

CEJA >>

CENTRO DE EDUCAÇÃO
de JOVENS e ADULTOS

**CIÊNCIAS DA
NATUREZA**

e suas **TECNOLOGIAS** >>

Física

Fascículo 2

Unidades 4 e 5

Edição revisada 2016

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Governador
Sergio Cabral

Vice-Governador
Luiz Fernando de Souza Pezão

SECRETARIA DE ESTADO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Secretário de Estado
Gustavo Reis Ferreira

SECRETARIA DE ESTADO DE EDUCAÇÃO

Secretário de Estado
Wilson Risolia

FUNDAÇÃO CECIERJ

Presidente
Carlos Eduardo Bielschowsky

FUNDAÇÃO DO MATERIAL CEJA (CECIERJ)

Coordenação Geral de
Design Instrucional
Cristine Costa Barreto

Elaboração
Claudia Augusta de Moraes Russo
Ricardo Campos da Paz

Revisão de Língua Portuguesa
Ana Cristina Andrade dos Santos

Coordenação de
Design Instrucional
Flávia Busnardo
Paulo Miranda

Design Instrucional
Aline Beatriz Alves

Coordenação de Produção
Fábio Rapello Alencar

Capa
André Guimarães de Souza

Projeto Gráfico
Andreia Villar

Imagem da Capa e da Abertura das Unidades
<http://www.sxc.hu/browse.phtml?f=download&id=1381517>

Diagramação
Equipe Cederj

Ilustração
Bianca Giacomelli
Clara Gomes
Fernando Romeiro
Jefferson Caçador
Sami Souza

Produção Gráfica
Verônica Paranhos

Sumário

Unidade 4 | A segunda lei de Newton e a eterna queda da lua 5

Unidade 5 | Buscando o equilíbrio 37

Prezado(a) Aluno(a),

Seja bem-vindo a uma nova etapa da sua formação. Estamos aqui para auxiliá-lo numa jornada rumo ao aprendizado e conhecimento.

Você está recebendo o material didático impresso para acompanhamento de seus estudos, contendo as informações necessárias para seu aprendizado e avaliação, exercício de desenvolvimento e fixação dos conteúdos.

Além dele, disponibilizamos também, na sala de disciplina do CEJA Virtual, outros materiais que podem auxiliar na sua aprendizagem.

O CEJA Virtual é o Ambiente virtual de aprendizagem (AVA) do CEJA. É um espaço disponibilizado em um site da internet onde é possível encontrar diversos tipos de materiais como vídeos, animações, textos, listas de exercício, exercícios interativos, simuladores, etc. Além disso, também existem algumas ferramentas de comunicação como chats, fóruns.

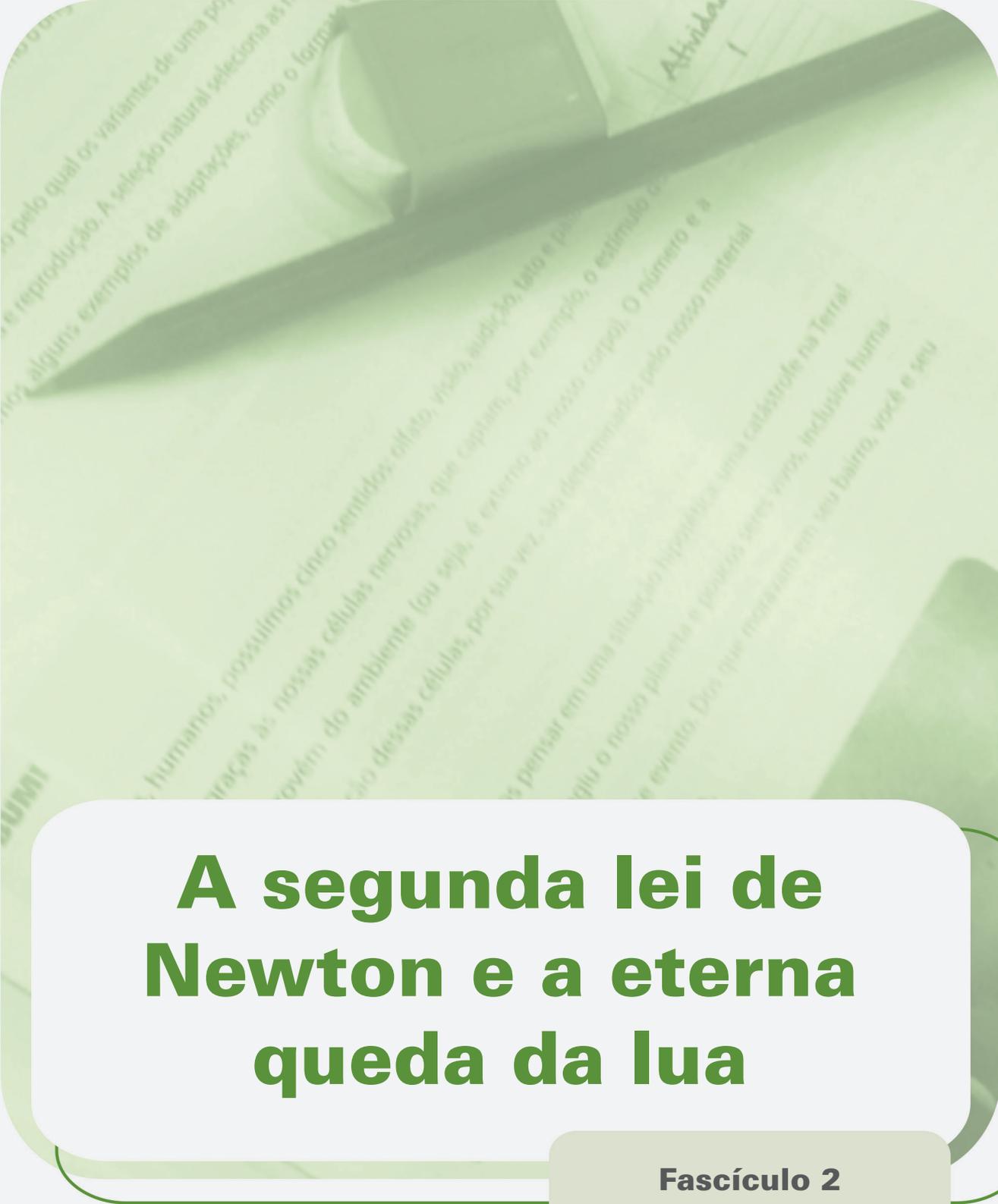
Você também pode postar as suas dúvidas nos fóruns de dúvida. Lembre-se que o fórum não é uma ferramenta síncrona, ou seja, seu professor pode não estar online no momento em que você postar seu questionamento, mas assim que possível irá retornar com uma resposta para você.

