

Parte 1 - Movimento Retilíneo

Coordenada de posição, trajetória, referenciais diferentes e velocidade média.

1– Introdução

Um dos propósitos da Física é estudar o movimento dos objetos: a rapidez com que se movem, por exemplo, ou a distância percorrida em um dado intervalo de tempo. Os engenheiros da NASCAR são fanáticos por esses aspectos da física quando determinam o desempenho de seus carros antes e durante uma corrida. Os geólogos usam essa física para estudar os movimentos das placas tectônicas na tentativa de prever terremotos. Os médicos necessitam desta física para mapear o fluxo de sangue em um paciente quando examinam uma artéria parcialmente obstruída. Existem inúmeros outros exemplos.

Nesta aula, estudaremos a física básica do movimento nos casos em que os objetos estão se movendo em linha reta. Este tipo de movimento é chamado de **movimento unidimensional**.

2 – Movimento

Vamos examinar algumas propriedades gerais do movimento unidimensional, restringindo nossa análise de três formas.

1. Vamos supor que o movimento se dá ao longo de uma linha reta. A trajetória pode ser vertical, horizontal ou inclinada, mas deve ser retilínea.
2. Vamos discutir apenas o movimento em si e suas mudanças, sem nos preocupar com as suas causas. As forças (empurrões e puxões) modificam o movimento, mas não serão discutidas até o capítulo 5.
3. Vamos supor que o objeto em movimento é uma partícula (ou seja, um objeto pontual, como um elétron) ou um objeto que se move como uma partícula (isto é, todas as partes do objeto se movem na mesma direção e com a mesma rapidez).

3 – Posição e Trajetória

O lugar no espaço onde se situa o corpo é chamado de **posição**. Imagine três pontos fixos e espaçados, X_0 , X_1 e X_2 numa sala, e uma moeda cujo centro é o ponto P. Inicialmente, o ponto P da moeda coincidente com X_0 , X_1 e X_2 sucessivamente. Assim, a posição de P foi sucessivamente os pontos X_0 , X_1 e X_2 . O ponto P está fixo na moeda e move-se com ela. Os pontos X_0 , X_1 e X_2 são pontos fixos do espaço. Durante o movimento da moeda, a posição de P variou no tempo, passando por X_0 , depois por X_1 , depois por X_2 .

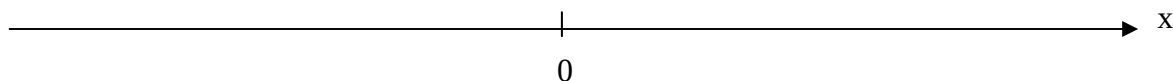


Posição é um conceito geométrico.

As posições da moeda durante seu movimento são pontos fixos do espaço (X_0 , X_1 , X_2). Esses pontos não têm dimensão, não é possível medi-los. *Posição*, assim definida, não é uma grandeza mensurável.

Coordenada de posição e referência:

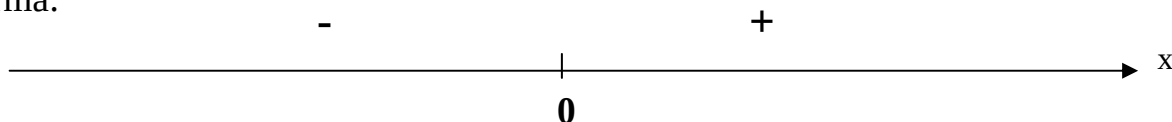
Para localizar um objeto (como a moeda do nosso exemplo) devemos determinar sua posição em relação a um ponto de referência, freqüentemente a origem (ou o ponto zero) de um eixo (como o eixo x da figura abaixo). Desta forma, determinamos sua coordenada de posição. Para obter a coordenada de posição da moeda em cada instante de tempo você deverá medir a distância entre a moeda (ponto P) e um outro ponto, fixo na sala.



O sinal da coordenada de posição:

Note que a moeda pode encontrar-se a esquerda ou a direita de 0. Atribua um sinal positivo para a coordenada x quando a moeda se encontra a direita de 0, sendo negativo o sinal de x quando a moeda se encontra a esquerda de 0.

