

Rotação no espaço

A Engenharia das Missões Espaciais

Allan Kardec de Almeida Junior



A natureza

O que são os conceitos de física?

- Todos nós conhecemos e entendemos muitos dos conceitos de física, principalmente da mecânica.

Porque?

- Porque faz parte do nosso cotidiano.

Quando?

- Desde o nascimento, até a morte.

Como?

- Aprendemos a respirar.
- Aprendemos a falar.
- Aprendemos a olhar.
- Aprendemos a andar.
- Aprendemos a mexer o braço para pegar um copo.
- Aprendemos a nos apoiar em um corpo massivo.

A natureza

O que são os conceitos de física?

- Todos nós conhecemos e entendemos muitos dos conceitos de física, principalmente da mecânica.

Porque?

- Porque faz parte do nosso cotidiano.

Quando?

- Desde o nascimento, até a morte.

$$PV = \text{constante}$$

Como?

- Aprendemos a respirar.
- Aprendemos a falar.
- Aprendemos a olhar.
- Aprendemos a andar.
- Aprendemos a mexer o braço para pegar um copo.
- Aprendemos a nos apoiar em um corpo massivo.

A natureza

O que são os conceitos de física?

- Todos nós conhecemos e entendemos muitos dos conceitos de física, principalmente da mecânica.

Porque?

- Porque faz parte do nosso cotidiano.

Quando?

- Desde o nascimento, até a morte.

Como?

- Aprendemos a respirar.
- Aprendemos a falar.
- Aprendemos a olhar.
- Aprendemos a andar.
- Aprendemos a mexer o braço para pegar um copo.
- Aprendemos a nos apoiar em um corpo massivo.

Como é o movimento no espaço?



Qual a diferença entre se mover sobre a lama e sobre o asfalto?

Inércia.

O ato de dar nomes ao que já sabemos.

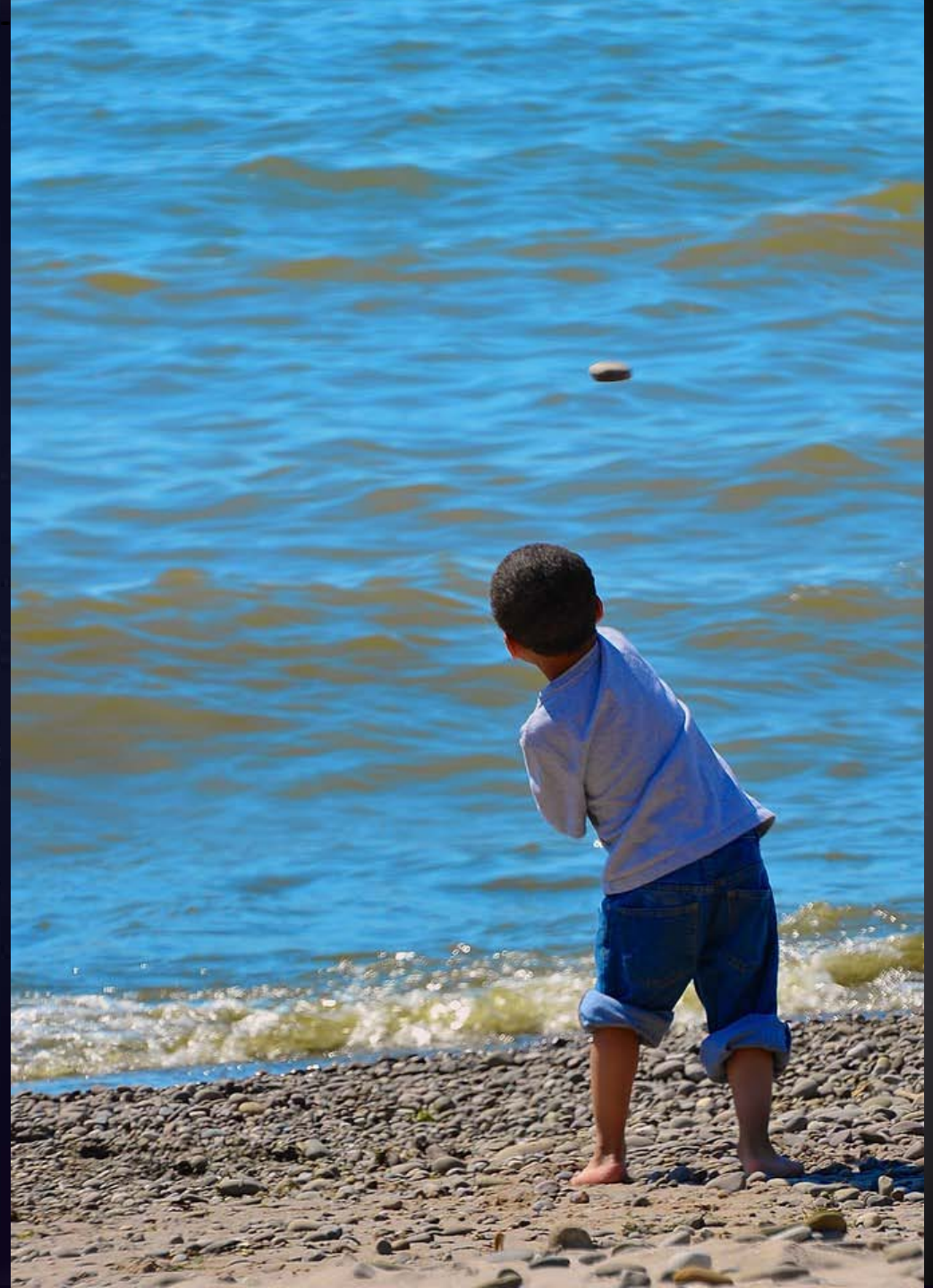
Como jogar uma pedra?



O ato de dar nomes ao que já sabemos.

Como jogar uma pedra?

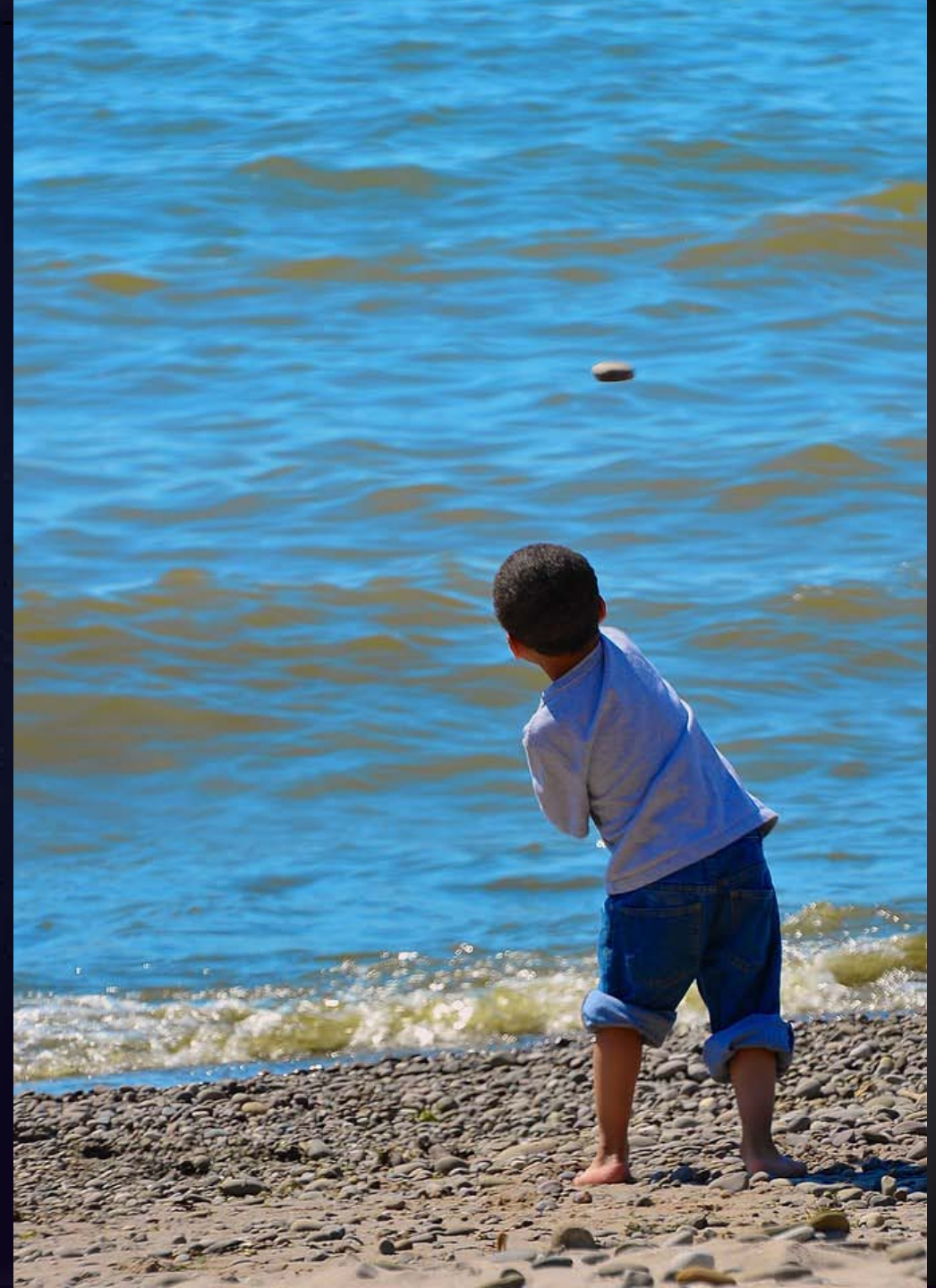
- inércia.



