

# Aula 22: Meio interestelar

Maria de Fátima Oliveira Saraiva, Kepler de Souza Oliveira Filho & Alexei Machado Müller



Nebulosa de Órion, uma região de formação estelar visível a olho nu na constelação de Órion, fotografada pelo Hubble. Crédito:

[NASA, ESA, STScI.](#)

## Introdução

Prezados alunos, em nossa segunda aula da terceira área, vamos estudar o que existe no espaço entre as estrelas- o meio interestelar.

Bom estudo!



## Objetivos

- Descrever resumidamente a composição do meio interestelar e como ele se encontra distribuído;
- Descrever o que são regiões HII e o mecanismo pelo qual elas brilham;
- Discutir o efeito da poeira na luz das estrelas;
- Descrever o que é a radiação de 21cm do hidrogênio neutro e qual a sua importância no estudo do meio interestelar.

## O que existe no espaço entre as estrelas?

### O meio interestelar

Embora a maior parte da massa visível da Galáxia esteja concentrada em estrelas, o meio interestelar não é completamente vazio. Ele contém **gás e poeira**, na forma de nuvens individuais, e também em um meio difuso. O meio interestelar contém tipicamente um átomo de hidrogênio por centímetro cúbico (para comparação, o ar que respiramos tem  $10^{19}$  átomos de gás por  $\text{cm}^3$ ) e, aproximadamente, 100 grãos de poeira por quilômetro cúbico. Embora exista apenas  $1/10^{12}$  partículas de poeira para cada partícula de gás, a poeira contribui com quase 1% da massa do meio interestelar.



Figura 22.01: Imagem composta da Nebulosa da Roseta obtida por [@Ignacio de la Cueva Torregrosa](#). 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.

O meio interestelar compreende todo o material entre as estrelas, e tem uma massa estimada em 10% da massa da Galáxia contida em estrelas. A quase totalidade da massa do meio interestelar está no gás interestelar, sendo que a poeira agrupa menos de 1% da massa em gás. Raios cósmicos, que são partículas altamente energéticas, estão misturados com o gás e a poeira.

### Composição do meio interestelar:

É composto principalmente por gás e um pouco de poeira, tudo em baixíssimas densidades.



Figura 22.02: 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; a foto de baixo mostra uma parte maior da nebulosidade existente na constelação de Órion, tendo a mesma nebulosa escura Cabeça de Cavalo um pouco abaixo e à esquerda do centro, e na extremidade direita uma das nebulosas de emissão que fazem parte do complexo da grande [Nebulosa de Órion](#), na espada da constelação do 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<sup>3</sup> e temperatura de 70K. A foto colorida é do [@Star Shadows Remote Observatory](#).

O meio interestelar está sendo continuamente reciclado. Nuvens interestelares de hidrogênio atômico colidem e crescem; algumas colapsam dando origem a estrelas. Quando as estrelas morrem, devolvem ao meio, parte do gás; este material pode então formar novas nuvens e começar novamente o ciclo. Mas a quantidade de gás do meio interestelar diminui continuamente com o tempo, pois como estrelas de baixa massa se formam em número muito maior do que as de alta massa (para cada estrela de massa de 10 massas solares, centenas de estrelas de massas entre 0,5 e 1 massa solar são formadas), e as estrelas de baixa massa perdem um pouco de sua massa em sua evolução, cada nova geração de estrelas aprisiona o gás no meio interestelar.

#### Gás interestelar:

É constituído principalmente por hidrogênio atômico, molecular e ionizado. Sua densidade é 1 partícula /cm<sup>3</sup>.

#### Gás interestelar

O gás interestelar é composto principalmente de hidrogênio, que pode ser encontrado na forma de hidrogênio atômico (HI), espalhado em toda a Galáxia; na forma ionizada (HII), em nebulosas brilhantes chamadas nebulosas de emissão (ou regiões HII), ou na forma molecular (H<sub>2</sub>), formando nuvens moleculares de diferentes tamanhos.



