

به نام خدا



مبانی فیزیک ۱

دانشکده فیزیک دانشگاه یزد

zahra.asadi6640@yahoo.com

فصل دوم: حرکت در طول خط راست

دیوید هالیدی - رابرت رزنیک

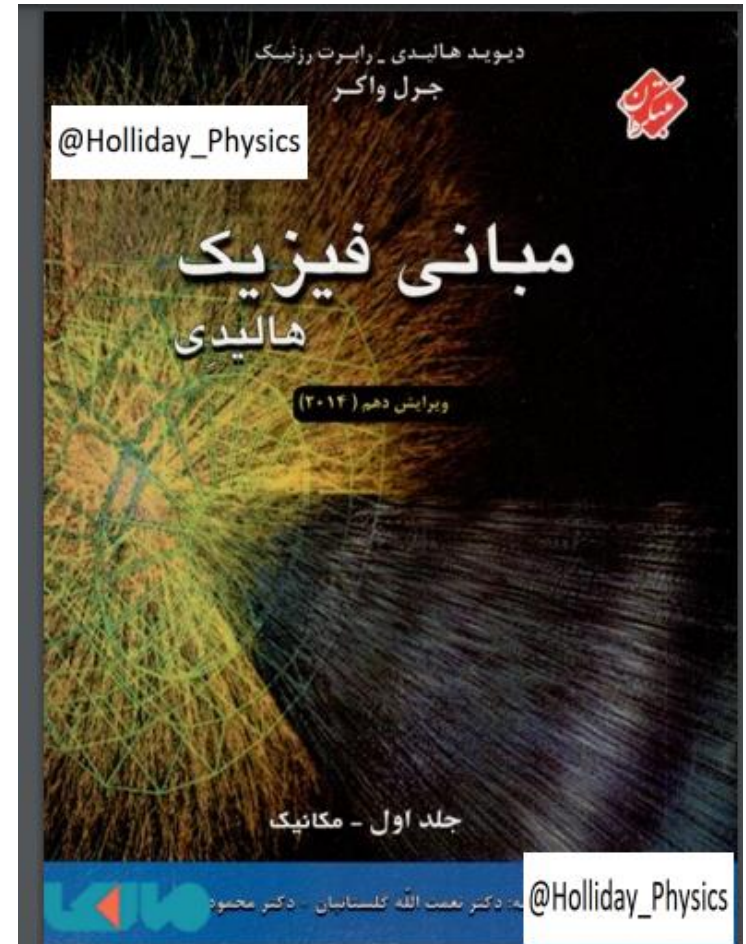
جرل واکر

مبانی فیزیک

هالیدی

ویرایش دهم (۲۰۱۴)

جلد اول - مکانیک





فصل دوم: حرکت در طول خط راست

- مکانیک
- سرعت متوسط
- سرعت لحظه ای
- شتاب
- شتاب ثابت
- سقوط آزاد



حرکت در طول خط راست

◀ مکانیک شامل دو بخش است: سینماتیک و دینامیک.

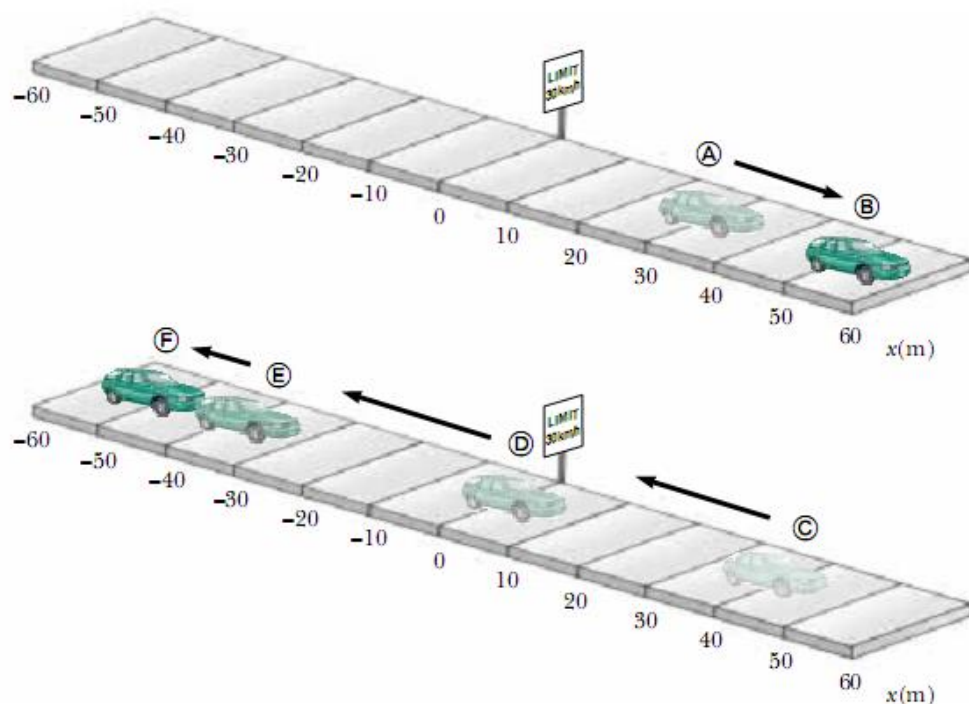
◀ هنگامی که حرکت را بدون مطالعه علل آن بررسی می کنیم با سینماتیک حرکت سرکار داریم.

◀ هنگامی که حرکت را به نیروهای وابسته به آن ربط می دهیم با دینامیک سرکار داریم.

◀ در این فصل سینماتیک حرکت را بررسی می کنیم و اجسام ذرات یا نقاط مادی بدون بعد فرض می شوند.

