

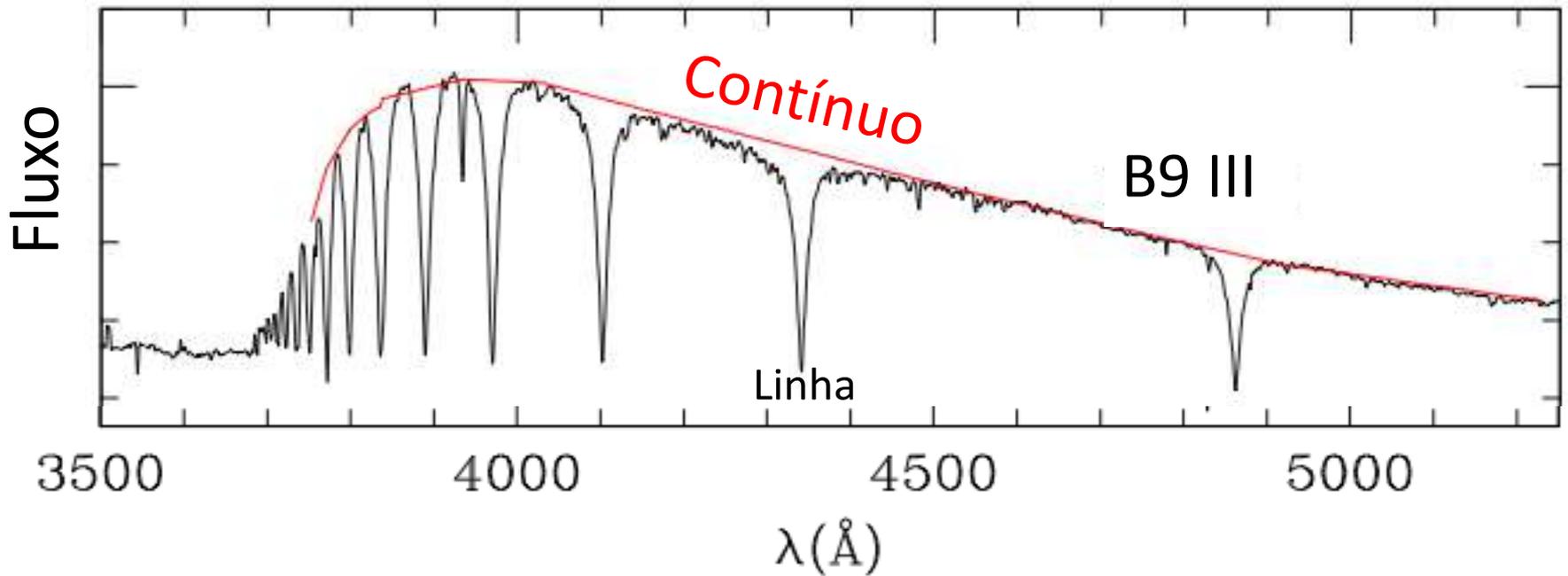
# Cap 9. Atmosferas Estelares

## 9.5 O perfil das linhas espectrais

Aga0293

Jorge Melendez

# Espectros estelares

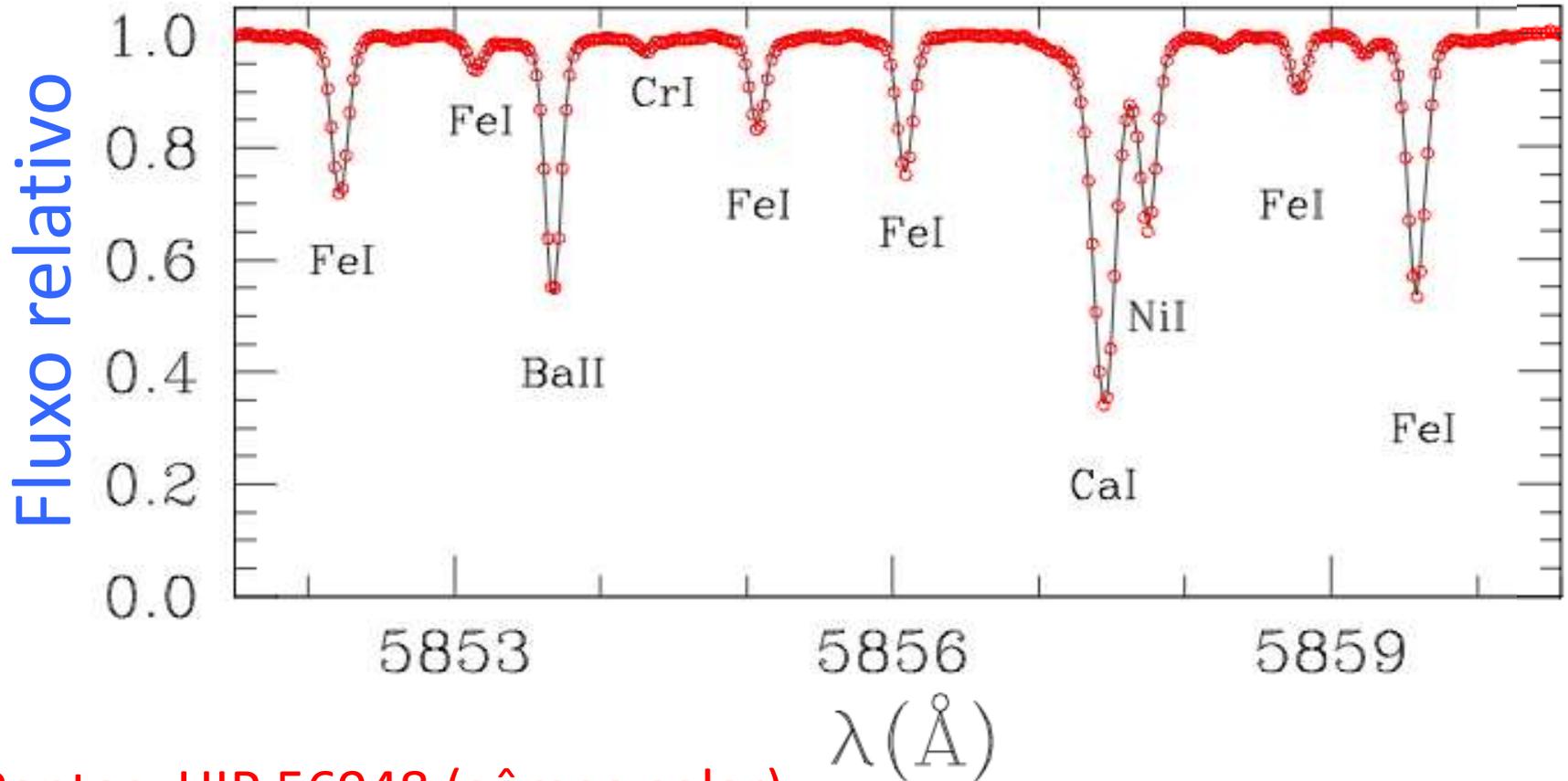


Linhas de absorção da serie de Balmer do hidrogênio em estrela B9 III  
(ou seja, aproximadamente A0 III)

# Espectro normalizado

Fluxo relativo =  $\text{fluxo} / \text{continuo}$

No contínuo,  
Fluxo relativo =  
 $\text{continuo}/\text{continuo} = 1$

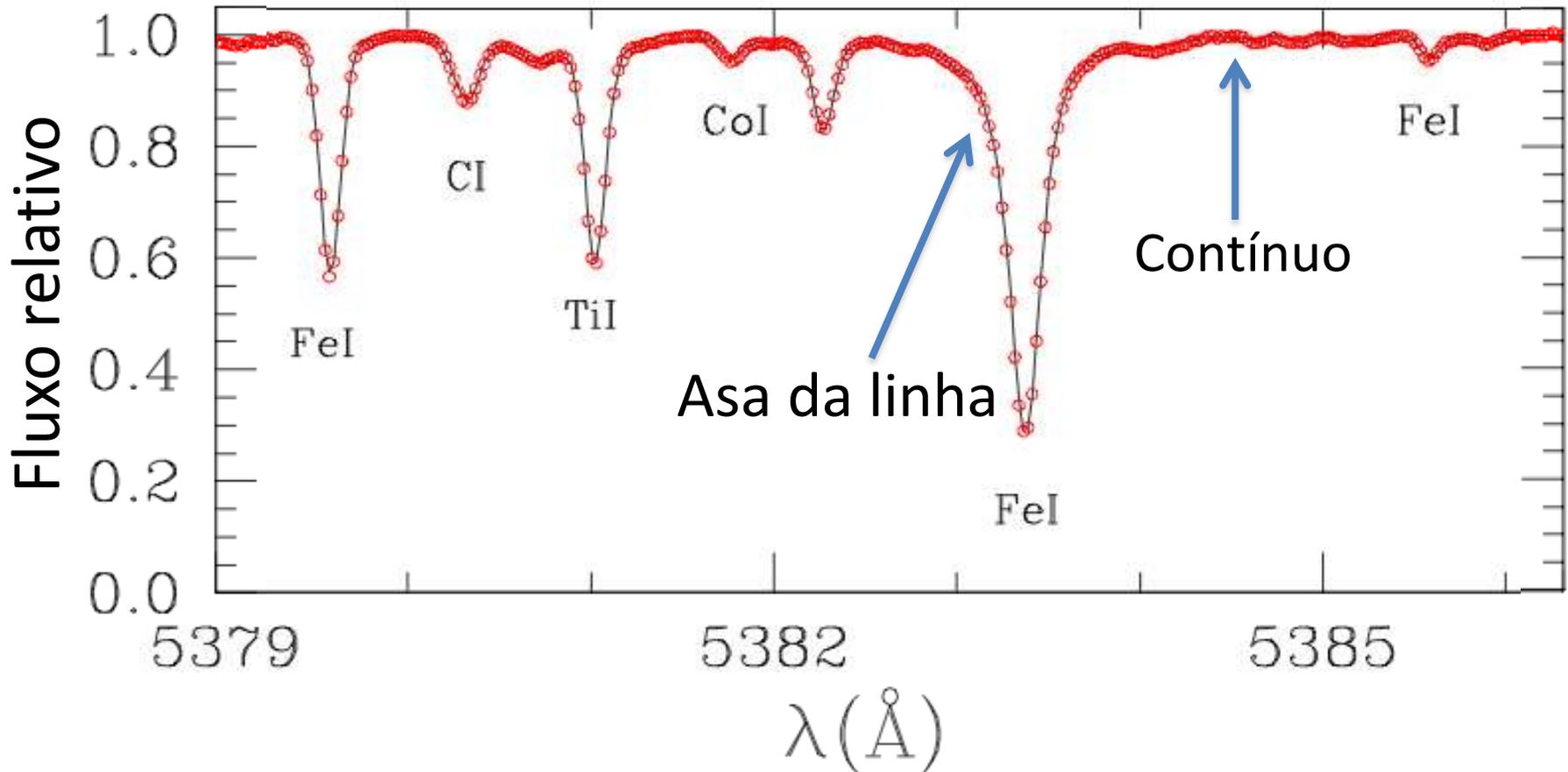


Pontos: HIP 56948 (gêmea solar)

Linha sólida: Sol

Meléndez et al. (2012, A&A 543, A29)

Todas as linhas apresentam “asas”, mas nas linhas mais fortes isso é mais visível



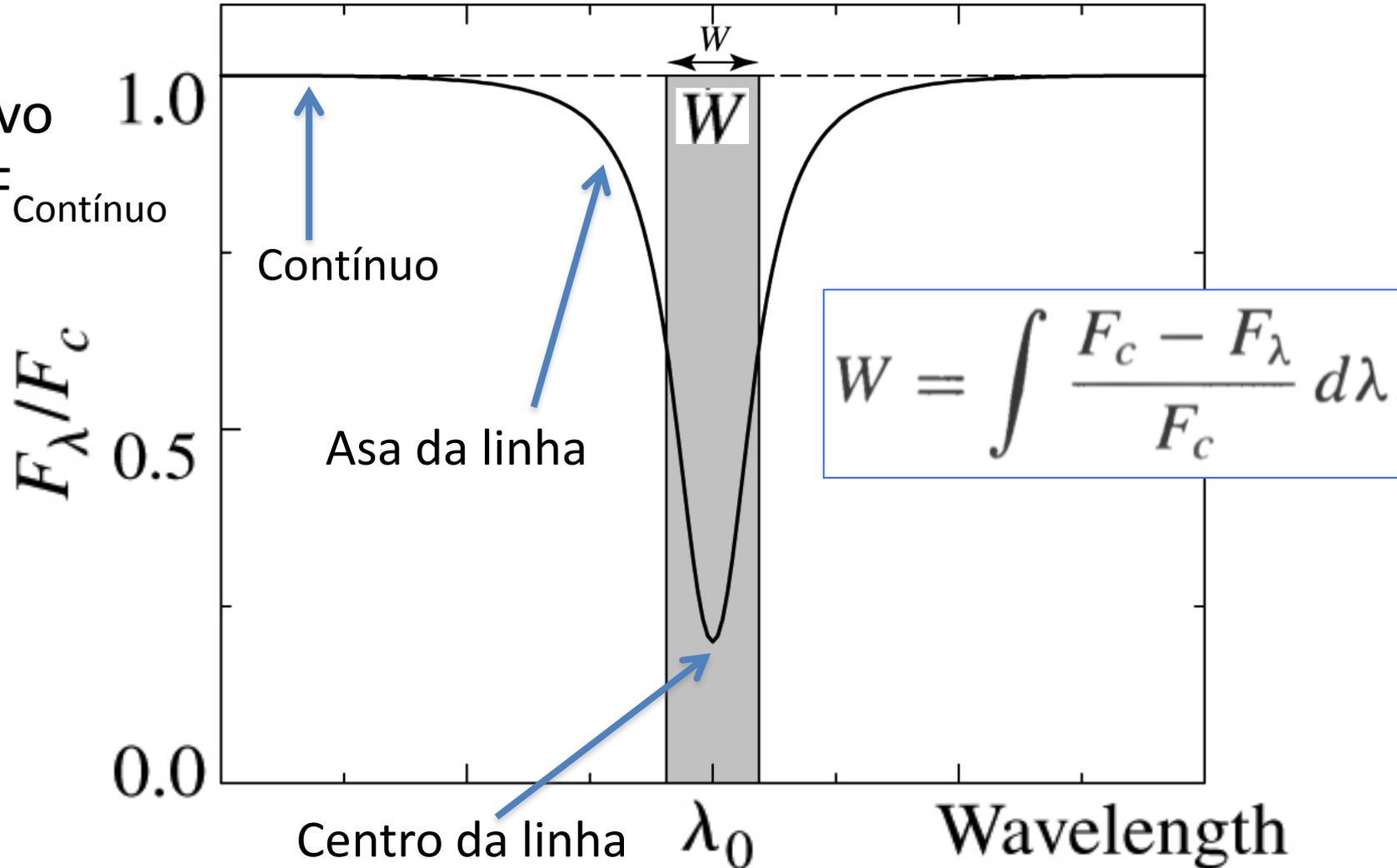
Pontos: HIP 56948 (gêmea solar)

Linha sólida: Sol

Meléndez et al. (2012, A&A 543, A29)

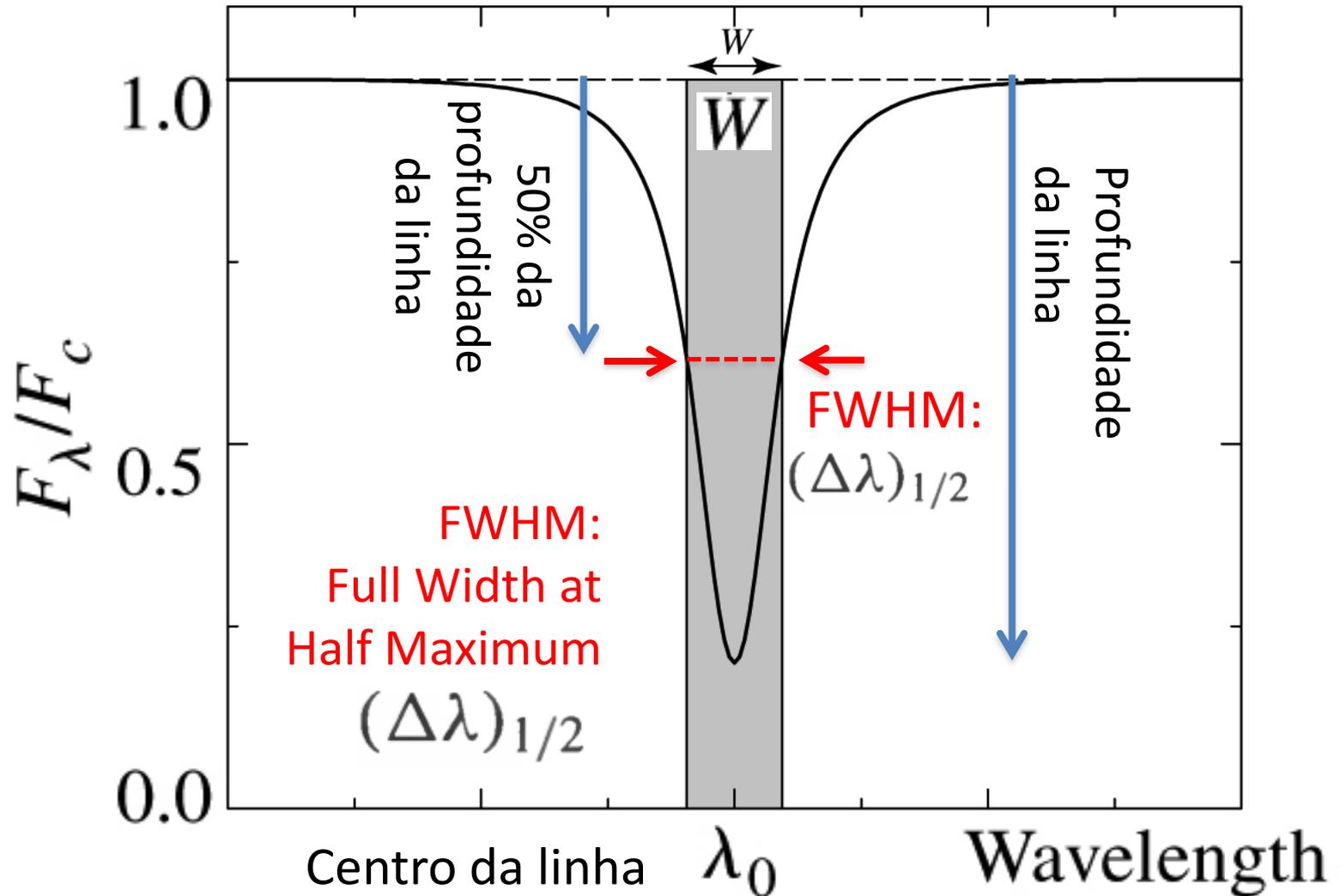
# Intensidade da linha espectral é medida pela largura equivalente ( $W$ )

