۲

جاده‌ای در تپه‌های جنوب سمنان

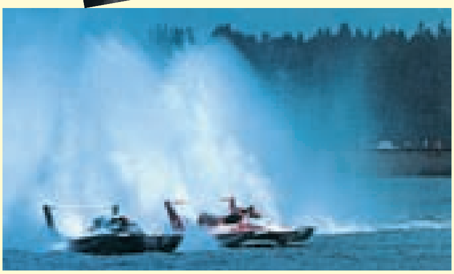
انسان‌ها از دیرباز، برای سهولت جابه جایی بین دو نقطه از جاده استفاده می‌کردند.

فصل

۲

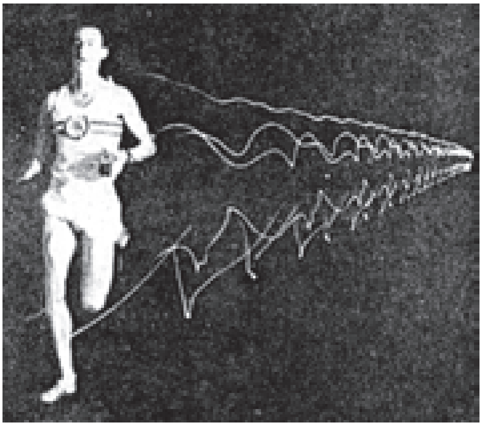
حرکت‌شناسی

هنگامی که در راه مدرسه به اطراف خود نگاه می‌کنید، حرکت‌های بسیاری را مشاهده می‌کنید. افرادی که از شما دور می‌شوند یا به شما نزدیک می‌شوند، اتومبیل‌هایی که در حرکت‌اند، پرندگانی که پرواز می‌کنند، برگی که از درخت می‌افتد و حرکت‌های بسیاری دیگر که هر روز مشاهده می‌کنید.



زمانی که حرکت‌هایی نظیر افتادن یک برگ از شاخهٔ درخت یا حرکت یک اتومبیل و مانند آن‌ها را مشاهده می‌کنیم گرچه ظاهراً جسمی را می‌بینیم که از جایی به جای دیگر حرکت می‌کند یا جابه‌جا می‌شود، ولی در بیش‌تر موارد همه بخش‌های جسم به یک اندازه جابه‌جا نشده‌اند و حرکت هر بخش ممکن است با حرکت بخش دیگر تفاوت داشته باشد. برای مثال، حرکت یک دوچرخه‌سوار را درنظر بگیرید (شکل ۲ ــ ۱ــ الف). اگرچه این حرکت ساده به‌نظر می‌رسد ولی با کمی توجه معلوم می‌شود که همین حرکت ساده بسیار پیچیده است. در حالی که دوچرخه‌سوار در مسیری مستقیم در حرکت است پای او بالا و پایین می‌رود و رکاب در مسیر دایره‌ای حرکت می‌کند. به‌همین ترتیب هریک از اجزای دوچرخه علاوه‌بر حرکت به‌همراه دوچرخه، خودشان نیز حرکت‌های دیگری دارند. بعضی از آن‌ها تندتر و بعضی دیگر کندتر در حرکتند.

الف



ب

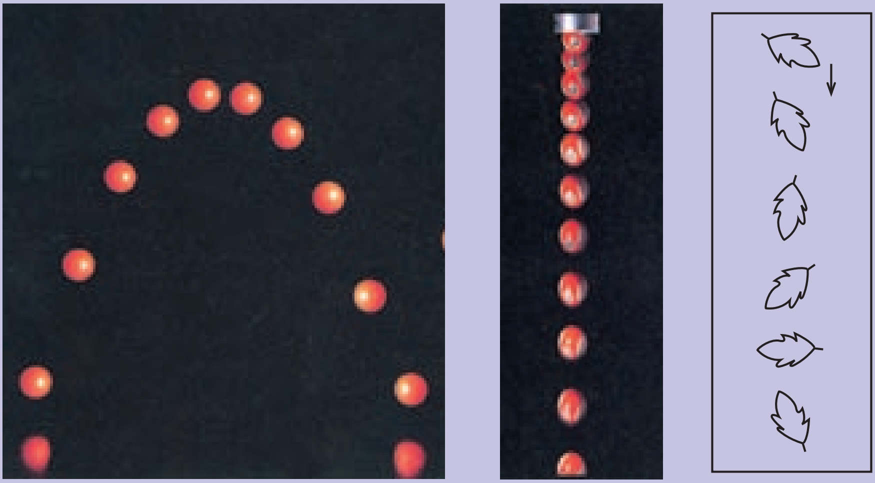
شکل ۲ ــ ۱

در شکل (۲ــ۱ــ ب)تصویری از یک دونده را می‌بینید. برای تهیه این تصویر، لامپ‌های کوچکی بر روی نقاط مختلفی از بدن دونده که مسیر حرکت آن مورد نظر است، نصب شده است و سپس در طول زمان حرکت از آن عکس‌برداری شده است. همان‌طور که دیده می‌شود هریک از اندام‌ها، حرکت پیچیده‌ای دارند.

این پیچیدگی‌ها، باعث می‌شود که بررسی و توصیف جزئیات حرکت‌هایی که به‌طور معمول با آن‌ها برخورد می‌کنیم، پیچیده و دشوار باشد. بررسی حرکت را از حالتی ساده یعنی حرکت یک جسم بدون درنظر گرفتن حرکت جداگانه هریک از اجزای آن شروع کنیم.

تمرین ۲ـ۱

در تصویر (الف) یک برگ، در تصویر (ب) یک گلوله کوچک در حال سقوط و در تصویر (پ) گلوله‌ای که به‌طور غیرقائم به بالا پرتاب شده است، دیده می‌شود. به‌نظر شما کدام یک از این حرکت‌ها ساده‌تر و بررسی کدام یک دشوارتر است؟ چرا؟



پ   ب   الف

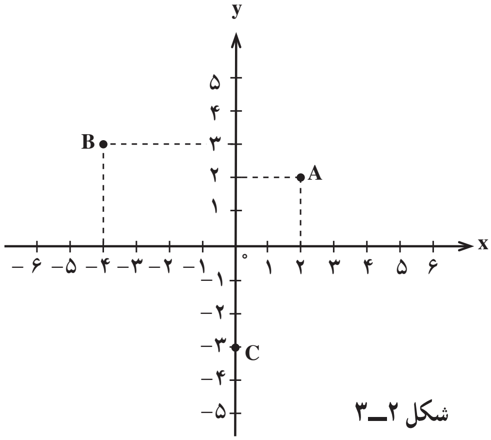
شکل ۲ــ۲

در ادامه، به‌منظور سهولت بررسی حرکت یک جسم و در جهت دست‌یابی به زبانی مشترک برای توصیف آن، به تعریف چند کمیت می‌پردازیم.

۲ــ۱ــ بردار مکان و بردار جابه‌جایی

برای توصیف و بررسی حرکت یک جسم باید بتوان معلوم کرد که آن جسم در هر زمانی در چه مکانی قرار دارد یا در چه زمانی به چه مکانی می‌رسد. همان‌طور که در درس ریاضی دیده‌اید، برای معرفی مکان یک نقطه می‌توان دستگاه مختصاتی اختیار کرد و مکان نقطه را در آن دستگاه معرفی کرد.

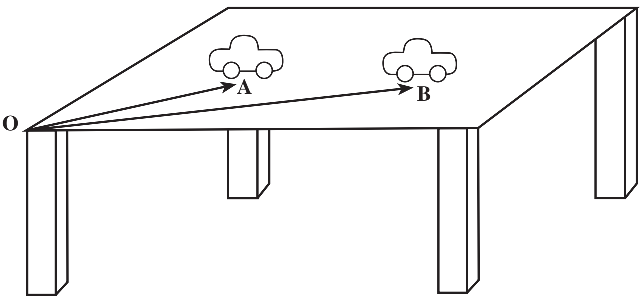
در شکل (۲ــ۳) مکان نقطه‌های A(۲,۲) ، B(−۴,۳) و C(۰,−۳) در صفحه شکل نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۳

در بررسی حرکت یک جسم نیز، برای نشان دادن مکان جسم از دستگاه مختصات استفاده می‌کنیم.

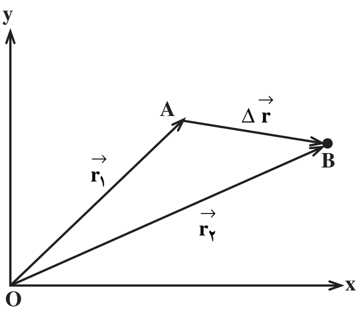
یک ماشین اسباب‌بازی را در نظر بگیرید که بر روی میزی حرکت می‌کند و در لحظهٔ t_1 (مثلاً ساعت ۱۰) در مکان A و در لحظهٔ t_2 (مثلاً ساعت ۱۰ و ۱ دقیقه) در مکان B قرار دارد. اگر یکی از گوشه‌های میز را مبدأ اختیار کنیم، مکان ماشین در دو لحظهٔ t_1 و t_2 را می‌توان مانند شکل (۲ــ۴) به‌ترتیب با بردار $\overrightarrow{OA}$ و بردار $\overrightarrow{OB}$ نشان داد. بردارهای $\overrightarrow{OA}$ و $\overrightarrow{OB}$ را به‌ترتیب بردارمکان در لحظه t_1 و بردار مکان در لحظهٔ t_2 می‌گوییم. بردار مکان، برداری است که مکان جسم را در هر لحظه مشخص می‌کند. ابتدای این بردار، مبدأ مختصات و انتهای آن مکان جسم است و معمولاً آن را با نماد $\vec{r}$ نشان می‌دهیم.



شکل ۲ــ۴

جابه‌جایی (یا تغییر مکان): جابه‌جایی یک متحرک بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 برداری است که ابتدای آن مکان متحرک در لحظهٔ t_1 و انتهای آن مکان متحرک در لحظهٔ t_2 باشد.

