SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PARÁ
DEPARTAMENTO DE ENSINO PARA A EDUCAÇÃO

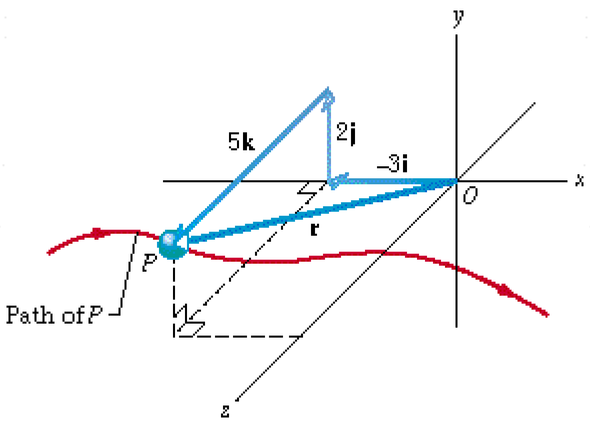
DISCIPLINA: FÍSICA APLICADA I
PROF.: ALESSANDRO FREITAS

Texto 02 – Movimento BI e Tridimensional

Movimentando em duas ou três dimensões

Já foi estudado anteriormente o movimento de um objeto em apenas uma dimensão. No contexto de vetores, aprendemos a lidar com uma ferramenta muito importante no tratamento matemático de eventos físicos, os quais acontecem no nosso mundo tridimensional. Iniciaremos nossos estudos neste texto abordando algumas situações importantes do ponto de vista bidimensional, as quais por analogia nos levam ao entendimento tridimensional da situação.

Posição e deslocamento



O ponto "**P**", na figura acima é uma posição particular de um objeto se deslocando no espaço tridimensional. Vetorialmente a sua coordenada "**r**" é dada por:

$$r = ix + jy + kz$$

onde na figura as coordenadas x, y e z possuem os valores: -3, 2 e 5 respectivamente, assim o ponto **P** é representado por:

$$P = -3i + 2j + 5k$$

Tomando z = 0 teremos:

$$P = -3i + 2j$$

que representa a posição de um objeto com o seu movimento confinado no plano, espaço bidimensional.

Quando um objeto se desloca, a sua posição vetorial muda de forma que o vetor varia de sua origem até o objeto. Se a posição do objeto no tempo inicial t_o for $\mathbf{r}_0$ e no final t_f for $\mathbf{r}_f$, o deslocamento $\Delta\mathbf{r}$ no tempo Δt será,

$$\Delta r = r_f - r_0,$$

usando a notação dos vetores unitários e o sistema referencial retangular, as vezes denominado de, ***sistema laboratório de referência***, podemos re-escrever esta equação da seguinte forma:

$$\mathbf{r} = (x_f - x_o)\mathbf{i} + (y_f - y_o)\mathbf{j} + (z_f - z_o)\mathbf{k}$$

O vetor posição para uma partícula é inicialmente,

$$r_1 = -3i + 2j + 5k$$

e mais tarde é

$$r_2 = +9i + 2j + 8k,$$

Para determinarmos o deslocamento $\Delta\mathbf{r}$ fazemos:

$$\Delta\mathbf{r} = r_2 - r_1$$

$$\Delta\mathbf{r} = (+9i + 2j + 8k) - (-3i + 2j + 5k) = 12i + 3k$$

Esse resultado mostrado na figura ao lado deixa claro que o vetor deslocamento $\Delta\mathbf{r}$ se situa no plano **xz,** pois a sua componente na direção **j** é nula.

Velocidade e velocidade vetorial média

Se um móvel se desloca por um intervalo $\Delta\mathbf{r}$ em um tempo Δt a sua velocidade média é

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t}$$

que pode ser escrita assim:

$$\bar{\mathbf{v}} = \frac{\Delta x\mathbf{i} + \Delta y\mathbf{j} + \Delta z\mathbf{k}}{\Delta t}$$

dessa forma fazendo o

$$\lim_{\Delta t \to \infty} \frac{\Delta\mathbf{r}}{\Delta t}$$

para cada uma de suas componentes chegamos então à velocidade instantânea,

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}$$

que nas suas componentes se torna:

$$\mathbf{v} = \frac{d}{dt}(x\mathbf{i} + y\mathbf{j} + z\mathbf{k})$$

Ou

$$\mathbf{v} = \frac{dx}{dt}\mathbf{i} + \frac{dy}{dt}\mathbf{j} + \frac{dz}{dt}\mathbf{k}$$

que pode ser também representado por:

$$\mathbf{v} = v_x\mathbf{i} + v_y\mathbf{j} + v_z\mathbf{k}\,;$$

onde $\mathbf{v}_x$ é igual a

$$\frac{dx}{dt}$$

e assim por diante, são as componentes escalares de **v.**

Aceleração e aceleração vetorial média

Aplicando o mesmo raciocínio anterior para a variação da velocidade com o tempo, obtém-se a aceleração média dada por:

$$\overline{\mathbf{a}} = \frac{\Delta \mathbf{v}}{\Delta t} \qquad \mathbf{a} = a_x\mathbf{i} + a_y\mathbf{j} + a_z\mathbf{k}$$

