فصل ۱

حرکت روی خط راست

در چه شرایطی یک پر و یک گوی ارتفاع یکسانی را در زمان مساوی طی می‌کنند؟

سیمای فصل

۲-۱ مکان و جابه‌جایی

۲-۲ سرعت متوسط

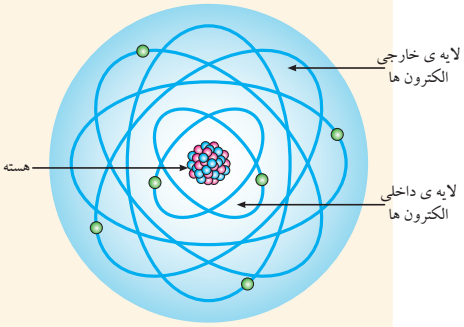
۲-۳ حرکت یکنواخت روی خط راست

۲-۴ شتاب

۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

۲-۶ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

- پرسش‌های مفهومی
- مسئله‌ها



حرکت روی خط راست

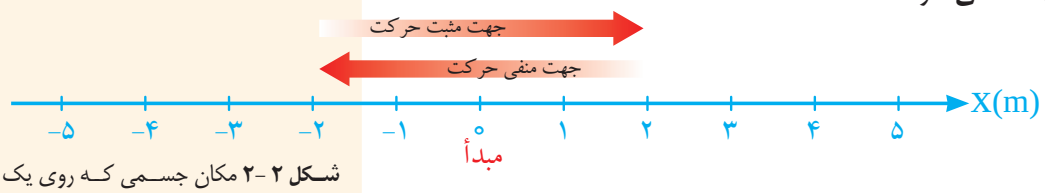
جهان و هرچه در اوست همواره در حرکت‌اند. زمین، افزون بر آن‌که به دور خود می‌چرخد، به دور خورشید نیز دوران می‌کند. خورشید به دور مرکز کهکشان راه شیری وکهکشان راه شیری نسبت به کهکشـان‌های دیگر حرکت می‌کند. کوچک‌ترین جزء سازنده‌ی ماده، یعنی اتم، از ذره‌های بسیار ریزی تشکیل شده است که آن‌ها نیز همواره درحرکت‌اند(شکل۲-۱).

در این فصل علاوه بر آشـنایی با مفاهیم بنیادی حرکت به توصیف و بررسی حرکت جسم روی خط راست نیز خواهیم پرداخت.

شکل۲-۱ حرکت اجسام در مقیاس‌های بسیار کوچک و بسیار بزرگ

۲-۱ مکان و جابه‌جایی

برای بررسـی حرکت هر جسـم ابتدا لازم است مکان آن را نسبت به یک **نقطه‌ی مرجع** تعیین کنیم. در صورتی که حرکت جسـم در یک بعد و روی خط راست باشد نقطه‌ی مرجع اغلب **مبداء** (یـا نقطه‌ی صفر) محوری مانند محور X در شـکل ۲-۲ در نظر گرفته می‌شـود. **جهت مثبت** حرکت در جهت افزایش عددها (مختصات) است که در شکل ۲-۲ به سمت راست در نظر گرفته شده است. جهت مخالف آن **جهت منفی** حرکت است.



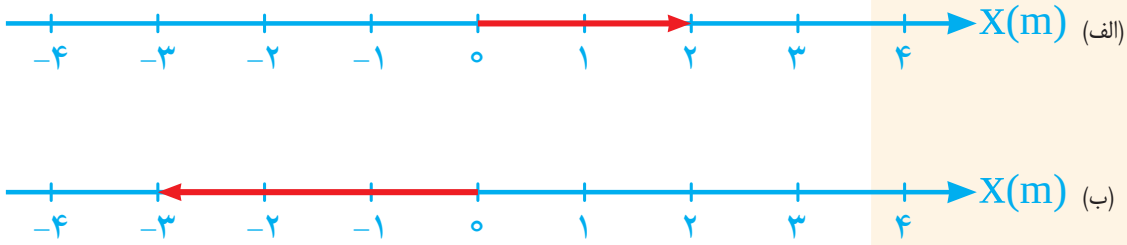
شـکل ۲-۲ مکان جسـمی کـه روی یک محور تعیین می‌شـود بر حسب یکای طول(در اینجا متر) نشانه‌گذاری می‌شود و در دو جهت تـا بی‌نهایت ادامه دارد. نام محور، در اینجا X، همواره در قسمت مثبت مبدأ قرار دارد.

به عنوان مثال، اگر ذره‌ای در $X=۴m$ قرار داشـته باشـد، به معنای آن است که به فاصله‌ی ۴m در طرف مثبت مبدأ قرار دارد. اگر ذره در$X=-۴m$ باشد، در این صورت به همان فاصله از مبدأ ولی در طرف مخالف واقع اسـت. در صورتی‌که ذره‌ای در طرف مثبت مبدأ قرار داشته باشد لزومی ندارد علامت مثبت را برای مختصه‌ی مکان بگذارید ولی در صورتی‌که ذره یا جسم در سمت منفی مبدأ باشد علامت منفی **حتماً** باید برای مختصه‌ی مکان نشان داده شود.

با توجه به این ویژگی مکان، برای هر وضعیت جسم نسبت به مبداء مختصات بردار مکان تعریف

می‌شود. برداری که از مبداء مختصات به مکان جسم رسم شود **بردار مکان** نامیده می‌شود.

شـکل ۲-۳ الف و ب بردار مکان مربوط به ذره‌ی متحرکی را به ترتیب در مکان‌های $x = ۲m$ و $x = -۳m$ نشان می‌دهد.



شـکل ۲-۳ بـردار مـکان از مبـداء مختصـات بـه مکان جسم رسم می‌شود.

مثال ۲-۱

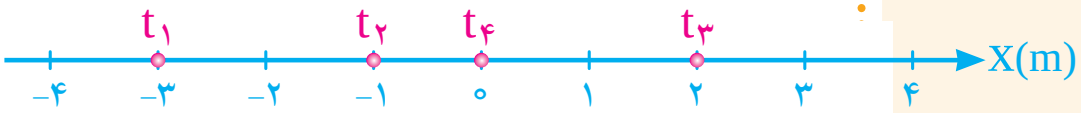
جسـمی که در امتداد محور x در حرکت اسـت در هریک از لحظه‌های $t_۱$، $t_۲$، $t_۳$ و $t_۴$ به ترتیب در مکان‌های $-۳m$ ، $-۱m$ ، $۲m$ و ۰ قرار دارد.

الف) مکان متحرک را در هریک از این لحظه‌ها روی محور x تعیین کنید.

ب) مختصه‌ی مکان متحرک را به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر بنویسید.

پ) در کـدام بـازه‌ی زمانی جهت حرکـت متحرک مثبت و در کدام بـازه‌ی زمانی منفی است؟

حل: الف) شکل ۲-۴ مکان متحرک را در لحظه‌های مورد نظر نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴

ب) مختصه‌ی $-۳m$ ، کوچک‌تر از $-۱m$ اسـت. همین‌طور مختصه‌ی $-۱m$ کوچک‌تر از ۰ و $۲m$ اسـت. بنابراین مختصه‌ی مکان متحرک به ترتیب از کوچک‌تر به بزرگ‌تر به‌صورت $-۳m$، $-۱m$، $۰m$ و $۲m$ است.

پ) در بـازه‌ی زمانـی $t_۱$ تا $t_۳$ جهت حرکت مثبت و در بازه‌ی زمانی $t_۳$ تا $t_۴$ جهت حرکت منفی است. توجه کنید در بازه‌ی زمانی $t_۳$ و $t_۴$ متحرک از مکان $x = ۲m$ به مکان $x = ۰$ برگشته است.