O ato de dar nomes ao que já sabemos.

Como jogar uma pedra?

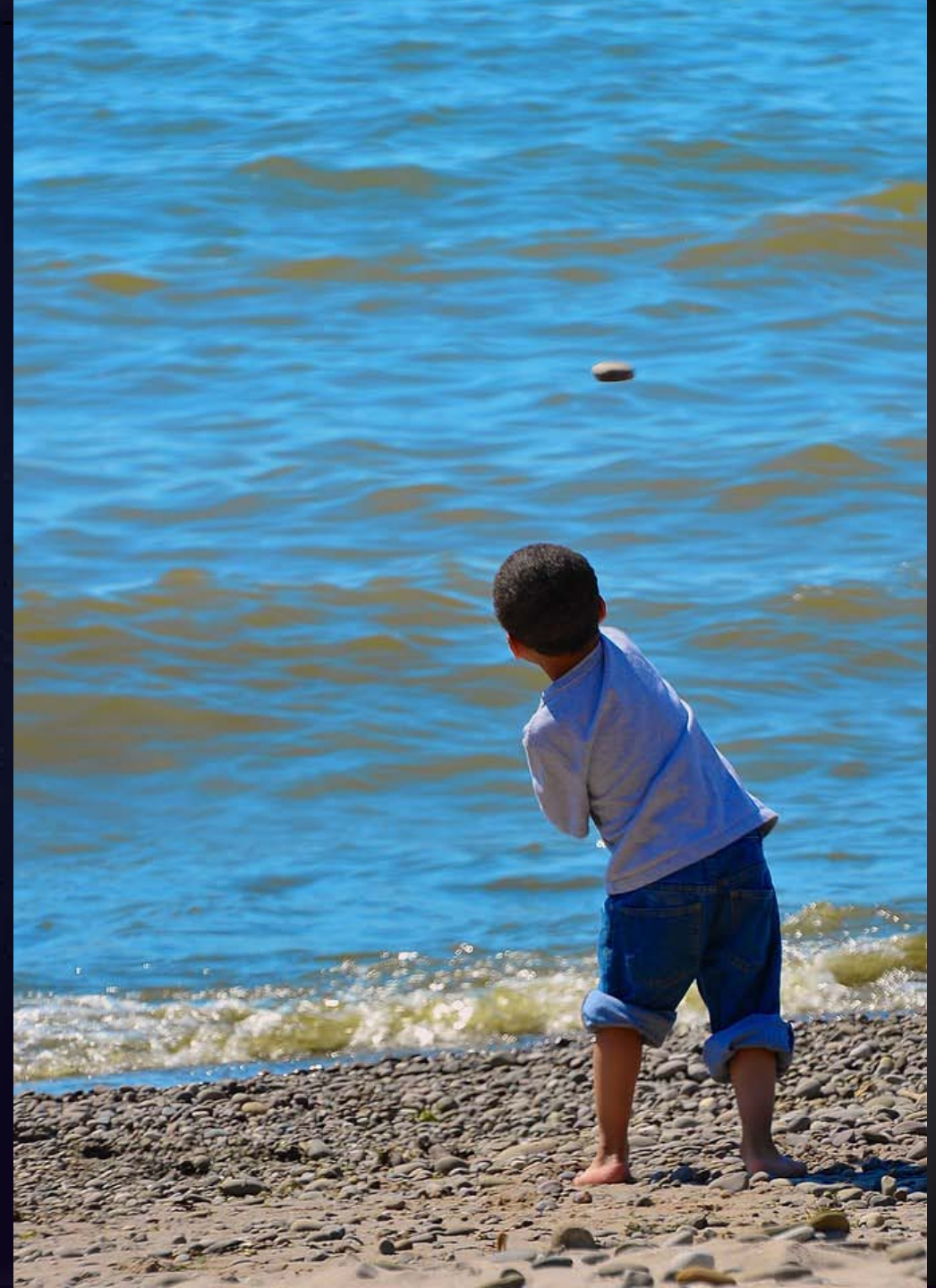
- inércia.
- $a=F/m$



O ato de dar nomes ao que já sabemos.

Como jogar uma pedra?

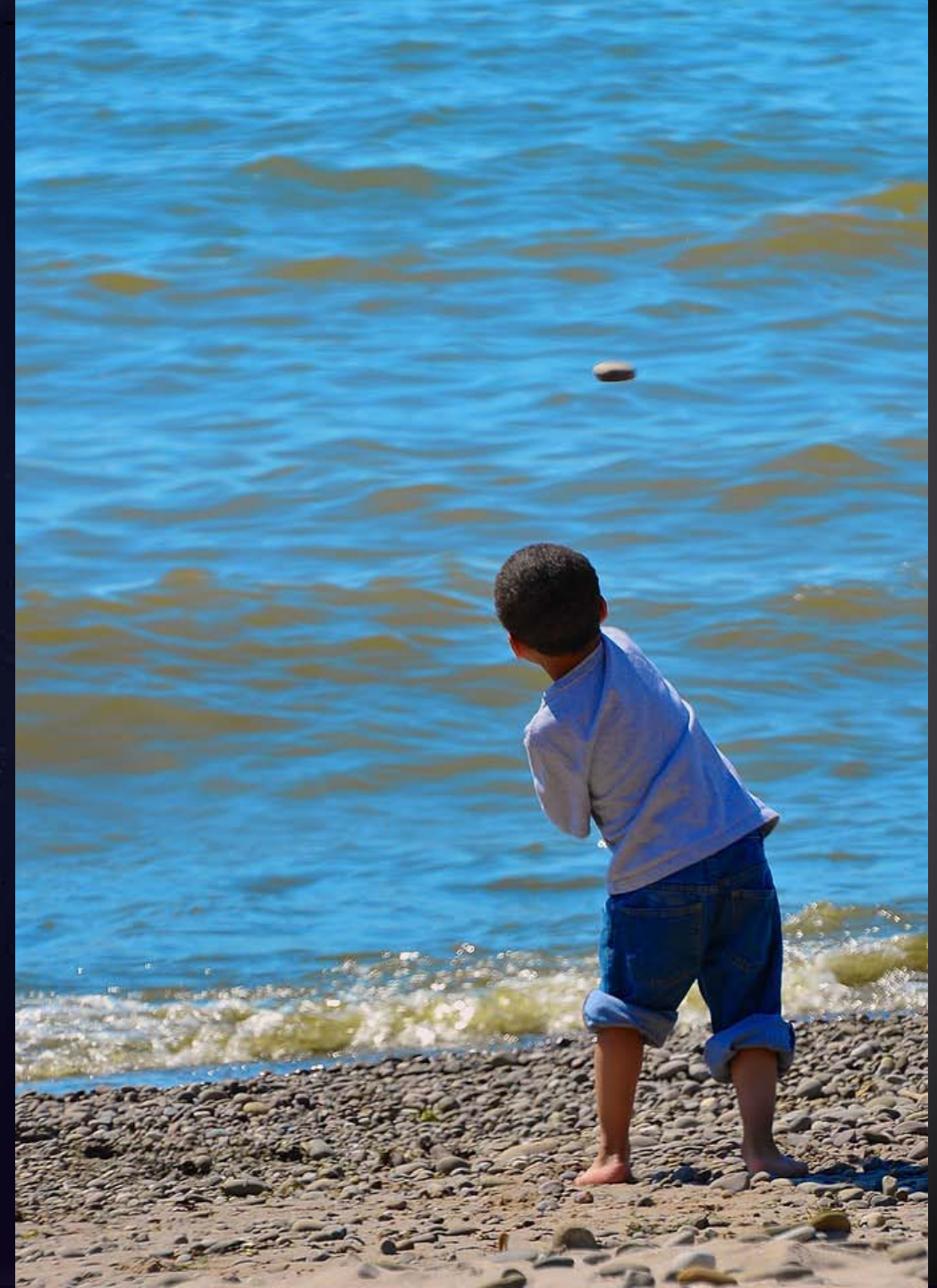
- inércia.
- $a = F/m$
- impulso = $F \cdot t$



