

# Noções básicas de vôo espacial (*Basics of Space Flight*)

Capítulos 4 a 6

David Doody

[solarsystem.nasa.gov/basics/](http://solarsystem.nasa.gov/basics/)

CAP382 Tópicos em Tecnologias Espaciais

E. F. M.

26 de outubro de 2010

# Conteúdo

Trajetórias (Cap. 4)

Órbitas Planetárias (Cap. 5)

Eletromagnetismo (Cap. 6)

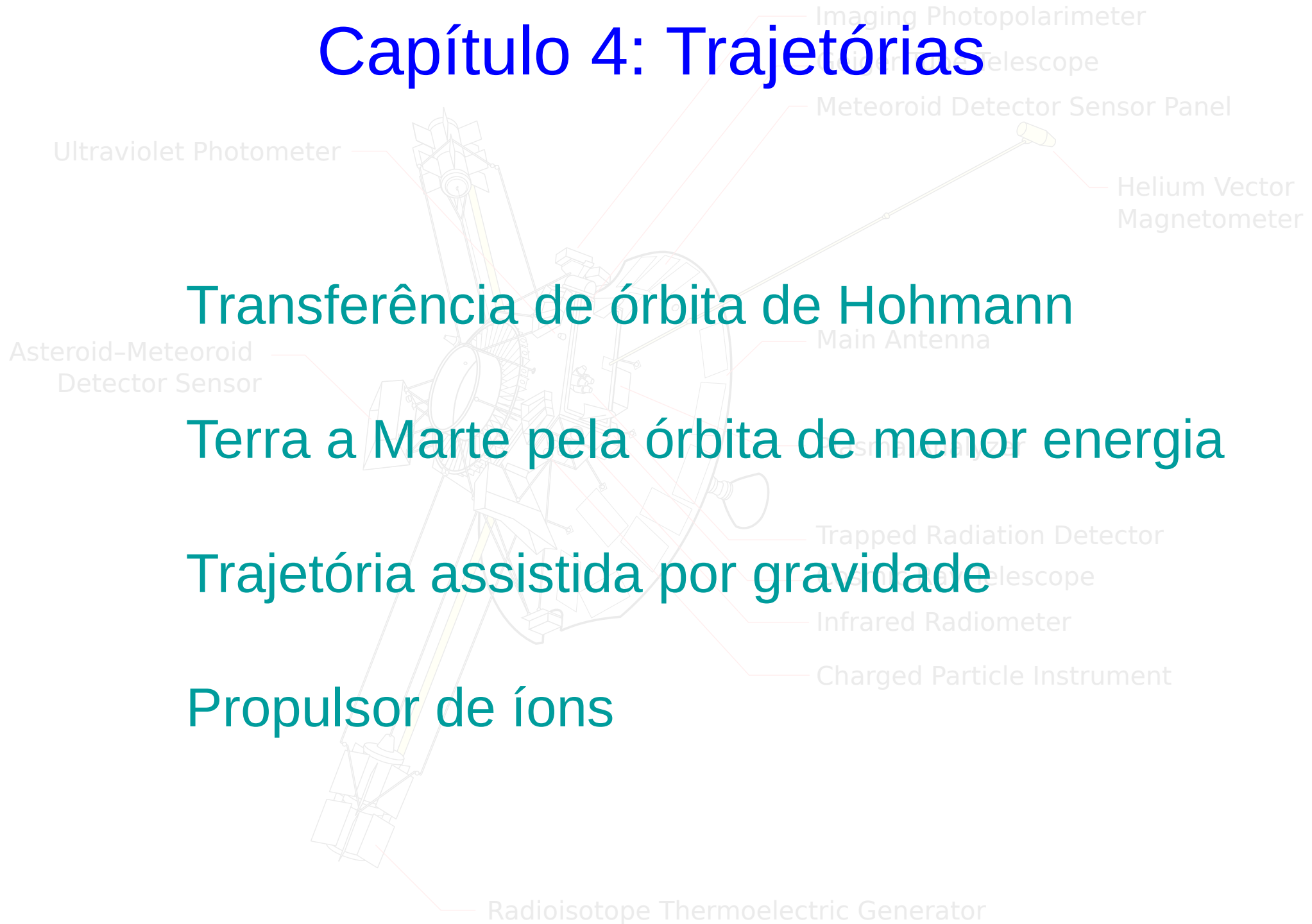
# Capítulo 4: Trajetórias

Transferência de órbita de Hohmann

Terra a Marte pela órbita de menor energia

Trajetória assistida por gravidade

Propulsor de íons



# Órbita de transferência de Hohmann

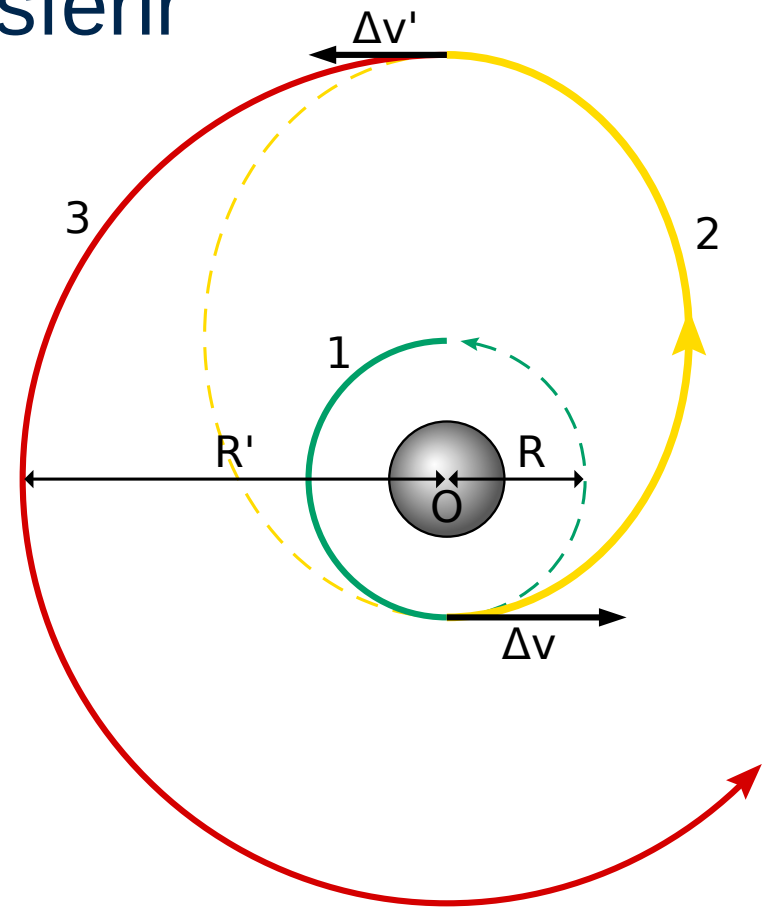
Órbita elíptica usada para transferir entre duas órbitas circulares

Menor quantidade possível de propelente (energia)

Sincronia com o destino

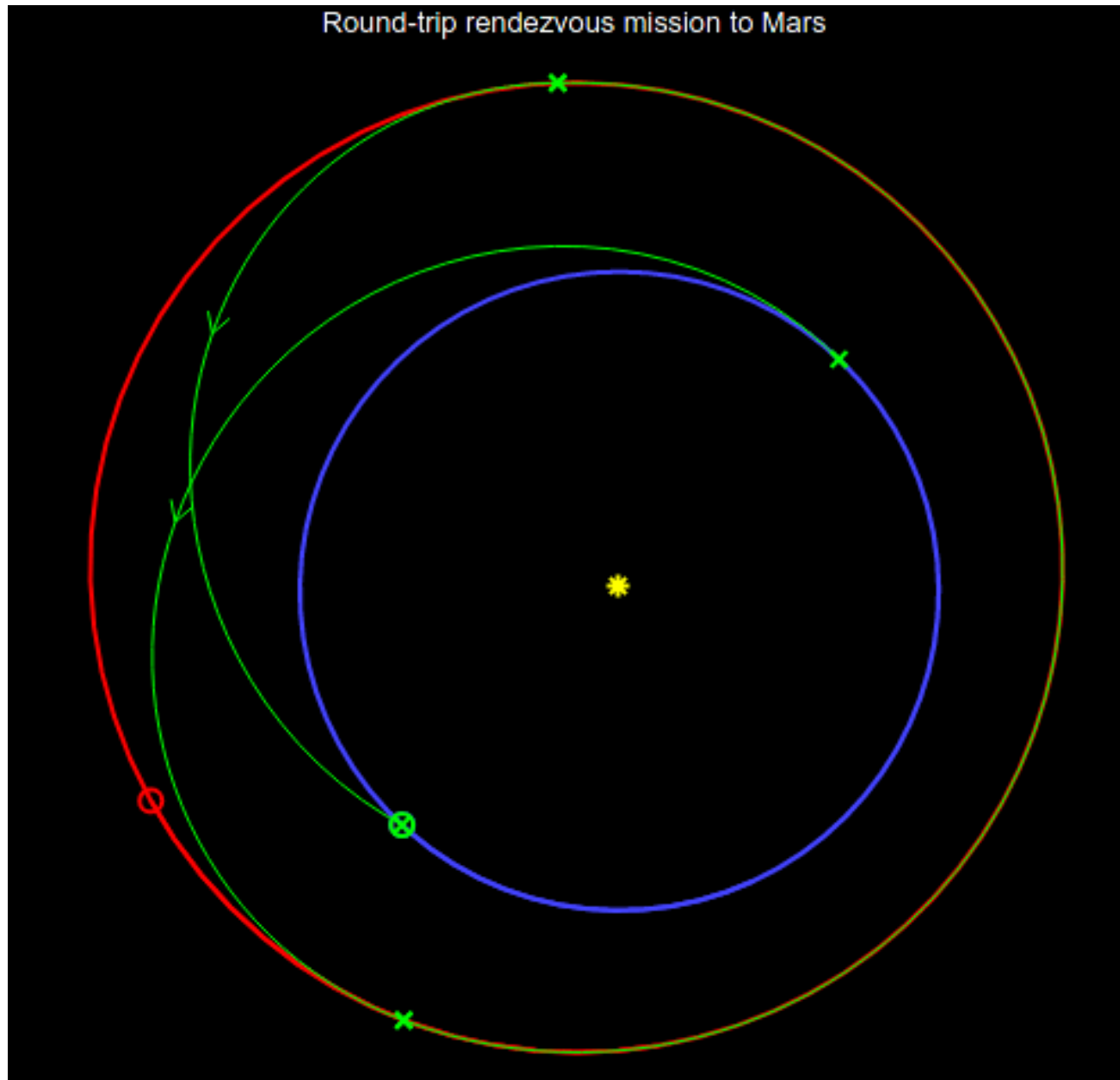
Aceleração tangencial à órbita atual, na direção desejada

Manobras para entrar nas órbitas

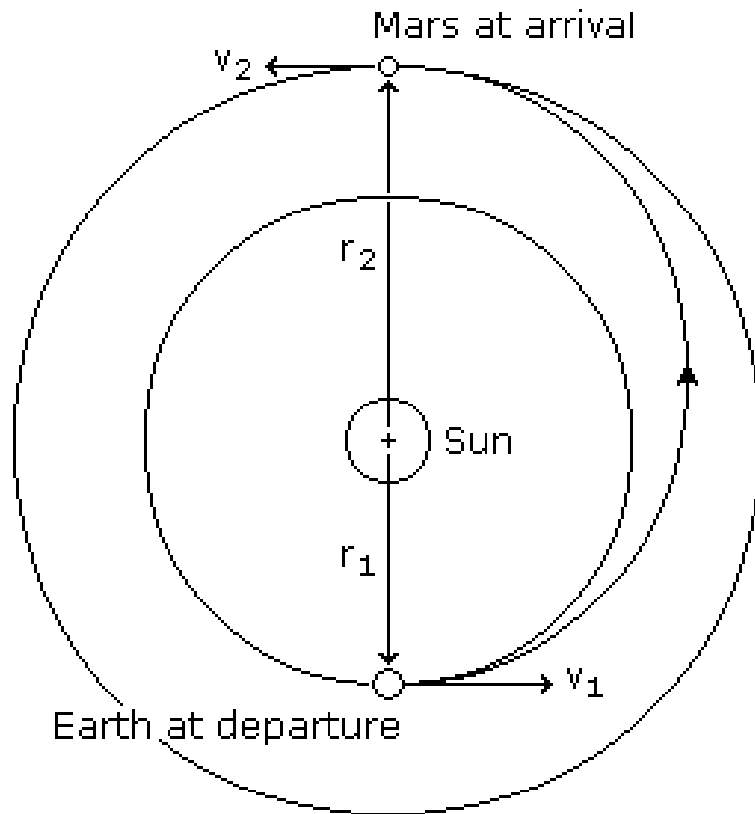


*Wikimedia*

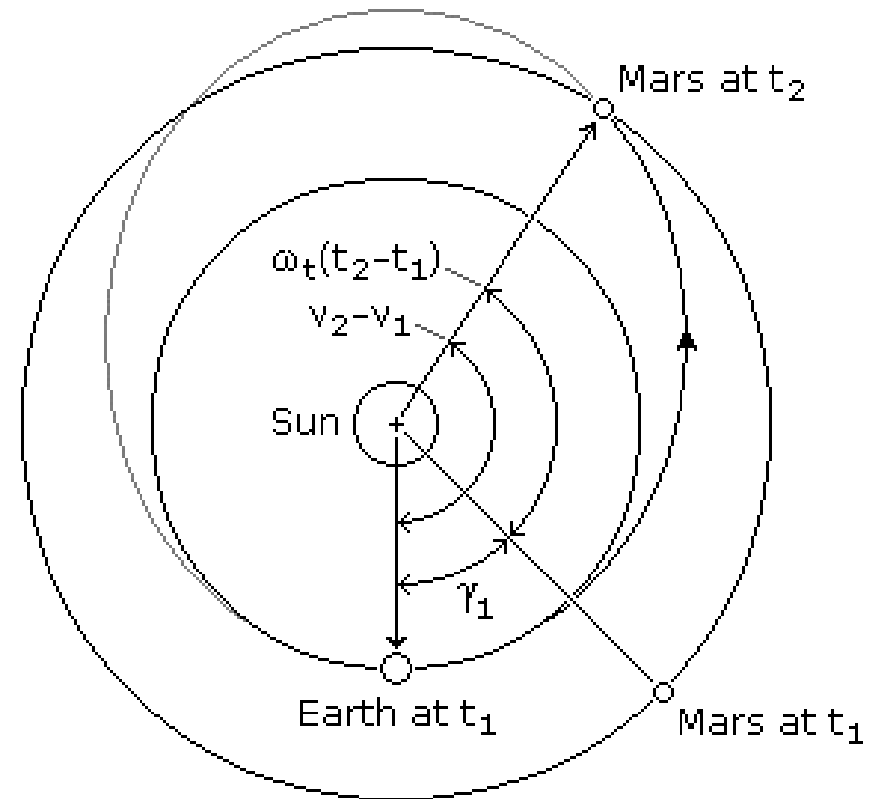
# Órbita de transferência de Hohmann



# Trajetórias tipo I e II

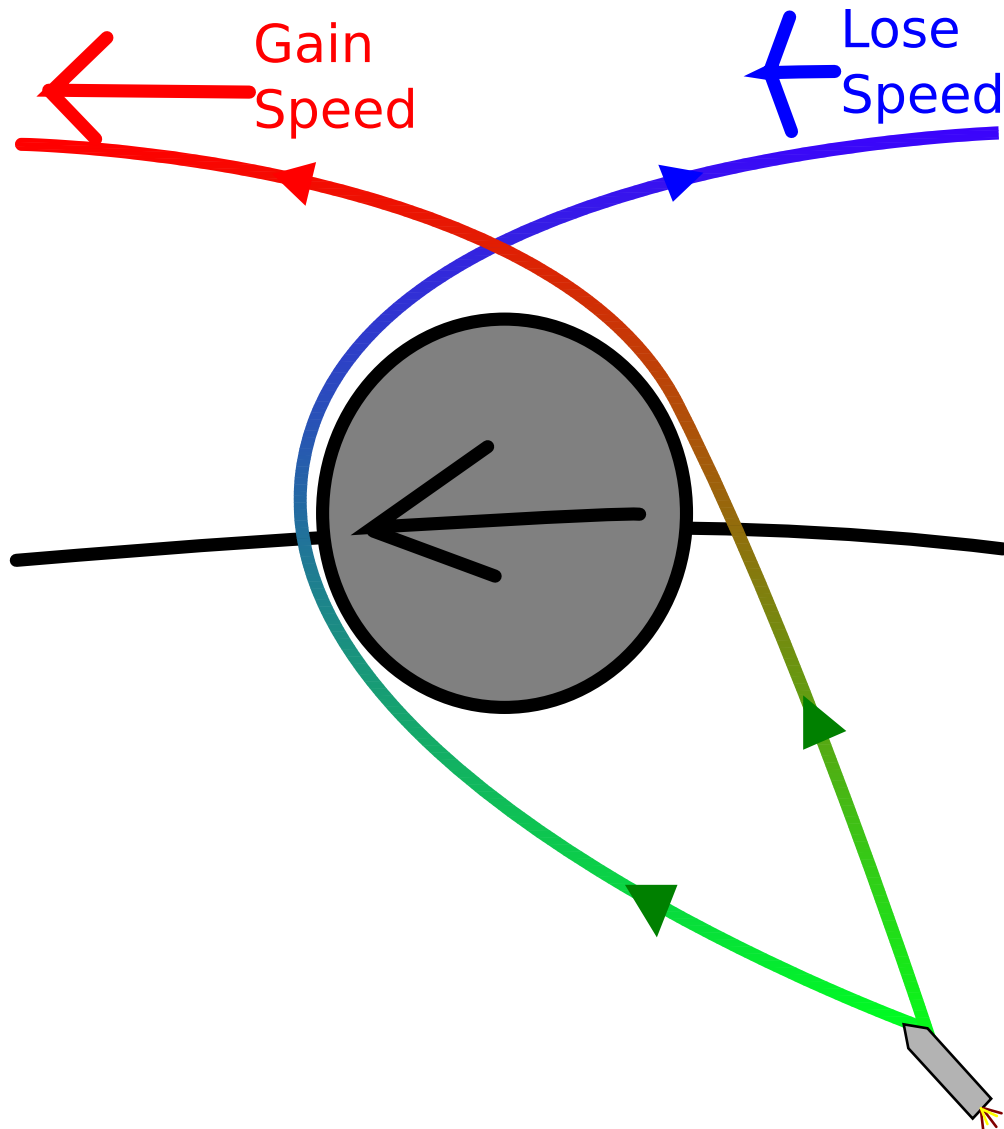


Tipo I :  $<180^\circ$



Tipo II :  $\geq 180^\circ$

# Trajetória assistida por gravidade



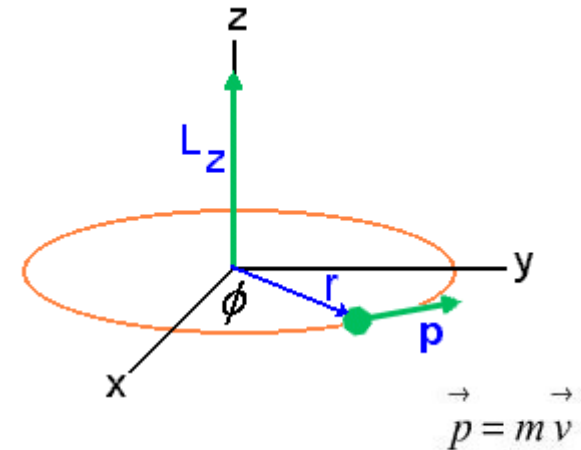
Momento angular é transferido da órbita do planeta para a espaçonave se aproximando