جابه‌جایی: تغییر مکان متحرک از $x_۱$ به مکان دیگر $x_۲$ ، **جابه‌جایی** Δx نامیده می‌شـود که برابر است با

$$\Delta x = x_۲ - x_۱$$

هرگاه متحرک در جهت مثبت محور x حرکت کند جابه‌جایی مثبت است (به سمت راست شکل ۲-۲)، و در صورتی‌که در جهت منفی محور x حرکت کند جابه‌جایی منفی است (به سمت چپ شکل ۲-۲).

برای مثـال، اگرذره‌ای از $x_1=4m$ به $x_2=11m$ حرکـت کند، آنگاه $\Delta x=(11m)-(4m)=+7m$. نتیجـه‌ی مثبت بدان معناسـت که حرکت یا جابه‌جایی در جهت مثبت بوده اسـت. ولی اگر ذره‌ای از $x_1=4m$ بـه $x_2=1m$ برود، آنگاه $\Delta x=(1m)-(4m)=-3m$. نتیجه‌ی منفی نشـان می‌دهد که حرکـت یـا جابه‌جایی ذره در جهت منفی بوده اسـت. نکته‌ی مهمی که در اینجـا باید به آن توجه شود آن است که جابه‌جایی یک متحرک تنها به نقطه‌های آغازی و پایانی آن بستگی دارد و مقدار مسافت پیموده‌شده در طی حرکت مهم نیست.

برای روشن‌تر شدن این موضوع فرض کنید ذره‌ای از $x=3m$ تا $x=15m$ حرکت کند و سپس به $x=3m$ برگردد، دراین صورت جابه‌جایی از آغاز تا پایان حرکت برابر است با $\Delta x=(3m)-(3m)=0$. همان‌طورکه دیده می‌شـود مسافت پیموده شده توسـط متحرک $24m$ است (چرا؟) در صورتی‌که جابه‌جایی آن صفر اسـت. زیرا به مکان اولیه‌ی خود بازگشـته است. علامت مثبت جابه‌جایی لازم نیسـت نشان داده شـود ولی علامت منفی باید همواره نشـان داده شود. برای مثال $\Delta x=+3m$ و $\Delta x=3m$ هردو به‌معنای جابه‌جایی به اندازه‌ی $3m$ در جهت مثبت محور x اسـت در صورتی‌که $\Delta x=-3m$ به‌معنـای جابه‌جایـی به انـدازه‌ی $3m$ در جهت منفی محور x اسـت. به این ترتیب همان‌طور که دیده می‌شود **اندازه** یا **بزرگی** جابه‌جایی‌های $\Delta x=3m$ و $\Delta x=-3m$ مساوی و برابر $3m$ است در حالی‌که جهت آن‌ها مخالف یکدیگر است. بنابراین

جابه‌جایی کمیتی برداری است که علاوه بر بزرگی جهت نیز دارد.

هشـدار: توجـه کنیـد کـه Δx حاصـل ضـرب Δ در x نیسـت، بلکـه ایـن یک تک‌نماد است با معنای «تغییر در کمیت x». همواره بـرای نمایش تغییر در یک کمیت از حرف یونانی Δ (دلتا) اسـتفاده می‌کنیم. تغییـر در یک کمیت برابر اسـت با مقدار پایانـی کمیت منهای مقـدار آغازی آن و هرگزبرعکس نیست.

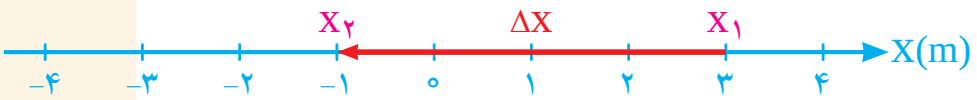
شبیه‌سازی

- بردار جابه‌جایی

مثال ۲-۲

مکان آغازی و پایانی ذره‌ی متحرکی به ترتیب $x_1=3m$ و $x_2=-1m$ است. بردار جابه‌جایی این متحرک را روی محور xها نشان دهید.

حل: کافی اسـت مکان آغازی و پایانی متحرک را روی محور x تعیین و سـپس این دو نقطه را توسط یک بردار به هم وصل کنیم.



شکل ۲-۵ بردار جابه‌جایی، $\Delta x=(-1m)-(3m)=-4m$، بزرگی این بردار $4m$ و جهت آن به سمت چپ است.

در پایان این بخش نگاهی خواهیم داشت به این‌که اساساً حرکت امری نسبی است. به این منظور فرض کنید که درون اتوبوس در حال حرکتی نشسته‌اید. شخصی که روی صندلی مقابل شماست از نظر شما هیچ‌گونه حرکتی ندارد و ساکن است.در حالی‌که همین شخص از دید کسی که در بیرون اتوبوس در کنار خیابان ایستاده است و از پنجره‌ی اتوبوس او را می‌بیند ساکن نیست و همراه اتوبوس در حال حرکت است. با توجه به مثال‌هایی از این قبیل می‌توان نتیجه گرفت که سکون و حرکت هر جسم نسبت به اجسام دیگر سنجیده می‌شود. به عبارت دیگر **حرکت و سکون مفاهیمی نسبی‌اند.** به‌طور کلی اگر بردار مکان ذره‌ای در یک دستگاه مختصات معین با گذشت زمان تغییر نکند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه ساکن است. ولی اگر بردار مکان ذره با گذشت زمان تغییر کند می‌گوییم ذره نسبت به آن دستگاه در حال حرکت است.

۲-۲ سرعت متوسط

فرض کنید ذره‌ی متحرکی در لحظه‌ی t_1 در مکان x_1 و در لحظه‌ی t_2 در مکان x_2 واقع است (شکل ۲-۶). بنابر تعریف نسبت جابه‌جایی ذره، $\Delta x=x_2-x_1$ ، به بازه‌ی زمانی این جابه‌جایی، $\Delta t=t_2-t_1$، **سرعت متوسط** ذره نامیده می‌شود. یعنی

$$\overline{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}$$

که در این رابطه $\overline{v}$ نماد سرعت متوسط است و یکای آن در SI، متر بر ثانیه (m/s) است.

شکل ۲-۶

از آنجاکه $\Delta t = t_2-t_1$ همواره مقداری مثبت است لذا جابه‌جایی و سرعت متوسط دارای یک علامت‌اند. به بیان دیگر، سرعت متوسط نیز کمیتی برداری است که با بردار جابه‌جایی هم‌جهت است. برای مثال، اگر جهت جابه‌جایی متحرک به طرف مثبت محور x باشد، جهت سرعت متوسط نیز به همین طرف است.

مثال ۲-۳

متحرکی در لحظه‌ی $t_1=0$ از مبداء زمان می‌گذرد و در لحظه‌ی $t_2=2s$ به ۸ متری مبدأ می‌رسد. سرعت متوسط متحرک را در این بازه‌ی زمانی پیدا کنید.

حل: ابتدا داده‌های مسئله را می‌نویسیم

$$(t_1=0 \text{ و } x_1=0) \text{ و } (t_2=2s \text{ و } x_2=8m)$$

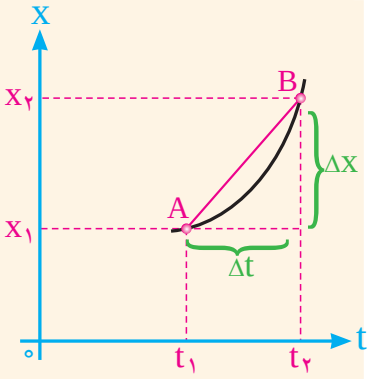
با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم

$$\overline{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{(8m)-(0)}{(2s)-(0)}=4m/s$$

توجه کنید که مقدار سرعت متوسط 4m/s و جهت آن به طرف مثبت محور x است.

مثال ۲-۴

مکان جسمی را که روی یک خط راست، مثلاً محور x ها، حرکت می‌کند می‌توان مانند شکل ۲-۷ بر حسب زمان روی نموداری رسم کرد. نمودار حاصل را نمودار مکان- زمان و یا به اختصار نمودار x-t می‌نامند. در این نمودار محور افقی برای نشان دادن زمان به کار رفته است و مبداء آن، با عدد صفر مشخص شده است. همین‌طور محور قائم برای نشان دادن مکان جسم به کار رفته است.



