

# Meio Interestelar (cap. 14)

AGA215

Elisabete M. de Gouveia Dal Pino

- **Astronomy: A Beginner's Guide to the Universe, E. Chaisson & S. McMillan (Caps. 11)**
- **Introductory Astronomy & Astrophysics, M. Zeilek, S. A. Gregory & E. v. P. Smith (Cap. 19)**
- **Apostila, J. Gregorio-Hetem, V. Jatenco-Pereira, C. Mendes de Oliveira ([www.iag.usp.br/~dalpino/aga215](http://www.iag.usp.br/~dalpino/aga215))**
- **Agradecimentos Jane Gregorio-Hetem**

# Meio Interestelar

- **Propriedades:** Temperatura; Densidade; Composição; Opacidade
- **Nuvens Interestelares:** nuvens escuras, nebulosas de emissão, nuvens moleculares
- Linha de emissão em 21 cm

# Meio Interestelar (MIS)

- MIS = meio entre as estrelas:  
nele estrelas nascem  
para ele retornam elementos de  
estrelas velhas ao explodirem
- Quantidade de materia do MIS  $\approx$  M contida  
em estrelas
- Ingredientes do MIS: **gas + poeira**



Extensa  
regiao do  
MIS (30°)

# Meio Interestelar

## Gas:

- constituído **átomos + moléculas pequenas**
- **regiões com gás: transparentes** a todos comprimentos de **com exceção de linhas de absorção estreitas:**
  - o **gás** praticamente **não bloqueia radiação**

## Poeira:

- **Composição mais complexa**
- **Aglomerados de átomos e moléculas:** similar fumaça, nevoa, poeira de giz
- **Luz de estrelas + distantes: não penetra poeira densa** (~ farol de carro que não penetra neblina densa)
- **Diametro partícula de poeira:  $d_g = 10^{-7} \text{ m} \approx \lambda_{\text{visível}}$**

# Opacidade do MIS

- **Gás:** átomos e moléculas (pequenas) – praticamente não bloqueia radiação eletromagnética.
- **Poeira:** grãos de poeira (silicatos, etc.) - interfere na passagem da luz proveniente das estrelas  
  
maiores concentrações ⇒ um maior efeito de “extinção” da luz.

# Extinção ou Opacidade

- Dimensão dos grãos:  $d_g \sim 10^{-7} \text{ m} \sim \lambda$  (luz visível)
  - Luz pode ser absorvida ou espalhada por poeira com:  
 $d_g \geq \lambda_{\text{radiação}}$
  - Extinção (absorção ou espalhamento) da luz:  
**tanto maior quanto menor  $\lambda$**

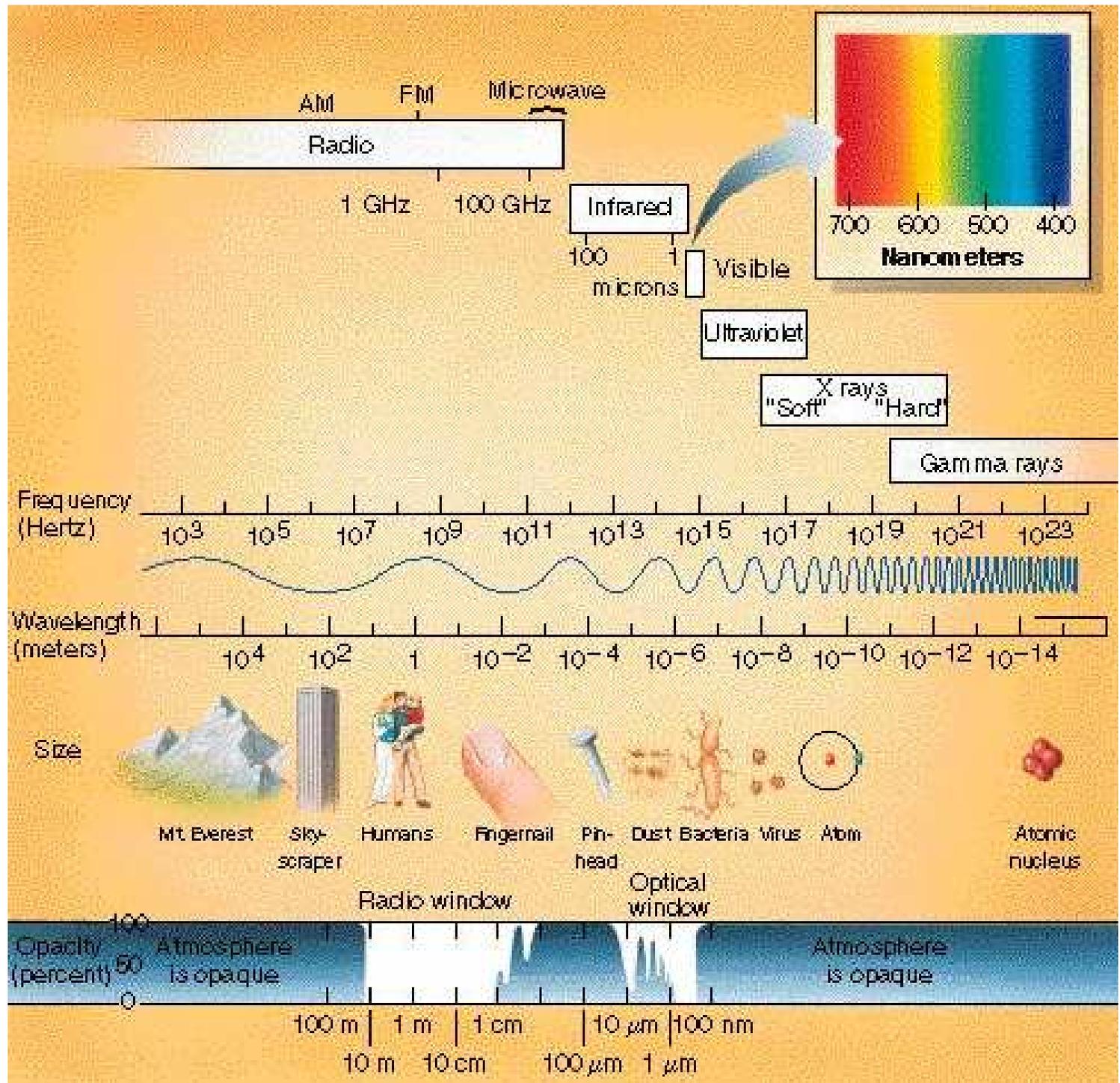
Regiões com poeira IS:

**transparentes** a ondas de rádio e IV:  $d_g \ll \lambda(\text{rádio}), \lambda(\text{IV})$

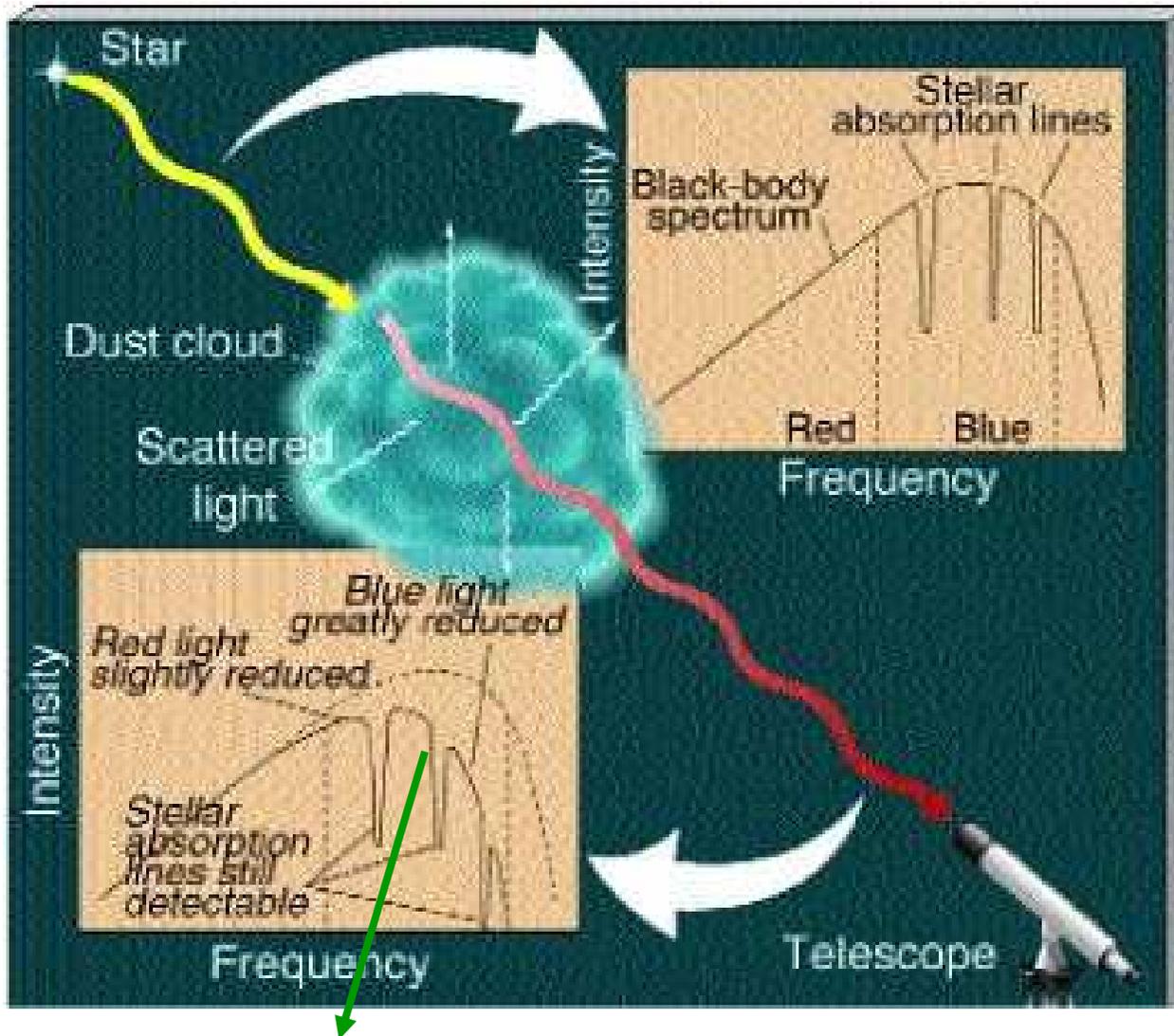
**opacas** a  $\lambda$ s do UV, raio X e raios gama:  $d_g \gg \lambda$

- **Nuvens densas de poeira** são melhor observáveis no **infravermelho** ou em **rádio** ( $10^{-6} \text{ m}$  a  $10^{-3} \text{ m}$ ),  
Para  $\lambda$ s mais curtos (óptico, ultravioleta): elas são **opacas**  
→ **nuvens escuras.**

# Lembrando do o espectro eletromagnético



# Opacidade → Avermelhamento



Estrela fica menos brilhante e + **vermelha** por causa da absorção

Como opacidade:  
**tanto** > quanto <  $\lambda$

→ Luz de estrelas mais distantes perde  $\lambda$ s curtos (**azuis**)

→ Além de ter brilho menor, estrelas parecem + **vermelhas**

~ processo que produz pôr do Sol avermelhado na Terra: poeira do horizonte absorve os  $\lambda$ s azuis e deixa passar os vermelhos