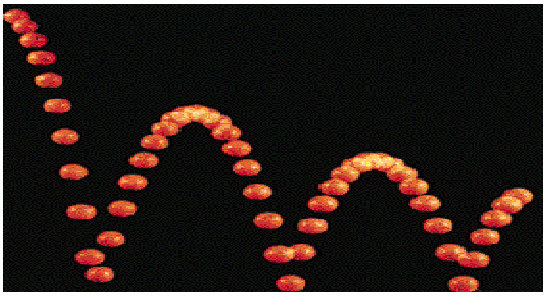
onde a_x é igual a

$$\frac{dv}{dt}$$

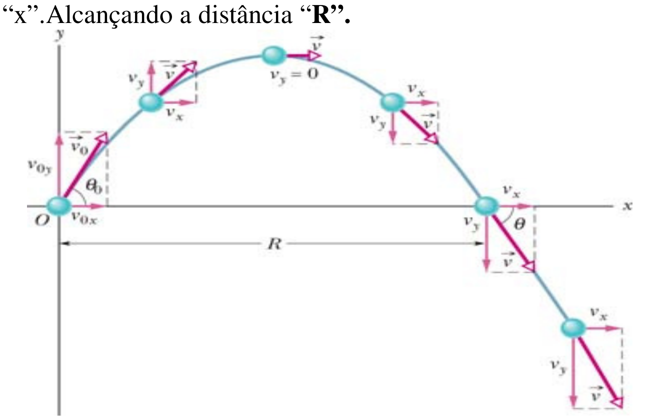
e assim por diante, são as componentes escalares de **a**.

Movimento balístico

A figura abaixo mostra o deslocamento de uma bola quando abandonada de uma superfície plana. Ela cai em queda livre, isto é, a força resistiva do ar atmosférico é considerada sem efeito na seqüência de seus múltiplos ciclos. Assim a única força atuando no objeto é a força da gravidade através da aceleração **g**.



A figura abaixo ilustra a variação do vetor velocidade no plano "xy" para um projétil que é lançado do ponto (0,0) com velocidade **Vo** e ângulo θ_0 com o eixo "x".Alcançando a distância "**R**".



A velocidade **Vo** em suas componentes "x" e "y" é:

$$V_{ox} = V_o\cos(\theta) \quad e \quad V_{oy} = V_o\text{sen}(\theta) \quad ou$$

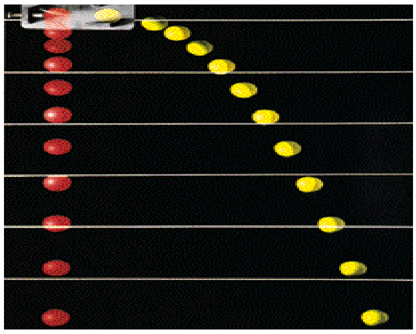
$$\mathbf{v}_o = v_{ox}\mathbf{i} + v_{oy}\mathbf{j}$$

Podemos observar que a componente "x" da velocidade para qualquer uma das posições mostradas é sempre a mesma, isto é, não atua nenhuma força nessa direção. Já o mesmo não se pode dizer em relação à componente "y", da velocidade. Pois na vertical temos a aceleração da gravidade forçando-a para baixo através da força peso **P = m.g**. Veja que a componente "y" da velocidade começa grande, vai a zero ao atingir altura máxima, para depois crescer novamente.

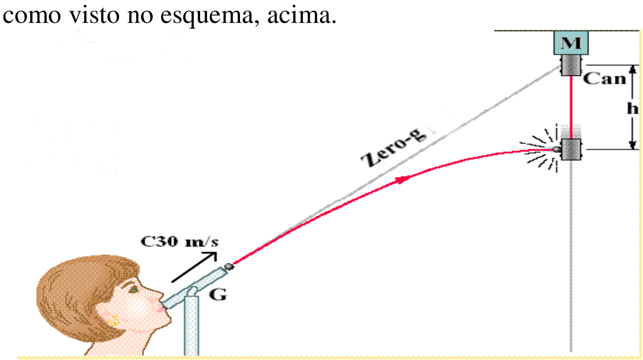
Os movimentos na horizontal e na vertical são independentes um do outro as suas velocidade são diferentes sendo constante nessa situação apenas a aceleração da gravidade g = 9,8m/s^2.

