

Movimento Circular Uniforme

- Objeto em trajetória circular (raio R) a uma velocidade constante v .
- Período do movimento T : tempo de uma volta na circunferência

comprimento da circunferência: $C = 2\pi R$

- Velocidade instantânea:

- magnitude

$$v = \frac{2\pi R}{T}$$

- direção: sempre **tangente** à órbita circular

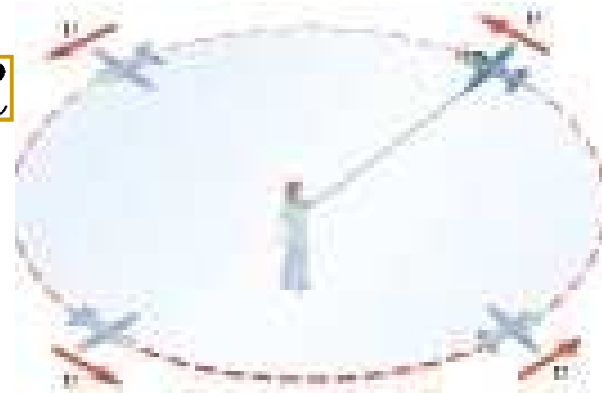
- Aceleração centrípeta e Força centrípeta:

- magnitude

$$a_c = \frac{v^2}{R}$$

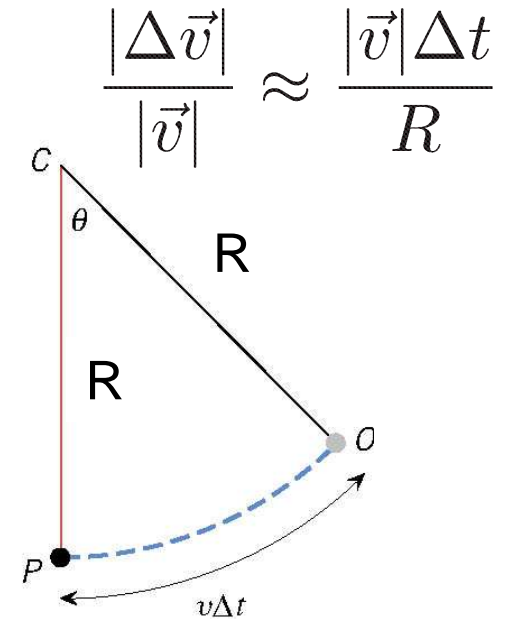
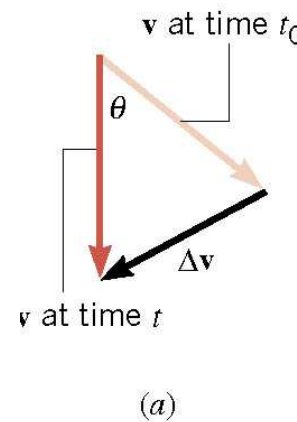
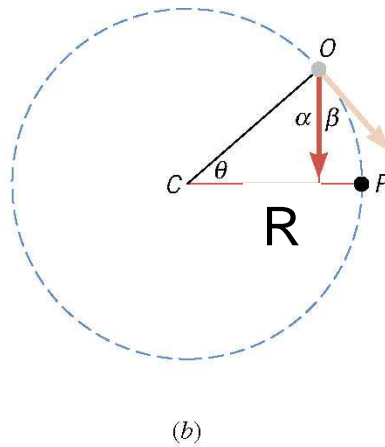
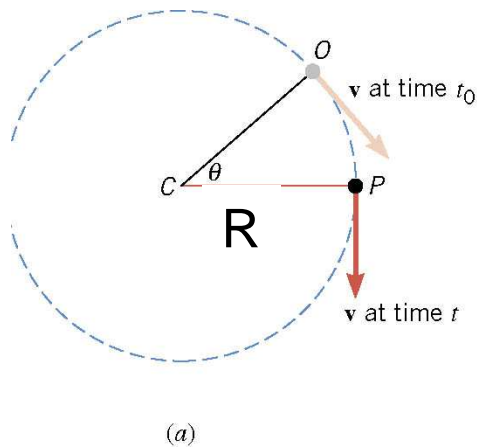
$$F_c = ma_c = \frac{mv^2}{R}$$

