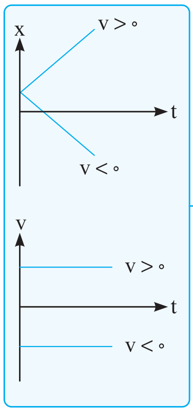
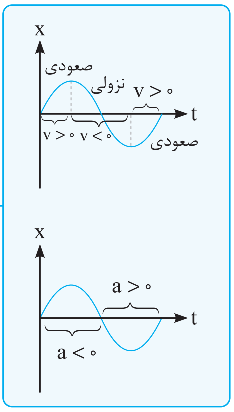
جمع‌بندی فصل اوّل در یک نگاه

کلیات حرکت و حرکت سرعت ثابت

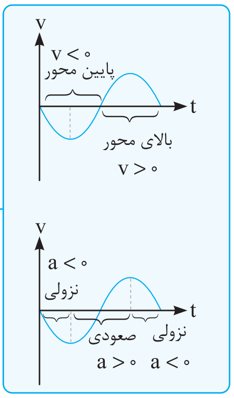
- **کلیات حرکت**
  - سرعت متوسط: $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$
  - تندی متوسط: $s_{av} = \frac{l}{\Delta t}$
  - شتاب متوسط: $a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$
  - تعیین نوع حرکت:
    - $av > ۰$ تندشونده
    - $av < ۰$ کندشونده
- **حرکت با سرعت ثابت**
  - معادلهٔ مکان- زمان:
    - $x = vt + x_۰$
    - $\Delta x = v\Delta t$
  - نمودارها:



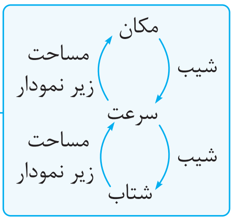
  - حرکت‌های چند مرحله‌ای: $v_{av} = \frac{\Delta x_۱ + \Delta x_۲ + ...}{\Delta t_۱ + \Delta t_۲ + ...}$
- **تعیین علامت کمیت‌های حرکت‌شناسی از روی نمودار**
  - نمودارمکان- زمان



  - نمودارسرعت- زمان



- **محاسبهٔ کمیت‌های حرکت‌شناسی از روی نمودار**



حرکت شتاب‌دار با شتاب ثابت

حرکت شتاب ثابت

روابط

روابط اصلی

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

$$v = at + v_0$$

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x$$

$$v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

روابط کمکی

$$\Delta x_{\text{توقف}} = \frac{-v_0^2}{2a}$$

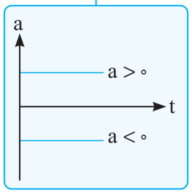
$$t_{\text{توقف}} = -\frac{v_0}{a}$$

$$\Delta x = (n - 0/5)aT^2 + v_0 T$$

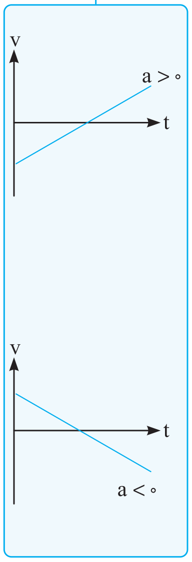
جابه‌جایی در T ثانیه n ام

نمودارها

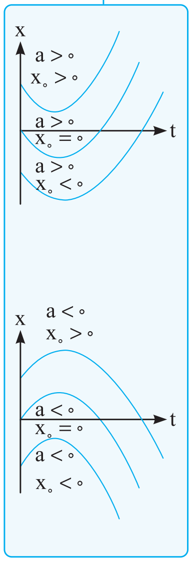
شتاب- زمان



سرعت- زمان



مکان- زمان



مبحث (۱): جابه‌جایی و مسافت

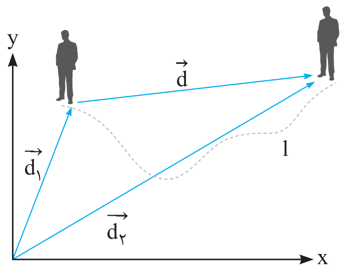
در شروع این فصل می‌خواهیم شما را با کمیت‌های اصلی حرکت‌شناسی آشنا کنیم.

بردار مکان: برداری است که ابتدای آن مبدأ مکان و انتهای آن مکان جسم است.

بردار جابه‌جایی: برداری که ابتدای آن مکان اولیهٔ جسم و انتهای آن مکان ثانویهٔ جسم است.

مسافت: طول مسیر پیموده شده توسط متحرک مسافت نام دارد.

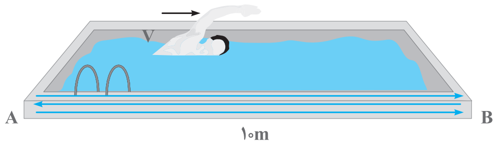
به‌طور مثال فرض کنید مطابق شکل روبه‌رو شخصی در مسیر نشان داده شده حرکت کرده باشد. در این شکل بردار مکان اولیه $(\vec{d}_1)$، بردار مکان ثانویه $(\vec{d}_2)$، بردار جابه‌جایی $(\vec{d})$ و مسافت طی شده توسط متحرک (l) نشان داده شده است.



! **نکته** دقت کنید که جابه‌جایی متحرک فقط به نقاط شروع و پایان حرکت بستگی دارد، در صورتی‌که، مسافت طی شده توسط متحرک به کل مسیر طی شده بستگی دارد. به‌طور مثال فرض کنید مطابق شکل زیر، شناگری طول یک استخر ۱۰ متری را سه بار طی کرده و از نقطهٔ A به B برسد. در این‌صورت اندازهٔ جابه‌جایی و مسافت طی شده توسط متحرک برابر است با:

مسافت طی شده $l = ۱۰ + ۱۰ + ۱۰ = ۳۰m$

اندازهٔ جابه‌جایی $|\vec{d}| = AB = ۱۰m$



مبحث (۲): تندی متوسط و سرعت متوسط

تندی متوسط: به نسبت مسافت طی شده توسط متحرک به زمان حرکت، تندی متوسط گویند. تندی متوسط کمیتی نرده‌ای است و آن را به‌صورت s_{av} نشان می‌دهند و به‌صورت مقابل به‌دست می‌آید:

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

s_{av} ← تندی متوسط برحسب متر بر ثانیه $(\frac{m}{s})$

l ← مسافت طی شده برحسب متر (m)

Δt ← مدت زمان حرکت برحسب ثانیه (s)

سرعت متوسط: به نسبت جابه‌جایی انجام شده توسط متحرک به زمان حرکت، سرعت متوسط گویند. سرعت متوسط کمیتی برداری است و آن را به‌صورت $\vec{v}_{av}$ نشان می‌دهند و به‌صورت مقابل به‌دست می‌آید:

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

$\vec{v}_{av}$ ← بردار سرعت متوسط برحسب متر بر ثانیه $(\frac{m}{s})$

$\vec{d}$ ← بردار جابه‌جایی برحسب متر (m)

به‌طور مثال، اگر در قسمت قبل، کل مدت زمان شناکردن شناگر ۶۰s باشد تندی متوسط و اندازهٔ سرعت متوسط آن به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۳۰}{۶۰} = \frac{۱}{۲}\frac{m}{s}$$

$$|\vec{v}_{av}| = \frac{|\vec{d}|}{\Delta t} = \frac{۱۰}{۶۰} = \frac{۱}{۶}\frac{m}{s}$$

مبحث (۳): شتاب متوسط

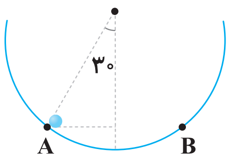
شتاب متوسط: به نسبت تغییرات سرعت متحرک به زمان حرکت شتاب متوسط گویند. شتاب متوسط کمیتی برداری است و آن را به‌صورت $\vec{a}_{av}$ نشان می‌دهند و به‌صورت مقابل به‌دست می‌آید:

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

! **نکته** با توجه به رابطهٔ بالا هرگاه سرعت جسمی تغییر کند حرکت آن شتاب‌دار است. با توجه به این‌که بردار سرعت در هر نقطه بر مسیر حرکت مماس است، تغییر سرعت جسم در نقاط مختلف مسیر حرکت می‌تواند به دلیل تغییر در اندازهٔ بردار سرعت (تندی) جسم باشد و یا می‌تواند به دلیل تغییر در جهت بردار سرعت آن باشد و یا همچنین می‌تواند به دلیل تغییر در اندازه و جهت بردار سرعت به‌صورت هم‌زمان باشد.

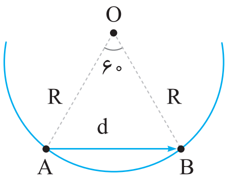
۱ گزینهٔ ۲

گلوله‌ای مطابق شکل درون نیم‌کره به شعاع R قرار دارد. گلوله‌ای از نقطهٔ A رها شده و تا نقطهٔ B روبه‌روی نقطهٔ A بالا می‌رود. در این حرکت مسافت طی شده توسط گلوله چند برابر اندازهٔ جابه‌جایی آن است؟



۱) $\frac{\pi}{6}$ ۲) $\frac{\pi}{3}$ ۳) ۲ ۴) ۱

حل با توجه به شکل، مثلث OAB متساوی‌الاضلاع است. جابه‌جایی جسم برابر پاره‌خط AB و مسافت طی شده هم برابر کمانی از دایره است که مقادیر آنها را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد:



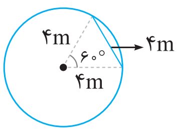
$$\left.\begin{array}{l} d = R \\ l = \frac{\text{محیط}}{6} = \frac{2\pi R}{6} = \frac{\pi R}{3} \end{array}\right\} \Rightarrow \frac{l}{d} = \frac{\frac{\pi R}{3}}{R} = \frac{\pi}{3}$$

۲ گزینهٔ ۳

شخصی زغال‌گردانی به طول 4m را با تندی ثابت می‌چرخاند. اگر اندازهٔ جابه‌جایی در هر ثانیه برای انتهای زغال‌گردان که محفظهٔ زغال است، برابر 4m باشد، مسیر پیموده شده توسط محفظهٔ زغال در مدت 4s چند متر است؟ ($\pi = 3$)

۱) ۱۲ ۲) ۶ ۳) ۱۶ ۴) ۳۶

حل با توجه به شکل که طرحی از مسیر حرکت محفظهٔ زغال‌گردان است، متحرک روی مسیر دایره‌ای به شعاع ۴ متر در هر ثانیه ۴ متر جابه‌جا می‌شود، بنابراین متحرک در هر ثانیه $\frac{1}{6}$ از محیط دایره را طی می‌کند.