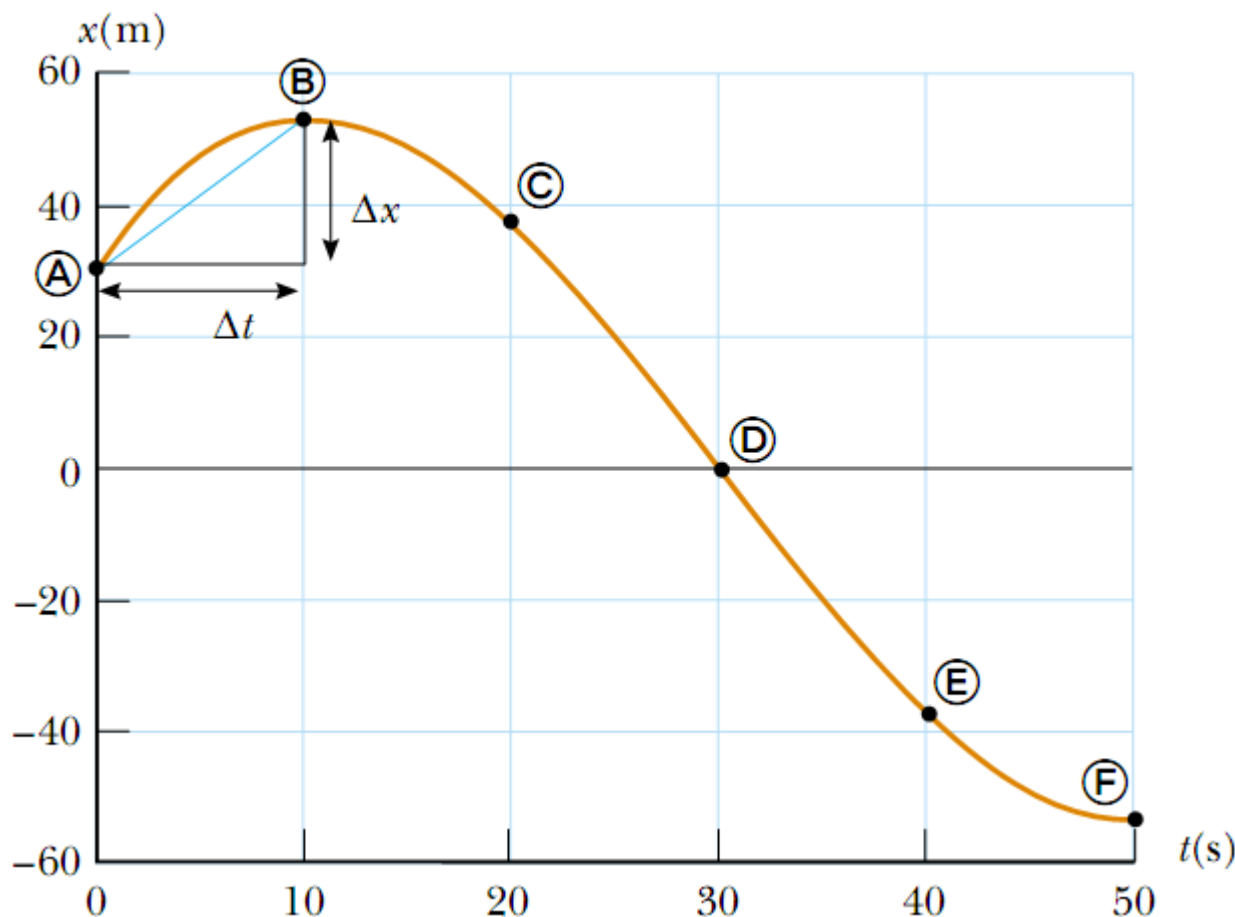
مکان

- محل قرار گرفتن جسم نسبت به مبدأ دستگاه مختصات دلخواه (نقطه صفر)
- بردار است چون هم جهت دارد هم مقدار $\mathbf{x} = x\mathbf{i}$



Position	$t(s)$	$x(m)$
(A)	0	30
(B)	10	52
(C)	20	38
(D)	30	0
(E)	40	-37
(F)	50	-53

مکان



جا به جایی یعنی
تغییر مکان جسم

$$\Delta x = x_f - x_i$$

مسافت پیموده
شده ممکن است
با جا به جایی برابر
نباشد. جهت مهم
نیست

سرعت متوسط

■ جا به جایی جسم تقسیم بر بازه زمانی که این جابه جایی رخ داده است

$$\bar{v}_x \equiv \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

■ در چه شرایطی مثبت و در چه شرایطی منفی است؟

❖ **تندی متوسط:** تندی میانگین به مسافت کل پیموده شده بدون توجه به جهت، ارتباط دارد.

$$s_{avg} = \frac{\text{مسافت کل}}{\Delta t}$$

سرعت متوسط

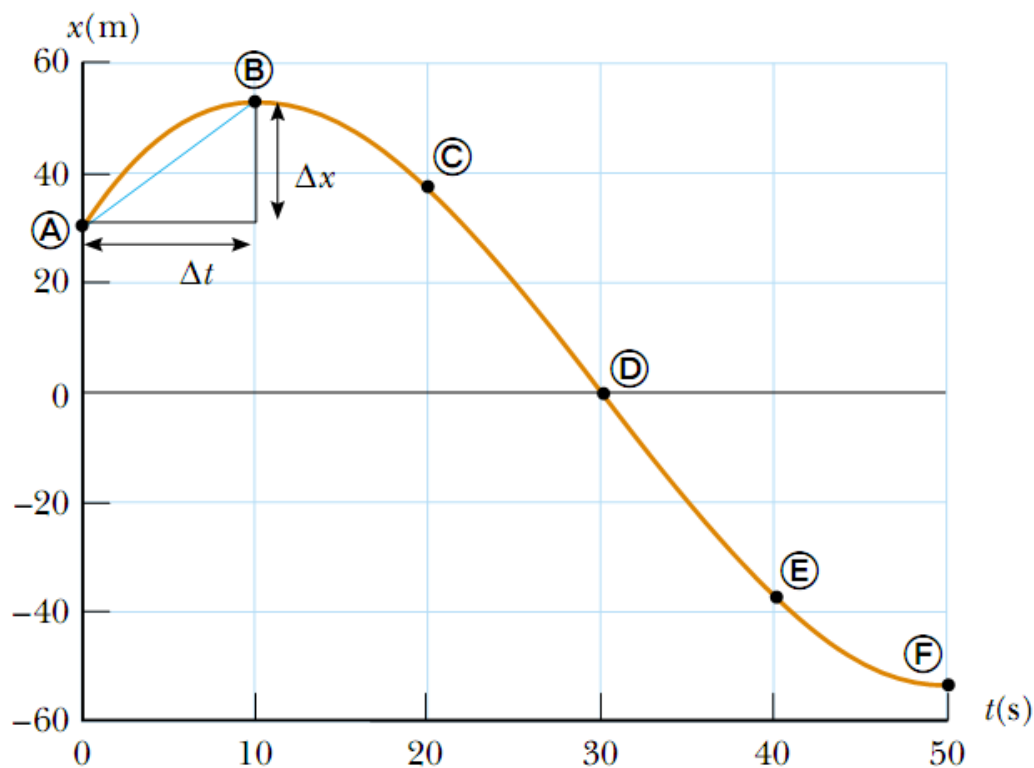
سرعت متوسط یک بردار است که جهت آن در جهت Δr و بزرگی آن برابر $\left| \frac{\Delta r}{\Delta t} \right|$ است.