- direção: sempre aponta para o **centro** da órbita circular



Movimento Circular Uniforme

- Velocidade: se a magnitude for constante, mas **muda de direção** – **aceleração**.
- Logo **se existe aceleração, existe uma força** (Primeira Lei de Newton!)
- Se o movimento é circular com vel. constante, a **força aponta para o centro**.
- Podemos calcular esta força em termos de v and R



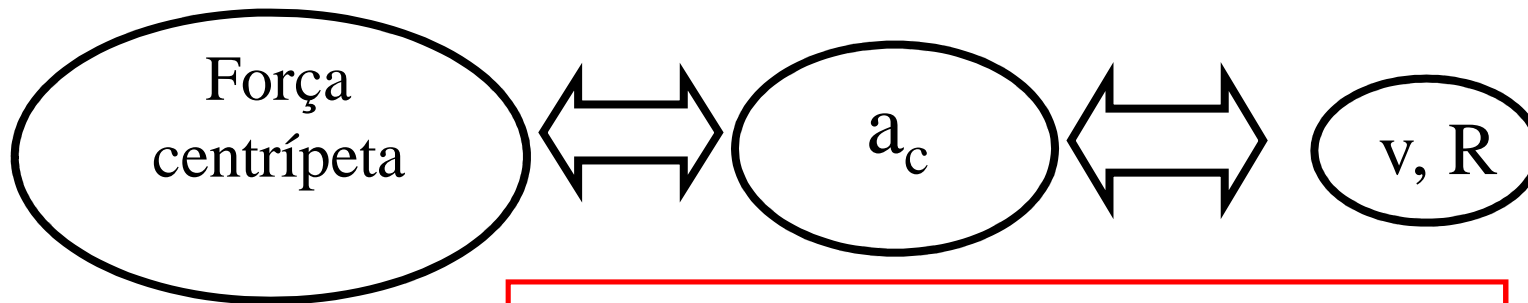
$$\text{Aceleração: } \vec{a}_c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \Rightarrow |\vec{a}_c| = \frac{v^2}{R} \quad \text{Aceleração centrípeta.}$$

Aceleração Centrípeta

- Se o movimento é circular então $\vec{a}_c \neq 0$
- Logo, deve haver uma FORÇA apontando na direção do CENTRO.