پس مسافت طی شده در ۴ ثانیه برابر $\frac{2}{3}$ از محیط دایره است.

$$l = \frac{2}{3}(\text{محیط دایره}) = \frac{2}{3}(2\pi R) = \frac{2}{3}(2\times 3\times 4) = 16\,m$$

۳ گزینهٔ ۱

در یک ساعت مچی طول عقربهٔ ثانیه‌شمار ۲ برابر طول عقربهٔ ساعت‌شمار است. در مدت ۱ ساعت تندی متوسط نوک عقربهٔ ثانیه‌شمار چند برابر تندی متوسط نوک عقربهٔ ساعت‌شمار است؟

۱) ۱۴۴۰ ۲) ۷۲۰ ۳) ۲۴۰ ۴) ۱۲۰

حل عقربهٔ ساعت‌شمار در هر ساعت $\frac{1}{12}$ دور می‌زند امّا عقربهٔ ثانیه‌شمار در یک ساعت ۶۰ دور می‌زند. می‌دانیم طول عقربهٔ ثانیه‌شمار دو برابر طول عقربهٔ ساعت‌شمار است، در نتیجه محیطی که طی می‌کند دو برابر محیط عقربهٔ ثانیه‌شمار است.

$$\frac{S_{av}\ \text{ثانیه‌شمار}}{S_{av}\ \text{ساعت‌شمار}} = \frac{\frac{l_1}{\Delta t_1}}{\frac{l_2}{\Delta t_2}} \Rightarrow \frac{S_{av_1}}{S_{av_2}} = \frac{l_1}{l_2}\times\frac{\overset{1}{\cancel{\Delta t_2}}}{\cancel{\Delta t_1}} = \frac{60(2\pi R_1)}{\frac{1}{12}(2\pi R_2)} = 720\times\frac{2R_2}{R_2} = 720\times 2 = 1440$$

مرحلهٔ دوم جمع‌بندی — نمودارهای حرکت

مبحث (۱): تعیین کمیت‌ها و لحظات خاص از روی نمودارها

در این مرحله ابتدا شما را با چند اصطلاح خاص که در حرکت‌شناسی بسیار کاربرد دارد آشنا می‌کنیم:

۱ مکان اولیهٔ حرکت ← مکانی که متحرک در لحظهٔ $t = 0$ در آن قرار دارد. به عبارت دیگر فاصلهٔ اولیهٔ متحرک از مبدأ است.

۲ مبدأ مکان ← مبدأ مختصات یا به عبارت دیگر $x = 0$ است و فاصله تمام نقاط نسبت به آن سنجیده می‌شود.

۳ تغییر جهت بردار مکان ← به‌طور کلی اگر متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند در قسمت مثبت محور x (سمت راست مبدأ) باشد مکان آن مثبت و اگر در قسمت منفی محور x (سمت چپ مبدأ) باشد، مکان آن منفی است. بنابراین در لحظه‌ای که متحرک از مبدأ مکان عبور می‌کند، بردار مکان تغییر جهت می‌دهد.

۴ تغییر جهت متحرک ← به‌طور کلی اگر متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند در جهت محور x در حال حرکت باشد، سرعت آن مثبت و اگر در خلاف جهت محور x حرکت کند سرعت آن منفی می‌شود. بنابراین در لحظه‌ای که اندازهٔ سرعت صفر شده و علامت آن تغییر می‌کند، متحرک تغییر جهت می‌دهد.

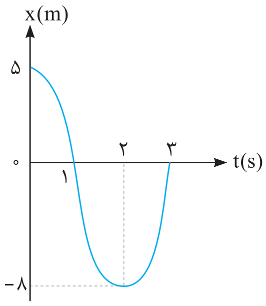
۵ ثانیهٔ nام ← بازهٔ زمانی $t_1 = n-1$ تا $t_2 = n$ ثانیهٔ nام نام دارد. به‌طور مثال منظور از ثانیهٔ پنجم بازهٔ زمانی $t_1 = 4s$ تا $t_2 = 5s$ است.

۶ T ثانیهٔ nام ← بازهٔ زمانی $t_1 = (n-1)T$ تا $t_2 = nT$، T ثانیهٔ nام نام دارد. به‌طور مثال منظور از سه ثانیهٔ دوم، بازهٔ زمانی $t_1 = 3s$ تا $t_2 = 6s$ است.

در ادامه شما را با نمودارهای حرکت یک متحرک آشنا می‌کنیم:

الف) نمودار مکان - زمان

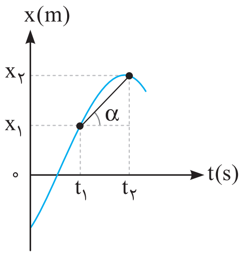
۱) نمودار مکان - زمان، مکان متحرک را در هر لحظه نشان می‌دهد. برای به‌دست آوردن جابه‌جایی متحرک در یک بازهٔ زمانی مشخص کافی است تفاضل مکان ثانویه و اولیهٔ آن را به‌دست آوریم و برای به‌دست آوردن مسافت طی شده توسط آن باید کل مسیر طی شده را محاسبه کنیم. به‌طور مثال داریم:



جابه‌جایی در ۳ ثانیهٔ اوّل $= ۰ - ۵ = -۵m$

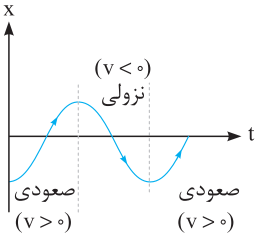
مسافت در ۳ ثانیهٔ اوّل $= ۵ + ۸ + ۸ = ۲۱m$

۲) شیب خط واصل بین دو نقطه از نمودار مکان - زمان برابر سرعت متوسط متحرک در آن بازهٔ زمانی است.

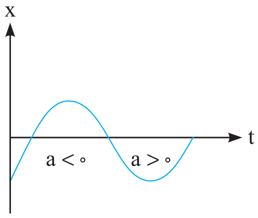


$$\text{شیب خط واصل} = \tan\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta t} = v_{av}$$

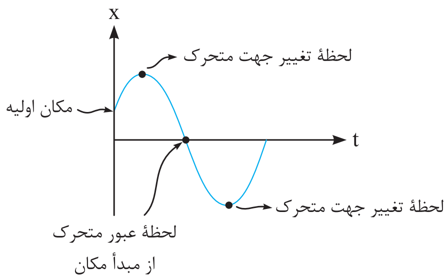
۳) شیب خط مماس به نمودار مکان - زمان برابر سرعت لحظه‌ای متحرک در آن لحظه است. به عبارت دیگر هنگامی‌که نمودار مکان - زمان صعودی است، سرعت متحرک مثبت بوده و متحرک در جهت محور x ها حرکت می‌کند و هنگامی‌که نمودار مکان - زمان نزولی است، سرعت متحرک منفی بوده و متحرک در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند.



۴) تقعر نمودار مکان - زمان بیانگر علامت شتاب متحرک است. به عبارت دیگر، اگر تقعر نمودار مثبت باشد (نمودار این شکلی ∪ باشد!) شتاب متحرک مثبت و اگر تقعر نمودار منفی باشد (نمودار این شکلی ∩ باشد!) شتاب متحرک منفی و اگر نمودار به‌صورت خطی باشد، شتاب متحرک صفر است.

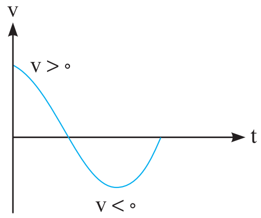


۵) و در آخر لحظات خاصی که با آنها آشنا شده‌اید در نمودار مکان - زمان به‌صورت روبه‌رو است:



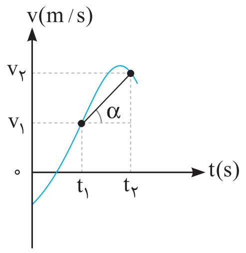
ب) نمودار سرعت - زمان

۱) در هر لحظه که نمودار بالای محور t است، سرعت متحرک مثبت بوده و متحرک در جهت محور x ها حرکت می‌کند و در هر لحظه که نمودار زیر محور t است، سرعت متحرک منفی بوده و متحرک در خلاف جهت محور x ها حرکت می‌کند.

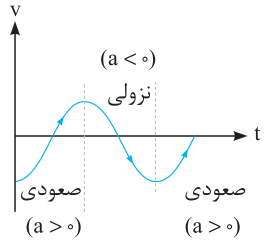


۲ شیب خط واصل بین دو نقطه از نمودار سرعت - زمان برابر شتاب متوسط متحرک در آن بازهٔ زمانی است.

$$\text{شیب خط واصل} = \tan\alpha = \frac{\Delta v}{\Delta t} = a_{av}$$



۳ شیب خط مماس بر نمودار سرعت - زمان برابر شتاب لحظه‌ای متحرک است. به عبارت دیگر هنگامی‌که نمودار سرعت - زمان صعودی است، شتاب متحرک مثبت و هنگامی‌که نمودار سرعت - زمان نزولی است، شتاب متحرک منفی است.

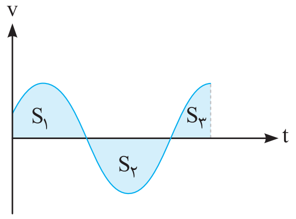


۴ مساحت محصور بین نمودار سرعت - زمان و محور زمان بیانگر جابه‌جایی متحرک در هر بازه زمانی است.

برای به‌دست آوردن جابه‌جایی یا مسافت کل طی شده توسط متحرک به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

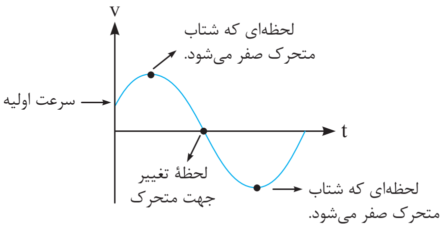
$$\text{جابه‌جایی متحرک} = |S_1| - |S_2| + |S_3|$$

$$\text{مسافت طی شده توسط متحرک} = |S_1| + |S_2| + |S_3|$$



دقت کنید که به‌کمک نمودار سرعت - زمان به‌راحتی می‌توان جابه‌جایی و مسافت طی‌شده توسط متحرک را به‌دست آوریم و به‌کمک روابط $v_{av} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ و $s_{av} = \frac{l}{\Delta t}$ می‌توانیم سرعت متوسط و تندی متوسط را محاسبه کنیم.

