



Gaturamo
Observatório
Astronômico

INTRODUÇÃO À ASTRONOMIA - 2023

O Sistema Solar

Estrutura e Evolução

Sandro Ricardo De Souza

Doutor e mestre em Astronomia, ambos pelo Observatório Nacional - RJ.

Graduado em Física - UFES

Professor de Física da Rede Estadual de Ensino

Atua no Centro de Formação dos Profissionais da Educação do Espírito Santo (CEFOPE) da SEDU.

A Evolução do Sistema Solar

Sandro Ricardo De Souza



Mas quem é esse cara?

Sobre o que vamos falar?

Resumo

- O que sabíamos sobre o Sistema Solar até os anos 80?
- Ciência e tecnologia que modificaram nossa visão
- O novo Sistema Solar

- Planetas são “Astros Errantes”
- Os planetas giram em torno do Sol
- Nebulosa Planetária de Laplace
- O tempo de vida do Sol

Resumo

- O que sabíamos sobre o Sistema Solar até os anos 80?
- Ciência e tecnologia que modificaram nossa visão
- O novo Sistema Solar

- Era dos grandes telescópios
- Telescópios e sondas espaciais
- Microcomputadores
- Supercomputadores
- Exoplanetas
- JWST

Resumo

- O que sabíamos sobre o Sistema Solar até os anos 80?
- Ciência e tecnologia que modificaram nossa visão
- O novo Sistema Solar

- O movimento dos planetas gigantes
- O pequenos corpos do Sistema Solar
 - Cinturão de asteroides
 - Nuvem de Oort
- A origem da Lua
- Exossistemas

Resumo

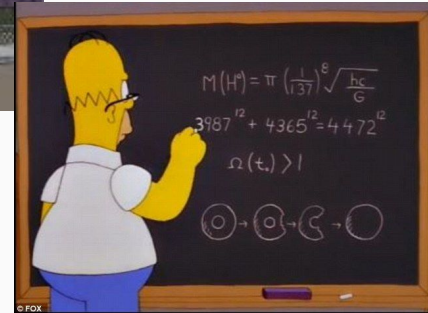
- O que sabíamos sobre o Sistema Solar até os anos 80?
- Ciência e tecnologia que modificaram nossa visão
- O novo Sistema Solar

**O que sabíamos sobre o
Sistema Solar até os
anos 80?**

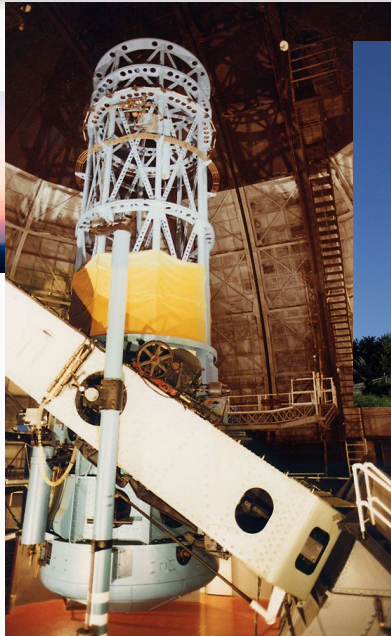
Até os anos 80...



Até os anos 80... na ciência e tecnologia



Telescópios



Observatório Monte Wilson
Final do século 19



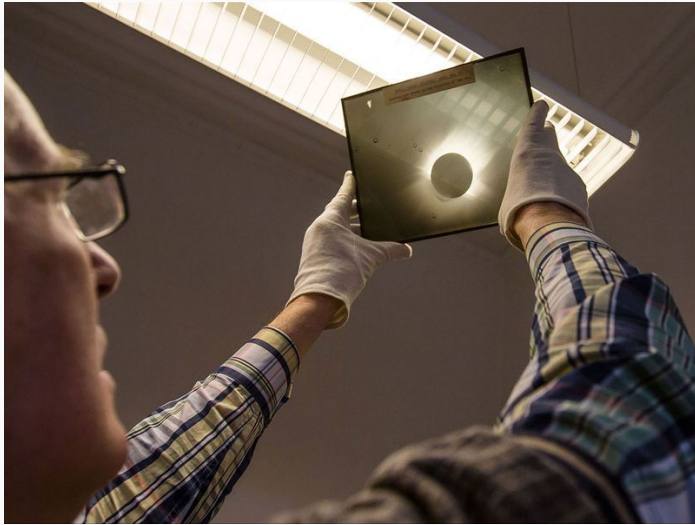
Observatório Palomar
anos 1920



Radiotelescópio de Arecibo
1963



Fotografia



Chapa fotográfica de 1919 do eclipse solar total, tirada por Andrew Claude de la Cherois Crommelin and Charles Rundle Davidson durante a expedição a Sobral, no Brasil. (Niels Bohr Institute, University of Copenhagen)



