

Astrobiologia

Mestrado e Doutorado em Física e Astronomia

Prof. Dr. Sergio Pilling

Aluna: Caroline Gonçalves de Góes

Aula 5 - Introdução à Formação estelar; Meio interestelar e interplanetário; Evolução planetária (Migração); Tipos estelares e Campo de radiação estelar e raios cósmicos.

1. Introdução – Formação Estelar

O que são ESTRELAS? São esferas autogravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, fusão H e He e, posteriormente em elementos mais pesados. Possuem massa entre 0,08 e 100 vezes a massa do Sol ($M_{\text{Sol}} = 1,9891 \times 10^{30}$ kg) e apresentam temperatura efetivas entre 2500 K a 30000 K (Filho e Saraiva, 2004).

Acredita-se que as estrelas se formam a partir de nuvens de gás e poeira existentes no meio interestelar. Porém, para que isso aconteça, é necessário que a atração gravitacional entre suas partes sobrepuje os efeitos do movimento térmico das partículas, isso ocorrerá quando a massa da nuvem é maior que um valor crítico, que se dá em função da densidade e temperatura (massa de Jeans). Quando se inicia o processo de colapso gravitacional, acontece uma primeira fase, chamada de colapso dinâmico, em que a contração é rápida, seguida da formação de um núcleo em equilíbrio quase estático sobre qual o material externo vai se depositando; a seguir, ocorrerá novamente uma fase de colapso dinâmico, seguida de uma segunda fase de equilíbrio, que culminará com o início das reações de fusão do hidrogênio nas regiões centrais do objeto; A partir daí, então se inicia uma estrela (Maciel, 1991). Durante o colapso, a energia potencial gravitacional armazenada no gás é convertida em energia térmica, ou energia interna; o aumento da temperatura acarreta em um aumento de pressão interna, contrabalanceando a gravidade.

1.1 Origem dos Elementos químicos

Átomos de elementos químicos mais leves, como H ou o He, principalmente, foram formados a partir da Nucleossíntese Primordial, acredita-se que o processo de nucleossíntese, foram produzidos a partir de uma grande explosão primordial (Big Bang), quando o Universo era denso e quente. Os demais elementos são originados no interior de estrelas e sintetizados por reações nucleares de fusão, em que núcleos mais leves resultam em núcleos mais pesados, processo chamado de Nucleossíntese estelar. No interior de estrelas, como o Sol, por exemplo, as reações de fusão convertem quatro núcleos de H em um núcleo de He. No entanto podem ocorrer outras fusões no interior dessas estrelas, por exemplo, a partir de três núcleos de He forma-se um de C; ou como a que funde um núcleo de C e um de He para formar um de O. Assim, o H e o He constituem cerca 98% de toda matéria bariônica, os outros 2% são C, O, Fe, K, entre outros.

Assim, esses elementos, dos quais somos constituídos, estão bem representados na figura 1, podem também serem encontrados no espaço, conforme mostra a figura 2, onde em cada elemento mostra:

Periodic Table of the Elements

The image shows a standard periodic table of elements. Each element cell contains its symbol, atomic number, and name in Portuguese. The table is color-coded by groups: Alkali Metals (pink), Alkaline Earths (purple), Transition Metals (blue), Basic Metals (orange), Semi-Metals (green), Nonmetals (yellow), Halogens (light blue), Noble Gases (light purple), Lanthanides (light green), and Actinides (red). The groups are labeled at the top: 1 IIA 11A, 2 IIA 2A, 3 IIIB 3B, 4 IVB 4B, 5 VB 5B, 6 VIB 6B, 7 VIIB 7B, 8 VIII 8, 9 VIII 8, 10 VIII 8, 11 IB 1B, 12 IIB 2B, 13 IIIA 3A, 14 IVA 4A, 15 VA 5A, 16 VIA 6A, 17 VIIA 7A, 18 VIIIA 8A.

Fig. 1: Tabela Periódica dos Elementos.

