



Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

Origem, evolução e morte das estrelas

Laurindo Sobrinho

22 de fevereiro de 2014

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

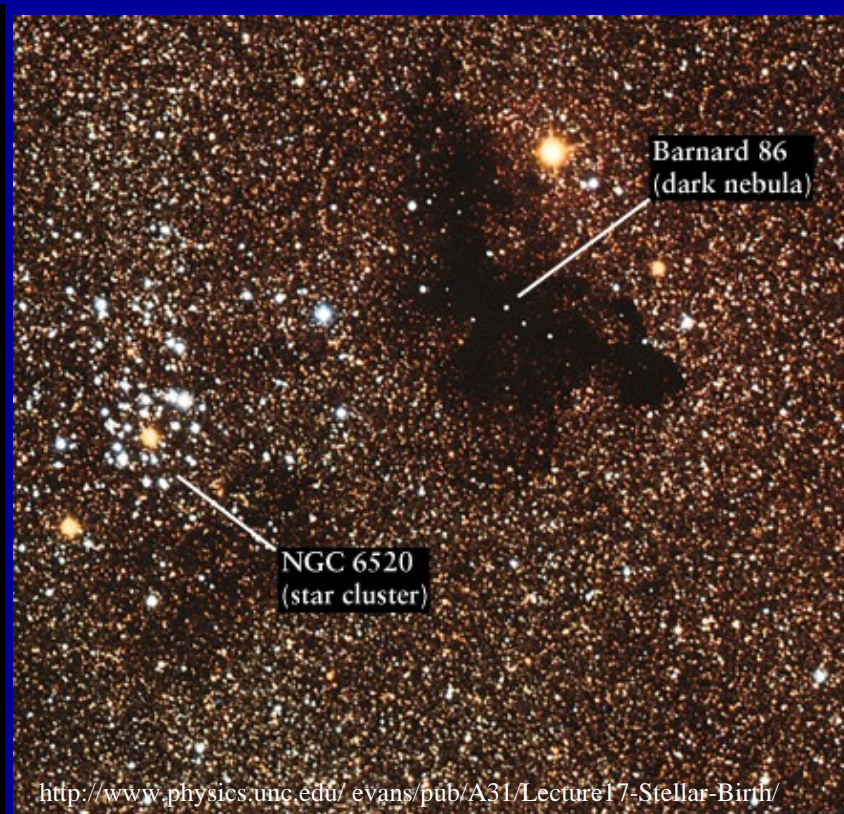
Grupo de Astronomia

As estrelas formam-se a partir de nuvens de gás e poeiras...



Orion Nebula Mosaic HST • WFPC2

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



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

... em particular no interior de **nebulosas escuras.**

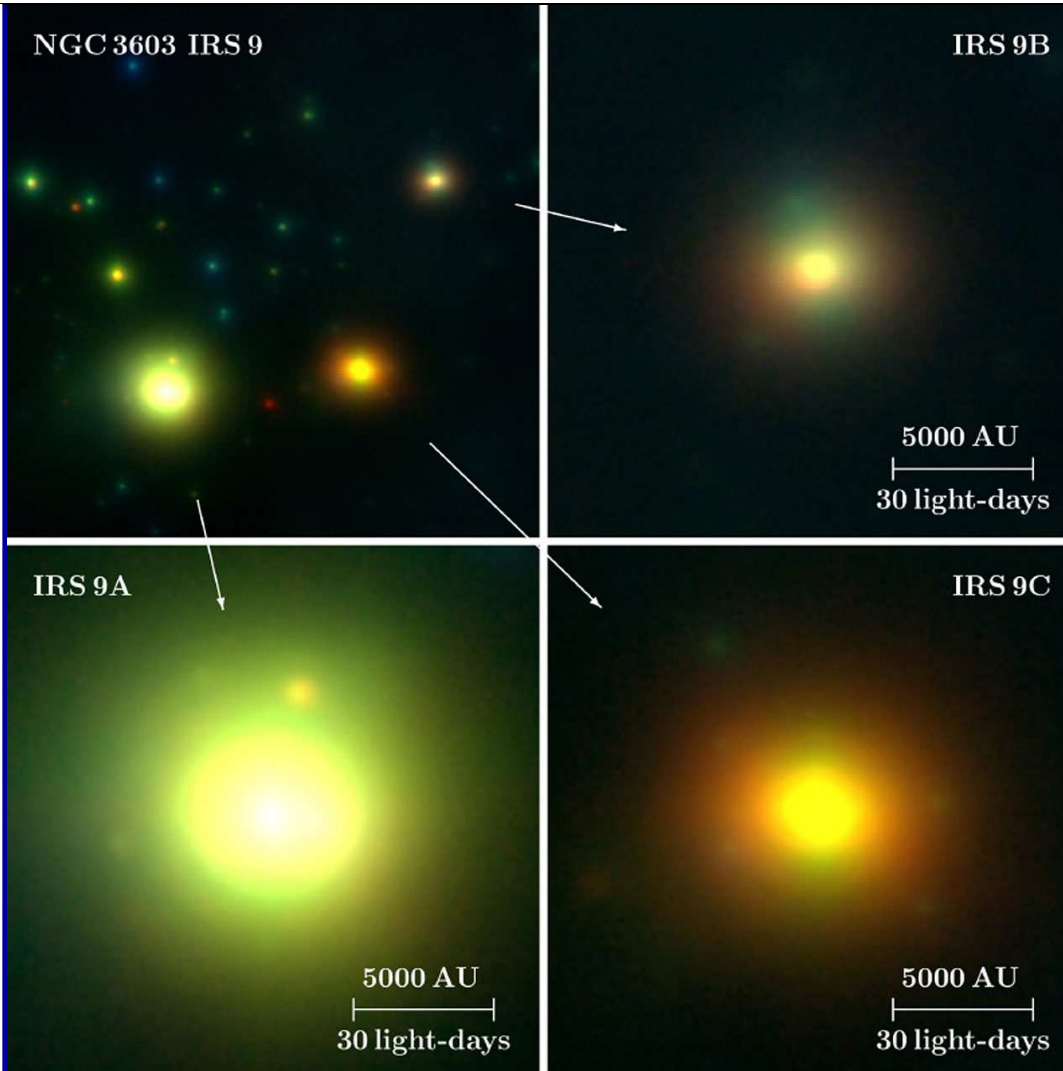
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



