

O programa espacial

ACRIM objetivo: monitorar a irradiância integrada do Sol (12/1980-1997).

INTEGRAL objetivo: a magnetosfera da Terra, usando quatro naves idênticas a fim de estudar a interação entre o vento solar e a magnetosfera (07/2000).

Advanced Composition Explorer (ACE) objetivo: de observar as partículas de origem solar, interplanetária, interestelar e galáctica que medidas (08/1997).

ARTEMIS objetivo: Estudo do plasma: Partículas energéticas e do campos magnéticos para os estudos da magnetosfera e ionosfera (11/1994 - 2000).

ERBE objetivo: investigar como a energia do sol é absorvida e radiada pela Terra (10/1984 a 10/2005).

Ulysses lançado em 1990 foi a primeira missão a estudar o ambiente do espaço acima e abaixo dos polos do Sol. Jornada semi-procedente. Cujas órbita foi definido por Júpiter que o espion para uma volta sobre os polos do Sol. (final da missão 2009).

TIMED objetivo: estudar as influências do Sol na atmosfera terrestre - mesosfera e a baixa termosfera/ionosfera (12/2001*).

USP - MPA5001

O programa espacial

Transition Region And Coronal Explorer

Missão do **TRACE** obter imagens da coroa solar e a região de transição em alta resolução angular e temporal (Lang - 04/1998).

Hinode objetivo: estudar a origem da emissão de luz "flares" solar (Lang - 09/2003).

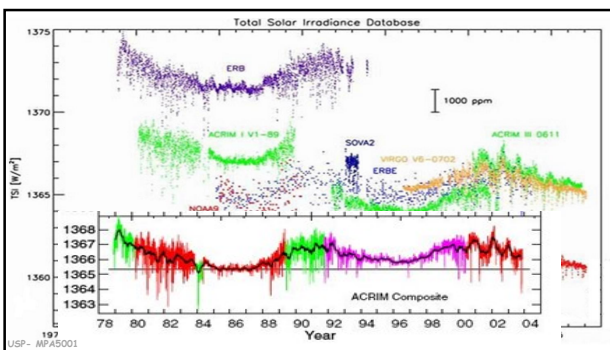
Hinode é um projeto conjunto Japão - Estados Unidos com objetivo de estudar a origem da emissão de luz "flares" solar (Lang - 09/2003).

Solar Dynamics Observatory (SDO) objetiva obter informações sobre a energia do Sol é produzida e como esta energia é armazenada e liberada na atmosfera do Sol (Lang - 02/2010).

Skylab foram: provar que os seres humanos poderiam viver no espaço por longos períodos, e expandir nosso conhecimento da astronomia solar além das observações de solo (Lang - 05/1974).

Estação Espacial Internacional é um laboratório espacial, cuja montagem em órbita começou em 1998 e terminou oficialmente em 8 de julho de 2011.

USP - MPA5001



A Constante Solar (Luminosidade)

- Quantidade de energia enviada pelo Sol para a superfície da Terra, por unidade de tempo.

$$S_{\odot} = 1366 \text{ W/m}^2$$

(medida acima da atmosfera da Terra)

- Luminosidade

$$L_{\odot} = 4\pi d^2 S_{\odot} \Rightarrow L_{\odot} = 4\pi (150 \times 10^9)^2 \times S_{\odot}$$

$$\Rightarrow L_{\odot} = 3,86 \times 10^{26} \text{ W}$$

- Temperatura

$$L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$$

$$\Rightarrow T_{\odot} = 5780 \text{ K}$$

USP - MPA5001

A fotosfera (de perto)

- Também se pode medir o fluxo de material na fotosfera utilizando o efeito de Doppler.

- Manchas: Regiões escuras
- Fáculas: Regiões claras

- Um bom número de fenômenos pode ser observado na fotosfera com um telescópio simples (juntamente com um bom filtro para reduzir a intensidade da luz do Sol a níveis observáveis de forma segura).

