



UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

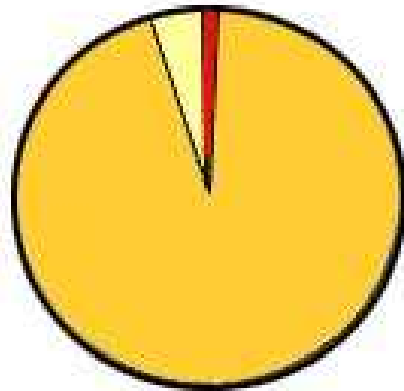
O Sol

Laurindo Sobrinho

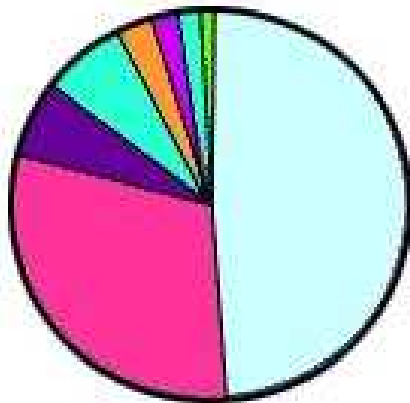
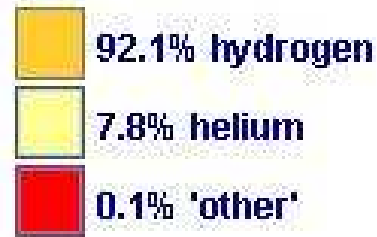
01 de março de 2017



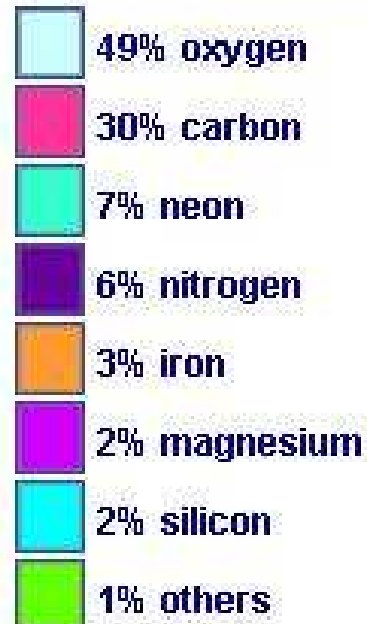
O Sol



% of number of atoms



0.1% of other elements



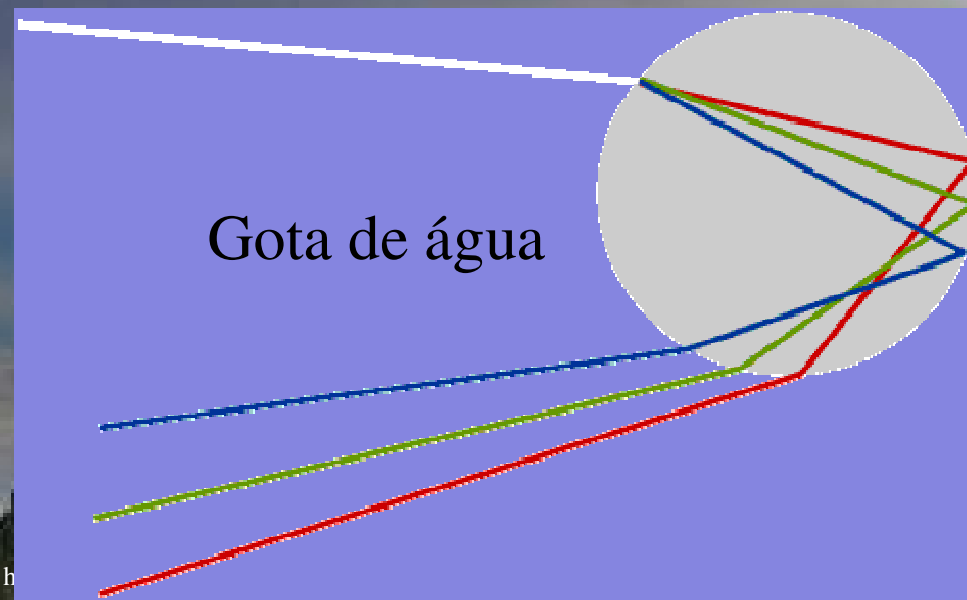
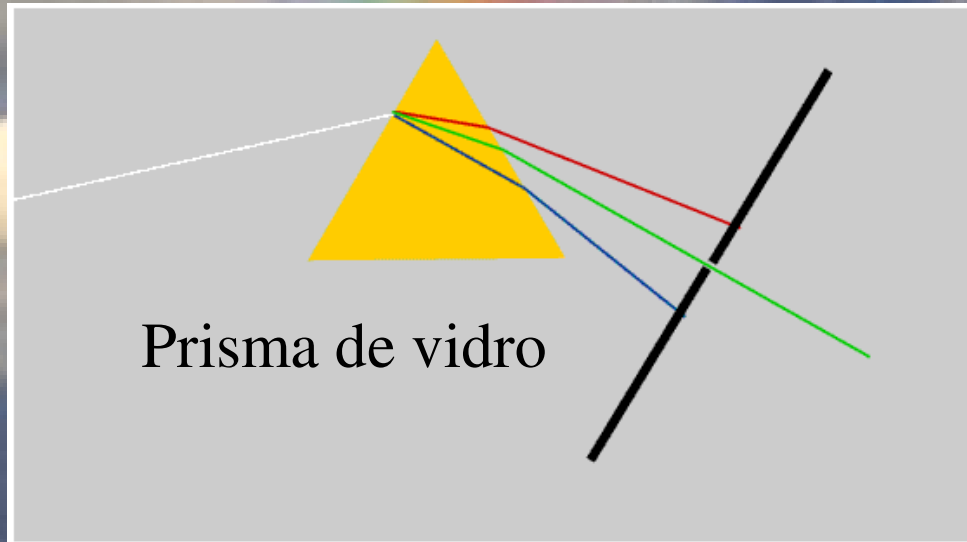
<http://www.newtonsapple.org.uk/the-sun-and-nuclear-fusion/>

Composição do Sol

O Sol é essencialmente composto por hidrogénio e hélio que são os dois elementos mais abundantes no nosso Universo e também os dois elementos mais simples que existem.



O Sol



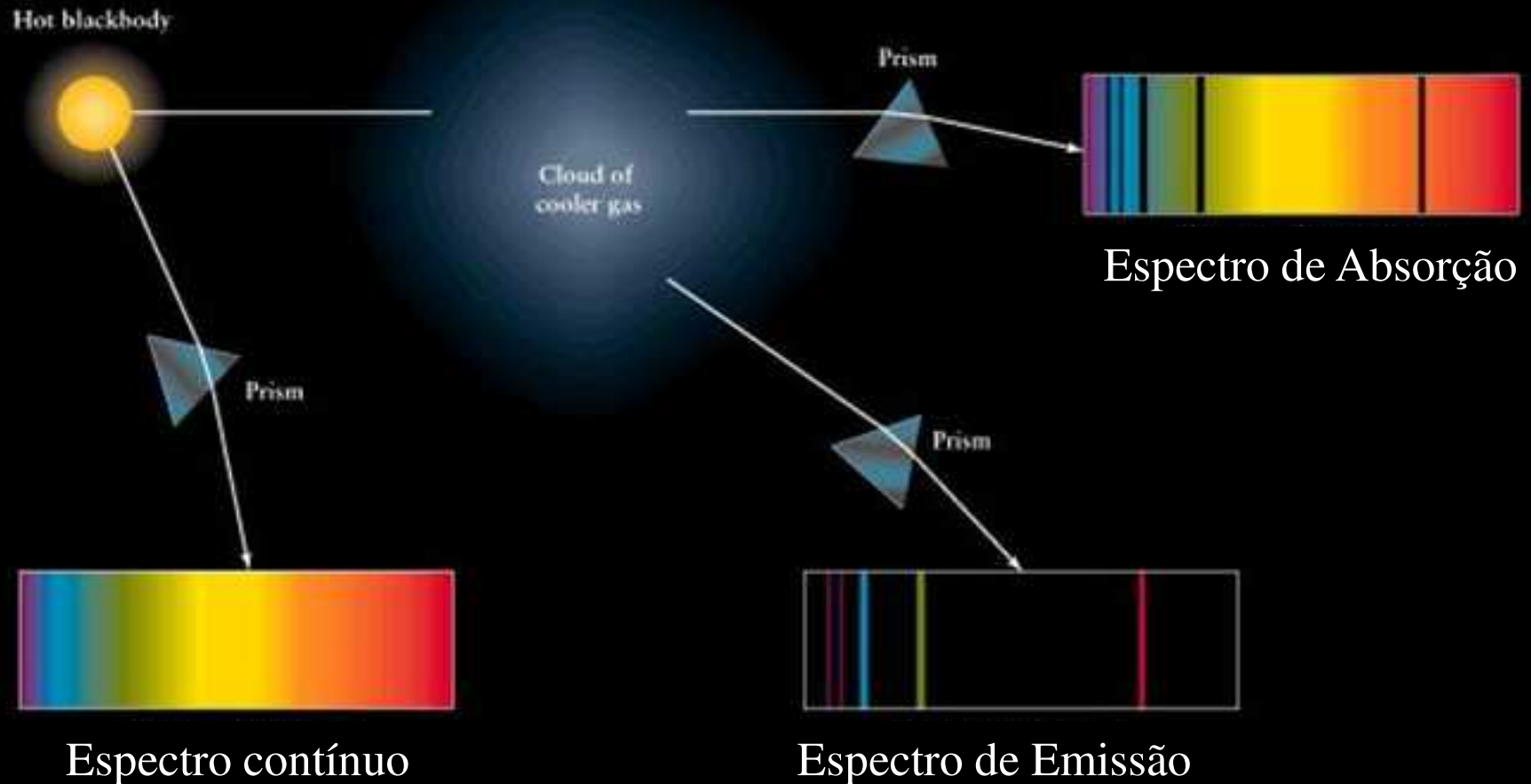
Decomposição da luz





Espectro de absorção e espectro de emissão

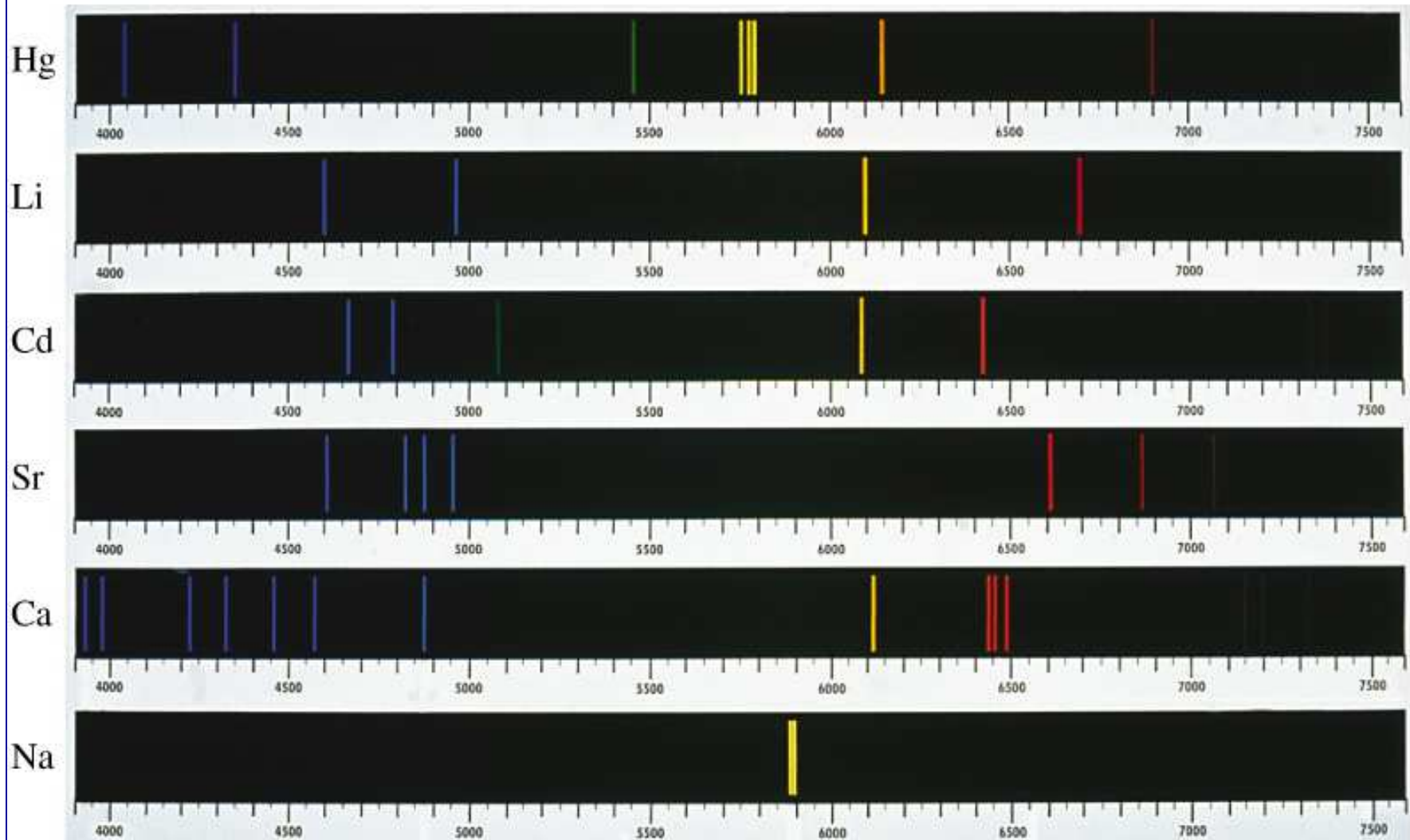
O Sol





Espectros de emissão de alguns elementos:

