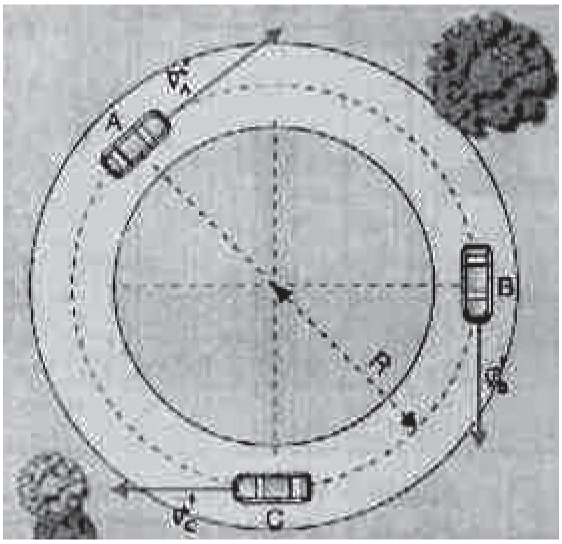
Aula 7

MOVIMENTO CIRCULAR UNIFORME

META
Particularizar o movimento em duas dimensões para o caso do movimento circular uniforme.

OBJETIVOS
Ao final desta aula o aluno deverá:
descrever o movimento de um objeto em movimento circular uniforme;
utilizar as equações de movimento para obter as grandezas físicas associadas a este movimento;
e calcular as acelerações tangencial e radial inerentes ao movimento circular uniforme.

PRÉ-REQUISITOS
Noções de Trigonometria, cinemática, vetores e diferenciação .



(Fonte: http://www.cefetsp.br)

INTRODUÇÃO

Bem vindos à nossa sétima e última aula de cinemática. Hoje terminaremos nossos estudos desta importante disciplina que deverão ser úteis em nossa caminhada até o final de sua graduação. Entramos, mais uma vez, em novas águas. Introduziremos, agora, o estudo do movimento em duas dimensões onde a aceleração não é constante. A gravidade é pouco discutida nesta aula, e a aceleração que efetivamente interessa é aquela que mantém o objeto em sua trajetória circular. Esta aceleração, necessariamente, aponta para o centro do círculo e, por isso, é chamada de centrípeta. Na ausência desta aceleração (ou força), o objeto mantém a velocidade que apresentava imediatamente antes. Ele, literalmente, sai pela tangente. Este efeito não é, em absoluto, devido à ação de uma força, mas simplesmente uma manifestação da inércia do corpo (que discutiremos nos capítulos vindouros). A descrição matemática do movimento circular uniforme é ligeiramente diferente daquela estudada até agora, mas veremos que a mesma apresenta o mesmo formato. Uma vez compreendido quem são as variáveis angulares, as equações tornam-se as mesmas para o caso linear. Vários conceitos, a serem amplamente discutidos neste capítulo, terão impactos diretos no estudo da dinâmica do movimento. Manteremos, no entanto, a nossa atenção na cinemática do movimento rotacional. Depois, faremos uma pequena introdução ao estudo do movimento rotacional, utilizando variáveis angulares e coordenadas polares.

(Fonte: http://www.infoescola.com).

O assunto a ser tratado nesta aula é o Movimento Circular Uniforme (MCU). Com alguma probabilidade, nossos primeiros contatos com o MCU são dentro de um automóvel. Sentados no banco de trás, com o cinto afivelado, vimos o motorista fazer uma curva fechada para um dos lados do carro. Imediatamente apareceu uma força tentando nos jogar para fora do carro, *mas para o outro lado*. Que força misteriosa é ela? Será ela capaz de efetivamente nos jogar para fora? Possivelmente sim.

Nosso problema, no entanto, é outro: que força é essa? Alguém está nos empurrando? O carro está nos empurrando? A reposta é não. Se considerarmos o carro como sistema de referência, teremos a impressão de que a força existe. Se não tivermos nenhum contato com a realidade externa, ou seja, se estivermos dentro de um ambiente fechado dentro deste automóvel, pensaremos que estamos sujeitos a uma força.

O erro desta interpretação reside no fato de que o nosso sistema de referência, o carro, está *acelerado!* Acelerado para uma direção diferente da sua trajetória, que é a condição necessária para mudar a sua velocidade (talvez não o seu módulo), mas com certeza a sua direção. Se o nosso sistema de referência está acelerado, então ele não é inercial, e as leis de Newton não se aplicam (voltaremos a isto mais tarde).