O ato de dar nomes ao que já sabemos.

Como jogar uma pedra?

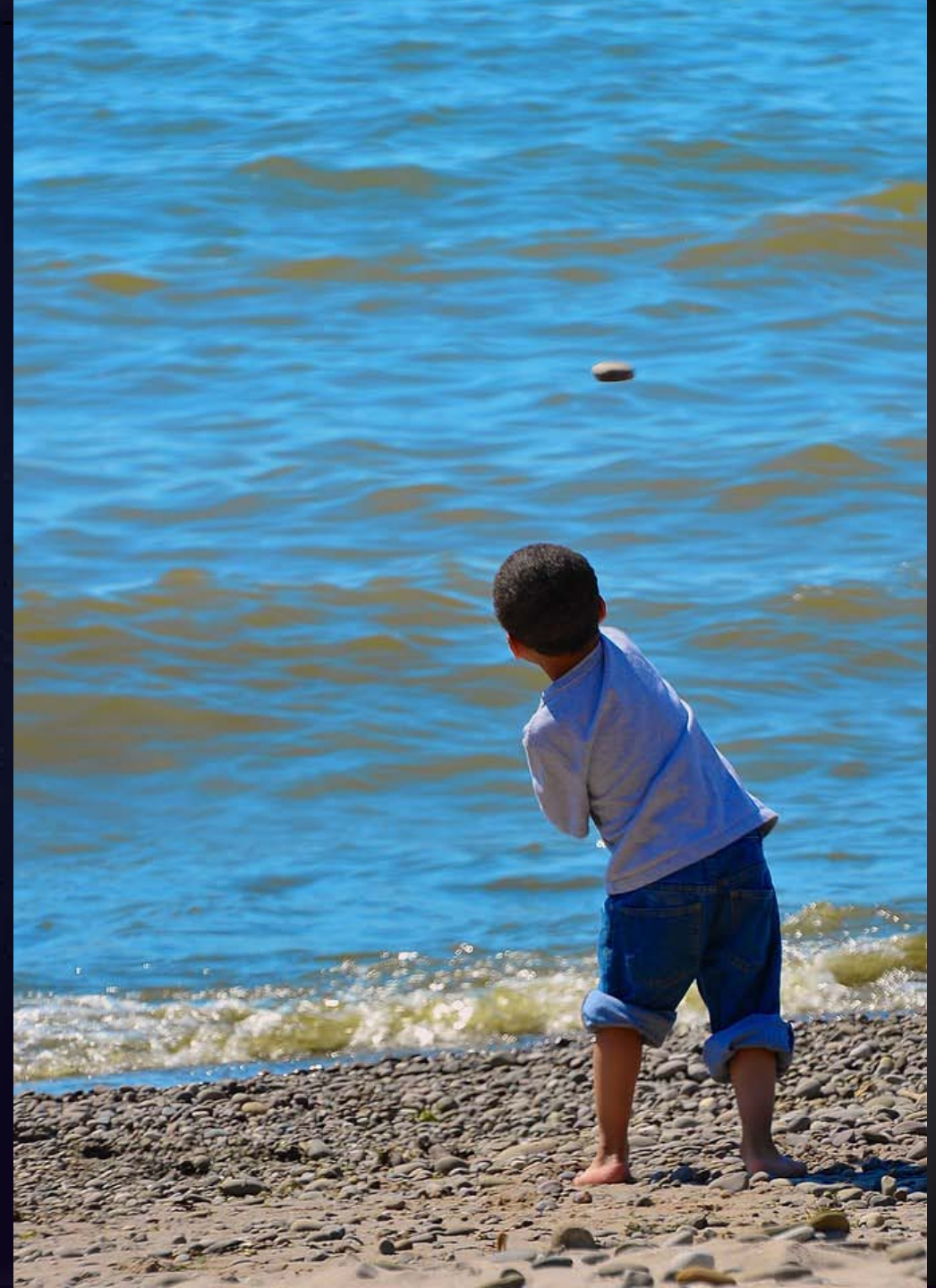
- inércia.
- $a = F/m$
- impulso = $F \cdot t$
- impulso = variação do momento
- momento = $m \cdot V$



O ato de dar nomes ao que já sabemos.

Como jogar uma pedra?

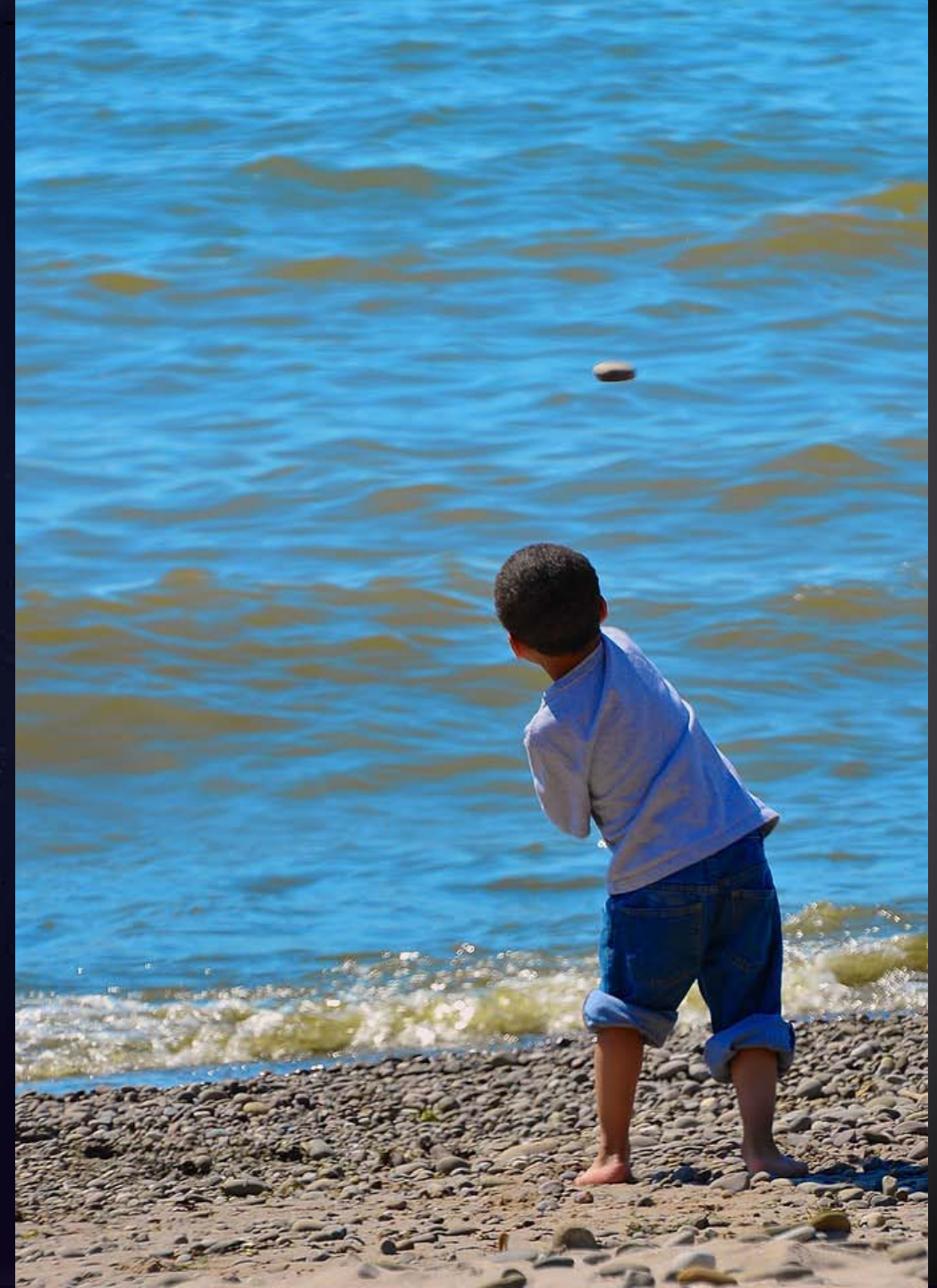
- inércia.
- $a=F/m$
- impulso = $F \cdot t$
- impulso = variação do momento
- momento = $m \cdot V$
- magnitude