Para acessar o CEJA Virtual da sua unidade, basta digitar no seu navegador de internet o seguinte endereço:
<http://cejarj.cecierj.edu.br/ava>

Utilize o seu número de matrícula da carteirinha do sistema de controle acadêmico para entrar no ambiente. Basta digitá-lo nos campos "nome de usuário" e "senha".

Feito isso, clique no botão "Acesso". Então, escolha a sala da disciplina que você está estudando. Atenção! Para algumas disciplinas, você precisará verificar o número do fascículo que tem em mãos e acessar a sala correspondente a ele.

Bons estudos!



A segunda lei de Newton e a eterna queda da lua

Fascículo 2
Unidade 4

A segunda lei de Newton e a eterna queda da lua

Para início de conversa...

O movimento é um dos conceitos mais importantes em Física. A nossa época é a época do movimento: tudo muito rápido! Na TV vemos carros a 200 km/h, foguetes cruzando o espaço entre as estrelas, lanchas velozes em filmes de espionagem, atletas nas olimpíadas... A Mecânica é a parte da Física que descreve o movimento.



É interessante observar que o desenvolvimento da Mecânica começou com as observações dos movimentos celestes. Há vários milênios, as pessoas observam o movimento dos astros no céu. Do século XVII em diante começou-se a tentar descrever o movimento dos astros no céu e o movimento de projéteis com as mesmas leis. Essa conexão foi muito importante para o desenvolvimento da física.

As leis da Mecânica são muito simples de serem enunciadas, mas estão longe de serem óbvias.

O conceito central desta unidade é o de força. Na Física clássica, um corpo interage com outro por meio de forças, que podem ser de alguns tipos, como veremos.

Você provavelmente já deve ter ouvido a frase “Que a força esteja com você!”. Ela era dita na série de ficção científica “Guerra nas Estrelas”, antes de alguma batalha, e ficou muito famosa entre os fãs desses filmes.

Esperamos que ao final desta unidade você tenha de forma clara que a força newtoniana não tem nada a ver com a força da Guerra nas Estrelas!

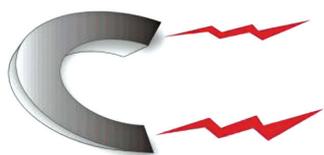
Objetivos de Aprendizagem

- Definir os conceitos básicos relacionados à segunda lei de Newton;
- aplicar a segunda lei de Newton a problemas simples de Mecânica.
- descrever o movimento dos planetas em torno do Sol.

Seção 1

Forças, massa e aceleração

Os corpos físicos interagem (influenciam uns aos outros) por meio de forças. As forças se dividem entre duas grandes categorias: forças de contato e forças a distância (ou mais propriamente forças de campo). As forças de contato (como um empurrão ou um puxão) são as mais intuitivas, pois fazem parte da nossa experiência cotidiana – todo mundo já empurrou um carro enguiçado ou um velocípede de uma criança. As forças de ação a distância são as forças



gravitacionais (como a força gravitacional entre o Sol e a Terra) ou as eletromagnéticas (como a interação entre dois ímãs de geladeira). Por enquanto nos concentraremos nas forças de contato. As forças gravitacionais vão aparecer em uma seção seguinte desta aula. As forças eletromagnéticas serão discutidas no último módulo.

Como obter a segunda lei de Newton de experimentos

Vimos que a aceleração quantifica a alteração do movimento. Se a velocidade aumenta, a aceleração foi positiva, e se a velocidade diminui a aceleração é negativa. Qualquer objeto que acelera está sob a ação de uma força. Na realidade, geralmente há mais de uma força atuando no objeto. Por exemplo, um bloco sendo empurrado em uma superfície plana geralmente desliza com dificuldade devido ao atrito entre o bloco e a superfície. Vamos quantificar a força de atrito depois, mas por enquanto imaginemos o caso mais simples possível: um bloco deslizando em uma superfície extremamente lisa, de modo que o bloco deslize suavemente, sem atrito com a superfície. Observe a figura 1 a seguir:

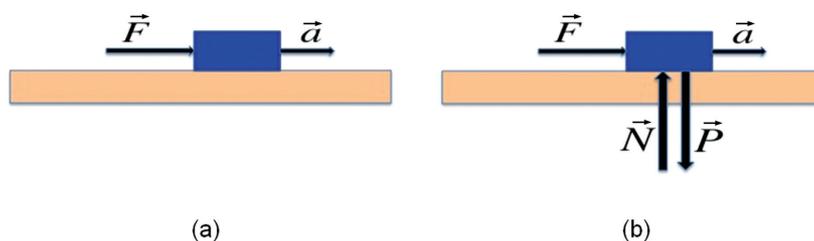


Figura 1: Em (a) temos que o bloco desliza sobre uma mesa sem atrito. Uma força F age no bloco e causa uma aceleração a . Em (b), além da força F , agem no bloco duas outras forças, o peso P do bloco e a força de contato entre o bloco e a mesa, denominada força normal N . Na figura são mostradas todas as forças que agem no bloco.

Na Figura 1^a, o empurrão no bloco está representado por uma flecha que dá a direção do empurrão e é simbolizada pela letra \vec{F} . Experimentando com a força, descobrimos que uma força \vec{F} causa uma aceleração \vec{a} , uma força $2\vec{F}$ causa uma aceleração $2\vec{a}$, uma força $0.3\vec{F}$ causa uma aceleração $0.3\vec{a}$ etc. Assim observamos, diretamente dos experimentos, que a aceleração é diretamente proporcional à força aplicada. Logo, podemos concluir que:

Importante

A aceleração de um objeto é diretamente proporcional e na mesma direção e sentido da força agindo sobre o objeto.

