

Por que não flutuamos?

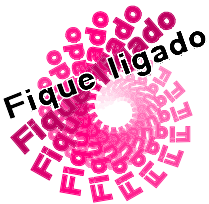


Gaspar tinha um sonho: ir à Lua! Ficava horas a fio olhando a bela Lua. “Como será andar na Lua?”, pensava.

Era um lunático! E fanático! Lua! Lua! Lua! Adorava ver televisão, não qualquer programa, só aqueles onde se viam foguetes, astronautas e, é claro, a Lua!

Um dia, Gaspar viu um filme que mostrava imagens dos astronautas no interior de uma nave espacial. Aquela cena deixou Gaspar pensativo: “Muito estranho, os astronautas flutuam dentro da cabina. E não só os astronautas, mas também os objetos ao seu redor”, intrigava-se.

Gaspar então ficou com aquela dúvida martelando na sua cabeça: “Por que não flutuamos?”



Você, certamente, alguma vez já teve a mesma dúvida de Gaspar: por que nós não flutuamos, isto é, por que não ficamos soltos no ar, sem tocar o chão?

Essa pode parecer uma pergunta sem interesse, afinal, ficar no chão é tão natural, não é mesmo? Mas se você pensar um pouco nesse assunto, verá quantas coisas interessantes irão surgir!

Flutuar lembra, entre outras coisas, ar e chão. Chão lembra terra (onde nossos pés estão) e terra lembra a nossa Terra, o mundo em que vivemos. Mas, o que é a Terra? Como ela é? Onde se encontra?

Essas perguntas hoje podem parecer fáceis de responder, mas foram necessários muitos e muitos anos para que se conhecesse melhor esse assunto.

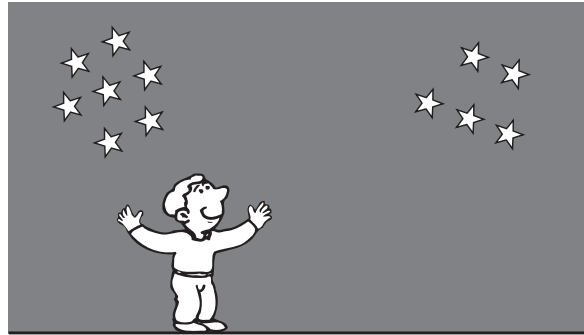
Você tem aprendido uma porção de coisas novas, e é sempre bom lembrar que elas foram criadas pelo homem. O ser humano é curioso: observa a natureza e quer saber o porquê das coisas. Movido pela curiosidade e pela vontade de conhecer, faz perguntas e tenta respondê-las, observando ao seu redor.

O conhecimento é fruto das perguntas que o ser humano faz a si mesmo, e é uma maneira de explicar o mundo que se observa.

Graças a muitos curiosos observadores, hoje estamos aqui falando sobre Terra, flutuar e coisas assim!

Numa bela noite de sábado, Gaspar convidou sua esposa, Alberta, para ir ao quintal observar o céu. No céu, à noite, podem ser observados inúmeros pontinhos brilhantes. Gaspar então explicou para Alberta: “Aqueles pontinhos brilhantes são **astros** celestes. Se você ficar algum tempo observando-os, verá que eles se movimentam, isto é, mudam de posição em relação ao ponto em que estamos aqui na Terra.”

Figura 1



Observe o céu à noite. Escolha um ponto aqui na Terra (uma árvore, o telhado de uma casa, um edifício etc.) e observe os astros que estão ali “perto”. Depois de um certo tempo observe novamente. O que ocorreu?

Com a mão na massa

“Eles se movem todos juntos! Giram ao nosso redor!”, exclamou Alberta.

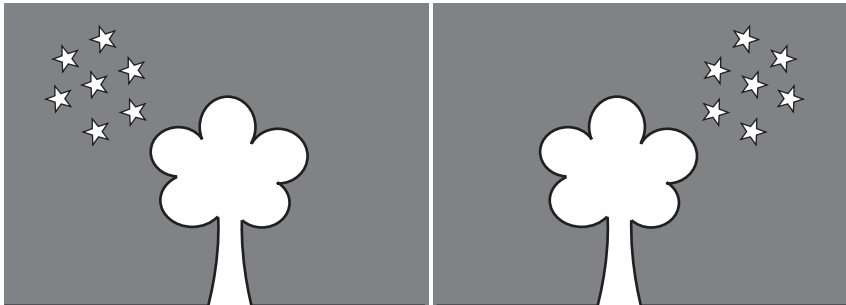


Figura 2. O “movimento” do céu à noite.