O ato de dar nomes ao que já sabemos.

Como jogar uma pedra?

- inércia.
- $a=F/m$
- impulso = $F \cdot t$
- impulso = variação do momento
- momento = $m \cdot V$
- magnitude
- direção



Rotação de um corpo.

Analogias para a rotação em torno de um eixo

- Massa: m
- Deslocamento: x
- Velocidade (v): variação do deslocamento
- Aceleração (a): variação da velocidade
- Força: F
- Energia cinética: $mv^2/2$
- Momento: $m v$
- Momento de inércia (I): $m r^2$
- Ângulo θ
- Velocidade angular (ω): variação do ângulo
- Aceleração angular (α): variação da velocidade angular
- Torque: N
- Energia cinética: $I\omega^2/2$
- Momento angular: $I \omega$

3 modos para girar um cabo de vassoura

Momento de inércia

Como girar um cabo de vassoura.

Modo mais fácil: coloque o cabo entre as palmas das duas mãos e gire com as palmas das mãos.



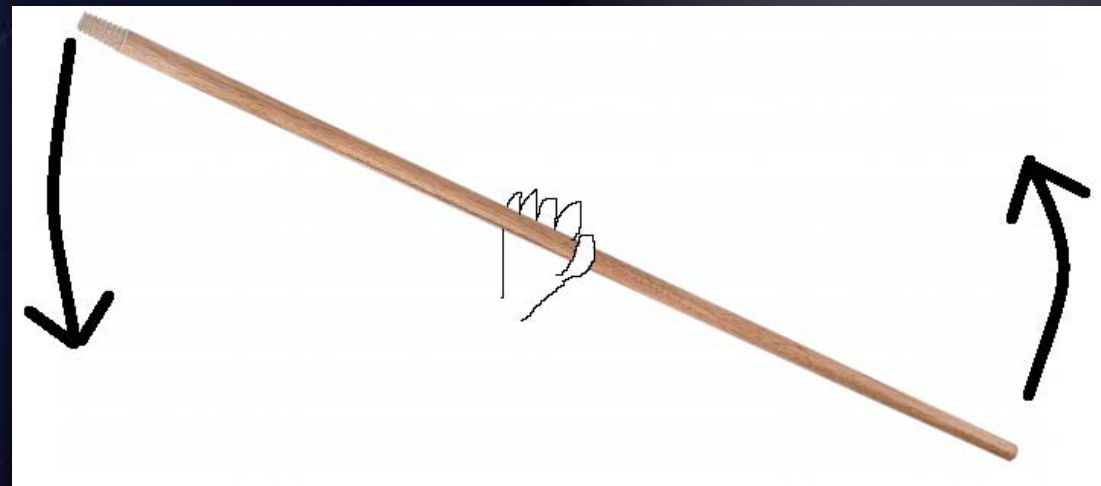
3 modos para girar um cabo de vassoura

Momento de inércia

Como girar um cabo de vassoura.

Modo mais fácil: coloque o cabo entre as palmas das duas mãos e gire com as palmas das mãos.

Modo médio: segure no meio do cabo



3 modos para girar um cabo de vassoura

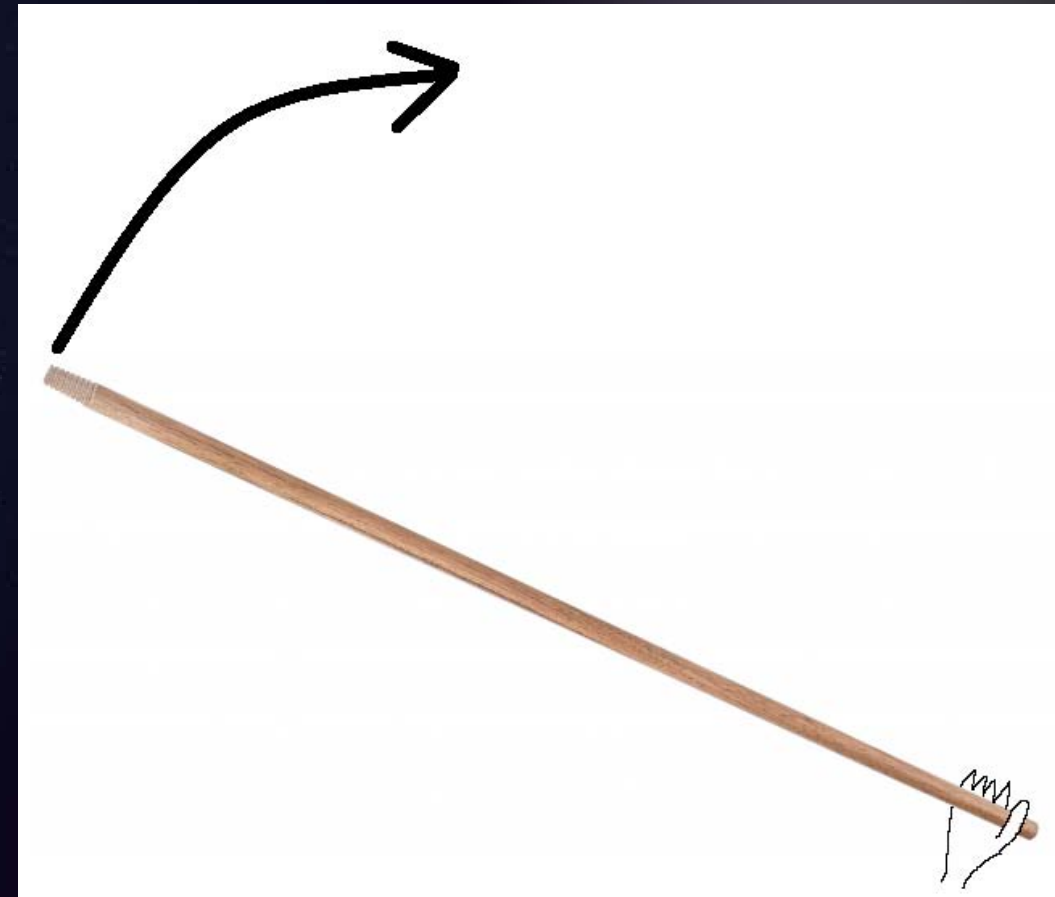
Momento de inércia

Como girar um cabo de vassoura.

Modo mais fácil: coloque o cabo entre as palmas das duas mãos e gire com as palmas das mãos.

Modo médio: segure no meio do cabo

Modo difícil: segure na ponta e gire o cabo.



Rotação no espaço.

Como fica a rotação de um corpo rígido em três dimensões?

Momento de inércia: $I = m r^2$

$$\vec{L} = \bar{I} \vec{\omega}$$

$$\bar{I} = \begin{pmatrix} I_{xx} & I_{xy} & I_{xz} \\ I_{yx} & I_{yy} & I_{yz} \\ I_{zx} & I_{zy} & I_{zz} \end{pmatrix}$$

Simetrias em torno do eixo de rotação.