# Avermelhamento

- A **absorção maior dos  $\lambda$ s mais “azuis”** das estrelas distantes (além da diminuição do brilho total) faz com que elas sejam observadas mais avermelhadas do que realmente são – **avermelhamento interestelar:**

extinção visual



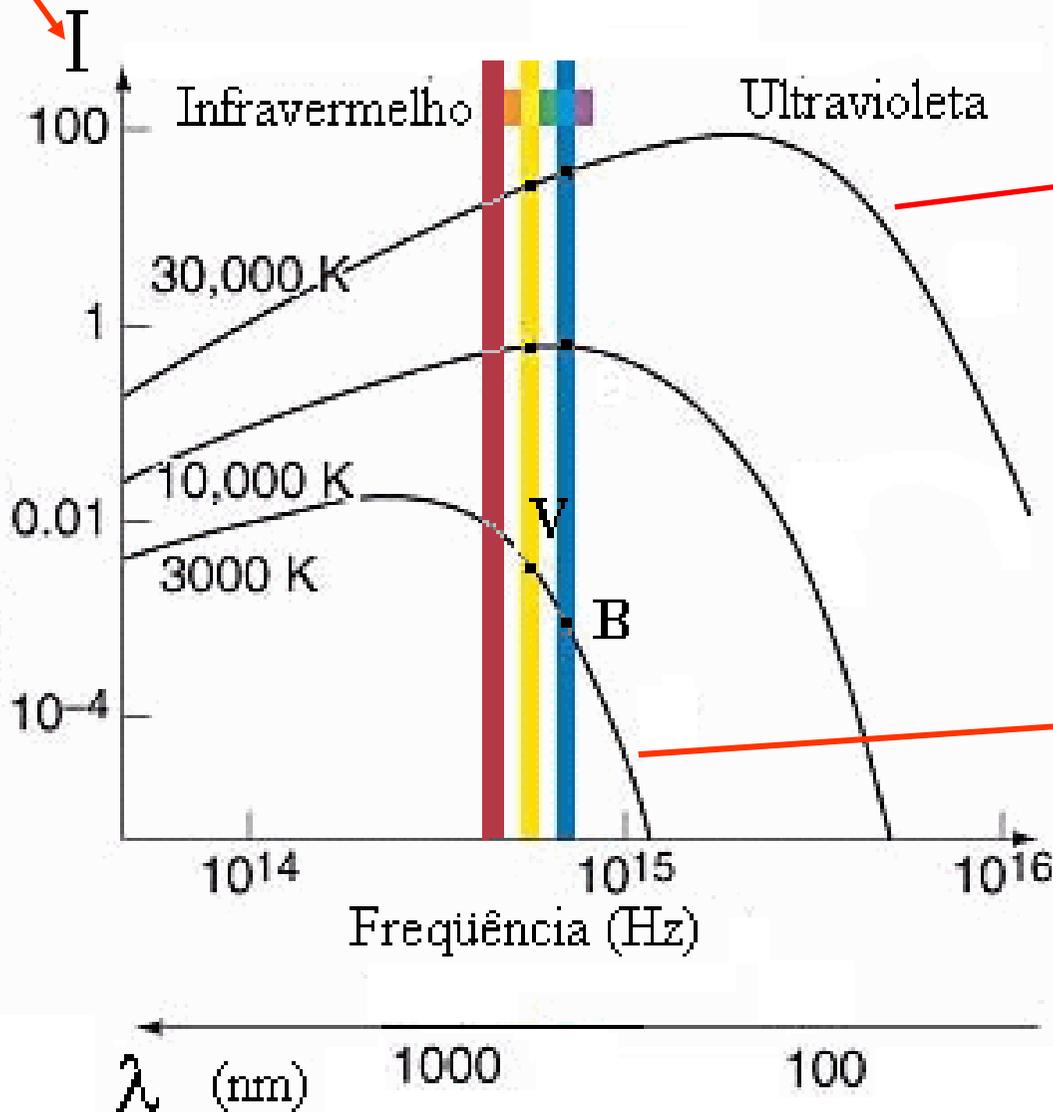
→ **Poeira IS:** pode aumentar magnitude aparente ( $m$ ) e a cor (B-V) → **avermelhamento:**

$$m = C - 2,5 \log F + A_V$$

$$A_V \propto \frac{1}{\lambda}$$

Fluxo

**Cor:**  $B-V = m_B - m_V = -2,5 \log (F_B / F_V)$



$F_B > F_V \Rightarrow B < V$

$[B-V] < 0$

Estrela quente, azulada

$F_B < F_V \Rightarrow B > V$

$[B-V] > 0$

Estrela fria, avermelhada

# Desavermelhamento

- **Linhas do espectro de absorção** das estrelas: **não são afetados pela poeira** presente no caminho entre a estrela e o observador
- Determinando tipo espectral e classe de luminosidade (pelo espectro)  $\Rightarrow$  **T e cor intrínseca da estrela  $(B-V)_o$** .
- Verifica-se o quanto o valor observado  **$[B-V]$**  foi aumentado pela extinção:

$$E(B-V) = [B-V] - (B-V)_o$$

- Correção do avermelhamento:

$$A_V = 3.1 E(B - V)$$

A diminuição geral da luz das estrelas pela matéria interestelar é chamada **extinção**.

Extinção afeta o brilho aparente

$$m = C - 2,5 \log F + A_\lambda$$

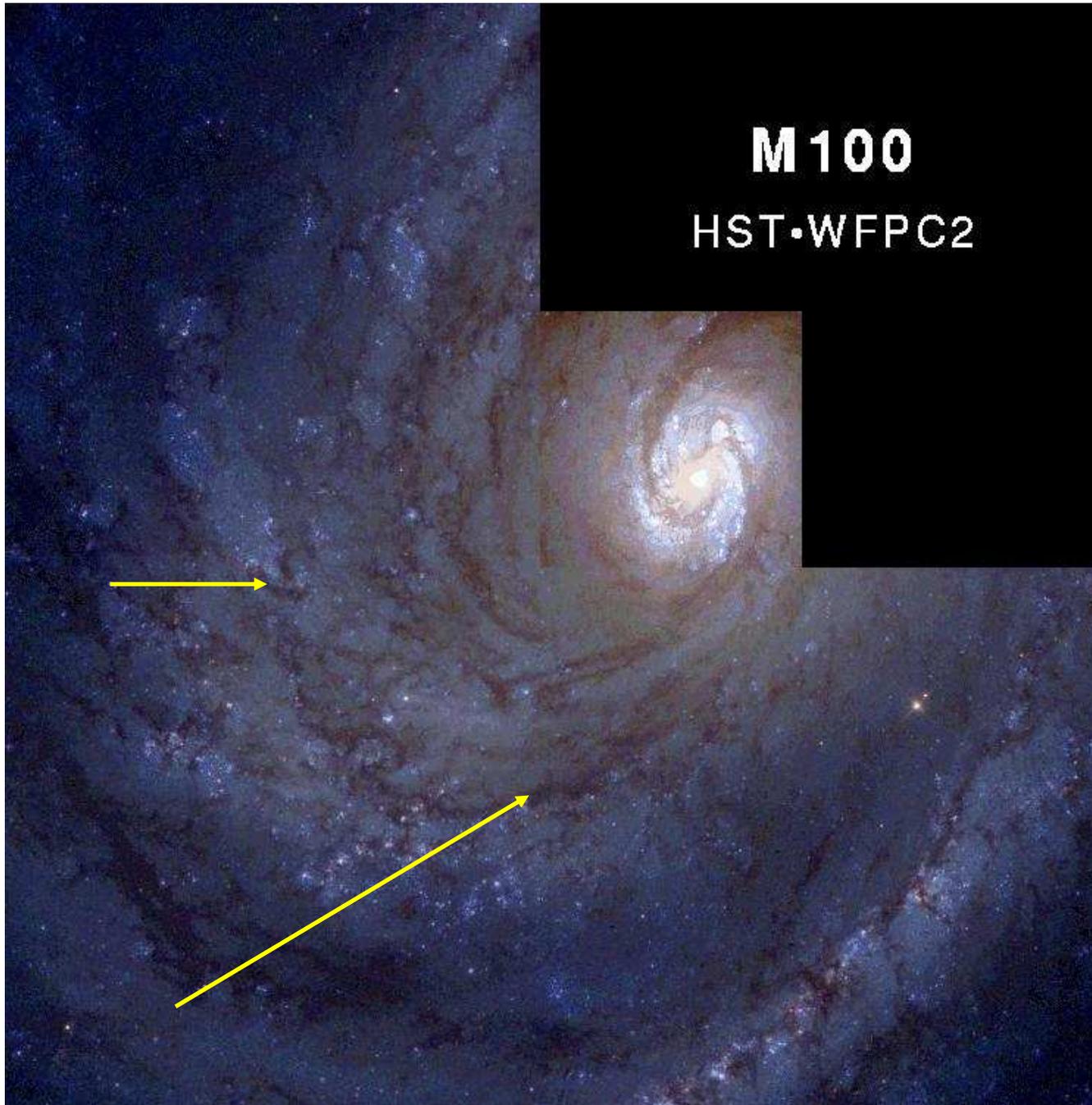
logo, pode afetar a distância

$$m - M = 5 \log \left( \frac{d}{10} \text{ pc} \right) + A_\lambda$$

Reescrevendo da seguinte forma:

$$\log d = \frac{(m - M - A_\lambda)}{5} + 1$$

- Como  $A_\lambda$  é positivo, a distância é realmente menor.





*John F. Gleason*

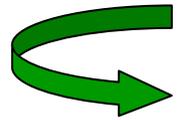
M i l k y W a y G a l a x y





# Propriedades Gerais

Estrelas  $\Rightarrow$  membros de um sistema  $\Rightarrow$   
Galáxia

 imersas em um meio **gás & poeira**  $\Rightarrow$   
**MIS**

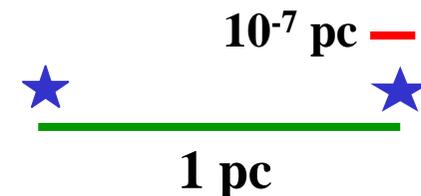
- **Temperatura do MIS: desde alguns graus Kelvin até alguns  $10^3$  K** (dependendo da proximidade de 1 estrela ou fonte de radiação)

**$\langle T \rangle \sim 100$  K  $\ll$  273 K = 0° C**

**$\rightarrow$  meio interestelar é muito frio**

# Densidades do gas difuso

- Densidade **média**  $\sim 10^{-24} \text{ g cm}^{-3}$
- **Gás**  $\rightarrow 1 \text{ átomo/cm}^3 = 10^6 \text{ átomos/m}^3$
- **Poeira**  $\rightarrow 1 \text{ partícula para } 10^{12} \text{ átomos (1/trilhao)}$
  
- Se juntássemos **gas+poeira do MIS** contido num volume do tamanho da Terra (a essa densidade): **caberia em alguns dedais ! (demonstrar)**
- Como entao tal **material tao rarefeito e esparso**: bloquear luz da estrela de modo tao eficaz?
- **Resposta ao paradoxo: vastissima extensao do MIS:**
  
- **Distância típica entre estrelas  $\sim 1 \text{ pc}^*$**
- **Tamanho típico das estrelas  $\sim 10^{-7} \text{ pc}$**



\*1parsec = 206.265 UA  $\sim 3,1 \cdot 10^{16} \text{ m} \sim 3,3 \text{ al}$ )

# Composição Química

- **Gás:**

→ **linhas de absorção formadas pelo gas IS** quando luz de estrela distante interage com o gas ao longo da linha de visada

→ **Absorção de radiação pelo gas** depende:  $T$ ,  $\rho$ , abundancia do gas

→ Como distinguir estas das **linhas de abs. da atmosfera da estrela?** ↓

linhas da **estrela** sao + largas

linhas do **gas IS**: + finas

- **Nuvem de gas isolada** → produzira **linhas de emissao do gas**

# Composição química

⇒ 70% Hidrogênio

molecular ( $H_2$ ) ↔ atômico: { neutro (HI)  
ionizado (HII)

⇒ ~ 30% He

⇒ < 1% elementos pesados (metais)

- **Distribuição:** nuvens densas ( $n \sim 10^3 \text{ cm}^{-3}$ )  
meio inter-nuvens ( $n < 1 \text{ cm}^{-3}$ )

# Composicao Quimica

- **Gás:**

→ Abundancia de alguns elementos mais pesados (alguns “metais”) como:

**C, O, Si, Mg, Fe**  **<< que no SS e nas estrelas**

→ **Razao possivel:**

esses elementos sao usados para **formar poeira IS !**

# Composicao Quimica

- Poeira:

- Observada no IV

- Constituida de: **silicatos, C, Fe**: sub-abundantes no gas!