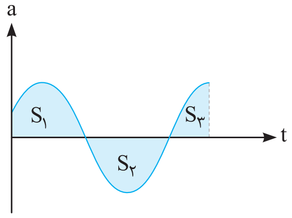
۵ و در آخر لحظات خاصی که با آنها آشنا شدیم، در نمودار سرعت - زمان به‌صورت مقابل است:



ج نمودار شتاب - زمان

مساحت محصور بین نمودار شتاب - زمان و محور زمان بیانگر تغییرات سرعت متحرک است. برای به‌دست آوردن تغییرات سرعت متحرک در یک بازهٔ زمانی به‌صورت زیر عمل می‌کنیم:

$$\Delta v = |S_1| - |S_2| + |S_3|$$



جمع‌بندی نکات اصلی نمودارهای حرکت‌شناسی: به‌طور کلی نکات مطرح شده در قسمت‌های گذشته را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

شیب نمودار مکان ← سرعت
مساحت زیر نمودار سرعت ← Δx
شیب نمودار سرعت ← شتاب
مساحت زیر نمودار شتاب ← Δv

مبحث (۲): تعیین نوع حرکت متحرک

اگر سرعت متحرک در طی حرکت آن ثابت باشد، (یعنی متحرک با تندی ثابت و بدون تغییر جهت روی خط راست حرکت کند.) حرکت را با سرعت ثابت می‌نامند و اگر سرعت متحرک تغییر کند، حرکت آن را شتاب‌دار می‌نامند. در این فصل فقط حرکت متحرکی را بررسی می‌کنیم که با سرعت ثابت یا شتاب ثابت روی خط راستی در حال حرکت است.

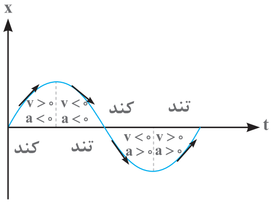
در حرکت شتاب ثابت اگر بردار شتاب در جهت بردار سرعت باشد ($av > ۰$)، تندی حرکت متحرک افزایش می‌یابد، به این حرکت در اصطلاح تندشونده می‌گویند.

و اگر بردار شتاب در خلاف جهت بردار سرعت باشد ($av < ۰$)، تندی حرکت متحرک کاهش می‌یابد، که به این حرکت در اصطلاح کندشونده می‌گویند.

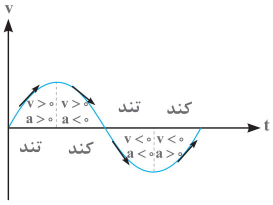
به‌طور خلاصه در مورد نوع حرکت متحرک می‌توانیم بگوییم:

نوع حرکت متحرک
- سرعت ثابت: $(a = ۰)$
- شتاب ثابت: $(a \neq ۰) \Leftarrow$
  - تندشونده: $(av > ۰)$
  - کندشونده: $(av < ۰)$

نکات ۱ همان‌طور که در تحلیل نمودار مکان – زمان مشاهده کردید به کمک نمودار مکان – زمان می‌توان علامت سرعت و شتاب متحرک را به‌دست آورد و به کمک آن می‌توان نوع حرکت متحرک را تشخیص داد. به‌طور مثال در نمودار مقابل داریم:

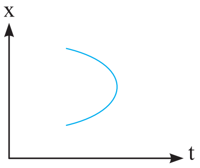


۲ در نمودار سرعت – زمان هم می‌توان به کمک بررسی علامت av نوع حرکت را تشخیص داد. امّا علاوه بر این روش می‌توانیم بگوییم در نمودار سرعت – زمان هرگاه نمودار به $(v = ۰)$ نزدیک شد، حرکت کندشونده و هرگاه از آن دور شد حرکت تندشونده است. به نمودار روبه‌رو دقت کنید:

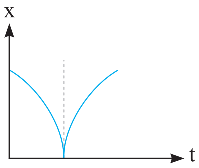


۴ کدام نمودار $x - t$ مربوط به حرکت متحرکی است که روی خط راست در حال حرکت است؟

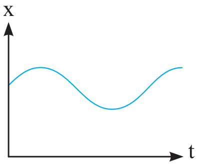
گزینهٔ ۳



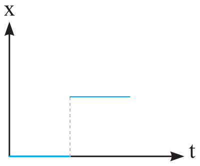
۱) ☐



۲) ☐



۳) ☐



۴) ☐

حل نمودار مکان – زمان یک متحرک روی خط راست باید شرایط زیر را دارا باشد:

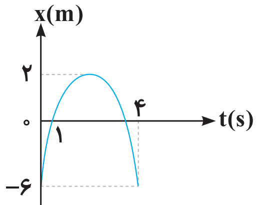
۱) در یک لحظه در دو مکان نباشد. [رد گزینهٔ «۱»]

۲) نمودار باید پیوسته باشد. [رد گزینهٔ «۴»]

۳) سرعت هرگز بی‌نهایت نمی‌شود یعنی خط مماس به شکل قائم درنمی‌آید. [رد گزینهٔ «۲»]

۵ نمودار مکان – زمان متحرکی که با شتاب ثابت در مسیر مستقیم حرکت می‌کند مطابق شکل است، سرعت متوسط در فاصلهٔ زمانی $t = ۱s$ تا $t = ۴s$ چند متر بر ثانیه است؟ *(تجربی داخل ۸۷)*

گزینهٔ ۲



۱) ۲ ☐ ۲) ۲− ☐

۳) ۶ ☐ ۴) ۶− ☐

حل سرعت متوسط، برابر جابه‌جایی در واحد زمان می‌باشد، داریم:

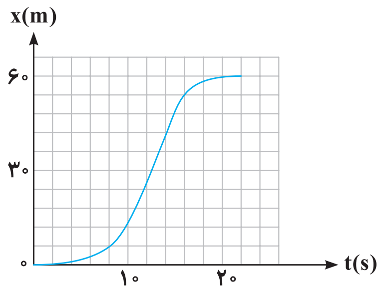
$$v_{av_{[۱,۴]}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_۲ - x_۱}{۴ - ۱} = \frac{-۶ - (۰)}{۳} = -۲\frac{m}{s}$$

حال اگر همین سؤال، تندی را از ما خواسته باشد، روش حل آن چگونه است؟

$$s_{av_{[۱,۴]}} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{|\Delta x_۱| + |\Delta x_۲|}{\Delta t} = \frac{۲ + ۸}{۳} = \frac{۱۰}{۳}\frac{m}{s}$$

۶ شکل مقابل، نمودار مکان – زمان متحرکی است که در مسیر مستقیم حرکت کرده است. بیشینهٔ سرعت آن چند متر بر ثانیه است؟ *(تجربی خارج ۹۵)*

گزینهٔ ۳

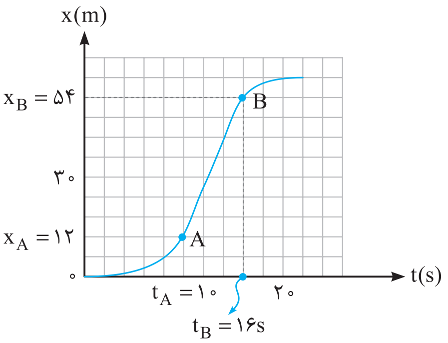


۱) ۳ ☐

۲) ۵ ☐

۳) ۷ ☐

۴) ۹ ☐

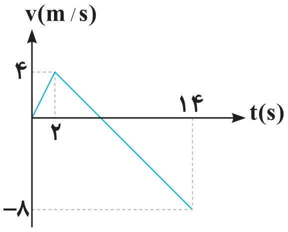


حل حرکت این متحرک در ابتدا تند شونده است (شیب خط مماس یا همان سرعت در حال افزایش) و سرعت در حال افزایش است.

سپس نوع حرکت یکنواخت شده و در نهایت حرکت کندشونده می‌شود. (شیب خط مماس یا همان سرعت در حال کاهش) پس بیشترین مقدار سرعت مربوط به قسمتی است که حرکت یکنواخت است. برای محاسبه سرعت دراین بازه توجه کنید که روی محورزمان هرخانه بیانگر 2s و روی محور مکان هرخانه معادل با 6m است. برای تعیین سرعت در قسمت حرکت یکنواخت با توجه به ثابت بودن سرعت، مقدار سرعت متوسط را در بازه زمانی ۱۰ تا ۱۶ ثانیه محاسبه می‌کنیم.

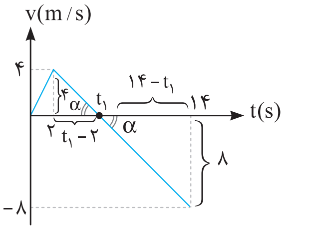
$$v_{\text{یکنواخت}} = v_{av_{[۱۰,۱۶]}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_B - x_A}{۱۶-۱۰} = \frac{۵۴-۱۲}{۱۶-۱۰} = ۷\frac{m}{s}$$

۷ **متحرکی روی محور x حرکت می‌کند و نمودار سرعت - زمان آن مطابق شکل روبه‌رو است. متحرک در ۱۴ ثانیهٔ اوّل، چند ثانیه در سوی مخالف محور x حرکت کرده است؟** *(ریاضی داخل ۸۹)* گزینهٔ ۳



۱) ۴
۲) ۶
۳) ۸
۴) ۱۲

حل مدت زمان حرکت متحرک خلاف جهت محور x ، بازه زمانی است که علامت سرعت در آن منفی باشد. پس ابتدا لحظه‌ای را که سرعت صفر شده پیدا می‌کنیم.

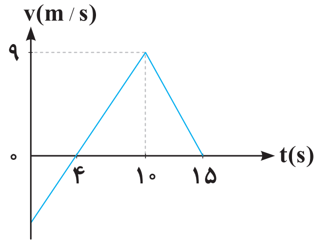


$$\tan\alpha = \tan\alpha$$

$$\frac{۴}{t_1 - ۲} = \frac{۸}{۱۴ - t_1} \Rightarrow t_1 = ۶s$$

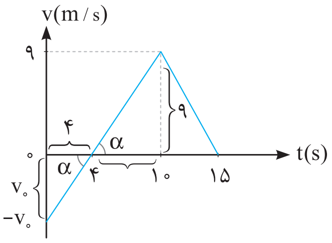
در سؤال مدت زمان حرکت با سرعت منفی خواسته شده که منظور طول بازه زمانی [6s,14s] می‌باشد که برابر با 8s است.

۸ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. شتاب متوسط متحرک در بازهٔ زمانی t = ۰ تا t = ۱۵s چند متربرمجذورثانیه است؟** *(تجربی خارج ۹۳)* گزینهٔ ۱



۱) ۰/۴
۲) ۰/۶
۳) ۰/۸
۴) ۲/۵

حل برای تعیین شتاب متوسط، سرعت را در دو لحظه، ۰ و ۱۵ ثانیه لازم داریم. در لحظهٔ ۱۵ ثانیه با توجه به نمودار، سرعت برابر صفر است و سرعت لحظهٔ t = ۰ را از ثابت بودن شیب در بازه ۰ تا ۱۰ ثانیه به‌دست می‌آوریم.



