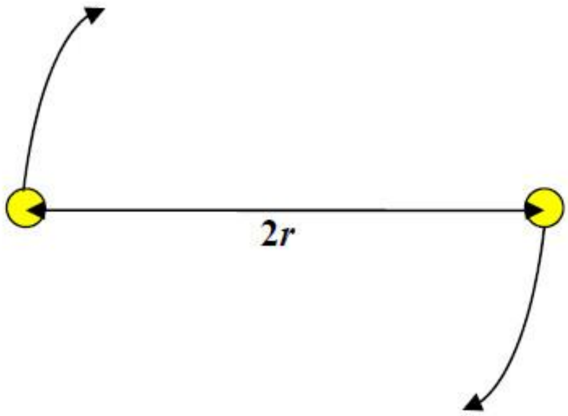
Estrelas Binárias e Forças de Maré

Michael Fowler 1/29/07

Estrelas Binárias

Ao estudar a gravidade num documento anterior, considerou-se apenas a atração gravitacional que ocorre entre pares de objetos em que um deles tem uma massa muito maior que o outro, e assumindo-se que este está fixo. Essa é uma excelente aproximação para estudar o Sol e os *seus* planetas, ou os planetas e os seus satélites, mas não é perfeita. Para ver onde realmente esta aproximação pode falhar, considere um sistema binário com duas estrelas de massas semelhantes. (Sistemas binários de estrelas são muito comuns, pois na realidade a grande maioria das estrelas encontra-se num destes sistemas.) No caso mais simples, as duas estrelas orbitam-se uma à outra em círculos, ou melhor, por simetria orbitam um ponto central comum:

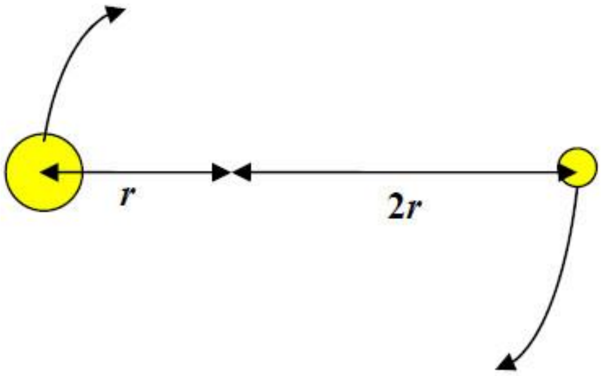


Neste caso, a equação $F = Ma$ deve ser ajustada para:

$$\frac{GM^2}{(2r)^2} = \frac{Mv^2}{r} = Mrw^2$$

Os problemas resultantes de situações com mais do que um corpo em rotação são simplificados se a aceleração for escrita como rw^2 ao invés de v^2/r. Isso deve-se ao fato de o *w* ser o mesmo para as duas estrelas, e *v* ser diferente.

Considere agora um sistema binário em que uma estrela tem massa M e a outra 2M, mas que têm ambas órbitas circulares. Desta vez, ambas as estrelas orbitam em círculos em torno do centro de massa comum, e ambas se movem com a mesma velocidade angular *w*, de modo que a aceleração angular será $2rw^2$ e rw^2, respetivamente, já que as acelerações são inversamente proporcionais, uma vez que ambas as estrelas estão sujeitas a uma força com a mesma magnitude, a sua atração gravitacional mútua.



O Sistema Terra-Lua: Forças de Maré

A massa da Terra é aproximadamente 80 vezes maior que a massa da Lua. Isso significa que a Terra e a Lua orbitam em torno do centro de massa do sistema, um ponto a cerca de 1/80 da distância desde o centro da Terra até ao centro da Lua – cerca de 4828 Km *(3000 milhas)* do centro da Terra, e portanto no *interior* da Terra.

Para calcular o período orbital da Lua com precisão, devemos ajustar a equação utilizada anteriormente para

$$mr_c w^2 = GMm/r^2$$

onde r corresponde à distância entre a Terra e a Lua, e r_c à distância da Lua ao centro de massa do sistema. Ao considerar $r_c = r$, obtém-se uma precisão de 1%, normalmente adequada ao que pretendemos neste caso, mas claramente desadequada para uma astronomia mais precisa.