Rotação de uma roda.

Por que é feito o balanceamento na roda do carro?

Como é o movimento no espaço?



Qual a diferença entre se mover sobre a lama e sobre o asfalto?

Inércia.

Como girar um veículo espacial?

O sistema veículo-Terra.

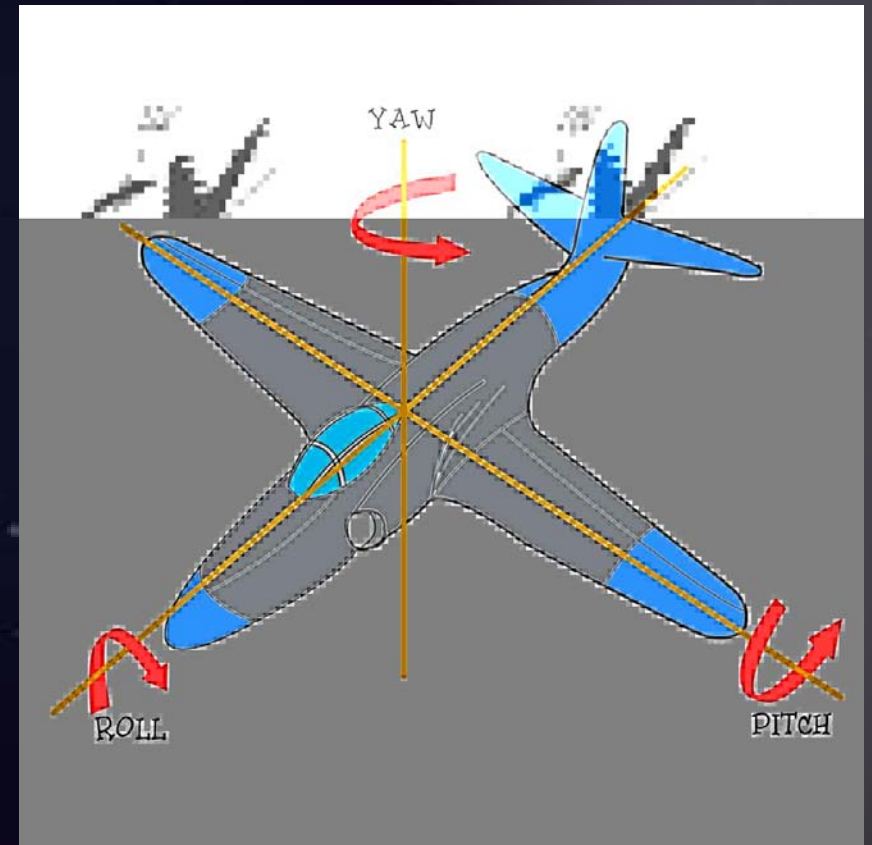
Por que o carro escorrega na lama?



Como girar um veículo espacial?

O avião na Terra.

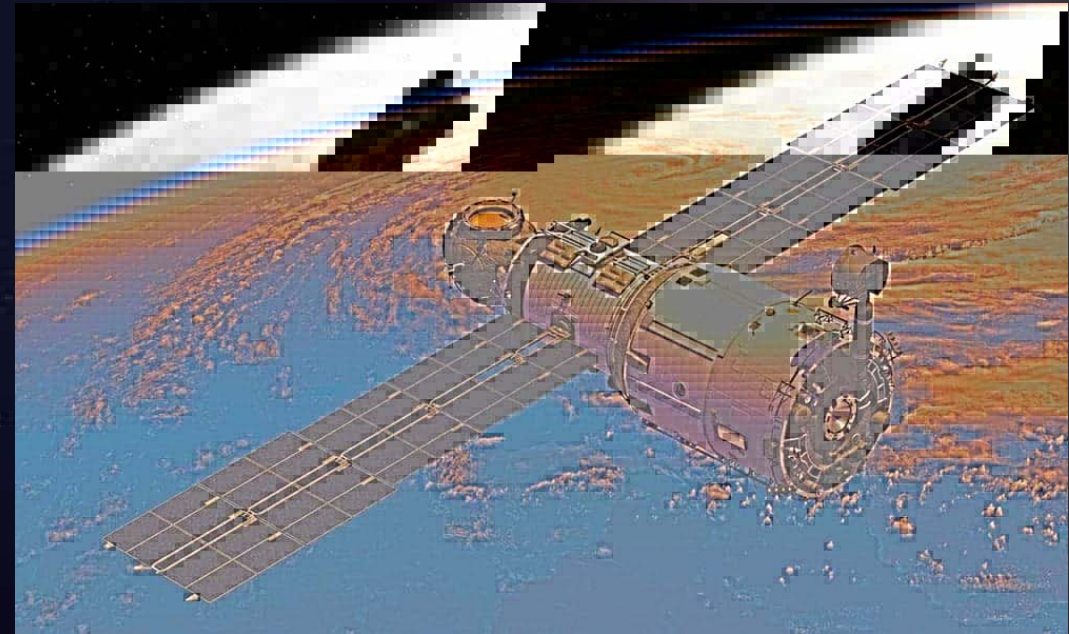
O avião se apoia em algo para realizar manobras?



Como girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

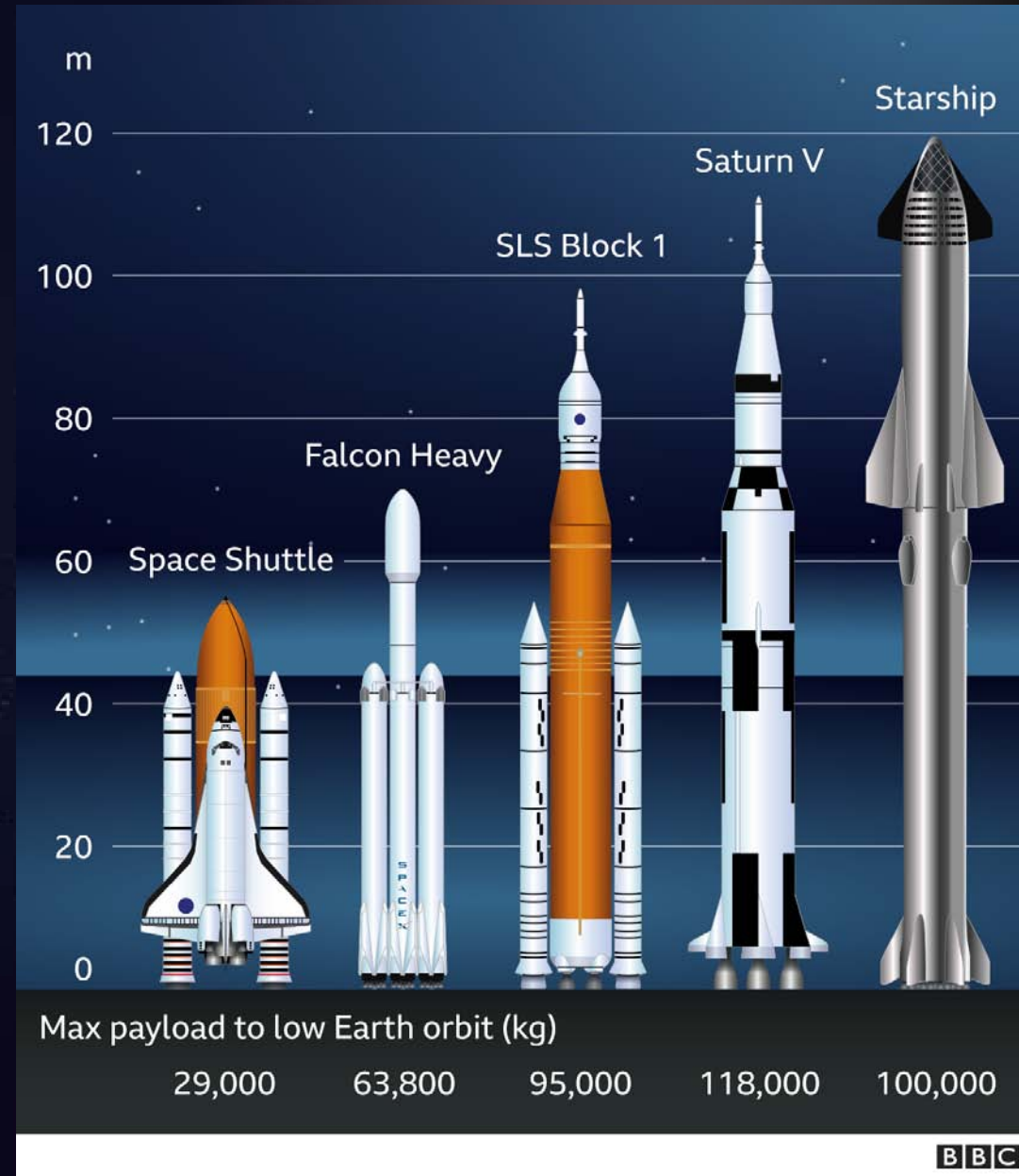
Como um veículo espacial pode girar no espaço?



