



25ª ESCOLA DE VERÃO EM DINÂMICA ORBITAL E PLANETOLOGIA

22 a 26 de Fevereiro de 2021

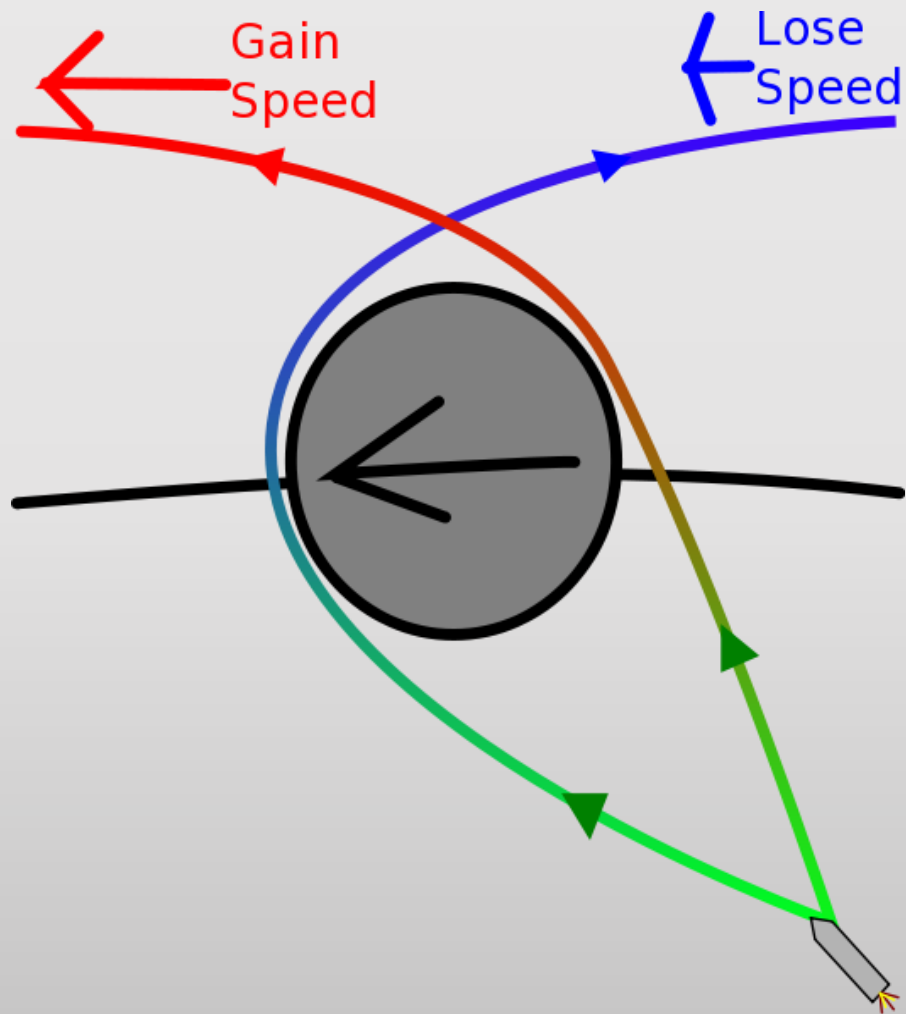
MANOBRAS GRAVITACIONALMENTE ASSISTIDAS: SWING-BY

Alessandra Ferraz

FEG/UNESP – Guaratinguetá/SP
alessandra.ferraz@unesp.br

O QUE É O SWING-BY?

- ❑ É uma manobra orbital onde o veículo espacial se aproxima de um corpo celeste e usa a gravidade deste corpo para modificar sua trajetória.