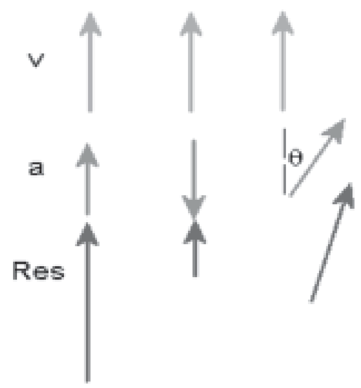
Nossos estudos precisam de um sistema de referências inercial para poder analisar o movimento. Podemos, então, usar como sistema de referência um observador que vê o carro se mover a partir de uma posição elevada. A partir desse observador, não existe o problema: para que o carro possa virar precisa do atrito de seus pneus com o asfalto, e a mudança de trajetória implica em uma força aplicada pela lateral do carro sobre o seu corpo, ou mesmo o atrito de seu corpo contra o banco, o que lhe dá a sensação de estar sendo empurrado para o outro lado.

No intuito de melhor compreender o MCU, vamos recordar que a velocidade é um vetor que tem módulo, direção e sentido. Lembremos também que a definição de aceleração é a derivada em relação ao tempo da velocidade:

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Esta simples equação nos diz que, se a velocidade está variando no tempo, então existe uma aceleração responsável por isto. Em outras palavras, se o sistema está acelerado, então a velocidade vai variar com o tempo. Estamos todos acostumados a associar uma variação da velocidade com o aumento ou diminuição do seu módulo, da mesma forma quando aceleramos ou freamos um automóvel. A velocidade, no entanto, é uma grandeza vetorial, e uma variação de módulo, direção ou sentido só pode ser obtida através da aplicação de uma força que lhe confere uma aceleração. Se esta força é aplicada na mesma direção e sentido da velocidade a mesma aumenta; se é aplicada na mesma direção, mas em sentido oposto, ela diminui. Se ela é aplicada em outra direção ocorre a mudança de trajetória. Veja o esquema 1:

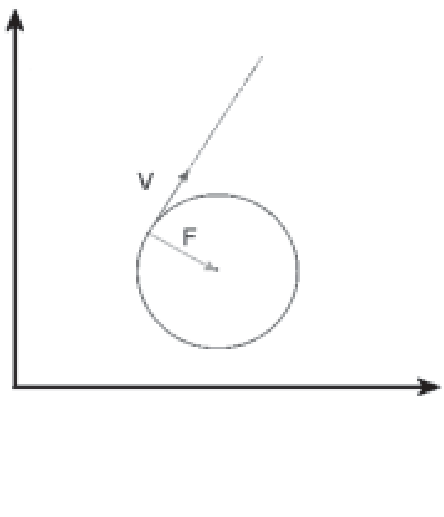
ESQUEMA 1



As linhas contínuas nos mostram os vetores velocidade inicial de uma dada partícula. As tracejadas mostram os vetores aceleração aplicados nesta partícula. Finalmente, as pontilhadas marcam os vetores velocidade resultantes. O último deles indica a situação quando a direção é alterada.

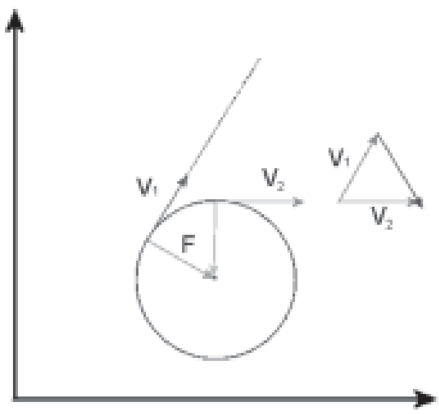
O movimento circular uniforme é um caso particular deste último. No MCU, o módulo da velocidade não se altera. O movimento dos ponteiros de um relógio é um bom exemplo para este movimento. Cada um dos ponteiros tem um módulo de velocidade diferente, mas as velocidades (em módulo) são constantes. Se o módulo da velocidade se mantém constante, mas a sua direção se altera continuamente, então deve haver alguma força sendo aplicada ao objeto. Considere a figura 1 abaixo:

FIGURA 1



A partícula sem a ação da força (seja ela provida por quem quer que seja) faria uma trajetória em linha reta como mostrada pela linha tracejada. Esta linha, naturalmente, segue o vetor velocidade naquele ponto, e que corresponde à tangente naquele ponto. Note também que a força é perpendicular ao vetor velocidade. Alguns instantes depois, se a força continua a agir sobre o corpo, sempre em uma direção perpendicular à velocidade, o vetor velocidade encontrar-se-á em outra direção, como pode ser visto na figura 2 abaixo:

FIGURA 2

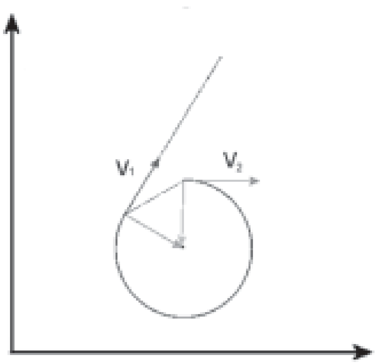


Nesta figura, observamos que, em dois instantes diferentes, o vetor velocidade se encontra em dois pontos diferentes e com direções diferentes. Como vimos na aula de vetores, podemos colocar estes dois vetores em um mesmo ponto de referência e realizar operações algébricas sobre eles. No lado direito da figura, mostramos os dois vetores $\mathbf{V_1}$ e $\mathbf{V_2}$ com o mesmo ponto de início e também o resultado de $\mathbf{V_2}$-$\mathbf{V_1}$ que chamaremos de $\Delta\mathbf{V}$. Podemos, então, verificar qual é a variação desta velocidade quando o tempo variou para obtermos a própria definição de aceleração média:

$$\vec{a}_{média} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

Apesar de correta, esta equação não nos satisfaz, porque, entre o instante 1 e o instante 2, houve uma grande variação da velocidade. Observe o que estamos dizendo:

FIGURA 3



Este seria o resultado se tivéssemos entre os instantes 1 e 2 uma aceleração constante (em módulo direção e sentido). Para que tenhamos, efetivamente, um movimento circular uniforme, a aceleração precisa mudar continuamente, ou seja, precisamos que o intervalo de tempo entre os instantes 1 e 2 se torne muito pequeno...

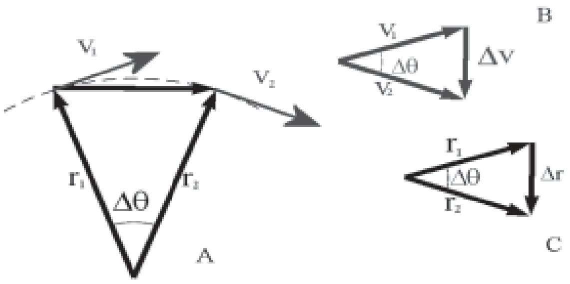
$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Esta é exatamente a definição da derivada. Vamos prestar alguma atenção a este ponto. Veja que a aceleração tem o mesmo módulo, direção e sentido da *derivada* da velocidade. Isto não quer dizer que a aceleração e a velocidade estejam na mesma direção! De fato, como pode ser visto na figura 2, a direção da aceleração ($\Delta\mathbf{v}/\Delta t$) é perpendicular à velocidade. E isto realmente ocorre para todos os pontos da trajetória: a velocidade é sempre perpendicular à aceleração no MCU.

Talvez a sua intuição lhe diga que esta última afirmação é um pouco forte demais. Imagine-se amarrando uma pedra à ponta de uma corda e coloque-a a girar em torno de você, utilizando seus braços para aplicar uma força na outra ponta da corda. Esta força não precisa ter uma parte (ou componente) na direção da velocidade da pedra para ela poder começar a girar. Se você apenas puxar a pedra, ela avançará em sua direção e não haverá MCU. Para chegar ao MCU, será necessário que, no início, você aplique uma componente da força em sua direção, e outra na direção de movimento. Com isso, a velocidade de rotação da pedra irá aumentando conforme você mantém esta força aplicada a uma componente na direção do movimento, ou componente "tangencial". Isto quer dizer que, para iniciar o movimento circular, precisamos de uma força tangencial que confere uma aceleração tangencial. Esta aceleração tangencial altera a velocidade tangencial da pedra. Quando existe esta aceleração tangencial, a pedra se encontra em um regime de Movimento Circular não Uniforme! Somente quando esta componente se anula (ou seja, se torna igual a zero), e a única aceleração existente é na direção do centro da trajetória é que temos um MCU. Esta componente da aceleração é chamada de aceleração *radial*.