O planeta perde energia orbital

Adiciona velocidade relativa ao sol

# Momento angular (L)

O momento angular pode ser aproveitado para acelerar uma espaçonave

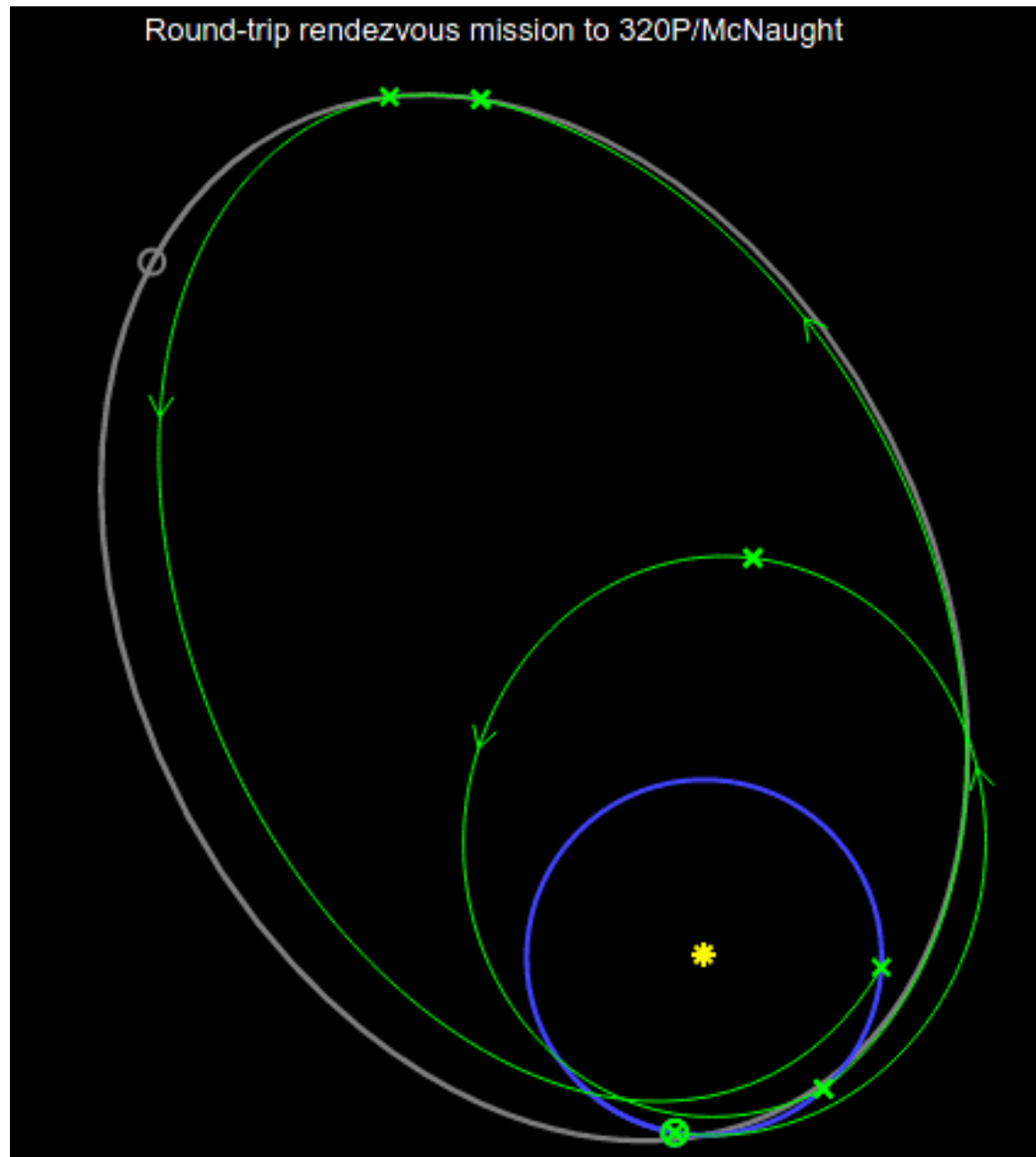


“Ao encolher os braços o momento de inércia diminui e a velocidade de rotação aumenta. Tal efeito é garantido pela conservação do momento angular.”

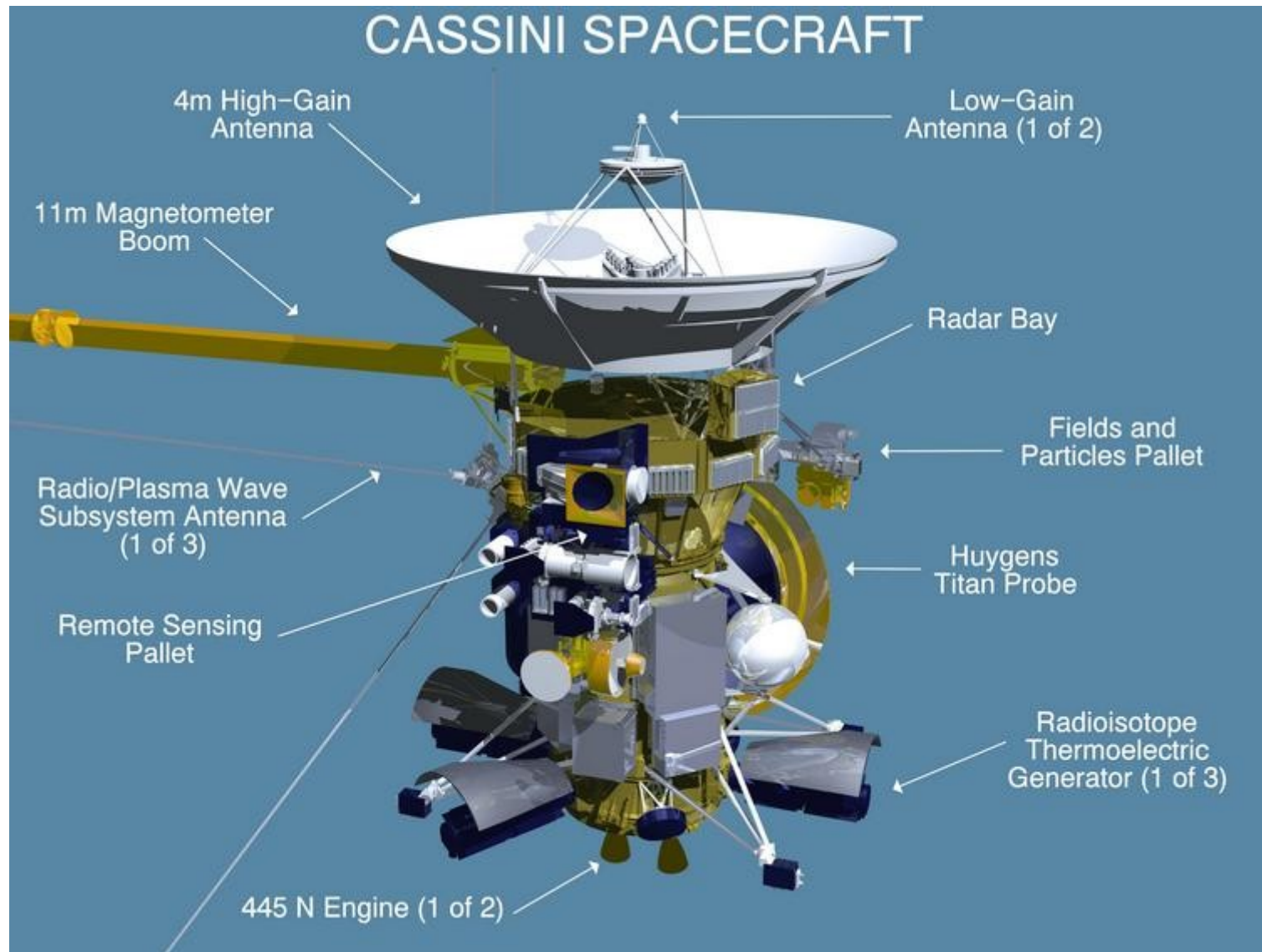
[propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/leis-de-conservacao/momento-angular](http://propg.ufabc.edu.br/mnpef-sites/leis-de-conservacao/momento-angular)



# Simulação missão cometa McNaught

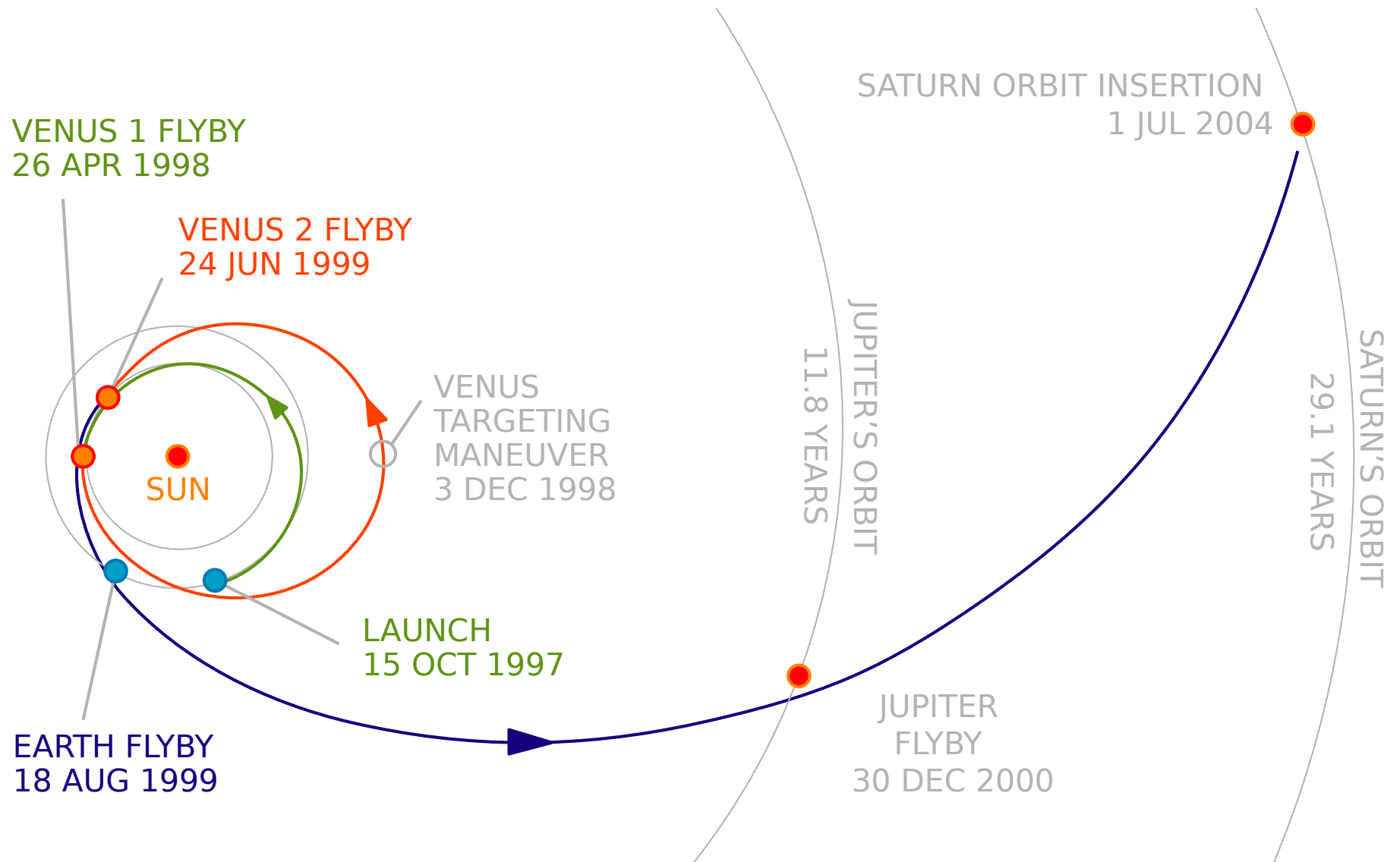


# Cassini (missão a Saturno)

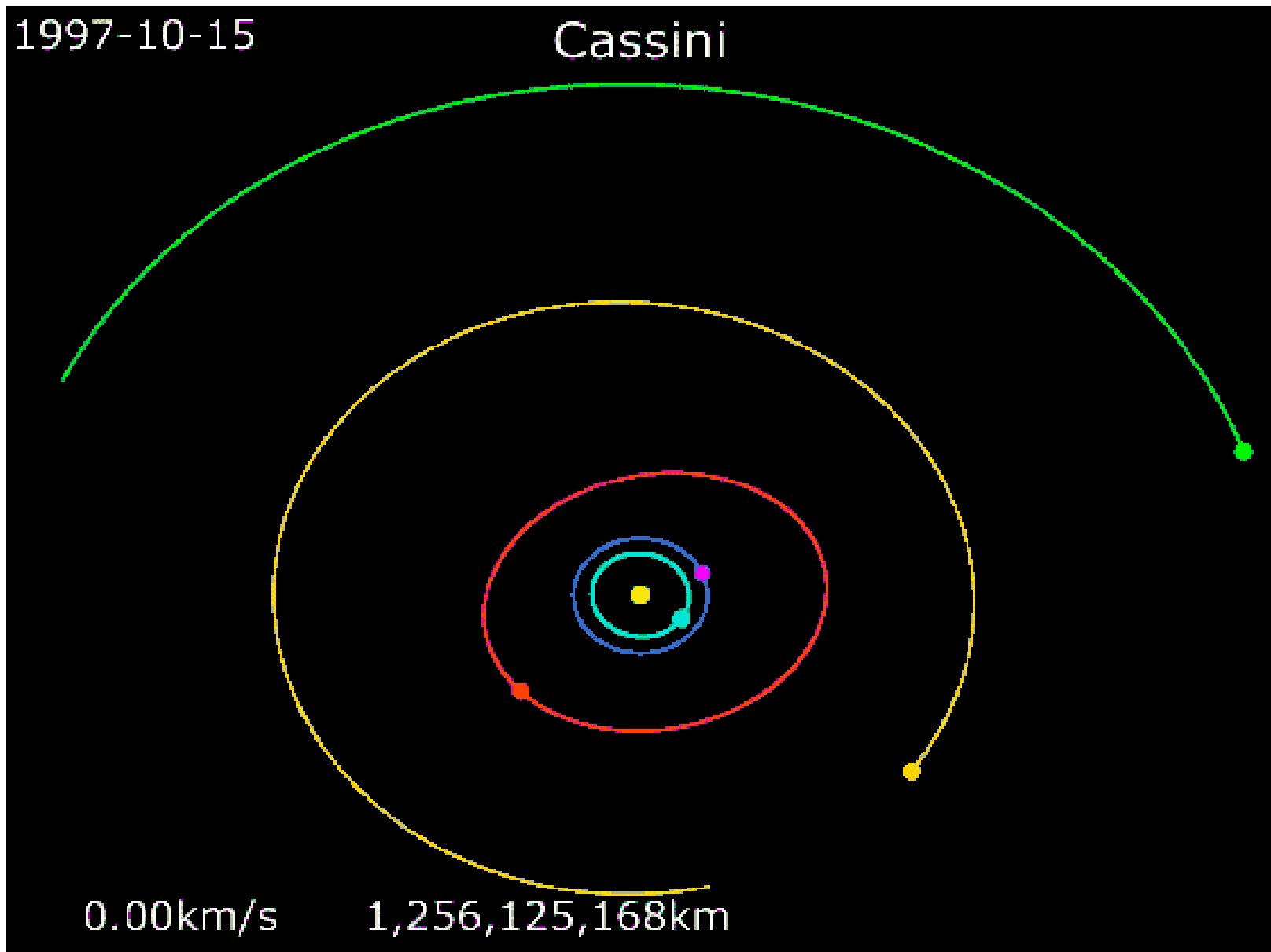


[solarsystem.nasa.gov](http://solarsystem.nasa.gov)

