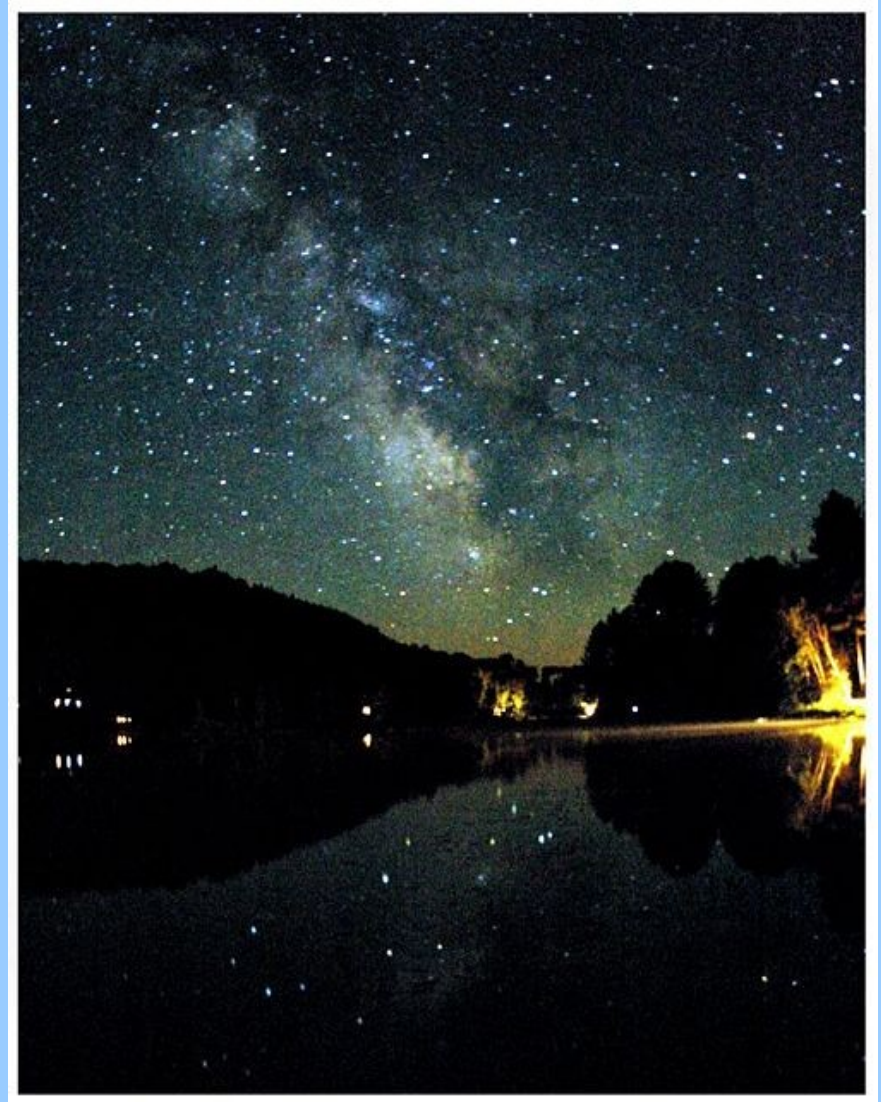


Meio interestelar

Roberto Ortiz
EACH/USP

Noções intuitivas

- A observação do céu noturno a olho nu propicia a detecção de cerca de 6000 estrelas.
- Diversas regiões parecem estar desprovidas de estrelas. Essas regiões são vistas como filamentos escuros no céu.



*Outras regiões do céu contém objetos brilhantes, difusos.
Esses objetos são conhecidos como “nebulosas”.*



- Inicialmente, a palavra *nebulosa* servia para designar qualquer objeto de aparência difusa no céu, quando visto a olho nu ou com um binóculo.
- Alguns aglomerados de estrelas e galáxias foram inicialmente classificados como nebulosas.





- O conceito moderno de nebulosa designa a matéria existente entre as estrelas ou *interestelar*.
- Existem diversas classificações de nebulosas na literatura (difusas, amorfas, escuras, etc.)

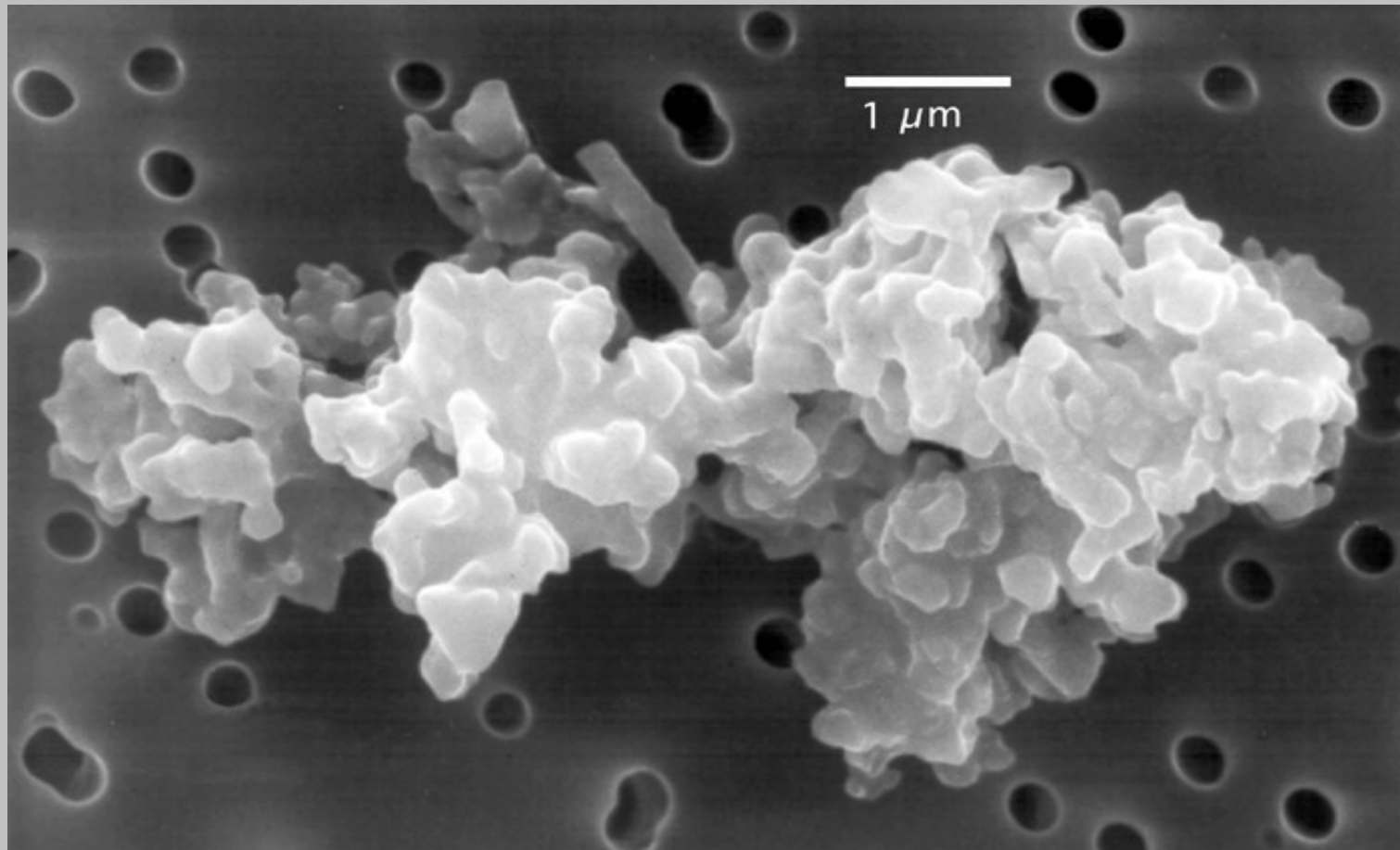
Composição das nebulosas

- Uma classificação física deve basear-se nas propriedades da matéria que a compõe.
- As nebulosas são constituídas basicamente de:
 - Grãos de poeira
 - Gás
- O **gás**, por sua vez, pode ser:
 - Molecular
 - atômico (neutro)
 - ionizado.