Fluxo relativo  
 $= F_\lambda / F_{\text{Contínuo}}$

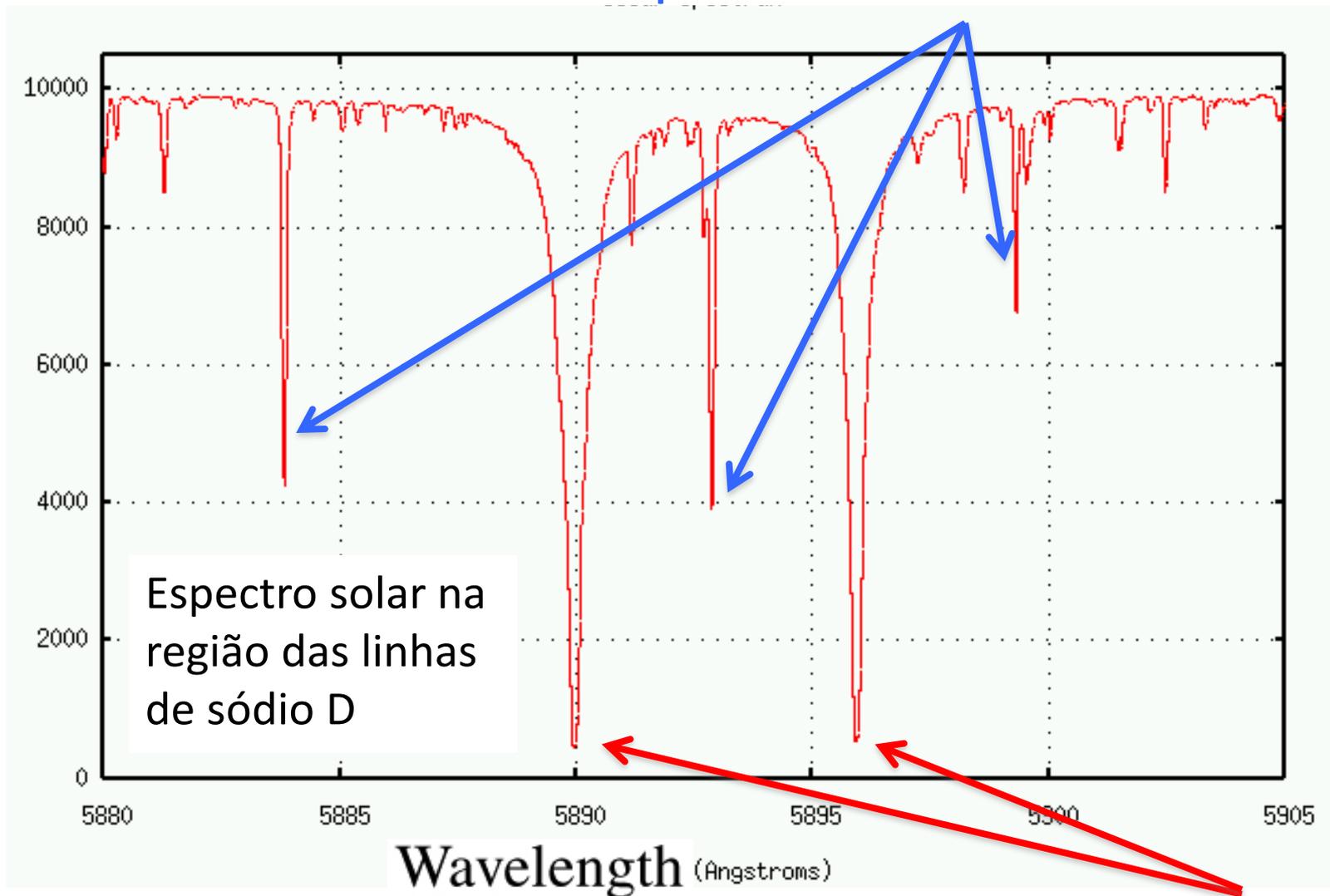


No óptico, valor típico  $W \sim 0.01$  nm. Linhas fracas,  $W \sim 10^{-3}$  nm

Intensidade da linha espectral é medida pela **largura equivalente (W)**

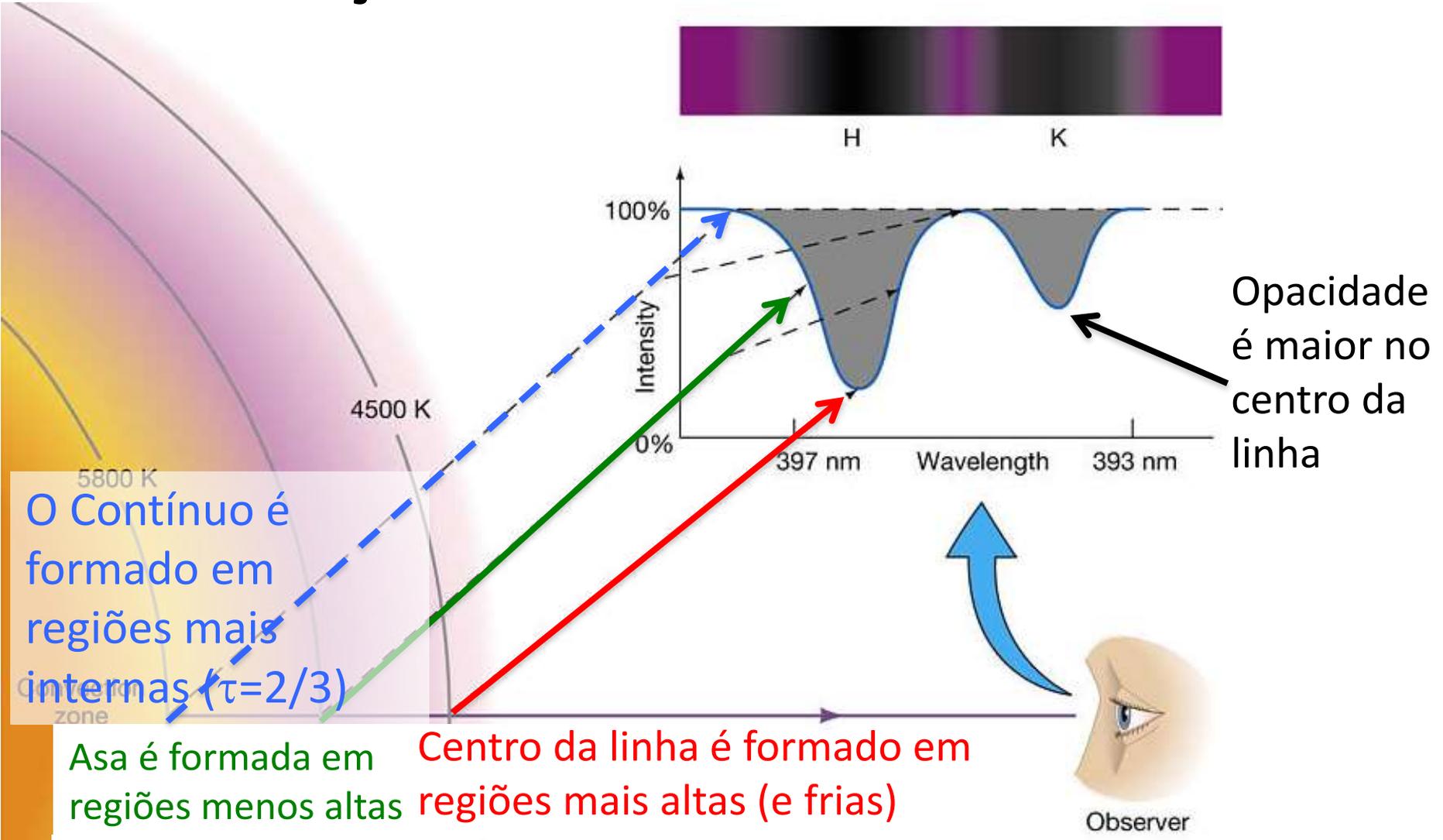


Linhas que não têm o fluxo completamente absorvido são **opticamente finas**



Se o fluxo for completamente absorvido a linha é **opticamente espessa**

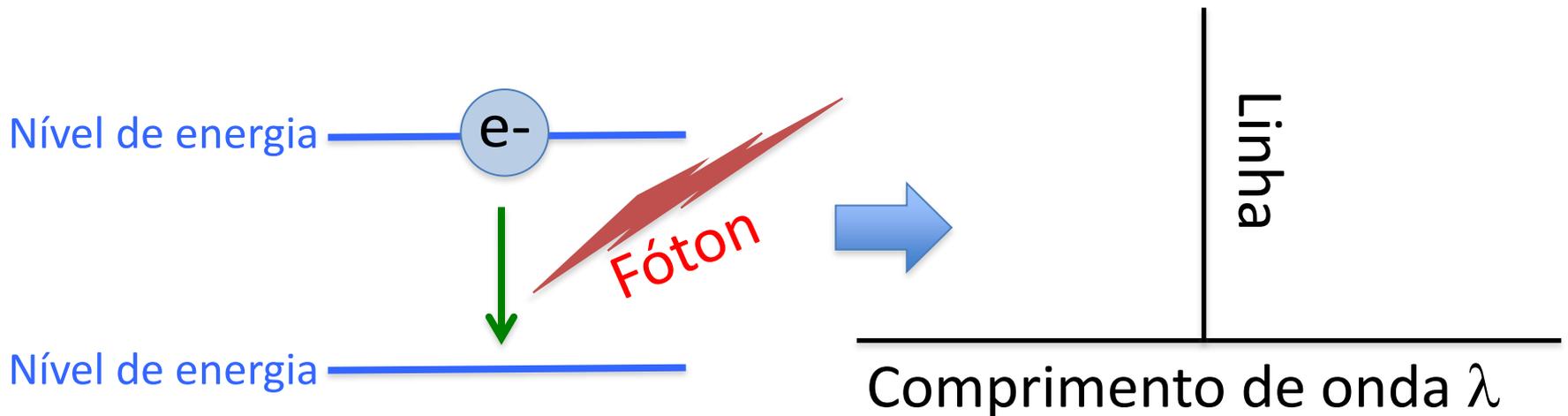
# Formação de linhas



Fotosfera

# Processos de alargamento das linhas

- Se os níveis de energia fossem bem definidos  
→ teríamos uma linha monocromática bem definida



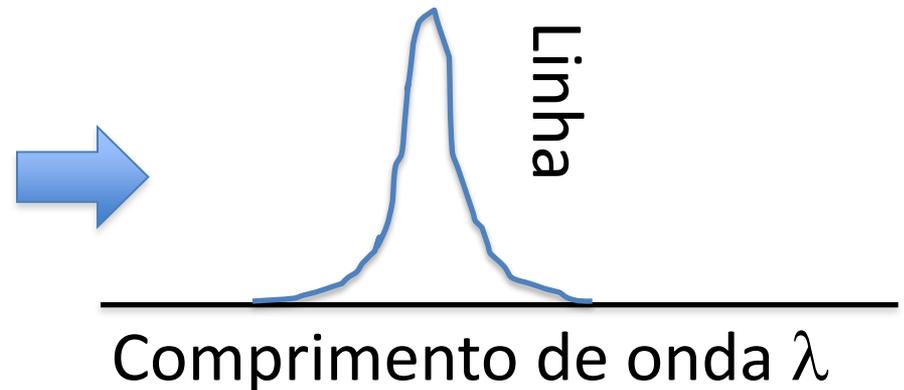
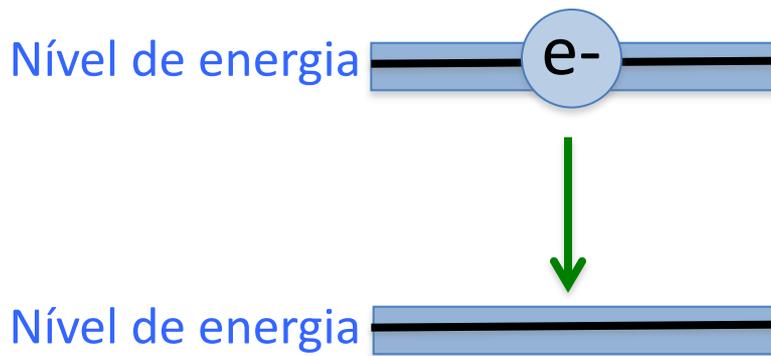
# 1. Alargamento Natural

Princípio de incerteza:

$$\Delta E \approx \frac{\hbar}{\Delta t}$$

$$E_{\text{photon}} = hc/\lambda$$

→  $\Delta \lambda \approx \frac{\lambda^2}{2\pi c} \left( \frac{1}{\Delta t_i} + \frac{1}{\Delta t_f} \right)$   $\Delta t_{i,f}$ : tempo de vida do e- no estado inicial e final



Exemplo 9.5.1: o tempo de vida do e- no 1o e 2o estados **excitados** de energia do átomo de hidrogênio, é  $\Delta t \sim 10^{-8}$  s. Estimar o alargamento da linha de H $\alpha$  (656,3 nm).

$$\Delta\lambda \approx \frac{\lambda^2}{2\pi c} \left( \frac{1}{\Delta t_i} + \frac{1}{\Delta t_f} \right)$$

$$\Delta\lambda \approx 4.57 \times 10^{-14} \text{ m} = 4.57 \times 10^{-5} \text{ nm.}$$

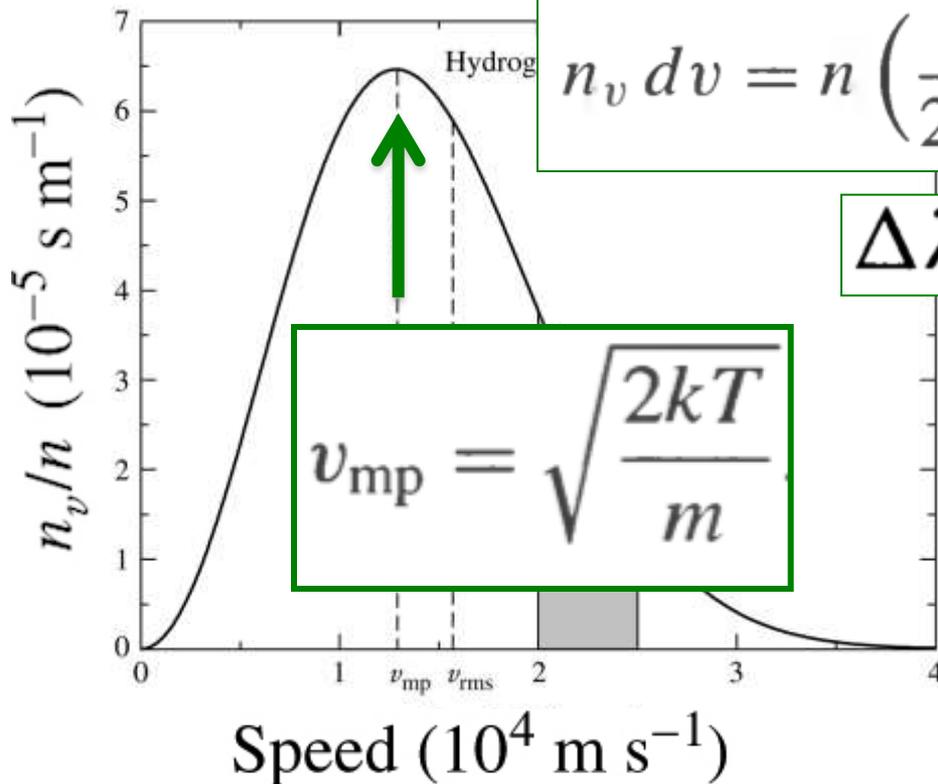
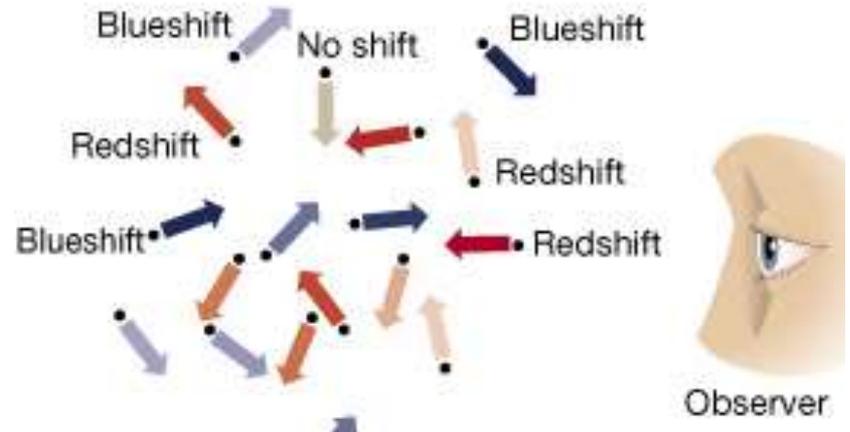
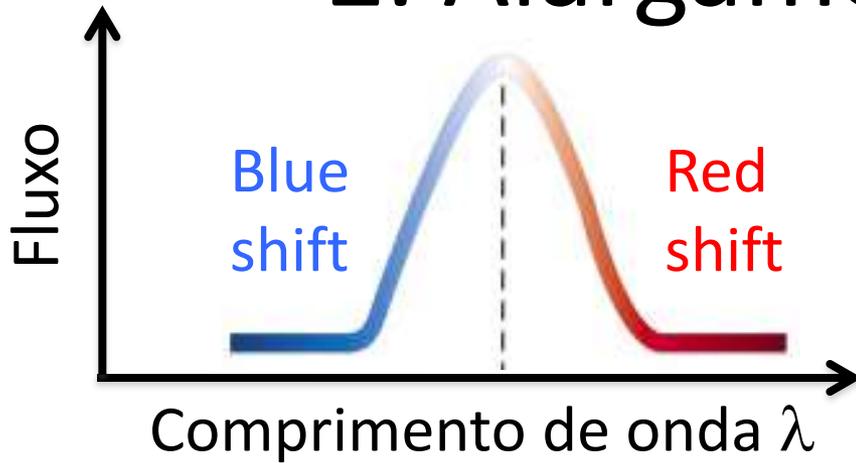
Melhor estimativa para a FWHM pode ser obtida:

$$(\Delta\lambda)_{1/2} = \frac{\lambda^2}{\pi c} \frac{1}{\Delta t_0}$$

$\Delta t_0$ : média do tempo de vida para a transição

  $(\Delta\lambda)_{1/2} \simeq 2.4 \times 10^{-5} \text{ nm}$

# 2. Alargamento Doppler



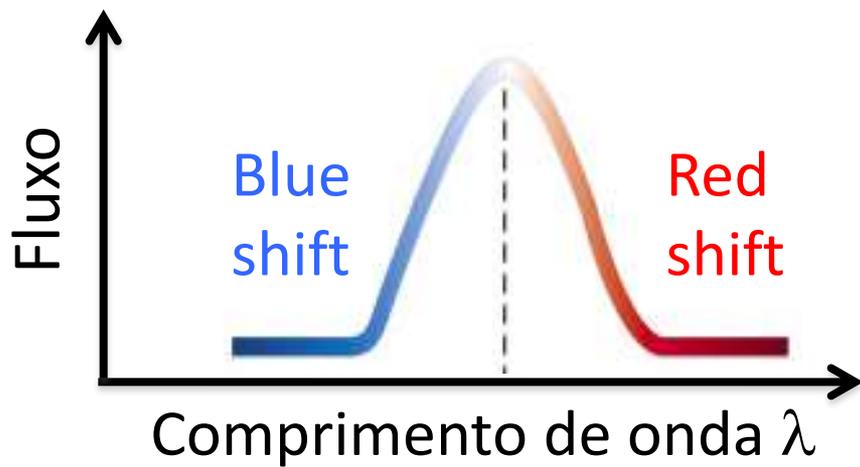
$$n_v dv = n \left( \frac{m}{2\pi kT} \right)^{3/2} e^{-mv^2/2kT} 4\pi v^2 dv$$

$$\Delta\lambda/\lambda = \pm |v_r|/c$$

$$v_{mp} = \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

Largura Doppler:

$$\Delta\lambda \approx \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$



Largura  
Doppler:

$$\Delta\lambda \approx \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

Exemplo 9.5.2. Qual o alargamento Doppler da linha de  $H\alpha$  (átomos de H) na fotosfera solar ( $T_e = 5777$  K).

$$\Delta\lambda \approx 0.0427 \text{ nm}$$

1000 vezes maior que o alargamento natural

Estudo mais detalhado considerando as diferentes direções do movimento dos átomos (entre eles e em relação ao observador):

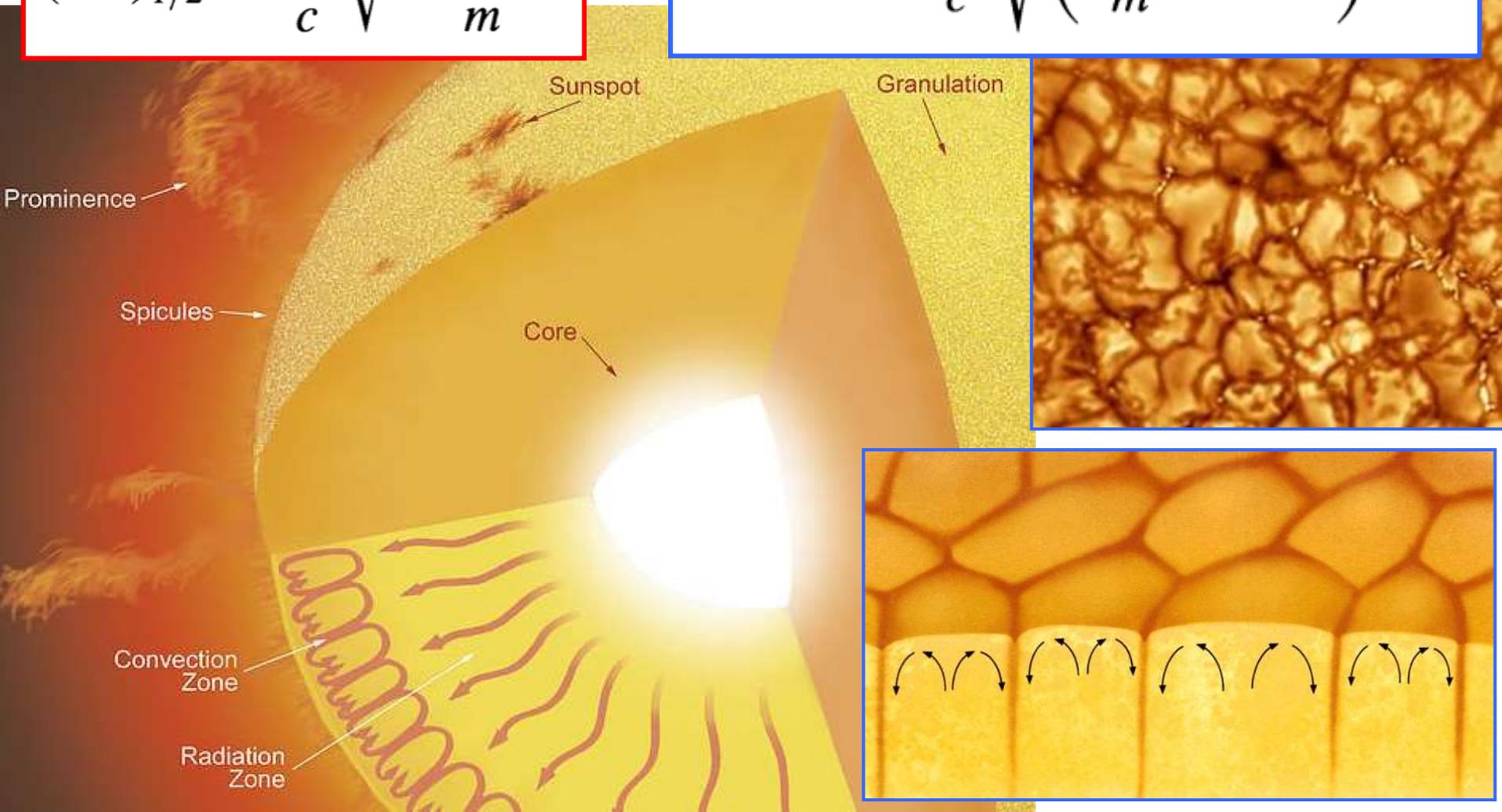
$$(\Delta\lambda)_{1/2} = \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT \ln 2}{m}}$$