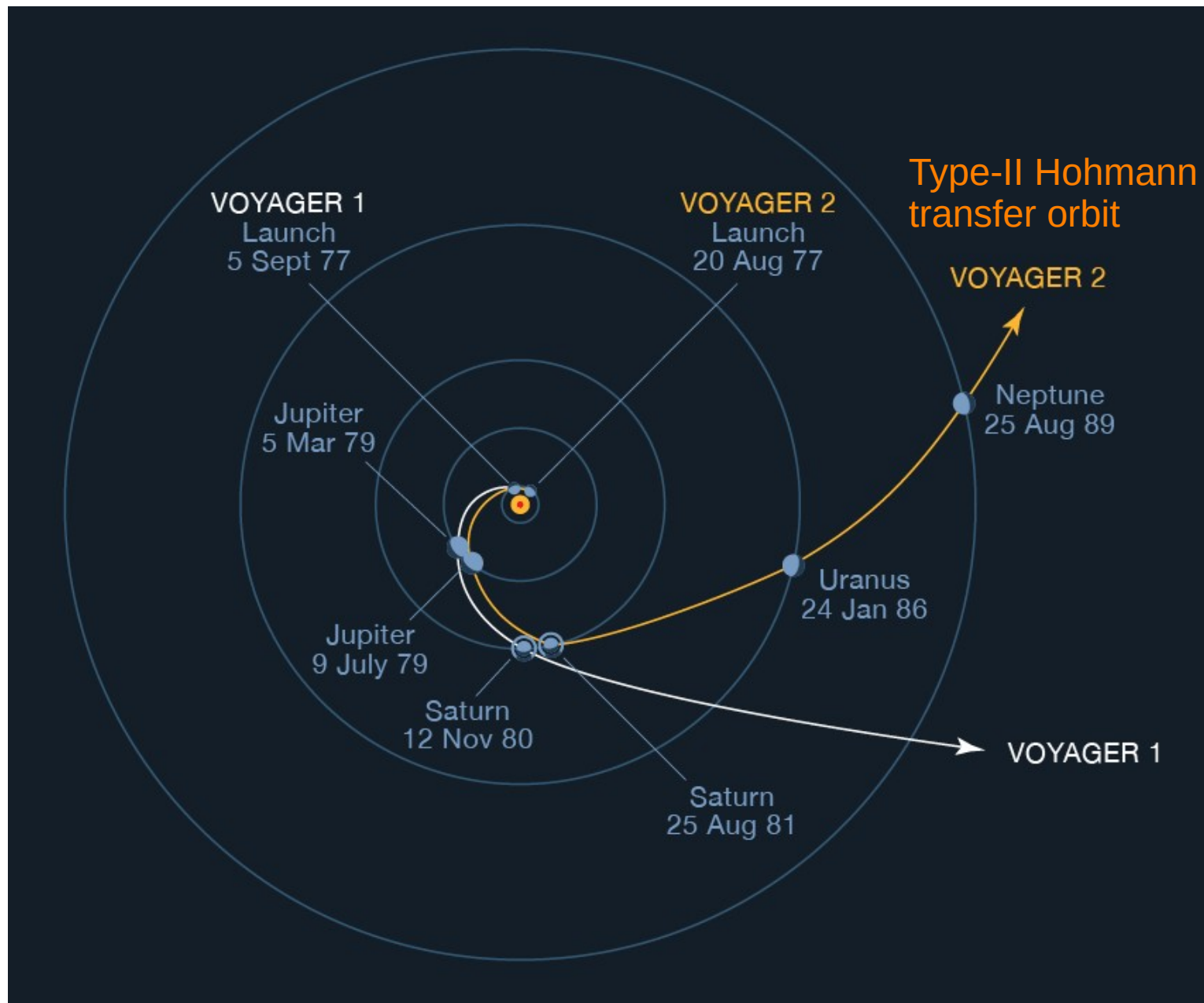
# Trajetória da Cassini



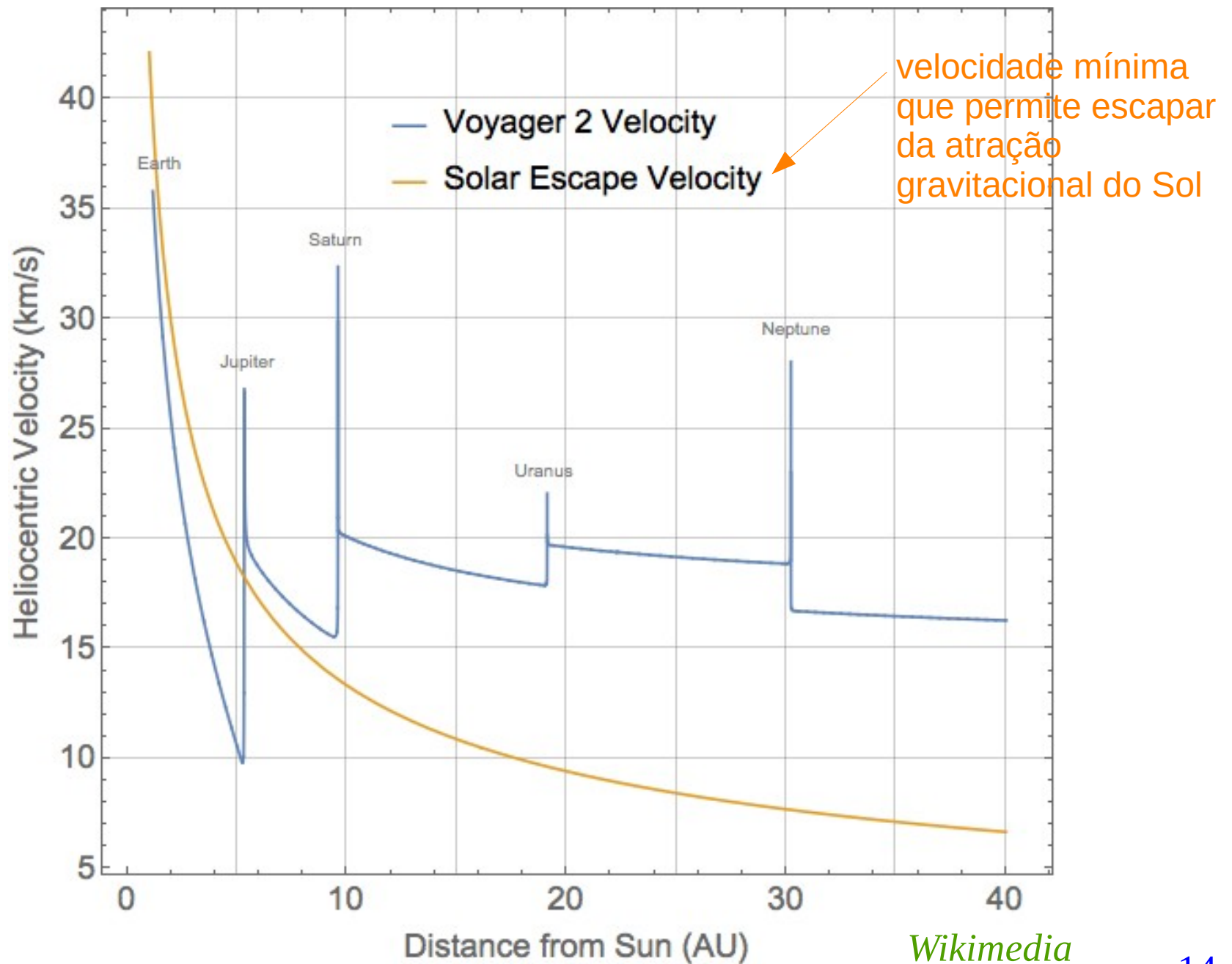
# Trajetoária da Cassini



# Voyager 1 e 2



# Mudanças de velocidade da Voyager





# Propulsor de íons

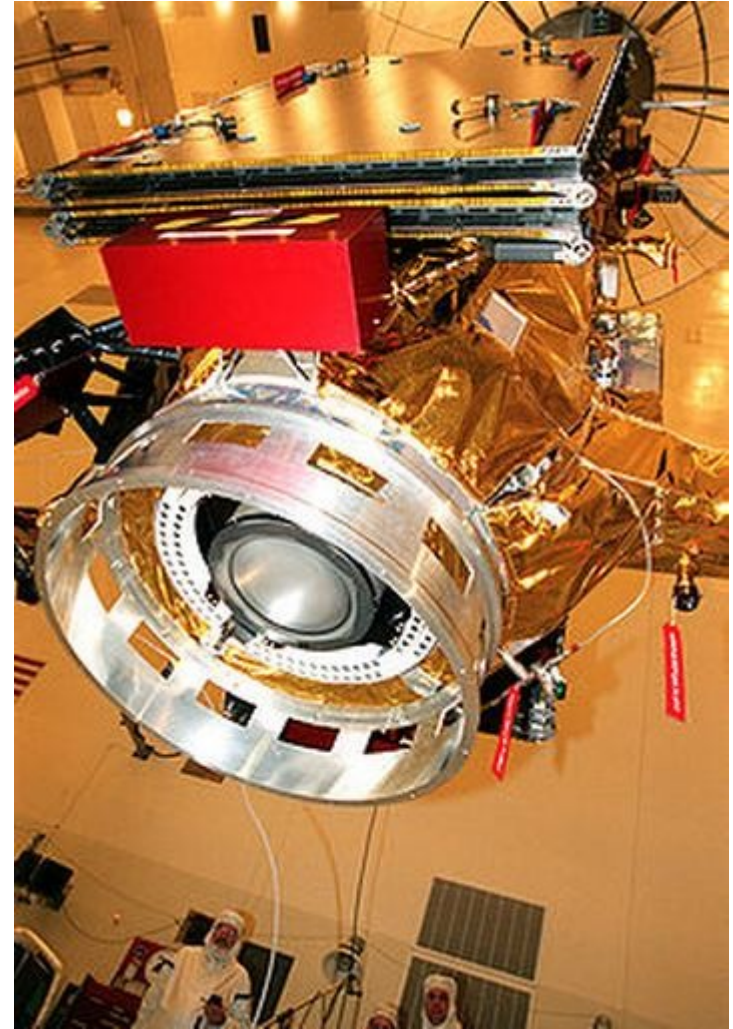
Propelente + energia solar

Ioniza um gás inerte e o acelera

Ganhos em eficiência, massa, lançamento, custo

Impulso suave, longo período, baixa aceleração

~895 satélites Starlink SpaceX  
(24/10/20)



*Deep Space 1. Wikimedia*

# Capítulo 5: Órbitas Planetárias

Parâmetros e elementos orbitais

Tipos de órbitas

Órbita de transferência geossíncrona

Órbitas polares

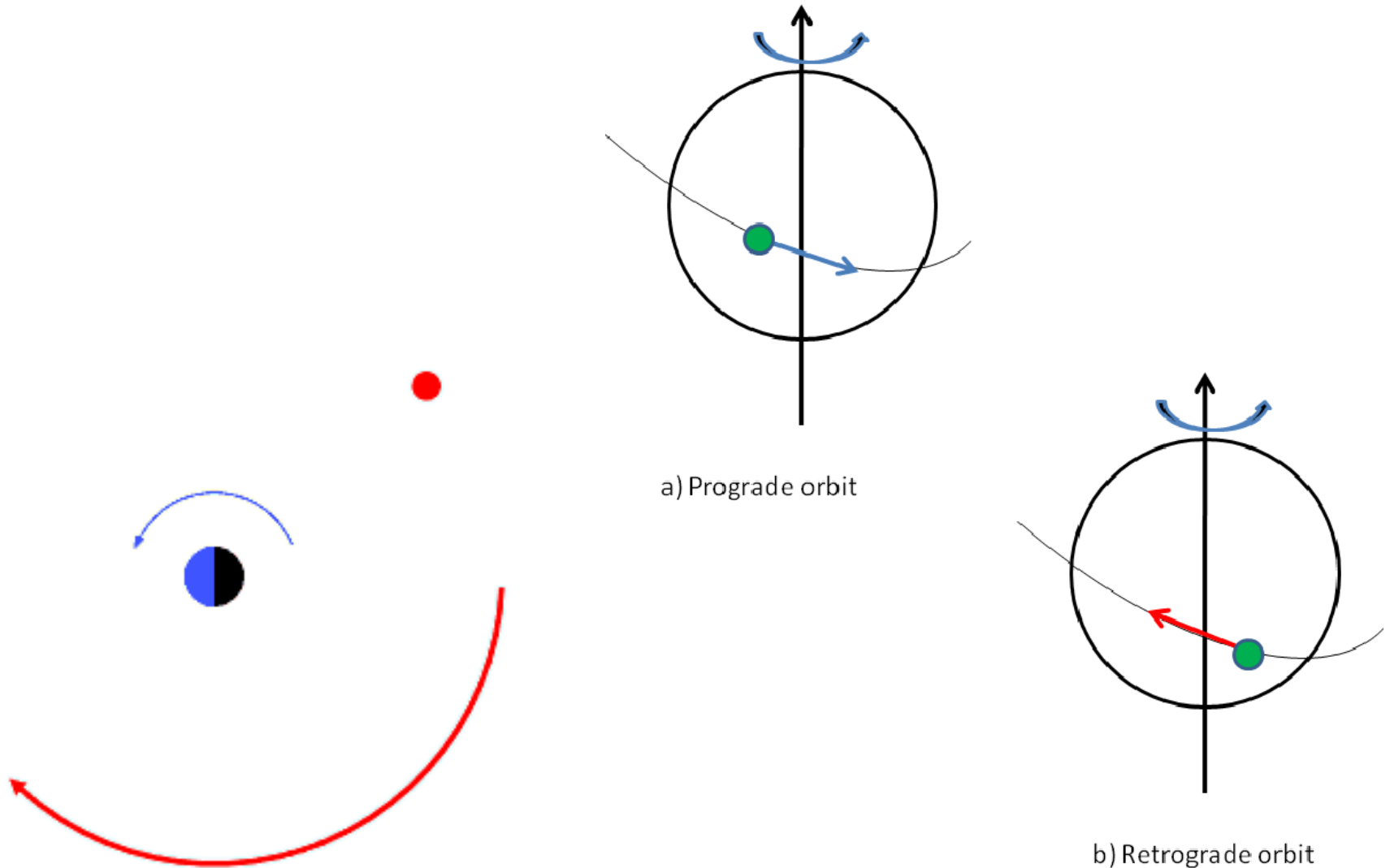
Órbitas de precessão

Órbitas síncronas do Sol

Pontos de Lagrange e órbitas Halo

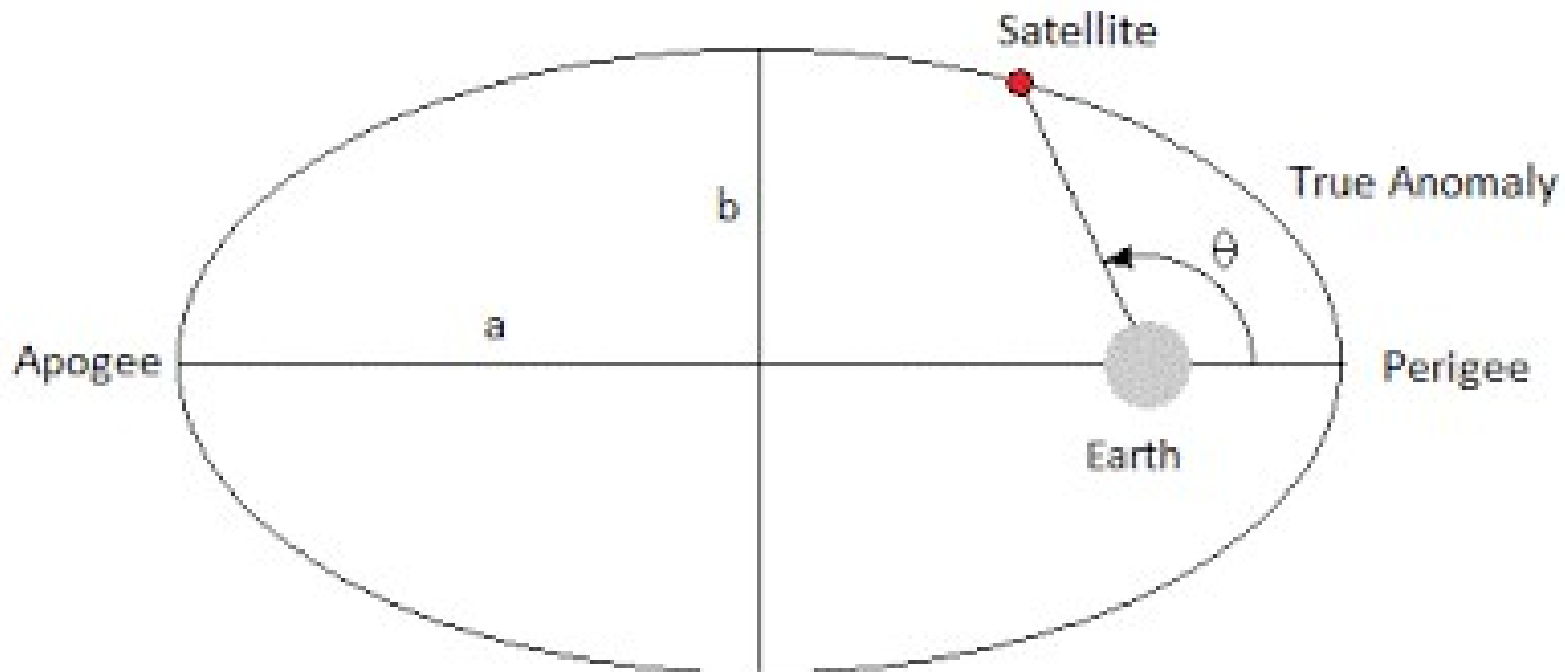


# Parâmetros e elementos orbitais - movimento prógrado e retrógrado



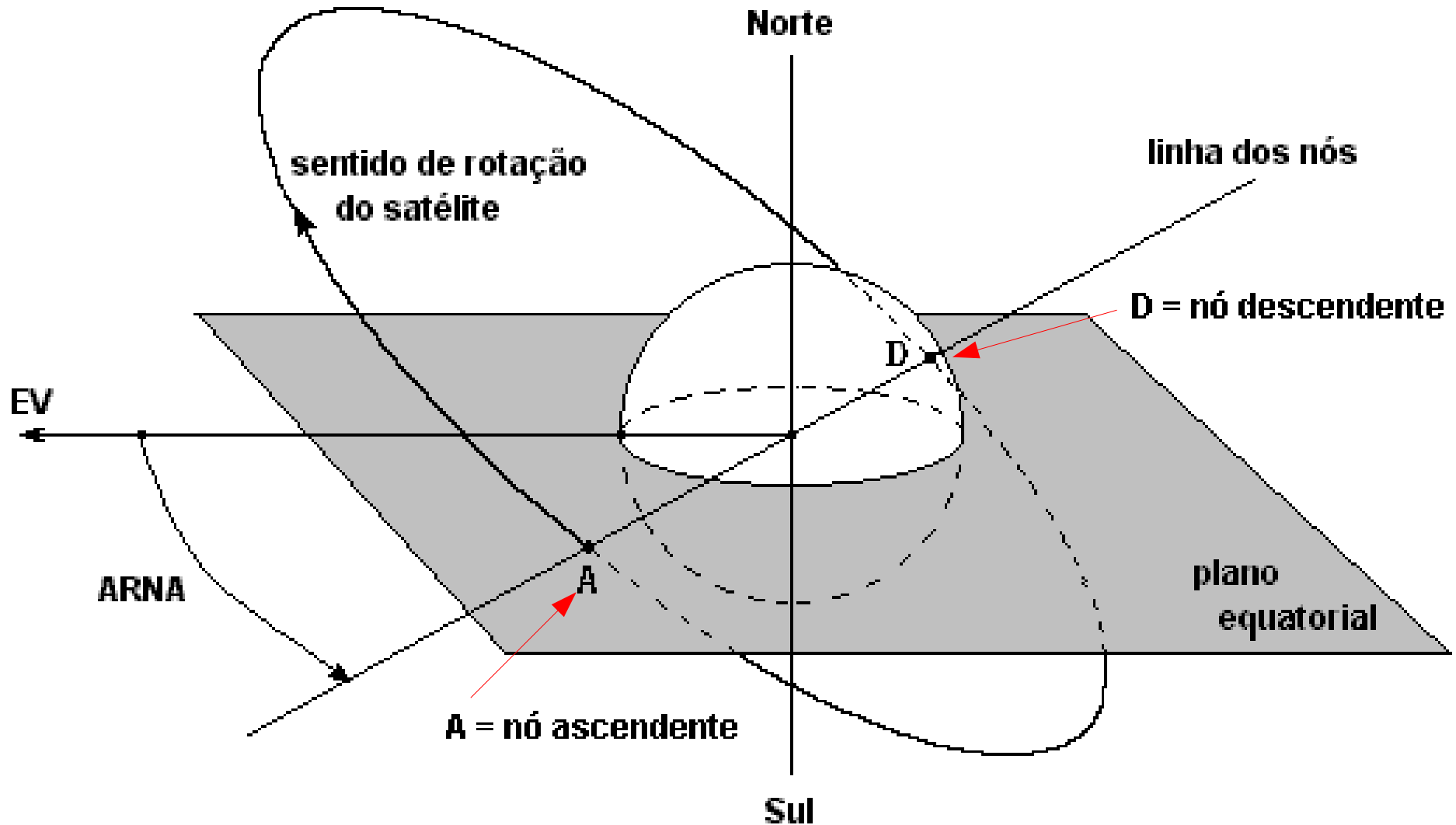
# Anomalia verdadeira

Ângulo que define a posição do corpo na órbita



[sat.belastro.net](http://sat.belastro.net)

# Nó descendente / ascendente



(definem a órbita em torno de outro corpo)