شکل ۲-۷

الف) مزیت این نمودار چیست؟

ب) شیب پاره‌خط AB را در این نمودار به‌دست آورید و بگویید مقدار به دست آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟

حل: الف) از نمودار مکان- زمان می‌توان دریافت که در یک زمان معین جسم کجا بوده است، یعنی مکانش چه بوده یا چه وقت جسم در مکان معینی قرار داشته است. دقت کنید که نمودار مکان- زمان شکل ۲-۷ را به عنوان نمودار مسیر حرکت جسم روی صفحه درنظر نگیرید! در اینجا مسیر حرکت جسم روی خط راست است که بر محور x منطبق است.

ب) از روی نمودار شکل ۲-۷ پیداست که شیب پاره‌خط AB برابر است با:

$$\text{شیب پاره‌خط AB} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

که در واقع همان سرعت متوسط متحرک است.

مثال ۲-۵

معادله‌ی مکان- زمان جسمی که در امتداد محور x حرکت می‌کند در SI به صورت $x=2t^2-t+4$ است. سرعت متوسط متحرک بین دو لحظه‌ی $t_1=2s$ و $t_2=4s$ چقدر است؟

حل: ابتدا مکان متحرک را در دو لحظه‌ی مورد نظر پیدا می‌کنیم:

$$x_1=2(2)^2-2+4=10m$$

$$x_2=2(4)^2-4+4=32m$$

با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\overline{v}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}=\frac{(32m)-(10m)}{(4s)-(2s)}=11m/s$$

هشدار: همواره یکاها را در محاسبه‌های خود بنویسید. هنگامی که در یک مسئله به انجام محاسبه‌هایی با استفاده از عددها ویکاها نیاز باشد **همواره** عددها را با یکاهای درست بنویسید و با یکاها در تمام محاسبه‌ها مانند مثال ۲-۵ رفتار کنید. این کار آزمون بسیار مفیدی برای محاسبه‌هاست. اگر در مرحله‌ای از یک محاسبه دریافتید که یک معادله یا رابطه دارای یکاهای ناسازگار است متوجه می‌شوید که در جایی اشتباه کرده‌اید. در این کتاب همواره یکاها را در تمامی محاسبه‌ها وارد می‌کنیم و به شما قویاً توصیه می‌کنیم که هرگاه مسئله‌ای حل می‌کنید همین کار را انجام دهید.

مثال ۲-۶

شناگری طول یک استخر ۲۵ متری را در مدت ۴۰ ثانیه رفته و در مدت ۵۰ ثانیه برگشته است. سرعت متوسط این شناگر در طول مسیر رفت و برگشت چقدر است؟

حل: چون شناگر پس از طی طول استخر در دو مرحله‌ی رفت و برگشت، به مکان اولیه‌ی خود بازگشته است لذا جابه‌جایی آن $\Delta x=0$ است. بنابراین سرعت متوسط شناگر نیز در طول مسیر رفت و برگشت صفر خواهد بود. توجه کنید تعریف سرعت متوسط در فیزیک با تعریفی که در مسابقه‌های ورزشی یا در جاهای دیگر استفاده می‌شود متفاوت است. برای مثال در مسابقه‌های ورزشی مانند شنا، نسبت مسافت پیموده شده (نه جابه‌جایی) به زمان انجام آن سرعت متوسط یا سرعت میانگین نامیده می‌شود که در این کتاب از این تعریف استفاده نمی‌شود.

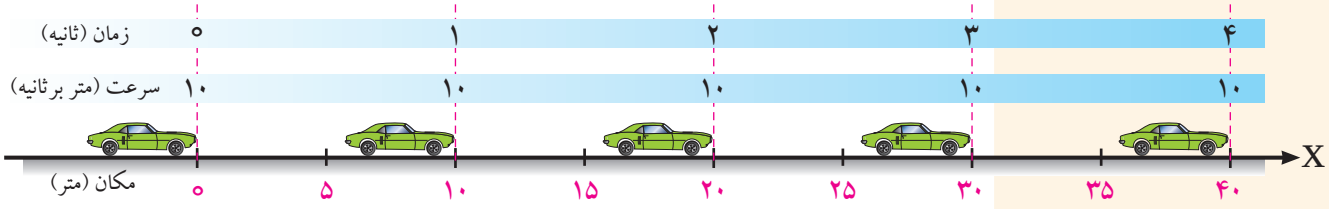
فعالیت ۲-۱

در صورتی‌که جسمی حرکت نکند، یعنی ساکن باشد، نمودار مکان- زمان آن را رسم کنید.

۲-۳ حرکت یکنواخت روی خط راست

اتومبیلی را در نظر بگیرید که روی خط راست در حرکت است. مکان این اتومبیل در زمان‌های مختلف مشخص شده است (شکل ۲-۸). سرعت متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه محاسبه شده و در جدول ۲-۱ آمده است. به‌طوری‌که می‌بینید سرعت متوسط این اتومبیل در هر بازه‌ی زمانی دلخواه ثابت است. اگر سرعت متوسط یک متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با **سرعت ثابت** حرکت می‌کند. در این صورت سرعت در هر لحظه با سرعت متوسط متحرک برابر است، یعنی $v=\overline{v}$. با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$v=\overline{v}=\frac{x_2-x_1}{t_2-t_1}$$



شکل ۲-۸ حرکت یکنواخت اتومبیلی در امتداد محور x

اگر لحظه‌ی t_1 را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی $t_1=0$ ، و مکان اولیه‌ی متحرک را نسبت به مبدأ با x_0 نشان دهیم $(x_1=x_0)$، خواهیم داشت:

$$v=\frac{x-x_0}{t} \quad \text{یا} \quad x=vt+x_0$$

که در آن x مکان متحرک در لحظه‌ی t است. این معادله را، معادله‌ی **حرکت یکنواخت** روی خط راست می‌نامند.

جدول ۲-۱ سرعت متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

سرعت متوسط $\overline{v}=\Delta x/\Delta t$ (m/s)	جابه‌جایی Δx (m)	بازه‌ی زمانی Δt (s)	لحظه‌ی پایانی t_2(s)	لحظه‌ی آغازی t_1(s)
۱۰/۱=۱۰	۱۰-۰=۱۰	۱-۰=۱	۱	۰
۱۰/۱=۱۰	۲۰-۱۰=۱۰	۲-۱=۱	۲	۱
۲۰/۲=۱۰	۴۰-۲۰=۲۰	۴-۲=۲	۴	۲
۴۰/۴=۱۰	۴۰-۰=۴۰	۴-۰=۴	۴	۰

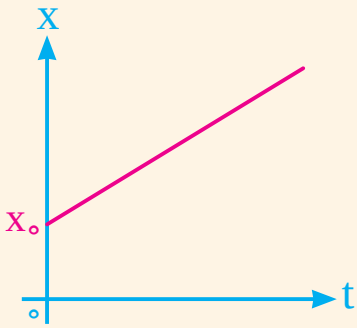
آزمایشگاه مجازی

- حرکت در یک بعد (مرد متحرک)

مثال ۲-۷

نمودار مکان- زمان جسمی که با سرعت ثابت (به‌طور یکنواخت) روی یک خط راست در جهت محور x حرکت می‌کند، رسم کنید. (فرض کنید در مبداء زمان متحرک در فاصله‌ی x_0 از طرف راست مبداء مکان است.)

حل: چون در حرکت یکنواخت سرعت ثابت است، شیب خط مماس بر نمودار مکان- زمان باید همواره مقدار ثابتی باشد. پس نمودار x-t یک خط راست است که در شکل ۲-۹ رسم شده است. روشن است که هرچه سرعت متحرک بیش‌تر باشد شیب نمودار مکان- زمان نیز بیش‌تر خواهد شد. (چرا؟)



شکل ۲-۹ نمودار مکان- زمان حرکت یکنواخت روی خط راست. دراین نمودار x_0 مقداری مثبت ودر طرف راست مبدأ است.