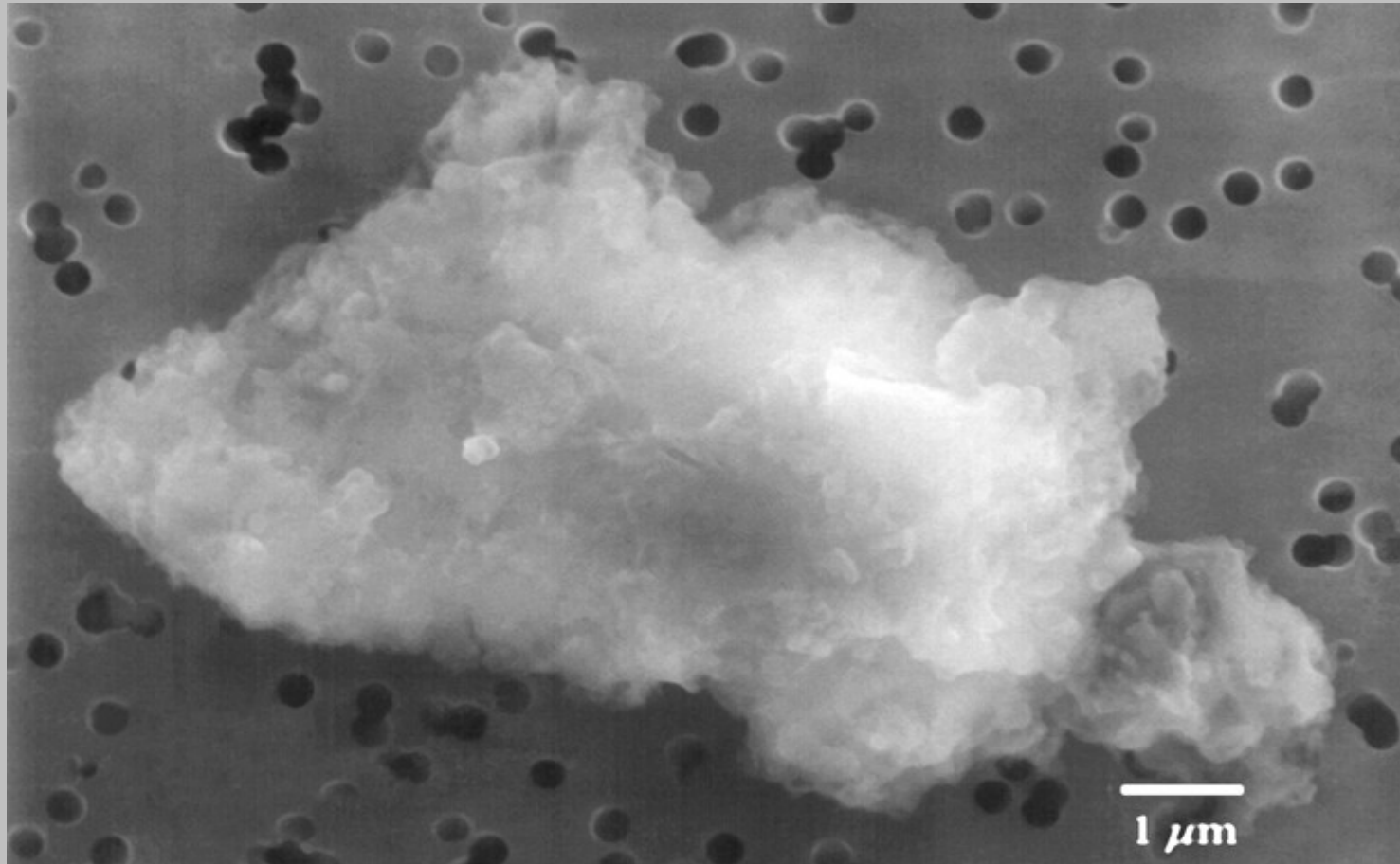
A poeira no meio interestelar

- Os grãos de poeira são partículas de rocha e gelo, de composição que guarda semelhanças com o material que compõe os cometas.
- Esses grãos são compostos de óxidos de silício (SiO), gelo (H₂O), Fe, Mg, etc.
- Suas dimensões geralmente são menores que 0,1 micron. A quantidade relativa de grãos diminui com seu tamanho.

Exemplo: grão colhido no sistema solar

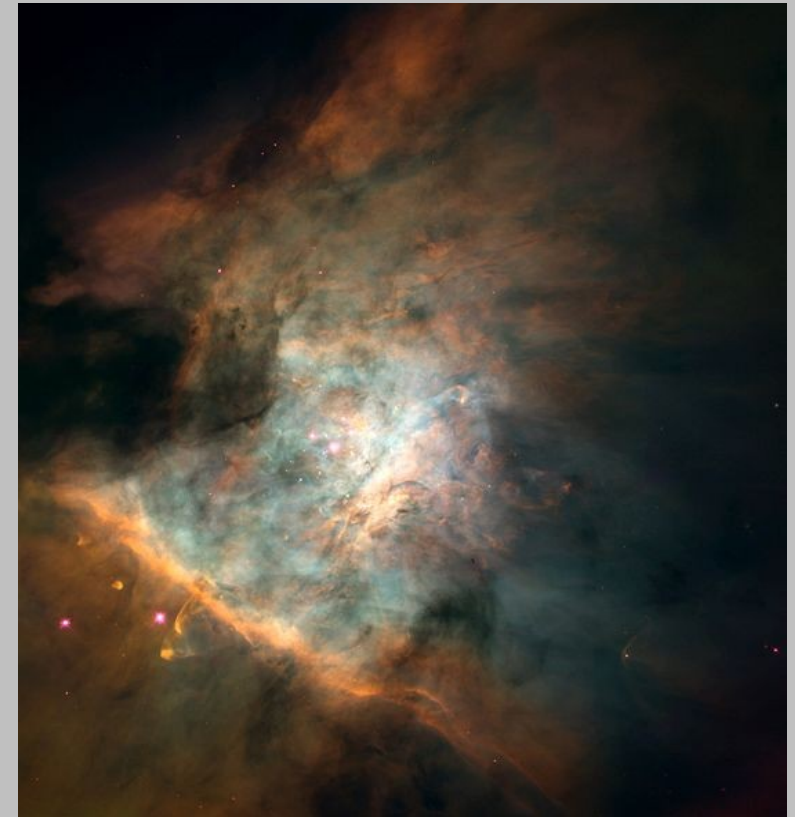


Exemplo: grão colhido no sistema solar



Por que as nebulosas brilham?