Queda livre de uma bola

A figura abaixo mostra as duas bolas vermelha e amarela executando simultaneamente seus movimentos em queda livre, com situações iniciais diferentes. Enquanto a vermelha é simplesmente cai do seu ponto inicial, a amarelada é lançada de sua posição. Observa-se que o tempo de queda é o mesmo para ambas, sendo diferente apenas a posição atingida por elas.



A figura abaixo mostra uma estudante lançando uma bola através de um canhão acionado pelo sopro. O aparelho é montado de tal forma que ao mesmo tempo que a bola sai do canhão um dispositivo magnético libera uma lata, que seria atingida pela bola, na configuração mostrada na figura, caso a aceleração da gravidade fosse zero. Porém como ambos estão sob a ação da mesma força a bola atingirá a lata numa posição um pouco abaixo da posição inicial, como visto no esquema, acima.



Análise do movimento balístico

Movimento balístico, quanto às suas componentes, vertical e horizontal.

Movimento horizontal

Como não há aceleração na horizontal, a componente horizontal da velocidade do projétil, permanecerá inalterada durante todo o seu percurso. Como mostra a figura acima. O deslocamento horizontal $x - x_0$, a partir do referencial x_0 é dado por:

$$x - x_0 = V_{ox}.t$$

onde a aceleração a = 0, como $V_{ox} = V_o \cos\theta_0$ temos,

$$x - x_0 = V_o \cos(\theta_0).t$$

Na figura acima um esqueitista ele está sob a ação de duas velocidades, a vertical que está mudando ao longo de seu salto, fazendo com que ele realize o movimento de subir e descer. Já a sua velocidade horizontal permanece constante permitindo que ele retorne ao esqueite, que se desloca à mesma velocidade, a menos é claro da componente força de atrito que atua no sentido oposto ao do movimento.

Desafio

Se a força de atrito atua entre o Skate e o solo, como o esqueitista ainda aterriza sobre ele?

Resposta: A componente vertical deste esportista está variando, mas não a sua componente horizontal, que coincide com a velocidade do skate. Conseqüentemente, a prancha de Skate fica abaixo dele, permitindo o pouso dele sobre ela.

Movimento vertical

As seguintes equações descrevem o movimento vertical:

$$y - y_o = v_{oy}t - \frac{1}{2}gt^2$$

a qual se torna

$$y - y_o = v_o sen(\theta_o)t - \frac{1}{2}gt^2$$

Onde

$$V_{oy} = V_o \operatorname{sen}\theta_0$$

foi substituído na equação. A equação da velocidade e Torricelli se tornam, respectivamente:

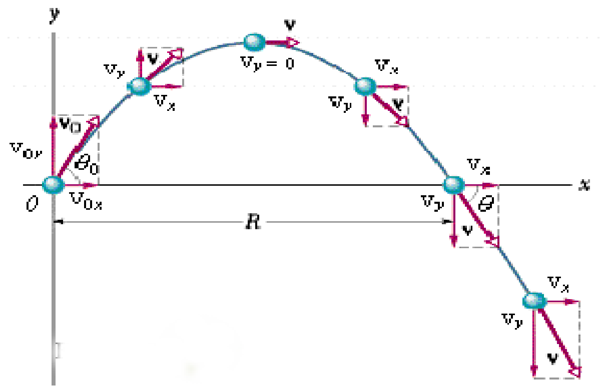
$$v_y = v_o sen(\theta_o) - gt\ ,$$

e

$$v_y^2 = [v_o sen(\theta_o)]^2 - 2g(y - y_o)$$

As equações acima, evidenciam muito bem os lançamentos de projéteis que ao se deslocarem para cima atingem sua altura máxima para a condição velocidade v = 0, para depois sob a ação contínua da gravidade retornar à velocidade máxima ao atingir o solo no seu movimento de retorno.

Equação da trajetória



Podemos determinar a equação da trajetória de um projétil, eliminando a variável tempo, das duas equações abaixo:

$$x - x_o = v_o \cos(\theta_o)t$$

e

$$y - y_o = v_o sen(\theta_o)t - \frac{1}{2}gt^2$$

resolvendo a anterior para t, temos:

$$t = \frac{v_o \cos(\theta_o)}{x - x_o}\ ,$$

levando este resultado na equação para "y" e fazendo, $\mathbf{y_o} = \mathbf{x_o} = 0$, obtemos:

$$y = tg\theta_o.x - \left(\frac{g}{2v_o \cos\theta_o}\right)^2 x^2$$

nesta equação temos variável somente a grandeza "x", os demais termos são constantes, caracterizando assim uma equação do 2º Grau que descreve uma parábola, como mostrada na figura acima e também na figura sobre queda livre de uma bola.