مثال ۲-۸

معادله‌ی حرکت متحرکی در SI به صورت $x=12t-24$ است.

الف) جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟

ب) در چه لحظه‌ای متحرک به مبداء مکان می‌رسد؟

پ) نمودار مکان- زمان متحرک را رسم کنید.

حل: الف) مکان متحرک در لحظه‌های $t=0$ و $t=1s$ به‌ترتیب برابر است با:

$$x_1=x_0=12\times0-24=-24m$$

$$x_2=x=12\times1-24=-12m$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک در ثانیه‌ی اول حرکت برابر است با:

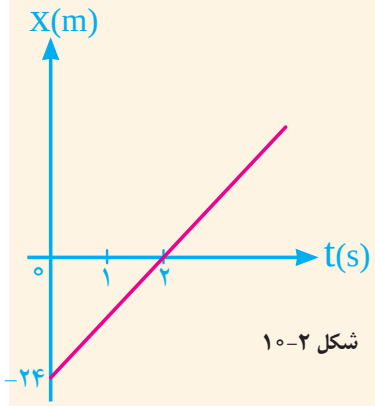
$$\Delta x=x-x_0=(-12m)-(-24m)=12m$$

ب) وقتی متحرک به مبداء مکان می‌رسد که $x=0$ باشد بنابراین با استفاده از معادله‌ی مکان- زمان در مبداء مکان داریم:

$$0=12t-24 \Rightarrow t=2s$$

پ) برای رسم نمودار کافی است مختصات دو مکان متحرک را در دو لحظه‌ی دلخواه روی نمودار x-t تعیین کنید (شکل ۲-۱۰).

t (s)	x (m)
۰	-۲۴
۲	۰



شکل ۲-۱۰

مثال ۲-۹

اتومبیلی با سرعت ثابت ۷۲km/h در امتداد خط راست حرکت می‌کند. چه مدت طول می‌کشد تا جابه‌جایی اتومبیل برابر ۵۰۰ متر باشد؟

حل: ابتدا یکای سرعت را از km/h به m/s تبدیل می‌کنیم. درنتیجه داریم:

$$۷۲\frac{km}{h}=۷۲\times\frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s}=۷۲\times\frac{۱۰}{۳۶}\frac{m}{s}=۲۰m/s$$

با استفاده از معادله‌ی حرکت یکنواخت $x=vt+x_۰$ خواهیم داشت:

$$\Delta x=x-x_۰=vt \Rightarrow ۵۰۰m=(۲۰m/s)t \Rightarrow t=۲۵s$$

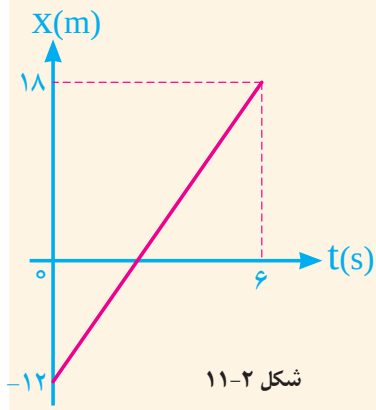
تمرین ۲-۱

شکل ۲-۱۱ نمودار مکان- زمان متحرکی را در ۶ ثانیه‌ی اول حرکت نشان می‌دهد.

الف) نوع حرکت متحرک را تعیین کنید.

ب) معادله‌ی حرکت متحرک را بنویسید.

پ) جابه‌جایی متحرک در ۲ ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟



شکل ۲-۱۱

۲-۴ شتاب متوسط

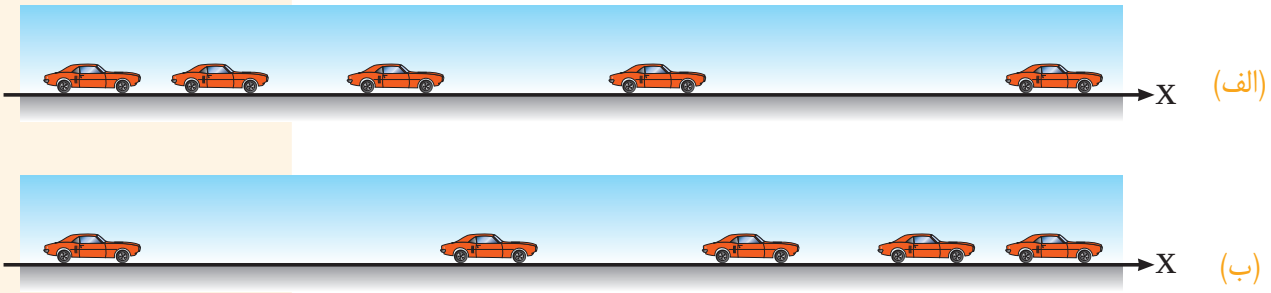
هرگاه سرعت متحرکی تغییر کند، گفته می‌شود که ذره شتاب گرفته یا حرکت آن شتابدار است (شکل ۲-۱۲). برای حرکت در راستای یک خط راست، **شتاب متوسط** $\bar{a}$ در بازه‌ی زمانی Δt عبارت است از:

$$\text{شتاب متوسط}=\frac{\text{تغییر سرعت}}{\text{مدت زمان لازم برای تغییر سرعت}}$$

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

که در آن متحرک در لحظه‌ی $t_۱$ دارای سرعت $v_۱$ و در لحظه‌ی $t_۲$ دارای سرعت $v_۲$ است. یکای شتاب در SI متر بر مجذور ثانیه است که با نماد $m/s^۲$ نشان داده می‌شود.

شـتاب نیز مانند جابه‌جایی و سـرعت کمیتی برداری اسـت؛ یعنی هم دارای بزرگی و هم دارای جهت است. علامت جبری شتاب جهت آن را روی یک محور نمایش می‌دهد. شتاب با مقدار مثبت در جهت مثبت محور و شتاب با مقدار منفی در جهت منفی محور است.



شـکل ۲-۱۲ حرکت شـتابدار اتومبیل ناشـی از افزایش سـرعت (شکل الف) و ناشی ازکاهش سرعت (شکل ب).

مثال ۲-۱۰

اتومبیلی از حال سکون در امتداد محور x شروع به حرکت می‌کند و پس از ۸ ثانیه سرعت آن به ۲۴m/s می‌رسد. شتاب متوسط آن را حساب کنید.

حل: با توجه به فرض‌های مسئله و تعریف شتاب متوسط داریم:

$$\Delta v = v_2 - v_1 = (۲۴\ m/s) - (۰) = ۲۴ m/s$$

$$\Delta t = ۸ s$$

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{۲۴ m/s}{۸ s} = ۳ m/s^2$$

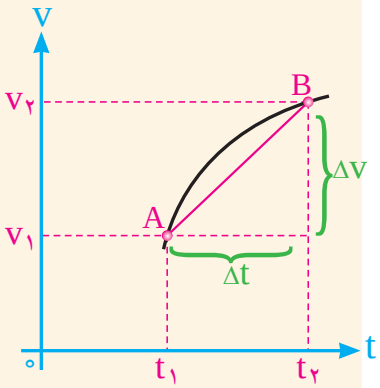
علامت مثبت نشان می‌دهد که شتاب اتومبیل در جهت مثبت محور x است.

مثال ۲-۱۱

اگر سرعت لحظه‌ای جسمی را که روی یک خط راست حرکت می‌کند مانند شکل ۲-۱۳ بر حسب زمان روی یک نمودار رسم کنیم، نمودار حاصل را نمودار سرعت- زمان یا نمودار v-t می‌نامند.