Como vimos na discussão sobre vetores, na realidade, deveríamos dizer que é proporcional à soma das forças agindo no corpo, ou, mais exatamente, à sua resultante.

Na Figura 1b mostramos outras forças que agem sobre o bloco, apoiado na mesa. Uma delas é a força de contato entre o bloco e a mesa, denominada força normal e representada pela letra \vec{N} . A outra força representada é o peso do bloco, ou seja, a força com que a Terra o atrai. A força normal é a resposta da mesa sobre o bloco que o impede de penetrar nela. Sendo assim, a mesa exerce a força normal sobre o bloco.

Vamos discutir melhor essas forças mais tarde; aqui o importante é que elas se anulam e sua soma (ou seja, a força resultante), que atua no bloco, é apenas a força \vec{F} .

A massa é a quantidade de matéria que o corpo contém e, ao mesmo tempo, é a resistência à mudança de movimento. Assim, quando uma força é aplicada a um corpo, como no caso do bloco da Figura 1a, a aceleração que o corpo vai desenvolver depende da massa do corpo.

Agora refaçamos os experimentos anteriores, só que dessa vez vamos manter a força \vec{F} constante e variar a massa do bloco. Se a nova massa é $2m$, ou seja, dobramos a massa no carrinho, a aceleração agora será $\vec{a}/2$. Se triplicarmos a massa, $3m$, a aceleração será $\vec{a}/3$, e assim por diante.

Concluimos que:

Importante

A aceleração é inversamente proporcional à massa do objeto sob a ação da força.

As duas conclusões às quais chegamos podem ser resumidas na famosa fórmula da segunda lei de Newton:

A força resultante agindo num corpo de massa m provoca uma aceleração na mesma direção e sentido da força de modo que a relação abaixo seja satisfeita:

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

Esta é a equação mais básica da Mecânica e, portanto, de toda a Física. Observe que não importa o tipo de força; pode ser de contato ou ação a distância, a segunda lei sempre vale.

Forças são medidas em newtons: $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m/s}^2$.

Vamos aplicar a segunda lei em um exemplo bem simples. Suponha que o bloco da Figura 1a tenha 20 kg de massa e seja empurrado com uma força horizontal constante de 40 N sem atrito com a mesa. Qual a aceleração dele?

Como já mencionamos no comentário sobre a Figura 1b, na realidade, outras forças agem no bloco, mas a resultante é a própria força horizontal. Assim, da relação $F = ma$ (agora tomada em módulo) $a = F/m = 40/20 = 2 \text{ m/s}^2$.

A força de atrito

O que é mais fácil? Passar uma flanela em uma mesa de madeira ou passar uma lixa sobre ela?

Se você já fez esse teste, provavelmente já percebeu que temos que colocar mais força na mão para deslizar a lixa sobre a mesa do que deslizar a flanela. Isso se deve à força de atrito que é gerada no contato dos dois materiais: em um caso, o contato da flanela com a madeira e, no outro, da lixa com a madeira.

Quando duas superfícies em contato deslizam uma sobre a outra, geralmente aparece uma **FORÇA DE ATRITO**. A força de atrito sempre se opõe ao movimento. Veja a Figura 2. Dizemos que há uma força de atrito estático quando as superfícies não se deslocam uma sobre a outra (por exemplo, um bloco em uma superfície áspera que é empurrado mas não se move). Se o bloco se move, a força de atrito entre o bloco e a superfície é denominada força de atrito dinâmico.

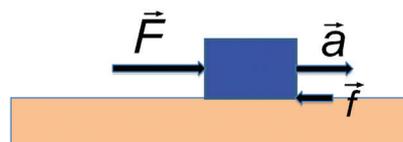


Figura 2: O bloco desliza sobre uma mesa com atrito. Uma força F age no bloco e causa uma aceleração a , mas a força de atrito age na direção oposta ao movimento.

No caso em que há força de atrito, a resultante na direção horizontal é $\vec{F}_{res} = \vec{F} - \vec{f}$, e a segunda lei fica $\vec{F}_{res} = m\vec{a}$. É claro que a força de atrito acaba diminuindo a aceleração. Façamos um exemplo numérico. Suponha que o bloco da Figura 2 tenha 20 kg de massa e seja empurrado com uma força horizontal constante de 40 N sobre a mesa. A força de atrito entre o bloco e a mesa é de 10 N. Qual a aceleração dele?

As forças na direção vertical (que aparecem na Figura 1b) se anulam no bloco. As forças horizontais têm como resultante (tomando o módulo):

$$F_{res} = F - f = 40 - 10 = 30N$$

E da segunda lei:

$$F_{res} = ma, \text{ temos}$$

$$30 = 20 \times a, \text{ logo}$$

$$a = 1,5 \text{ m/s}^2.$$

A força de atrito é uma força que só existe se houver movimento ou tentativa de movimento de um corpo sobre o outro (estamos excluindo o movimento em fluidos etc.). Imagine o bloco do exemplo anterior em repouso em cima da mesa. Não há força aplicada F e, portanto, não há força de atrito f . Agora imagine que lentamente a força F vá crescendo. O bloco tenta se deslocar para a direita, mas aí aparece a força de atrito e ele não se move. A força F vai crescendo e a força de atrito cresce também, até que a força de atrito atinge seu valor máximo (que depende das propriedades das superfícies do bloco e da mesa). Então, a força aplicada F torna-se maior do que a força de atrito e o bloco começa a ser acelerado para a direita. Na realidade, a força de atrito, quando o bloco está em movimento, é um pouco menor do que a força de atrito estático máxima.

Atrito, o burro e o freio

Uma questão interessante sobre atrito é a seguinte. Imagine um burro puxando uma carroça. Sabemos que, pela terceira lei de Newton, a força que o burro faz na carroça é a mesma força que a carroça faz no burro.

Se isso é verdade, como a carroça se move?

Uma dica para a resposta é pensar em uma estrada muito escorregadia (por exemplo, o burro puxando a carroça no gelo). O que faz a carroça andar, na realidade, é a força de atrito entre as patas do burro e a estrada. O burro empurra a estrada para trás com as patas e é empurrado de volta para a frente pela reação da estrada. Se não houver atrito, as patas deslizam e o burro não se move.

