

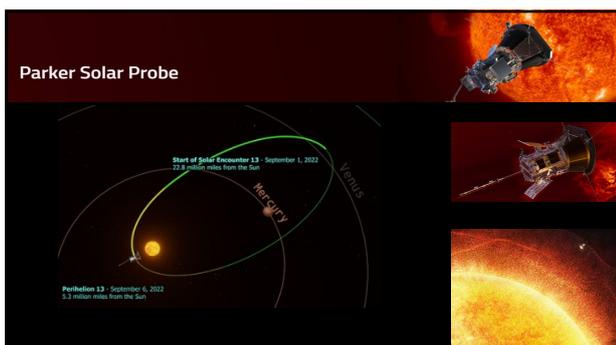
O vento solar

- O vento solar flui do Sol em todas as direções com velocidades de cerca de 400 km/s. (Satélite ACE - L1)
- A fonte do vento solar é a coroa quente do Sol. A temperatura da coroa é tão alta que a gravidade do Sol não pode reter o vento.
- Embora extremamente quente, não entendemos os detalhes sobre como e onde os gases coronais são acelerados a essas altas velocidades.
- Esta questão está relacionada à questão do aquecimento coronal.

O processo de aquecimento coronal - SOLAR WIND

- A atmosfera externa do Sol (a Coroa) tem temperatura de mais de 1.000.000 °C, enquanto a superfície visível tem temperatura de apenas cerca de 6000°C.
- A natureza dos processos que aquecem a coroa, a mantêm sob altas temperaturas e aceleram o vento solar é um dos grandes mistérios.
- Geralmente as temperaturas caem à medida que você se afasta de uma fonte de calor. Isso é verdade no interior do Sol até a superfície visível. Então, a uma distância relativamente pequena, a temperatura subitamente atinge valores extremamente altos.
- Vários mecanismos foram sugeridos como fonte desse aquecimento, mas não há consenso sobre qual deles é realmente responsável.

USP - MPA5001



Parker Solar Probe

- A temperatura da coroa solar é extremamente alta: em contraste com os 5.800 K da superfície solar e os 7.000K da cromosfera (uma fina camada que separa a superfície da coroa), atingindo dois milhões de kelvins.
- Este fenômeno de aumento considerável da temperatura à medida que se afasta da superfície do Sol não é totalmente elucidado.
- No entanto, é parcialmente explicado pela existência de jatos de plasma chamados "espículas" espalhados pela superfície e emitidos para as alturas atmosféricas a uma velocidade que varia de 50 a 100km/s.
- A coroa através da qual a Parker Solar Probe voa, por exemplo, tem uma temperatura extremamente alta, mas densidade muito baixa.
- Pense na diferença entre colocar a mão em um forno quente versus colocá-la em uma panela de água fervente (não tente isso em casa). A espaguetaria interage com menos partículas quentes e não recebe tanto calor.
- Parker só será aquecida a cerca de **1.400 graus Celsius**.

USP - MPA5001



Ventos estelares

Os ventos estelares podem ser caracterizados por um processo contínuo de perda de massa, como no caso do vento solar ($\approx 10^6$ ton/s), em contraposição aos processos de perda de massa episódicos ou catastróficos, como nas estrelas novas e supernovas.

A estrutura mais externa do Sol - a coroa - estende-se de fato em direção ao espaço interplanetário na forma do vento solar.

Dois exemplos importantes são as sondas Mariner II que, em 1962, detectou e mediu as velocidades do vento solar, e Ulysses, que observou a região dos polos solares em 1994/1995. Velocidades com dois regimes da ordem de 400km/s a 700km/s ($\rho = 5$ part/cm³) foram detectadas.

Dois (2) indícios de um fluxo de partículas emitidas pelo Sol, em particular por meio de medidas de raios cósmicos e pela observação da cauda de cometas que penetravam no Sistema Solar. Outras evidências relacionadas com o vento solar incluem as auroras e as tempestades geomagnéticas.

Comet Hale-Bopp
Dust tail
Ion tail

USP - MPA5001

Quais são os impactos sobre a Terra?

As Auroras

The Cause of the Aurora

Excited oxygen emits radiation
Red Light
Green Light
Excited nitrogen emits radiation
Red Light

USP - MPA5001

Quais são os impactos sobre a Terra?

As Auroras

The Cause of the Aurora

Excited oxygen emits radiation
Red Light
Green Light
Excited nitrogen emits radiation
Red Light

USP - MPA5001

Aurora em Saturno

Aurora em Júpiter

Io tem um papel interessante no sistema: essa lua é vulcanicamente ativa, seus vulcões emitem **dióxido de enxofre** e o gás vai para a órbita do planeta; depois, este gás se torna plasma que forma um cinturão de formato parecido com o de uma moedinha envolvendo o planeta. Só que Júpiter tem rotação tão rápida que o plasma não consegue acompanhá-lo, e acaba sendo "puxado" por correntes elétricas. Quando essas correntes vão para a atmosfera, elas causam auroras extremamente brilhantes.