الف) مزیت نمودار v-t چیست؟

ب) شـیب پاره‌خط AB را در این نمودار به دسـت آورید و بگویید مقدار به دسـت آمده نشان‌دهنده‌ی چه کمیتی است؟



شکل ۲-۱۳

حل: الف) از این نمودار می‌توان سرعت جسم را در هر لحظه معین کرد.

ب) از این نمودار پیداست که شیب پاره‌خط AB برابر است با:

$$\text{شیب پاره‌خط AB} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

با توجه به تعریف شـتاب متوسط،شـیب پاره‌خط AB همان شتاب متوسط جسم در حال حرکت است.

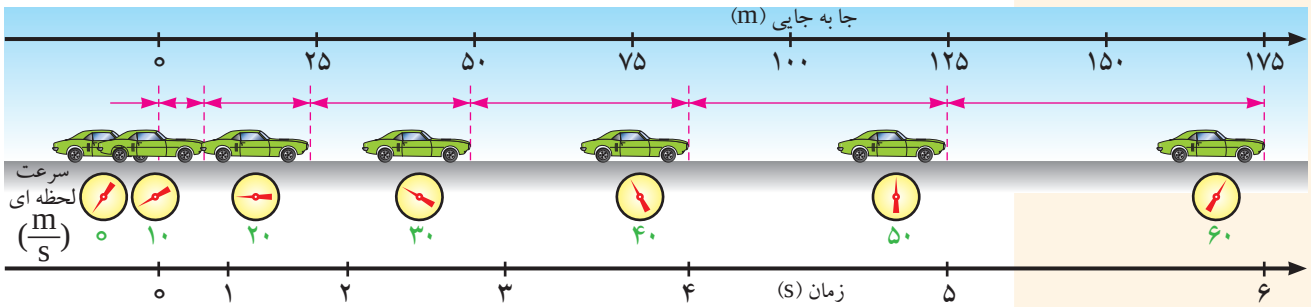
تمرین ۲-۲

شتاب متوسط متحرکی که در مدت ۰/۵ ثانیه سرعت آن از ۱cm/s به ۹۹cm/s می‌رسد چند m/s^2 است؟

۲-۵ حرکت با شتاب ثابت روی خط راست

شکل ۲-۱۴ اتومبیلی را نشان می‌دهد که روی یک خط راست در امتداد محور X حرکت می‌کند. در جدول ۲-۲ شتاب متوسط این اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه حساب شده است. همان‌طور که دیده می‌شود شتاب متوسط این اتومبیل در تمام بازه‌های زمانی یکسان است.

اگر شتاب متوسط متحرکی درهر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، شتاب متحرک ثابت و برابر شتاب متوسط است. توجه کنید که دراین حرکت تغییر سرعت درهر بازه‌ی زمانی مساوی، یکسان است.



شکل ۲-۱۴ حرکت با شتاب ثابت

به این ترتیب درصورتی که شتاب متوسط یک متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه یکسان باشد، متحرک با **شتاب ثابت** حرکت می‌کند. پس شتاب در هر لحظه با شتاب متوسط برابر است، یعنی $a=\bar{a}$ با توجه به تعریف شتاب متوسط داریم:

$$a=\bar{a}=\frac{v_2-v_1}{t_2-t_1}$$

اگر لحظه‌ی t_1 را مبداء زمان انتخاب کنیم، یعنی $t_1=0$ ، و سرعت اولیه‌ی متحرک را با v_0 نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$a=\frac{v-v_0}{t} \quad \text{یا} \quad v=at+v_0$$

که در آن v سرعت متحرک در لحظه‌ی t است. این معادله را، معادله‌ی سرعت – زمان حرکت با شتاب ثابت روی خط راست می‌نامند.

جدول ۲-۲ شتاب متوسط اتومبیل در چند بازه‌ی زمانی دلخواه

شتاب متوسط $\bar{a}=\Delta v/\Delta t(m/s^2)$	تغییر سرعت Δv (m/s)	بازه‌ی زمانی Δt (s)	لحظه‌ی پایانی t_2(s)	لحظه‌ی آغازی t_1(s)
۱۰/۱=۱۰	۱۰-۰=۱۰	۱-۰=۱	۱	۰
۱۰/۱=۱۰	۲۰-۱۰=۱۰	۲-۱=۱	۲	۱
۲۰/۲=۱۰	۵۰-۳۰=۲۰	۵-۳=۲	۵	۳

فعالیت عملی

- بررسی حرکت شتاب ثابت

شبیه‌سازی

- مقایسه‌ی حرکت با سرعت ثابت و شتاب ثابت

مثال ۲-۱۲

موتور سـواری با شتاب ثابت $۲m/s^۲$ بر مسیری مستقیم از حال سکون شروع به حرکت می‌کند. پس از ۱۰ ثانیه سرعت آن چقدر خواهد شد؟

حل: باتوجه به داده‌های مسئله داریم:

$$a = ۲m/s^۲ \quad \text{و} \quad v_۰ = ۰ \quad \text{و} \quad t = ۱۰s \quad \text{و} \quad v = ?$$

$$v = at + v_۰ = (۲m/s^۲)(۱۰s) + ۰ = ۲۰m/s$$

حرکت این موتور سوار **تند شونده** است زیرا همان‌طور که دیده می‌شود سرعت آن با گذشت زمان افزایش یافته است.

مثال ۲-۱۳

اتومبیلی با سرعت $۵۴km/h$ در حرکت است. راننده ترمز می‌کند و اتومبیل پس از مدت ۱۰ ثانیه می‌ایستد. اگر شتاب اتومبیل در این مدت ثابت باشد مقدار آن را حساب کنید.

حل:

$$v_۰ = ۵۴km/h = ۵۴ \times \frac{۱۰۰۰m}{۳۶۰۰s} = ۱۵m/s$$

$$a = ? \quad \text{و} \quad v = ۰ \quad \text{و} \quad t = ۱۰s$$

$$v = at + v_۰ \Rightarrow ۰ = a \times (۱۰s) + (۱۵m/s) \Rightarrow a = -۱/۵m/s^۲$$

حرکت این اتومبیل **کند شونده** است زیرا سرعت آن با گذشت زمان کاهش یافته است.

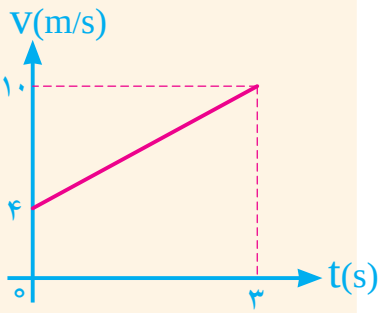
مثال ۲-۱۴

شکل ۲-۱۵ نمودار سرعت- زمان متحرکی را نشان می‌دهد.

الف) چرا شتاب متحرک ثابت است؟

ب) شتاب متحرک و معادله‌ی سرعت- زمان آن را پیدا کنید.

پ) سرعت متحرک در لحظه‌ی $t = ۲s$ چقدر است؟



شکل ۲-۱۵

حل: الف) با توجه به معادله‌ی $v=at+v_۰$ از آنجا که نمودار v-t متحرک به صورت خطی با شیب ثابت است، شتاب آن نیز باید ثابت باشد.

ب) با توجه به داده‌های روی نمودار شکل ۲-۱۵ داریم:

$$(t = ۰s \text{ و } v_۰ = ۴m/s) \quad \text{و} \quad (t = ۳s \text{ و } v = ۱۰m/s)$$

$$v = at + v_۰ \Rightarrow ۱۰m/s = a(۳s) + (۴m/s) \Rightarrow a = ۲m/s^۲$$

پس معادله‌ی v-t متحرک در SI به صورت $v = ۲t + ۴$ خواهد شد.