در شکل (۲ــ۵) بردار $\overrightarrow{AB}$ تفاضل دو بردار $\overrightarrow{OB}$ و $\overrightarrow{OA}$ است. یعنی $\Delta\vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$.

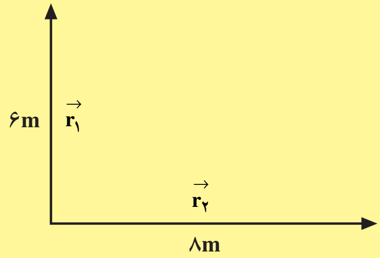


شکل ۲ــ۵

$\Delta \vec{r}$ بردار جابه‌جایی بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 (یا در بازه زمانی $\Delta t = t_2 - t_1$) است.

مثال ۲ـ۱

در شکل(۲ـ۶)، بردار مکان متحرکی در دو لحظهٔ t_1 و t_2 به‌ترتیب $\vec{r}_1$ و $\vec{r}_2$ است. اگر بزرگی هریک از بردارها به‌ترتیب ۶m و ۸m و زاویه بین آن‌ها °۹۰ باشد، بزرگی جابه‌جایی بین این دو لحظه چقدر است؟

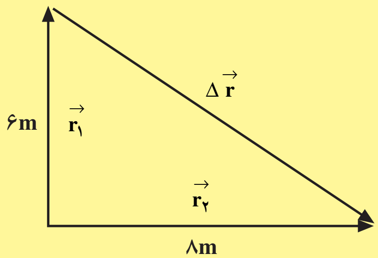


شکل ۲ـ۶

حل: با توجه به شکل (۲ـ۷)، بردار جابه‌جایی یعنی $\Delta \vec{r}$ وتر مثلث قائم‌الزاویه‌ای است که بزرگی اضلاع آن ۶m و ۸m است. بنابراین بزرگی جابه‌جایی برابر با :

$$\Delta r = \sqrt{۳۶+۶۴} = \sqrt{۱۰۰} = ۱۰ \text{ m}$$

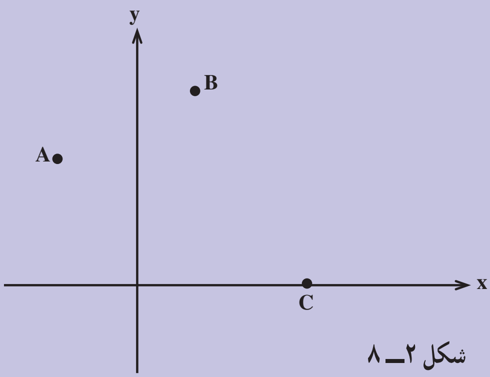
است.



شکل ۲ـ۷

تمرین ۲ـ۲

در شکل (۲ـ۸) متحرکی در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 به‌ترتیب از نقطه‌های A، B و C عبور کرده است. بردارهای مکان را در لحظه‌های t_1، t_2 و t_3 و بردارهای جابه‌جایی را بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 و بین دو لحظهٔ t_2 و t_3 و بین دو لحظهٔ t_1 و t_3 رسم کنید.

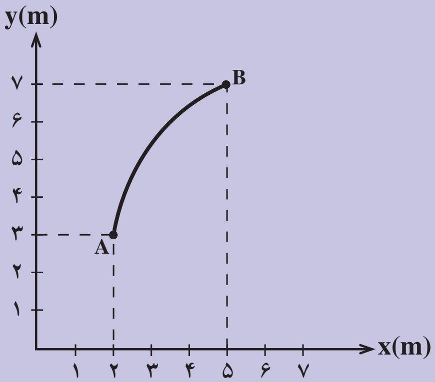


شکل ۲ـ۸

تمرین ۲ـ۳

درشکل (۲ــ۹)، مسیر حرکت متحرکی به‌صورت منحنی $\overset{\frown}{AB}$ نشان داده شده است.

بردار جابه‌جایی بین دو نقطه A و B را رسم کنید و بزرگی آن را به‌دست آورید.



شکل ۲ــ۹

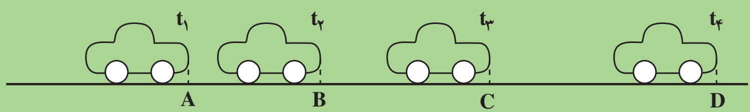
۲ــ۲ــ حرکت بر روی خط راست

این نـوع حـرکت، یکی از ساده‌ترین انـواع حـرکت است. در این حـرکت، مسیر خـط راست است. در حرکت بر روی خط راست اگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنیم، بردارهای مکان و بردارهای جابه‌جایی هم‌راستا هستند و این سبب می‌شود که محاسبه بر روی این بردارها به سادگی انجام پذیرد.

فعالیت ۲ـ۱

متحرکی نظیر یک اتومبیل را درنظر بگیرید که در مسیری به شکل خط راست در حرکت است. شکل (۲ــ۱۰) این اتومبیل را در لحظه‌های t_1 ، t_2 ، t_3 و t_4 در مکان‌های A ، B ، C و D بر روی مسیر نشان می‌دهد. شکل را مجدداً روی صفحه کاغذ رسم کنید.

یک بار مبدأ را در خارج از مسیر و بار دیگر مبدأ را روی مسیر اختیار کنید و در هریک از دو حالت بردارهای مکان را رسم کنید. به نظر شما در حرکت بر روی خط راست با معلوم بودن بزرگی بردار مکان در هر یک از دو لحظهٔ t_1 و t_2 محاسبه بزرگی بردار جابه‌جایی در کدام حالت ساده‌تر است؟ چرا؟



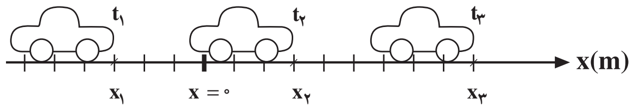
شکل ۲ــ۱۰

تمرین ۲ـ۴

در حرکت بر روی خط راست، بردارهای جابه‌جایی در بازه‌های زمانی متفاوت از نظر راستا و سو نسبت به هم چه وضعی دارند؟

اگر یکی از محورهای مختصات (ox یا oy) را به‌عنوان مسیر حرکت در نظر بگیرید، می‌توانید مکان متحرک را در هر لحظه به‌وسیلهٔ مختصه آن (مثلاً مختصه x) که عددی است مثبت یا منفی مشخص کنید.

در شکل (۲ــ۱۱) مسیر حرکت و مکان متحرک در لحظه‌های t_1 ، t_2 و t_3 نشان داده شده است.



شکل ۲ــ۱۱

در لحظهٔ t_1 مکان متحرک $x_1 = -3m$ و در لحظهٔ t_2 مکان آن $x_2 = +3m$ و در لحظهٔ t_3 مکان آن $x_3 = 9m$ است. از این به بعد در حرکت بر روی خط راست، مکان متحرک را با مختصه مکان مشخص می‌کنیم.

تمرین ۲ـ۵

شکل(۲ــ۱۱) را بر روی یک کاغذ به دقت رسم کنید و بزرگی جابه‌جایی را بین بازه‌های زمانی (t_1 و t_2)، (t_2 و t_3) و (t_1 و t_3) به‌دست آورید. بردار جابه‌جایی را در هر یک از بازه‌های گفته شده رسم کنید.

۲ــ۳ــ نمودار مکان ــ زمان

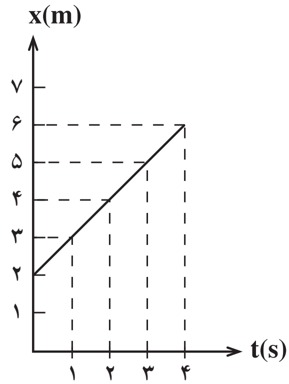
برای توصیف حرکت یک جسم می‌توان از نموداری که مکان جسم را در زمان‌های مختلف نشان می‌دهد، استفاده کرد. در بسیاری از موارد رسم این نمودار برای بررسی حرکت بسیار مناسب است. برای رسم این نمودار، غالباً زمان را روی محور افقی و مکان را روی محور قائم مشخص

می‌کنیم. برای این کار با توجه به ارقام درون جدول، مقیاس‌مناسبی برای هر محور انتخاب می‌کنیم. به‌عنوان مثال، برای مکان هر متر جابه‌جایی را با ۰/۵ سانتی‌متر روی محور مکان و برای زمان هر یک ثانیه را با یک سانتی‌متر یا نیم‌سانتی‌متر روی محور زمان نشان می‌دهیم. پس از آن نمودار را به روش نقطه‌یابی رسم می‌کنیم.

در جدول (۲ــ۱) مکان متحرکی در حرکت بر روی خط راست در چند لحظه داده شده است و نمودار مکان ــ زمان آن در شکل (۲ــ۱۲) رسم شده است.

جدول ۲ــ۱

t (ثانیه)	۰	۱	۲	۳	۴
x (متر)	۲	۳	۴	۵	۶



شکل ۲ــ۱۲

با استفاده از این نمودار می‌توان دریافت که متحرک در هر لحظه در چه مکانی قرار دارد و جابه‌جایی آن بین هر دو لحظه چقدر است. مثلاً در لحظهٔ $t=0$ متحرک در دو متری مبدأ بوده است. یا در بازه $\Delta t = ۴-۳ = ۱s$ جابه‌جایی آن $\Delta x = ۱m$ است.

