

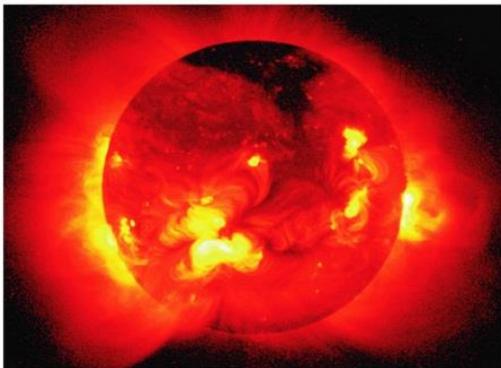


1400110

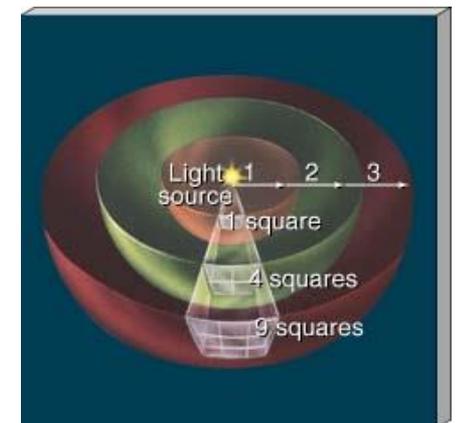
Laboratório de Física da Terra e do Universo

*Profa. Jane Gregorio-Hetem*

# Produção de Energia no Sol: Medida da Constante Solar



Copyright © 2004 Pearson Education, publishing as Addison-Wesley.



# Produção de Energia no Sol: Medida da Constante Solar

## RESUMO

- ❖ Produção de Energia;
- ❖ Densidade de Fluxo de Radiação;
- ❖ Luminosidade & Brilho aparente;
- ❖ Constante Solar

# Produção de Energia

Energia gerada por processos nucleares

A reação termonuclear básica nas estrelas da sequência principal\* envolve a cadeia **próton-próton**.

2 átomos de hidrogênio se fundem para formar um núcleo de deutério, um pósitron ( $e^+$ ) e um neutrino ( $\nu$ ). O neutrino escapa da estrela, o pósitron colide com um elétron e ambos são aniquilados, liberando energia.

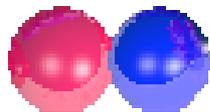


\* Sequência Principal: fase de equilíbrio hidrostático em que a estrela permanece a maior parte de sua vida (cerca de  $10^{10}$  anos para estrelas de 1 massa solar ( $1M_{\odot}$ ))

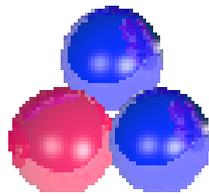
# Átomos e Isótopos - Revisão



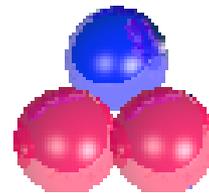
${}^1_1\text{H}^1$



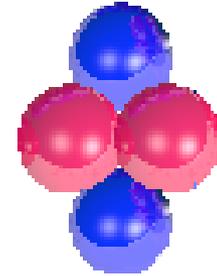
${}^2_1\text{H}^2 = \text{D}$   
= Deuterio