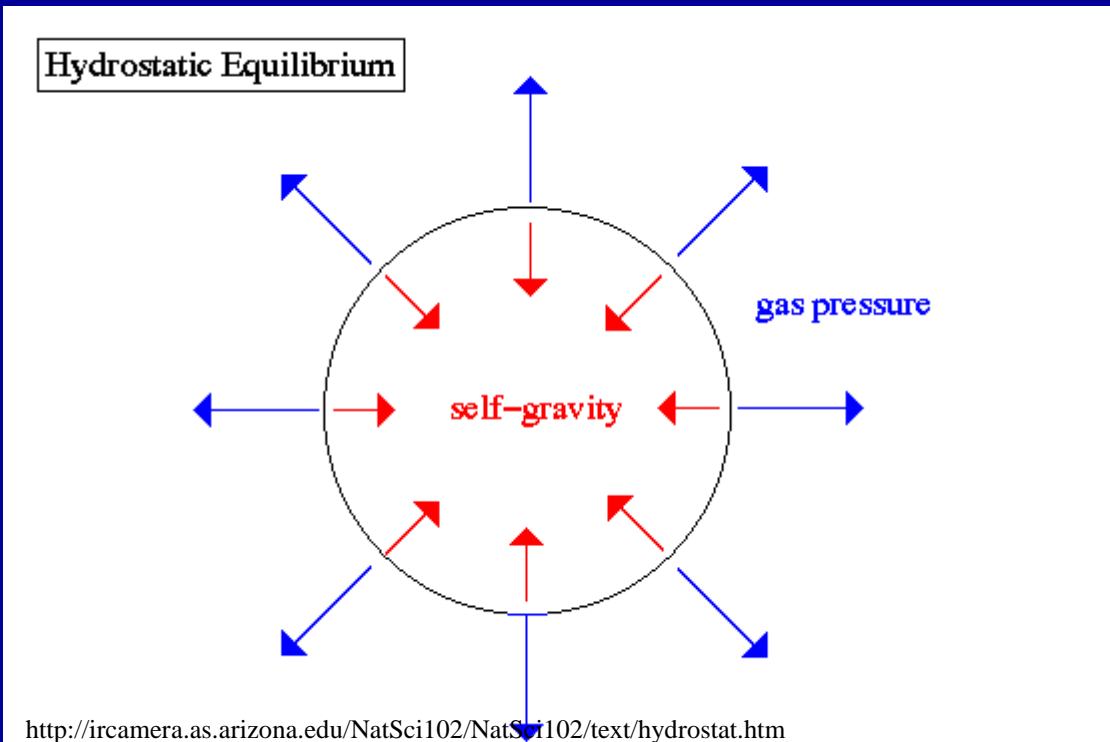
Protoestrelas

observadas na banda do infravermelho.

<http://www.eso.org/public/images/phot-16d-03/>

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Quando a temperatura no centro atinge cerca de 10 milhões de graus 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 ao longo de muito tempo.

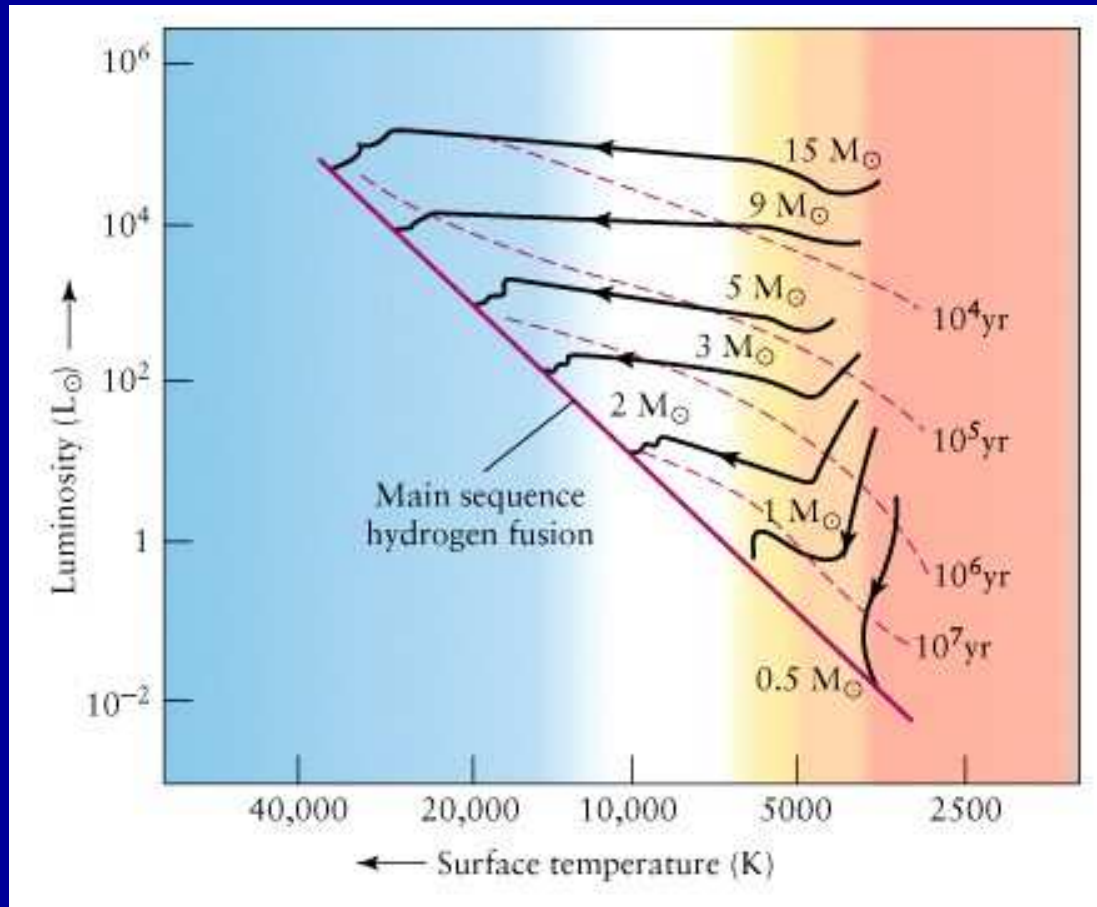
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Proto-estrelas a caminho da fase de Sequência Principal

(as massas indicadas referem-se ao momento em que é atingida a sequência principal)