- Há vários processos que concorrem para a emissão de radiação em nebulosas.
- Nas **Nebulosas de Reflexão**, os grãos que a compõem são iluminados por uma estrela.
- Parte da radiação é absorvida e essa energia aquece os grãos.
- Outra parte da radiação é espalhada (ou refletida). Essa radiação gera uma *nebulosa de reflexão*.



*Um exemplo de nebulosa de reflexão:
as Plêiades (M45)*



Nebulosa de reflexão M16 em Aquila



- Quando não há estrelas na vizinhança dos grãos, estes somente absorvem a radiação das estrelas de fundo.
- O fenômeno de absorção da radiação por grãos chama-se *Extinção*.
- As nebulosas que somente absorvem a luz das estrelas são chamadas de **Nebulosas Escuras**.



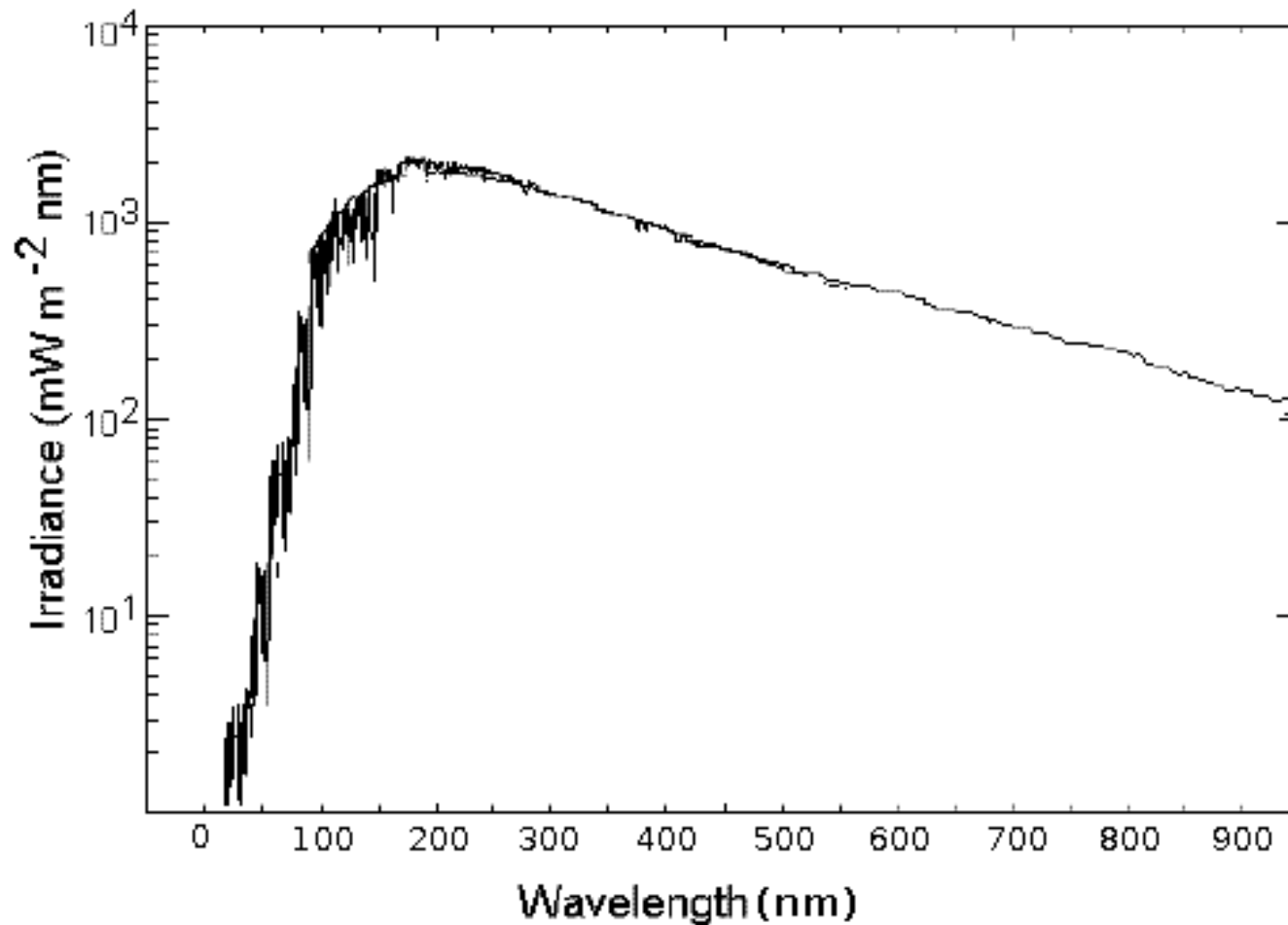


Nebulosas de emissão

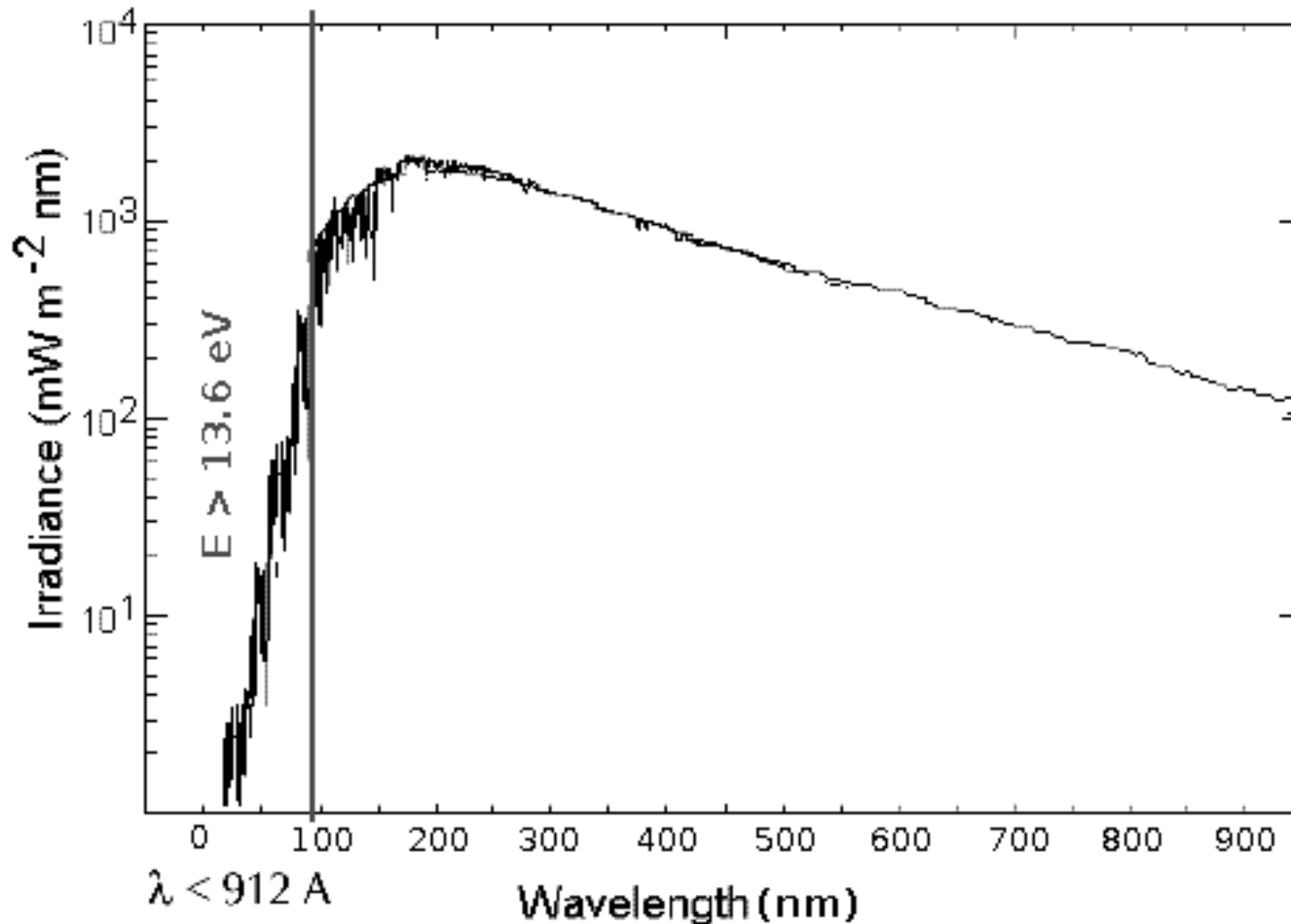
- Quando há uma estrela muito quente nas proximidades da nebulosa, os ftons mais energéticos emitidos pela estrela podem ionizar o gás próximo.
- Ao recombinarem-se, esses átomos executam diversas transições de energia, emitindo ftons.
- A nebulosa emite um espectro de **emissão de linhas**.