USP - MPA5001

O programa espacial

Entre o Sol e a Terra - Van Allen Belts

USP - MPA5001

Ventos estelares/Perda de massa

Perda de massa $\approx 10^6$ ton/s
Idade $\approx 5,0 \times 10^9$ anos
Massa $\approx 2,0 \times 10^{30}$ kg
Heliosphere

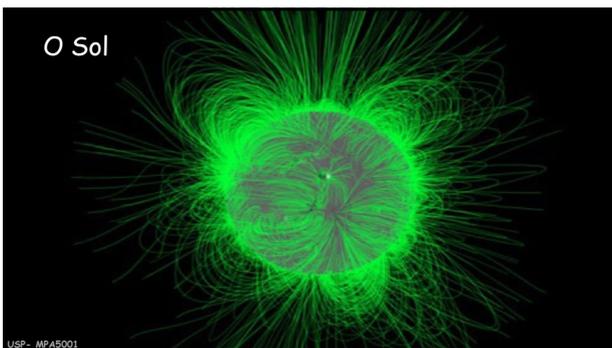
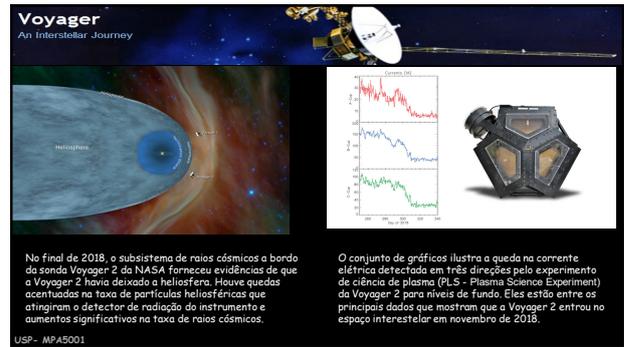
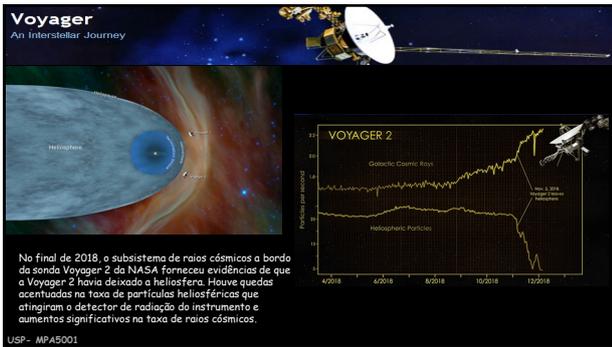
$\% \frac{\Delta m}{m} = 0,008\%$

Interstellar Medium

USP - MPA5001

A heliosfera

USP - MPA5001



Oscilações estelares

Há duas razões para estudar as pulsações estelares:

- Entender o porquê e como certos tipos de estrelas pulsam e
- Utilizar as pulsações para aprender sobre as propriedades gerais das estrelas.

Shapley em 1914 constatou que o período de tal movimento é dado pela escala de tempo dinâmico da estrela:

$$T_{dyn} \sim (R^2/GM)^{1/2} \sim (G\rho)^{-1/2}$$

Características de uma estrela RR Lyrae e Cefeidas

Essas estrelas são variáveis pulsantes e encontram-se no chamado ramo horizontal do diagrama de HR.

Radiais

Mecanismo de Eddington (1941)

O processo é como uma válvula que envolve a ionização e a recombinção periódica do gás nas camadas mais externas da estrela. Esse mecanismo é controlado pela opacidade da estrela.

USP - MPA5001

Oscilações estelares

Heliosismologia

- Uma nova abordagem fornece um meio de fazer medições diretas da estrutura interna e dinâmica do Sol.
- A descoberta da propagação de ondas sonoras por Leighton (1962) e da explicação na década de 1970 (Ulrich, Leibacher e Stein) levou a chamada de Heliosismologia.

Oscilações de 5 minutos

Acidentes na superfície do Sol oscilam para cima e para baixo com um período típico de cerca de 5 minutos. A natureza e a fonte dessas "oscilações de 5 minutos" foi um mistério por muitos anos após sua descoberta em 1962.

A misteriosa fonte dessas oscilações foi confirmada por observações em 1975. As oscilações que vemos na superfície são devido às ondas sonoras geradas e presas dentro do sol.

SOLAR OSCILLATIONS
a movie by David H. Flanagan

USP - MPA5001

A Heliosismologia

Harmônicos esféricos

Harmônicos esféricos de variável real Y_{lm} , para $l=0, \dots, 4$ (de cima para baixo) e $m=0, \dots, 4$ (da esquerda para a direita). Os harmônicos Y_{lm} com m negativo são idênticos, mas com uma notação de 360° em torno do eixo z em relação aos harmônicos positivos.

Harmônico esférico l grau m ordem

$$Y_l^m(\theta, \phi) = (-1)^m c_{lm} P_l^m(\cos \theta) \exp(i m \phi)$$

Polinômio de Legendre

USP - MPA5001