- Possivelmente tambem contem:

- gelo “sujo” = agua congelada + amonia + metano + outras moleculas:**

- semelhante a cauda de cometas

# Nuvens interestelares

Gas e poeira: podem aglomerar-se em  
**nuvens ou nebulosas**

- **Nebulosa de Emissao**
- **Nebulosa de Poeira**
- **Nuvens moleculares**

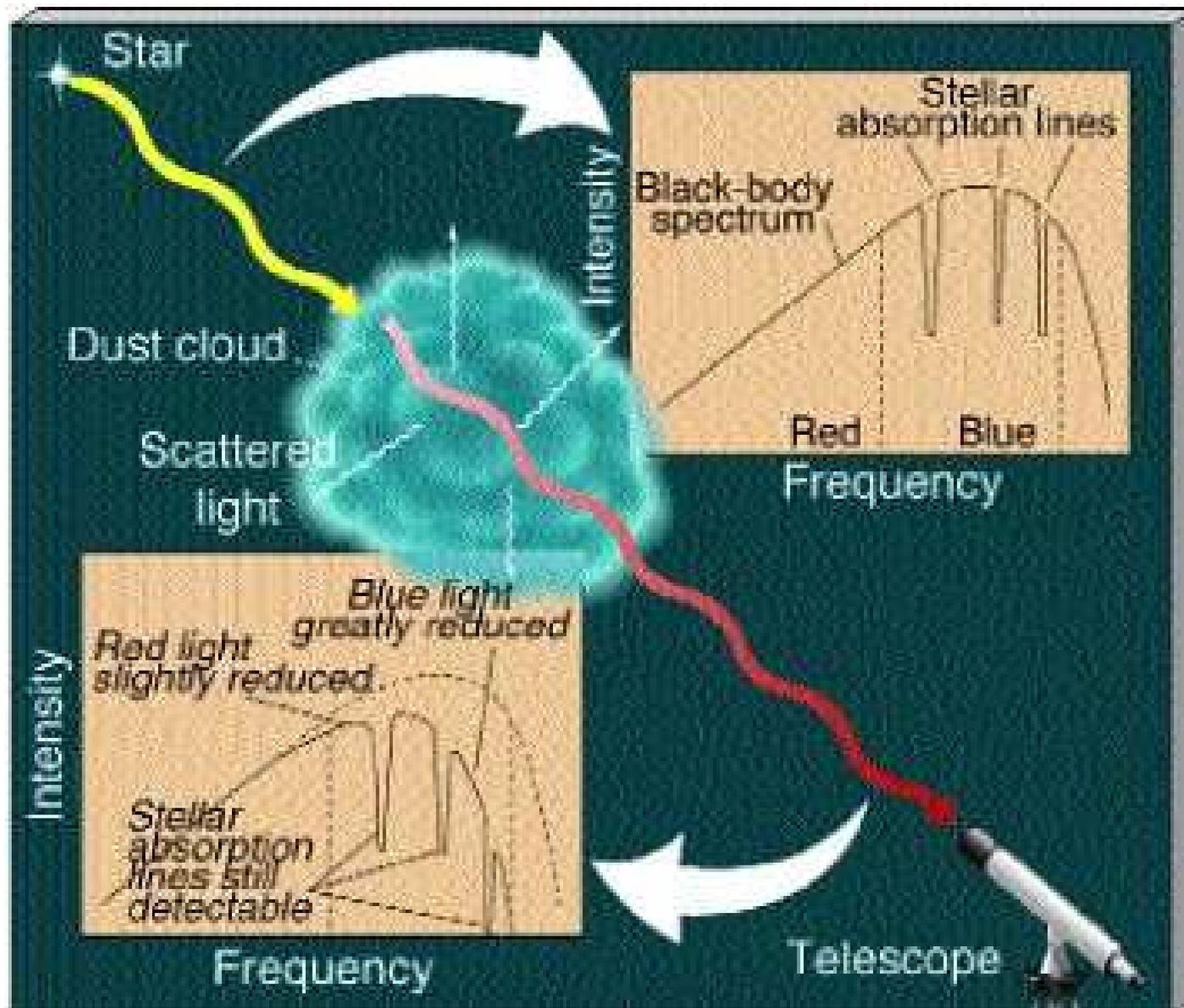
# Nebulosas

- Nebulosas são nuvens de gás e de poeira. Quando ocorre o obscurecimento da luz



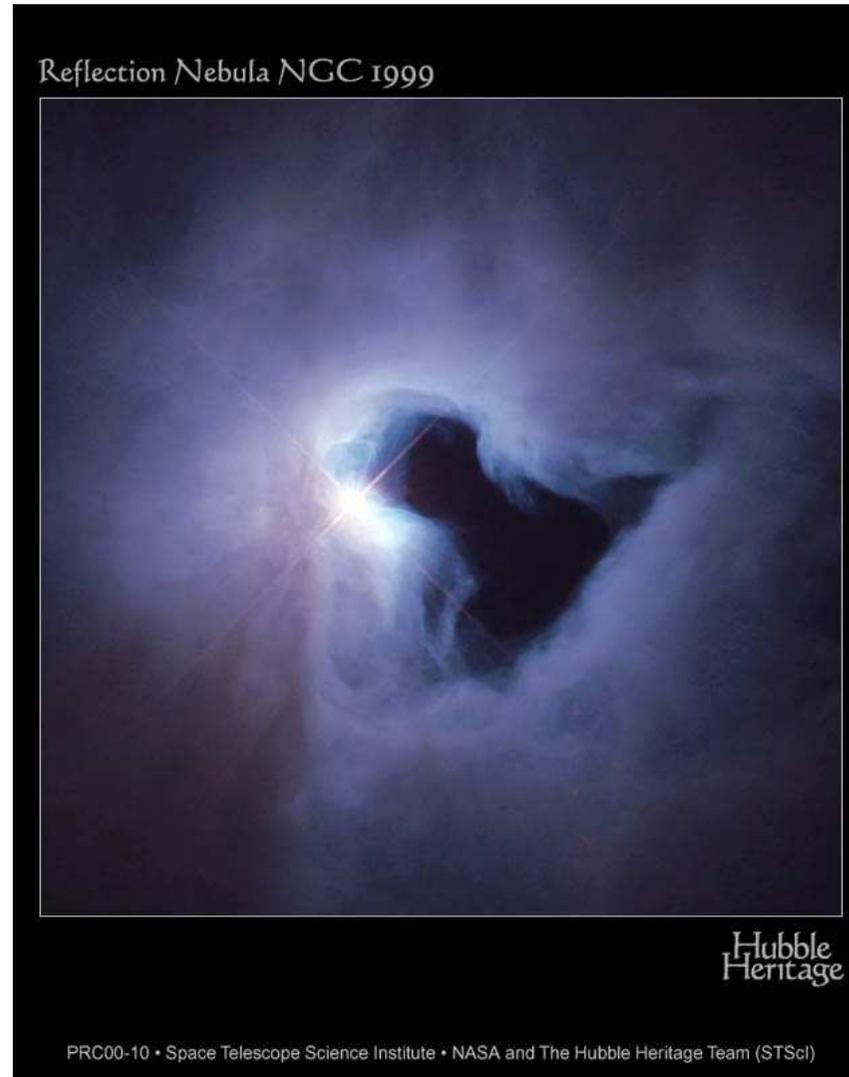
**nuvem escura**

- Se a nuvem espalha a luz de uma estrela na direção do observador ⇒ **nebulosa de reflexão**
- Se nuvem é aquecida por estrela e emite radiação ⇒ **nebulosa de emissão.**



# Nebulosa de reflexão NGC1999, constelação de Orion.

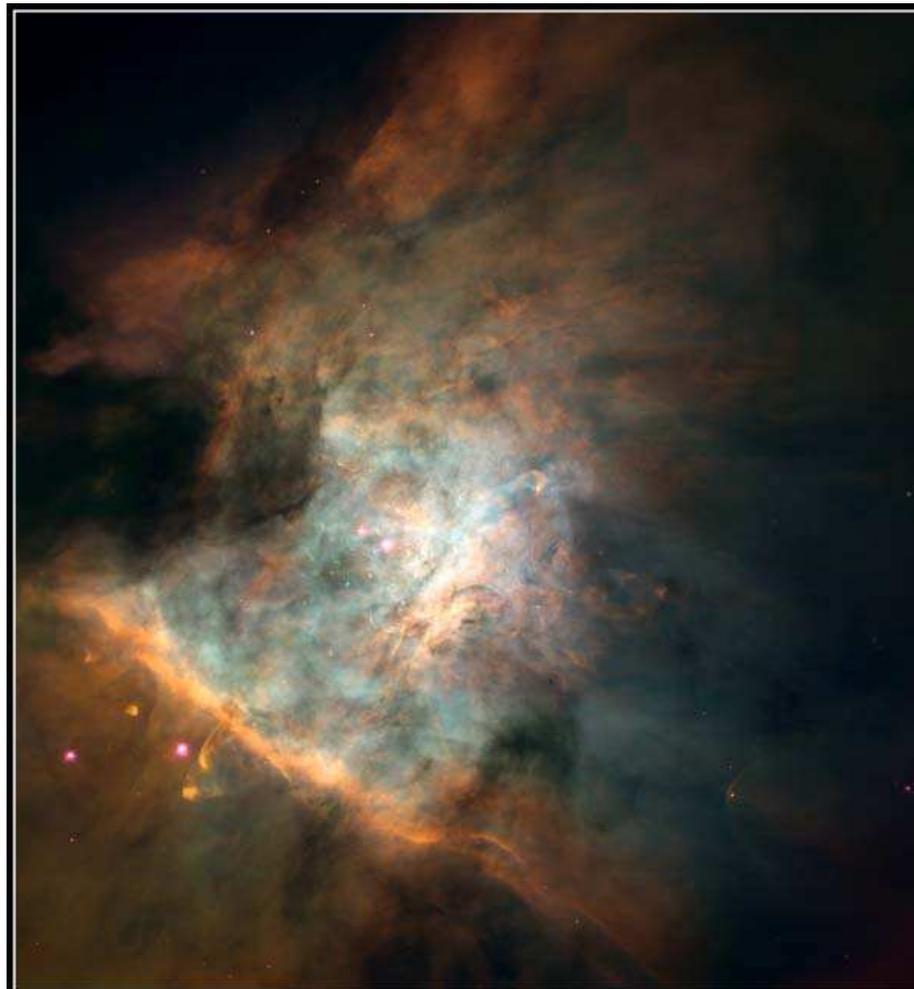
**Nebulosas de reflexao:** refletem a luz de estrela proxima em nossa direcao



# Nebulosas de Emissão

- São nuvens de gas que têm brilho por **emitirem radiação**.
  - Nuvens que contêm pelo menos uma **estrela jovem O ou B**, que produz **radiação no UV**.
- ↓
- Esta radiação de alta energia **ioniza o gás** (HII) nas regiões próximas à estrela: quando este se recombina (eletrons com ions): **nuvem produz radiação visível**

- Na **recombinação dos elétrons** com os núcleos ocorre **emissão** na faixa espectral do **visível** ⇒ nuvem brilha.



