

“A coisa mais incompreensível que há no Universo é o facto de ele ser compreensível”.

Albert Einstein

Trabalho apresentado no âmbito da unidade curricular de ESTÁGIO NAS ÁREAS DE
FÍSICA E QUÍMICA

O conteúdo do presente trabalho é de inteira responsabilidade da autora

(Elisa Maria Mendes Gaspar Nunes Pinto)

Agradecimentos

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a contribuição de várias pessoas, a quem devo os meus mais sinceros agradecimentos.

À Professora Doutora Sandra Soares, agradeço a orientação, a motivação, a atenção dispensada e a sua amizade. A sua competência e capacidade de análise, o seu espírito científico e criativo proporcionaram-me agradáveis e proveitosos encontros de trabalho.

A todas as pessoas que apesar de não estarem aqui mencionadas contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Agradeço à minha família, ao meu cunhado Jorge pelo apoio e ajuda dispensada, e especialmente a minha filha e ao meu marido, a quem devo desculpas pelo adiamento de alguns projectos, todo o apoio, incentivo, paciência e carinho que contribuíram para superar todas as dificuldades.

RESUMO

Este trabalho centra-se na história dos átomos, dos elementos e das partículas subatómicas, e tem como objectivo a descrição da origem do Universo, das estrelas, dos buracos negros e do Sol.

O Hidrogénio, foi o primeiro elemento a formar-se após a grande explosão, *Big Bang*, e serviu de combustível na formação de novas substâncias, através de reacções nucleares que ocorrem nas estrelas.

A partir da teoria da formação das estrelas e da sua evolução compreende-se melhor o aparecimento dos elementos e a forma como se distribuem no Universo.

Este cenário onde tudo se desenvolve, abarca elevados valores de distância, tempo e temperatura, comparados com os do mundo que nos rodeia.

A partir das radiações provenientes das estrelas é possível, utilizando a espectroscopia, deduzir a sua composição em termos dos elementos que as constituem. Assim como as estrelas absorvem radiações de uma certa energia também emitem radiações cuja energia está contida no espectro electromagnético. Os seus espectros de absorção de riscas podem ser interpretados, uma vez que, a cada conjunto de riscas está associada uma determinada gama de energia que corresponde a um elemento específico.

O Sol é uma estrela, uma bola, de gases incandescentes, grande e quente que se encontra no centro do nosso sistema solar. É o maior objecto e contém aproximadamente 98% da massa total do sistema solar. A camada exterior visível do Sol chamada fotosfera, tem uma temperatura de 5 800 K. A energia solar é gerada no núcleo do sol. Aqui a temperatura e a pressão são tão intensas que ocorrem reacções nucleares. Acima da fotosfera está a cromosfera. Os *flares* têm a sua origem na cromosfera, e são filamentos brilhantes de gás quente que emergem das manchas solares. Estas são depressões escuras na fotosfera. A parte mais externa da atmosfera solar é a coroa. Aqui aparecem as proeminências, que são grandes nuvens de gás brilhante que emergem da parte superior

da cromosfera. A região exterior da coroa estende-se no espaço, é constituída por partículas que se afastam lentamente do Sol e só pode ser vista durante um eclipse solar total.

O principal objectivo deste trabalho consiste na abordagem simples, mas rigorosa de alguns conceitos e princípios sobre o Universo e trabalhá-los em sala de aula de modo a motivar e "aguçar" o interesse dos estudantes para este campo da Física.

ABSTRACT

This work focuses on the history of atoms, elements and subatomic particles, and aims to describe the origin of the universe, sun, stars and black holes.

Hydrogen was the first element to be formed after the Big Bang and served as fuel in the formation of new substances through nuclear reactions that occur in star.

From the theory of the formation and evolution of the stars, it is possible to better understand the origin of the elements and how they are distributed in the universe.

This scenario, from where everything evolves, is characterized by high values for the quantities distance, time and temperature, when compared with the world around us.

