

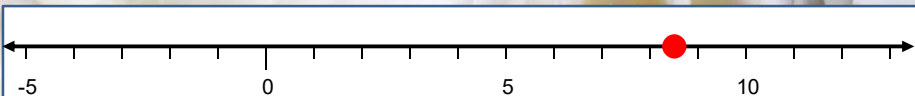
## حرکت در یک بعد



ذره کجاست؟

پاسخ سوال نیاز به مدرج کردن دارد

## حرکت در یک بعد



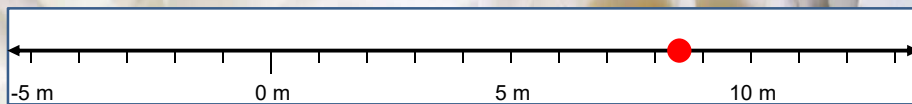
ذره کجاست؟

پاسخ سوال نیاز به مدرج کردن دارد

ذره در  $8/5$  است

اما  $8/5$  چی؟

## حرکت در یک بعد



ذره کجاست؟

پاسخ سوال نیاز به مدرج کردن دارد

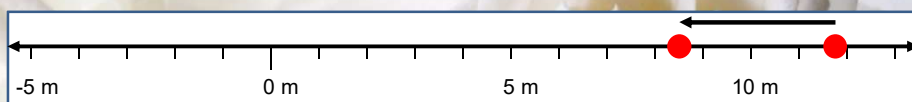
ذره در 8/5 است

اما 8/5 چی؟ 8/5 متر

ما از متر به عنوان واحد استاندارد طول استفاده می کنیم

اما فیزیک به نحوه علامت گذاری ما بستگی ندارد

## حرکت در یک بعد



$$x = 8.5 \text{ m}$$

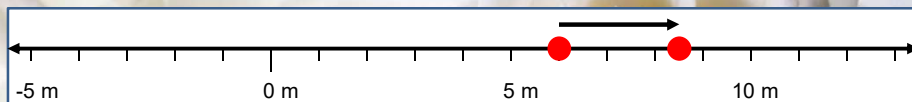
مکان ذره می تواند مثبت یا منفی باشد

آیا ذره حرکت کرده است؟

بله، به سمت چپ، پس جابه جایی آن منفی است

$$\Delta x = x_2 - x_1 = -3.25 \text{ m}$$

## حرکت در یک بعد



$$x = 8.5 \text{ m}$$

مکان ذره می تواند مثبت یا منفی باشد

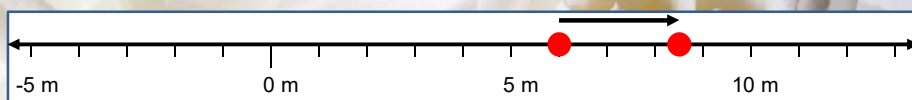
آیا ذره حرکت کرده است؟

بله، به سمت راست، پس جابه جایی آن مثبت است

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 2.5 \text{ m}$$

پس جابه جایی ذره می تواند مثبت (حتی اگر مکان ذره منفی باشد)  
یا منفی باشد (حتی اگر مکان ذره مثبت باشد)

## حرکت در یک بعد



$$x = 8.5 \text{ m}$$

مکان ذره می تواند مثبت یا منفی باشد

آیا ذره حرکت کرده است؟

بله، به سمت راست، پس جابه جایی آن مثبت است

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 2.5 \text{ m}$$

ذره چقدر سریع حرکت کرده است؟

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2.5 \text{ m}}{0.5 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## سرعت و تندی