Como girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

Método 1: aletas de foguete.



Como girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

Método 1: aletas de foguete.

Método 2: direção dos gases (motor principal).



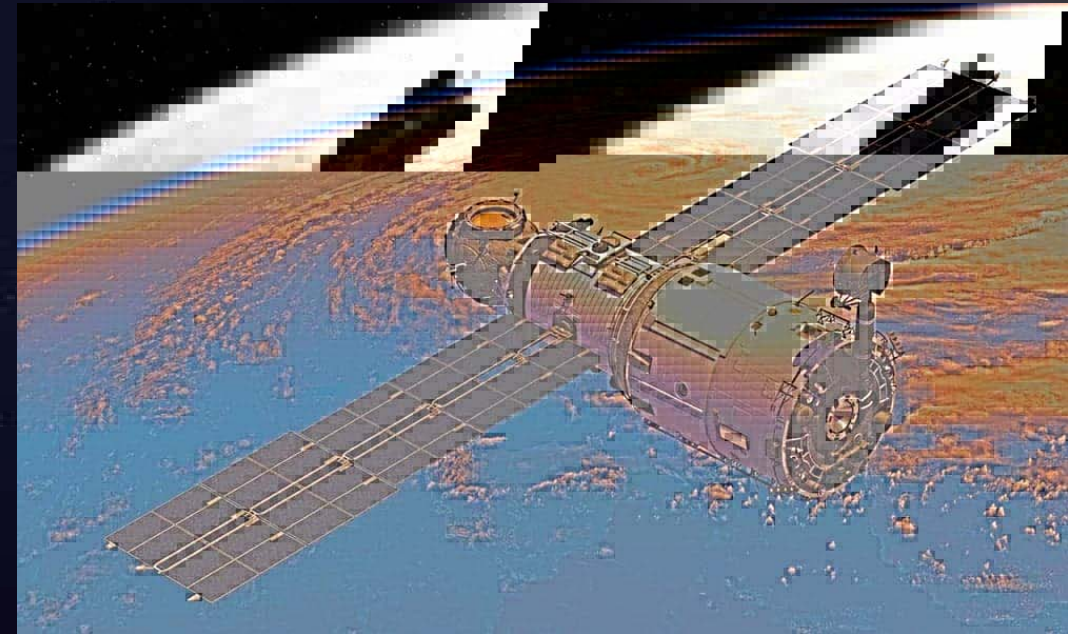
Como girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

Método 1: aletas de foguete.

Método 2: direção dos gases (motor principal).

Método 3: direção dos gases (motores secundários).



Como girar um veículo espacial?

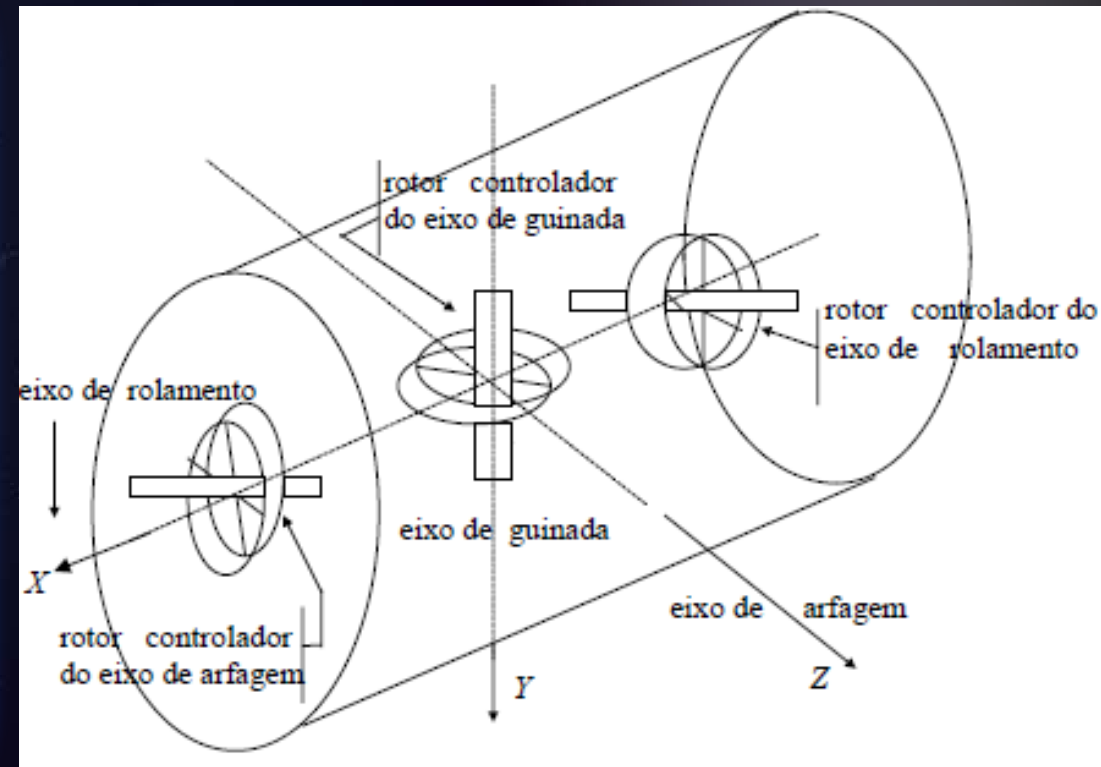
O satélite no espaço.

Método 1: aletas de foguete.

Método 2: direção dos gases (motor principal).

Método 3: direção dos gases (motores secundários).

Método 4: rodas de reação.



Como girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

Método 1: aletas de foguete.

Método 2: direção dos gases (motor principal).

Método 3: direção dos gases (motores secundários).

Método 4: rodas de reação.

Método 5: vela solar



Como girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

Método 1: aletas de foguete.

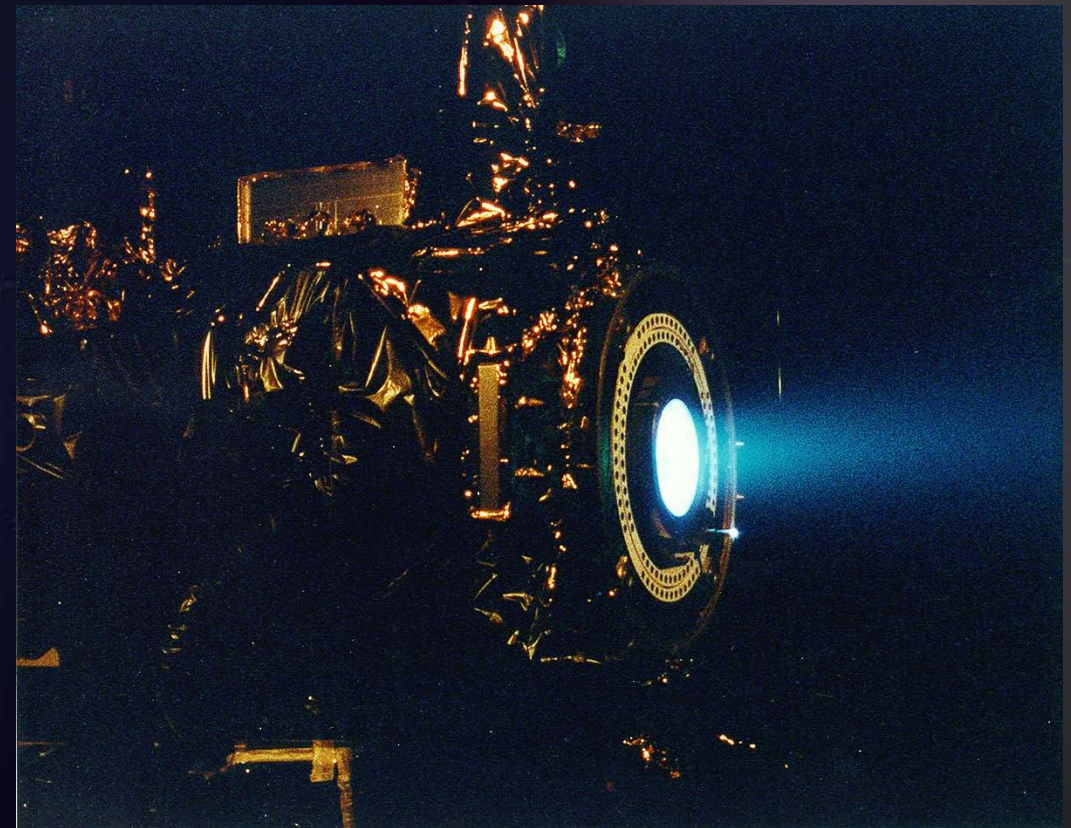
Método 2: direção dos gases (motor principal).

