

Aula 13: Sol – A Nossa Estrela.

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller

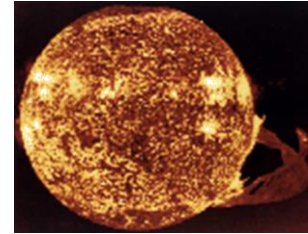


Foto do Sol obtida pela estação espacial Skylab da Nasa em 19 de dezembro de 1973, mostrando uma das mais espetaculares proeminências solares já filmadas, atingindo mais de 588 000 km.

Introdução

O Sol, nossa fonte de luz e de vida, é a estrela mais próxima de nós e a que melhor conhecemos. Basicamente, é uma enorme esfera de gás incandescente, em cujo núcleo acontece a geração de energia através de **reações termo-nucleares**. O estudo do Sol serve de base para o conhecimento das outras estrelas, que de tão distantes aparecem para nós como meros pontos de luz.

Apesar de parecer tão grande e brilhante (seu brilho aparente é 200 bilhões de vezes o brilho de Sírius, a estrela mais brilhante do céu noturno), na verdade o Sol é uma estrela bastante comum.



Figura 13.01: Pôr do Sol em Porto Alegre.



Objetivos

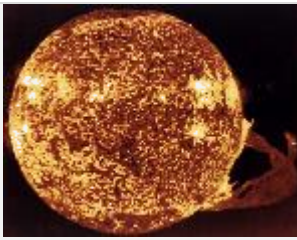
- Descrever em linhas gerais as principais propriedades do Sol.
- Caracterizar manchas solares e granulações
- Esquematizar a estrutura do Sol, caracterizando as diferentes camadas;
- Compreender a definição de constante solar e aplicá-la na determinação da luminosidade do Sol;
- Explicar a fonte de energia do Sol.

Por que o Sol brilha?

O Sol

O Sol é a nossa estrela. É o objeto dominante do nosso sistema solar, contendo aproximadamente 99,8% da massa total do sistema. Seu diâmetro é 109 vezes o diâmetro da Terra, de forma que em seu interior caberiam 1,3 milhões de Terras. A camada do Sol que enxergamos é chamada fotosfera e tem uma temperatura de 5800 K (aproximadamente 6 000 °C).

A energia solar é gerada no núcleo do Sol. Lá, a temperatura (15.000.000 °C) e a pressão (340 bilhões de vezes a pressão atmosférica da Terra ao nível do mar) são tão intensas que ocorrem reações nucleares. Estas reações transformam quatro prótons, que são núcleos de átomos de hidrogênio, em uma partícula alfa, que é o núcleo de um átomo de hélio. A partícula alfa é aproximadamente 0,7% menos massiva do que quatro prótons. A diferença em massa é expelida como energia e carregada até a superfície do Sol, sendo liberada em forma de luz e calor. A energia gerada no interior do Sol leva um milhão de anos para chegar à superfície. A cada segundo 600 milhões de toneladas de hidrogênio são convertidos em hélio e cinco milhões de toneladas de energia pura são liberadas; portanto, com o passar do tempo, o Sol está se tornando mais leve.



Características do Sol

Tabela 13.01: Características do Sol.

Massa	$M = 1,989 \times 10^{30} \text{ kg}$
Raio	$R = 695.500 \text{ km} = 109 \times R_{\text{Terra}}$
Densidade média	$\rho = 1.409 \text{ kg/m}^3$
Densidade central	$\rho_c = 160.000 \text{ kg/m}^3$
Distância	$1 \text{ UA} = 149.600.000 \text{ km}$
Luminosidade	$L = 3,9 \times 10^{26} \text{ W} = 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s}$
Temperatura superficial	$T_{\text{ef}} = 5.785 \text{ K}$
Temperatura central	$T_c = 15.000.000 \text{ K}$
Composição química (N.o partículas)	Hidrogênio = 71 %
	Hélio = 27%
	Oxigênio = 1,2% %
	Carbono = 0,6 %
Composição química (massa)	Hidrogênio = 91,2 %
	Hélio = 8,7%
	Oxigênio = 0,078 %
	Carbono = 0,043%
Período rotacional no equador	25,67 d
Período rotacional na latitude 75°	33,40 d

Dados Gerais do Sol:

- Estrela do sistema solar.

- Diâmetro:
1.391.000 km.

- Temperatura da superfície visível:
aproximadamente
6.000 °C.