## Hidrogênio atômico: HI

O hidrogênio atômico (HI) emite uma linha espectral no comprimento de onda de 21 cm, que é usada para mapear a distribuição desse gás e que teve um papel chave na determinação da estrutura espiral da Galáxia.

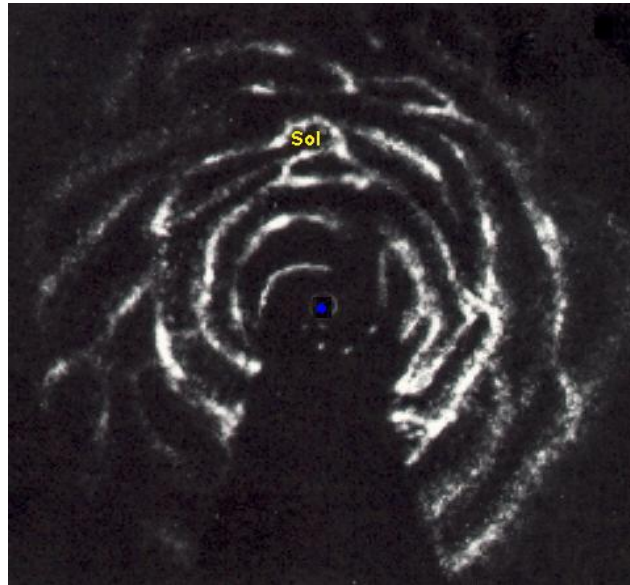


Figura 22.03: Mapa da distribuição de hidrogênio na nossa Galáxia. O centro da Galáxia está indicado por um pequeno círculo azul.

A radiação de 21 cm do hidrogênio atômico foi predita teoricamente pelo dinamarquês H. C. van de Hulst, quando propôs, em 1944, que o átomo de hidrogênio emitiria uma radiação nesse comprimento de onda como resultado da variação do spin do elétron.

Como o elétron e o próton são cargas elétricas girando, eles criam campos magnéticos locais que interagem, de forma que o estado de menor energia é com spins antiparalelos, e o de maior energia com spins paralelos. A diferença de energia destes dois níveis é de  $h\nu = 6 \times 10^{-6}$  eV, correspondendo a uma frequência de 1.420,4 MHz. Portanto, a transição entre esses dois níveis de estrutura hiperfina dá origem a uma linha de comprimento de onda de  $\lambda = c/\nu = 21,049$  cm, na faixa de rádio.

De vez em quando (uma vez a cada 500 anos) um átomo colide com outro, ganhando energia e ficando num estado excitado de spins paralelos. Quando volta ao estado fundamental (o que pode levar milhões de anos) emite a radiação de 21 cm. Essa linha indica que a temperatura do gás é de 10 a 20 K.

A linha foi detectada pela primeira vez por astrônomos americanos, em 1951.

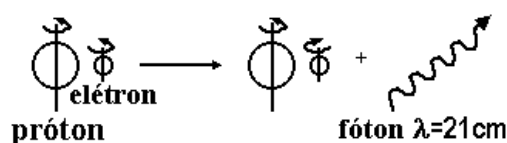


Figura 22.04: Diagrama de um átomo de hidrogênio no estado fundamental mudando de um estado de maior energia (elétron e próton com spin paralelos) para um estado de menor energia (elétron e próton com spin antiparalelos). O fóton emitido tem energia igual à diferença de energia entre os dois níveis, correspondendo a um comprimento de onda de 21 cm.

### Hidrogênio atômico:

É também chamado de hidrogênio neutro, representado pela sigla HI. Emite uma linha espectral no comprimento de onda de 21 cm, que é usada para mapear a sua distribuição. O mapeamento do gás na radiação de 21 cm teve uma função fundamental para determinar a estrutura espiral da Galáxia.



#### Regiões HII:

São nebulosas de emissão compostas por gás hidrogênio ionizado. São associadas a zonas de formação estelar.