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

$$|v| = \left| \frac{\Delta x}{\Delta t} \right|$$

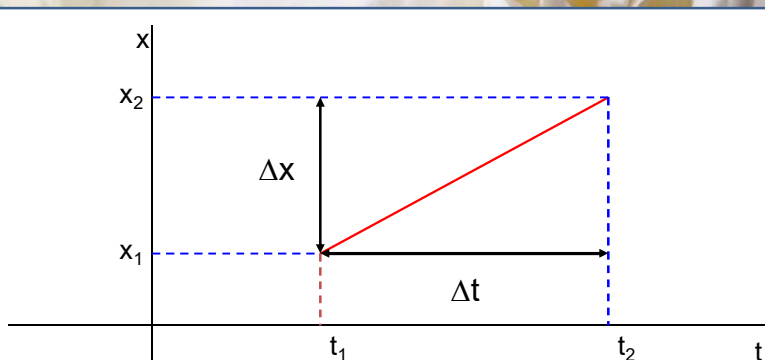
به اندازه سرعت تندی گویند

جابه جایی و سرعت هم علامت هستند

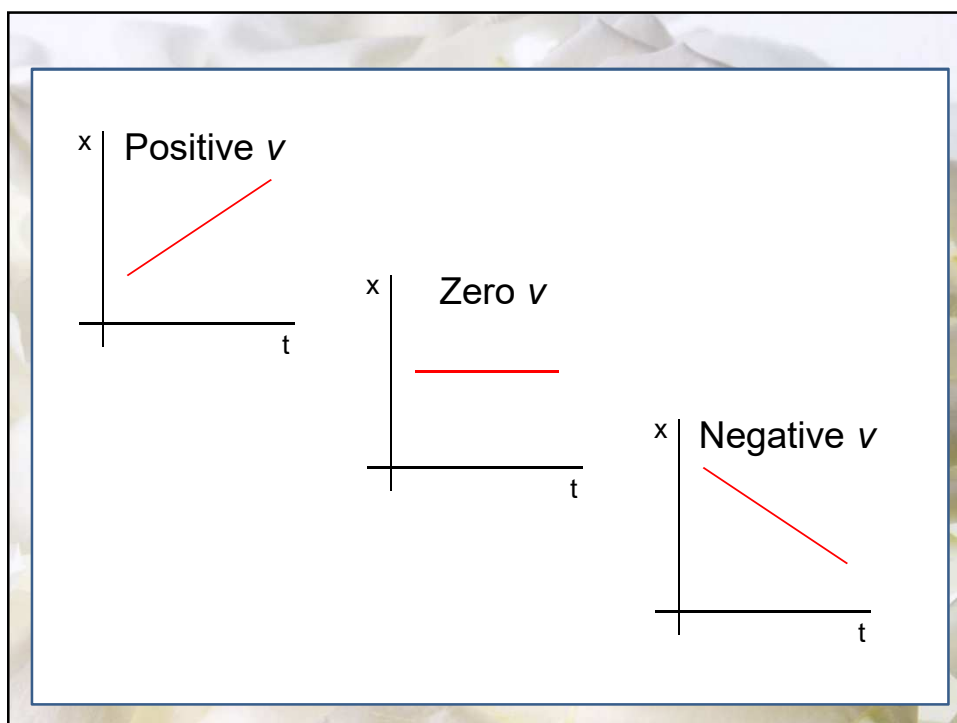
سرعت مثبت است اگر ذره در حال حرکت به سمت راست باشد

سرعت منفی است اگر ذره در حال حرکت به سمت چپ باشد

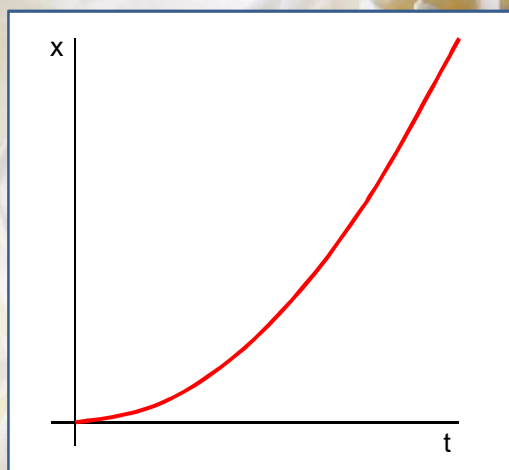
سرعت شیب مکان نسبت به زمان است



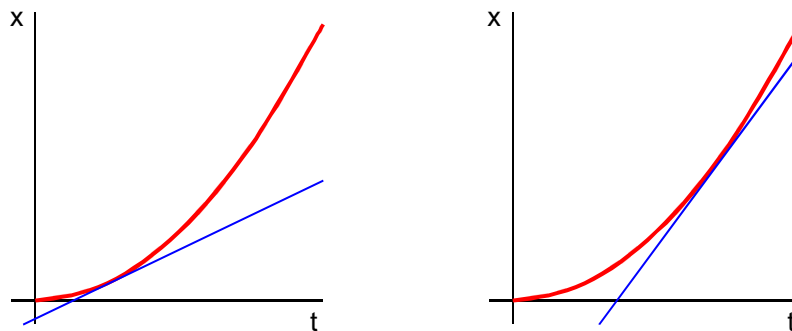
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$



اگر سرعت متغیر باشد مکان دیگر بر حسب زمان رفتاری خطی ندارد



سرعت لحظه ای شیب خط مماس بر منحنی مکان-زمان است



بنابراین سرعت لحظه ای را می توان با مشتق گیری از مکان نسبت به زمان به دست آورد

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

فرمولهای لازم برای مشتق گیری

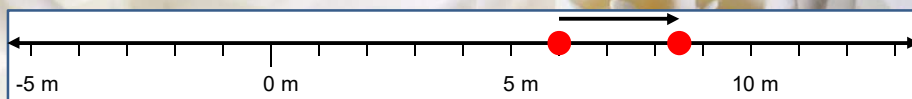
$$\frac{d(At^n)}{dt} = Ant^{n-1}$$

$$\frac{d(f + g)}{dt} = \frac{df}{dt} + \frac{dg}{dt}$$

$$\frac{d(fg)}{dt} = \frac{df}{dt} g + \frac{dg}{dt} f$$

$$\frac{d(f/g)}{dt} = \frac{\frac{df}{dt} g - \frac{dg}{dt} f}{g^2}$$

## حرکت در یک بعد



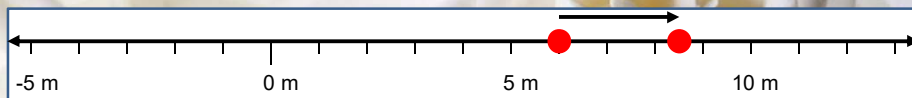
$$x = 8.5 \text{ m}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 2.5 \text{ m}$$

ذره چقدر سریع حرکت کرده است؟

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2.5 \text{ m}}{0.5 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

## حرکت در یک بعد



$$x = 8.5 \text{ m}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 2.5 \text{ m}$$

ذره چقدر سریع حرکت کرده است؟

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{2.5 \text{ m}}{0.5 \text{ s}} = 5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

سرعت ذره چقدر سریع تغییر کرده است؟

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

## شتاب

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{(v_2 - v_1)}{(t_2 - t_1)}$$