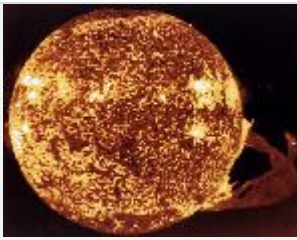
- Distância média à Terra:
 $\cong 1,5 \times 10^8 \text{ km}$.

- Composição:
Gás (H e He)
incandescente.

- Geração de energia:
Reações termonucleares.

Algumas das características listadas na tabela 1 são obtidas mais ou menos diretamente. Por exemplo, a **distância** do Sol, chamada Unidade Astronômica, é medida por ondas de radar direcionadas a um planeta em uma posição favorável de sua órbita (por exemplo, Vênus, quando Terra e Vênus estão do mesmo lado do Sol e alinhados com ele). O **tamanho** do Sol é obtido a partir de seu tamanho angular e da sua distância. A **massa** do Sol pode ser medida a partir do movimento orbital da Terra (ou de qualquer outro planeta) usando a Terceira Lei de Kepler. Sabendo então sua **massa** e seu raio temos a **densidade média do Sol**.

Outras características são determinadas a partir de modelos. Por exemplo, a equação de equilíbrio hidrostático, permite determinar a **pressão** e a **temperatura** no centro do Sol, supondo que elas têm que ser extremamente altas para suportar o peso das camadas mais externas.



Estrutura do Sol

A Figura 13.02 ilustra um modelo que representa as principais regiões do Sol.

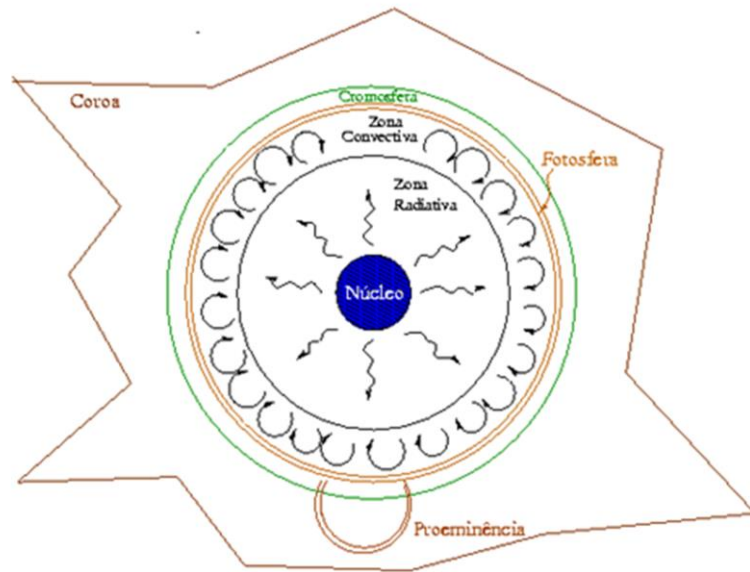


Figura 13.02: Estrutura do Sol.

Estrutura do Sol:

Núcleo,
Zona radiativa,
Zona conectiva,
Fotosfera,
Cromosfera e
Coroa.

A **fotosfera** é a superfície visível do Sol. As camadas externas à fotosfera constituem a atmosfera do Sol, composta pela estreita **cromosfera**, e pela extensa e rarefeita **coroa**. As camadas internas à fotosfera constituem o interior do Sol, composto pelo **núcleo**, pela **camada convectiva** e pela **camada radiativa**.

Interior do Sol

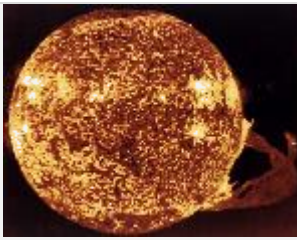
O **núcleo** é a região mais central, onde a energia é produzida, tendo temperatura na ordem de 15 milhões de kelvins. Em torno do núcleo está a **zona radioativa**, onde a energia se propaga por radiação, isto é, não há movimento das moléculas de gás; são os fótons que transportam a energia gerada no núcleo. Envolvendo a camada radioativa existe **zona convectiva**, com aproximadamente 15% do raio solar; nessa região a energia se propaga por convecção, ou seja, pelo movimento de moléculas do gás. (Na convecção há transporte mecânico que ocorre pela diferença de temperatura. O gás mais quente, sendo menos denso, se afasta do centro gravitacional.)

A fotosfera solar

É a região que emite a luz solar que se propaga no espaço, ou seja, é a superfície visível do sol. A luz que vemos quando olhamos para o Sol se origina na fotosfera. Com aparência de um líquido em ebulição, apresenta-se coberta de bolhas ou grânulos. Este fenômeno é denominado **granulação fotosférica**.