OBJETIVOS

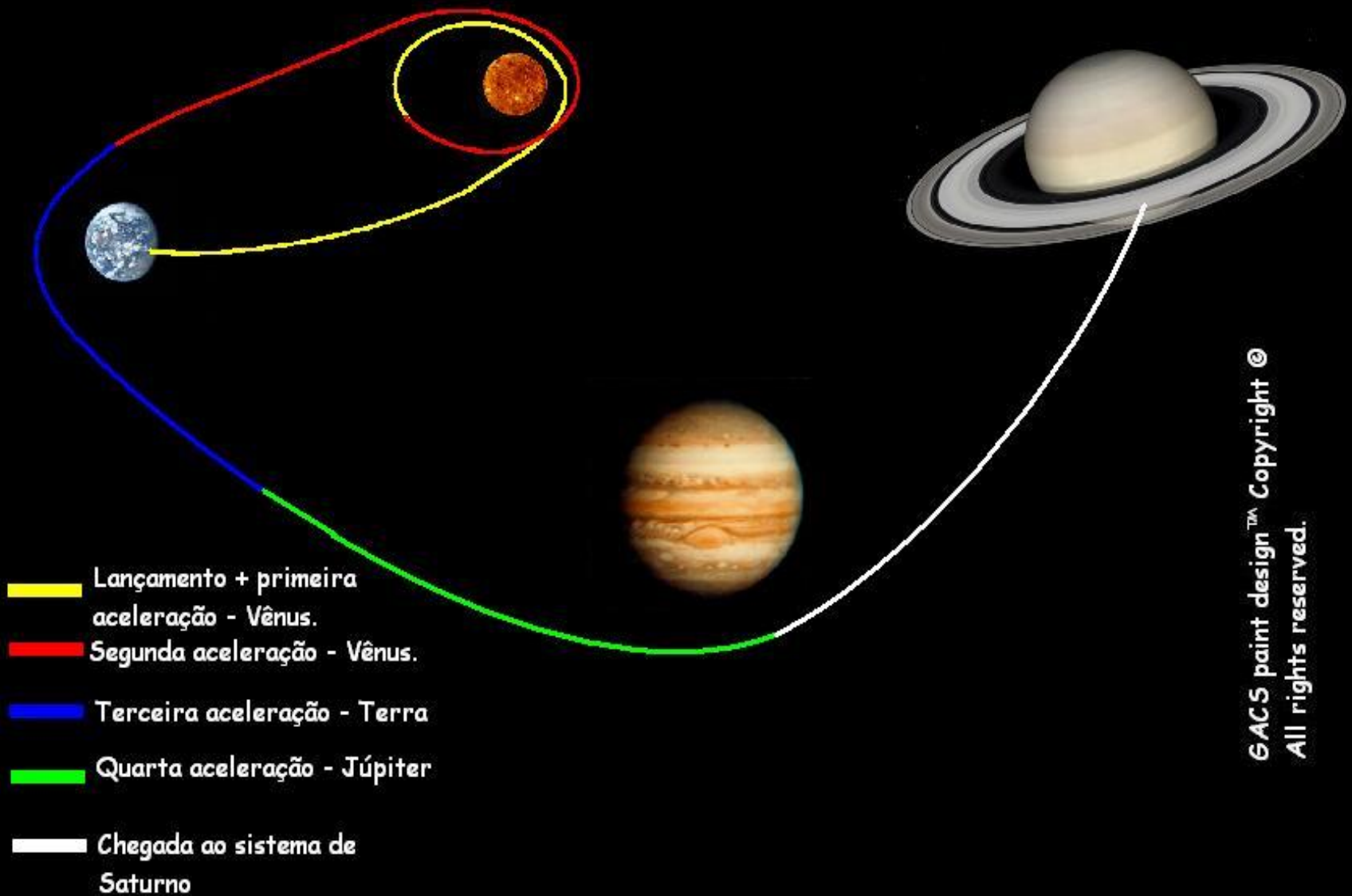
- ☐ Economia de combustível
- ☐ Economia de recursos financeiros
- ☐ Economia de tempo
- ☐ Observação do corpo celeste

COMO COMEÇOU?

- ❑ Os astrônomos conheceram a mecânica por trás desse conceito observando a mudança nas órbitas dos cometas depois de passar perto de Júpiter.
- ❑ Estima-se que a introdução das manobras com gravidade assistida ocorreram no início dos anos 60, porém a ideia de usar tal mecanismo para voo espacial pode ser rastreado até os anos 20.
- ❑ Uma descrição da mecânica celeste da “manobra pura de gravidade assistida” foi feita por Broucke (1988).

ALGUMAS DEFINIÇÕES:

- ❑ **Periapsis** – é o ponto da órbita do veículo espacial que está mais próximo do corpo orbitado.
- ❑ **Ganho de energia** – energia extra obtida pelo veículo espacial depois da manobra em relação a órbita inicial (antes da manobra).
- ❑ **Perda de energia** – energia perdida pelo veículo espacial depois da manobra, em relação a órbita inicial (antes da manobra).



GACS paint design™ Copyright ©
All rights reserved.

GEOMETRICAMENTE:

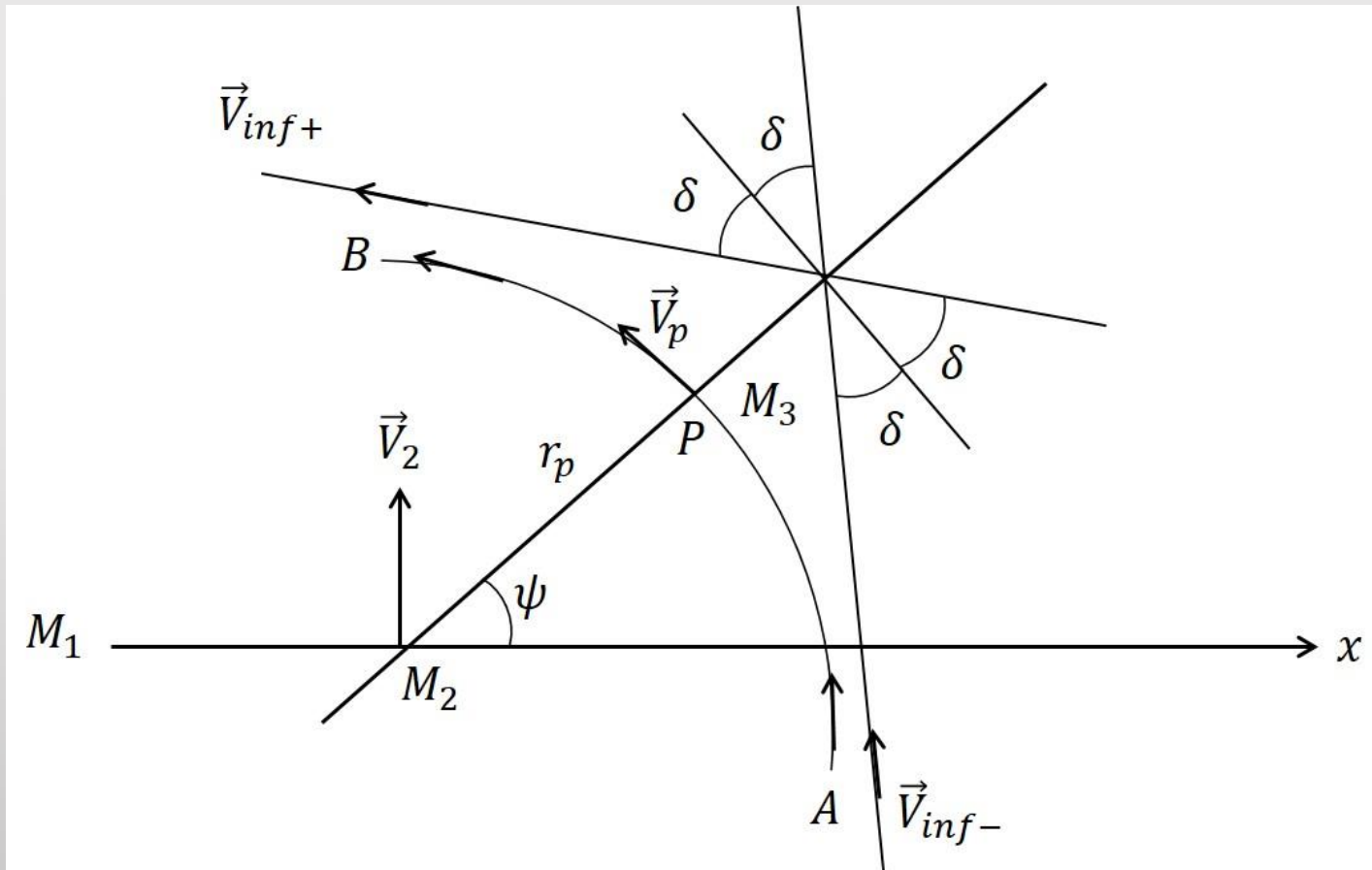


Figura: Geometria da manobra de Swing-By puro.

MATEMATICAMENTE:

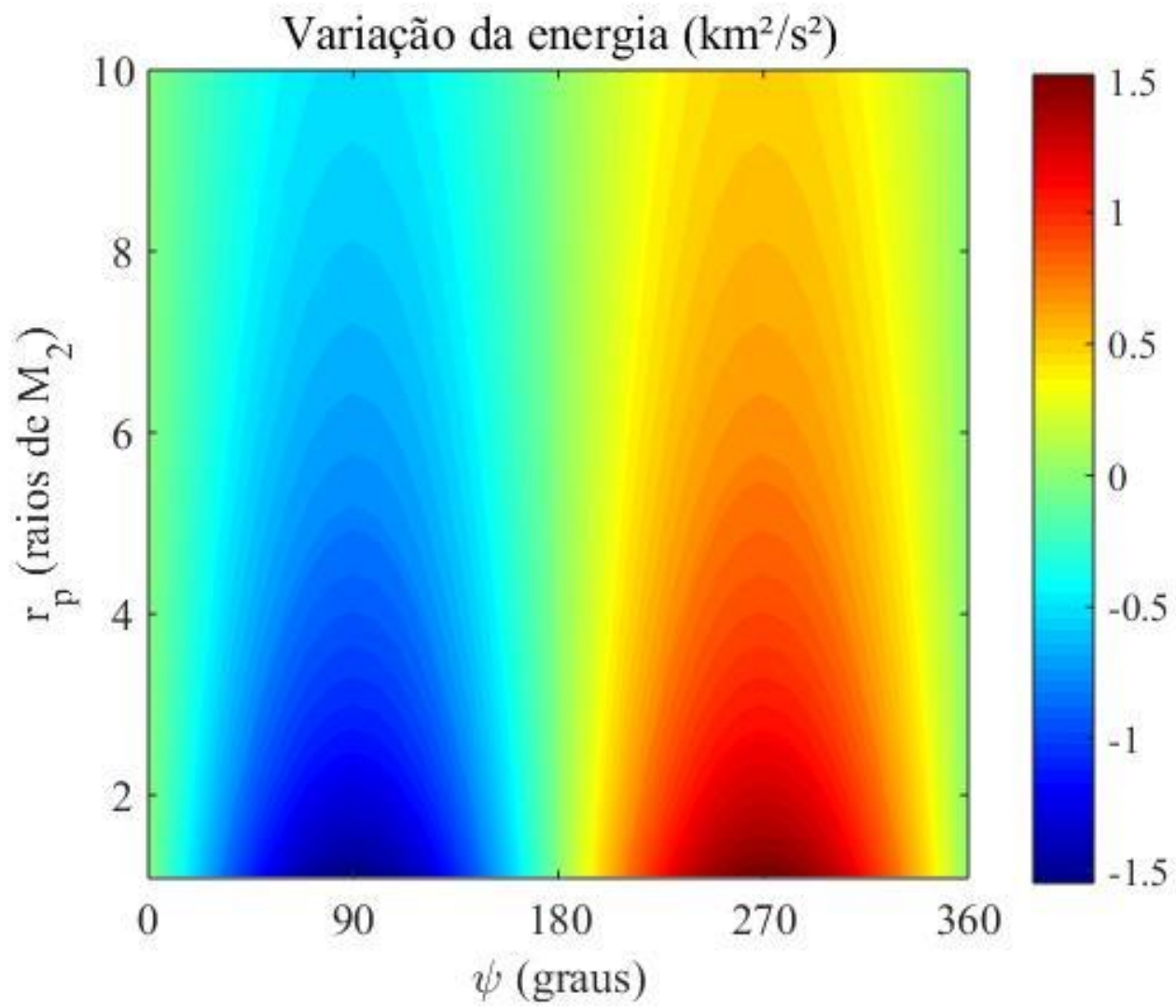
$$\Delta V = |\Delta \vec{V}| = 2V_{inf} \text{sen } \delta$$