From the radiation from the stars it is possible, using spectroscopy, to obtain their composition in terms of their elements. The stars absorb radiation with a given energy, and they also emit radiation whose energy is in the electromagnetic spectrum. Their characteristic absorption spectra can be interpreted, since each set of peaks is associated with a well-known energy range that corresponds to a specific element.

The Sun is a star, a big and hot ball of glowing gases at the heart of our solar system. It is the largest object and contains approximately 98% of the total solar system mass. The Sun's outer visible layer is called the photosphere and has a temperature of 5 800 K. Solar energy is created deep within the core of the Sun. It is here that the temperature and pressure is so intense that nuclear reactions take place. The chromosphere is above the photosphere. Flares arise in the chromospheres, and are bright filaments of hot gas emerging from sunspot regions. Sunspots are dark depressions on the photosphere. The corona is the outer part of the Sun's atmosphere. In this region *prominences* appears, that are immense clouds of glowing gas that erupt from the upper chromosphere. The outer region of the corona stretches far into space, consists of particles traveling slowly away from the Sun and can only be seen during total solar eclipses.

The main objective of this work consists of a simple, but rigorous approach of the concepts and principles about the universe and work with them in the classroom in order to motivate and arouse the students interest in this field of physics.

LISTA DE ABREVIATURAS

a.C. – antes de Cristo

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1 – Atmosfera terrestre | 5 |
| Figura 1.2 – Modelo Geocêntrico..... | 6 |
| Figura 1.3 – Modelo geométrico para explicar os movimentos dos Planetas de Cláudio Ptolomeu | 7 |
| Figura 1.4 – Modelo heliocêntrico..... | 8 |
| Figura 1.5 – O Sol ocupa um dos focos da elipse | 9 |
| Figura 1.6 – Lei das áreas..... | 9 |
| Figura 1.7 – Expansão do Universo..... | 12 |
| Figura 1.8 – Universo em expansão..... | 13 |
| Figura 1.9 – Expansão do Universo..... | 16 |
| Figura 1.10 – Apesar das enormes distâncias, quando comparadas com os padrões terrestres, o sistema solar tem uma dimensão de aproximadamente 5 horas – luz | 17 |
| Figura 1.11 – Podemos medir as distâncias das estrelas próximas o seu movimento aparente em relação às estrelas de fundo, enquanto a Terra se movimenta em torno do Sol | 18 |
| Figura 1.12 – Para medir as distâncias das estrelas da Galáxia podemos utilizar o facto de que o fluxo observado enfraquece com o inverso do quadrado da distância..... | 19 |
| Figura 2.13 – A luz branca separa-se em diferentes cores (comprimentos de onda) ao entrar numa gota de chuva, a radiação vermelha é refractada com um ângulo menor que a radiação azul. Ao saírem, da gota de chuva, os raios vermelhos tem um ângulo menor que os raios azuis, produzindo o arco-íris..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 2.14 – Alguns raios de luz podem reflectir duas vezes dentro da gota de chuva antes de sair. Quando a luz incidente é muito brilhante isto pode ser visto como um arco-íris secundário, brilhando a $50^\circ - 53^\circ$ | 22 |
| Figura 2.15 – Espectro solar de absorção..... | 23 |
| Figura 2.16 – Espectro Electromagnético..... | 24 |
| Figura 2.17 – Intensidade de emissão térmica de um corpo negro em função do comprimento de onda..... | 26 |
| Figura 3.18 – Fusão de dois protões num deutério..... | 29 |
| Figura 3.19 – Ciclo do Hidrogénio (em que 4 protões dão origem a hélio-4)..... | 30 |
| Figura 3.20 – Formação de um núcleo de carbono..... | 31 |
| Figura 3.21 – Estrutura interna de uma supergigante vermelha..... | 32 |
| Figura 3.22 – Espectros característicos de três diferentes tipos de estrelas..... | 33 |
| Figura 3.23 – Diagrama de Hertzsprung-Russell..... | 35 |
| Figura 3.24 – Ciclo de Vida das estrelas..... | 40 |
| Figura 3.25 – Evolução final das estrelas de acordo com a sua massa inicial..... | 41 |
| Figura 3.26 – Buraco Negro..... | 42 |
| Figura 4.27 – Gráficos da variação de da luminosidade, massa, temperatura e densidade com o aumento do raio solar | 45 |
| Figura 4.28 – Mecanismo de transporte de energia..... | 47 |
| Figura 4.29 – Fotosfera solar, observada no dia 21 de Maio de 2000, pela experiência MDI a bordo da sonda espacial SOHO. A SOHO é uma missão conjunta da ESA e da NASA..... | 48 |
| Figura 4.30 – Granulação Solar | 49 |
| Figura 4.31 – Grupo de manchas solares..... | 50 |
| Figura 4.32 – Mancha Solar, onde se identifica a umbra e penumbra..... | 50 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.33 – Fotografia do Sol em luz branca..... | 51 |
| Figura 4.34 – A- Imagem do Sol num eclipse total; B- Imagem do Sol com um filtro H- alfa..... | 53 |
| Figura 4.35 – Gráfico que relaciona a temperatura com a altitude | 54 |
| Figura 4.36 – Eclipse total..... | 54 |
| Figura 4.37- Distorção das linhas de campo devido à rotação diferencial do Sol..... | 56 |
| Figura 4.38 – Aparecimento das manchas solares..... | 57 |
| Figura 4.39 – Configuração do campo magnético de uma região activa solar em estágio evoluído | 58 |
| Figura 4.40 – Ciclo Solar | 60 |
| Figura 4.41 – Ciclo Solar (registos solares desde 1995)..... | 60 |
| Figura 4.42 – Protuberâncias no Sol..... | 61 |
| Figura 4.43 – Explosão solar | 63 |
| Figura 4.44 – Ejeção de massa coronal | 64 |
| Figura 4.45 – Vento Solar..... | 65 |
| Figura 4.46 – A- Auroras Boreais; B- Auroras Austrais..... | 66 |
| Figura 4.47 – Formas das auroras | 67 |