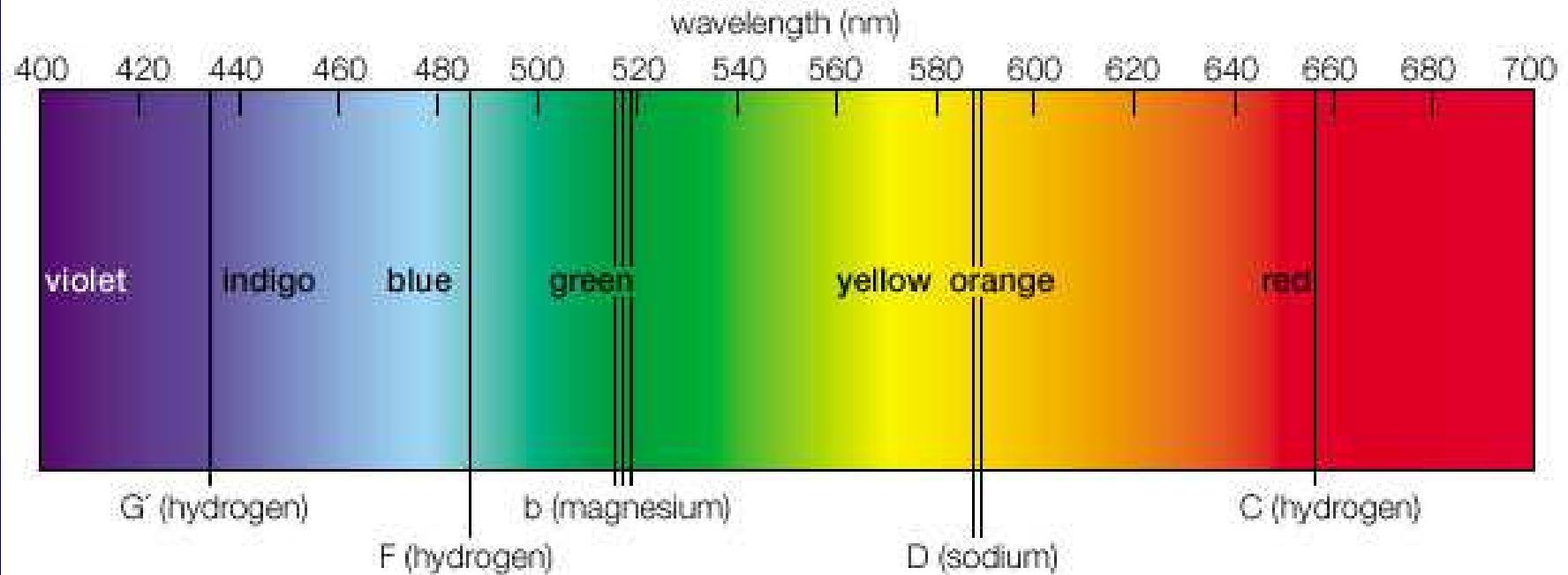
O Sol



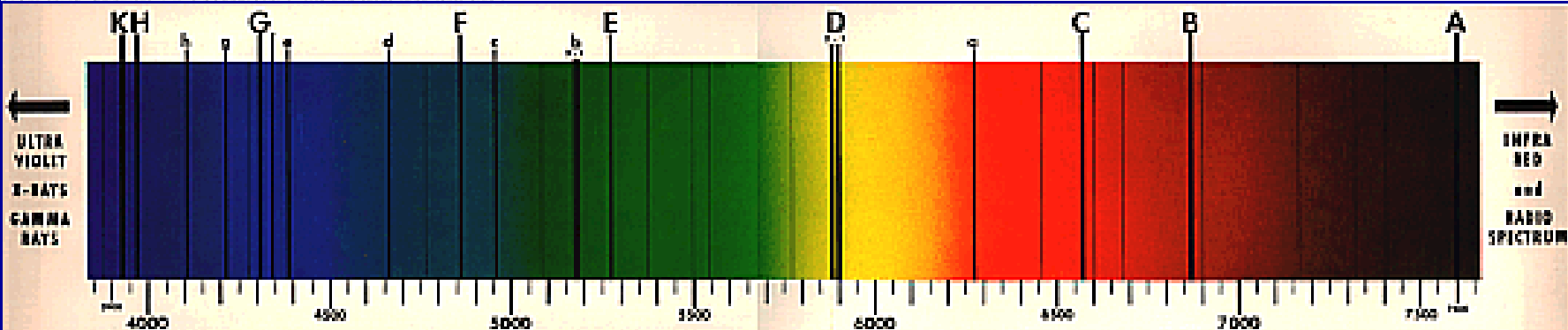


Espectro de absorção do Sol

O Sol



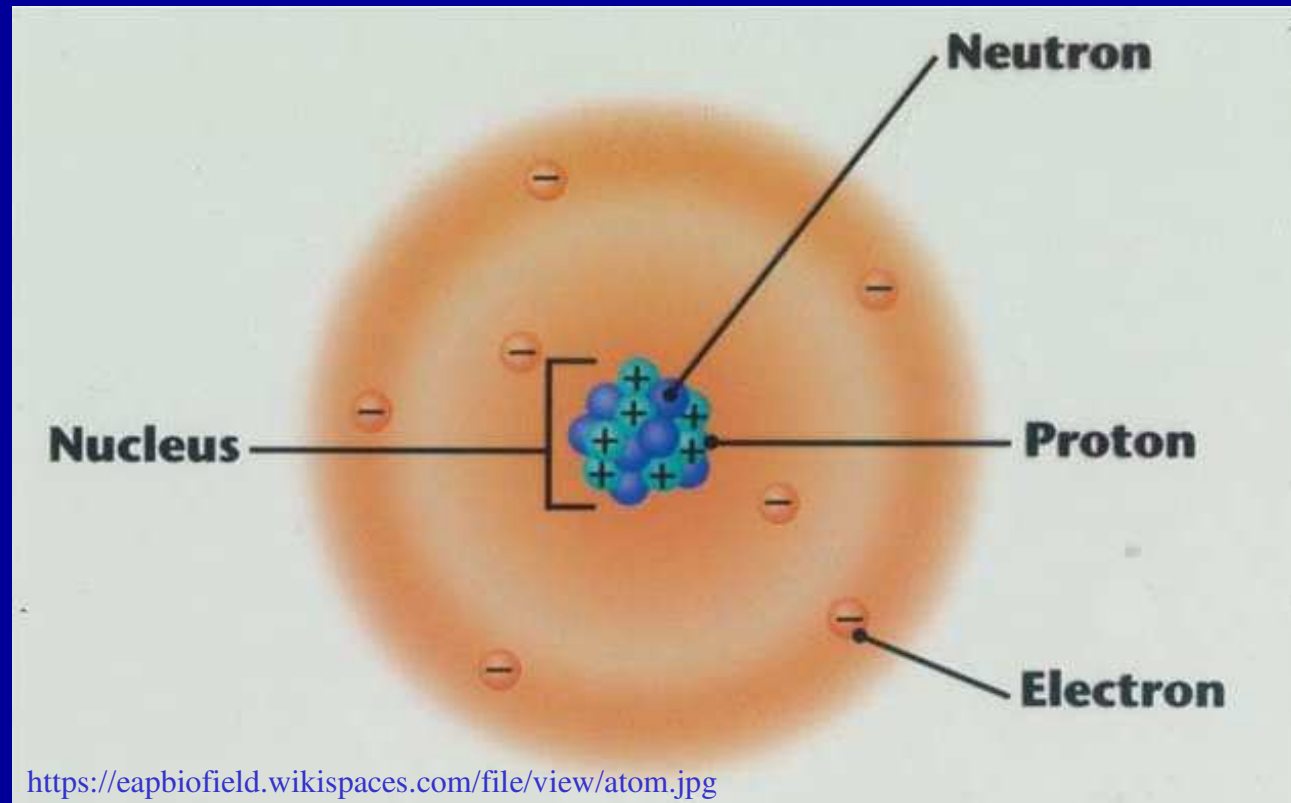
© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.





A matéria é formada por átomos.

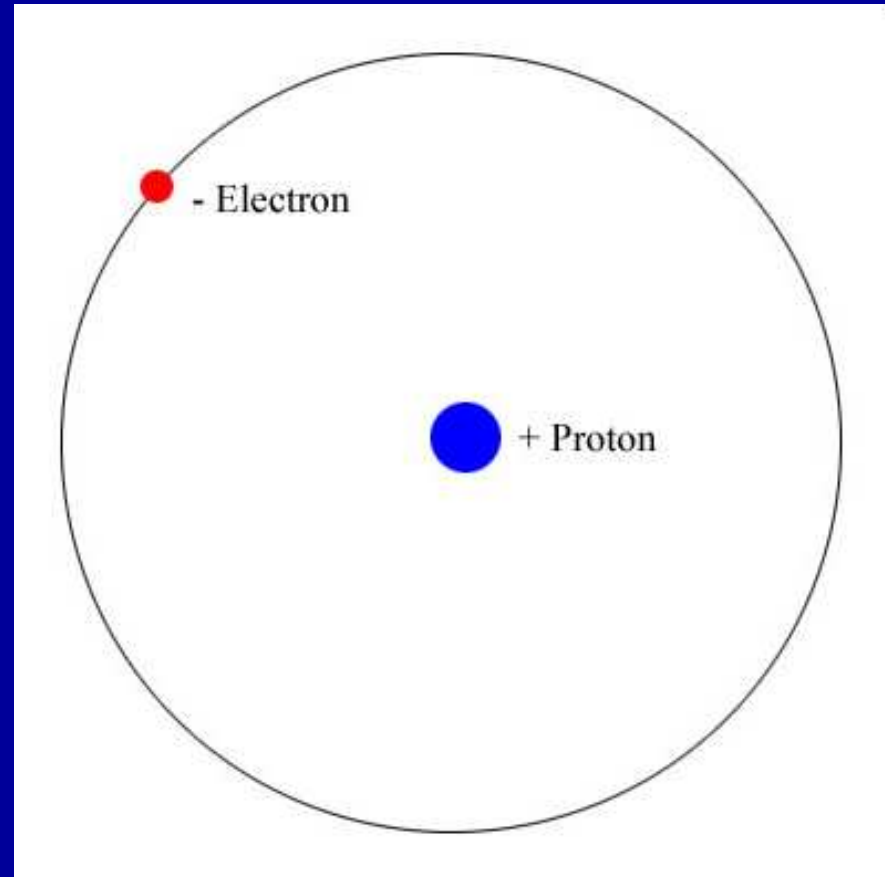
Um átomo é formado por um núcleo composto por *protões* (carga eléctrica positiva) e *neutrões* (sem carga eléctrica). Em torno do núcleo ficam os *electrões* (carga eléctrica negativa).





O átomo mais simples (e também o mais abundante no Universo) é o de **Hidrogénio**.

O **núcleo** do átomo de Hidrogénio é composto simplesmente por um protão. Em torno desse núcleo "gira" um electrão numa região designada por *nuvem electrónica*.





O Sol

A dimensão do protão é da ordem de 1 Fermi (10^{-15}m)

A dimensão da nuvem electrónica é da ordem de 1 Ångström (10^{-10}m),
ou seja, cerca de 100 000 vezes superior ao protão.

$$1\text{Fermi} = 0.000000000000001\text{ m}$$

$$1\text{Ångström} = 0.0000000001\text{ m}$$

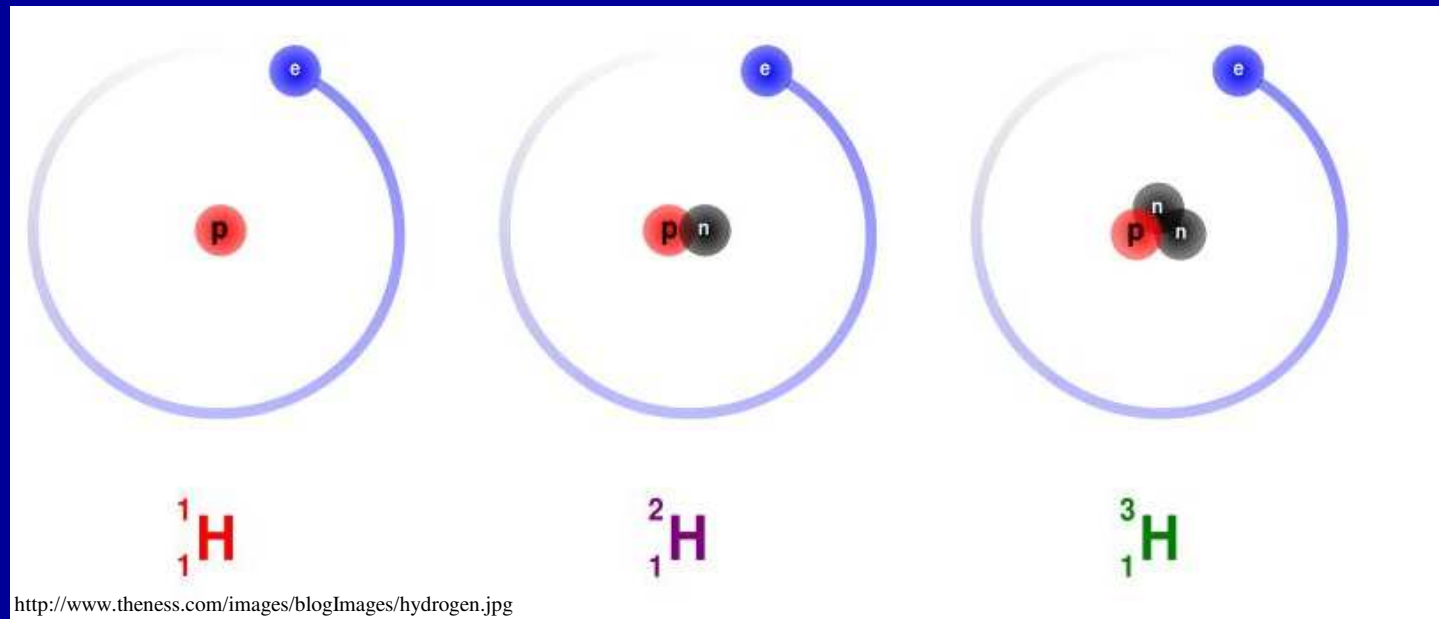
$$1\text{ Ångström} / 1\text{ Fermi} = 100\,000$$

Se isto for o núcleo
do átomo de Hidrogénio
então o electrão encontra-se
numa região com um
raio cerca de 100 000
vezes superior.



O Sol

Isótopos do Hidrogénio: núcleos com um protão mas diferentes números de neutrões



Isótopo:	Prótio	Deutério	Trítio
Número atómico:	1	1	1
Número de Massa:	1	2	3
Abundância:	99.9851%	0.0151%	vestígios



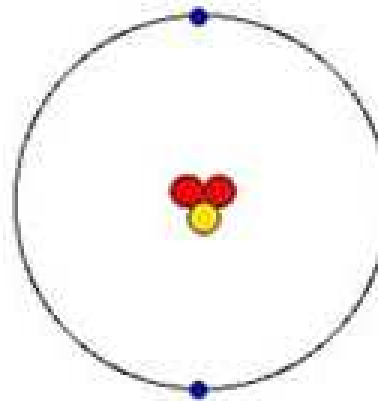
O Sol

O segundo elemento mais abundante no Universo é o **Hélio** (numero atómico 2).

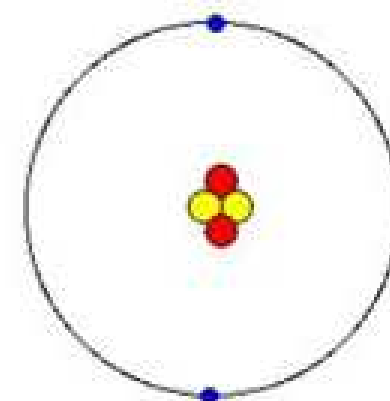
O seu isótopo mais abundante é o Hélio 4 (99.999863%).