سرعت متوسط صرفاً به جابجایی کل و زمان کل سپری شده بستگی دارد.

اگر ذره متحرکی پس از مدت زمانی دوباره به جای اولش برگردد سرعت متوسط آن در این فاصله زمانی صفر است

مثال

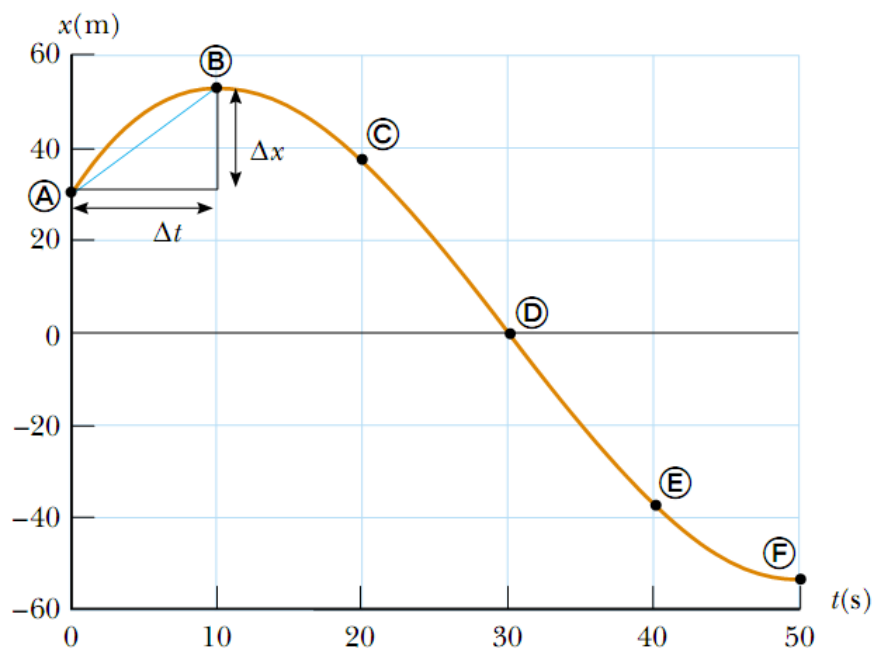
برای شکل جا به جایی، سرعت متوسط و تندی متوسط خودرو را بین نقاط **A** تا **F** به دست آورید



مثال

برای شکل جا به جایی، سرعت متوسط و تندی متوسط خودرو را بین نقاط **A** تا **F** به دست آورید

$$\Delta x = x_F - x_A = -53 \text{ m} - 30 \text{ m} = -83 \text{ m}$$



$$\begin{aligned} \bar{v}_x &= \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i} = \frac{x_F - x_A}{t_F - t_A} \\ &= \frac{-53 \text{ m} - 30 \text{ m}}{50 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{-83 \text{ m}}{50 \text{ s}} \\ &= -1.7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

$$\text{Average speed} = \frac{127 \text{ m}}{50 \text{ s}} = 2.5 \text{ m/s}$$

سرعت لحظه ای

سرعت لحظه ای - سرعت در هر لحظه از زمان یا در بازه زمانی بسیار کوچک Δt را سرعت لحظه ای نامند.

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

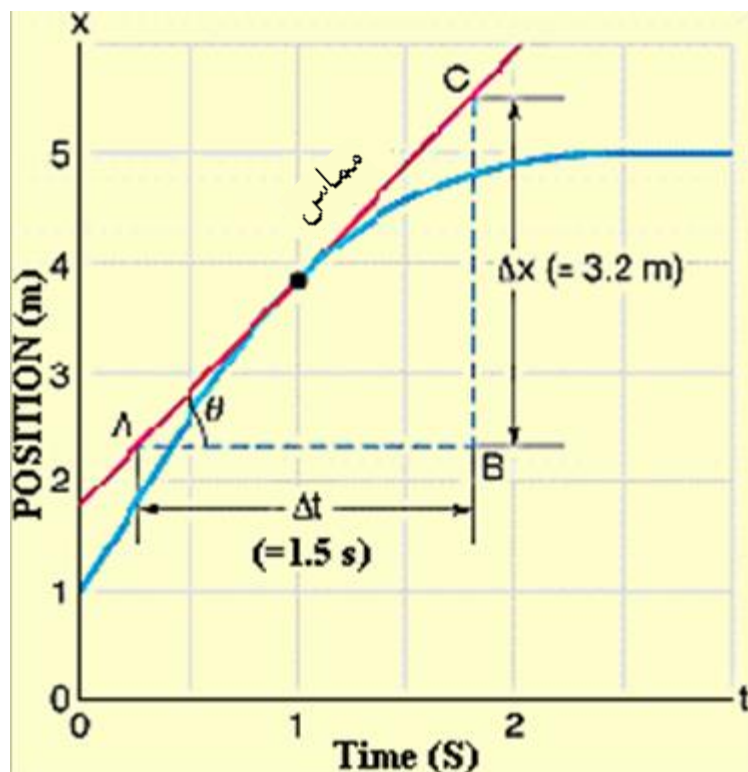
با مشتق گیری زمانی از بردار مکان سرعت لحظه ای بدست می آید.

