

Astrofísica Moderna

Meio Interestelar II

Prof. Aion Viana e Prof. Vitor de Souza

Referencias principais da aula:

“An introduction to modern astrophysics”, B.W.Carroll and D.A. Ostlie

“Astronomia e astrofísica”, K. de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva

“Fundamentos de Astronomia”, notas de aula da Prof. Elisabete Gouveia dal Pino IAG/USP

Nebulosa da Roseta em Monoceros



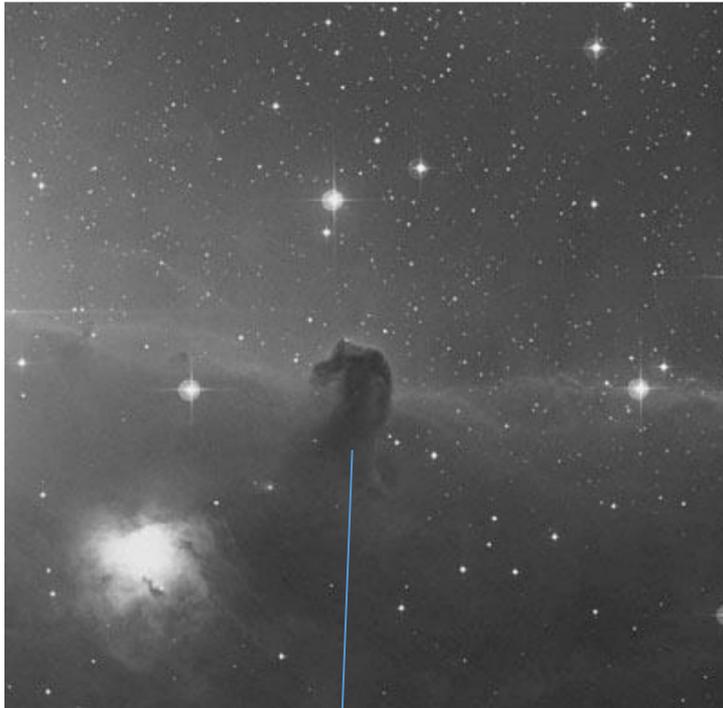
Imagem composta da Nebulosa da Roseta.

Os glóbulos de gás e poeira estão sendo erodidos pela luz e vento de estrelas massivas próximas.

O filtro vermelho está centrado na linha do enxofre, o verde no hidrogênio e o azul no oxigênio.

A nebulosa tem cerca de 50 anos-luz de extensão e está a aproximadamente 4.500 anos-luz de distância.

Nebulosa Cabeça de Cavalo e Nebulosa da Chama



complexo da grande Nebulosa de Órion



No centro da foto de cima vemos a nebulosa escura da Cabeça de Cavalo, e a nebulosa da Chama, perto da estrela Alnitaka, uma das Três Marias, na constelação de Órion;

Trata-se de uma região de formação estelar, onde as estrelas mais massivas formam o Trapézio.

A nebulosa de Órion está a 1.500 anos-luz de nós, tem 25 anos-luz de diâmetro, uma densidade de 600 átomos/cm^3 e temperatura de 70K.

Meio Interestelar

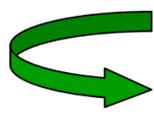
- **Propriedades:** Temperatura; Densidade; Composição; Opacidade
- **Nuvens Interestelares:** nuvens escuras, nebulosas de emissão, nuvens moleculares
- Linha de emissão em 21 cm

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 10% da massa contida em estrelas
- Ingredientes do MIS: **gás + poeira + raios cósmicos**

Propriedades gerais

Estrelas \Rightarrow membros de um sistema \Rightarrow
Galáxia

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

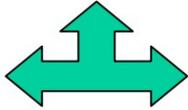
- **Temperatura do MIS: desde alguns graus Kelvin até alguns 10^3 K** (dependendo da proximidade de 1 estrela ou fonte de radiação)

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

\rightarrow meio interestelar é muito frio

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 ($n < 1 \text{ cm}^{-3}$)

Composição química

- **Poeira:**

- Observada no IV

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

- Possivelmente também contem:

- gelo “sujo” = água congelada + amônia + metano + outras moléculas:**

- semelhante a cauda de cometas

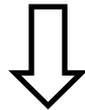
Nuvens interestelares

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

- **Nebulosa de Emissão**
- **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 \Rightarrow **nebulosa de reflexão**
- Se nuvem é aquecida por estrela e emite radiação \Rightarrow **nebulosa de emissão.**