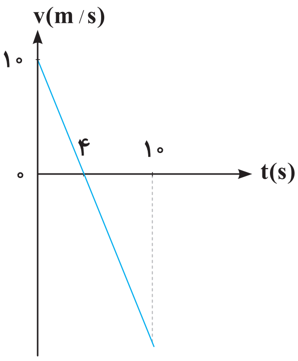
$$\tan\alpha = \tan\alpha$$

$$\frac{v_0}{۴} = \frac{۹}{۶} \Rightarrow v_0 = ۶\frac{m}{s}$$

در ادامه برای محاسبه شتاب متوسط داریم:

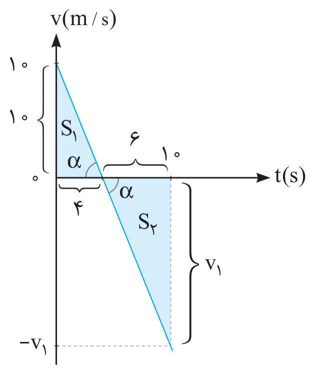
$$a_{av} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{۱۵ - ۰} = \frac{۰-(-۶)}{۱۵} = ۰/۴\frac{m}{s^2}$$

۹ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل است. متحرک در لحظهٔ t = ۱۰s در چند متری مبدأ قرار دارد؟ (متحرک در لحظهٔ t = ۰ در x = +2m قرار دارد. x های مثبت در سمت راست مبدأ مختصات واقع‌اند.)** *(ریاضی خارج ۸۴)* گزینهٔ ۲



۱) ۲۷ متری سمت راست مبدأ
۲) ۲۳ متری سمت چپ مبدأ
۳) ۲۵ متری سمت چپ مبدأ
۴) ۲۲۷ متری سمت راست مبدأ

حل اوّل سرعت لحظهٔ $t=۱۰s$ را از ثابت بودن شیب نمودار به‌دست می‌آوریم:



$$\tan\alpha=\tan\alpha$$

$$\frac{۱۰}{۴}=\frac{v_۱}{۶}\Rightarrow v_۱=۱۵\frac{m}{s}$$

جابه‌جایی برابر با سطح زیر نمودار سرعت - زمان متحرک می‌شود.

$$\Delta x_{[۰,۱۰]}=+S_۱-S_۲=(+\frac{۱}{۲}\times۱۰\times۴)-(\frac{۱}{۲}\times۶\times۱۵)$$

$$\Rightarrow \Delta x_{[۰,۱۰]}=+۲۰-۴۵=-۲۵m$$

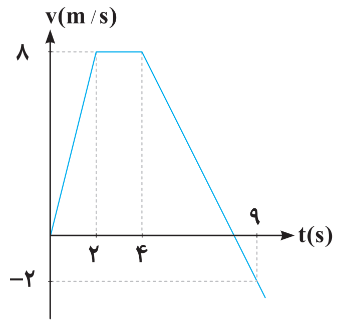
خواست سؤال از ما مکان در لحظهٔ $t=۱۰s$ است، پس:

$$\Delta x_{[۰,۱۰]}=-۲۵\Rightarrow x_۲-x_۱=-۲۵\Rightarrow x_۲-۲=-۲۵\Rightarrow x_۲=-۲۳m$$

علامت منفی نشان‌دهندهٔ این است که متحرک سمت چپ مبدأ قرار داشته است.

۱۰ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی محور x از مکان $x=-۳۶m$ شروع به حرکت می‌کند، مطابق شکل روبه‌رو است. پس از چند ثانیه متحرک برای اولین بار از مبدأ مکان می‌گذرد؟** *(ریاضی خارج ۸۹)*

گزینهٔ ۲



۱) ۲

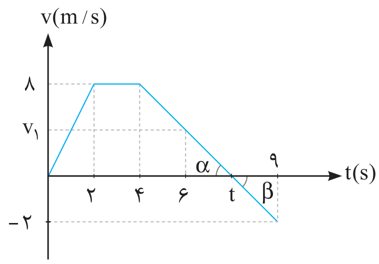
۲) ۶

۳) ۸

۴) ۱۰

حل *خب اینم یه سؤال پر محاسبه و خوب.*

ابتدا زمانی را که سرعت صفر می‌شود به‌دست می‌آوریم:

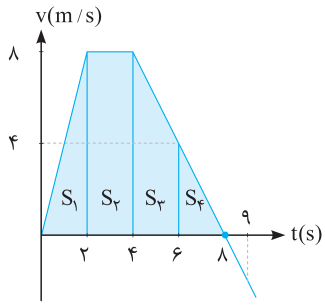


$$\tan\alpha=\tan\beta\Rightarrow\frac{۸}{t-۴}=\frac{۲}{۹-t}\Rightarrow t=۸s$$

در ادامه با توجه به ثابت بودن شیب نمودار در بازهٔ زمانی ۴s تا ۹s سرعت متحرک را در لحظهٔ $t=۶s$ بدست می‌آوریم:

$$\tan\alpha=\tan\alpha\Rightarrow\frac{۸}{۸-۴}=\frac{v_۱}{۸-۶}\Rightarrow v_۱=۴\frac{m}{s}$$

پس شکل نمودار سرعت - زمان ما به‌صورت زیر است. در لحظهٔ عبور از مبدأ جابه‌جایی متحرک (یا همان سطح زیر نمودار v-t) برابر با ۳۶ می‌شود.



$$S_۱=\frac{۱}{۲}\times۲\times۸=۸ \qquad S_۲=۲\times۸=۱۶$$

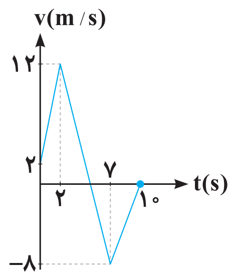
$$S_۳=(\frac{۸+۴}{۲})\times۲=۱۲ \qquad S_۴=\frac{۱}{۲}\times۴\times۲=۴$$

$$\Delta x_{[۰,۲]}=+S_۱=۸m$$

$$\Delta x_{[۰,۶]}=+S_۱+S_۲+S_۳=۳۶m \quad ✓$$

۱۱ **شکل مقابل، نمودار سرعت - زمان یک متحرک را نشان می‌دهد که روی خط راست از مکان اولیه $x_۰=+۷m$ شروع به حرکت می‌کند. بیشینهٔ فاصلهٔ این متحرک از مبدأ در ۱۰ ثانیهٔ اوّل حرکت چند متراست؟**

گزینهٔ ۱



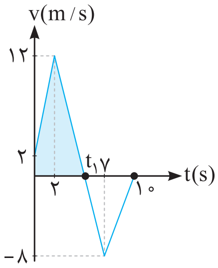
۱) ۳۹

۲) ۲۱

۳) ۳۲

۴) ۲۵

حل بیشینهٔ جابه‌جایی یعنی بیشینهٔ مساحت زیر نمودار، که در لحظه‌ای که نمودار محور افقی را قطع می‌کند $(t_۱)$ رخ می‌دهد. دلیل این است که بعد از لحظهٔ $t_۱$ سطح زیر نمودار با علامت منفی در نظر گرفته می‌شود، پس بیشینهٔ جابه‌جایی در بازهٔ صفر تا $t_۱$ ثانیه اتفاق می‌افتد و در لحظهٔ $t_۱$ دارای بیشترین فاصله از مبدأ است. لحظهٔ $t_۱$ به شکل زیر محاسبه می‌گردد:



$$\frac{۷-t_۱}{t_۱-۲}=\frac{۸}{۱۲}=\frac{۲}{۳}\Rightarrow ۲۱-۳t_۱=۲t_۱-۴\Rightarrow ۵t_۱=۲۵\Rightarrow t_۱=۵s$$

$$S_{۰\to ۲}=\frac{۲+۱۲}{۲}\times ۲=۱۴m$$

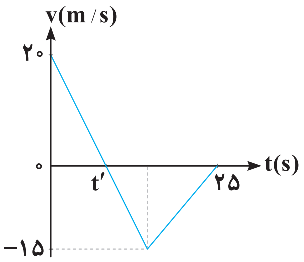
$$S_{۲\to ۵}=\frac{۱۲\times(۵-۲)}{۲}=۱۸m$$

$$\Delta x_{max}=۱۴+۱۸=۳۲m$$

$$x-x_۰=\Delta x\Rightarrow x-۷=۳۲\Rightarrow x=۳۹m$$

۱۲ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل مقابل است. بزرگی سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی که حرکت متحرک خلاف جهت محور x است، چند متر بر ثانیه است؟** *(ریاضی داخل ۹۴)*

گزینهٔ ۳



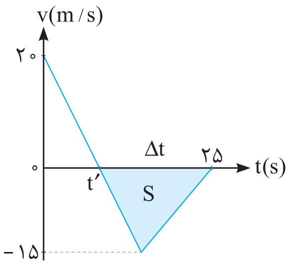
۱) صفر

۲) ۲/۵

۳) ۷/۵

۴) ۱۰

حل همان‌طور که می‌دانید هنگامی که سرعت متحرک منفی است، متحرک در خلاف جهت محور x حرکت می‌کند. بنابراین متحرک موردنظر در بازهٔ زمانی t' تا ۲۵s در خلاف جهت محور x در حال حرکت بوده است.

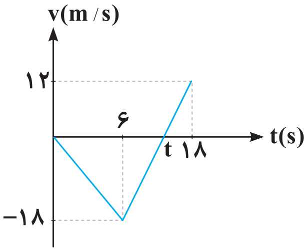


$$|v_{av}|=\frac{|\Delta x|}{\Delta t}=\frac{|s|}{\Delta t}=\frac{\frac{۱}{۲}\times ۱۵\times \Delta t}{\Delta t}=۷/۵\frac{m}{s}$$

ملاحظه می‌کنید که برای محاسبهٔ سرعت متوسط نیازی به محاسبهٔ لحظهٔ t' نیست.