$$v_x \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

تندی لحظه ای همان قدر مطلق اندازه سرعت لحظه ای است یعنی بدون در نظر گرفتن جهت

مثال

سرعت لحظه ای در حرکت یک بعدی در هر لحظه از زمان از شیب خط مماس بر منحنی مکان-زمان در آن نقطه به دست می آید.



$$\text{شیب} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{5.5 \text{ m} - 2.3 \text{ m}}{1.8 \text{ s} - 0.3 \text{ s}} = \frac{3.2 \text{ m}}{1.5 \text{ s}} = +2.1 \text{ m/s.}$$



حرکت یک بعدی – شتاب

◀ اگر سرعت جسم متحرک در حین حرکت از لحاظ بزرگی ، جهت یا هردو تغییر کند ، گویی جسم شتاب دارد.

◀ شتاب میزان تغییرات سرعت نسبت به زمان است.

شتاب متوسط

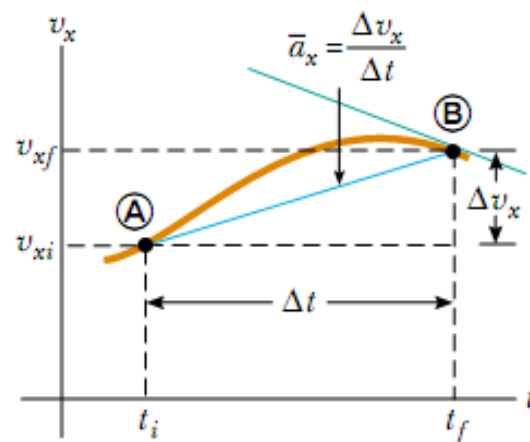
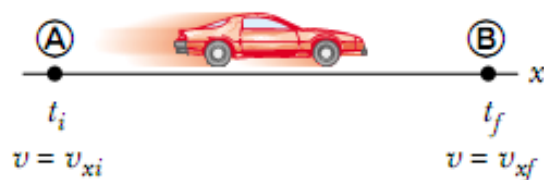
■ تغییر سرعت تقسیم بر بازه زمانی تغییر

$$\bar{a}_x \equiv \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i}$$

شتاب متوسط کمیتی برداری است چون از

تقسیم بردار $\Delta \vec{v}$ بر کمیت نرده ای Δt بدست

می آید. جهت شتاب در جهت $\Delta \vec{v}$ است.



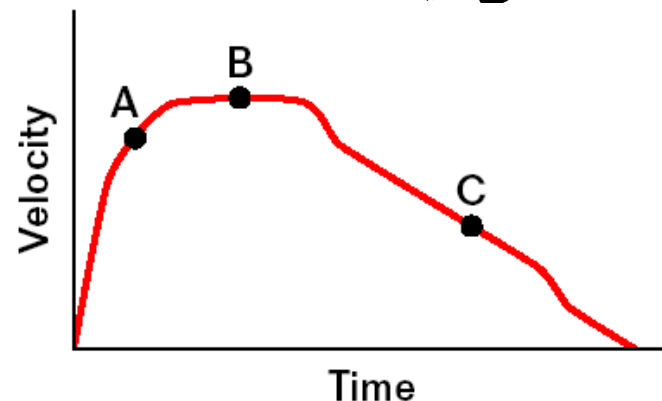
شتاب لحظه ای

▶ شتاب در هر لحظه از زمان یا در بازه زمانی بی نهایت کوچک را شتاب لحظه ای نامند

▶ با مشتق گیری زمانی از بردار سرعت، شتاب لحظه ای به صورت تابعی از زمان به دست می آید

$$a_x \equiv \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{dv_x}{dt}$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{dx}{dt} \right) = \frac{d^2 x}{dt^2}$$



★ اگر علامت‌های سرعت و شتاب یک ذره یکی باشند، تندى ذره افزایش می‌یابد و اگر علامت‌ها مخالف باشند، تندى ذره کاهش می‌یابد.



شتاب ثابت

معادلات حرکت با شتاب ثابت:

✓ اگر سرعت در شروع حرکت v_{0x} باشد، سرعت در لحظه t عبارت است از :

$$v_x = v_{0x} + a_x t$$

شتاب ثابت

✓ **دومین** معادله حرکت با شتاب ثابت **معادله مکان** ذره به صورت تابعی از زمان است:

$$x = x_0 + \frac{1}{2}(v_{0x} + v_x)t$$

$$x = x_0 + v_{0x}t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

✓ با جایگذاری v_x در معادله $x(t)$ ، **سومین** معادله یعنی **معادله مستقل از زمان** بدست می آید:

$$v_x^2 - v_{0x}^2 = 2a_x(x - x_0)$$



معادلات حرکت با شتاب ثابت

$$v = v_0 + at$$

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

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

$$\bar{v} = \frac{v + v_0}{2}$$

$$x - x_0 = \frac{1}{2} (v + v_0) t$$

$$x - x_0 = vt - \frac{1}{2} at^2$$



حرکت یک بعدی – شتاب ثابت

هرگاه شتاب ثابت باشد شتاب میانگین و شتاب لحظه ای برابرند.

$$a = a_{avg} = \frac{v - v_0}{t - 0} \Rightarrow v = a t + v_0 \quad v_0 \text{ سرعت در زمان } t = 0$$

هرگاه سرعت ثابت باشد سرعت میانگین و سرعت لحظه ای برابرند.

$$v = v_{avg} = \frac{x - x_0}{t} \Rightarrow x = v t + x_0 \quad x_0 \text{ مکان در زمان } t = 0$$