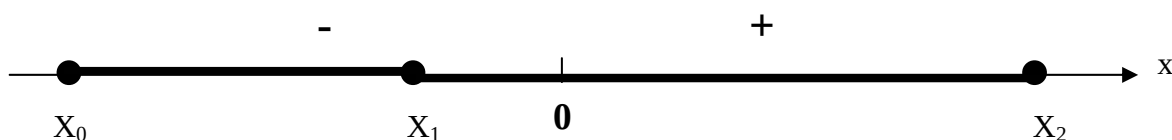
Desta forma:



Assim, por exemplo, uma partícula pode estar localizada em $x = 5$ m, o que significa que está a 5 m da origem no sentido positivo. Se estivesse localizada em $x = -5$ m, estaria também a 5 m da origem, mas no sentido oposto. O sinal positivo de uma coordenada não precisa ser mostrado explicitamente, mas o sinal negativo deve ser sempre mostrado.

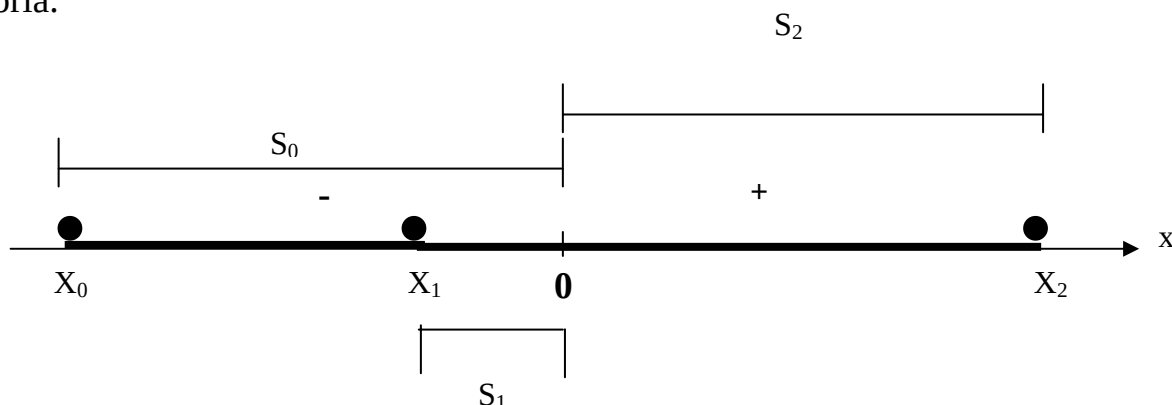
Trajetória:

Entre X_0 , X_1 e X_2 a moeda ocupou outros pontos do espaço, tendo seguido uma ***trajetória***. Podemos definir *trajetória* de P como a sucessão contínua de pontos fixos do espaço ocupados por P durante seu movimento. O avião que solta a fumaça branca desenha sua própria trajetória. O risco branco mostra as *posições* ocupadas pelo avião no seu movimento. Chamaremos de *reta suporte da trajetória* a reta sobre a qual se move a moeda.



Representação da coordenada de posição:

Vamos usar a letra S para representar a coordenada de posição. Chame de S_0 , S_1 , S_2 , etc, as coordenadas de posição nos instantes $t=0$, $t=t_1$, etc. Para melhor visualização das coordenadas de posição, podemos representá-las geometricamente por um segmento sobre a reta suporte da trajetória.



Exercício 1:

Na figura acima representa-se a reta suporte da trajetória de um corpo. Suponha que a *posição* do corpo em $t=0$ é X_0 e a *posição* no instante qualquer t_n é S_n . O observador escolheu como referência das posições o ponto 0. Marque V(verdadeiro) ou F(falso) ao lado de cada uma das afirmações abaixo:

- ☐ para obter o valor da *coordenada de posição* do corpo em t_1 mede-se a distância entre X_0 e X_1 .
- ☐ para obter o valor da *coordenada de posição* do corpo em t_2 mede-se a distância entre X_2 e o ponto 0.
- ☐ a coordenada de posição do corpo em t_1 é o ponto X_1 .
- ☐ a *posição* inicial do corpo é o ponto X_0 .
- ☐ a coordenada de posição inicial do corpo é igual a zero.
- ☐ para obter o valor da *coordenada de posição* inicial do corpo mede-se a distância entre X_0 e o ponto 0.
- ☐ a coordenada de posição do ponto 0 é sempre igual a zero.