## Tempo da passagem pelo periastro

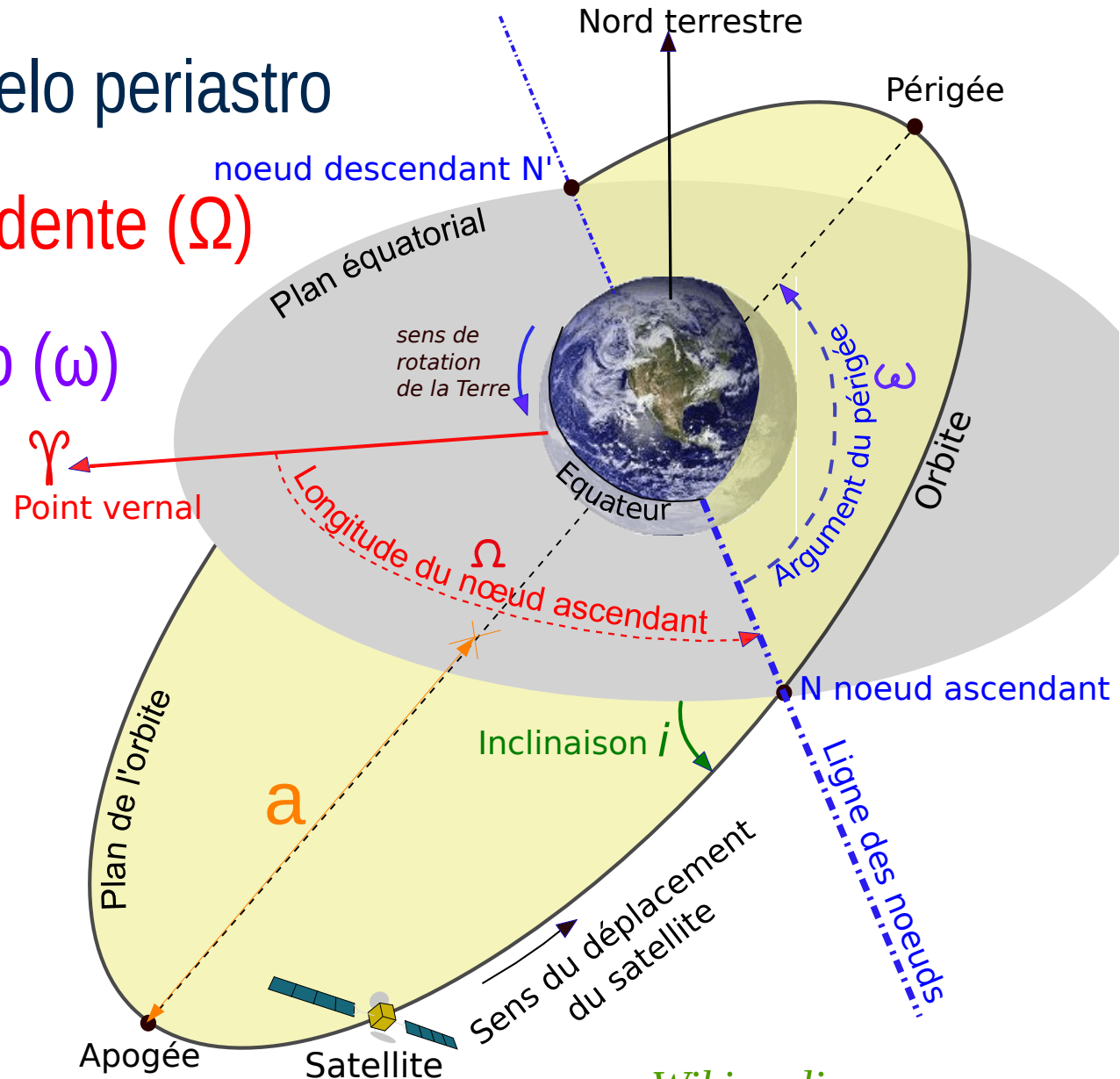
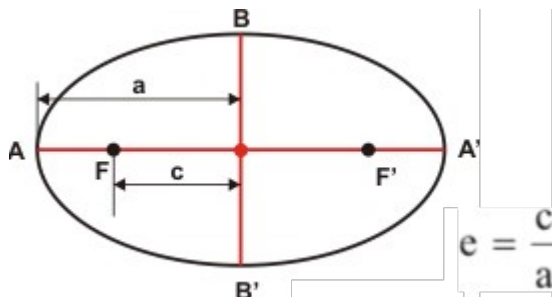
## Longitude do nó ascendente ( $\Omega$ )

## Argumento do periastro ( $\omega$ )

## Semieixo maior (a)

## Inclinação ( $i$ )

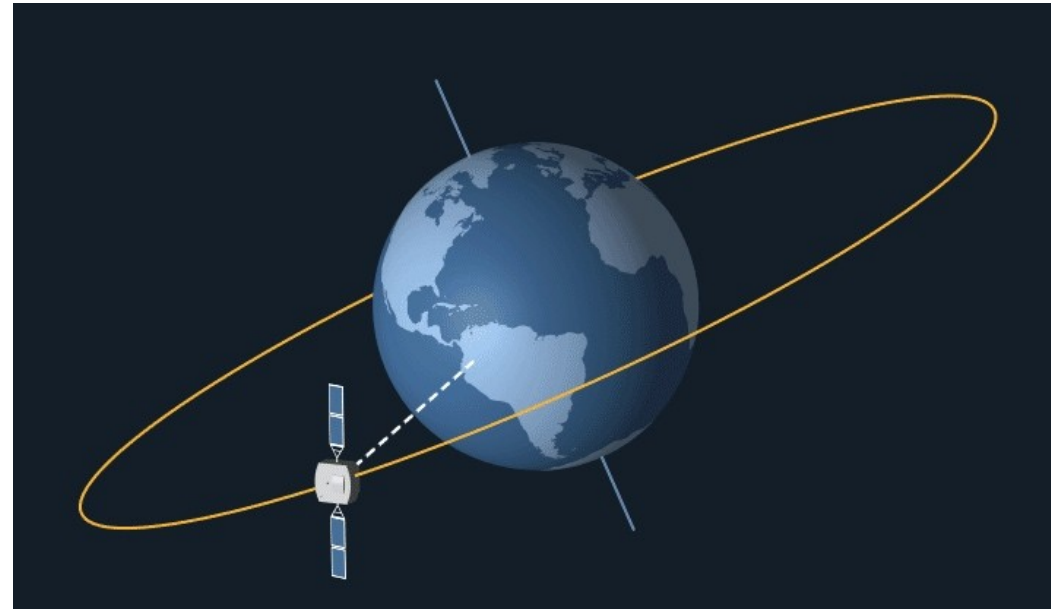
## Excentricidade (e)



# Tipos de órbitas

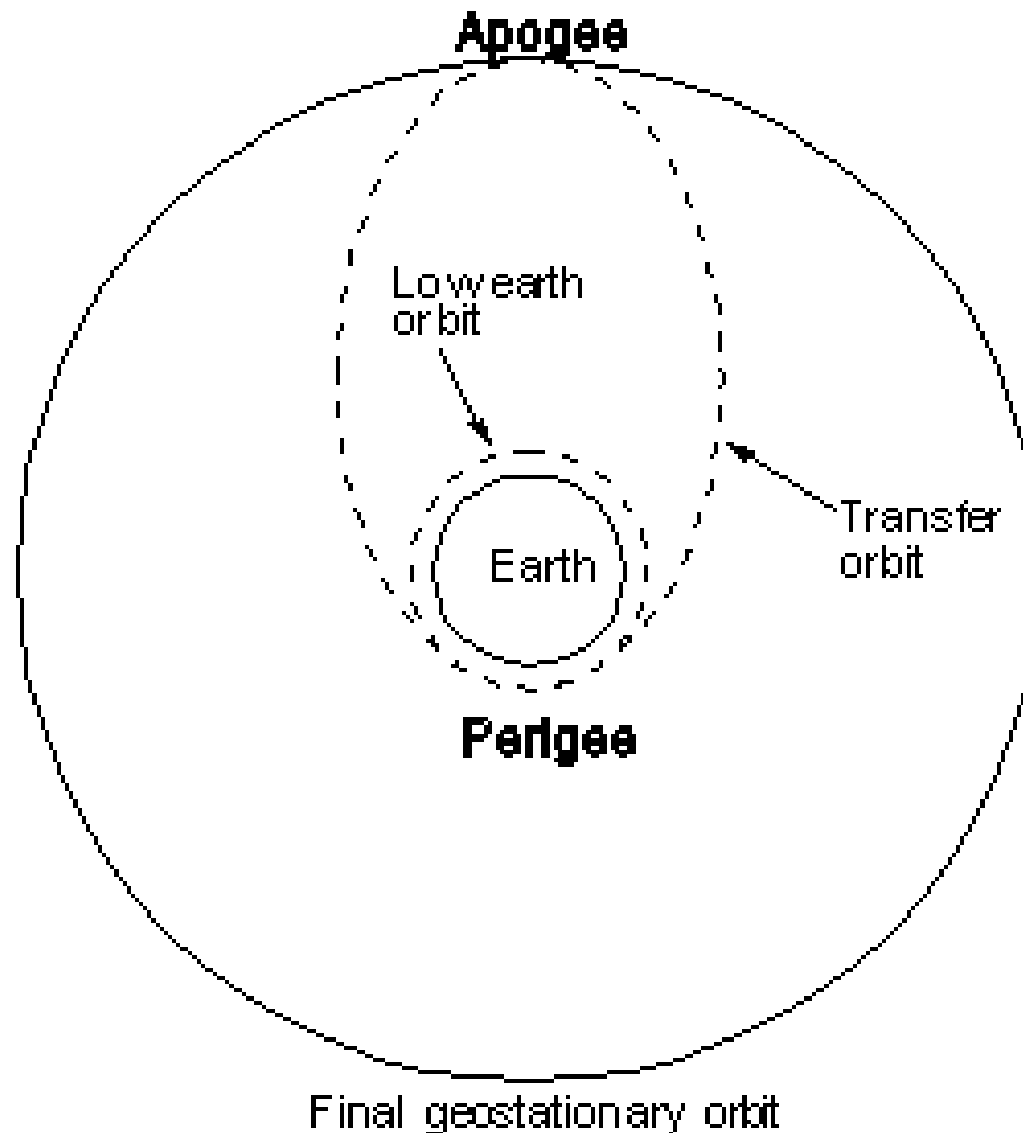
**Geossíncrona (GSO):** prógrada, baixa inclinação, período de um dia, todo dia a espaçonave retorna ao mesmo ponto no mesmo horário

**Geoestacionária (GTO)**  
GSO, excentricidade 0, a espaçonave parece sem movimento sobre um ponto na Terra



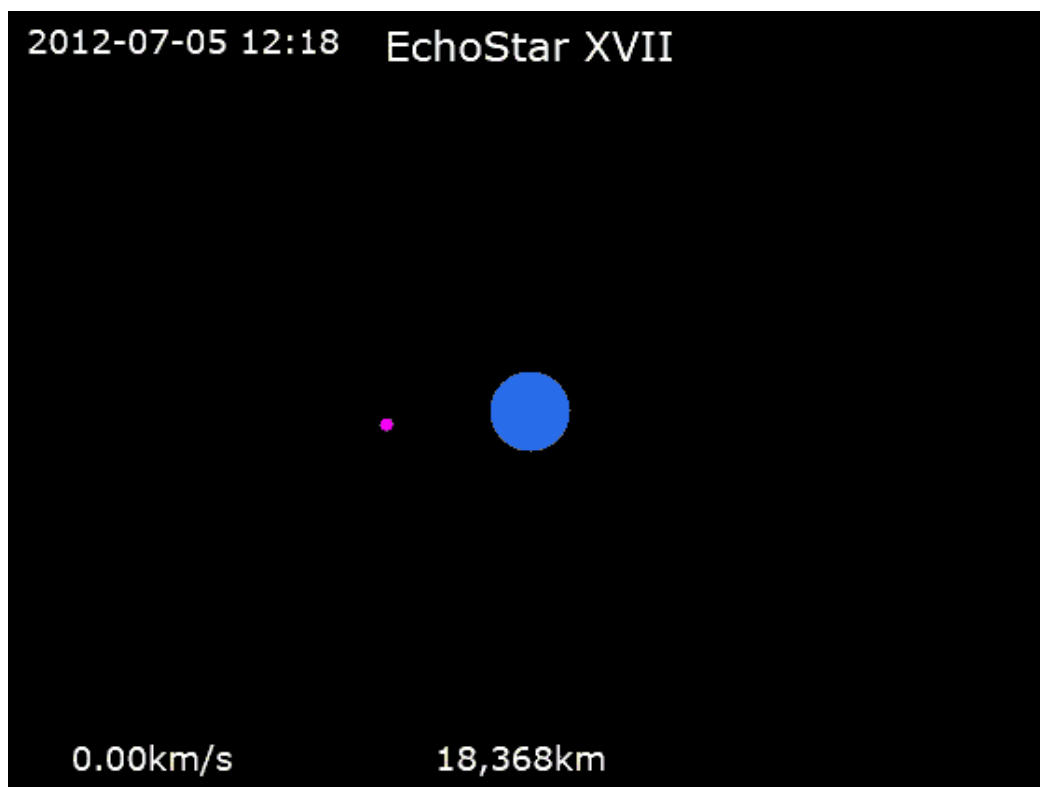
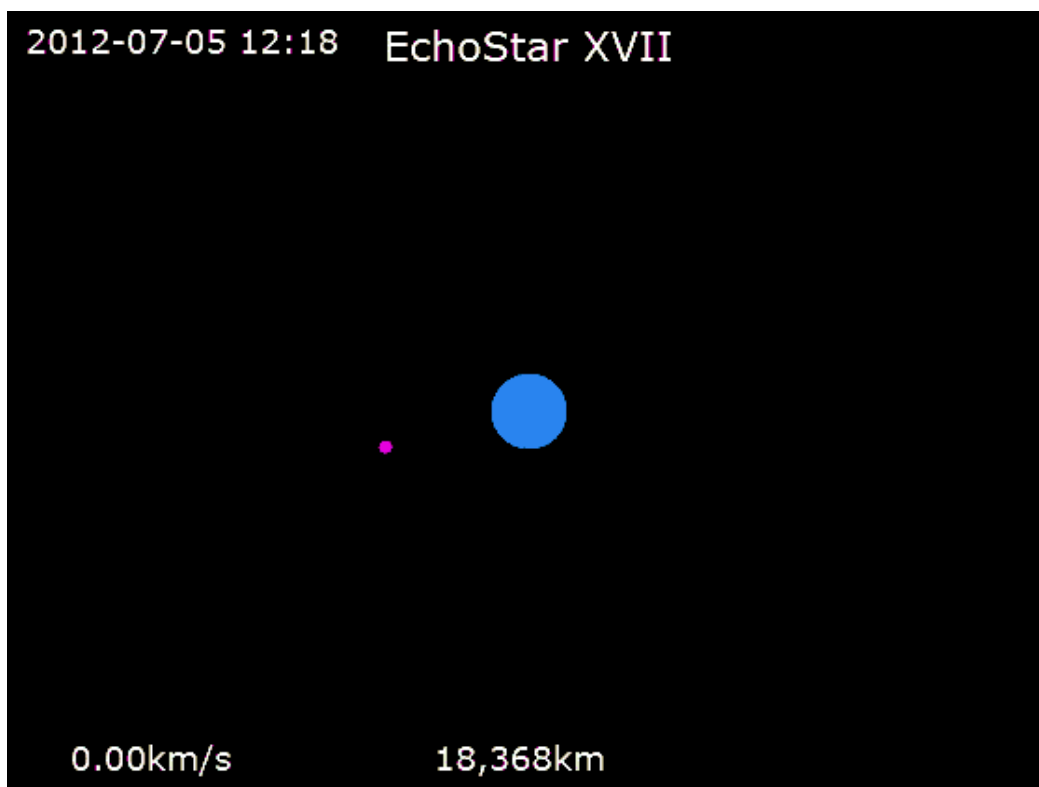
[solarsystem.nasa.gov](http://solarsystem.nasa.gov)

# Órbita de transferência geossíncrona



[semanticscholar.org](http://semanticscholar.org)

# Órbita de transferência geossíncrona

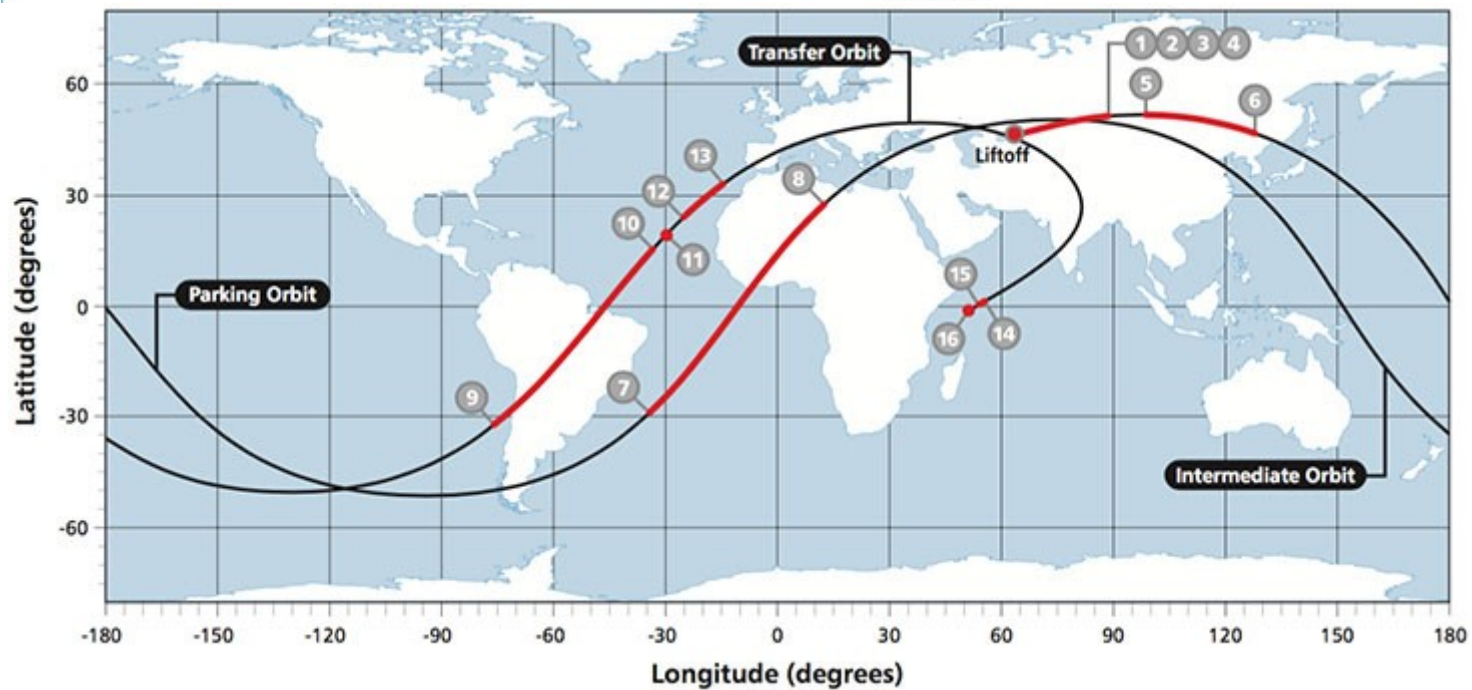
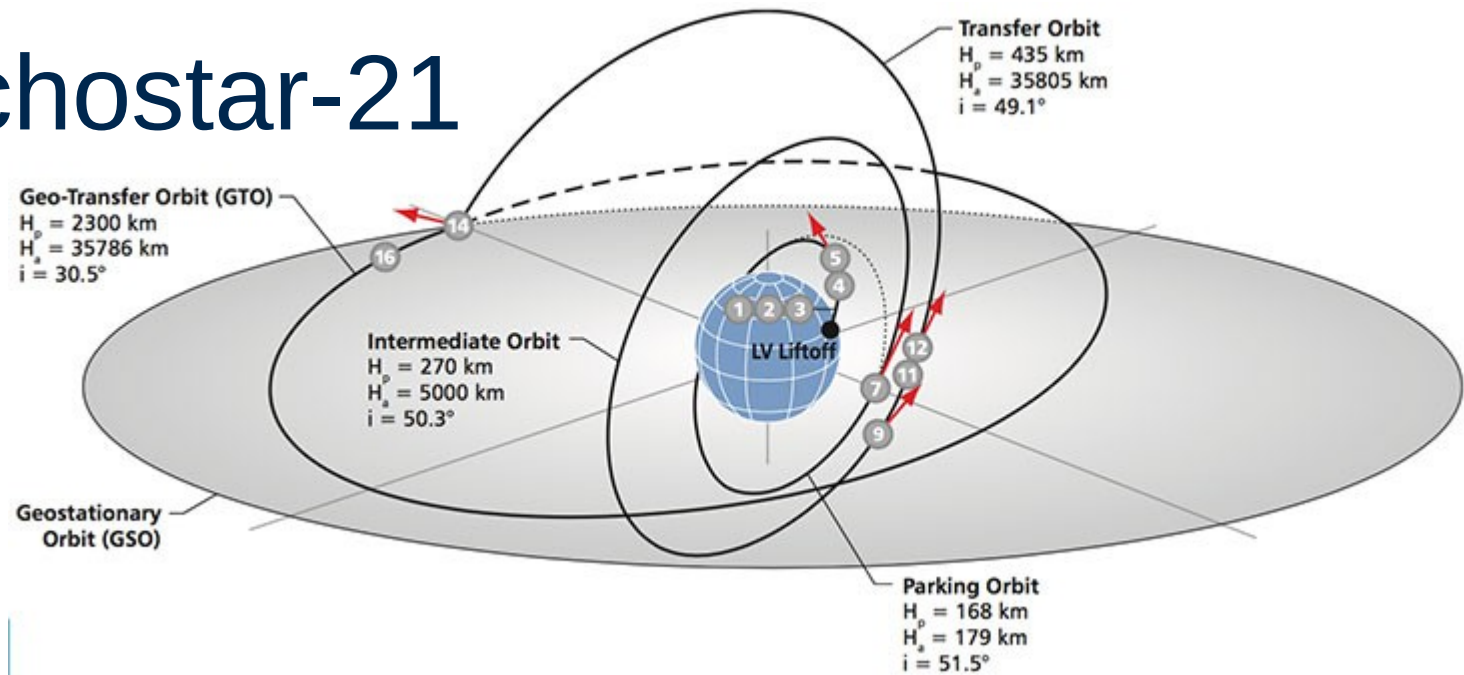