USP - MPA5001

A fotosfera (manchas solares)

- As manchas solares aparecem como regiões escuras na superfície do Sol. As temperaturas nos centros das manchas cai para 3700 K (em comparação com 5700 K para a fotosfera circundante). Elas geralmente duram vários dias, embora as maiores podem perdurar por várias semanas.
- As manchas solares são regiões magnéticas no Sol com fortes campo de algumas vezes mais forte do que o campo magnético da Terra.
- As manchas solares geralmente vêm em grupos com dois conjuntos de pórticos. Um conjunto terá campo magnético positivo ou norte, enquanto o outro conjunto terá campo negativo ou sul magnético. O campo é mais forte nas partes mais escuras das manchas solares - a umbra. O campo é mais fraco e mais horizontal na penumbra.

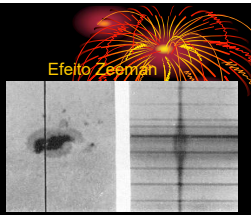
T ~ 3700K
Idade ~ vários dias
D ~ 15 a 150.000km
B ~ 5000 Gauss (Earth ~ 0,5 G)
Aparecem em grupos!

USP - MPA5001

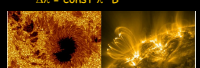
A fotosfera (manchas solares)

- As manchas solares aparecem como regiões escuras na superfície do Sol. As temperaturas nos centros das manchas cai para 3700 K (em comparação com 5700 K para a fotosfera circundante). Elas geralmente duram vários dias, embora as maiores possam perdurar por várias semanas.
- As manchas solares são regiões magnéticas no Sol com fortes campo de algumas vezes mais forte do que o campo magnético da Terra.
- As manchas solares geralmente vêm em grupos com dois conjuntos de pontos. Um conjunto terá campo magnético positivo ou norte, enquanto o outro conjunto terá campo negativo ou sul magnético. O campo é mais forte nas partes mais escuras das manchas solares - a umbra. O campo é mais fraco e mais horizontal na penumbra.

Efeito Zeeman



O efeito Zeeman é o desdobramento das linhas espectrais de um espectro em resposta à aplicação de um campo magnético a uma amostra.

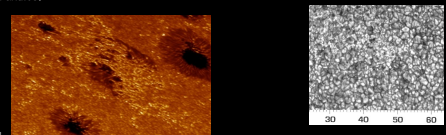
$$\Delta\lambda = \text{const } \lambda^2 B$$


USP - MPA5001

Por que estudar o Sol?

A fotosfera

- O movimento convectivo transporta o calor rapidamente até à superfície. O fluido expande-se e esfria à medida que sobe. Na superfície visível a temperatura caiu para 5700 K e a densidade para 0,0000002 g/cm³ (cerca de 1/10000 a densidade do ar ao nível do mar). Os próprios movimentos convectivos são visíveis na superfície como grânulos e supergrânulos.
- Grânulos: Pequenas células (cerca de 1000 km de diâmetro) que cobrem todo o Sol, exceto aquelas áreas cobertas pelas manchas solares. O fluxo no interior dos grânulos pode alcançar velocidades de 0,7 km/s produzindo ruídos que gera ondas na superfície do Sol.

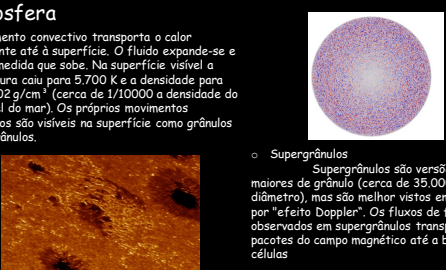


USP - MPA5001

Por que estudar o Sol?

A fotosfera

- O movimento convectivo transporta o calor rapidamente até à superfície. O fluido expande-se e esfria à medida que sobe. Na superfície visível a temperatura caiu para 5700 K e a densidade para 0,0000002 g/cm³ (cerca de 1/10000 a densidade do ar ao nível do mar). Os próprios movimentos convectivos são visíveis na superfície como grânulos e supergrânulos.
- Supergrânulos: Supergrânulos são versões maiores de grânulo (cerca de 35.000 km de diâmetro), mas são melhor vistos em medidas por "efeito Doppler". Os fluxos de fluido observados em supergrânulos transportam pacotes do campo magnético até a borda das células.