Um outro observador: o colega ao lado

Dada a *posição* de um corpo num instante qualquer, sua *coordenada de posição* nesse instante não é única. A coordenada de posição vai depender da escolha feita para a referência das posições. Esta escolha é inteiramente livre, desde que o ponto escolhido como referência esteja sobre a reta suporte da trajetória.

Suponhamos que um colega seu (colega ao lado), observando o movimento da moeda, o mesmo que você observou, tenha escolhido como referência das posições um ponto diferente do seu, que chamaremos de O' . O ponto O' é coincidente com a posição da moeda quando esta se encontra em X_2 .

Para o colega oculto, portanto, a coordenada de posição da moeda liga P (ponto da moeda) a O' . Ele chamou sua coordenada de posição de y , para distingui-la da coordenada s .

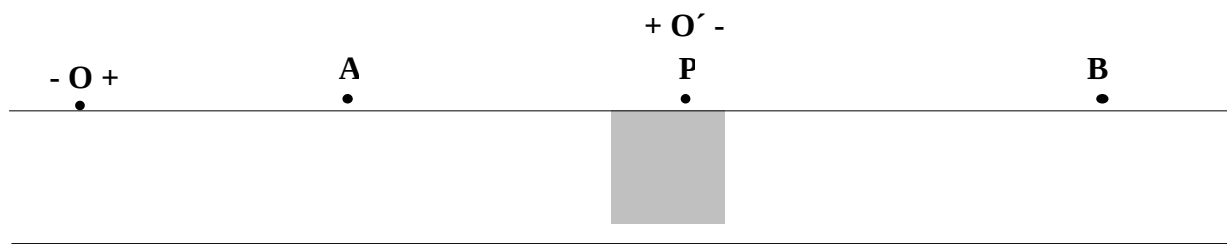
Para fixar este conceito, vamos fazer o exercício a seguir:

Exercício 2:

Um bloco desliza num plano sem atrito, preso a uma mola. A posição do bloco é dada pelo ponto P, representado na figura. As oscilações do bloco têm como extremos os pontos A e B. Está representada na figura a reta suporte da trajetória de P, bem como as referências e convenções de sinais de 2 observadores. Em $t=0$ o bloco (ponto P) encontra-se na referência O' . O movimento foi observado entre os instantes 0 e 3,2s. Em $t=3,2s$ P está em O' , após completar duas oscilações. A figura está na escala **1:10**.

Observador 1 : referência O, coordenada de posição s

Observador 2 : referência O' , coordenada de posição y



a) Dê as coordenadas de posição do bloco no instante $t=0$, segundo os observadores 1 e 2.

Resp: $s_0 = 85 \text{ cm}$, $y_0 = 0$

b) Dê as coordenadas de posição, s_B e y_B , do bloco segundo cada observador, quando o bloco atinge o extremo B.

Resp: $s_B = 135 \text{ cm}$; $y_B = -50 \text{ cm}$

c) Desenhe na figura os segmentos (sobre a reta suporte) que foram usados para medir s_A e y_A .

Resp: Segmentos que foram usados para medir s_A e y_A .

d) Marque V(verdadeiro) ou F(falso)

() $s_A + y_A = 15 \text{ cm}$

() $s_A + y_A = 85 \text{ cm}$

() $-s_A > y_B$

() para qualquer instante de tempo do movimento a coordenada de P para o observador 1 é maior ou igual a 35 cm.

() para qualquer instante de tempo do movimento a coordenada de P para o observador 2 é negativa.

Resp: F, V, V, V, F

4 – Deslocamento

A mudança de uma posição X_1 para X_2 está associada a um deslocamento ΔS , dado por:

$$\Delta S = S_2 - S_1$$

Um deslocamento no sentido positivo do eixo resulta num ΔS positivo. Um deslocamento no sentido negativo, num ΔS negativo. O número real de metros percorridos é irrelevante. O deslocamento envolve apenas as posições inicial e final. Assim, por exemplo, se a partícula se move de $S_1 = 5\text{m}$ até $S_2 = 200\text{m}$ e em seguida volta para $S_3 = 5\text{m}$, o deslocamento total será:

$$\Delta S = S_3 - S_1 = 5 - 5 = 0$$

Para o cálculo da distância percorrida (D) foi de $5 \rightarrow 200 = 195\text{ m}$ + de $200 \rightarrow 5 = 195\text{ m}$, $D = 195 + 195 = 390\text{ m}$.