“Sim, eles mudam de lugar em relação a nós aqui na Terra, mas não muda a **posição entre eles**. Esse movimento dá a **impressão** de que a Terra está parada e que os astros giram ao seu redor. Os gregos, há uns 2.000 anos, acreditavam que a Terra era o centro do universo e que, portanto, tudo girava ao nosso redor. Eles deram o nome de **estrelas** aos astros celestes.”

Gaspar apontou então um astro com um brilho muito intenso: “Observe aquele astro: não é uma estrela, mas sim um **planeta**. Depois de muitas observações cuidadosas, os gregos perceberam que nem todos os astros se moviam juntos. Alguns realizavam movimentos estranhos, indo e voltando!”

Figura 3. Os planetas descrevem uma estranha trajetória em relação às estrelas. Como esse movimento é muito lento, deve-se observá-lo em várias noites diferentes.



“Essas estrelas foram chamadas de **estrelas errantes**, isto é, aquelas que ‘caminham’ pelo céu, e que, em grego, são chamadas de **planetas**.”

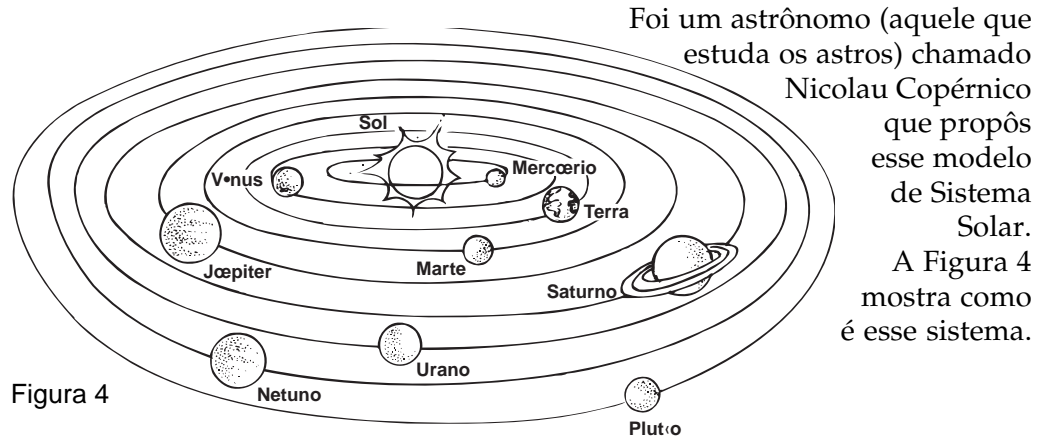
Observações mais cuidadosas levaram à criação de um novo modelo, no qual o Sol está no centro e os planetas giram ao seu redor, num movimento chamado de **translação**.

Hoje já sabemos algumas coisas sobre as estrelas e os planetas:

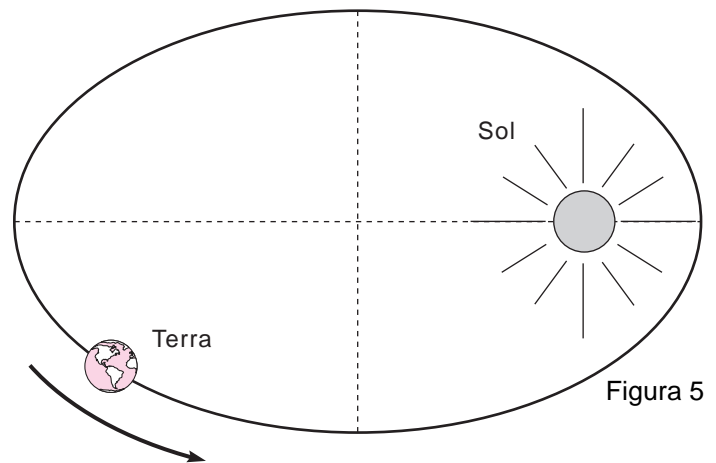
- **Estrelas** são astros que produzem luz e estão muito distantes da Terra. A estrela mais próxima, e também a mais conhecida de todos nós, é o Sol. O Sol é uma estrela amarela, que ilumina o nosso dia e nos aquece, permitindo que exista vida na Terra: sem ele nós não existiríamos!
- **Planetas** são astros de formas arredondadas, formados em geral por materiais rochosos e que não produzem luz: eles são **iluminados** pelas estrelas.