LISTA DE TABELAS/ QUADROS

| | |
|--|----|
| Tabela 1.1: Conversões de unidades de distância | 19 |
| Tabela 3.2: Classes Espectrais..... | 34 |
| Tabela 3.3: Classificação das estrelas quanto a sua luminosidade | 35 |
| Tabela 4.4: Características do Sol..... | 44 |

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Introdução | 1 |
| Capítulo 1 - Arquitectura do Universo | 4 |
| 1.1 Posição da Terra no Universo | 4 |
| 1.2 Expansão do Universo | 11 |
| 1.3 Origem do Universo | 14 |
| 1.3.1. Origem do Universo Segundo relatos Bíblicos | 14 |
| 1.3.2. Origem do Universo Segundo Descartes | 15 |
| 1.3.3. Origem do Universo Segundo o <i>Big Bang</i> | 15 |
| 1.4 Escalas de Tempo e de Comprimento | 16 |
| Capítulo 2 - Espectros, Radiações e Energia | 20 |
| 2.1 Espectros de Riscas de Absorção e Emissão de Radiação pelas Estrelas | 22 |
| 2.2 O Espectro Electromagnético | 23 |
| 2.3 Relação entre as Cores do Espectro Visível e a Energia da Radiação | 25 |
| Capítulo 3 - Evolução Estelar | 27 |
| 3.1 Produção de Energia nas Estrelas | 29 |
| 3.2 Propriedades das Estrelas | 32 |
| 3.3. O diagrama H-R e a evolução estelar | 36 |
| 3.4 Ciclo de Vida das Estrelas | 38 |
| 3.5 Buracos Negros | 41 |
| Capítulo 4 - Sol | 43 |
| 4.1. Características Gerais | 43 |
| 4.2. Estrutura solar | 46 |
| 4.2.1 O interior e a energia solar | 46 |

| | |
|---|----|
| 4.2.2 A atmosfera solar | 48 |
| 4.3. Campo magnético solar | 56 |
| 4.4. Actividade solar | 59 |
| 4.4.1. Protuberâncias ou Proeminências Solares | 61 |
| 4.4.2. “Flares” ou Explosões solares | 62 |
| 4.4.3. Ejecção de massa coronal – CME (Coronal mass ejected) | 64 |
| 4.5. Vento Solar | 65 |
| Conclusão | 68 |
| Referências Bibliográficas | 70 |
| Anexos | 73 |