USP - MPA5001

Por que estudar o Sol?

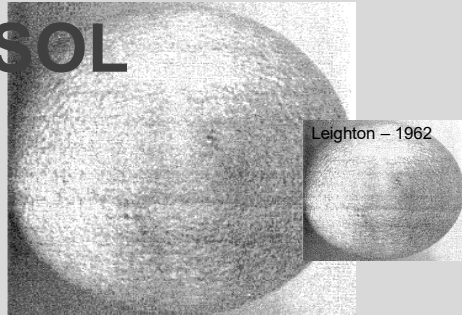
A fotosfera

- O movimento convectivo transporta o calor rapidamente até à superfície. O fluido expande-se e esfria à medida que sobe. Na superfície visível a temperatura caiu para 5700 K e a densidade para 0,0000002 g/cm³ (cerca de 1/10000 a densidade do ar ao nível do mar). Os próprios movimentos convectivos são visíveis na superfície como grânulos e supergrânulos.



USP - MPA5001

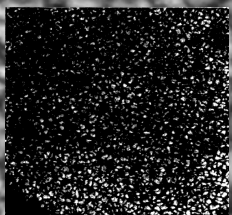
O SOL



Leighton - 1962

USP - MPA5001

Campo de velocidades na atmosfera solar (Leighton 1962)



Característica:

- Diâmetro ~ 1,6x10⁴ km
- Separação (centro) ~ 3,0x10⁴ km
- Velocidade (fluxo) ~ 0,5 km/s
- Tempo de vida ~ 10¹ - 10² seg

P - 800s
Leighton - 1962

USP - MPA5001

A fotosfera

- Também se pode medir o fluxo de material na fotosfera utilizando o efeito de Doppler (F. Hill).



USP - MPA5001

Fluxos superficiais

movimentos na superfície solar (Frank Hill - o projeto GONG)



USP - MPA5001

A fotosfera

Movimento de material na superfície

- Também podemos medir o fluxo de material na fotosfera usando o efeito Doppler.
- Essas observações revelam fluxos de material e um padrão de ondas e oscilações.
- Em 1962, Leighton caracteriza alguns acidentes na superfície do sol oscilando para cima e para baixo com um período típico de cerca de 5 minutos.
- A natureza dessas oscilações foi um mistério por muitos anos após sua descoberta.



USP - MPA5001

Fluxos superficiais

movimentos na superfície solar

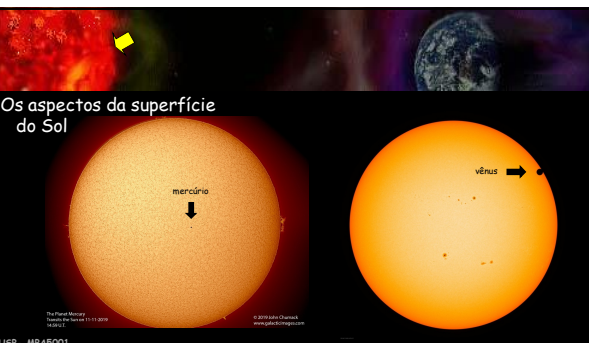
Os dados GONG atualmente consistem em imagens de intensidade de 1024 por 1024 pixels em três posições espectrais diferentes dentro da linha com duas polarizações diferentes. Essas três imagens são processadas para produzir três imagens de dados principais.

- A soma dessas imagens **brutas** fornece uma imagem de intensidade que mostra manchas solares e escurecimento dos bordos.
- A mudança de intensidade nas três posições espectrais fornece uma imagem da **modulação** que mostra onde os campos magnéticos estão localizados.
- A mudança na posição da linha espectral em relação à sua posição de laboratório. Fornece uma imagem da **velocidade** que é dominada pela rotação solar e pelo padrão celular de convecção solar chamado supergranulação.
- O GONG também produz um magnetograma, imagens do **campo magnético** do sol, usando as duas polarizações diferentes.