۱۳ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی خط راست از مبدأ مکان حرکت خود را آغاز کرده، در شکل مقابل نشان داده شده است. اندازهٔ سرعت متوسط این متحرک در مدت زمانی که در حال دور شدن از مبدأ بوده است، چند متر بر ثانیه است؟**

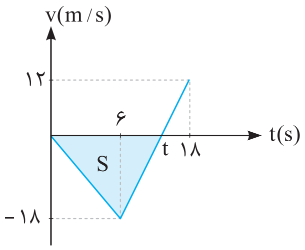
گزینهٔ ۲



۱) ۴   ۲) ۹

۳) ۱۲   ۴) ۱۰

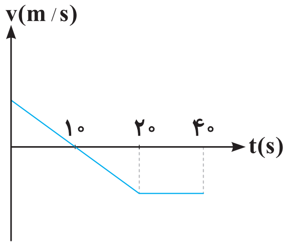
حل مساحت زیر نمودار سرعت - زمان همان جابه‌جایی است. چون متحرک از مبدأ حرکت کرده تا t ثانیه به اندازهٔ Δx در جهت منفی از مبدأ دور شده است و سپس بعد از t در جهت مثبت به سمت مبدأ برمی‌گردد و به مبدأ نزدیک می‌شود پس از لحظهٔ صفر تا t متحرک از مبدأ دور می‌شود.



$$v_{av}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{-S}{\Delta t}=\frac{\frac{-۱۸\times t}{۲}}{t}=-۹\frac{m}{s}\Rightarrow |v_{av}|=|-۹\frac{m}{s}|=۹\frac{m}{s}$$

۱۴ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند، به شکل مقابل است. اگر تندی متوسط تا لحظهٔ $t=۴۰s$ برابر $۱۵\frac{m}{s}$ باشد، اندازهٔ شتاب متحرک در $t=۷s$ چند متر بر مجذور ثانیه است؟**

گزینهٔ ۲



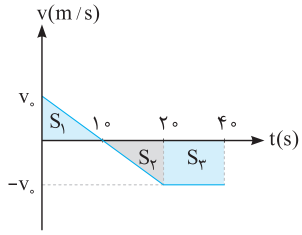
۱) ۱

۲) ۲

۳) $\frac{۲}{۳}$

۴) $\frac{۳}{۲}$

حل سطح زیر نمودار v - t نشان‌دهندهٔ جابه‌جایی است. اگر قدرمطلق مساحت‌های زیر نمودار را جمع کنیم مسافت طی شده به‌دست خواهد آمد. نمودار تا لحظهٔ $t = ۲۰s$ خط راست و لحظهٔ $t = ۱۰s$ در وسط ۰ تا ۲۰ است. سرعت اولیه را $v_\circ$ در نظر می‌گیریم، پس از ۱۰ ثانیه سرعت صفر می‌شود و پس از ۲۰ ثانیه $-v_\circ$ خواهد شد.



$$l = |S_1| + |S_2| + |S_3| \Rightarrow l = \left|\frac{v_\circ \times ۱۰}{۲}\right| + \left|\frac{v_\circ \times ۱۰}{۲}\right| + |۲۰ \times v_\circ| \Rightarrow l = ۳۰v_\circ$$

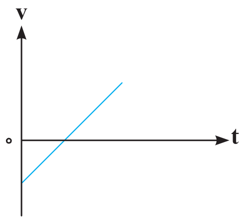
$$s_{av} = \frac{l}{\Delta t} = \frac{۳۰v_\circ}{۴۰} = ۱۵ \Rightarrow v_\circ = ۲۰\frac{m}{s}$$

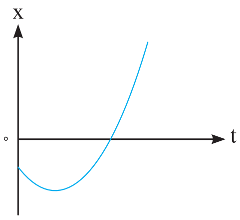
از نقطهٔ $t = ۰$ تا $t = ۱۰s$ شتاب متحرک ثابت است بنابراین:

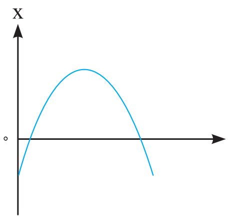
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۰ - ۲۰}{۱۰} = -۲\frac{m}{s^2} \Rightarrow |a| = ۲\frac{m}{s^2}$$

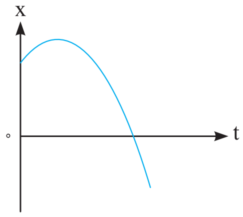
۱۵ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند، مطابق شکل است. نمودار مکان - زمان آن به کدام صورت می‌تواند باشد؟ (منحنی‌های رسم شده در گزینه‌های ۱، ۲ و ۳ قسمتی از یک سهمی هستند.)** *(تجربی داخل ۸۵)*

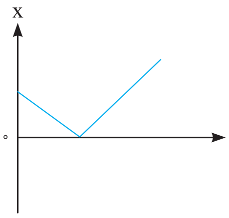
گزینهٔ ۱



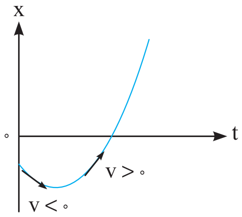
۱)


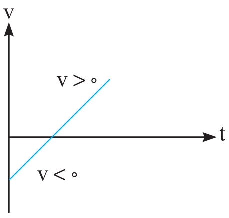
۲)


۳)


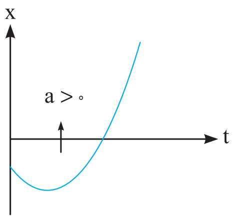
۴)


حل روش اوّل: علامت سرعت ابتدا منفی و سپس مثبت است پس نمودار مکان-زمانی می‌تواند درست باشد که ابتدا نزولی و سپس صعودی باشد و تنها گزینهٔ «۱» این ویژگی را دارد.



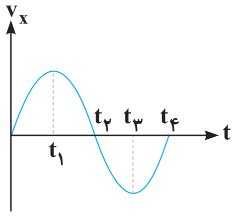


روش دوم: شیب نمودار سرعت - زمان علامت شتاب را مشخص می‌کند که در این نمودار مثبت است، اثرش در نمودار مکان - زمان این است که باید جهت تقعر یا همان دهانهٔ منحنی به‌سمت بالا باشد که فقط گزینهٔ «۱» چنین ویژگی را دارد.



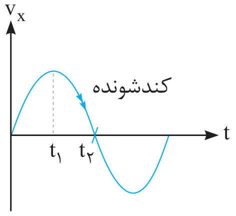
۱۶ **نمودار سرعت - زمان متحرکی که روی محور x حرکت می‌کند، مطابق شکل مقابل است. در بازهٔ زمانی بین t_1 و t_2، حرکت متحرک .... شونده و در .... محور x است.** *(تجربی داخل ۸۶)*

گزینهٔ ۱



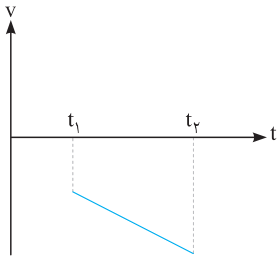
۱) کند - جهت
۲) تند - جهت
۳) کند - خلاف جهت
۴) تند - خلاف جهت

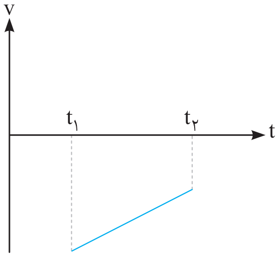
حل در بازه زمانی t_1 تا t_2 نمودار در حال نزدیک شدن به محور افقی است، پس نوع حرکت آن کندشونده است. به علاوه نمودار بالای محور قرار دارد و سرعت مثبت است و جهت حرکت در جهت محور است.

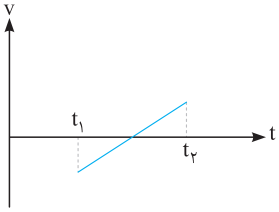


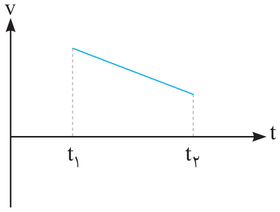
۱۷ کدام نمودار مربوط به متحرکی است که در بازهٔ زمانی نشان داده شده، حرکت آن پیوسته تندشونده است؟ (تجربی داخل ۹۰)

گزینهٔ ۱

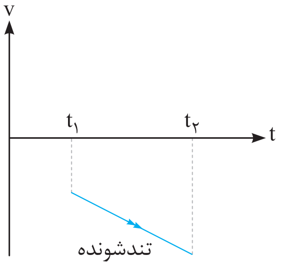
۱) 

۲) 

۳) 

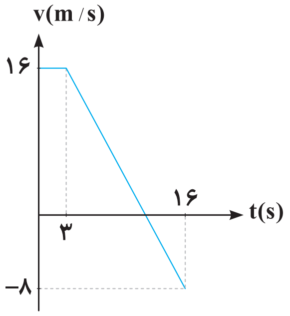
۴) 

حل برای اینکه حرکت همواره تندشونده باشد باید نمودار سرعت - زمان در حال دور شدن از محور افقی باشد که این مطلب فقط در گزینهٔ «۱» برقرار است.



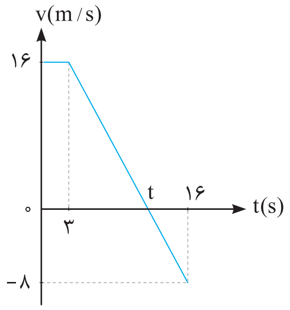
۱۸ شکل روبه‌رو نمودار سرعت - زمان جسمی را نشان می‌دهد که در مسیر مستقیم حرکت می‌کند. سرعت متوسط متحرک در مدت زمانی که جسم حرکت کندشونده دارد، چند برابر بزرگی سرعت متوسط آن در مدتی است که حرکت متحرک تندشونده است؟

گزینهٔ ۱



۱) ۲
۲) $\frac{۱}{۲}$
۳) ۱
۴) ۴

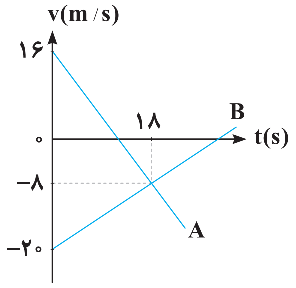
حل مطابق شکل از لحظهٔ ۰ تا $t = ۳s$ حرکت جسم با سرعت ثابت انجام شده است. از لحظهٔ $t_1 = ۳s$ تا t حرکت کندشونده و از لحظهٔ t تا $t_2 = ۱۶s$ حرکت جسم تندشونده است. در حرکت با شتاب ثابت (جایی که شیب نمودار v - t بدون تغییر است) سرعت متوسط برابر میانگین سرعت در ابتدا و انتهای بازه است. از آن جایی که از لحظهٔ $t_1 = ۳s$ تا $t_2 = ۱۶s$ حرکت با شتاب ثابت است داریم:



$$\begin{cases} v_{av_{۳\to t}} = \frac{v_1 + v_2}{۲} = \frac{۱۶ + ۰}{۲} = ۸\frac{m}{s} \\ v_{av_{t\to ۱۶}} = \frac{v_1 + v_2}{۲} = \frac{۰ + (-۸)}{۲} = -۴\frac{m}{s} \end{cases} \Rightarrow \frac{|v_{av_{۳\to t}}|}{|v_{av_{t\to ۱۶}}|} = \frac{۸}{۴} = ۲$$