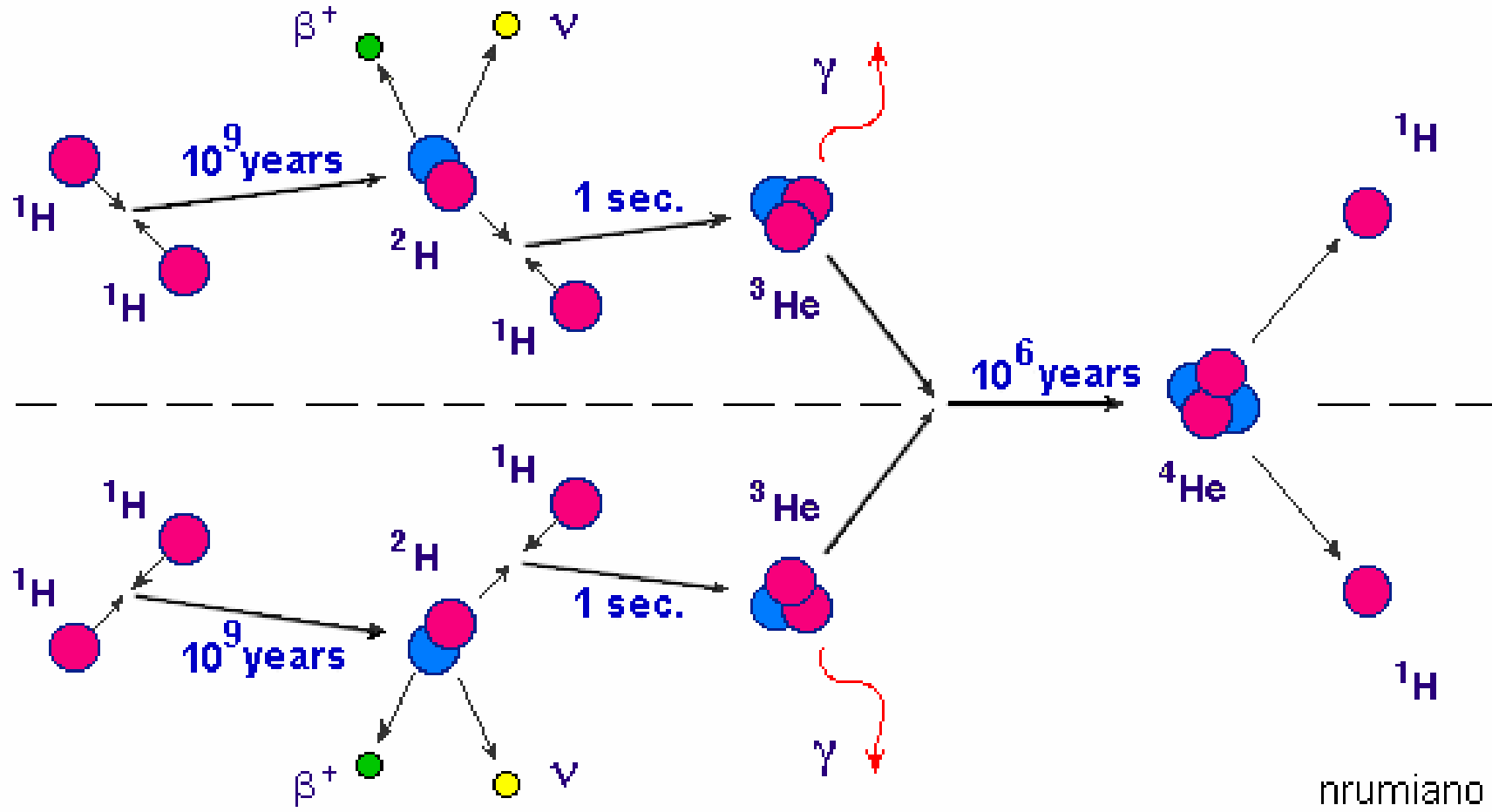


Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Fusão nuclear do hidrogénio em hélio: cadeia protão-protão (dominante em estrelas com menos de 1.3 massas solares)



numiano

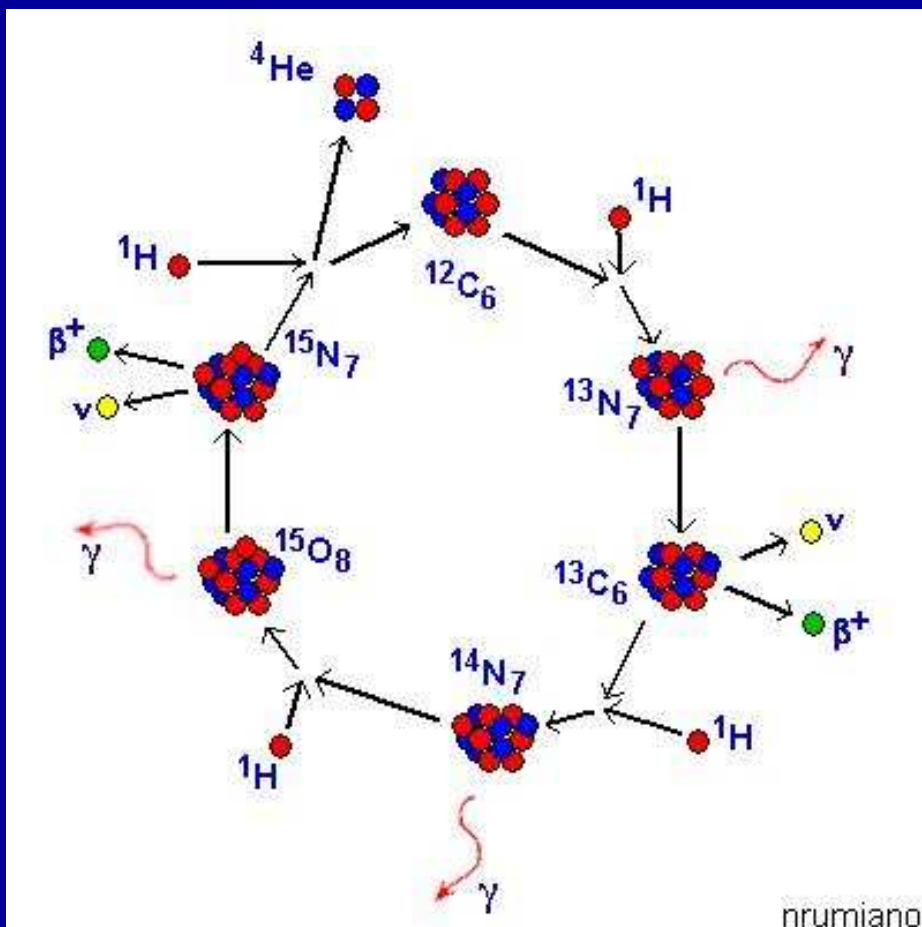
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

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





Fusão nuclear do hidrogénio em hélio: ciclo CNO (carbono-azoto-oxigénio) (dominante em estrelas com mais de 1.3 massas solares)



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

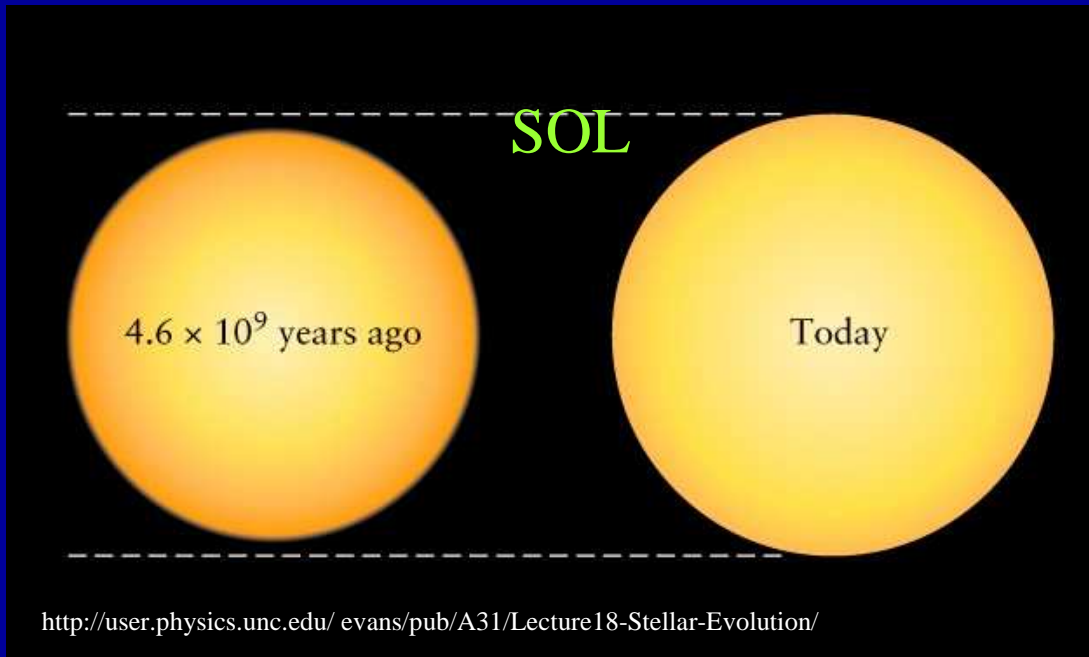
<http://numiano.free.fr/Estars/energy.html>





Universidade da Madeira

Uma estrela recém chegada à sequência principal diz-se de *idade zero* (ZAMS). Com o passar do tempo a estrela aumenta ligeiramente o seu raio e a sua luminosidade.