Fotosfera:

- Camada visível do Sol, coberta por granulações fotosféricas. Região em que se localizam as manchas solares. Tem espessura de aproximadamente 500 km.

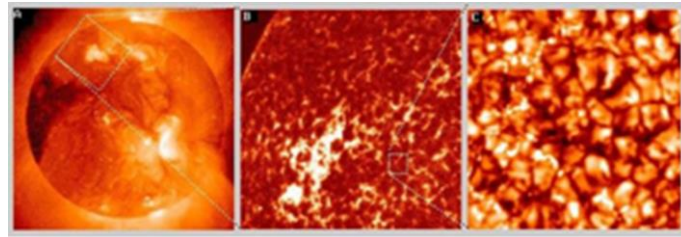


Granulações:

Bolhas de gás que assomam à superfície do Sol no topo da camada convectiva: gás quente, sobe, gás frio desce.
Diâmetro das bolhas $\cong 5\ 000\ km$.
Duração $\cong 15\ min$.

Cuidado!

Olhar o Sol de forma direta é extremamente perigoso, a não ser que ele esteja na linha do horizonte.



A

B

C

Figura 13.03: As células de convecção aparecem em detalhe na foto C desta sequência, que é uma ampliação da região quadrada marcada na foto do centro, que por sua vez é uma ampliação da região marcada na foto A.

A duração dos grânulos é de aproximadamente *10 min* e o diâmetro chega a *5 000 km*. Eles indicam os topos das colunas convectivas do gás que se originam na zona convectiva, logo abaixo da fotosfera. Entre os grânulos há regiões escuras onde o gás mais frio, e por isso, mais denso, escorre para baixo. É na fotosfera que se percebe um fenômeno notável: as **manchas solares**.

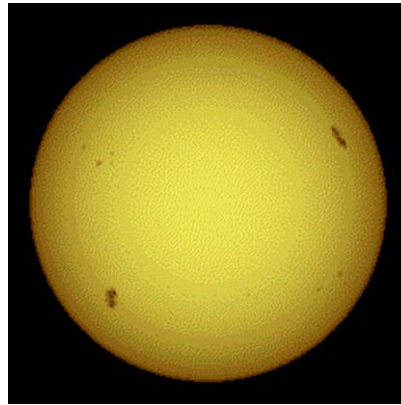


Figura 13.04: Foto do Sol em luz branca, mostrando algumas manchas solares.

Manchas solares são regiões irregulares que aparecem mais escuras que a fotosfera circundante e que muitas vezes podem ser observadas a olho nu. Elas são constituídas de duas partes; a umbra, parte central mais escura com temperatura de *3 800 K*, e a penumbra, formando uma estrutura radial ao redor da umbra, um pouco mais clara que a mesma. As manchas solares estão associadas a intensos campos magnéticos existentes no Sol, e tendem a se formar em grupos, tendo uma duração aproximada de uma semana.

O número de manchas solares varia entre máximos e mínimos em um ciclo de 11 anos (ciclo de atividade solar), ciclo esse que foi descoberto apenas em 1843, pelo astrônomo alemão Samuel Heinrich Schwabe, e é ilustrado na figura 13.05.



Manchas Solares:

Regiões mais frias da fotosfera, com temperaturas de aproximadamente 4.000 K. Por serem mais frias parecem mais escuras. Duram em torno de uma semana. Tendem a se formar em grupos. Associadas a intensos campos magnéticos. Têm um ciclo de 11 anos.

[Vídeo de Manchas Solares.](#)

Cromosfera:

É uma camada estreita e rarefeita que envolve a fotosfera.
Espessura: 10.000 km.
Temperatura: de 4.300 K até 40.000 K.

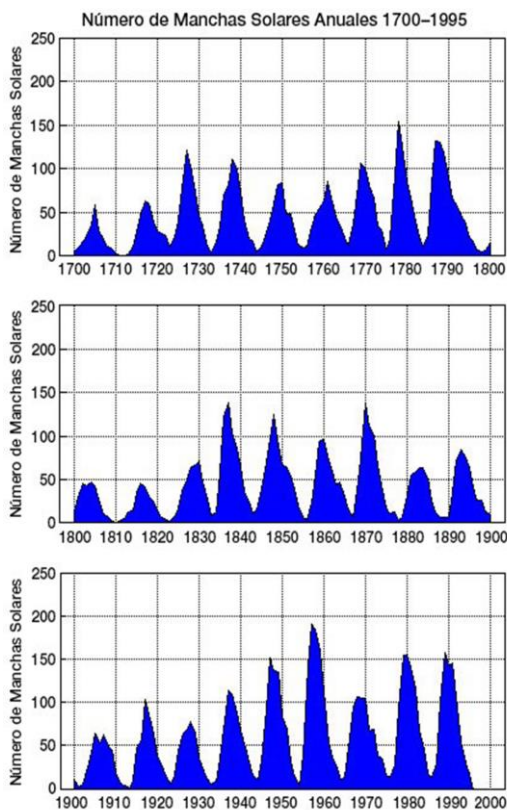


Figura 13.05: Variação do número médio mensal de manchas solares entre os anos 1700 e 2000.