Fonte Uso Biológico

Nome do Elemento

The Astrobiological Periodic Table
© Charles Cockell, v. 1.0 [June 2015]: The Astrobiological Periodic Table

The image shows the Astrobiological Periodic Table. It is a color-coded version of the standard periodic table. The colors represent different astrophysical sources and biological uses. A legend on the left lists the astrophysical sources: Big Bang (red), Low mass stars (orange), High mass stars (yellow), Supernovae (green), Cosmic rays (blue), and Manmade (pink). A legend on the right lists the biological uses: Essential in all life (red), Major cations in all life (orange), Major anion in all life (yellow), Essential trace element in all life (green), Specialised uses in some life (blue), Transported, reduced or methylated (purple), Inert or unknown use (grey), and Major transition metals in life (light blue). The table is organized into groups (1-18) and periods (1-7). The elements are labeled with their symbols and names in Portuguese. A diagram of a periodic table cell with 'X' in the center is shown, with lines pointing to the 'Astrophysical source' and 'Biological Use' legends.

Fig. 2: Tabela Periódica dos Elementos Astrobiológicos.

1.2. Estrutura estelar

A energia interna de uma estrela produzida pelo colapso é suficiente para manter sua irradiação de luz, mas somente por uns 15 milhões de anos, este intervalo é conhecido como tempo de Kelvin-Helmholtz. Mas como já se sabe, a maioria das estrelas tem idades da ordem de 10 bilhões de anos ou até mais, como então elas se mantêm sua energia por tanto tempo? Elas precisam repor seu manancial de energia térmica, produzida de uma outra maneira, diferente da contração gravitacional, que é proveniente das reações nucleares de fusão, que liberam energia armazenada no núcleos atômicos e a convertem em calor e luz (UFRGS, 2014).

A estrutura das estrelas é determinada por cinco conceitos básicos:

I. Equilíbrio Hidrostático: Estrelas como o Sol, por exemplo, não se expandem nem se contraem, elas mantêm seu tamanho, estão em equilíbrio. Assim, a pressão em cada ponto no interior da estrela compensa a pressão gravitacional causada pelo peso do material acima do ponto, ou seja, a força gravitacional em cada ponto em seu interior está contrabalanceada pela força interna do gás (figura 3).

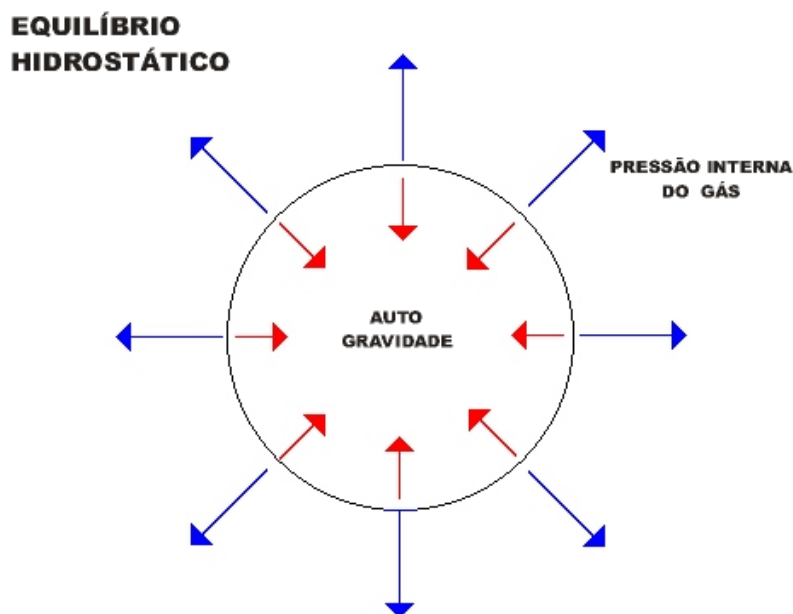


Figura 3: Desenho elucidando o equilíbrio hidrostático de uma estrela como o Sol, por exemplo.

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm

II. Equilíbrio térmico: Ocorre quando a energia produzida na região mais central da estrela, a partir das reações termonucleares é igual à energia que a estrela perde na formação de radiação eletromagnética, luz. A figura 4 ilustra este equilíbrio, se a mesma quantidade de energia da energia que é produzida pelas fusões nucleares no centro da estrela é irradiada, então a energia térmica da estrela se mantém constante.