شتاب مثبت است اگر

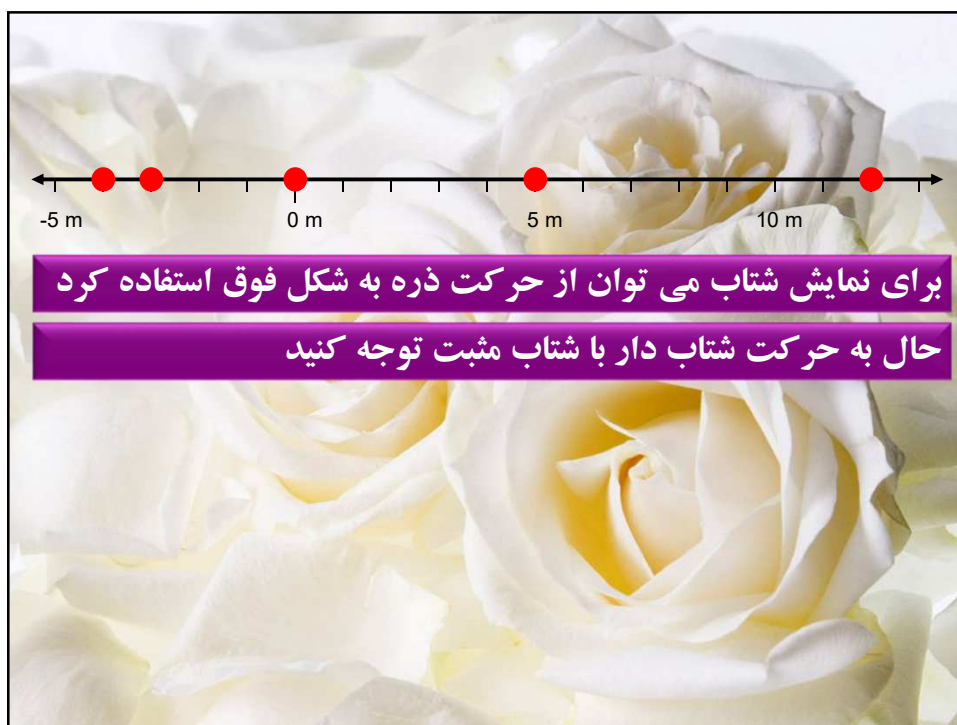
سرعت مثبت باشد و تندی در حال افزایش باشد

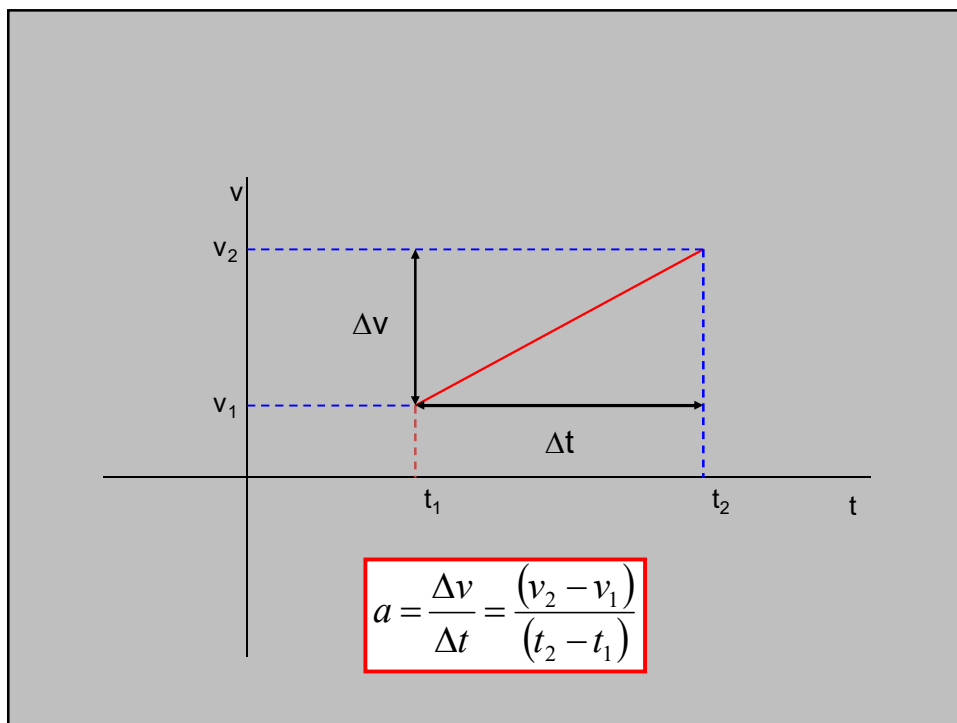
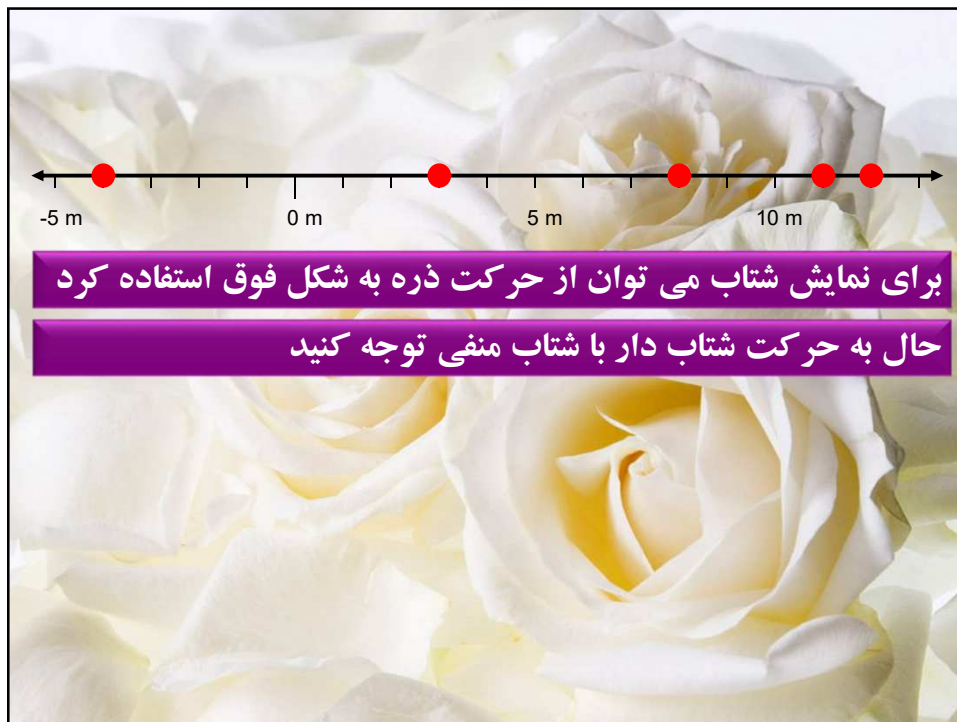
سرعت منفی باشد و تندی در حال کاهش باشد