${}^3_1\text{H}^3 = \text{T}$   
= Tritio



${}^3_2\text{He}^3$



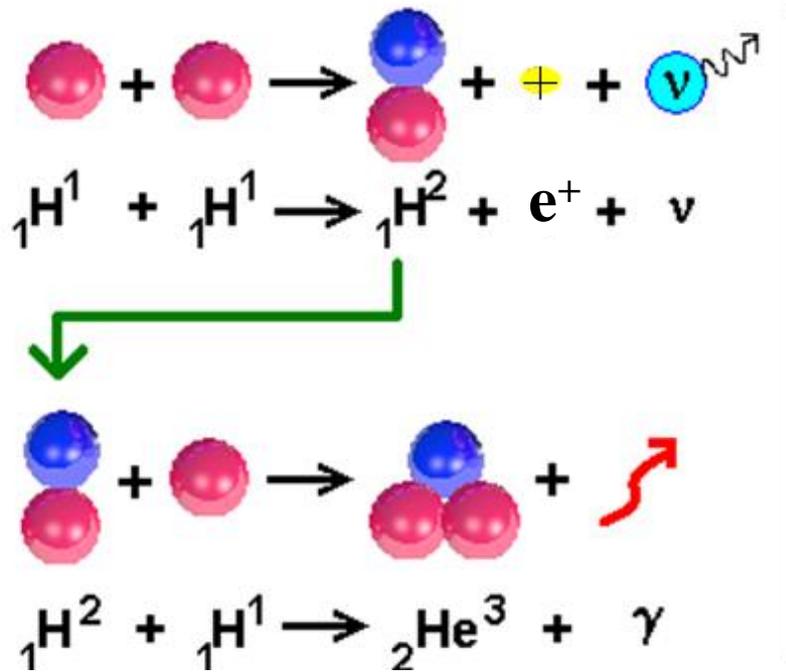
${}^4_2\text{He}^4$

Diferentes formas de um mesmo elemento  $\Rightarrow$  isótopo

Nomenclatura

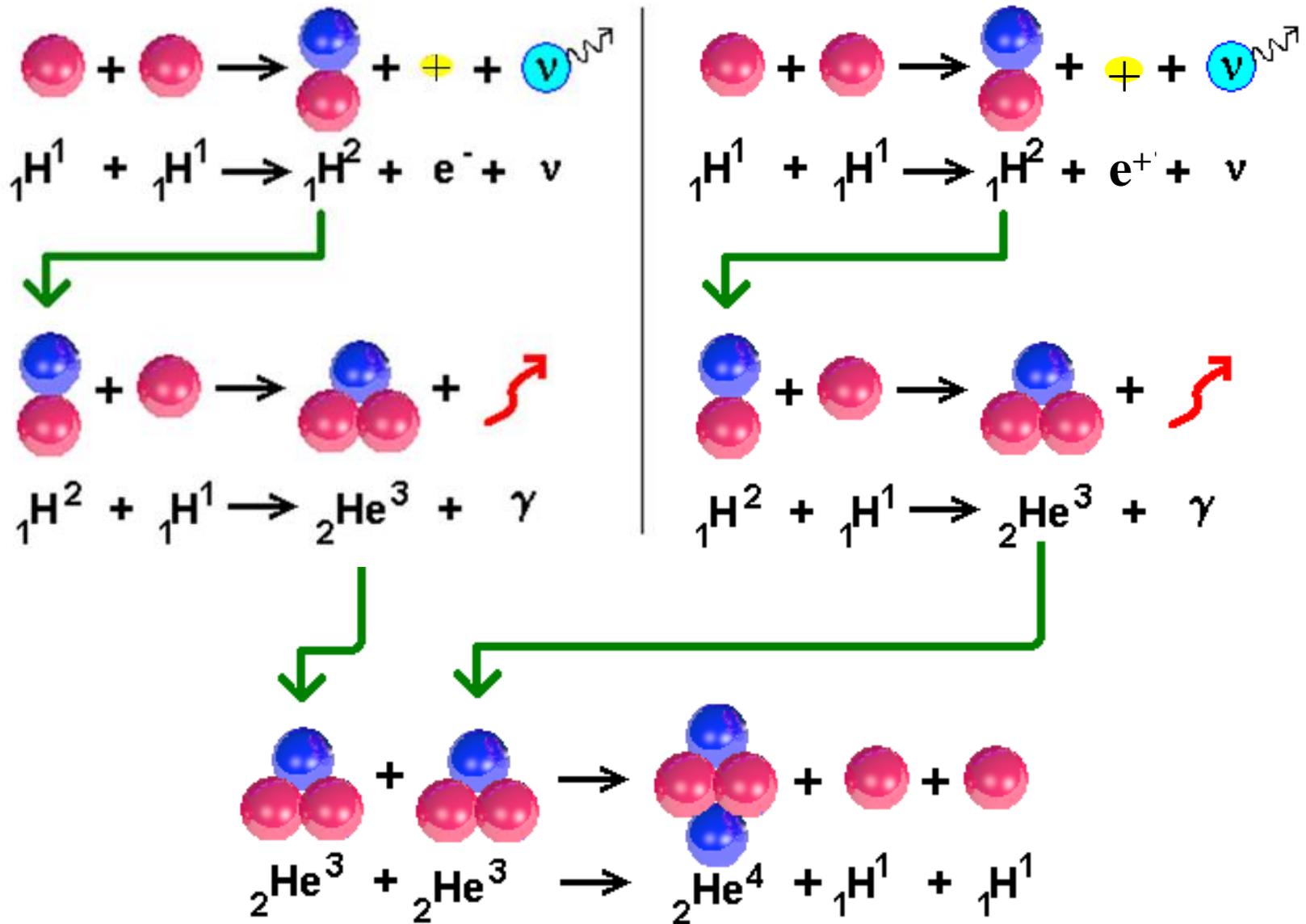
número atômico **Símbolo** número de massa