Doppler devido apenas a movimentos aleatórios associados à temperatura (Maxwell-Boltzmann):

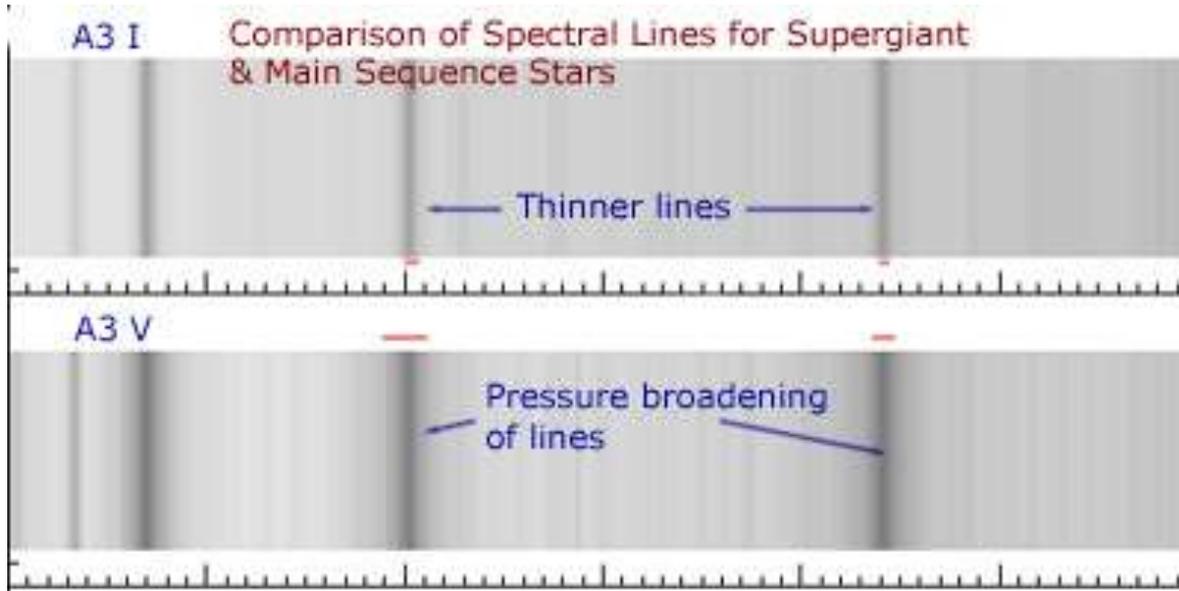
$$(\Delta\lambda)_{1/2} = \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\frac{2kT \ln 2}{m}}$$

Incluindo movimentos turbulentos com velocidade  $v_{\text{turb}}$ :

$$(\Delta\lambda)_{1/2} = \frac{2\lambda}{c} \sqrt{\left(\frac{2kT}{m} + v_{\text{turb}}^2\right) \ln 2},$$

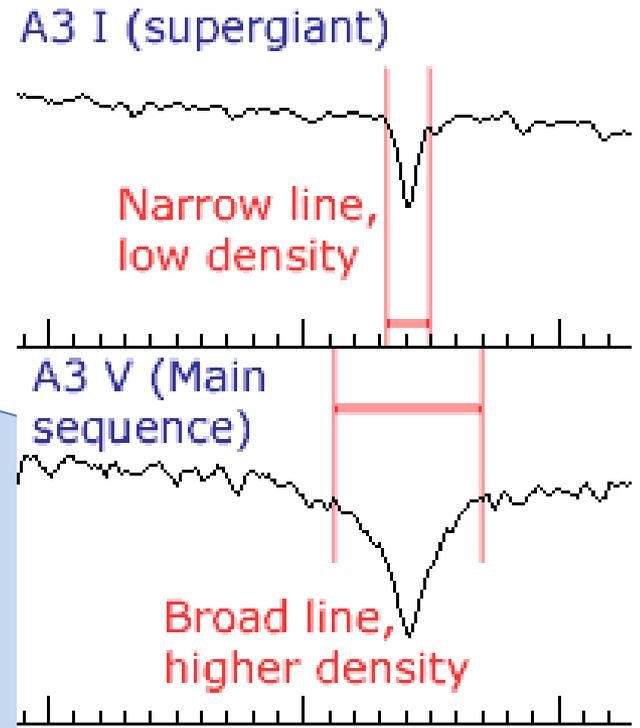


# 3. Alargamento Colisional ou de Pressão



Wavelength  $\lambda$

Maior número de colisões em estrelas anãs  $\rightarrow$  maior alargamento colisional



Wavelength  $\lambda$

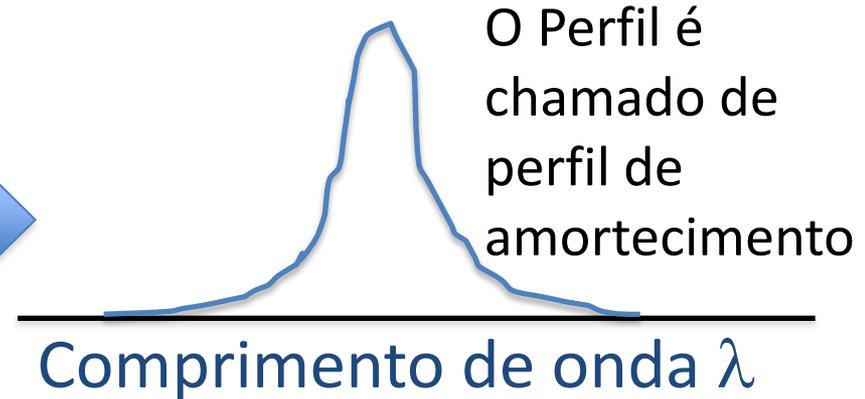
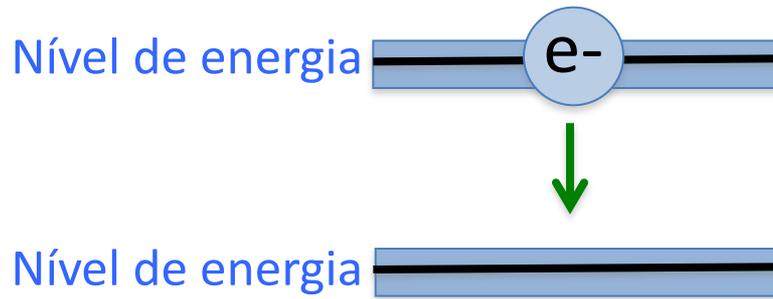
Dwarf star

Giant star

# 3. Alargamento Colisional ou de Pressão

Colisões perturbam os níveis de energia

→ linhas mais largas



$$\Delta t_0 \approx \frac{\ell}{v} = \frac{1}{n\sigma \sqrt{2kT/m}}$$

$n$ : densidade numérica de átomos (#átomos/volume)  
 $\sigma$ : seção de choque

Ordem de grandeza do alargamento:

$$\Delta \lambda = \frac{\lambda^2}{c} \frac{1}{\pi \Delta t_0} \approx \frac{\lambda^2}{c} \frac{n\sigma}{\pi} \sqrt{\frac{2kT}{m}}$$

**Example 9.5.3.** Again, consider the hydrogen atoms in the Sun's photosphere, where the temperature is 5777 K and the number density of hydrogen atoms is about  $1.5 \times 10^{23} \text{ m}^{-3}$ . Then the pressure broadening of the  $H\alpha$  line should be roughly

Alargamento de pressão  
(colisional) aproximado  
para a linha de  $H\alpha$ :

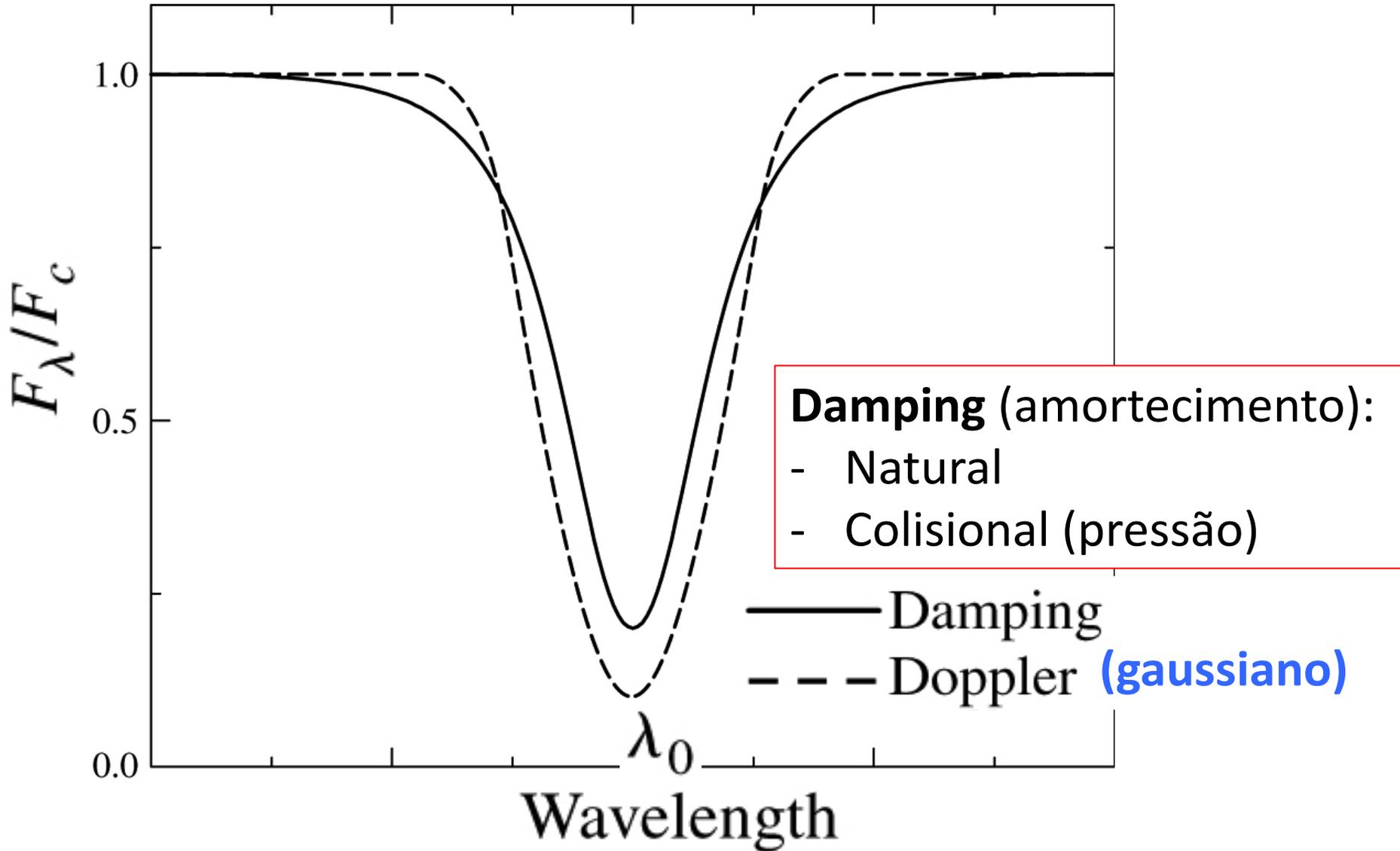
$$\Delta\lambda \approx 2.36 \times 10^{-5} \text{ nm},$$

which is comparable to the result for natural broadening found earlier. However, if the number density of the atoms in the atmosphere of a star is larger, the line width will be larger as well—more than an order of magnitude larger in some cases.

**NOTA:** a formula do livro é apenas uma primeira aproximação. O alargamento colisional pode ser muito maior

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{c} \frac{1}{\pi \Delta t_0} \approx \frac{\lambda^2}{c} \frac{n\sigma}{\pi} \sqrt{\frac{2kT}{m}}.$$

As linhas apresentam um **Perfil de Voigt**: convolução do perfil gaussiano (Doppler) e perfil *Damping* (natural + colis.)



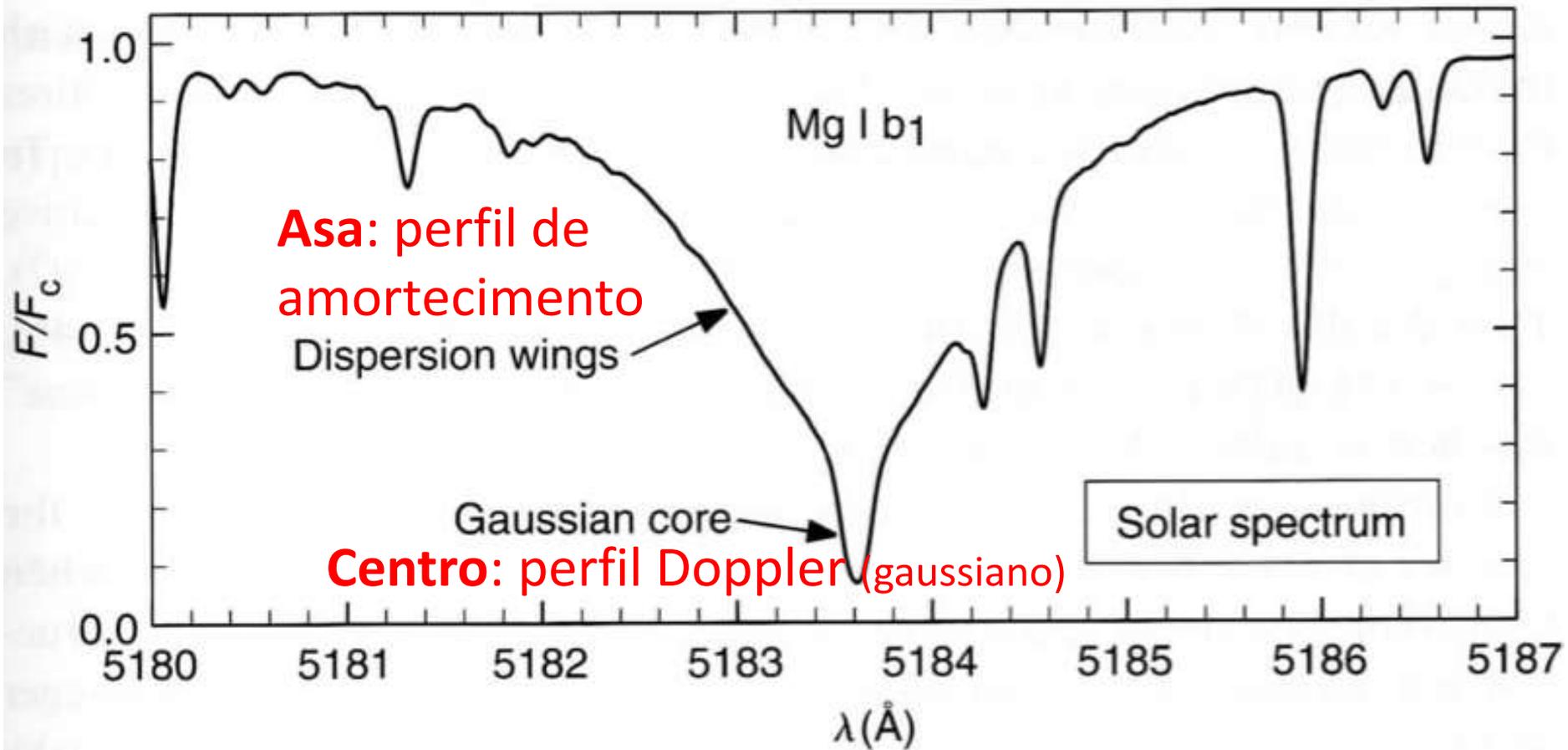
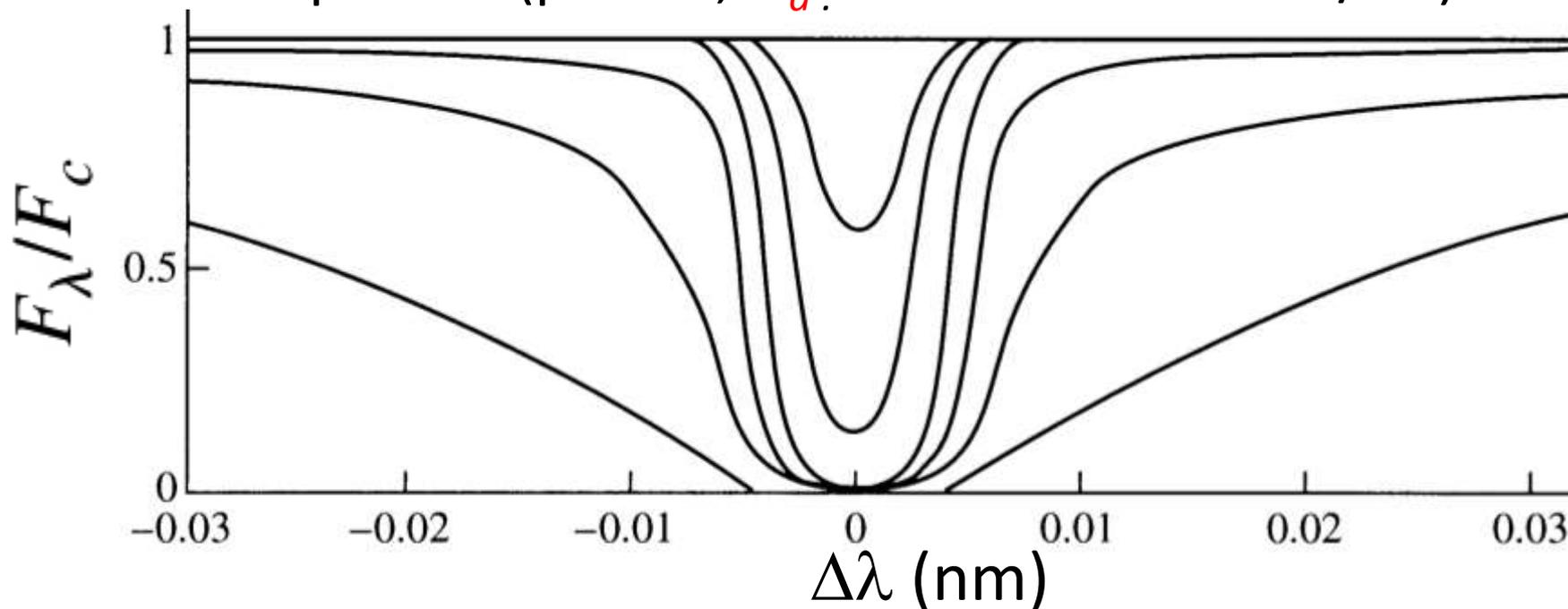


Fig. 11.11. In a few cases spectral lines, like this magnesium line in the solar spectrum, clearly show the Gaussian core and the dispersion wings with a relatively sharp transition between the two near  $F/F_c \approx 0.3$ .

**Temperatura e pressão** são importantes para:

- Equações de Boltzmann e Saha
- Perfil da linha (Doppler e Colisional).

Também precisamos a probabilidade de transição entre os níveis de energia (força de oscilador  $f$ ) e a abundância do elemento químico (por ex.,  $N_a$ : número de átomos/m<sup>2</sup>)



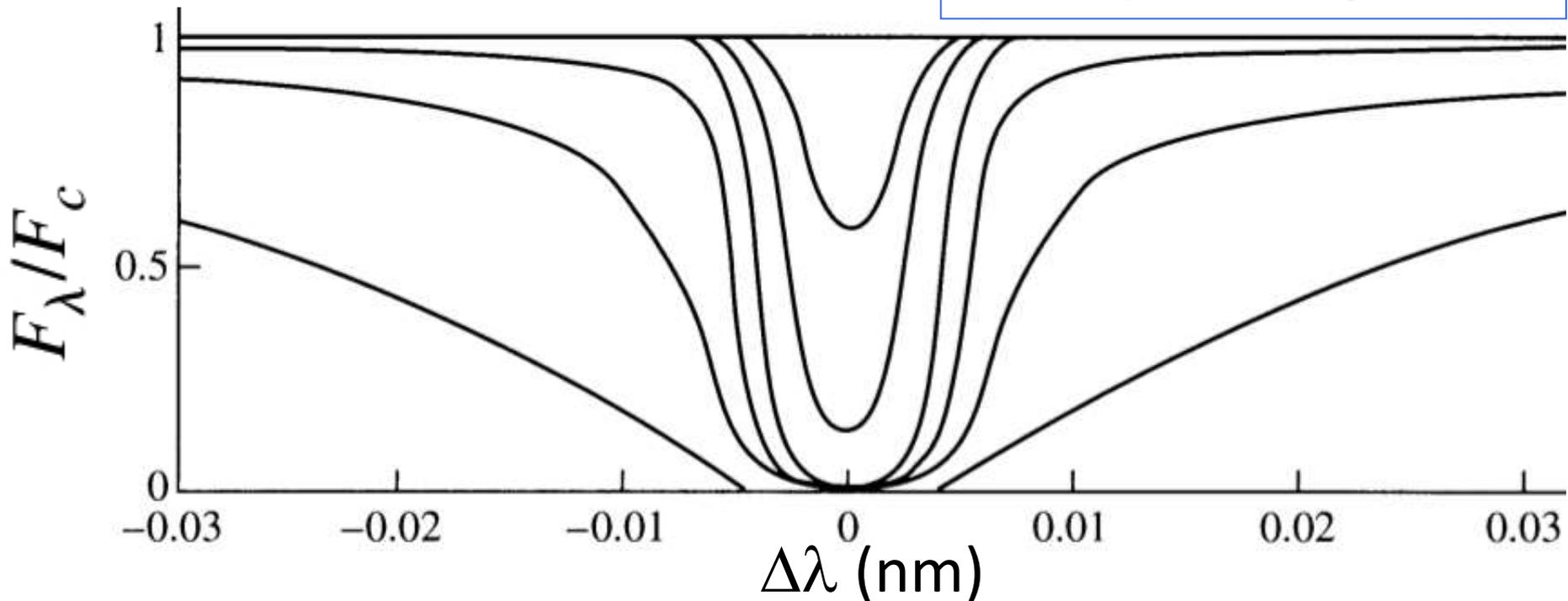
Perfil da linha K de CaII para diferentes abundâncias  $N_a$  de cálcio

**FIGURE 9.20** Voigt profiles of the K line of Ca II. The shallowest line is produced by  $N_a = 3.4 \times 10^{15}$  ions m<sup>-2</sup>, and the ions are ten times more abundant for each successively broader line.

