

Meio Interestelar

- ASTRONOMIA GERAL
- FIS004
- Prof. Gustavo Guerrero

- Introductory Astronomy & Astrophysics, M. Zeilek, S. A. Gregory & E. v. P. Smith (Cap. 19)

- Agradecimento: Elisabete Dal Pino

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**

Meio Interestelar

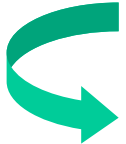
Gas:

- 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 λ

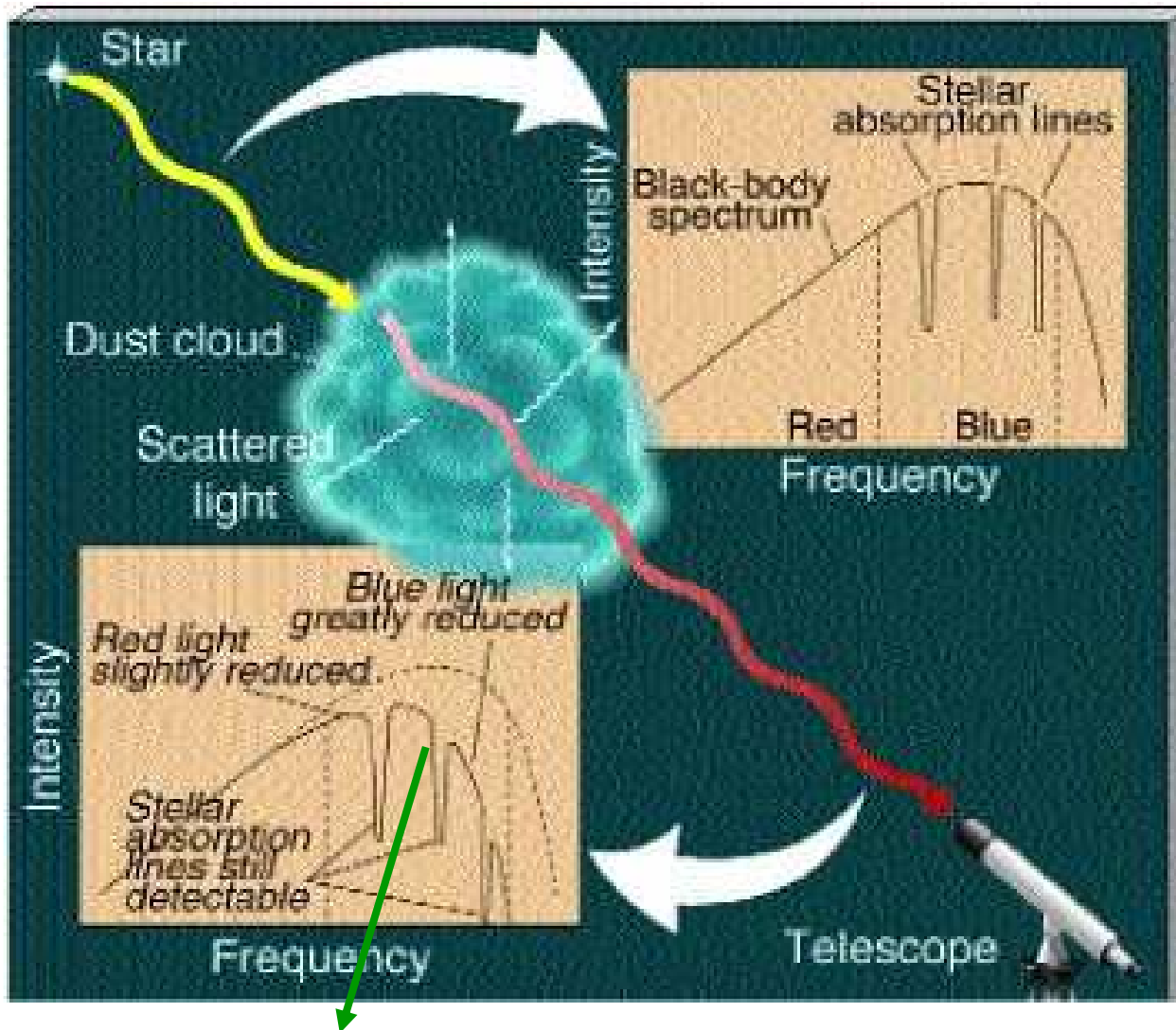
Regiões com poeira IS:

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

opacas a λ 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} m a 10^{-3} m),
Para λ s mais curtos (**óptico, ultravioleta**): elas são **opacas**
→ **nuvens escuras.**

Opacidade → Avermelhamento



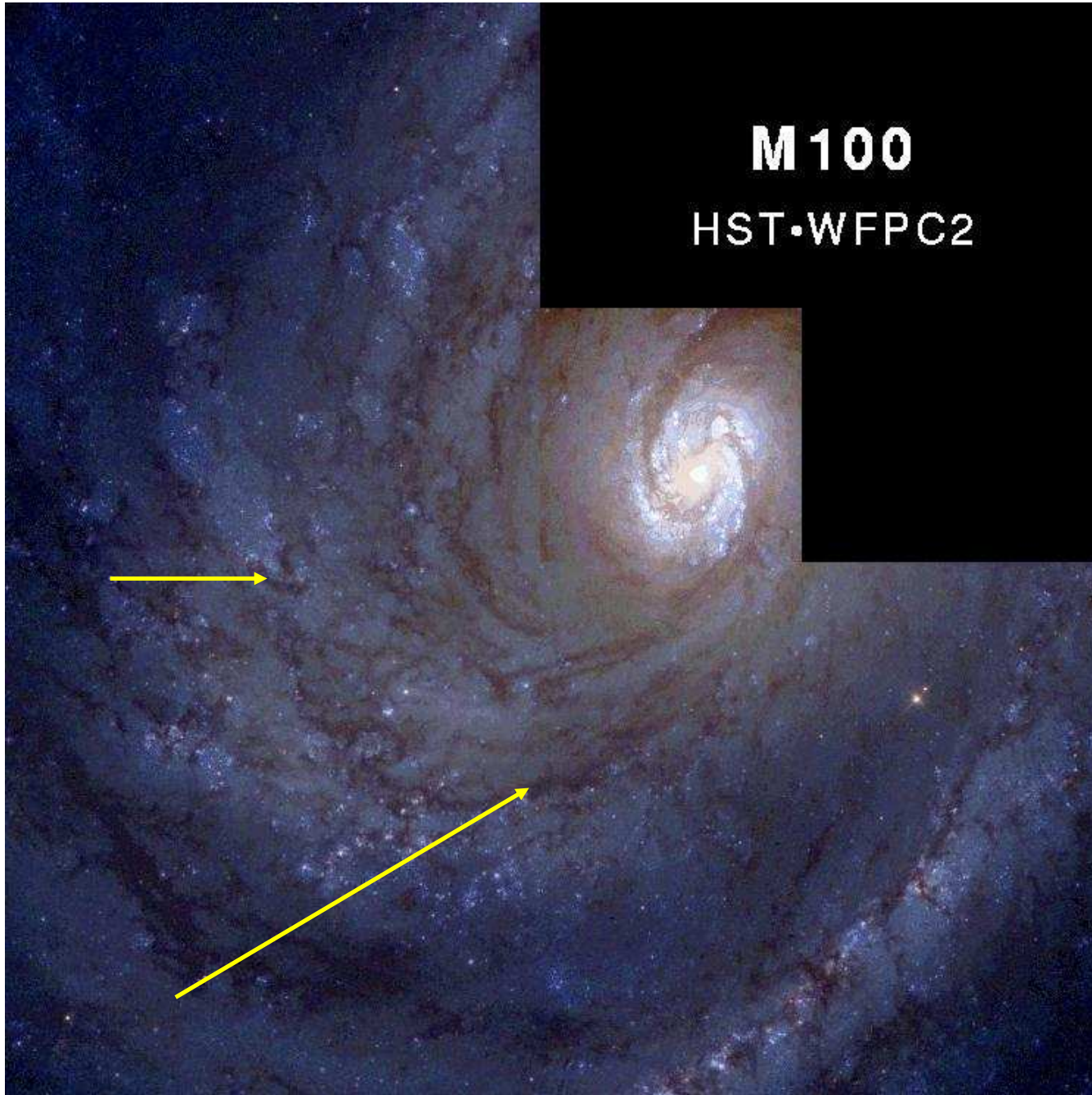
Estrela fica menos brilhante e + **vermelha** por causa da absorção