Outra questão interessante sobre atrito é um carro freando bruscamente, digamos, em caso de emergência. Se o freio for pisado com muita força, as rodas podem travar. Enquanto as rodas estão girando, elas não estão escorregando no chão e, portanto, o atrito entre a roda e o chão é estático, e acabamos de ver que o atrito estático é maior do que o atrito de movimento. Alguns carros mais modernos já incorporam um sistema de frenagem que evita o travamento da roda.



Saiba Mais

Isso explica, por exemplo, por que escorregamos em um piso ensaboadado. Se você pisar em um chão de cerâmica seco, não vai escorregar, mas se pisar nesse mesmo chão com sabão provavelmente não vai conseguir sair do lugar, mesmo colocando a mesma força nos pés, pois o sabão diminui consideravelmente a força de atrito entre seus pés e o chão. Você já escorregou lavando o chão da cozinha?

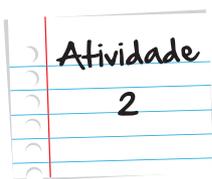
Saiba Mais



Corredora e o atrito

Supondo que a maior força de atrito possível entre a sola dos sapatos de uma corredora e a pista de corrida seja 70% do peso dela, qual a maior aceleração que ela pode obter?

Lembre-se:
faça em uma
folha a parte



O paraquedas

Após o paraquedas se abrir, a moça cai com velocidade constante de 4ms^{-1} . Qual a força total que age nela?

Lembre-se:
faça em uma
folha a parte



Veja um experimento clássico que mostra como a força de atrito reage em relação à força peso. Acesse os três links a seguir:

Parte 1 - <http://youtu.be/QMiNRVQzAUy>

Parte 2 - <http://youtu.be/t3AgZjSk3G4>

Parte 3 - <http://youtu.be/-69AbAmEQKI>

Seção 2

Massa e Peso

Os conceitos de massa e peso são frequentemente misturados na linguagem cotidiana, mas há que se tomar cuidado em distinguir os dois. Massa é a quantidade de matéria, medida em quilogramas. Um bloco de um quilograma tem uma massa de um quilograma, em qualquer lugar onde ele esteja, seja na Terra, na Lua ou no espaço. Já o peso do bloco é a força gravitacional que age nele. Um corpo de massa m na vizinhança da Terra pesa $P = mg$, onde $g \approx 9,8 \text{ m/s}^2$ é a chamada aceleração da gravidade. Assim, o bloco de um quilograma de massa vai pesar $P = 9,8 \text{ N}$ (pois o peso é uma força). Mas, se estivermos na superfície da Lua, a aceleração da gravidade é muito menor: $g_{\text{Lua}} = g/6$. Assim, o bloco de um quilograma pesaria cerca de $1,6 \text{ N}$ na Lua, mas sua massa continuaria a mesma, um quilograma!

Além de medir a quantidade de matéria, a massa mede a **inércia** de um corpo, ou seja, a dificuldade do corpo de mudar o seu estado de movimento (conforme discutido na segunda aula deste módulo). O peso de um corpo depende de onde ele estiver. Já vimos que depende da gravidade presente no lugar onde o corpo estiver. Imagine um astronauta bem longe da Terra e bem longe de qualquer outro planeta ou estrela. Não há gravidade significativa presente. Imagine que ele tem uma pedra bem pesada na astronave. O peso da pedra é nulo no espaço interestelar, mas a inércia da pedra continua igual. Assim, se o astronauta quiser balançar a pedra de um lado para o outro, ele terá a mesma dificuldade que ele tem na Terra (exceto pelo fato de não precisar sustentar a pedra, como na Terra), mesmo que a pedra não pese nada no espaço interestelar. Isso ilustra bem a diferença do peso (que indica uma determinada quantidade de matéria num campo gravitacional) e a inércia (que indica a dificuldade de mudar o estado de movimento) da pedra.



Já vimos em aulas passadas que a aceleração da gravidade também significa quanto um corpo é acelerado na vizinhança da Terra quando solto no ar. Ele cai com aceleração g . Se ele for solto na vizinhança da Lua, ele cai com aceleração menor ou igual a um sexto de g .

Normalmente a massa de uma pessoa é medida com uma balança de molas, como na Figura 5. A pessoa pisa na balança e seu peso, P , faz com que a mola da balança encolha até que a força que a mola faz na pessoa, para cima, N , equilibre o peso, como mostrado na Figura 3a. Assim, $P = mg = N$. O que vemos na balança, a força N , que é normalmente mostrado em quilos, é numericamente igual à força P , que é $P = mg$, conforme explicitado na igualdade anterior. Como na realidade queremos saber m , a balança já dá direto $m_b = N/g$ e vemos na balança 50 kg , por exemplo. Neste caso, a massa medida pela balança m_b é igual à massa “real” da pessoa, que supusemos ser $m = 50 \text{ kg}$.

Agora vamos supor que a pessoa se pese dentro de um elevador que está acelerando para cima com a aceleração $a = 2\text{m/s}^2$, conforme ilustrado na Figura 3b. Sabemos que a resultante das forças é igual à massa vezes a aceleração, conforme discutido anteriormente. Assim, neste caso:

$$ma = N - P$$

$$ma = N - mg$$

$$N = ma + mg = m(a+g)$$

Portanto, o que vai ser lido na balança é, como no exemplo anterior:

$$m_b = \frac{N}{g} = \frac{m(a+g)}{g}$$

e neste caso, substituindo os valores $m_b = 50 \times (2+9.8)/9.8 = 60,2 \text{ kg!}$

Ou seja, a massa medida pela balança no elevador acelerado é muito maior do que a correta. Observe que uma pessoa não engorda no elevador, mas a balança, que na realidade mede a força que a pessoa faz na mola da balança, mostra um valor da massa maior do que o real. É intuitivo pensar que, se o elevador está acelerando para cima, a tendência da massa (por sua inércia) é ficar para trás, ou seja, pressionar mais a mola da balança.