# Curva de crescimento

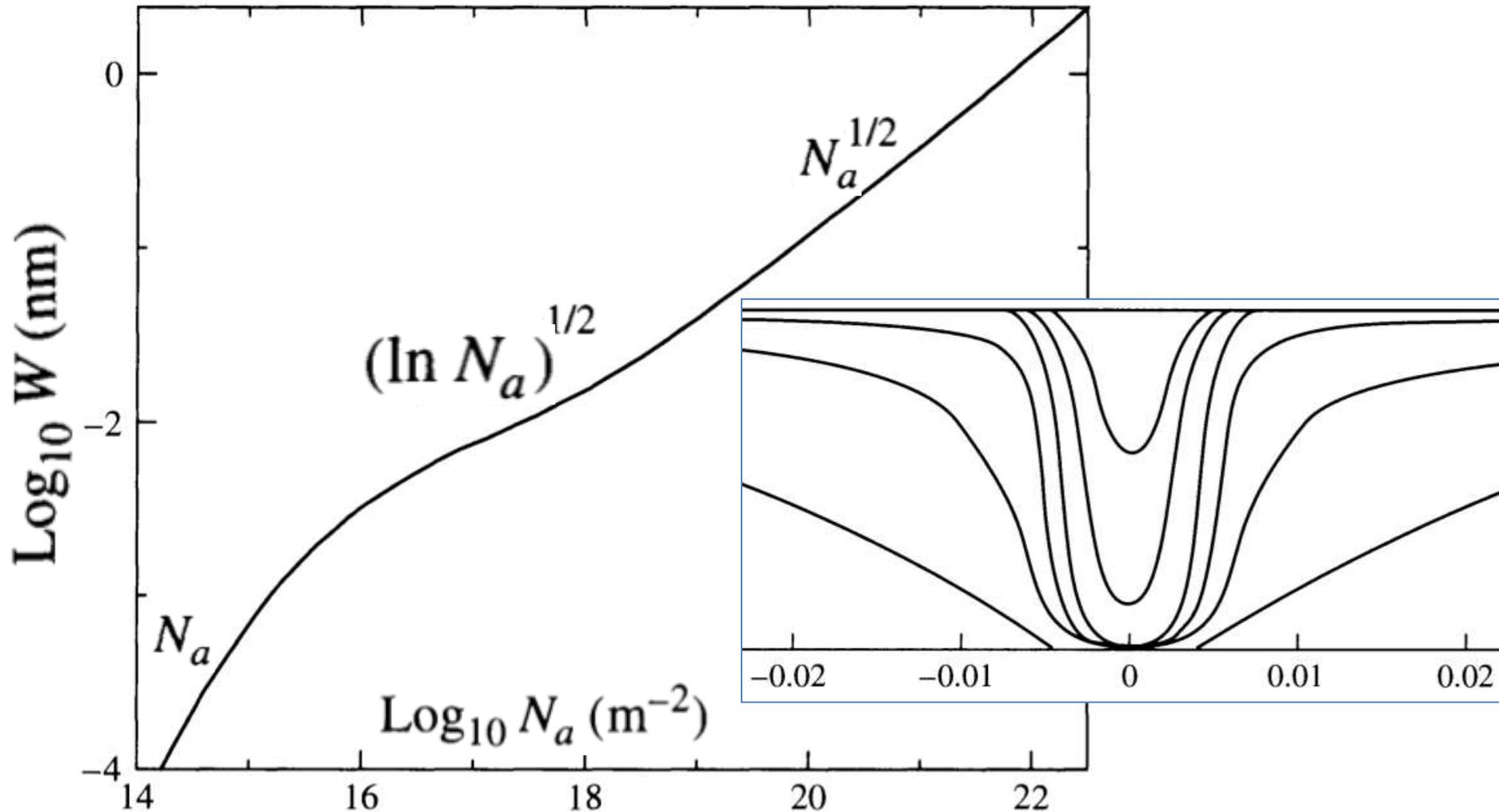
A largura equivalente  $W$  aumenta para abundâncias maiores

$$W = \int \frac{F_c - F_\lambda}{F_c} d\lambda$$



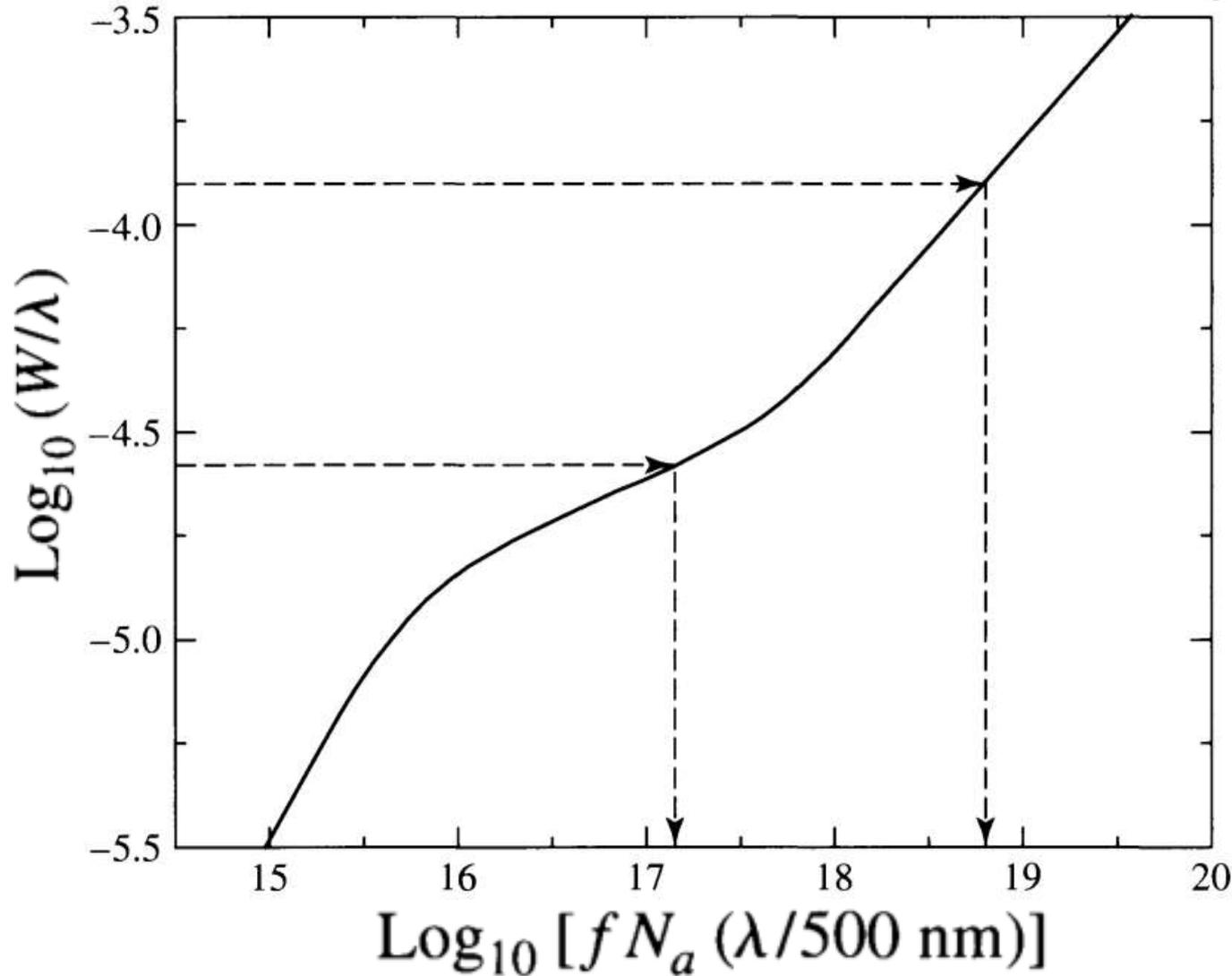
Linha K de CaII para diferentes abundâncias  $N_a$  de cálcio, variando em um fator de 10 para cada perfil

# Curva de crescimento



**FIGURE 9.21** The curve of growth for the K line of Ca II. As  $N_a$  increases, the functional dependence of the equivalent width ( $W$ ) changes. At various positions along the curve of growth,  $W$  is proportional to the functional forms indicated. (Figure adapted from Aller, *The Atmospheres of the Sun and Stars*, Ronald Press, New York, 1963.)

# Curva de crescimento geral



Para a curva de crescimento ser mais util, usar  $W/\lambda$  ao invés de  $W$ .

No eixo X, usar  $f N_a \lambda$  ao invés da abundância  $N_a$

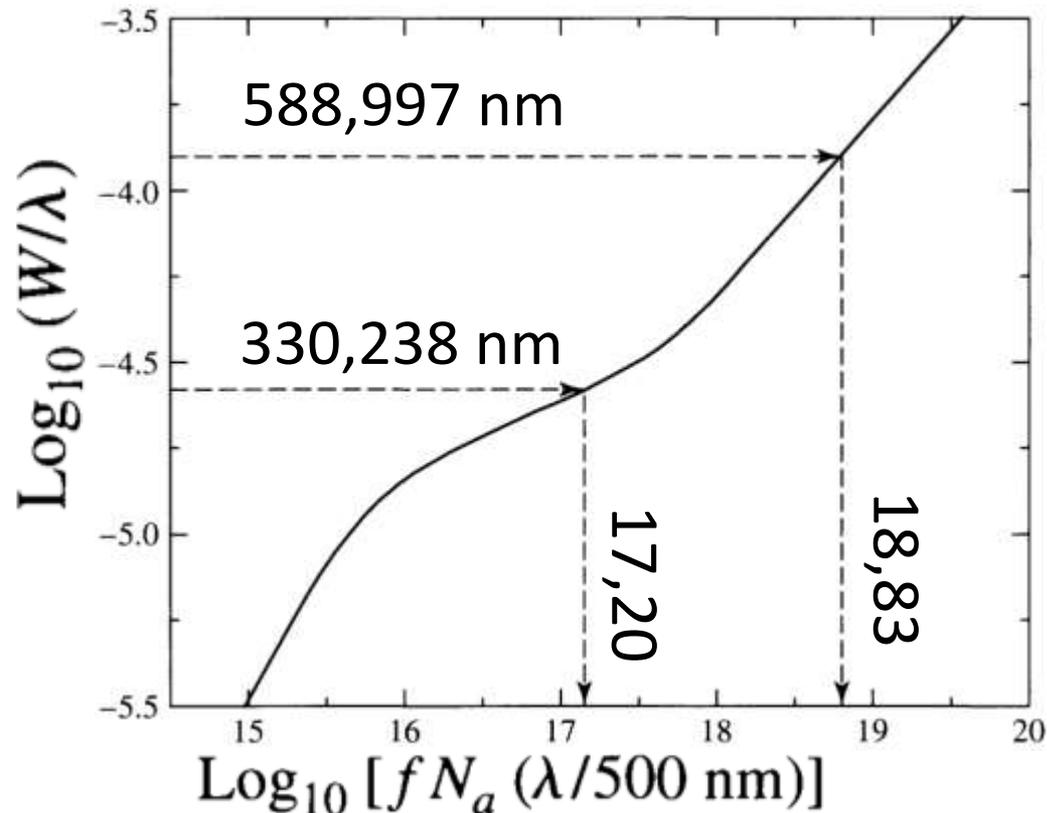
**FIGURE 9.22** A general curve of growth for the Sun. The arrows refer to the data used in Example 9.5.5. (Figure adapted from Aller, *Atoms, Stars, and Nebulae*, Revised Edition, Harvard University)

Ex. 9.5.5: Determinar a abundância  $N_a$  (*número de átomos/m<sup>2</sup>*) de sódio no Sol. Usar as linhas de absorção 330,238 e 588,997 nm. Adotar:  $T = 5800$  K e  $P_e = 1$  N m<sup>-2</sup>

Dados para as linhas de sódio

| $\lambda$ (nm) | $W$ (nm) | $f$    | $\log_{10}(W/\lambda)$ | $\log_{10}[f(\lambda/500 \text{ nm})]$ |
|----------------|----------|--------|------------------------|--|
| 330.238        | 0.0088   | 0.0214 | -4.58                  | -1.85                                  |
| 588.997        | 0.0730   | 0.645  | -3.90                  | -0.12                                  |

Ambas as linhas são produzidas a partir do estado base



$$\log_{10} \left( \frac{f N_a \lambda}{500 \text{ nm}} \right) = 17.20 \quad \text{Para a linha } 330,238 \text{ nm}$$

$$= 18.83 \quad \text{Para a linha } 588,997 \text{ nm}$$

Para obter a abundância  $N_a$  (*número de átomos/m<sup>2</sup>*) de sódio no Sol, subtrair  $\log_{10}[f(\lambda/500 \text{ nm})]$

$$\log_{10} N_a = \log_{10} \left( \frac{f N_a \lambda}{500 \text{ nm}} \right) - \log_{10} \left( \frac{f \lambda}{500 \text{ nm}} \right)$$

$$\text{Log}_{10} N_a = 17,20 - (-1,85) = 19,05 \rightarrow \text{média de } 19,0$$

$$\text{Log}_{10} N_a = 18,83 - (-0,12) = 18,95 \rightarrow 10^{19} \text{ átomos de NaI/m}^2$$

| $\lambda$ (nm) | $W$ (nm) | $f$    | $\log_{10}(W/\lambda)$ | $\log_{10}[f(\lambda/500 \text{ nm})]$ |
|----------------|----------|--------|------------------------|--|
| 330.238        | 0.0088   | 0.0214 | -4.58                  | -1.85                                  |
| 588.997        | 0.0730   | 0.645  | -3.90                  | -0.12                                  |

Para saber quantos átomos de Na existem, temos que usar as equações de Boltzmann e Saha

Número de átomos de NaI nos estados excitados :

**Boltzmann:**

$$e^{-(E_b - E_a)/kT} = e^{-hc/\lambda kT}$$

A diferença ( $E_b - E_a$ )  
é a energia do fóton  
 $E = h\nu = hc/\lambda$

$$= 5,45 \times 10^{-4} \text{ para a linha } 330,238 \text{ nm}$$

$$= 1,48 \times 10^{-2} \text{ para a linha } 588,997 \text{ nm}$$

→ Maioria dos átomos de NaI no estado base

Precisamos calcular agora o número de átomos de sódio em todos os estados de ionização.

Saha: 
$$\frac{N_{II}}{N_I} = \frac{2kT Z_{II}}{P_e Z_I} \left( \frac{2\pi m_e kT}{h^2} \right)^{3/2} e^{-\chi_I/kT}$$

Funções de partição  $Z_I = 2,4$  e  $Z_{II} = 1,0$ ;  $P_e = 1 \text{ N m}^{-2}$ ;  
energia de ionização  $\chi_I = 5,14 \text{ eV} \rightarrow N_{II}/N_I = 2,43 \times 10^3$ .

$N_I = 10^{19} \text{ átomos NaI/m}^2 \rightarrow N_{II} = 2,43 \times 10^{22} \text{ átomos NaI/m}^2$

Massa do átomo de Na =  $3,82 \times 10^{-26} \text{ kg}$

$\rightarrow$  a massa dos átomos de Na/m<sup>2</sup> é  $9,3 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2$ .

Análise detalhada:  $5,4 \times 10^{-4} \text{ kg/m}^2$ .

Comparação: massa átomos de H/m<sup>2</sup> é  $\sim 11 \text{ kg/m}^2$ .

Para cálculos mais detalhados da composição química é necessário usar modelos de atmosferas

Tabela dos elementos mais abundantes na fotosfera do Sol.

A abundância é:  
 $\log (N_{\text{elemento}}/N_{\text{H}}) + 12$

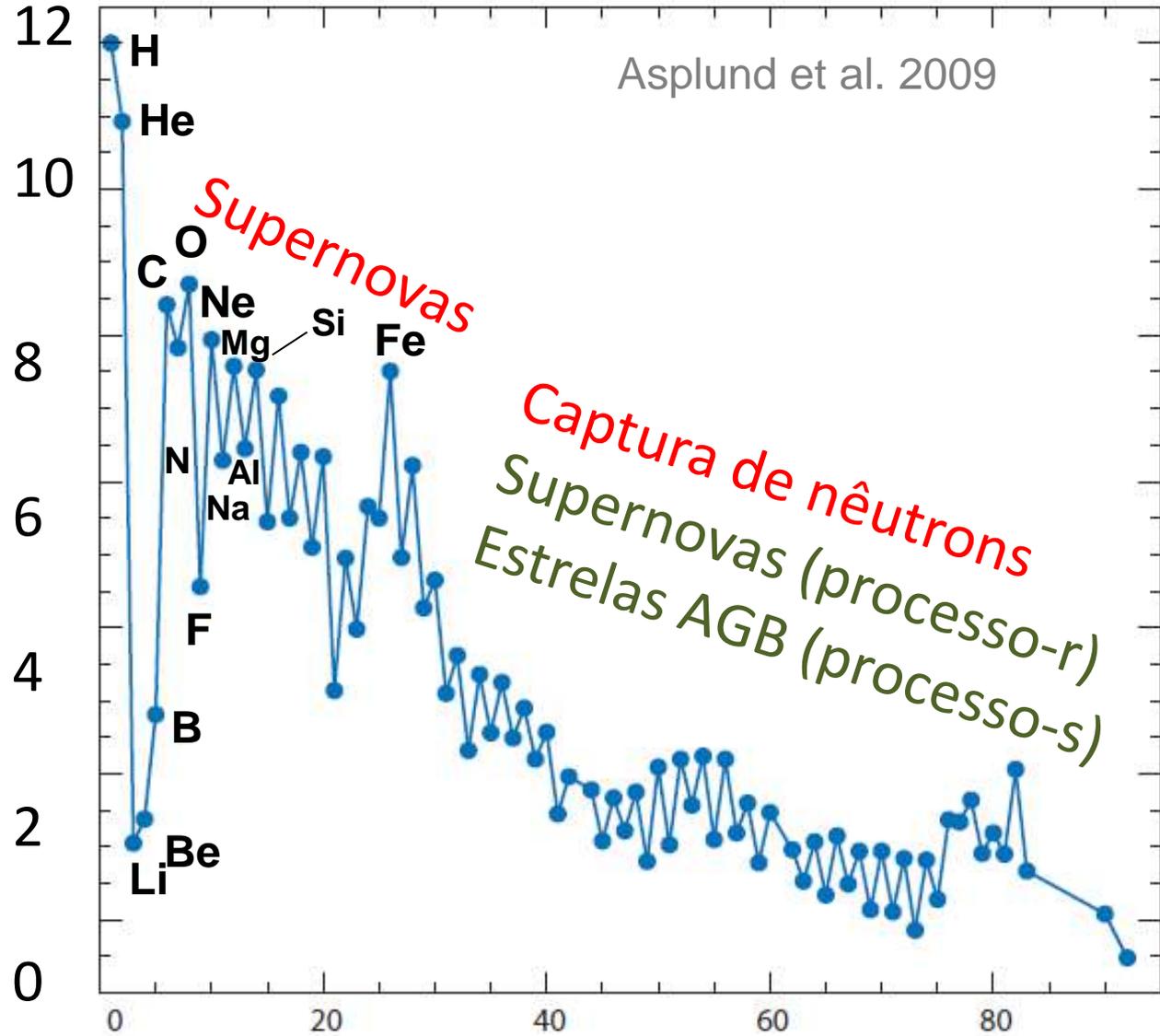
| Element   | Atomic Number | Log Relative Abundance |
|-----------|---------------|------------------------|
| Hydrogen  | 1             | 12.00                  |
| Helium    | 2             | 10.93 ± 0.004          |
| Oxygen    | 8             | 8.83 ± 0.06            |
| Carbon    | 6             | 8.52 ± 0.06            |
| Neon      | 10            | 8.08 ± 0.06            |
| Nitrogen  | 7             | 7.92 ± 0.06            |
| Magnesium | 12            | 7.58 ± 0.05            |
| Silicon   | 14            | 7.55 ± 0.05            |
| Iron      | 26            | 7.50 ± 0.05            |
| Sulfur    | 16            | 7.33 ± 0.11            |
| Aluminum  | 13            | 6.47 ± 0.07            |
| Argon     | 18            | 6.40 ± 0.06            |
| Calcium   | 20            | 6.36 ± 0.02            |
| Sodium    | 11            | 6.33 ± 0.03            |