O alcance horizontal

O alcance R do projétil mostrado na figura acima , é a distância máxima atingida por ele no eixo "x" quando ele retorna à mesma altura "y" que tinha no início de seu deslocamento. Qual equação determina esse alcance?

Fazendo $x - x_0 = R$ equação $x - x_0 = V_o \cos(\theta_0).t$ e

$$y - y_0 = R \text{ em}$$

$$y - y_o = v_o sen(\theta_o)t - \frac{1}{2}gt^2$$

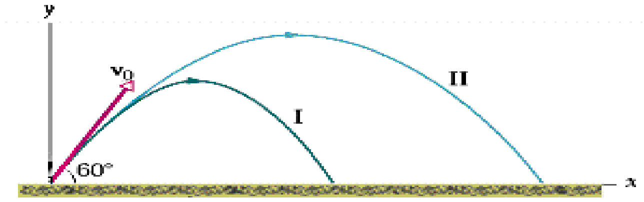
isolando 't' na anterior e aplicando em "y" teremos:

$$R = \frac{v_o^2 2sen(\theta_o)\cos(\theta_o)}{g} \Rightarrow R = \frac{v_o^2 sen(2\theta_o)}{g}$$

Observe que o valor máximo para $sen\ (2\theta_0)$, acontece para $\theta_0 = 45°$, o que determina o maior alcance possível de ser atingido pelo projétil.

O efeito do ar

A figura abaixo mostra que para a maioria dos objetos se movimentando em situações reais, a influência do ar, ou como em geral dizemos, do fluido dentro do qual ele se desloca, é de grande importância na determinação de sua melhor trajetória.



A trajetória II é a prevista para o lançamento do objeto, sem considerar o atrito do ar. A trajetória I mostra a situação real, com a influência do ar.

No texto 04 veremos que para determinadas velocidade "v" a relação da força de atrito, do fluido, que se opõe ao movimento é considerável e possui um comportamento não linear com a velocidade, descrito pela equação:

$$\vec{F}_v = \frac{1}{2}C\rho A v^2,$$

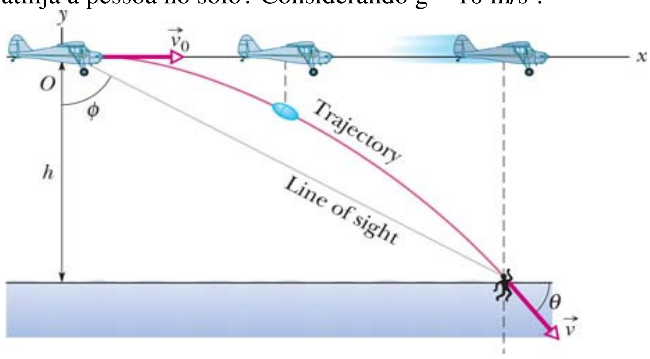
onde C é o coeficiente de viscosidade do meio, ρ é a densidade do fluido e A é a área da seção reta efetiva do corpo que se desloca.

A tabela abaixo mostra o exemplo de um mesmo objeto se movimentando em duas atmosferas diferentes.

	Trajetória I (ar)	Trajetória II (vácuo)
Alcance	97m	175m
Altura máxima	52m	75m
Tempo de percurso	6,6s	7,9s

Resolva o exemplo do livro texto:

Na figura abaixo, um avião de salvamento está voando a uma atitude de 1200 metros, à velocidade de 504 Km/h (140 m/s), numa trajetória que passa por cima de uma pessoa que precisa de socorro. Qual será o ângulo "φ" que o piloto deverá lançar o material de salvamento, para que ele atinja a pessoa no solo? Considerando g = 10 m/s².

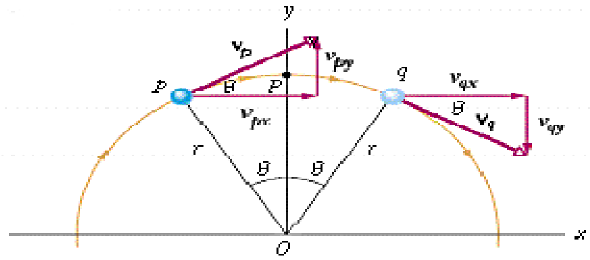


Resposta: φ = 63,82º.