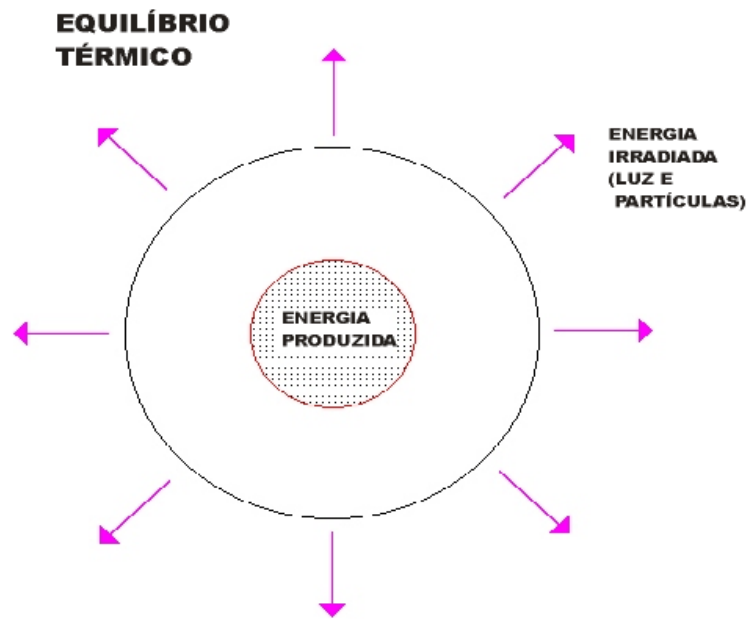


Figura 4: Desenho mostrando o equilíbrio térmico de uma estrela.
Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm

III. Opacidade: É a eficiência com que a energia liberada das regiões centrais da estrela é irradiada para fora; ela depende da transparência do meio gasoso no interior da estrela à propagação da luz (figura 5).

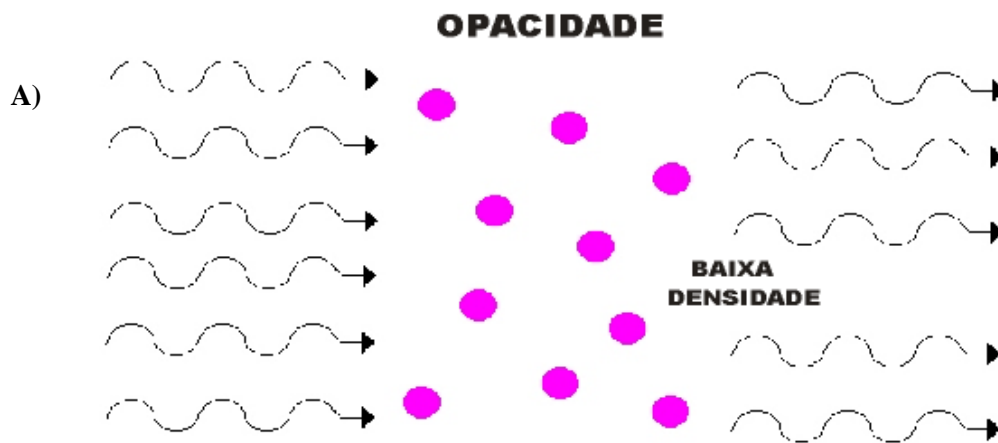


Figura 5: A) Se a opacidade é baixa a luz se propaga facilmente, chegando com mais eficiência à superfície da estrela e sendo irradiada.
Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm

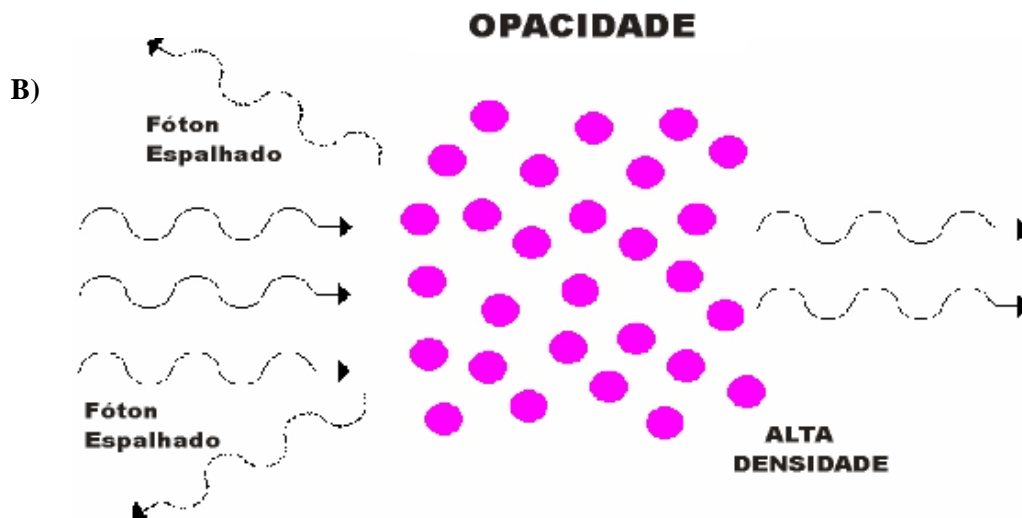


Figura 5: B) A opacidade é maior em regiões de alta densidade, pois, é mais provável que um átomo seja espalhado nessas regiões. Na superfície a energia é irradiada e isso forma o espectro da estrela.

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm

IV. Transporte de Energia: É a maneira pela qual ocorre o transporte de energia do centro para fora da estrela, isso determina a temperatura externa e a cor da estrela. Existem três formas desse transporte: condução, pouco comum em meios estelares, é o transporte de energia através de colisões entre partículas no meio, quando partículas mais energéticas tendem a perder energia para as menos energéticas, transportando assim energia de um meio mais quente para um mais frio; convecção e irradiação, relacionados com a opacidade, que ajuda a definir qual dos mecanismos irão agir em qual parte da estrela. Quando a temperatura é alta e os átomos estão ionizados, a opacidade é menor e o transporte por radiação domina. Mas quando a temperatura é mais baixa nas camadas externas da estrela, os prótons e elétrons estão unidos em átomos de baixa ionização, com a opacidade mais alta, isso diminui a eficiência o mecanismo de transporte por radiação, e este é substituído pela convecção (figura 6).

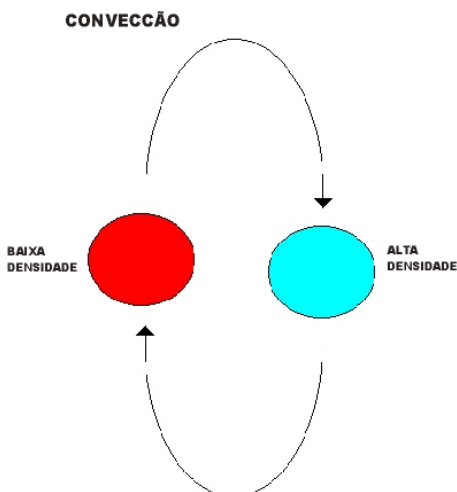


Figura 6: Convecção ocorre quando bolhas quentes e de baixa densidade sobem, enquanto que bolhas frias e mais densas descem, transportando assim energia térmica das camadas mais internas para as mais externas.

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm

- V. Produção de Energia: A energia é produzida por fusão termonuclear. Durante a maior parte da existência da estrela, ocorrem reações de fusão de hidrogênio em hélio.

1.3 Diagrama HR

Descoberto independentemente, em 1911 pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung; e em, 1913 pelo americano Henry Norris Russel, o Diagrama de Hertzsprung Russel, mostra a relação existente entre a luminosidade de uma estrela e a sua temperatura superficial (figura 7) (Filho e Saraiva, 2004).