Estrela ionizante:
núcleo da nebulosa planetária ou
de sequência principal tipo O5 → B2

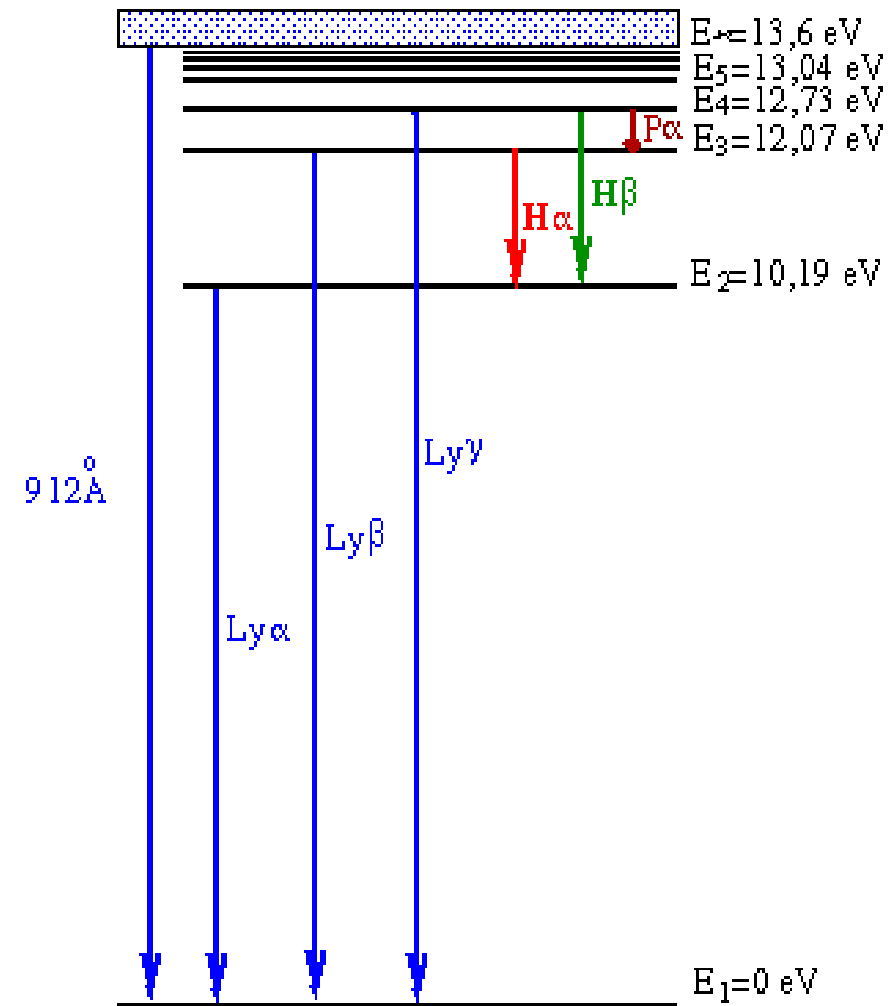
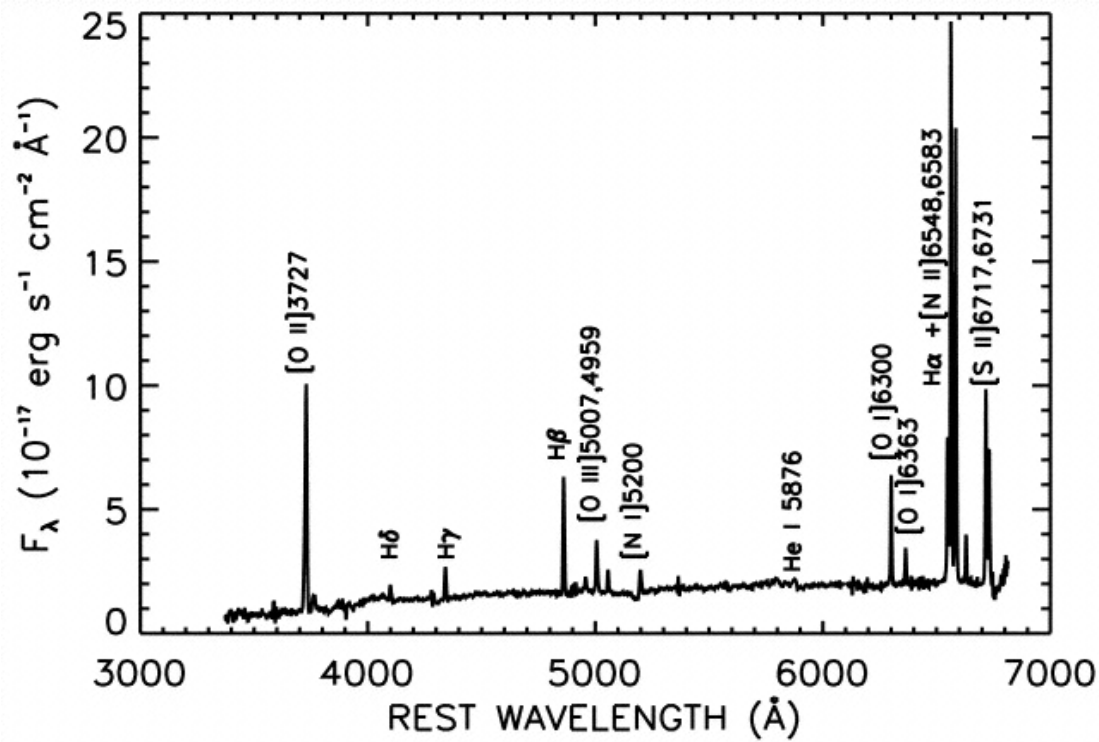