Movimento circular uniforme

Os pontos P e q, na figura abaixo são representações de duas posições de um objeto em movimento circular uniforme, que descreve uma trajetória no sentido horário de raio r e módulo v de velocidade.

O movimento uniforme pressupõe uma velocidade constante, o que implicaria em aceleração nula. Porém temos a velocidade mudando de direção a cada instante t qualquer. Se a velocidade se altera ao longo do percurso então deve este movimento possui aceleração não nula. Como isso acontece?



Se o vetor velocidade muda a sua direção a cada momento então teremos o vetor $\mathbf{v}_p \neq \mathbf{v}_q$, uma vez que duas grandezas vetoriais são iguais somente se todas as suas correspondentes componentes forem iguais também. Verificando podemos escrever:

$$\mathbf{v}_{p_x} = v.\cos\theta \quad \text{e}$$

$$\mathbf{v}_{qy} = v.sen\theta$$

E

$$\mathbf{v}_{q_x} = v.\cos\theta \qquad \text{e} \qquad \mathbf{v}_{qy} = -v.sen\theta$$

O tempo gasto para o objeto ir de P até q é Δt, sendo que o espaço percorrido podemos obter da relação

$$s = r\Delta\theta\,,$$

assim

$$s_{pq} = \frac{r2\theta}{v}$$

O que nos facilita a determinação das componentes da aceleração vetorial média no intervalo de tempo Δt.

$$\mathbf{a}_x = \frac{v_{qx} - v_{px}}{\Delta t} = \frac{v.\cos\theta - v.\cos\theta}{\Delta t} = 0$$

Na figura acima está claro também que a componente x da velocidade se mantém constante, logo este resultao seria esperado. Vejamos agora o que acontece com a aceleração.

$$\mathbf{a}_y = \frac{v_{qy} - vy}{\Delta t} = \frac{-v.sen\theta - v.sen\theta}{\Delta t} \Rightarrow \quad ay = \frac{2.v.sen\theta}{2r\theta / v} = \left(\frac{v^2}{r}\right)\left(\frac{sen\theta}{\theta}\right) \Rightarrow$$

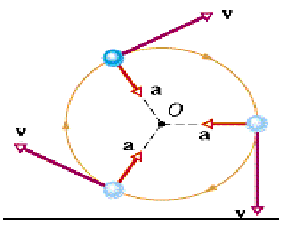
aplicando a regra de L´Hôpital na determinação do limite

$$\lim_{\theta\to 0}\frac{sen\theta}{\theta} \quad \text{temos} \quad \lim_{\theta\to 0}\frac{\cos\theta}{1} = 1\,,$$

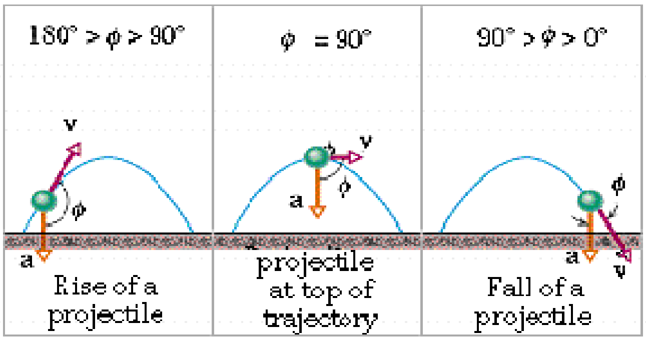
logo a equação da aceleração em “Y” se torna

$$a = -\frac{v^2}{r}\,.$$

Onde o sinal negativo indica que o vetor aceleração, está apontando para o centro da trajetória descrita pelo objeto, *aceleração centrípeta*, e o seu módulo é dado pela equação encontrada acima. A figura abaixo ilustra os vetores velocidade e aceleração para uma partícula em MCU. Observe que seus módulos são constantes, mas as direções mudam a todo instante.

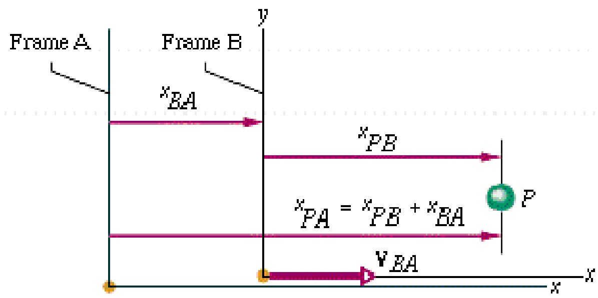


A figura acima pode induzir a um engano quando se pensa que há uma relação fixa entre esses dois vetores, o que não é sempre assim. Esta realidade fica mais clara olhando as situações apresentadas na figura abaixo que mostra vários movimentos salientando as diferenças entre os vetores velocidade e aceleração para cada caso.