# Cadeia próton-próton

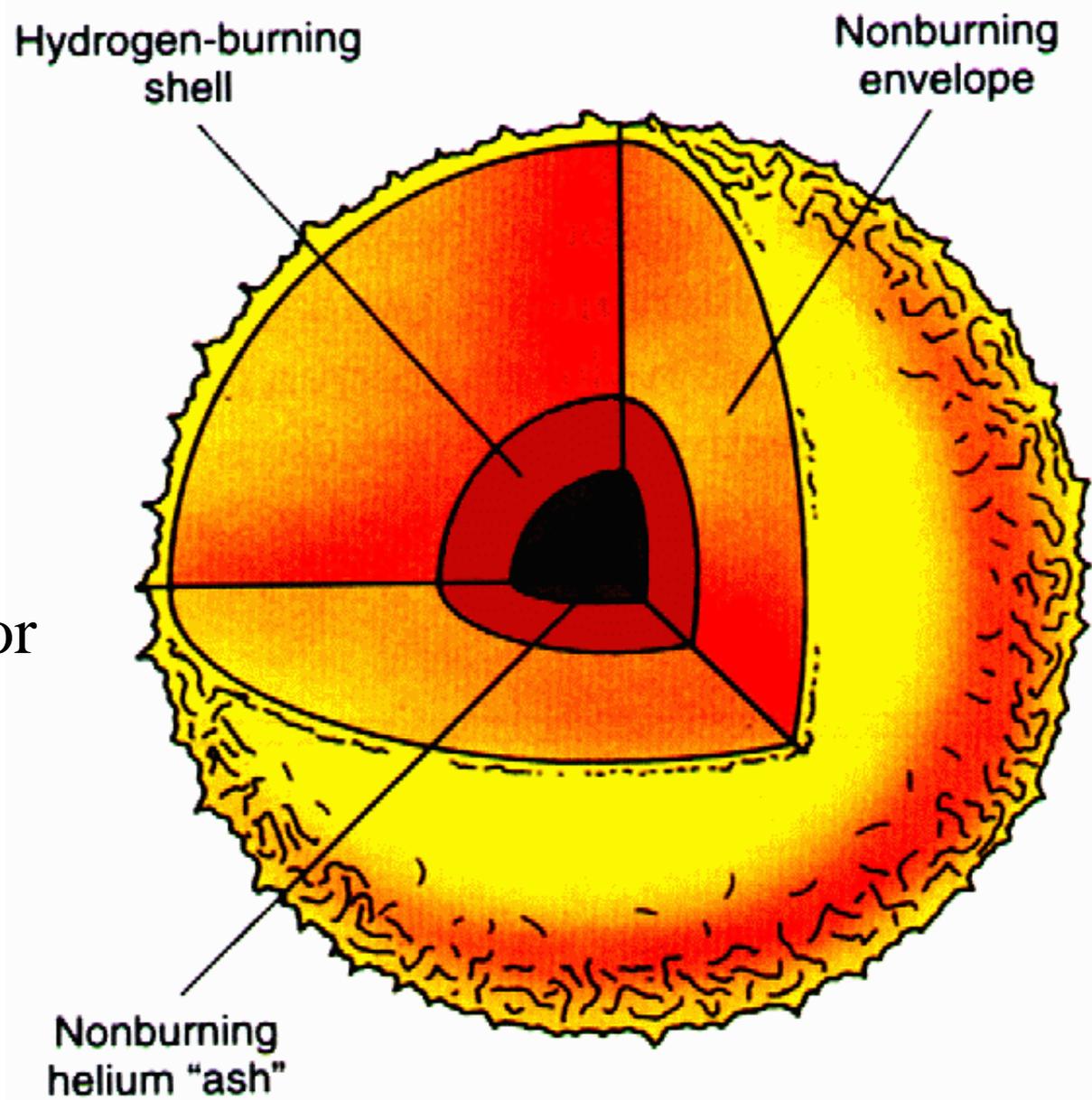


Deutério se funde a um outro átomo de hidrogênio para formar isótopo de hélio com 2 prótons e 1 nêutron, liberando energia na forma de fótons ( $\gamma$ )

# Cadeia próton-próton



Na região de  
 $10^7 < T < 10^8$  K  
forma-se uma  
camada onde ocorre  
queima de H ao redor  
de um caroço (*core*)  
de He ainda inerte.