پ) در لحظه‌ی $t = ۲s$ داریم:

$$v = (۲m/s^۲) \times (۲s) + (۴m/s) = ۸m/s$$

هشدار: بسـیار مراقب باشـید که شتاب وسـرعت را باهم اشـتباه نگیرید. سرعت توصیـف می‌کنـد که مکان یک جسـم با زمـان چگونه تغییر می‌کنـد؛ می‌گوید که جسم چقدر سـریع و در چه جهتی حرکت می‌کند. شتاب توصیف می‌کند که سرعت چگونه با زمـان تغییر می‌کند؛ می‌گوید که جهـت حرکـت و بزرگی سـرعت چگونه تغییر می‌کنند. به خاطر سـپردن این گزاره می‌تواند سـودمند باشد که « ارتباط شتاب با سـرعت همانند ارتباط سـرعت با مکان است.»

همچنین سـودمند است که خود را در حال راندن همراه با یک جسـم متحرک تصور کنیـد. اگر جسـم رو به جلو شـتاب بگیرد و سـرعت خود را افزایش دهد، احسـاس می‌کنید که در صندلی خود به عقب فشرده می‌شوید. اگر جسـم به عقب شتاب بگیرد واز سرعت خود بکاهد احساس می‌کنید که به جلو هُل داده می‌شوید. اگر سرعت ثابت باشد و شـتابی در کار نباشـد هیچ یک از این دو حس را نخواهید داشـت. (دلیل این احساس را در فصل بعد خواهید یافت.)

معادله‌ی مکان- زمان: علاوه بر معادله‌ی سرعت- زمان که با آن آشنا شدیم، معادله‌ی مکان- زمان نیز در توصیف و حل مسائل حرکت با شتاب ثابت مفیداست. از آنجا که در حرکت با شتاب ثابت، سرعت متوسط متحرک در دو لحظه‌ی دلخواه برابر $\bar{v}=\frac{v_1+v_2}{2}$ است، داریم

$$\left.\begin{array}{l}\bar{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}\\ \bar{v}=\dfrac{v_1+v_2}{2}\end{array}\right\}\Rightarrow \Delta x=\left(\frac{v_1+v_2}{2}\right)\Delta t$$

اگر در لحظه‌ی $t_1=0$ مکان اولیه‌ی متحرک x_0 و سرعت آن v_0 و همچنین در لحظه‌ی t مکان متحرک x و سرعت آن v باشد ، داریم:

$$x=\left(\frac{v+v_0}{2}\right)t+x_0$$

با جای‌گذاری $v=at+v_0$ در رابطه‌ی بالا داریم:

$$x=\left(\frac{at+v_0+v_0}{2}\right)t+x_0$$

یا

$$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0$$

به این رابطه، معادله‌ی مکان- زمان یا مستقل از سرعت در حرکت با شتاب ثابت می‌گویند. همان‌طور که دیده می‌شود معادله‌ی مکان- زمان در حرکت با شتاب ثابت تابعی درجه دوم از زمان است.

مثال ۲-۱۵

معادله‌ی مکان- زمان متحرکی در SI به صورت زیر است:

$$x=t^2+2t+1$$

الف) شتاب، سرعت اولیه و مکان اولیه‌ی متحرک را تعیین کنید.

ب) سرعت متحرک در لحظه‌ی $t=2s$ چقدر است؟

حل: الف) با مقایسه‌ی این معادله با معادله‌ی مکان- زمان حرکت با شتاب ثابت داریم:

$$a=2m/s^2 \quad \text{و} \quad v_0=2m/s \quad \text{و} \quad x_0=1m$$

ب) با استفاده از معادله‌ی سرعت- زمان داریم:

$$v=at+v_0=(2m/s^2)(2s)+(2m/s)=6m/s$$

معادله‌ی سرعت- مکان: برای یافتن t از معادله‌ی سرعت- زمان داریم:

$$v=at+v_0\Rightarrow t=\frac{v-v_0}{a}$$

با جای‌گذاری t در معادله‌ی مکان- زمان خواهیم داشت:

$$x=\frac{1}{2}at^2+v_0t+x_0=\frac{1}{2}a\left(\frac{v-v_0}{a}\right)^2+v_0\left(\frac{v-v_0}{a}\right)+x_0$$

حکیم ابن سینا(۳۵۹ شمسی-۴۱۶ شمسی) که در غرب به اوی سینا (Avicenna) معروف است، در افشنه نزدیک بخارا متولد شد و در همدان وفات یافت. پدرش کارمند حکومت وقت بود و خانه‌اش محل ملاقات و گفت‌وگوی علاقه مندان علم و کمال. او هوش سرشاری داشت و به سرعت علوم زمان خود را فراگرفت و از۱۶سالگی به کارطبابت پرداخت.

ابن سینا در علوم گوناگون زمانه‌ی خود تالیف‌های بسیاری دارد و آثار او متجاوز از ۲۷۰ عنوان است. مهم ترین اثر فلسفی ابن‌سینا کتاب « شفا » است که دانش‌نامه‌ی عظیمی است در چهار بخش شامل منطق، طبیعیات(فیزیک)، ریاضیات(هندسه، حساب، موسیقی و نجوم) و مابعد الطبیعه(متافیزیک). ابن سینا، هم چون دانشمندان یونانی، فیزیک را مطالعه‌ی اجسام طبیعی وحرکت‌می‌دانست.

ابن سینا معتقد بود که: «قوائی که در جسم جای گیرند بر سه نوع اند. برای مثال نوع اول قوائی است که درهمه‌ی اجسام سریان دارند وکمالات، شکل، مکان طبیعی و اعمال آن‌ها را حفظ می‌کنند. اگر اجسام از مکان طبیعی خود دور شوند یا به نحوی شکل طبیعی خود را از دست دهند، این قوا به وضع پیشین برشان می گردانند و بدان وضع نگاهشان می‌دارند و این امر بدون معرفت و قصد اختیاری صورت می گیرد.» او هم چنین می گوید: « سکون فقدان حرکت است در اجسامی که بالقوه پذیرای حرکت باشند، بنا بر این سکون را نمی‌توان صرفاً نفی حرکت

با ساده کردن این رابطه داریم:

$$v^2-v_0^2=2a(x-x_0)$$

این رابطه، معادله‌ی سرعت– مکان یا مستقل از زمان در حرکت با شتاب ثابت نامیده می‌شود. در این معادله، مکان جسم در دو وضعیت اختیاری، به سرعت جسم در آن مکان‌ها مربوط شده است. توجه کنید که ترتیب نوشتن مکان‌ها و سرعت‌ها مشابه است. همان‌طور که می‌دانید $(x-x_0)$ جابه‌جایی متحرک است.

مثال ۲–۱۶

قطاری از حال سکون و با شتاب ثابت $0/4m/s^2$ شروع به حرکت می‌کند. پس از جابه‌جایی $1km$، سرعت قطار چقدر است؟

حل:

$v=?$ و $x-x_0=1km=1000m$ و $a=0/4m/s^2$ و $v_0=0$

$$v^2-v_0^2=2a(x-x_0)$$

$$v^2-0=2(0/4m/s^2)(1000m) \Rightarrow v^2=800(m^2/s^2)$$

$$v=20\sqrt{2}m/s \simeq 28m/s$$

دانست. همه‌ی حرکات جسم از علتی که متمایز از جسم است ناشی می‌شوند؛ جسم به خودی خود هیچ حرکتی ندارد. حرکت را منحصراً باید ناشی از علت آن دانست.»

وی در زندگی نامه‌ای که خود نوشته است می گوید: کتاب قانون را در گرگان آغاز کرده، بخشی از آن را در ری، زادگاه رازی، نوشته و آن را در همدان به پایان رسانده است. طبیبان این کتاب را (که بزرگ ترین اثر طبی ابن سیناست) بسیار می‌پسندیدند و آن را بر کتاب « حاوی » تالیف رازی و حتی آثار جالینوس ترجیح می دادند. در کتاب قانون ضمن شرح دستاوردهای عمده ی پزشکی روم و یونان، فهرست ۷۶۰ دارو و فراورده های پزشکی به طور نظام مند فراهم آمده است.