Estrela ionizante:
núcleo da nebulosa planetária ou
de sequência principal tipo O5 → B2

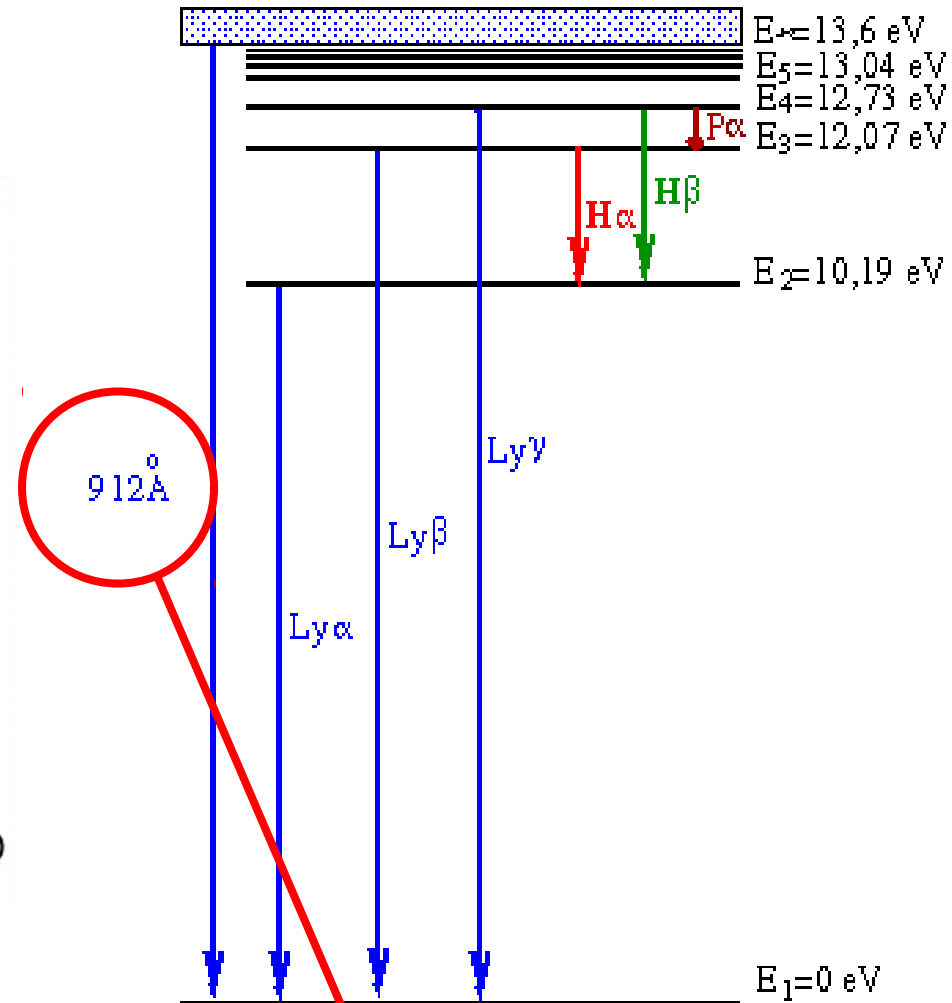
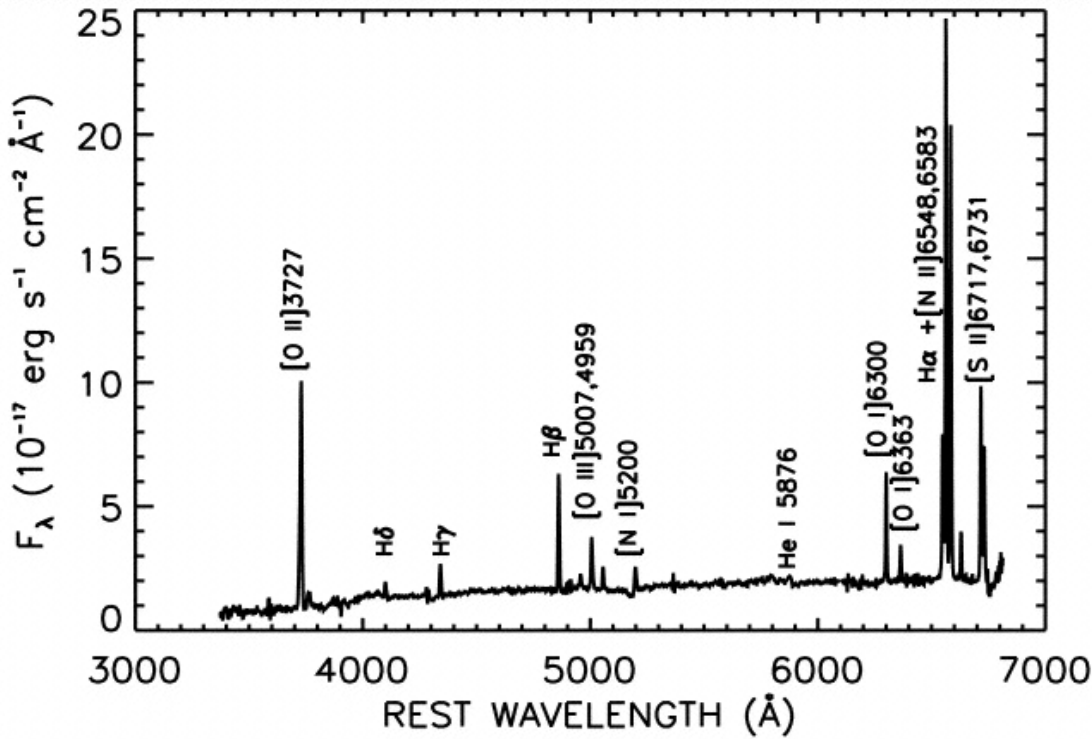


Fotons da estrela com $E > 13,6$ eV têm energia para ionizar H

Espectro de emissão da nebulosa ionizada



Espectro de emissão da nebulosa ionizada



A recombinação do próton com o elétron gera um espectro de emissão de linhas. O espectro visível contém a série de Balmer do Hidrogênio.

$E > 13,6 \text{ eV}$

- Quando as nebulosas fotoionizadas são formadas próximo a estrelas jovens, tipos O e B, são chamadas de **regiões HII**
- A cor avermelhada das nebulosas é produzida pela linha de emissão do H quando esses átomos realizam a transição entre os níveis 3 e 2 (linha $H\alpha$ em $\lambda=6563 \text{ \AA}$).
- A cor azulada deve-se à transição entre os níveis 4 e 2 (linha $H\beta$ da série de Balmer, em $\lambda=4861 \text{ \AA}$).
- Temperatura típica: 8 – 20 mil K
- Densidade típica: $10^1 - 10^3 \text{ cm}^{-3}$.