Nebulosas



Nebulosa de reflexão

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**

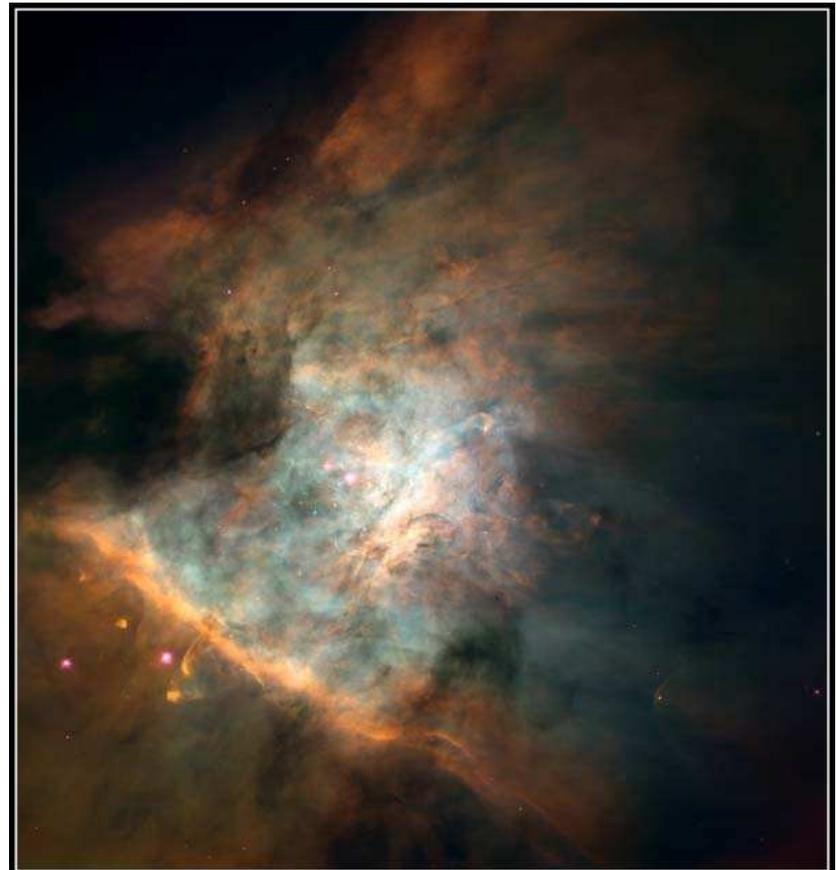
Nebulosa de emissão de Orion, região H II

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

Cor vermelha:

- devido a átomos de H emitindo na região vermelha do espectro
- e também a luz das estrelas quentes embebidas na nuvem

Nebulosas de emissão são também denominadas de **regiões H II** (H ionizado, em oposição ao H neutro denominado H I).



Orion Nebula Mosaic

HST · WFPC2

PRC95-45a · ST ScI OPO · November 20, 1995

C. R. O'Dell and S. K. Wong (Rice University), NASA

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).
- $n_{\max} = 1000$ ats./cm³ (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**

