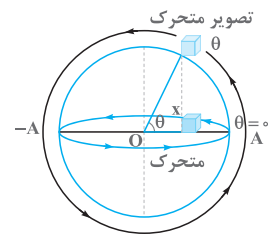
$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{t}$$

مبحث (۲): تحلیل دقیق‌تر حرکت نوسانی ساده

فرض کنید مطابق شکل مقابل جسمی به فنر متصل شده باشد و روی سطح افقی بدون اصطکاکی قرار گرفته باشد. اگر این جسم را به اندازه A از وضع تعادل خود به سمت راست بکشیم و رها کنیم جسم بر روی پاره خطی به طول 2A حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. بیشینه فاصله جسم از نقطه تعادل دامنه حرکت هماهنگ ساده نام دارد که با A نشان داده می‌شود.



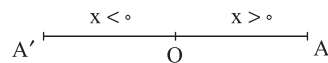
**نکته:** برای تحلیل راحت‌تر حرکت هماهنگ ساده از یک دایره فرضی به نام دایره مرجع استفاده می‌کنیم. همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید هنگامی که متحرک روی پاره خط نوسان، یک حرکت رفت و برگشتی کامل انجام می‌دهد، تصویر متحرک روی دایره مرجع یک دایره کامل را طی می‌کند.



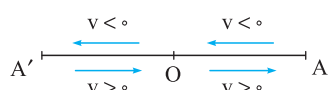
همان‌طور که در شکل مقابل می‌بینید، زاویه‌ای که محل تصویر را مشخص می‌کند، theta یا فاز حرکت نام دارد.

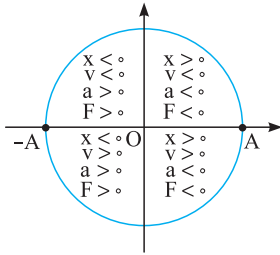
تعیین علامت کمیت‌های مختلف در حرکت هماهنگ ساده

**مکان:** فرض کنید جسمی روی محور xها بر روی پاره خطی به طول 2A حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. اگر نقطه تعادل را به عنوان مبدأ مختصات در نظر بگیریم، می‌توانیم بگوییم هنگامی که متحرک در سمت راست نقطه تعادل قرار دارد (در ربع‌های اول و چهارم دایره مرجع) مکان آن مثبت و هنگامی که سمت چپ نقطه تعادل قرار دارد (ربع‌های دوم و سوم دایره مرجع) مکان آن منفی است.



**سرعت:** هنگامی که متحرک در جهت محور xها حرکت می‌کند (ربع‌های سوم و چهارم) سرعت مثبت و هنگامی که در خلاف جهت محور xها حرکت می‌کند (ربع‌های اول و دوم) سرعت متحرک منفی است.





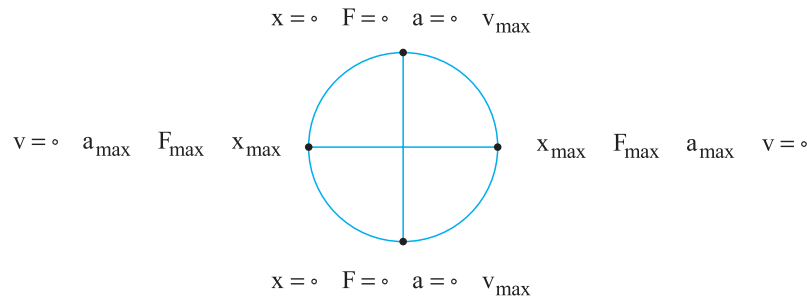
**شتاب و نیرو:** به طور کلی طبق رابطه  $F = ma$ ، شتاب و نیرو همواره هم علامت هستند. در حرکت هماهنگ ساده هنگامی که جسم در سمت راست نقطه تعادل قرار می‌گیرد فنر جسم را به سمت چپ می‌کشد و هنگامی که جسم در سمت چپ نقطه تعادل قرار می‌گیرد، فنر آن را به سمت راست هل می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توانیم بگوییم، هنگامی که  $x > 0$  است نیروی وارد شده و به دنبال آن شتاب حرکت جسم منفی هستند و هنگامی که  $x < 0$  است، نیروی وارد شده به جسم و شتاب حرکت جسم مثبت هستند. در شکل مقابل علامت کمیت‌های مختلف در یک دایره مشخص شده است.