تمرین ۲ــ۶

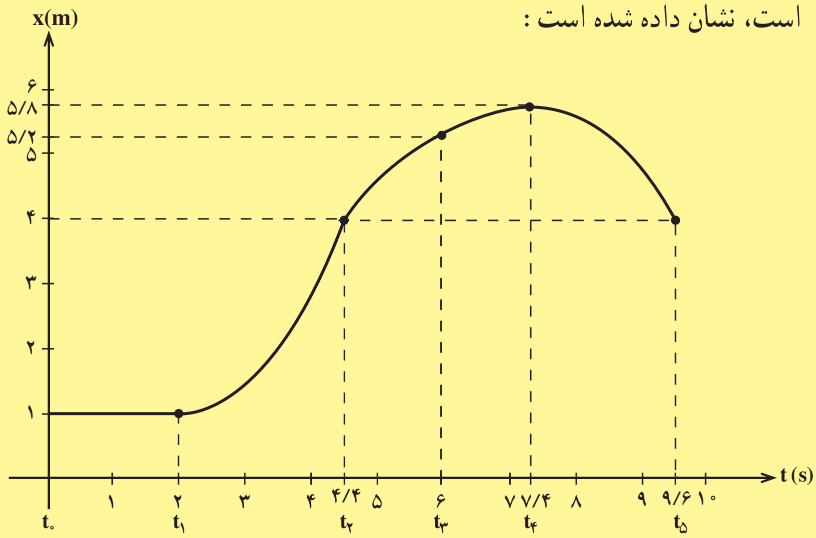
جدول (۲ــ۲) فاصلهٔ متحرکی را تا مبدأ در لحظه‌های داده شده در جدول نشان می‌دهد. نمودار مکان ــ زمان این متحرک را رسم کنید.

جدول ۲ــ۲

t(s)	۰	۱	۲	۳	۴	۵
x(m)	۰	۱/۵	۳	۵/۵	۸	۱۱/۵

مثال ۲ــ۲

در شکل (۲ــ۱۳)، نمودار مکان ــ زمان متحرکی که بر خط راست در حرکت است، نشان داده شده است :



شکل ۲ــ۱۳

الف ــ در هریک از بازه‌های زمانی $t_1 - t_0$ و $t_2 - t_1$ و $t_5 - t_2$ جابه‌جایی چقدر است؟

ب ــ بیش‌ترین فاصله متحرک تا مبدأ چقدر است و متحرک در چه لحظه‌ای در این فاصله است؟

پ ــ از لحظهٔ t_4 تا لحظهٔ t_5 جابه‌جایی چقدر و در چه جهتی است؟

ت ــ در کدام لحظه جهت حرکت عوض شده است؟

حل: الف ــ همان‌طور که در نمودار دیده می‌شود، از لحظهٔ صفر تا ۲ ثانیه، مکان جسم تغییر نکرده و جسم ساکن مانده است. بنابراین، جابه‌جایی در بازه $t_1 - t_0$ برابر صفر است. در لحظهٔ t_1 متحرک در مکان $x_1 = 1m$ و در لحظهٔ t_2 در مکان $x_2 = 4m$ است. بنابراین جابه‌جایی در بازهٔ $t_2 - t_1$ برابر است با : $\Delta x = x_2 - x_1 = 4 - 1 = 3m$

به‌همین ترتیب جابه‌جایی در بازهٔ $t_5 - t_2$ برابر است با : $\Delta x = x_5 - x_2 = 4 - 4 = 0$

ب ــ در لحظهٔ $t_4 = 7/4s$ فاصله تا مبدأ بیشترین مقدار و برابر $x_4 = 5/8m$ است.

پ ــ جابه‌جایی در بازه $t_5 - t_4$ برابر است با : $\Delta x = x_5 - x_4 = 4 - 5/8 = -1/8m$

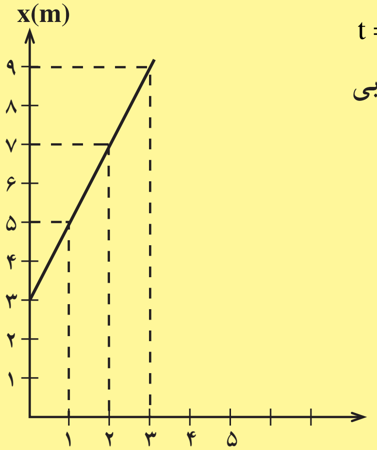
چون جابه‌جایی در این بازه منفی است، معلوم می‌شود که در این بازه جهت حرکت خلاف جهت محور x است. یعنی متحرک برگشته است.

ت ــ با توجه به نمودار معلوم می‌شود تا لحظهٔ $t_۴$ متحرک از مبدأ دور و از لحظهٔ $t_۴$ تا $t_۵$ به مبدأ نزدیک شده است. یعنی در لحظهٔ $t_۴$، جهت حرکت عوض شده است (قبل از لحظهٔ $t_۴$ جابه‌جایی مثبت و از لحظهٔ $t_۴$ تا لحظهٔ $t_۵$ جابه‌جایی منفی است).

مثال ۲ــ۳

متحرکی بر روی خط راست در حرکت است. رابطهٔ بین مکان این متحرک با زمان به‌صورت $x = ۲t + ۳$ است که در آن x به متر و t به ثانیه است. نمودار مکان ــ زمان این متحرک را رسم کنید و مکان متحرک در دو لحظهٔ $t_۱ = ۰$ و $t_۲ = ۳s$ و جابه‌جایی بین این دو لحظه را به‌دست آورید.

حل: برای رسم نمودار، مکان را در چند لحظه از جمله در $t = ۰$ (لحظهٔ صفر، لحظهٔ شروع اندازه‌گیری زمان است و به آن مبدأ زمان می‌گوییم) و $t = ۱s$ و $t = ۲s$ و $t = ۳s$ به‌دست می‌آوریم و سپس به روش نقطه‌یابی نمودار را رسم می‌کنیم.



t(s)	۰	۱	۲	۳
x(m)	۳	۵	۷	۹

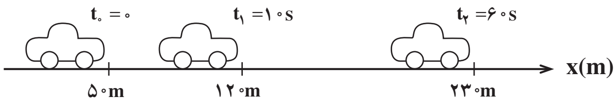
شکل ۲ــ۱۴

و جابه‌جایی بین $t_۱ = ۰$ و $t_۲ = ۳s$ برابر است با: $\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۹ - ۳ = ۶m$

یادآوری: چون رابطه داده شده معادله یک خط راست است و برای رسم نمودار آن داشتن دو نقطه کافی است با معلوم کردن مکان در دو لحظه $t = ۰$ و $t = ۱s$ می‌توان نمودار را رسم نمود.

۲ــ۴ــ سرعت متوسط

شکل زیر مکان اتومبیلی را که در حرکت است در چند لحظهٔ متفاوت نشان می‌دهد.



شکل ۲ــ۱۵

الف ــ بزرگی جابه‌جایی را در بازه‌های $t_1 - t_\circ$ و $t_2 - t_1$ به‌دست آورید.

ب ــ در هریک از این بازه‌ها اتومبیل به‌طور متوسط در هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است؟

حل: الف ــ جابه‌جایی در بازه $\Delta t = t_1 - t_\circ = 10s$ برابراست با $\Delta x = x_1 - x_\circ = 120 - 50 = 70m$.

و جابه‌جایی در بازهٔ $\Delta t = t_2 - t_1 = 50s$ برابر است با $\Delta x = x_2 - x_1 = 230 - 120 = 110m$.

ب ــ با تقسیم جابه‌جایی به بازه زمانی مربوط به آن، معلوم می‌شود متحرک به‌طور متوسط در هر ثانیه چقدر جابه‌جا شده است.

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{70}{10} = 7 m/s$$

$$\frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{110}{50} = 2/2 m/s$$

به این ترتیب می‌توان با معلوم بودن جابه‌جایی در یک بازهٔ زمانی، متوسط جابه‌جایی در هر ثانیه را در آن بازهٔ زمانی به‌دست آورد که آن را **سرعت متوسط** در آن بازهٔ زمانی می‌نامیم. اگر بزرگی سرعت متوسط را با نماد $\bar{v}$ نشان دهیم، داریم:

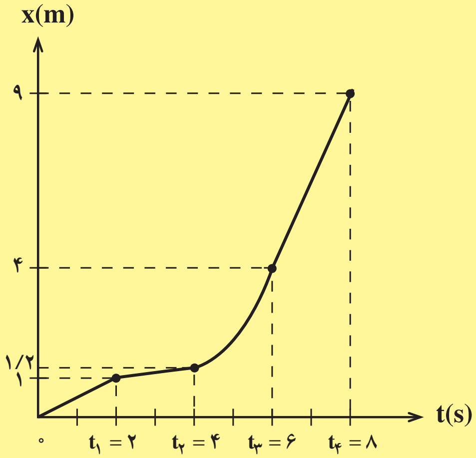
$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۲\text{ــ}۱)$$

سرعت متوسط کمیّتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. یکای سرعت متوسط متر بر ثانیه (m/s) است.

مثال ۲ــ۴

در شکل (۲ــ۱۶) نمودار مکان ــ زمان متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، نشان داده شده است.

الف ــ در جدولی هر یک از بازه‌های زمانی صفر تا ۲s و ۲s تا ۴s و ۴s تا ۶s و ۶s تا ۸s و جابه‌جایی مربوط به هر بازه را نشان دهید.



شکل ۲ــ۱۶

ب ــ آیا می‌توانید تعیین کنید که در کدام بازه متحرک تندتر حرکت کرده است؟

پ ــ در هریک از این بازه‌های زمانی سرعت متوسط متحرک چقدر است؟

حل: الف ــ مقدارهای Δt و Δx در جدول زیر محاسبه شده‌اند.

ب ــ با توجه به مقدارهای جدول در بازهٔ زمانی $t_۴ - t_۳$ بزرگی جابه‌جایی بیش‌تر از جابه‌جایی‌های دیگر است. یعنی در این بازهٔ زمانی، متحرک تندتر حرکت کرده است.