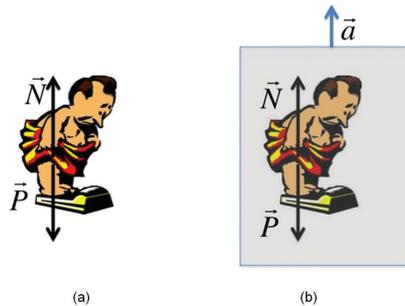


Figura 3: (a) A força normal N , que é a força que a balança faz na pessoa, equilibra o peso. O que se lê na balança é $m = N/g$ (em quilos). (b) Pesagem em um elevador acelerado. A pessoa também está acelerada para cima e, portanto, a resultante das forças $N-P = ma$. Veja texto em que mostramos que a massa dada pela balança no elevador acelerando para cima parece maior do que a real.

Massa menor no elevador

Estudando cuidadosamente o problema de se pesar no elevador, argumente que a massa medida pela balança será menor do que a massa real da pessoa que se pesa, se o elevador acelera para baixo.



Lembre-se:
faça em uma
folha a parte

Seção 3 Gravitação

A força da gravitação é uma força de atração entre quaisquer duas massas. Ela é responsável pela queda de uma maçã (e obviamente pela queda de qualquer corpo solto na vizinhança da Terra). Ela é também responsável pelo fato de a Lua girar em torno da Terra e por muitos outros fenômenos. A gravitação é uma das quatro interações fundamentais da natureza na física contemporânea. A descoberta da força da gravitação deveu-se mais uma vez a Newton. Ele percebeu que a força que ocasionava a queda das maçãs e a força que mantinha a Lua em órbita deveriam ser as mesmas.

Posteriormente, as órbitas de todos os planetas em torno do Sol foram compreendidas como manifestação da força de gravitação agindo entre o Sol e cada um dos planetas. Em resumo:

Existe uma força atrativa entre quaisquer dois corpos que é proporcional à massa dos corpos e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles.

Podemos resumir a frase anterior com a expressão

$$F = \frac{Gm_1m_2}{d^2}$$

onde G é a constante gravitacional e tem o valor de $6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/(\text{s}^2 \cdot \text{kg})$. Observe que F , na expressão dada, é o módulo do vetor força, ilustrado na Figura 4.

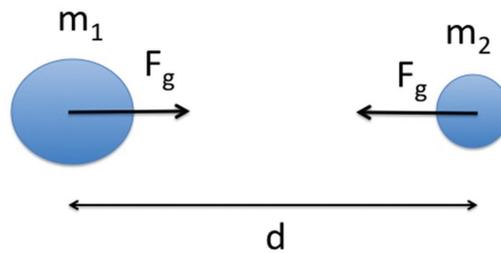


Figura 4: Dois corpos com massas, m_1 e m_2 , a uma distância d se atraem mutuamente com a mesma força F (força gravitacional). A força age na linha que une os centros (mais exatamente os centros de massa) dos dois corpos.

Conforme indicado na Figura 4, os dois corpos sofrem a mesma força de atração gravitacional. Elas formam um par ação–reação.

A constante G que aparece na expressão citada foi medida pelo físico Henry Cavendish, em 1798. Ele conseguiu medir a força de atração entre duas esferas de chumbo em seu laboratório com métodos experimentais muito engenhosos. Sabendo a massa das esferas e a distância entre elas, ele **DETERMINOU G**.



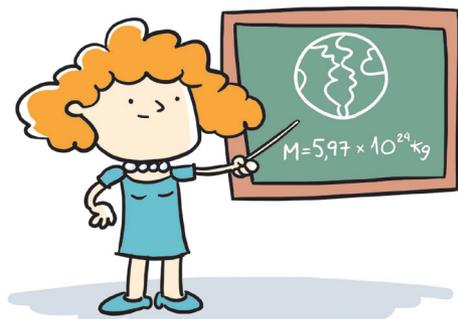
Atração mútua

Qual a força gravitacional entre dois corpos de um quilograma cada separados à distância de um metro?

Lembre-se:
faça em uma
folha a parte

Seção 4

Quem pesou a Terra?



“A Terra tem massa de $5,97 \times 10^{24}$ kg”, diz a professora. “Como é que você sabe? Que balança consegue pesar a Terra?”, pergunta o menino de forma desafiadora, lembrando da balança de dois pratos que ele vê no mercado.

Bom, a pergunta é muito interessante e a resposta não é tão



óbvia. Vamos pensar na força que uma pedra de massa m sente na vizinhança da Terra. Já vimos que é o peso: $P = mg$. Mas, de acordo com a fórmula (a lei da gravitação), a força entre a pedra de massa m e a Terra que tem massa M_T é dada por

$$F = \frac{GM_T m}{R_T^2}$$

onde R_T é a distância entre a massa m na superfície da Terra e o centro da Terra, ou seja, o raio da Terra. Igualando as duas expressões:

$$F = P$$

$$\frac{GM_T m}{R_T^2} = mg$$

$$M_T = \frac{gR_T^2}{G}$$

dado que $R_T = 6.378$ km, $g = 9,8$ m/s² e $G = 6,67 \times 10^{-11}$ m³/(s².kg), substituindo os valores, chegamos a $M_T = 6,0 \times 10^{24}$ kg, que é muito próximo ao valor mais preciso encontrado nas tabelas de constantes astronômicas.

Observe que a expressão frequentemente usada para a força de gravitação na superfície da Terra, $P = mg$, é uma aproximação da equação na Seção 3 que dá a força de atração entre duas massas em uma distância d . Essa aproximação vale quando uma das massas é muito pequena comparada com a massa da Terra, e está localizada a uma altura muito menor do que o raio da Terra.

Atividade
5

Na expressão dada para M_T podemos isolar g e escrever $g = \frac{GM_T}{R_T^2}$, que dá a expressão da gravidade. Sabendo-se que a massa da Lua é $0.012M_T$ e que o raio da Lua é de $0.27R_T$, calcule quanto é a gravidade na superfície da Lua.

Lembre-se:
faça em uma
folha a parte

Seção 5 Plano Inclinado

Um problema frequente nas aulas de Mecânica é o do plano inclinado liso. Observe a Figura 5a, onde vemos um plano inclinado de um ângulo θ (lê-se ângulo teta) em relação à horizontal. Como o plano é liso, ou seja, sem atrito, é intuitivo que o bloco, colocado em repouso sobre o plano inclinado, comece a deslizar e a adquirir velocidade. O nosso objetivo aqui é entender que forças atuam sobre o bloco e que aceleração o bloco adquire. Na Figura 5b estão ilustradas as forças aplicadas ao bloco. Temos a força de contato bloco-plano N , que é perpendicular ao plano, e a força peso P , que aponta para o centro da Terra. Como veremos adiante, essas forças agem em direções diferentes, e a força resultante vai causar uma aceleração do bloco.