#### Nebulosa de Órion:

Região HII visível a olho nu, na constelação de Órion. Está a uma distância de 1.500 al.

#### Nuvens moleculares:

Contém moléculas de  $H_2$ , CH, CO, e outras. Dão origem a novas estrelas. Geralmente encontram-se imersas em regiões HII.

Apesar do tempo médio necessário para o decaimento espontâneo do nível ao estado de mais baixa energia ser da ordem de  $10^7$  anos, a alta abundância de hidrogênio e o comprimento de onda longo da radiação que permite que ela atravesse distâncias muito maiores no meio interestelar do que a luz visível possibilitam que essa linha seja observada em todas as direções na Galáxia.

### Nebulosas de emissão: Regiões HII

As **nebulosas de emissão** são nuvens brilhantes de gás hidrogênio ionizado, por isso são também chamadas de Regiões HII. São nebulosas onde está acontecendo formação estelar e que contém estrelas jovens massivas, do tipo O e B. Essas estrelas, por serem muito quentes, emitem fótons ultravioletas com energias acima de 13,6 eV, tão energética que, quando os átomos de hidrogênio a absorvem, os elétrons ganham energia suficiente para se libertarem do núcleo, e o gás fica ionizado e brilhante.

Essas regiões têm muitos íons de hidrogênio (prótons) e elétrons livres. Quando um próton captura um elétron livre, há emissão de radiação. As linhas do hidrogênio são emitidas quando o elétron passa, subsequentemente, pelos vários níveis de energia. Desta maneira, os fótons ultravioleta da estrela são degradados em fótons no visível pela região HII, um processo chamado **fluorescência**. A radiação emitida quando o elétron passa do nível  $n = 3$  para o  $n = 2$ , em 6.563 Å, é dominante e causa a cor vermelha da região.



Figura 22.05: [Nebulosa de Órion fotografada pelo Hubble](#). A região esbranquiçada que aparece no centro da imagem contém o aglomerado Trapézio, contendo estrelas quentes que ionizam o gás da nebulosa. Crédito: [NASA, ESA, STScI](#).

### Moléculas interestelares

O hidrogênio molecular ( $H_2$ ) foi descoberto no início dos anos 1970, junto com monóxido de carbono CO. Como o  $H_2$  não emite ondas de rádio, o CO (que emite em rádio) é usado para mapeá-lo. Muitos outros tipos de moléculas têm sido encontradas desde então, desde amônia  $NH_3$ , até as mais complexas como benzeno  $C_6H_6$  e acetona  $(CH_3)_2CO$ .

Baseado principalmente nas observações das emissões de ondas de rádio do CO, nota-se que as moléculas estão concentradas em **nuvens moleculares**, com massas de poucas vezes até um milhão de massas solares, e se estendem de alguns até cerca de 600 anos-luz. As estrelas se formam nas partes mais densas destas nuvens moleculares, que aparecem como regiões escuras no céu.





Figura 22.06: Foto da nuvem molecular Barnard 68 que está a 500 anos-luz da Terra, na direção da constelação de Ofiúco, com cerca de meio ano-luz de diâmetro e com uma temperatura de  $-263\text{ }^{\circ}\text{C}$  e está colapsando. A foto da esquerda foi obtida com o telescópio de 8,2 do European Southern Observatory, no ótico. À direita está a foto em cor falsa obtida no telescópio de 3,5m do European Southern Observatory, composta de três exposições no infravermelho, em  $1,25\text{ }\mu\text{m}$ ,  $1,65\text{ }\mu\text{m}$  e  $2,16\text{ }\mu\text{m}$ .

## Poeira interestelar

### Poeira interestelar:

Formada por grãos constituídos de grafite, silicatos e gelo de água. Sua densidade é de  $100\text{ grãos}/\text{km}^3$ . A densidade da poeira é 1 trilhão de vezes menor do que a do gás.