Como opacidade:
tanto $>$ quanto $<$ λ

→ Luz de estrelas mais distantes perde λ 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 λ s azuis e deixa passar os vermelhos





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

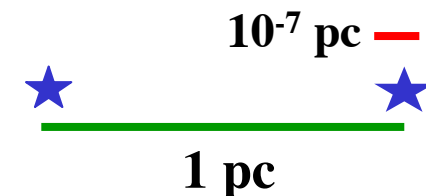
- **Temperatura do MIS: desde alguns graus Kelvin até alguns 10^3 K** (dependendo da proximidade de 1 estrela ou fonte de radiação)

$\langle T \rangle \sim 100$ 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

⇒ 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.

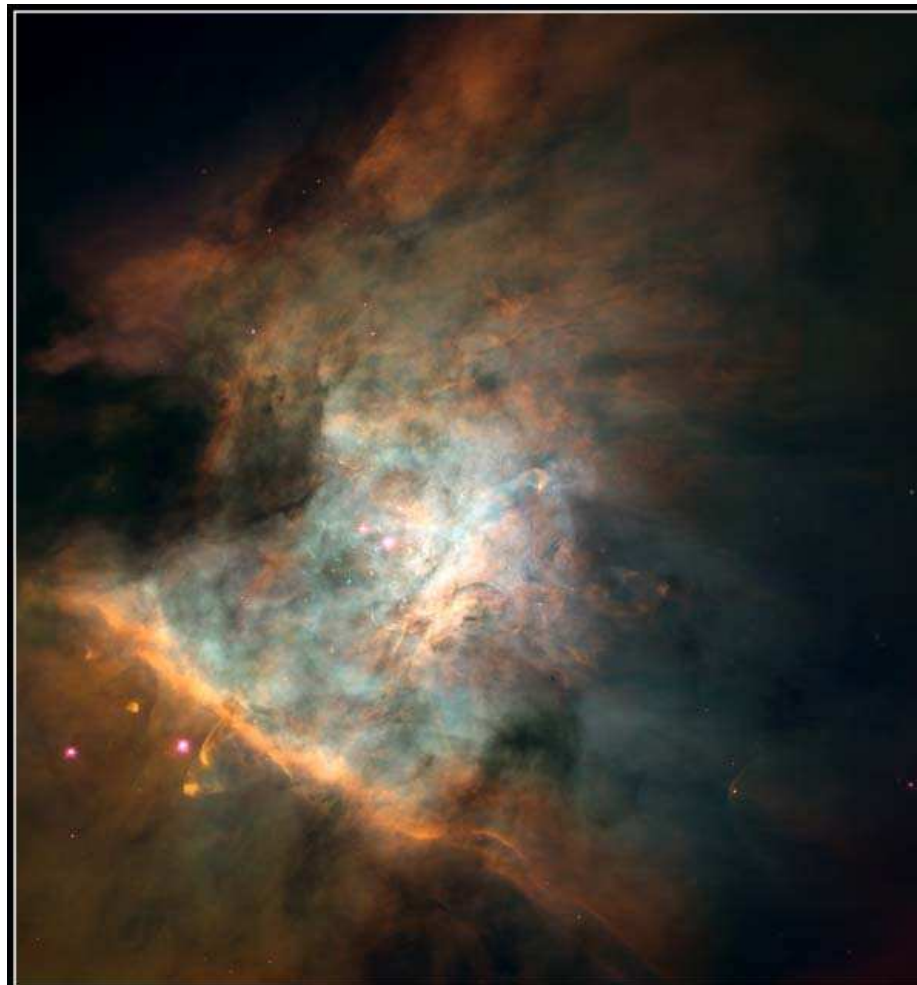
Nebulosas de reflexao: refletem a luz de estrela proxima em nossa direcao



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

Nebulosas de emissao e nuvens escuras

M16



(a)



(b)

M8



(c)



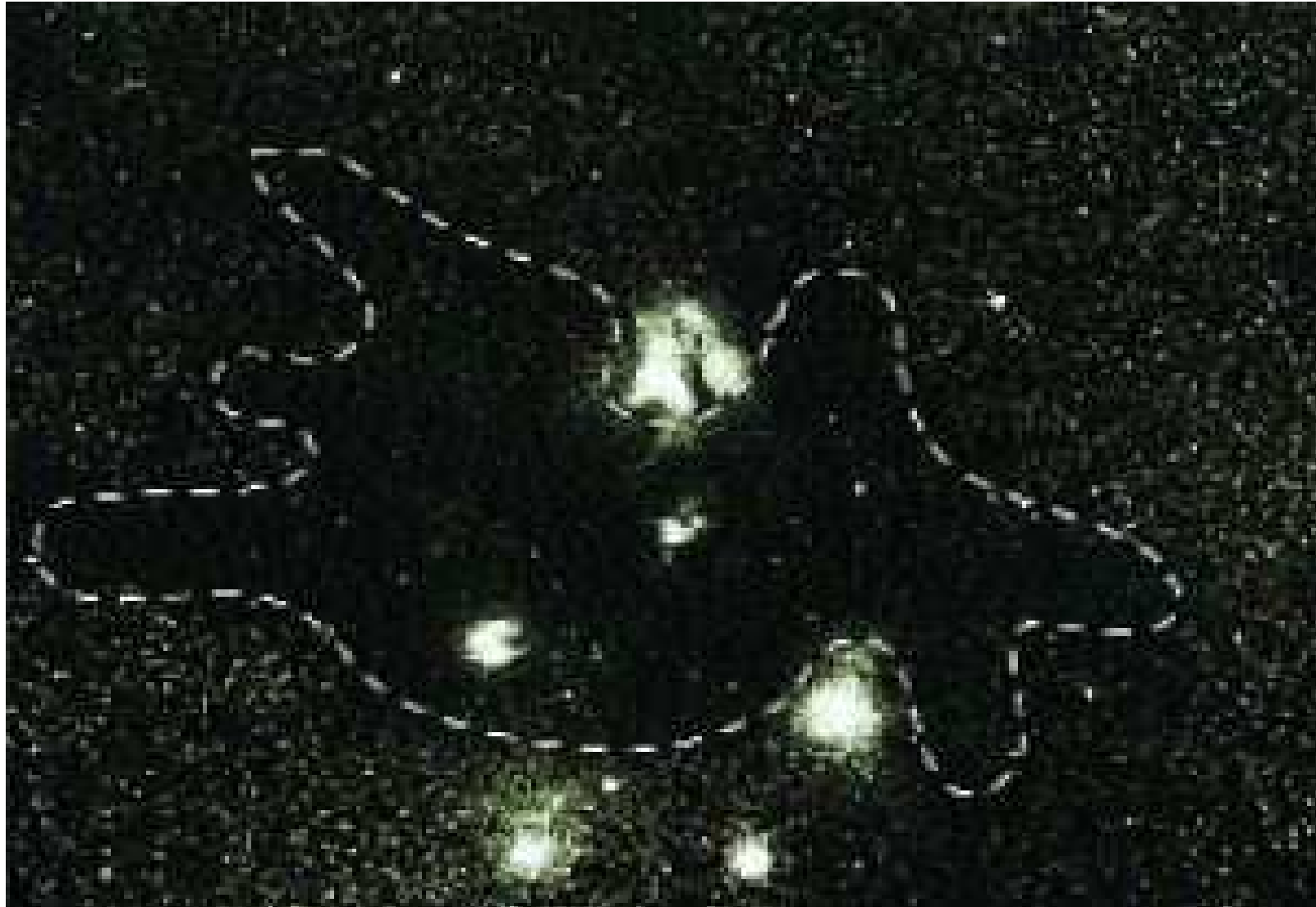
(d)