*Wikimedia*

EchoStar 17: comunicação, geoestacionário

# Órbita de transferência geossíncrona

## Echostar-21



[russianspaceweb.com/echostar-21.html](http://russianspaceweb.com/echostar-21.html)

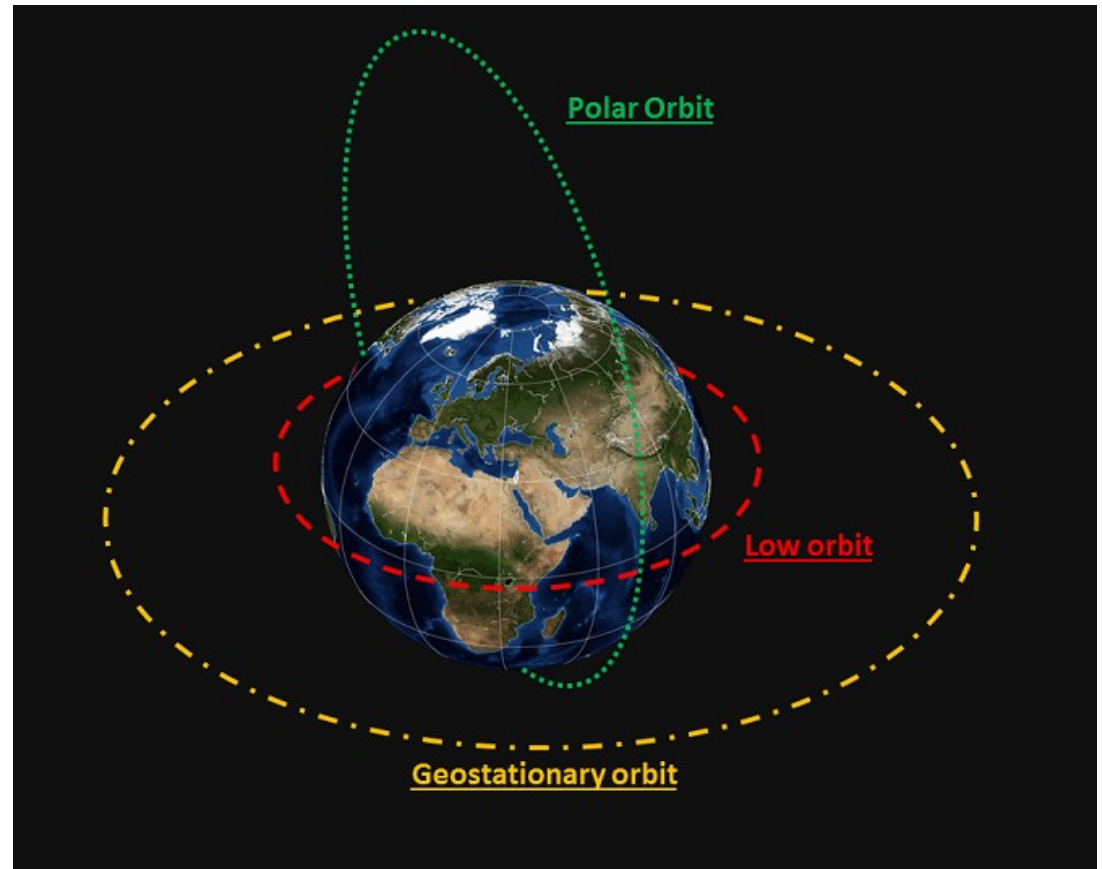


# Órbita polar

90° ou próximo

Útil para imagens

Rotação da Terra não  
ajuda para atingir a  
órbita



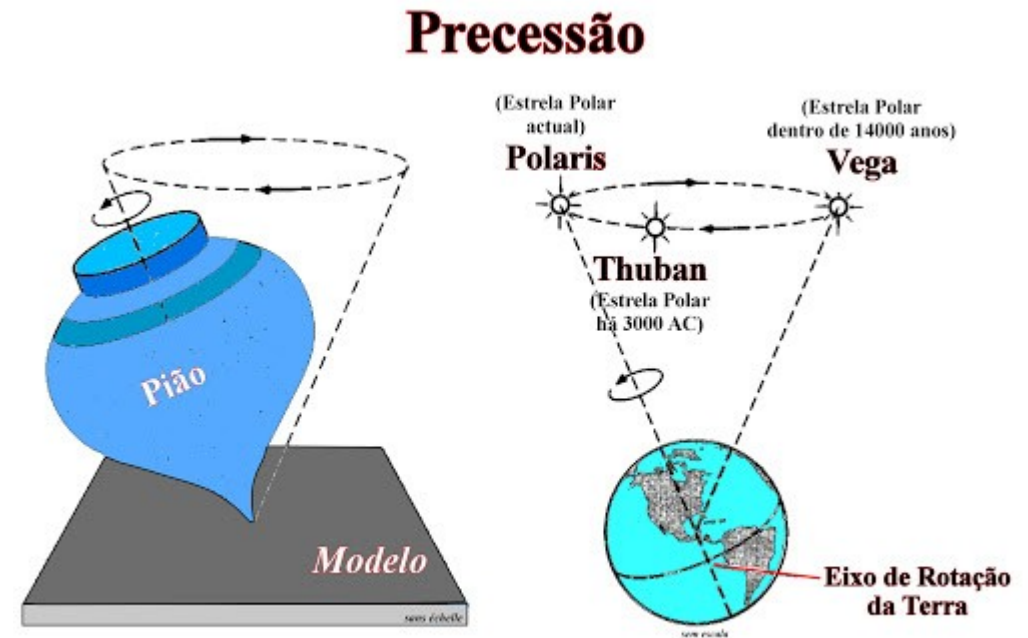
*ims.gov.il*

# Precessão da órbita (*Walking Orbits*)

A órbita da espaçonave aproveita influências gravitacionais e induz precessão para causar movimento útil do plano orbital

O plano orbital se move lentamente em relação ao espaço inercial fixo

Precessão: visto nos capítulos anteriores



# Órbita heliossíncrona (usa precessão da órbita)

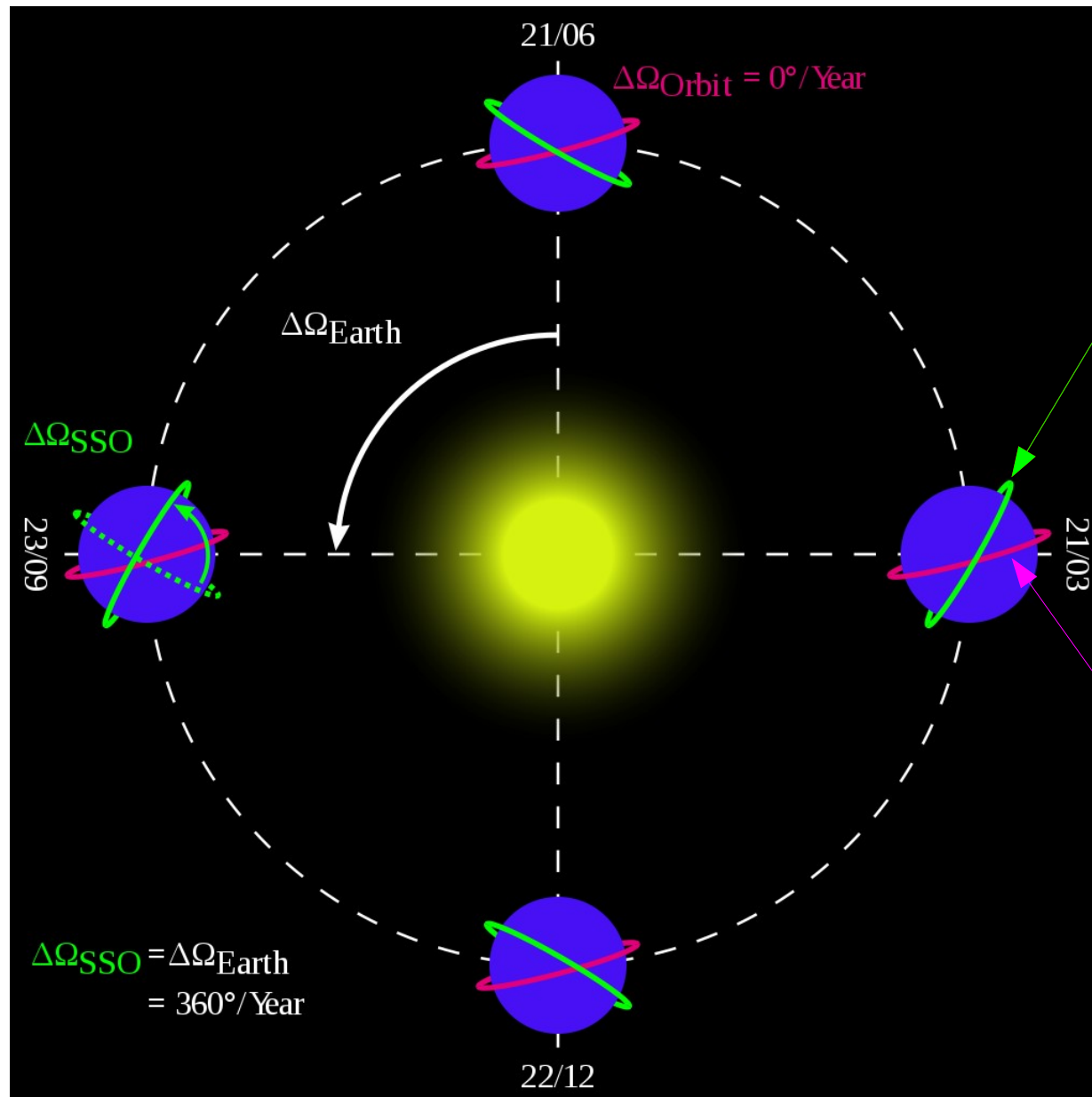
O plano orbital precessa com praticamente o mesmo período da órbita solar do planeta

A espaçonave cruza o periastro aproximadamente no mesmo horário local a cada órbita

Útil quando os instrumentos a bordo dependem de um certo ângulo de iluminação solar

Exemplo: Mars Global Surveyor - órbita heliossíncrona, 14:00 hora local de Marte

# Órbita heliosíncrona



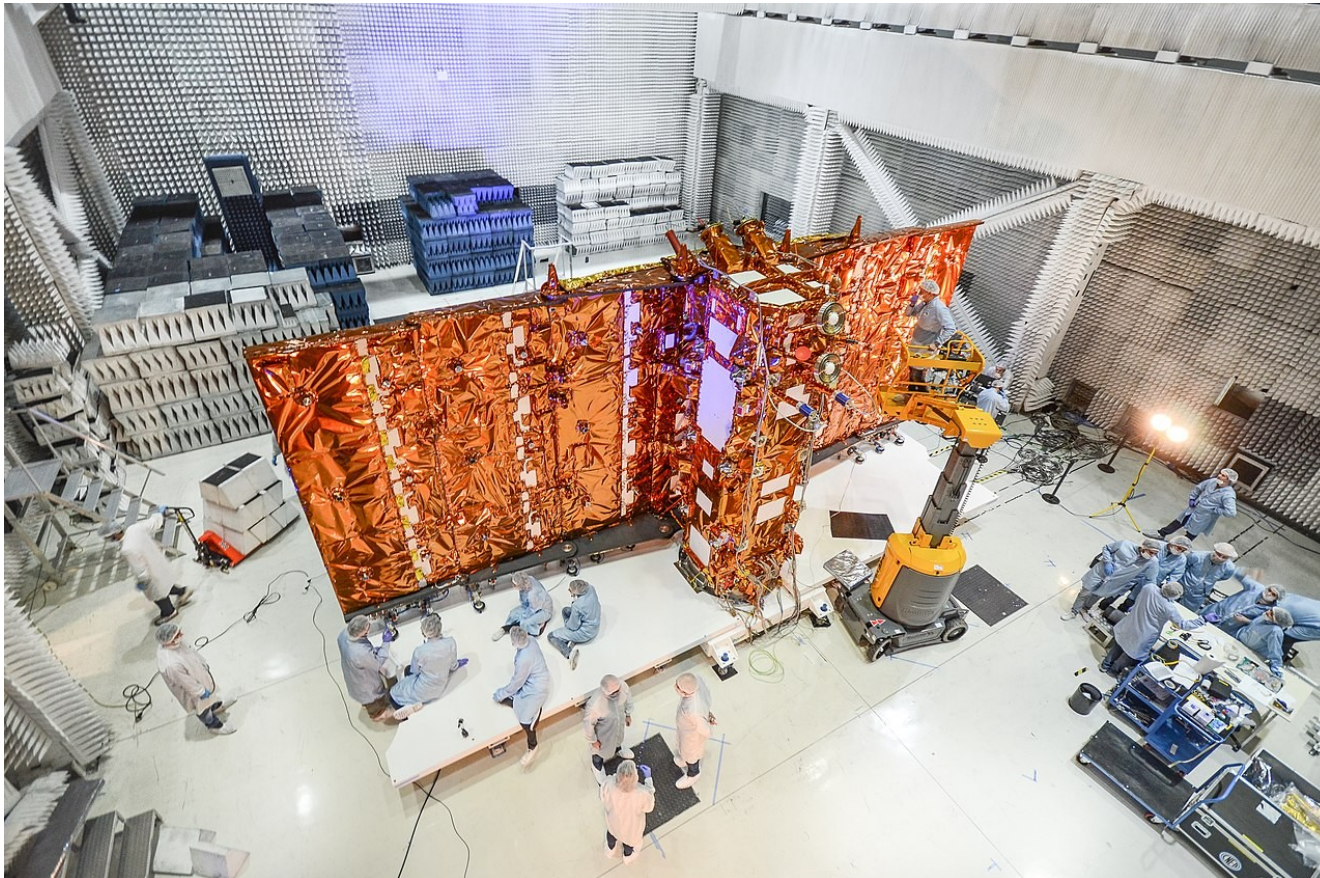
Heliosíncrona  
(em verde)

Não heliosín-  
crons (em  
magenta)

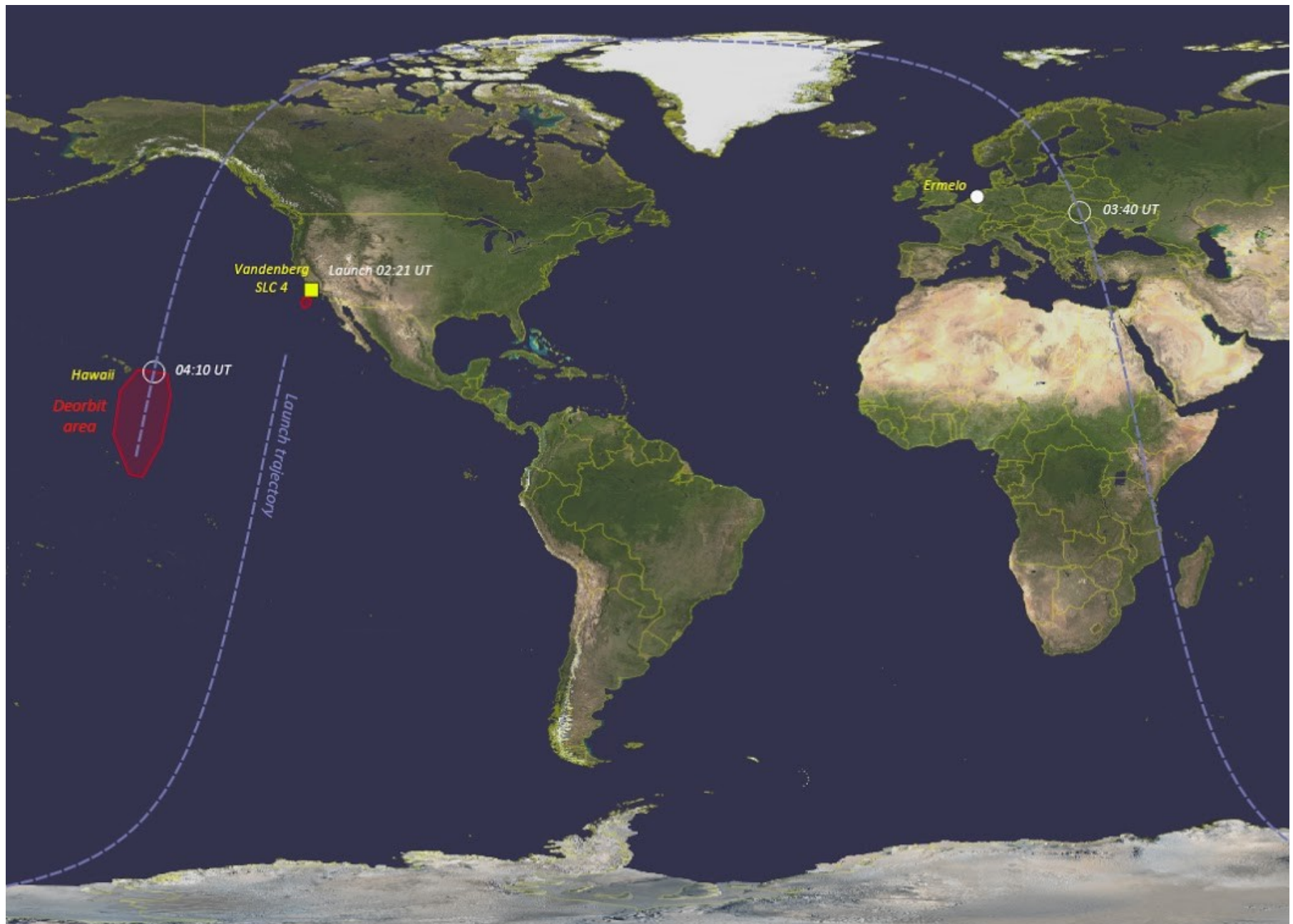


# SAOCOM 1A (2018)

Argentina, observação da Terra, imagem de radar, órbita polar, heliossíncrona, ~620 km