No MCU, portanto, apenas um tipo de aceleração é responsável pelo movimento: a aceleração radial. A aceleração tangencial pode afetar o módulo da velocidade, mas não a sua direção. A aceleração radial não pode afetar o módulo da velocidade, mas afeta continuamente a sua direção. Precisamos, então, encontrar uma maneira de obter uma relação funcional entre esta aceleração radial e as variáveis do movimento: velocidade e raio do círculo. Para obter essa relação, vamos estudar juntos a figura 4 abaixo:

FIGURA 4



A parte A da figura 4 mostra uma parcela da trajetória de um MCU. Nela estão indicados os vetores posição e os vetores velocidade da partícula nos instantes 1 e 2. O ângulo formado entre os vetores posição é chamado de Δθ. Os vetores velocidade foram copiados e colados na parte B e, como são perpendiculares aos vetores posição, então o ângulo entre eles também é Δθ. Finalmente, em C, podemos observar o desenho de A, rodado de 90º para ficar idêntico a B. Todos os vetores que aparecem nesta figura são tratados nesta discussão como escalares: apenas estamos nos preocupando com os seus módulos. Por semelhança de triângulos, podemos dizer:

$\Delta v = v\Delta\theta$ e $\Delta r = r\Delta\theta$. Isolando Δθ, chegamos à relação:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{\Delta r}{r}$$

Lembremos agora que a aceleração é dada por $a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t}$ e, portanto,

$$a = \frac{v\Delta r}{r\Delta t} = \frac{v}{r} \times \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{v^2}{r}$$

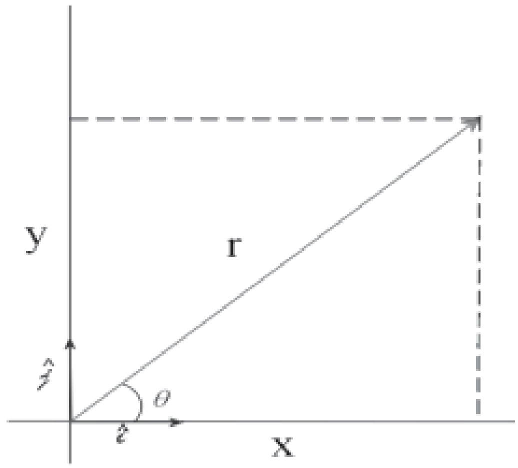
onde usamos $\Delta r/\Delta t = v$. Esta relação é a final que obtemos para a aceleração centrípeta:

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

Com a explanação desenvolvida até aqui, já podemos passar para alguns problemas que nos ajudarão a melhor compreender estas definições. Antes disso, no entanto, introduziremos um segundo tipo de sistema de coordenadas que é de grande importância no estudo de movimentos circulares: o sistema polar de coordenadas.

O sistema polar de coordenadas utiliza dois parâmetros para designar a posição de um dado objeto: a distância deste objeto até a origem e o ângulo que a reta que une este ponto à origem faz com a horizontal. Verifique a figura 5 abaixo:

FIGURA 5



Aqui observamos um objeto cuja localização pode ser definida por suas coordenadas cartesianas: (x,y). Esta é uma maneira perfeitamente válida para designar a posição, mas não é a única. Se fornecermos o par (r, θ), também definimos onde podemos encontrar o mesmo objeto. A informação sobre a localização de um ponto em um sistema de coordenadas pode ser usada para encontrar a localização do mesmo em outro sistema de coordenadas. Para transformar de um para outro, só é necessária a utilização das equações de conversão:

Cartesiano para polar	$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ $\theta = arctg\left(\frac{y}{x}\right)$
Polar para cartesiano	$x = r\cos\theta$ $y = r\,sen\theta$

Com este novo sistema de coordenadas, é possível obter equações de movimento angulares, ou seja, as variáveis não são mais lineares, mas angulares. Podemos assim definir em analogia às equações lineares:

	Grandeza linear	Grandeza angular
Posição	x (metros)	θ (radianos)
Velocidade	$v=dx/dt$ (metros por segundo)	$\omega=d\theta/dt$ (radianos por segundo)
Aceleração	$a=d^2x/dt^2$ (metros por segundo ao quadrado)	$\alpha=d^2\theta/dt^2$ (radianos por segundo ao quadrado)

No sistema cartesiano, identificamos as grandezas velocidade e aceleração com as variáveis *v* e *a*. No sistema polar, identificamos a velocidade angular com ω e a aceleração *tangencial* com α.