Nebulosa de Órion registrada em chapa fotográfica



Isaac Roberts, 1888
ANDROMEDA GALAXY

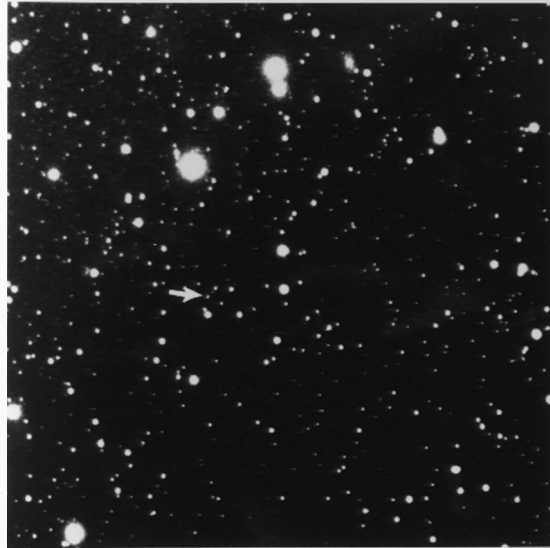


NASA: ANDROMEDA
GALAXY

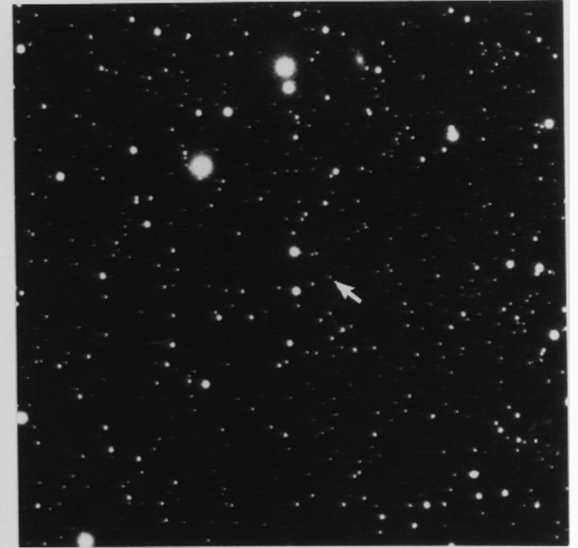
Fotografia



DISCOVERY OF THE PLANET PLUTO

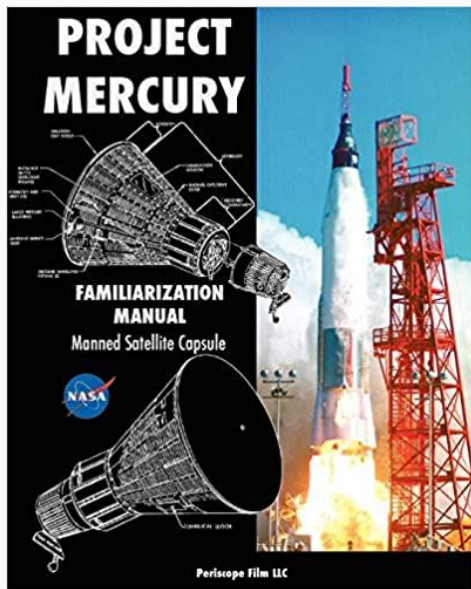


January 23, 1930

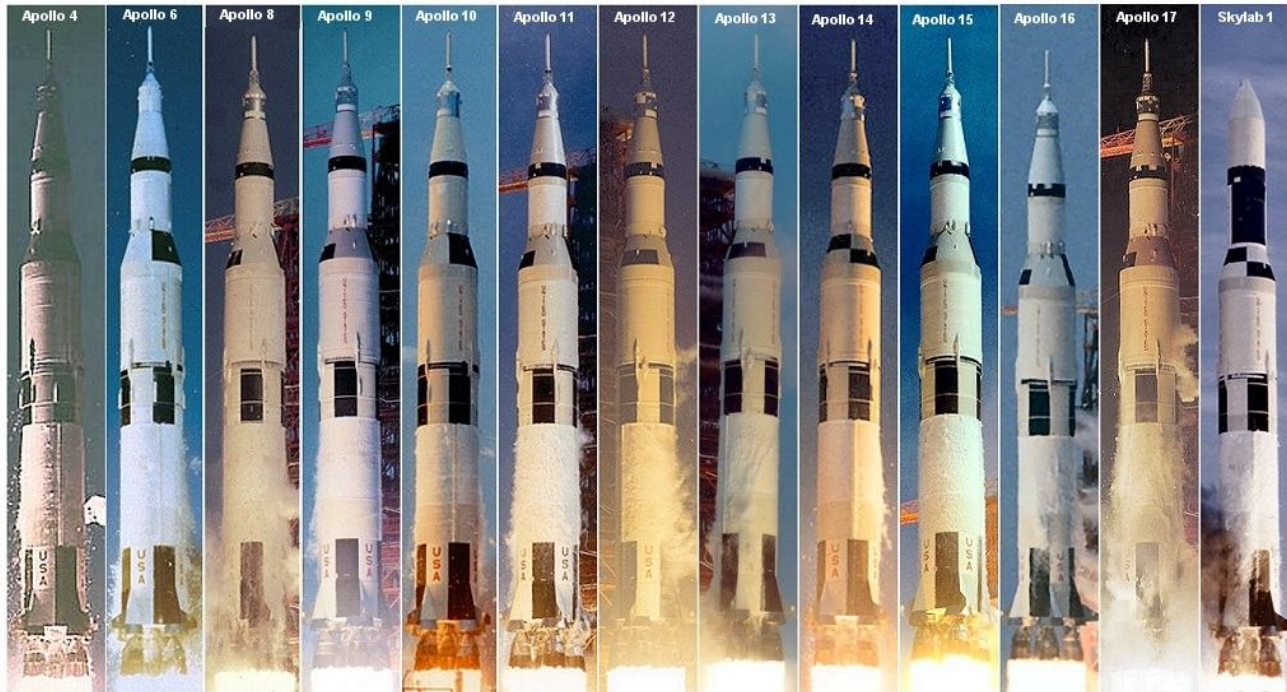


January 29, 1930

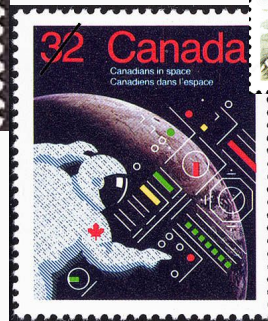
Era espacial



Era espacial



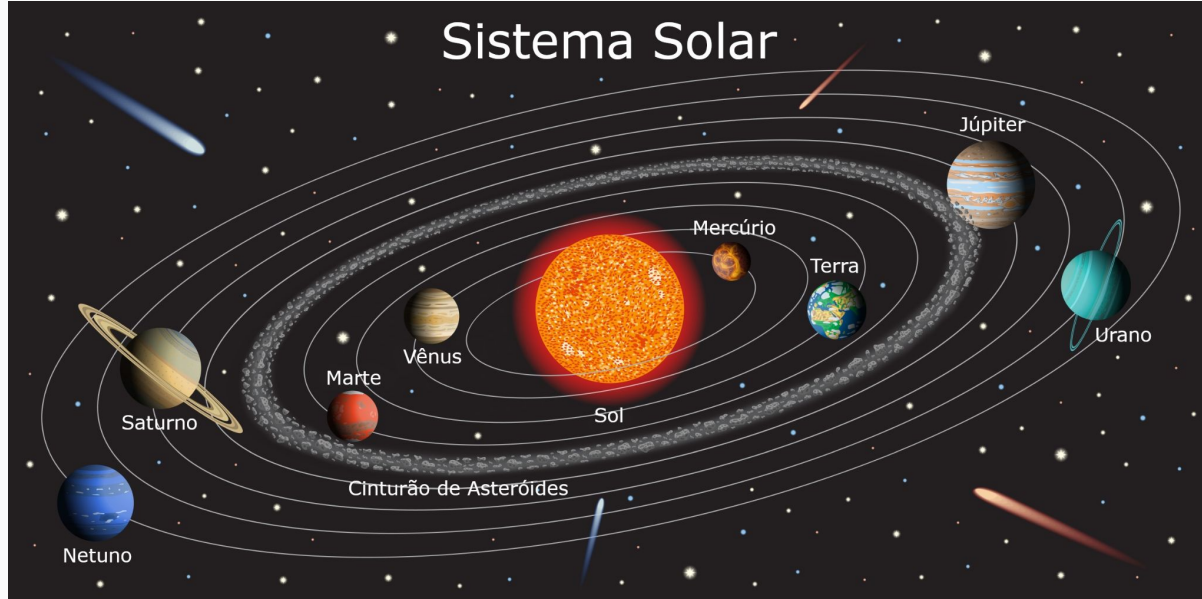
Era espacial



Então... o que
sabíamos sobre o
Sistema Solar?