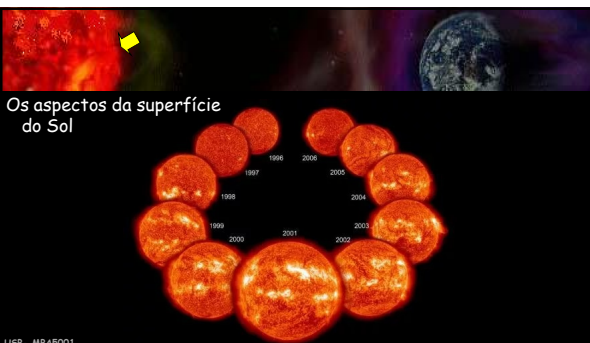
USP - MPA5001

Os aspectos da superfície do Sol



USP - MPA5001

Os aspectos da superfície do Sol



USP - MPA5001

As primeiras observações de manchas solares.

- Teofrasto de Atenas (370-290 a.C.) - fornece a mais antiga referência a uma mancha solar* (Sucessor de Aristóteles na Escola Peripatética).
- China - primeiros registros de observações a olho desarmado.
- Outros registros - Japão e Coreia
- **Contraste:** predominância de observações no Oriente em contraste com o ocidente. Influência dos ensinamentos Aristotélico.
- **Catálogo:** 235 observações realizadas no extremo oriente (165 a.C. a 1918 d.C.)

USP- MPA5001

As manchas solares

As primeiras observações telescópicas de manchas solares.

Realizadas em 1611 - embora Galileu tenha afirmado ter observado manchas solares em 1610.

A primazia teve pouca importância na discussão tiveram a respeito do pensamento cosmológico do séc. XVII.

- **Johann Goldschmid (1611) (Fabricius) :**
 - Trabalhou com o pai que descobriu a variabilidade de Omicron Ceti.
 - Foi atraído por observações com telescópio de manchas solar.
 - (Apesar de ter percebido a Rotação do Sol, não deu muita importância ao fato)

USP- MPA5001

Por que estudar o Sol?

As manchas solares

- Observadores na história
 - Christopher Scheiner (1611)
 - Galileu (1610)
 - Galileu (1610)
 - Christopher Scheiner (1611)

Registrou suas observações em 3 cartas enviadas a Mark Welsler (amigo de Galileu) com pseudônimo de Apeles (comunicou Galileu).

Estabeleceu-se durante 30 anos contato entre eles Resultando duas obras:

- Rosa Ursina de Scheiner em 1630
- Third Day of Galileu's Dialogo em 1632

USP- MPA5001

Por que estudar o Sol?

As manchas solares

- Observadores na história
 - Galileu e suas observações
 - Thomas Harriot (1560-1621) - desenho da Lua vista por telescópio em 1609 e observação do Sol (olho desarmado) em 199 desenhos.
 - Francesco Sizzi (executado por traição) Tentou refutar as observações de Galileu provocando Galileu a interpretar o movimento anual das manchas na superfície do Sol.

USP- MPA5001

Por que estudar o Sol?

As manchas solares

- Controvérsia histórica Galileu e Scheiner
 - Na primeira carta de Scheiner para Welsler (12/novembro 1611) Afirma ter observado manchas sete meses antes, mas não percebeu seu retorno até outubro. Argumentou: defeito no telescópio/problemas atmosféricos)
 - Interpretação: **as manchas orbitando o Sol**
 - Conclui: se estivessem no Sol seu movimento implicaria que o Sol gira
 - Galileu respondeu criticando Scheiner por não admitir que as manchas pudessem se modificar. Em seguida apresentou sua teoria afirmando que as manchas eram contíguas ao Sol.

USP- MPA5001

Por que estudar o Sol?