$$\Delta E = -2V_{inf}V_2 \text{sen} \delta \text{sen} \psi$$

$$\text{máx } \Delta E \rightarrow 180^\circ < \psi < 360^\circ$$

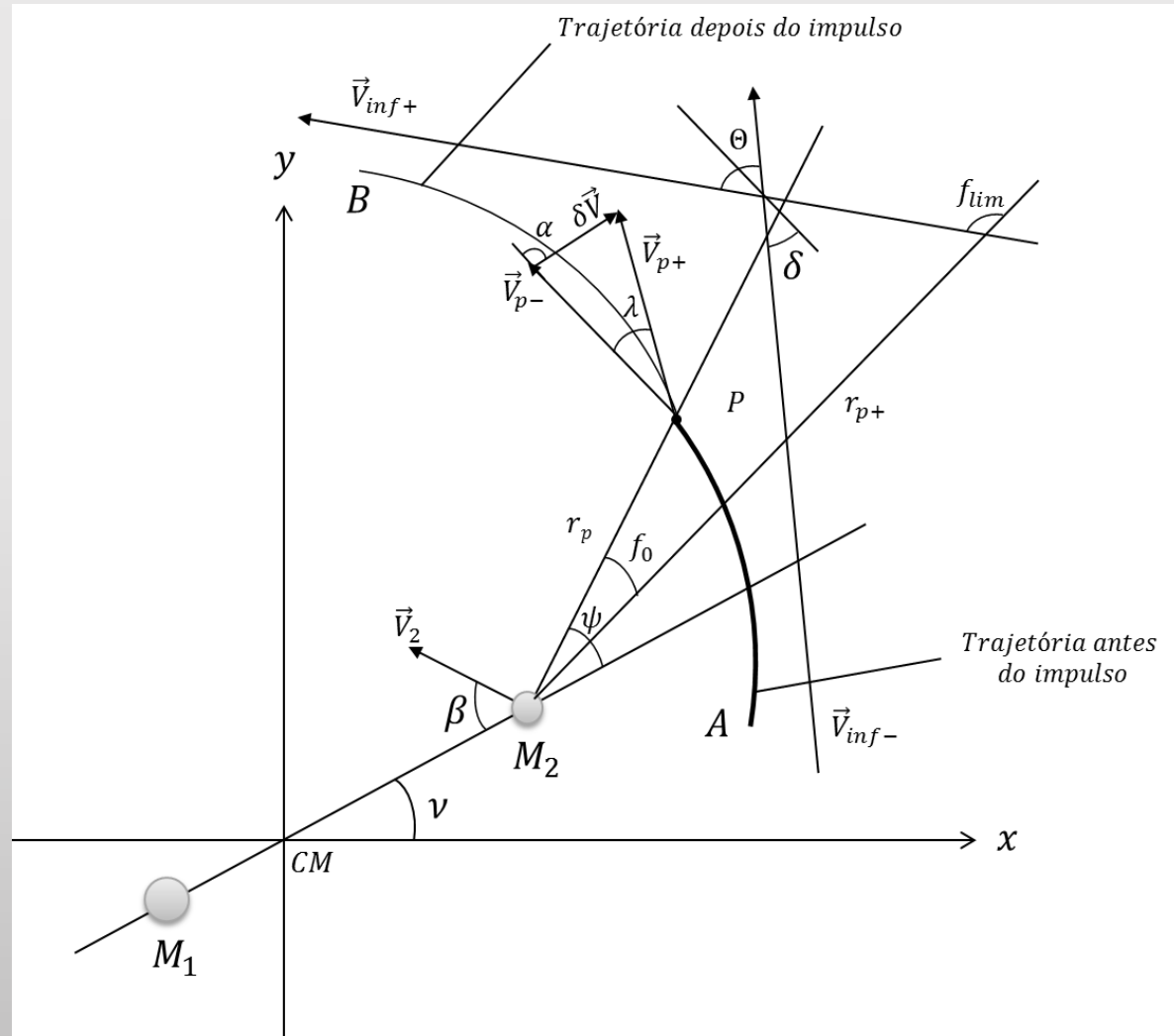
$$\text{min } \Delta E \rightarrow 0^\circ < \psi < 180^\circ$$