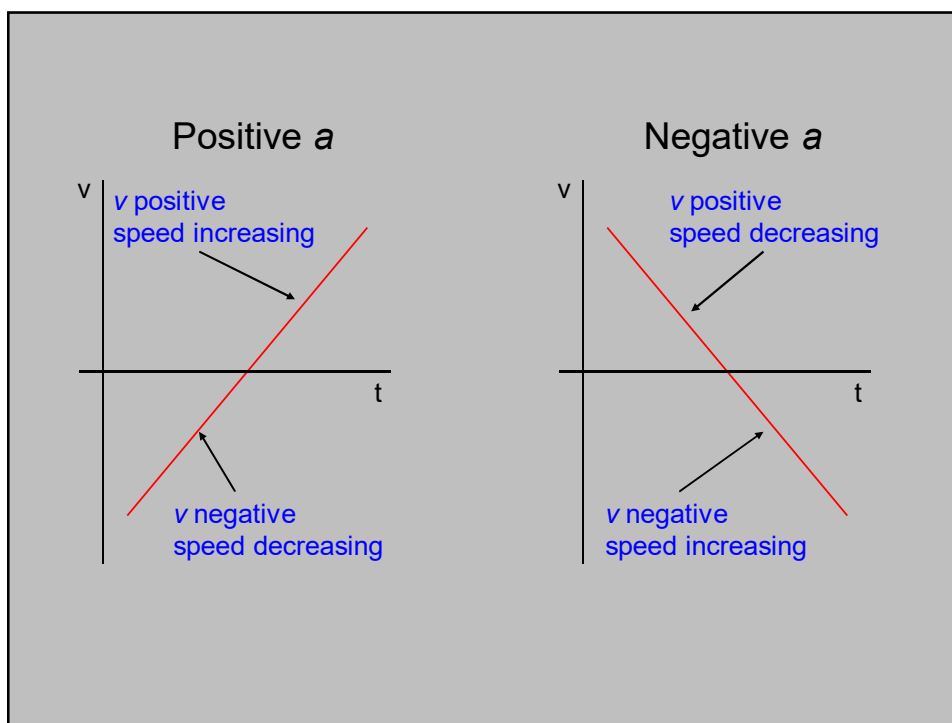
شتاب منفی است اگر

سرعت مثبت باشد و تندی در حال کاهش باشد

سرعت منفی باشد و تندی در حال افزایش باشد







این معمولا پایان سوالات در خصوص تغییرات است

بنابراین معمولا نیازی نیست که نگران تغییرات شتاب بر حسب زمان باشیم

اما اگر لازم شد تغییرات شتاب را می توان به صورت زیر تعریف کرد

$$J = \frac{\Delta a}{\Delta t} = \frac{(a_2 - a_1)}{(t_2 - t_1)}$$

## حرکت در یک بعد

سینماتیک تشریح حرکت ذره است بدون توجه به عامل پدید آورنده آن، یعنی تعیین و توصیف:

$$x = x(t)$$

$$v = v(t)$$

سرعت یک ذره با شتاب ثابت و سرعت اولیه  $v_0$  چگونه با زمان تغییر می کند؟

$$v = v_0 + at$$

$$\frac{dv}{dt} = \frac{dv_0}{dt} + \frac{d(at)}{dt}$$

$$a = 0 + a$$

تحقیق درستی رابطه فوق

مکان یک ذره با شتاب ثابت و سرعت اولیه  $v_0$  در مکان اولیه  $x_0$  چگونه با زمان تغییر می کند؟

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{v}_0 \mathbf{t} + \frac{1}{2} \mathbf{a} \mathbf{t}^2$$

$$\frac{dx}{dt} = \cancel{\frac{dx_0}{dt}} + \frac{d(v_0 t)}{dt} + \frac{d(\frac{1}{2} a t^2)}{dt}$$