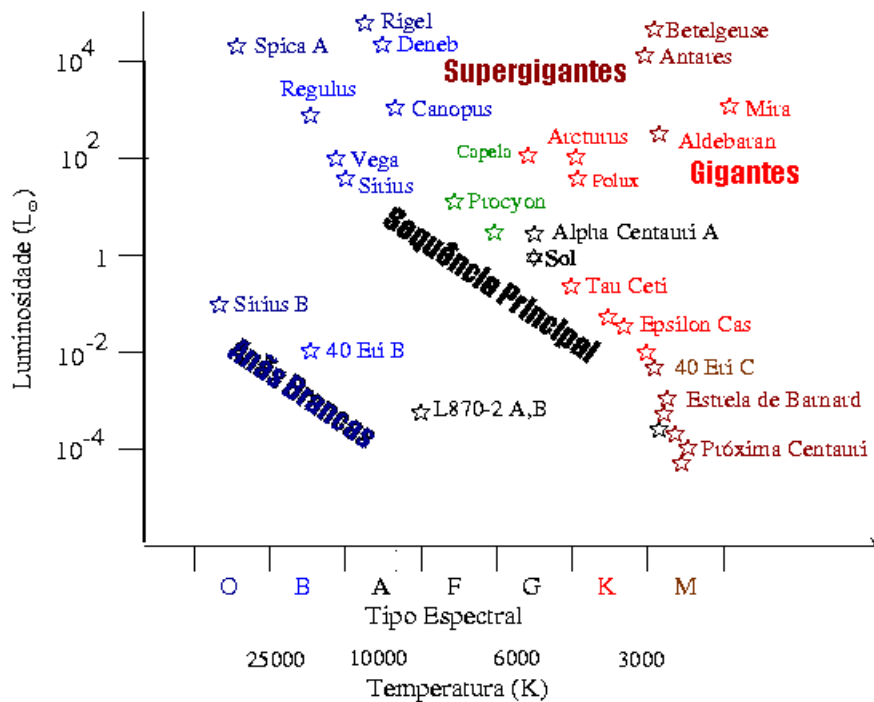


Figura 7: Diagrama HR.
Fonte: astro.if.ufrgs.br

Hertzsprung descobriu que estrelas da mesma cor podiam ser divididas entre luminosas, que chamou de gigantes, e estrelas de baixa luminosidade, que chamou de anãs. A figura 1 mostra um diagrama HR para um conjunto de estrelas próximas ao Sol, nesse diagrama, os astrônomos adotam a convenção de que temperatura cresce para esquerda e luminosidade para cima (Filho e Saraiva, 2004). Um segundo parâmetro é introduzido, e agrupa as estrelas em classes de luminosidade (Maciel, 1991):

- I – Supergigantes;
- II – Gigantes luminosas;
- III – Gigantes;
- IV – Subgigantes;

V – Sequencia principal;

VI – Subanãs luminosas;

VII – Anãs brancas.

No diagrama HR, nota-se que, a maior parte das estrelas alinhadas ao longo de uma estreita faixa na diagonal que vai do extremo superior esquerdo (estrelas quentes e muito luminosas) até o canto extremo inferior direito (estrelas frias e pouco luminosas), essa faixa é chamada de Sequencia Principal. Contudo, o fator que determina onde uma estrela se localiza no diagrama é a sua massa, ou seja, estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas (Filho e Saraiva, 2004).

1.4. Tipos estelares e campo de radiação estelar

1.4.1 Estrelas mais luminosas

As estrelas mais massivas existentes são as estrelas azuis com massa de até 100 massas solares, possuem magnitudes absolutas em torno de -6 a -8, podendo em alguns casos raros chegar a -10. Em geral, estão no canto superior esquerdo do diagrama HR, possuem tipo espectral O ou B, são as mais luminosas da sequencia principal.

Outra categoria de estrelas muito luminosas são as supergigantes e gigantes, localizadas no canto superior direito do diagrama HR, essas estrelas chegam a ser milhares de vezes mais luminosas que o Sol e seus tamanhos são muito maiores que o do Sol (Filho e Saraiva, 2004).

1.4.2. Estrelas de baixa luminosidade

Estrelas vermelhas e de baixa luminosidade, são chamadas de anãs vermelhas, são as mais comuns e estão localizadas no diagrama HR na extremidade inferior da sequência principal. Estrelas que possuem massa e luminosidade ainda menores são chamadas de anãs marrons, por serem muito fracas e difíceis de serem detectadas. As anãs marrons são, na verdade, protoestrelas de massa menor que 0,08 massas solares, que nunca queimarão hidrogênio e nunca atingiram a sequência principal (Filho e Saraiva, 2004).