$$\Delta C = \omega \Delta E$$



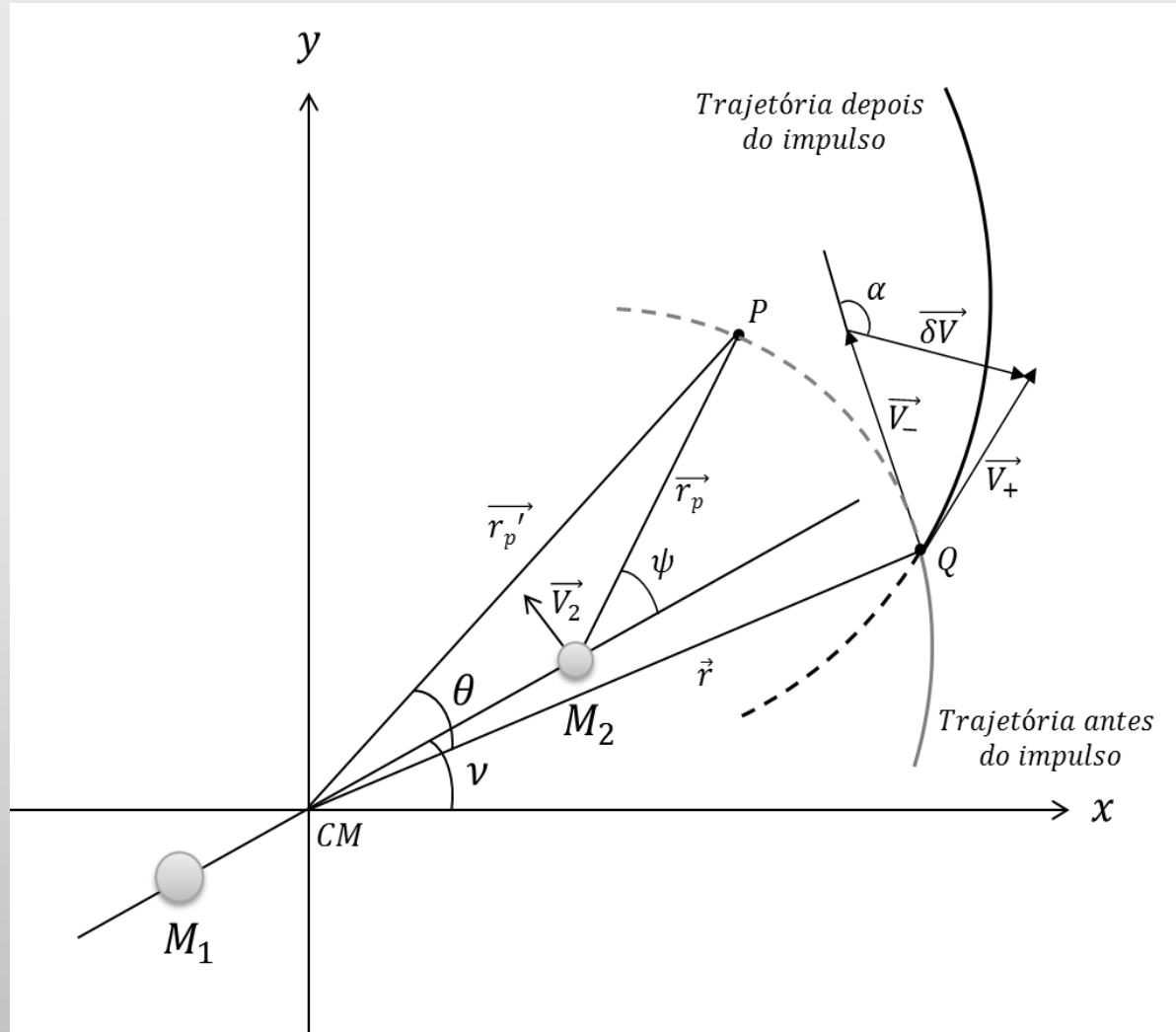
EXTENSÃO DA MANOBRA DE SWING-BY PURO

- Aplicação de impulso
no periapsis da órbita



EXTENSÃO DA MANOBRA DE SWING-BY PURO

- Aplicação de impulso na vizinhança do periapsis da órbita

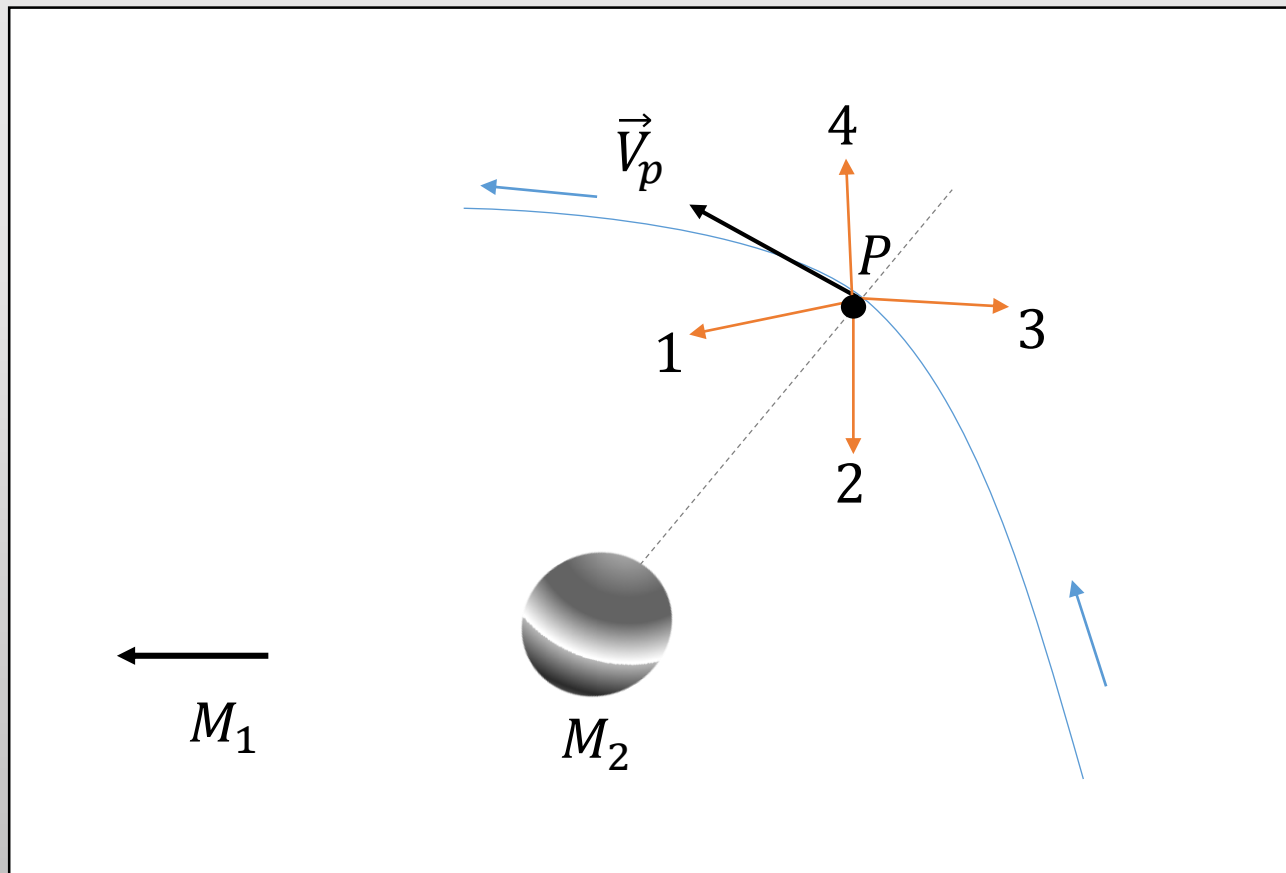


O QUE ANALISAMOS/ESTUDAMOS?