A poeira é composta principalmente de grafite, silicatos e gelo de água, são grãos sólidos com tamanhos de no máximo um micrômetro (figura 22.07), muito menores do que a poeira aqui na Terra. Tanto podem formar nebulosas escuras - quando escondem a luz das estrelas por detrás - quanto nebulosas brilhantes, quando refletem a luz de estrelas das proximidades.



Figura 22.07: Estrutura de um grão de poeira interestelar; partículas alongadas com tamanho médio de  $0,1\text{ micrômetro}$  ( $100\text{ nanômetros}$ ).

As partículas de poeira, ao interceptarem a luz das estrelas, absorvem parte dela, e espalham (desviam sem absorver) o resto. Devido ao pequeno tamanho dos grãos, a absorção e o espalhamento são mais eficientes para a luz de menor comprimento de onda (luz azul) do que para a de maior comprimento de onda (luz vermelha), conforme representação na figura 22.08.



Figura 22.08: A luz que vem das estrelas encontra as partículas de poeira do meio interestelar e parte da luz é absorvida pela poeira. A faixa de comprimento de onda mais espalhada e mais absorvida é a azul.



De fato, os fótons azuis são desviados cerca de 10 vezes mais eficientemente do que os fótons vermelhos. Quando um fóton é desviado, sua direção muda aleatoriamente. Desta maneira, o espalhamento reduz o número de fótons azuis em relação ao número de fótons vermelhos do feixe de luz que vem em nossa direção. O resultado disso é que a luz das estrelas, além de ficar mais fraca, fica mais avermelhada.

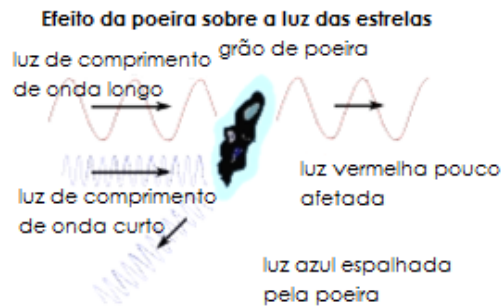


Figura 22.09: Representação do efeito da poeira sobre a luz das estrelas. Ondas luminosas de maior e menor comprimento de onda incidem sobre os grãos de poeira. A luz de cor vermelha, de maior comprimento de onda, atravessa a poeira; a luz azul, de menor comprimento de onda, é espalhada pela poeira.

Este efeito é similar ao que ocorre na atmosfera da Terra, onde as moléculas de oxigênio, de poluição e a poeira desviam a luz azul do Sol, tornando-o mais vermelho ao pôr-do-sol, conforme visto na figura 22.10.

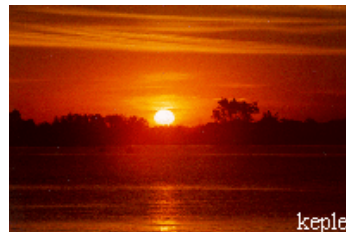


Figura 22.10: Fotografia do pôr-do-sol com a coloração avermelhada ocasionada pelo desvio da luz azul pelas moléculas de oxigênio, poeira e poluição. Crédito: Kepler Oliveira.

Regiões densas e frias do meio interestelar bloqueiam totalmente a luz das estrelas por detrás delas, tornando-se visíveis pelo contraste do escuro com o claro, formando **nebulosas escuras**. Muitas dessas nuvens estão próximas a estrelas luminosas, e espalham tanto a luz dessas estrelas que se tornam visíveis, sendo chamadas **nebulosas de reflexão**. As nebulosas de reflexão normalmente aparecem azuis, pois espalham mais eficientemente a luz azul das estrelas que as iluminam do que a luz vermelha.