O Hélio 4 tem dois prótons e dois neutrões no seu núcleo.

Natural Helium Isotopes



^3He



^4He



Proton



Neutron



Electron

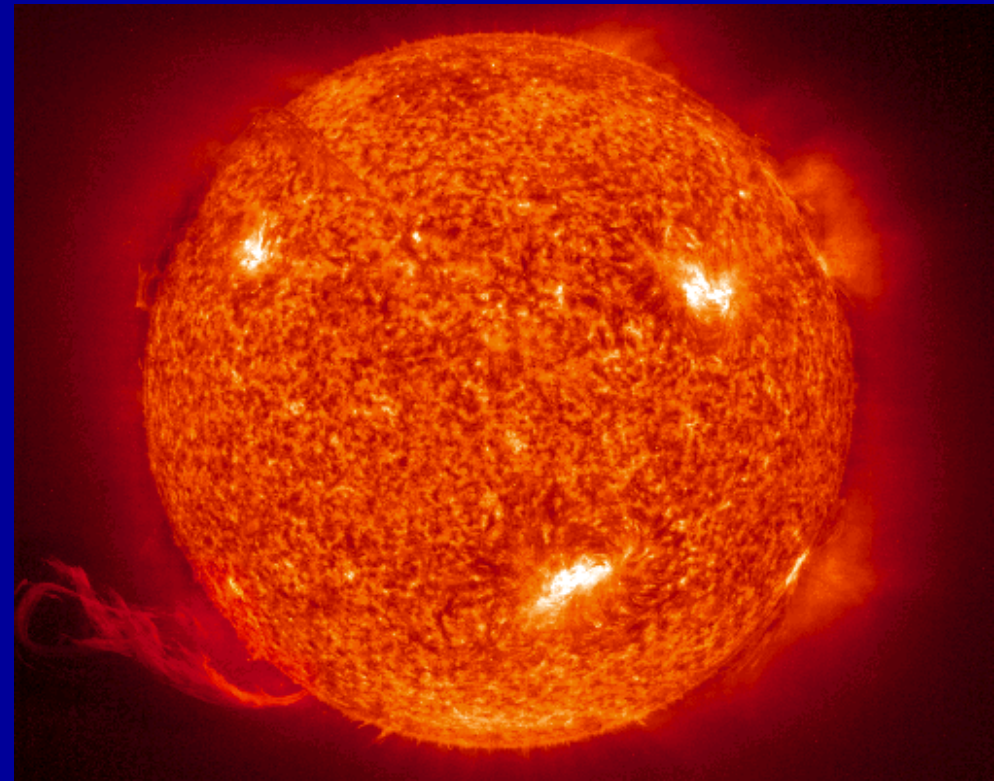


A fonte de energia do Sol

Luminosidade do Sol: quantidade de energia emitida pelo Sol por segundo.

$$L = 3.9 \times 10^{26} \text{ J/s}$$

Qual a fonte responsável
por esta emissão de
energia?



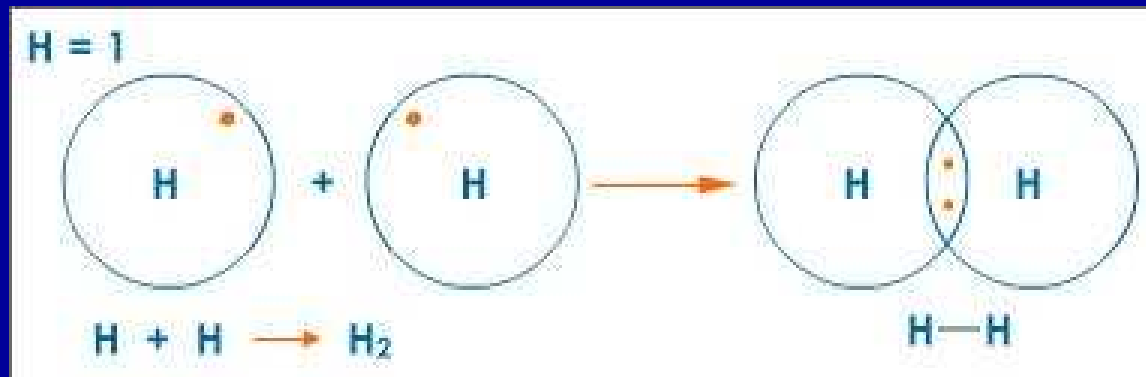
SOHO, NASA, ESA



O Sol

A fonte de energia do Sol : Reações químicas ?

O elemento mais abundante no Sol é o hidrogénio (H). Dois átomos de hidrogénio podem juntar-se para formar uma *molécula de hidrogénio* libertando no processo alguma energia. Poderá ser esta a fonte de energia do Sol?



$$+ \approx 10^{-19} \text{ J}$$

Se fosse esta a fonte de energia do Sol então os seus átomos de hidrogénio seriam completamente consumidos por esta reação em menos de 10 000 anos. Como sabemos que o Sol existe há muito mais tempo não pode ser esta a solução.

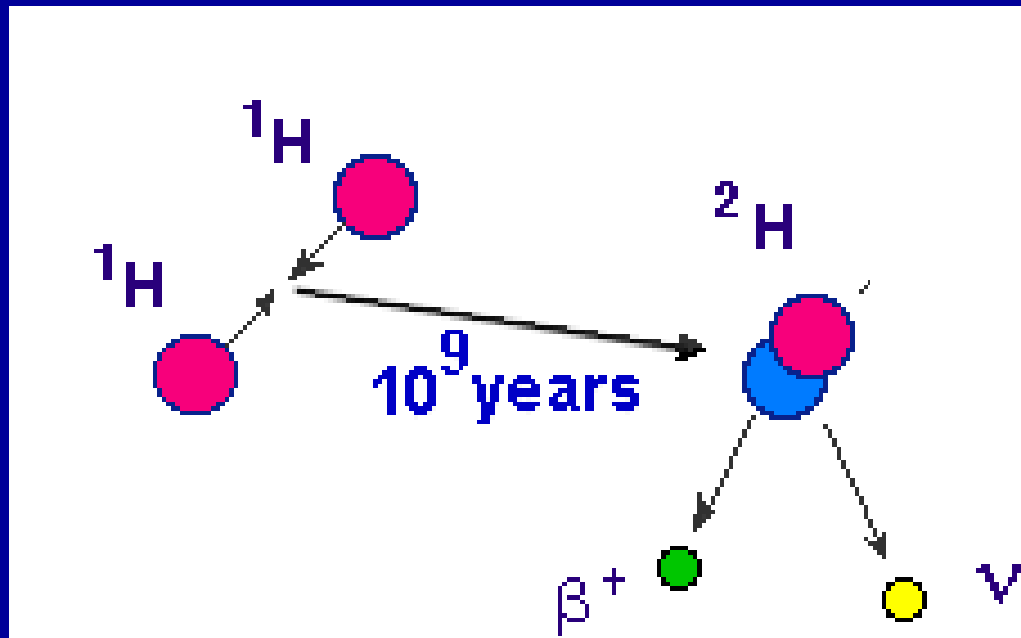


O Sol

A fonte de energia do Sol : Fusão nuclear ?

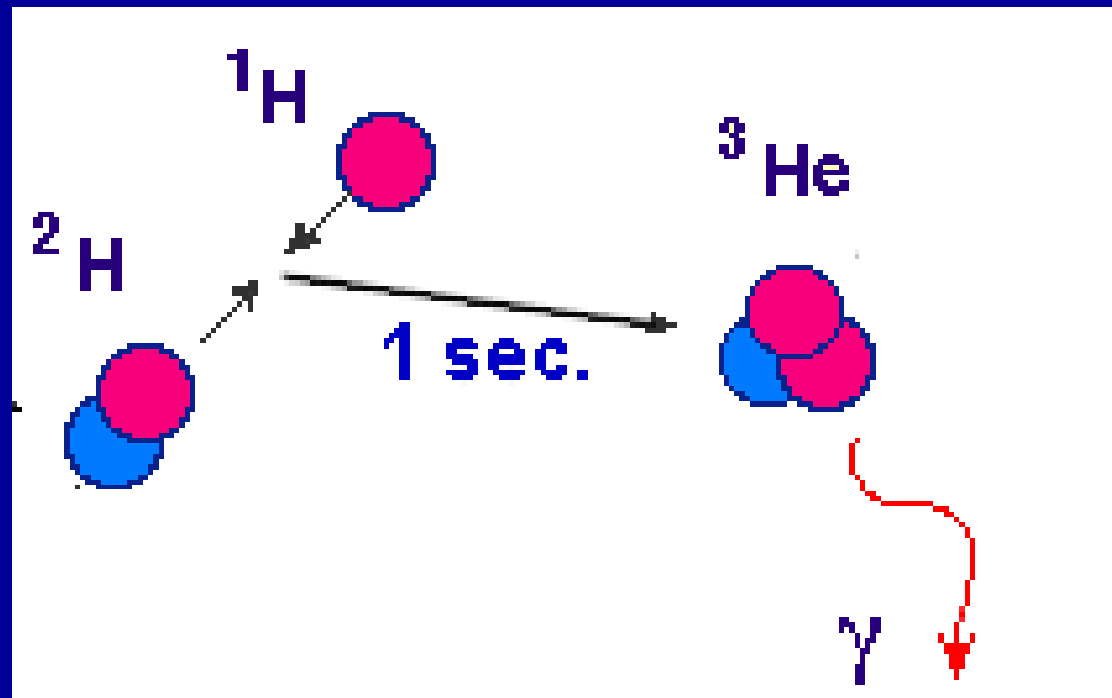
Dois núcleos de *Hidrogénio* juntam-se para formar um núcleo de *Deutério*. No processo é libertada uma partícula *beta+* e um *neutrino*.

A partícula *beta+* (ou *positrão*) é a antipartícula do *eletrão* (massa igual à do eletrão e carga elétrica simétrica). Pouco tempo depois o *positrão* encontra um *eletrão* e juntos aniquilam-se resultando na emissão de dois *raios gama*.





Cada núcleo de *Deutério* junta-se a um núcleo de *Hidrogénio* (protão) para formar um núcleo de *Hélio-3*.
No processo é emitido um fóton de *raios gama*.

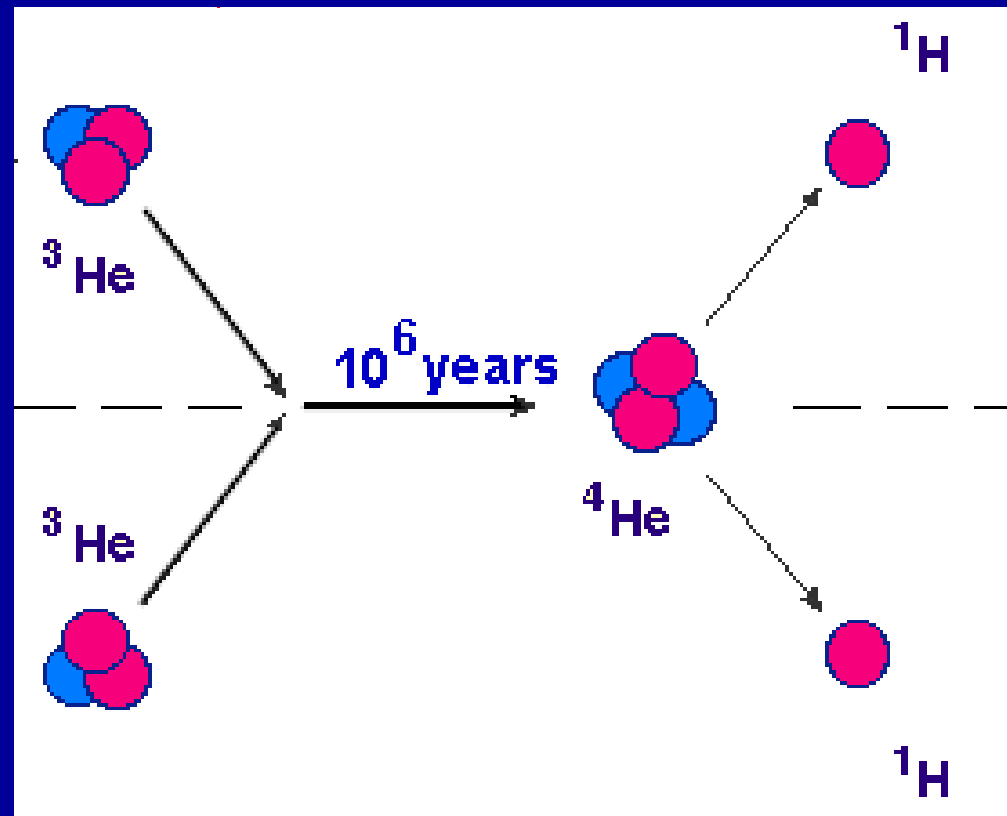


<http://nrumiano.free.fr/Estars/energy.html>



Os núcleos de **Hélio-3** fundem-se para formar **Hélio-4** (isótopo mais abundante do Hélio). São dispensados no processo dois núcleos de Hidrogénio.