Região HII em Orion

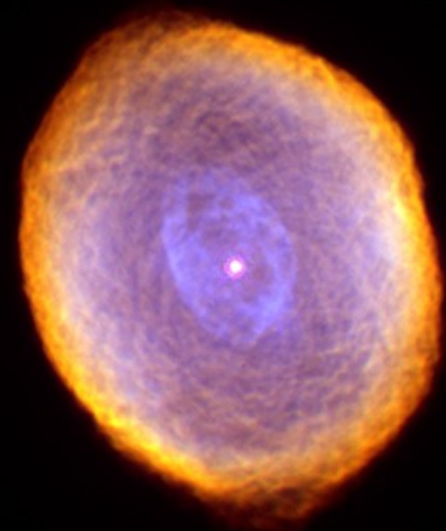
- Quando as nebulosas são ionizadas pela remanescente de uma gigante vermelha ela é chamada de **Nebulosa Planetária**.
- O objeto central é o núcleo da nebulosa planetária, que pode atingir temperaturas de até 300 mil K.
- Temperatura típica: 8 – 20 mil K
- Densidade típica: $10^2 - 10^6 \text{ cm}^{-3}$.

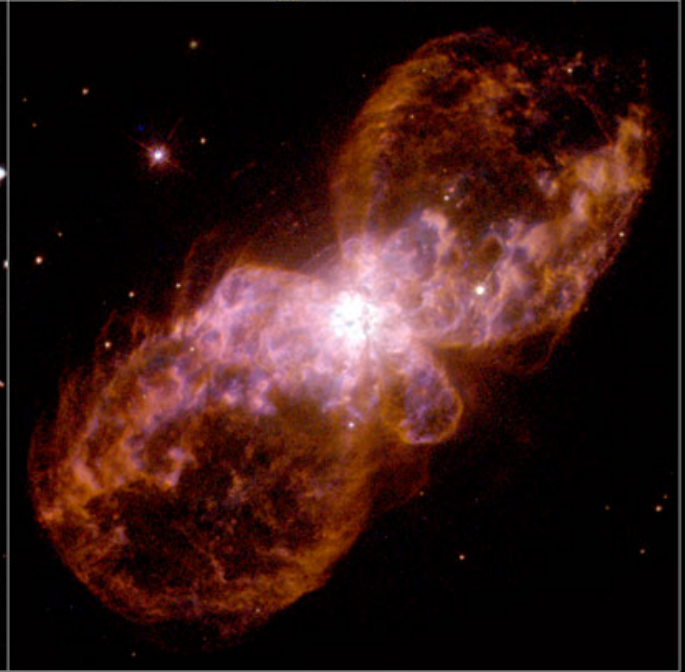
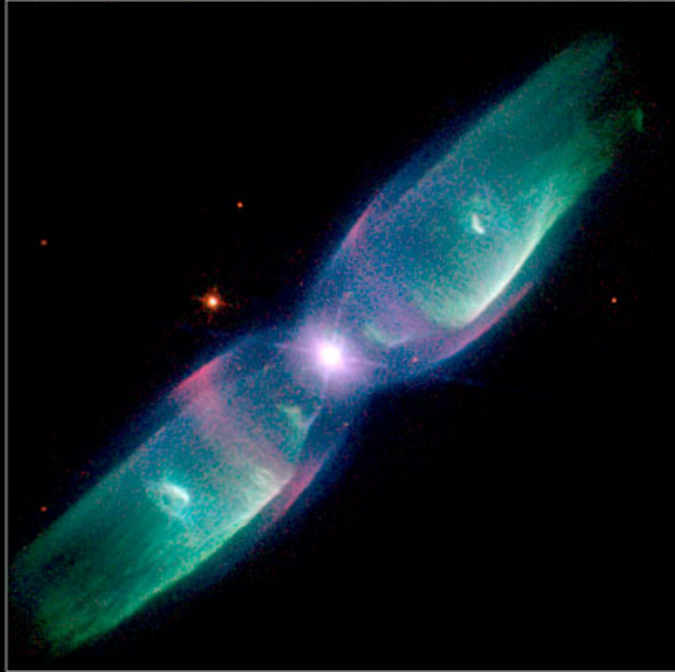
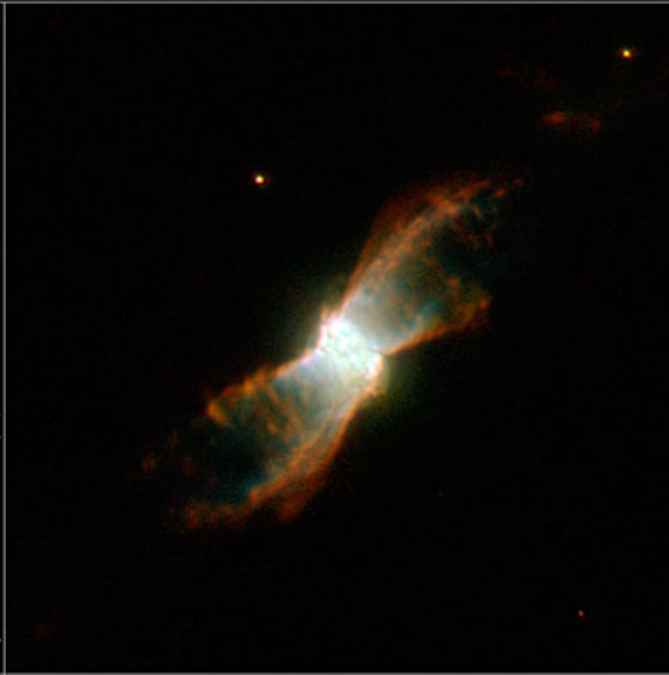
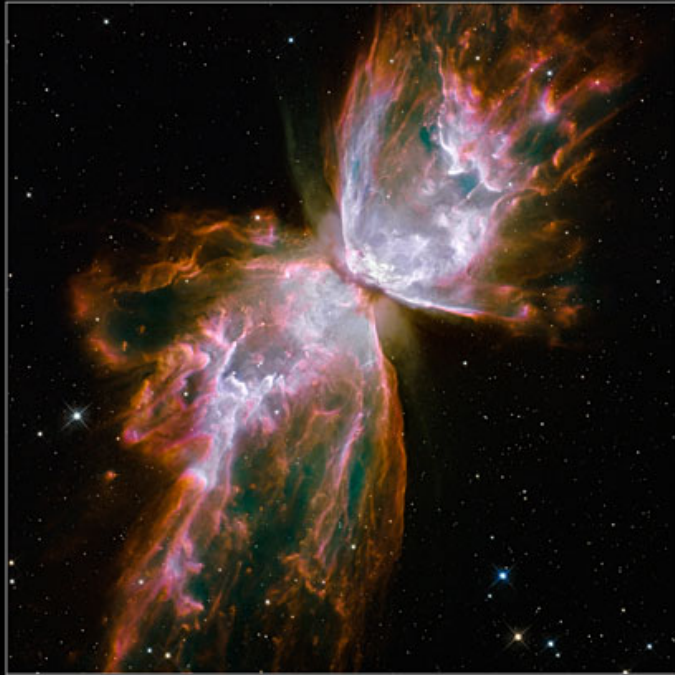