Introdução

A Física é uma Ciência que se preocupa em compreender os fenómenos naturais e baseia-se no método científico de investigação validando as teorias através da comprovação experimental. Trata-se de uma Ciência fundamental e está presente no nosso quotidiano por exemplo nos computadores, nos hospitais, nas telecomunicações, nas tecnologias de informação e comunicação, etc.

O ensino da Física deve, cada vez mais, ser encarado como uma actividade acessível a todos, permitindo o desenvolvimento de atitudes e competências que melhorem a cultura científica e tecnológica dos nossos jovens. Os jovens não fogem da Física, mas daquilo que, erradamente, imaginam que é. A desmistificação é essencial e as novas tecnologias podem e devem ser utilizadas com o objectivo de simplificar e inovar o processo de ensino-aprendizagem.

As Ciências distinguem-se umas das outras pelas questões que colocam e procuram responder. No âmbito da Física várias questões podem ser formuladas, como por exemplo:

- Como se originou o Universo?
- Como se formam as estrelas e organizam as galáxias?
- Como se propaga o som e porque se forma o arco-íris?
- Do que é feito o Sol, e como funciona?
- Qual é a temperatura do Sol?

As respostas envolvem a criação de conceitos, teorias, modelos e leis, não são definitivas e induzem, quase sempre, ao aparecimento de novas questões.

Um dos objectivos deste trabalho fundamenta-se na garantia da sua possível utilização em sala de aula. A escolha do conteúdo abordado consta do programa curricular do 10º ano.

A partir da observação dos astros o homem foi percebendo que os movimentos do céu não ocorrem ao acaso.

O Universo parece estático mas não é. No início do século passado Edwin Hubble descobriu que a maioria das galáxias se estavam a afastar umas das outras. Foi então proposta a ideia de expansão do Universo que resultou de uma gigantesca explosão. Calcula-se que essa explosão tenha ocorrido há cerca de quinze mil milhões de anos. Esta teoria conhecida como "*Big Bang*" (Grande Explosão), tem sido posta à prova mas, até hoje, tem resistido às críticas. Por outro lado, o seu futuro é incerto pois não sabemos se continuará a expandir-se ou se, algum dia começará a contrair-se dando origem a um "*Big Crunch*" (Grande Esmagamento).

Imediatamente a seguir ao *Big Bang* não existiam estrelas, pois tal como os seres vivos, elas também nascem, vivem e morrem. Em certas regiões do espaço formaram-se nuvens de átomos de hidrogénio que lentamente foram dando origem às estrelas. Existem zonas da nossa Galáxia que têm sido identificadas como verdadeiras "fontes" de estrelas. A nebulosa Cabeça de Cavalo que se encontra a 1600 anos-luz da Terra, parece ser uma delas.

O Sol é a estrela mais próxima da Terra, por isso tem um papel importante na preservação dos seres vivos. Esta enorme esfera de gás é formada essencialmente por hidrogénio e hélio. Estes e os restantes gases que o constituem, atingem temperaturas tão elevadas que o fazem brilhar.

Quando o Sol brilha e ao mesmo tempo chove, a luz proveniente do Sol pode decompor-se, em sete cores, quando atravessa as gotas de água. A este fenómeno dá-se o nome de arco-íris, que representa o espectro formado pela luz solar ao atravessar as gotas da chuva, estas funcionam como um prisma de cristal. O arco-íris tem a forma de um semi-arco e no caso de estarem visíveis os arcos duplos, estes aparecem um acima do outro, como se o segundo fosse o reflexo do primeiro.