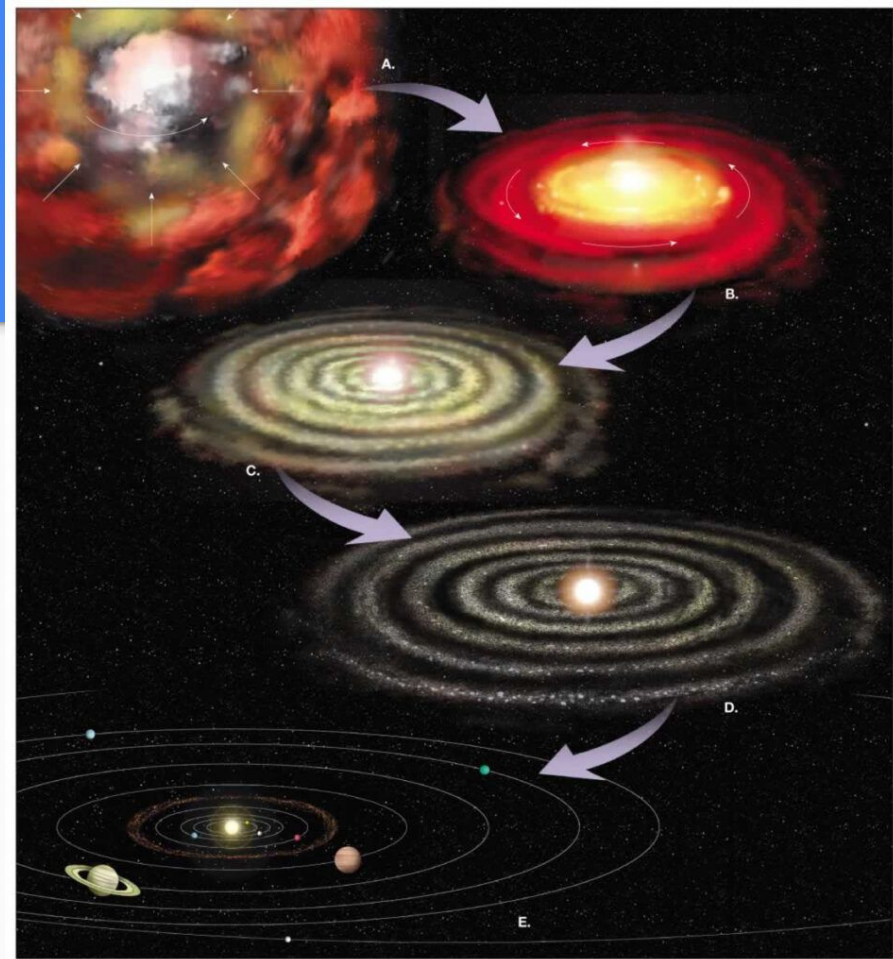
Sistema Solar



Tá faltando alguma coisa ai!



Hipótese nebular de Laplace



Hipótese nebular de Laplace



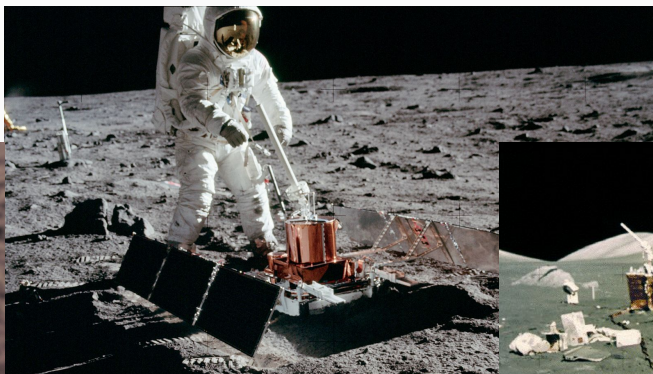
E o que
aconteceu depois
dos anos 80?



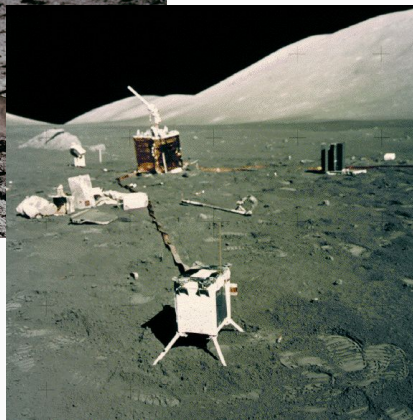
Pesquisas na Lua



Rochas trazidas da
Lua



Sismógrafo



Medidas de velocidade e direção de
meteoritos

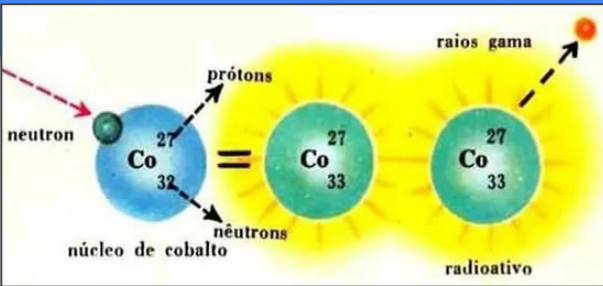


Espelho

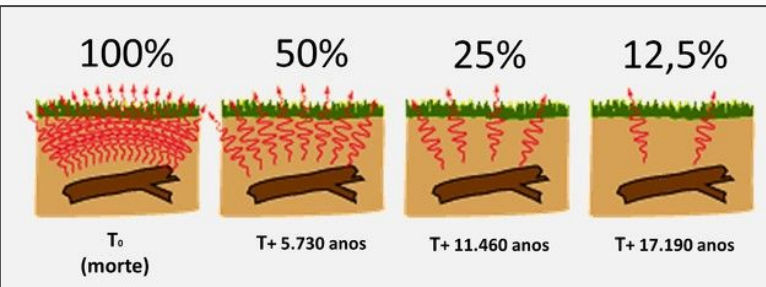


Laser enviado para o espelho lunar deixado
pela missão Apollo 15, a partir do
Observatório de Yunnan - China.

Pesquisa nuclear



Os isótopos nos contam a história do reservatório local de material, ou seja, os processos



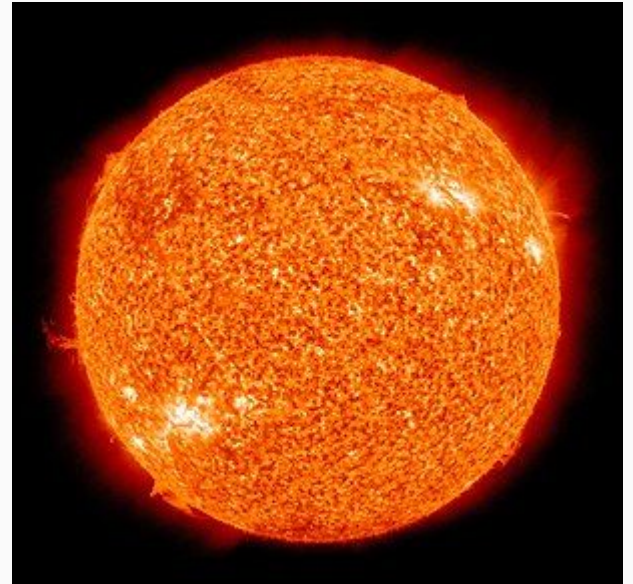
A física nuclear nos permite conhecer a idades de materiais orgânicos e rochosos



Aliada à física nuclear, a geologia nos permite conhecer a idade das rochas. E podemos aplicar este conhecimento aos astros do Sistema Solar

Pesquisa nuclear

O Sol é uma estrela. Nasceu a aproximadamente cinco bilhões de anos. Deve continuar brilhando por mais cinco bilhões de anos



