Q5.1

A ideia está ilustrada ao lado. O homem está em repouso sustentando ele mesmo, puxando a extremidade da corda para baixo com uma força $\vec{F}$. Considere um eixo y vertical para cima.

Não está dito, mas pressupõe-se que as massas da corda e do assento são desprezíveis e que não há atrito significativo no eixo da polia.

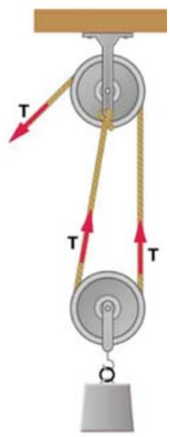
No diagrama de forças do homem há o seu peso (seta laranja) $\vec{P} = -P\,\hat{y}$, a força com que a corda puxa ele para cima (reação a $\vec{F}$) $-\vec{F} = F\,\hat{y}$ (seta vermelha) e a força (normal) para cima que o assento faz nele $\vec{\eta} = \eta\,\hat{y}$ (seta azul).

As forças que tensionam a corda são a força para baixo $\vec{F}$ que o homem faz na extremidade esquerda da corda e a força para baixo $\vec{F}'$ que o assento faz na outra extremidade da corda. Para uma corda leve que não está "agarrada" em nada (sem atrito no eixo da polia), a tensão tem o mesmo módulo em toda a sua extensão. Portanto, a força para baixo que o assento faz na extremidade direita da corda tem o mesmo módulo F: $F' = F$. A reação a essa força $\vec{F}'$ é a força $-\vec{F}'$ com que a corda puxa o assento para cima e que equilibra a reação $-\vec{\eta}$ com que o homem pressiona o assento para baixo. Portanto: $\eta = F' = F$ (pense que no diagrama de forças do assento há apenas duas forças se equilibrando: $-\vec{\eta}$ para baixo feita pelo homem e a força $-\vec{F}'$ com que a corda puxa ele para cima, que também tem módulo F).

Concluindo, aplicando a 1ª lei de Newton para o homem obtemos:

$$\vec{R} = \vec{0} \Rightarrow R_y = 0 \Rightarrow F - P + \eta = 0 \Rightarrow F - P + F = 0 \Rightarrow F = P/2$$

Resumindo, o homem de peso P consegue se sustentar aplicando uma força (para baixo) na corda que é apenas $F = P/2$, posto que, além da corda, o assento também aplica nele (para cima) uma força $\eta = P/2$.



Essa é uma máquina simples, capaz de "multiplicar" a força (por um fator 2). Ela é similar à máquina com duas polias mostrada na Figura ao lado: com uma força de módulo T conseguimos sustentar um peso $2T$.

Q5.2 A força peso $\vec{P}$ é a força de atração gravitacional que um planeta (ou algo similar) exerce sobre os corpos na sua vizinhança. A força normal $\vec{\eta}$ é uma força de contato, basicamente causada pela repulsão elétrica entre duas superfícies que se tocam. Portanto, $\vec{P}$ e $\vec{\eta}$ são duas forças de naturezas bem diferentes e não há, em princípio, nenhuma razão para elas terem (ou não) módulos ou direções iguais.

Mas, é verdade que se um corpo está simplesmente em repouso em uma superfície rígida horizontal, segue da 1ª lei de Newton que $\vec{P} + \vec{\eta} = \vec{0}$, $\vec{P} = -\vec{\eta}$ e $P = \eta$. A terra puxa o corpo para baixo (como sempre) e ele não afunda na superfície porque esta repele o corpo com a força $\vec{\eta}$. Note, $\vec{P}$ e $\vec{\eta}$ não são um para ação/reação, mas vale $P = \eta$ e até mesmo $\vec{P} = -\vec{\eta}$.