- ☐ Posição e velocidade
- ☐ Elementos orbitais
- ☐ Condições de capturas e colisões do satélite
- ☐ Energia e momento angular
- ☐ Eficiência da manobra
- ☐ Sensibilidade dos parâmetros
- ☐ Mapeamento dos tipos de órbitas em relação ao corpo principal

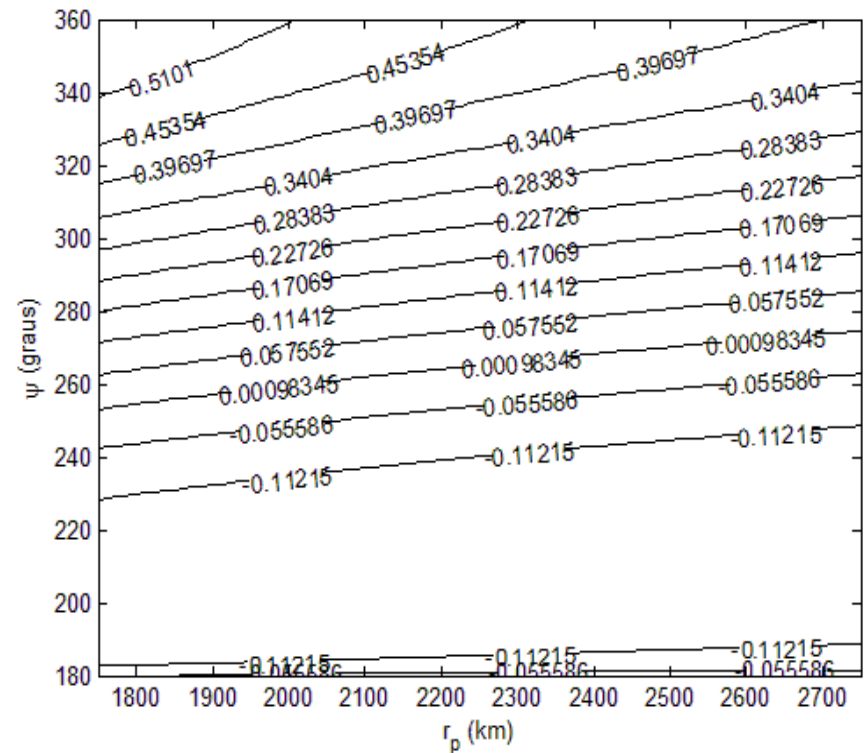
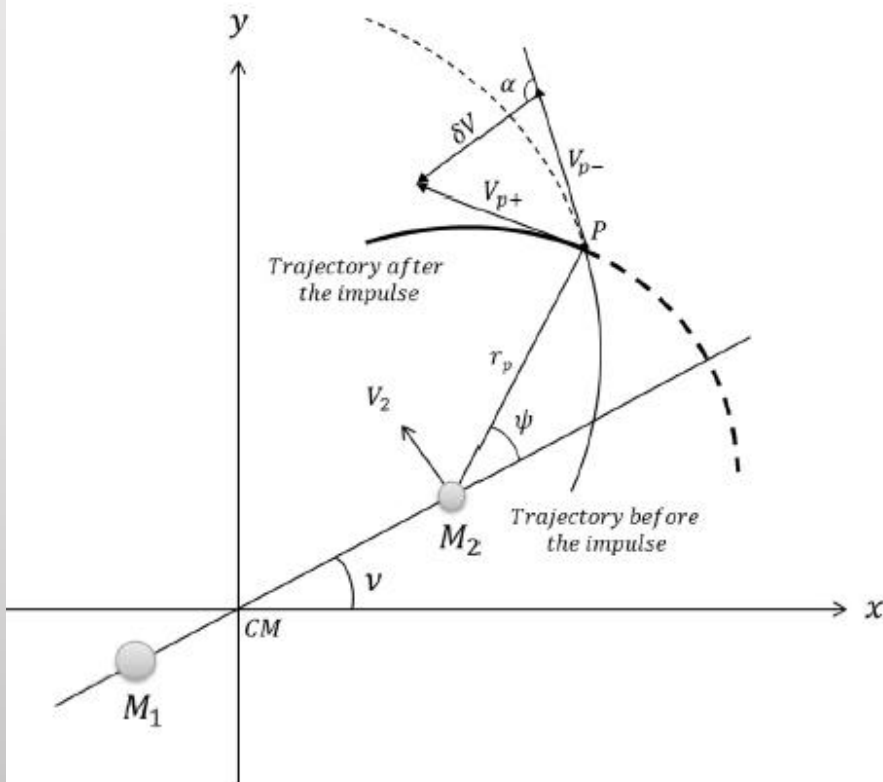
CAPTURAS E COLISÕES