Nuvens de Poeira

Nuvem de Barnard 68 no visível



Nuvem de Barnard 68 no infravermelho



Observação de Nuvens de Poeira

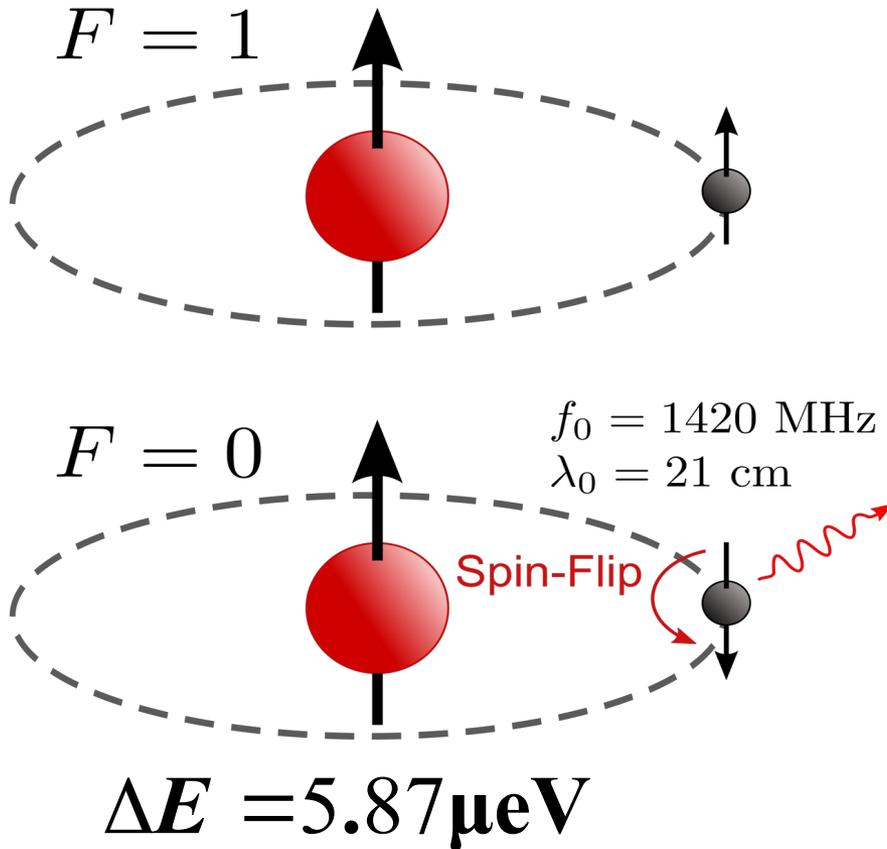
- Atraves de **espectros opticos** (quando ha estrela ionizante)
- **Emissao radio do gas H neutro** (nuvens de poeira sao frias e ricas em gas H neutro!):

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

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

Linha de 21 cm do HI

Estrutura hiperfina do hidrogênio



$$\lambda = \frac{1}{\nu} \cdot c = \frac{h}{\Delta E} \cdot c$$

$$\approx \frac{4.1357 \cdot 10^{-15} \text{ eV s}}{5.87433 \cdot 10^{-6} \text{ eV}} \cdot 2.9979 \cdot 10^8 \text{ m s}^{-1}$$

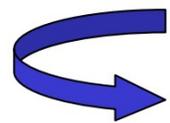
$$\approx 0.21106 \text{ m} = 21.106 \text{ cm}$$

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

Essas nebulosas difusas, regiões HI e HII, geralmente fazem parte de uma única estrutura maior de gás e poeira denominada nuvem molecular gigante que pode conter de 100 mil - 2 milhões de massas solares e ter extensões de 15 - 600 anos-luz. Estima-se que existam 6 mil nuvens moleculares gigantes em nossa galáxia.

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

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



berçários estelares

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.

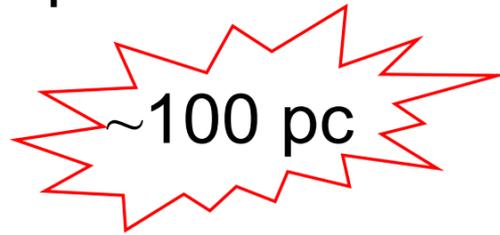
Observações das Nuvens Moleculares

- **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**.
- **Necessário observar outras moléculas** (ex.: CO, HCN, NH_3 , H_2O , H_2CO): mas são **milhões a bilhões 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