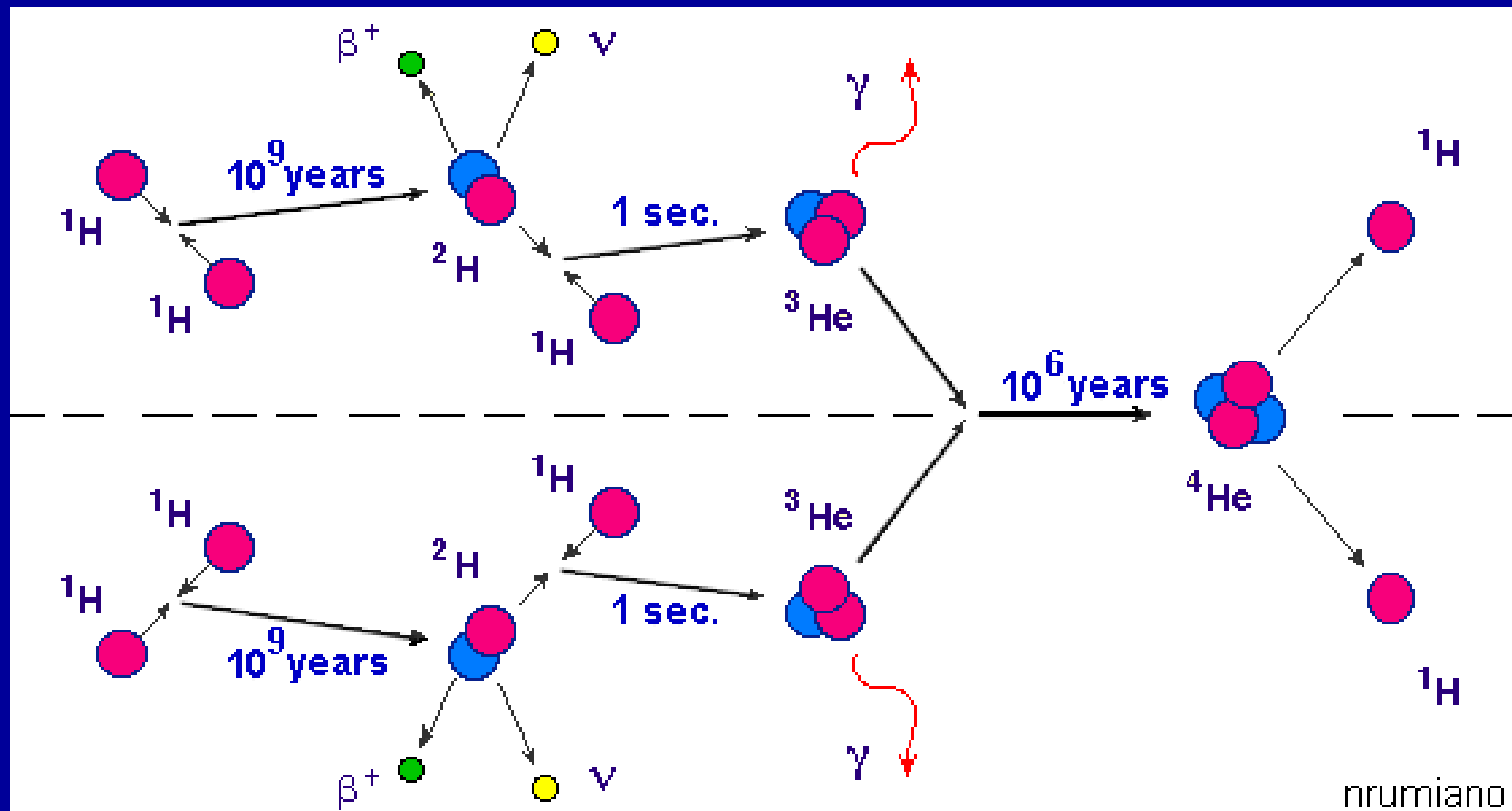
O Sol





Em resumo: entram **6 núcleos de Hidrogénio** (ou protões) para formar **um núcleo de He-4**. Dois dos protões são dispensados. Libertam-se dois fotões gama, dois positrões (que se combinam com dois electrões originando a emissão de dois raios gama) e dois neutrinos.

O Sol





A energia libertada sempre que se forma um núcleo de Hélio-4 no Sol é da ordem de:

$$\approx 10^{-12} \text{ J}$$

ou seja, cerca de 10 milhões de vezes superior aquela que se verifica no caso das reações químicas.

O processo de fusão nuclear faculto ao Sol uma vida bastante longa e estável de cerca de 10 000 milhões de anos!

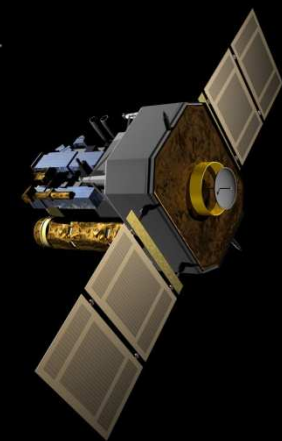
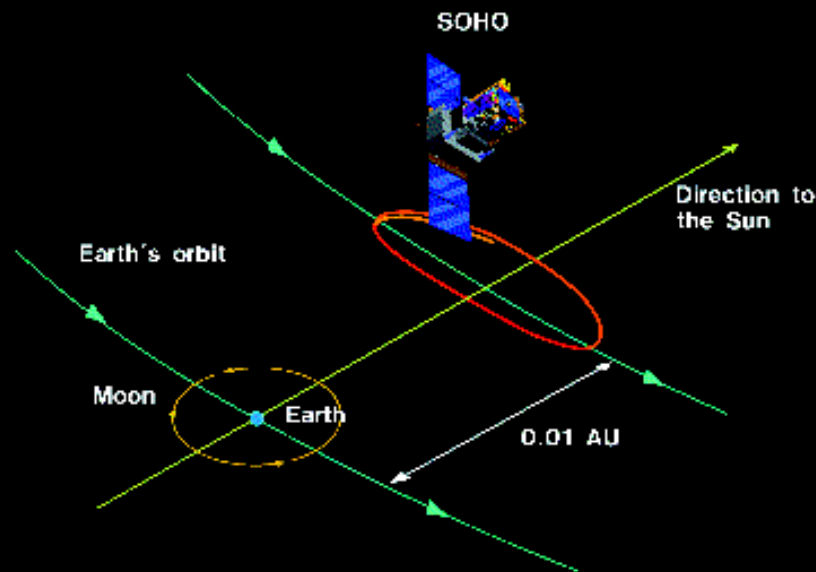
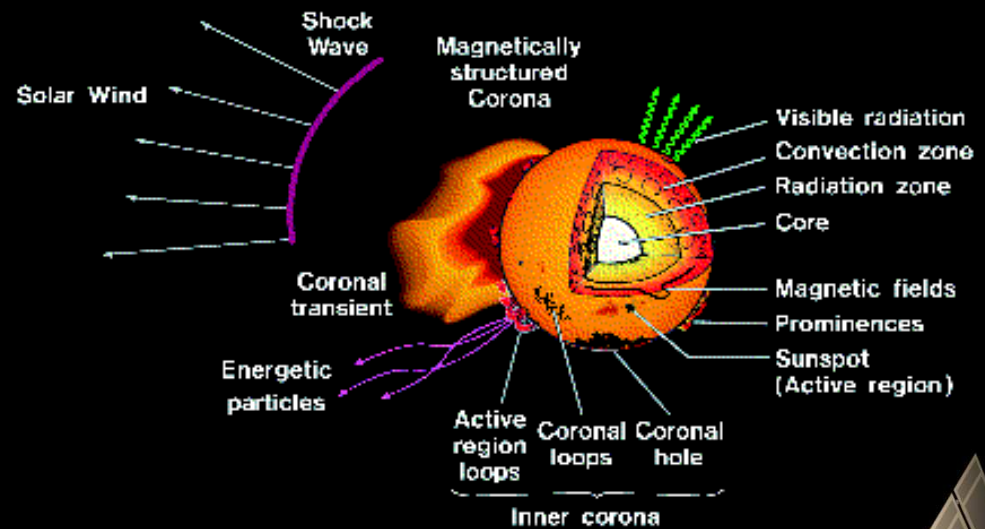
O Sol



Observando o Sol

Soho (Solar and Heliospheric Observatory) lançado para o espaço em dezembro de 1995. Observa continuamente o Sol utilizando diversos equipamentos.

O Sol





UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

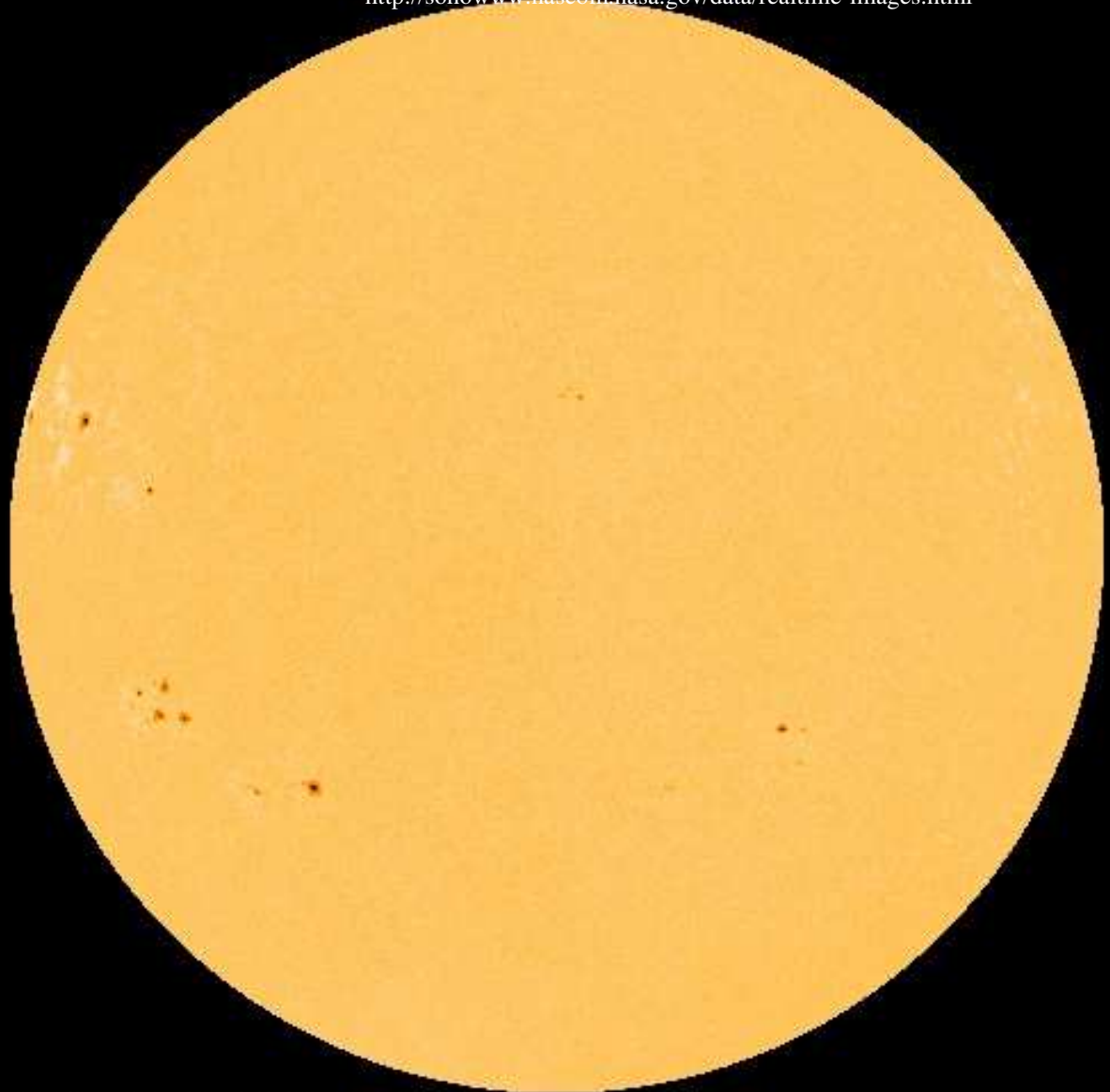
Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

O Sol

Atmosfera do Sol:

Fotosfera solar
(superfície visível
do Sol).

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>



SDO/HMI Quick-Look Continuum 20111119_180000

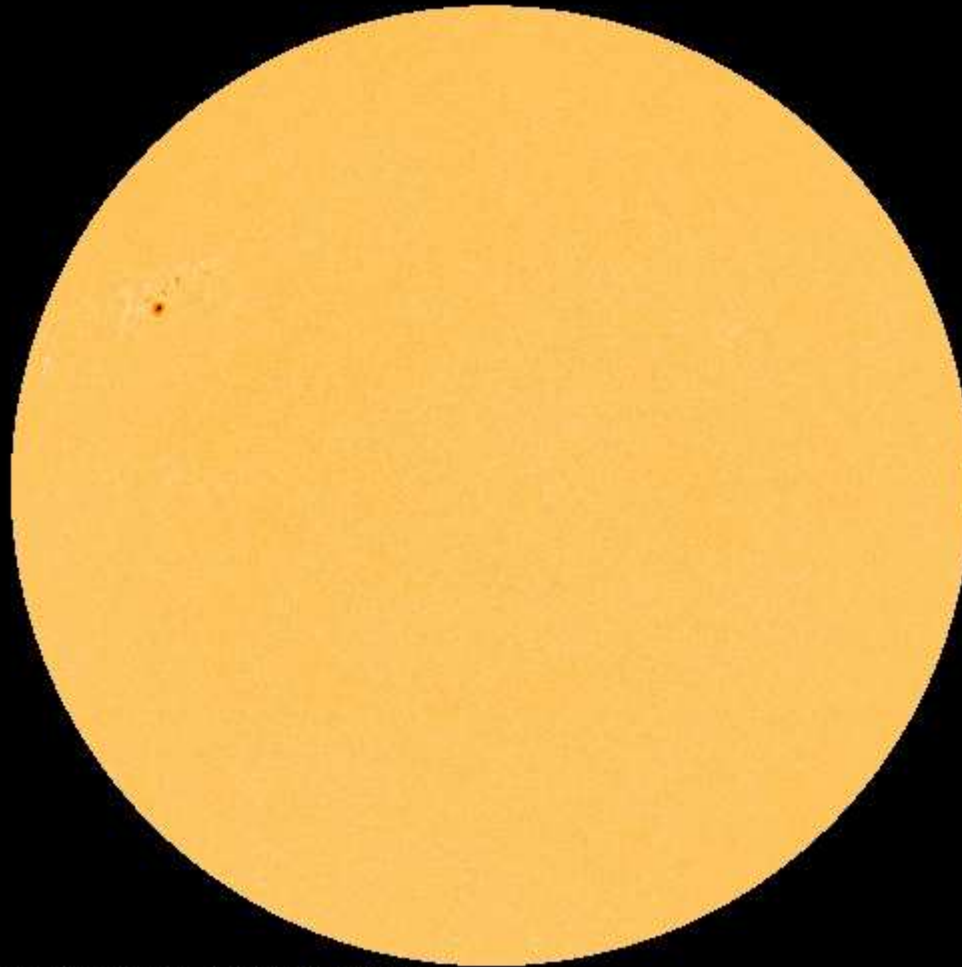


UNIVERSIDADE da MADEIRA

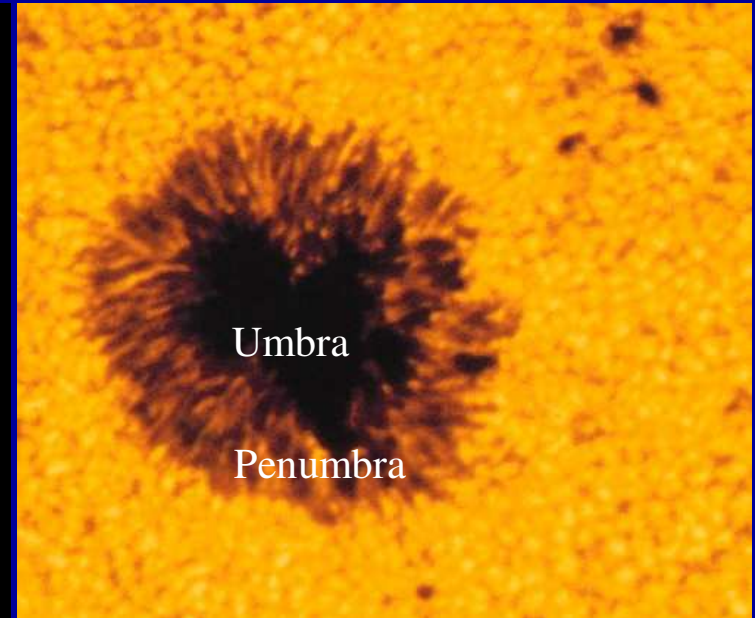
GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