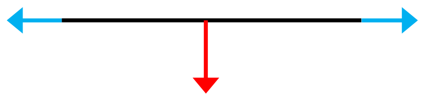
Basta que a superfície de apoio não seja horizontal para que deixe de valer a igualdade $\vec{P} = -\vec{\eta}$. Nesse caso as forças $\vec{P}$ e $\vec{\eta}$ não têm a mesma direção, porque $\vec{P}$ é sempre vertical (para baixo) e $\vec{\eta}$ é sempre ortogonal às superfícies que se tocam. Se a superfície não é horizontal então $\vec{\eta}$ não é vertical e não vale mais a relação simples $\vec{P} + \vec{\eta} = \vec{0}$, $\vec{P} = -\vec{\eta}$ e $P = \eta$.

Considere um corpo que está em repouso no piso (horizontal) rígido de um elevador que sobe acelerado. Então, tem que valer $\eta > P$, pois tem que haver uma força resultante no corpo vertical para cima, que acelera esse corpo juntamente com o piso do elevador.

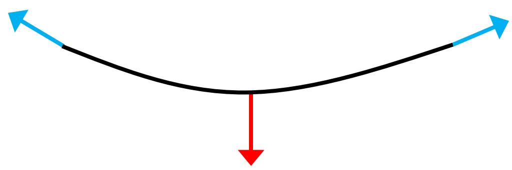
Enfim, não é muito difícil se imaginar exemplos em que não vale $P = \eta$. $\vec{P}$ e $\vec{\eta}$ nunca são um para ação/reação e não há necessidade de valer $\vec{P} = -\vec{\eta}$. Mas, às vezes vale, dadas circunstâncias especiais.

Q5.3

Considere que essa corda tem um peso $\vec{P}$, que é vertical para baixo. Portanto, se a corda está em equilíbrio, segue que $\vec{R} = \vec{0}$ na corda e tem que haver na corda outra força vertical para cima que anula $\vec{P}$. Essa outra força vertical só pode ser a resultante das forças que tensionam a corda, porque ela está fixa em suas extremidades. As Figuras abaixo ilustram a ideia.



Varal horizontal: impossível o equilíbrio, pois não há nenhuma força vertical capaz de equilibrar o peso do varal (seta vermelha).



Varal curvo: é possível o equilíbrio, pois as forças de tensão (setas azuis) possuem componentes verticais para cima capazes de equilibrar o peso do varal (seta vermelha).

Portanto, a corda tem que ter uma curvatura, caso contrário essas forças de tensão seriam horizontais e o equilíbrio da corda se tornaria impossível. Conclusão: a presença da gravidade faz com que qualquer corda (flexível) estendida (varais, fios em postes da rede elétrica etc.) adquira uma curvatura. Isso vale também para uma viga (de concreto, de madeira ou de aço) na estrutura de um prédio.

Q5.5

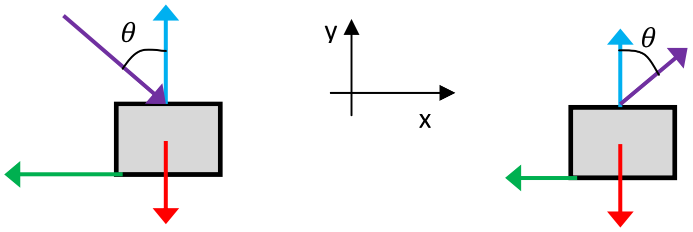
As balanças comuns (de farmácia) medem a massa de uma pessoa através da força normal (para baixo) $\vec{\eta}$ com que a pessoa pressiona a superfície da balança. A reação $-\vec{\eta}$ empurra a pessoa para cima e, se ela estiver quieta em repouso, sendo $\vec{P} = m\,\vec{g}$ o peso da pessoa, a 1ª lei de Newton diz que: $\vec{R} = \vec{P} - \vec{\eta} = \vec{0} \Rightarrow \vec{\eta} = \vec{P}$. Portanto, a balança mede η, que é igual a $P = m\,g$, de onde ela infere o valor da massa m. Mas, se você ficar pulando em cima da balança, ela não vai conseguir medir sua massa, pois não vai valer $\vec{\eta} = \vec{P}$.