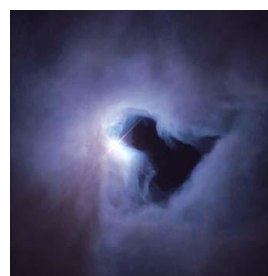


Figura 22.11: NGC 1999, uma nebulosa de reflexão na constelação de Órion. A nebulosa é iluminada pela estrela que aparece à esquerda do centro; a nebulosa escura é uma nuvem de gás frio misturado com poeira onde provavelmente estão se formando novas estrelas. Crédito: Nasa/Hubble.

**Nebulosas escuras:**

Regiões densas de gás frio misturado com poeira, têm aparência de regiões com deficiência de estrelas.

**Nebulosas de reflexão:**

Nuvens densas de gás e poeira que refletem a luz de estrelas quentes das proximidades.



### Raios cósmicos:

São partículas energéticas (maioria partículas alfa e prótons), provindas de todas as direções do espaço.

Grande parte tem origem desconhecida, de fora do sistema solar. Muitos se originam de explosões solares. Ionizam a atmosfera da Terra, onde se subdividem formando chuviros de partículas.

## Raios Cósmicos

Os raios cósmicos são partículas carregadas altamente energéticas, principalmente prótons, que atingem a Terra vindas do espaço. Foram descobertas pelo físico austríaco **Victor Hessem** 1911-1912.

Essas partículas são produzidos de alguma forma pelos processos mais energéticos no Universo, com energias trilhões de vezes maiores do que se pode obter em nossos laboratórios, e mesmo muito maiores do que as estrelas podem gerar. As partículas que constituem os ventos estelares, que dão origem às auroras na Terra, têm energia muito menor do que os raios cósmicos.

A origem dos raios cósmicos mais energéticos ainda não é conhecida, mas suspeita-se que são produzidos em explosões de supernovas e núcleos ativos de galáxias, com buracos negros centrais. Ao atingirem a atmosfera da Terra, estas partículas muitas vezes se desintegram em dezenas de outras partículas, causando chuviros de partículas (figura 22.12).

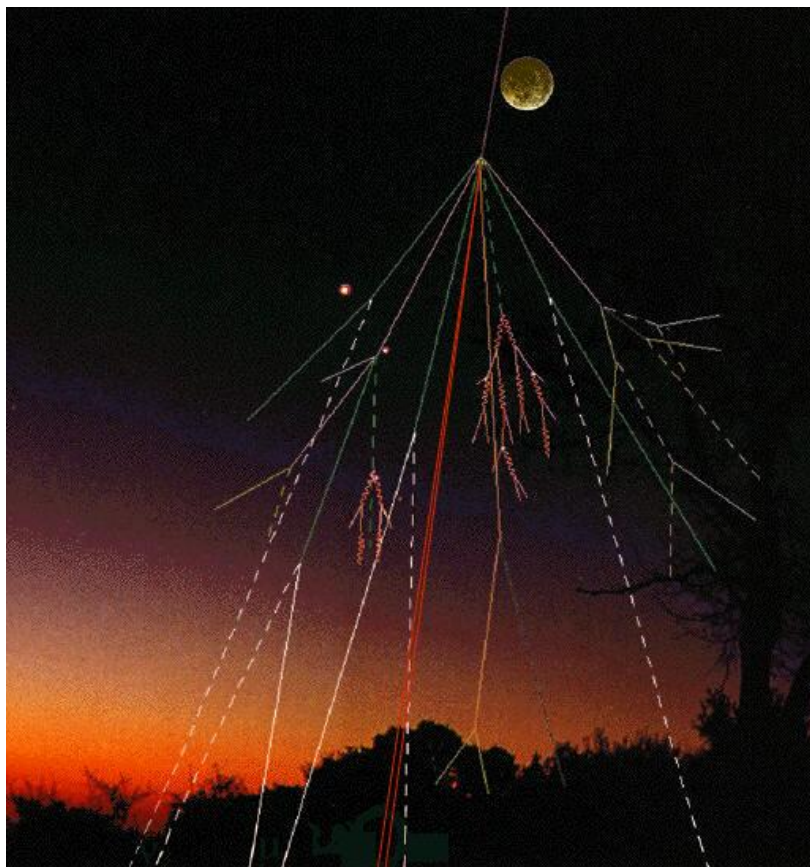


Figura 22.12: Diagrama mostrando como um raio cósmico gera um chuviro de partículas ao se chocar com a alta atmosfera da Terra.