E Gaspar continuou: “O Sol, a Terra e outros oito planetas formam o que chamamos **Sistema Solar**. Mercúrio é o planeta mais próximo do Sol; depois vem Vênus, a Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e, finalmente, Plutão, o mais distante.”

O padre polonês Nicolau Copérnico (1473-1543) propôs o modelo de sistema astronômico em que o Sol ocupa posição central, e não a Terra, como se acreditava até a época em que ele viveu.

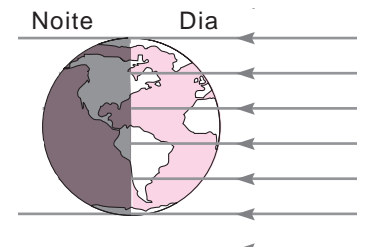


A translação da Terra dura pouco mais de 365 dias, e esse período é chamado **ano**, como se vê na Figura 5.



Por ser um planeta, a Terra não tem luz própria; ela é iluminada pelo Sol.

Graças à luz do Sol e ao movimento de **rotação** da Terra, existem o dia e a noite. Rotação é o movimento que a Terra realiza sobre si mesma e o seu período é de 24 horas. Veja a Figura 6.



Podemos então concluir que a Terra, além de dar voltas em torno do Sol (**translação**), gira sobre si mesma, como um pião (**rotação**). E é por causa deste último movimento que existem o dia e a noite.

Parece, mas não é

Os outros oito planetas que compõem o Sistema Solar também realizam os movimentos de translação e rotação, embora com períodos bem diferentes.

Vamos voltar à nossa história.

Descrente, Alberta insistiu: “Tudo indica que é o Sol que se move, pois eu não **sinto** a Terra se mover!”

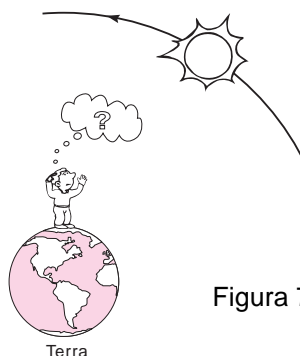


Figura 7

Ao ouvir isso, Gaspar disse: “Pense bem: quando andamos de carro por uma estrada, vemos que os objetos se afastam ou se aproximam, mas sabemos que é o carro que se move, pois podemos sentir o vento.”

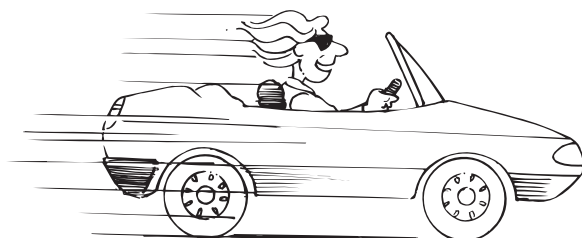


Figura 8

Alberta concluiu: “Então, se a Terra se deslocasse, nós deveríamos sentir o vento! Por que não o sentimos?”

Gaspar retrucou: “Alberta, no caso do carro é diferente. Você sente o vento porque você se desloca e o ar não. No caso da Terra, não se sente o vento **porque o ar que envolve a Terra também se desloca!** Acontece a mesma coisa quando as janelas do carro estão fechadas: o ar que está dentro se desloca junto com o carro e não sentimos o vento!”

E continuou: “O ponto fundamental é que esse modelo explica os movimentos estranhos das estrelas errantes, isto é, dos **planetas**. Por isso ele é adotado pelos cientistas.” Só então Alberta pareceu ter se convencido.



Figura 9

“Além das estrelas e dos planetas, existem outros astros: os **satélites naturais**. Eles se parecem muito com os planetas, mas são menores, e não giram ao redor do Sol, mas ao redor de alguns dos planetas”, disse Gaspar.