**Orion Nebula Mosaic** HST · WFPC2

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

### **Cor vermelha:**

devido a ats. de H emitindo na região vermelha do espectro

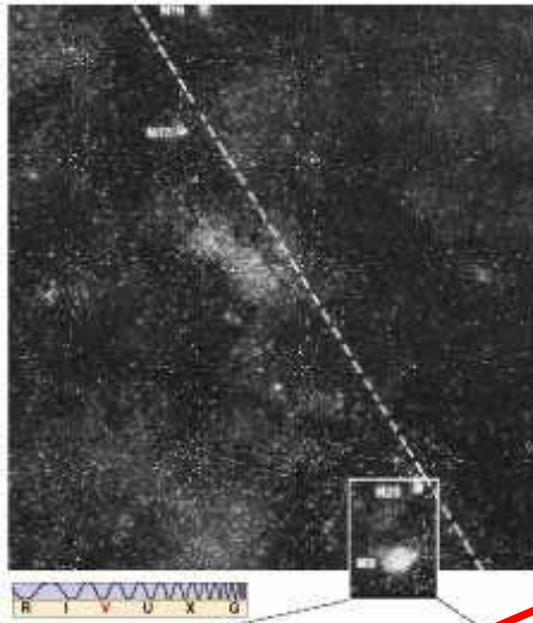
e também a luz das estrelas quentes embebidas na nuvem

Nebulosa de **emissão** de Orion, região H II

# Via Lactea: mosaico de 180°



Regiao com 12°



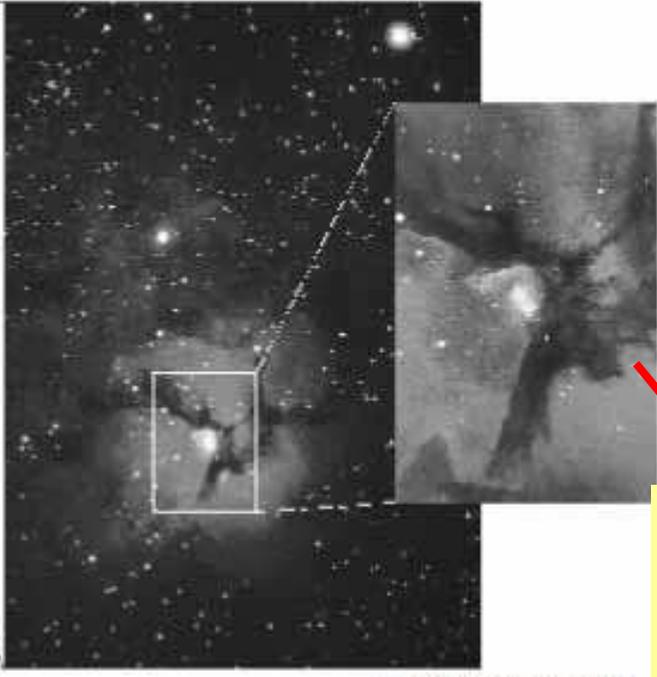
12° do mosaico anterior: com estrelas, gas e poeira

**M8:**  
D=14 pc  
M=2600 Msol  
T= 7500 K  
n= 80x10<sup>6</sup> m<sup>-3</sup>

**M20**



**M8**



**M20:**  
D= 4pc  
M= 150 Msol  
T= 8200 K  
n= 100x10<sup>6</sup> m<sup>-3</sup>

**Trifide (4 pc):**  
3 regioes de poeira: **nuvens escuras**

# Nebulosas de emissao e nuvens escuras

M16



(a)



(b)

M8



(c)



(d)

# Nebulosas de Emissão: características

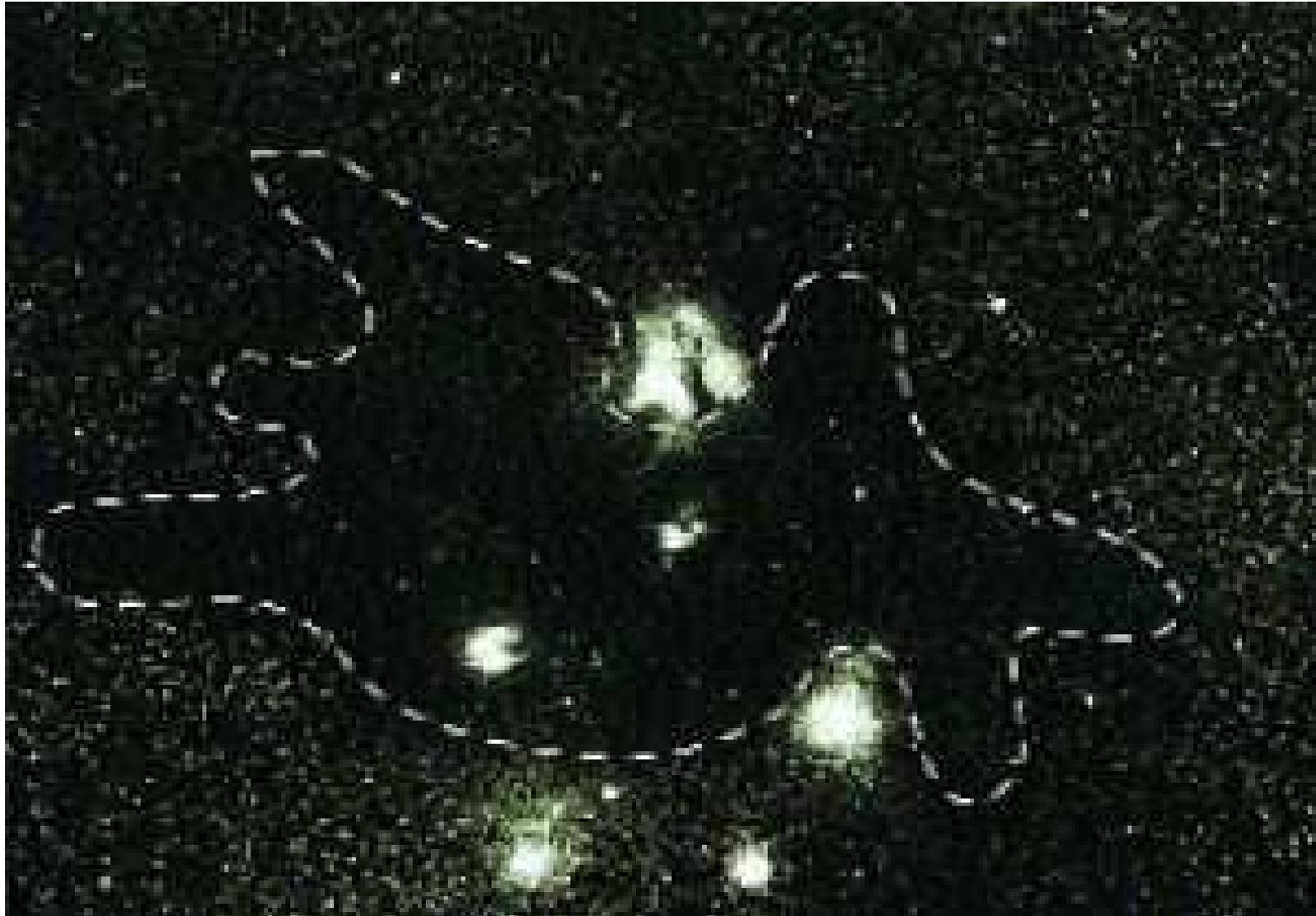
- **Espectroscopia** fornece informações sobre as propriedades do gás interestelar.
- As **linhas espectrais da nebulosa se sobrepõem ao espectro da estrela.**
- Pelas medidas da **largura das linhas no espectro da nebulosa** obtém-se sua temperatura (nas proximidades da estrela):  **$T \sim 8000\text{K}$ .**

# Nuvens de Poeira

- Cerca de **90% do meio interestelar**: composto por regiões escuras (sem estrelas ou nebulosas brilhantes)  $\Rightarrow$  **nuvens de poeira**
- **Mais frias e mais densas** que suas vizinhanças ( $10^3$  a  $10^6$  vezes mais).
- $n_{\text{max}} = 1000 \text{ ats./cm}^3$  (densidade dos melhores vacuos em laboratorio)
- **Maioria: dimensões maiores** que nosso **SS** (40 UA); formas irregulares;
- ocupam **2 a 3% do volume total do MIS**

**Principal componente é o gás! (como resto do MIS):**  
mas importante **quantidade de poeira**  $\Rightarrow$  **absorção da luz**  
 $\Rightarrow$  comprimentos de onda no **infravermelho** são melhor **detectadas**