Método 3: direção dos gases (motores secundários).

Método 4: rodas de reação.

Método 5: vela solar

Método 6: motor iônico

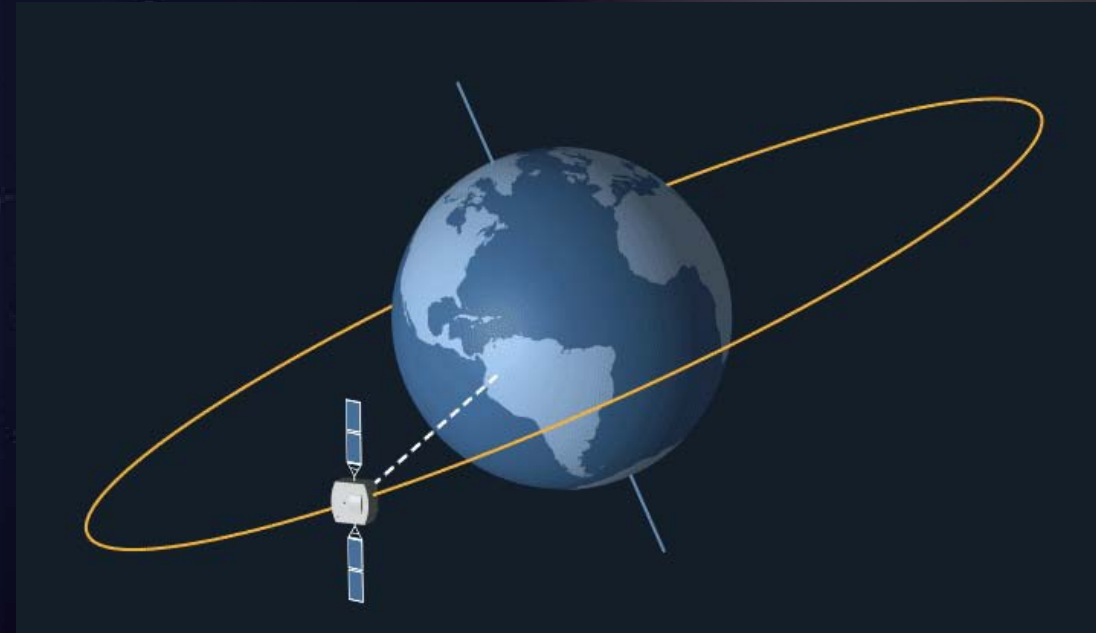


Porque girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

O satélite precisa estar apontado para uma direção por diversos motivos específicos de cada missão, entre eles:

- Apontamento de câmera.
- Apontamento de antena para comunicação.
- Apontamento de sensores em geral.
- Apontamento para iniciar um empuxo.
- Apontamento para manter um empuxo.

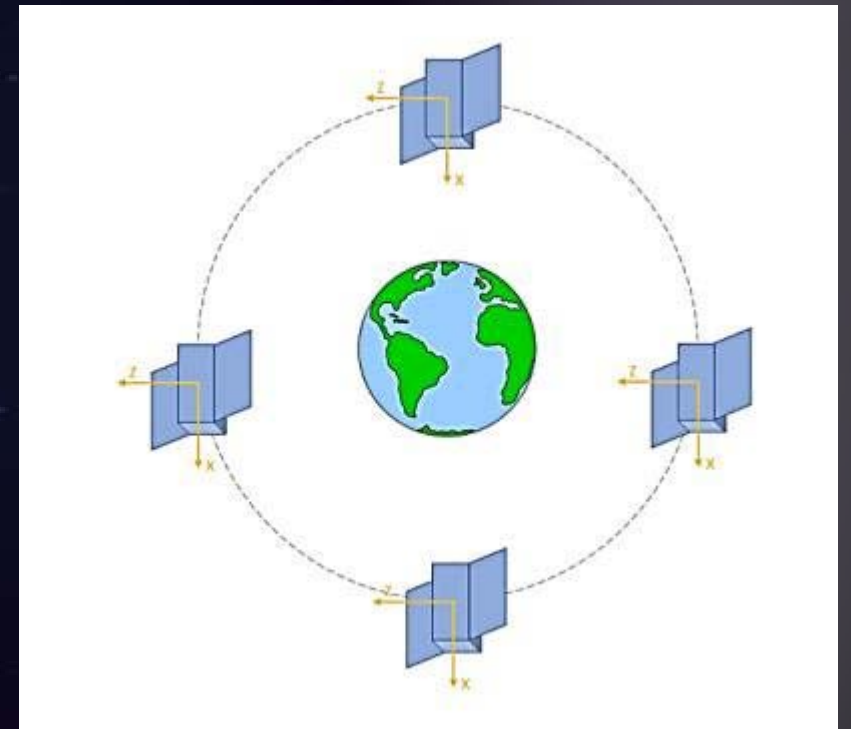


Porque girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

O satélite precisa estar apontado para uma direção por diversos motivos específicos de cada missão, entre eles:

- Apontamento de câmera.
- Apontamento de antena para comunicação.
- Apontamento de sensores em geral.
- Apontamento para iniciar um empuxo.
- Apontamento para manter um empuxo.

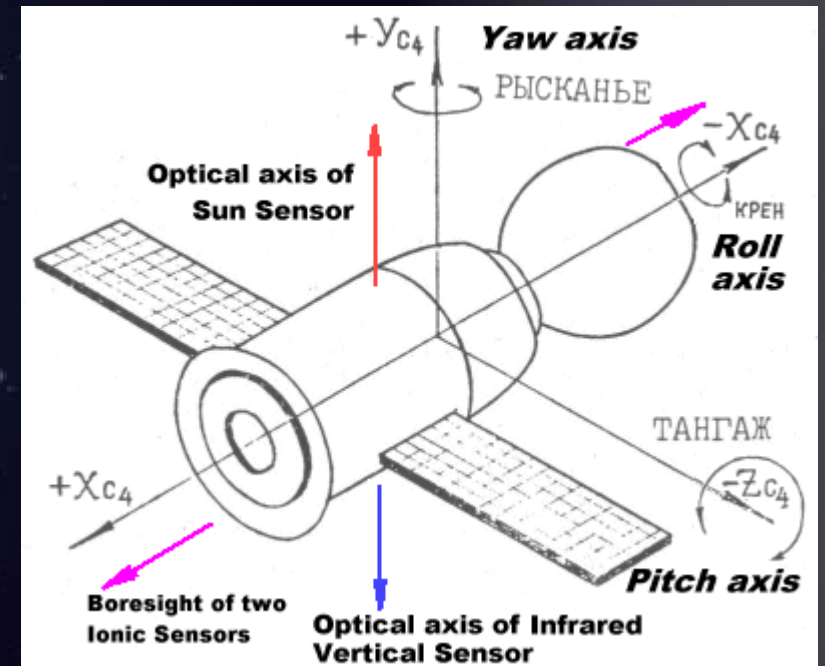


Porque girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

O satélite precisa estar apontado para uma direção por diversos motivos específicos de cada missão, entre eles:

- Apontamento de câmera.
- Apontamento de antena para comunicação.
- Apontamento de sensores em geral.
- Apontamento para iniciar um empuxo.
- Apontamento para manter um empuxo.