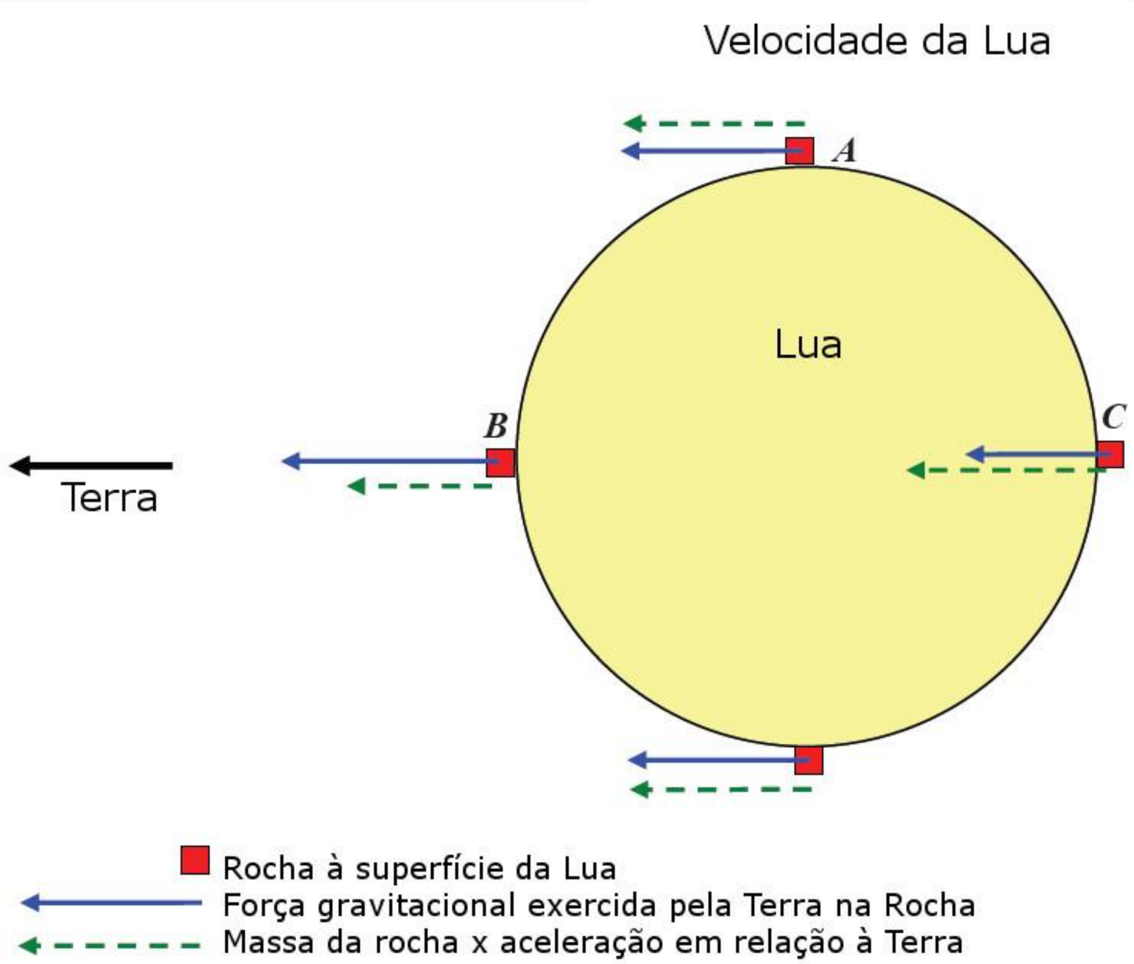
Outro ponto importante é o fato de quando mencionamos a força gravitacional da Lua, considerarmos que esta se encontra concentrada num único ponto. Se assumirmos que a Lua é esférica e simétrica, não há problema. Estabeleceu-se que a força a que é sujeita uma massa que se encontre fora da Lua seria a mesma se toda a massa da Lua estivesse concentrada no seu centro. Assim sendo, a força gravitacional da Terra sobre a Lua, que pode ser imaginada como a soma de todos os Quilogramas de massa que constituem a Terra, deverá ser a mesma que se considerarmos que toda a massa da Lua está concentrada no seu centro.

Pesando Rochas na Lua

Para perceber melhor como a força gravitacional da Terra, e o movimento orbital da Lua em torno da Terra, afetam o aparente valor da gravidade à superfície da Lua, vamos imaginar que temos um conjunto de rochas idênticas, que *pesamos* com *balanças dinamómetro*[1]idênticas em diferentes pontos da Lua, tal como mostrado no diagram. Uma *balança dinamómetro* consiste apenas numa mola que comprime quando uma massa é colocada sobre ela, a compressão da mola é linearmente proporcional à massa colocada (dentro do intervalo da escala) e à medida que a mola comprime faz girar um dispositivo apontador à volta de um mostrador numérico. O mostrador regista o peso. Na realidade, para ser preciso, o mostrador regista a força que a mola exerce na rocha: a força de reação Normal N, isto é, a mesma força que a rocha experimentaria por parte do solo se nele estivesse apoiada.