$\Delta x(m)$	$\Delta t(s)$
$x_۱ - x_۰ = ۱ - ۰ = ۱$	$t_۱ - t_۰ = ۲ - ۰ = ۲$
$x_۲ - x_۱ = ۱/۲ - ۱ = ۰/۲$	$t_۲ - t_۱ = ۴ - ۲ = ۲$
$x_۳ - x_۲ = ۴ - ۱/۲ = ۲/۸$	$t_۳ - t_۲ = ۶ - ۴ = ۲$
$x_۴ - x_۳ = ۹ - ۴ = ۵$	$t_۴ - t_۳ = ۸ - ۶ = ۲$

پ ــ

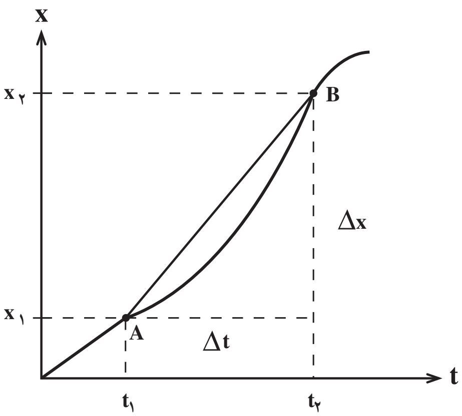
$$\bar{v}_۱ = \frac{\Delta x_۱}{\Delta t_۱} = \frac{۱}{۲} m/s$$

$$\bar{v}_۲ = \frac{\Delta x_۲}{\Delta t_۲} = \frac{۰/۲}{۲} = \frac{۱}{۱۰} m/s$$

$$\bar{v}_۳ = \frac{\Delta x_۳}{\Delta t_۳} = \frac{۲/۸}{۲} = ۱/۴ m/s$$

$$\bar{v}_۴ = \frac{\Delta x_۴}{\Delta t_۴} = \frac{۵}{۲} = ۲/۵ m/s$$

تعیین سرعت متوسط به کمک نمودار مکان ــ زمان: نمودار مکان ــ زمان متحرکی در شکل (۲ــ۱۷) نشان داده شده است. متحرک در لحظهٔ t_1 در مکان x_1 و در لحظهٔ t_2 در مکان x_2 است. سرعت متوسط متحرک در بازهٔ زمانی Δt برابر است با $\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$. همان‌طور که در درس ریاضی دیده‌اید نسبت $\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ شیب خطی است که دو نقطهٔ $A(t_1,x_1)$ و $B(t_2,x_2)$ را به یکدیگر وصل می‌کند.

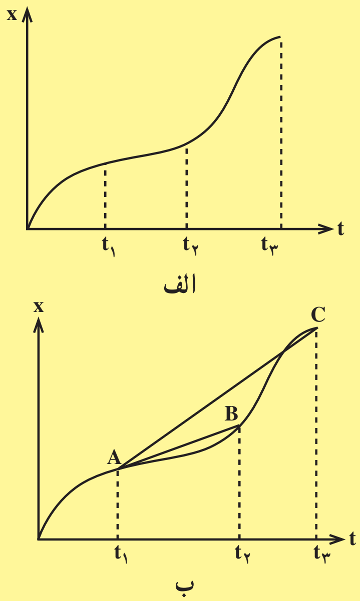


شکل ۲ــ۱۷

با توجه به این که $\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}$ است، می‌توان گفت سرعت متوسط بین دو نقطه از نمودار مکان ــ زمان برابر شیب خطی است که آن دو نقطه را به یکدیگر وصل می‌کند.

مثال ۲ــ۵

در نمودار شکل (۲ــ۱۸ــ الف) سرعت متوسط را در بازه‌های t_2-t_1 و t_3-t_1 با هم مقایسه کنید.



شکل ۲ــ۱۸

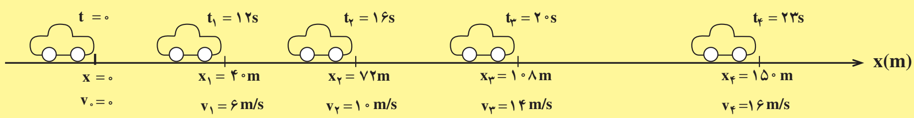
حل: در شکل (۲ــ۱۸ــ ب) خط‌های AB و AC به‌ترتیب بین دو لحظهٔ t_1 و t_2 و دو لحظهٔ t_1 و t_3 رسم شده‌اند. شیب پاره‌خط AB برابر سرعت متوسط در بازه t_2-t_1 است و شیب پاره خط AC برابر سرعت متوسط در بازه t_3-t_1 است. و چون شیب پاره‌خط AC بیش‌تر از شیب پاره خط AB است، بنابراین سرعت متوسط در بازه t_3-t_1 بزرگ‌تر از سرعت متوسط در بازه t_2-t_1 است.

۲ـ۵ـ سرعت لحظه‌ای

هنگامی که یک اتومبیل در حرکت است اگر به سرعت‌سنج آن نگاه کنیم مشاهده می‌کنیم که عقربه آن در هر لحظه مقدار مشخصی را نشان می‌دهد. اگر سرعت اتومبیل زیاد شود عقربه مقدار بیشتری را نشان می‌دهد. رابطه بین سرعت متوسط و سرعتی که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد چیست؟ برای پاسخ به این پرسش به مثال زیر توجه کنید.

مثال ۲ـ۶

شکل(۲ـ۱۹) اتومبیلی را که بر مسیر مستقیم در حال حرکت است در لحظه‌های مختلف نشان می‌دهد. مکان و مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل نشان می‌دهد در لحظه‌های صفر، ۱۲s، ۱۶s، ۲۰s، ۲۳s در شکل نشان داده شده است.



شکل ۲ـ۱۹

الف ـ بازه‌های زمانی $t_4 - t_1$ ، $t_3 - t_1$ و $t_2 - t_1$ ، جابه‌جایی و سرعت متوسط مربوط به هر یک از این بازه‌ها را در جدولی ثبت کنید.

ب ـ در کدام بازه زمانی سرعت متوسط به مقداری که سرعت‌سنج اتومبیل در لحظهٔ t_1 نشان می‌دهد نزدیک‌تر است؟

حل: الف

$\Delta t(s)$	$\Delta x(m)$	$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}(m/s)$
$t_4 - t_1 = ۲۳ - ۱۲ = ۱۱$	$x_4 - x_1 = ۱۵۰ - ۴۰ = ۱۱۰$	۱۰
$t_3 - t_1 = ۲۰ - ۱۲ = ۸$	$x_3 - x_1 = ۱۰۸ - ۴۰ = ۶۸$	۸/۵
$t_2 - t_1 = ۱۶ - ۱۲ = ۴$	$x_2 - x_1 = ۷۲ - ۴۰ = ۳۲$	۸

ب ـ همان‌طورکه در جدول دیده می‌شود سرعت متوسط در بازه زمانی $t_2 - t_1$ کوچکتر از بازه‌های $t_3 - t_1$ و $t_4 - t_1$ است.

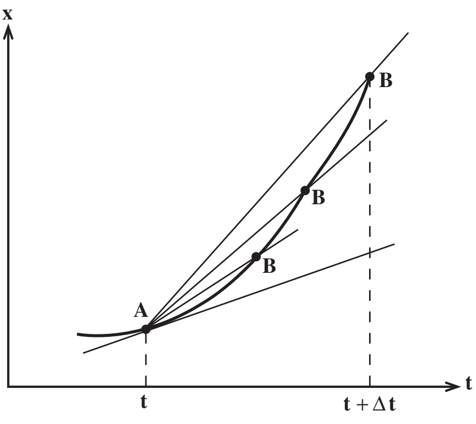
از مقایسه جواب‌های بند (ب) مثال بالا می‌توان نتیجه گرفت که هرچه بازه زمانی کوچکتر باشد سرعت متوسط به سرعتی که سرعت‌سنج نشان می‌دهد نزدیکتر خواهد بود. سرعت متوسط در حدی

که بازه زمانی فوق‌العاده کوچک می‌شود سرعت لحظه‌ای نامیده می‌شود در واقع می‌توان گفت که سرعت‌سنج اتومبیل سرعت لحظه‌ای را نشان می‌دهد سرعت لحظه‌ای را از این به بعد برای اختصار سرعت می‌نامیم. جدول ۲ـ۱، برخی از سرعت‌های تقریبی را نشان می‌دهد.

جدول ۲ــ۱ــ برخی از سرعت های تقریبی

۱. سرعت حلزون	$۱۰^{-۳}$ m/s
۲. راه رفتن سریع	۲ m/s
۳. دونده دو سرعت	۱۰ m/s
۴. سرعت بیشینه اتومبیل در بزرگراه	۳۰ m/s
۵. حرکت کاتوره‌ای مولکول‌های هوا	۵۰۰ m/s
۶. سریع ترین هواپیما	۱۰۰۰ m/s
۷. ماهواره مخابراتی در مدار	۳۰۰۰ m/s
۸. سرعت فضاپیمای خاص	۸۳۰۰ m/s
۹. سرعت مداری زمین	$۲/۹۸ \times ۱۰^{۴}$ m/s
۱۰. سرعت دنباله دار هالی	$۴/۱۷ \times ۱۰^{۴}$ m/s
۱۱. سرعت الکترون در حرکت مداری	۲×۱۰^{۶} m/s

تعیین سرعت لحظه‌ای به کمک نمودار مکان ــ زمان: دیدیم که سرعت متوسط بین دو لحظه شیب خطی است که نمودار مکان ــ زمان را در آن دو لحظه قطع می‌کند. در شکل (۲ــ۲۰) می‌بینید که اگر Δt به‌تدریج کوچک و کوچک‌تر شود، نقطه‌های B و A به‌هم نزدیک و نزدیک‌تر می‌شوند به‌طوری که اگر Δt فوق‌العاده کوچک شود A و B هم خیلی‌خیلی به هم نزدیک می‌شوند و در نهایت خط AB در نقطهٔ A بر نمودار مماس می‌شود. در این حالت، شیب خط مماس برابر سرعت لحظه‌ای متحرک در لحظهٔ t است.



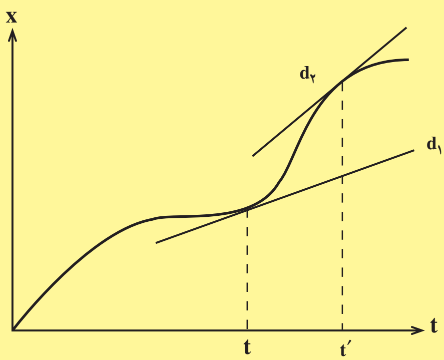
شکل ۲ــ۲۰ــ با کوچک شدن Δt نقطه B به A نزدیک می‌شود.