O sinal positivo do deslocamento não precisa ser mostrado, mas o sinal negativo deve ser sempre mostrado. Quando ignoramos o sinal (e, portanto, o sentido) do deslocamento, ficamos com o módulo do deslocamento. Assim, por exemplo, um deslocamento $\Delta S = -50\text{ m}$ possui módulo de 50 m . O deslocamento é uma grandeza vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido. Os vetores serão estudados mais tarde.

Exercício 3:

Considere três pares de posições iniciais e finais, respectivamente, ao longo do eixo x . A quais dos pares correspondem deslocamentos negativos: (a) -3 m , $+5\text{ m}$; (b) -3 m , -7 m ; (c) 7 m , -3 m ?

Resp: b, c.

5 – Velocidade Média

Uma forma compacta de descrever a posição de um objeto é desenhar um gráfico da posição s em função do tempo t , ou seja, um gráfico de $s(t)$. Como um exemplo simples, vamos usar a tabela abaixo, a qual mostra a posição de um corredor em função do tempo visto do referencial de um torcedor parado a 24 metros antes da linha de chegada.

t em segundos	s em m
0	-24
0,5	-12
1,0	0
1,5	12
2,0	24

Um corpo não pode ocupar duas posições num dado instante de tempo. Assim, para cada instante t há uma única *posição* (sendo *posição* o ponto do espaço ocupado por P). Para um dado observador, há também uma única *coordenada de posição* para cada instante t . Pois, tendo o observador escolhido previamente a referência R e a convenção de sinais que vai utilizar, não haverá indeterminação dessa grandeza. Uma tabela posição-tempo constitui assim, uma função matemática. O domínio é o conjunto dos instantes de tempo e o contra-domínio o conjunto das coordenadas de posição.

O gráfico da tabela acima é mostrado abaixo:

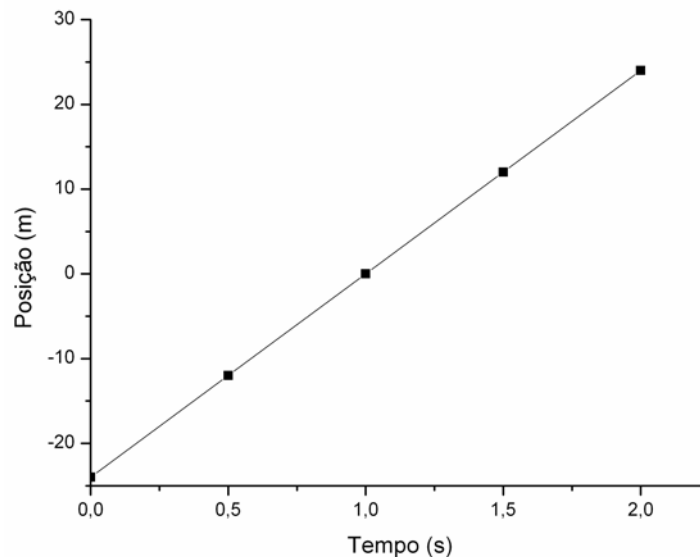


Gráfico da coordenada de posição versus tempo, $s(t)$, para um corredor em movimento.

A razão entre o deslocamento total Δs e o intervalo de tempo Δt durante o qual esse deslocamento ocorre é chamada de **velocidade média**, v_{med} .

Sendo:

$$v_{med} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_1 - s_0}{t_1 - t_0}$$

A notação significa que a coordenada de posição é s_0 no instante t_0 e s_1 no instante t_1 . A unidade de velocidade média no Sistema Internacional (SI) é o metro por segundo (m/s). Outras unidades são usadas em alguns problemas, mas todas estão na forma comprimento/tempo.