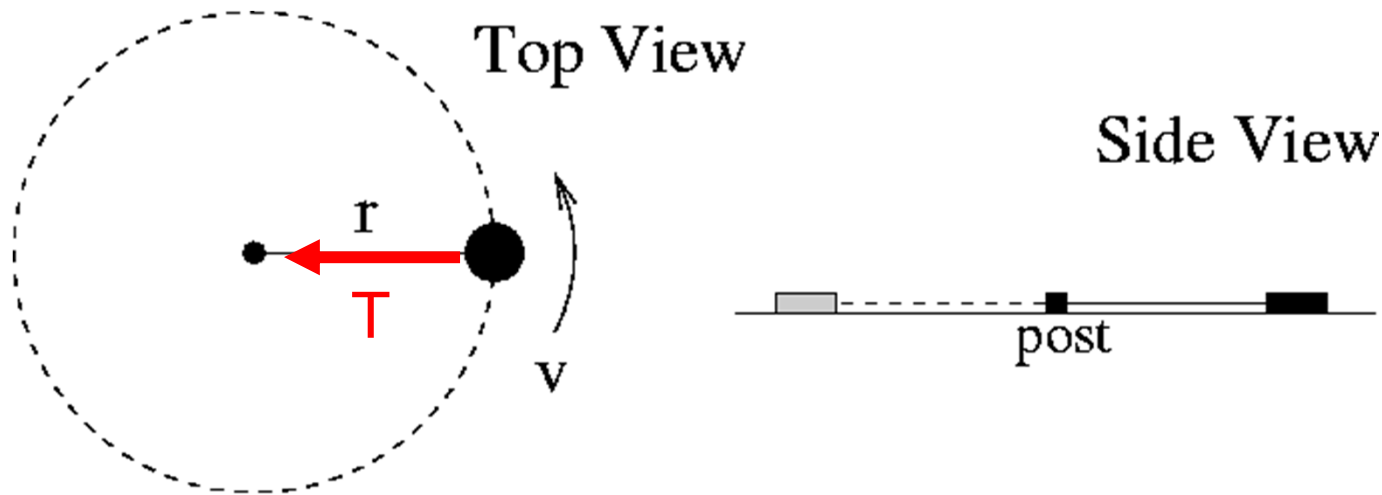
$$\vec{F}_c = m\vec{a}_c$$

- Podemos calcular a aceleração pela força OU sabendo a v e R.



$$F_c = \sum F_{\text{towards center}} = ma_c = m \frac{v^2}{r}$$

Exemplo 1: Um disco está se movendo a uma velocidade constante em um círculo em uma mesa. Como podemos encontrar a tensão na corda?



- A tensão é a força centrípeta (mantém o movimento em uma trajetória circular).
- Aceleração centrípeta $a_c = v^2 / R$
- 2ª Lei de Newton ($F_c = ma_c$) logo, $T = ma_c = mv^2/R$

Exemplo 2: um disco de massa 0.25kg está preso a uma corda e pode ser mover em uma circunferência de raio 1.0m em uma mesa sem atrito. A outra extremidade da corda passa por um buraco no centro da mesa e está presa a uma massa de 0.5kg (vide figura). A massa suspensa permanece em repouso enquanto o disco gira.

- Qual a tensão na corda?

$$T = mg = 4.9\text{N}$$

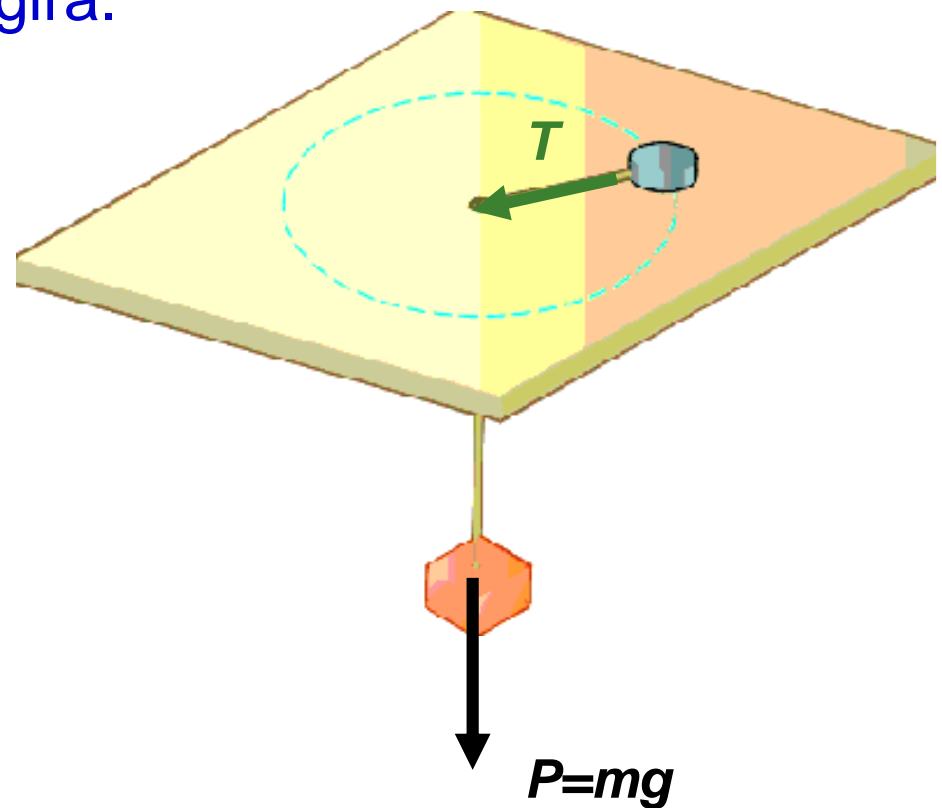
- Qual a força centrípeta no disco?