پس می‌توان نتیجه گرفت که سرعت در هر لحظه برابر شیب مماس بر نمودار مکان ـ زمان در آن لحظه است.

مثال ۲ـ ۷

در شکل زیر شیب مماس d_1 سرعت در لحظهٔ t و شیب مماس d_2 سرعت در لحظهٔ t' است. در کدام لحظه سرعت بیش‌تر است؟

حل: همان‌طور که در شکل دیده می‌شود چون شیب d_2 بیش‌تر از شیب d_1 است، $v' > v$ است (سرعت در لحظهٔ t' بیش‌تر از سرعت در لحظهٔ t است). با اندازه‌گیری شیب مماس بر منحنی نمودار مکان ـ زمان می‌توان سرعت لحظه‌ای را به‌دست آورد.



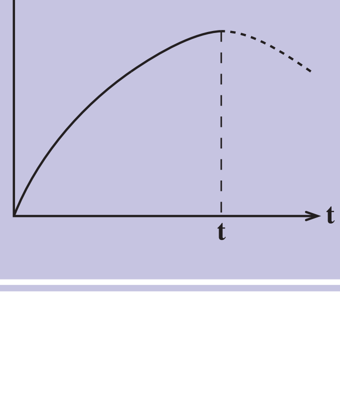
شکل ۲ـ۲۱

تمرین ۲ـ ۷

شکل (۲ـ۲۲) نمودار مکان ـ زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

الف ـ از لحظهٔ صفر تا t سرعت رو به افزایش است یا کاهش؟

ب ـ اگر در لحظهٔ t مماس بر نمودار موازی محور t باشد، سرعت در این لحظه چقدر است؟



شکل ۲ـ۲۲

۲ـ۶ـ حرکت یکنواخت بر خط راست

هرگاه سرعت لحظه‌ای متحرکی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، در تمام لحظه‌ها یکسان باشد، حرکت آن **یکنواخت** نامیده می‌شود. در این حرکت نمودار مکان ــ زمان یک خط راست است (چرا؟) و درنتیجه سرعت متوسط بین هر دو لحظهٔ دلخواه برابر با سرعت لحظه‌ای می‌شود. چرا؟ بنابراین :

$$\bar{v} = v \Rightarrow v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad (۲ـ۲)$$

از رابطهٔ (۲ـ۲) می‌توان نوشت :

$$\Delta x = v\Delta t \qquad (۲ـ۳)$$

هرگاه فاصلهٔ متحرک تا مبدأ در لحظهٔ $t = ۰$ برابر $x_۰$ و فاصله آن تا مبدأ در لحظه t برابر x باشد :

$$x - x_۰ = v(t - ۰)$$

و یا :

$$x = vt + x_۰ \qquad (۲ـ۴)$$

در این رابطه که آن را معادله حرکت یکنواخت می‌نامند، x فاصله تا مبدأ (مکان) بر حسب متر، v سرعت لحظه‌ای برحسب متر بر ثانیه، t زمان برحسب ثانیه و $x_۰$ فاصله تا مبدأ در لحظهٔ صفر برحسب متر است. با توجه به آن‌چه قبلاً گفته شد، ممکن است مکان مثبت یا منفی باشد. سرعت هم در صورتی که در جهت محور x یا y باشد مثبت، در غیر این صورت منفی است.

مثال ۲ـ۸

معادله حرکت جسمی که روی خط راست حرکت می‌کند، در SI به‌صورت $x = ۴t$ است.

الف ــ فاصله متحرک تا مبدأ در لحظه‌های $t_۱ = ۲s$ و $t_۲ = ۵s$ چقدر است؟ جابه‌جایی جسم بین دو لحظهٔ $t_۱$ و $t_۲$ چقدر است؟

ب ــ سرعت متحرک چقدر است؟ نمودار مکان ــ زمان آن را رسم کنید.

حل: الف ــ فاصلهٔ متحرک تا مبدأ در لحظهٔ $t_۱$

$$x_۱ = ۴t_۱ = ۴ \times ۲ = ۸m$$

فاصلهٔ متحرک تا مبدأ در لحظهٔ $t_۲$

$$x_۲ = ۴t_۲ = ۴\times۵ = ۲۰m$$

و جابه‌جایی متحرک بین این دو لحظه

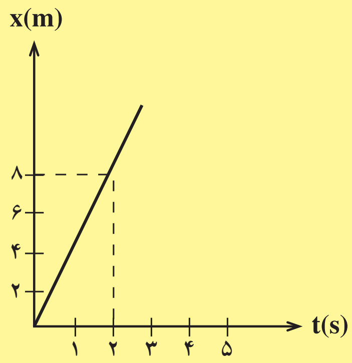
$$\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۲۰ - ۸ = ۱۲m$$

می‌باشد.

ب ــ در حرکت یکنواخت داریم :

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۱۲}{۵-۲} = ۴m/s$$

با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای t و x، نمودار را به روشی که قبلاً گفته شد، رسم می‌کنیم.

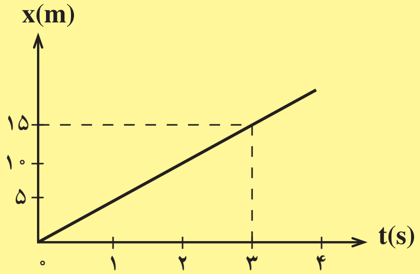


t(s)	۰	۲
x(m)	۰	۸

شکل ۲ــ۲۳

مثال ۲ــ۹

نمودار مکان ــ زمان جسمی که بر روی خط راست حرکت می‌کند، مطابق شکل (۲ــ۲۴) است.



شکل ۲ــ۲۴

الف ــ آیا سرعت این حرکت ثابت است؟ اندازهٔ سرعت چقدر است؟

ب ــ فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر و معادلهٔ حرکت آن و جابه‌جایی آن بین دو لحظهٔ $t_۱ = ۲s$ و $t_۲ = ۵s$ را محاسبه کنید.

حل: الف ــ چون نمودار مکان ــ زمان خط راست است حرکت یکنواخت، و شیب نمودار برابر سرعت است. با توجه به شکل، شیب نمودار $۵ = \frac{۱۵}{۳}$، یعنی $v = ۵ m/s$ است.

ب ــ در لحظهٔ $t = ۰$، $x = ۰$ و $x_۰ = ۰$ است. بنابراین:

معادله حرکت $$x = vt + x_۰$$

$$x = ۵t$$

$$x_۱ = ۵ \times ۲ = ۱۰m \quad \text{و} \quad x_۲ = ۵ \times ۵ = ۲۵m$$

جابه‌جایی بین دو لحظه $$\Delta x = x_۲ - x_۱ = ۲۵ - ۱۰ = ۱۵m$$

تمرین ۲ــ۸

جسمی با سرعت ثابت v بر مسیری مستقیم در حرکت است. اگر در لحظهٔ $t_۱ = ۵s$ فاصلهٔ آن تا مبدأ $۶m$ و در لحظهٔ $t_۲ = ۲۰s$ فاصله آن تا مبدأ ۳۶ متر باشد، سرعت و فاصلهٔ آن تا مبدأ در لحظهٔ صفر چقدر است؟ معادلهٔ مکان ــ زمان را بنویسید. نمودار مکان ــ زمان را رسم کنید.

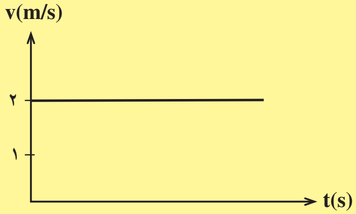
۲ــ۷ــ نمودار سرعت ــ زمان

دیدیم از نمودار مکان ــ زمان می‌توان اطلاعاتی درمورد حرکت جسم، مثلاً سرعت یا مکان متحرک و سرعت متوسط آن به‌دست آورد. به همین‌ترتیب می‌توان از نمودار سرعت ــ زمان هم اطلاعاتی دربارهٔ حرکت جسم به‌دست آورد. برای رسم نمودار سرعت ــ زمان در دستگاه مختصات t ــv، محور قائم برای سرعت و محور افقی را برای زمان اختیار می‌کنیم و به ترتیبی که برای نمودار مکان ــ زمان گفته شد، این نمودار را رسم می‌کنیم.

مثال ۲ــ۱۰

متحرکی با سرعت ثابت در مسیر مستقیم در حرکت است. در لحظهٔ $t_1 = ۲s$ در فاصله ۵ متر و در لحظهٔ $t_2 = ۱۲s$ در فاصله ۲۵ متری از مبدأ است. نمودار سرعت ــ زمان آن را رسم کنید.

حل: در حرکت با سرعت ثابت داریم : $v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{۲۵ - ۵}{۱۲ - ۲} = \frac{۲۰}{۱۰} = ۲\,m/s$



شکل ۲ــ۲۵

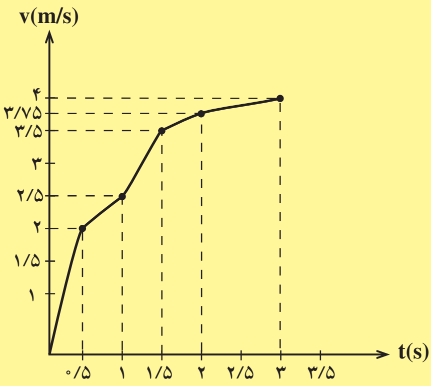
چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، نمودار سرعت ــ زمان به‌صورت یک خط راست موازی محور زمان است.

مثال ۲ــ۱۱

در جدول زیر سرعت متحرکی که بر روی خط راست در حرکت است در چند لحظه مشخص شده است. نمودار سرعت ــ زمان آن را رسم کنید.