Movimento relativo em uma dimensão

Na figura abaixo, a bola verde se desloca em relação aos referencias “A” e “B”. O instante captado mostra que o referencial “B” está se deslocando com $\boldsymbol{V_{BA}}$, isto é, com velocidade $\boldsymbol{V}$ constante em relação a “A”, e está a uma distância $\boldsymbol{x_{BA}}$ de “A”. Como a bola verde está a $\boldsymbol{x_{PB}}$ de “B” a distância que a bola está de “A” será $\boldsymbol{x_{PA} = x_{PB} + x_{BA}}$.



Qual o interesse em obter a equação das posições de um objeto em um dado referencial como o que acabamos de obter?

Resp. Uma que definimos muito bem as posições dos objetos em relação a qualquer referencial que nos seja conveniente podemos então determinar outras grandezas para que aquela situação em questão possa ser bem elucidada. Por exemplo, podemos obterá velocidade de um referencial em relação outro, assim tiramos a derivada de:

$$\frac{dx_{PA}}{dt} = \frac{d(x_{PB} + x_{BA})}{dt} \quad \Rightarrow \quad v_{PA} = v_{PB} + v_{BA}$$

da última equação podemos também obter a aceleração fazendo a sua derivada em relação ao tempo,

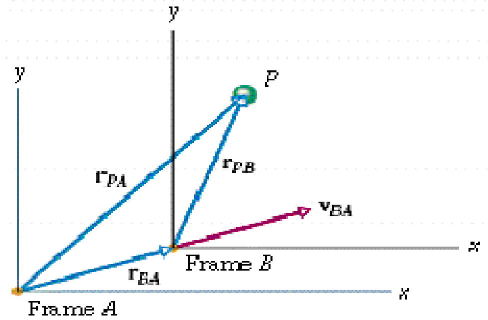
$$\frac{dv_{PA}}{dt} = \frac{d(v_{PB} + v_{BA})}{dt} \quad \Rightarrow \quad a_{PA} = a_{PB}\,,$$

uma vez que tomamos para “B”, um ***referencial inercial***, isto é, que possui velocidade constante, assim a

$$\frac{dv_{BA}}{dt} = 0$$

Movimento relativo em duas dimensões

A figura abaixo mostra a posição da partícula "P" em relação aos referenciais "A" e "B" dada por: $\mathbf{r}_{PA}$ que relaciona a sua posição com o referencial "A", $\mathbf{r}_{PB}$ que fornece a posição de "P" em relação ao referencial "B" e o vetor $\mathbf{r}_{BA}$ que apresenta a distância entre os dois referenciais.



O vetor $\mathbf{v}_{BA}$ dá a velocidade de separação entre os dois. Dessa forma podemos tirar a relação:

$$\mathbf{r}_{PA} = \mathbf{r}_{PB} + \mathbf{r}_{BA}$$

tomando a sua derivada temporal como feito para o referencial em uma dimensão encontraremos:

$$\mathbf{v}_{PA} = \mathbf{v}_{PB} + \mathbf{v}_{BA} \qquad \Rightarrow$$

tomando a sua derivada, novamente obteremos, a aceleração do objeto do objeto "P" em relação a "A",

$$\mathbf{a}_{PA} = \mathbf{a}_{PB}$$

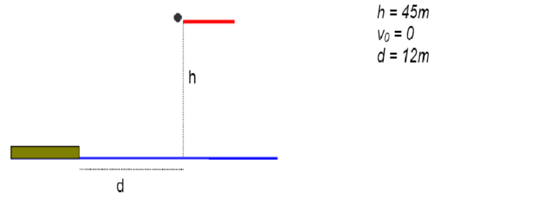
uma vez que a velocidade de separação entre os referenciais é constante. As três últimas equações obtidas acima são iguais àquelas obtidas para o referencial em uma dimensão, logo podemos estender, esse procedimento também para três dimensões que encontraremos as mesmas soluções, desde que o referencial do observador seja inercial. Mais vez, temos o exemplo de quão poderosa é a ferramenta vetores, nas interpretações de situações físicas da natureza.