As equações angulares ficam assim, quando comparadas com as lineares:

Linear	$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2}at^2$	$v(t) = v_0 + at$
Angular	$\theta(t) = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2$	$\omega(t) = \omega_0 + \alpha t$

É importante notar que no MCU, α é sempre igual a zero. A conversão das grandezas lineares para as angulares é feita, simplesmente, utilizando as seguintes relações:

$$c = \theta r$$

$$v = \omega r$$

$$a = \alpha r$$

É importante manter em mente que as grandezas que aparecem do lado esquerdo destas equações correspondem às componentes *tangenciais* de vetores. A aceleração centrípeta, por exemplo, não pode entrar nessas equações.

ATIVIDADES

I. Qual é a aceleração centrípeta que a Terra sofre em sua trajetória ao redor do Sol? Quais são as aproximações necessárias para poder resolver este problema utilizando MCU?

II. Uma pessoa normal que se esforça para fazer rodar uma pedra atada à ponta de uma corda foi capaz de fazê-lo a uma taxa de 8 revoluções por segundo quando a corda tinha um comprimento de 0,6 metros. Quando aumentou este comprimento para 0,9 metros, só foi capaz de fazê-la girar a uma taxa de 6 revoluções por segundo. Em qual dos dois casos a pedra se moveu mais rápido e qual o valor da aceleração centrípeta em cada um dos casos?

III. Escreva uma equação de movimento para o movimento da Lua em torno da Terra. Assuma que, quando o cronômetro foi disparado, o ângulo que o raio vetor (que ligava os dois corpos) fazia era um ângulo de 37º com uma horizontal arbitrariamente definida por mim.

COMENTÁRIO SOBRE AS ATIVIDADES

I. Comecemos pela segunda indagação. Para resolver este problema, será necessário tratar tanto o Sol quanto a Terra como pontos materiais, ou seja, partículas sem massa e sem volume; apenas abstrações. Em segundo lugar, deveremos assumir que a trajetória da Terra é circular, o que não é verdade. Se aceitarmos esta premissa, podemos tentar resolver o problema. A equação para o cálculo da aceleração centrípeta é conhecida: $a_c = \frac{v^2}{r}$. Mas nós temos um probleminha aqui: qual é o raio e qual é a velocidade orbital? O raio pode ser obtido diretamente de qualquer tabela de constantes físicas, e o valor será de 1,496 X 10^{11} m. A velocidade angular nós não conhecemos, mas podemos fazer uma estimativa lembrando que a terra leva um ano para percorrer uma volta completa. Nós sabemos da geometria básica que o perímetro de um círculo é dado por: $c = 2\pi r$, onde *r* é o raio do círculo. No caso da órbita da Terra em torno do Sol, este perímetro corresponde à trajetória total da Terra em um *período*. O período é definido como o tempo que um corpo leva para completar uma volta completa em torno de outro. Existem definições mais completas e gerais, mas, para este nosso caso, podemos nos ater a esta mais simples. Sendo o período chamado de T, podemos definir a velocidade orbital como a distância percorrida (ou o perímetro) dividido pelo período, ou matematicamente:

$$v = \frac{c}{T} = \frac{2\pi r}{T}$$

Isto nos leva a uma nova formulação para a aceleração centrípeta em função do período orbital:

$$a = \frac{v^2}{r} = \left(\frac{2\pi r}{T}\right)^2 \frac{1}{r} = \frac{4\pi^2 r}{T^2}$$

Agora só precisamos saber qual é o período em unidades do SI: segundos. Isto é fácil: basta multiplicarmos o número de dias por vinte e quatro para saber o número de horas; o resultado é multiplicado por sessenta para saber o número de minutos etc.

1	ano
365	dias
8760	horas
525600	minutos
31536000	segundos

Podemos, agora, calcular a aceleração centrípeta:

$$a = \frac{4\pi^2(1{,}496 \times 10^{11})}{(315360000)^2} = 5{,}93 \times \frac{10^{-3}\mathbf{m}}{\mathbf{s}^2}$$

Este valor da aceleração centrípeta é três ordens de magnitude menor que a aceleração gravitacional como visto, por exemplo, na queda livre. O que você pensa sobre isto? Elas deveriam ser iguais? Ou são coisas totalmente diferentes?