Em um gráfico de s em função de t , v_{med} é a inclinação da reta que liga dois pontos particulares da curva $s(t)$: um dos pontos corresponde a s_1 e t_1 e o outro a s_0 e t_0 . Da mesma forma que o deslocamento, a velocidade média possui um módulo, uma direção e um sentido, ou seja, também é uma grandeza vetorial. O módulo é o valor absoluto da inclinação da reta. Um valor positivo de v_{med} (e da inclinação) significa que a reta está inclinada para cima da

esquerda para a direita. Já um valor negativo de v_{med} (e da inclinação) significa que a reta está para baixo da esquerda para a direita.

A velocidade média tem sempre o mesmo sinal do deslocamento, já que Δt é sempre positivo.

Uma outra grandeza envolvida é a velocidade escalar média (v_{esc}). Enquanto a velocidade média envolve o deslocamento da partícula, a velocidade escalar média é definida em termos da distância total percorrida (o número de metros percorridos, por exemplo) independente da direção. Assim:

$$v_{esc} = \frac{\text{distância total}}{\Delta t}$$

Como a definição de velocidade escalar média não inclui a direção do movimento, ela não possui um sinal algébrico. **Em alguns casos**, $v_{esc} = v_{med}$. Entretanto, como será demonstrado abaixo, as duas velocidades podem ser bem diferentes.

Exercício 4:

Depois de dirigir uma van em uma estrada retilínea por 8,4 km a 70 km/h, você pára por falta de gasolina. Nos 30 min seguintes você caminha por mais 2,0 km ao longo da estrada até chegar ao posto de gasolina mais próximo.

(a) Qual é o deslocamento total, desde o início da viagem até chegar ao posto de gasolina?

Idéia-chave: Suponha, por conveniência, que você se move no sentido positivo do eixo, da coordenada de posição inicial s_0 até a coordenada de posição final s_1 , no posto de gasolina. Essa segunda coordenada de posição deve ser igual a $s_1 = 8,4 + 2,0 = 10,4$ km. O deslocamento Δs ao longo do eixo da coordenada de posição é a diferença entre as coordenadas da segunda e da primeira posição. Assim,

$$\Delta s = s_1 - s_0 = 10,4 \text{ km} - 0 = 10,4 \text{ km}$$

Assim, o deslocamento total é de 10,4 km no sentido positivo do eixo.

(b) Qual é o intervalo de tempo Δt entre o início da viagem e o instante em que você chega ao posto?

Já sabemos quanto tempo você passou caminhando, Δt_{cam} (0,50 h), mas não sabemos quanto tempo você passou dirigindo, Δt_{dir} . Sabemos porém, que você viajou 8,4 km de carro a uma velocidade média $v_{med,dir} = 70$ km/h. Essa velocidade é igual a razão entre o deslocamento do carro e o intervalo de tempo correspondente a esse deslocamento.

$$v_{med,dir} = \frac{\Delta s_{dir}}{\Delta t_{dir}}$$

Explicitando Δt e substituindo os valores conhecidos, teremos:

$$\Delta t_{dir} = \frac{\Delta s_{dir}}{v_{med,dir}} = \frac{8,4 \text{ km}}{70 \text{ km/h}} = 0,12 \text{ h}$$

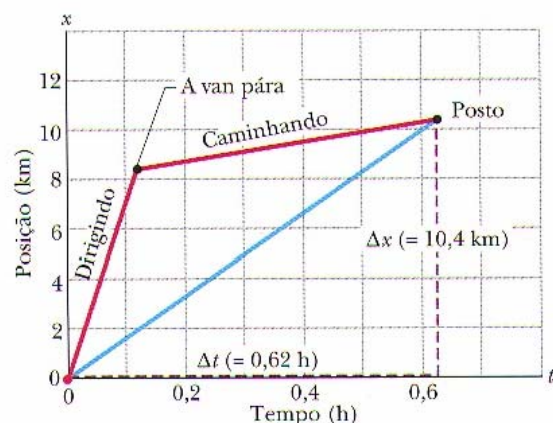
E portanto, $\Delta t = \Delta t_{dir} + \Delta t_{cam} = 0,12 \text{ h} + 0,50 \text{ h} = 0,62 \text{ h}$.

(c) Qual é a velocidade média $v_{méd}$ do início da viagem até a chegada ao posto de gasolina? Determine a solução numericamente e graficamente.