As manchas solares

- Controvérsia histórica
 - Scheiner falhou Se tivesse observado mais assiduamente e por um intervalo maior ele poderia ter descoberto a rotação (descoberta significativa para a controvérsia heliocentrismo-geocentrismo).
 - Galileu criticou Pelo fato de Scheiner não levar em conta que as manchas podem se modificar ao longo do tempo e propôs pela primeira vez sua teoria sobre as manchas.
 - A proposta de Galileu As manchas eram contíguas ao Sol, e que suas propriedades eram análogas as das nuvens e que eram transportadas pela rotação do Sol.

USP- MPA5001

Por que estudar o Sol?

As manchas solares

- Controvérsia histórica
- Momento conturbado
 - Scheiner percebeu que sua interpretação não resistiria se não fosse capaz de observar o trânsito de Vênus.
- *importante: considerou duvidoso se as manchas estão no Sol ou não. Estas afirmações desmente que qualquer as noções aristotélicas eram irrefutáveis.
- Belarmino
 - Belarmino mensageiro do papa Urbano VIII
 - As afirmações finais de Scheiner aventou outras hipóteses que não as noções Aristotélicas.
 - Lembrar que Belarmino foi um dos principais protagonistas nas relações igreja - Galileu

2003/10/28 06:24 UT

USP - MPA5001

Por que estudar o Sol?

The Sun In Time
George V. Coyne, S.J.
editores: C.B. Sonnet
M.S. Giampapa and
M.S. Matthews
The University of Arizona Press

As manchas solares (os finais)

- Belarmino mensageiro do papa Urbano VIII
 - Adverte Galileu que ele não deveria ensinar copernicanismo como se houvesse provas físicas e não somente maneiras filosóficas para apresentar as observações.
- A resposta de Galileu
 - No *Diálogo* Galileu oferece duas provas para o movimento da Terra:
 - As marés
 - As trajetórias aparentes das manchas (3 cartas sobre o tema)
- O silêncio de Galileu (de 1614 até 1632)
 - Por que só em 1632 Galileu se manifesta a respeito da variação anual e da inclinação das trajetórias das manchas que evidência da inclinação do eixo de rotação do Sol.

2003/10/28 06:24 UT

USP - MPA5001

http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/bestofsoho.html

As manchas são fenômenos transitório presentes na superfície do Sol.

Os interessados (estudar o comportamento)

- Henrich Schwabe (1826 - farmacêutico)
 - (procurou um planeta próximo do Sol - Vulcano)
 - Descobriu variabilidade das manchas com período de 10 anos.
- Rudolf Wolf (1848)
 - (cria um mecanismo para (número de Zurich) medir o número de manchas - acha o período de 11,2 anos para as manchas)
- Alexander von Humboldt (1851)
 - Publica a tabela de Schwabe.

2010/02/27 06:24 UT

USP - MPA5001

http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/bestofsoho.html

As manchas são fenômenos transitório presentes na superfície do Sol.

2010/02/27 06:24 UT

USP - MPA5001

Como se processam as mudanças globais na Terra?

400 anos de Observações de manchas solares

O mínimo de Maunder é o nome utilizado para o período entre 1645 e 1715 por John Eddy, em homenagem a Edward W. Maunder, em um artigo publicado em 1976 no periódico *Solar Wind*.

O Mínimo de Dalton foi um período de baixa contagem de manchas solares, associada a uma baixa atividade solar, que durou de 1796 a 1820. Foi batizado em homenagem ao meteorologista inglês John Dalton.

USP - MPA5001

O ciclo das manchas solares

Mínimo de Maunder

-Esse período de inatividade solar também corresponde a um período climático chamado "Pequena Era do Gelo" quando neves que normalmente não congelam e campos de neve permaneceram o ano todo em altitudes mais baixas.