O Sol pode ser dividido em duas partes, o interior solar e a atmosfera solar. No interior solar ocorrem as reacções termonucleares responsáveis pela conversão do hidrogénio em hélio, e em energia, e que deixa a superfície como luz visível. A atmosfera solar é formada pela fotosfera, cromosfera e coroa solar.

Na atmosfera solar ocorrem fenómenos que podem ser ou não cíclicos que caracterizam a actividade solar. Estes fenómenos estão relacionados com o campo magnético solar. O aspecto mais relevante da actividade solar é o ciclo de 11 anos. Neste período o número de manchas solares cresce, atinge um máximo e em seguida decresce. Para além da transferência de energia através de calor e de luz, o Sol também emite um fluxo constante de partículas carregadas de energia, denominado vento solar, que escapam continuamente da coroa para todo o Sistema Solar. Este vento propaga-se por todo o meio interplanetário a centenas de quilómetros por segundo. Relativamente à Terra, o vento solar leva alguns dias a atingir-nos e passa a uma velocidade de 600 km/s. De uma forma geral, o vento interage com a atmosfera terrestre sendo responsável, entre outros fenómenos, pelas auroras boreais. Este fenómeno luminoso ocorre ocasionalmente a uma altitude de 80-100 km na ionosfera, nos Pólos Norte e Sul. As auroras são normalmente acompanhadas por rápidas variações na magnetosfera terrestre. O Sol é a fonte original deste fenómeno. O processo que dá origem às auroras é, em primeira aproximação, semelhante ao que ocorre nas lâmpadas de Néon. Electrões energéticos precipitam-se ao longo das linhas do campo magnético da Terra desde altitudes mais altas para a ionosfera e colidem aí com oxigénio atómico e Nitrogénio molecular. As colisões excitam as moléculas e os átomos para estados de energia mais elevados. Na transição destes estados excitados para o estado fundamental existe libertação de energia, e é emitida luz.

O campo da Astronomia não é facilmente abordado em sala de aula, por esse motivo, surgiu a ideia de englobar os jogos "Quem quer ser Cientista" e "Viagem pelo Universo", que podem ser trabalhados com os alunos do 3º Ciclo do Ensino Básico e do Secundário e que pretende facilitar, e potenciar, o processo de aprendizagem

Capítulo 1

Arquitectura do Universo

O Universo é uma estrutura organizada que contém toda a informação sobre o que existiu, existe ou existirá.

Tudo terá começado há milhares de milhões de anos, numa grande explosão. Um pequeno “ovo cósmico”, extremamente quente e denso, rebentou e originou uma magnífica explosão de energia. A partir desta energia inicial libertada formaram-se as partículas elementares – quarks, electrões e neutrinos.

A energia associada à radiação inicial deu lugar à matéria. A chamada “equivalência massa-energia” foi enunciada pela primeira vez pelo físico Albert Einstein, na sua teoria da relatividade restrita [1].

Assim foi criado o Universo, que desde então se vem expandido e arrefecendo.

1.1 Posição da Terra no Universo

O planeta Terra é apenas uma pequena parte de um conjunto muito maior: o Sistema Solar. Apesar deste parecer distante e parecer começar onde a atmosfera da Terra se rarefaz, somos parte integrante dele.

A atmosfera terrestre, quando comparada com as distâncias a que se encontram os restantes planetas é uma fina camada junto ao planeta – Figura 1.1. Se os automóveis pudessem deslocar-se na vertical, levariam cerca de duas horas para o fazer. No entanto, uma vez que a atracção gravitacional é muito intensa essa viagem seria bastante difícil. Independentemente da altura a que nos encontrarmos, a força da gravidade exercida pela massa terrestre tenta puxar-nos sempre para a Terra. Se conseguíssemos viajar a 11 km/s

(aproximadamente 40 000 km/h), a velocidade de escape da Terra, essa força seria então vencida, no sentido em que ela não seria suficiente para nos travar.