# Nucleossíntese Estelar quiescente

- H  $\rightarrow$  He (durante a Sequência Principal)
- Em estrelas massivas ( $> 8 M_{\odot}$ )  $\rightarrow$  temperaturas altas o suficiente  $\rightarrow$  outros elementos podem ser “queimados” sucessivamente.
- A **formação** de um **núcleo mais pesado** a partir de um **núcleo mais leve libera energia**.
- A partir do **Fe<sup>56</sup> fissão** dos elementos gera energia.

# A distância afeta o brilho das estrelas?

- **Luminosidade**: Variação de energia por unidade de tempo emitida na superfície da estrela.

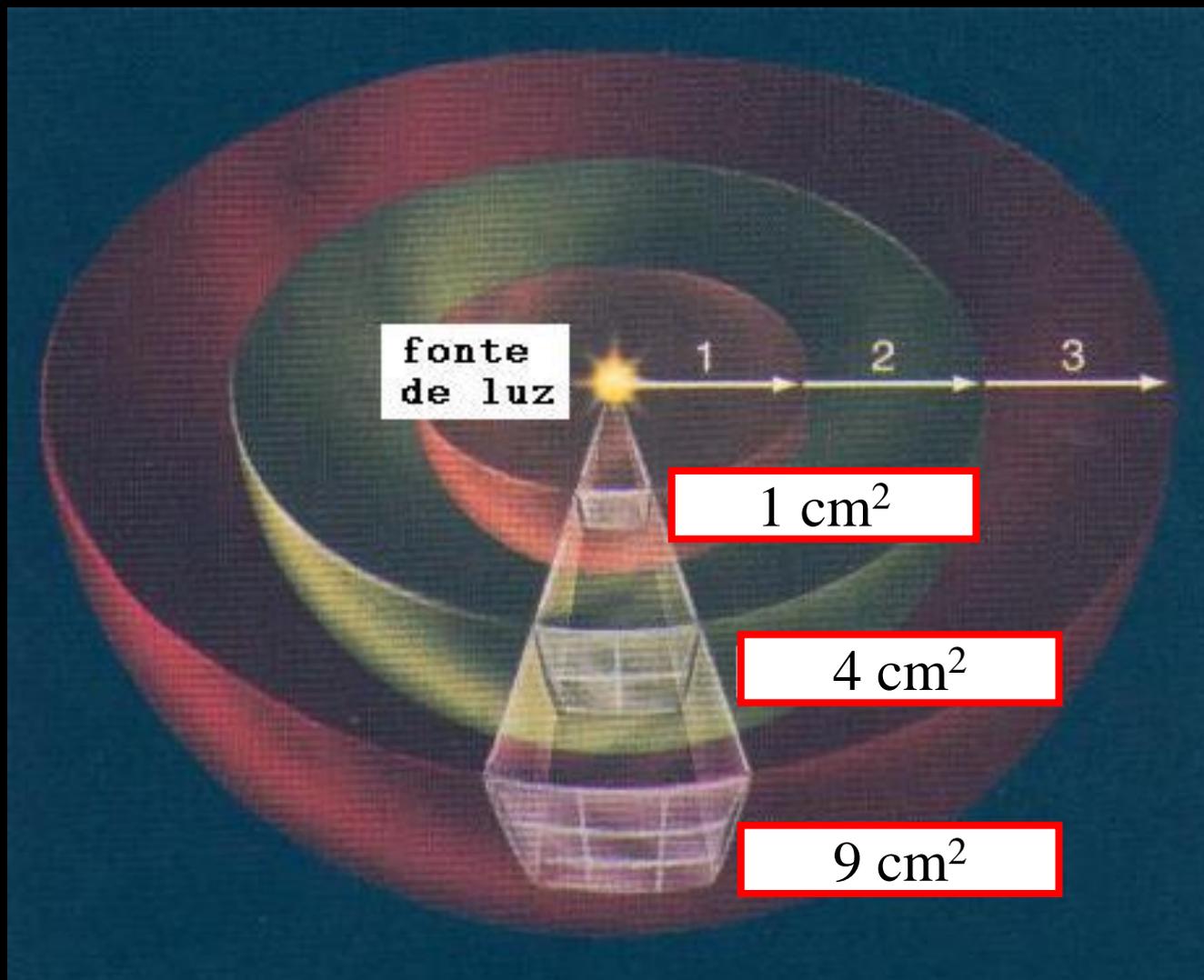
Ex: Sol:  $L_{\odot} \sim 4 \times 10^{26}$  Watts.