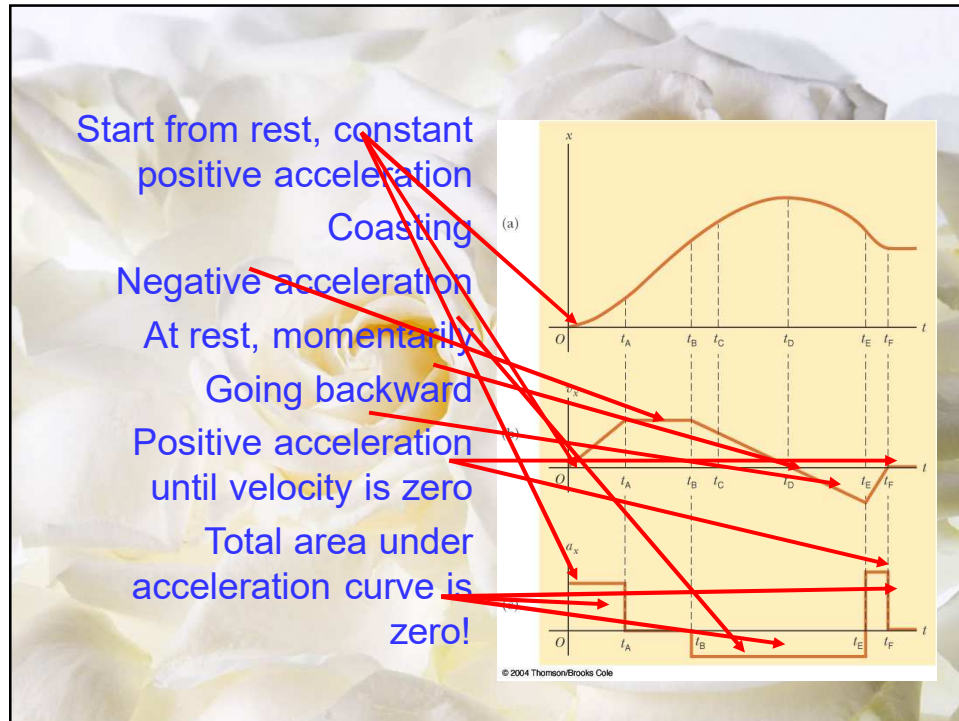
$$v = 0 + v_0 + at$$

معادلات سینماتیکی حرکت:

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_0 + \mathbf{v}_0 \mathbf{t} + \frac{1}{2} \mathbf{a} \mathbf{t}^2$$

$$v = v_0 + at$$

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



|                                                                                       |                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| $\frac{dv}{dt} = a$                                                                   | $\frac{dx}{dt} = at + v_0$                               |
| $dv = a dt$                                                                           | $dx = (at + v_0) dt$                                     |
| $\int_{v_0}^v dv = \int_0^t a dt$                                                     | $\int_{x_0}^x dx = \int_0^t (at + v_0) dt$               |
| $\int_a^b x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \Big _a^b = \frac{1}{n+1} (b^{n+1} - a^{n+1})$ | $x \Big _{x_0}^x = a \int_0^t t dt + v_0 \int_0^t dt$    |
| $v \Big _{v_0}^v = at \Big _0^t$                                                      | $x - x_0 = \frac{1}{2} at^2 \Big _0^t + v_0 t \Big _0^t$ |
| $v - v_0 = a(t - 0)$                                                                  | $x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2$                     |
| $v = at + v_0$                                                                        |                                                          |

## جمع بندی حرکت با شتاب ثابت

**Table 2.2**

### Kinematic Equations for Motion of a Particle Under Constant Acceleration

| Equation                                    | Information Given by Equation               |
|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| $v_{xf} = v_{xi} + a_x t$                   | Velocity as a function of time              |
| $x_f = x_i + \frac{1}{2}(v_{xi} + v_{xf})t$ | Position as a function of velocity and time |
| $x_f = x_i + v_{xi}t + \frac{1}{2}a_x t^2$  | Position as a function of time              |
| $v_{xf}^2 = v_{xi}^2 + 2a_x(x_f - x_i)$     | Velocity as a function of position          |

*Note:* Motion is along the  $x$  axis.