1.4.3. Anãs brancas

As anãs brancas são estrelas que tem massa comparável a do Sol, mas de tamanho ligeiramente maior que a Terra. O estudo sobre essas estrelas iniciou-se em 1850, com a descoberta da estrela secundária de Sirius, denominada Sirius B, que é 10000 vezes menos luminosa do que Sirius A, mas com massa de 0,98 massas solares, e tem temperatura da ordem de 10000 K (site UFRGS).

2. Meio Interestelar

Meio interestelar, refere-se ao meio que preenche o espaço entre as estrelas, este meio representa cerca de 20% da massa da Galáxia, e o restante está concentrado na própria estrela. É de suma importância o estudo desse meio, pois é nele onde nascem as estrelas e é nele, para onde retornam todos os elementos químicos processados

pelas estrelas em evolução. Seus principais constituintes são o gás e a poeira interestelar, que se misturam em todo espaço. A partir de 1968, detectaram-se algumas moléculas no meio interestelar, como OH, H₂O e NH₃ (Oliveira e Jatenco-Pereira, disponível em <http://www.astro.iag.usp.br>; Maciel, 1991). Mas além do gás e da poeira outros elementos também fazem parte do meio interestelar, como: gás hidrogênio neutro (H I), gás hidrogênio ionizado (H II), gás molecular (principalmente H₂), grãos de poeira, raios cósmicos, campos de radiação de várias frequências, campos magnéticos e restos de supernovas (Wikipédia, 2014).

2.1. Gás interestelar

Constituído principalmente de átomos individuais e moléculas pequenas. É constituído principalmente de hidrogênio (H) molecular, em outras partes do meio pode ser encontrado H na forma neutra (HI); perto de estrelas mais massivas o H é ionizado pela radiação proveniente dessas estrelas, e assim brilha por fluorescência (Maciel, 1991; Wikipédia, 2015). *‘Regiões contendo gás são transparentes a quase todos os tipos de radiação eletromagnética’* (Oliveira e Jatenco-Pereira)

2.2. Poeira interestelar

Consiste em aglomerados de átomos e moléculas, que nas características físico-químicas de seus grãos é bastante rica e está relacionada com a extinção e polarização da radiação eletromagnética, assim como na formação de mantos de gelo em sua superfície. É um componente importante do meio interestelar, embora sua abundância seja baixa, em relação ao gás interestelar (Oliveira e Jatenco-Pereira; Rocha e Pilling, disponível em http://www1.univap.br/spilling/FQMI/02_Poeira_Interestelar.pdf).

Composta basicamente por grafite, silicatos e gelo de água, em grãos de diversas formas e tamanhos, porém muito menores do que a poeira encontrada na Terra, cujo raio varia entre 10⁻⁹ m e 10⁻⁷ m . Representam cerca de 1% da massa do meio interestelar. A poeira circunda algumas estrelas refletindo a luz, formando assim uma nebulosa de reflexão de cor predominantemente azulada (figura 8).



Figura 8: Nebulosa cabeça de bruxa é um exemplo de nebulosa de reflexão.
Fonte: http://pt.wikipedia.org/wiki/Meio_interestelar#Poeira_interestelar

3. Meio Interplanetário

Meio interplanetário é nada mais que o meio entre os planetas. Porém este não é completamente vazio, ele contém: radiação eletromagnética (fótons); plasma quente (elétrons, prótons e outros íons) também conhecido como vento solar; raios cósmicos; e campos magnéticos (primariamente do Sol). Sua temperatura é de aproximadamente 100.000 K e sua densidade é aproximadamente de cinco partículas/cm³ próximo a Terra e diminui com o quadrado da distância do Sol.