$$F_c = T = 4.9\text{N}$$

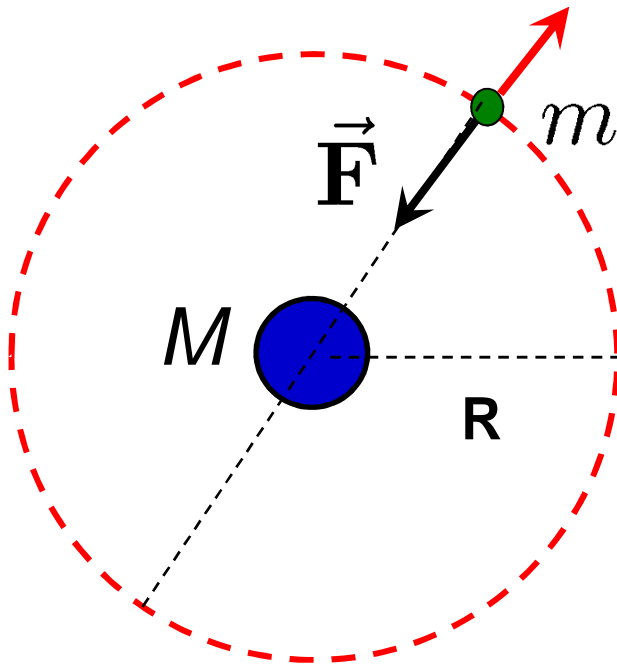
- Qual a velocidade do disco?

$$F_c = \frac{mv^2}{R} \rightarrow v = \sqrt{\frac{RF_c}{m}}$$

$$v = 4.4\text{ m/s}$$



Gravitação para orbitas circulares



$$M \gg m$$

Corpo de massa m em órbita circular de raio R em torno do corpo de massa $M^{(*)}$.

$$\vec{F} = -\frac{GMm}{R^2} \hat{u}_r$$

Força Gravitacional é *centrípeta*

2a Lei de Newton: aceleração *centrípeta*.

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

$$|\vec{a}| = \frac{GM}{R^2}$$

Se R é constante, a aceleração é constante em módulo.

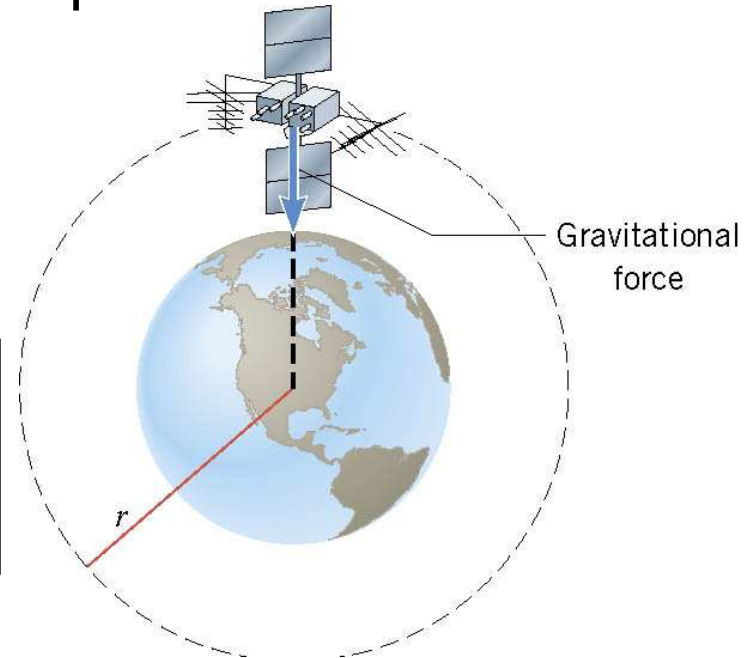
(*) Na verdade, isto é uma aproximação válida para $M \gg m$. Na verdade, os corpos orbitam em torno do centro-de-massa do sistema de dois corpos.