© 2004 Thomson/Brooks Cole

$$\frac{da}{dt} = J$$

$$da = J dt$$

$$\int_{a_0}^a da = \int_0^t J dt$$

$$a \Big|_{a_0}^a = J t \Big|_0^t$$

$$a - a_0 = J(t - 0)$$

$$a = a_0 + Jt$$

$$\frac{dv}{dt} = Jt + a_0$$

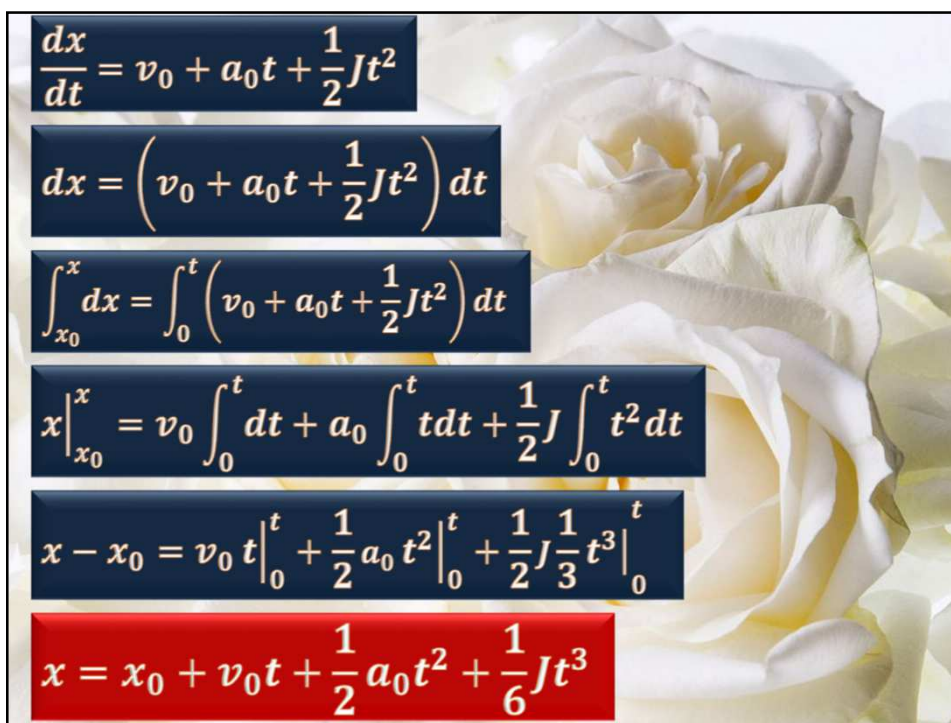
$$dv = (Jt + a_0)dt$$

$$\int_{v_0}^v dv = \int_0^t (Jt + a_0)dt$$

$$v \Big|_{v_0}^v = J \int_0^t t dt + a_0 \int_0^t dt$$

$$v - v_0 = \frac{1}{2}Jt^2 \Big|_0^t + a_0 t \Big|_0^t$$

$$v = v_0 + a_0 t + \frac{1}{2}Jt^2$$



$$\frac{dx}{dt} = v_0 + a_0 t + \frac{1}{2} J t^2$$

$$dx = \left( v_0 + a_0 t + \frac{1}{2} J t^2 \right) dt$$

$$\int_{x_0}^x dx = \int_0^t \left( v_0 + a_0 t + \frac{1}{2} J t^2 \right) dt$$

$$x \Big|_{x_0}^x = v_0 \int_0^t dt + a_0 \int_0^t t dt + \frac{1}{2} J \int_0^t t^2 dt$$

$$x - x_0 = v_0 t \Big|_0^t + \frac{1}{2} a_0 t^2 \Big|_0^t + \frac{1}{2} J \frac{1}{3} t^3 \Big|_0^t$$

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} a_0 t^2 + \frac{1}{6} J t^3$$

سقوط آزاد اجسام

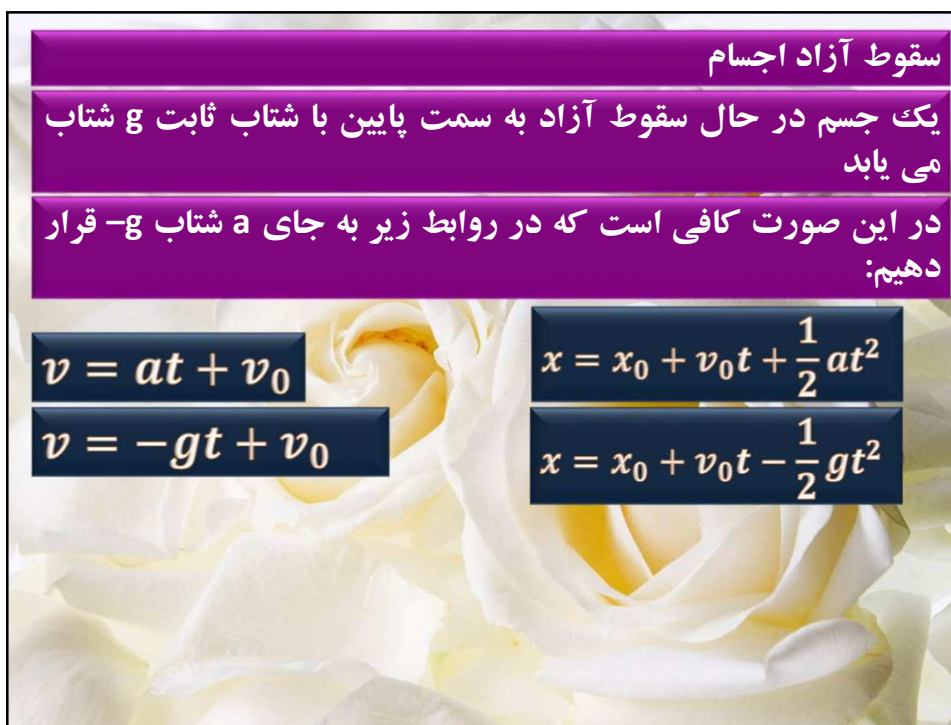
یک جسم در حال سقوط آزاد به سمت پایین با شتاب ثابت  $g$  شتاب می یابد

در این صورت کافی است که در روابط زیر به جای  $a$  شتاب  $g$  - قرار دهیم:

$$v = at + v_0$$

$$v = -gt + v_0$$

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

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


**A**

$$y_A = 0$$

$$t_A = 0$$

$$v_A = 20 \text{ m/s}$$

$$a_A = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$$

**B**

$$v_B = 0 = -gt_B + v_A$$

$$= -9.8t_B + 20$$

$$a_B = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$$

$$t_B = -\frac{20}{-9.8} = 2.04 \text{ s}$$

$$y_B = -\frac{1}{2}gt_B^2 + v_At_B + y_A$$

$$y_B = -\frac{1}{2}9.8(2.04)^2 + 20 \times 2.04 + 0 = 20.408$$

| Point | Time (s) | Position (m) | Velocity (m/s) | Acceleration (m/s²) |
|-------|----------|--------------|----------------|---------------------|
| A     | 0        | 0            | 20.0           | -9.80               |
| B     | 2.04     | 20.4         | 0              | -9.80               |
| C     | 4.08     | 0            | -20.0          | -9.80               |
| D     | 5.00     | -22.5        | -29.0          | -9.80               |
| E     | 5.83     | -50.0        | -37.1          | -9.80               |