- ❑ Captura: veículo espacial permanece orbitando M_2 até o tempo definido.
- ❑ Colisão: quando o veículo espacial toca a superfície de M_2 .



EFICIÊNCIA DA MANOBRA

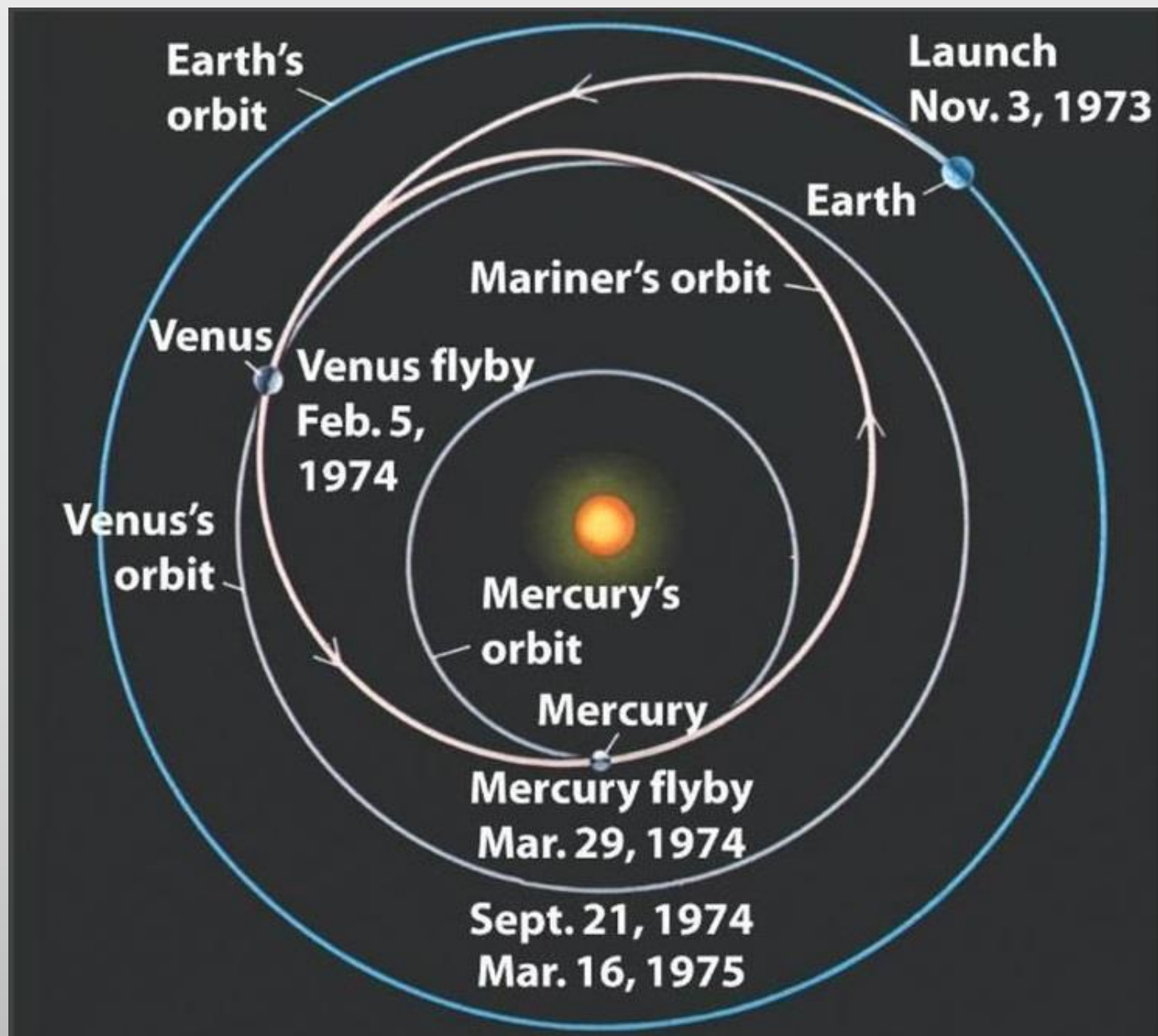
$$\text{Eficiência} = |\Delta E_{imp}| - |\Delta E_{after}|$$