E acrescentou: “A Terra possui um satélite natural: a bela Lua.”

Ainda tem mais

Você já observou a Lua em dias diferentes? Se a sua resposta for não, comece a observá-la, ao menos uma vez por semana! Se você já a observou, deve ter percebido que ela está sempre “mudando de cara”. Veja na Figura 10 as quatro “caras” principais da Lua. Esses quatro momentos chamam-se as **fases** da Lua.



Figura 10

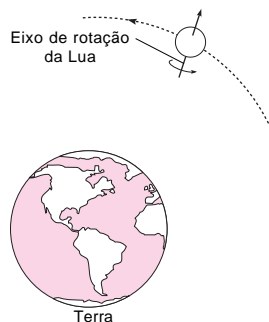


Figura 11

Assim como a Terra, a Lua também realiza dois tipos de movimento: rotação (sobre si mesma) e translação (ao redor da Terra), como indica a Figura 11.

A Lua também não produz luz, ela é iluminada pelo Sol. A face da Lua que está voltada para o Sol recebe luz dele e pode ser vista. A face oposta não recebe luz e, portanto, não é vista, como mostra a Figura 12.

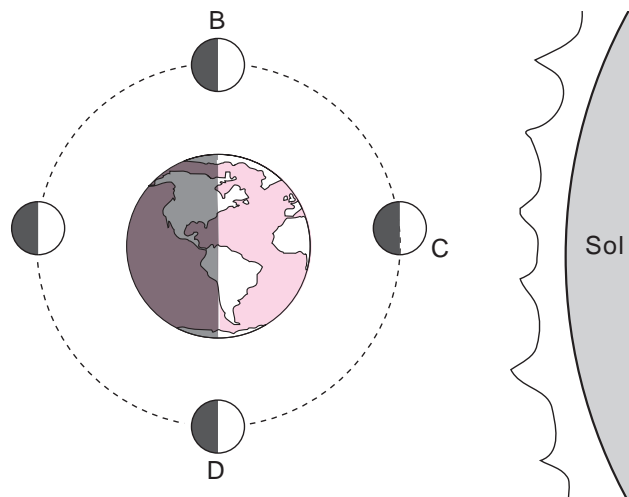


Figura 12. A luz do Sol ilumina a Lua, que é vista da Terra em suas quatro fases.

Observe a figura no sentido horário, como indicam as setas. Quando a Lua vai do ponto A até o ponto C, ocorre a chamada **fase minguante**, que começa com a Lua **cheia** (A) e termina com a Lua **nova** (C), passando pelo quarto minguante (B). Enquanto ela vai de C até A, é a **fase crescente**, que começa com a Lua nova (C), termina com a Lua cheia (A), passando pelo quarto crescente (D).

Para dar uma volta completa ao redor da Terra, a Lua leva aproximadamente 28 dias, que é seu período de translação.

Com a mão na massa

Observe num calendário quantos dias são necessários para que uma fase da Lua ocorra novamente, isto é, verifique quantos dias a Lua demora para voltar a uma mesma fase.

A Lua gira em torno da Terra. A Terra gira em torno do Sol. E daí, qual a relação desses fatos com a pergunta que intrigou Gaspar?

Alberta, após um longo período em silêncio, perguntou: “Por que a Lua não sai por aí, vagando pelo espaço? Por que ela continua, sempre nesse movimento ao redor da Terra? E tem mais, por que a Terra continua sempre a girar ao redor do Sol?”

Gaspar coçou a cabeça. Ia começar a responder quando, de repente, uma enorme jaca caiu no chão! Por pouco não os atingiu em cheio!

“Por que ela caiu?”, perguntou Gaspar.

“Ora, porque estava madura, se soltou e caiu. Muito simples”, respondeu rapidamente Alberta.

Mas Gaspar buscava uma explicação científica para o acontecimento. “Não, Alberta. Você não compreende? Isso não é tão simples assim! Existe uma causa muito importante para que a jaca desabe no chão. E se ela não estivesse presa, ficaria na árvore?”

“É óbvio que não, Gaspar. Ela estaria no chão, como todos nós”, respondeu Alberta, confiante.