II. O início da solução deste problema passa pela interpretação de uma das informações que é dada em "revoluções por segundo". No século passado, antes do advento do CD (compact disk), os discos musicais eram feitos de um material polimérico preto chamado vinil. A sua leitura não era digital, como os CDs, mas analógica: uma agulha era acoplada à superfície do vinil e micro-ranhuras em sua superfície transmitiam o som para o amplificador. A quantidade de músicas que cabia em um único disco dependia da qualidade de impressão das micro-ranhuras no vinil. Os de melhor qualidade (mais modernos) rodavam mais devagar e os mais antigos rodavam mais rápido. Tradicionalmente existiam três modelos: 78 rpm, 33 rpm e 16 rpm. Esta unidade, conhecida como rotações por minuto é a análoga à que aparece neste problema.

Ela descreve quantas voltas o objeto realiza por unidade de tempo. Enquanto os "fonógrafos" utilizavam *rpm*, nós utilizamos *RPS*, rotações por segundo. Na verdade, esta é uma medida de freqüência – *f*, e a sua unidade no SI é 1/segundos, ou Hertz. Então, no primeiro caso, temos uma freqüência de 8 Hz e, no segundo caso, temos uma freqüência de 6 Hz. Como podemos perceber, esta freqüência tem unidades de inverso de tempo e, de fato, corresponde ao inverso do período discutido no problema anterior:

$$T = \frac{1}{f}$$

Sendo assim, podemos calcular o período dos dois movimentos:

$$T_1 = \frac{1}{f_1} = \frac{1}{8} = 0{,}125\ s$$

$$T_2 = \frac{1}{f_2} = \frac{1}{6} = 0{,}167\ s$$

Temos então a seguinte tabela de valores:

Raio (m)	Freqüência (Hz)	Período (s)
0,6	8	0,125
0,9	6	0,167

Lembrando agora a discussão apresentada no problema anterior, podemos calcular as velocidades através da equação:

$$v = \frac{2\pi r}{T}$$

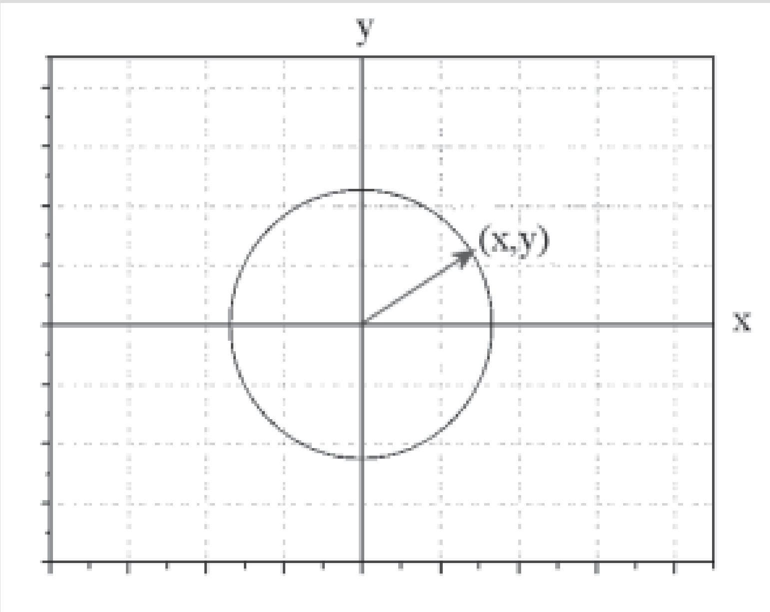
E podemos também calcular a aceleração centrípeta através da equação

$$a_c = \frac{4\pi^2 r}{T^2}.$$

Podemos agora mostrar os resultados finais em outra tabela:

Raio (m)	Freqüência (Hz)	Período (s)	velocidade (m/s)	aceleração (m/s²)
0,6	8	0,125	30,144	1514,434
0,9	6	0,167	33,844	1272,708

III. A solução deste problema é muito mais fácil do que possa parecer, mas vamos trabalhar bem devagar para que seja possível apreciar todos os detalhes. Como foi estabelecida uma posição inicial para a Lua, vamos fazer um desenho para ilustrar a situação inicial.