A cromosfera

É uma camada rarefeita e estreita, de cor avermelhada, que envolve a fotosfera. Por ter uma radiação bem mais fraca do que a fotosfera, normalmente a cromosfera não é visível, a não ser em eclipses, quando a Lua encobre o disco da fotosfera, veja a figura 12.06. A cromosfera tem uma espessura de 10.000 km e sua temperatura que varia de 4.300 K na base até mais de 40.000 K no topo a 2.500 km de altura. O aquecimento da cromosfera possivelmente não é originado por fótons provenientes do interior do Sol, pois se a energia fosse gerada por fótons a cromosfera deveria ser mais fria do que a fotosfera, e não mais quente como realmente é. Na atualidade se pressupõe que a fonte de energia são campos magnéticos variáveis formados na fotosfera e conduzidos para a coroa por correntes elétricas, dissipando parte de sua energia na cromosfera.

Imagens com filtro na linha alfa do hidrogênio (H-alfa) mostram jatos de gás se elevando da cromosfera para a coroa. Essas estruturas são chamadas espículas. Alcançam alturas de 10.000 km e duram entre 5 e 10 minutos.



Figura 13.06: Foto do Sol, tirada por Kepler Oliveira, durante o eclipse total de 4 de novembro de 1994, em Santa Catarina. A foto mostra a cromosfera e, principalmente, a coroa solar.



Coroa:

Camada mais externa da atmosfera solar.
Extensão: de 2 a 10 raios solares.
Temperatura: até 10^6 K.
Perda de massa ocorre pelos ventos solares e pelos flares.

Vento Solar:

Partículas emanadas das regiões ativas do Sol.
Velocidade de 300 a 800 km/s.
Causa perda de massa do Sol em torno de 10^{-13} massas solares por ano.
Causa as auroras na Terra.

Auroras:

Fenômeno luminoso provocado pela interação do vento solar com a atmosfera superior da Terra. Ocorrem em grandes variedades de cores, as mais comuns são verdes. Isso ocorre devido a que gases emitem luz em diferentes cores. O oxigênio emite luzes no vermelho e no verde, o nitrogênio emite luz vermelha.

Proeminências:

Grandes jatos de gás que se elevam acima da fotosfera.

A coroa

Gradualmente a cromosfera se funde na coroa, que é a camada mais externa e mais rarefeita da atmosfera do Sol. Embora tenha um brilho similar ao da Lua Cheia, ela fica completamente obscurecida enquanto a fotosfera é visível, por isso só é observada em luz visível em eclipses totais, ou com instrumentos especiais. O espectro da coroa mostra linhas muito brilhantes que são produzidas por átomos de ferro, níquel, neônio e cálcio altamente ionizados; esses processos de ionização demandam muita energia, o que indica que a temperatura da coroa deve ser muito alta, em torno de 1 milhão de kelvins.

A elevação da temperatura da coroa deve ter a mesma origem do processo físico responsável pelo aquecimento da cromosfera, ou seja, o transporte de energia originado por correntes elétricas induzidas nos campos magnéticos variáveis.

É da coroa que emana o **vento solar**, um contínuo fluxo de partículas, principalmente prótons e elétrons, que é emitido da coroa, provocando uma perda de massa do Sol de cerca de $10^{-13} M_{\odot}$ ao ano. O vento solar tem densidade média de 7 prótons por centímetros cúbicos e velocidade de aproximadamente 400 km/s.

Ao entrar na magnetosfera da Terra ele é capturado, formando o chamado Cinturão de Van Allen. Tal cinturão foi descoberto pelo físico americano James Alfred Van Allen (1914 -2006) em 1958. O cinturão de partículas só entra em contato com atmosfera da Terra nos polos onde causa os fenômenos conhecidos como **auroras**. Veja a Figura 13.07.