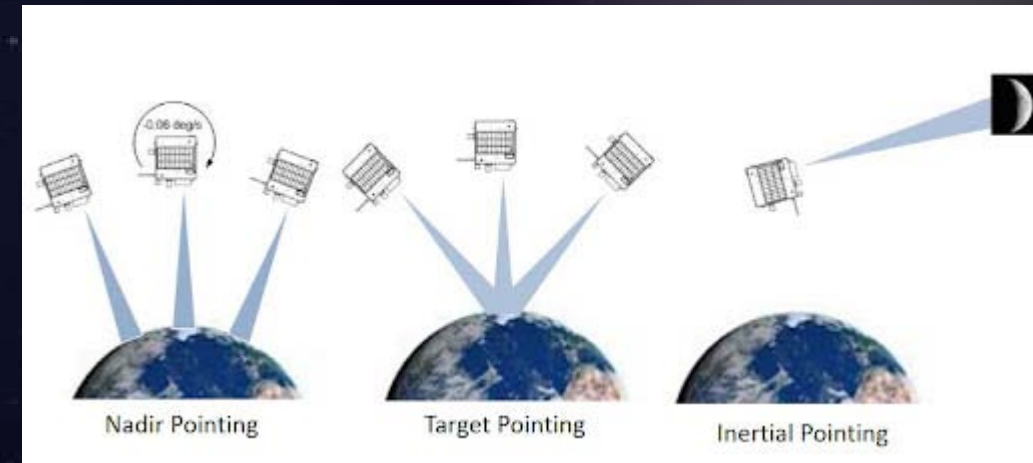


Porque girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

O satélite precisa estar apontado para uma direção por diversos motivos específicos de cada missão, entre eles:

- Apontamento de câmera.
- Apontamento de antena para comunicação.
- Apontamento de sensores em geral.
- Apontamento para iniciar um empuxo.
- Apontamento para manter um empuxo.



Porque girar um veículo espacial?

O satélite no espaço.

O satélite precisa estar apontado para uma direção por diversos motivos específicos de cada missão, entre eles:

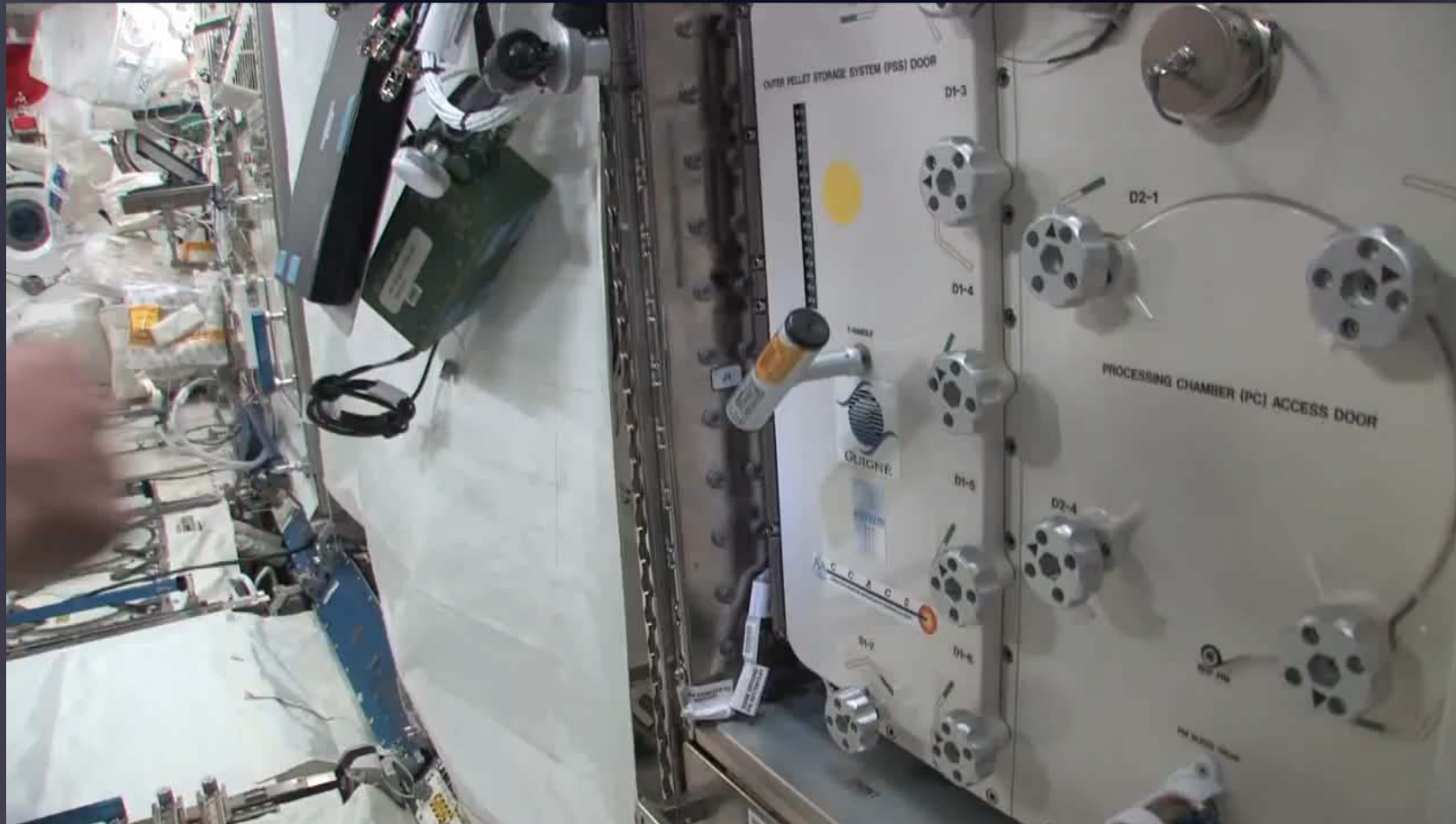
- Apontamento de câmera.
- Apontamento de antena para comunicação.
- Apontamento de sensores em geral.
- Apontamento para iniciar um empuxo.
- Apontamento para manter um empuxo.



Como girar no espaço?



Efeito Dzhanibekov, teorema do eixo intermediário ou teorema da raquete de tênis.



<https://www.youtube.com/watch?v=1n-HMSCDYtM>

Como girar no espaço?



Efeito Dzhanibekov, teorema do eixo intermediário ou teorema da raquete de tênis.



<https://www.youtube.com/watch?v=REUg34jnOnQ>

Como girar no espaço?



Efeito Dzhanibekov, teorema do eixo intermediário ou teorema da raquete de tênis.



https://www.youtube.com/watch?v=L2o9eBI_Gzw

Referências



Figuras

- imagem <https://www.flickr.com/photos/sthomasphotos/8864670139>
- <https://www.droneybee.com/how-to-fly-rc-planes/roll-pitch-yaw/>
- <http://www.kitelas.com.br/produto/2528/cabo-para-vassoura-de-madeira-sem-revestimento-paraboni>
- <http://www.paraboni.com.br/index.php/cabos/cabo-para-vassoura.html>
- <https://autopapo.uol.com.br/noticia/balanceamento-o-que-e-quando-fazer/>
- <https://teclub.com.br/2017/07/30/o-que-fazer-quando-o-carro-atola/>
- https://www.researchgate.net/publication/43655142_Fundamentos_de_tecnologia_espacial/figures?lo=1
- <https://www.bbc.com/news/science-environment-58120874>
- https://en.wikipedia.org/wiki/Ion_thruster
- https://www.researchgate.net/publication/331047730_FS2017_An_opportunity_to_train_students_in_the_sciences_and_space_technologies/figures?lo=1&utm_source=google&utm_medium=organic
- <https://spaceflight101.com/pslv-c30/lapan-a2/>
- <https://solarsystem.nasa.gov/basics/chapter11-2/>

END OF LINE ■

Muito obrigado!