APLICAÇÕES DO SWING-BY NAS MISSÕES

- ☐ Mariner 10
- ☐ Voyager 1 e 2
- ☐ Galileo
- ☐ BepiColombo

MARINER 10

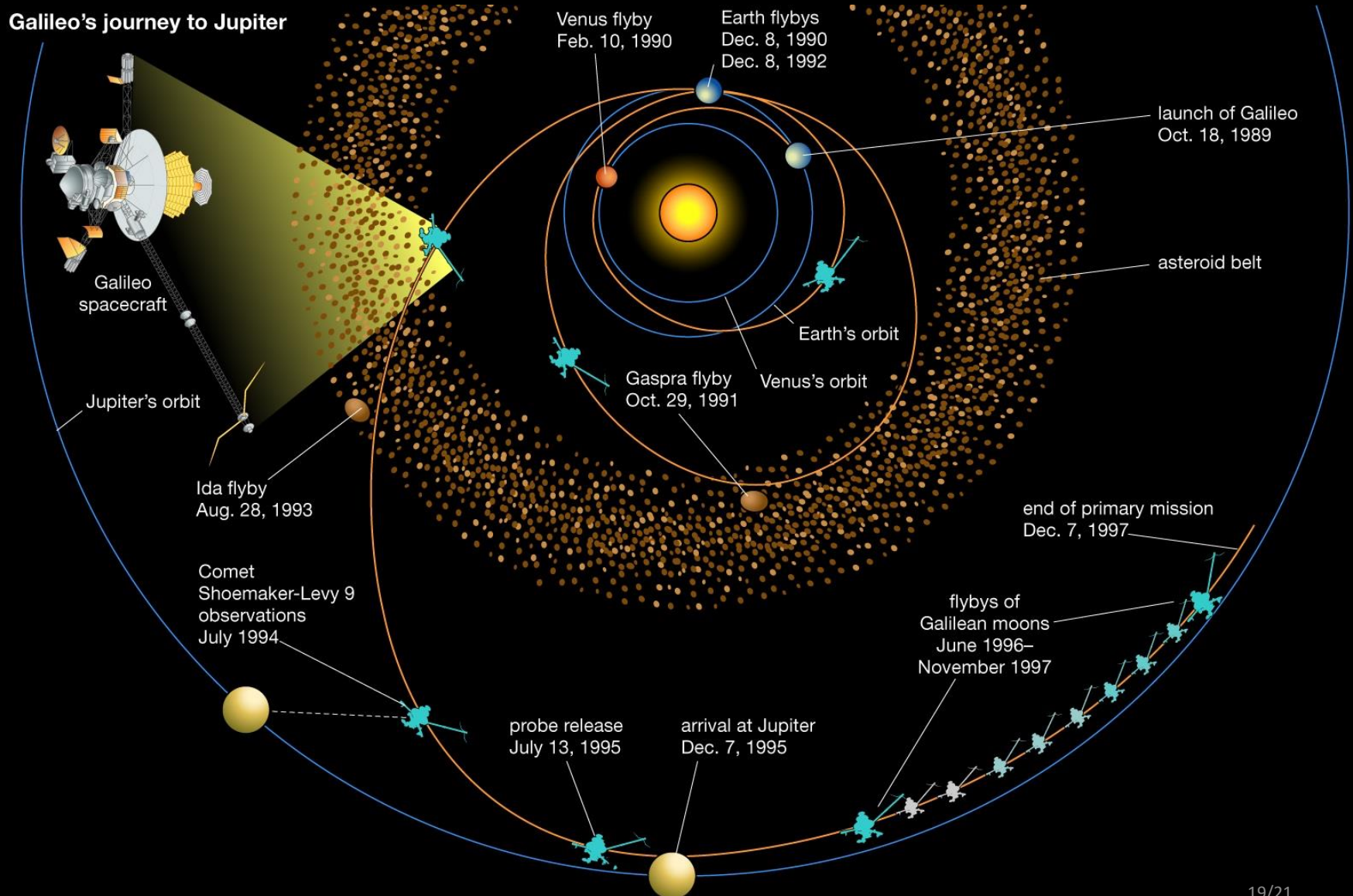


VOYAGER 1 E 2

<https://www.youtube.com/watch?v=rl1gtC6kuPg>

GALILEO

Galileo's journey to Jupiter



BepiColombo

<https://www.youtube.com/watch?v=BK3F4fmqtbA>

Tempo: 0.34 a 2.24 minutos

Referências

1. Minovitch M A. A method for determining interplanetary free-fall reconnaissance trajectories. Pasadena: JPL, Aug. 23. 47 p. (JPL Tec. Memo 312-130) 1961.
2. Broucke R A. The Celestial Mechanics of Gravity Assist. AIAA/AAS Astrodynamics Conference, Minneapolis, MN, AIAA paper 88-4220 1988
3. Prado A F B A. Powered Swing-By. J Guid Control Dyn 1996; 19: 1142-47.
4. Ferreira AFS, Prado AFBA, Winter OC. A numerical mapping of energy gains in a powered Swing-By maneuver. Nonlinear Dyn 2017; 89:791–818. <https://doi.org/10.1007/s11071-017-3485-2>.
5. Ferreira AFS, Prado AFBA, Winter OC, Santos DPS. Analytical study of the powered Swing-By maneuver for elliptical systems and analysis of its efficiency. Astrophys. Space Sci. 2018; 363:145. <https://doi.org/10.1007/s10509-018-3362-6>.
6. Ferreira, A.F., Moraes, R.V., Prado, A.F.B.A., Winter, O.C. Error of Powered Swing-by in the Restricted Three-Body Problem. Journal of Guidance, Control and Dynamcis (2019). Doi: 10.2514/1.G004187
7. Negri, R.B., Prado, A.F.B.A. A historical review of the theory of gravity-assists in the pre-spaceflight era. J Braz. Soc. Mech. Sci. Eng. 42, 406 (2020). <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02489-x>.

OBRIGADA PELA ATENÇÃO!!!

alessandra.ferraz@unesp.br