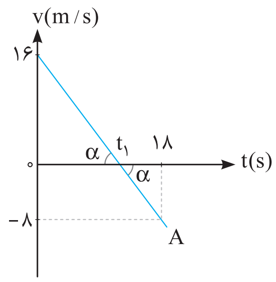
۱۹ نمودار سرعت، زمان دو متحرک A و B که روی محور x حرکت می‌کنند، مطابق شکل مقابل است. در مدتی که متحرک A در جهت محور x حرکت کرده است، بزرگی جابه‌جایی متحرک B، چند متر است؟ (ریاضی داخل ۹۵)

گزینهٔ ۲



۱) ۱۸۶
۲) ۱۹۲
۳) ۲۰۰
۴) ۲۲۸

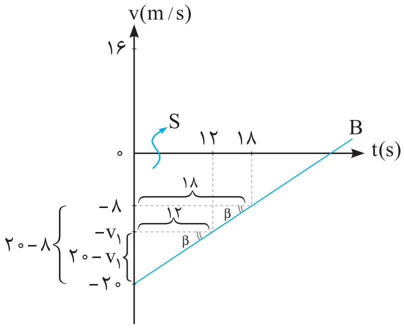
حل سؤال را در دو مرحله حل می‌کنیم، ابتدا لحظه‌ای را پیدا می‌کنیم که سرعت متحرک A تا آن لحظه در جهت محور x بوده. اگر این لحظه را $t_۱$ فرض کنیم با توجه به ثابت بودن شیب خواهیم داشت:



$$\tan\alpha = \tan\alpha$$

$$\frac{۱۶}{t_۱} = \frac{۸}{۱۸ - t_۱} \Rightarrow t_۱ = ۳۶ - ۲t_۱ \Rightarrow t_۱ = ۱۲s$$

مثل همین کار را برای نمودار B انجام می‌دهیم تا سرعتش را در لحظهٔ $t_۱$ به‌دست آوریم:



$$\tan\beta = \tan\beta$$

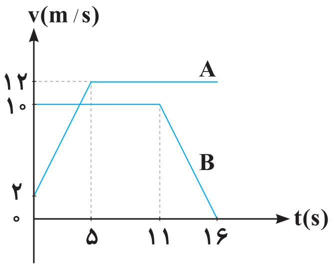
$$\frac{۲۰-۸}{۱۸} = \frac{۲۰ - v_۱}{۱۲} \Rightarrow \frac{۱۲}{۳} = \frac{۲۰-v_۱}{۲} \Rightarrow ۲۰ - v_۱ = ۸ \Rightarrow v_۱ = ۱۲\frac{m}{s^۲}$$

خب رسیدیم به مرحله آخر حل، برای تعیین جابه‌جایی متحرک B باید سطح زیر نمودار سرعت - زمان B را تا لحظهٔ $t = ۱۲s$ محاسبه کرد.

$$|\Delta x_B| = S = (\frac{۲۰+۱۲}{۲}) \times ۱۲ = ۱۹۲m$$

۲۰ **نمودار سرعت - زمان دو متحرک A و B، که روی محور x حرکت می‌کنند، مطابق شکل مقابل است. اگر در لحظهٔ $t = ۰$، هر دو در مکان $x = ۰$ قرار داشته باشند، چند ثانیه پس از آن، دو متحرک به هم می‌رسند؟** *(ریاضی داخل ۹۰)*

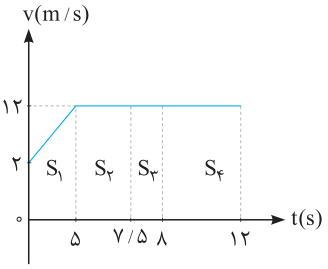
گزینهٔ ۳



۱) ۷/۵ ☐ ۲) ۸ ☐

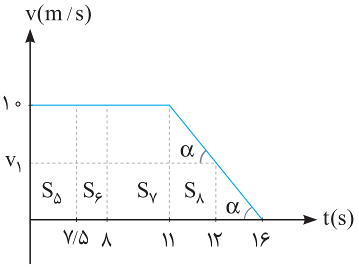
۳) ۱۲ ☐ ۴) ۱۲/۵ ☐

حل نقطهٔ شروع حرکت دو متحرک با هم یکسان است، پس در لحظهٔ به‌هم رسیدن، جابه‌جایی دو متحرک یکسان است، به عبارت دیگر در لحظه به هم رسیدن دو متحرک مساحت زیر نمودار سرعت - زمان برای دو متحرک با هم برابر می‌شود. بهترین راه این است که مساحت زیر نمودار دو متحرک را برای گزینه‌ها به‌دست آوریم:



$$S_۱ = (\frac{۱۲+۲}{۲}) \times ۵ = ۳۵ \qquad S_۲ = ۲/۵ \times ۱۲ = ۳۰$$

$$S_۳ = ۰/۵ \times ۱۲ = ۶ \qquad S_۴ = ۴ \times ۱۲ = ۴۸$$



$$\tan\alpha = \tan\alpha \Rightarrow \frac{۱۰}{۵} = \frac{۱۰ - v_۱}{۱} \Rightarrow v_۱ = ۸\frac{m}{s}$$

$$S_۵ = ۷/۵ \times ۱۰ = ۷۵ \qquad S_۶ = ۰/۵ \times ۱۰ = ۵$$

$$S_۷ = ۳ \times ۱۰ = ۳۰ \qquad S_۸ = (\frac{۱۰+۸}{۲}) \times ۱ = ۹$$

در ادامه زمان‌های مطرح شده در گزینه‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم و در هر مورد جابه‌جایی دو متحرک را بدست می‌آوریم. اگر جابه‌جایی دو متحرک یکسان شد، دو متحرک در لحظهٔ موردنظر به یکدیگر می‌رسند.

۱) $t = ۷/۵s \Rightarrow \begin{cases} \Delta x_A = +S_۱ + S_۲ = ۶۵m \\ \Delta x_B = +S_۵ = ۷۵m \end{cases}$

۲) $t = ۸s \Rightarrow \begin{cases} \Delta x_A = +S_۱ + S_۲ + S_۳ = ۷۱m \\ \Delta x_B = S_۵ + S_۶ = ۸۰m \end{cases}$

۳) $t = ۱۲s \Rightarrow \begin{cases} \Delta x_A = +S_۱ + S_۲ + S_۳ + S_۴ = ۱۱۹m \\ \Delta x_B = S_۵ + S_۶ + S_۷ + S_۸ = ۱۱۹m \end{cases}$

پیداست که در گزینهٔ «۳» جابه‌جایی دو متحرک با هم برابر است.

مرحلهٔ اوّل جمع‌بندی — قوانین نیوتون

مبحث (۱): قانون اوّل 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 لختی می‌گویند. لختی نتیجه‌ای از قانون اوّل نیوتون است. بنابر خاصیت لختی هنگامی‌که 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:

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

$\vec{F}_{net}$ ⟵ 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 رابطهٔ فوق برای محاسبهٔ F_{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 همان‌طور که می‌دانید نیرو کمیتی برداری است، بنابراین برای محاسبهٔ $\vec{F}_{net}$ 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 مسأله ترکیبی از فصل حرکت و دینامیک می‌باشند، اوّل شتاب حرکت متحرک را به‌دست آورید.

مبحث (۳): قانون سوم نیوتون

هرگاه جسمی به جسم دیگر نیرو وارد کند، جسم دوم نیز به جسم اوّل 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 رابطهٔ کمی بین نیروهای کنش و واکنش است.

۲ نیروی واکنش همواره به عامل به وجود آورندهٔ 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 عبارت‌های زیر نادرست است؟ (گزینهٔ ۳)

۱) قانون اوّل نیوتون بیان می‌کند که یک جسم، حالت سکون یا حرکت با سرعت ثابت خود را حفظ می‌کند مگر آنکه نیروی خالص غیرصفری به آن وارد شود.

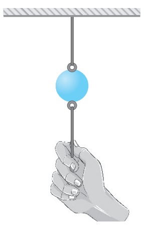
۲) به جلو پرت شدن ما در اثر ترمز شدید در اتومبیل نمونه‌ای از قانون اوّل نیوتون است.

۳) هنگامی‌که یک اتومبیل با یک کامیون تصادف می‌کند، کامیون به‌علت جرم بیشتری که دارد نیروی بیشتری به اتومبیل وارد می‌کند.

۴) وقتی جسمی روی زمین قرار دارد، اندازهٔ نیرویی که زمین به جسم وارد می‌کند، برابر اندازهٔ 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.

۲ در شکل روبه‌رو، بار اوّل نخ را به‌آرامی 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؟ *(ریاضی داخل ۹۱)* (گزینهٔ ۳)

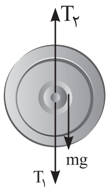


۱) در هر دو آزمایش نخ از قسمت پایین وزنه پاره می‌شود.

۲) در هر دو آزمایش نخ از قسمت بالای وزنه پاره می‌شود.

۳) در آزمایش اوّل نخ از بالای وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از پایین وزنه.

۴) در آزمایش اوّل نخ از پایین وزنه پاره می‌شود و در آزمایش دوم از بالای وزنه.

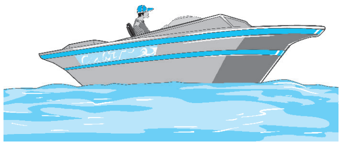


حل اگر فرض کنیم جنس نخ بالایی و پایینی با هم یکی باشد، حداکثر نیروی قابل تحمل هر دو با هم برابر است، یعنی هر دو نخ با رسیدن به یک نیرو پاره میشوند. در حالت اوّل که به‌آرامی نیرو را زیاد می‌کنیم به‌دلیل تعادل گلوله داریم:

$$\sum F_y = ۰ \Rightarrow T_۲ = T_۱ + mg \Rightarrow T_۲ > T_۱$$

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.