O Sol



SDO/HMI Quick-Look Continuum 20170222_163000



Umbra

Penumbra

<http://www.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture15-Sun/>

<http://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>

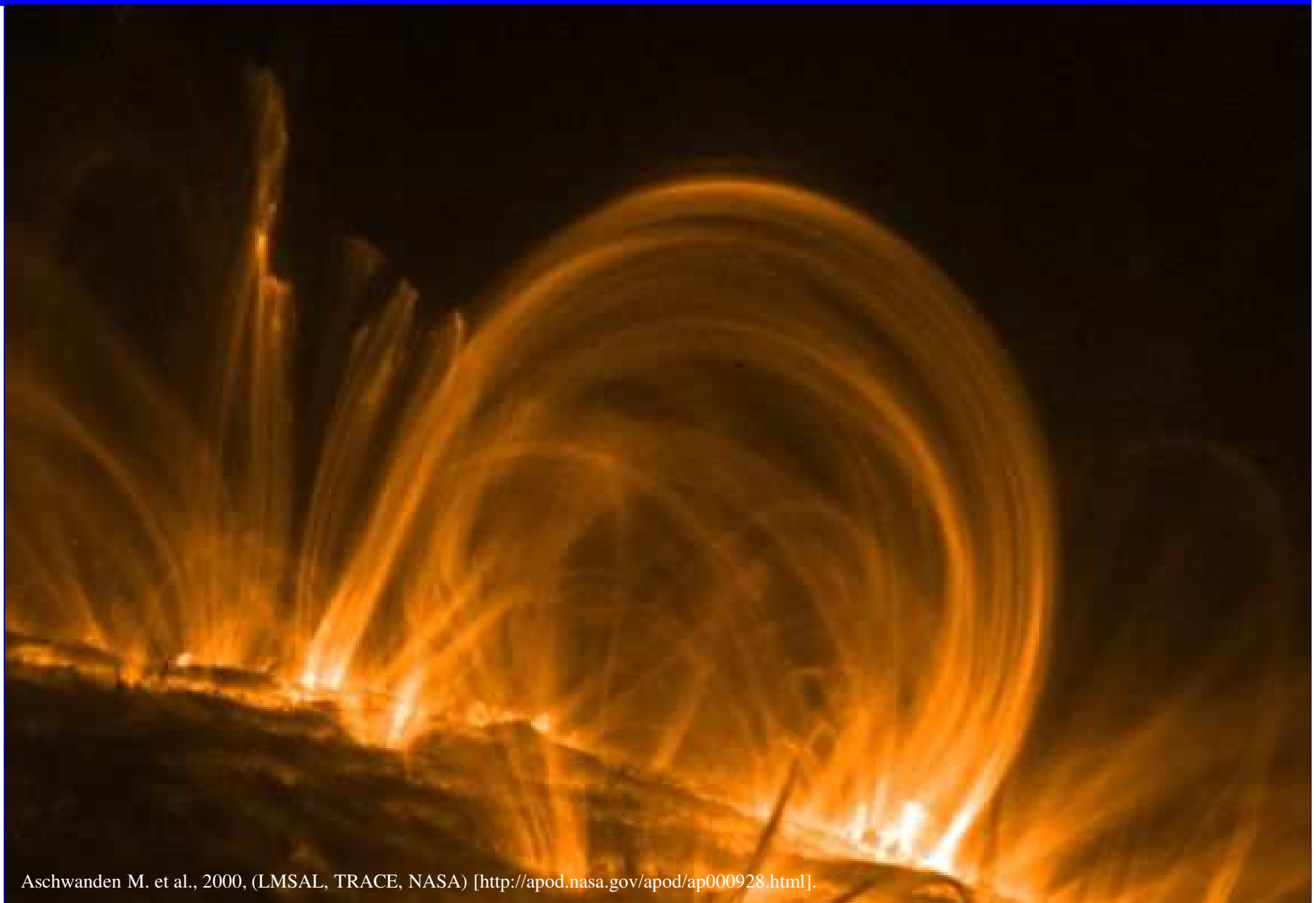


UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

O Sol

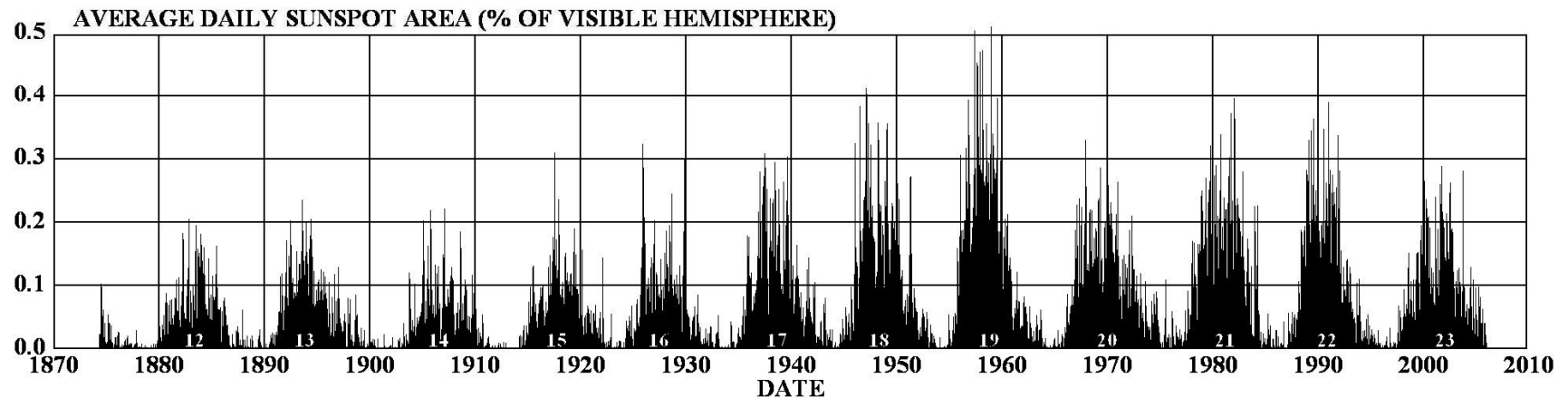
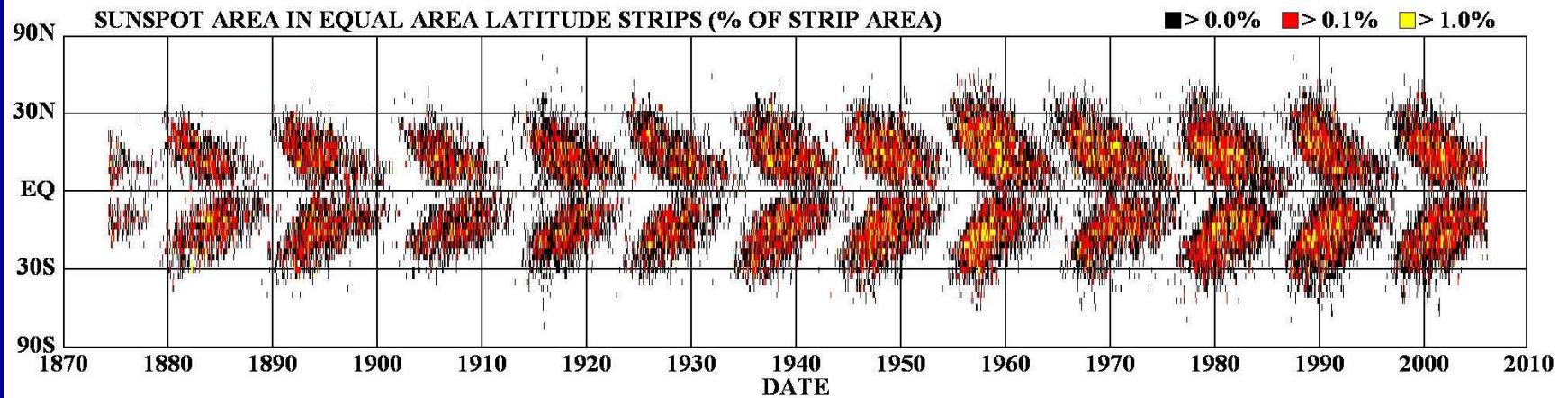


Aschwanden M. et al., 2000, (LMSAL, TRACE, NASA) [<http://apod.nasa.gov/apod/ap000928.html>].



Ciclo solar (diagrama da borboleta)

DAILY SUNSPOT AREA AVERAGED OVER INDIVIDUAL SOLAR ROTATIONS



<http://science.msfc.nasa.gov/ssl/pad/solar/images/bfly.gif>

NASA/NSSTC/HATHAWAY 2006/03

1050



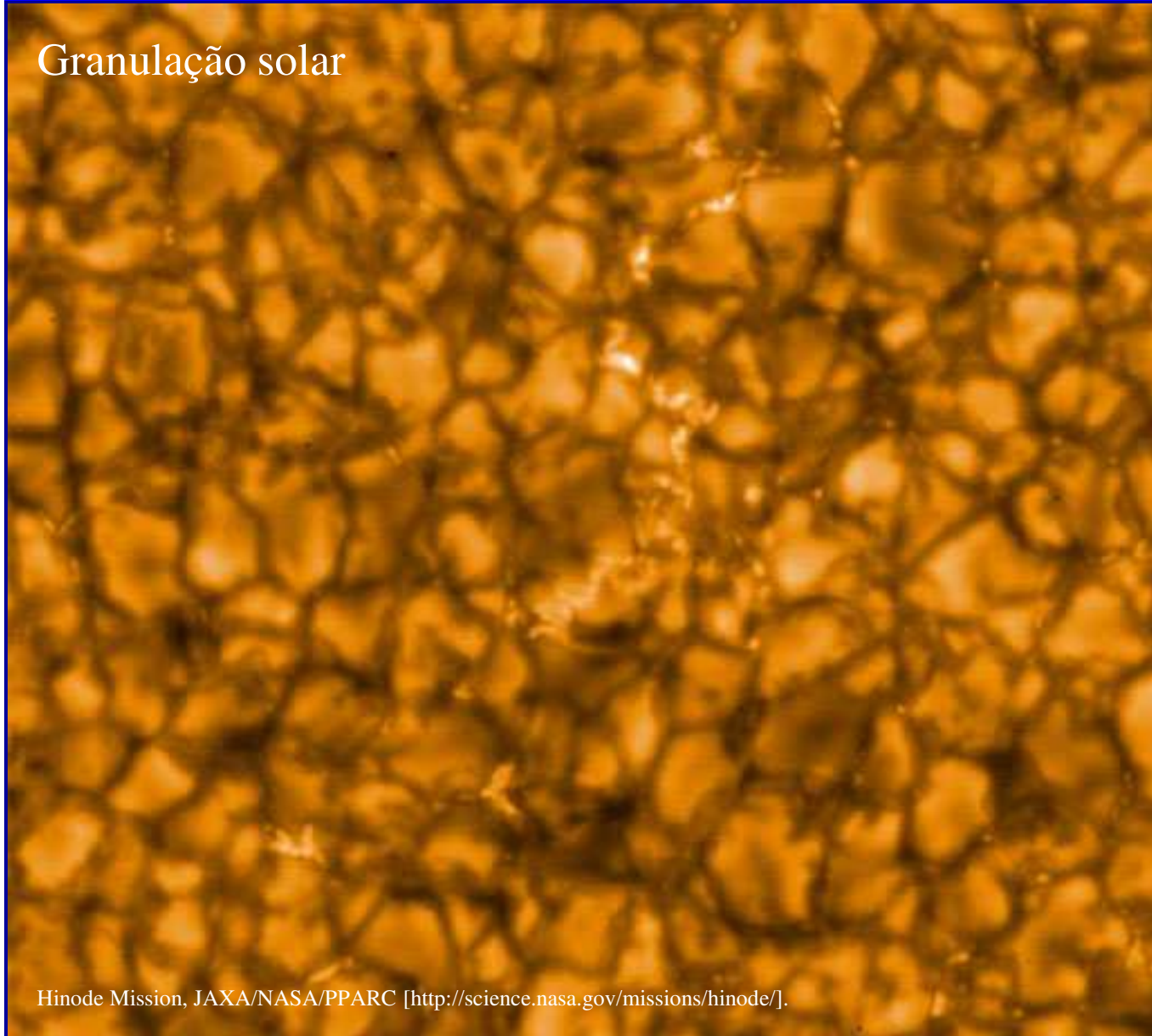
UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

Granulação solar

O Sol



Hinode Mission, JAXA/NASA/PPARC [<http://science.nasa.gov/missions/hinode/>].



O Sol

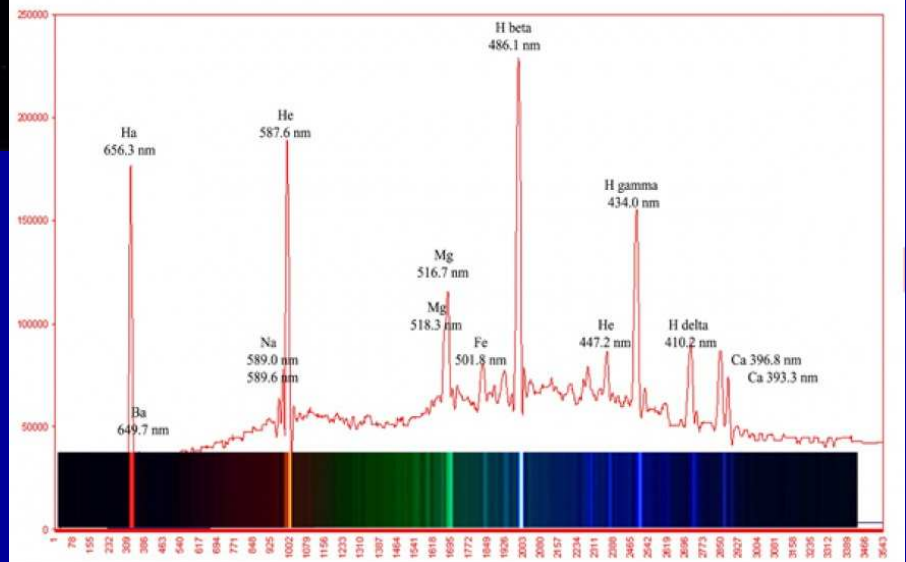
Cromosfera



Moussas Xenofon, University of Athens Strikis Iakovos, Hellenic Amateur Astronomy Association, Elizabeth Observatory of Athens
[<http://dailysolar.weebly.com/total-solar-eclipse-2006.html>] (2012).