**N: número de átomos por unidade de volume**

# Abundâncias químicas no Sol

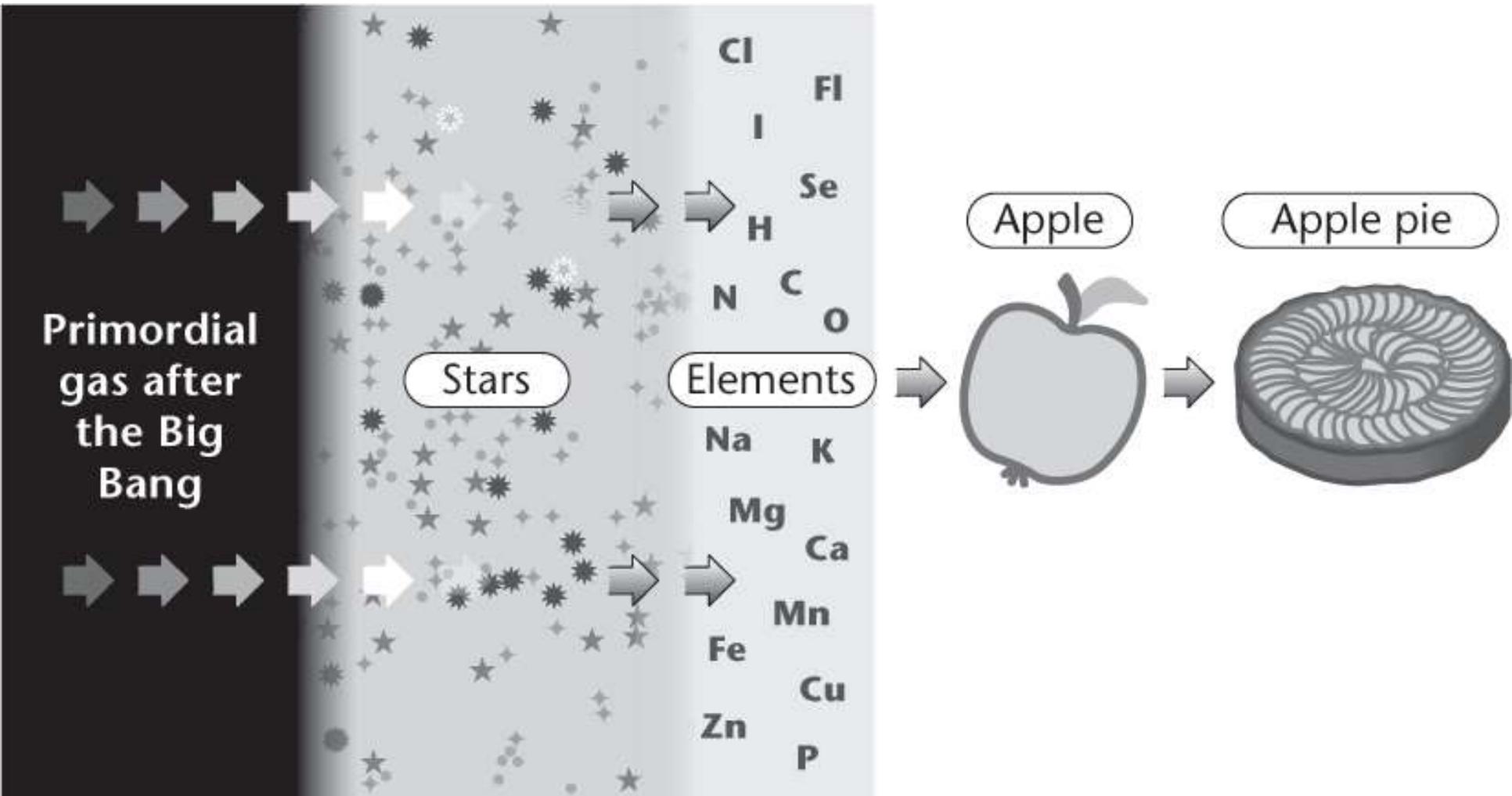
Abundâncias em  
logaritmo (dex)

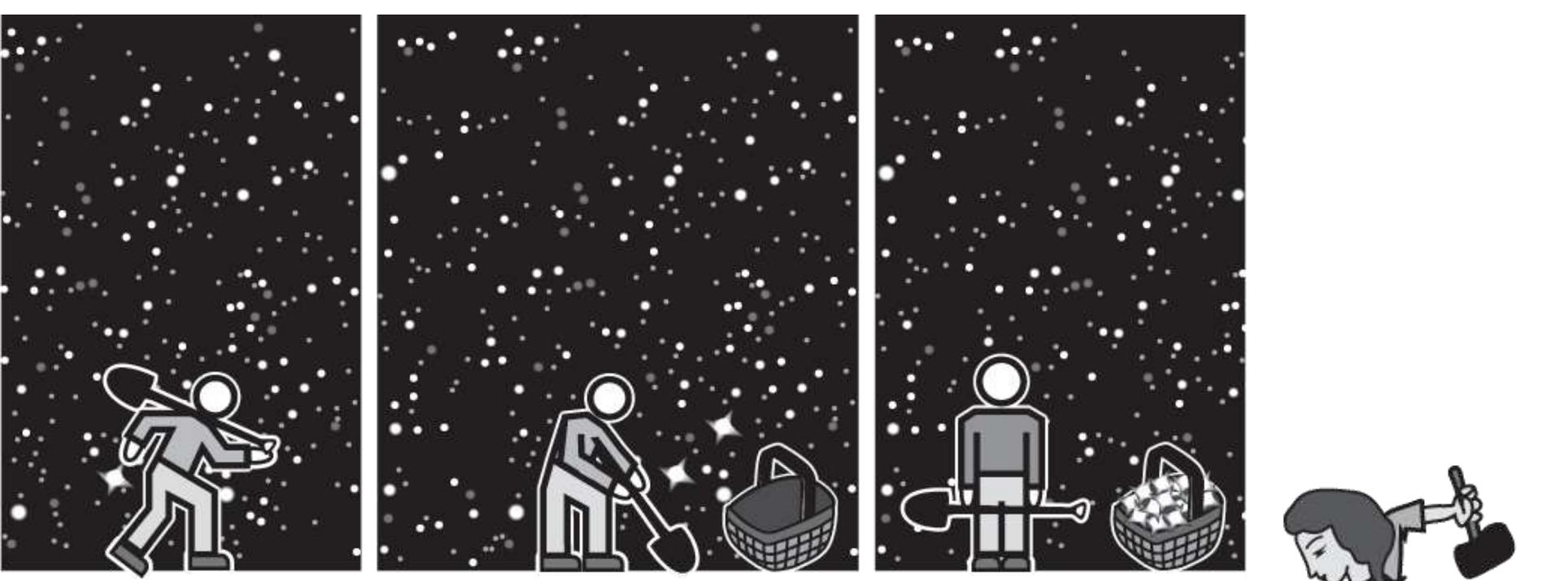
Big Bang



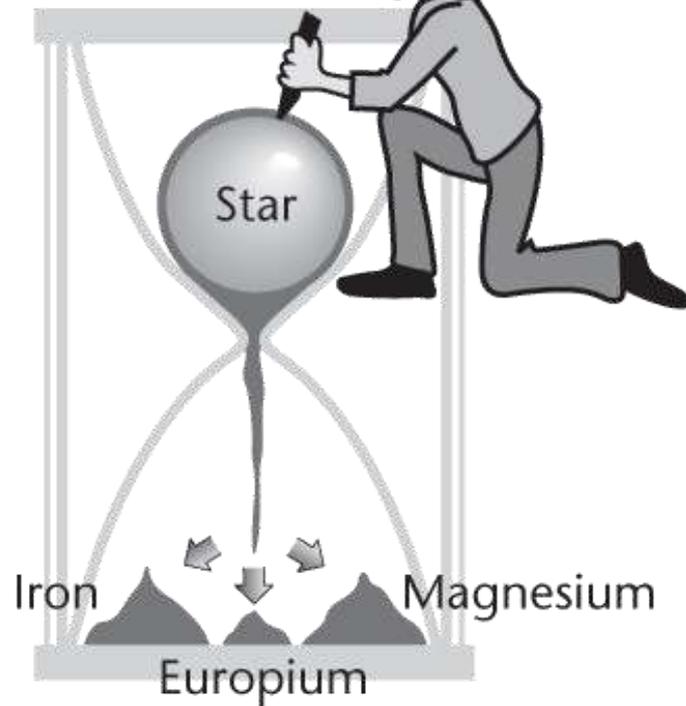
Número atômico

# Como fazer uma torta de maçã?

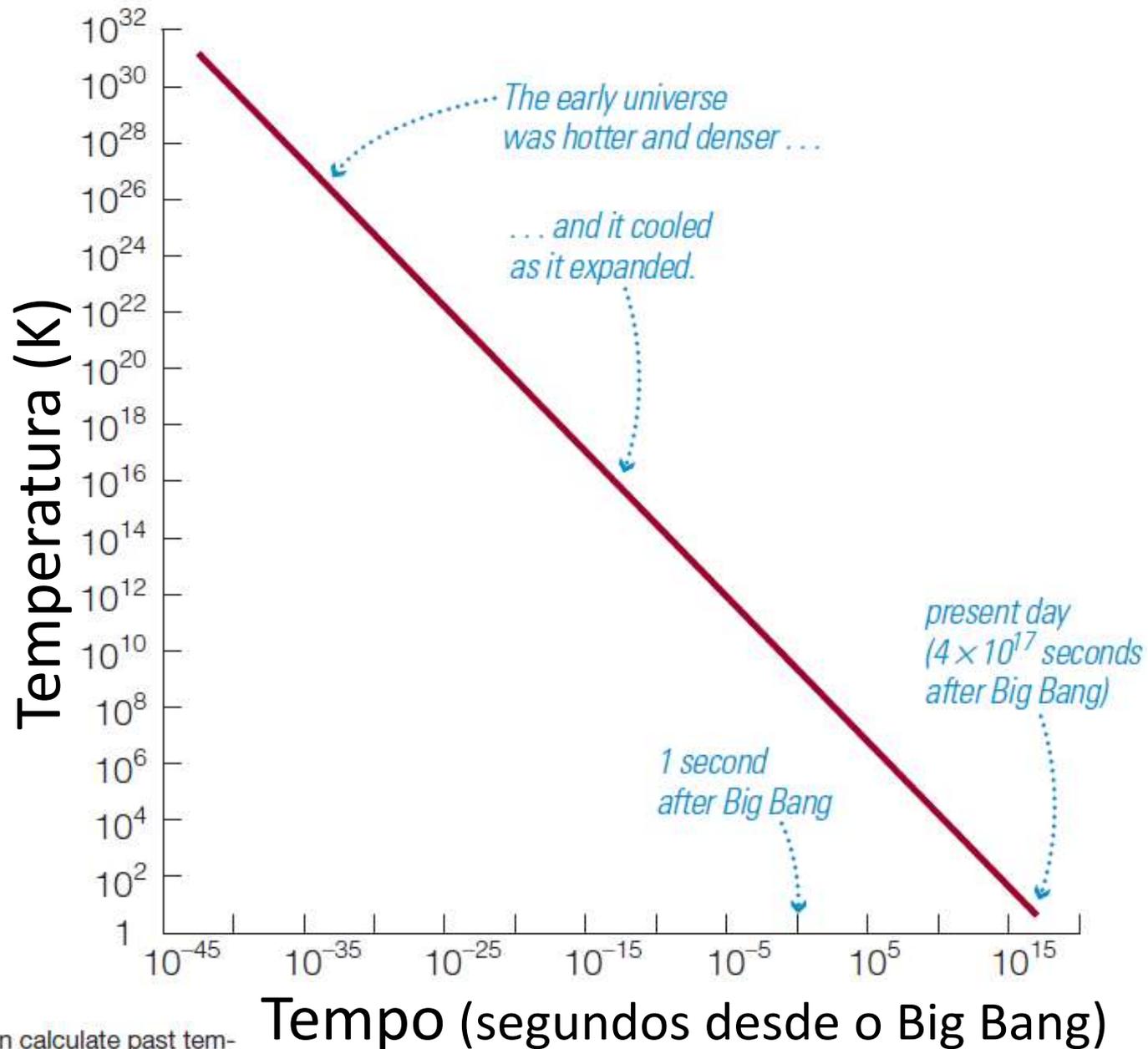




# Arqueologia Galáctica



Universo em  
expansão →  
resfriamento

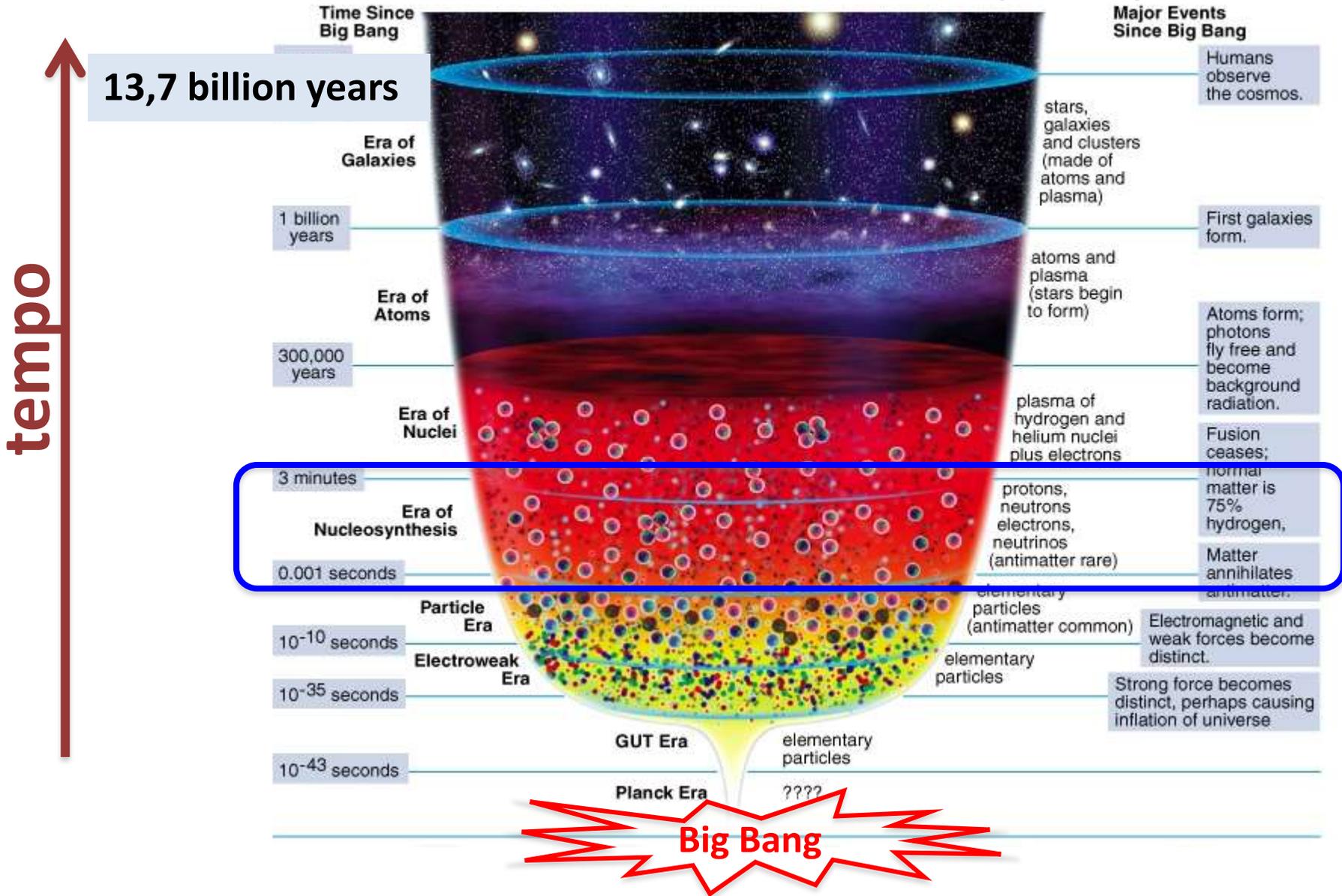


The universe cools as it expands. We can calculate past temperatures by using the laws of physics and the current temperature of the universe (about 3 K). This graph shows the results. Notice that both axis scales use powers of 10. (The graph extends to the present: 14 billion years  $\approx 4 \times 10^{17}$  seconds.)