زمان به s	۰	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۳
سرعت به m/s	۰	۲	۲/۵	۳/۵	۳/۷۵	۴

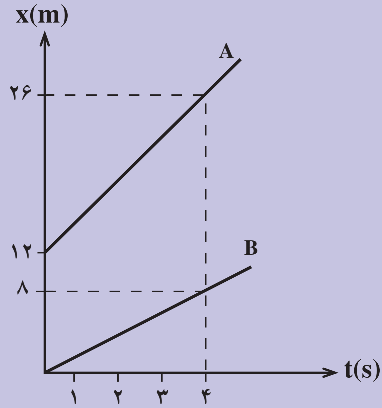
حل: زمان‌ها را بر روی محور افقی و سرعت‌ها را بر روی محور قائم ثبت می‌کنیم و به‌ترتیبی که برای نمودار مکان ــ زمان گفته شد، نمودار سرعت ــ زمان را رسم می‌کنیم.



شکل ۲ــ۲۶

تمرین ۲ـ۹

شکل (۲ــ۲۷) نمودار مکان ــ زمان دو متحرک A و B را نشان می‌دهد. سرعت هر یک از آن‌ها را حساب کنید و نمودار سرعت ــ زمان هرکدام را رسم و معادلهٔ حرکت هر یک از آن‌ها را بنویسید.



شکل ۲ــ۲۷

۲ــ۸ــ شتاب متوسط و شتاب لحظه‌ای

هنگامی که اتومبیل از حال سکون به راه می‌افتد، با مشاهده سرعت‌سنج اتومبیل ملاحظه می‌شود که سرعت آن به‌تدریج افزایش می‌یابد و در هنگام ترمزکردن سرعت آن به‌تدریج کاهش می‌یابد. در این موارد که سرعت متحرک تغییر می‌کند می‌گوییم حرکت، شتابدار یا غیریکنواخت است.

شتاب متوسط برابر نسبت تغییر سرعت به بازهٔ زمانی است که سرعت تغییر کرده است. اگر تغییر سرعت در بازه زمانی Δt برابر Δv باشد داریم :

$$\bar{a} = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \qquad (۲ــ۵)$$

که در آن $\bar{a}$ نماد شتاب متوسط و یکای آن متر بر مجذور ثانیه $(m/s^۲)$ است.

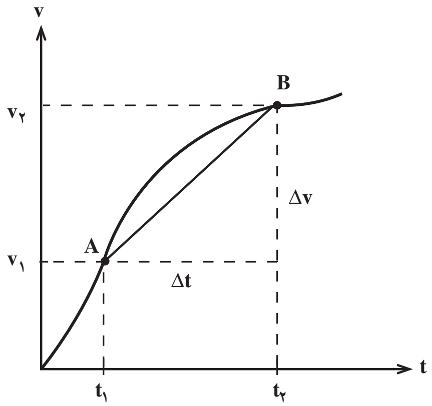
مثال ۲ـ۱۲

سرعت متحرکی در لحظهٔ $t_۱ = ۲۰s$ برابر $۱۰m/s$ و در لحظهٔ $t_۲ = ۴۵s$ برابر $۲۰m/s$ است. شتاب متوسط آن بین دو لحظهٔ $t_۱$ و $t_۲$ چقدر است؟

حل:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow a = \frac{۲۰-۱۰}{۴۵-۲۰} = \frac{۱۰}{۲۵} = ۰/۴ m/s^۲$$

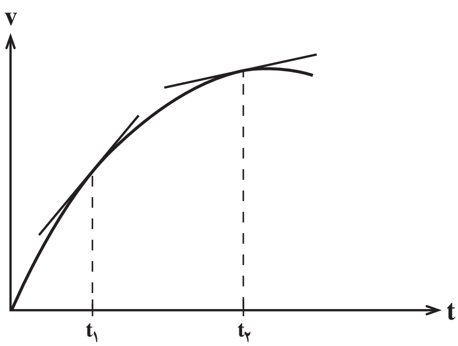
تعیین شتاب متوسط بــه کـمک نمودار سرعت ــ زمان: در شکـل (۲ــ۲۸) نـمـودار سرعت ــ زمان متحرکی نشان داده شده است. با توجه به تعریف شتاب متوسط معلوم می‌شود که شتاب متوسط بین دو لحظه برابر شیب خطی است که نمودار سرعت ــ زمان را در آن دو لحظه (یعنی دو لحظه t_1 و t_2 که معادل دو نقطه A و B روی نمودار است) قطع کند.



شکل ۲ــ۲۸

شتاب لحظه‌ای: در حرکت شتابدار نیز می‌توان گفت که متحرک در هر لحظه دارای شتابی است که آن‌را شتاب لحظه‌ای می‌نامیم و با a نشان می‌دهیم.

همان‌طورکه در سرعت لحظه‌ای دیدیم در اینجا نیز اگر در رابطه $\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ ، Δt بسیار کوچک شود، شتاب متوسط خیلی نزدیک به شتاب لحظه‌ای می‌شود. در این صورت دو نقطه A و B بسیار به هم نزدیک می‌شوند و می‌توان نتیجه گرفت که شتاب لحظه‌ای برابر شیب مماس بر نمودار سرعت ــ زمان در آن لحظه است. در شکل (۲ــ۲۹) شیب مماس بر نمودار t ــv در لحظهٔ t_1 برابر شتاب در لحظهٔ t_1 و شیب مماس در لحظهٔ t_2 برابر شتاب در لحظهٔ t_2 است. با توجه به این که در شکل (۲ــ۲۹) شیب مماس در لحظهٔ t_1 بیش‌تر از شیب مماس در لحظهٔ t_2 است، می‌توان نتیجه گرفت که شتاب در لحظهٔ t_1 بیش‌تر از شتاب در لحظهٔ t_2 است.



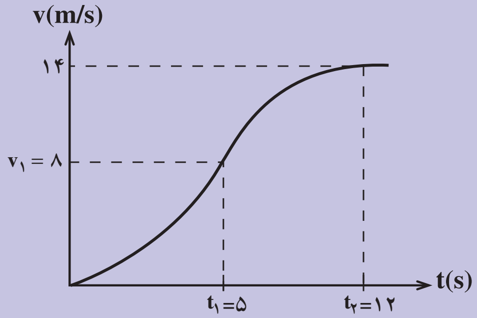
شکل ۲ــ۲۹

تمرین ۲ـ۱۰

نمودار سرعت ــ زمان متحرکی مطابق شکل زیر است. با توجه به آن توضیح دهید :

الف ــ در بازه‌های زمانی $(\circ, t_1)$ و (t_1, t_2) شتاب متوسط چقدر است؟

ب ــ در کدام یک از دو لحظهٔ t_1 و t_2 شتاب بیشتر است؟

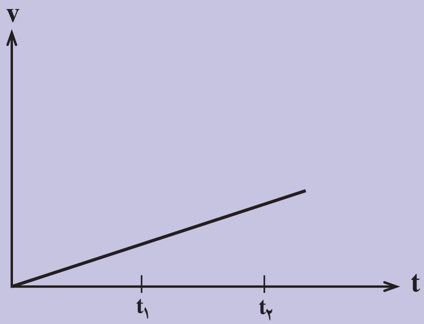


شکل ۲ــ۳۰

تمرین ۲ـ۱۱

الف ــ در حرکت یکنواخت شتاب حرکت چقدر است؟

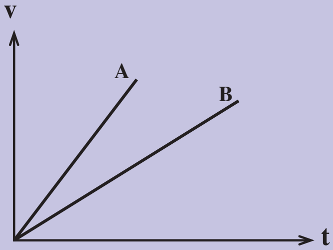
ب ــ شکل روبرو نمودار سرعت ــ زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظهٔ t_1 و t_2 با هم مقایسه کنید.



شکل ۲ــ۳۱

تمرین ۲ـ۱۲

نمودار سرعت ــ زمان دو متحرک A و B در شکل روبرو نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.



شکل ۲ــ۳۲

آزمایش ۲ـ۱

وسایل لازم:

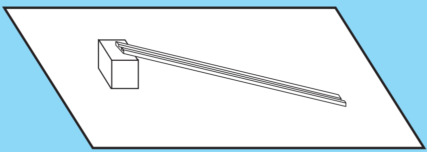
۱ــ تخته شیاردار یا میله‌های چوب پرده، به طول ۲ متر

۲ــ مکعب‌های تخته‌ای به ضخامت‌های ۴cm

۳ــ گلوله‌های شیشه‌ای (تیله) یا ساچمه‌های فلزی

۴ــ زمان‌سنج (کرونومتر)

۵ــ متر نواری



شکل ۲ــ۳۳

روش آزمایش: یک سرمیله چوب‌پرده را مطابق شکل (۲ــ۳۳) بالای یکی از مکعب‌های تخته‌ای قرار دهید. یکی از گلوله‌های شیشه‌ای را از فاصله نیم‌متری انتهای‌میله که قبلاً یکی از مکعب‌ها را در آنجا قرار داده‌اید رها کنید و در این لحظه کرونومتر را به‌کار اندازید. (می‌توانید جلوی گلوله خط‌کشی قرار دهید و لحظه‌ای که خط‌کش را برمی‌دارید، کرونومتر را به‌کار اندازید). لحظه‌ای که گلوله به مکعب انتهای مسیر برخورد می‌کند، کرونومتر را متوقف کنید.

آزمایش را برای فواصل ۱m، ۱/۵m و ۲m تکرار کنید و نتیجه را در جدول روبرو بنویسید.

نمودار x برحسب t را رسم کنید. نتیجه آزمایش را تجزیه و تحلیل کنید.