Espetro de emissão da cromosfera onde se destaca a linha H alfa

The Solar Chromosphere Spectrum (Flash Spectrum)



Vic & Jen Winter, 2001, ICSTARS Astronomy, Inc.
[<http://apod.nasa.gov/apod/ap010726.html>].



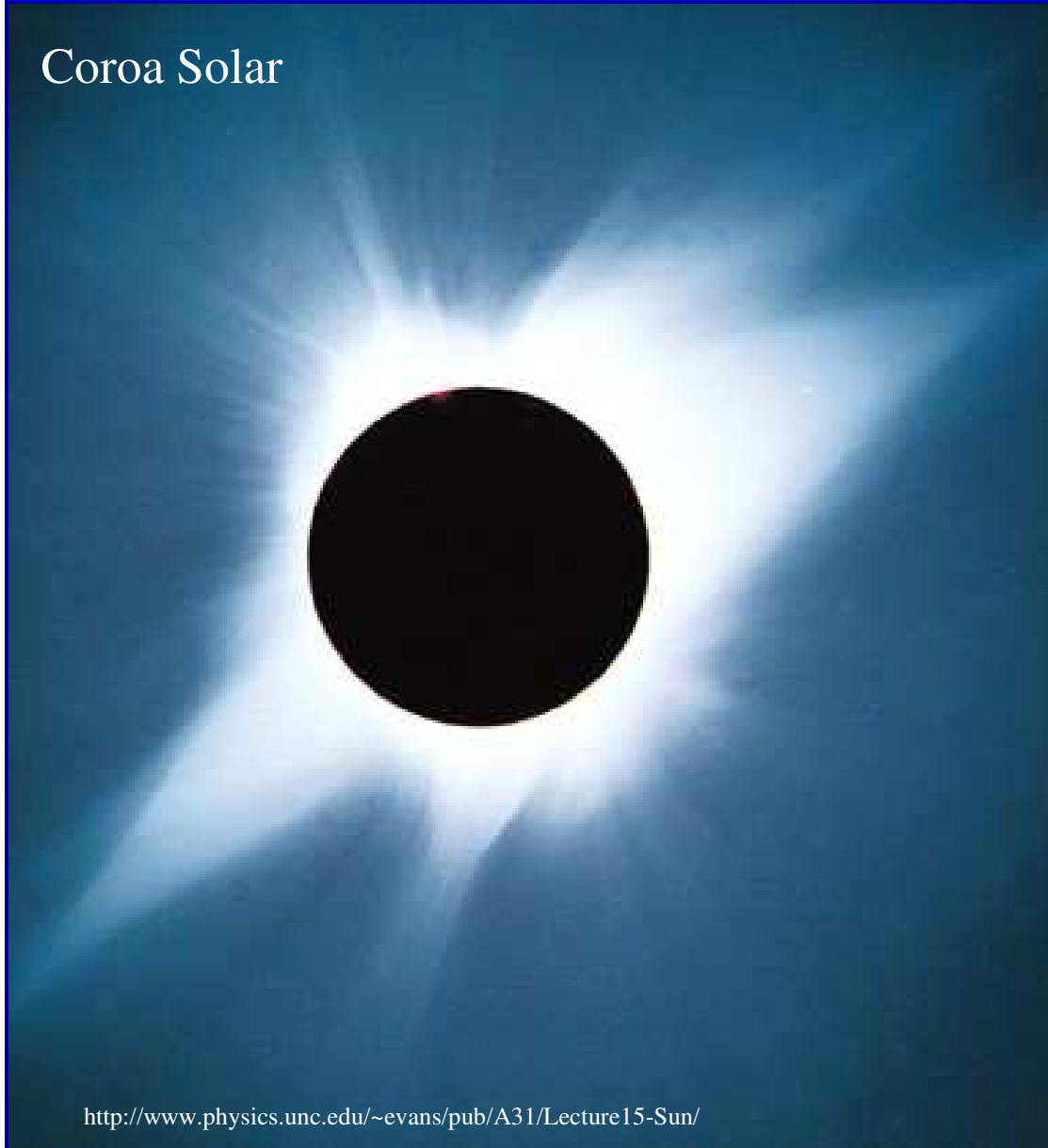
UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

Coroa Solar

O Sol



<http://www.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture15-Sun/>



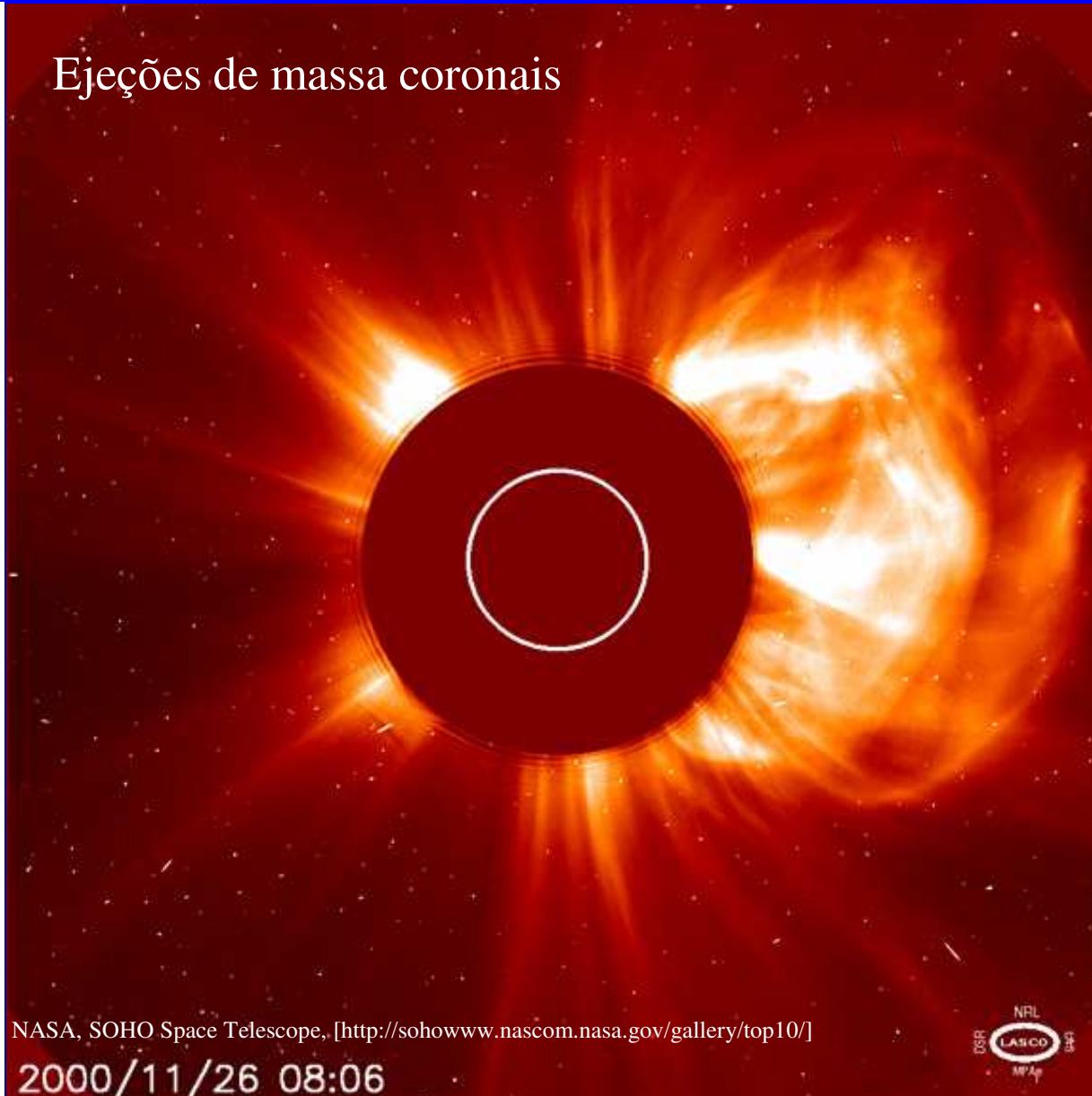
UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

Ejeções de massa coronais

O Sol



NASA, SOHO Space Telescope, [<http://sohowww.nascom.nasa.gov/gallery/top10/>]

2000/11/26 08:06

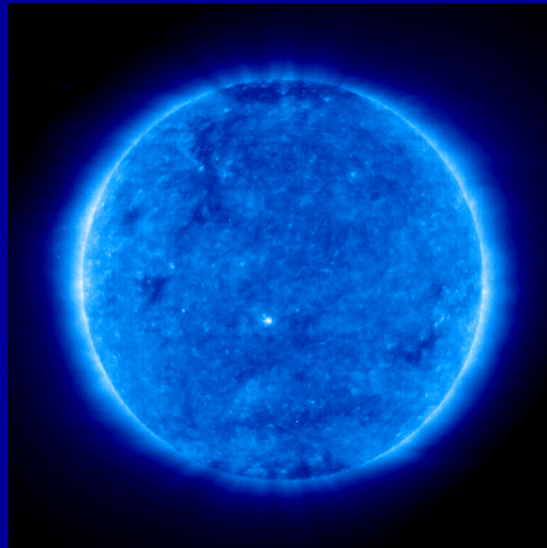




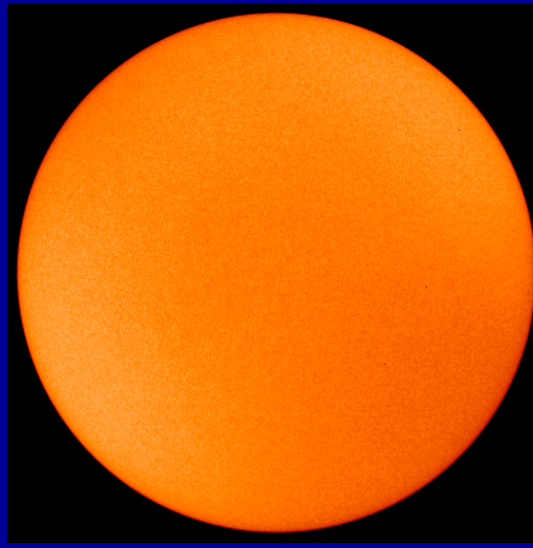
O Sol emite também para além da radiação visível ondas de rádio, raios X, ultravioletas ...

Imagens do Sol em Novembro de 2008:

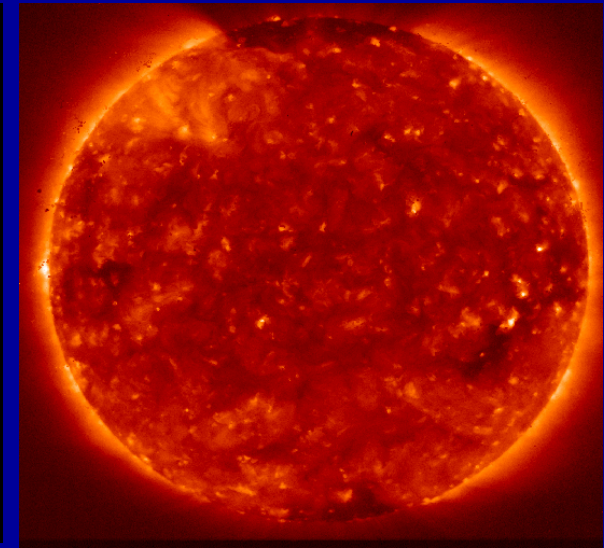
O Sol



ultravioleta



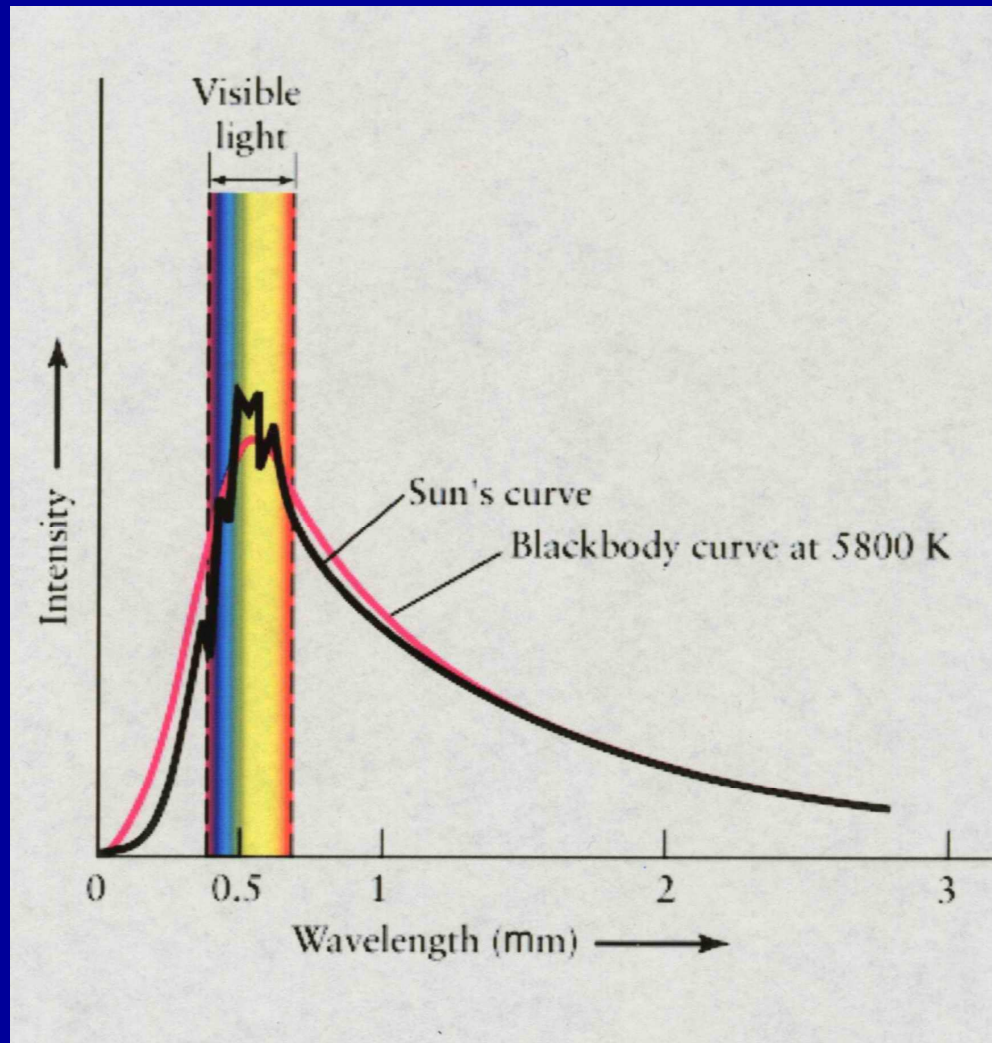
visível



raios X



Curva do corpo negro para a fotosfera solar



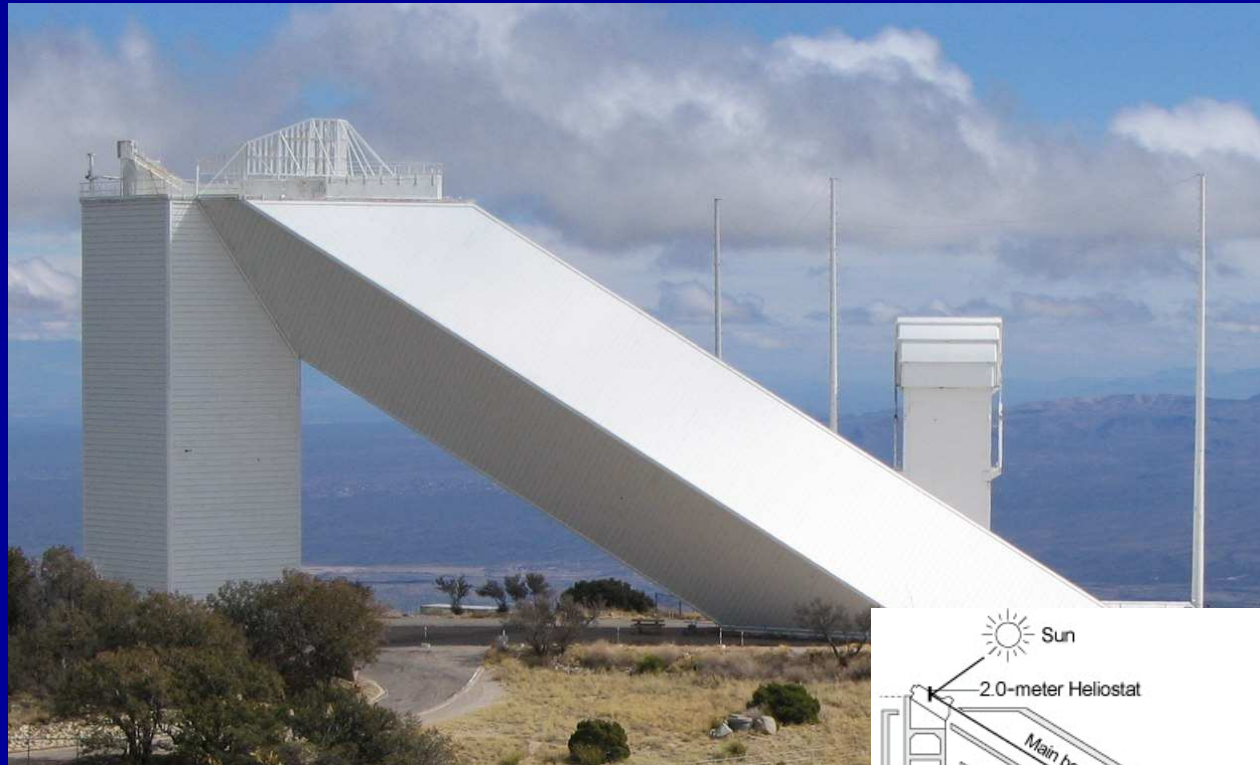


UNIVERSIDADE da MADEIRA

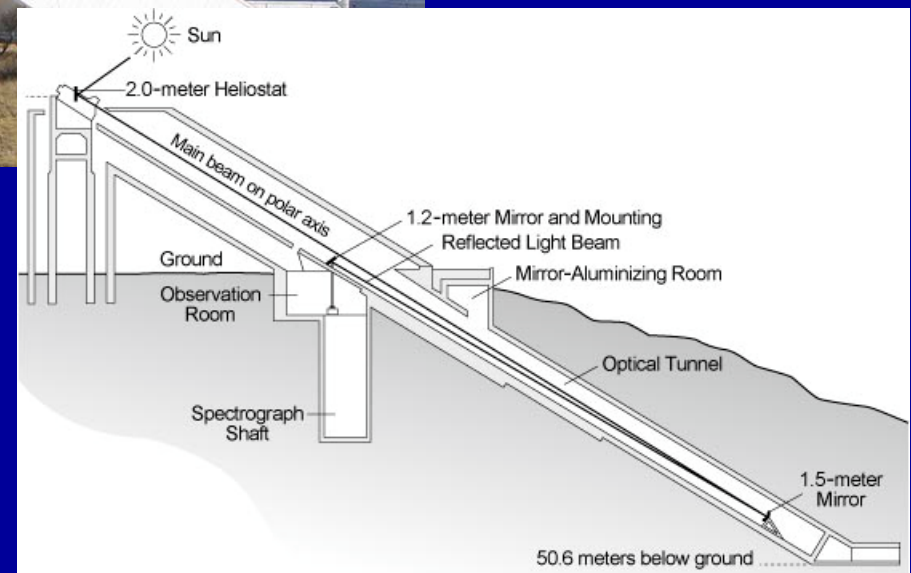
GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

O Sol



Telescópio Solar de McMath-Pierce
(Arizona, Estados Unidos)
Está operacional desde 1962.





UNIVERSIDADE da MADEIRA

GAUMa

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira

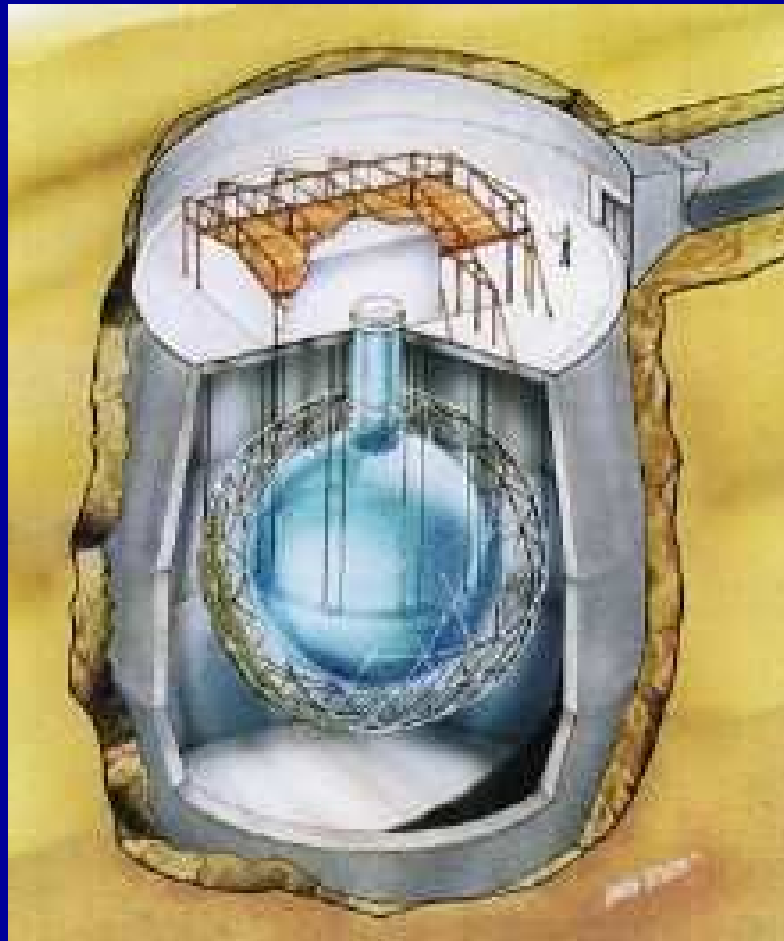
Rádio telescópio Solar de 10 metros:
Czech Astronomical Institute in Ondřejov



O Sol



Deteção de neutrinos solares



The Sudbury Neutrino Observatory (SNO) – Canada

1000 toneladas de água pesada num recipiente com 12m de diâmetro. Os neutrinos reagem com a água pesada provocando um *flash* que pode ser registado por um dos 9600 detetores instalados à volta do recipiente....

<http://www.sno.phy.queensu.ca/>



O Sol

ATENÇÃO!

Não olhar para o Sol

Nem directamente
nem através
de binóculos!

Podem ocorrer
lesões graves
nos nossos olhos
podendo levar
mesmo à cegueira!



Projeção da imagem do Sol num alvo.



Utilização de um filtro solar no telescópio.



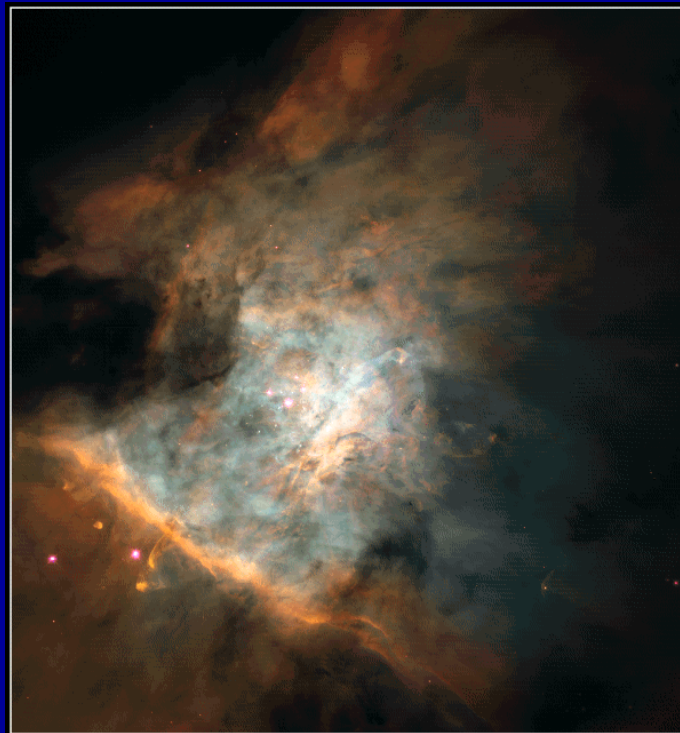
Utilização de óculos especiais.



Origem, evolução e morte do Sol

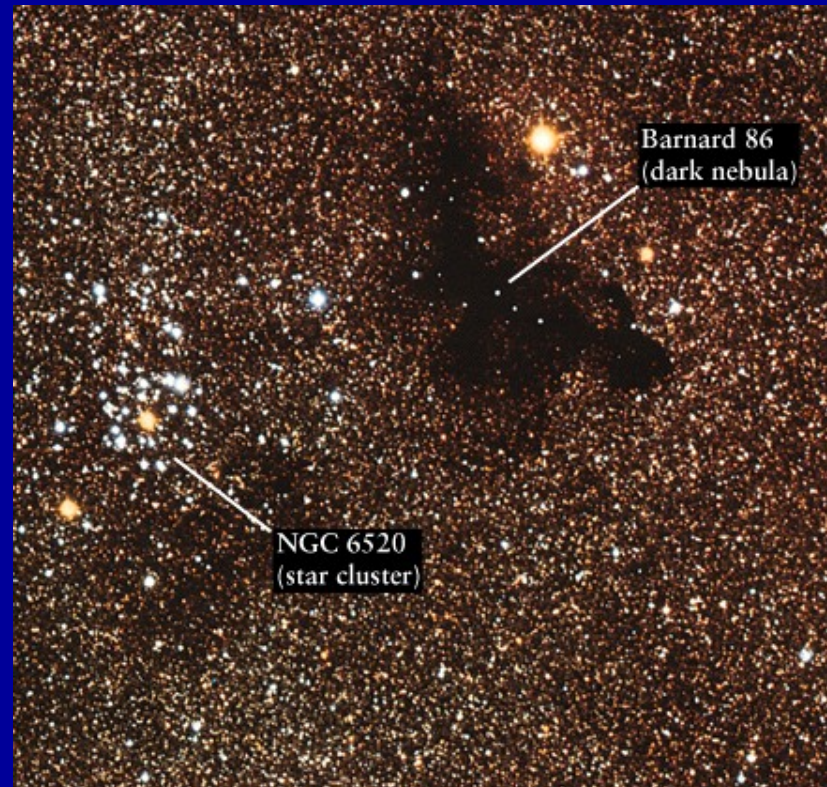
As estrelas formam-se a partir de nuvens de gás e poeiras, Instabilidades de diversa ordem podem levar ao colapso gravitacional de zonas mais densas....

O Sol



Orion Nebula Mosaic HST · WFPC2

PRC95-45a · ST Scl OPO · November 20, 1995
C. R. O'Dell and S. K. Wong (Rice University), NASA



Barnard 86
(dark nebula)

NGC 6520
(star cluster)

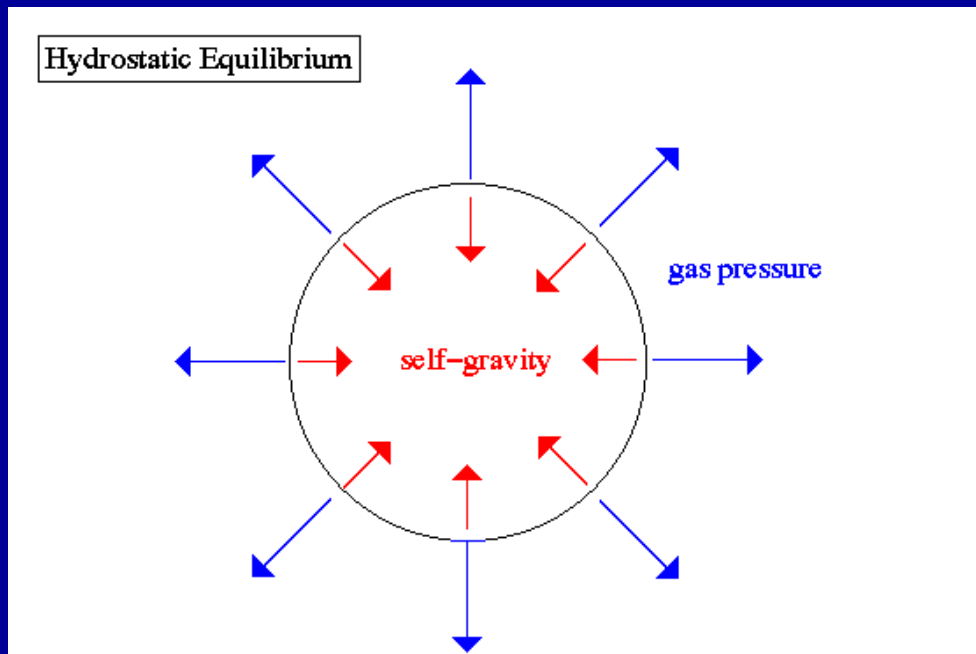
<http://www.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture17-Stellar-Birth/>



O Sol

Quando a temperatura no centro atinge cerca de 10 milhões de graus Kelvin iniciam-se as reações **de fusão nuclear do hidrogénio em hélio**.