### تعیین مقدار کمیت‌های مختلف در حرکت هماهنگ ساده

**مکان:** هنگامی که متحرک در نقطه تعادل است  $x = 0$  می‌باشد و هنگامی که در ابتدا و انتهای پاره خط نوسان قرار می‌گیرد، بیشترین فاصله را تا مبدأ مختصات دارد. به نقاط ابتدا و انتهای پاره خط نوسان در اصطلاح نقاط بازگشت می‌گویند.

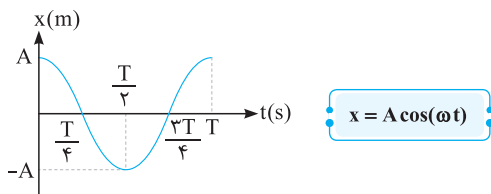
**سرعت:** در نقاط بازگشت، متحرک یک لحظه توقف می‌کند و تغییر جهت می‌دهد، بنابراین در این نقاط  $v = 0$  است و در هنگام عبور از نقطه تعادل اندازه سرعت متحرک بیشینه است.

**شتاب و نیرو:** در نقاط بازگشت، چون جسم بیشترین فاصله را از نقطه تعادل دارد. (فنر بیشترین فشردگی یا بیشترین کشیدگی را دارد)، نیروی وارد شده به جسم و در نتیجه شتاب حرکت جسم بیشینه است. اما در نقطه تعادل نیروی وارد شده به جسم و در نتیجه شتاب حرکت آن صفر است. در شکل زیر اندازه کمیت‌های مختلف در نقاط خاص مشخص شده‌اند.



### مبحث (۳): معادله و نمودار مکان - زمان در حرکت هماهنگ ساده

همان‌طور که گفتیم در حرکت هماهنگ ساده نمودار مکان - زمان نموداری سینوسی است، یعنی مکان را می‌توان به صورت تابعی سینوسی یا کسینوسی از زمان نوشت که در کتاب درسی فیزیک سال دوازدهم تابع کسینوسی انتخاب شده است و داریم:



$x$  ← مکان نوسانگر بر حسب متر (m)

$A$  ← دامنه حرکت نوسانگر بر حسب متر (m)

$\omega$  ← بسامد زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه ( $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ )

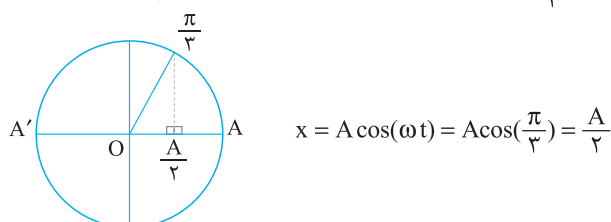
$t$  ← زمان بر حسب ثانیه (s)

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

**نکته!** در رابطه بالا بسامد زاویه‌ای ( $\omega$ ) برابر تغییرات فاز حرکت در واحد زمان است که به صورت روبه‌رو به دست می‌آید:

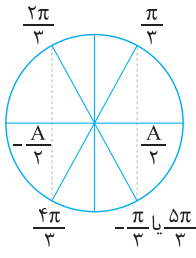
### آشنایی با مکان‌ها و فازهای معروف کنکور

هنگامی که جسم روی پاره خط نوسان در مکان  $x$  قرار دارد، تصویر آن روی دایره مرجع در فاز  $\theta$  قرار می‌گیرد. دقت کنید که در معادله مکان - زمان شناسه تابع کسینوس (یعنی  $\omega t$ ) همان فاز حرکت است. به طور مثال هنگامی که تصویر متحرک در فاز  $\frac{\pi}{3}$  است، مکان متحرک به صورت زیر به دست می‌آید:

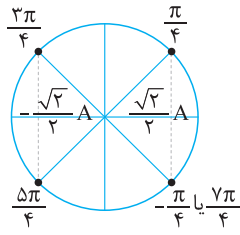




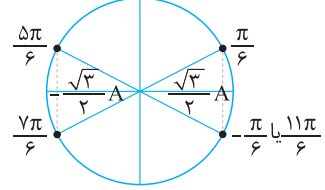
برای افزایش سرعت پاسخ‌گویی سؤالات این قسمت، تمام فازها و مکان‌های معروف را در سه شکل زیر مشخص کرده‌ایم. لطفاً این شکل‌ها را خیلی خوب بررسی کنید.