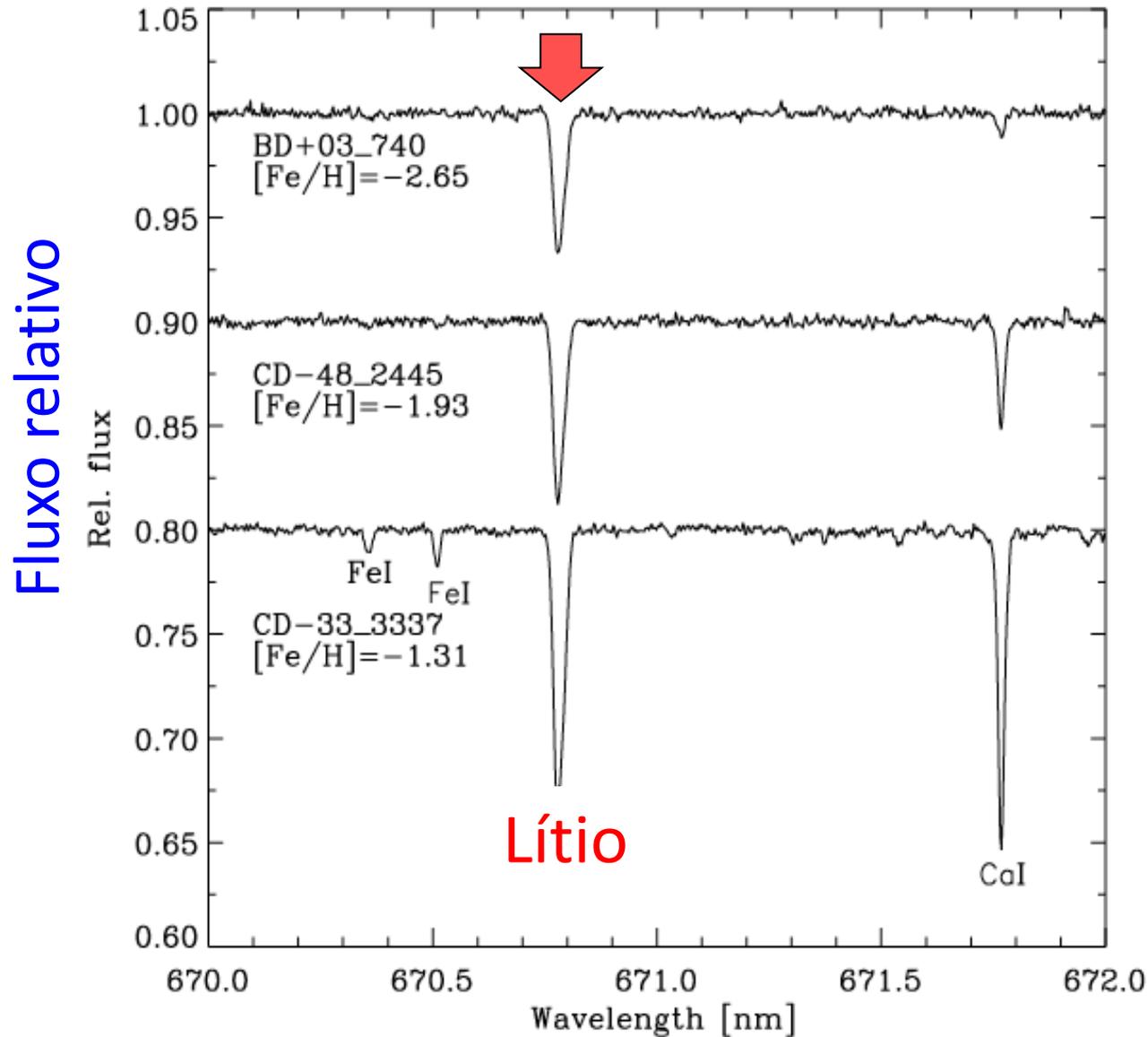
Bennett et al. 2012

# Evolução de nosso universo

## Primeiros 3 minutos: H, He, Li



# Lítio primordial em estrelas pobres em metais

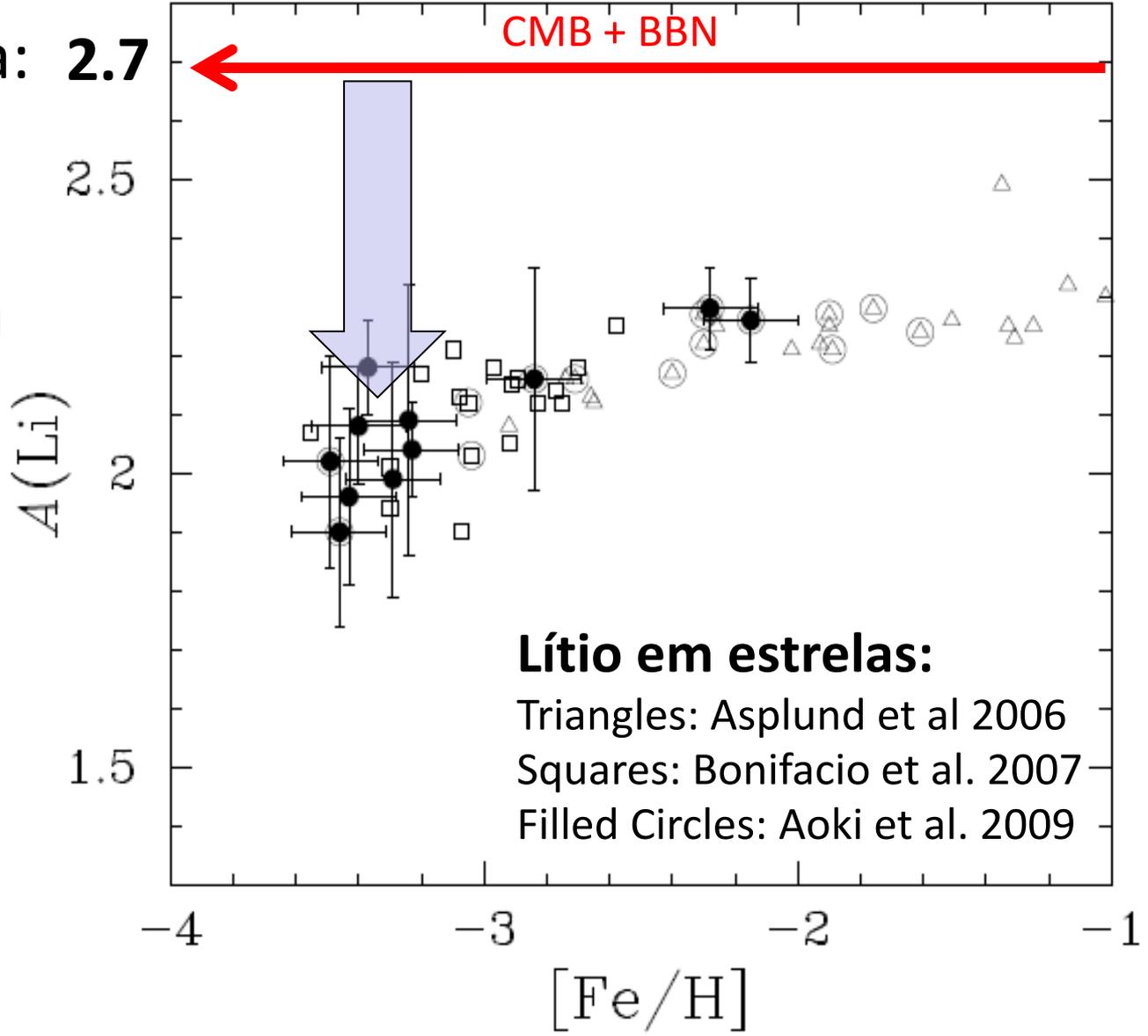


# Problema cosmológico do lítio

Previsão teórica: **2.7**

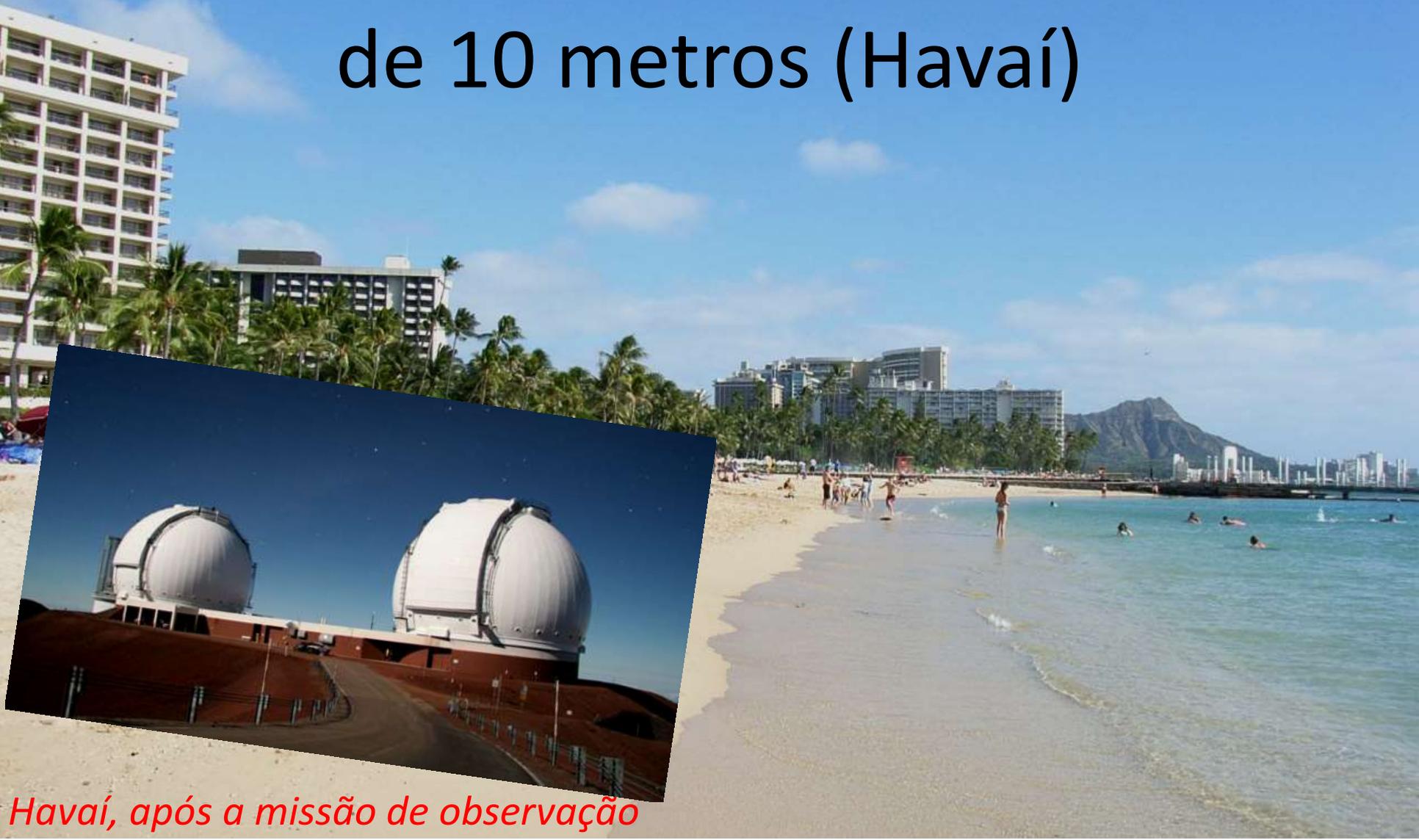
Lítio medido em estrelas:  
(Li = 2.0 – 2.25)

Large discrepancy!



Aoki et al. (2009)

# Pesquisa de lítio em estrelas pobres em metais usando o telescópio Keck de 10 metros (Havaí)



*Havaí, após a missão de observação*

A&A 554, A96 (2013)

DOI: [10.1051/0004-6361/201321406](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201321406)

© ESO 2013

# The lithium isotopic ratio in very metal-poor stars

K. Lind<sup>1,2</sup>, J. Melendez<sup>3</sup>, M. Asplund<sup>4</sup>, R. Collet<sup>4</sup>, and Z. Magic<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Max Plack Institute for Astrophysics, Karl-Schwarzschild-Strasse 1, 857 41 Garching bei München, Germany

<sup>2</sup> Institute of Astronomy, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge, CB3 0HA, UK

e-mail: [klind@ast.cam.ac.uk](mailto:klind@ast.cam.ac.uk)

<sup>3</sup> Departamento de Astronomia do IAG/USP, Universidade de São Paulo, Rua do Matão 1226, Cidade Universitária, 05508-900 São Paulo, SP, Brazil

<sup>4</sup> Research School of Astronomy & Astrophysics, Australian National University, Cotter Road, Weston Creek, ACT 2611, Australia

Received 4 March 2013 / Accepted 24 May 2013

<http://www.aanda.org/articles/aa/abs/2013/06/aa21406-13/aa21406-13.html>

Press Release

Highlight

Free access

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Issue</b>             | A&A<br><b>Volume</b> 554, June 2013   |
| <b>Article Number</b>    | A96   |
| <b>Number of page(s)</b> | 15  |
| <b>Section</b>           | Stellar atmospheres   |
| <b>DOI</b>               | <a href="http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201321406">http://dx.doi.org/10.1051/0004-6361/201321406</a> |
| <b>Published online</b>  | 10 June 2013  |

Descoberta de estrela ultra-pobre em metais usando o telescópio NTT no Observatório La Silla (3,6 m) em Chile

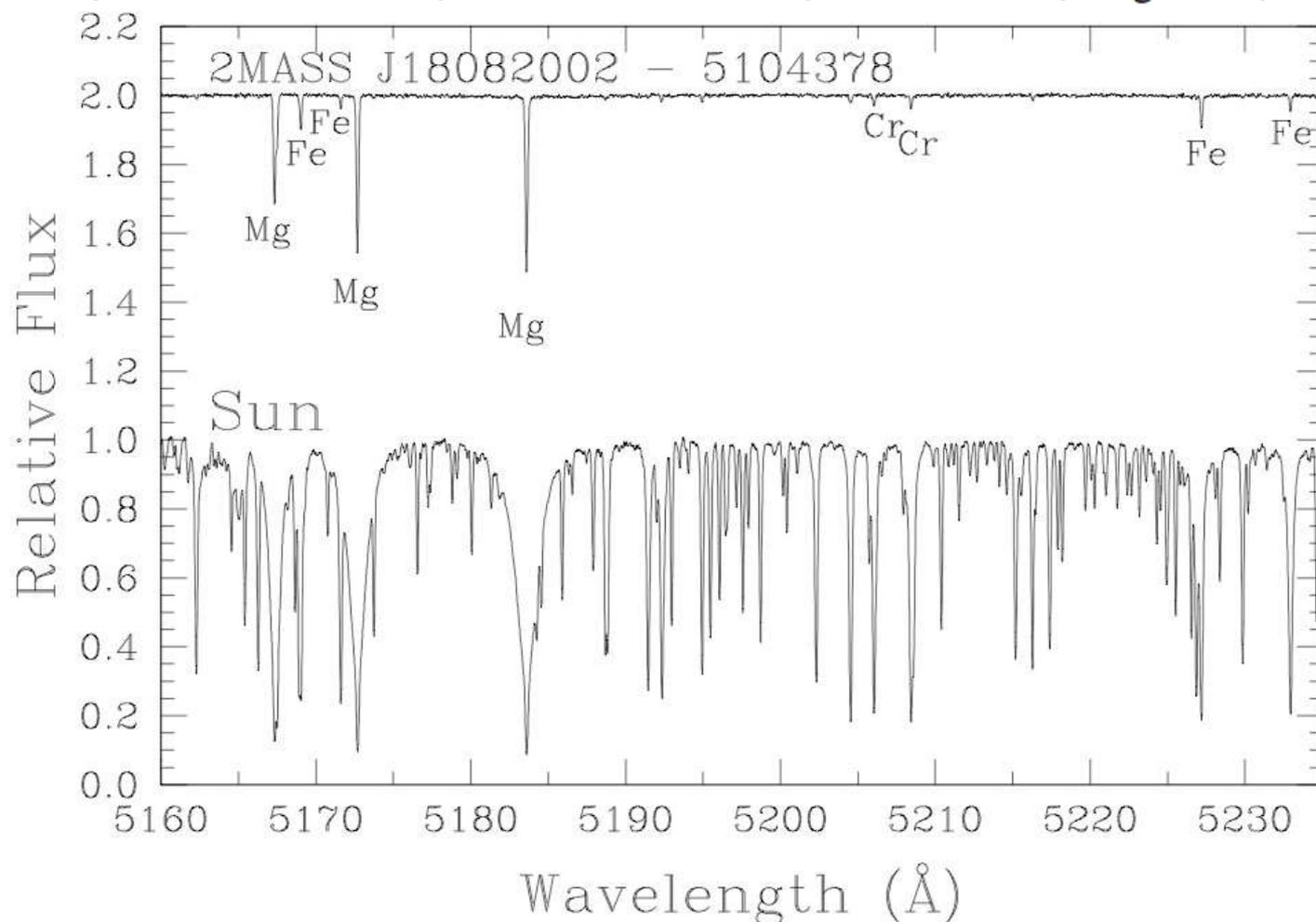


Melendez et al. (2016)

LETTER TO THE EDITOR

# 2MASS J18082002–5104378: The brightest ( $V = 11.9$ ) ultra metal-poor star<sup>★</sup>

Jorge Meléndez<sup>1</sup>, Vinicius M. Placco<sup>2</sup>, Marcelo Tucci-Maia<sup>1</sup>, Iván Ramírez<sup>3</sup>, Ting S. Li<sup>4</sup>, and Gabriel Perez<sup>5</sup>



# Tabela periódica de alguns astrônomos

## H & He → “metais”



**METAIS**

# Evolução química dos elementos

## H & He → “metais”

Periodic Table of the Elements © www.elementsdatabase.com

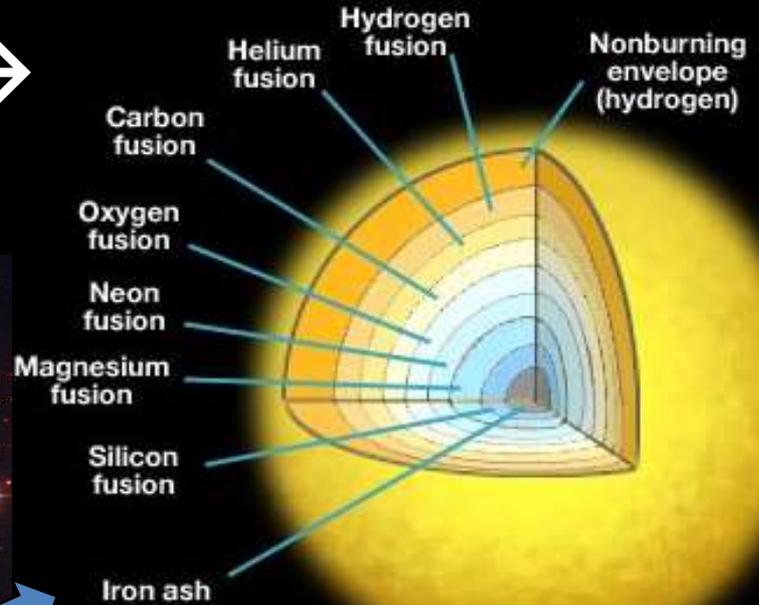
- hydrogen
- alkali metals
- alkali earth metals
- transition metals
- poor metals
- nonmetals
- noble gases
- rare earth metals

|                  |                  |                  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| H <sup>1</sup>   |                  |                  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  | He <sup>2</sup>  |
| Li <sup>3</sup>  | Be <sup>4</sup>  |                  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                  |                  | B <sup>5</sup>   | C <sup>6</sup>   | N <sup>7</sup>   | O <sup>8</sup>   | F <sup>9</sup>   | Ne <sup>10</sup> |
| Na <sup>11</sup> | Mg <sup>12</sup> |                  |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                    |                  |                  | Al <sup>13</sup> | Si <sup>14</sup> | P <sup>15</sup>  | S <sup>16</sup>  | Cl <sup>17</sup> | Ar <sup>18</sup> |
| K <sup>19</sup>  | Ca <sup>20</sup> | Sc <sup>21</sup> | Ti <sup>22</sup>   | V <sup>23</sup>    | Cr <sup>24</sup>   | Mn <sup>25</sup>   | Fe <sup>26</sup>   | Co <sup>27</sup>   | Ni <sup>28</sup>   | Cu <sup>29</sup> | Zn <sup>30</sup> | Ga <sup>31</sup> | Ge <sup>32</sup> | As <sup>33</sup> | Se <sup>34</sup> | Br <sup>35</sup> | Kr <sup>36</sup> |
| Rb <sup>37</sup> | Sr <sup>38</sup> | Y <sup>39</sup>  | Zr <sup>40</sup>   | Nb <sup>41</sup>   | Mo <sup>42</sup>   | Tc <sup>43</sup>   | Ru <sup>44</sup>   | Rh <sup>45</sup>   | Pd <sup>46</sup>   | Ag <sup>47</sup> | Cd <sup>48</sup> | In <sup>49</sup> | Sn <sup>50</sup> | Sb <sup>51</sup> | Te <sup>52</sup> | I <sup>53</sup>  | Xe <sup>54</sup> |
| Cs <sup>55</sup> | Ba <sup>56</sup> | La <sup>57</sup> | Hf <sup>72</sup>   | Ta <sup>73</sup>   | W <sup>74</sup>    | Re <sup>75</sup>   | Os <sup>76</sup>   | Ir <sup>77</sup>   | Pt <sup>78</sup>   | Au <sup>79</sup> | Hg <sup>80</sup> | Tl <sup>81</sup> | Pb <sup>82</sup> | Bi <sup>83</sup> | Po <sup>84</sup> | At <sup>85</sup> | Rn <sup>86</sup> |
| Fr <sup>87</sup> | Ra <sup>88</sup> | Ac <sup>89</sup> | Unq <sup>104</sup> | Unp <sup>105</sup> | Unh <sup>106</sup> | Uns <sup>107</sup> | Uno <sup>108</sup> | Une <sup>109</sup> | Unn <sup>110</sup> |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |

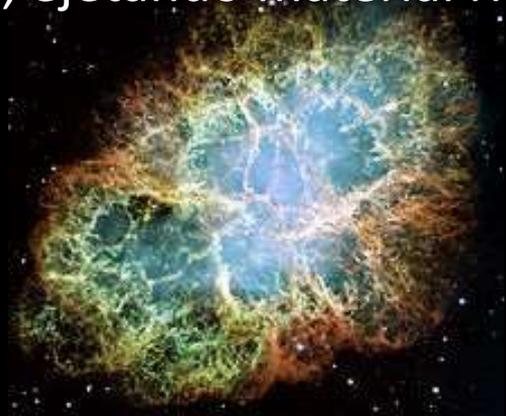
|    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |     |    |     |    |     |    |     |    |  |  |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|--|--|
| 58 | Ce | 59 | Pr | 60 | Nd | 61 | Pm | 62 | Sm | 63 | Eu | 64 | Gd | 65 | Tb | 66 | Dy | 67 | Ho | 68  | Er | 69  | Tm | 70  | Yb | 71  | Lu |  |  |
| 90 | Th | 91 | Pa | 92 | U  | 93 | Np | 94 | Pu | 95 | Am | 96 | Cm | 97 | Bk | 98 | Cf | 99 | Es | 100 | Fm | 101 | Md | 102 | No | 103 | Lr |  |  |

# Primeira geração de estrelas foi formada de H & He → metais

Nuvens  
primordiais  
de H, He



Estrelas massivas explodem como  
supernova, ejetando material rico  
em metais



# Evolução Estelar

Type II Supernova

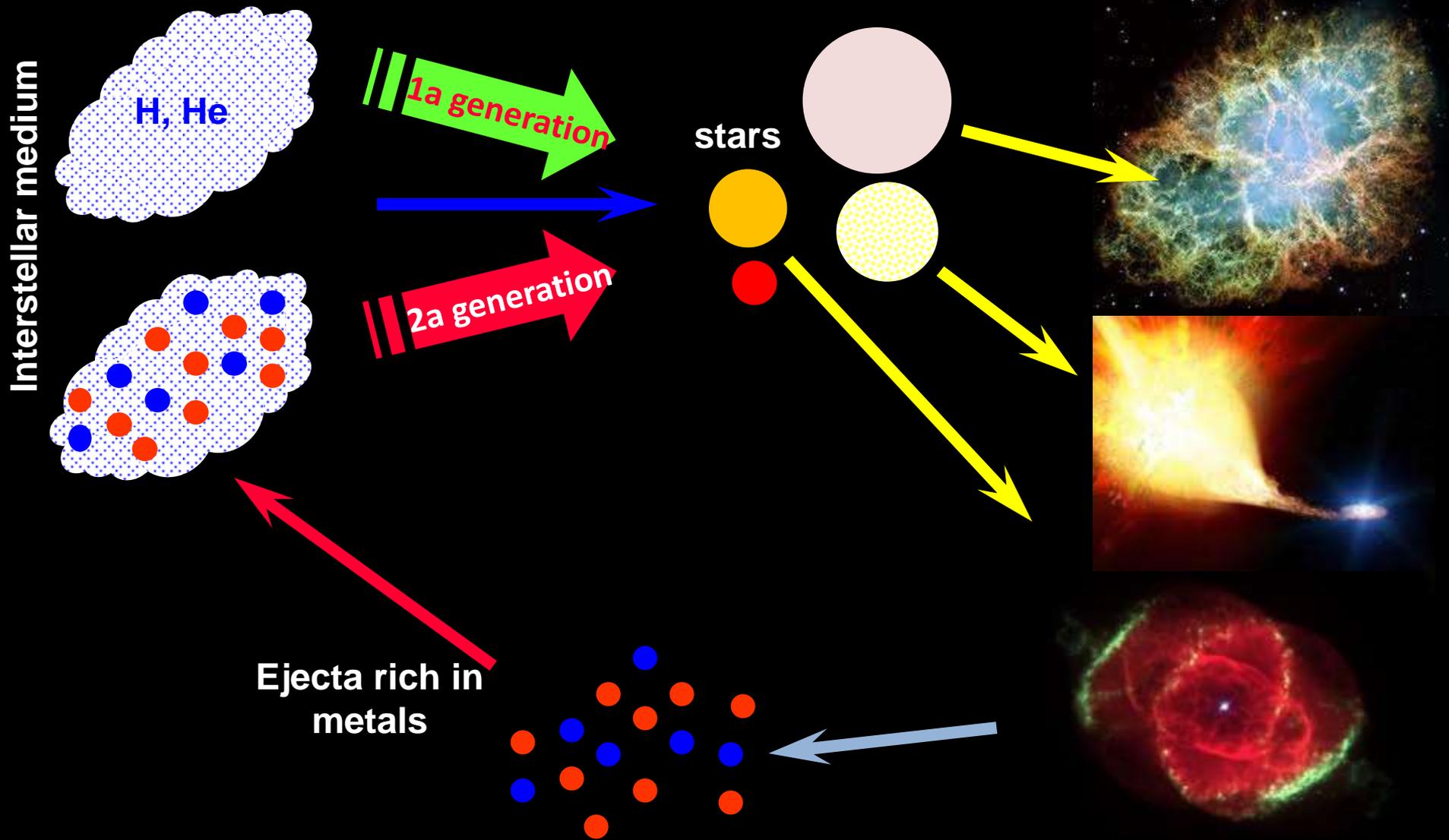


Planetary Nebula



Type Ia Supernova  
(artist's concept)