# SAOCCOM 1A





# SAOCOM 1A

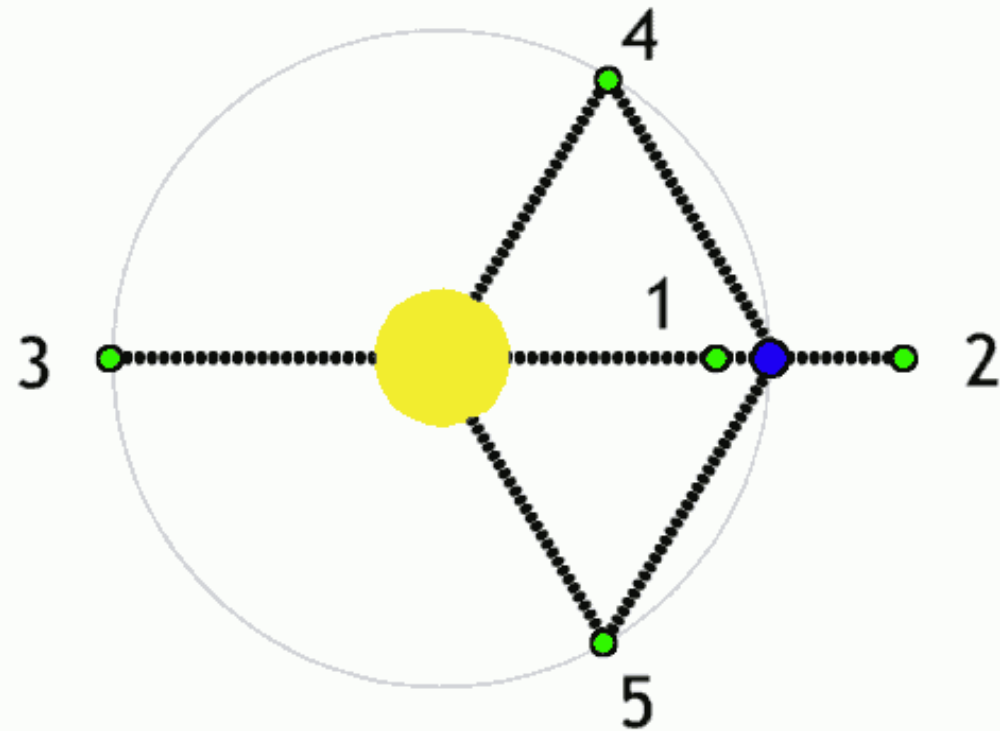


# Pontos de Lagrange

Pontos com equilíbrio gravitacional

L4, L5: Estáveis  
Pontos Trojan  
Asteróides, luas

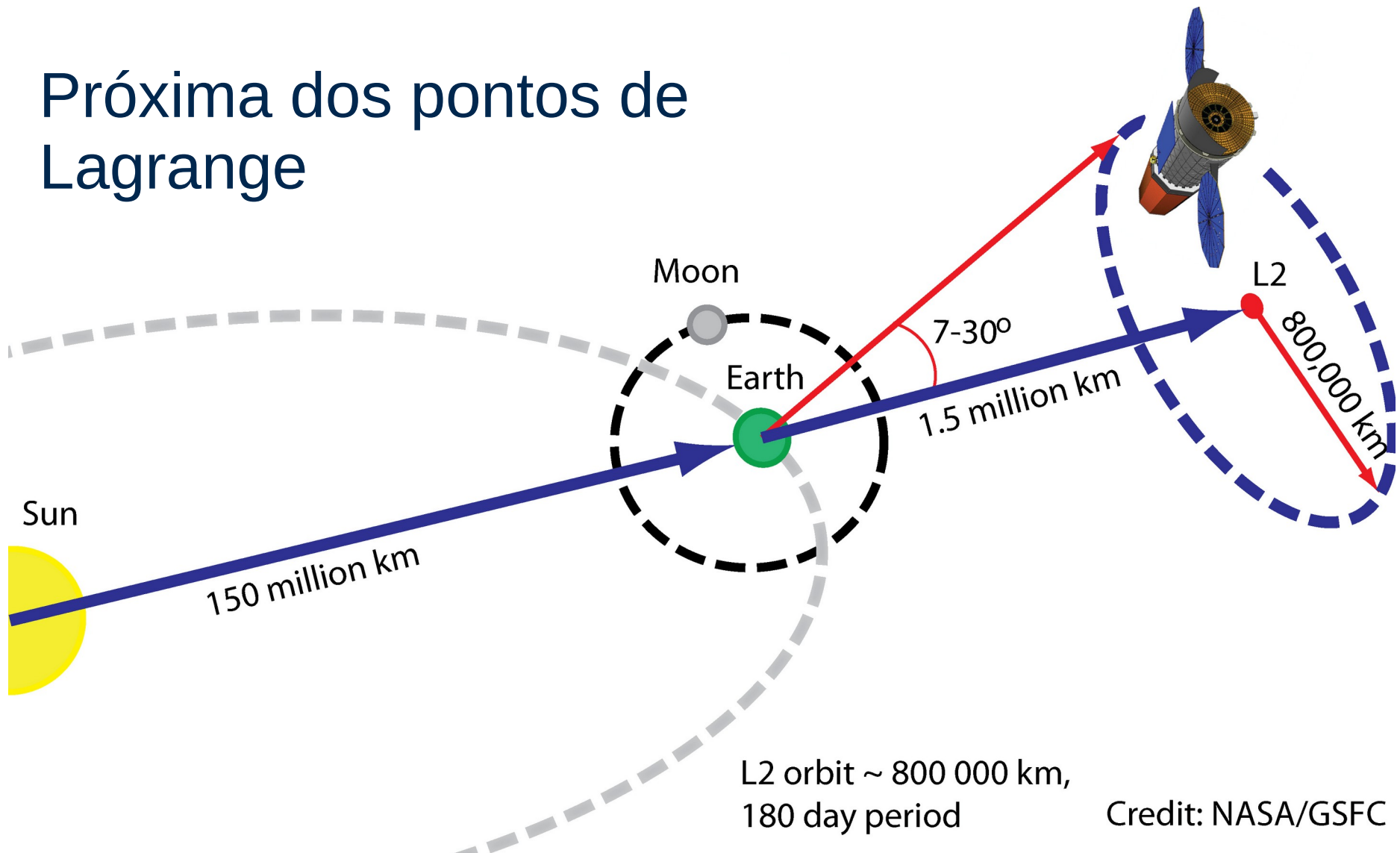
L1, L2, L3: Instáveis  
É possível orbitar  
usando pouca  
propulsão para  
manter a posição





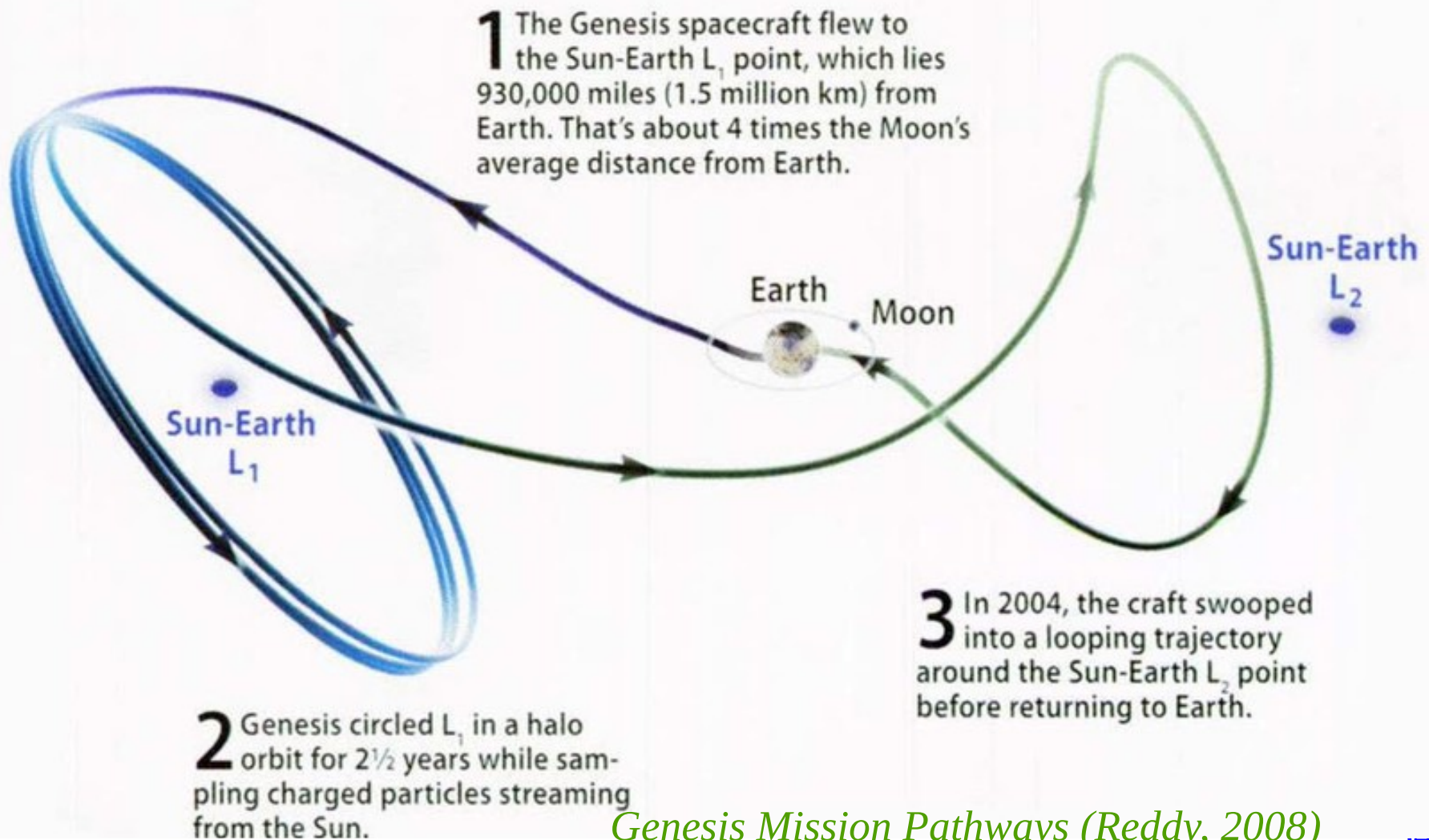
# Órbita Halo

Próxima dos pontos de Lagrange



# Missão Genesis

The Genesis mission left Earth in 2001 to sample the solar wind. It flew millions of miles using relatively little fuel by following a trajectory in which gravitational influences created a “path of least resistance” through space. *Astronomy: Roen Kelly*



# Capítulo 6: Eletromagnetismo



Radiação

Espectro

Frequências de rádio

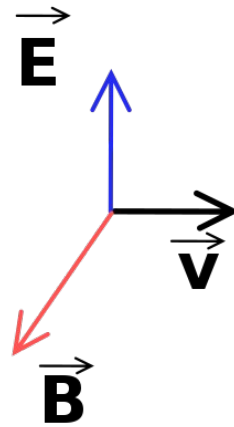
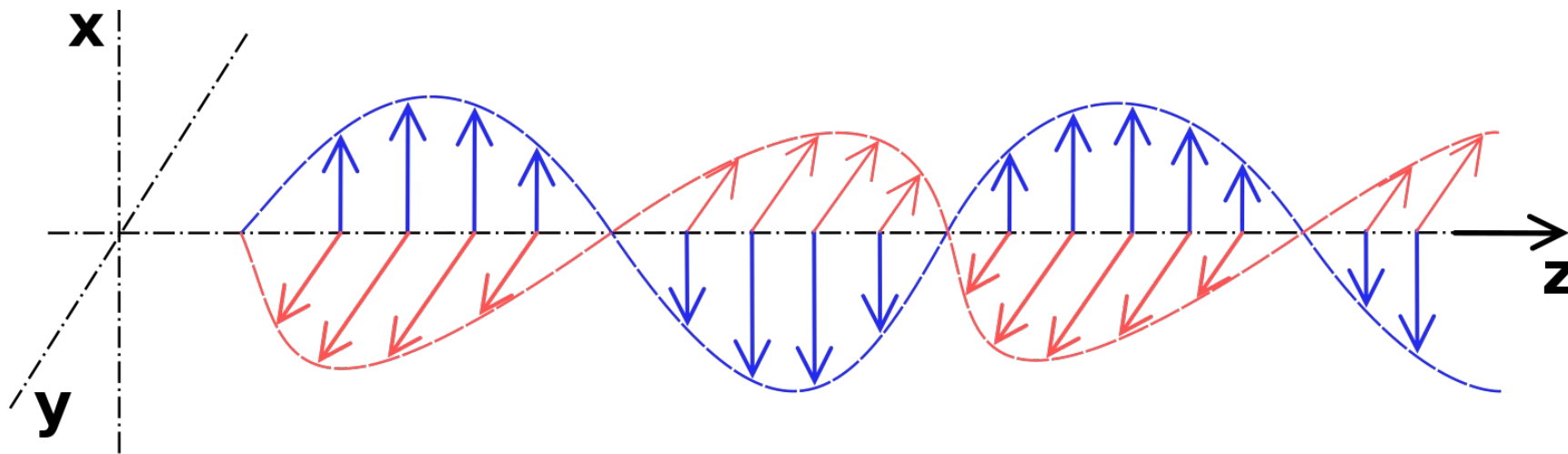
Efeito Doppler

Reflecção

Refração

# Radiação eletromagnética

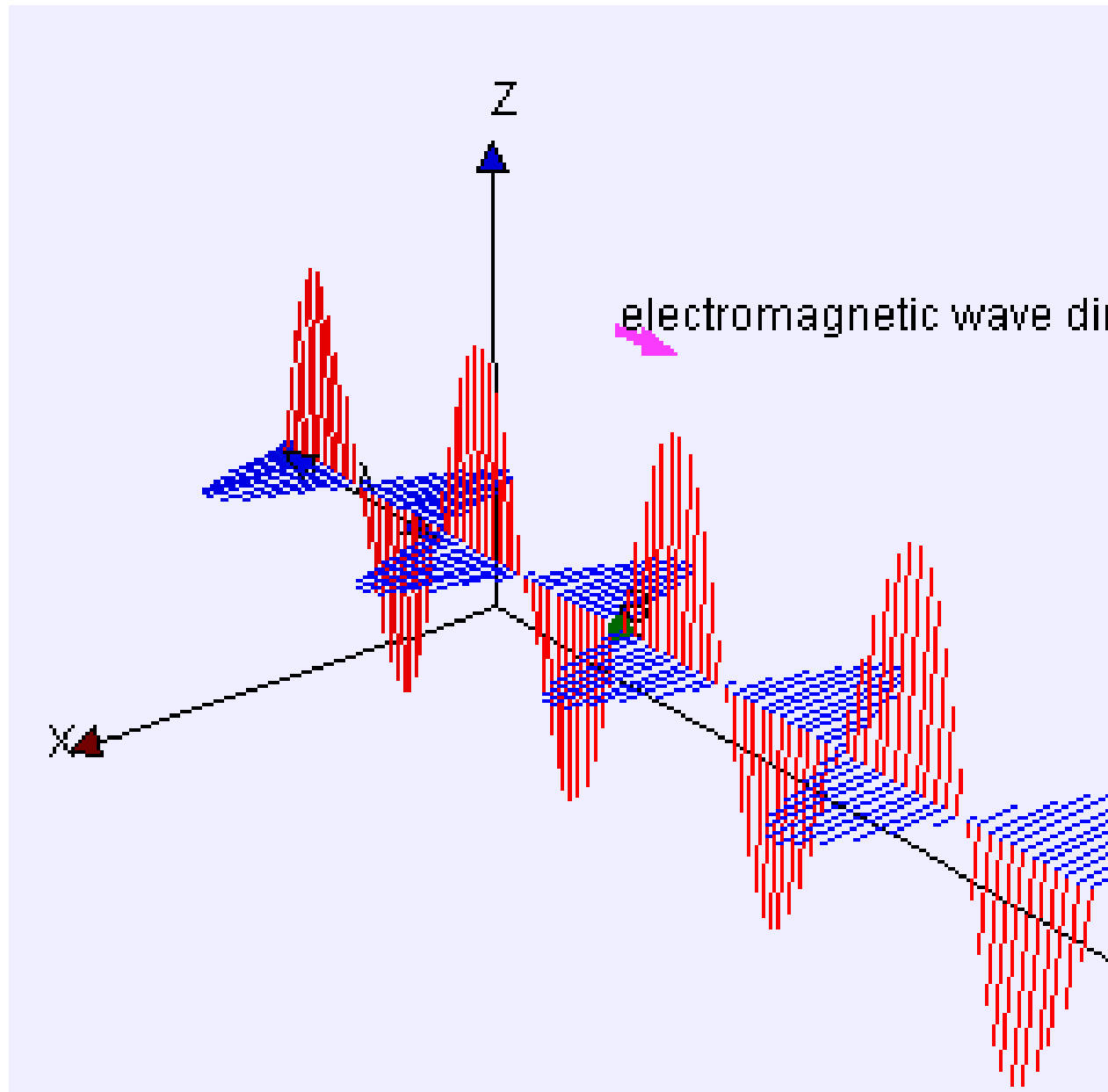
Estrelas emitem principalmente energia eletromagnética



*Wikimedia*

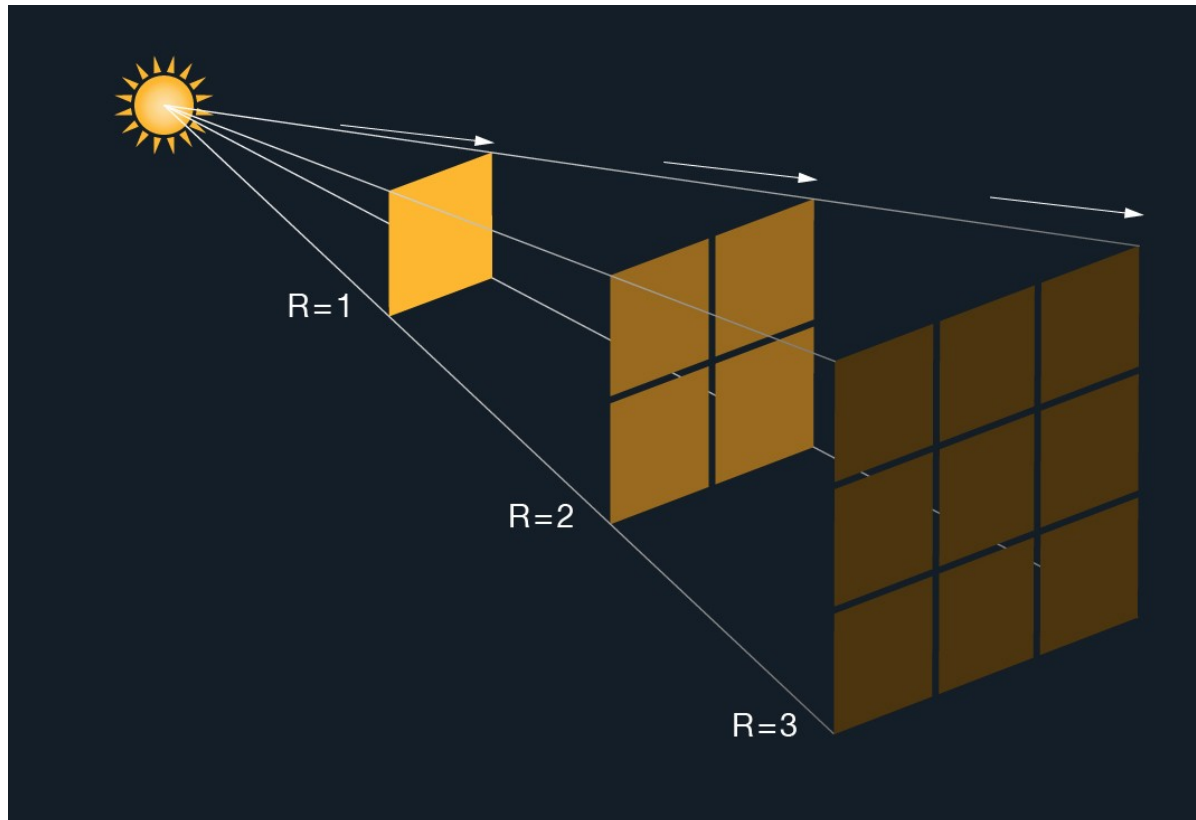
Onda eletromagnética senoidal linearmente polarizada, no vácuo, a 299.792 km/s