Nebulosa planetária M27







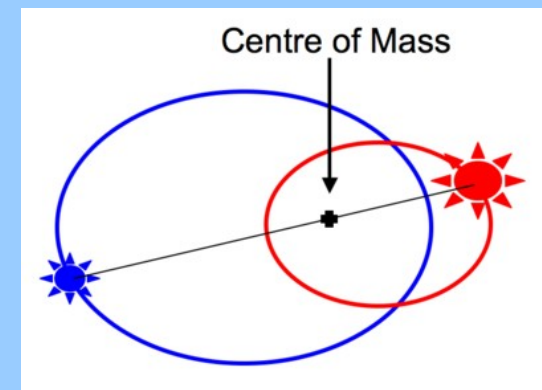


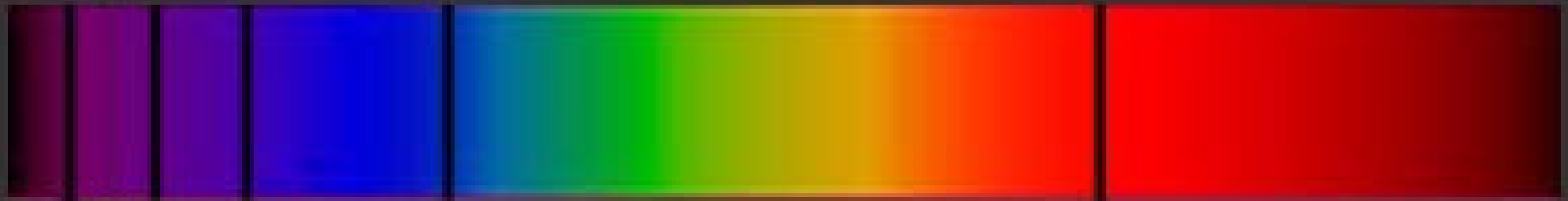
Gás interestelar neutro

- Em 1904, J.F. Hartmann observou o espectro da estrela binária δ Orionis.
- O movimento das duas estrelas causa um deslocamento de suas linhas espectrais devido ao efeito Doppler.
- Ele observou que as linhas H e K do Ca não apresentavam desvio devido ao efeito Doppler, como as demais linhas do espectro.
- Hartmann concluiu que essas linhas espectrais não eram estelares, mas seriam produzidas em algum lugar entre o observador e a estrela: *o meio interestelar*.

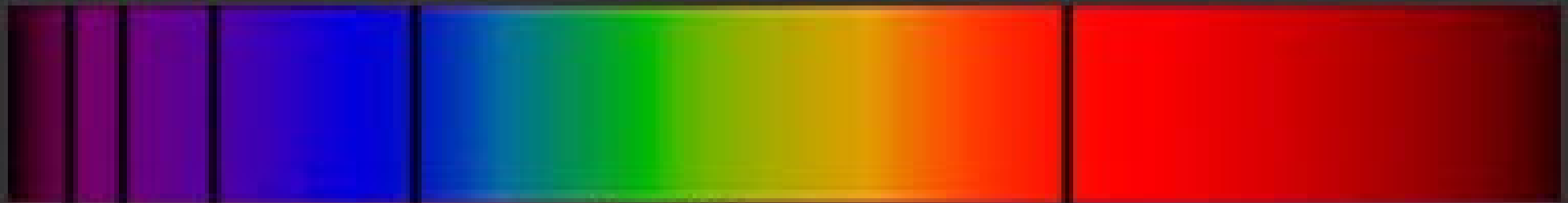


A estrela δ Ori é uma das Três Marias (acima, à direita, nesta foto)





Afastando-se



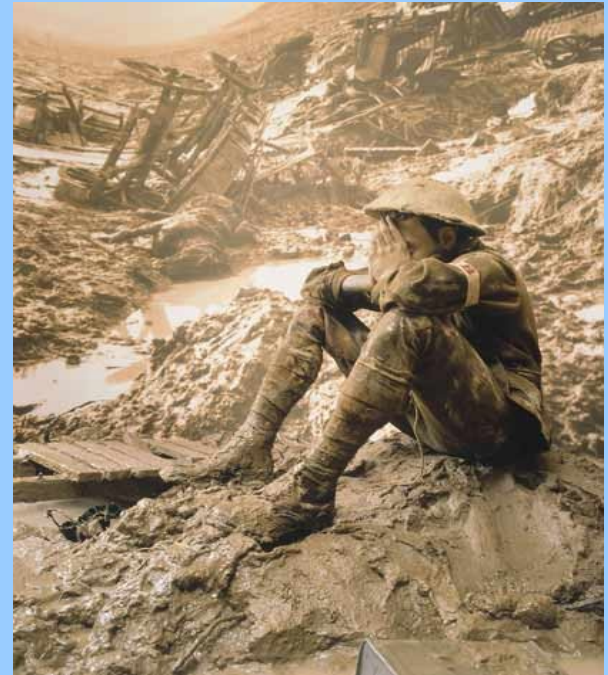
Repouso



Aproximando-se

Linha do Call

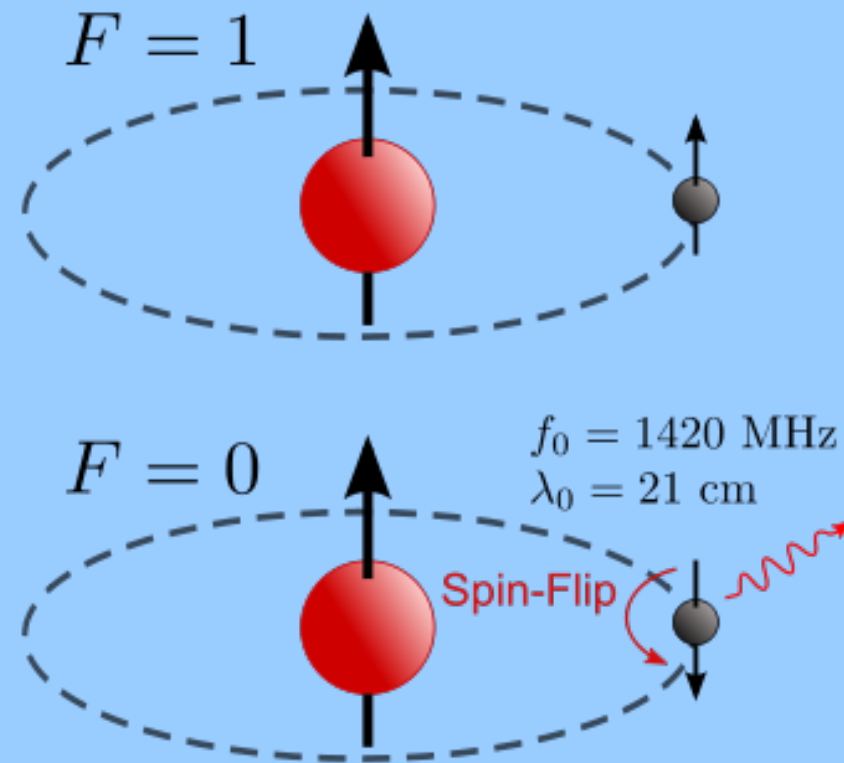
- Em 1939 eclodiu a 2a. Guerra Mundial na Europa.
- Impedidos de realizar observações astronômicas, muitos astrônomos dedicaram-se a fazer cálculos teóricos.



- Na Holanda, Hendrik van de Hulst estudava o átomo de Hidrogênio. Seus cálculos mostravam que esse átomo tinha 2 níveis de energia muito próximos, separados apenas de $5,9 \times 10^{-6}$ eV.



À direita: escritório de H. van de Hulst, Sterrewachtlaan 9, Leiden, Holanda.