گروه  $\frac{\pi}{3}$



گروه  $\frac{\pi}{4}$



گروه  $\frac{\pi}{6}$

**نکته** هنگامی که نوسانگر از مکان  $x_1$  به مکان  $x_2$  جابه‌جا می‌شود فاز آن از  $\theta_1$  تا  $\theta_2$  تغییر می‌کند. برای به دست آوردن زمان این جابه‌جایی می‌توان از دو روش زیر استفاده کرد:

روش (۱): استفاده از بسامد زاویه‌ای

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

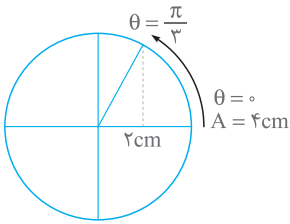
روش (۲): استفاده از تناوب

$$\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T}$$

برای درک بهترین نکته به مثال زیر توجه کنید:

**مثال** متحرکی بر روی پاره‌خطی به طول ۸cm حرکت هماهنگ ساده انجام می‌دهد. اگر متحرک در مدت زمان ۲s از  $x_1 = 4\text{cm}$  به  $x_2 = 2\text{cm}$  برسد، دوره تناوب آن چند ثانیه است؟ (مبدأ مختصات منطبق بر نقطه تعادل است.)

**حل** با توجه به این‌که طول پاره‌خط نوسان ۸cm است، دامنه نوسان برابر ۴cm می‌باشد، بنابراین همان‌طور که در شکل زیر می‌بینید متحرک از نقطه  $x = A$  به نقطه  $x = \frac{A}{2}$  رفته است به عبارت دیگر فاز متحرک از  $\theta = 0^\circ$  تا  $\theta = \frac{\pi}{3}$  تغییر کرده است و داریم:



روش اول:  $\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\frac{\pi}{3}}{2} = \frac{\pi}{6} \text{ rad/s}$

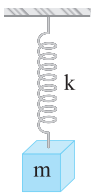
$$\omega = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow \frac{\pi}{6} = \frac{2\pi}{T} \Rightarrow T = 12\text{s}$$

روش دوم:  $\frac{\Delta\theta}{2\pi} = \frac{\Delta t}{T} \Rightarrow \frac{\frac{\pi}{3}}{2\pi} = \frac{2}{T} \Rightarrow T = 12\text{s}$

### مبحث (۴): نوسانگرها

در ادامه با دو نوسانگر مهم و روابط آن‌ها آشنا می‌شوید.

**الف: جرم و فنر:** فرض کنید مطابق شکل زیر جسمی به جرم  $m$  به فنری به ثابت  $k$  متصل شده باشد و جسم در راستای قائم در حال نوسان باشد. در این حالت برای به دست آوردن دوره و بسامد زاویه‌ای سامانه جرم - فنر می‌توانیم از روابط زیر استفاده کنیم:



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

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

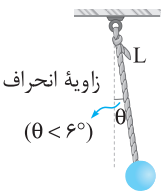
$T$  ← دوره سامانه جرم - فنر برحسب ثانیه (s)

$\omega$  ← بسامد زاویه‌ای سامانه جرم - فنر برحسب رادیان بر ثانیه ( $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ )

$m$  ← جرم جسم متصل شده به فنر برحسب کیلوگرم (kg)

$k$  ← ثابت فنر برحسب نیوتون بر متر ( $\frac{\text{N}}{\text{m}}$ )

**ب: آونگ ساده:** آونگ ساده شامل وزنه کوچکی است که از نخ بدون جرم و کش نیامدنی 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 خواهد داشت و در این حالت برای به دست آوردن دوره و بسامد زاویه‌ای آن می‌توانیم از روابط روبه‌رو استفاده کنیم:



$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$$

$T$  ← دوره نوسان آونگ ساده برحسب ثانیه (s)

$\omega$  ← بسامد زاویه‌ای آونگ ساده برحسب رادیان بر ثانیه ( $\frac{\text{rad}}{\text{s}}$ )

$L$  ← طول نخ برحسب متر (m)

$g$  ← شتاب گرانش در محل مورد نظر برحسب متر بر مجذور ثانیه ( $\frac{\text{m}}{\text{s}^2}$ )

**نکته** اگر آونگ ساده داخل آسانسوری که با شتاب  $a$  در حال حرکت می باشد، قرار بگیرد به جای  $g$  مقدار  $g'$  را جایگذاری می کنیم که از رابطه زیر به دست می آید:

$$g' = (g \pm a)$$

علامت مثبت برای هنگامی است که شتاب رو به بالا و علامت منفی برای وقتی است که شتاب رو به پایین باشد.

اگر کاربرد این رابطه را به خاطر نداشتید نگاهی به مبحث آسانسور در همین کتاب بیندازید.

**نکته** اگر آونگ ساده در ارتفاع  $h$  از سطح زمین قرار بگیرد و  $h$  به اندازه کافی زیاد باشد تا شتاب گرانش تغییر کند، در رابطه فوق مقدار  $g$  به کمک رابطه زیر به دست می آید:

$$g = \frac{GM_e}{(R_e + h)^2}$$

اگر این رابطه را هم فراموش کرده اید نگاهی به مبحث گرانش در همین کتاب داشته باشید.

### مبحث (۵): رابطه شتاب و نیرو برحسب مکان در حرکت هماهنگ ساده

همان طور که می دانید در حرکت هماهنگ ساده سامانه جرم - فنر، اندازه نیرویی که از طرف فنر به جسم وارد می شود برابر  $F = kx$  است. از طرف دیگر طبق

قانون دوم نیوتون،  $F = ma$  است و داریم:

$$\left. \begin{array}{l} F = kx \\ F = ma \end{array} \right\} \Rightarrow kx = ma \Rightarrow a = \frac{k}{m}x \xrightarrow{\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}} a = \omega^2 x \xrightarrow{\text{علامت } a \text{ قرینه } x \text{ است}} a = -\omega^2 x$$

$$a \leftarrow \text{شتاب نوسانگر برحسب متر بر مجذور ثانیه } \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$\omega \leftarrow \text{بسامد زاویه ای برحسب رادیان بر ثانیه } \left( \frac{rad}{s} \right)$$

$$x \leftarrow \text{مکان نوسانگر برحسب متر } (m)$$

**نکات** ۱ دقت کنید که رابطه فوق برای سامانه جرم - فنر به دست آمده است اما می توان نشان داد که برای سایر نوسانگرها مانند آونگ ساده نیز قابل استفاده است.

$$F = ma \Rightarrow F = -m\omega^2 x$$

۲ با مشخص شدن رابطه شتاب برحسب مکان، رابطه نیرو برحسب مکان نیز به صورت مقابل به دست می آید:

۳ همان طور که می دانید، بیشترین مقدار  $x$  برابر  $A$  می باشد، بنابراین بیشترین اندازه نیروی وارد شده به نوسانگر و بیشینه شتاب نوسانگر برابر است با:

$$a = -\omega^2 x \xrightarrow{x_{max} = A} |a_{max}| = A\omega^2$$

$$F_{max} = ma_{max} \Rightarrow |F_{max}| = mA\omega^2$$

$$a_{max} \leftarrow \text{بیشینه شتاب نوسانگر برحسب متر بر مجذور ثانیه } \left( \frac{m}{s^2} \right)$$