No desenho acima, fica clara a arbitrariedade do eixo x. Se nós girássemos o sistema cartesiano em 37º, faríamos coincidir o vetor posição com o eixo horizontal, mas não é este nosso objetivo. Para a correta resolução deste problema, precisamos de um valor médio da distância entre a Terra e a Lua, e também assumiremos que a órbita é circular. Este valor é facilmente encontrado na literatura: $3{,}84 \times 10^8$ m. Este, então, é o valor de *r*. Sendo o ângulo que este raio vetor faz com aquela horizontal igual a 37º, podemos calcular quais são as coordenadas cartesianas desta posição inicial:

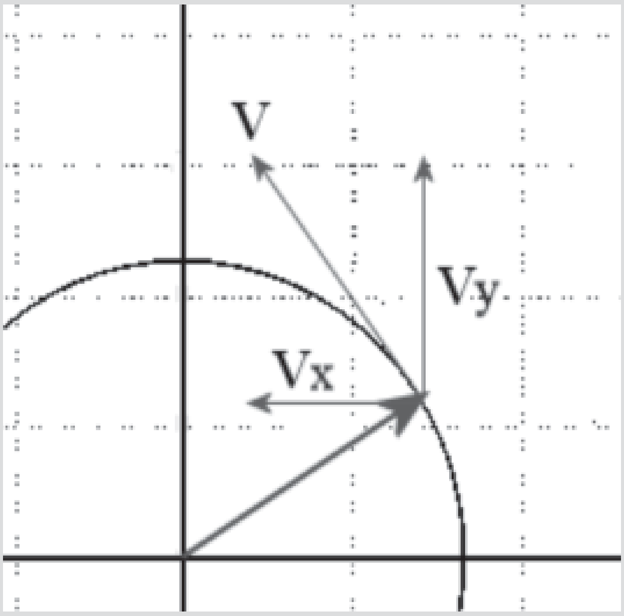
$$x_0 = 3{,}84 \times 10^8 \cos 37° = 3{,}07 \times 10^8 m$$

$$y_0 = 3{,}84 \times 10^8 \operatorname{sen} 37° = 2{,}31 \times 10^8\ m$$

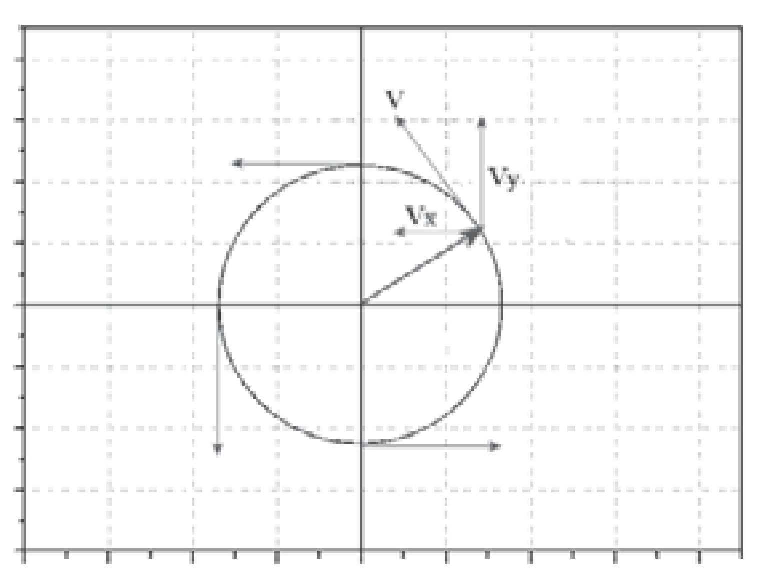
Assim, as coordenadas iniciais são: (3,07; 2,31)X10^8 metros. Agora devemos estudar a órbita da Lua. Como seriam as equações de movimento em coordenadas cartesianas? Comecemos com o vetor velocidade. No instante inicial, a velocidade da Lua tem uma componente vertical e outra horizontal. Vamos calcular seu valor! Sabemos que o período da Lua em torno da Terra é de 28 dias, que corresponde a 28X24X60X60 segundos, ou 2419200 segundos. Sendo assim, é fácil calcular o módulo de sua velocidade:

$$v = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi \times 3{,}84 \times \frac{10^8}{2419200} = \frac{996{,}8m}{s}$$

Para calcular agora as componentes desta velocidade nas direções x e y, precisaremos decompor esta velocidade. Para isto, será útil dar uma boa olhada na seguinte figura.