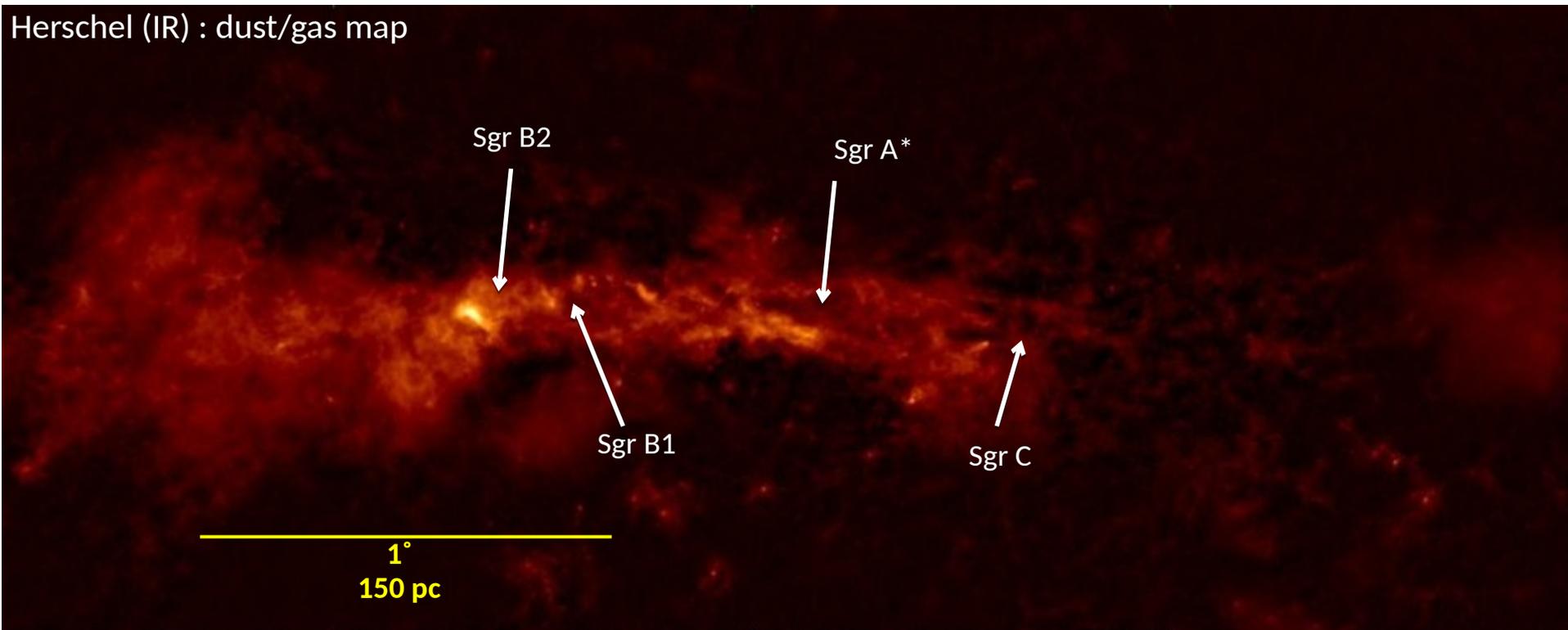


- Os maiores complexos contêm gás suficiente para **formar milhões de estrelas como o Sol.**
- Cerca de **1000 complexos** desse tipo são encontrados em nossa Galáxia.

Região do Centro Galáctico

- Central Molecular Zone (CMZ): giant molecular clouds (~10% of all Galaxy)

Herschel (IR) : dust/gas map



Formação Estelar

Estrelas são formadas da condensação de “pequenos” fragmentos da nuvem molecular (instabilidade de Jeans) que podem acontecer quando da colisão da nuvem molecular com (a) outra nuvem molecular, (b) com um remanente de super-nova, ou (c) com o vento e radiação de estrelas massivas.