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).
- $n_{\max} = 1000 \text{ ats./cm}^3$ (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



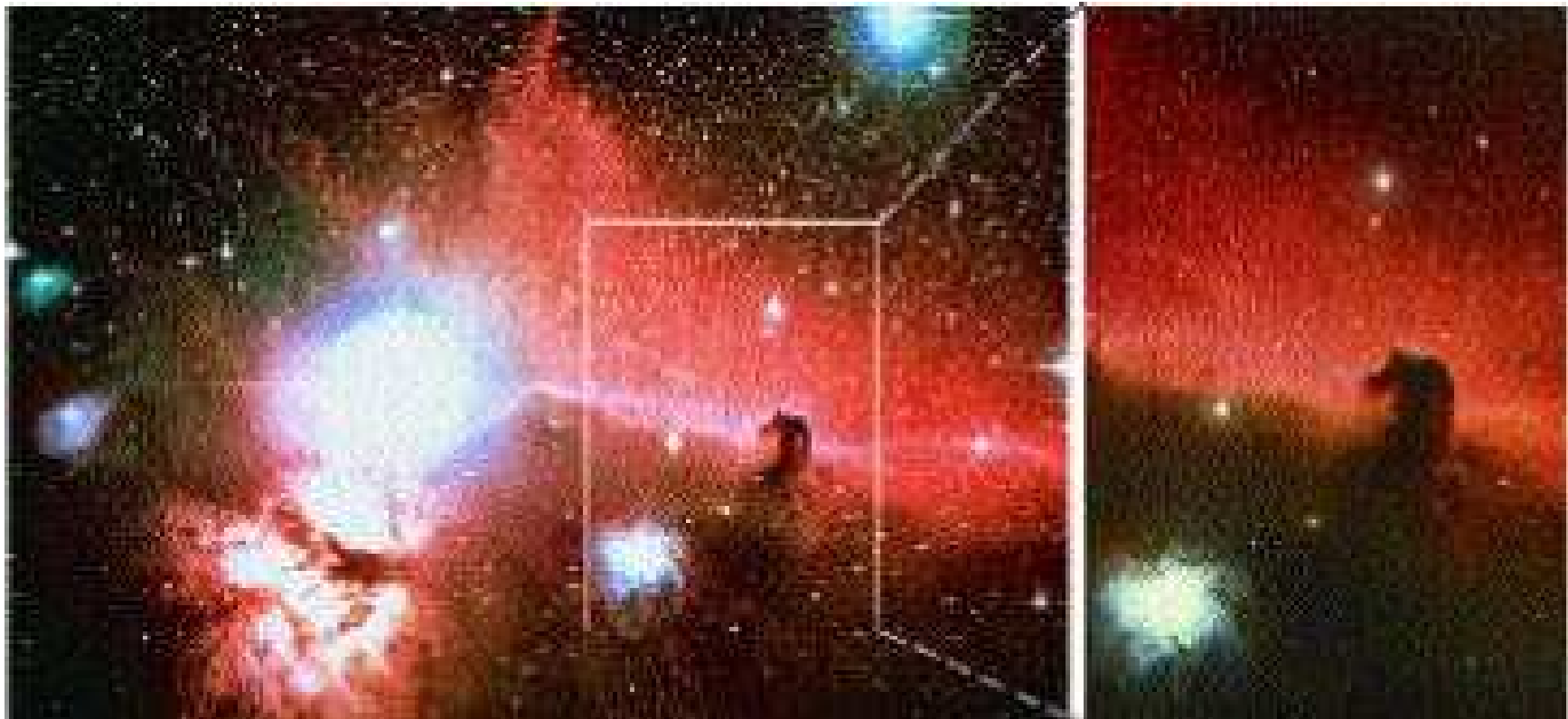


**Rho Oph
no infra-
vermelho:**

**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

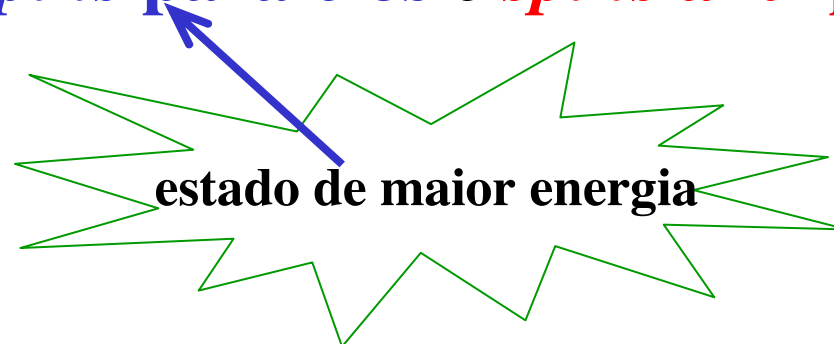
Linha de 21 cm (Hidrogênio neutro)

- 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 $\lambda = 21 \text{ cm}$: $E=hc/\lambda$