مثال

✓ **مثال:** راننده‌ای ترمز می‌کند و سرعت اتومبیلش را طی مسافت ۱۰۰ متر از $72 \frac{km}{h}$ به $36 \frac{km}{h}$ می‌رساند. الف) شتاب اتومبیل چقدر است؟ ب) این حرکت شتابدار چقدر طول کشیده است؟ ج) اگر راننده بخواهد اتومبیل را با همین شتاب متوقف کند چه مدت زمان بیشتری برای این کار لازم است و در این مدت چه مسافتی را طی می‌کند؟

مثال

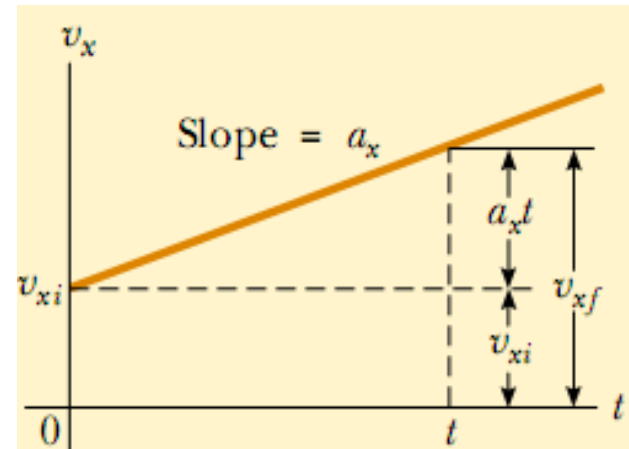
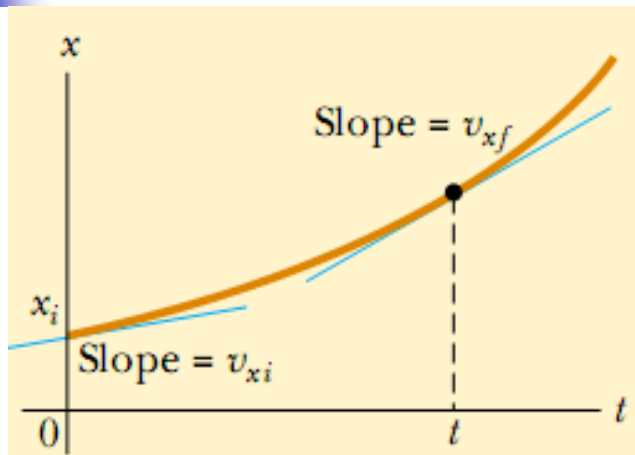
$$\left. \begin{array}{l} v_1 = 20 \frac{m}{s} \\ v_2 = 10 \frac{m}{s} \end{array} \right\} \Rightarrow v_2^2 - v_1^2 = 2 a \Delta x \Rightarrow 100 - 400 = 2 \times a \times 100 \Rightarrow a = -1.5 \frac{m}{s^2}$$

$$v = a t + v_0 \Rightarrow 10 = -1.5 \times t + 20 \Rightarrow t = 6.6 s$$

$$v = a t + v_0 \Rightarrow 0 = -1.5 \times t + 10 \Rightarrow t = 6.6 s$$

$$v^2 - v_0^2 = 2 a \Delta x \Rightarrow 0 - 100 = -2 \times 1.5 \times \Delta x \Rightarrow \Delta x = 33.5 m$$

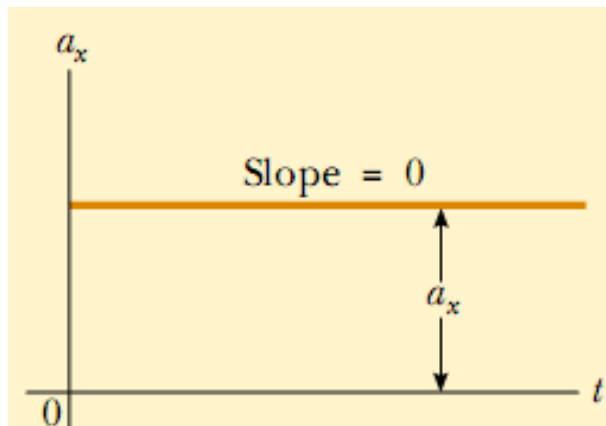
حرکت با شتاب ثابت



$$a_x = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t - 0}$$

$$v_{xf} = v_{xi} + a_x t$$

$$\bar{v}_x = \frac{v_{xi} + v_{xf}}{2}$$



یک اف ۱۸ با سرعت ۲۲۶ / ۸ کیلومتر بر ساعت روی یک هواپیما بر فرود می‌آید.
با فرض اینکه کابلهای سرعتگیر در مدت ۲ / ۰ ثانیه هواپیما را با شتاب ثابتی متوقف می‌کنند،

(۱) شتاب را محاسبه کنید.

(۲) مکان توقف هواپیما نسبت به مکان در لحظه فرود کجا خواهد بود؟

(۳) اگر طول عرشه فرود ۷۵ متر باشد و کابلها با همان شتاب قسمت ۱ سرعت را

کند کند، بیشینه سرعت هواپیما هنگام فرود چقدر باشد تا در آب نیفتد؟

$$226.8 \frac{km}{h} = 226.8 \frac{\cancel{km}}{\cancel{h}} \times \frac{1000 \cancel{m}}{1 \cancel{km}} \times \frac{1 \cancel{h}}{3600 s} = 63 \frac{m}{s}$$

$$a_x = \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t} \approx \frac{0 - 63 \text{ m/s}}{2.0 \text{ s}} = -31 \text{ m/s}^2$$