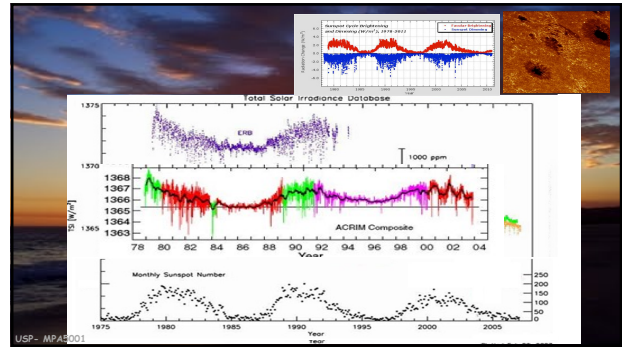
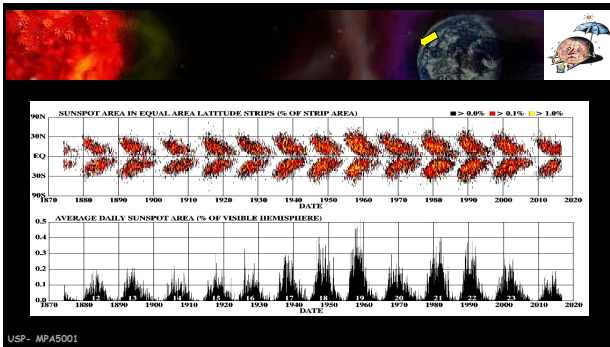
- Há evidências de que o Sol teve períodos semelhantes de inatividade no passado mais distante. A conexão entre atividade solar e clima terrestre é uma área de pesquisa em andamento.

Reconstrução para 1000 anos do número de manchas solares na Terra feita por Filipsson et al. (2001).

- Pesquisas recentes têm demonstrado que os registros isotópicos em árvores apresentam informações significativas sobre as mudanças ambientais e as relações Sol-Terra no passado.

- Um monitoramento indireto dessas variações no passado foi feito por Stuiver e Quay (1980), através de medidas dos conteúdos de ¹⁴C produzidos na atmosfera terrestre e assimilados pelas árvores.

USP - MPA5001



Sources of Energy for the Earth's Atmosphere

Source: Solar Radiation	Energy Flux	Solar Cycle Change	Deposition Altitude	Sun?
TOT (Monthly Variable & Definite)	1366 W/m ²	0.1%	Surface	Low
MUV (200-300 nm)	154 mW/m ²	0.7 W/m ²	15-50 km	Low
FUV (242-200 nm)	50 mW/m ²	15 mW/m ²	30-120 km	Med
EUV (0-105 nm)	10 mW/m ²	10 mW/m ²	80-250 km	High

Source: Particles	Energy Flux	Solar Cycle Change	Deposition Altitude	Sun?
Galactic Cosmic Rays	0.7 μW/m ²	0.7 μW/m ²	0-30 km	High
Solar Protons	2 mW/m ²	2 mW/m ²	35-50 km	High
Altered protons & electrons	1 mW/m ²	0.2 mW/m ²	100-120 km	Med
Fast Neutrons	0.2 mW/m ²	0.2 mW/m ²	100-150 km	Med

USP- MP45001

O dínamo solar (H.W. Babcock-1961)

- o Acredita-se que o campo magnético do Sol seja gerado por um dínamo magnético no interior. O fato de que o campo magnético do Sol muda drasticamente ao longo de poucos anos, e o fato de que ele muda de forma cíclica indica que o campo magnético continua a ser gerado dentro do Sol.
- o Um modelo de sucesso para o dínamo solar deve explicar várias observações:

USP- MP45001

O dínamo solar (H.W. Babcock-1961)

- o Acredita-se que o campo magnético do Sol seja gerado por um dínamo magnético no interior. O fato de que o campo magnético do Sol muda drasticamente ao longo de poucos anos, e o fato de que ele muda de forma cíclica indica que o campo magnético continua a ser gerado dentro do Sol.
- o Um modelo de sucesso para o dínamo solar deve explicar várias observações:

- 1) o período do ciclo de manchas solares de 11 anos,

USP- MP45001

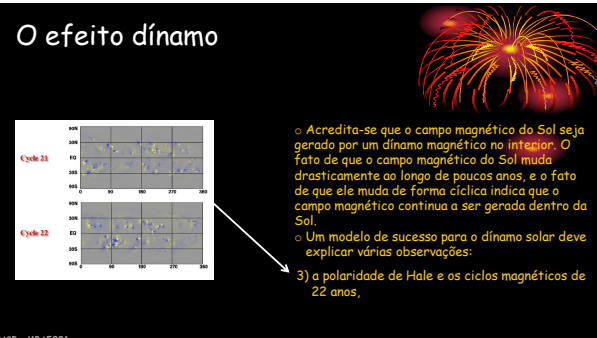
O dínamo solar (H.W. Babcock-1961)