Com o movimento do vento solar no espaço, uma 'bolha' magnetizada de plasma quente, é criada em torno do Sol, e é chamada de heliosfera. Eventualmente, o vento solar em expansão encontra as partículas carregadas e o campo magnético no gás interestelar. A fronteira criada entre o vento solar e o gás interestelar é denominada heliopausa, que é uma fronteira teórica aproximadamente circular ou em forma de lágrima, que marca o limite da influência solar. A localização e o formato preciso da heliopausa são desconhecidos, mas provavelmente é muito similar ao formato da magnetosfera da Terra e a onda de choque está provavelmente a 110 - 160 UA do Sol (figura 9).

A interação entre o vento solar, o campo magnético da Terra e a camada superior da atmosfera da terrestre causam as auroras (figura 10), fenômeno que pode ser observado em alguns pontos da Terra.

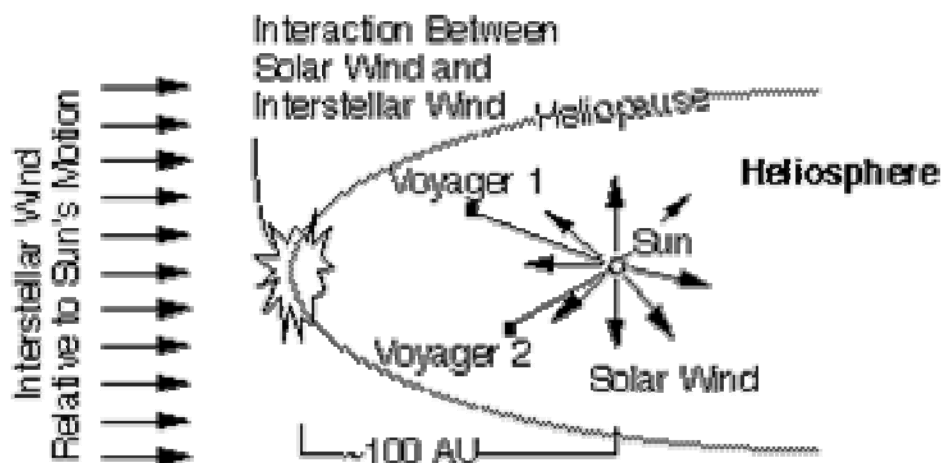


Figura 9: Representação da heliosfera e heliopausa. Voyager 1 e 2 são sondas de exploração interplanetária, lançadas em 1977, cujo objetivo era a realização de um "Grand Tour" espacial.

Fonte: http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20042/felipe/sistema_solar.html#space



Figura 10: Aurora multicolorida sobre a Finlândia.

Fonte: <http://icestories.exploratorium.edu/dispatches/big-ideas/aurora/>

4. Evolução Planetária (migração)

A migração de planetas ocorre quando um planeta ou qualquer outro satélite estelar interage com um disco de gás ou planetesimais, resultando na alteração dos parâmetros orbitais do corpo astronômico em questão, especialmente no seu eixo semi-maior. Assim, um planeta, poderia entrar e/ou sair da zona de habitabilidade de sua galáxia, ao passar do milhões de anos, por exemplo (figura 11).

As migrações planetárias podem ocorrer por: interações gravitacionais com o disco de gás e poeira; interações gravitacionais com planetesimais; ou, interações próximas entre planetas gigantes.

4.1. Modelo de Nice

É usado em simulações dinâmicas do Sistema Solar, para explicar eventos históricos, entre eles: o intenso bombardeio tardio do interior do sistema solar; ou a existência de agrupamentos de corpos menores do sistema solar.

Esse modelo propõe a migração planetária de gigantes gasosos de uma configuração compacta inicial nas suas posições atuais, bem após a dissipação do disco proto planetário. Esse modelo possui ampla aceitação como modelo mais realístico na formação do sistema solar, pois reproduz com sucesso varias características observadas no nosso sistema.