A partir desta figura, é fácil ver que existe um ângulo de 37º entre o vetor velocidade e a sua componente *y*, e de 53º (=90º - 37º); entre o vetor velocidade e sua componente *x*. Para obter esses valores, só precisamos então multiplicar o valor do módulo da velocidade pelo cosseno do ângulo em questão. Simples? Sim, é claro, mas existe um probleminha: um segundo após o disparo do cronômetro (na verdade, muito antes que isto), os ângulos que o vetor velocidade faz com a horizontal e a vertical já mudaram! Eles mudam continuamente conforme o tempo passa. Verifique o que acontece na figura abaixo.:



Em cada momento, ou seja, a cada local da trajetória o vetor velocidade apontará para uma direção distinta. Nos exemplos da figura, colocamos os instantes quando uma das componentes cartesianas é igual a zero. Este problema fica então muito difícil de resolver quando utilizamos coordenadas cartesianas. Mas não é preciso se preocupar, pois podemos utilizar as coordenadas polares. Quando fazemos esta opção, não precisamos mais saber o ângulo que o vetor posição faz com os eixos cartesianos, pois sabemos que ele sempre aponta na direção tangencial à curva! Temos então um caso muito simples onde tudo que precisamos saber é a posição angular inicial e a velocidade angular.

Já vimos que o cronômetro é disparado quando o raio vetor que liga a Terra à Lua faz um ângulo de 37º com a horizontal. Isto quer dizer que θ_o=0,65rd=37º. A velocidade angular, por outro lado, pode ser obtida facilmente utilizando a equação:

$$\omega = \frac{v}{r} = \frac{996{,}8}{3{,}84 \times 10^{8}} = 2{,}6 \times \frac{10^{-6} rd}{s}$$

A equação de movimento limita-se, então, a:

$$\theta(t) = 0{,}65 + 2{,}6 \times 10^{-6} t$$

CONCLUSÃO

O movimento circular uniforme é um equivalente do movimento retilíneo uniforme em sua formulação matemática. Apenas a variável angular é capaz de descrever completamente o movimento, assim como no caso do MRU. Em contraste com o caso linear, no entanto, o MCU necessita de uma força externa que mantenha o objeto de estudo em sua trajetória circular. Esta força externa também precisa ser exclusivamente radial, pois, de outro modo, causaria uma aceleração tangencial alterando a velocidade angular. Este último caso é chamado de movimento circular não uniforme e não faz parte de nossa ementa. Sem entrar no mérito de sua origem, discutimos brevemente a aceleração centrípeta que é facilmente calculável e ajuda a descrever completamente o movimento.

RESUMO

Esta aula trata do equacionamento do Movimento Circular Uniforme. A trajetória de um objeto sujeito a uma força central e que produz uma aceleração centrípeta ("*em direção ao centro*") é estudado em detalhe. Discutimos sobre as variáveis utilizadas na descrição do movimento e sobre a utilidade de se usar coordenadas polares ao invés de cartesianas. É possível a conversão entre os dois sistemas de coordenadas e, nas atividades, fica evidente a conveniência de se utilizar um em detrimento do outro. O aparecimento, até certo ponto, de uma aceleração central pavimenta o caminho para a discussão da dinâmica dos corpos, materializada nas Leis de Newton, que serão apresentadas no decorrer do curso.

PRÓXIMA AULA

Na próxima aula, estudaremos as condições de forças aplicadas que possibilitam o equilíbrio de um corpo. Estudaremos também, com algum detalhe, metodologias para a determinação do centro de gravidade dos corpos extensos.

REFERÊNCIAS

GIANCOLI, Douglas C. **Physics for Scientists and Engineers.** 3ed. New Jersey: Editora Prentice Hall, 2000.

KELLER, Frederick J.; GETTYS, Edward & SKOVE, Malcolm J. **Física.** São Paulo: Makron Books, 1997. Trad. Alfredo Alves de Farias. Vol. 1.

RESNICK, Robert; HALLIDAY, David & KRANE, Kennneth S. **Física 1**. 5ed. Rio de Janeiro: LTC Editora, 2003. Trad. Pedro M. C. L. Pacheco, Marcelo A. Savi, Leydervan S. Xavier, Fernando R. Silva.

YOUNG, Hugh D. & FREEDMAN, Roger A. **Física I - Mecânica**. 10ed. São Paulo: Addison Wesley, 2003. Tradução: Adir Moysés Luiz.