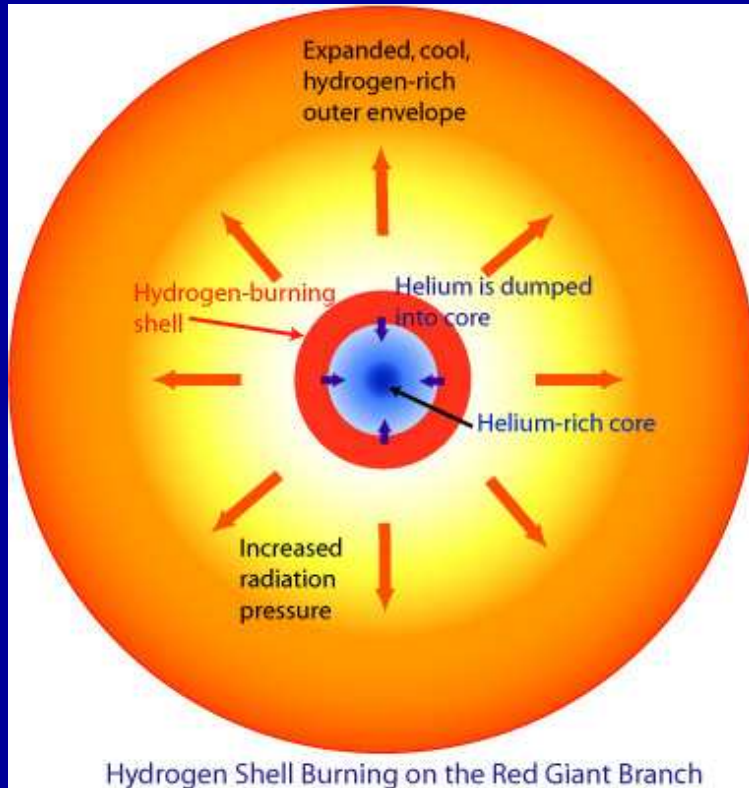
Quanto maior a massa de uma estrela menor é o seu tempo de vida na sequência principal.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Saída da sequência principal:



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

1- 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 hidrogénio.

2 – a gravidade faz colapsar a região central da estrela que aquece mas não o suficiente para iniciar a fusão do He.

3 – As camadas mais externas de H caem mais para o centro e aquecem a ponto de se reatar a fusão nuclear do H mas agora numa zona mais exterior.

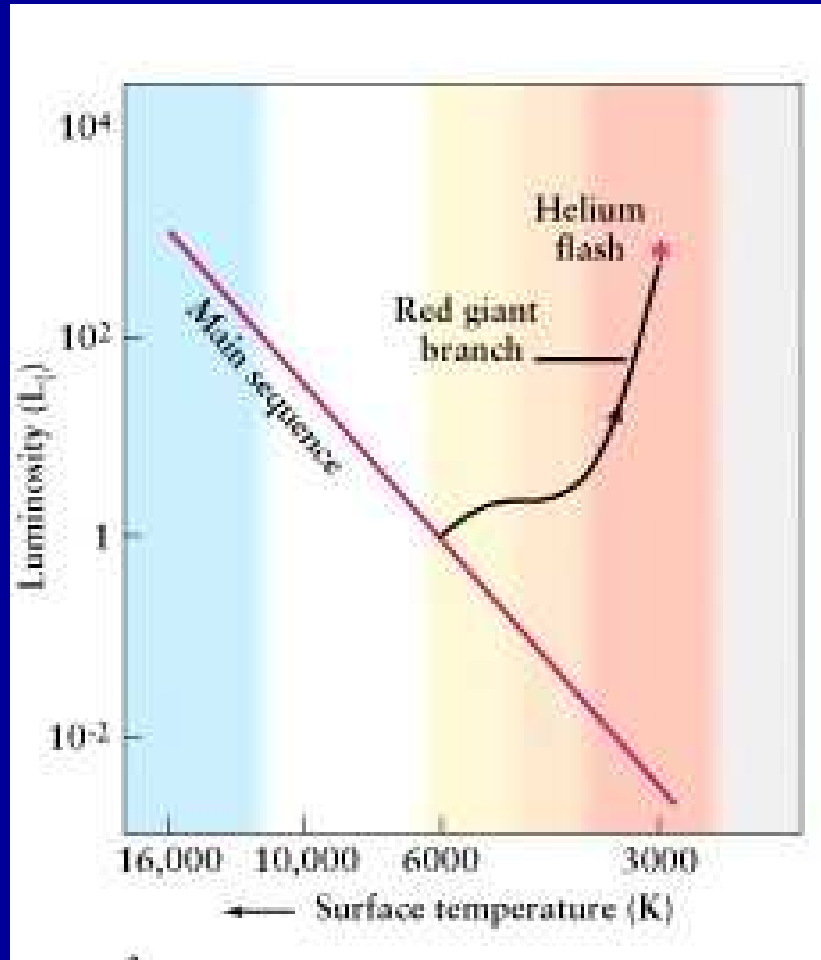
4 – A pressão da radiação faz com que as camadas mais exteriores da estrela se expandam: temos uma **Gigante Vermelha**.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



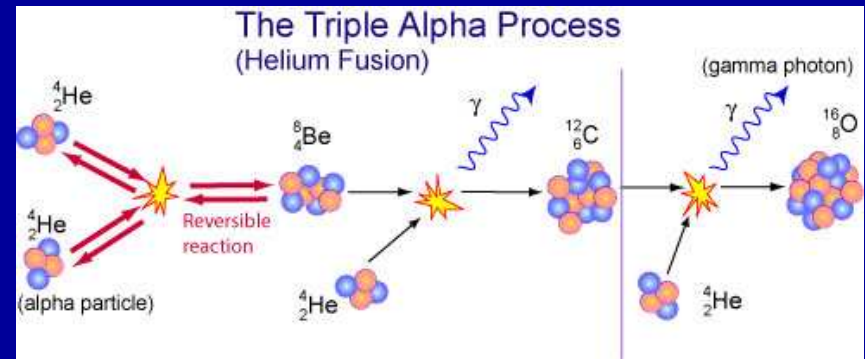


Universidade da Madeira

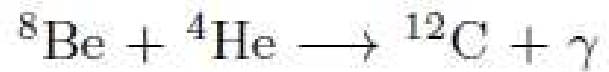


<http://user.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture18-Stellar-Evolution/>

Evolução de uma estrela (de uma massa solar) ao longo do **Ramo das Gigantes Vermelhas** até ao **flash do hélio**, ou seja, até se iniciarem as reações de fusão nuclear do hélio.