تمرین ۲–۲

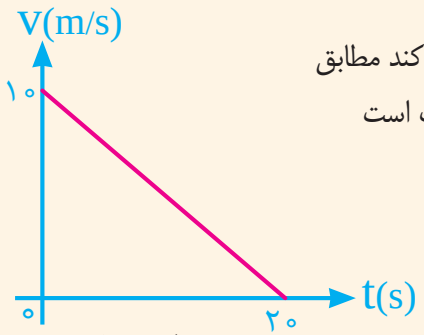
نمودار v–t متحرکی که بر مسیری مستقیم در امتداد محور x در حرکت می‌کند مطابق شکل ۲–۱۶ است. اگر در $t=0$ متحرک از مبداء مکان عبور کرده باشد، مطلوب است

الف) شتاب متحرک،

ب) معادله‌ی سرعت– زمان متحرک،

پ) سرعت متوسط متحرک در ۲۰ ثانیه‌ی اول حرکت،

ت) معادله‌ی مکان– زمان متحرک.



شکل ۲–۱۶

۲–۶ سقوط آزاد بدون سرعت اولیه

یک مورد از حرکت بر خط راست با شتاب ثابت، حرکت اجسام در راستای قائم و در نزدیکی سطح زمین است که آن را **سقوط آزاد** می‌نامند. آزمایش نشان می‌دهد که اگر بتوان اثر مقاومت هوا بر حرکت اجسام را نادیده گرفت، شتاب همه‌ی اجسام در حال سقوط آزاد ثابت و در راستای قائم و به طرف پایین است. اندازه‌ی این شتاب را با g نشان می‌دهیم و مقدار آن تقریباً $9/8m/s^2$ است، که گاهی برای آسان کردن محاسبه، مقدار g را با تقریب برابر $10m/s^2$ می‌گیریم. در این کتاب تنها حرکت سقوط آزاد بدون سرعت اولیه $(v_0=0)$ و با نادیده گرفتن مقاومت هوا بررسی می‌شود.

چون جسم در سقوط آزاد در راستای قائم حرکت می‌کند، برای تعیین مکان، سرعت و شتاب

جسم، مانند شکل ۲-۱۷، از یک محور قائم استفاده می‌کنیم و روی آن در یک‌سو، مثلاً به طرف بالا، را مثبت انتخاب می‌کنیم.

اگر جسمی در لحظه‌ی $t=0$ از مبداء مکان $(y_0=0)$ رها شود، یعنی $(v_0=0)$ ، معادله‌های حرکت سقوط آزاد جسم به ترتیب زیر است:

$$v=-gt$$

$$y=-\frac{1}{2}gt^2$$

$$v^2=-2gy$$

شکل ۲-۱۷

توجه کنید که چون جهت شتاب در سقوط آزاد به طرف پایین است و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است، در معادله‌های حرکت با شتاب ثابت در امتداد محور x، به جای $a \longrightarrow -g$ و $x \longrightarrow y$ جای‌گذاری شده است. دوباره تأکید می‌شود که در این کتاب تنها سقوط آزاد بدون سرعت اولیه، $(v_0=0)$، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مثال ۲-۱۷

گلوله‌ای از طبقه‌ی ششم ساختمانی رها می‌شود. مطلوب است $(g=10\,m/s^2)$

الف) مکان و سرعت گلوله ۱s پس از سقوط آزاد.

ب) اگر گلوله پس از ۳ ثانیه به زمین برخورد کند، فاصله‌ی گلوله را، پیش از رها شدن از سطح زمین، پیدا کنید.

حل: الف)

$$y=-\frac{1}{2}gt^2=-\frac{1}{2}\times(10\,m/s^2)(1s)^2=-5m$$

$$v=-gt=(-10\,m/s^2)(1s)=-10\,m/s$$

توجه کنید چون مبداء مکان را محل رها شدن گلوله و سوی مثبت محور قائم به طرف بالا انتخاب شده است، y و v هردو با علامت منفی به دست آمده‌اند.

ب)

$$y=-\frac{1}{2}gt^2=-\frac{1}{2}(10\,m/s^2)(3s)^2=-45m$$

به این ترتیب ارتفاع گلوله پیش از رها شدن از سطح زمین برابر ۴۵m است.

مثال ۲-۱۸

جسمی را از ارتفاع ۱۲۵ متری بالای سطح زمین رها می‌کنیم. مطلوب است $(g=10\,m/s^2)$،

الف) زمان سقوط آزاد جسم،

ب) سرعت متوسط سقوط آزاد جسم،

پ) جابه‌جایی جسم را بین دو لحظه‌ی $t_1=3s$ و $t_2=4s$ پیداکنید.

شبیه‌سازی

- حرکت سقوط آزاد

حل: الف) با توجه به شکل ۲-۱۸ داریم

$$y=-\frac{۱}{۲}gt^{۲}$$

$$-۱۲۵m=-\frac{۱}{۲}\times(۱۰m/s^{۲})\,t^{۲}$$

$$t^{۲}=۲۵\Rightarrow t=۵s$$

توجه کنید زمان همواره مقداری مثبت است.

ب) با توجه به تعریف سرعت متوسط داریم:

$$\bar{v}=\frac{\Delta y}{\Delta t}=\frac{-۱۲۵m}{۵s}=-۲۵m$$

علامت منفی نشان می‌دهد جهت سرعت متوسط جسم به طرف زمین و بر خلاف راستای مثبت محور y است.

پ) جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی $t_۱=۳s$ برابر است با:

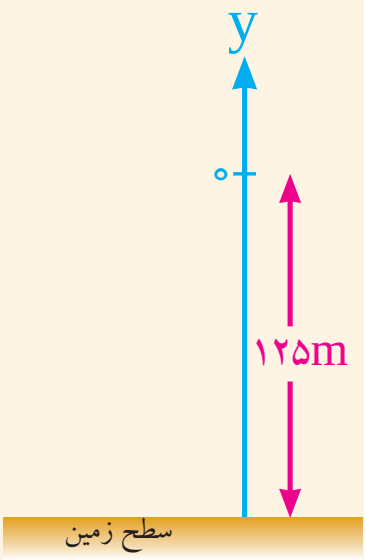
$$y_۱=-\frac{۱}{۲}(۱۰m/s^{۲})(۳s)^{۲}=-۴۵m$$

جابه‌جایی جسم از شروع حرکت تا لحظه‌ی $t_۲=۴s$ برابر است با:

$$y_۲=-\frac{۱}{۲}(۱۰m/s^{۲})(۴s)^{۲}=-۸۰m$$

به این ترتیب جابه‌جایی متحرک بین دو لحظه‌ی $t_۱$ و $t_۲$ برابر است با:

$$\Delta y=y_۲-y_۱=(-۸۰m)-(-۴۵m)=-۳۵m$$



شکل ۲-۱۸

تمرین ۲-۳

گلوله‌ای را باید از چه ارتفاعی رها کنیم تا پس از ۱۰ ثانیه به زمین برسد؟ سرعت گلوله در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟ $(g=۱۰m/s^{۲})$

بیش‌تر بدانید

- زمان تعلیق

پرسش‌های مفهومی

۱- در حرکت یکنواخت بر خط راست، سرعت متوسط متحرک در هر بازه‌ی زمانی دلخواه چه رابطه‌ای با سرعت متحرک در هر لحظه دارد؟

۲- در هریک از عبارت‌های زیر، واژه‌ای را از داخل پرانتز که جمله را درست بیان می‌کند، انتخاب کنید.

الف) در حرکت روی خط راست (راستای، جهت) بردار مکان ثابت می‌ماند و تنها (سوی، امتداد) آن می‌تواند تغییر کند.