برای قسمت ۲، انتخاب مبدأ مکان

$$\bar{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_f - x_i}{t_f - t_i}$$

$$\bar{v}_x = \frac{v_{xi} + v_{xf}}{2}$$

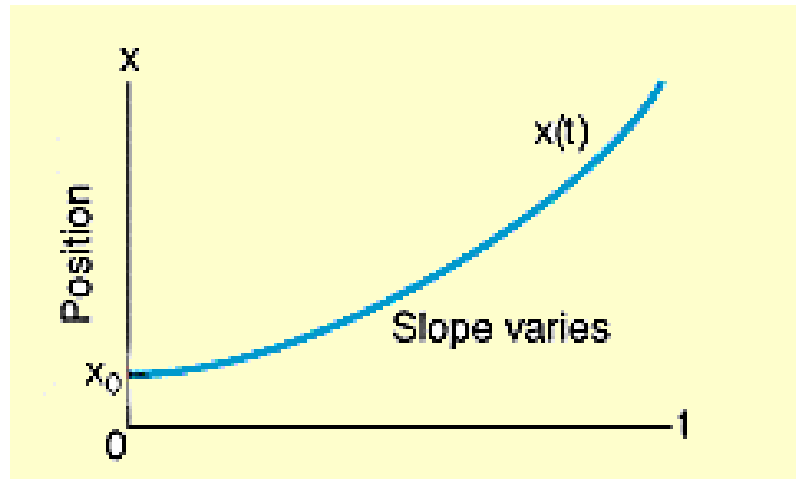
$$x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t = 0 + \frac{1}{2}(63 \text{ m/s} + 0)(2.0 \text{ s}) = 63 \text{ m}$$

$$v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i) = 68 \text{ m/s}$$

حرکت یک بعدی – شتاب ثابت

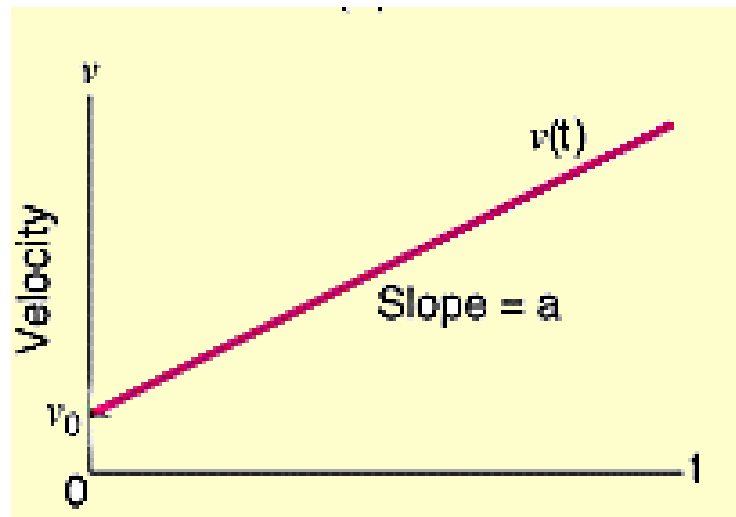
■ منحنی های مکان، سرعت و شتاب بر حسب زمان :

■ منحنی مکان – زمان یک سهمی است. اگر $a_x > 0$ باشد تقعر منحنی به سمت بالا و بالعکس به سمت پایین است



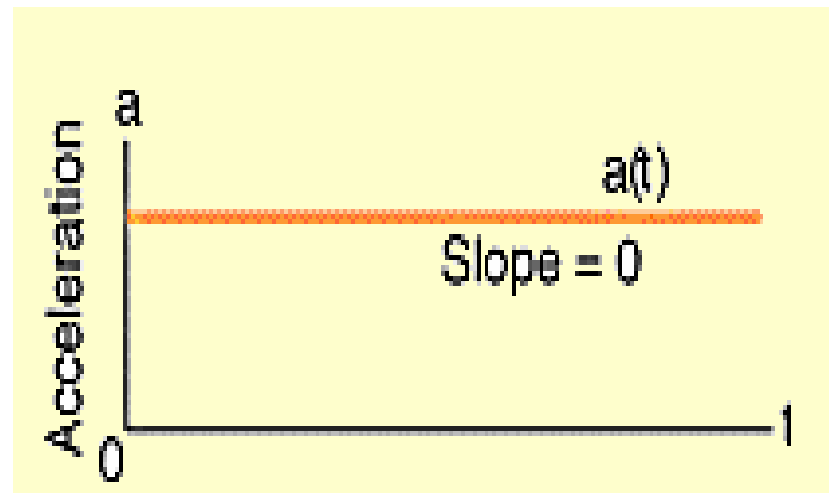
حرکت یک بعدی – شتاب ثابت

✓ منحنی سرعت-زمان در حرکت با شتاب ثابت یک خط راست است که شیب آن a_x و عرض از مبدأ آن v_{0x} است



حرکت یک بعدی – شتاب ثابت

✓ منحنی شتاب – زمان در حرکت با شتاب ثابت یک خط راست است که شیب آن صفر است.



شتاب ثابت

- توجه شود در معادلات حرکت با شتاب ثابت x , v_x , a_x مولفه های بردارهای مکان و سرعت و شتاب می باشند که می توانند مثبت، منفی و یا صفر باشند.
- اگر ذره سمت راست محور x ها و به سمت راست در حرکت باشد x , v_x مثبت و بالعکس منفی است.
- اگر a_x و v_x هم علامت باشد حرکت تند شونده و اگر مختلف علامه باشد حرکت کند شونده است.

مثال

- اتومبیلی با شتاب ثابت سرعت خود را از ۷۵ کیلومتر بر ساعت به ۴۵ کیلومتر بر ساعت در فاصله ۸۸ متر کاهش می دهد. شتاب حرکت و زمان لازم برای این کاهش سرعت را به دست آورید.