Para um astronauta essa balança não funciona, ela marca uma massa nula, pois o astronauta está em queda livre ($\vec{a} = \vec{g}$). Portanto, a segunda lei de Newton aplicada ao astronauta diz que: $\vec{R} = \vec{P} - \vec{\eta} = m\,\vec{a} = m\,\vec{g} \Rightarrow \vec{\eta} = \vec{0}$. Nesse sentido, é mais conveniente chamar a indicação da balança de "peso aparente" e é verdade que esse "peso aparente" é nulo para um astronauta no espaço. Ele se sente sem peso. Mas, o peso é a força da gravidade e essa força está lá, puxando o astronauta para baixo. Apenas a balança de farmácia não é mais eficaz para inferir a massa do astronauta através da medição de seu peso. Ela não funciona lá, onde o astronauta está (em queda livre).

É importante monitorar a massa de um astronauta que vai ficar por um período longo no espaço. Como podemos fazer isso, se a balança comum não funciona. Ao invés de ficar especulando, preferimos procurar essa informação na internet para saber qual a solução real para esse problema. No site da Smithsonian magazine (https://www.smithsonianmag.com/) ficamos sabendo que uma solução possível é utilizar um acelerômetro: aplica-se no astronauta uma força F conhecida (através de uma mola) e mede-se sua aceleração a. Da 2ª lei de Newton, a massa do astronauta é $m = F/a$. Outro método se baseia na medição da freqüência ω de oscilação de um sistema bloco+mola em que o bloco é o astronauta. Essa freqüência é $\omega = \sqrt{k/m}$. Portanto, medindo-se ω e conhecendo-se a constante de mola k, pode-se inferir o valor da massa m. Finamente, ficamos sabendo que há também um aparelho, como o kinect do vídeo-game Xbox, que mede o volume V do astronauta e calcula sua massa através de uma densidade média de massa ρ assumida para o corpo humano: $m = \rho\,V$.

Q5.11

As Figuras abaixo ilustram a ideia. Na 1ª Figura a caixa é empurrada para a direita por uma força $\vec{F}$ (seta roxa) que é oblíqua para baixo, enquanto que na 2ª Figura a caixa é empurrada para a direita por uma força $\vec{F}$ que é oblíqua para cima (seta roxa).



Para tirar a caixa do repouso, empurrando-as para a direita, devemos vencer a força de atrito estático $\vec{F}_A^{(E)}$ (seta verde) na caixa. A Força de atrito estático $\vec{F}_A^{(E)}$ possui um valor máximo dado por $F_{A\,MAX}^{(E)} = \mu_E\,\eta$ sendo

μ_E o coeficiente de atrito estático caixa/piso e η o módulo da força normal na caixa $\vec{\eta}$ (seta azul). A seta vermelha é o peso $\vec{P}$ da caixa.

Agora já podemos entender que se empurramos a caixa para baixo aumentamos o contato caixa/piso, aumentamos η e aumentamos $F_{A\,MAX}^{(E)} = \mu_E\,\eta$. Fica mais difícil tirar a caixa do repouso.

De fato, supondo que o bloco está ainda em repouso, a 1ª lei de Newton diz que:

Na 1ª Figura:

Em x: $F\,\mathrm{sen}(\theta) - F_A^{(E)} = 0$ Em y: $\eta - F\,\cos(\theta) - P = 0$

Na 2ª Figura:

Em x: $F\,\mathrm{sen}(\theta) - F_A^{(E)} = 0$ Em y: $\eta + F\,\cos(\theta) - P = 0$

Portanto, a força máxima F_{MAX} que vamos ter que aplicar à caixa para tirá-la do repouso é:

Na 1ª Figura:

$$F_{MAX} = \frac{F_{A\,MAX}^{(E)}}{\mathrm{sen}(\theta)} = \frac{\mu_E\,\eta}{\mathrm{sen}(\theta)} = \frac{\mu_E\,(P + F_{MAX}\cos(\theta))}{\mathrm{sen}(\theta)} \Rightarrow F_{MAX} = \frac{\mu_E}{\mathrm{sen}(\theta) - \mu_E\cos(\theta)}P$$

Na 2ª Figura:

$$F_{MAX} = \frac{F_{A\,MAX}^{(E)}}{\mathrm{sen}(\theta)} = \frac{\mu_E\,\eta}{\mathrm{sen}(\theta)} = \frac{\mu_E\,(P - F\cos(\theta))}{\mathrm{sen}(\theta)} \Rightarrow F_{MAX} = \frac{\mu_E}{\mathrm{sen}(\theta) + \mu_E\cos(\theta)}P$$

Fica claro que na situação da 1ª Figura empurramos a caixa para baixo, aumentamos o valor da normal η e aumentamos o valor máximo do atrito estático $F_{A\,MAX}^{(E)}$, o que exige mais força para retirar a caixa do repouso.

Uma ideia similar se aplica na hipótese de que a caixa está sendo empurrada e se movendo para a direita com velocidade constante (MRU). Basta que raciocinemos em termos da força de atrito cinético $\vec{F}_A^{(C)}$ atuando na caixa, ao invés da força de atrito estático $\vec{F}_A^{(E)}$. Sabemos que $F_A^{(C)} = \mu_C\,\eta$ e que, portanto, podemos entender que se empurramos a caixa para baixo aumentamos o contato caixa/piso, aumentamos η e aumentamos a força de atrito cinético $F_A^{(C)} = \mu_C\,\eta$ na caixa. Fica mais difícil empurrar a caixa mantendo-a em MRU. Resumindo, a força aplicada na caixa que produz o MRU tem que ter módulo:

Na 1ª Figura:

$$F\,\mathrm{sen}(\theta) - \mu_C\,\eta = F\,\mathrm{sen}(\theta) - \mu_C\big(P + F\cos(\theta)\big) = 0 \Rightarrow F = \frac{\mu_C}{\mathrm{sen}(\theta) - \mu_C\cos(\theta)}P$$

Na 2ª Figura:

$$F\,\mathrm{sen}(\theta) - \mu_C\,\eta = F\,\mathrm{sen}(\theta) - \mu_C\big(P - F\cos(\theta)\big) = 0 \Rightarrow F = \frac{\mu_C}{\mathrm{sen}(\theta) + \mu_C\cos(\theta)}P$$

Q5.17 Para que um carro faça uma curva de raio R com velocidade de módulo constante v, ele deve ter uma aceleração centrípeta a_{cen} tal que:

$$a_{cen} = \frac{v^2}{R}$$

A segunda lei de Newton diz que aceleração é produzida por força: $\vec{R} = m\,\vec{a}$. Portanto: para que um carro de massa m faça uma curva de raio R com velocidade de módulo constante v, deve atuar nele uma força resultante centrípeta F_{cen} tal que:

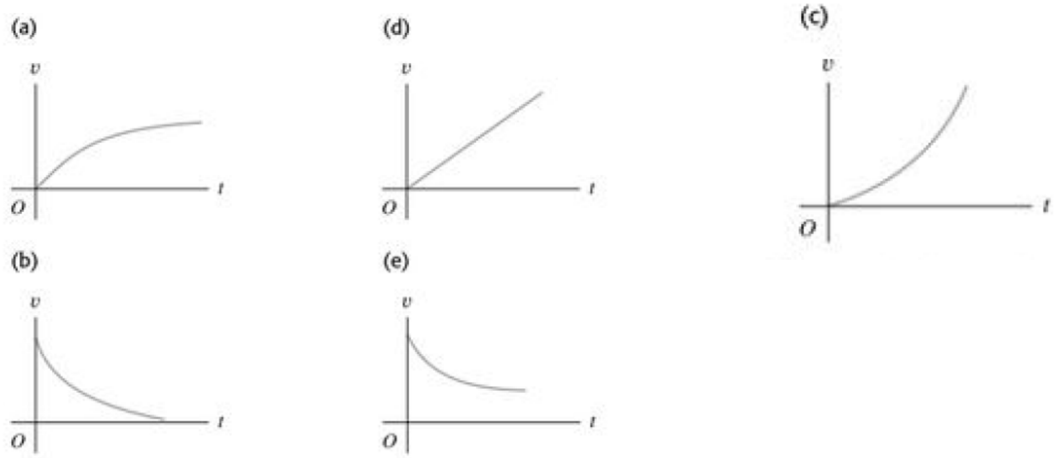
$$F_{cen} = m\frac{v^2}{R}$$

Qual seria a natureza dessa força? Para um carro em uma estrada horizontal F_{cen} deve ser uma força horizontal que aponta para o centro da curva de raio R. Só há uma possibilidade: F_{cen} é a força de atrito estático $\vec{F}_A^{(E)}$ que o asfalto produz nos pneus do carro. Já sabemos que a Força de atrito estático $\vec{F}_A^{(E)}$ possui um valor máximo dado por $F_{A\,MAX}^{(E)} = \mu_E\,\eta$ sendo μ_E o coeficiente de atrito estático pneu/asfalto e η o módulo da força normal no carro (igual, em módulo, ao peso $P = m\,g$ do carro). Com isso concluímos que para uma dada condição de atrito, há uma velocidade máxima com que um carro pode fazer uma curva de raio R:

$$F_{cen} = F_A^{(E)} = m\frac{v^2}{R} \Rightarrow \mu_E\,P = m\frac{v_{MAX}^2}{R} \Rightarrow \mu_E\,g = \frac{v_{MAX}^2}{R} \Rightarrow v_{MAX} = \sqrt{\mu_E\,g\,R}$$

Agora podemos entender que se um motorista entra em uma curva cujo raio R muda, ele tem que ser capaz de controlar a velocidade, mantendo-a abaixo do limite $v_{MAX}(R)$. Se o raio R diminui ao longo da curva, o motorista terá que frear enquanto descreve a curva, pois raios menores requerem velocidades menores. Como é difícil prever a redução no raio, esse controle da velocidade pode ser a desgraça de qualquer motorista.

Q5.30



A bola parte do repouso, em $t = 0$, o que implica que a função $v(t)$ tem que ser compatível com essa condição inicial $v(t = 0) = 0$. Vemos logo que somente os gráficos das alternativas (a), (d) e (c) estão de acordo com essa condição. Os outros já podem ser descartados.

O arraste com o ar atua na bola sempre oposto à sua velocidade e é tanto maior quanto maior for a velocidade da bola. Portanto, no início do movimento, quando $v \cong 0$, a bola basicamente cai em queda livre e vai aumentando sua velocidade. Enquanto isso, o arraste com o ar vai aumentando, apontando para cima e tendendo a se equilibrar com o peso da bola, que sempre puxa ela para baixo.

Conclusão, a velocidade da bola que cai vai crescendo, mas vai crescendo cada vez menos, até que atinge um valor máximo constante, no instante em que a velocidade é tal que produz um arraste que equilibra o peso da bola. Chamamos essa velocidade final constante de "velocidade terminal". Este é o efeito que salva os paraquedistas de se esborracharem no chão.

Somente o gráfico na alternativa (a) é compatível com essa ideia: uma curva crescente que vai assintoticamente para um valor constante quando $t \to \infty$.

A alternativa (d) está compatível com uma queda livre, sem arraste, em que a velocidade cresce linearmente com o tempo:

$$v(t) = g\,t$$

A alternativa (c) mostra uma velocidade que cresce cada vez mais rapidamente, pois a curva crescente se torna cada vez mais íngreme. Seria uma situação absurda nas condições que estamos discutindo aqui: queda com arraste.