“É isso mesmo, Alberta! Acho que essa é a resposta à minha questão: a jaca vem para o chão pelo mesmo motivo por que nós ficamos nele. Ela não flutua, assim como nós não flutuamos”, animou-se Gaspar. “Mas **por que ela cai?**”

Silêncio.

“E qual a relação disso com a Terra, a Lua e o Sol?” quis saber Alberta.

RECORDANDO

Na Aula 5, você aprendeu que todos os corpos próximos à superfície da Terra caem com a mesma aceleração, que chamamos de **aceleração da gravidade**. Até aquele momento não falamos por que isso acontece, por que eles caem. Só foi estudado o movimento, não sua causa.

Na Aula 8, você viu que para alterar o estado de movimento de um objeto é preciso aplicar sobre ele uma **força**.

“Algo puxou a jaca para baixo”, concluiu Gaspar. E emendou: “Aí está a resposta à sua pergunta, Alberta: a Lua não sai por aí porque a Terra a atrai, da mesma forma que atrai a jaca! E o mesmo ocorre com a Terra, que, atraída pelo Sol, fica a seu redor!”

Alberta, agora estava muito confusa. Pensou na Lua, pensou na jaca e lançou então uma questão que deixou Gaspar sem fôlego:

“E por que a Lua não cai?”

“Bem... é porque ... eu não sei explicar...”, admitiu Gaspar, desapontado. Vamos ver se nós chegamos lá!

Matéria atrai matéria...

De fato, a jaca caiu no chão porque foi **atraída** pela Terra, isto é, a Terra puxou a jaca, assim como ela puxa todos os objetos, inclusive a Lua. Essa atração é chamada de **atração** ou **força gravitacional**.

Essa força existe entre o Sol e a Terra, entre a Terra e a jaca, entre a Terra e cada um de nós...

Quem estudou e desenvolveu a teoria que descreve a atração gravitacional entre os corpos foi Isaac Newton. De acordo com a sua teoria, a força que faz uma jaca cair no chão é do mesmo tipo da força que faz com que a Terra fique ligada ao Sol, ou a Lua fique ligada à Terra.

Newton generalizou a idéia da atração gravitacional a todos os objetos no universo, afirmando que **todos os corpos no universo se atraem mutuamente**. Isto é, o Sol atrai a Terra, assim como a Terra atrai o Sol. A Terra atrai a jaca e a jaca atrai a Terra. Todos os objetos do universo seguem essa lei que foi chamada: **lei da gravitação universal**.

E Newton foi além: propôs que a **força gravitacional** (F_g) seria tanto maior quanto maiores fossem as massas dos objetos; isto é, quanto mais matéria o objeto tem, maior a força com que ele atrai os outros objetos para perto de si, e igualmente é atraído por esses objetos. Portanto, a força gravitacional entre dois objetos de massas **M** e **m** é **diretamente proporcional às suas massas**:

F_g é proporcional a $M \cdot m$

Além disso, a força é menor quanto mais afastados estiverem os objetos. Porém, mais do que isso, a força diminui com o **quadrado da distância**. Portanto, a força gravitacional é **inversamente proporcional ao quadrado da distância**:

F_g é proporcional a $\frac{1}{d^2}$

Juntando as duas suposições, escrevemos:

F_g é proporcional a $\frac{M \cdot m}{d^2}$

Em Matemática, quando duas grandezas são proporcionais, existe uma **constante de proporcionalidade** que as relaciona. No caso da força gravitacional, essa constante é chamada de **constante da gravitação universal**, e é representada pela letra **G**.

Então, de acordo com a lei da gravitação universal, a força entre dois objetos quaisquer, de massas **M** e **m**, separados pela distância **d**, é:

$$F_g = G \cdot \frac{M \cdot m}{d^2}$$

Isolando a constante **G**, isto é, passando todas as outras grandezas para o outro lado da equação, podemos escrever:

$$G = F_g \cdot \frac{d^2}{M \cdot m}$$

Assim, quando conhecemos a força entre dois objetos (é possível medi-la), as massas dos objetos e a distância entre eles, podemos calcular o valor da constante **G**:

$$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$$

Como você viu, Terra foi capaz de colocar a jaca em movimento, isto é, a jaca se moveu em direção à Terra; mas não observamos o contrário, isto é, a Terra não saiu do lugar! Vamos entender por que isso acontece.