$$v^2 - v_0^2 = 2a\Delta x, \quad a = \frac{v^2 - v_0^2}{2\Delta x}$$

$$45 \frac{km}{h} \times \frac{1000m}{1km} \times \frac{1h}{3600s} = 12.5 \text{ m/s}, \quad 75 \frac{km}{h} \div 3.6 = 20.8 \text{ m/s}$$

$$a = \frac{(12.5)^2 - (20.8)^2}{2 \times 88} = -1.6 \text{ m/s}^2$$

$$x - x_0 = \frac{v + v_0}{2} t, \quad t = \frac{2(x - x_0)}{v + v_0}$$

$$t = \frac{2 \times 88}{12.5 + 20.8} = \frac{176}{33.3} = 5.3 \text{ s}$$

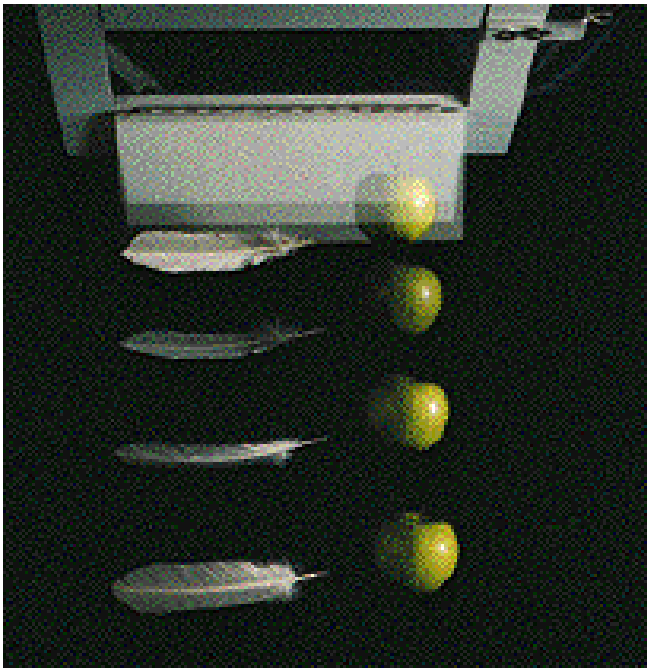


حرکت یک بعدی – شتاب ثابت

- از جمله حرکات یک بعدی با شتاب ثابت، سقوط آزاد اجسام است مجاور سطح زمین است.
- جهت شتاب در حرکت سقوط آزاد همواره به سمت پایین است.
- شتاب جسمی را که سقوط آزاد می کند ناشی از گرانش است و با g نمایش می دهند.

سقوط آزاد

- گالیله نشان داد که در حرکت سقوط آزاد تمام اجسام در غیاب مقاومت هوا، بدون توجه به اندازه، وزن و یا شکل با شتاب ثابت $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ حرکت می کنند.



سقوط آزاد

- با استفاده از معادلات حرکت با شتاب ثابت و با فرض اینکه جهت مثبت محور y ها به سمت بالا فرض شود ($\mathbf{a}_y = -\mathbf{g}$) و با فرض اینکه در شروع حرکت ذره در مبدا مکان باشد ($\mathbf{y}_0 = \mathbf{0}$) معادلات حرکت:

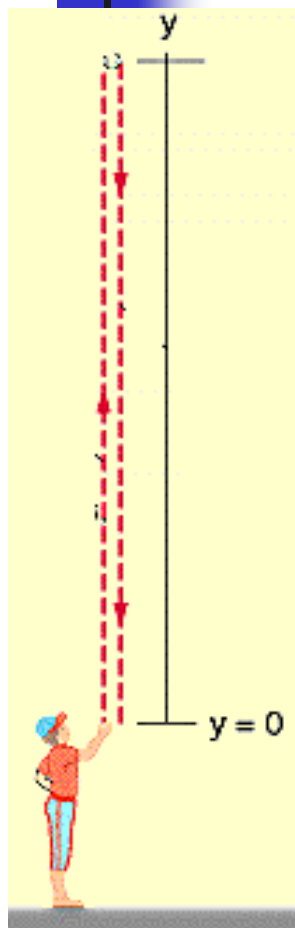
$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t$$

$$v_y^2 - v_{0y}^2 = -2gy$$

$$v_y = v_{0y} - gt$$

مثال

■ شخصی توپی را با سرعت اولیه ۱۲ متر بر ثانیه به سمت بالا پرتاب می کند با صرف نظر از مقاومت هوا، زمان رسیدن توپ به بالاترین نقطه، ارتفاع اوج و زمان رسیدن توپ در نقطه ای به فاصله ۵ متری بالای نقطه پرتاب محاسبه کنید.



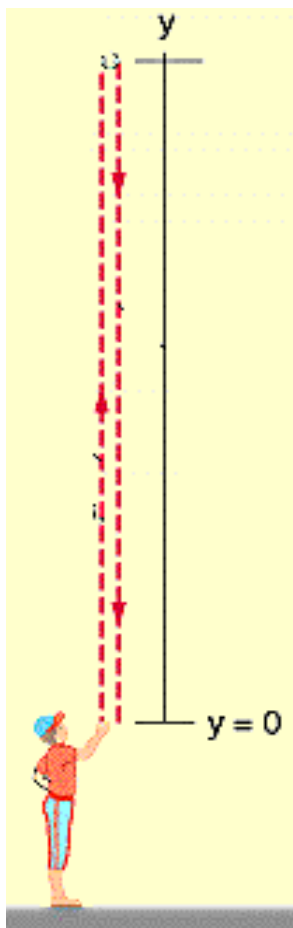
پاسخ

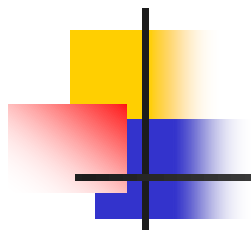
شخصی توپی را با سرعت اولیه ۱۲ متر بر ثانیه به سمت بالا پرتاب میکند با صرف نظر از مقاومت هوا، زمان رسیدن توپ به بالاترین نقطه، ارتفاع اوج و زمان رسیدن توپ در نقطه ای به فاصله ۵ متری بالای نقطه پرتاب محاسبه کنید.