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

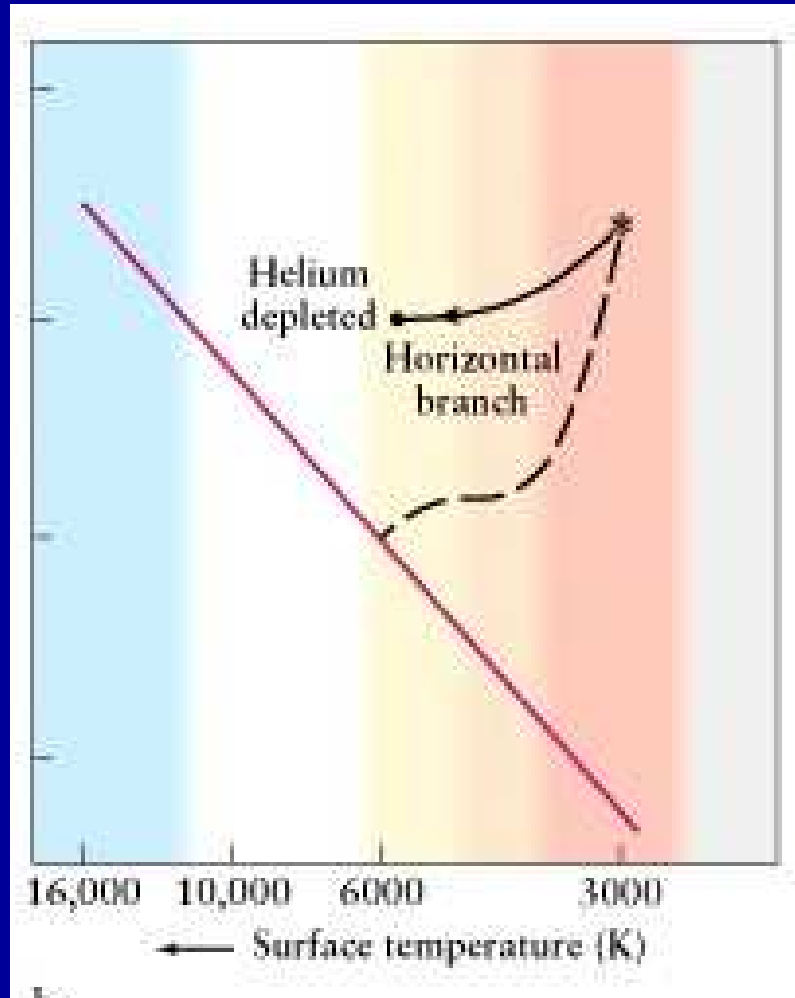


Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira



Evolução de uma estrela (de uma massa solar) ao longo do **Ramo Horizontal**. Nesta fase ocorre a fusão nuclear do hélio no centro da estrela e, nas camadas mais externas, a fusão nuclear do hidrogénio.

A estrela permanece nesta fase até não existir mais hélio para consumir no centro.

<http://user.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture18-Stellar-Evolution/>

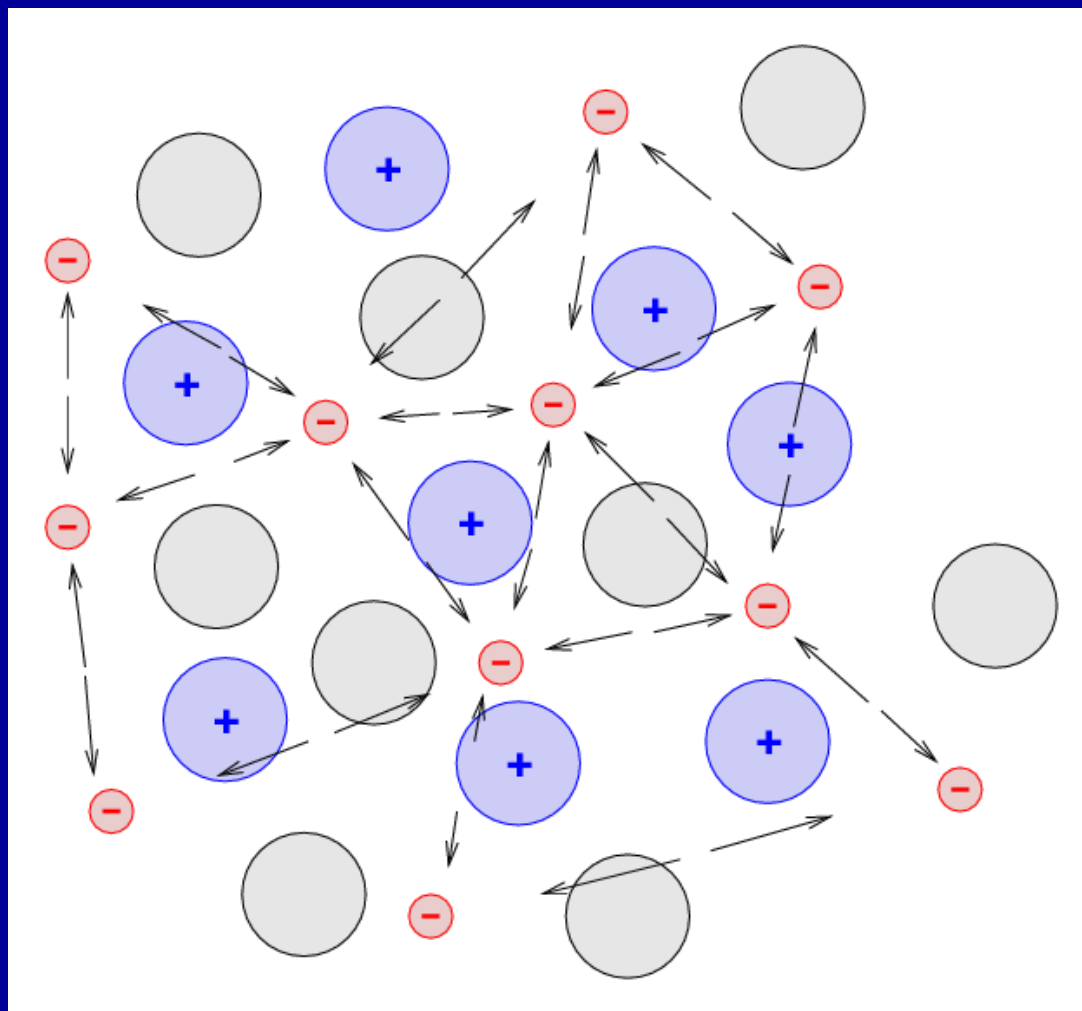
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

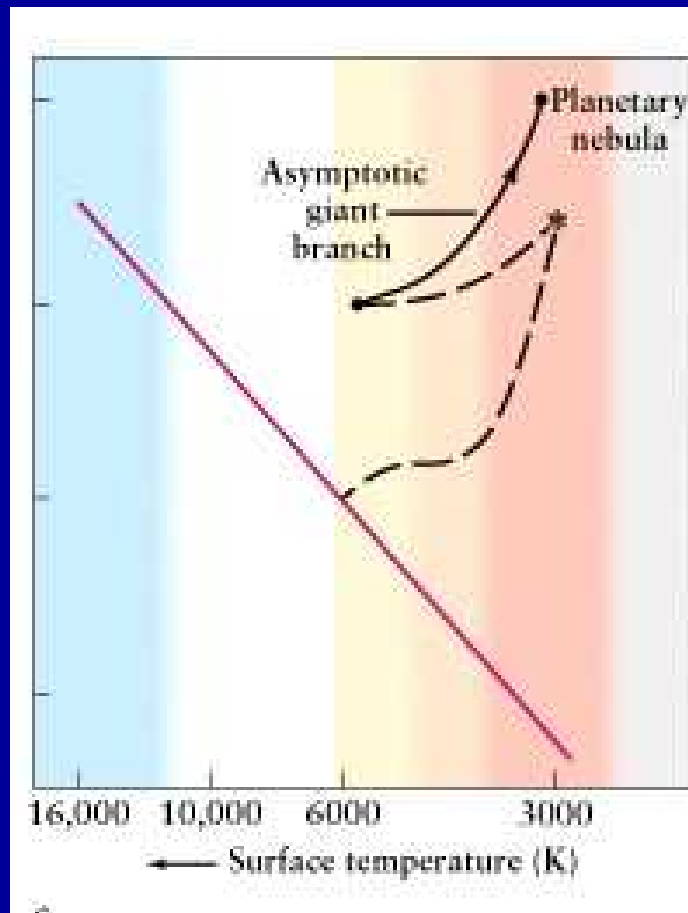


A pressão dos **elétrons degenerados** sustem o colapso gravítico do região central da estrela. Forma-se no centro uma **anã branca**.