- o Acredita-se que o campo magnético do Sol seja gerado por um dínamo magnético no interior. O fato de que o campo magnético do Sol muda drasticamente ao longo de poucos anos, e o fato de que ele muda de forma cíclica indica que o campo magnético continua a ser gerado dentro do Sol.
- o Um modelo de sucesso para o dínamo solar deve explicar várias observações:

- 1) o período do ciclo de manchas solares de 11 anos,
- 2) a deriva na sua formação visto no diagrama borboleta

USP- MP45001

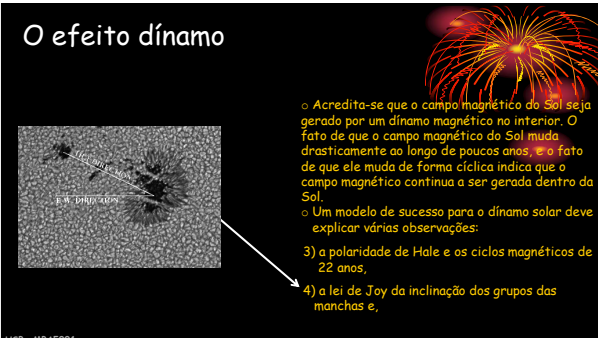
O efeito dínamo



- Acredita-se que o campo magnético do Sol seja gerado por um dínamo magnético no interior. O fato de que o campo magnético do Sol muda drasticamente ao longo de poucos anos, e o fato de que ele muda de forma cíclica indica que o campo magnético continua a ser gerado dentro da Sol.
- Um modelo de sucesso para o dínamo solar deve explicar várias observações:
 - 3) a polaridade de Hale e os ciclos magnéticos de 22 anos,

USP - MPA5001

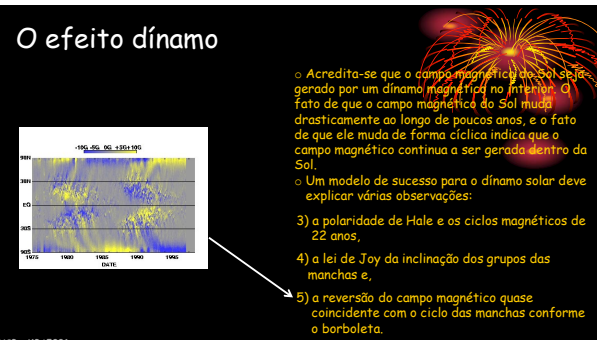
O efeito dínamo



- Acredita-se que o campo magnético do Sol seja gerado por um dínamo magnético no interior. O fato de que o campo magnético do Sol muda drasticamente ao longo de poucos anos, e o fato de que ele muda de forma cíclica indica que o campo magnético continua a ser gerado dentro da Sol.
- Um modelo de sucesso para o dínamo solar deve explicar várias observações:
 - 3) a polaridade de Hale e os ciclos magnéticos de 22 anos,
 - 4) a lei de Joy da inclinação dos grupos das manchas e,