ردیف	طول	زمان t	$t^۲$	$\frac{x}{t^۲}$
۱	۰/۵			
۲	۱			
۳	۱/۵			
۴	۲			

۲ــ۹ــ حرکت بر خط راست با شتاب ثابت

هرگاه در حرکتی شتاب در لحظه‌های مختلف یکسان باشد، آن را حرکت با شتاب ثابت می‌نامیم. در این حالت نمودار سرعت ــ زمان به‌صورت یک خط راست است. چرا؟ در چنین حرکتی، شتاب متوسط بین هر دو لحظه دلخواه با شتاب متحرک در هر لحظه برابر می‌شود یعنی

$$\bar{a} = a = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱} \qquad (۲ــ۶)$$

اگر در رابطه (۲ــ۶) $t_۱ = ۰$ و $t_۲ = t$ اختیار شود، در این صورت $v_۱$ سرعت در لحظهٔ صفر با نماد $v_۰$ و سرعت در لحظهٔ t با نماد v نشان داده می‌شود و می‌توان نوشت:

$$a = \frac{v - v_۰}{t}$$

$$v = at + v_۰ \qquad (۲ــ۷)$$

دیدیم در حرکت با شتاب ثابت، نمودار سرعت ــ زمان بین دو لحظه یک خط راست است. می‌توان نشان داد که در حرکت با شتاب ثابت سرعت متوسط بین دو لحظه نصف مجموع سرعت‌های آن دو لحظه است.

$$\bar{v} = \frac{v_۱ + v_۲}{۲} \qquad (۲ــ۸)$$

مثال ۲ــ۱۳

متحرکی از حال سکون $(v_۰ = ۰)$ با شتاب ثابت $۲\,m/s^۲$ شروع به حرکت می‌کند. سرعت آن را در لحظهٔ $t_۱ = ۴s$ و $t_۲ = ۱۲s$ به‌دست آورید و نمودار سرعت ــ زمان آن را رسم کنید.

حل: بنا به رابطه (۲ــ۷):

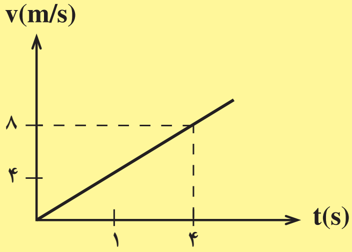
$$v = at + v_۰$$

$$v_۱ = ۲ \times ۴ + ۰$$

سرعت متحرک در $t_۱ = ۴s$: $v_۱ = ۸\,m/s$

سرعت متحرک در $t_۲ = ۱۲s$: $v_۲ = ۲ \times ۱۲ + ۰ \Rightarrow v_۲ = ۲۴\,m/s$

چون شتاب ثابت است، نمودار سرعت ــ زمان یک خط راست است. بنابراین، برای رسم آن مشخص نمودن دو نقطه از نمودار کافی است.



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۰	۸

شکل ۲ـ۳۴

مثال ۲ـ۱۴

سرعت متحرکی در لحظهٔ $t_۱ = ۴s$ برابر $۵\,m/s$ و سرعت آن در لحظه $t_۲ = ۱۲s$ برابر $۱۱m/s$ است، در صورتی که شتاب آن ثابت باشد، شتاب و سرعت آن را در لحظه صفر به‌دست آورید و نمودار سرعت ـ زمان آن را رسم کنید.

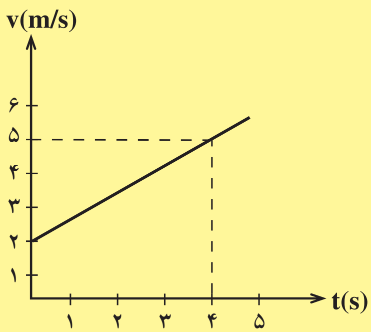
حل:

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_۲ - v_۱}{t_۲ - t_۱}$$

$$a = \frac{۱۱ - ۵}{۱۲ - ۴} = \frac{۶}{۸} = \frac{۳}{۴}\,m/s^۲$$

$$v = at + v_\circ \Rightarrow v_\circ = v - at$$

$$v_\circ = ۵ - \frac{۳}{۴} \times ۴ = ۲\,m/s$$



t(s)	۰	۴
v(m/s)	۲	۵

شکل ۲ـ۳۵

۲ــ۱۰ــ معادلهٔ مکان ــ زمان در حرکت با شتاب ثابت بر خط راست

بنا به رابطه‌های (۲ــ۱ و ۲ــ۸) در حرکت با شتاب ثابت

و از آنجا
$$\bar{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{v_1+v_2}{2}$$

$$\Delta x=\frac{v_1+v_2}{2}\Delta t \qquad (۲\text{ــ}۹)$$

در این رابطه Δx جابه‌جایی در بازهٔ Δt و v_1 و v_2 به‌ترتیب سرعت در لحظهٔ t_1 و سرعت در لحظهٔ t_2 است. اگر $t_1=0$ و $t_2=t$ و سرعت متحرک در این لحظه‌ها به‌ترتیب v_0 و v و مکان متحرک در این لحظه‌ها x_0 و x باشد در این صورت

$$x-x_0=\frac{v+v_0}{2}t$$

و بنا به رابطهٔ (۲ــ۷)

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

$$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0 \qquad (۲\text{ــ}۱۰)$$

این رابطه معادله مکان ــ زمان حرکت بر روی خط راست با شتاب ثابت است. اگر زمان را از رابطه (۲ــ۷) بدست آوریم و در رابطه (۲ــ۱۰) قرار دهیم رابطه‌ای بین مکان و سرعت، مستقل از زمان بدست می‌آید.

بنابه رابطه (۲ــ۷)
$$t=\frac{v-v_0}{a}$$

اگر در رابطه (۲ــ۱۰) به‌جای t مقدار اخیر را قرار دهیم خواهیم داشت :

$$x=\frac{1}{2}a\left(\frac{v-v_0}{a}\right)^2+v_0\left(\frac{v-v_0}{a}\right)+x_0$$

که با ساده‌کردن این رابطه داریم :

$$v^2-v_0^2=2a(x-x_0) \qquad (۲\text{ــ}۱۱)$$

مثال ۲ــ۱۵

متحرکی با شتاب ثابت $0/5\,m/s^2$ از حال سکون بر روی خط راست شروع به حرکت می‌کند. پس از $25m$ جابه‌جایی سرعت آن چقدر می‌شود؟

حل: بنا به رابطه (۲ــ۱۱) داریم :

$$v^{۲} - v_{\circ}^{۲} = ۲a(x - x_{\circ})$$

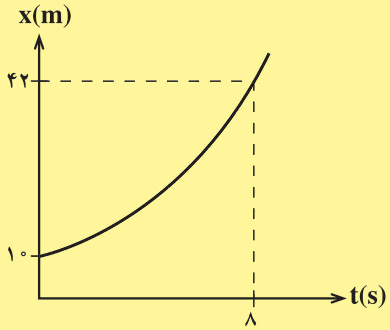
$$v^{۲} - \circ = ۲ \times \circ/۵(۲۵ - \circ)$$

$$v = ۵\,m/s$$

مثال ۲ــ۱۶

شکل روبرو نمودار مکان ــ زمان متحرکی است که با شتاب ثابت بر روی خط راست در حرکت است.

فرض کنید $v_{\circ} = ۲\,m/s$ است نمودار سرعت ــ زمان را رسم کنید.



شکل ۲ــ۳۶

حل:

$$x = \frac{۱}{۲}at^{۲} + v_{\circ}t + x_{\circ}$$

$$۴۲ = \frac{۱}{۲}a \times ۶۴ + ۱۶ + ۱\circ$$

$$۳۲ = ۶۴a \Rightarrow a = \circ/۵\,m/s^{۲}$$

$$v = at + v_{\circ}$$

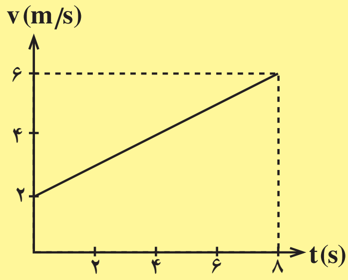
$$v = \circ/۵t + v_{\circ}$$

$$t = \circ \quad \Rightarrow \quad v_{\circ} = ۲\,m/s$$

$$t = ۸ \quad \Rightarrow \quad v = ?$$

$$v = at + v_{\circ}$$

$$\Rightarrow v = \circ/۵ \times ۸ + ۲ = ۶\,m/s$$

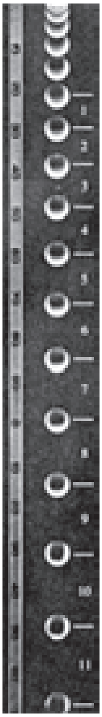


شکل ۲ــ۳۷

سقوط آزاد: سقوط آزاد نمونهٔ طبیعی حرکت با شتاب ثابت است. در این حرکت مسیر خط راست است و در هنگام سقوط، تنها نیروی وارد به جسم، وزن آن است[1]. مثل، سقوط یک جسم در

۱ــ بررسی کامل حرکت سقوط آزاد در فیزیک (۱) دورهٔ پیش‌دانشگاهی انجام می‌شود. در این کتاب **تنها** باید
←

خلأ یا سقوط یک گلولهٔ کوچک فلزی (ساچمه) در هوا که با تقریب خوبی می‌توان حرکت آن را سقوط آزاد فرض کرد. شکل (۲ــ۳۸) یک گلوله را در ضمن سقوط آزاد نشان می‌دهد که در بازه‌های زمانی مساوی و متوالی $\Delta t = \frac{۱}{۳۰} s$ از آن عکس گرفته شده است.



شکل ۲ــ۳۸

تجربه نشان داده است که در سقوط آزاد، شتاب برای همه اجسام یکسان است. بنابراین، معادله‌های حرکت و سرعت در سقوط آزاد همان معادله‌های حرکت با شتاب ثابت است. در سقوط آزاد نماد شتاب g است که آن را شتاب گرانش می‌نامند. بزرگی این شتاب در نزدیکی سطح زمین نزدیک به $۹/۸ m/s^۲$ است. در مواردی برای سهولت محاسبه، $g = ۱۰ m/s^۲$ فرض می‌شود.

در سقوط آزاد، جابه‌جایی در امتداد قائم است مکان متحرک به‌طور معمول با y نشان داده می‌شود و مبدأ نقطه‌ای است که سقوط از آن نقطه شروع می‌شود. اگر جهت مثبت رو به پایین اختیار شود معادله حرکت سقوط آزاد به‌صورت رابطه (۲ــ۱۲) و معادله سرعت به‌صورت رابطه (۲ــ۱۳) است.

$$y = \frac{۱}{۲} gt^۲ + v_۰ t \qquad (۲ــ۱۲)$$

$$v = gt + v_۰ \qquad (۲ــ۱۳)$$

شکل ۲ــ۳۹

$\rightarrow$
مثال‌هایی بررسی شوند که در آن جسم از ارتفاع مشخصی و **بدون** سرعت اولیه رها می‌شود. ارائه و ارزش‌یابی هر مسئله و پرسشی خارج از آن‌چه بیان شد، از هدف‌های برنامهٔ درسی این کتاب نیست.