# Propagação



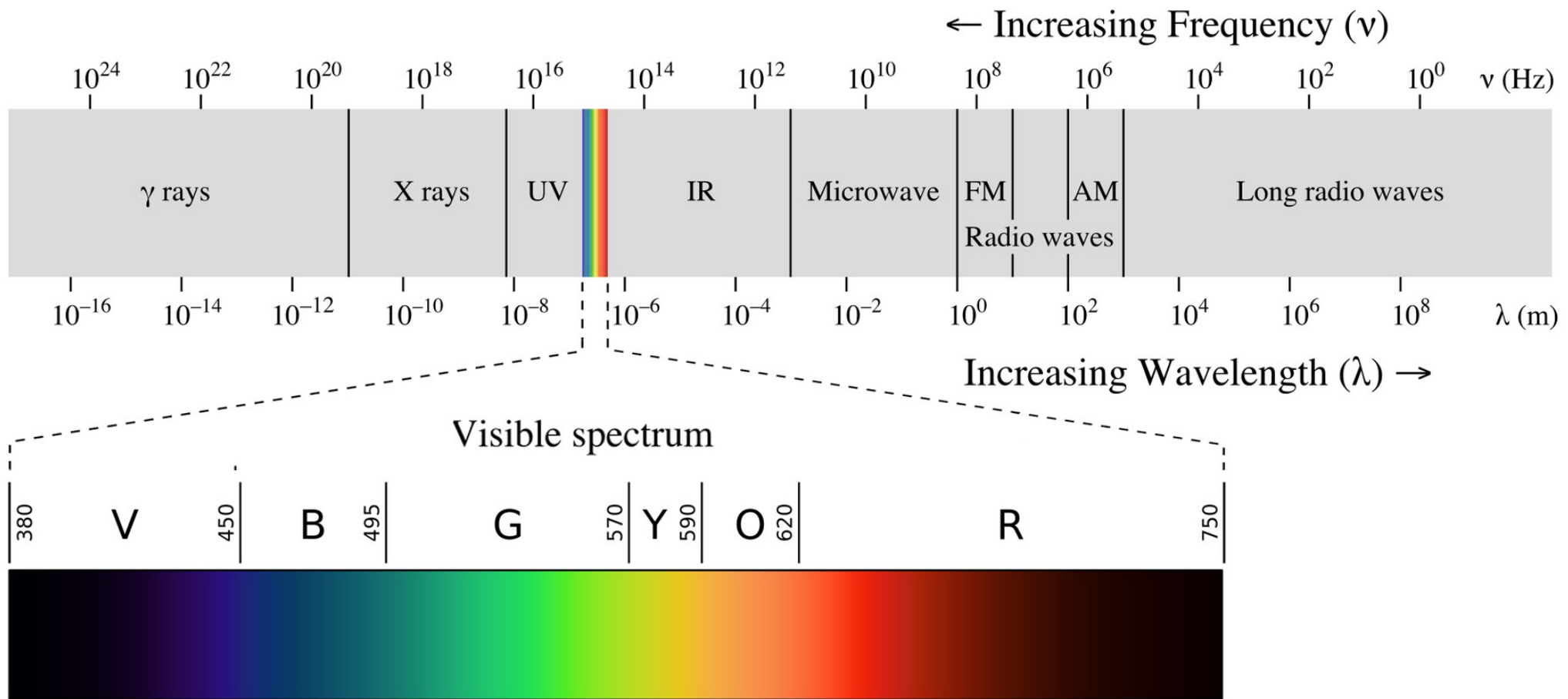
# Lei do inverso do quadrado da distância

A radiação emitida se afasta da fonte e se espalha sobre uma superfície de área  $4\pi R^2$



Uma espaçonave distante fornecerá apenas uma pequena quantidade de energia eletromagnética a um detector na Terra

# Espectro de frequências



# Ondas ou partículas

Energia eletromagnética pode ser vista como onda ou partícula (fótons) ao mesmo tempo

Geralmente quando a frequência é baixa chamamos de ondas (ondas de rádio)

Alta frequência (ou energia) e luz, geralmente são fótons (portadores de partículas da força eletromagnética), com unidade elétron-Volt (eV)



# Comunicação *Deep Space*

Emissores naturais e artificiais

Antenas e receptores detectam tipos diferentes de emissores de radiação eletromagnética, incluindo estrelas, sol, nuvens moleculares, e planetas

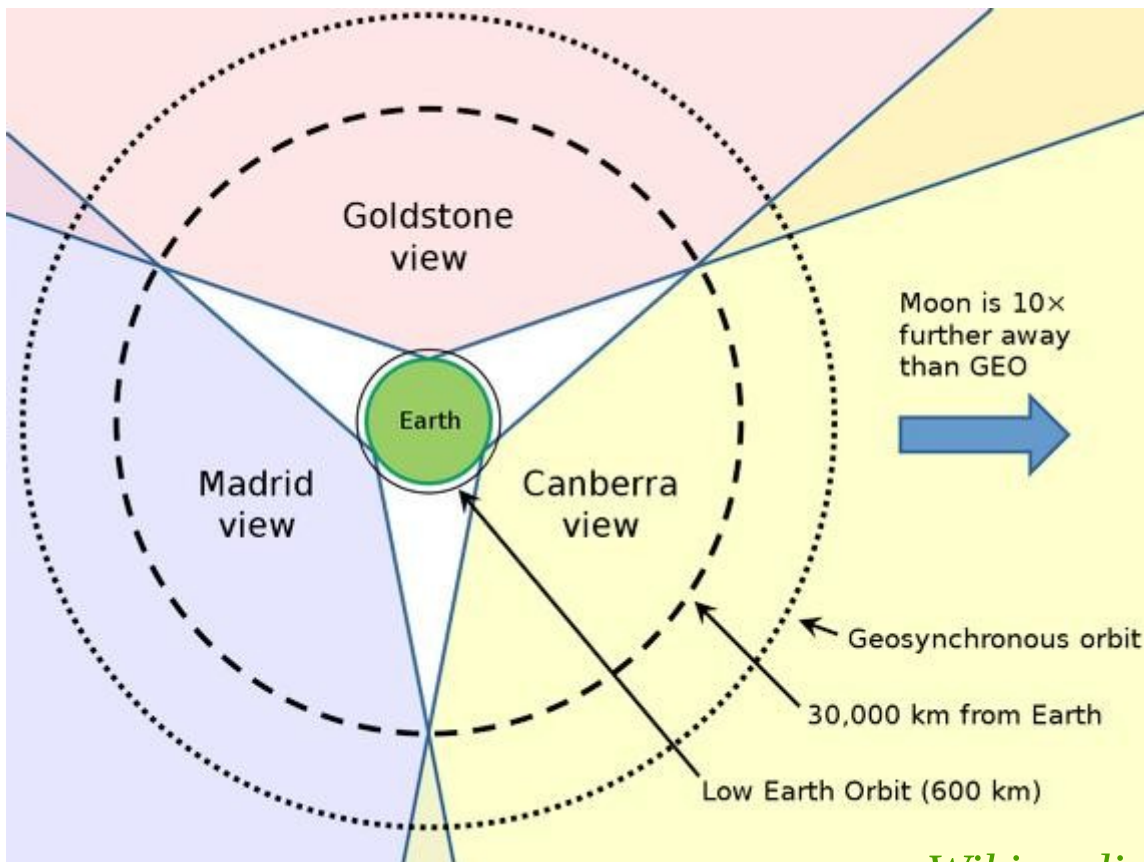
Espaçonaves emitem neste meio “ruidoso”

Rádio Astronomia (RA): disciplina que estuda os emissores naturais e sua radiação eletromagnét.

O DSN participa de experimentos de RA

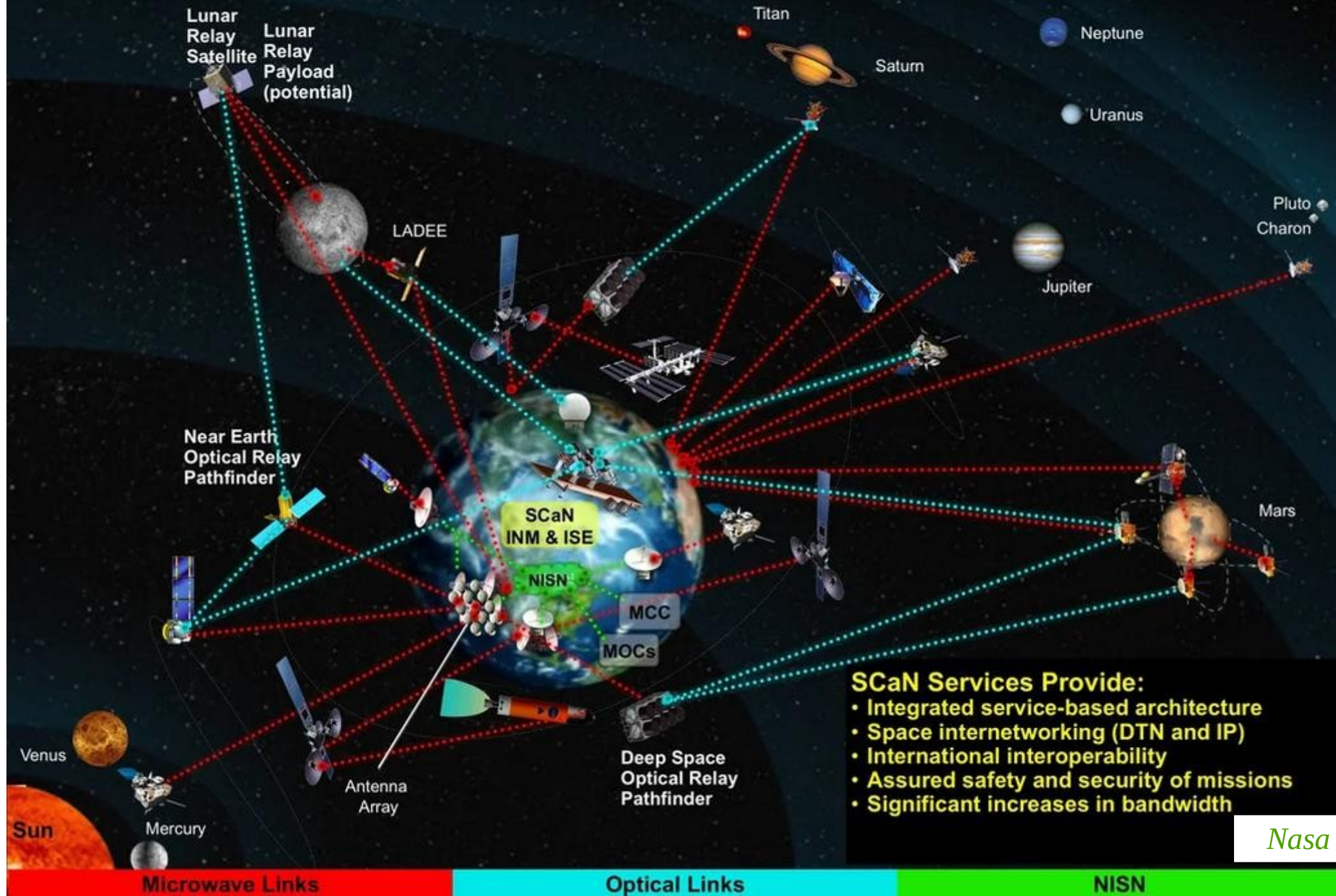
# NASA Deep Space Network (DSN)

- Comunic. com espaçonaves no sistema solar
- Astronomia usando radio e radar
- Observações do sistema solar e do universo
- Algumas missões orbitando a Terra



*Goldstone, California  
Wikimedia*

# SCaN Notional Integrated Communication Architecture





# Frequências de rádio

10 kHz a 100 GHz

Muitos veículos espaciais usam canais nas bandas de micro-ondas

S (UHF e SHF, 2 a 4 GHz)

Radars meteorológicos e alguns satélites de comunicação. Ex.: CBERS-1 e CBERS-2

X (SHF, 8 a 12 GHz)

Comunicação por satélite privativa para uso militar

CLASS	FREQUENCY	WAVELENGTH	ENERGY
Y	300 EHz	1 pm	1.24 MeV
HX	30 EHz	10 pm	124 keV
SX	3 EHz	100 pm	12.4 keV
EUV	300 PHz	1 nm	1.24 keV
NUV	30 PHz	10 nm	124 eV
	3 PHz	100 nm	12.4 eV
NIR	300 THz	1 μm	1.24 eV
MIR	30 THz	10 μm	124 meV
FIR	3 THz	100 μm	12.4 meV
EHF	300 GHz	1 mm	1.24 meV
SHF	30 GHz	1 cm	124 μeV
UHF	3 GHz	1 dm	12.4 μeV
VHF	300 MHz	1 m	1.24 μeV
HF	30 MHz	10 m	124 neV
MF	3 MHz	100 m	12.4 neV
LF	300 kHz	1 km	1.24 neV
VLF	30 kHz	10 km	124 peV
VF/ULF	3 kHz	100 km	12.4 peV
SLF	300 Hz	1 Mm	1.24 peV
ELF	30 Hz	10 Mm	124 feV
	3 Hz	100 Mm	12.4 feV

γ = Gamma rays

HX = Hard X-rays

SX = Soft X-Rays

EUV = Extreme-ultraviolet

NUV = Near-ultraviolet

NIR = Near-infrared

MIR = Mid-infrared

FIR = Far-infrared

EHF = Extremely high frequency  
(microwaves)

SHF = Super-high frequency  
(microwaves)

UHF = Ultrahigh frequency

VHF = Very high frequency

HF = High frequency

MF = Medium frequency

LF = Low frequency

VLF = Very low frequency

VF = Voice frequency

ULF = Ultra-low frequency

SLF = Super-low frequency

ELF = Extremely low frequency

# Banda K, micro-ondas

Em desenvolvimento para comunic. *deep space*

Usada para radares e comunicação via satélite

K NATO: 20 a 40 GHz, radares

K IEEE: 18 e 27 GHz

Ku: 12 a 18 GHz, comunicação via satélite

# Transparência atmosférica

A atmosfera da Terra absorve algumas frequências, impedindo observações

Existem janelas, como luz visível e certas frequências de rádio

Porém a atmosfera é uma barreira para grande parte do espectro eletromagnético

Presença de água afeta a banda X

# Interferência em rádio frequência (RFI)

Ruído: natural ou gerado pelos humanos

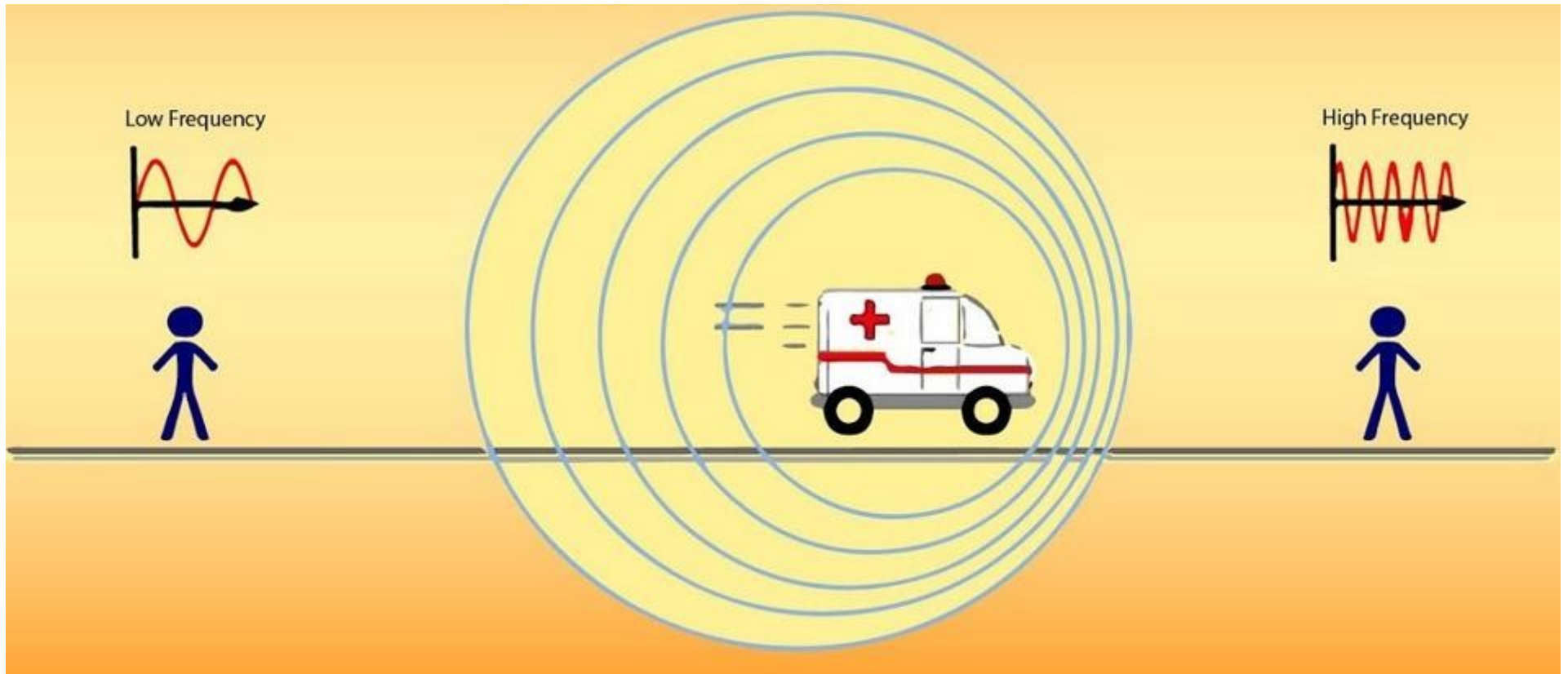
Naves orbitando a Terra operam em frequências próximas às do *deep space*, aumentando o ruído

SNR: relação entre sinal e ruído. Quando baixo, dificulta a recepção de sinais do *deep space*

Espectroscopia: estudo da produção, medição e interpretação do espectro eletromagnético (composição química de um objeto, velocidade, temperatura, etc.)