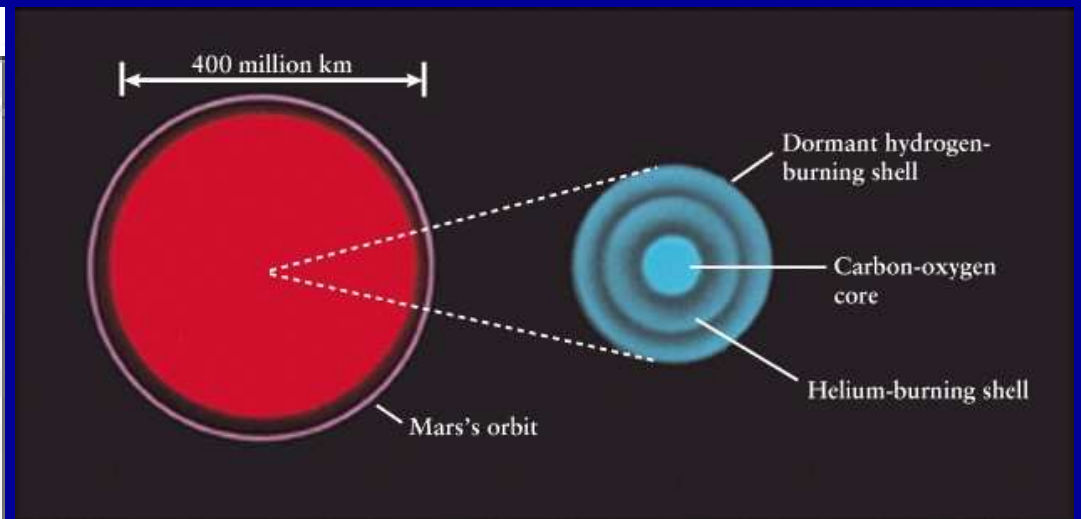
http://spiff.rit.edu/richmond/asras/sn_bh/sn_bh

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





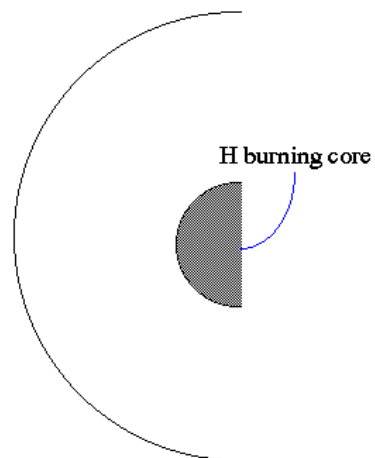
<http://user.physics.unc.edu/~evans/pub/A31/Lecture18-Stellar-Evolution/>



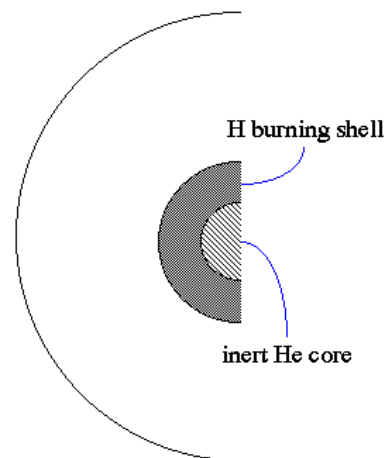
Evolução de uma estrela (de uma massa solar) ao longo do **Ramo Assimptótico da Gigantes (AGB)**. Nesta fase o centro da estrela é mantido pela pressão dos electrões degenerados ocorrendo à sua volta a fusão nuclear do hélio e, ainda mais para o exterior, a fusão nuclear do hidrogénio.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