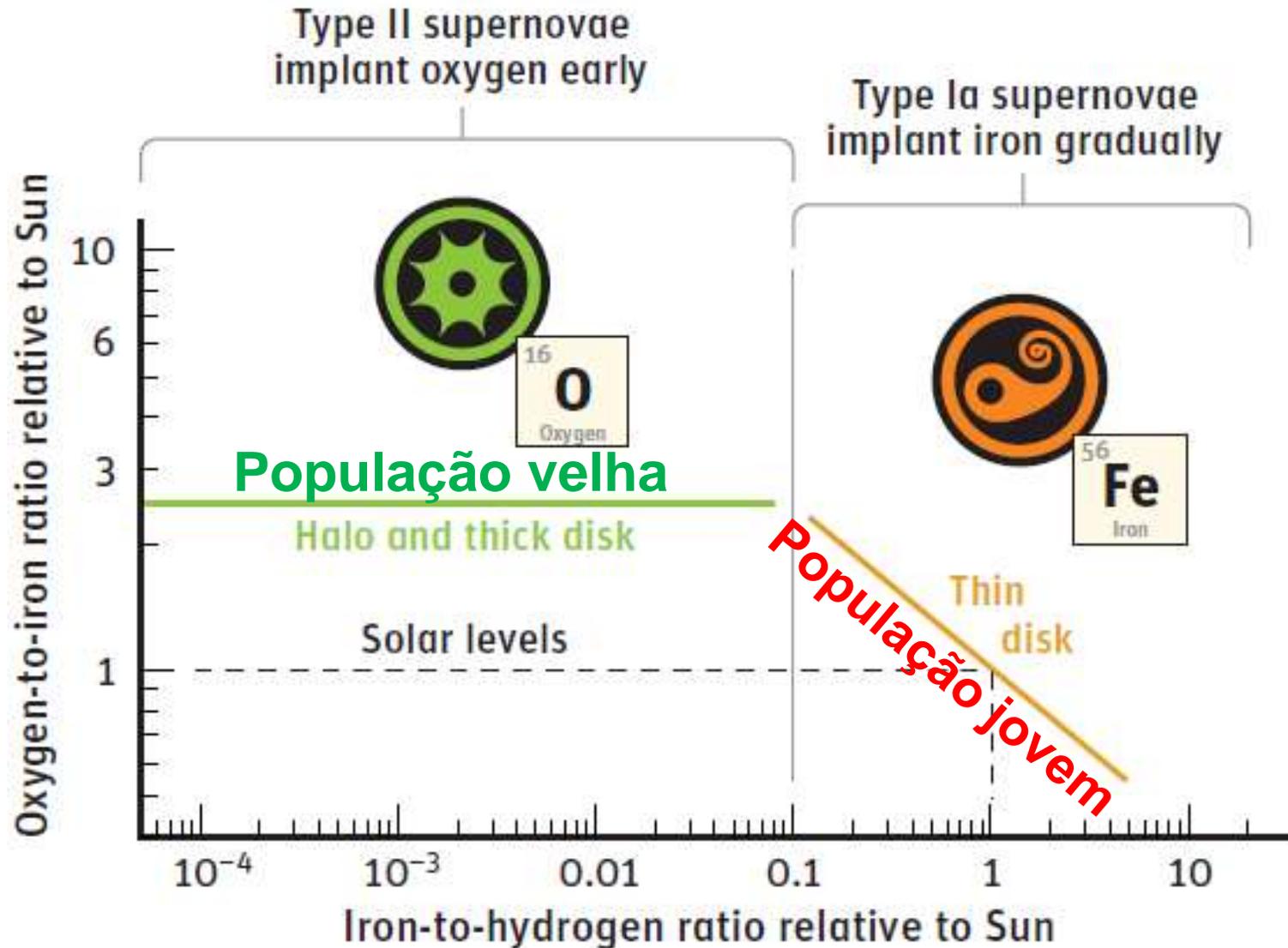
# Enriquecimento químico da Galáxia



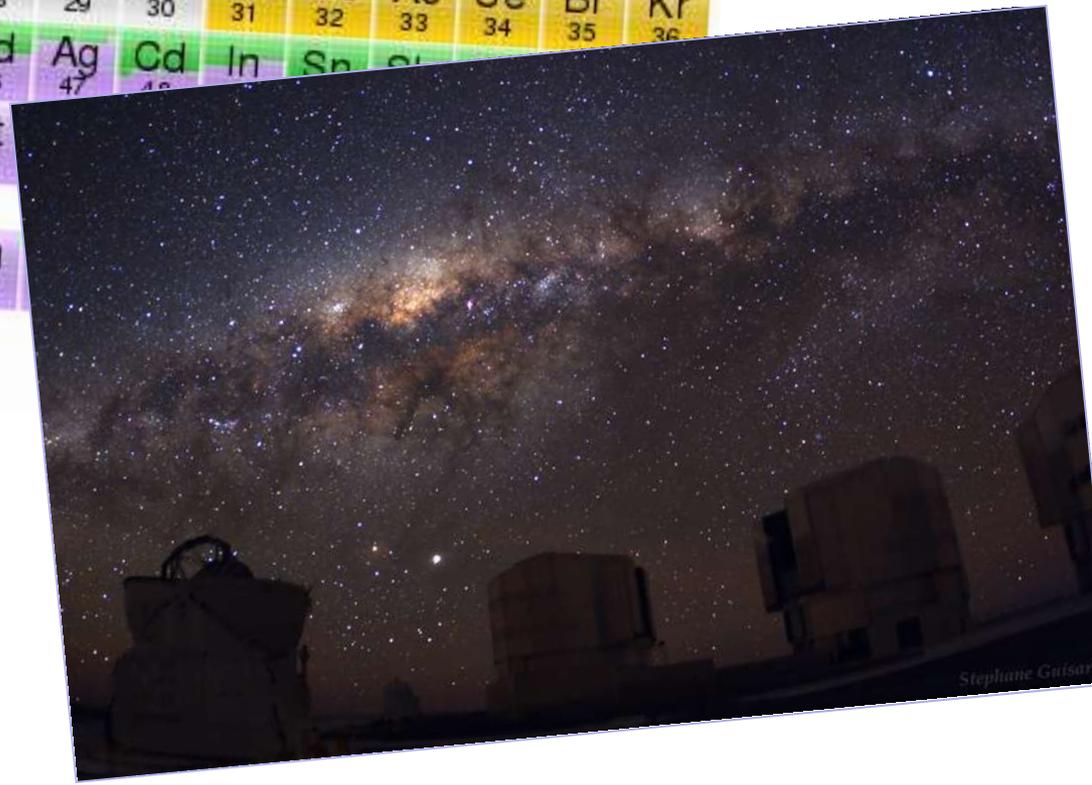
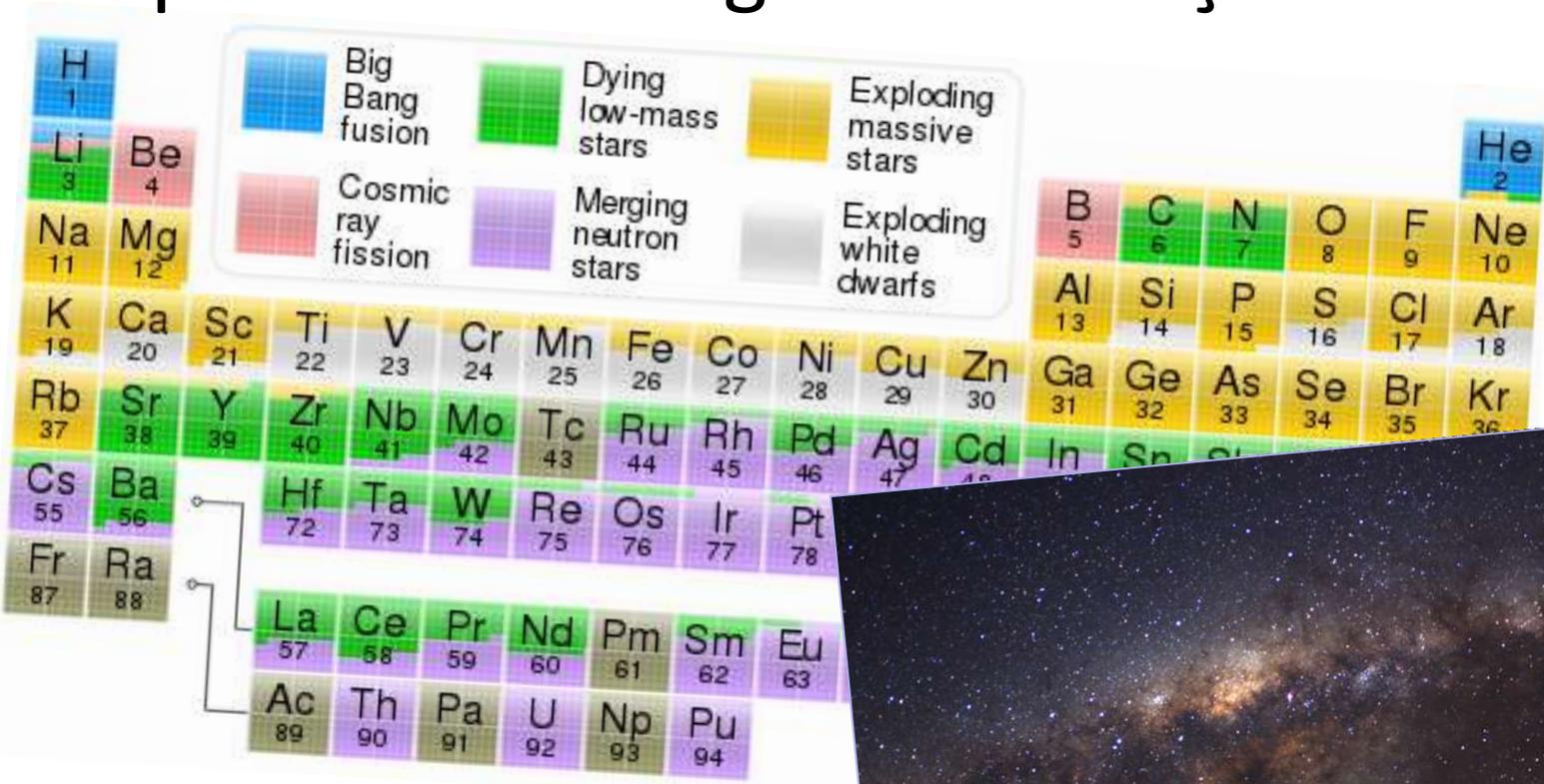
Após 12 bilhões de anos de evolução química da Galáxia, estrelas têm produzido somente 2% de “metais”, o resto (98%) é H & He



# Arqueologia galáctica



# Arqueologia galáctica: origem dos elementos químicos e a origem e evolução da Galáxia



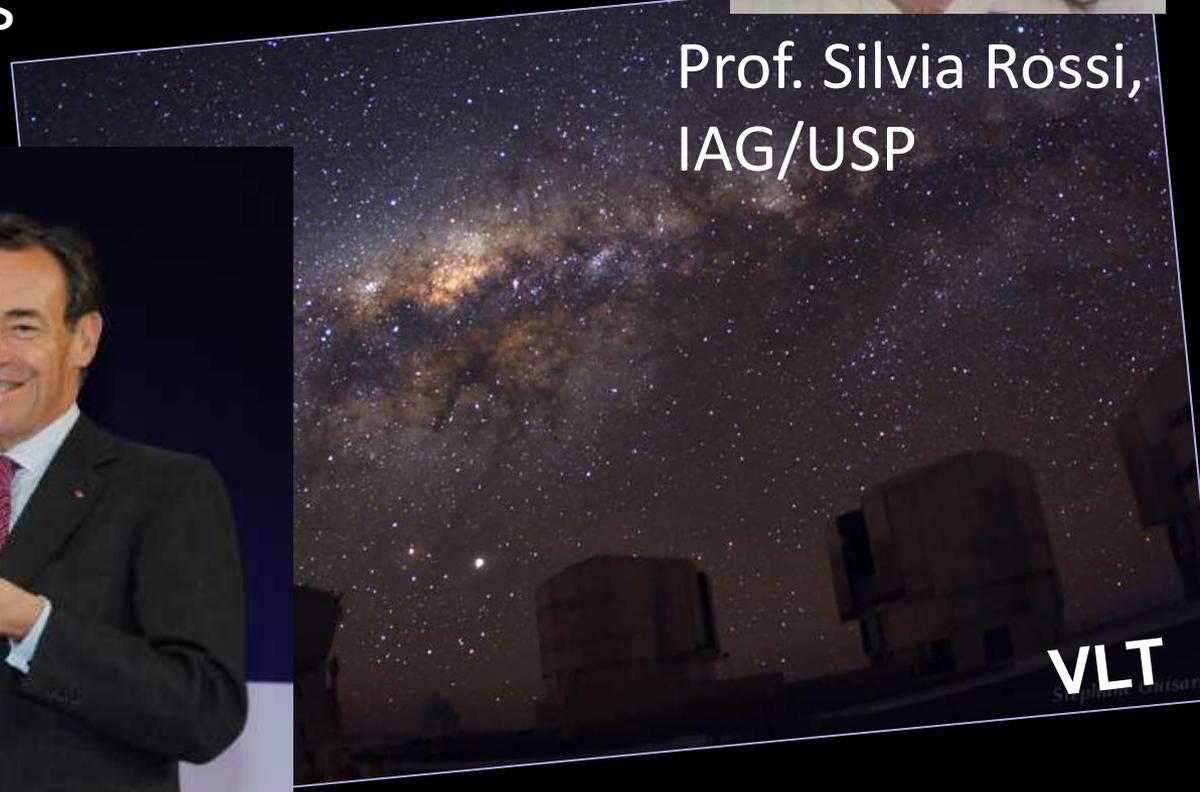
# Evolução química da Galáxia @ IAG/USP

- Estrelas de campo e de aglomerados
- Procura de estrelas pobres em metais
- O disco galáctico
- O halo e bojo da Galáxia
- Idades das estrelas

Profa. Beatriz Barbuy,  
IAG/USP



Prof. Silvia Rossi,  
IAG/USP

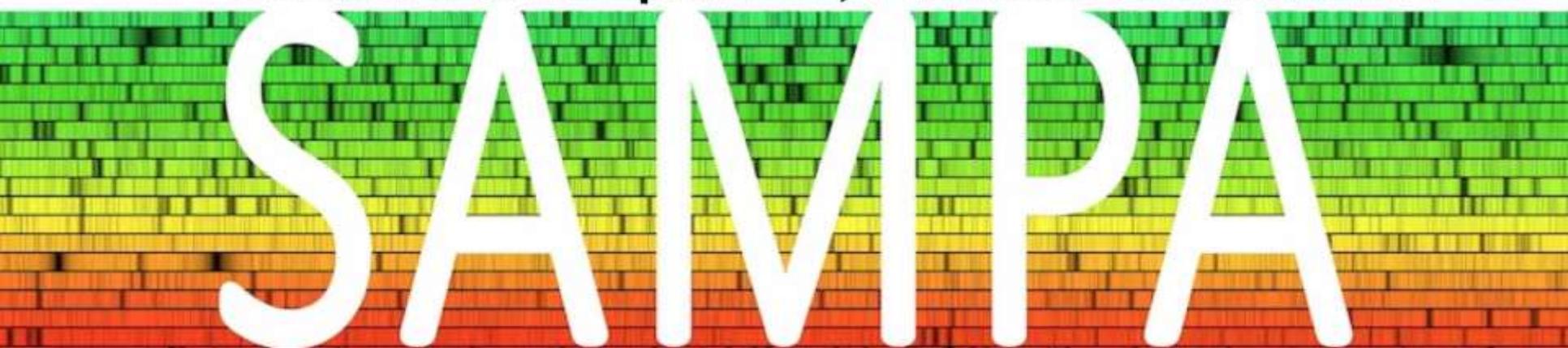


# Meu grupo: SAMPA

## Stellar AtMospheres, Planets & Abundances

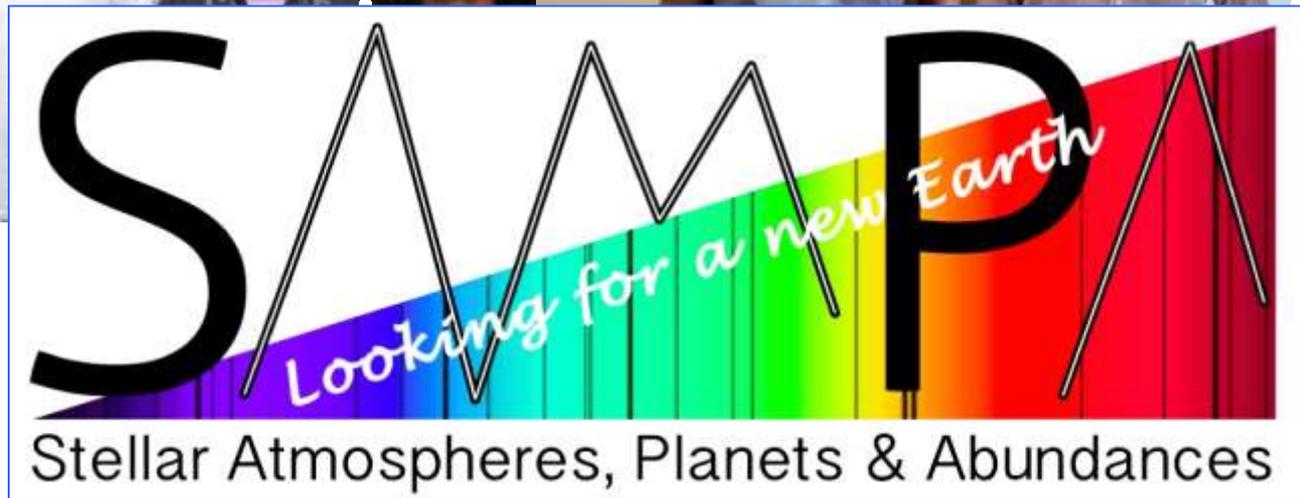
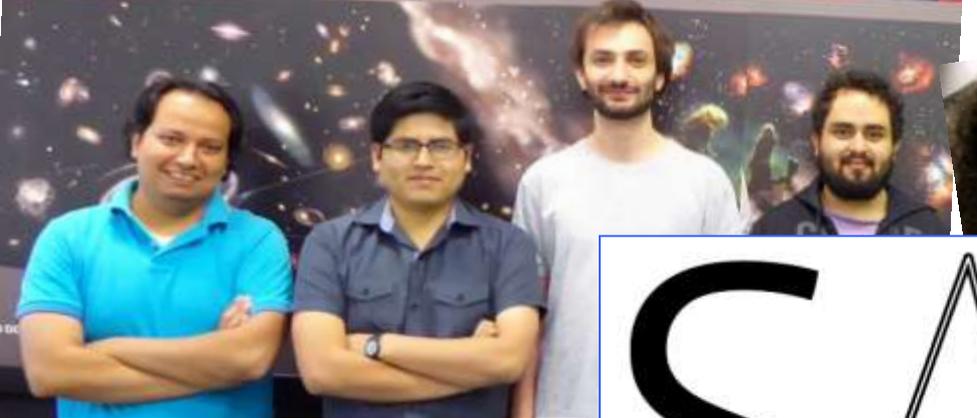
A stylized white silhouette of a city skyline with various building shapes, set against a background of a blue brick pattern. The skyline is positioned above the text 'Stellar Atmospheres, Planets & Abundances'.

Stellar Atmospheres, Planets & Abundances

A background of a brick pattern with a vertical color gradient from green at the top to red at the bottom. The word 'SAMPAA' is written in large white letters across this background.