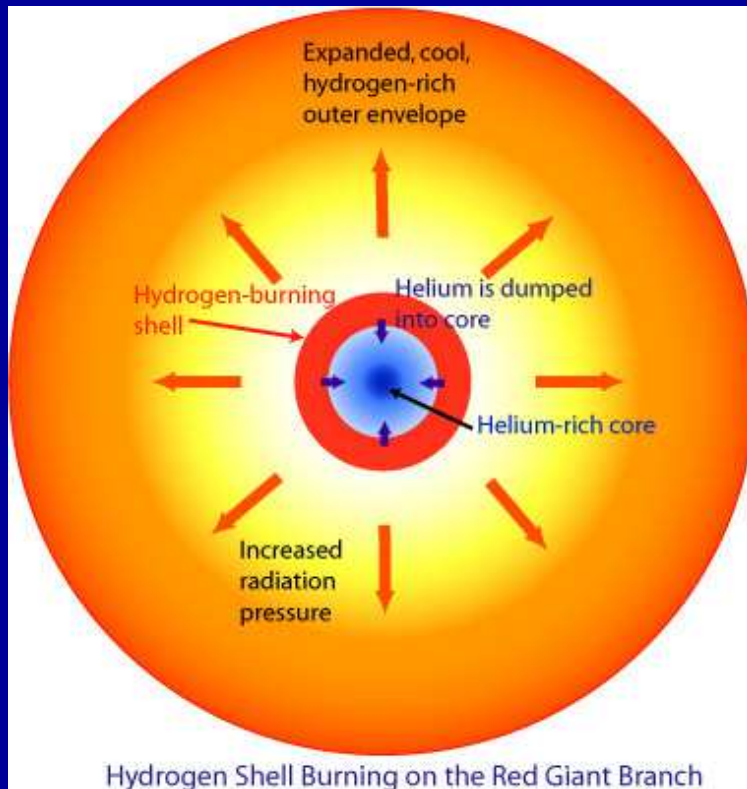
A pressão da radiação equilibra a força da gravidade e a estrela permanece neste equilíbrio hidrostático durante muito tempo como uma estrela da Sequência Principal.



Quanto maior a massa de uma estrela menor é o seu tempo de vida na sequência principal.



Saída da sequência principal:



http://outreach.atnf.csiro.au/education/senior/astrophysics/stellarevolution_postmain.html

Cessam as reações de fusão nuclear do H no centro da estrela. A estrela é agora composta por uma região central de He envolta por uma camada de H.

A gravidade faz colapsar a região central da estrela. As camadas mais externas de H caem mais para o centro e aquecem a ponto de reatar a fusão nuclear do H mas agora numa zona mais exterior.

A pressão da radiação faz com que as camadas mais exteriores da estrela se expandam: temos uma *Gigante Vermelha*.

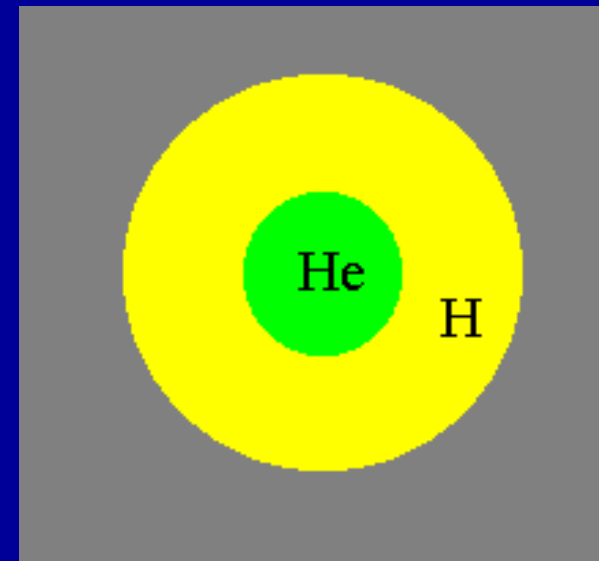
Eventualmente começam no centro as **reações de fusão nuclear do Hélio** em Carbono e Oxigénio.



O que é que vai acontecer ao Sol ?

O Sol

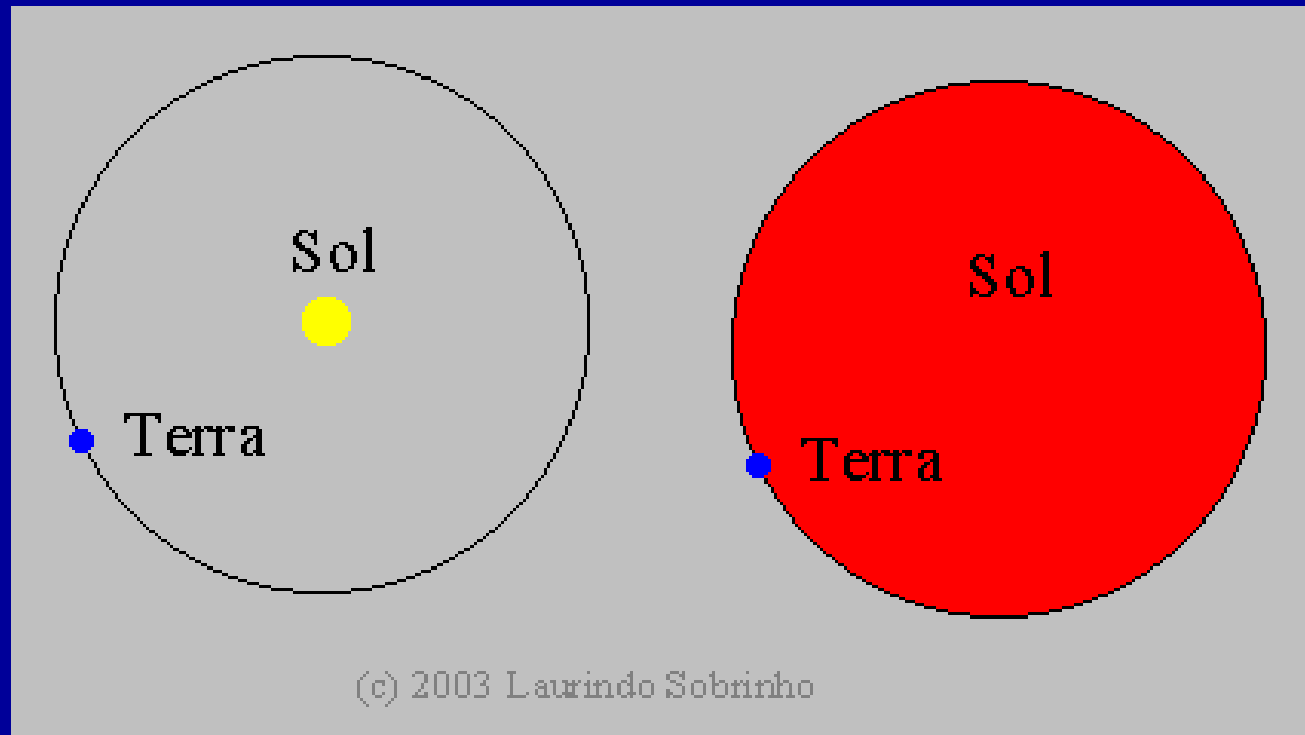
Actualmente ocorre a combustão do **Hidrogénio** e vai-se formando um núcleo de Hélio.



Quando o núcleo de Hélio tiver massa suficiente então dá-se a combustão do Hélio (formando o Carbono). A energia libertada fará **expandir as regiões mais externas!**



Estas, ao expandirem, arrefecem e adquirem uma cor avermelhada.
Forma-se assim uma **Gigante Vermelha!**



O Sol

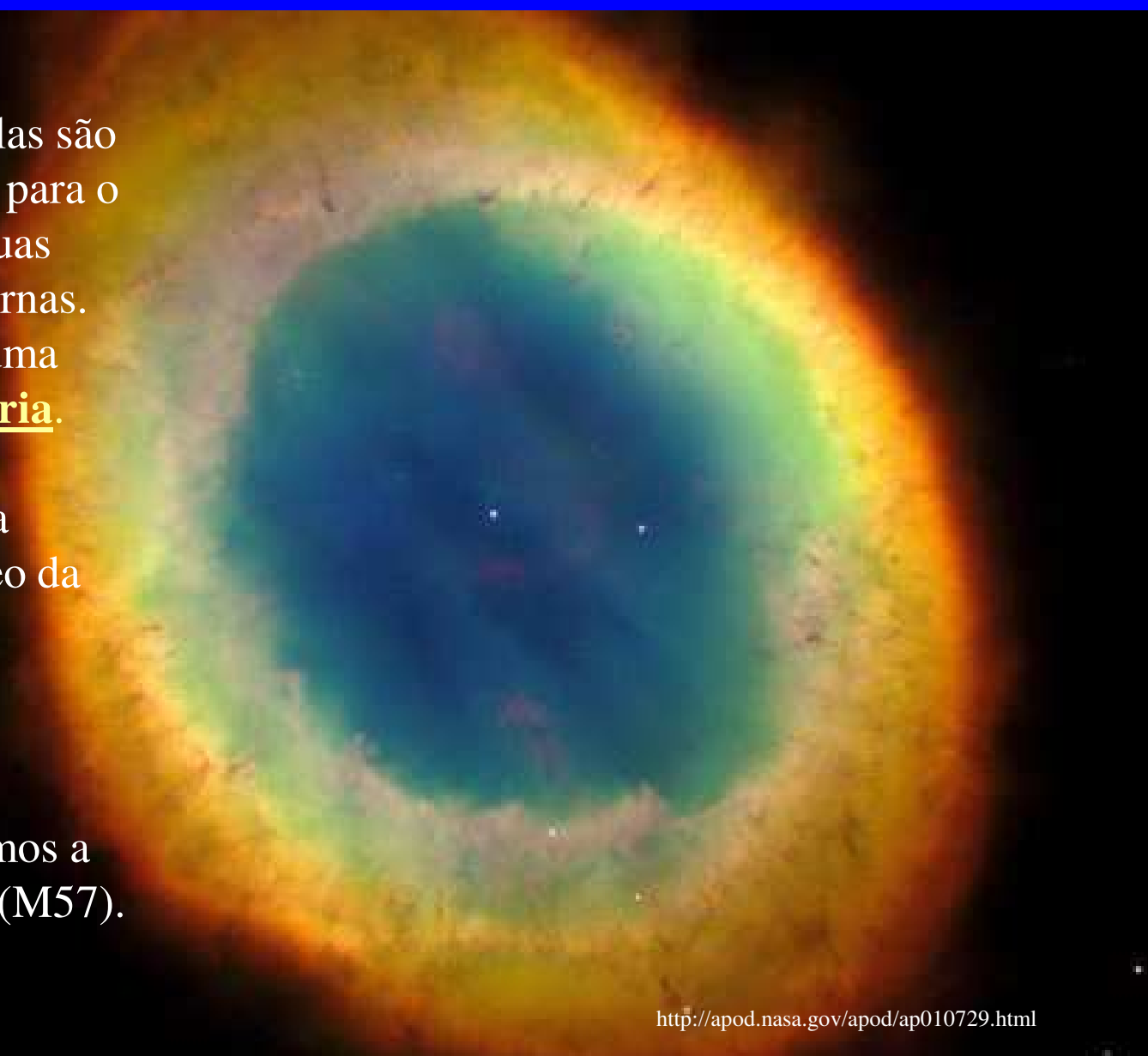
O raio dessa Gigante Vermelha será equivalente ao raio da órbita da Terra.



Nesta fase as estrelas são instáveis, ejetando para o espaço o gás das suas camadas mais externas. Forma-se, assim, uma **Nebulosa Planetária**.

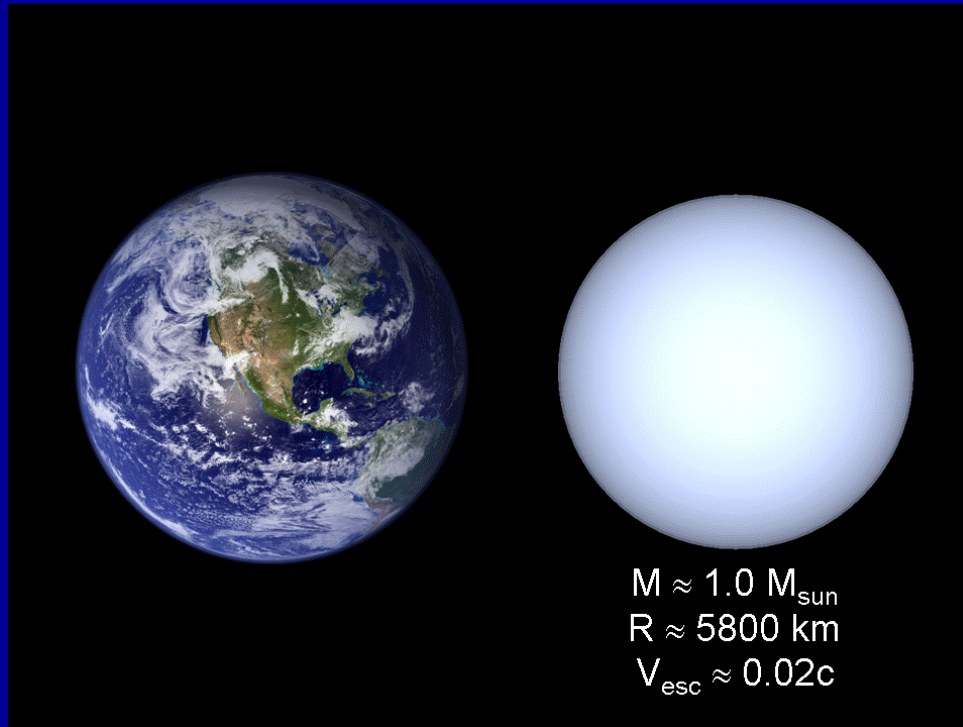
No centro fica uma **anã branca** (núcleo da estrela onde já não ocorrem reações nucleares).

Como exemplo temos a Nebulosa do Anel (M57).





O Sol



A densidade de uma anã branca é da ordem de 10^9 kg/m^3

(cerca de um milhão de vezes a densidade da água).

O limite máximo de massa para uma anã branca é **1.4 massas solares**.

Em termos de tamanho uma anã branca tem um raio comparável ao da Terra.

O Sol, atualmente uma estrela da Sequência Principal, daqui por cerca de 5000 milhões de anos passará pela fase de gigante vermelha dando depois origem a uma anã branca rodeada por uma nebulosa planetária.



Referências:

"O Sol e o seu interior", **Sobrinho J. L. G.**, 2012, Formação Contínua de docentes: Introdução à Astronomia (texto de apoio ao módulo 1), 17 pp.

[<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2012sol.htm>]

"Estrelas: origem, evolução e morte", **Sobrinho J. L. G.**, 2013, Formação Contínua de docentes: Introdução à Astronomia (texto de apoio ao módulo 3), 17 pp.

[<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2013estrelas2.htm>]

"O Universo", **Augusto P.** et al., 2011, *Sebenta*, 145 pp.

[<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pub2011a.htm>]

<http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/index.htm>
astro@uma.pt

Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira – 2017