۳ گزینهٔ ۱



فردی درون یک قایق موتوری نشسته است؛ موتور این قایق به گونه‌ای تنظیم شده که همواره نیروی افقی خالص ۶۰۰N را به جلو وارد کند، اگر مجموع جرم قایق و فرد نشسته در آن ۵۰۰kg باشد، شتاب حرکت قایق برحسب متربرمجذور ثانیه و اندازهٔ نیروی پیشران آن وقتی نیروی مقاوم ۳۰۰N باشد برحسب نیوتون به ترتیب از راست به چپ کدام است؟

۱) ۹۰۰-۱/۲ ۲) ۹۰۰-۱ ۳) ۳۰۰-۱/۲ ۴) ۳۰۰-۱

حل نیروی خالص وارد بر قایق و فرد، ۶۰۰ نیوتون است با استفاده از قانون دوم نیوتون به سادگی شتاب حرکت قایق را محاسبه می‌کنیم:

$$F = ma \xrightarrow[m=۵۰۰kg]{F=۶۰۰N} ۶۰۰ = ۵۰۰a \Rightarrow a = ۱/۲\frac{m}{s^۲}$$

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

نیروی پیشران - نیروی مقاوم = نیروی خالص ⇒ نیروی پیشران − ۳۰۰ = ۶۰۰ ⇒ نیروی پیشران = ۹۰۰N

۴ گزینهٔ ۱

نیروی F به جسمی به جرم m، شتاب a می‌دهد. اگر نیروی $۳F+۱$ به جسمی به جرم $\frac{m}{۲}$ شتاب $۶a+۲$ 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:

حالت اول: $F = ma$

حالت دوم: $۳F + ۱ = \frac{m}{۲}(۶a + ۲)$

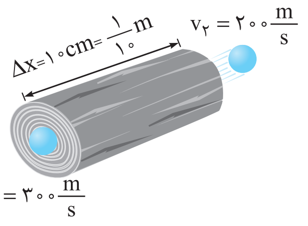
$$\Rightarrow ۳ma + ۱ = ۳ma + m \Rightarrow m = ۱kg$$

۵ گزینهٔ ۲

گلوله‌ای فولادی به جرم ۲۰g با سرعت $۳۰۰\frac{m}{s}$ در تنهٔ درختی که ضخامت آن ۱۰cm است فرو می‌رود و از طرف دیگر آن با سرعت $۲۰۰\frac{m}{s}$ خارج می‌شود. اندازهٔ نیروی متوسطی که تنه به آن وارد می‌کند چند نیوتون است؟ *(ریاضی خارج ۸۴)*

۱) ۵۰ ۲) ۵×۱۰^۳ ۳) ۵×۱۰^۴ ۴) ۵×۱۰^۸

حل اوّل باید از رابطهٔ مستقل از زمان شتاب حرکت را تعیین کنیم.



$$v_۲^۲ - v_۱^۲ = ۲a\Delta x \Rightarrow ۲۰۰^۲ - ۳۰۰^۲ = ۲a \times \frac{۱}{۱۰} \Rightarrow a = -۲۵۰۰۰۰\frac{m}{s^۲}$$

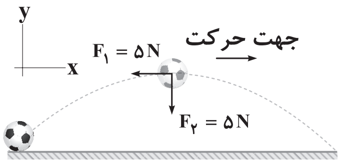
مفهوم علامت منفی در رابطهٔ شتاب این است که سرعت در حال کاهش بوده است.

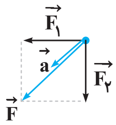
برای محاسبهٔ نیرو هم باید حواستون باشه که جرم بر حسب گرم داده شده و باید تبدیل به کیلوگرم بشه.

$$|F_{net}| = m|a| \Rightarrow |F_{net}| = \frac{۲۰}{۱۰۰۰}\times۲۵۰۰۰۰ = ۵\times۱۰^۳N$$

۶ گزینهٔ ۳

شکل زیر نیروهای وارد بر توپ فوتبالی به جرم ۵۰۰ گرم را در بالاترین نقطهٔ مسیرش نشان می‌دهد. $\vec{F_۱}$ نیروی مقاومت هوا و $\vec{F_۲}$ وزن توپ است. بزرگی شتاب در این نقطه چند متربرمربع ثانیه است؟





۱) ۱۰ ۲) ۸ ۳) $۱۰\sqrt{۲}$ ۴) ۲۰

حل در راستای افقی نیروی $\vec{F_۱} = ۵N$ و در راستای قائم $\vec{F_۲} = ۵N$ به توپ وارد می‌شود. با نوشتن قانون دوم نیوتون برای جسم در هر دو راستای افقی، مؤلفه‌های شتاب را به‌دست می‌آوریم:

$$\sum F_x = ma_x \Rightarrow -\vec{F_۱} = ma_x \xrightarrow[m=۰/۵kg]{\vec{F_۱}=۵N} -۵ = ۰/۵a_x \Rightarrow a_x = -۱۰\frac{m}{s^۲}$$

$$\sum F_y = ma_y \Rightarrow -\vec{F_۲} = ma_y \xrightarrow[m=۰/۵kg]{\vec{F_۲}=۵N} -۵ = ۰/۵a_y \Rightarrow a_y = -۱۰\frac{m}{s^۲}$$

حالا با برآیندگیری بین مؤلفه‌های شتاب، بزرگی شتاب را به‌دست می‌آوریم:

$$|a| = \sqrt{a_x^۲ + a_y^۲} \Rightarrow |a| = \sqrt{(-۱۰)^۲ + (-۱۰)^۲} \Rightarrow |a| = ۱۰\sqrt{۲}\frac{m}{s^۲}$$

۷ فقط دو نیروی $\vec{F}_1 = 2\vec{i} - 6\vec{j}$ و $\vec{F}_2$ بر ذره‌ای وارد می‌شوند و این ذره با سرعت ثابت $\vec{v}_1 = 4\vec{i} - 2\vec{j}$ حرکت می‌کند. در این حالت نیروی $\vec{F}_2$ کدام است؟ (یکاها در SI است.) (ریاضی خارج ۸۸)

گزینهٔ ۴

۱) $\vec{i} + 2\vec{j}$　۲) $-\vec{i} - 2\vec{j}$　۳) $2\vec{i} - 6\vec{j}$　۴) $-2\vec{i} + 6\vec{j}$

حل جسم در حال حرکت با سرعت ثابت است و این به‌معنای صفر بودن شتاب و برآیند نیروها است. پس نیروی $\vec{F}_2$ باید قرینه نیروی $\vec{F}_1$ باشد تا کاملاً آن را خنثی کند.

$$\vec{F}_2 + \vec{F}_1 = 0 \Rightarrow \vec{F}_2 = -\vec{F}_1 \Rightarrow \vec{F}_2 = -2\vec{i} + 6\vec{j}$$

۸ 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. اندازهٔ نیروی $\vec{F}_3$ کدام است؟ (همهٔ اندازه‌ها در SI است). (ریاضی داخل ۸۹)

گزینهٔ ۲

۱) ۴　۲) ۲۰　۳) ۲۸　۴) ۴۸

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

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

۹ سه نیروی $\vec{F}_1 = 2\vec{i} + 2\vec{j}$ ، $\vec{F}_2 = 3\vec{i} + \beta\vec{j}$ و $\vec{F}_3 = 3\vec{i} + 8\vec{j}$ به‌طور همزمان به جسمی به جرم 4kg اثر می‌کنند. اگر به‌ازای دو مقدار β اندازهٔ شتاب متحرک $2\sqrt{2}\,\frac{m}{s^2}$ شود، مجموع دو مقدار β در SI کدام است؟

گزینهٔ ۱

۱) ۲۰-　۲) ۱۶-　۳) ۱۶+　۴) ۸-

حل با توجه به این‌که مؤلفهٔ افقی تمامی نیروها را در اختیار داریم، مؤلفهٔ 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 اندازهٔ مؤلفهٔ 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 اندازهٔ شتاب قائم، اندازهٔ برآیند نیروهای قائم را حساب می‌کنیم.

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

برای هر دو حالت اندازهٔ β را حساب می‌کنیم.

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

۱۰ به جسمی به جرم 3kg هم‌زمان نیروهای ۳، ۷ و ۱۷ نیوتونی اثر می‌کنند. کدام گزینه می‌تواند شتاب حرکت این جسم در SI باشد؟

گزینهٔ ۱

۱) ۴　۲) ۲　۳) ۱۰　۴) صفر

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 همهٔ نیروها هم جهت باشند بنابراین می‌توان نوشت:

$$F_{min} \le F \le F_{max} \xrightarrow[F_{min}=17-7-3]{F_{max}=17+7+3} 7 \le F \le 27 \xrightarrow{F=ma} 7 \le ma \le 27 \xrightarrow{m=3kg} \frac{7}{3} \le a \le 9$$

تنها گزینهٔ «۱» در این بازه قرار دارد.

۱۱ جسمی به جرم 2kg تحت اثر چهار نیروی ۲، ۴، ۸ و ۱۱ نیوتونی در تعادل است. اگر اندازهٔ نیروهای ۲، ۴ و ۱۱ نیوتونی را سه برابر کنیم، جسم با چه شتابی برحسب متر بر مربع ثانیه به حرکت درخواهد آمد؟

گزینهٔ ۱

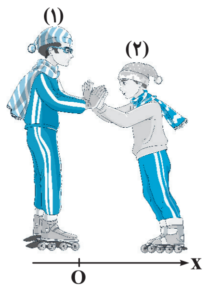
۱) ۸　۲) ۴　۳) ۲　۴) ۱

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:

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

۱۲ **مطابق شکل روبه‌رو دو اسکیت‌باز (۱) و (۲) به‌ترتیب، به جرم‌های $80kg$ و $40kg$ در یک سالن مسطح و صاف بدون اصطکاک روبروی هم ایستاده‌اند. شخص اوّل با نیروی $20N$ شخص دوم را به سمت راست هُل می‌دهد. اندازه شتابی که شخص دوم و شخص اوّل بر حسب متربرمربع ثانیه می‌گیرند به‌ترتیب از راست به چپ کدام است؟**

گزینهٔ ۱



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

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

$$|\sum F_2| = |m_2 a_2| \xrightarrow{m_2=40kg} |20| = |40a_2| \Rightarrow |a_2| = 0/5\frac{m}{s^2}$$

$$|\sum F_1| = |m_1 a_1| \xrightarrow{m_1=80kg} |20| = |80a_1| \Rightarrow |a_1| = 0/25\frac{m}{s^2}$$

مرحلهٔ دوم جمع‌بندی — 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)

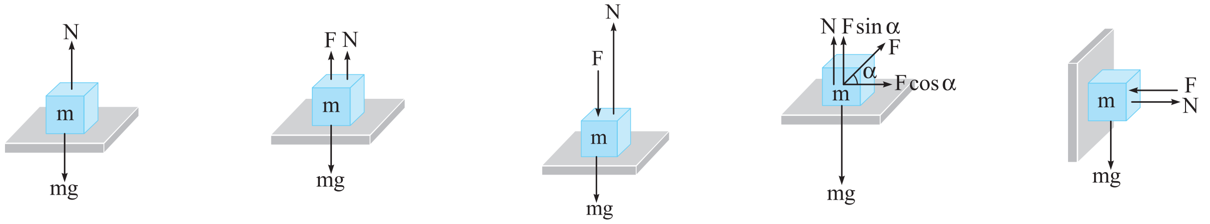
$\vec{g}$ ← شتاب گرانش بر حسب نیوتون به کیلوگرم $(g = 9/8\frac{N}{kg} \simeq 10\frac{N}{kg})$

نکته دقت کنید که جرم جسم به مقدار مادهٔ تشکیل‌دهندهٔ 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. به‌طور مثال اگر یک کتاب را از سطح زمین به سطح ماه منتقل کنید، جرم آن ثابت می‌ماند، اما وزن آن کاهش می‌یابد، چون جاذبهٔ گرانش در سطح ماه ضعیف‌تر از سطح زمین است.