BIBLIOGRAFIA

HALLIDAY, RESNICK – Fundamentos da Física - 8º EDIÇÃO

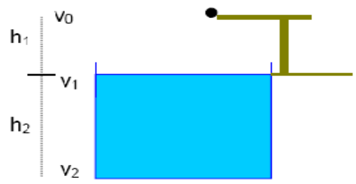
EXERCÍCIOS DE APLICAÇÕES

69 **(CAP. 2 Halliday 4^0 Ed.)**Um objeto é largado de uma ponte *5 m* acima da água. O objeto cai dentro de um barco que se desloca com velocidade constante e estava a *12 m* do ponto de impacto no instante em que o objeto foi solto. Qual a velocidade do barco? (Dado: a gravidade g igual 10 m/s^2.) R = 12 m/s



79 **(CAP. 2 Halliday 4^0 Ed.)** Uma bola de chumbo é deixada cair de um trampolim localizado a *5 m* acima da superfície de um lago. A bola bate na água com uma certa velocidade e afunda com a mesma velocidade constante. Ele chegará ao fundo *5 s* após ter sido largada.

a) Qual a profundidade do lago? (Dado: a gravidade g igual 10 m/s^2.) R = 40 m



b) Qual a velocidade média da bola? (Dado: a gravidade g igual 10 m/s^2.) R = 9 m/s

19 **(CAP. 4 Halliday 4^0 Ed.)** Um malabarista consegue manter simultaneamente cinco bolas no ar, todas atingindo uma altura máxima de *5 m*. Encontre o intervalo de tempo entre duas bolas que chegam às suas mãos. Considere que os intervalos são os mesmos para todas as bolas. (Dado a gravidade g igual a 10 m/s^2.) R = 0,4 s

22 **(CAP. 4 Halliday 4^0 Ed.)** Um projétil é atirado horizontalmente de uma arma que está *45 m* acima de um solo plano. A velocidade na saída do cano é 250 m/s.

a) Por quanto tempo o projétil permanece no ar? (Dado a gravidade g igual a 10 m/s^2.) R = 3 s

b) A que distância da arma, na horizontal, ele cai ao solo?

c) Qual o módulo da componente vertical da velocidade, no instante em que atinge o solo?

30 **(CAP. 4 Halliday 4^0 Ed.)** Uma pedra é lançada para o alto de um penhasco de altura *h* , com uma velocidade inicial de *42m/s* e uma ângulo de *600* , acima da horizontal. A pedra cai *5,5s* após o lançamento. Calcule:

a) Calcule a altura *h* do penhasco.

b) A velocidade da pedra imediatamente antes do impacto no penhasco

c) A altura máxima H acima do nível do solo.

48 **(CAP. 4 Halliday 4^0 Ed.)** Um foguete é lançado do repouso e se move em uma linha reta inclinada de 70,0^o acima da horizontal, com aceleração de 46,0 m/^{s2}. Depois de 30,0 s de vôo com o empuxo máximo, os motores são desligados e o foguete segue uma trajetória parabólica de volta à Terra; veja a Fig. 36. (a) Ache o tempo de vôo desde o lançamento ao impacto. (b) Qual é a altitude máxima alcançada? (c) Qual é a distância da plataforma de

lançamento ao ponto de impacto? (Ignore as variações de *g* com a altitude.)

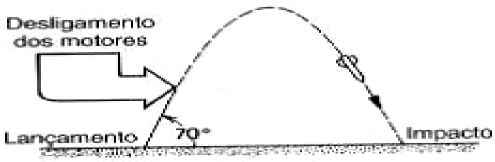


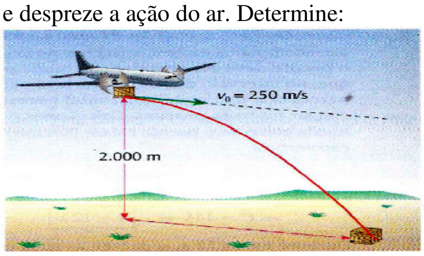
Fig. 36 Problema 48.

49 **(CAP. 4 Halliday 4⁰ Ed.)** Um canhão antitanque está localizado na borda de um platô a 60,0 m acima de uma planície, conforme a Fig. 37. A equipe do canhão avista um tanque inimigo parado na planície à distância de 2,20 km do canhão. No mesmo instante a equipe do tanque avista o canhão e começa a se mover em linha reta para longe deste, com aceleração de 0,900 m/s2. Se o canhão antitanque dispara um obus com velocidade de disparo de 240 m/s e com elevação de 10,0o acima da horizontal, quanto tempo a equipe do canhão teria de esperar antes de atirar, se quiser acertar o tanque?

Fig. 37 Problema 49.

