

Autor: Gil da Costa Marques

1: Introdução

Neste capítulo vamos analisar mais algumas forças especiais. São as forças chamadas de **inércia** (a força centrífuga é a mais conhecida delas). Elas surgem, e se fazem sentir, em sistemas de referência ditos não-inerciais. As forças de inércia devem sempre ser levadas em conta quando o movimento é descrito por um observador localizado num sistema não-inercial.

Estaremos particularmente interessados em sistemas acelerados ou em sistemas em rotação. Estes são exemplos típicos de sistemas não-inerciais. Neles surgem as forças de inércia.

A Terra está em rotação. Consequentemente, nos movimentos descritos utilizando-se a Terra como sistema de referência, precisamos levar em conta as forças de inércia. Esse exemplo, da Terra, serve para lembrar a relevância das forças de inércia.

Para sistemas de referência em rotação com velocidade angular constante, as forças de inércia são a **força centrífuga** e a força de Coriolis.

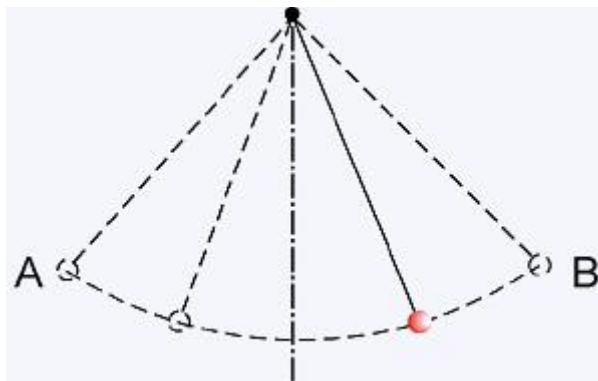
2: Movimento circulas uniforme - um exemplo simples

A lei de Newton sob a forma

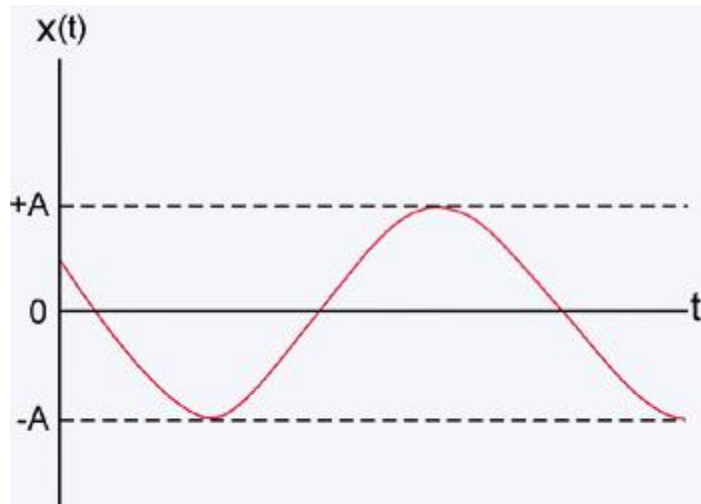
$$\vec{F} = m\vec{a}$$

é válida para um conjunto de sistemas de referência muito amplo. Tais sistemas de referência são chamados de sistemas de referência inerciais.

Dado um sistema de referência inercial (para o qual, consequentemente, vale a lei de Newton na forma $\vec{F} = m\vec{a}$), qualquer sistema de coordenadas em movimento de translação retilíneo e uniforme em relação a este é, também, um sistema inercial. Sistemas em rotação ou sistemas acelerados (em relação a um sistema inercial) não são inerciais. Por isso, são chamados de sistemas não-inerciais.



Autor: Gil da Costa Marques



3: Movimento oscilatório

Consideremos dois sistemas. Suponhamos que o sistema S seja um sistema inercial. Para ele escrevemos

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

Veremos a seguir que, para um sistema não inercial, a lei de Newton não tem exatamente a forma acima. A forma geral é

$$\vec{F}' + \vec{F}_{in} = m\vec{a}',$$

onde \vec{a}' é a aceleração da partícula no sistema não-inercial, \vec{F}' é a força no sistema inercial e o termo extra \vec{F}_{in} representa uma nova força (ou novas), a qual não estava presente no sistema inercial. \vec{F}_{in} é a força de inércia. Às vezes, as forças de inércia recebem o nome de fictícias.

Autor: Gil da Costa Marques

4: Movimento harmônico simples

Consideremos o movimento de um mesmo objeto analisado de dois sistemas de coordenadas (S e S') diferentes. Supomos que S' realiza um movimento de translação com respeito a S , isto é, os seus eixos permanecem paralelos aos de S (por exemplo, como na figura anterior) e esteja dotado de uma aceleração \vec{a}_0 em relação a S .