RECORDANDO

Você se lembra da **terceira lei de Newton**? Ela diz que, se um objeto A exerce uma força sobre um objeto B, o objeto B fará uma **força de mesma intensidade, mesma direção e sentido contrário** sobre o objeto A. Por isso, recebe o nome de **lei da ação e reação**.

Então, a intensidade da força com que a Terra atrai a jaca é igual à intensidade da força com que a jaca atrai a Terra:

$$F_{Terra,jaca} = F_{jaca,Terra}$$

Mas a massa da jaca é muito pequena e a força que a Terra exerce sobre ela é suficiente para alterar o seu estado de movimento. Assim, a jaca, que estava parada, adquire velocidade. Por

outro lado, a massa da Terra é muito grande, e a força que a jaca exerce sobre ela não é suficiente para movimentá-la. Por isso a jaca é acelerada e a Terra não.

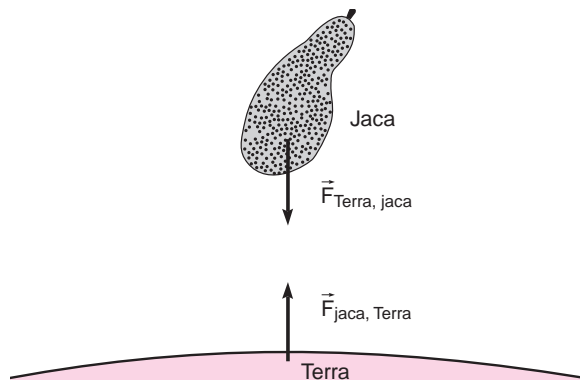


Figura 13

Peso ou massa?

Sabemos que é difícil alterar o estado de movimento de objetos que têm grandes massas (levantar um armário por exemplo). Agora é possível entender bem por que isso acontece.

Para levantar um objeto do chão é preciso fazer força. Porque, para erguer um objeto, precisamos vencer a força gravitacional, que o puxa para baixo. Quanto mais **pesado** um objeto, mais força precisa ser feita.

Mas... o que é **peso**?

O homem da Figura 14 tem dificuldade em levantar o elefante porque a Terra o puxa para sua superfície.

Quanto maior for a massa do elefante mais difícil será levá-lo, pois, quanto maior for a sua massa, maior será a força com que a Terra o atrai! Lembre-se:

$$F_{Terra,elefante} = G \cdot \frac{m_{Terra} \cdot m_{elefante}}{d^2}$$

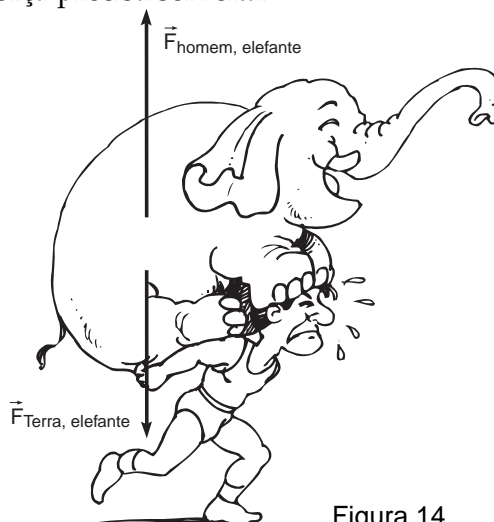


Figura 14

Nesse caso, a distância entre a Terra e o elefante é o raio da Terra ($d = r$), pois é a distância do elefante ao centro da Terra.

$$F_{Terra,elefante} = \frac{G \cdot m_{Terra}}{r^2} \cdot m_{elefante}$$

Para calcular a força exercida pela Terra sobre qualquer objeto em sua superfície, basta usar a expressão anterior, substituindo a massa do elefante pela massa do objeto.

Observe que G , m_{Terra} e r têm sempre o mesmo valor quando calculamos a força com a qual a Terra atrai qualquer objeto, portanto o seu produto é uma constante:

$$\frac{G \cdot m_{Terra}}{r^2} = \text{constante}$$

Mas que **constante** é essa?