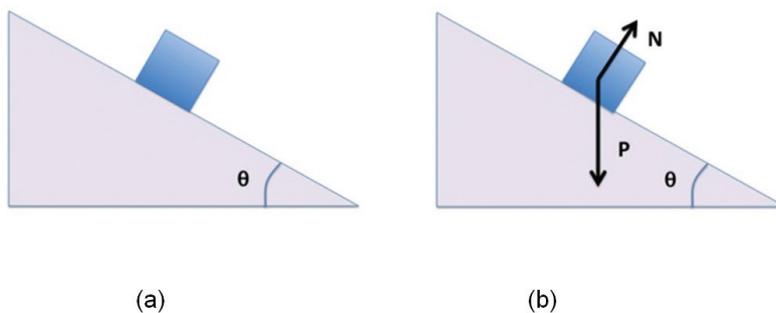


Figura 5: Em (a), um bloco de massa m sobre um plano inclinado de um ângulo θ que pode deslizar sem atrito. Em (b), as forças que agem no bloco: força peso P e a força de contato ou reação da mesa sobre o bloco, N , chamada força normal.

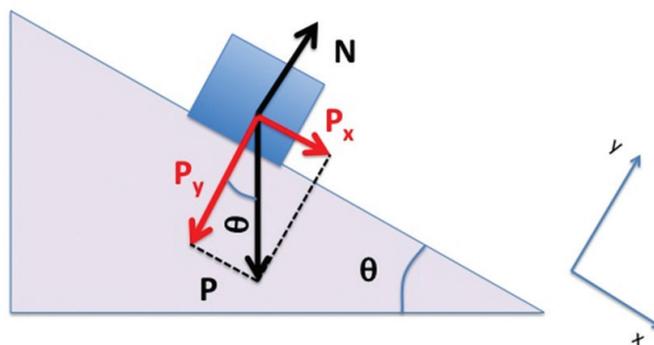


Figura 6: Bloco num plano inclinado. O sistema de coordenadas foi escolhido de modo que o eixo y seja perpendicular à superfície do plano inclinado, como mostrado na figura. As componentes da força peso nos eixos x e y estão ilustradas em vermelho.

Na Figura 6 estamos usando eixos de coordenadas inclinados; isso não tem nenhum problema, pois os eixos são convenções nossas. Nesta figura mostramos duas coisas adicionais. A primeira é a decomposição da força peso nas suas duas componentes, uma na direção de N, denominada P_y , e outra na direção perpendicular, denominada P_x .

Observe que todo vetor pode ser decomposto em duas componentes perpendiculares, e nós escolhemos as direções convenientemente: uma perpendicular ao plano, P_y , e outra na direção do plano, P_x .

Deixemos claro aqui que as forças presentes continuam a ser apenas a força peso e a força normal. Apenas decomposemos a força peso em duas componentes.

Além disso, na Figura 6 mostramos que o ângulo entre a força P e sua componente P_y é θ também. Isso pode ser demonstrado por geometria, pois o ângulo θ original é entre o plano horizontal e o plano inclinado. Mas P é perpendicular ao plano horizontal, e P_y é perpendicular ao plano inclinado, ou seja, o ângulo entre eles é o mesmo que o ângulo entre os planos.

Para se convencer disso, imagine que o plano inclinado lentamente se aproxima do plano horizontal, ou seja, o ângulo θ entre os dois planos vai diminuindo. É simples ver que, nesse caso, o ângulo entre P_y e P também diminui (e no limite em que os dois planos estão um sobre o outro, elas são iguais: $P_y = P$). Podemos ver também que $P_x = P \sin \theta$ e $P_y = P \cos \theta$.

Agora vamos escrever as expressões das forças. No eixo perpendicular ao plano inclinado, agem a força normal N e a componente P_y do peso. Nesta direção, o bloco não se movimenta (o bloco não sai do plano nem afunda nele), não existe aceleração nesta direção. A soma das forças é nula. Assim, a segunda lei de Newton neste eixo é dada por:

$$P_y - N = 0 \quad P \cos \theta = N$$

No eixo x podemos escrever

$$P_x = ma \quad P \sin \theta = ma$$

Mas, como $\mathbf{P} = m\mathbf{g}$, temos o resultado que a aceleração no plano inclinado é $\mathbf{a} = \mathbf{g} \sin \theta$, e a força que o bloco faz no plano (e que o plano faz no bloco) é $\mathbf{N} = m\mathbf{g} \cos \theta$.

Observe que uma suposição muito importante para esses resultados valerem é que o plano é liso, ou seja, o movimento se dá sem a força de atrito. Em algumas situações, essa aproximação é razoável. Por exemplo, uma criança descendo uma ladeira em um carrinho de rolimã com as rodinhas bem alinhadas e sem atrito e sem resistência do ar (o que é razoável para baixas velocidades). Ela desce com aceleração $a = g \sin \theta$, onde θ é a inclinação da ladeira.

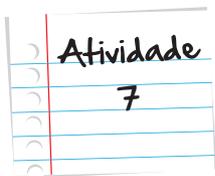
O problema do plano inclinado serve de modelo para várias aplicações das leis de Newton.



Ladeira abaixo

Calcule a aceleração de uma criança em um carrinho de rolimã descendo uma ladeira cuja inclinação com relação à horizontal é de 30 graus.

Lembre-se:
faça em uma
folha a parte



Plano horizontal

No problema do plano inclinado, faça o ângulo θ tender a zero (ou seja, o plano deixar de ser inclinado). Qual será o valor da aceleração do bloco? E da força normal? É o que você adivinhou sem fazer contas?

Lembre-se:
faça em uma
folha a parte

Recursos Completares

Nesta seção, você encontrará o material não formatado indicado ao longo do texto. Ou seja, não faz parte do conteúdo principal da aula, mas deve ser usado por você como recurso complementar para a sua formação.