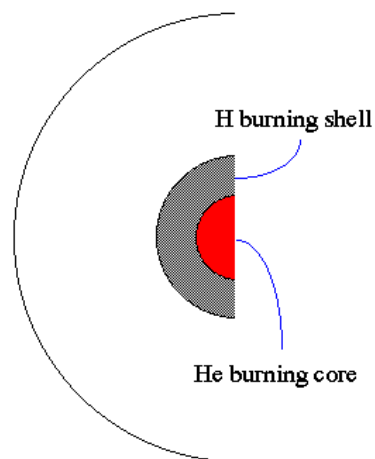




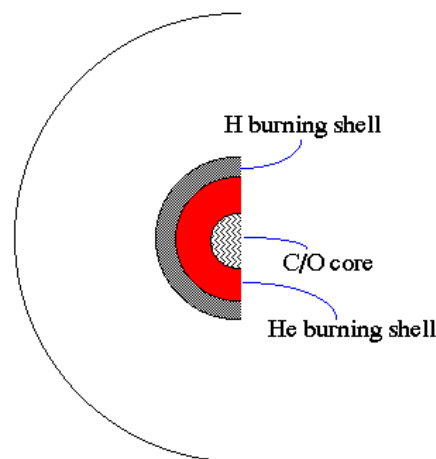
Main Sequence Star



Red Giant Star



Horizontal Branch Star



Asymptotic Giant Branch Star

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



<http://abyss.uoregon.edu/~js/ast122/lectures/lec16.html>



Universidade da Madeira

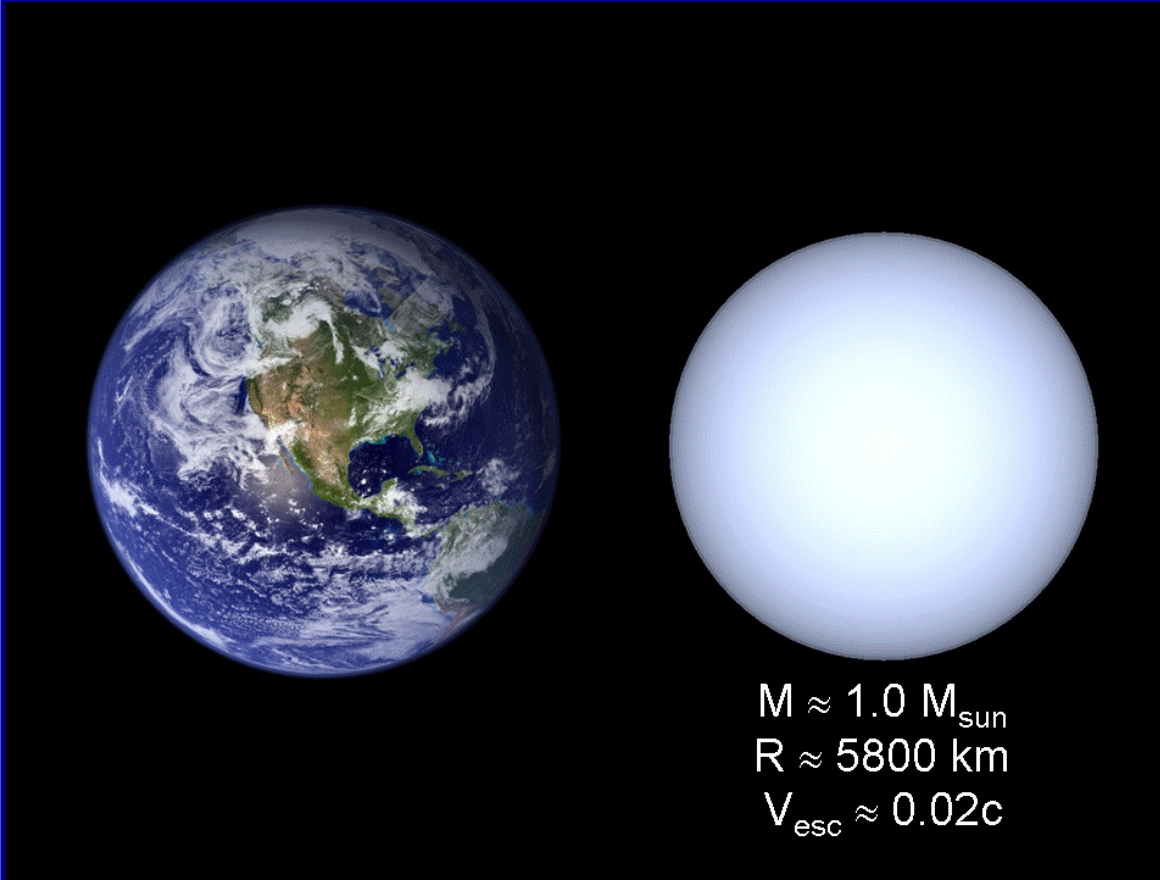
Nebulosa do Anel (M57) é uma nebulosa planetária. No centro existe um anã branca que arrefece lentamente.

<http://apod.nasa.gov/apod/ap010729.html>



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



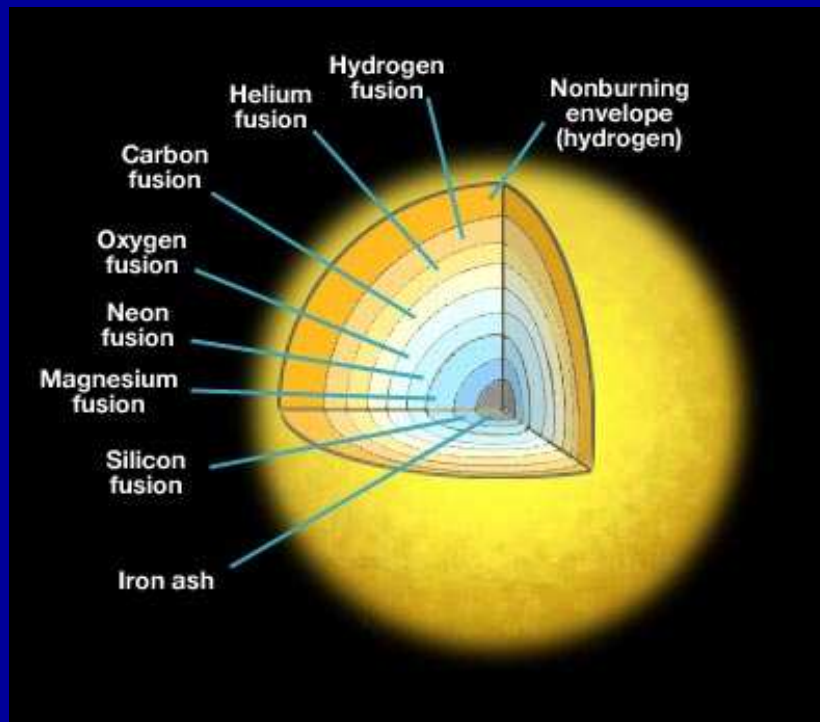


A gravidade na anã branca é equilibrada pela pressão dos elétrons degenerados. O limite máximo de massa a que isso é permitido é **1.4 massas solares** (limite de Chandrasekhar).

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

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





https://www.e-education.psu.edu/astro801/content/16_p5.html

Nas **estrelas de massa inicial superior a 8 massas solares** a região central acaba por exceder o limite de 1.4 massas solares. Os eletrões degenerados não conseguem sustentar a gravidade.

Ocorre a fusão do carbono, oxigénio, néon, magnésio e silício.

Um dos produtos finais é o Ferro. A fusão nuclear do ferro ao contrário das outras consome energia. Ao cessarem as reações nucleares de fusão do silício ocorre o colapso do núcleo da estrela (ferro).

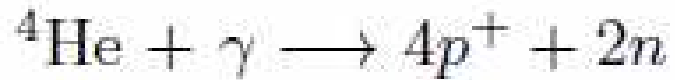
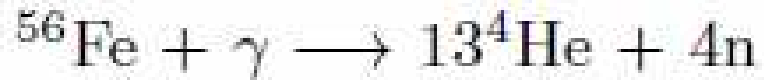
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

O colapso do núcleo de ferro ocorre em menos de 1s. As temperaturas são de tal ordem que ocorre a fotodesintegração do Ferro:



Os elétrons livres são agora forçados a combinarem-se com os prótons formando neutrões. O processo liberta muitos neutrinos.



Agora são os neutrões degenerados que vão sustentar o colapso. A região central expande-se arrefecendo. As camadas mais externas ao sentirem menos pressão avançam a grande velocidade para o interior. Quando a matéria encontra a onda de pressão vinda do interior inverte a marcha e desloca-se de forma violenta para o exterior pois encontra pouca resistência.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia

Periodic Table of the Elements

1 1IA 11A																	18 VIII 8A
1 H Hydrogen 1.0079	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	2 He Helium 4.00260
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01218											5 B Boron 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Nitrogen 14.0074	8 O Oxygen 15.9994	9 F Fluorine 18.998403	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Sodium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminum 26.981539	14 Si Silicon 28.0855	15 P Phosphorus 30.973762	16 S Sulfur 32.066	17 Cl Chlorine 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Potassium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chromium 51.9961	25 Mn Manganese 54.938	26 Fe Iron 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Copper 63.546	30 Zn Zinc 65.39	31 Ga Gallium 69.732	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsenic 74.92159	34 Se Selenium 78.96	35 Br Bromine 79.904	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirconium 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdenum 95.94	43 Tc Technetium 98.9072	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rhodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silver 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Tin 118.71	51 Sb Antimony 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Iodine 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cesium 132.90543	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Tungsten 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platinum 195.08	79 Au Gold 196.9665	80 Hg Mercury 200.59	81 Tl Thallium 204.3833	82 Pb Lead 207.2	83 Bi Bismuth 208.98037	84 Po Polonium [209]	85 At Astatine [210]	86 Rn Radon [222]
87 Fr Francium [223]	88 Ra Radium [226]	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium [261]	105 Db Dubnium [262]	106 Sg Seaborgium [266]	107 Bh Bohrium [264]	108 Hs Hassium [269]	109 Mt Meitnerium [268]	110 Ds Darmstadtium [269]	111 Rg Roentgenium [272]	112 Cn Copernicium [277]	113 Uut Ununtrium [284]	114 Uuq Ununquadium [289]	115 Uup Ununpentium [288]	116 Uuh Ununhexium [289]	117 Uus Ununseptium [289]	118 Uuo Ununoctium [289]
		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodymium 140.90765	60 Nd Neodymium 144.24	61 Pm Promethium [144.9127]	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9655	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	
		89 Ac Actinium [227.0278]	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.0289	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0703	97 Bk Berkelium 247.0703	98 Cf Californium 251.0798	99 Es Einsteinium [254]	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259.1009	103 Lr Lawrencium [262]	

Ocorre assim a explosão da estrela em **Supernova**. A sua luminosidade é comparável à de uma galáxia inteira.