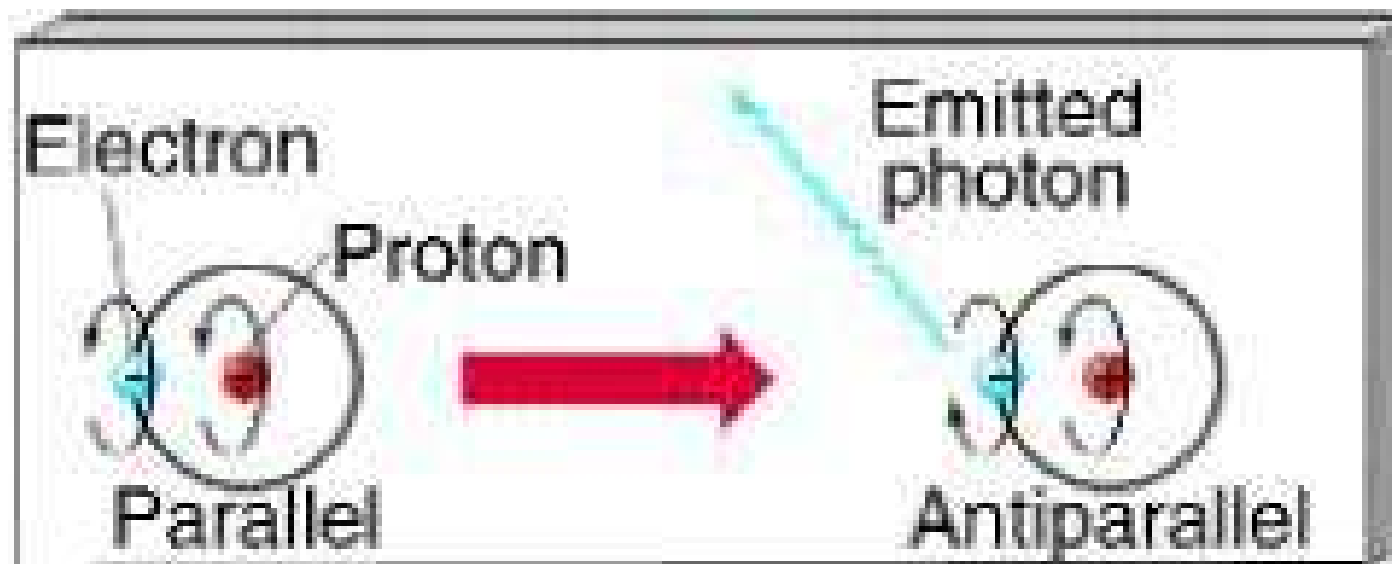
- Colisões atômicas são suficientes para elevar a energia do HI para os estado excitado, que corresponde aos *spins* paralelos.



- 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.



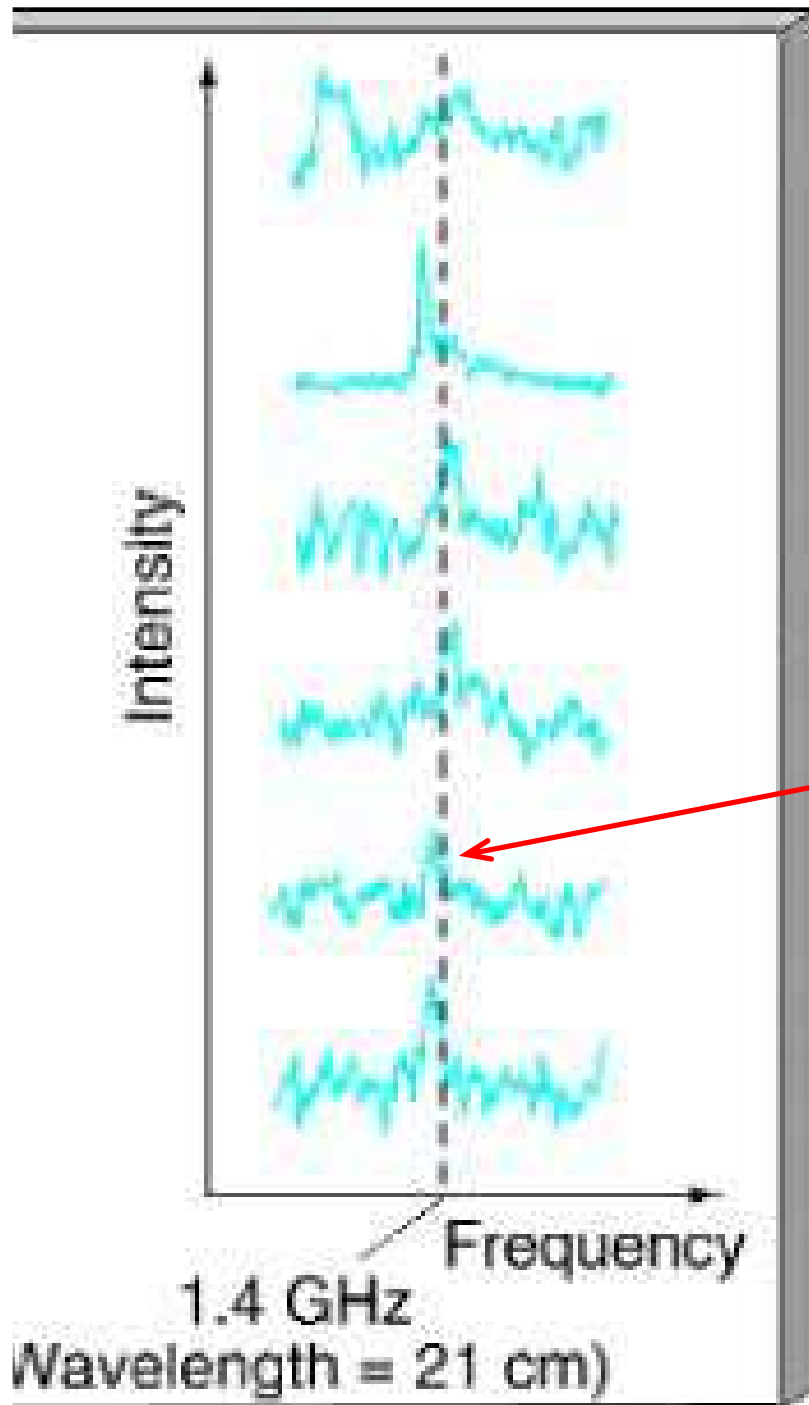


Gráfico **intensidade vs. frequência**, mostrando a frequência na qual o fóton é emitido, produzindo a linha de 21cm.