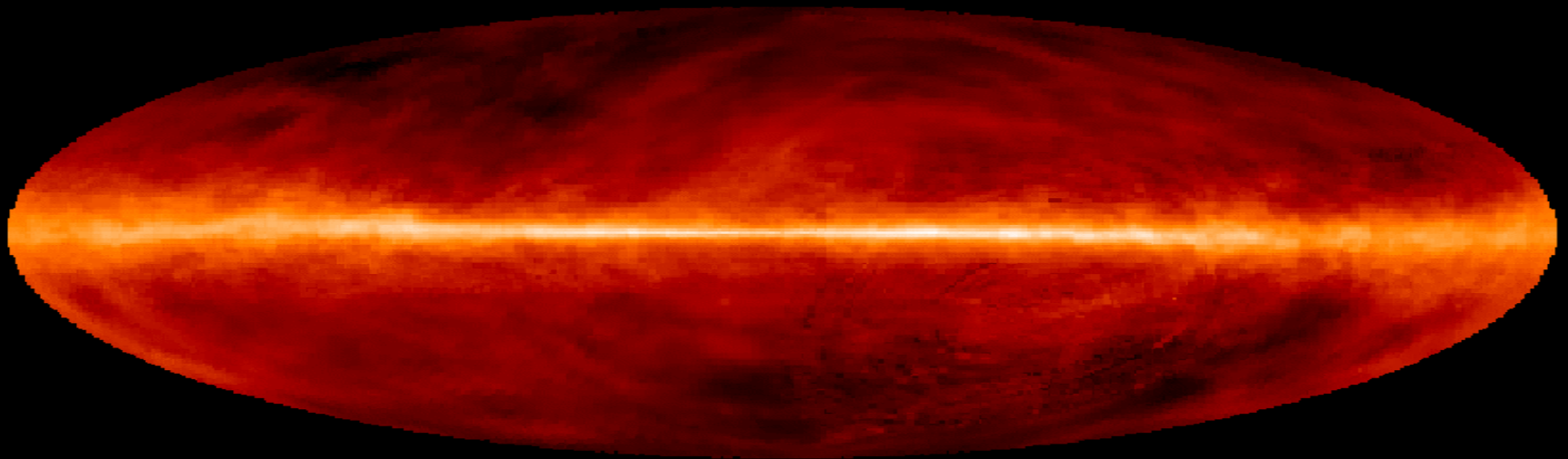


Em 1944, H. van de Hulst previu, a partir de cálculos teóricos, que o átomo de hidrogênio deveria emitir uma linha com comprimento de onda $\lambda = 21 \text{ cm}$, em radiofrequências ($\nu = 1420 \text{ MHz}$).

- Com o final da guerra, os astrônomos puderam dedicar-se novamente às observações.
- O descoberta do *radar*, pelos ingleses, deu novo impulso à Radioastronomia.
- Em março de 1951, a detecção da linha de 21 cm foi anunciada, independentemente, pela dupla americana Ewen & Purcell e pelos holandeses Muller & Oort.
- Desde então, emissão de hidrogênio neutro (HI) tem sido continuamente mapeada, utilizando-se radiotelescópios.



A distribuição de hidrogênio atômico (HI) guarda semelhanças com a distribuição de estrelas na Galáxia



O gás neutro no meio interestelar: características

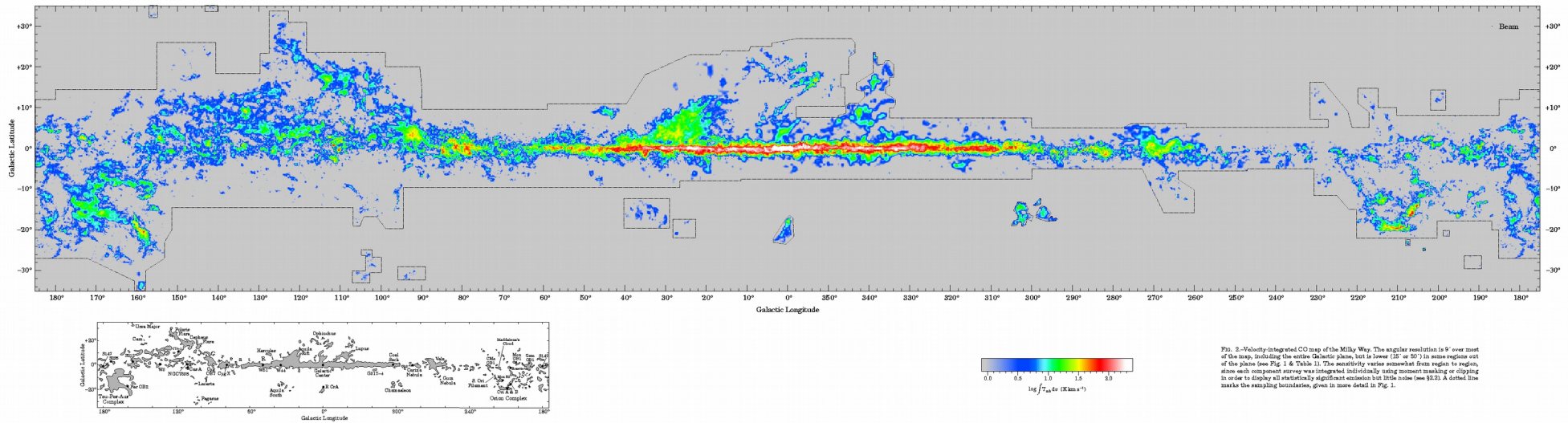
- O principal componente do gás neutro é o Hidrogênio neutro (HI); há também cerca de 20% de Hélio e 2% de todos os demais elementos químicos.
- Temperatura típica do HI interestelar: 10^2 K
- Abaixo são dadas algumas densidades típicas de partículas (átomos ou moléculas) de diversos meios, para comparação (em cm^{-3}):
 - Água: 3×10^{22}
 - Ar (1 atm): 2×10^{19}
 - Fotosfera solar: 1×10^{17}
 - Atmosfera estelar (M5 III): 2×10^{15}
 - Meio interestelar difuso: 1 – 10
 - Meio internuvem: 10^{-1}

Nuvens moleculares

- Embora já se especulasse sobre a existência de moléculas no meio interestelar desde os anos 1920, a primeira observação direta só ocorreu em 1963, com a observação do radical hidroxila (OH) em $\lambda = 18$ cm.
- Em 1968, foram detectados amônia (NH₃) e formaldeído (H₂CO) no meio interestelar.
- A molécula mais abundante do Universo é o hidrogênio (H₂), seguido pelo monóxido de carbono (CO).
- Até hoje, mais de uma centena de moléculas diferentes já foram detectadas, principalmente por meio de **radiotelescópios**.

- As moléculas são formadas pela força eletrostática entre átomos.
- Nas nuvens moleculares mais densas a densidade pode superar $> 10^4 \text{ cm}^{-3}$.
- A distribuição de moléculas na Galáxia é semelhante à de estrelas jovens. ***Nuvens Moleculares densas.*** são locais de **formação de estrelas.**
- A temperatura no interior das Nuvens Moleculares pode ser muito baixa: $T = 10 \sim 20 \text{ K}$.

Distribuição de monóxido de carbono na Galáxia



As regiões escuras da foto acima são nuvens moleculares opacas devido a grãos interestelares misturados ao gás molecular.

Para saber mais:



- Astrofísica do meio interestelar, Walter Maciel, EDUSP, cap.1
- A Via-Láctea, nossa ilha no Universo, Jacques Lépine, EDUSP, cap. 3