RECORDANDO

Na Aula 8, discutimos a segunda lei de Newton: a resultante das forças que agem sobre um corpo é igual ao produto da sua massa pela sua aceleração.

$$F_{\text{resultante}} = m \cdot a$$

Ao se soltar da árvore, a única força agindo sobre a jaca é a atração gravitacional da Terra. Portanto, ela é a força resultante na jaca.

$$F_{\text{Terra,jaca}} = F_{\text{resultante}}$$

Usando as equações anteriores, pode-se escrever:

$$\frac{G m_{\text{Terra}}}{r^2} \cdot m_{\text{jaca}} = m_{\text{jaca}} \cdot a_{\text{jaca}}$$

Portanto:

$$\frac{G m_{\text{Terra}}}{r^2} = a_{\text{jaca}}$$

A aceleração da jaca não depende da sua massa, e seu valor é **constante**. Isso significa que é a mesma para todos os objetos, isto é, todos os objetos próximos à superfície da Terra caem com a mesma aceleração, a **aceleração da gravidade**.

Pode-se então escrever:

$$F_{\text{Terra, jaca}} = m_{\text{jaca}} \cdot g$$

onde

$$g = \frac{G m_{\text{Terra}}}{r^2}$$

A força com que a Terra atrai a jaca é proporcional à massa da jaca, sendo a constante de proporcionalidade a aceleração da gravidade. Essa força é conhecida como **força-peso**, ou simplesmente **peso**!

Portanto, o peso de qualquer objeto é igual ao produto de sua massa pela aceleração da gravidade, isto é:

$$\mathbf{P = m \cdot g}$$

Para calcular a aceleração da gravidade em qualquer outro planeta, usamos:

$$g = \frac{G m_{\text{planeta}}}{r_{\text{planeta}}^2} \text{ substituindo a massa do planeta e o seu raio.}$$

Assim, se você for à Lua, ficará mais leve, e poderá pular mais alto, com menos esforço. Isso porque a força gravitacional (e a aceleração da gravidade) na Lua é menor do que na Terra. Mas note: é o peso que varia, não a massa; esta permanece a mesma.

Por que a Lua não cai?

Vimos que todos os objetos se atraem gravitacionalmente e que a força com que a Terra atrai a Lua pode ser calculada pela expressão:

$$F_{\text{Terra, Lua}} = G \cdot \frac{(m_{\text{Terra}} \cdot m_{\text{Lua}})}{D_{\text{T,L}}^2}$$

onde $D_{\text{T,L}}$ é a distância da Terra à Lua, precisamente a distância entre os seus centros.

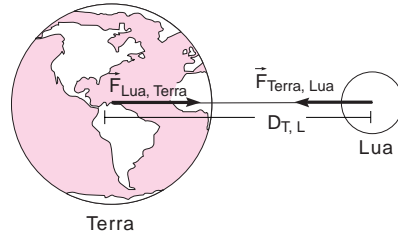


Figura 15

A Lua gira em volta da Terra, e sua trajetória, isto é, o caminho que ela percorre pode ser considerado circular.

Vimos na aula anterior que, para existir um movimento circular, é preciso que a força resultante aponte para o centro da circunferência, isto é, uma força centrípeta.

Então, a Lua tem aceleração centrípeta, que muda a direção do movimento, isto é, a direção da velocidade, mas não muda o seu valor (módulo).

Dizemos que a Lua está **em órbita** ao redor da Terra e aí permanece. Para colocar um objeto em órbita ao redor da Terra, como fazemos com os satélites artificiais, devemos lançá-lo com uma certa velocidade mínima, chamada “velocidade de escape”.

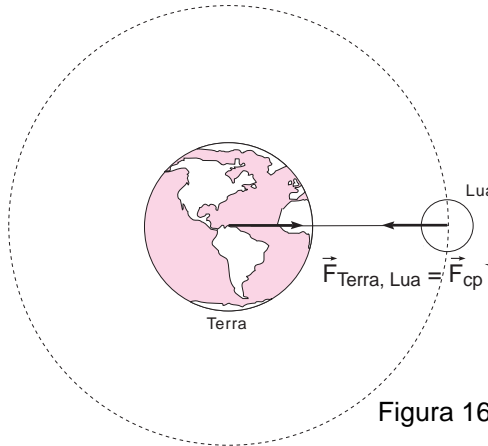


Figura 16

Observe a Figura 17:

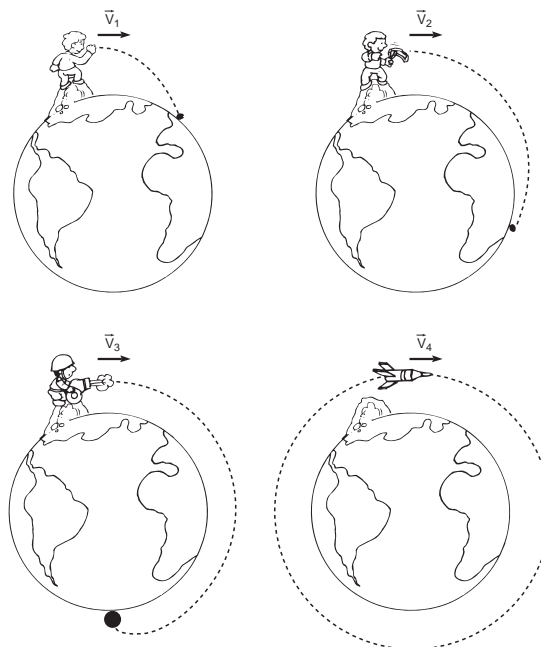


Figura 17. A partir de certa velocidade, o objeto entrará em órbita.

Só quando o objeto é lançado com velocidade maior ou igual à velocidade de escape ele pode “entrar em órbita” ao redor da Terra. A Lua tem uma velocidade maior do que a de escape.

Lembre-se de que os objetos próximos à superfície da Terra estão sujeitos à força da gravidade e que, portanto, caem com aceleração $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Com a Lua, a nave e os astronautas ocorre o mesmo! É como se todos eles caíssem com g . Mas, ao mesmo tempo em que caem, eles andam para o lado. Por isso nunca atingem a superfície da Terra.



Nesta aula você aprendeu que:

- existem diferentes tipos de astros, com características diferentes: estrelas, planetas e satélites;
- os astros realizam dois tipos de movimentos: **translação** e **rotação**;
- todos os objetos se atraem mutuamente, essa atração é chamada **força da atração gravitacional** e descrita pela **lei da gravitação universal**;
- os objetos na superfície da Terra não flutuam, eles ficam no chão porque a Terra os atrai gravitacionalmente para a sua superfície;
- a força com que a Terra atrai os objetos é o peso do objeto ($P = m \cdot g$);
- **massa** é a **quantidade de matéria** que forma um objeto, e **peso** é uma **força** cujo valor depende da massa do objeto e da aceleração da gravidade; por isso, o peso de um objeto pode ser diferente em outro planeta, mas a sua massa será a mesma.



Exercício 1

São conhecidos os valores aproximados:

- raio da Terra: $6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$;
- massa da Terra: $5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$;
- massa da Lua: $7,4 \cdot 10^{22} \text{ kg}$;
- raio da Lua: $1,7 \cdot 10^6 \text{ m}$;
- constante da gravitação universal $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$.

Calcule os valores da aceleração da gravidade na Terra e na Lua. Lembre-se de como se fazem operações utilizando a notação científica. Não se esqueça de verificar as unidades!

Exercício 2

Gaspar foi à Lua. Suponha que a massa dele seja 80 kg. Utilizando os valores calculados no Exercício 1, calcule o seu peso na Terra e na Lua.

Exercício 3

A força com que o Sol atrai a Terra é dada por: $F = G \frac{m_{\text{Sol}} \cdot m_{\text{Terra}}}{d^2}$, onde:

d é a distância entre a Terra e o Sol. Se essa distância fosse o dobro, isto é, duas vezes maior, o que aconteceria com a força entre eles?

Exercício 4

Você já sabe que todos os objetos no universo se atraem, e que a força depende de suas massa e da distância entre eles. Calcule a força de atração gravitacional entre dois sacos de açúcar de 1 kg cada, colocados a 1 m de distância um do outro (lembre-se de que a constante da gravitação universal é a mesma, sempre). Compare o seu resultado com a força de atração que a Terra exerce sobre cada saco, isto é, seu peso. O que você pode concluir?