[1] Esta *balança* determina o peso P da rocha, e não a massa.

Assim, as forças nas rochas A, B e C mostradas são os respetivos pesos, P, todos direcionados para o centro da Lua, e iguais em magnitude; a força N exercida pela mola comprimida em que o corpo se apoia (não está representada na figura), e a força gravitacional da Terra, a seta azul no diagrama, *diminuem* com o aumento da distância a que se encontram da Terra. Uma vez que as rochas se movem com a Lua ao longo da sua órbita em torno da Terra, a sua aceleração em direção à Terra é $r_c w^2$, esta aceleração aumenta com a distância à Terra, já que w é o mesmo para todas elas.



Lembre-se que a força de gravidade total exercida pela Terra sobre a Lua é a mesma que seria caso toda a massa da Lua estivesse concentrada num ponto no centro da Lua. Se assumirmos que a rocha *A, representada* no diagrama, se encontra exatamente à mesma distância da Terra que o centro da Lua, irá sentir a mesma força gravitacional por parte da Terra que qualquer massa colocada no centro da Lua, e por isso acelerará em direção à Terra na mesma proporção: ficará na Lua, sem se aproximar ou afastar da Terra. Entretanto, na direção perpendicular, a *balança dinamómetro* mede a força N com que suporta a rocha, e esta força iguala o Peso da rocha, mostrando o quão forte é a atração gravitacional que sofre por parte da Lua.

Agora considere a rocha *B* do lado esquerdo da figura, mais próxima da Terra. A força gravitacional será mais intensa por parte da Terra que a sofrida pela rocha *A*, ainda que a sua aceleração rw^2 seja menor que a aceleração da rocha *A*.

r é menor, e w é igual.

E quanto a $F = ma$?

Deve obviamente existir alguma força que *contrarie* a gravidade da Terra, já que a aceleração de *B* em direção à Terra é *menor* que a aceleração provocada apenas pela gravidade da Terra. E há de fato: a gravidade da Lua, que corresponde ao peso *P* da rocha, atua em sentido contrário.

Mas não está o peso equilibrado pela força da mola N?

A resposta é, *não pode estar*, já que $F = ma$. Somos forçados a concluir que a força da mola, N, é *menor* que o verdadeiro peso, P, da rocha.

A conclusão é que no lado da Lua que se encontra mais próximo da Terra, os corpos parecem mais leves: é mais fácil levantar qualquer objeto, a gravidade é eficazmente diminuída pela Terra que puxa os objetos para *"cima"*.

Vamos agora observar a rocha *C*. Estando mais afastada da Terra, mas girando com a Lua à mesma velocidade angular *w*, a sua aceleração rw^2 é *superior* à da rocha *A*, mas a atração gravitacional da Terra é mais *fraca* a maiores distâncias.

Novamente, para satisfazer $F = ma$, a força gravitacional da Lua, P, na rocha *C*, deverá estar em desequilíbrio com a força *N* da mola. De fato, a resultante destas duas forças aponta para a esquerda (em direção à Terra) originando uma maior aceleração. Assim sendo, a força gravitacional provocada pela Lua na rocha deverá ser superior à força normal provocada pela superfície de apoio da rocha. Isso significa que a rocha em *C* colocada numa *balança dinamómetro* irá registar um peso menor – o mesmo efeito que em B! Os objetos parecem mais leves também no ponto mais afastado da Terra!

Isto significa que as rochas em B e C experimentam o que parece ser *uma aparente diminuição da atração gravitacional* para o centro da Lua quando comparadas com A. Imagine agora que a Lua está coberta por um oceano. A maior gravidade em locais como *A* puxa mais a água para *baixo* do que a menor gravidade em B e C.

Esta é a origem das marés: a maré alta ocorre onde a "gravidade" é menor, nos dois lados opostos. É óbvio que não existe oceano na Lua, mas este mesmo argumento é válido para estudar o efeito da gravidade da Lua sobre a Terra: lembre-se que a Terra também orbita o centro de massa do sistema Terra-Lua.

Casa das Ciências 2012

Tradução/adaptação de Nuno Machado e Manuel Silva Pinto