Satélites em movimento circular

- Gravidade é a única força = força centrípeta

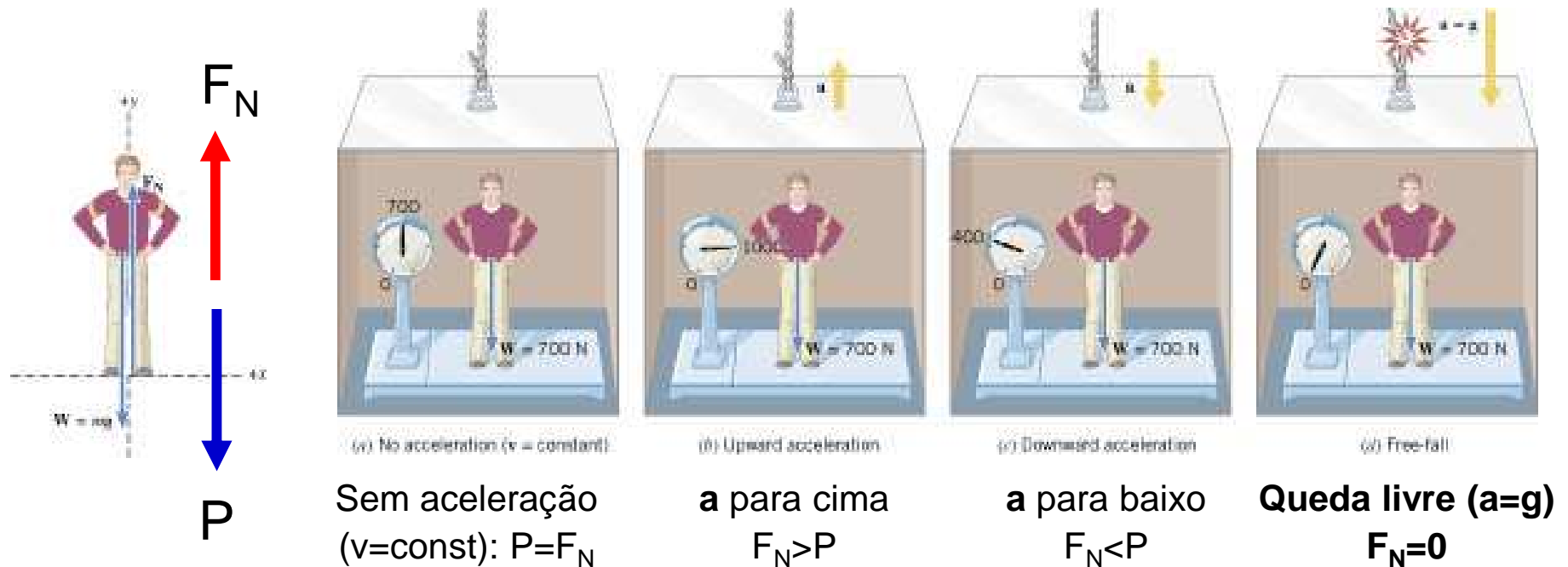
$$\sum F_c = ma_c \quad a_c = \frac{F_c}{m} = \frac{GM_T}{R^2}$$

$$G \frac{M_T m}{R^2} = m \frac{v^2}{R} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{GM_T}{R}}$$