Era dos grandes telescópios

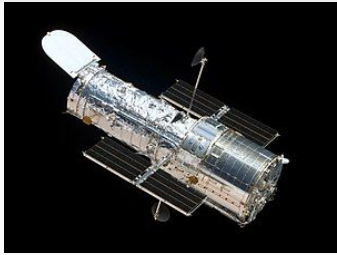


Observatório Gemini

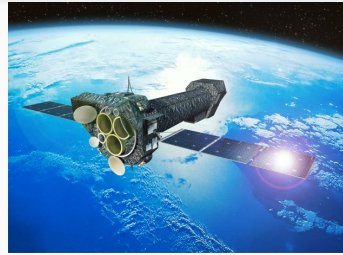


Very Large Telescope - Observatório Paranal-
ESO

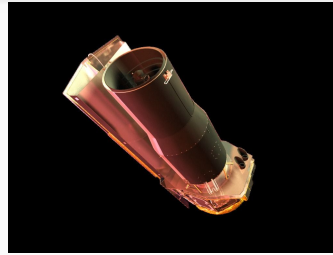
Telescópios espaciais



Telescópio Hubble



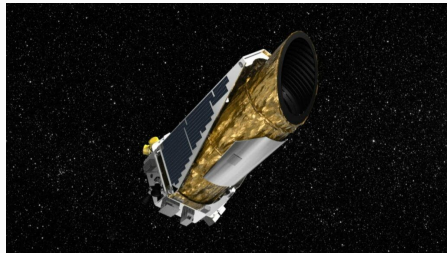
Telescópio de raios-x
XMM Newton



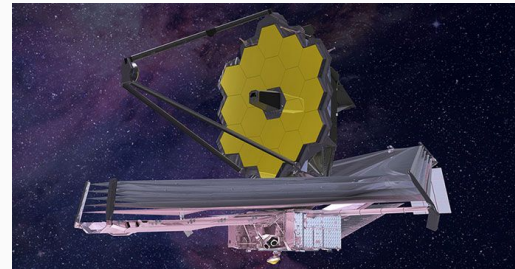
Telescópio de
infravermelho
Spitzer



Telescópio Corot estrelas e
exoplanetas

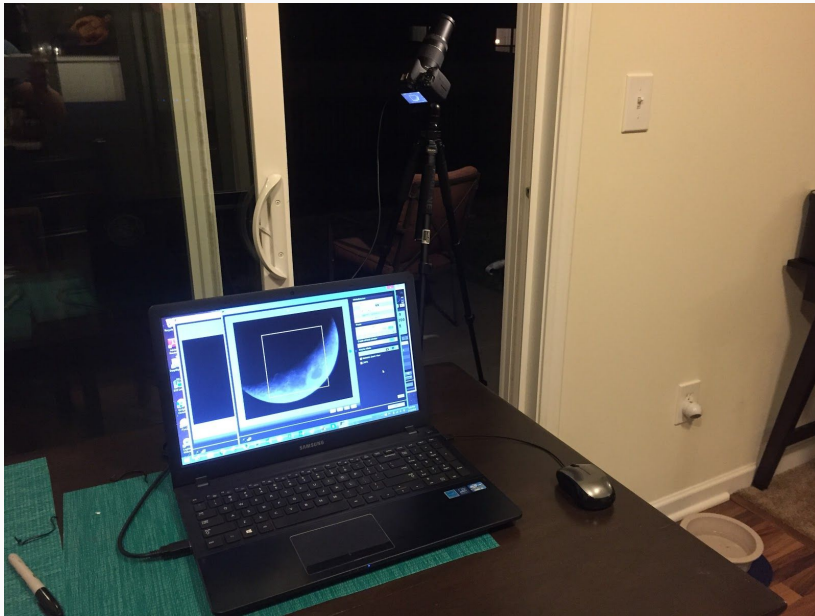


Telescópio Kepler: milhares de exoplanetas

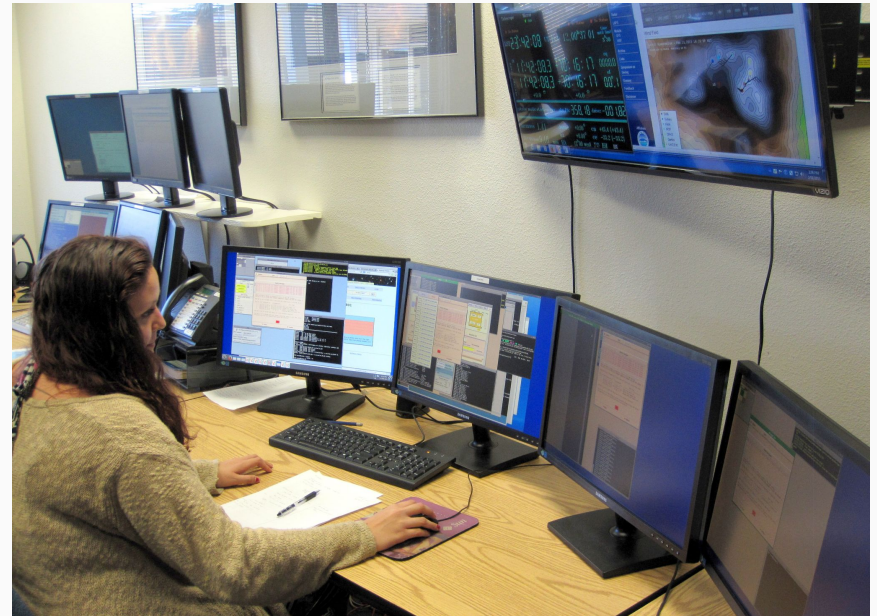


Telescópio James Webb

Microcomputadores e supercomputadores



Astrônomo amador



Astrônomo profissional

Microcomputadores e supercomputadores



Supercomputador brasileiro
SDumont - 36472 núcleos



IBM Blue Gene/P 164000 núcleos

Computação paralela e GPUs



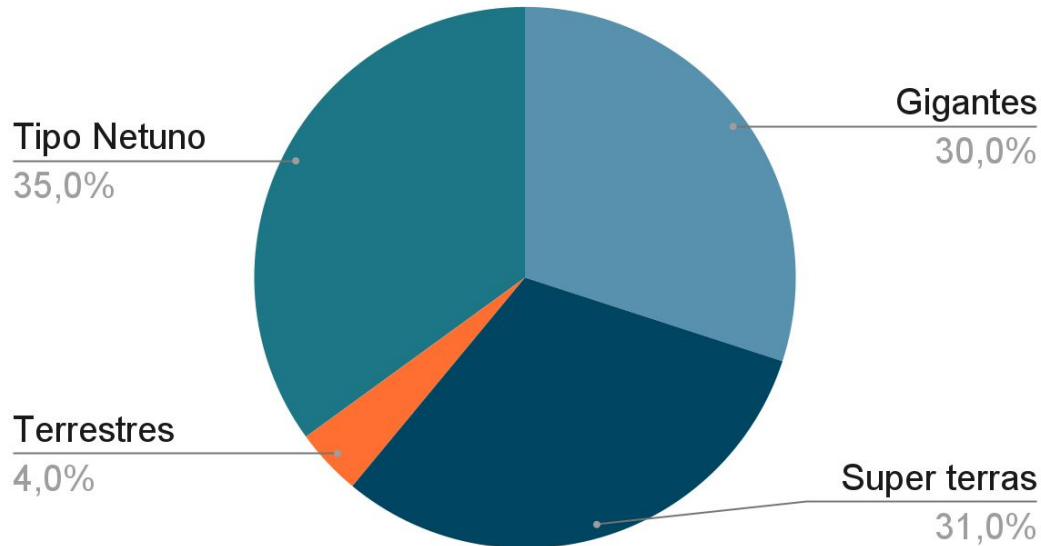
Computador gamer usado para pesquisa

Computação paralela e GPUs



Descoberta de exoplanetas

5000+ planetas encontrados



O que os exoplanetas nos ensinam, sobre o Sistema Solar?

Nosso modelo de formação pode não ser a única forma de se fazer um sistema planetário...

... ou nosso modelo está errado.

- Hot Jupiters (Júpiteres quentes)
- 51 Pegasi b (Mayor & Queloz, 1995)
- $a = 0,053 \text{ au}$ (Mercúrio está a 0,38 au)

O novo Sistema Solar

Migração planetária

Ao longo da formação do Sistema Solar, os planetas podem ter passado por dois tipos de migração.

- O semieixo maior dos planetas podem variar, ao longo de milhares de anos (ver simulador)

Migração planetária

Ao longo da formação do Sistema Solar, os planetas podem ter passado por dois tipos de migração.