© 2004 Thomson/Brooks Cole

**C**

$$a_C = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$$

$$t_C = 2t_B = 4.08 \text{ s}$$

$$y_C = 0$$

$$v_C = -v_A = -20 \text{ m/s}$$

**D**

$$a_D = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$$

$$t_D = 5 \text{ s}$$

$$y_D = -\frac{1}{2}g(t_D - t_C)^2 + v_C(t_D - t_C)$$

$$= -\frac{1}{2}9.8 \times (5 - 4.08)^2 - 20 \times (5 - 4.08) + 0 = -22.5$$

$$v_D = -g(t_D - t_C) + v_C$$

$$= -g(5 - 4.08) + v_C$$

$$= -29.0$$

| Point | Time (s) | Position (m) | Velocity (m/s) | Acceleration (m/s²) |
|-------|----------|--------------|----------------|---------------------|
| A     | 0        | 0            | 20.0           | -9.80               |
| B     | 2.04     | 20.4         | 0              | -9.80               |
| C     | 4.08     | 0            | -20.0          | -9.80               |
| D     | 5.00     | -22.5        | -29.0          | -9.80               |
| E     | 5.83     | -50.0        | -37.1          | -9.80               |

© 2004 Thomson/Brooks Cole

$$a_E = -g = -9.8 \text{ m/s}^2$$

$$y_E = -50 \text{ m}$$

$$v_E^2 - v_D^2 = -2g(y_E - y_D)$$

$$v_E = -\sqrt{29^2 - 2 \times 9.8 \times (-50 + 22.5)}$$

$$v_E = -37.148 \text{ m/s}$$

$$v_E = -g(t_E - t_D) + v_D$$

$$-37.1 = -9.8(t_E - 5) - 29$$

$$t_E = \frac{(-37.1 + 29)}{-9.8} + 5$$

$$= 5.83 \text{ s}$$

$$Y_E = -\frac{1}{2}gt_E^2 + v_A t_E + Y_A$$

$$-50 = -\frac{1}{2}9.8t_E^2 + 20t_E + 0$$

$$t_E = \frac{-4.9 \pm \sqrt{100 + 4.9 \times 50}}{4.9} = \begin{cases} 5.83 \text{ s} \\ -1.75 \text{ s} \end{cases}$$

ق ق  
غ ق ق

© 2004 Thomson/Brooks Cole

**Example 2.1 Calculating the Average Velocity and Speed**

Find the displacement, average velocity, and average speed of the car in Figure 2.1a between positions ① and ⑤.

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

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

$$= \frac{-53 \text{ m} - 30 \text{ m}}{50 \text{ s} - 0 \text{ s}} = \frac{-83 \text{ m}}{50 \text{ s}}$$

$$= -1.7 \text{ m/s}$$

**Table 2.1**

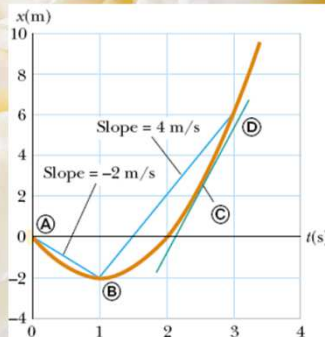
**Position of the Car at Various Times**

| Position | t(s) | x(m) |
|----------|------|------|
| ①        | 0    | 30   |
| ②        | 10   | 52   |
| ③        | 20   | 38   |
| ④        | 30   | 0    |
| ⑤        | 40   | -37  |
| ⑥        | 50   | -53  |

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

### Example 2.3 Average and Instantaneous Velocity

A particle moves along the  $x$  axis. Its position varies with time according to the expression  $x = -4t + 2t^2$  where  $x$  is in meters and  $t$  is in seconds.<sup>3</sup> The position–time graph for this motion is shown in Figure 2.4. Note that the particle moves in the negative  $x$  direction for the first second of motion, is momentarily at rest at the moment  $t = 1$  s, and moves in the positive  $x$  direction at times  $t > 1$  s.

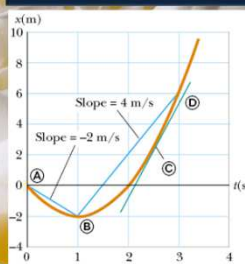


**(A)** Determine the displacement of the particle in the time intervals  $t = 0$  to  $t = 1$  s and  $t = 1$  s to  $t = 3$  s.

$$\begin{aligned}\Delta x_{A \rightarrow B} &= x_f - x_i = x_B - x_A \\ &= [-4(1) + 2(1)^2] - [-4(0) + 2(0)^2] \\ &= -2 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta x_{B \rightarrow D} &= x_f - x_i = x_D - x_B \\ &= [-4(3) + 2(3)^2] - [-4(1) + 2(1)^2] \\ &= +8 \text{ m}\end{aligned}$$

$$x = -4t + 2t^2$$



**(B)** Calculate the average velocity during these two time intervals.

$$\bar{v}_{x(A \rightarrow B)} = \frac{\Delta x_{A \rightarrow B}}{\Delta t} = \frac{-2 \text{ m}}{1 \text{ s}} = -2 \text{ m/s}$$

$$\bar{v}_{x(B \rightarrow D)} = \frac{\Delta x_{B \rightarrow D}}{\Delta t} = \frac{8 \text{ m}}{2 \text{ s}} = +4 \text{ m/s}$$