مثال ۲ــ۱۷

یک سنگ کوچک از ارتفاع ۴/۹ متری زمین رها می‌شود.

الف ــ پس از چند ثانیه به زمین می‌رسد؟

ب ــ سرعت آن هنگام رسیدن به زمین چقدر است؟ $(g = ۹/۸ m/s^۲)$

حل: الف ــ

$$v_۰ = ۰ \qquad y = \frac{۱}{۲} g t^۲$$

$$۴/۹ = \frac{۱}{۲} \times ۹/۸ \times t^۲$$

$$t^۲ = \frac{۹/۸}{۹/۸} = ۱ \Rightarrow t = ۱s$$

ب ــ

$$v = gt$$

$$v = ۹/۸ \times ۱ = ۹/۸ \ \ m/s$$

تمرین ۲ــ۱۳

دو جسم A و B به‌ترتیب از ارتفاع‌های ۲۰ متری و ۴۵ متری بالای سطح زمین بدون سرعت اولیه به‌طور آزاد سقوط می‌کنند. زمان سقوط هرکدام چقدر است؟ و جسم B چند ثانیه پس از A به زمین می‌رسد و سرعت هریک از آن‌ها درلحظهٔ رسیدن به زمین چقدر است؟ ($g = ۱۰ m/s^۲$ فرض شود.)

تمرین‌های فصل دوم

۱ــ شکل ۲ــ۴۰ نمودار مکان ــ زمان حرکت یک دونده دوی استقامت بر روی یک خط راست را نشان می‌دهد.

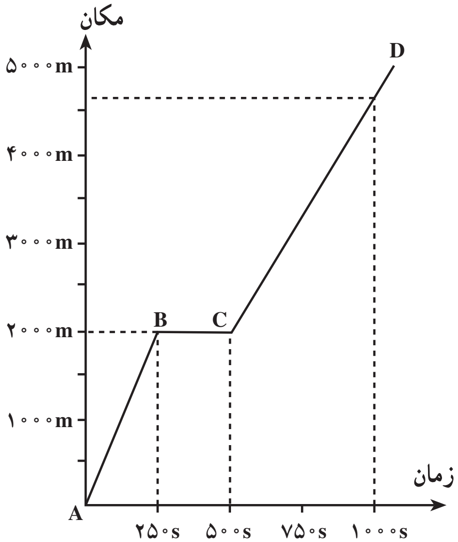
الف) بین کدام دو نقطه، دونده سریع‌تر در حال دویدن بوده است؟

ب) بین کدام دو نقطه، دونده ایستاده است؟

پ) سرعت دونده را بین دو نقطه‌ی A و B حساب کنید.

ت) سرعت دونده را بین دو نقطه‌ی C و D حساب کنید.

ث) سرعت متوسط دونده را در کل زمان حرکت حساب کنید.



شکل ۲ــ۴۰

۲ــ معادلهٔ حرکت جسمی که بر روی خط راست در حرکت است در SI به‌صورت $x = ۳t - ۴$ است.

الف ــ چه مدت پس از لحظهٔ صفر متحرک به مبدأ می‌رسد؟

ب ــ متحرک در لحظهٔ $t = ۱s$ در چه فاصله‌ای از مبدأ قرار دارد و جابه‌جایی آن بین دو لحظهٔ $t = ۱s$ و $t = ۵s$ چقدر است؟

۳ــ دانستن محل قرارگیری یک ماهواره در مأموریت‌های فضایی و اطمینان از اینکه ماهواره در مدار پیش‌بینی شده قرار گرفته، یکی از مأموریت‌های اصلی کارشناسان فضایی است. بدین‌منظور تپ‌های الکترومغناطیسی که با سرعت نور در فضا حرکت می‌کنند را به طرف ماهواره‌ی موردنظر ارسال کرده و بازتاب آن توسط ایستگاه زمینی دریافت می‌شود. اگر زمان رفت و برگشت یک تپ ۰/۳ ثانیه طول بکشد، فاصله‌ی ماهواره از ایستگاه زمینی، تقریباً چه مقدار است؟

۴ــ راننده‌ای فاصله بین دو شهر را به‌ترتیب زیر می‌پیماید.

ابتدا به مدت یک ساعت با سرعت متوسط ۱۵m/s رانندگی کرده و پس از آن به مدت ۱۰ دقیقه توقف می‌کند. آنگاه با سرعت متوسط ۲۰m/s به مدت ۳۰ دقیقه به رانندگی ادامه می‌دهد

و بقیه مسیر را تا مقصد به مدت یک ربع ساعت با سرعت متوسط ۱۲m/s رانندگی می‌کند.

الف ــ فاصله بین دو شهر چند کیلومتر است؟

ب ــ سرعت متوسط او در کل مسیر چند کیلومتر بر ساعت است؟

پ ــ سرعت متوسط او در طول مدت رانندگی چقدر است؟

۵ــ الف ــ اتومبیلی در یک مسیر دایره‌ای شکل به شعاع ۱۰۰ متر دور می‌زند. مسافتی که اتومبیل در نیم‌دور می‌پیماید، چند متر است؟ شکل مسیر را رسم و بردار جابه‌جایی را روی شکل مشخص کنید و بزرگی آن را به‌دست آورید.

ب ــ بزرگی جابه‌جایی اتومبیل را در یک چهارم دور حساب کنید.

ج ــ جابه‌جایی اتومبیل در یک دور کامل چقدر است؟

۶ــ سرعت یک اتومبیل در مدت ۲۰ ثانیه بر روی یک مسیر مستقیم از ۱۰m/s به ۱۸m/s می‌رسد.

الف ــ شتاب متوسط اتومبیل در این مدت چقدر است؟

ب ــ اگر سرعت اتومبیل با همین شتاب تغییر کند، پس از چه مدت سرعت آن به ۱۰۸ کیلومتر بر ساعت می‌رسد؟

۷ــ سرعت فضاپیمایی ۳۰ ثانیه پس از شروع حرکت به ۱۲۰۰km/h می‌رسد. شتاب متوسط آن چقدر است؟ این شتاب چند برابر $g = ۹/۸ m/s^۲$ است؟

۸ــ راننده اتومبیلی که با سرعت ۷۲km/h در حرکت است، در یک لحظه مانعی را مقابل خود می‌بیند و سرعت خود را کم می‌کند به‌طوری که پس از ۸ ثانیه می‌ایستد.

الف ــ شتاب متوسط حرکت از لحظهٔ کند شدن حرکت تا توقف آن چقدر است؟

ب ــ اگر در مدت کند شدن حرکت اتومبیل، شتاب آن ثابت فرض شود، اتومبیل چه مسافتی را تا لحظهٔ توقف پیموده است؟

۹ــ اتومبیلی در مسیری مستقیم با شتاب ثابت شروع به حرکت می‌کند و پس از ۲۰ ثانیه سرعتش به ۳۶km/h می‌رسد. سپس با همین سرعت به مدت ۱۰ دقیقه به حرکتش ادامه می‌دهد. پس از آن ترمز می‌کند و بعد از ۵ ثانیه متوقف می‌شود. اگر در مدت ترمز کردن شتاب ثابت باشد،

الف ــ جهت سرعت و شتاب حرکت را در هر مرحله معلوم کنید.

ب ــ نمودار سرعت ــ زمان را از لحظهٔ شروع حرکت تا لحظهٔ توقف اتومبیل رسم کنید.

۱۰ــ متحرکی که بر روی خط راست با شتاب ثابت در حرکت است در فاصله ۱۰ متری مبدأ

سرعتش $4m/s$ و در فاصله ۱۹ متری مبدأ سرعتش $18 km/h$ است.

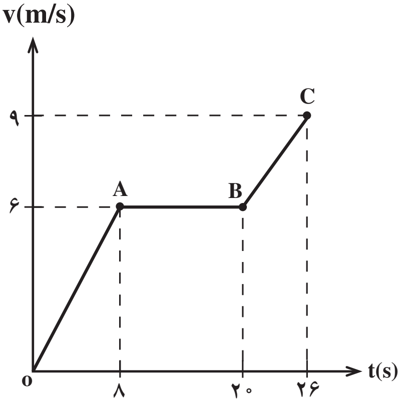
الف ــ شتاب حرکت آن چقدر است؟

ب ــ پس از چه مدت از ۱۰ متری مبدأ به ۱۹ متری مبدأ رسیده است؟

۱۱ــ شکل ۲ــ۴۱ نمودار سرعت ــ زمان متحرکی را در ۲۶ ثانیه نشان می‌دهد.

الف ــ شتاب هر یک از مرحله‌های OA و AB و BC چقدر است؟

ب ــ شتاب متوسط در بازه صفر تا ۲۶ ثانیه چقدر است؟



شکل ۲ــ۴۱

۱۲ــ سنگ کوچکی از لبهٔ پلی بدون سرعت اولیه سقوط می‌کند و پس از ۱/۵ ثانیه به سطح آب برخورد می‌کند. ارتفاع پل از سطح آب و سرعت سنگ‌ریزه در موقع رسیدن به سطح آب چقدر است؟ ($g = 9/8 m/s^2$ فرض شود.)

۱۳ــ گلولهٔ کوچکی از بالای ساختمانی رها می‌شود. وقتی در ارتفاع ۱۵ متری بالای زمین قرار دارد سرعتش $10 m/s$ است.

الف ــ سرعت سنگ در لحظه رسیدن به زمین چقدر است؟

ب ــ ارتفاع ساختمان و سرعت متوسط گلوله در مدت سقوط چقدر است؟ ($g = 10 m/s^2$ فرض شود.)