- O semieixo maior dos planetas podem variar, ao longo de milhares de anos (ver simulador)

...mas como é isso?



Migração planetária

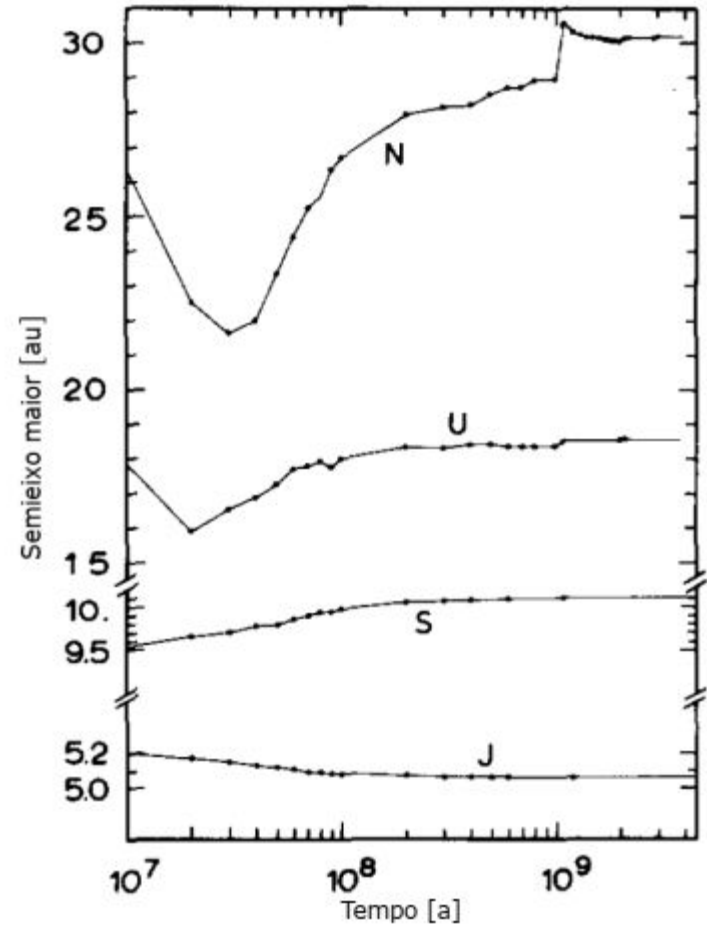
Ao longo da formação do Sistema Solar, os planetas podem ter passado por dois tipos de migração.



Julio Fernandez

Em 1984 este pesquisador, estudando a formação de Urano e Netuno e a interação com o disco de planetesimais, observou a migração dos gigantes.

Simulação feita por Julio Fernandez em 1984. Planetas Júpiter (J), Saturno (S), Urano (U) e Netuno (N).



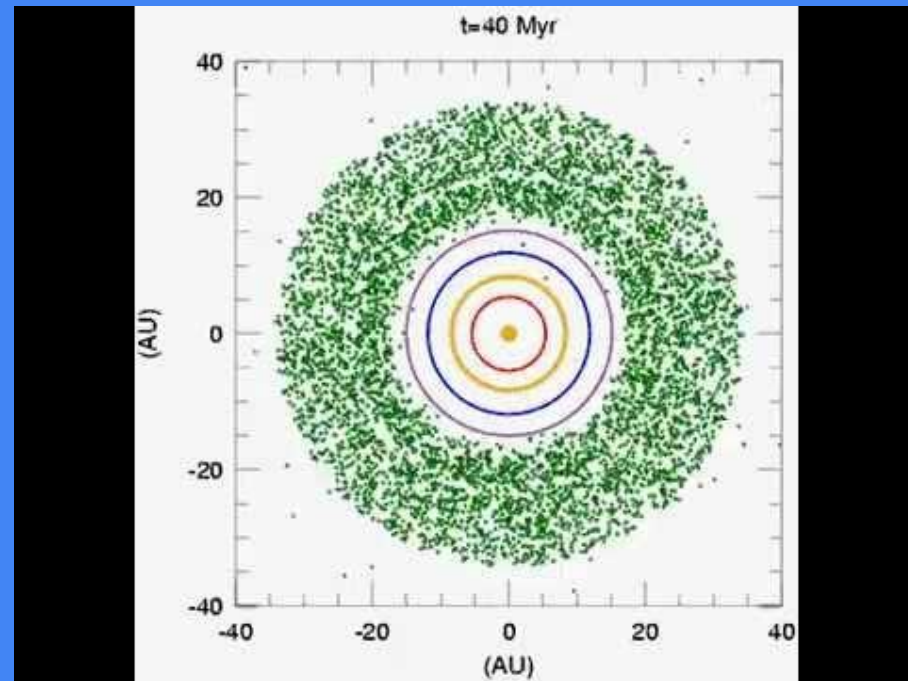
O modelo de Nice

A partir das ideias de Julio Fernandes, outros pesquisadores propuseram outros modelos de migração planetária

Rodney Gomes, Hal Levison, Alessandro Morbidelli, e Kleomenis Tsiganis, pesquisadores do Observatório Côte d'Azur de Nice, França, propuseram um modelo mais completo.

Neste modelo, os quatro gigantes migram ao interagirem com o disco de planetesimais.

Mas este modelo padecia de um mal... quase sempre um gigante de gelo era espelido. Como resolver?



Simulação do modelo de Nice. A instabilidade ocorre quase no final.

Jumping-Jupiter e o quinto gigante de gelo

Morbidelli e Nesvorny, para resolver questões deixadas em aberto pelo modelo de Nice, propuseram que no início do Sistema Solar havia cinco planetas gigantes

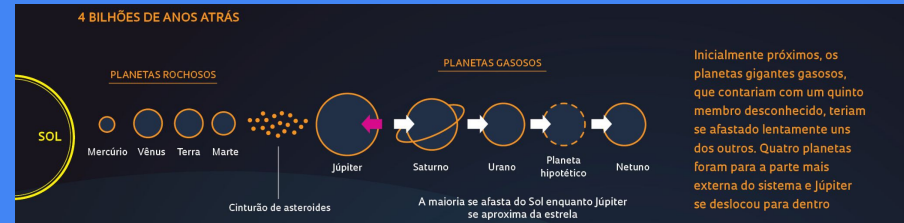
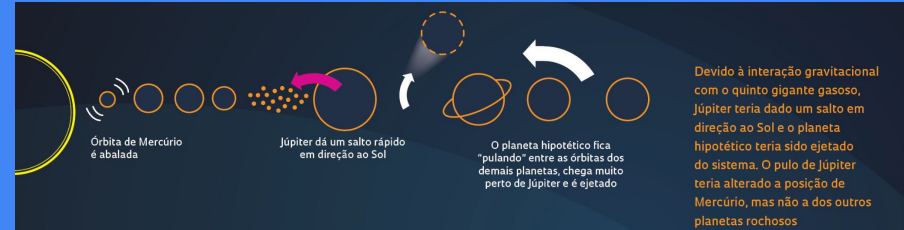


Diagrama do modelo Jumping-Jupiter com o quinto gigante de gelo.