**(C)** Find the instantaneous velocity of the particle at  $t = 2.5$  s.

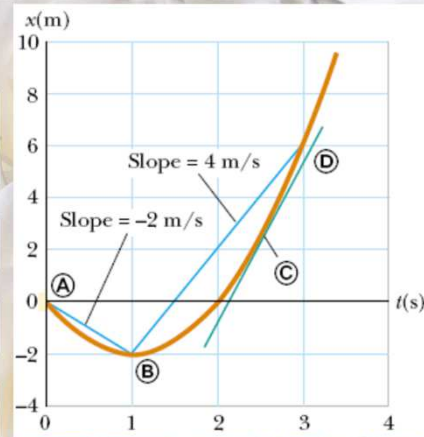
$$x = -4t + 2t^2$$

$$v = \frac{dx}{dt} = -4 + 4t$$

$$v(t = 2.5 \text{ s}) = -4 + 4 \times 2.5$$

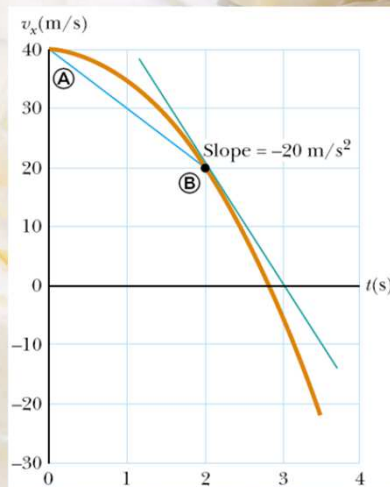
$$v(t = 2.5 \text{ s}) = -4 + 10$$

$$v(t = 2.5 \text{ s}) = 6 \text{ m/s}$$



### Example 2.5 Average and Instantaneous Acceleration

The velocity of a particle moving along the  $x$  axis varies in time according to the expression  $v_x = (40 - 5t^2) \text{ m/s}$ , where  $t$  is in seconds.



**(A)** Find the average acceleration in the time interval  $t = 0$  to  $t = 2.0$  s.

$$v_{xA} = (40 - 5t_A^2) \text{ m/s} = [40 - 5(0)^2] \text{ m/s} = +40 \text{ m/s}$$

$$v_{xB} = (40 - 5t_B^2) \text{ m/s} = [40 - 5(2.0)^2] \text{ m/s} = +20 \text{ m/s}$$

$$\begin{aligned} \bar{a}_x &= \frac{v_{xf} - v_{xi}}{t_f - t_i} = \frac{v_{xB} - v_{xA}}{t_B - t_A} = \frac{(20 - 40) \text{ m/s}}{(2.0 - 0) \text{ s}} \\ &= -10 \text{ m/s}^2 \end{aligned}$$

**(B)** Determine the acceleration at  $t = 2.0$  s.

$$v_x = 40 - 5t^2$$

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = -10t \quad a_x = -10 \times 2 = -20 \text{ m/s}^2$$

### Example 2.7 Carrier Landing

A jet lands on an aircraft carrier at 140 mi/h ( $\approx 63$  m/s).

**(A)** What is its acceleration (assumed constant) if it stops in 2.0 s due to an arresting cable that snags the airplane and brings it to a stop?

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

**(B)** If the plane touches down at position  $x_i = 0$ , what is the final position of the plane?

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

$$= 63 \text{ m}$$

### Example 2.8 Watch Out for the Speed Limit!

A car traveling at a constant speed of 45.0 m/s passes a trooper hidden behind a billboard. One second after the speeding car passes the billboard, the trooper sets out from the billboard to catch it, accelerating at a constant rate of 3.00 m/s<sup>2</sup>. How long does it take her to overtake the car?

$t_A = -1.00 \text{ s}$   
(A)



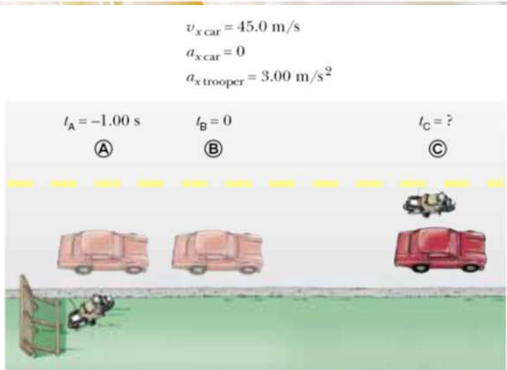
$t_B = 0$   
(B)



$t_C = ?$   
(C)



$v_{x \text{ car}} = 45.0 \text{ m/s}$   
 $a_{x \text{ car}} = 0$   
 $a_{x \text{ trooper}} = 3.00 \text{ m/s}^2$



$$x_{\text{car}} = x_{\text{B}} + v_{x \text{ car}} t = 45.0 \text{ m} + (45.0 \text{ m/s}) t$$

$$x_f = x_i + v_{xi} t + \frac{1}{2} a_x t^2$$

$$x_{\text{trooper}} = 0 + (0) t + \frac{1}{2} a_x t^2 = \frac{1}{2} (3.00 \text{ m/s}^2) t^2$$

$$x_{\text{trooper}} = x_{\text{car}}$$

$$\frac{1}{2} (3.00 \text{ m/s}^2) t^2 = 45.0 \text{ m} + (45.0 \text{ m/s}) t$$

$$1.50 t^2 - 45.0 t - 45.0 = 0$$

$$t = 31.0 \text{ s.}$$

**What If?** What if the trooper had a more powerful motorcycle with a larger acceleration? How would that change the time at which the trooper catches the car?

$$\frac{1}{2} a_x t^2 - v_{x \text{ car}} t - x_{\text{B}} = 0$$

$$t = \frac{v_{x \text{ car}} \pm \sqrt{v_{x \text{ car}}^2 + 2 a_x x_{\text{B}}}}{a_x}$$

$$= \frac{v_{x \text{ car}}}{a_x} + \sqrt{\frac{v_{x \text{ car}}^2}{a_x^2} + \frac{2 x_{\text{B}}}{a_x}}$$

**Conceptual Example 2.11 Follow the Bouncing Ball**

A tennis ball is dropped from shoulder height (about 1.5 m) and bounces three times before it is caught. Sketch graphs of its position, velocity, and acceleration as functions of time, with the  $+y$  direction defined as upward.