$$t = \frac{v_0 - v}{g} = \frac{12 - 0}{9.8} = 1.2 \text{ s}$$

$$y = \frac{v_0^2 - v^2}{2g} = \frac{12^2 - 0}{2 \times 9.8} = 7.3 \text{ m}$$

$$y = -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t$$
$$5 = -4.5t^2 + 12t$$
$$t = 0.53 \text{ s}, t = 1.9 \text{ s}$$





$$at^2 + bt + c = 0 \quad \blacksquare$$

$$\Delta = b^2 - 4ac \quad \blacksquare$$

$$t = \frac{-b \pm \sqrt{\Delta}}{2a} \quad \blacksquare$$

$$\Delta = 144 - (4 * 4.5 * 5) \quad \blacksquare$$

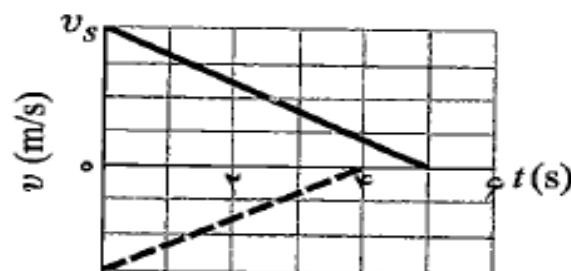
$$\begin{aligned} y &= -\frac{1}{2}gt^2 + v_{0y}t \\ 5 &= -4.5t^2 + 12t \\ t &= 0.53 \text{ s}, t = 1.9 \text{ s} \end{aligned}$$

تمرین

۳۶ ** خودرویی مسافت 900 m را در راستای محور x می‌پیماید. حرکت خودرو از حال سکون (در $x=0$) آغاز می‌شود و به حال سکون (در $x=900\text{ m}$) به پایان می‌رسد. شتاب خودرو در طول یک چهارم اول مسیر $2/25\text{ m/s}^2 +$ و در بقیه‌ی مسیر $-0/75\text{ m/s}^2$ است. (الف) زمان پیمودن مسافت 900 m چقدر است و (ب) بیشینه‌ی تندی خودرو چیست؟ (پ) نمودارهای مکان x ، سرعت v و شتاب a بر حسب زمان t مربوط به این سفر را رسم کنید.

تمرین

۴۱ ** در هنگام حرکت کردن دو قطار در یک مسیر راننده‌های آن‌ها ناگهان متوجه می‌شوند که قطارها به سوی هم حرکت می‌کنند. شکل ۲-۳۱، نمودار سرعت‌های قطارها v ، را به صورت تابعی از زمان t ، پس از آنکه راننده‌ها حرکت قطارها را کند کردند، نشان می‌دهد. مقیاس محور قائم شکل با مقدار $v_s = 40.0 \text{ m/s}$ مشخص شده است. فرایند کند شدن قطارها هنگامی آغاز می‌شود که فاصله‌ی قطارها از یکدیگر 200 m باشد. فاصله‌ی دو قطار پس از متوقف شدن چیست؟



شکل ۲-۳۱ مسئله‌ی ۴۱.

۴۶ ✱ قطره‌های باران از ابرهایی به ارتفاع 1700m فرو می‌ریزند.

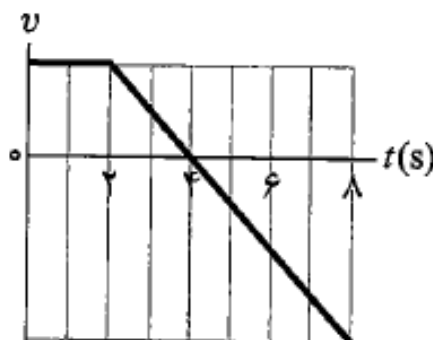
(الف) اگر مقاومت هوا باعث کند شدن حرکت نشود، قطره‌ها

با چه سرعتی به زمین برخورد می‌کنند؟ (ب) آیا راه رفتن در

زیر چنین رگبار بارانی امن است؟

تمرین

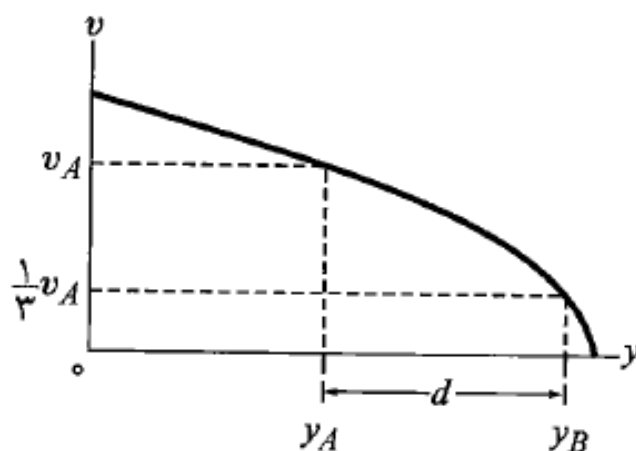
۵۱ ** در حالی که یک بالون مجهز به ابزارهای علمی با تندی 19.6 m/s به بالا صعود می‌کند، یکی از بسته‌های اندازه‌گیری آن از جا کنده می‌شود و آزادانه سقوط می‌کند. شکل ۲-۳۴، سرعت قائم این بسته بر حسب زمان را، از پیش از کنده شدن تا رسیدن به زمین نشان می‌دهد. (الف) این بسته تا چه ارتفاع بیشینه‌ای نسبت به نقطه‌ی رها شدنش بالا می‌رود؟ (ب) نقطه‌ی رها شدن بسته در چه ارتفاعی نسبت به زمین قرار دارد؟



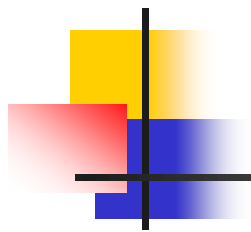
شکل ۲-۳۴ مسئله‌ی ۵۱.

تمرین

** ۵۶ شکل ۲-۳۵، نمودار تندی v بر حسب ارتفاع y توپی را نشان می‌دهد که در راستای محور y یک راست به بالاسو پرتاب شده است. مسافت d برابر با 40 m است. تندی توپ در ارتفاع y_A برابر با v_A و در ارتفاع y_B برابر با $\frac{1}{3}v_A$ است. تندی v_A چیست؟



شکل ۲-۳۵ مسئله ۵۶.



یک عمل درست، بهتر است از هزار نصیحت

دکتر حسابی