No sistema S escrevemos

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

A relação entre as acelerações num sistema (\vec{a}) e no outro (\vec{a}') é

$$\vec{a} = \vec{a}_0 + \vec{a}'.$$

Portanto, podemos escrever

$$m\vec{a}' = \vec{F} - m\vec{a}_0.$$

Vemos assim que a força de inércia no sistema acelerado é

$$\vec{F}_{in} = -m\vec{a}_0.$$

Para entendermos melhor o que foi dito, vamos estudar um caso concreto. Consideremos um elevador em queda livre dentro do qual uma pessoa abandona um livro.

Analisemos o movimento do livro visto da Terra e do elevador. O elevador está acelerado em relação à Terra (neste caso, com aceleração \vec{g}).

Visto da Terra escrevemos, para o movimento (aceleração) do livro,

$$m\vec{a} = m\vec{g}.$$

Ou seja, o livro está acelerado com aceleração \vec{g} .

Visto do elevador, a situação é muito diferente. O passageiro verá o livro flutuar (essa situação é às vezes descrita como zero g). O livro estará em repouso em relação do elevador. O passageiro escreverá simplesmente

$$m\vec{a}' = 0.$$

Como é possível a aceleração ser nula no sistema do elevador?

Já vimos que no sistema não-inercial (acelerado) surge a força de inércia

Autor: Gil da Costa Marques

$$\vec{F}_{in} = -m\vec{g}.$$

Portanto, a equação correta para o astronauta é

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_{in} = m\vec{g} - m\vec{g} = 0$$

demonstrando, assim, que as descrições são absolutamente coerentes e compatíveis entre si.

5: Expressões para a velocidade e aceleração no movimento harmônico simples

Imagine-se girando num carrossel. Você tem a sensação de que está sendo atirado para fora. Essa sensação que o faz sentir-se compelido para fora, para fugir do centro, é o resultado da força centrífuga.

A força centrífuga surge sempre que nos movimentamos fazendo curvas (ao longo de trajetórias não-retilíneas).

Para um indivíduo num sistema em rotação ou que se movimenta numa curva surge uma força, nesse sistema, conhecida como força centrífuga. Ela tem as seguintes características:

a) **Direção**

Na direção da perpendicular a curva no ponto em que o objeto se encontra.

b) **Sentido**

No sentido de "fuga do centro" (para fora). Fuga do centro da circunferência osciladora.

c) **Módulo**

O módulo de força centrífuga é dado por

$$F_c = \frac{mv^2}{R},$$

onde v é a velocidade do corpo no ponto P e R é o raio da circunferência osciladora pelo ponto P .

Para obter o resultado anterior, observamos que, em relação ao sistema de referência fixo no solo, vale a relação

$$ma_n = \frac{mv^2}{R} = F,$$

onde R é a distância até o centro e F é a força (centrípeta) que atua sobre o objeto.

Autor: Gil da Costa Marques

Para um observador do sistema de referência solitário ao objeto, este encontra-se em repouso e ele escreverá para a aceleração na direção normal

$$a'_n = 0.$$

Temos então

$$ma'_n = 0$$

e esse resultado é compatível com $ma_n = \frac{mv^2}{R} = F$, desde que nos lembremos da força centrífuga. Levando em conta a força centrífuga podemos escrever na direção normal

$$0 = ma'_n = F - F_c = \frac{mv^2}{R} - F_c,$$

donde concluímos que

$$F_c = \frac{mv^2}{R}.$$

6: Força que produzem o MHS

Em geral, surge muita confusão a respeito da força centrífuga. Essa confusão é natural, uma vez que ela só é sentida quando o movimento é descrito no sistema em rotação. Num sistema que não está em rotação (sistema inercial), ela não aparece.

A força centrífuga, que surge no sistema em rotação, resulta da tendência que tem o corpo manter o seu estado de movimento (inércia) no sistema inercial. Disso resulta a tendência de sair pela tangente (o que no caso resultaria no aumento do raio), ou seja, fugir para longe do centro. Portanto, essa força é uma força que resulta da inércia. Você a experimenta no carrossel.



No sistema em repouso, a visão é diferente. Nele o movimento é acelerado. O corpo tem uma aceleração centrípeta, a qual é responsável pela variação da direção do vetor velocidade. Essa aceleração aponta para o centro e explica por que o corpo não mantém constante em direção da sua velocidade