Auroras são fenômenos luminosos provocados pela excitação e desexcitação dos átomos de oxigênio ao colidirem com as partículas carregadas do vento solar. As auroras acontecem tanto nas altas latitudes do hemisfério norte - as auroras boreais-, quanto nas altas latitudes do hemisfério sul- as auroras austrais.

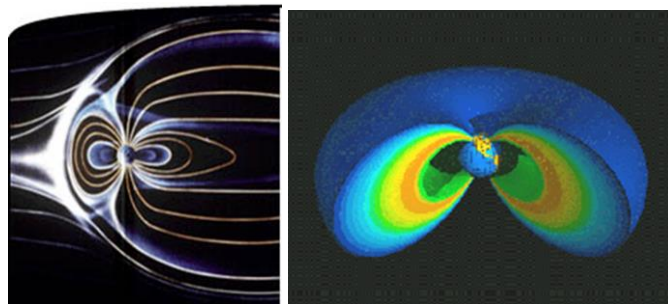


Figura 13.07: Esquema mostrando as partículas carregadas desviadas pelo campo magnético da Terra para o Cinturão de Van Hallen, (à esquerda) e o cinturão de Van Allen (à direita), formado pelas partículas do vento solar capturadas pelo campo magnético da Terra.

Em períodos em que o Sol está mais ativo, podem ser vistas no limbo solar grandes arcos brilhantes, constituídos de plasmas mais frios suspensos na coroa pelo campo magnético. Esses arcos são chamados **proeminências**. Quando vistos contra o disco brilhante (em vez de na borda) aparecem como filamentos escuros, e são chamados **filamentos**. Mas filamentos e proeminências são estruturas idênticas. Essas estruturas podem durar horas ou até meses. As figuras 13.08 e 13.09 mostram proeminências.



Flares:

Grandes explosões na superfície do Sol. Gerado pelo armazenamento de energia em campos magnéticos; é liberada quando o campo fica muito denso. Energia liberada \cong 100 milhões de bombas nucleares.

Grandes explosões na superfície do Sol são chamadas de **flares** ou *fulgurações*. São ocasionadas pelo armazenamento de energia em campos magnéticos do Sol, que é liberada quando o campo fica muito intenso. Grandes flares podem gerar grandes proeminências que vencem o campo magnético e se desprendem da coroa, liberando gás ionizado junto com energia. Esses fenômenos são chamados de ejeção de massa coronal, e um exemplo pode ser visto na Fig. 13.09. A energia liberada pode atingir o valor equivalente à 100 milhões de bombas nucleares.

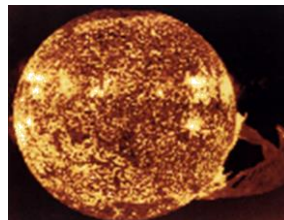


Figura 13.08: Foto do Sol obtida pela estação espacial Skylab da Nasa em 19 de dezembro de 1973, mostrando uma das mais espetaculares proeminências solares já filmadas, atingindo mais de 588.000 km.

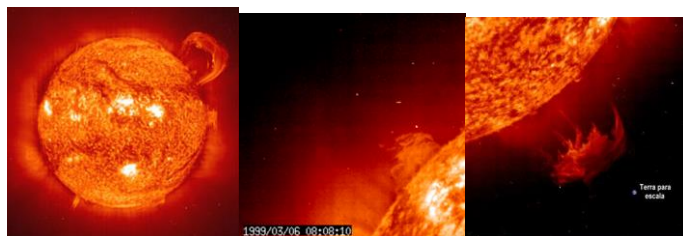


Figura 13.09: Fotos da ejeção de massa coronal em 14 de setembro de 1999, fotografada pelo SOHO em 3 040 Å.

As grandes ejeções de massa coronal associadas às proeminências viajam a aproximadamente 1 milhão km/h e levam de um a quatro dias para alcançar a Terra. Quando atingem a Terra, têm milhões de quilômetros de extensão e podem causar:

- danos a satélites, também causados pelo aumento da fricção provocada pela expansão da atmosfera;
- erro no posicionamento de navios e aviões de vários quilômetros, tanto pelo sistema GPS (*Global Positioning System*- GPS) quanto pelos sistemas *Loran* e *Omega* (8 transmissores distribuídos pela Terra), pelas instabilidades no plasma da ionosfera terrestre geradas pelas ejeções de massa coronal, causando cintilação na amplitude e fase do sinal e reduzindo o número de satélites disponíveis de 8 a 10 para até 4. Em geral essas instabilidades duram menos de 10 minutos, mas já ocorreram casos em que o sistema ficou fora do ar por até 13 horas;
- danos às redes de energia elétrica, induzindo voltagens de milhares de volts e queimando transformadores;
- danos nas tubulações metálicas de gaseodutos, já que as correntes induzidas aumentam drasticamente a corrosão;
- aumenta também a incidência de radiação ionizante nas pessoas, principalmente em vôos de alta altitude, como vôos supersônicos e astronáuticos.