USP - MPA5001

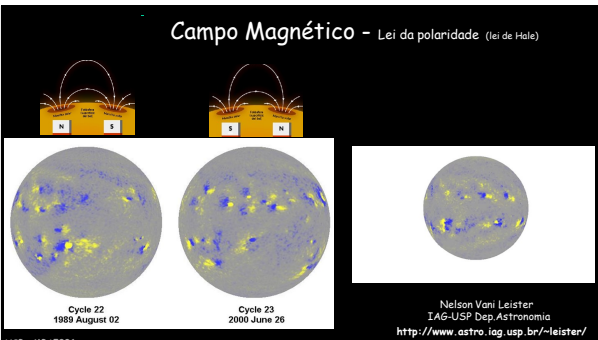
O efeito dínamo



- Acredita-se que o campo magnético do Sol seja gerado por um dínamo magnético no interior. O fato de que o campo magnético do Sol muda drasticamente ao longo de poucos anos, e o fato de que ele muda de forma cíclica indica que o campo magnético continua a ser gerado dentro da Sol.
- Um modelo de sucesso para o dínamo solar deve explicar várias observações:
 - 3) a polaridade de Hale e os ciclos magnéticos de 22 anos,
 - 4) a lei de Joy da inclinação dos grupos das manchas e,
 - 5) a reversão do campo magnético quase coincidente com o ciclo das manchas conforme o borboleta.

USP - MPA5001

Campo Magnético - Lei da polaridade (Lei de Hale)




Nelson Vaní Leister
 IAG-USP Dep. Astronomia
<http://www.astro.iag.usp.br/~leister/>

USP - MPA5001

O efeito dínamo

Os campos magnéticos dentro do Sol são esticados para fora e enrolados em torno do disco pela rotação diferencial - a mudança na taxa de rotação em função da latitude e do raio. Este é o chamado **efeito-omega** após a letra grega usada para representar a rotação. Rotação diferencial do Sol em função da latitude pode tornar uma linha orientada norte-sul e enrola uma vez ao redor do Sol em cerca de 8 meses.

Torção das linhas do campo magnético é causada pelos efeitos da rotação do sol. Este é o chamado **efeito-alfa** após a letra grega que se parece com um laço trançado. Os primeiros modelos assume que a torção é produzida pelos efeitos da rotação sobre o fluxo convectivo que transporta calor para a superfície do Sol.



USP - MPA5001

Fluxos superficiais

movimentos na superfície solar

A superfície do sol está em movimento constante devido à presença de vários componentes de velocidade. Essas componentes incluem: rotação, convecção celular, oscilações e fluxo meridional de intensidade variada.

- O maior sinal de velocidade é aquele devido à rotação solar com uma velocidade equatorial de 2000m/s.
- Tanto as oscilações quanto os movimentos convectivos têm amplitudes de cerca de 300m/s.
- O fluxo meridional é dirigido para os polos na superfície do Sol com movimentos crescentes no equador afundando nos polos. Na superfície esse fluxo é lento com velocidade de 20m/s. O fluxo de retorno ocorre a 60,000km abaixo da superfície, com velocidade mais baixa de 1 a 2m/s arrastando material para o equador.
- Cada um desses componentes desempenha um papel importante nos ajudando a entender o Sol e como ele produz seu ciclo de 11 anos de atividade solar.



USP - MPA5001

A Descoberta da rotação diferencial!

O Fluxo Meridional

1611 - Christoph Scheiner
 1850 - Richard C. Carrington

- rotação diferencial
- inclinação do eixo de
- rotação (~7,25°)

o O fluxo de material ao longo das linhas meridianas do equador em direção aos polos na superfície e dos polos para o equador abaixo da superfície - também deve desempenhar um papel importante no dínamo magnético do Sol.

o Na superfície esse fluxo é lento de 20 m/s, mas o fluxo de retorno em direção ao equador dentro do Sol, onde a densidade é muito maior, deve ser muito mais lento ainda - 1 a 2 m/s

o Este fluxo lento de retorno transportaria material das latitudes médias para o equador em cerca de 11 anos.

USP - MPA5001

O ciclo das manchas, a constante solar e o magnetismo solar

Horace Babcock - 1961

Nelson Vani Leister
 IAG-USP Dep. Astronomia
<http://www.astro.iag.usp.br/~leister/>

USP - MPA5001

O ciclo das manchas, a constante solar e o magnetismo solar

Horace Babcock - 1961

Nelson Vani Leister
 IAG-USP Dep. Astronomia
<http://www.astro.iag.usp.br/~leister/>

USP - MPA5001

Atividades Solar

A chave da compreensão do Sol

USP - AT12022