$$F_{max} \leftarrow \text{بیشینه نیروی وارد شده به نوسانگر برحسب نیوتون } (N)$$

### مبحث (۶): انرژی در حرکت هماهنگ ساده

فرض کنید جسمی به جرم  $m$  به فنی به ثابت  $k$  متصل شده باشد و در راستای افقی حرکت هماهنگ ساده انجام دهد. در این حالت با نوسان جسم به طور مداوم انرژی جنبشی نوسانگر به انرژی پتانسیل کشسانی ذخیره شده در فنر تبدیل شده و انرژی پتانسیل کشسانی ذخیره شده در فنر به انرژی جنبشی تبدیل می شود، به طوری که در نقاط بازگشت که تندی حرکت صفر است، انرژی جنبشی نوسانگر صفر بوده و همه انرژی آن به صورت پتانسیل می باشد و در نقطه تعادل که فنر طول عادی خود را دارد، انرژی پتانسیل کشسانی ذخیره شده در فنر صفر شده و همه انرژی آن به صورت جنبشی است. دقت کنید که چون اصطکاک و تلفات انرژی نداریم مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل جسم که برابر انرژی مکانیکی نوسانگر است، ثابت می ماند و اندازه آن به صورت زیر به دست می آید:

$$E = \frac{1}{2}kA^2$$

$$E = \frac{1}{2}\pi^2 mA^2 f^2$$

$$E \leftarrow \text{انرژی مکانیکی نوسانگر برحسب ژول } (J)$$

$$k \leftarrow \text{ثابت فنر برحسب نیوتون بر متر } \left( \frac{N}{m} \right)$$

$$A \leftarrow \text{دامنه نوسان برحسب متر } (m)$$

$$m \leftarrow \text{جرم جسم برحسب کیلوگرم } (kg)$$

$$f \leftarrow \text{بسامد نوسان برحسب هرتز } (Hz)$$

**نکات** ۱ دقت کنید که تمام نکات مطرح شده در مورد انرژی سامانه جرم و فنر برای سایر نوسانگرها مانند آونگ ساده نیز صادق است.

۲ همان طور که می دانید انرژی مکانیکی جسم طبق رابطه  $E = K + U$  برابر مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل جسم است. اگر به کمک رابطه بالا  $E$  را به دست آورده

و به کمک رابطه  $K = \frac{1}{2}mv^2$  انرژی جنبشی جسم را حساب کنیم و در رابطه  $E = K + U$  قرار دهیم انرژی پتانسیل جسم به دست می آید.

۳ در نقطه تعادل انرژی پتانسیل برابر صفر بوده و انرژی جنبشی جسم بیشترین مقدار خود را دارد و در نقاط بازگشت انرژی جنبشی جسم برابر صفر بوده و انرژی

پتانسیل جسم بیشترین مقدار خود را دارد که به صورت روبه رو به دست می آید:

$$K_{max} = U_{max} = E = \frac{1}{2}\pi^2 mA^2 f^2$$



۴ به کمک مقدار  $K_{\max}$  می‌توان مقدار بیشترین تندی که متحرک می‌تواند در طول حرکتش داشته باشد را به صورت زیر به دست آورد:

$$k_{\max} = 2\pi^2 mA^2 f^2 \Rightarrow \frac{1}{2} m v_{\max}^2 = 2\pi^2 mA^2 f^2 \Rightarrow v_{\max}^2 = 4\pi^2 A^2 f^2 \Rightarrow v_{\max} = 2\pi f A \xrightarrow{\omega = 2\pi f} v_{\max} = A\omega$$

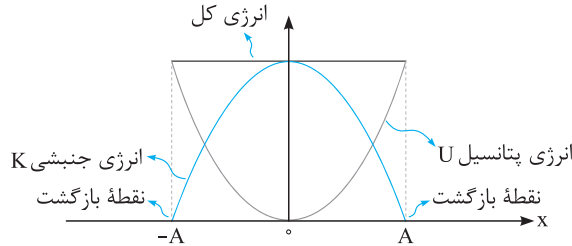
$v_{\max}$  ← بیشترین تندی حرکت نوسانگر بر حسب متر بر ثانیه ( $\frac{m}{s}$ )

$A$  ← دامنه حرکت بر حسب متر (m)

$\omega$  ← بسامد زاویه‌ای بر حسب رادیان بر ثانیه ( $\frac{rad}{s}$ )