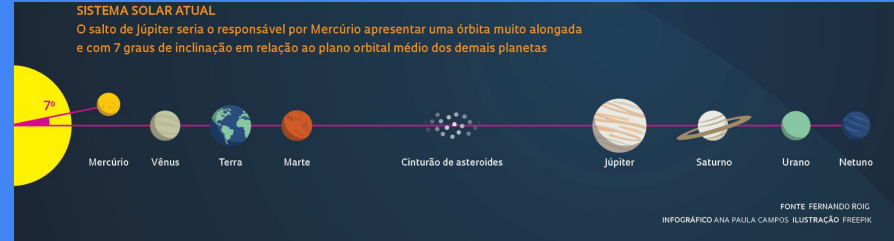
Jumping-Jupiter e o quinto gigante de gelo

Morbidelli e Nesvorny, para resolver questões deixadas em aberto pelo modelo de Nice, propuseram que no início do Sistema Solar havia cinco planetas gigantes



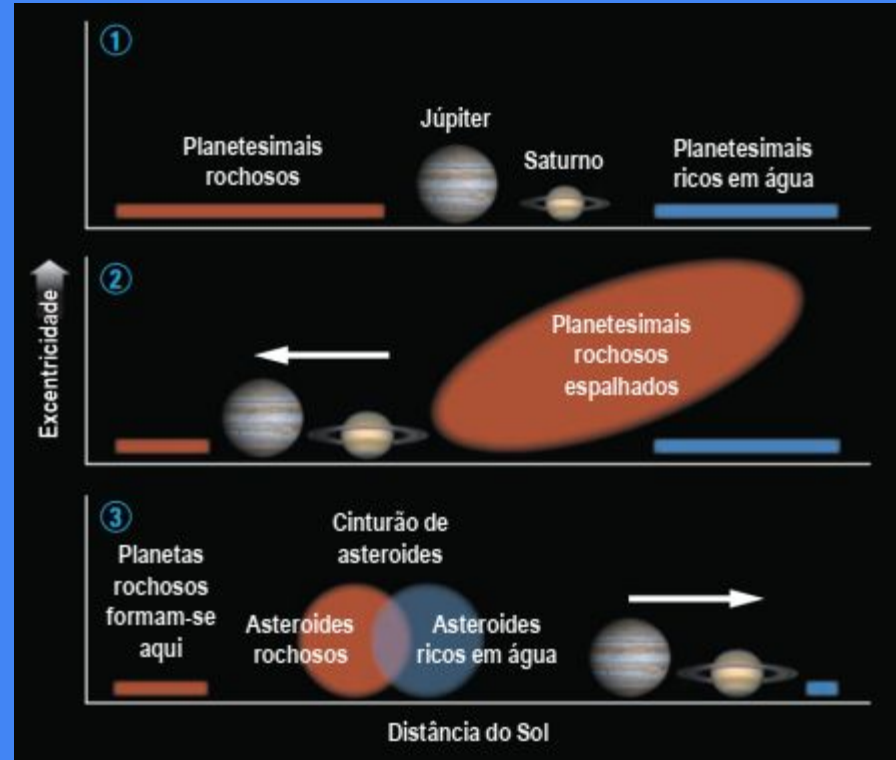
Jumping-Jupiter e o quinto gigante de gelo

Morbidelli e Nesvorny, para resolver questões deixadas em aberto pelo modelo de Nice, propuseram que no início do Sistema Solar havia cinco planetas gigantes



Jumping-Jupiter e o quinto gigante de gelo

Este modelo explica a mistura de tipos diferentes de asteroides no cinturão.



O modelo Jumping-Jupiter com o quinto gigante de gelo, ajuda a explicar o espalhamento de asteroides pelo sistema solar (mixing).

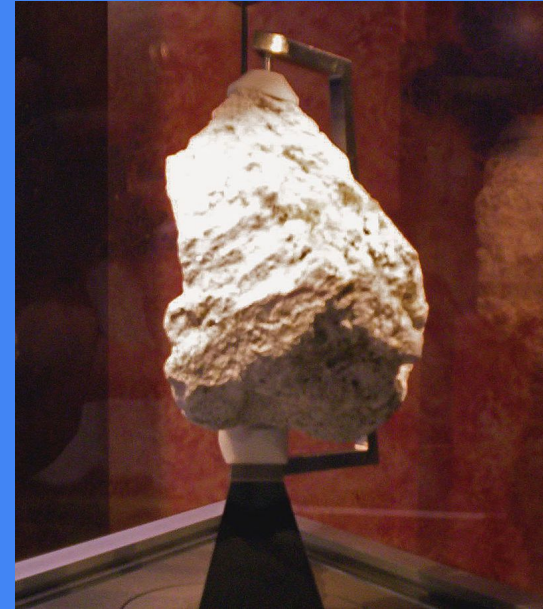
A origem da Lua

Descobrir a origem de nosso satélite porque isto está relacionado diretamente à origem do nosso planeta