- *Raio do círculo R: Raio da Terra altitude $R_T + h$!*
- *Velocidade orbital é independente da massa do satélite.*
- *Para 'colocar' o satélite em órbita, é necessário outras forças mas uma vez em órbita, apenas a gravidade atua.*
- *Orbita: constantemente "caindo" em um círculo!*

Peso aparente

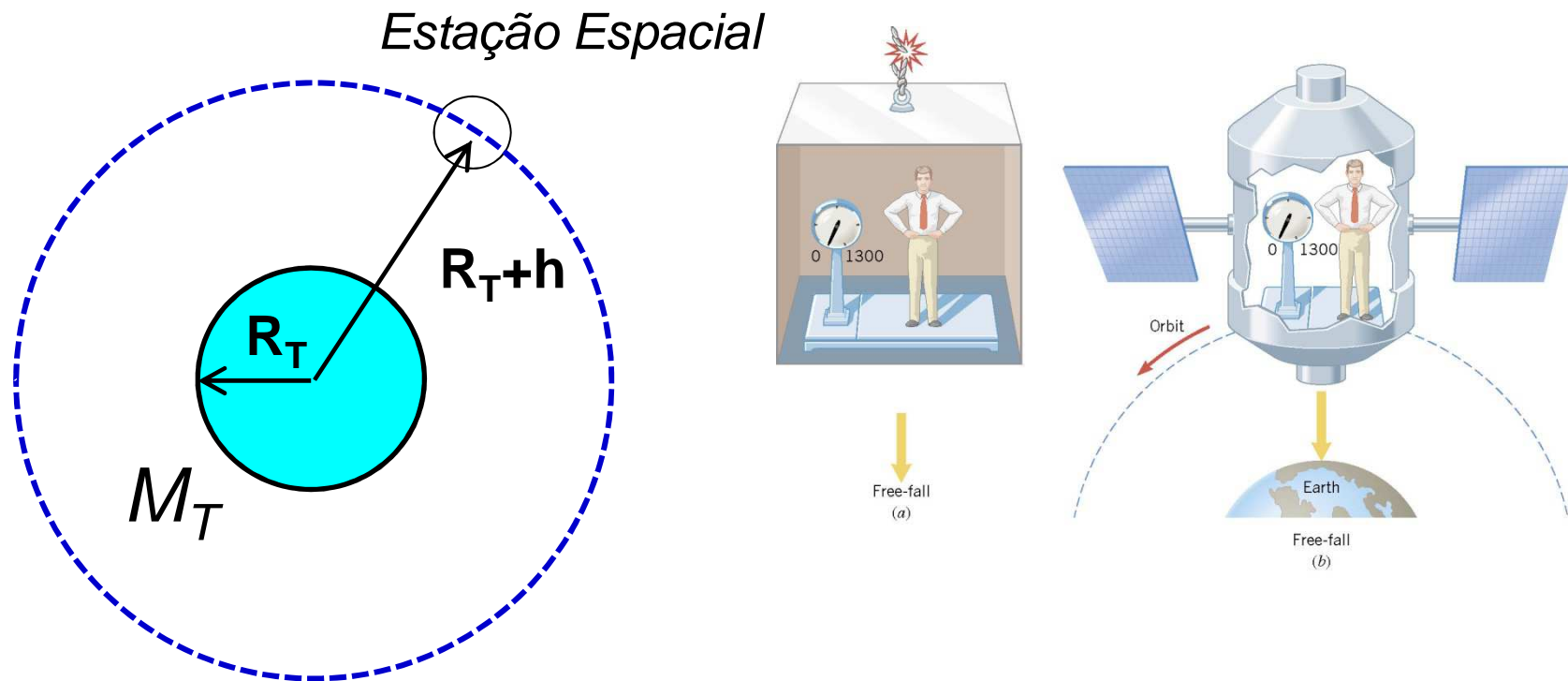


$$ma = F_{\text{RES}} = P - F_N$$

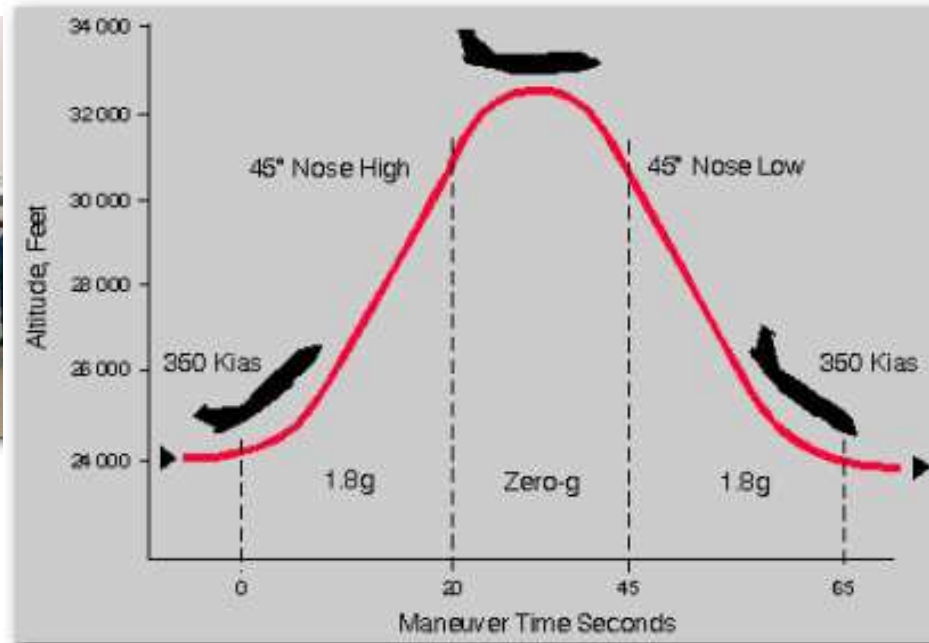
- A força normal NEM SEMPRE é igual ao peso!
- A balança “de banheiro” medem forças normais.
- “Peso aparente” é simplesmente a força normal.

Microgravidade de objetos em órbita.

- Peso aparente \leftrightarrow Força normal
- Gravidade não é “zero”!! (R não é ∞)
- Se a “queda” for a mesma que os objetos na vizinhança, não há Força Normal: ambiente de “microgravidade”.
- Não é gravidade “zero”. É como em um elevador em queda!



Treinamento de astronautas da NASA: g negativo.



- Algumas acelerações típicas experimentadas nos aviões da NASA e os tempos:
 - g negativo: ($a = -0.1 \text{ g}$): Aproximadamente 15 segundos
 - g zero: ($a = 0$) Aproximadamente 25 segundos
 - g Lunar : ($a = g/6$): Aproximadamente 40 segundos
 - g Marciana : ($a = g/3$): Aproximadamente 30 segundos

http://jsc-aircraft-ops.jsc.nasa.gov/Reduced_Gravity/index.html

Tarefa 11: Altitude do Hubble

O telescópio espacial Hubble orbita a Terra em uma trajetória circular a uma velocidade de aproximadamente 27 200 km/h.

a): Calcule a velocidade do Hubble em m/s.

b): Calcule a altitude em relação à superfície da Terra do Hubble.

Justifique todos os cálculos com argumentos e desenhos.

Dados:

Raio da terra: $R_T = 6.38 \times 10^6 \text{ m}$

Massa da Terra: $M_T = 5.98 \times 10^{24} \text{ kg}$

Constante gravitacional $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