Constante Solar:

Quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média Terra- Sol. Valor: 1.367 W/m^2 . Seu valor varia dependendo do ciclo de 11 anos.

Luminosidade do Sol:

É a quantidade de energia que o Sol irradia por unidade de área. É obtida multiplicando a constante solar pela área da esfera compreendida pela órbita da Terra ao redor do Sol.

Valor: $3,9 \times 10^{26} \text{ W}$.

O penúltimo máximo do ciclo de 11 anos ocorreu em 1989 e logo após uma grande proeminência solar, a rede elétrica na província de Quebec, no Canadá, sofreu uma grande sobrecarga elétrica que causou vários danos aos equipamentos. Algumas regiões da província ficaram até duas semanas sem luz elétrica. Em 1994, o satélite de comunicações E2 teve alguns circuitos queimados por uma sobrecarga estática, também associada com a ejeção de uma nuvem de plasma solar. O máximo do último ciclo solar ocorreu em 15 de fevereiro de 2001, quando o campo magnético solar reverteu de polaridade.

O pico de máxima atividade do atual ciclo solar deve ocorrer em 2012.

A Energia do Sol

Logo após ser determinada a distância do Sol, em 1673, foi possível determinar a sua luminosidade, que é a potência por ele produzida.

Constante Solar (Irradiação Solar)

Corresponde à energia solar que atinge a Terra, por unidade de área normal aos raios solares (utilizando a distância média Terra – Sol) e por unidade de tempo. Seu valor é 1.367 W/m^2 , mensurado por satélites logo acima da superfície da Terra. Porém, seu valor varia, dependendo da época no ciclo de 11 anos, de $1.364,55 \text{ W/m}^2$ a $1.667,86 \text{ W/m}^2$.

As medidas feitas por satélites logo acima da Terra indicam que cada metro quadrado da Terra recebe do Sol cerca de 1.400 joules de energia por segundo (1.400 watts), o que equivale à potência de 14 lâmpadas de 100 W. **O valor mais preciso da constante solar é de $1.367,5 \text{ W/m}^2$, e tem uma variação de 0,3% durante o ciclo solar de 11 anos.**

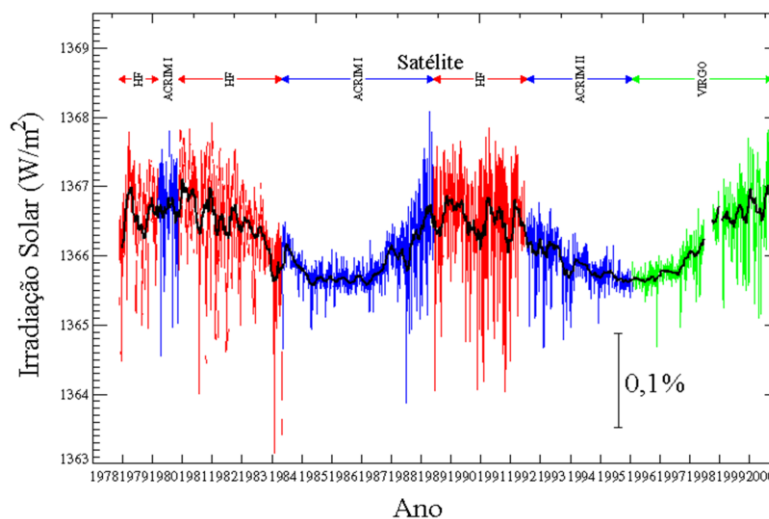


Figura 13.10: Gráfico da irradiação solar x ano. As diferentes cores indicam medidas feitas por diferentes satélites. O gráfico mostra que a constante solar varia periodicamente entre $1.364,55 \text{ W/m}^2$ a $1.667,86 \text{ W/m}^2$.

Luminosidade do Sol

A luminosidade do Sol é obtida pelo produto da constante solar pela área da esfera compreendida pela órbita da Terra em torno do Sol, seu valor é de:

$$3,9 \times 10^{26} \text{ W} = 3,9 \times 10^{33} \text{ ergs/s,}$$

Para se ter uma ideia comparativa, tal quantidade de energia é equivalente à queima de aproximadamente $7,5 \times 10^{20}$ litros de gasolina por minuto, ou aproximadamente 10 milhões de vezes a produção de petróleo anual do nosso planeta.