**Nuvem Escura observada no optico (altas densidades de poeira): é invisível – Ex. Rho Oph**



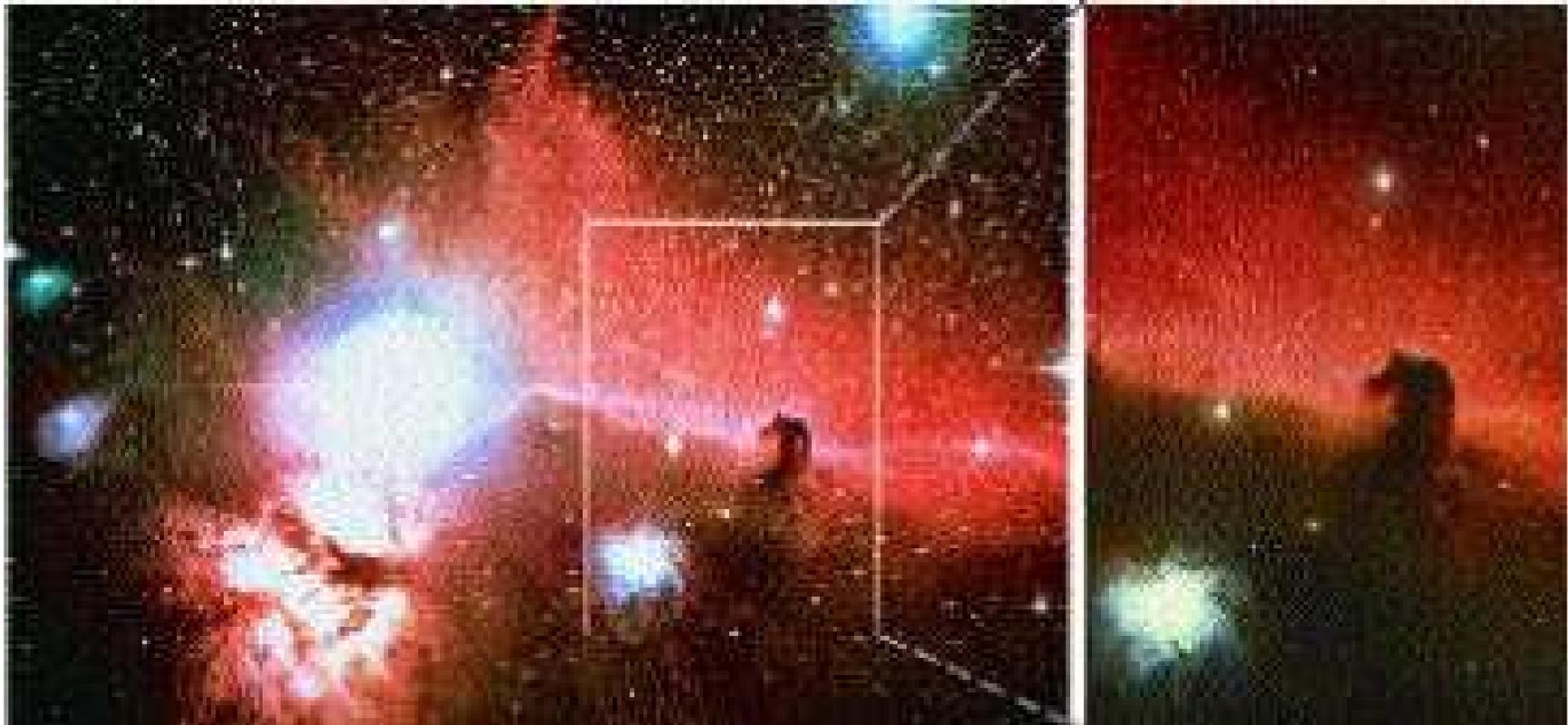


**Rho Oph  
no infra-  
vermelho:**

**A poeira  
emite no  
IV dai nao  
é escura**

Nuvem de  
Poeira no  
IV

# Nebulosa Cabeça do Cavalo (no optico): nuvem escura



# Observação de Nuvens de Poeira

- Atraves de **espectros opticos** (quando ha estrela ionizante)
- **Emissao radio do gas H neutro** (nuvens de poeira sao frias e ricas em gas H neutro!):

Linha de  $\lambda = 21 \text{ cm}$

→ permite estudar propriedades de todas nebulosas de poeira e gas – propriedades do MIS

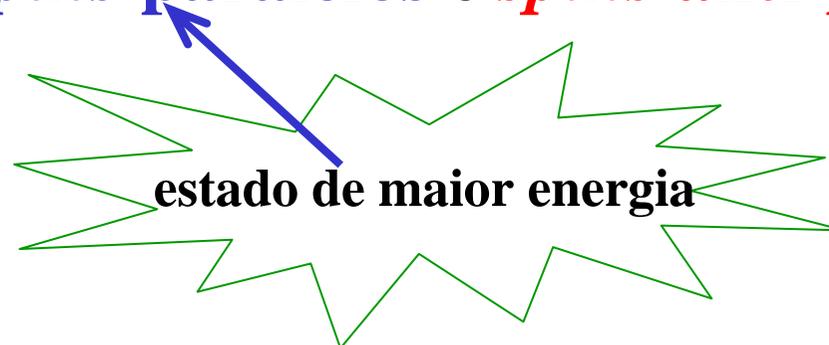
# Linha de 21 cm (Hidrogênio neutro)

- **No átomo de H: movimento orbital do elétron ao redor do núcleo (1 próton)**

&

**Movimento rotacional do próton e do elétron ao redor de seus próprios eixos: *spin***

- **Apenas duas configurações no estado fundamental (n=1): *spins* paralelos e *spins* anti-paralelos.**



# Linha de 21 cm do HI

- HI levemente excitado: assume o estado de *spins* paralelos  $\uparrow\uparrow$  - o elétron decai **espontaneamente** para o estado de **menor energia** (spins anti-paralelos)  $\uparrow\downarrow$ :



Emissão de fóton com  $\lambda = 21 \text{ cm}$ :  $E=hc/\lambda$

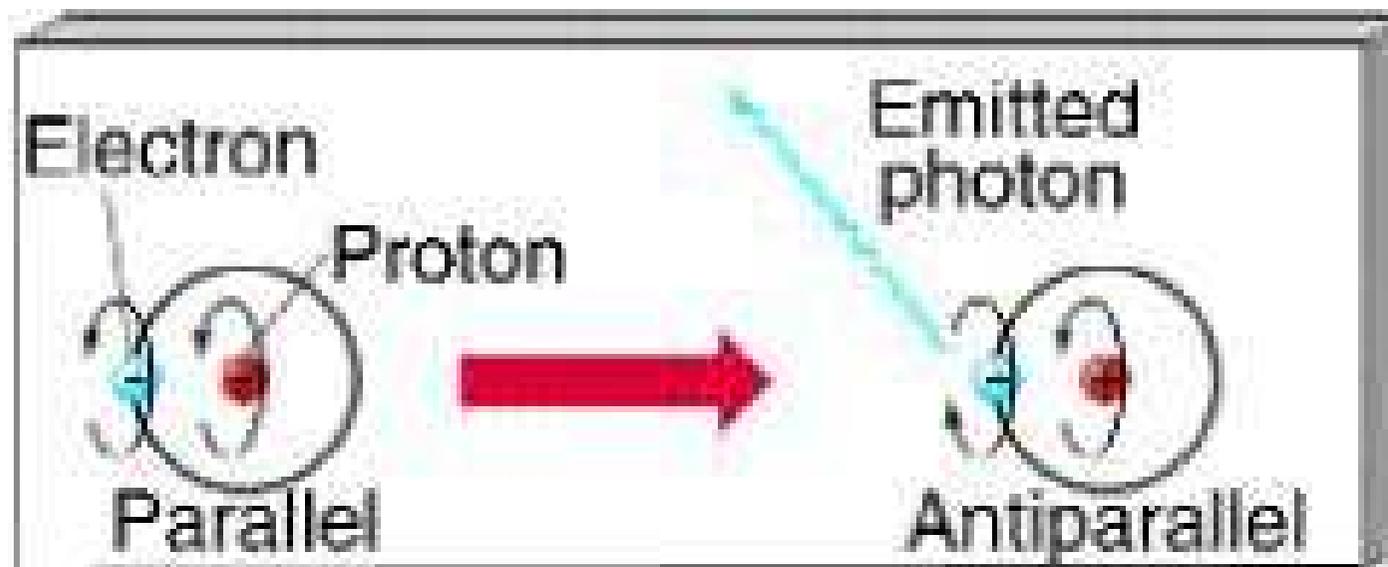
- Colisões atômicas são suficientes para elevar a energia do HI para os estado excitado, que corresponde aos *spins* paralelos.



- Energia necessaria para produzir essa transição:  
energia termica:

**$kT$  com  $T= 100 \text{ K}$**

Processo de emissão de fóton de  $\lambda=21$  cm por um elétron em órbita ao redor do núcleo de um átomo de hidrogênio.



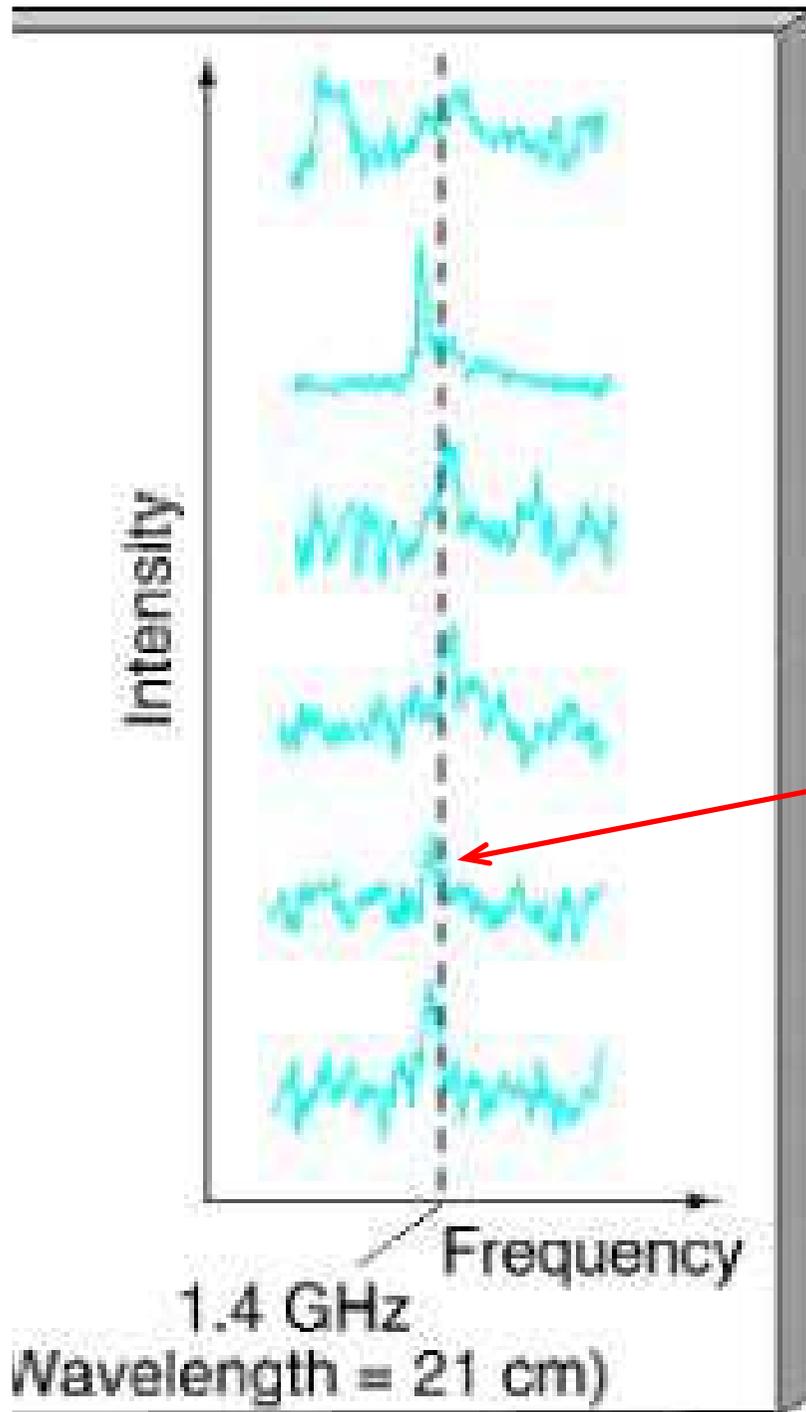


Gráfico **intensidade vs. frequência**, mostrando a frequência na qual o fóton é emitido, produzindo a linha de 21cm.