مبحث (۲): نیروی عمودی سطح

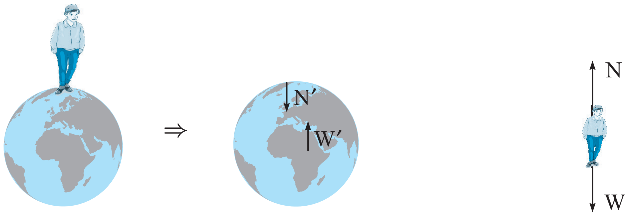
اگر جسمی بر روی سطحی قرار بگیرد سطح تماس دو جسم تغییر شکل می‌دهد و باعث می‌شود سطح به‌طور عمودی نیرویی به جسم وارد کند که به آن نیروی عمودی سطح (تکیه‌گاه) می‌گویند و آن را با نماد $\vec{F}_N$ نشان می‌دهند که در این کتاب برای سادگی بیشتر گاهی با $\vec{N}$ نشان داده می‌شود.

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



$N = mg$ | $F + N = mg$ | $N = F + mg$ | $N + F\sin\alpha = mg$ | $N = F$

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 کرهٔ زمین و نیروی واکنش عمودی سطح $(\vec{N'})$ به سطح وارد می‌شود. به شکل زیر دقت کنید:



کره زمین

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 به‌علت 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 اصطکاکی 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 این‌که جسم ساکن است، بنابر قانون دوم نیوتون برآیند نیروهای وارد شده به آن صفر است و داریم:

$$f_s = F$$

با افزایش نیروی F، اندازهٔ f_s نیز افزایش می‌یابد و جسم همچنان ساکن می‌ماند، اگر اندازهٔ F را به اندازهٔ کافی افزایش دهیم، جسم در آستانهٔ حرکت قرار می‌گیرد. در این حالت f_s دارای بیشترین مقدار خود است که به آن نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه می‌گویند و آن را با $f_{s_{max}}$ نشان می‌دهند و به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$f_{s_{max}} = \mu_s N$$

$f_{s_{max}}$ ← نیروی اصطکاک ایستایی بیشینه برحسب نیوتون (N)

μ_s ← ضریب اصطکاک ایستایی

N ← نیروی عمودی سطح برحسب نیوتون (N)

نیروی اصطکاک جنبشی: اگر در شکل بالا اندازهٔ نیروی F را به اندازه‌ای افزایش دهیم که بیشتر از $f_{s_{max}}$ شود، جسم شروع به حرکت می‌کند. به نیروی اصطکاکی که در این حالت به جسم وارد می‌شود، اصطکاک جنبشی می‌گویند و آن را با f_k نشان می‌دهند و به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$f_k = \mu_k N$$

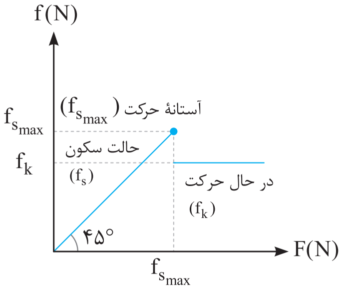
f_k ← نیروی اصطکاک جنبشی برحسب نیوتون (N)

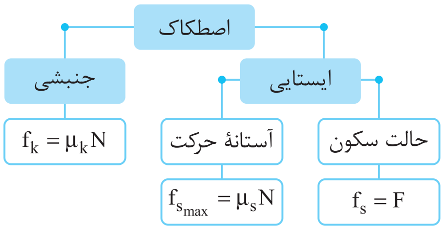
μ_k ← ضریب اصطکاک جنبشی

N ← نیروی عمودی سطح برحسب نیوتون (N)

نکته ضریب اصطکاک ایستایی (μ_s) و ضریب اصطکاک جنبشی (μ_k) به عواملی مانند جنس سطح تماس دو جسم، میزان صافی و زبری آن‌ها و ... بستگی دارد. دقت کنید که معمولاً ضریب اصطکاک جنبشی میان دو سطح کمتر از ضریب اصطکاک ایستایی میان آن دو سطح است.

در نمودار زیر تغییرات نیروی اصطکاک وارد شده به جسم برحسب تغییرات نیروی F رسم شده است. به نمودار زیر توجه کنید.

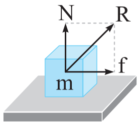




مبحث (۴): نیروی عکس‌العمل سطح

هنگامی‌که جسمی روی سطحی ثابت است و یا در حال حرکت می‌باشد، از طرف سطح دو نیروی عمودی سطح و اصطکاک می‌تواند به جسم وارد شود. به برآیند نیروهایی که از طرف یک سطح به جسم روی آن وارد می‌شود، نیروی عکس‌العمل سطح می‌گویند و آن را با $\vec{R}$ نشان می‌دهند و به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$R = \sqrt{f^2 + N^2}$$



R ← نیروی عکس‌العمل سطح برحسب نیوتون (N)

f ← نیروی اصطکاک برحسب نیوتون (N)

N ← نیروی عمودی سطح برحسب نیوتون (N)

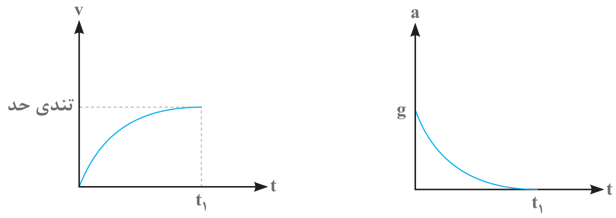
مبحث (۵): نیروی مقاومت شاره

هنگامی‌که جسمی در یک شاره (مایع یا گاز) حرکت می‌کند، نیرویی در خلاف جهت حرکت از طرف شاره به جسم وارد می‌شود که به آن نیروی مقاومت شاره می‌گویند و آن را با f_D نشان می‌دهند. اگر شارهٔ موردنظر هوا باشد به این نیرو، نیروی مقاومت هوا می‌گویند.

نکات ۱ نیروی مقاومت شاره به سطح جلوی جسم و تندی حرکت آن بستگی دارد. هر چه سطح جلوی جسم بیشتر باشد و تندی حرکت آن بیشتر شود، نیروی مقاومت شاره افزایش می‌یابد.

۲ اگر جسمی در هوا رها شود، علاوه بر نیروی وزن (mg) نیروی مقاومت هوا (f_D) نیز به آن وارد می‌شود. در شروع حرکت که تندی حرکت جسم ناچیز است، اندازهٔ نیروی مقاومت هوا نیز کم می‌باشد، بنابراین $mg > f_D$ بوده و جسم با شتابی نزدیک به g به‌صورت تندشونده پایین می‌آید. با افزایش تندی حرکت جسم، به تدریج نیروی مقاومت هوا افزایش می‌یابد و در نتیجه شتاب حرکت جسم کاهش می‌یابد، این روند تا جایی ادامه پیدا می‌کند که اندازهٔ نیروی مقاومت هوا برابر وزن جسم شود و نیروهای وارد شده به جسم متوازن شوند و شتاب حرکت جسم صفر شود.

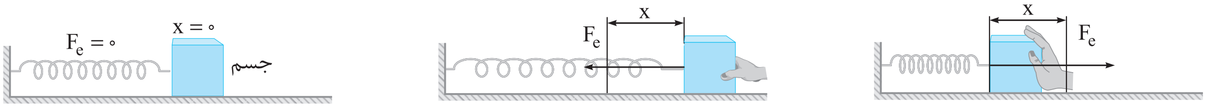
از این مرحله به بعد جسم با تندی ثابتی به نام تندی حد به طرف پایین حرکت می‌کند. در شکل‌های زیر نمودار تغییرات تندی و شتاب جسمی که در هوا سقوط می‌کند، رسم شده است.



مبحث (۶): نیروی کشسانی فنر

اگر مطابق شکل‌های زیر فنری را به اندازهٔ x بکشیم یا فشرده کنیم، فنر نیرویی به طرف نقطهٔ تعادل به جسم وارد می‌کند که به آن نیروی کشسانی فنر می‌گویند و آن را با F_e نشان می‌دهند و اندازهٔ آن به صورت مقابل به‌دست می‌آید:

$$F_e = kx$$



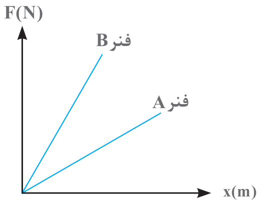
(الف) (ب) (پ)

F_e ⟵ نیروی کشسانی فنر بر حسب نیوتون (N)

k ⟵ ثابت فنر بر حسب نیوتون بر متر $(\frac{N}{m})$

x ⟵ تغییرات طول فنر نسبت به حالت عادی بر حسب متر (m)

نکات ۱ ثابت فنر از مشخصات فنر است و به اندازه، شکل و ساختار ماده‌ای که فنر از آن ساخته شده بستگی دارد. هر چه k بیشتر باشد، فنر سخت‌تر بوده و برای ایجاد تغییر طول معین در آن باید نیروی بیشتری به آن وارد کنیم.

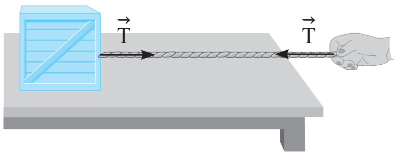


۲ طبق رابطهٔ $F_e = kx$ نمودار نیروی کشسانی فنر بر حسب تغییرات طول آن به صورت خطی می‌باشد. دقت کنید که شیب این خط برابر ثابت فنر می‌باشد و هر چه شیب نمودار بیشتر باشد، ثابت فنر بزرگ‌تر است.

شیب نمودار B > شیب نمودار A ⟸ $k_B > k_A$

مبحث (۷): نیروی کشش طناب

نیرویی که نخ (طناب، کابل یا ریسمان) کشیده شده به جسم متصل به خود وارد می‌کند، نیروی کشش طناب نام دارد. این نیرو را با T نشان می‌دهند. نیروی کشش طناب در هر نقطه، برابر نیرویی است که اگر به طناب بریده شده در آن نقطه وارد شود، جسم حالت قبلی خود را حفظ می‌کند. (یعنی اگر جسم ساکن است، ساکن باقی می‌ماند و اگر در حال حرکت است با همان شتاب قبلی به حرکت خود ادامه می‌دهد).



دقت کنید که جهت نیروی کشش طناب همواره در راستای طناب بوده و به سمت بیرون جسم است به عبارت دیگر، طناب هیچ‌گاه جسمی را هل نمی‌دهد، در شکل مقابل شخصی به وسیلهٔ طنابی جسمی را می‌کشد. در این شکل جهت نیروی کشش طناب که به‌دست و به جسم وارد می‌شود مشخص شده است.