Fonte de energia do Sol

No século XIX os astrônomos já sabiam que a energia produzida pelo Sol não poderia ser gerada por combustão, pois dessa forma o Sol só brilharia por 10 mil anos.

Em 1854 o físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand Von Helmholtz (1821 -1894) propôs que a energia do Sol fosse devida ao colapso gravitacional, mas também não foi adequado, pois dessa forma a energia só poderia manter a luminosidade do Sol por cerca de 20 milhões de anos, enquanto evidências geológicas indicam que o Sol tem uma idade de 4,5 bilhões de anos.

Em 1937, Hans Albrecht Bethe (1906 - 2005) propôs que a energia seria gerada pelas reações termonucleares, proposta essa aceita até os dias atuais.

Nessas reações quatro prótons são fundidos em um núcleo de hélio, com liberação de energia. O Sol tem hidrogênio, fonte primária desse processo, suficiente para manter essas reações por bilhões de anos. À medida que diminui, gradualmente, a quantidade de hidrogênio, aumenta a quantidade de hélio no núcleo.

Fonte de energia do Sol:

Reações termonucleares, obtidas pela fusão de 4 núcleos de hidrogênio (4 prótons) em 1 núcleo de hélio (α).

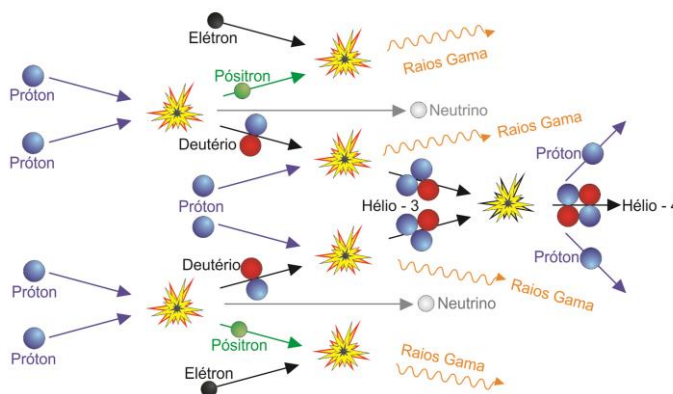
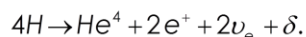


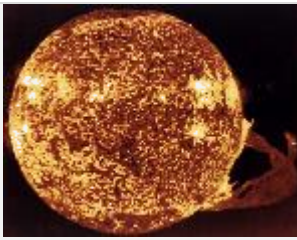
Figura 13.11: Processo de fusão do hidrogênio que acontece no Sol: Quatro núcleos de hidrogênio (prótons), em pares de dois, colidem (bolas amarelas raiadas), resultando de cada colisão um núcleo de hidrogênio pesado (deutério), um pósitron (elétron de antimatéria) e um neutrino. Os pósitrons se aniquilam ao colidirem com elétrons, emitindo fótons de alta energia (raios γ), enquanto os deutérios colidem, cada um com um próton, gerando um núcleo de hélio leve (Hélio-3, ou trítio, que tem apenas um nêutron no núcleo ao invés de dois) e mais radiação de alta energia, raio γ . No último estágio do ciclo, os dois núcleos de Hélio-3 interagem, formando um núcleo de Hélio-4, que é o isótopo mais estável deste elemento, além de dois prótons. Estes últimos estarão livres para iniciar o ciclo novamente.

O processo de fusão termo-nuclear que acontece no Sol (figura 13.11) é descrito pela equação:



Segundo os modelos de evolução estelar, daqui a cerca de 1,1 bilhões de anos, o brilho do Sol será 10% maior, o que ocasionará a elevação da temperatura da Terra, aumentando o vapor de água na atmosfera e, conseqüentemente, o efeito estufa. Daqui a cerca de 3,5 bilhões de anos, o Sol terá seu brilho aumentado de aproximadamente 40% do brilho atual, o calor será tão forte que os oceanos secarão completamente, ampliando ainda mais o efeito estufa.

Daqui a uns seis bilhões de anos o Sol terá consumido o hidrogênio do núcleo e vai se transformar em uma gigante vermelha, com um raio que poderá ultrapassar a órbita atual



da Terra. Durante cerca de 1 bilhão de anos ele viverá às custas da queima do hélio no núcleo, até esse hélio também se esgotar. Sem novas fontes de energia nuclear o Sol começará a morrer.