Conhecendo a força de atrito



Para você entender melhor a força de atrito e como a calculamos, não deixe de acessar os seguintes links:

<http://www.infoescola.com/mecanica/forcas-de-atrito/>

http://www.youtube.com/watch?v=v_TYvAHoFn4

Experimento de Cavendish e a determinação da constante G



Para conhecer como a constante G foi descoberta, não deixe de visitar o link a seguir que exemplifica o experimento de Cavendish.

<http://www.if.ufrgs.br/historia/cavendish.html>

Resumo

1. Nesta unidade enunciamos a segunda lei de Newton, que nos diz que a força resultante em um corpo é igual à sua massa vezes a sua aceleração.
2. Você pôde perceber que massa e peso são grandezas distintas, sendo o peso uma força e a massa uma grandeza que quantifica o grau de resistência do corpo à aceleração.
3. Você viu também que a gravitação é uma força de interação entre dois corpos quaisquer e está relacionada diretamente à massa desses corpos e inversamente à distância entre eles.

Veja Ainda



A queda da maçã e a órbita da Lua

Antigamente pensava-se que as leis que regiam o Universo supralunar (acima da órbita da Lua) eram totalmente diferentes das leis que regiam o Universo sublunar (abaixo da Lua), uma herança da visão aristotélica do mundo. Nesta concepção, abaixo da Lua todos os seres e objetos eram compostos por quatro elementos (terra, água, ar e fogo), e cada um deles possuía um movimento dito natural (terra e água para baixo, ar e fogo para cima). Mas outros movimentos, chamados “violentos”, também eram permitidos abaixo da Lua.

Acima da Lua, no entanto, era o reino da perfeição: os corpos celestes eram constituídos por um quinto elemento, o éter, que só era encontrado nessa região. Esferas de cristal giravam em círculos perfeitos carregando consigo os corpos celestes. Cometas, novas estrelas, meteoros, tudo que era passageiro era encarado como pertencendo ao universo sublunar, pois no universo supralunar tudo era perfeitamente ordenado, nada mudava.

Um dos grandes feitos de Newton, consolidando o trabalho de outros anteriores a ele (como Galileu, Ticho Brahe e Kepler), foi unificar o mundo supralunar e o sublunar: a queda da maçã e o movimento orbital da Lua em torno da Terra têm a mesma causa. O argumento de Newton está claramente ilustrado na Figura 4, que tomamos diretamente do famoso livro de Newton “Princípios Matemáticos”.

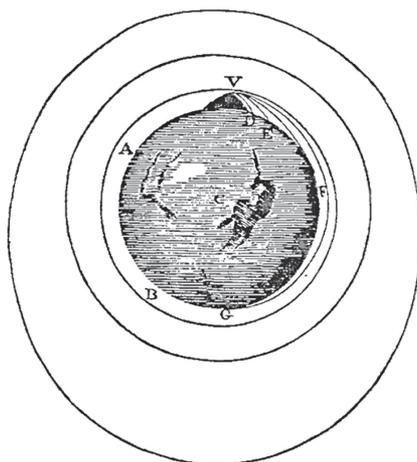


Figura 4: Diagrama extraído do livro “Princípios Matemáticos”, de Isaac Newton, publicado em 1687.

Newton argumenta que, se um objeto for atirado de uma montanha alta numa direção paralela à superfície da Terra, ele vai cair em algum lugar perto da base da montanha. A distância que ele vai atingir depende da altura da montanha, da força da gravidade e da velocidade inicial. Se o objeto for lançado sempre da mesma montanha, a altura e a força da gravidade podem ser consideradas constantes. Agora imagine que o objeto seja lançado com mais velocidade. Ele vai parar mais longe, conforme ilustrado na Figura 4. Se o objeto é lançado ainda com mais velocidade, ele pode cair na Terra no lado oposto ao da montanha. Se finalmente aumentamos mais ainda a velocidade, o objeto daria uma volta em torno da Terra, e se não houvesse resistência do ar ele ficaria circulando em torno da Terra, sempre caindo, mas sem nunca realmente atingir a Terra! Ou seja, o objeto entraria em órbita em torno da Terra.

A Lua está em órbita em torno da Terra, ou seja, ela está sempre caindo para a Terra, mas nunca atinge a Terra. Ou seja, como antecipamos, Newton unificou os fenômenos sublunares (a queda da maçã) e os fenômenos supralunares (a órbita da Lua). Claro que o trabalho de Newton é muito completo e cheio de detalhes matemáticos que não poderemos discutir aqui, mas a ideia central é essa.



Assista ao vídeo sobre a vida de Newton (em português):

<http://www.youtube.com/watch?v=4ZIYmMj2ewE>

Referências

HEWITT, Paul G. Física conceitual. Porto Alegre: Bookman, 2000.

CASSIDY, David; HOLTON, Gerald; RUTHERFORD, James. Understanding Physics. Springer, 2002.

Imagens



• André Guimarães



• <http://www.sxc.hu/photo/1213873>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1183538>.



• <http://www.sxc.hu/photo/598323>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1145177>.



• <http://www.sxc.hu/photo/981072>.



• <http://www.sxc.hu/photo/521192>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1186277>.



• <http://www.sxc.hu/photo/1385352>.



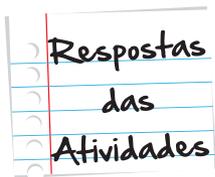
• domínio público.



• <http://www.sxc.hu/photo/517386> • David Hartman.



• http://www.sxc.hu/985516_96035528.



Atividade 1

Como a força que impulsiona a corredora para frente é a força de atrito, a segunda lei fica: $0.7 \text{ mg} = ma$, ou seja, $a = 0.7g$, que é cerca de 7 ms^{-2} .

Atividade 2

Como a velocidade é constante, a aceleração é nula, portanto, a resultante das forças é nula também, pela segunda lei de Newton. Assim, a força total é nula.