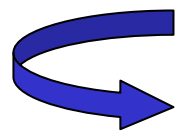
Essa emissão em radio: atravessa facilmente o MIS, mesmo regiões com muita poeira e chega até nos

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 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, CH₃, CH₂, 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 λ 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

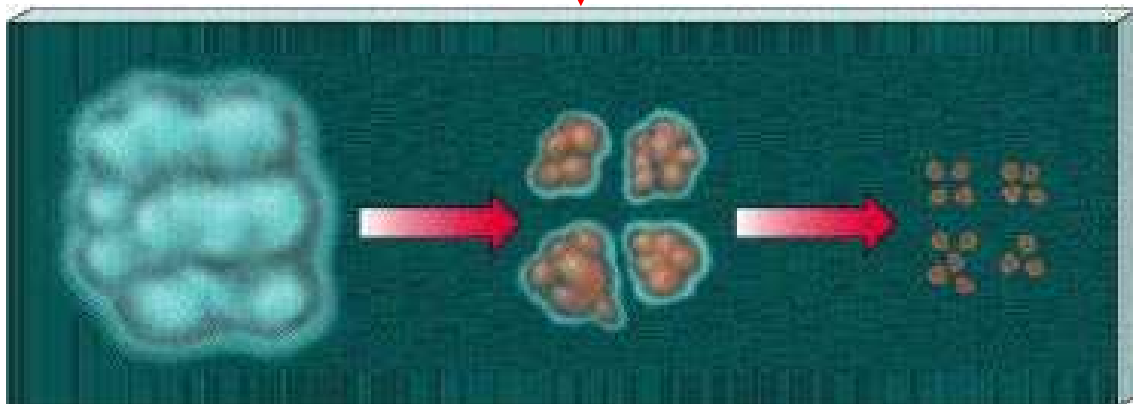
Nuvem de: $D = 10^{14}$ a 10^{15} km = 100 pc

$T = 10$ K

$n = 10^9$ parts./m³ = 10^3 parts./cm³(gas)



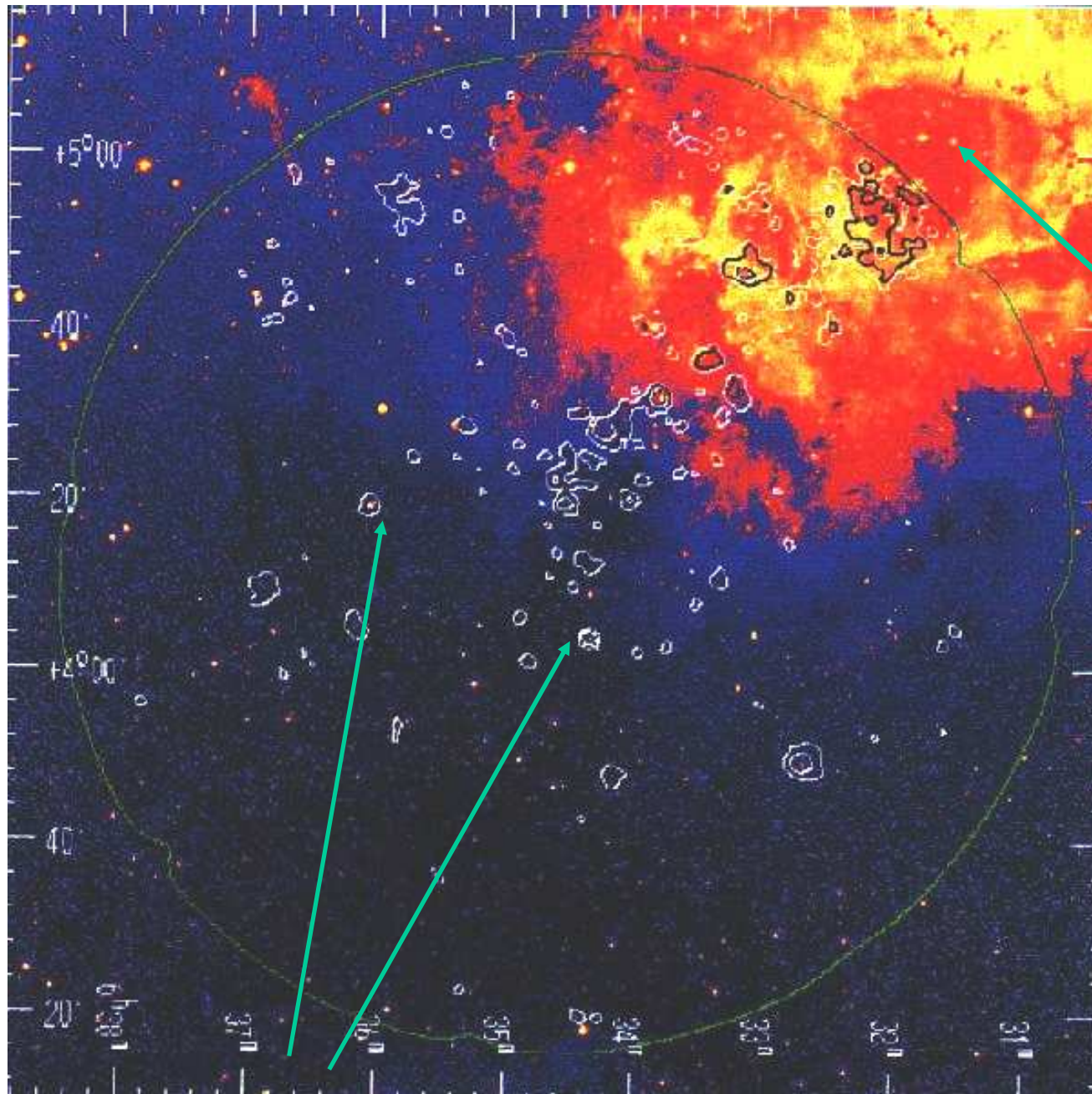
gravitacionalmente instavel



conteudo de poeira: importante para resfriar o gas à medida que contrai 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)

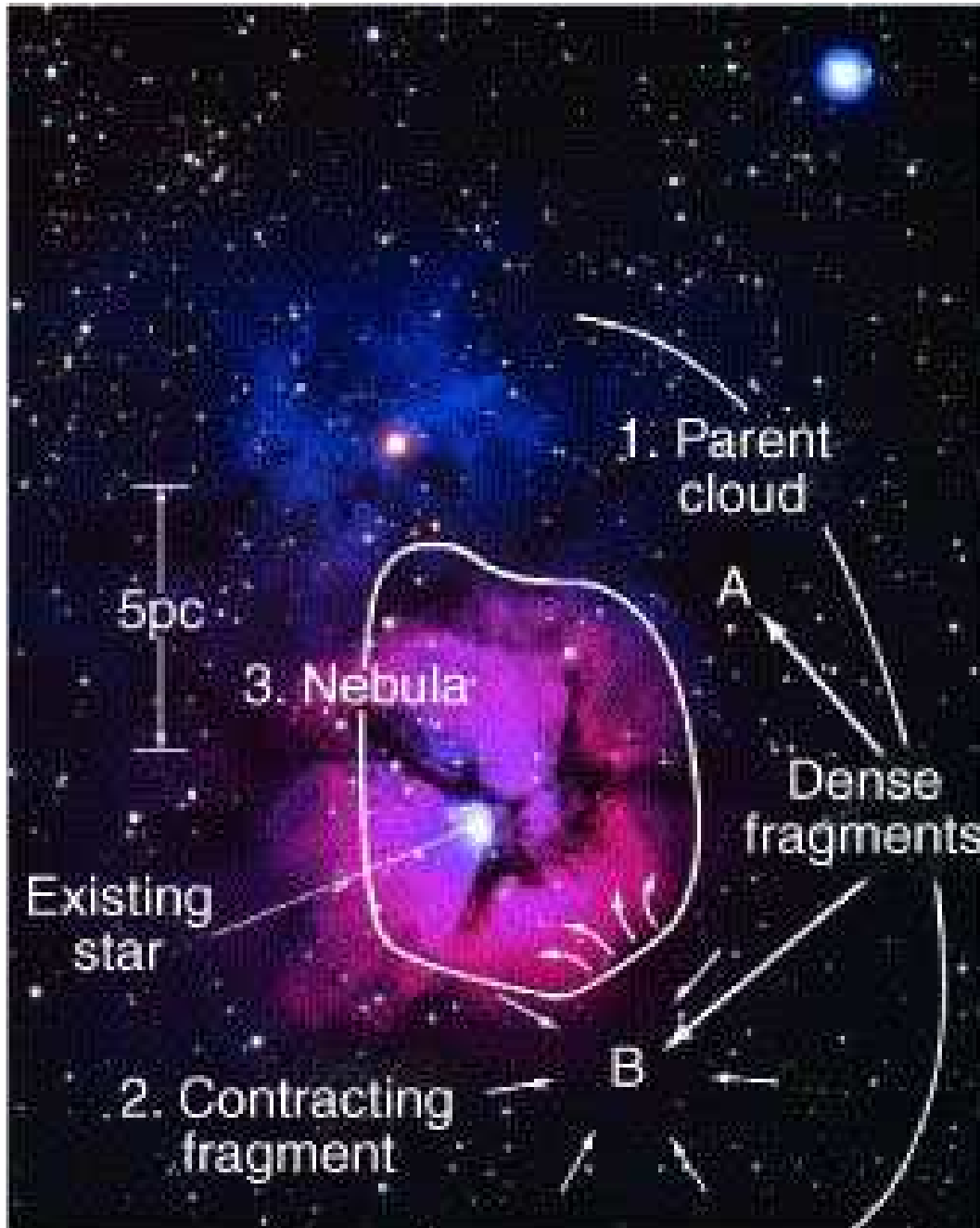
Regiao de M20 (Trifide):