Resumo

O Sol é o maior objeto do Sistema Solar, com massa de aproximadamente 333000 vezes a massa da Terra e raio de aproximadamente 100 vezes o raio da Terra. Com densidade média de 1,4 vezes a densidade da água, é uma imensa bola de gás incandescente, composto principalmente de hidrogênio (71% da massa) e hélio (27% da massa).

De dentro para fora, sua estrutura apresenta o núcleo, a zona radiativa, a zona convectiva, a fotosfera, a cromosfera e a coroa.

No núcleo a energia é produzida por reações de fusão de quatro núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio. Essa energia é transportada para as camadas externas por radiação (na zona radiativa) e por convecção (na zona convectiva).

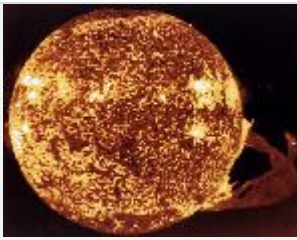
A fotosfera é a camada visível do Sol, com temperatura de aproximadamente 6000 °C. Ela é o limite entre o interior do Sol e a atmosfera transparente, formada pela cromosfera e pela coroa. Na fotosfera se formam as manchas solares, regiões mais frias e, por isso, mais escuras. As manchas solares aumentam e diminuem de número num ciclo de 11 anos (ciclo de atividade solar) e estão associadas a intensos campos magnéticos. Também na fotosfera estão as granulações, pequenas regiões brilhantes circundadas por regiões escuras que são bolhas de gás que assomam à superfície no topo da camada convectiva, com duração de aproximadamente 15 minutos.

A cromosfera é uma camada estreita e rarefeita que só é perceptível quando a fotosfera é coberta, como em eclipses. Lá estão as espículas, colunas de gás frio, e as proeminências - grandes jatos de gás que se elevam acima da fotosfera e às vezes se desprendem, acontecendo então as ejeções de massa coronal.

Na coroa ocorrem os ventos solares e os flares. Os ventos solares são partículas emanadas das regiões ativas do Sol; elas provocam, na Terra, as auroras. Já os flares são grandes explosões na superfície do Sol, gerados pelo armazenamento de energia em campos magnéticos que é liberada quando o campo se torna muito denso.

A constante solar, com valor de $1\,367\text{ W/m}^2$, é a quantidade de energia solar que chega, por unidade de tempo e por unidade de área, a uma superfície perpendicular aos raios solares, à distância média da Terra, de 149 600 000 km.

A luminosidade do Sol - a quantidade de energia emitida a cada segundo-, é obtida multiplicando-se a constante solar pela área da esfera compreendida pela órbita da Terra em torno do Sol, e vale $3,9 \times 10^{26}\text{ W}$.



Questões de Fixação

1. Comparado com a Terra, quantas vezes o Sol é maior em:

- a) raio? b) área? c) volume?

2. Quais são os dois principais elementos que compõem o Sol e qual a abundância desses elementos

- a)) em massa?
b)) em números de partículas?

3. Como se chama a superfície visível do Sol e qual é a sua temperatura?

4. Descreva o que são as manchas solares e qual o seu ciclo de variação.

5. Além das manchas solares, que outros fenômenos se observam no Sol, associados a sua atividade?

6. Interior do Sol:

- a) como varia a temperatura e a pressão do Sol desde o centro até a coroa?
b) Como ocorre o transporte de energia do Sol desde o centro até a superfície?

7. O que é vento solar e qual a sua relação com as auroras na Terra?

8. Propriedades físicas do Sol:

- a) Calcule a massa do Sol, em quilogramas, através do movimento da Terra em torno dele.
b) Calcule o raio do Sol, em quilômetros, a partir de seu raio angular de $0,25^\circ$, e de sua distância à Terra de 150 milhões de quilômetros.
c) Calcule a densidade média do Sol em kg/m^3 .

9. Constante solar:

- a) O que é e quanto vale a constante solar?
b) A partir do valor da constante solar, calcule a luminosidade do Sol. Dado: distância média Terra-Sol = 1 UA = 150 milhões de quilômetros.

10. Saturno está a uma distância média do Sol de 10 UA. Se um hipotético saturniano fosse medir o valor da constante solar em seu planeta, que valor ele obteria?

Resposta da questão introdutória:

O Sol brilha porque sua parte mais interna é tão quente que o hidrogênio lá existente se transforma em hélio por fusão termonuclear. A energia gerada pela fusão é transportada para as camadas externas do Sol e liberada para o espaço na forma de luz e calor.