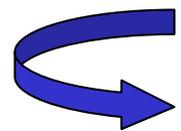
Essa emissão em radio: atravessa facilmente o MIS, mesmo regiões com muita poeira e chega até nós

# Nuvens Interestelares

Gás **ionizado** por estrelas quentes:  $10^4$  K:

**Regioes HII** (nebulosas de emissao)

Gás **Neutro**:



**Regiões HI**:  $T = 50$  a  $100$  K

**detectadas pela linha de 21 cm.**

# Nuvens Interestelares

Em geral:  $\uparrow$  temperatura  $\propto$   $\downarrow$  densidade

**nuvens frias: até  $10^4 - 10^5 \text{ cm}^{-3}$**

**nuvens de gás quente:  $10^2 \text{ cm}^{-3}$**

# Nuvens Moleculares Gigantes

Além das regiões HI e HII, existem as **nuvens moleculares gigantes**: densas e ricas em gas molecular e poeira

**$T \sim 10\text{K}$ ;  $n \sim 1 - 3 \cdot 10^5, 10^6 \text{ cm}^{-3}$ ;  $M > 10^4 M_{\odot}$**

**$R \sim 3,3 \cdot 10^2 \text{ pc}$**



**berçários estelares**

$1 M_{\odot} \sim 2 \cdot 10^{33} \text{ g}$

# Nuvens Moleculares

- Compostas predominantemente de **moléculas**
- dimensões  $\gg$  que nebulosas de emissão
- densidades de até  **$10^{12} \text{ m}^{-3} = 10^6 \text{ cm}^{-3}$**
- Emissão ocorre quando há mudanças no **estado rotacional** das moléculas.



- **Diferenças de energia são pequenas**  $\Rightarrow$  **emissão principalmente de ondas rádio.**



- **CO, CN, OH, CH<sub>3</sub>, CH<sub>2</sub>, CN.**

# Moléculas & Poeira

- **Moléculas e poeira: sempre aparecem associadas: Por que?**
- A presença de **poeira** nas nuvens tem um efeito de **preservar** as moléculas contra **radiação de altas energias**, que poderia destruí-las.
- Poeira também pode agir como **catalisadora** na formação de moléculas  $\Rightarrow$  propiciam um local para **átomos juntarem-se** e **dissipar a energia da** reação que de outra forma poderia dissociar moléculas recém formadas.

# Observações das Nuvens Moleculares

- O principal conteúdo destas nuvens:  $H_2$   $\Rightarrow$  mas não emite nem absorve radiação rádio (somente no UV – menores  $\lambda$ s)
  - $\Rightarrow$  não fornece informações sobre a estrutura da nuvem.
- A linha de 21cm só é emitida pelo H atômico e não molecular.
- Necessario observar outras moléculas (ex.: CO, HCN,  $NH_3$ ,  $H_2O$ ,  $H_2CO$ ): mas são milhões a bilhoes de vezes menos abundantes que o  $H_2$ .

# Estudo da Nuvens Moleculares através dessas moléculas

- Nuvens moleculares não se encontram isoladas.
- Formam complexos com dimensões de até

~100 pc

- Os maiores complexos contêm gás suficiente para **formar milhões de estrelas como o Sol.**
- Cerca de **1000 complexos** desse tipo são encontrados em nossa Galáxia.

# Formação de Estrelas

Vimos no Cap. 11 que estrelas formam-se a partir do colapso gravitacional de nuvens (escuras ou moleculares)

Nuvem massiva e fria o bastante para:  $F_G > F_P$ : massa de Jeans

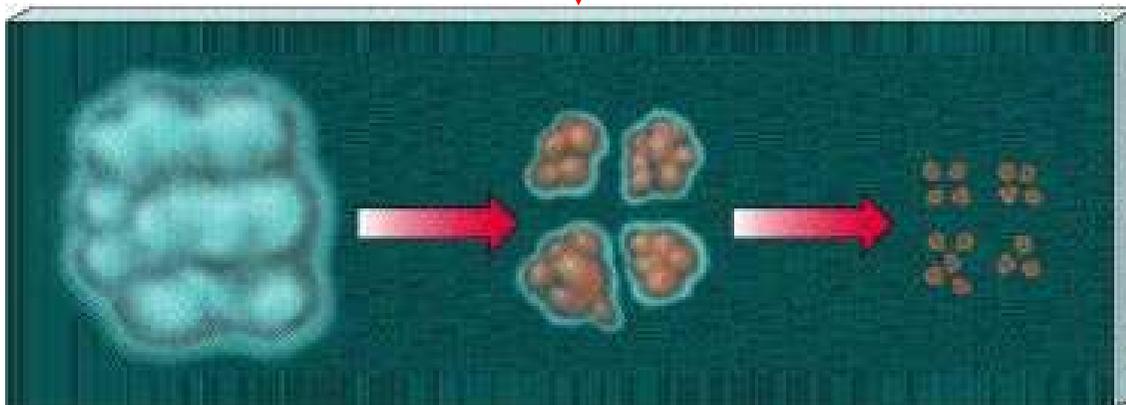
Nuvem de:  $D = 10^{14}$  a  $10^{15}$  km = 100 pc

$T = 10$  K

$n = 10^9$  parts./m<sup>3</sup> =  $10^3$  parts./cm<sup>3</sup>(gas)



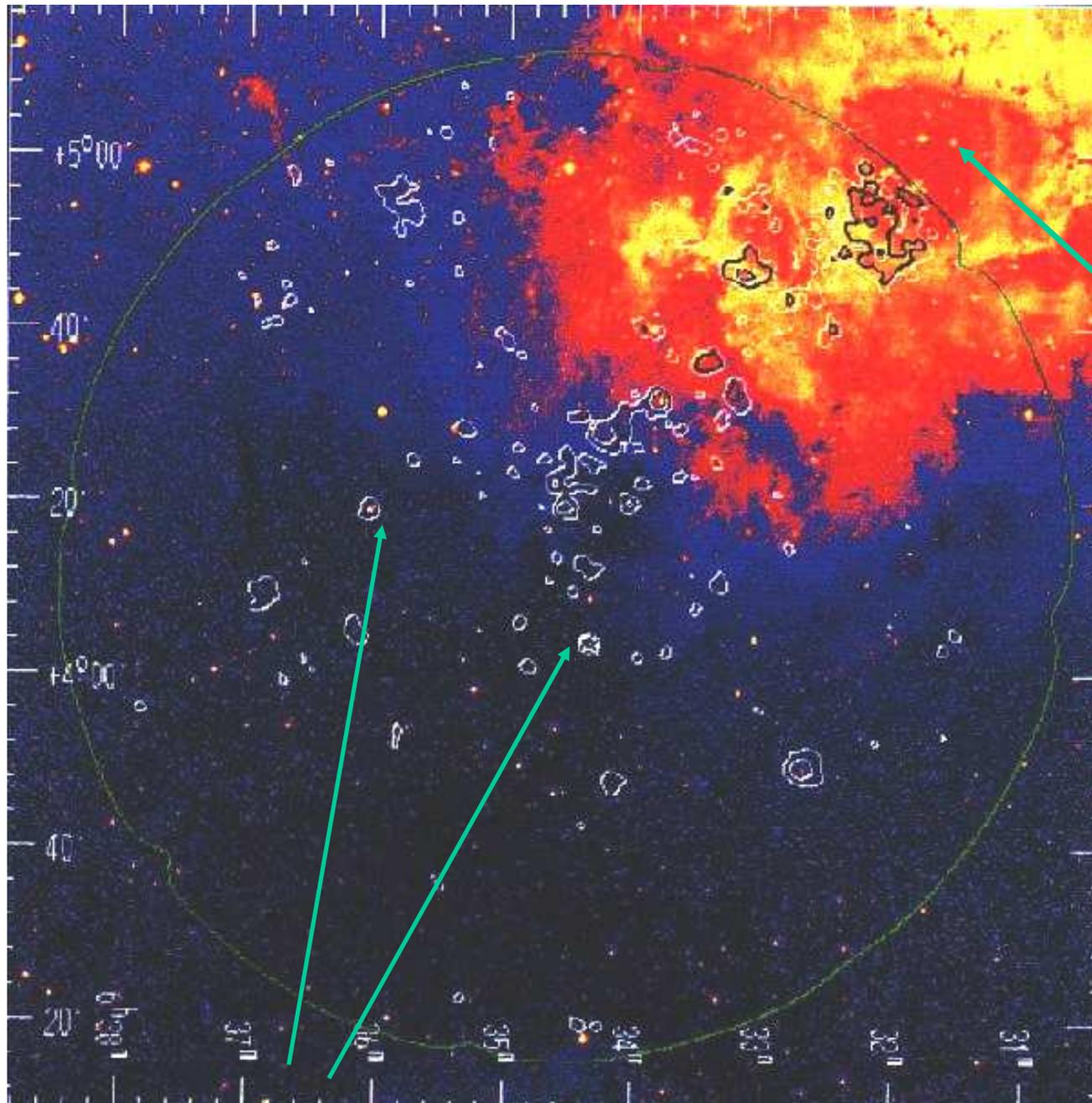
gravitacionalmente instavel



conteudo de  
poeira: importante  
para resfriar o gas  
à medida que  
contraí e + tarde  
para formacao de  
planetas: mas  
constitui fração  
desprezível da M  
total da nuvem

À esquerda  $\Rightarrow$  nuvem interestelar de gás e poeira, chamada Barnard 86. No lado direito aparece o aglomerado estelar jovem NGC6520.