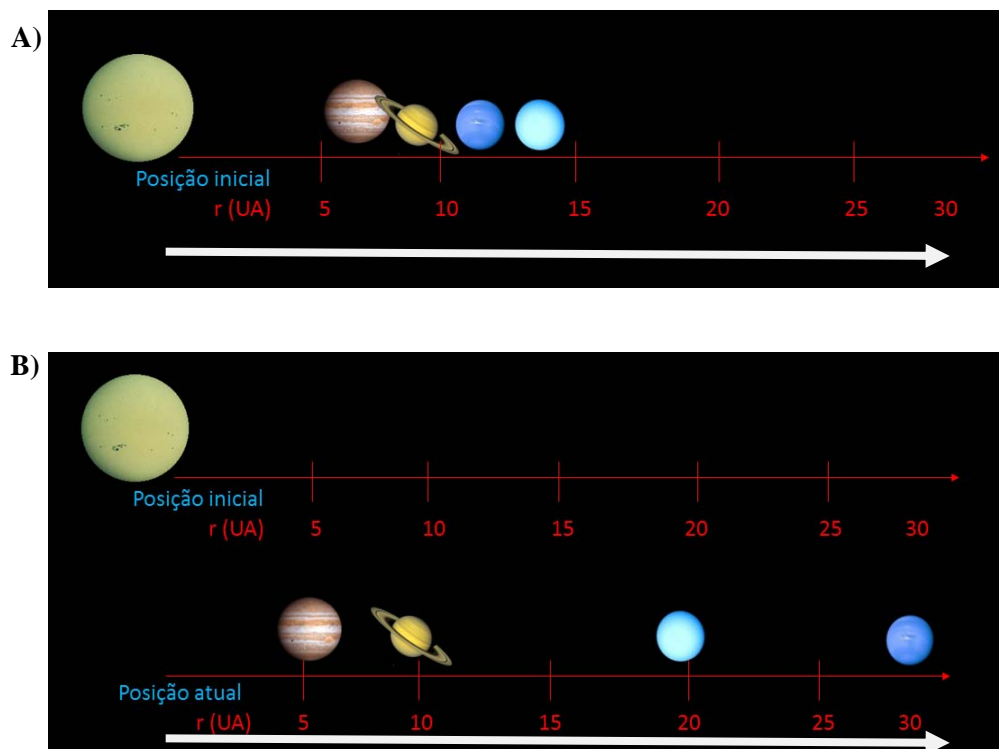


Figura 11: Representação de migração planetária, onde os planetas podem mudar sua posição com o passar do tempo. A seta branca elucida a passagem dos milhões de anos.

Fonte: <http://www.astropt.org/2008/11/25/migracao-planetaria/>

5. Raios C3smicos

S3o part3culas de alta energia, de 10^9 a 10^{18} eV, sendo el3trons, pr3otons, part3culas alfa e n3cleos de elementos mais pesados, que atravessam o meio interestelar em velocidades muito altas, pr3oximas a da luz.

Em estudos pioneiros sobre os raios c3smicos, pensava-se que eram formados por f3otons de intensa energia, porem ap3os estudos mais profundos, poss3iveis gra3as a observa33o destes por meio de foguetes e sat3elites, chegou-se a conclus3o de que esse tipo de radia33o era formado por part3culas de natureza distinta: os raios c3smicos prim3arios, s3o formados principalmente de pr3otons (n3cleos de hidrog3enio) e part3culas alfa (n3cleos de h3elio), al3em de n3cleos de elementos pesados e alguns el3trons; e os secund3arios, altamente energ3eticos podem interagir com outros n3cleos na atmosfera e gerar mais raios secund3arios.

Referências

<http://noveplanetas.astronomia.web.st/medium.html>

Acessado em 10/04/2015

C. Oliveira & V. Jatenco-Pereira. Fundamentos de Astronomia - Cap. 14. Observatórios Virtuais. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap14.pdf>

Acessado em 10/04/2015

http://www.if.ufrgs.br/tex/fis01043/20042/felipe/sistema_solar.html#space

Acessado em 12/04/2015

http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/wd/wd_evol.htm

Acessado em 14/04/2015.

http://pt.wikipedia.org/wiki/Poeira_interestelar

Acessado em 16/04/2015

<http://www.astropt.org/2008/11/25/migracao-planetaria/>

Acessado em 30/04/2015

http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/struct/struct_st.htm

Acessado em 19/05/2015

<http://www.if.ufrgs.br/oei/hipexpo/nucleossintese.pdf>

Acessado em 13/06/2015