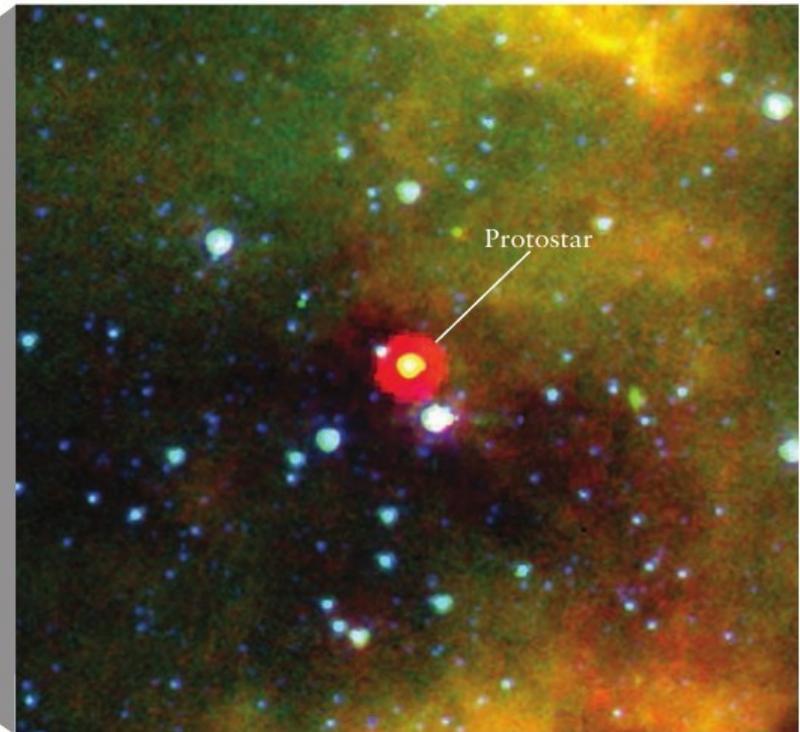
Nebulosa da Roseta em Monoceros

Formação Estelar



a A dark nebula

R I V U X G



b A hidden protostar within the dark nebula

R I V U X G

FIGURE 12-9 Protostar in a Bok Globule (a) This visible-light image shows a small dark nebula (equivalently, a Bok globule) called L1014 located in the constellation Cygnus. (b) When

viewed in the infrared, a protostar is visible within the nebula. (a and b: NASA/JPL-Caltech/N. Evans [Univ. of Texas at Austin]/DSS)

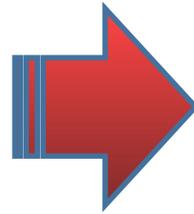
Glóbulo de Bok no visível e no infra-vermelho.
De 100 – 1000 (~2 – 50 massas solares ~ 1 ano-luz) se formam
numa nuvem molecular gigante: aglomerado aberto de estrelas

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.

- Densidade **média** $\sim 10^{-24} \text{ g cm}^{-3}$
- **Gás** $\rightarrow 1 \text{ átomo/cm}^3 = 10^6 \text{ átomos/m}^3$
- **Poeira** $\rightarrow 1 \text{ partícula para } 10^{12} \text{ átomos (1/trilhao)}$