No processo são sintetizados todo o tipo de elementos incluindo os mais pesados que o ferro.

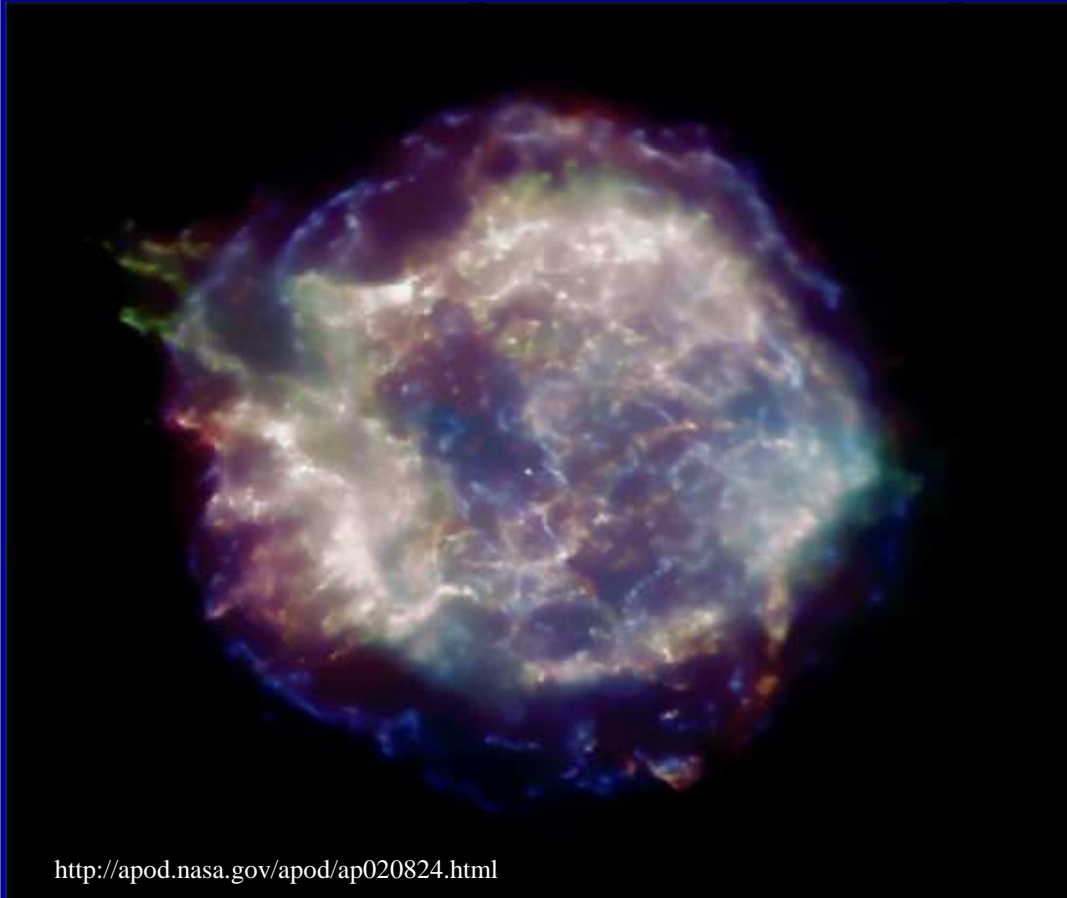
Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região





Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



<http://apod.nasa.gov/apod/ap020824.html>

A SNR Cassiopeia A observada na banda dos raios X

Da explosão da supernova fica uma nebulosa designada por **Resto de Supernova** (SNR) e no centro pode ficar uma *estrela de neutrões* ou um *buraco negro*. Tudo depende da massa da região central no final ser suficiente ou não.

Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região

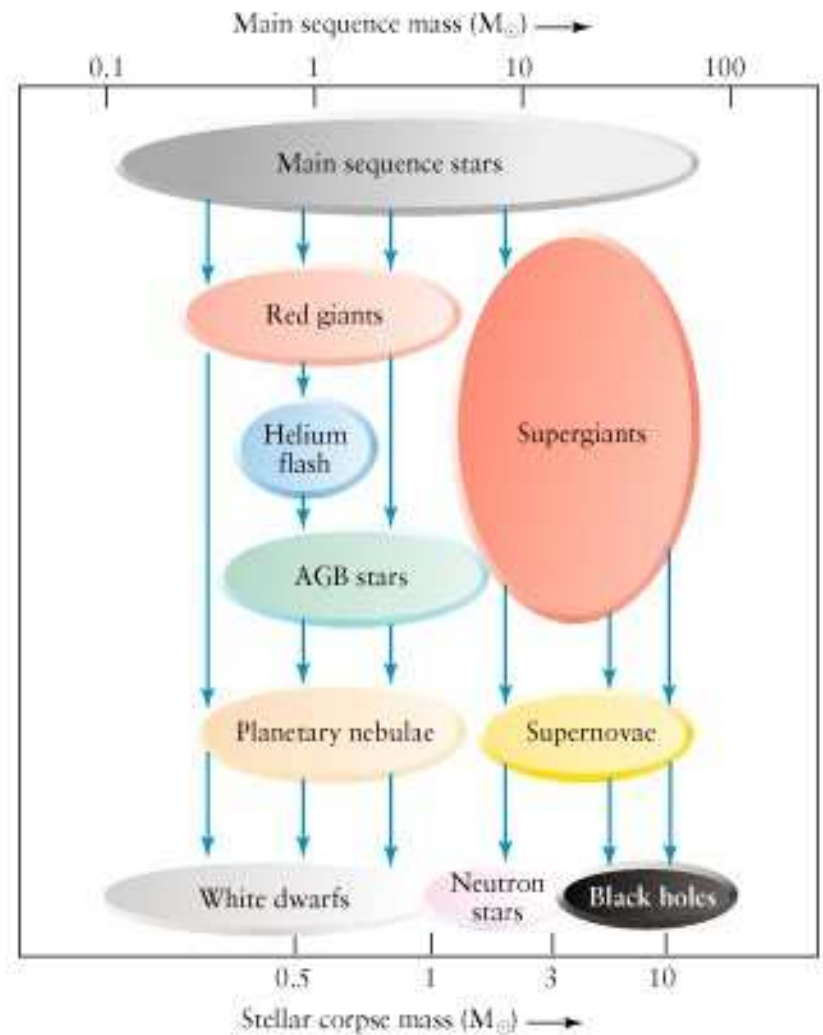




Universidade da Madeira

Evolução de uma estrela da sequência principal até atingir o estado compacto de:

- anã branca
- estrelas de neutrões
- buraco negro



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



<http://user.physics.unc.edu/evans/pub/A31/Lecture19-Stellar-Death/>



Universidade da Madeira

Grupo de Astronomia



Os melhores RUMOS para os Cidadãos da Região



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

(c) Grupo de Astronomia da Universidade da Madeira 2012/2014