Nebulosa  
Rosette  
(região H II,  
estrelas tipo  
O, B)

Sítios com  
estrelas recém  
formadas e  
estrelas jovens

Fontes de raios-X (possivelmente estrelas do tipo T Tauri)

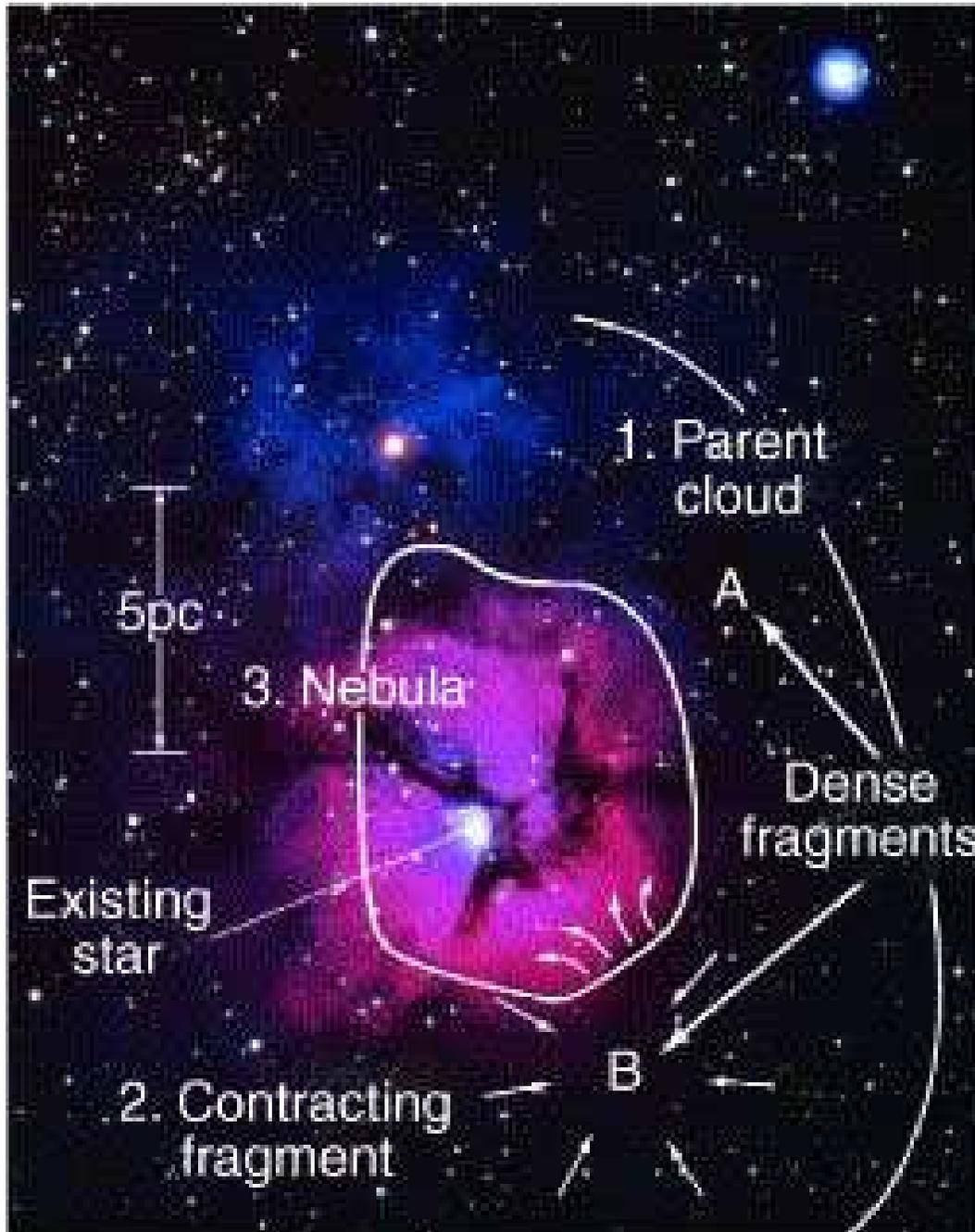
## Região de M20 (Trífide):

mostra 3  
estágios da  
formação  
estelar:

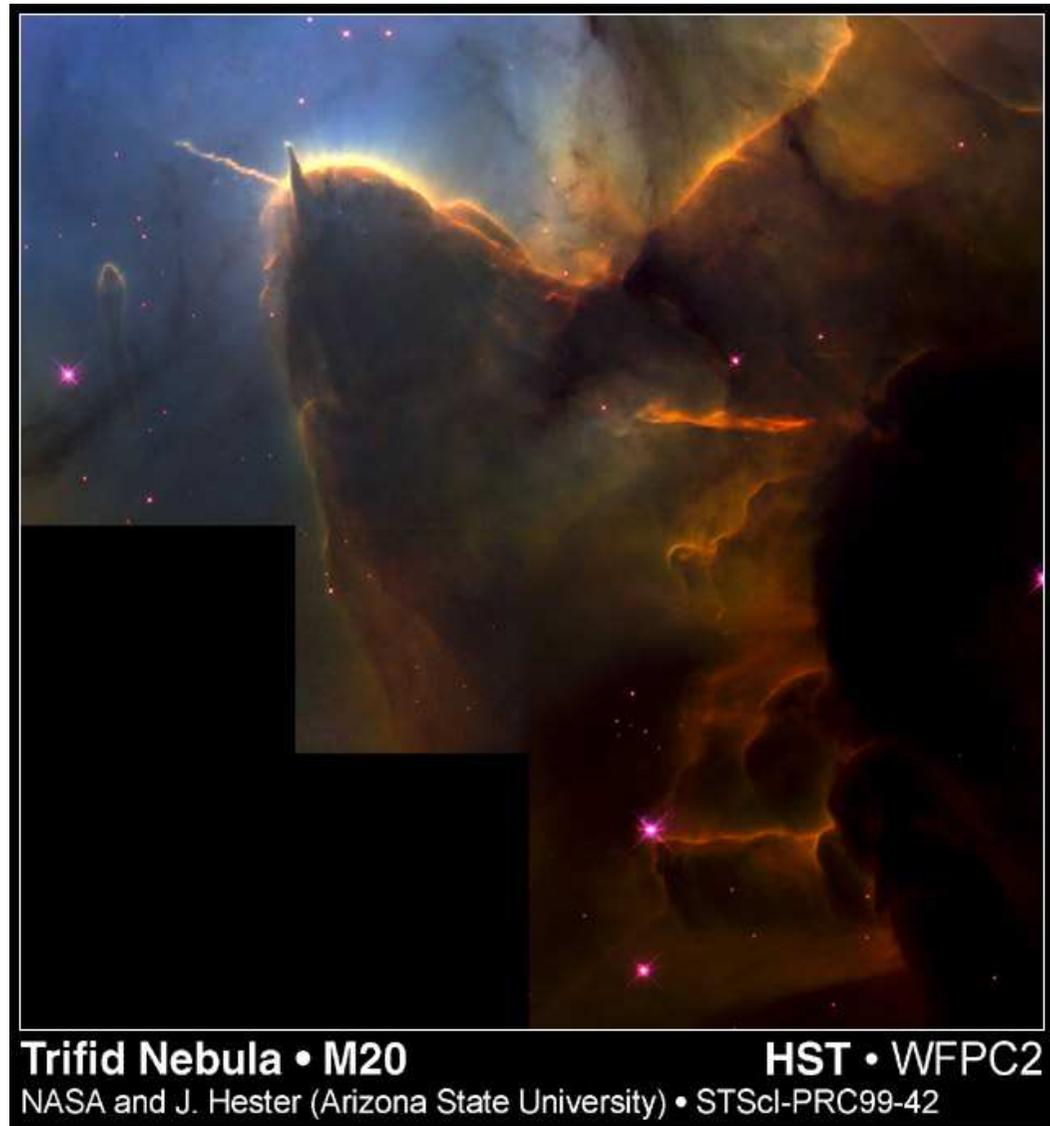
Nuvem progenitora

Fragmentos  
colapsando

Nebulosas de  
emissão  
contendo  
estrelas recém  
formadas



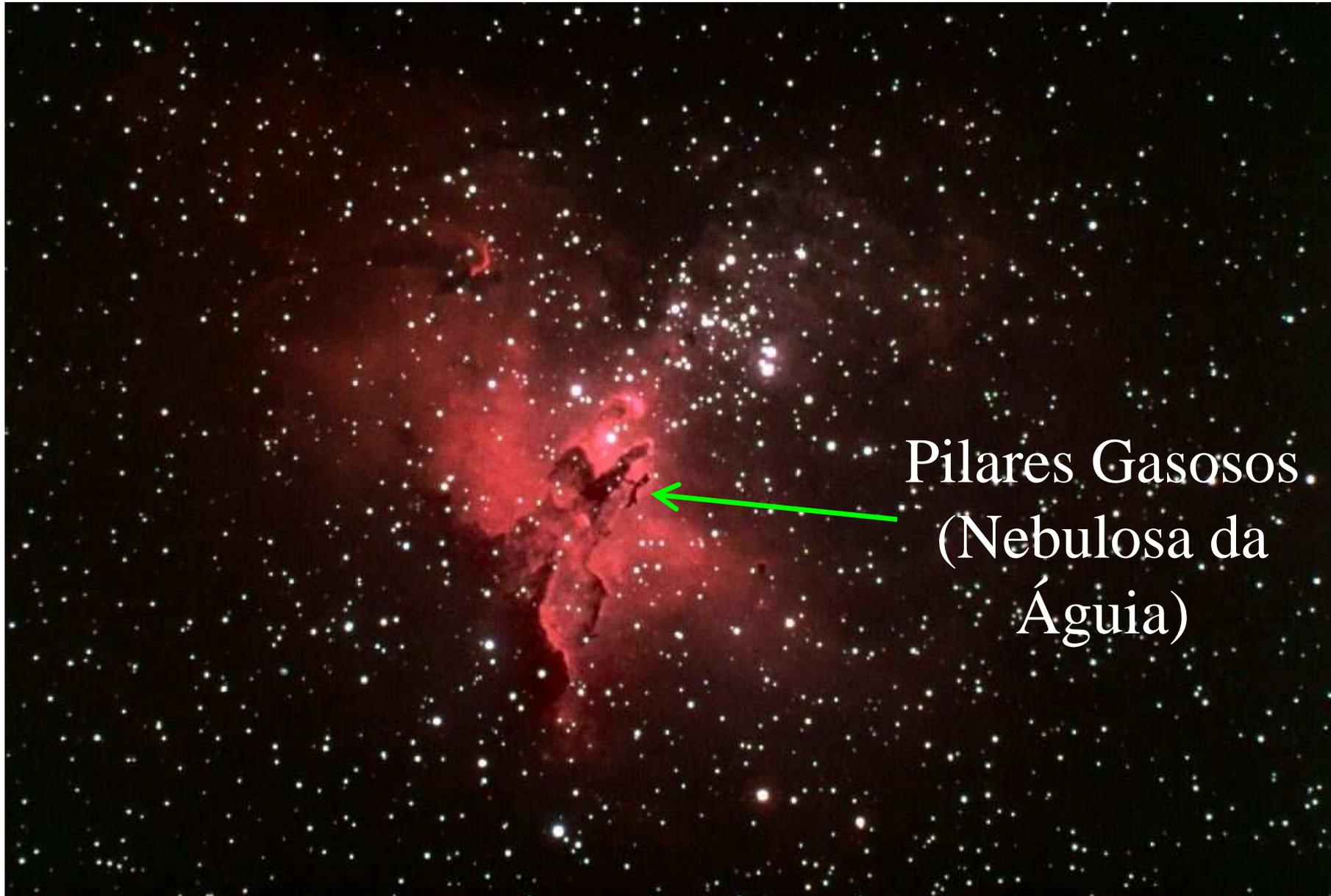
**Nebulosa Trífide**  
M20, na constelação  
de Sagitário, a 9000  
anos-luz de  
distância, exemplo  
de um berçário de  
estrelas .