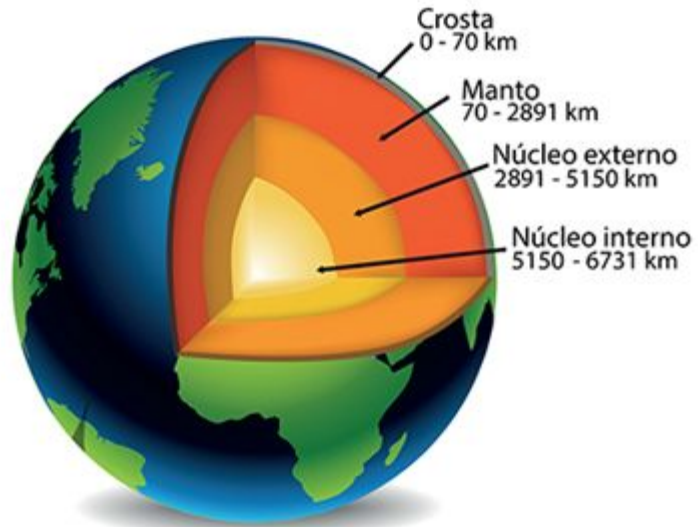
Rochas da Lua

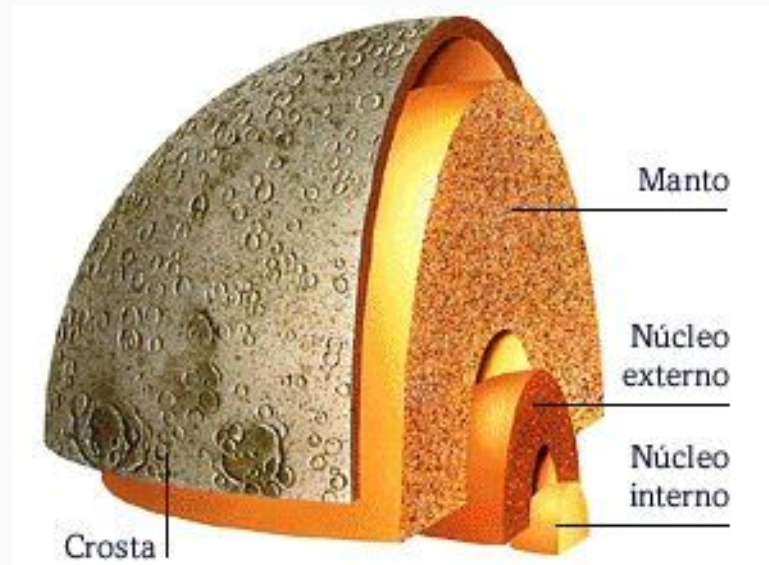
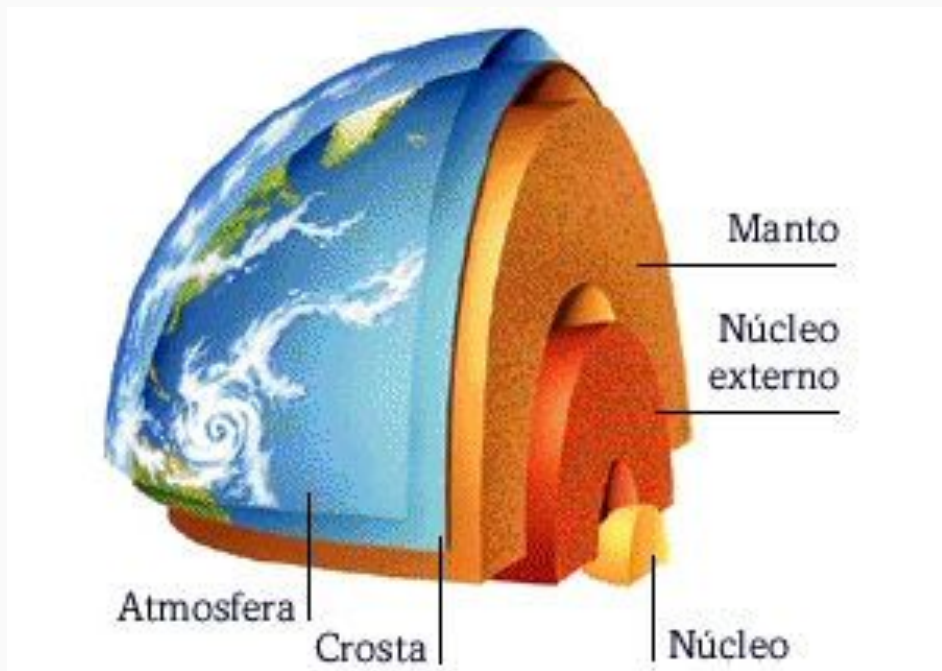
Missão Lunar	Quantidade Trazida
Apollo 11	22 kg
Apollo 12	34 kg
Apollo 14	43 kg
Apollo 15	77 kg
Apollo 16	95 kg
Apollo 17	111 kg
Sub total Apollo	382 kg
Luna 16	101 g
Luna 20	55 g
Luna 24	170 g
Sub total Luna	326 g



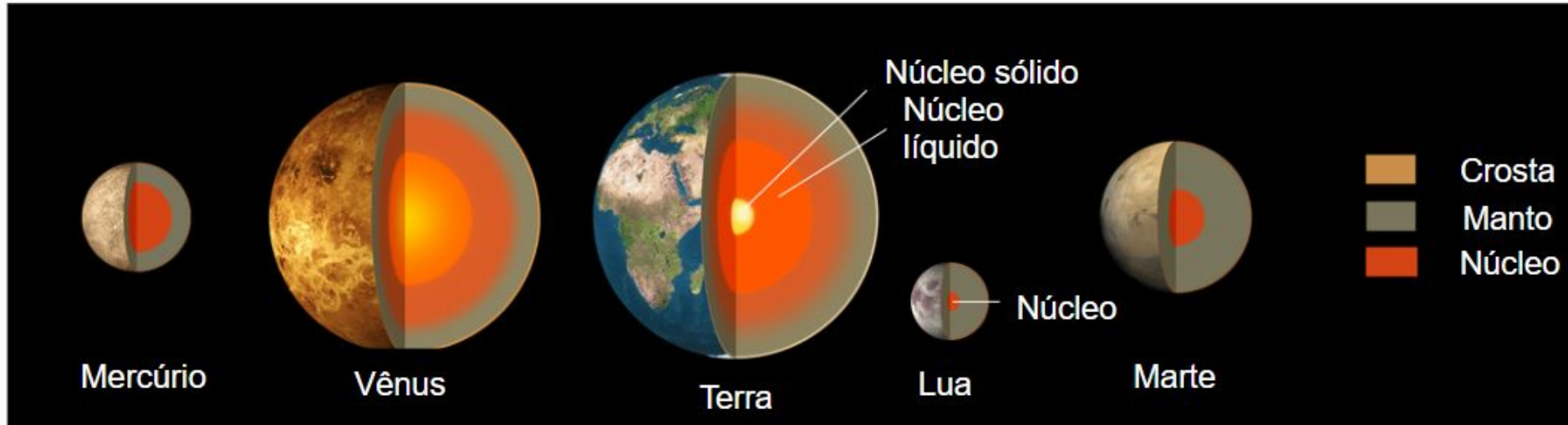
Amostra de Anortosito Ferroso Lunar, coletado pela Apollo 16. National Museum of Natural History em Washington, DC.

Lua e Terra





As estruturas da Lua e da Terra. Crédito: Enciclopédia do Espaço e do Universo, DK Multimedia.



Comparação das estruturas internas dos planetas terrestres e a Lua

Formação da Lua

- Teoria padrão, para a formação da Lua - Teia



Concepção artística da colisão de Theia e a proto-Terra

Formação da Lua

Theia teria uma assinatura isotópica semelhante a de Marte. Mas onde estão os vestígios de Theia na Lua?

- Problemas com a teoria padrão

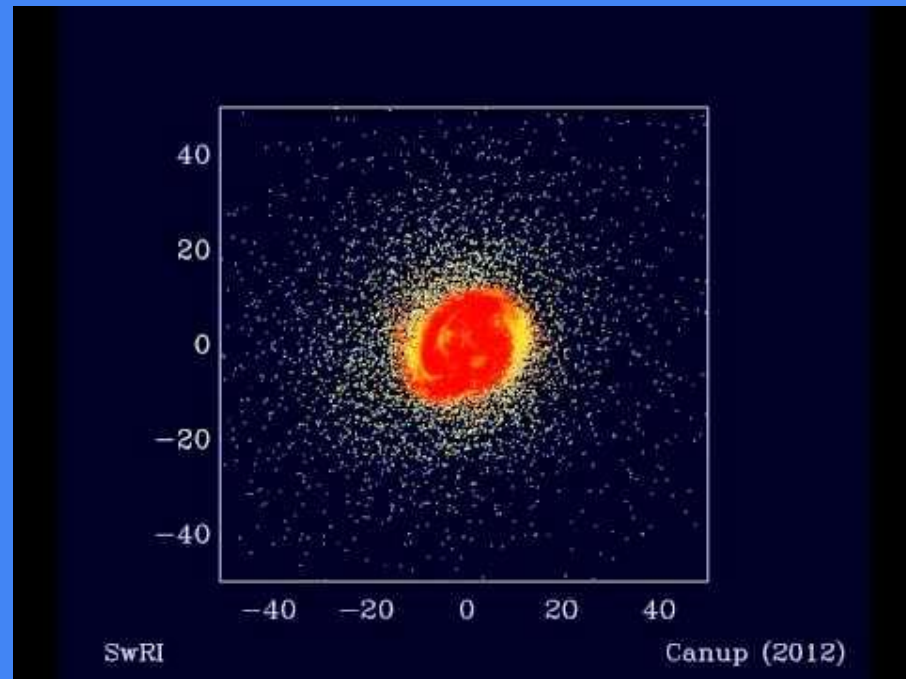


Concepção artística da colisão de Theia e a proto-Terra

Jumping-Jupiter e a formação da Lua

Este modelo pode ajudar a explicar a formação da Lua - a Hipótese do Impacto Gigante