é **intrínseca**: não depende da localização ou do movimento, mas não é diretamente observável.

- **Brilho aparente** pode ser medido (energia detectada numa dada área de superfície coletora, num intervalo de tempo).

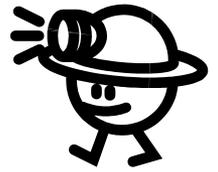
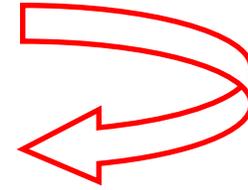


O brilho aparente (fluxo detectado) **diminui com o quadrado da distância.**



# Como a distância afeta o brilho das estrelas?

Brilho Aparente



quantidade de energia coletada em um detector.

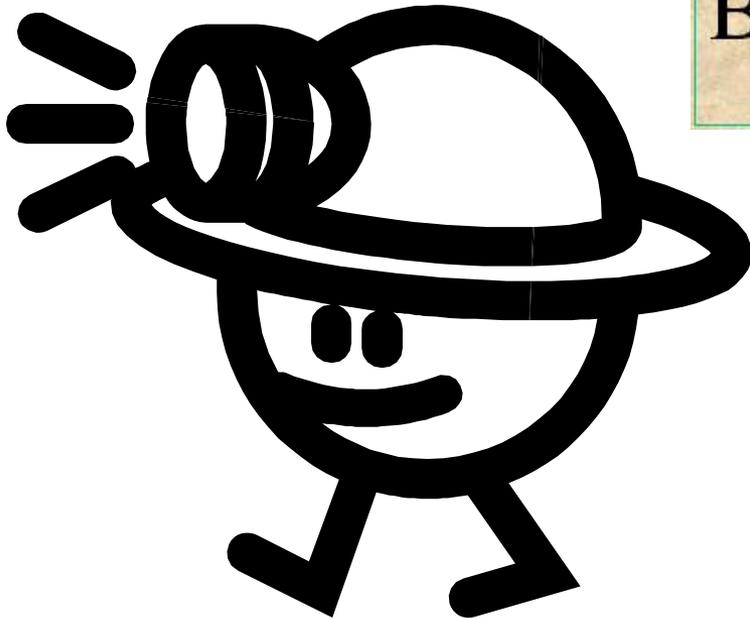
Brilho aparente  $\propto$

$$\frac{\text{Luminosidade}}{\text{Distância}^2}$$

magnitude  $\propto -2,5 \log_{10} \text{Fluxo}$



$$\text{Fluxo} \propto 10^{-(0,4 * \text{magnitude})}$$



A yellow scroll graphic with a dark brown border and rounded corners. The scroll is unrolled in the center, with the top and bottom edges curling up. The text is centered on the unrolled portion.