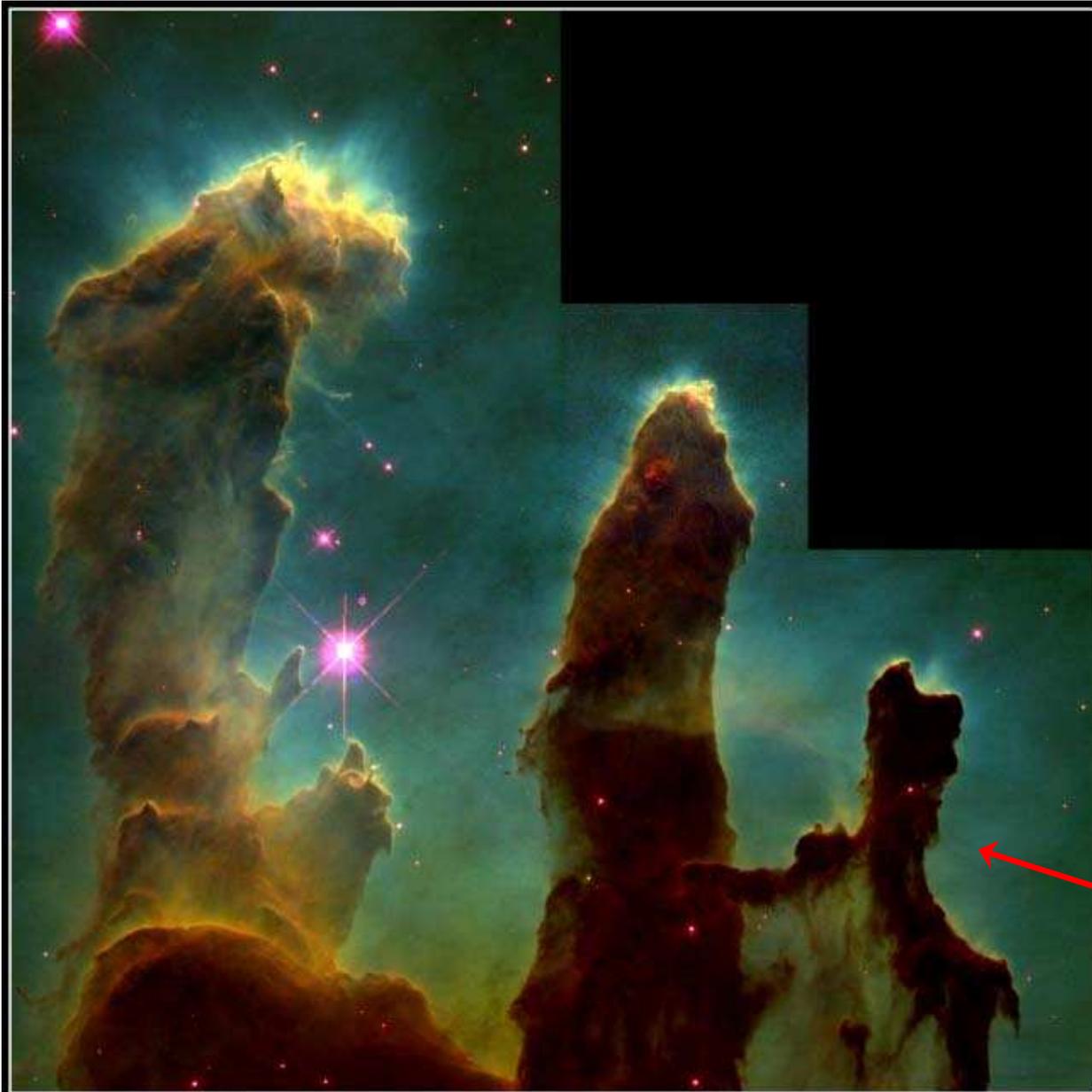


**Trifid Nebula • M20**

**HST • WFPC2**

NASA and J. Hester (Arizona State University) • STScI-PRC99-42

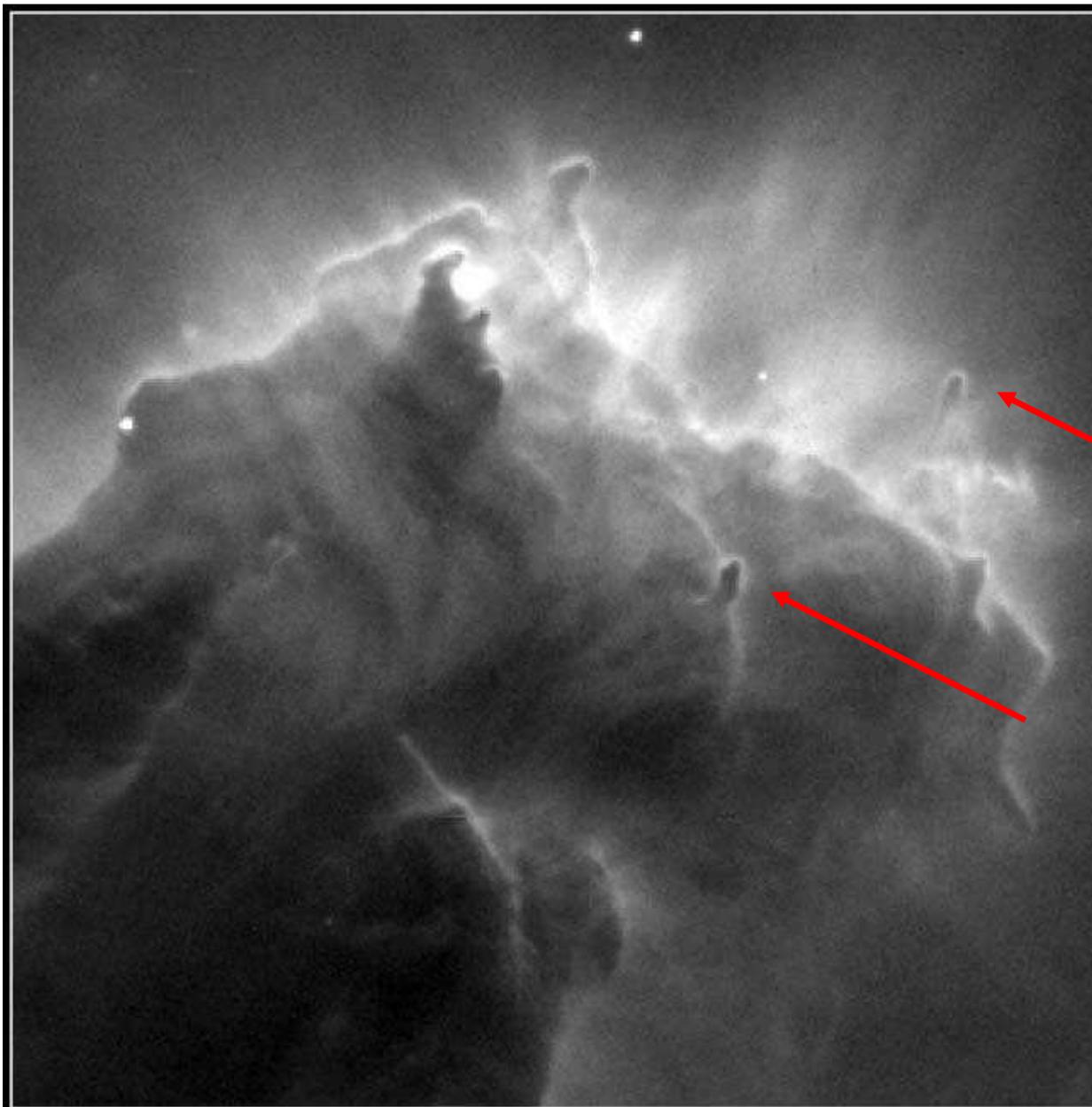




**Gaseous Pillars · M16**

**HST · WFPC2**

PRC95-44a · ST Sci OPO · November 2, 1995  
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA

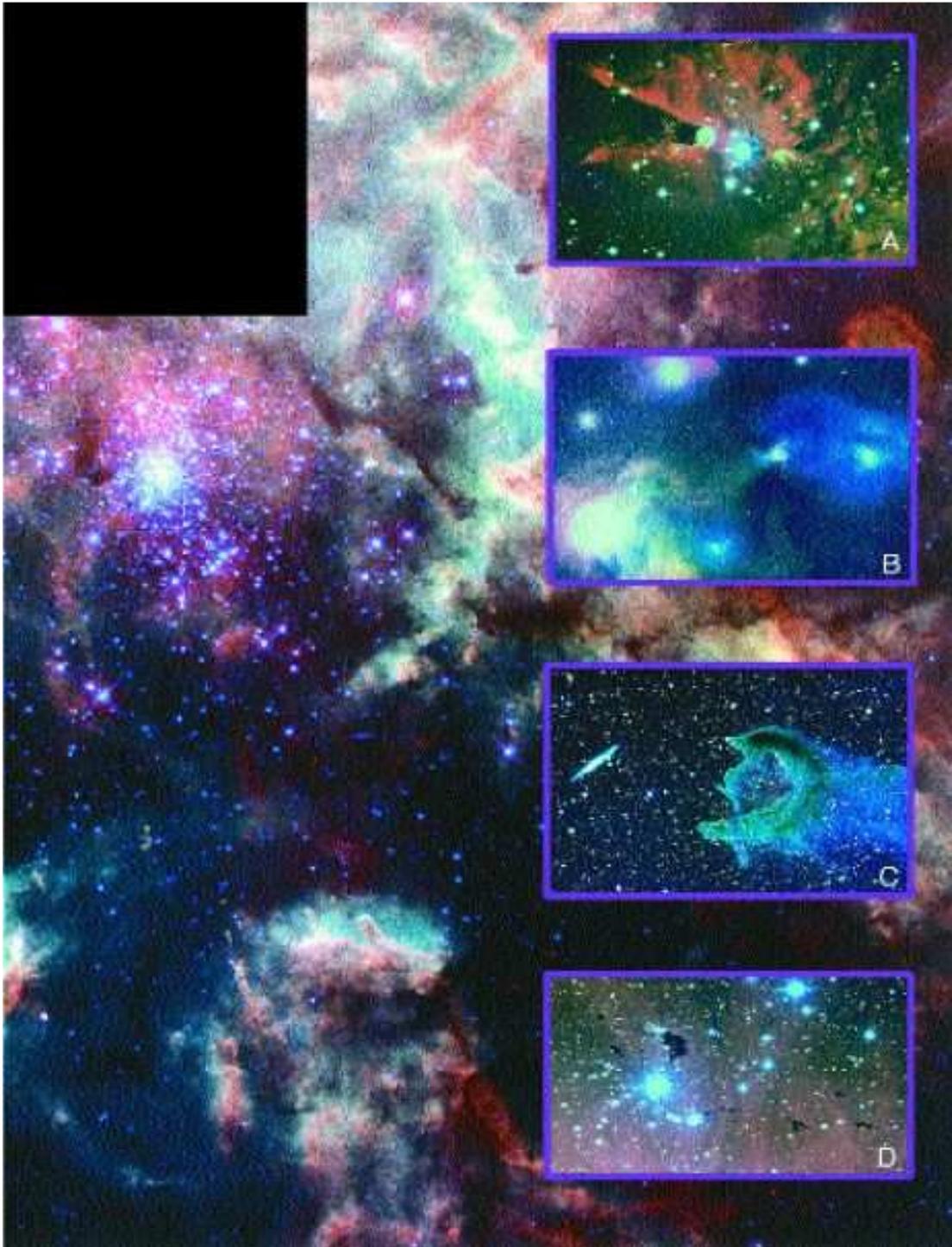


Fragmentos  
de  
formacao  
estelar

**Evaporating Globules · M16**

**HST · WFPC2**

PRC95-44c · ST ScI OPO · November 2, 1995  
J. Hester and P. Scowen (AZ State Univ.), NASA



**Nebulosa Tarântula (30 Doradus) rico berçário estelar:**

A. Neb. do Cone, em Monoceros.

B. Antares: luz espalhada por grãos de diferentes tamanhos

C. CG4 neb. de reflexão

D. IC2944 neb. de emissão + Glóbulos de Bok