## Resumo

O meio entre as estrelas não é completamente vazio, mas sim é preenchido por **gás e poeira** em uma quantidade que chega a 10% da massa visível da Galáxia. O gás é constituído principalmente de **hidrogênio** atômico, molecular ou ionizado. A poeira vem na forma de grãos sólidos constituídos de grafite, silicatos e gelo de água, e contribui com menos de 1% da massa do meio interestelar.

O **hidrogênio atômico (HI)** existe espalhado na Galáxia, na forma difusa ou concentrado em nuvens. Ele é melhor estudado no comprimento de onda de rádio, pela **linha de 21cm**, emitida em uma transição hiperfina do átomo de hidrogênio.

O **hidrogênio ionizado (HII)** é encontrado em nebulosas brilhantes chamadas **regiões HII**, que existem junto a estrelas O e B, as quais emitem fótons suficientemente energéticos (luz ultravioleta) para ionizar o hidrogênio; quando um elétron é capturado por um íon ele cascadeia para os níveis de mais baixa energia, transformando a luz ultravioleta em luz visível (o processo da **fluorescência**). As regiões HII são "berçários estelares", por estarem associadas a regiões de formação estelar.

O **hidrogênio molecular (H<sub>2</sub>)** encontra-se concentrado em nuvens frias, chamadas **nuvens moleculares**, misturado com moléculas (em muito menor quantidade) de CO e CH. O CO emite em rádio, o que permite a detecção. A formação estelar acontece no interior dessas nuvens moleculares, que normalmente são encontradas imersas em regiões HII.

A **poeira interestelar** é encontrada concentrada em grandes nuvens que aparecem como regiões com deficiências de estrelas, chamadas **nebulosas escuras**. Quando próximas a estrelas luminosas, podem refletir a luz dessas estrelas, ficando azuladas; são então chamadas **nebulosas de reflexão**.

A poeira é responsável pelo **avermelhamento** interestelar, pois absorve e espalha a luz das estrelas, tornando-a mais fraca e avermelhada.

**Nebulosas** são concentrações de gás e poeira que aparecem como regiões brilhantes ou escuras no céu; nebulosas brilhantes que emitem luz são chamadas nebulosas de emissão, e são compostas de gás ionizado que brilha por fluorescência (são as regiões HII); nebulosas brilhantes que refletem a luz são chamadas nebulosas de reflexão, e são compostas por nuvens de poeira nas proximidades de estrelas quentes e luminosas, cuja luz é refletida na poeira.

**Raios cósmicos** são partículas energéticas (a maioria **prótons e partículas alfa**), provindas de todas as direções do espaço, que viajam a velocidades próximas à da luz. Muitos se originam em explosões solares, mas grande parte tem origem desconhecida, de fora do sistema solar (chamadas raios cósmicos galácticos). Ionizam a atmosfera da Terra, onde se subdividem formando chuvinhas de partículas.



## Questões de fixação

Após a leitura e compreensão dos assuntos tratados nessa aula responda as questões de fixação a seguir. Lembre-se que você pode colocar esclarecer suas dúvidas no fórum de discussões.

Bom estudo!

1. O que constitui o meio interestelar?
2. Qual a origem da radiação de 21 cm do meio interestelar? Qual a maior importância dessa radiação?
3. Qual o efeito da poeira interestelar sobre a luz das estrelas? Por que acontece esse efeito?
4. O que são regiões HII?
5. As regiões HII também são chamadas de nebulosas de emissão. Qual o mecanismo pelo qual elas brilham? Por que elas são avermelhadas?

Até a próxima aula!