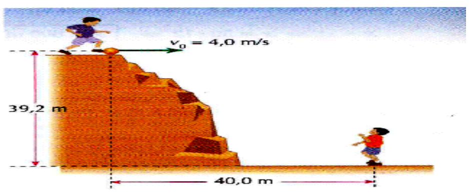
60 (CAP. 4 Halliday 4⁰ Ed.) Uma criança gira uma pedra em um círculo horizontal a 1,9 m acima do chão, por meio de uma corda de 1,4 m de comprimento. A corda arrebenta e a pedra sai horizontalmente, caindo no chão a 11 m de distância. Qual era a aceleração centrípeta enquanto estava em movimento circular?

9. Um avião voa horizontalmente a 2.000 m de altura com velocidade de 250 m/s no instante em que abandona um pacote. Adote $g = 10$ m/s^2 e despreze a ação do ar. Determine:

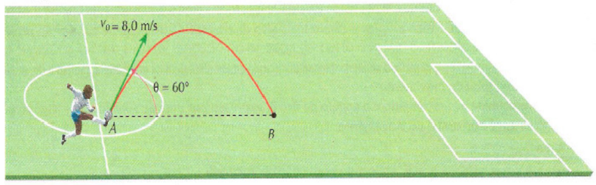


a) O tempo de queda do pacote. R = 20 s
b) A distância que o pacote percorre na direção horizontal desde o lançamento até o instante em que atinge o solo.
R = 5000 m

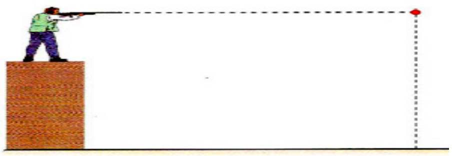
10. Da beira de um barranco situado a 39,2 m em relação ao nível inferior do solo, um garoto chuta uma bola, imprimindo-lhe uma velocidade horizontal de 4,0 m/s, como mostra a figura ao lado. Na parte inferior do barranco, a 40,0 m da vertical do primeiro garoto, um outro garoto vai tentar pegar a bola. Determine a que distância, à frente ou atrás do segundo garoto, a bola chutada cairá (adote g = 10 m/s^2 e despreze a resistência do ar). R = 28,8 m (à frente do garoto)



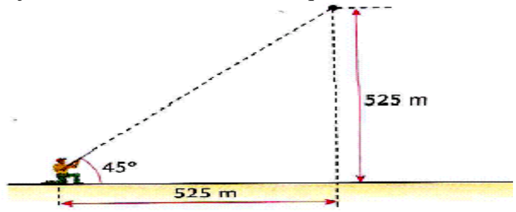
11. Uma bola está parada sobre o gramado de um campo horizontal, na posição A. Um jogador chuta a bola para cima, imprimindo-lhe velocidade V_0 de módulo 8,0 m/s, fazendo com a horizontal um ângulo de 60°, como mostra a figura. A bola sobe e desce, atingindo o solo novamente, na posição B. Desprezando-se a resistência do ar, qual será a distância entre as posições A e B? (Considere g = 10 m/s^2, sen 60° = 0,87 e cos 60° = 0,5.). Considere apenas duas casas decimais. R = 5,56 m



12. Um homem sobre uma plataforma aponta sua arma na direção de um objeto parado no ar e situado na mesma horizontal a 200 m de distância, como mostra o esquema. No instante em que a arma é disparada, o objeto, que inicialmente se encontrava a 80 m do solo, inicia seu movimento de queda. Desprezando a resistência do ar e adotando g = 10 m/s^2, determine a velocidade mínima que deve ter a bala para atingir o objeto. R = 50 m/s



13. Um atirador aponta sua espingarda para um objeto parado no ar a uma altura de 525 m, como indica a figura. Despreze a resistência do ar e considere a aceleração da gravidade g = 10m/s^2. Admitindo que, no momento em que a bala sai da arma com velocidade 200 m/s, o objeto inicia seu movimento de queda, determine:



a) O instante em que a bala atinge o objeto. R = 3,75 s
b) A altura, relativamente ao solo, em que a bala atinge o objeto. (Dados: sen 45° = cos 45° = 0,7) R = 454,68 m

14. Num parque de diversões um dos brinquedos consiste em usar um canhão fixo, inclinado, fazendo um ângulo igual a 45° com o solo, para atingir uma pequena bola suspensa a 3,0 m de altura e a uma distância horizontal de 5,0 m do canhão. Determine a velocidade inicial que deve ser imprimida ao projétil para se conseguir acertar o alvo. (Dados: g = 10 m/s^2; sen 45° = cos 45° = .0,7). Considere a raiz quadrada de 10 igual a 3,16 e raiz de 2 igual a 1,4. R = 11,23 m/s