mostra 3
estagios da
formacao
estelar:

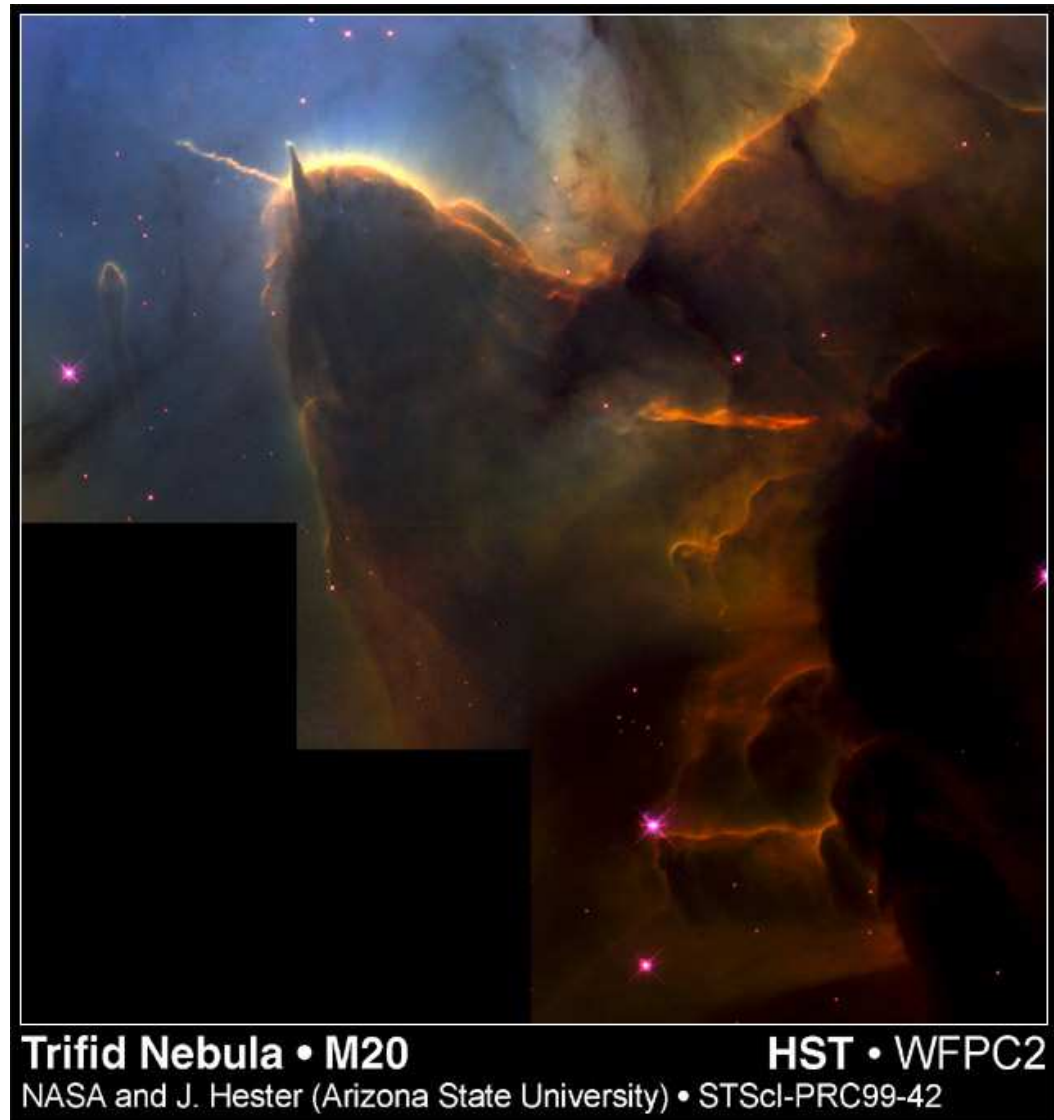
Nuvem progenitora

Fragmentos
colapsando

Nebulosas de
emissao
contendo
estrelas recém
formadas



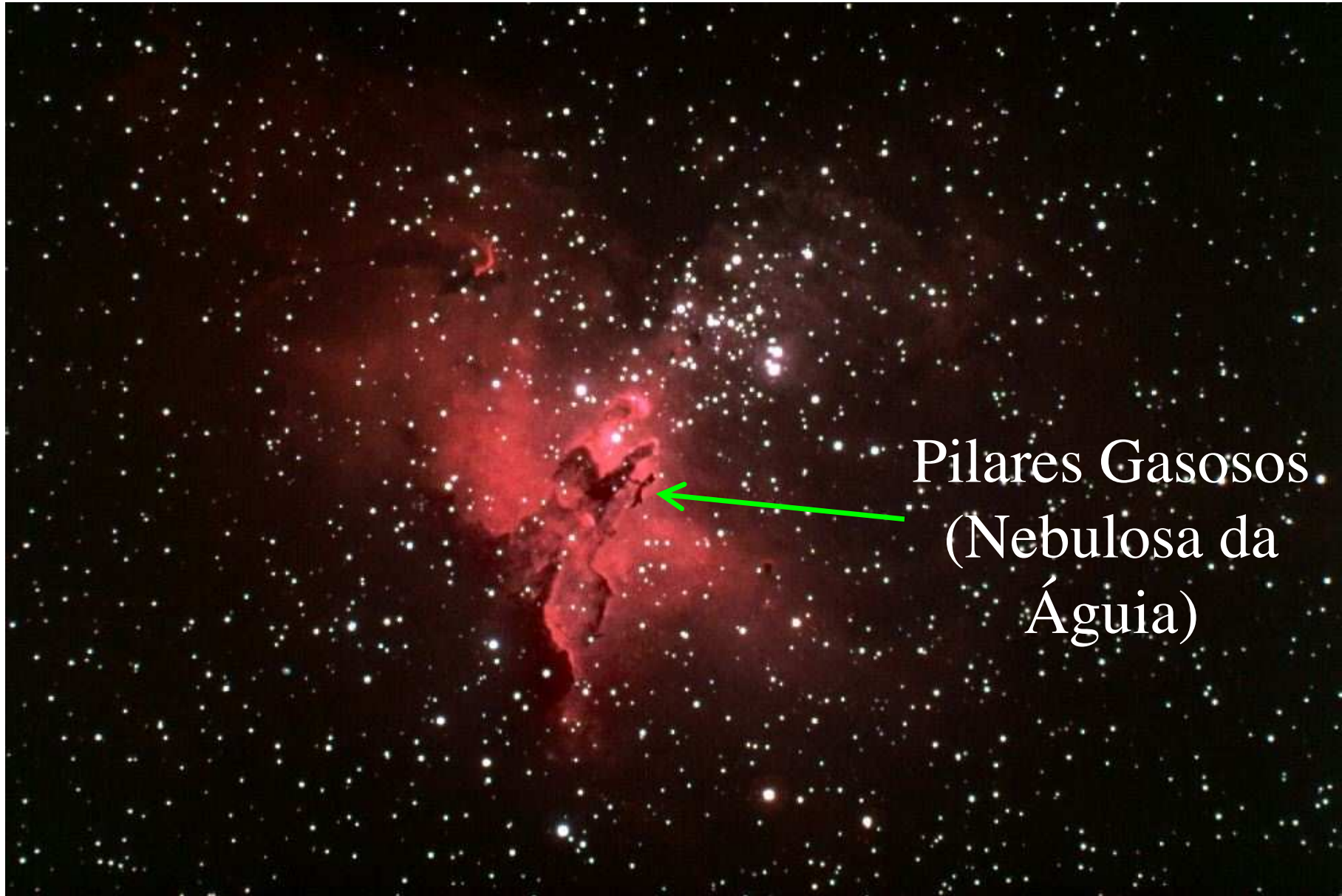
Nebulosa Trífide
M20, na constelação
de Sagitário, a 9000
anos-luz de
distância, exemplo
de um berçário de
estrelas .