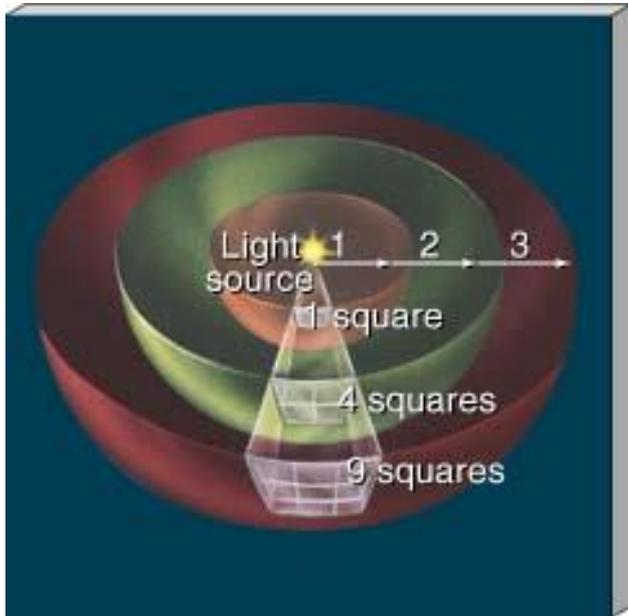
# CONCEITOS BÁSICOS

## RESUMO

# Brilho Aparente, Luminosidade, Raio e Temperatura da estrela

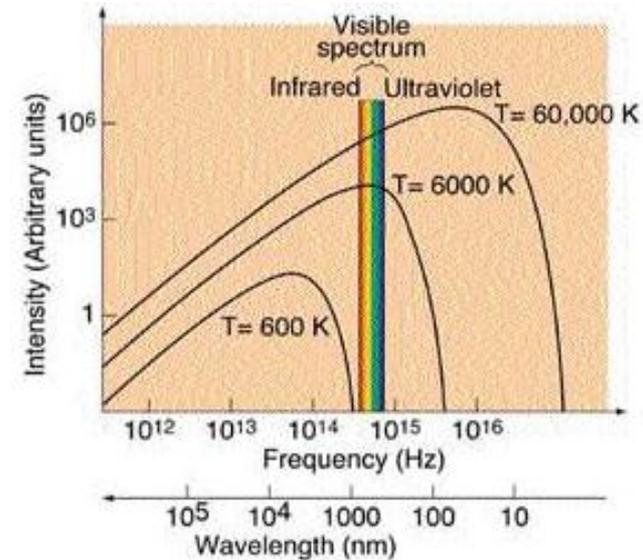
$$L_* = 4 \pi R_*^2 \sigma T_*^4$$

$$m(d) \propto -2,5 \log F(d) = -2,5 \log \left( \frac{L_*}{4 \pi d^2} \right)$$



$$F(d) = \frac{L_*}{4 \pi d^2}$$

$$F(R_*) = \frac{L_*}{4 \pi R_*^2}$$



$$F(R_*) = \sigma T_*^4$$

**Stefan-Boltzman**

**Constante Solar:** densidade de fluxo  $F_{\odot}(d=1\text{UA}) \sim 1360 \text{ W m}^{-2}$

$$L_* = 4 \pi R_*^2 \sigma T_*^4$$

$$F(d) = \frac{L_*}{4 \pi d^2}$$

$$F(d) = \frac{\sigma T^4 4 \pi R^2}{4 \pi d^2}$$

$$F = \frac{\sigma T^4 R^2}{d^2} = \frac{(5,6710^{-8}) \times (5778)^4 \times (6,9610^8)^2}{(1,49610^{11})^2}$$

$$\left. \begin{aligned} 1 \text{ U.A.} &= 1,496 \cdot 10^{11} \text{ m} \\ \sigma &= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4} \\ R_{\odot} &= 6,96 \cdot 10^8 \text{ m} \\ T_{\odot} &= 5778 \text{ K} \\ L_{\odot} &= 3,826 \cdot 10^{26} \text{ W} \end{aligned} \right\}$$

$$F = \frac{(5,6710^{-8}) \times (1,11 \cdot 10^{15}) \times (4,8410^{17})}{(2,2410^{22})}$$

# Experimento

- ✓ Medir **variação de temperatura** (durante 10 min) em um volume  $V$ (ml) de  $H_2O$  exposto ao Sol;
- ✓ Calcular  $Q = m c \Delta T$ , onde  $c = 1 \text{ cal g}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ ;
- ✓ Considerando a área exposta  $\Delta S$  ( $\text{cm}^2$ ), calcular a constante solar dada por  $Q / \Delta S$  ( $\text{cal cm}^{-2}$ );
- ✓ **Comparar** com  $F_{\odot} = 1360 \text{ W m}^{-2}$ .

## Conversão de unidades:

1 cal = 4,2 Joules, mas 1 Watt = 1 J s<sup>-1</sup>,  
então 1 cal s<sup>-1</sup> = 4,2 W

$$\frac{1 \text{ cal}}{\text{min}} = \frac{4,2 \text{ W}}{60} \approx \frac{1}{15} \text{ W}$$



- ✓ Deve ser levada em conta a **variação de temperatura na sombra** (mesmo tempo de 10 min e mesmo volume de  $H_2O$ ).



*Experimento de determinação da constante solar pelo derretimento de gelo escurecido (Santa Rosa, RS, 05/2003).*

(vide <http://www.if.ufrgs.br/oei/exp/fsol.htm>)

- ✓ Buscar valores médios (pelo menos 2 medidas) de  $\Delta T$ , tanto para a sombra como para a exposição ao Sol).

# BIBLIOGRAFIA (AGA0215)

## Evolução Estelar (Cap. 11)

### Meteorologia Experimento 3