### نمودار انرژی در حرکت هماهنگ ساده

همان طور که گفتیم در نقاط بازگشت انرژی پتانسیل بیشینه و انرژی جنبشی صفر است و در نقطه تعادل انرژی جنبشی بیشینه و انرژی پتانسیل صفر است و مجموع انرژی جنبشی و پتانسیل نوسانگر که برابر انرژی مکانیکی آن می‌باشد، ثابت است. بنابراین نمودارهای انرژی نوسانگر بر حسب مکان به صورت زیر می‌باشد:



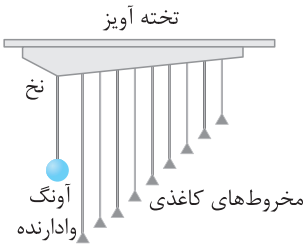
### مبحث (۷): تشدید

**بسامد طبیعی:** اگر یک سامانه جرم - فنر یا یک آونگ ساده را از وضع تعادل خارج کرده و رها کنیم با بسامد معینی شروع به نوسان می‌کند که به بسامد این حرکت بسامد طبیعی گویند و با  $f_0$  نشان داده می‌شود.

**نوسان واداشته:** اگر به وسیله اعمال یک نیروی خارجی نوسانگرهایی مانند سامانه جرم - فنر یا آونگ ساده را وادار به حرکت کنیم، حرکت انجام شده را نوسان واداشته می‌گویند و بسامد آن را با  $f_d$  نشان می‌دهند.

**تشدید:** اگر به یک نوسانگر یک نیروی خارجی دوره‌ای وارد شود و بسامد نیروی خارجی ( $f_d$ ) برابر بسامد طبیعی نوسانگر ( $f_0$ ) باشد، دامنه نوسان‌های جسم بزرگ و بزرگ‌تر می‌شود که به این پدیده، تشدید یا رزونانس می‌گویند.

برای بررسی پدیده تشدید از وسیله آزمایشگاهی مقابل استفاده می‌شود که به آن آونگ‌های بارتون می‌گویند. در این آزمایش اگر آونگ وادارنده شروع به نوسان کند، انرژی آن از طریق نخ به سایر آونگ‌ها منتقل شده و همگی شروع به حرکت می‌کنند اما آونگی که با آونگ وادارنده هم طول است با دامنه بیشتری حرکت خواهد کرد، زیرا طبق رابطه  $\omega = \sqrt{\frac{g}{L}}$  هم طول‌های هم طول دارای بسامد و بسامد زاویه‌ای یکسانی هستند و در نتیجه در آونگی که با آونگ وادارنده هم طول است، تشدید روی می‌دهد.



(تجربی دافل ۸۰)

۱ تغییر فاز نوسان یک نوسانگر ساده در مدت ۱s، با کدام کمیت وابسته به آن نوسانگر برابر است؟

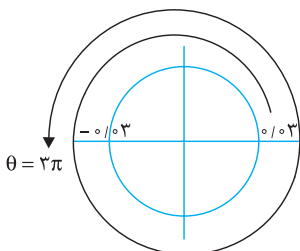
- طول موج (۱)  دوره (۲)  بسامد (۳)  بسامد زاویه‌ای (۴)

**حل** تغییر فاز نوسانگر در واحد زمان تعریف بسامد زاویه‌ای است.

۲ معادله هماهنگ ساده‌ای در SI به صورت  $x = 0.03 \cos \frac{\pi}{4} t$  است. این نوسانگر در فاصله زمانی  $0 < t < 6s$  چند سانتی‌متر مسافت را پیموده است؟

- ۳ (۱)  ۶ (۲)  ۹ (۳)  ۱۸ (۴)

**حل** فاز حرکت نوسانگر را به دست می‌آوریم:



$$\theta = \frac{\pi}{4} t \xrightarrow{t=6s} \theta = \frac{\pi}{4} \times 6 = 3\pi \text{ rad}$$

همان طور که می‌دانید متحرک در هر نوسان کامل مسافتی به اندازه  $4A$  طی می‌کند، در این مسئله متحرک  $3\pi$  تغییر فاز داده و  $1/5$  نوسان کامل را طی کرده است، بنابراین مسافت طی شده توسط متحرک برابر  $6A$  می‌شود و داریم:

$$L = 6A = 6(0.03) = 0.18 \text{ m} = 18 \text{ cm}$$