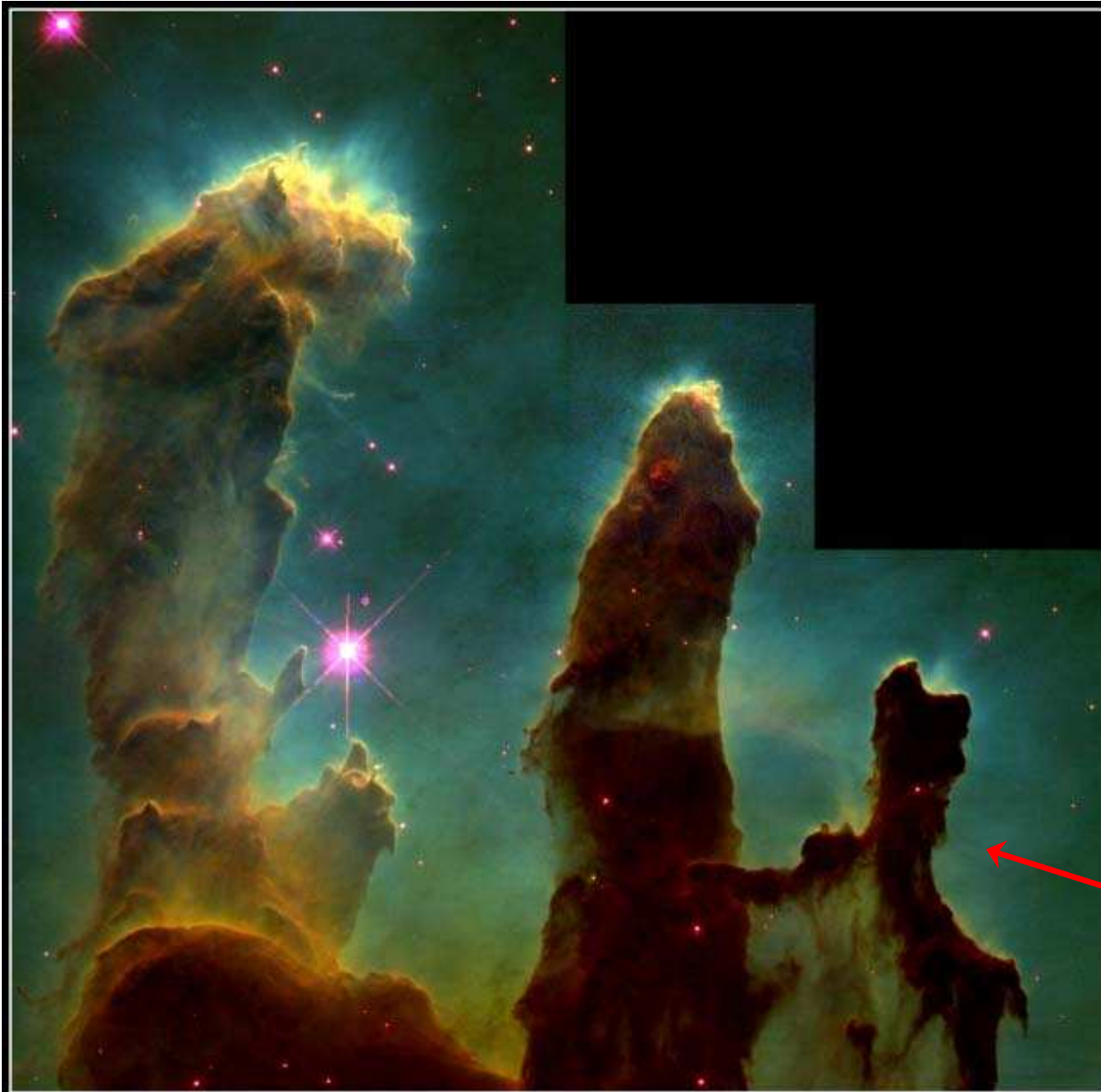


Trifid Nebula • M20

HST • WFPC2

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

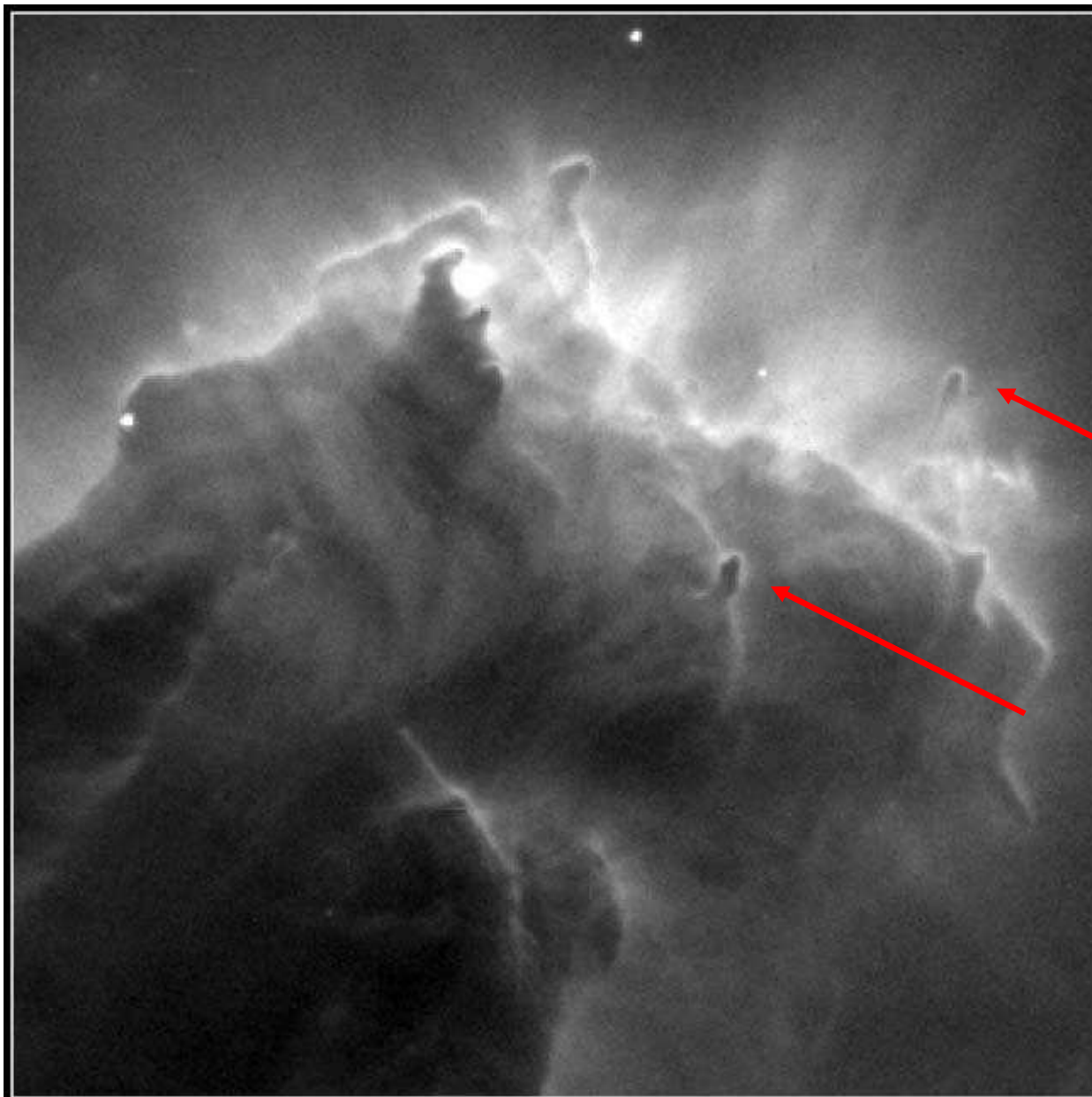




Gaseous Pillars · M16