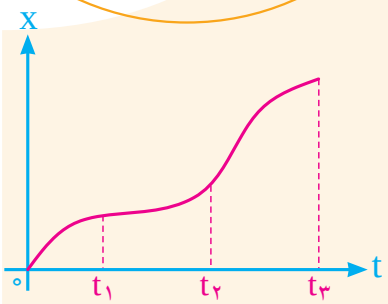
ب) اگر جسمی روی خط راست حرکت کند، معمولاً مبداء مختصات را روی خطی که جسم بر آن حرکت می‌کند در نظر می‌گیرند. در این صورت بردارهای مکان و جابه‌جایی برآن خط (منطبق، عمود) هستند.

۳- در نمودار x-t شکل ۲-۱۹ سرعت متوسط متحرک را که در امتداد محور x حرکت می‌کند در بازه‌های($t_۲$ و $t_۱$) و ($t_۳$ و $t_۱$) با هم مقایسه کنید.

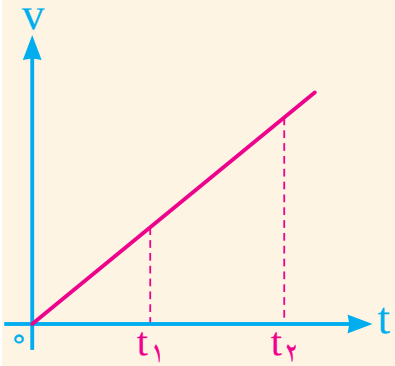
۴- الف) در حرکت یکنواخت روی خط راست شتاب حرکت چقدر است؟

ب) شکل ۲-۲۰ نمودار سرعت- زمان متحرکی است که روی خط راست حرکت می‌کند. شتاب متحرک را در دو لحظه‌ی $t_۱$ و $t_۲$ با هم مقایسه کنید.

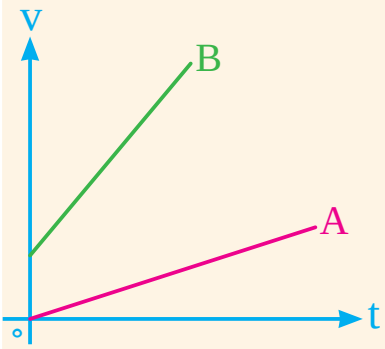
۵- نمودار v-t دو متحرک A و B در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است. شتاب این دو متحرک را با هم مقایسه کنید.



شکل ۲-۱۹



شکل ۲-۲۰



شکل ۲-۲۱

مسئله‌ها

۱- متحرکی روی خط راست در حرکت است. معادله‌ی مکان - زمان این متحرک به صورت $x=۲t+۳$ است که در آن x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است.

الف) نمودار مکان- زمان این متحرک را رسم کنید.

ب) مکان متحرک را در دو لحظه‌ی $t_۱=۰$ و $t_۲=۳s$ و همچنین جابه‌جایی آن را بین این دو لحظه به دست آورید.

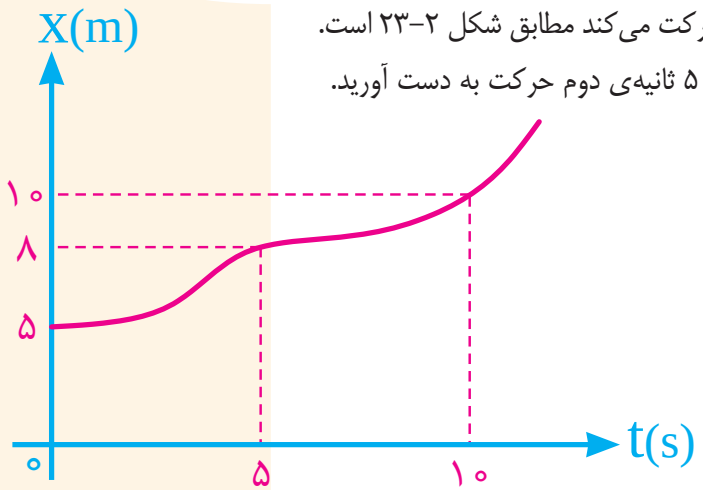
۲- دونده‌ای در لحظه‌ی t = ۰ (مبداء زمان) در مکان ۱۲m- و در لحظه‌ی $t=۴s$ در مکان ۲۴m+ است (شکل ۲-۲۲).

شکل ۲-۲۲

الف) بردارهای مکان دونده را در هر لحظه رسم کنید.

ب) بردار جابه‌جایی دونده را در بازه‌ی زمانی رسم و اندازه‌ی آن را پیدا کنید.

۳- نمودار مکان- زمان متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند مطابق شکل ۲-۲۳ است. سرعت متوسط متحرک را در ۵ ثانیه‌ی اول و همچنین ۵ ثانیه‌ی دوم حرکت به دست آورید.



شکل ۲-۲۳

۴ـ معادله‌ی مکان ـ زمان ذره‌ای که در امتداد محور x حرکت می‌کند به صورت $x=At^2-Bt+C$ است، که در آن x بر حسب متر و t بر حسب ثانیه است.

الف) ضریب‌های ثابت A، B و C در SI چه یکایی دارند؟

ب) اگر مقدارهای A، B و C در SI به ترتیب ۱، ۲ و ۴ باشد، جابه‌جایی و سرعت متوسط ذره در ۴ ثانیه‌ی اول حرکت چقدر است؟

۵- متحرکی که روی خط راست حرکت می‌کند بین دو لحظه‌ی $t_1=2s$ و $t_2=10s$ به ترتیب در فاصله‌های 5m و 5m- از مبدأ قرار دارد. سرعت متوسط متحرک بین این دو لحظه چقدر است؟

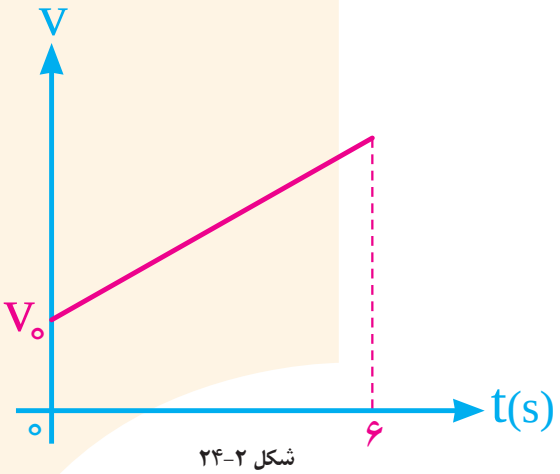
۶- سرعت موتورسواری در لحظه‌ی $t_1=2s$ برابر 36km/h و در لحظه‌ی $t_2=8s$ برابر 54km/h است. شتاب متوسط این موتورسوار چقدر است؟

۷- اتومبیلی از حال سکون و با شتاب ثابت در امتداد خط راست شروع به حرکت می‌کند و پس از ۳ ثانیه سرعت آن به 18km/h می‌رسد.

الف) معادله‌ی سرعت- زمان اتومبیل را بنویسید.

ب) نمودار سرعت- زمان اتومبیل را رسم کرده و سرعت آن را ۱۰ ثانیه پس از شروع حرکت پیدا کنید.

۸- نمودار v-t متحرکی که بر مسیری مستقیم در حال حرکت است مطابق شکل ۲-۲۴ است. معادله‌ی مکان- زمان این متحرک را پیدا کنید. در $t=0$ متحرک از مبداء مکان عبور کرده است.



شکل ۲-۲۴

۹- گلولـه‌ای را از ارتفـاع ۸۰ متـری سـطح زمین در شـرایط خـلأ رها می‌کنیـم. با فرض $g = ۱۰ m/s^۲$

الف) گلوله پس از چه مدت به زمین می‌رسد؟

ب) سرعت آن در لحظه‌ی برخورد به زمین چقدر است؟

پ) سرعت متوسط گلوله در مدت این حرکت چقدر است؟

۱۰- جسمی را در شرایط خلأ از یک بلندی رها می‌کنیم و پس از مدتی با سرعت $۳۰ m/s$ به زمین برخورد می‌کند. ارتفاع بلندی چند متر است؟ $(g = ۱۰ m/s^۲)$