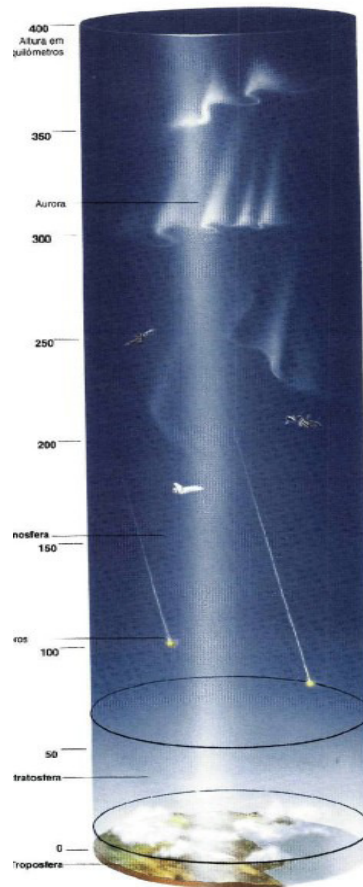


Figura 1.1- Atmosfera Terrestre [2].

Ao longo da sua história, a humanidade procurou, de várias formas, compreender o Universo que nos cerca. O filósofo grego Aristóteles (384 - 322 a.C.), seus discípulos, e ainda o seu mestre Platão, o criador do modelo geocêntrico, que perdurou até ao século XVII, acreditavam que a Terra era o centro do Universo, em volta do qual todos os corpos celestes se moviam.

Segundo a Teoria Geocêntrica, a Terra ocuparia o centro da esfera celeste – Figura 1.2 – onde se encontravam as estrelas fixas, o Sol, a Lua e os restantes planetas visíveis (Mercúrio, Vénus, Marte, Júpiter e Saturno) orbitando em torno dela. Os planetas estavam fixados sobre esferas concêntricas e giravam com velocidades distintas.

Uma das falhas desta teoria era, não conseguir explicar a razão pela qual, ao longo do ano, os planetas pareciam estar umas vezes mais perto e outras mais longe da Terra.

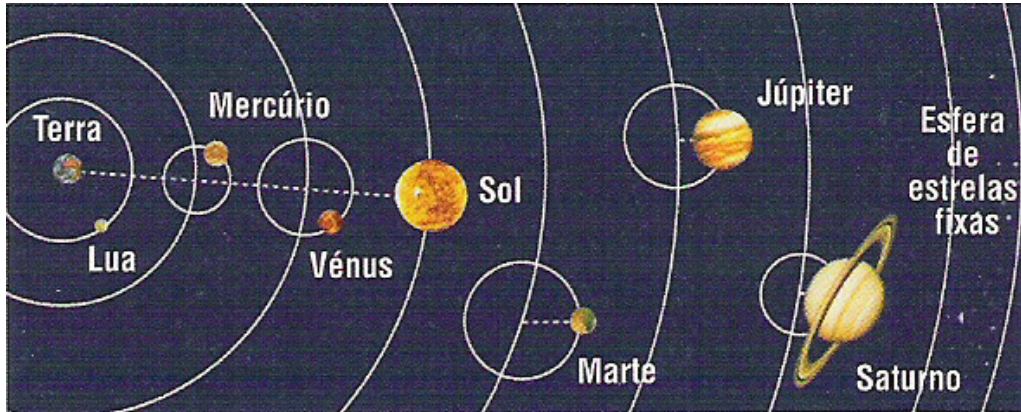


Figura 1.2 - Modelo Geocêntrico [1].

A Teoria Geocêntrica foi posta em causa no século III a.C., por Aristarco de Samos. Aristarco de Samos que sugeriu que o Sol estaria no centro do Universo e que a Terra, a Lua e os cinco planetas, então conhecidos, se moviam em torno do Sol, em órbitas de diferentes dimensões e velocidades. Este modelo não foi aceite, principalmente, porque violava as doutrinas filosóficas inultrapassáveis de que a Terra pela sua "imobilidade" e posição se distinguiu dos restantes corpos celestes e tinha o seu lugar natural no centro do universo.