HST · WFPC2

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

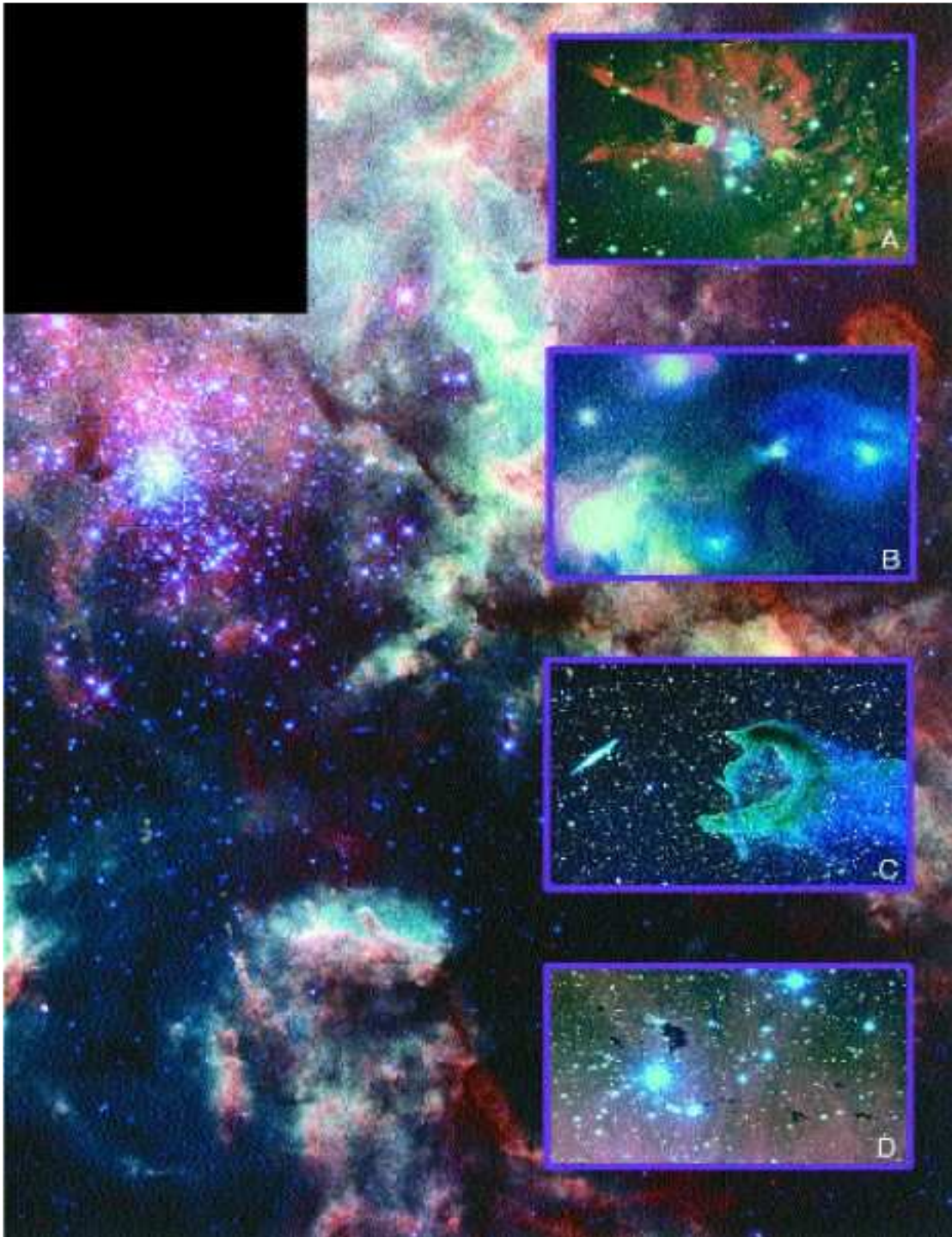


Fragmentos
de
formacao
estelar

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