# SAMPAA

# SAMPA @ IAG/USP



# 15 artigos publicados por SAMPA em revistas internacionais em 2016

**Astronomy  
&  
Astrophysics**

A&A 589, A65 (2016)  
DOI: [10.1051/0004-6361/201527477](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527477)  
© ESO 2016

## Serendipitous discovery of the faint solar twin Inti 1<sup>★</sup>

Jhon Yana Galarza<sup>1</sup>, Jorge Meléndez<sup>1</sup>, and Judith G. Cohen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, IAG, Departamento de Astronomia, São Paulo, Rua do Matão 1226, 05508-090 SP, Brasil

[10.1051/0004-6361/201527439](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201527439)  
© ESO 2016

Monthly Notices  
of the  
ROYAL ASTRONOMICAL SOCIETY  
MNRAS 457, 3934–3948 (2016)  
Advance Access publication 2016 January 29

## First high-precision differential metal

Henrique Reggiani<sup>1</sup>, Jorge Meléndez<sup>1</sup>, D

<sup>1</sup> Universidade de São Paulo, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Rua do Matão 1226, Cidade Universitária, 05508-900 São Paulo, Brasil

## The Hyades open cluster is chemically inhomogeneous

F. Liu,<sup>1★</sup> D. Yong,<sup>1</sup> M. Asplund,<sup>1</sup> I. Ramírez<sup>2</sup> and J. Meléndez<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Research School of Astronomy and Astrophysics, Australian National University, Canberra, ACT 2611, Australia  
<sup>2</sup> McDonald Observatory and Department of Astronomy, University of Texas at Austin, 2515 Speedway, Austin, TX 78712-1205, USA  
<sup>3</sup> Departamento de Astronomia do IAG/USP, Universidade de São Paulo, Rua do Matão 1226, São Paulo 05508-900, SP, Brasil

<http://www.astro.iag.usp.br/~jorge/ps>

Home

Program

Registration

SOC / LOC

Participants

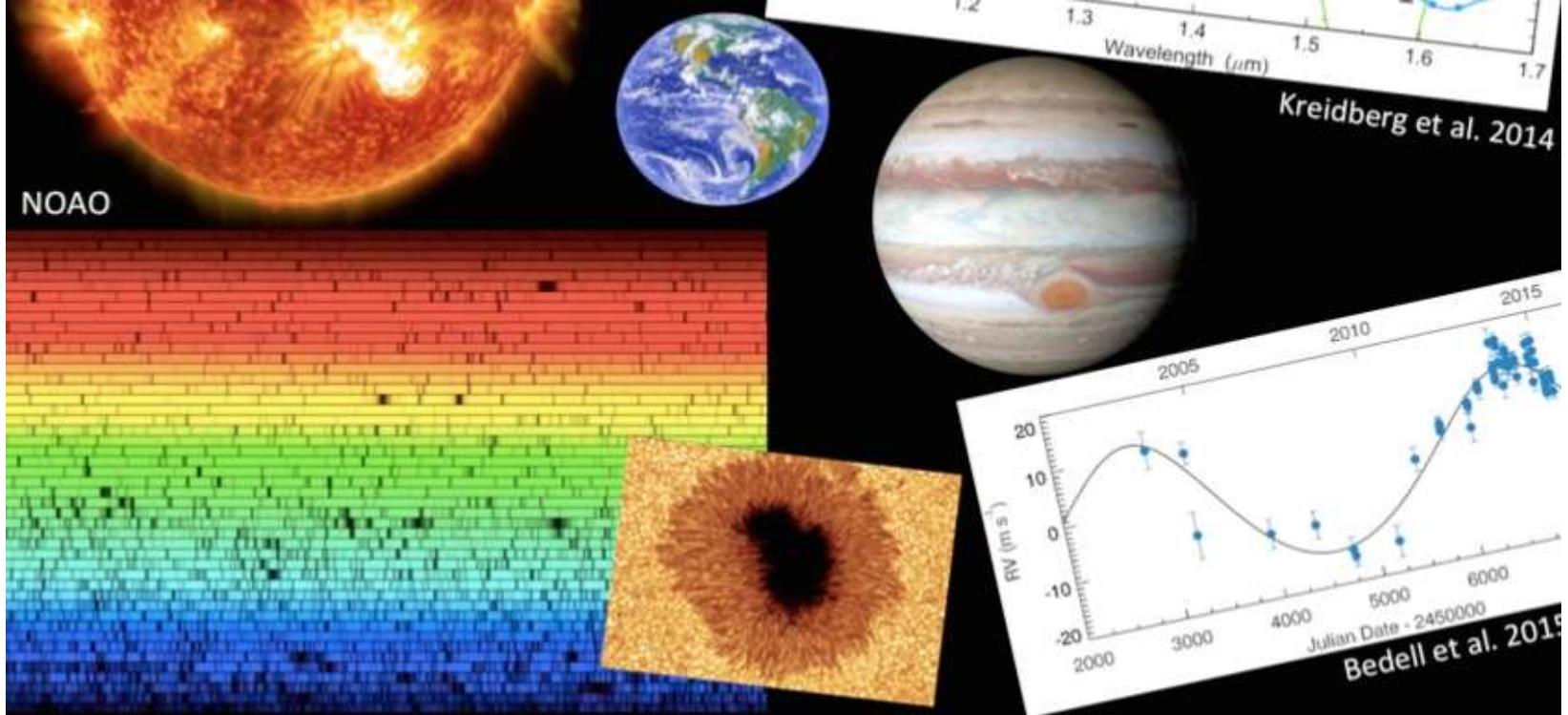
Local Info

# PRECISION SPECTROSCOPY 2016:

*Abundances, nucleosynthesis and chemical evolution*

19-21 September 2016, Porto Alegre, Brazil





# Precision Spectroscopy 2017

## Towards Earth 2.0

*São Paulo, 1-4 August 2017*

[www.astro.iag.usp.br/~sampa/ps2017/](http://www.astro.iag.usp.br/~sampa/ps2017/)

Exoplanet detection with radial velocities, stellar activity, chemical signatures of planets, exoplanet atmospheres with spectroscopy, planetary dynamics.

## Campanha 2016



Financie o grupo SAMPA na participação em reuniões científicas

102 %

SAMPA (Stellar Atmospheres, Planets and Abundances) é um grupo de pesquisa do Departamento de Astronomia da USP liderado pelo Prof. Jorge Melendez e composto por um pós-doutorando, três doutorandos, dois mestrandos e um aluno de iniciação científica.

**R\$ 8.000,00**

Objetivo

**R\$ 8.172,14**

Arrecadado

**R\$ 0,00**

Boletos Pendentes 



## Ajude o grupo SAMPA na participação em reuniões científicas

**Campanha 2017: 19/abril – 10/junho**

**0.83 %**



Vakinha de  
**Marília Ga...**  
São Paulo/SP

Criada em  
19/04/2017

Encerra em  
10/06/2017



**contribua**

**R\$ 15.000,00**

Objetivo

**R\$ 125,00**

Arrecadado

**R\$ 151,00**

Boletos Pendentes ?

O grupo de pesquisa em Astronomia SAMPA está realizando uma nova campanha de arrecadação de fundos. O objetivo é financiar a participação de nossos estudantes em diversos congressos científicos pelo mundo. Sua doação contribuirá com o desenvolvimento da Astronomia no Brasil e você ainda poderá receber uma recompensa por isso.



## O GRUPO

Somos um grupo de estudo no Departamento de Astronomia da Universidade de São Paulo. Nosso grupo é composto por 8 pesquisadores, sendo 1 aluno de iniciação científica, 2 alunos de Mestrado, 3 alunos de Doutorado, 1 Pós-doutorando e liderados pelo Professor Jorge Meléndez. Nossas pesquisas estão concentradas no estudo de estrelas, planetas, aglomerados estelares e na evolução da via Láctea através de cuidadoso estudo de abundâncias químicas. O grupo tem feito contribuições fundamentais em suas áreas de pesquisa, com diversos destaques na mídia nacional e internacional.

## VIDEO



## ÚLTIMAS NOTÍCIAS

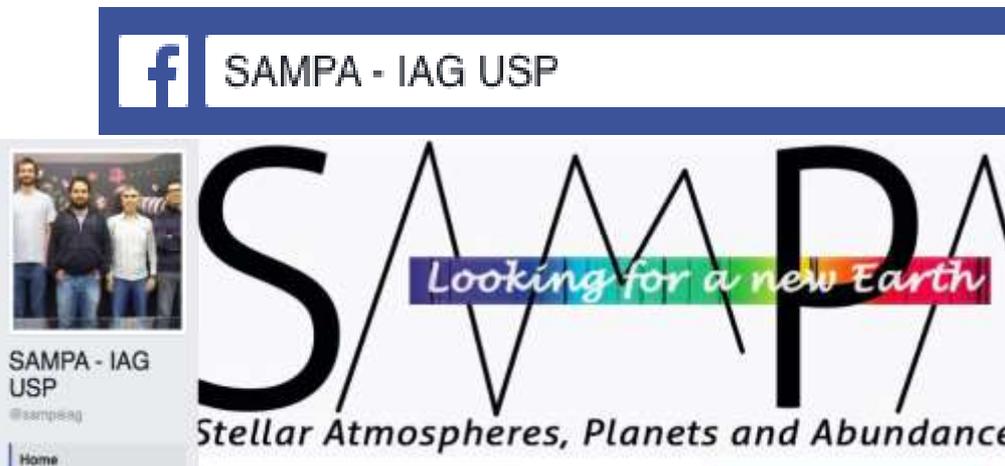


DESCOBERTA DE DOIS  
NOVOS PLANETAS -  
UM SUPER-NETUNO E  
UMA SUPER-TERRA

04 DE NOVEMBRO DE 2016

[LEIA MAIS](#)

<https://www.facebook.com/sampaig/>



**SAMPA - IAG USP** added 2 new photos.  
November 23 at 3:37pm · 🌐

Hoje às 14h Prof. Jorge Meléndez ofereceu palestra no IAG-USP para alunos e professores sobre a procura de gêmeas solares e o Sistema Solar 2.0!

[See Translation](#)

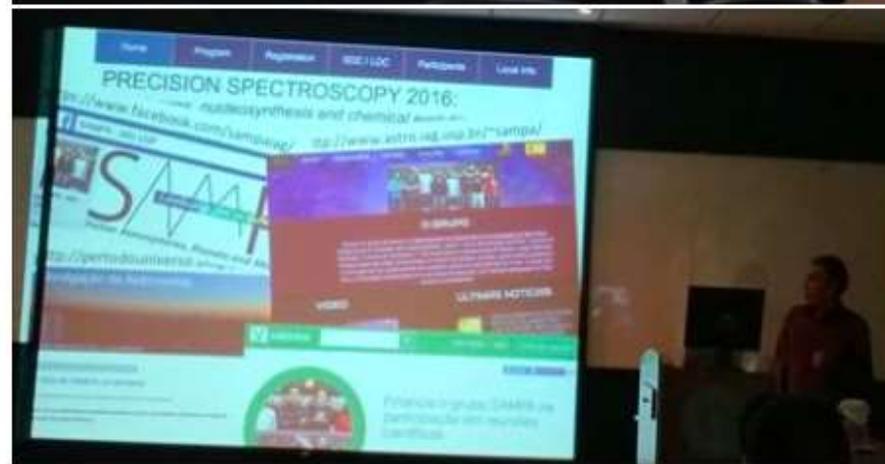
**SAMPA - IAG USP**  
November 4 at 5:44pm · 🌐



Matéria sobre a descoberta de super-Terra e super-Netuno pelo nosso grupo:

<http://g1.globo.com/.../cientistas-brasileiros-descobrem-dois...>

[See Translation](#)



https://twitter.com/AstroUSP



## AstronomiaUSP Brasil

@AstroUSP

Divulgação em Astronomia, IAG/USP, São Paulo, Brasil. Prof. Jorge Melendez. Astronomy outreach at Univ. São Paulo, Brazil.

📍 São Paulo, Brasil

**Resumo de 28 dia(s)** com alterações e

Tweets

**202** ↑ 66,9%

Impressões do Tweet

**224 mil**

TWEETS

**10,8 mil**

SEGUINDO

**191**

SEGUIDORES

**3.665**



AstronomiaUSP Brasil @AstroUSP · 21 h

Agradeça Júpiter

Ele evita que Netuno chegue perto demais e dê um chute letal nas nádegas terráqueas

[@revistagalileu](#)

[revistagalileu.globo.com/Ciencia/notici...](http://revistagalileu.globo.com/Ciencia/notici...)

# GALILEU

Buscar



## Astrônomos da USP descobrem dois novos planetas

E eles revelam a trágica história de um terceiro planeta engolido por sua estrela



<http://pertodouniverso.blogspot.com.br>

## Divulgação de Astronomia

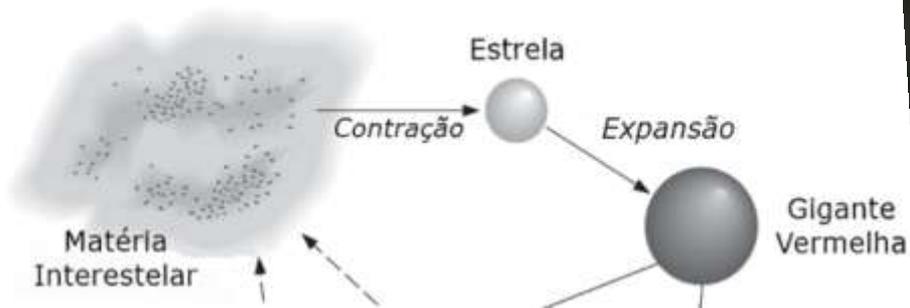


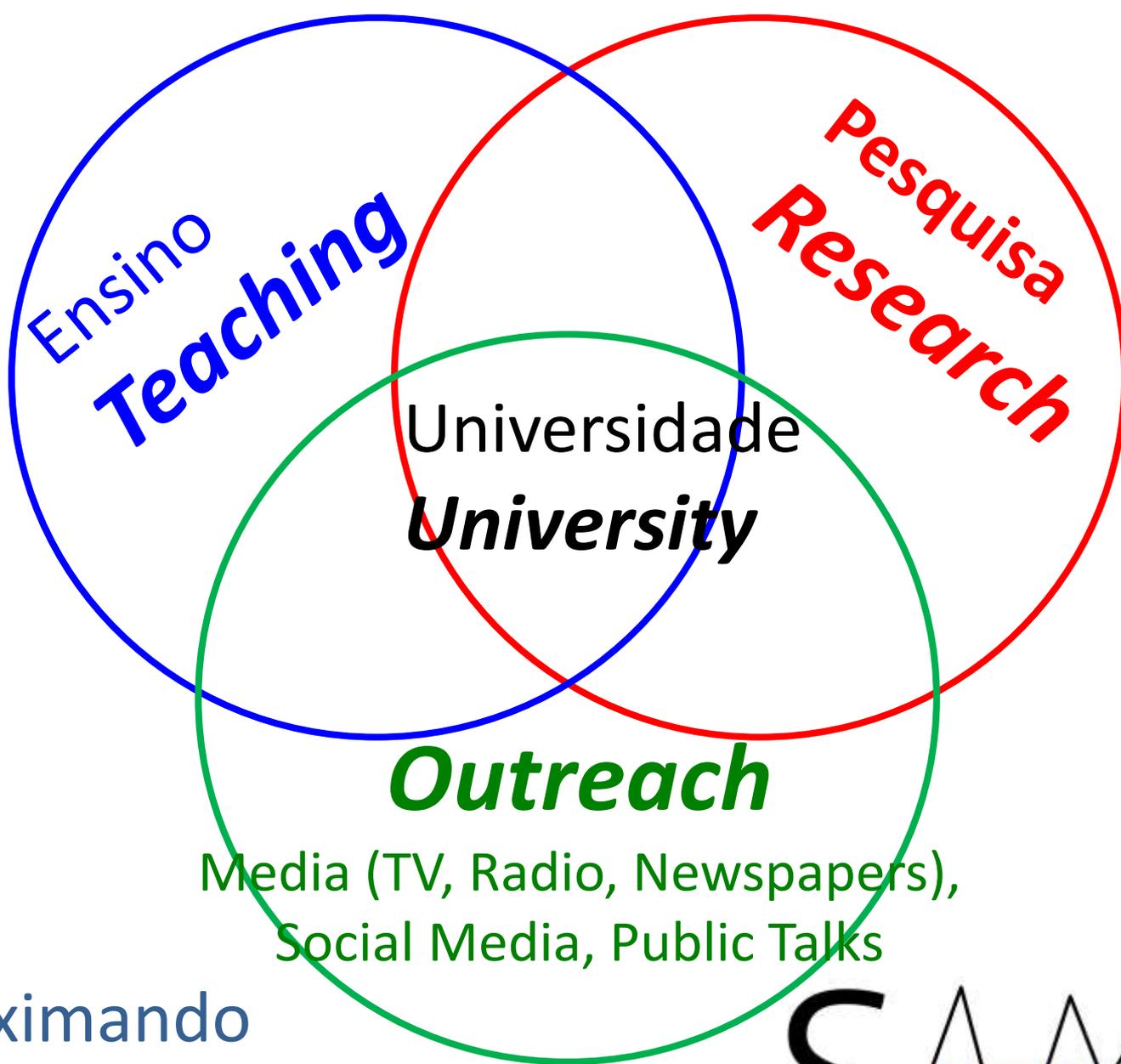
domingo, 20 de novembro de 2016

## O ciclo de matéria no Universo

Por Victoria Pardini, Giovani Vicentin e Rafael Ishida, alunos do Pro

**Cada um dos elementos da tabela periódica por evolução do nosso Universo.**





Aproximando  
cientistas e o público

# Divulgação do Júpiter gêmeo em torno de estrela gêmea solar

Jornal Nacional:  $67000 \times 3 \times 24$  pontos =  
4,8 mi grande São Paulo



# Divulgação de descoberta de Júpiter gêmeo

**FOLHA DE S. PAULO**

**Mensageiro Sideral**

De onde viemos, onde estamos e para onde vamos

## O primeiro exoplaneta brasileiro

POR SALVADOR NOGUEIRA

15/07/15 @ 15:23

[Compartilhar](#) [Twitter](#) [Google+](#) [LinkedIn](#) < 471

[OUVIR O TEXTO](#)

O ESO (Observatório Europeu do Sul) escolheu o dia seguinte à passagem da primeira espaçonave enviada da Terra por Plutão para anunciar a descoberta do primeiro exoplaneta brasileiro. Parabéns.



**O GLOBO**

## Descoberto planeta extrassolar 'gêmeo' de Júpiter

Na busca por uma 'Terra 2', equipe liderada por brasileiro identificou objeto na órbita de estrela parecida com nosso Sol

POR CESAR BAIMA

15/07/2015 11:00 / ATUALIZADO 15/07/2015 10:11

## Astrônomos brasileiros descobrem gêmeo de Júpiter orbitando gêmea do Sol

**GALILEU**

Busca por um Sistema Solar 2.0 acaba de ganhar um de seus mais promissores candidatos

16/07/2015 - 08H07 / ATUALIZADO 08H07 / POR ANDRÉ JORGE DE OLIVEIRA

[@grupofolha.com](#)  
[Facebook](#)

buscar

**ESTADÃO**  
**Ciência**

## 'Novo Júpiter' dá pista para Terra 2.0

GIOVANA GIRARDI - O ESTADO DE S. PAULO  
15 Julho 2015 | 12h 36

Gêmeo do gigante do Sistema Solar orbita estrela parecida com o Sol, o que sugere a existência de um planetinha como o nosso

# Divulgação do Júpiter gêmeo na imprensa internacional



## imprensa internacional

### Newly discovered Jupiter twin hints at new solar system similar to Earth's



By **Ben Brumfield**, CNN

🕒 Updated 1434 GMT (2134 HKT) July 16, 2015



## Jupiter's 'Twin' Found: Is This Solar System 2.0?



Encuentran gemelos de Júpiter y del Sol

by **Elizabeth Howell**, Space.com Contributor | July 16, 2015 08:35am ET

Las posibilidades de encontrar un sistema planetario como el nuestro parecen cada vez más cercanas.

## Scoperto un gemello di Giove che ruota attorno al sosia del sole

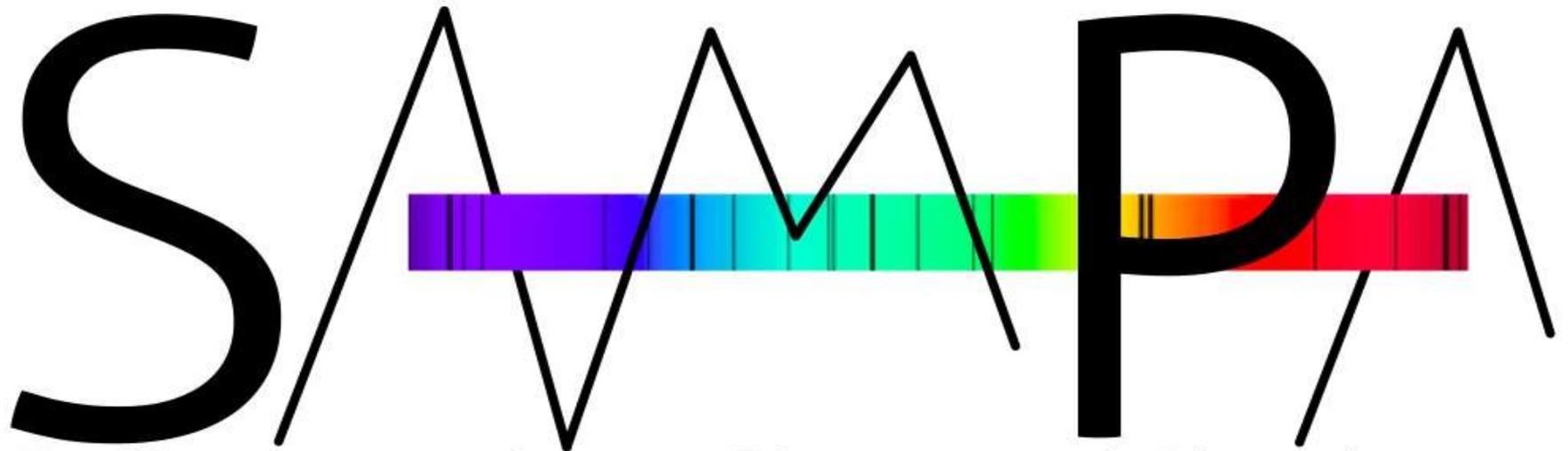
**16/07/2015 - 15:35** - Un gemello di Giove orbita attorno a una stella simile al nostro sole. A scoprirlo è stato un team internazionale di astronomi utilizzando il telescopio da 3,6 metri dell'Eso. L'esopianeta si trova a una distanza dalla sua stella (HIP 11915) simile a ...

Interesado em trabalhar ou colaborar  
com o grupo?



[jorge.melendez@iag.usp.br](mailto:jorge.melendez@iag.usp.br)

 [@DrJorgeMelendez](https://twitter.com/DrJorgeMelendez)



*Stellar Atmospheres, Planets and Abundances*