Um século mais tarde, o astrónomo Ptolomeu propõe um novo modelo da Teoria Geocêntrica, mantendo a ideia da Terra estacionária e do movimento circular uniforme dos corpos celestes. Este movimento não era concêntrico e centrado na Terra, mas sim excêntrico e epicíclico – Figura 1.3. Era explicado pela combinação de dois tipos de movimento, primeiro uma rotação em torno de um ponto (epiciclo), seguida de outra rotação ao longo de uma circunferência maior.

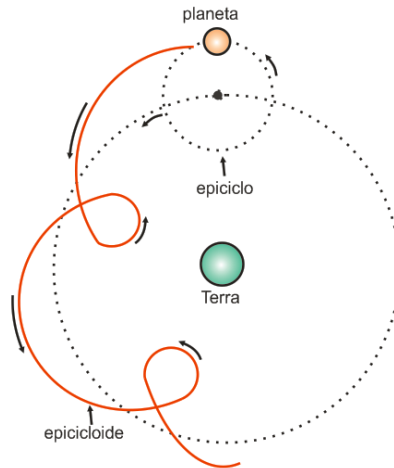


Figura 1.3 - Modelo geométrico para explicar os movimentos dos Planetas de Cláudio Ptolomeu.

Ptolomeu utilizou o movimento circular composto para conseguir explicar as posições dos planetas que eram observadas ao longo do ano. Ajustando a cada problema os respectivos eixos de rotação, as velocidades, os raios, o número e a dimensão dos epíciolos, Ptolomeu elaborou um esquema que provou ser útil aos astrónomos, e navegadores durante mais de 14 séculos. Neste modelo, a Terra estaria no centro do universo, rodeada pela Lua, Mercúrio, Vénus, o Sol, Marte, Júpiter e Saturno. Em redor destes astros, estaria uma esfera de estrelas denominada esfera das estrelas fixas.

No princípio do século XVI, surge Nicolau Copérnico (1473-1543) a criticar o modelo de Ptolomeu, e a sugerir que deveria ser possível encontrar um arranjo razoável de círculos a partir dos quais cada desigualdade aparente derivasse e onde tudo se movesse uniformemente em torno do seu próprio centro, de acordo com a regra do movimento absoluto.

O modelo de Copérnico baseia-se na hipótese de colocar o Sol no centro do universo – Figura 1.4 – e a Terra e os outros planetas a moverem-se em torno do Sol. O sistema heliocêntrico de Copérnico é semelhante ao de Aristarco. Mas, ao contrário do anterior, Copérnico conseguiu explicar o movimento dos planetas no sentido retrógrado, sugerindo que a Terra possui dois movimentos distintos, isto é, roda em torno do seu eixo e, também, em torno do Sol.

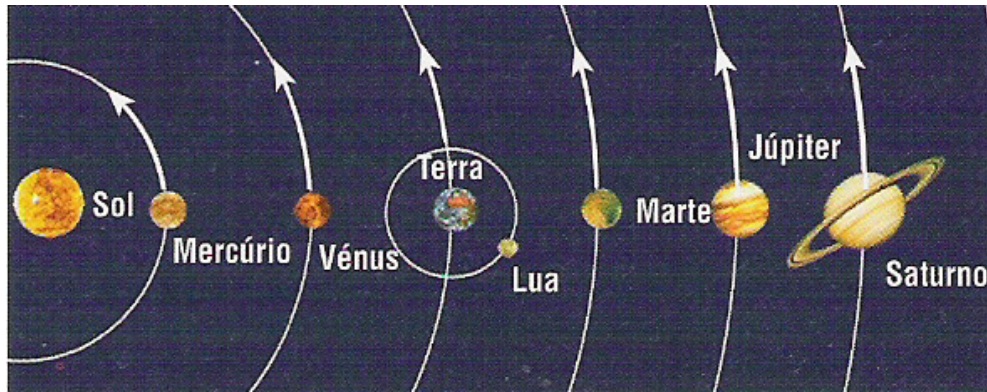


Figura 1.4 - Modelo heliocêntrico [1].

Apesar dos diferentes argumentos que Copérnico utilizou para defender as suas ideias, só cem anos mais tarde é que as teorias heliocêntricas foram aceites.