Atividade 3

Se a aceleração está apontando para baixo, na Figura 3b do texto, vemos que a resultante das forças aponta para baixo. Daí,

$$ma = P - N$$

$$ma = mg - N$$

$$N = mg - ma = m(g - a)$$

Portanto, o que vai ser lido na balança é de forma similar ao discutido no texto:

$$m_b = \frac{N}{g} = \frac{m(g - a)}{g}$$

e, neste caso, substituindo os valores $m_b = 50 \times (9.8 - 2) / 9.8 = 39.8 \text{ kg!}$

Atividade 4

Resposta: Na fórmula $G = 6,67 \times 10^{-11}$, faça $m_1 = m_2 = 1 \text{ kg}$, $R = 1 \text{ m}$ e obtenha $F = 6.67 \times 10^{-11} \text{ N}$, que é uma força extremamente pequena.

Atividade 5

$$\text{Resposta: } g_L = \frac{G(0.012M_T)}{0.27R_T^2} = \frac{0.012}{0.27^2} g = 0.17g = \frac{1}{6}g$$

Atividade 6

Resposta: $a = g \sin \theta = 10 \times \sin(30^\circ) = 10 \times 0.5 = 5 \text{ ms}^{-2}$. Observe que a aceleração não depende da massa do menino mais carrinho.

Atividade 7

Resposta: Quando $\theta = 0$, $\sin \theta = 0$ e $\cos \theta = 1$. Daí, $a = 0$ e $N = mg$, que são os valores usuais para um bloco em repouso numa superfície plana.

O que perguntam por aí?

(UFPE) Um elevador partindo do repouso tem a seguinte sequência de movimentos:

1. De 0 a t , desce com movimento uniformemente acelerado.
2. De t_1 a t_2 desce com movimento uniforme.
3. De t_2 a t_3 desce com movimento uniformemente retardado até parar.

Um homem, dentro do elevador, está sobre uma balança calibrada em newtons.

O peso do homem tem intensidade P e a indicação da balança, nos três intervalos citados, assume os valores F_1 , F_2 e F_3 , respectivamente:

Assinale a opção correta:

- a. $F_1 = F_2 = F_3 = P$
- b. $F_1 < P$; $F_2 = P$; $F_3 < P$
- c. $F_1 < P$; $F_2 = P$; $F_3 > P$
- d. $F_1 > P$; $F_2 = P$; $F_3 < P$
- e. $F_1 > P$; $F_2 = P$; $F_3 > P$

Resposta: opção C.

Comentário: Este exercício é uma aplicação simples do que foi discutido na seção 2. O peso que a balança fornece na realidade é a força normal que atua no homem. A força normal é maior do que o peso quando o elevador está acelerando para cima (ou desce com movimento uniformemente retardado), é igual ao peso quando não há aceleração e é menor do que o peso quando o elevador está acelerando para baixo. Se o elevador caísse em queda livre, o homem estaria se movendo com aceleração máxima para baixo e a balança marcaria peso nulo!

Atividade extra

Exercício 1 - Adaptado de CEJA - São Gonçalo

Um bloco de massa igual a 4 kg é arrastado, sobre uma superfície horizontal, por uma força constante, de módulo igual a 8 N, na direção horizontal. Entre o bloco e a superfície de contato, há uma força de atrito constante de módulo igual a 2 N.



A força resultante desse sistema é de:

- a. 10 N;
- b. 8 N;
- c. 6 N;
- d. 2 N.

Exercício 2 - Adaptado de SAERJINHO - 2012

Desde a antiguidade, existiram teorias sobre a concepção do universo. Por exemplo, a teoria Aristotélica, denominada Geocentrismo. Hoje, já se sabe que a trajetória de qualquer corpo é determinada a partir de uma força de ação a distância, através da qual dois corpos se atraem mutuamente com a intensidade proporcional ao produto de suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância que o separa.

Esse argumento, utilizado por Newton para explicar o movimento dos astros, é possível através da Lei:

- a. de Hook;
- b. de Kepler;
- c. da ação e reação;
- d. da gravitação universal.

Exercício 3 - Adaptado de SAERJINHO - 2012

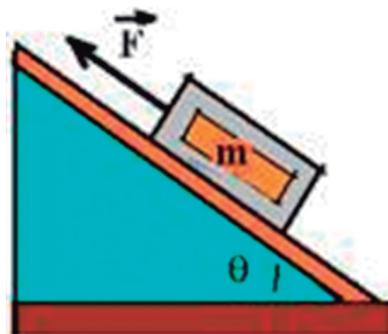
Reconhecendo a diferença entre os conceitos de peso e massa, uma pessoa ficou curiosa por saber quantos newtons pesa sua caixa de livros, cuja massa é de 13 kg.

Essa pessoa recorreu, então, a um instrumento de medição apropriado e constatou que a caixa de livros pesa, em newtons, considerando a aceleração gravitacional igual a 10 m/s^2 ,

- a. 1,3;
- b. 13;
- c. 130;
- d. 133.

Exercício 4 - Cecierj - 2013

Um bloco de massa m é arrastado ao longo de um plano inclinado sem atrito, conforme a figura.



Para que o bloco adquira uma aceleração qualquer para cima, a intensidade de \vec{F}_1 deverá ser necessariamente:

- a. igual ao peso do bloco;
- b. igual à reação do plano;
- c. maior que o peso do bloco;
- d. menor que o peso do bloco.

Exercício 5 - Adaptado de CEFET ES - 2006

Uma pessoa de 60 kg encontra-se em pé no interior de um elevador inicialmente parado. Logo em seguida, o elevador começa a subir com aceleração de 2m/s^2 .

Diga se o valor da força normal que o piso exerce sobre os pés da pessoa, no momento em que o elevador começa a subir, é, igual, maior ou menor do que quando o elevador estava parado. Determine também o valor da força normal durante a subida. Adote $g=10\text{ m/s}^2$.

Gabarito

Questão 1

- A** **B** **C** **D**

Questão 2

- A** **B** **C** **D**

Questão 3

- A** **B** **C** **D**

Questão 4

- A** **B** **C** **D**

Questão 5

O valor da força normal que o piso exerce sobre os pés da pessoa, no momento que o elevador começa a subir, é maior do que no momento em que o elevador estava parado.

O valor da força normal pode ser determinado considerando que a resultante das forças é igual à massa, vezes a aceleração. Assim, neste caso:

$$ma = N - P$$

$$ma = N - mg$$

$$N = ma + mg$$

$$N = m(a+g) \quad \text{Portanto, o valor da força normal é: } N=60.(2+10)$$

$$N=720 \text{ N}$$