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

Regioes 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.**

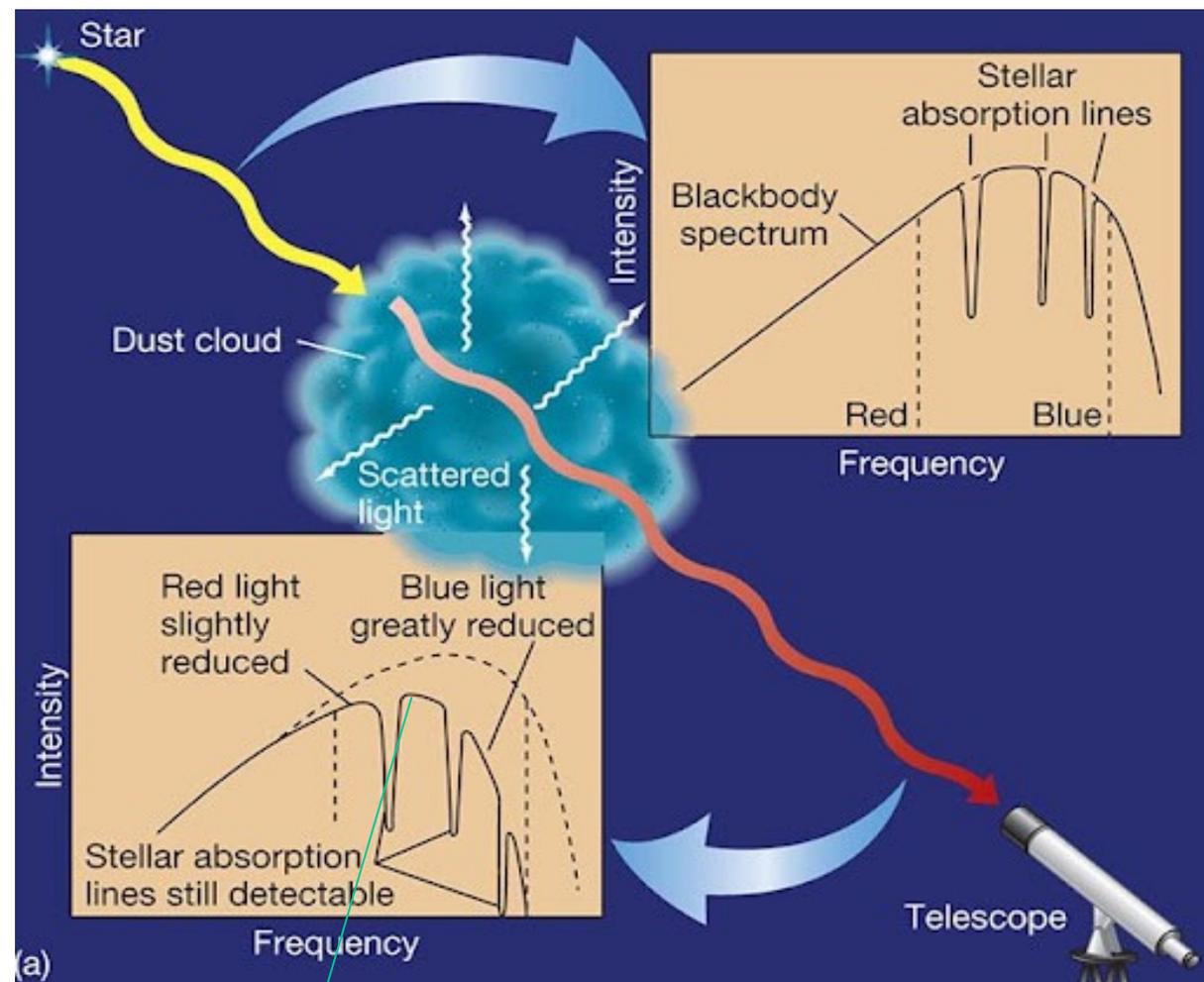
Avermelhamento

- A **absorção maior dos λ 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**):

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

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

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**)

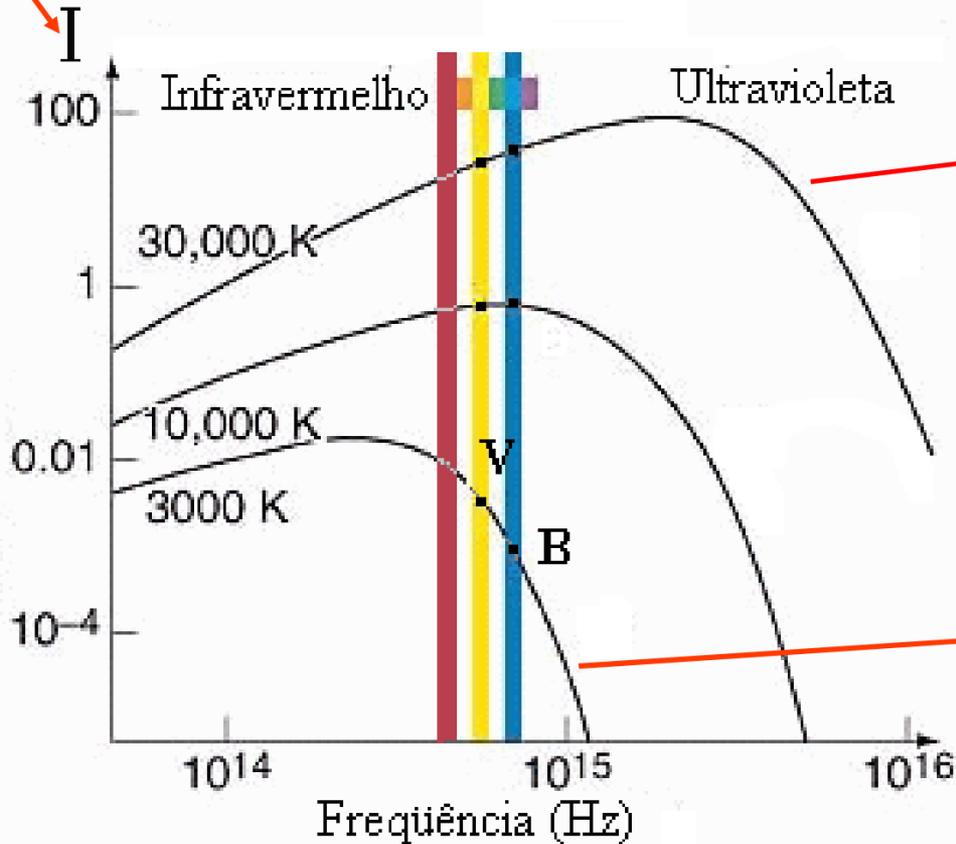
→ Além de ter brilho menor, estrelas parecem + **vermelhas**

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

Índice de cor

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

λ (nm) 1000 100