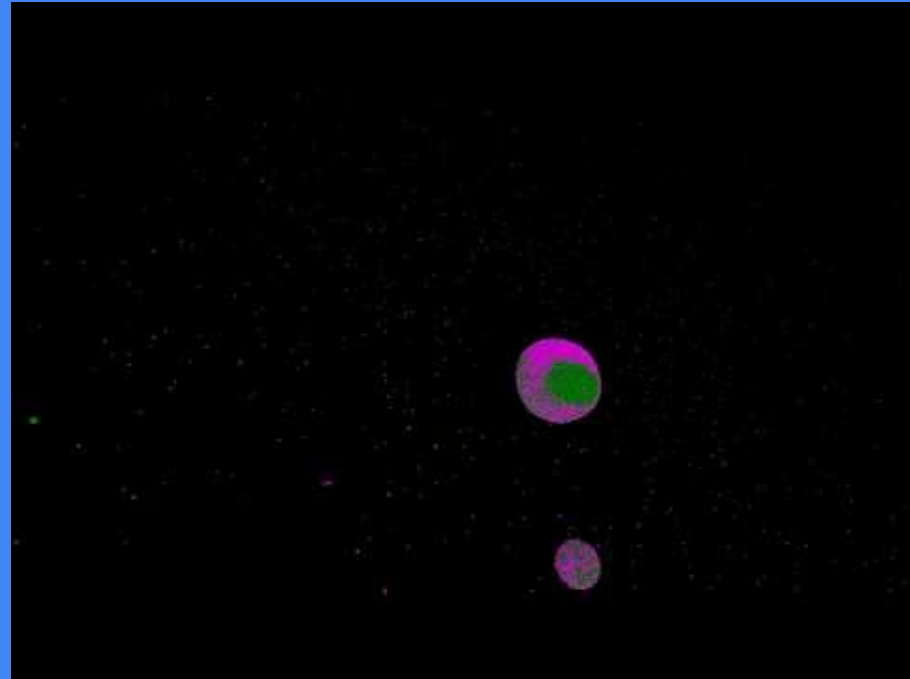
- Solução: impacto de duas meias terras



Jumping-Jupiter e a formação da Lua

Este modelo pode ajudar a explicar a formação da Lua - a Hipótese do Impacto Gigante

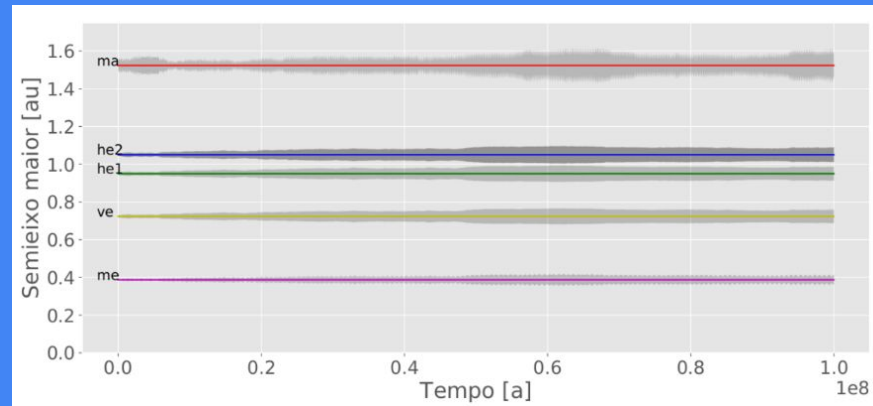
- Solução: impacto de duas meias terras



Jumping-Jupiter e a formação da Lua

Este modelo pode ajudar a explicar a formação da Lua - a Hipótese do Impacto Gigante

- Solução: impacto de duas meias terras

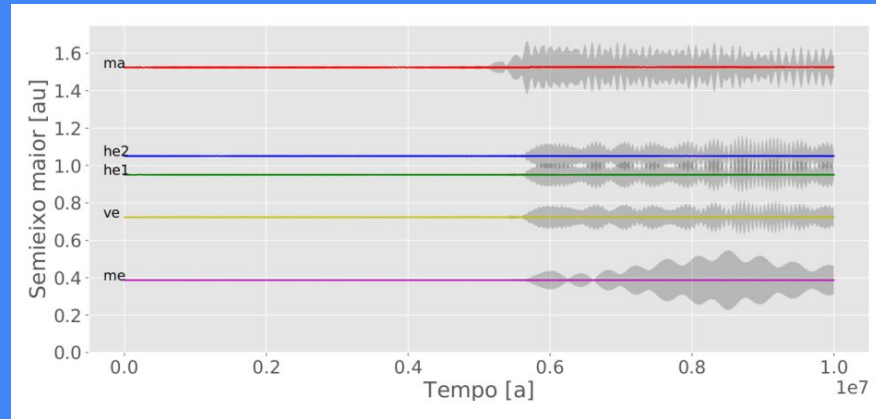


Simulação feita pelo próprio autor, mostrando meta-estabilidade em 100 milhões de anos do sistema solar, na ausência de migração planetária. Quando não há migração, não ocorrem colisões. Na figura são mostrados apenas Mercúrio, Vênus, duas meias-terras (dois planetas com metade da massa da Terra atual) e Marte.

Jumping-Jupiter e a formação da Lua

Este modelo pode ajudar a explicar a formação da Lua - a Hipótese do Impacto Gigante

- Solução: impacto de duas meias terras



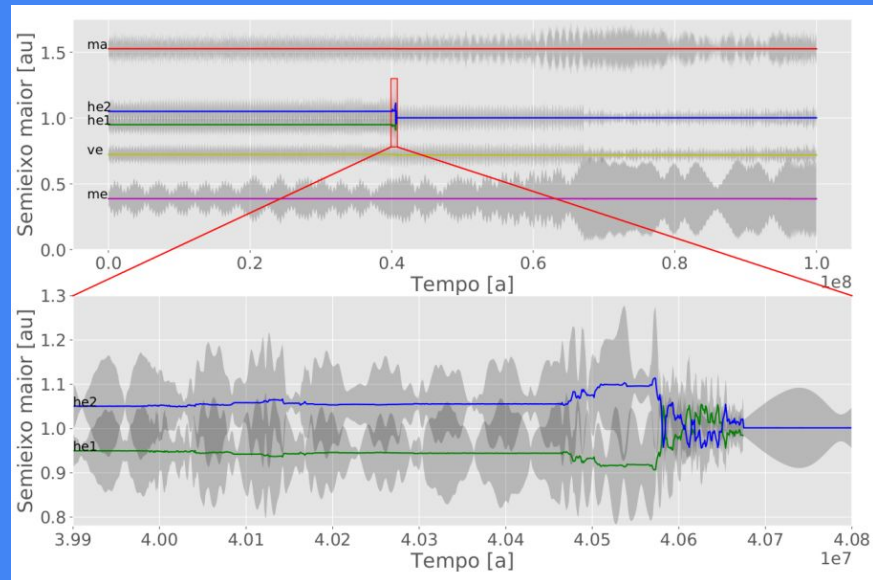
Simulação feita pelo próprio autor, mostrando instabilidade em 10 milhões de anos do sistema solar, com a migração planetária. Na figura são mostrados apenas Mercúrio, Vênus, duas meias-terras (dois planetas com metade da massa da Terra atual) e Marte.

Jumping-Jupiter e a formação da Lua

Este modelo pode ajudar a explicar a formação da Lua - a Hipótese do Impacto Gigante

Simulação feita pelo próprio autor, mostrando instabilidade em 10 milhões de anos do sistema solar, com a migração planetária. Na figura são mostrados apenas Mercúrio, Vênus, duas meias-terras (dois planetas com metade da massa da Terra atual) e Marte. No detalhe, colisão das duas meias terras que poderia ter dado origem a Lua

- Solução: impacto de duas meias terras



O Sistema Solar
provavelmente teve um
passado turbulento



E o que mais?

... Marte?

... Saturno?

...





WOOHOO!

THANKS!