# Efeito Doppler



*Kannadascience*

# Doppler

O efeito Doppler é medido na frequência dos sinais recebidos de espaçonaves, para determinar alguns de seus movimentos

Devem ser considerados fatores como movimento da Terra e do Sol, trajetória da espaçonave, e órbita em torno do planeta

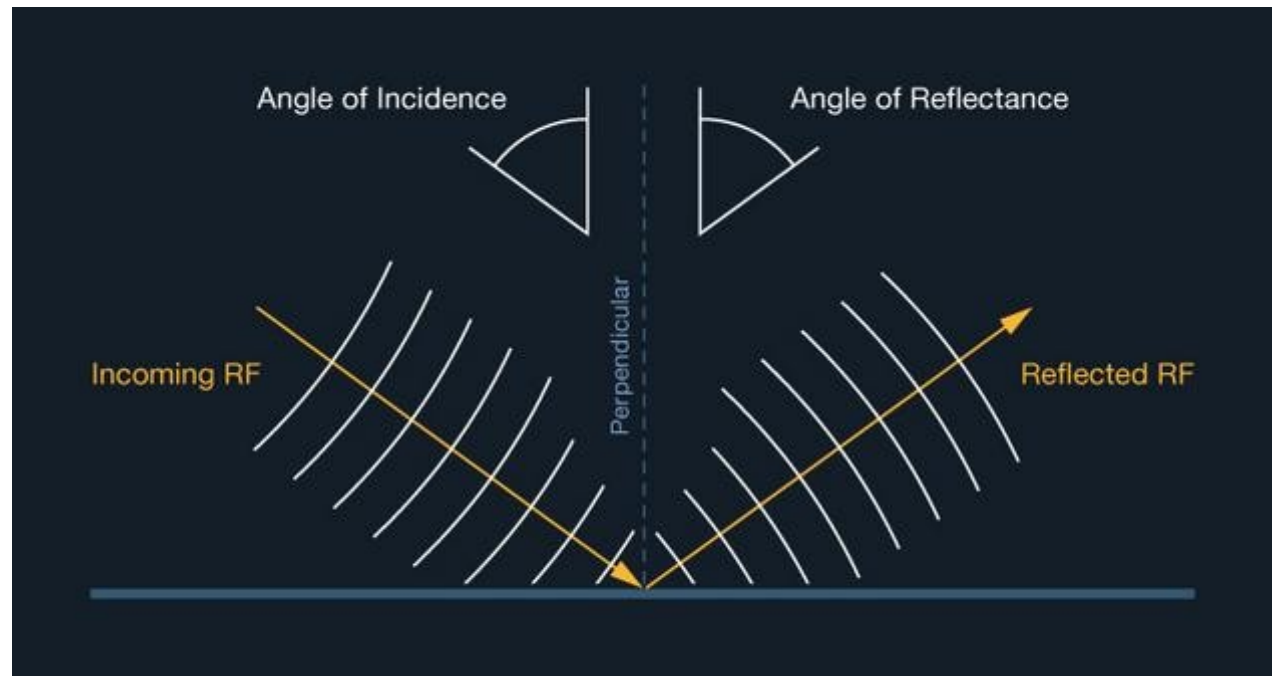
A diferença de medições entre duas estações de monitoramento distantes na Terra pode ser usada para medir o movimento em 3D da nave

# Reflexão

Desenho de antenas, astronomia de radar planetário

Análise de amplitude, fase, e frequência

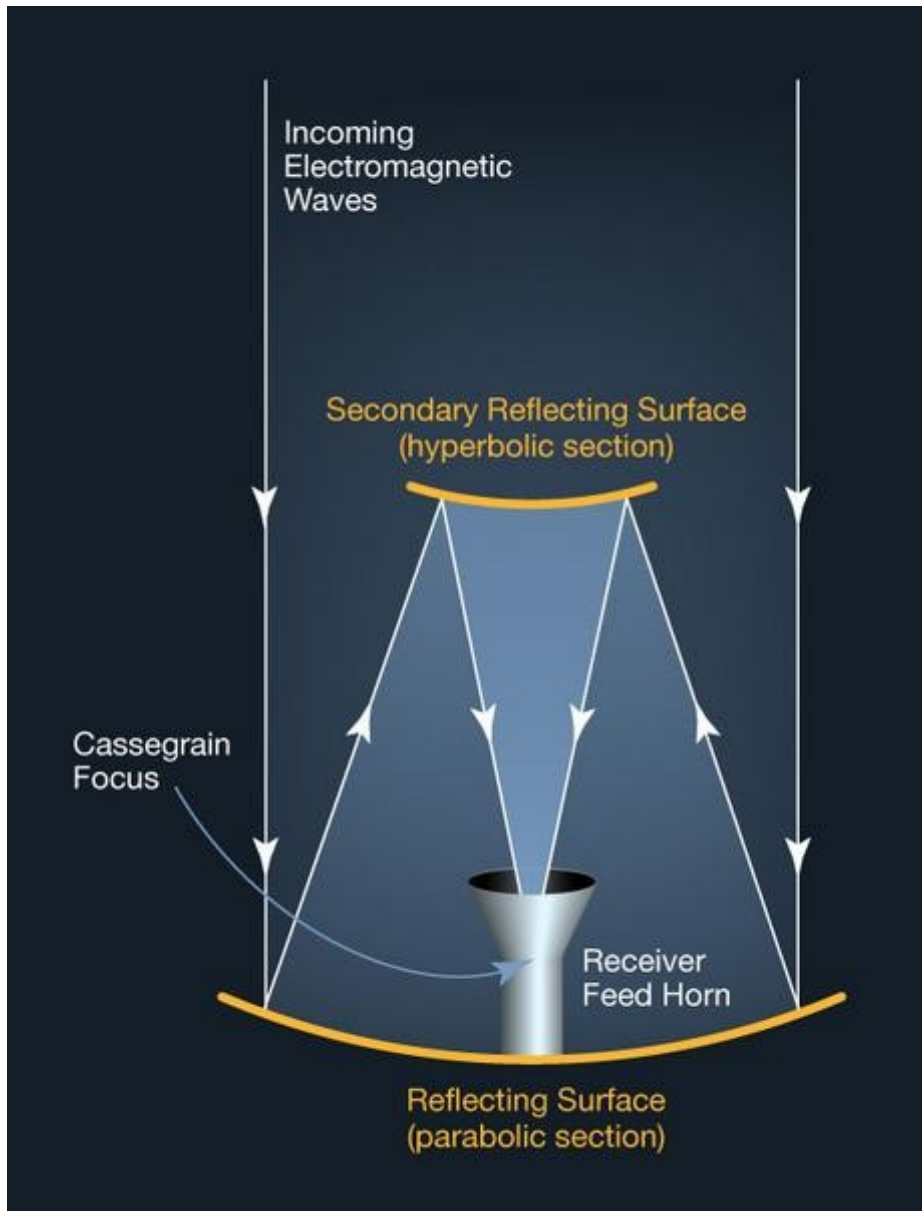
Antenas DSN transmitem da Terra, refletem no corpo, e retornam à Terra



# Reflexão

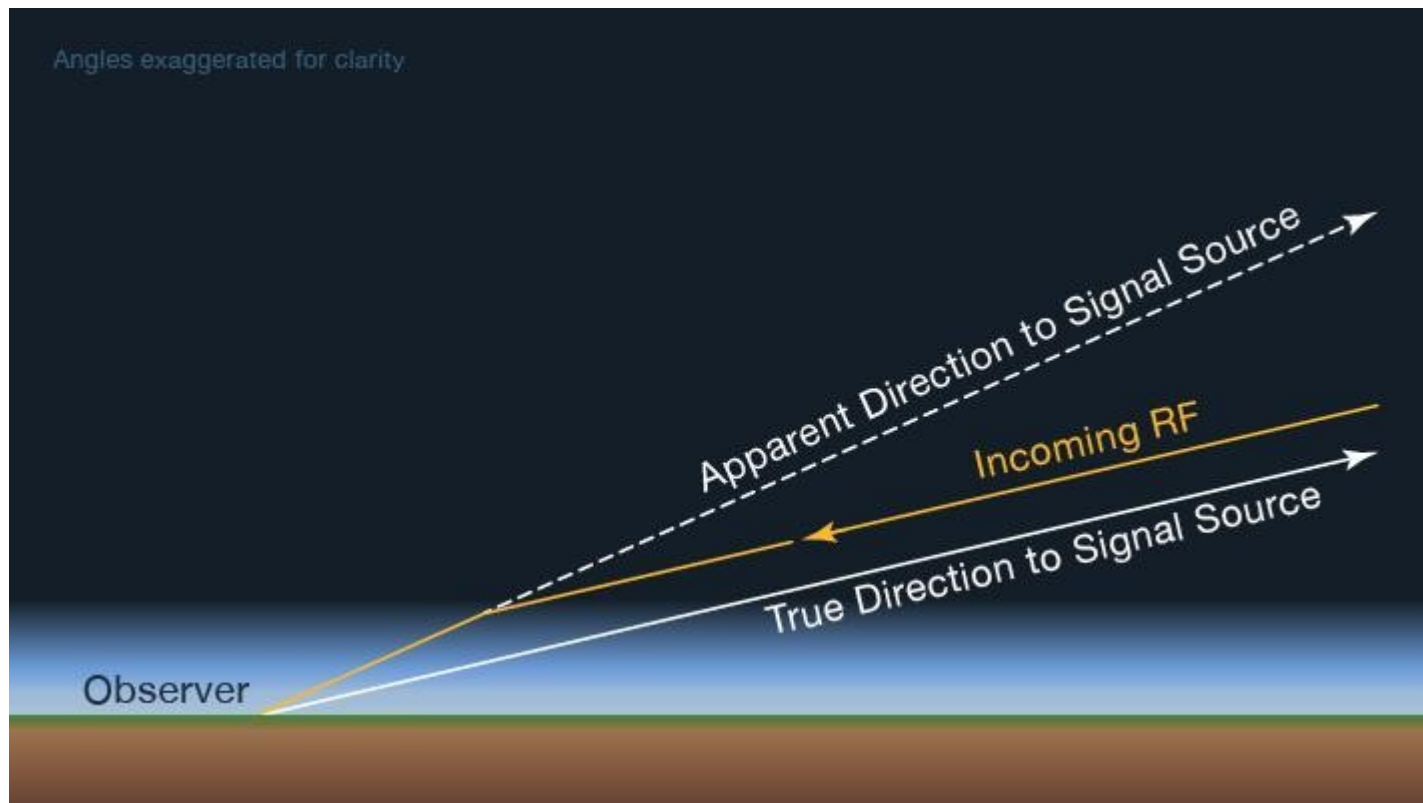
Propriedade usada  
no desenho das  
antenas DSN

Vários telescópios  
ópticos usam esse  
desenho também



# Refração

Curvatura ou absorção pela atmosfera é usado para estudar a composição e estrutura da atmosfera de planetas

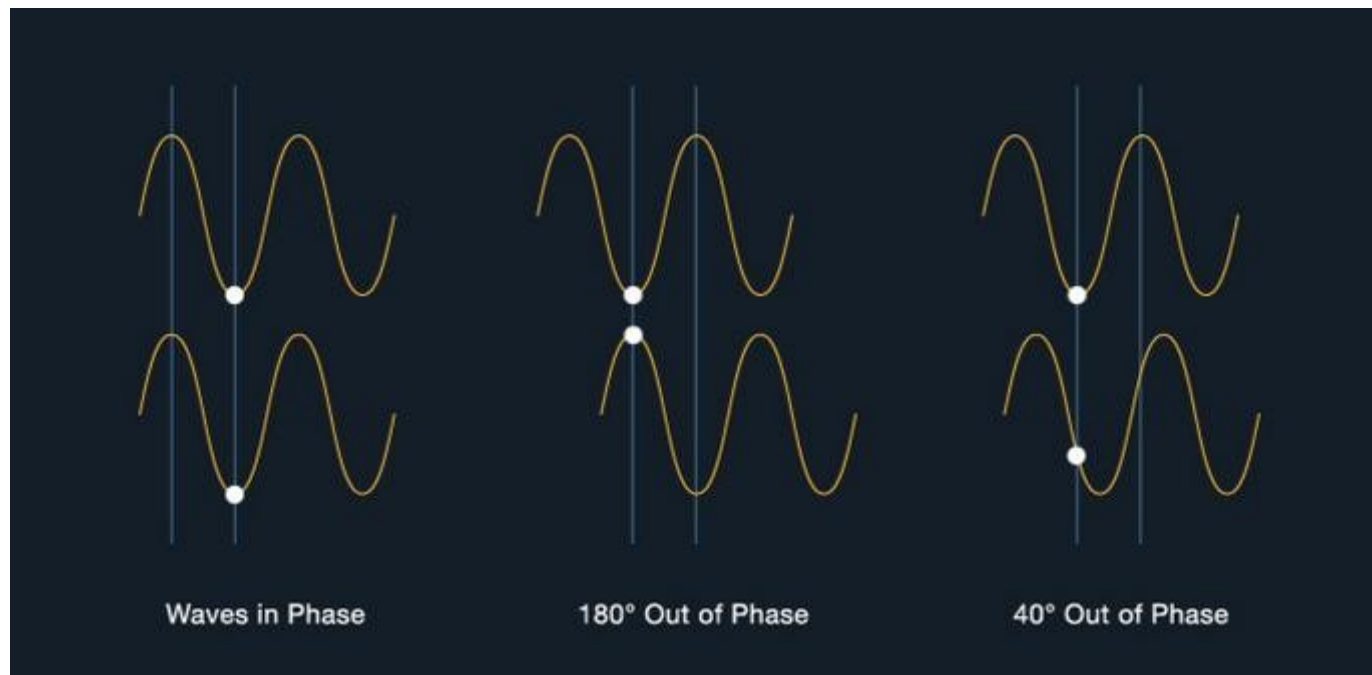


# Fase

Mudanças de fase são usadas em telecomunicações para codificação

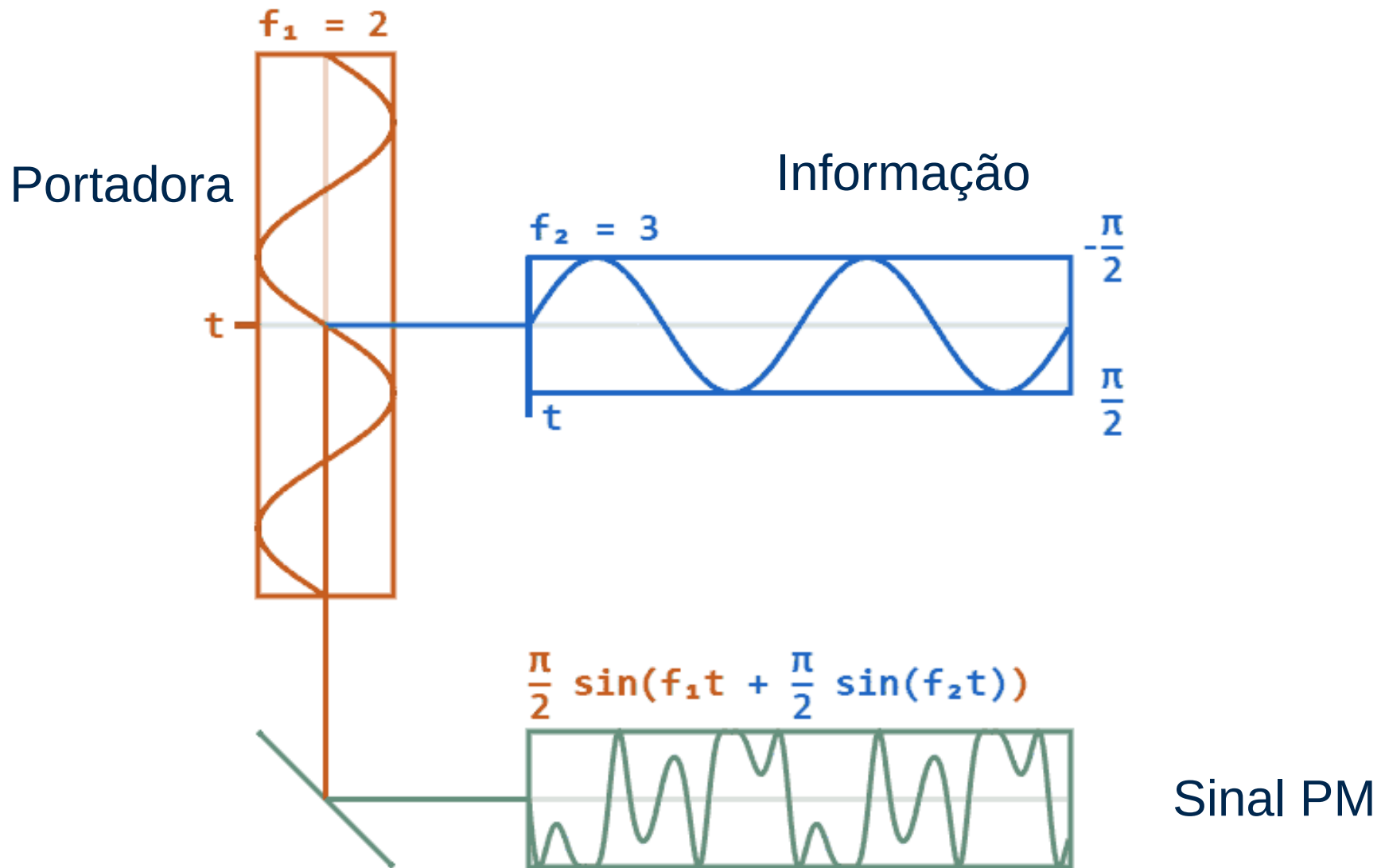
Estudos de corpos e seus efeitos usam fases de sinais

Relações entre fases de ondas de rádio ou luz são úteis em várias aplicações



# Modulação em fase (PM)

(transmissão de dados)





# Interação de ondas

Dois sinais de rádio de mesma fase que chegam podem ser usados para aumentar o sinal

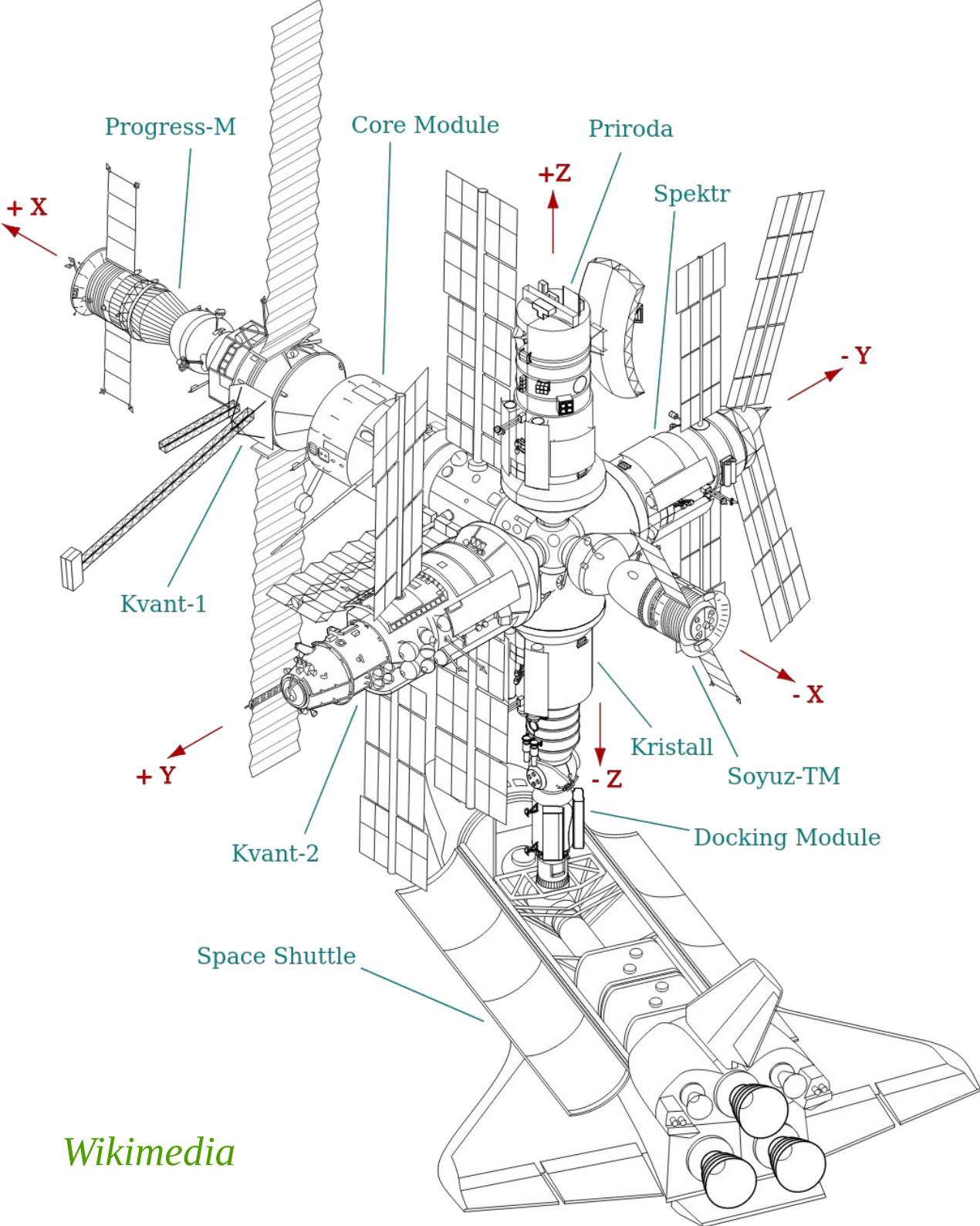
Fora de fase, podem se cancelar

Estes e outros recursos podem ser usados em

- Instrumentos em espaçonaves

- Arranjos de antenas de rastreamento para aumentar a potência do sinal recebido

- Telescópios para aumentar a resolução



Comentários?

E Furlan M  
[github.com/efurlanm/382](https://github.com/efurlanm/382)  
[efurlanm@gmail.com](mailto:efurlanm@gmail.com)