Idéia-chave: Nesse caso temos que a velocidade média para todo o percurso é a razão entre o deslocamento de 10,4 km para todo o percurso e o intervalo de tempo de 0,62h para todo o percurso.

$$v_{med} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{10,4 \text{ km}}{0,62 \text{ h}} = 16,8 \text{ km/h}$$

Para determinar v_{med} graficamente, traçamos o gráfico da função $s(t)$, como mostra a figura ao lado, onde os pontos de partida e chegada no gráfico são a origem e o ponto assinalado como “Posto”. A velocidade média é a inclinação da reta que une esses pontos, ou seja, v_{med} é a razão entre a elevação ($\Delta s = 10,4$ km) e o tempo ($\Delta t = 0,62$ h), o que nos dá $v_{med} = 16,8$ km/h.



As retas “Dirigindo” e “Caminhando” são os gráficos da posição em função do tempo para os deslocamentos de carro e a pé. (O gráfico para o deslocamento a pé supõe uma caminhada com velocidade constante.) A inclinação da reta que liga a origem ao ponto “Posto” é a velocidade média para o percurso até o posto.

(d) Suponha que para encher um bujão de gasolina, pagar e caminhar de volta para a van você leve 45 min. Qual é sua velocidade escalar média do início da viagem até o momento em que chega de volta ao lugar onde deixou a van?

Idéia-chave: Como vimos, a velocidade escalar média é a razão entre a distância total percorrida e o tempo gasto para percorrer essa distância.

Cálculo: A distância total é $8,4 \text{ km} + 2,0 \text{ km} + 2,0 \text{ km} = 12,4 \text{ km}$. O intervalo de tempo total é $0,12 \text{ h} + 0,50 \text{ h} + 0,75 \text{ h} = 1,37 \text{ h}$. Assim,

$$v_{\text{esc}} = \frac{12,4 \text{ km}}{1,37 \text{ h}} = 9,1 \text{ km/h}$$

Exercícios Propostos:

1 Um automóvel viaja em uma estrada retilínea por 40 km a 30 km/h. Em seguida, continuando no mesmo sentido, percorre outros 40 km a 60 km/h. (a) Qual é a velocidade média do carro durante este percurso de 80 km? (Suponha que o carro se move no sentido positivo de x .) (b) Qual é a velocidade escalar média? (c) Trace o gráfico de x em função de t e mostre como calcular a velocidade média a partir do gráfico.

2 Um carro sobe uma ladeira com uma velocidade constante de 40 km/h e desce a ladeira com uma velocidade constante de 60 km/h. Calcule a velocidade escalar média da viagem de ida e volta.

3 Durante um espirro, os olhos podem se fechar por até 0,50 s. Se você está dirigindo um carro a 90 km/h e espirra, de quanto o carro pode se deslocar até você abrir novamente os olhos?

4 A posição de um objeto que se move ao longo de um eixo x é dada por $x = 3t - 4t^2 + t^3$, onde x está em metros e t em segundos. Determine a posição do objeto para os seguintes valores de t : (a) 1 s, (b) 2 s, (c) 3 s, (d) 4 s. (e) Qual é o deslocamento do objeto entre $t = 0$ e $t = 4$ s? (f) Qual é a velocidade média para o intervalo de tempo de $t = 2$ s a $t = 4$ s? (g) Faça o gráfico de x em função de t para $0 \leq t \leq 4$ s e indique como a resposta do item (f) pode ser determinada a partir do gráfico.

5 Calcule a velocidade média nos dois casos seguintes: (a) você caminha 73,2 m a uma velocidade de 1,22 m/s e depois corre 73,2 m a 3,05 m/s em uma pista reta. (b) Você caminha 1,00 min com uma velocidade de 1,22 m/s e depois corre por 1,00 min a 3,05 m/s em uma pista reta. (c) Faça o gráfico de x em função de t nos dois casos e indique como a velocidade média pode ser determinada a partir do gráfico.

Referencias:

- Livro: fundamentos da Física – Volume 1: Halliday, Resnick & Walker, 8ª Edição, Editora LTC.
- Notas de Aula na disciplina Mecânica Newtoniana A – Coordenadora e autora das apostilas: Maria Oswald Machado de Mattos. - http://www.fis.puc-rio.br/mariaoswald_ing.php
- Física do Movimento: observar, medir, compreender. Autora: *Maria Matos*. Editora: *PUC-Rio*.