Tycho Brahé (1546-1601), astrónomo dinamarquês, revolucionou a precisão das medições da posição das estrelas. Ao construir o seu próprio observatório, conseguiu obter nas suas medições erros de dois segundos. Tycho não aceitou o modelo de Copérnico por dois motivos, um por contrariar a Bíblia e o outro por não detectar as paralaxes anuais das estrelas. Estabeleceu o modelo geo-heliocêntrico que teve pouca aceitação. Neste modelo a Terra, era o centro do Universo e todos os astros, incluindo as estrelas fixas, giravam em torno do Sol. Por sua vez o Sol e a Lua giravam em torno da Terra.

Mais tarde Johannes Kepler (1571-1630), astrónomo alemão, detentor dos apontamentos das observações de Tycho, trabalhou arduamente durante muitos anos para provar que Marte descrevia uma órbita circular em torno do Sol. Contudo este trabalho foi em vão, pois mais tarde concluiu que as órbitas dos planetas não eram circunferências. Postulou então três leis que permitiam explicar o movimento dos planetas.

Na primeira Lei – Lei das Órbitas – Kepler afirma que todos os planetas descrevem órbitas elípticas, em torno do Sol, ocupando este um dos focos – Figura 1.5.

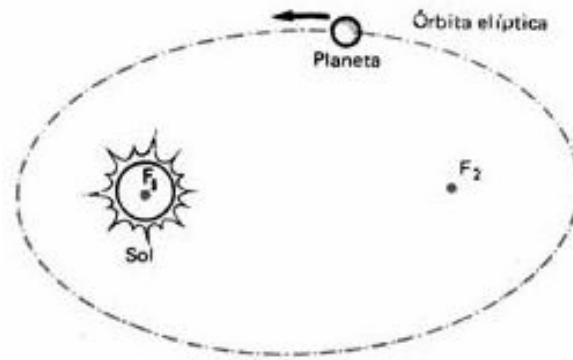


Figura 1.5 - O Sol ocupa um dos focos da elipse [3].

Na segunda Lei – Lei das Áreas – Kepler afirma que o vector posição de qualquer planeta em relação ao Sol varre áreas iguais, em intervalos de tempo iguais – Figura 1.6.

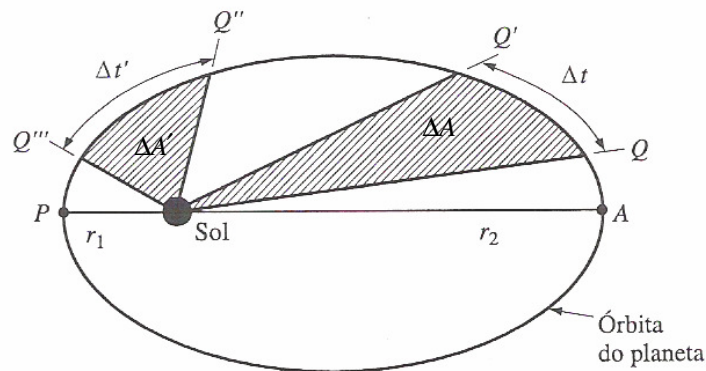


Figura 1.6 - Lei das áreas [4].

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{\Delta A'}{\Delta t'} \quad (1.1)$$

Na terceira Lei – Lei dos Períodos – Kepler afirma que o quadrado do período, T , de revolução de um planeta em torno do Sol é directamente proporcional ao cubo da sua distância média ao Sol, r , isto é, ao cubo do semi-eixo maior da elipse que constitui a respectiva órbita:

$$T^2 = K r^3 \quad (1.2)$$

A constante K é independente da massa do planeta e para órbitas em torno do Sol vale:

$$K = 2,97 \times 10^{-19} \text{ s}^2/\text{m}^3.$$

O físico italiano Galileu Galilei (1564-1642), foi um dos primeiro a contestar as ideias de Aristóteles e teve um papel importante na consolidação do modelo heliocêntrico. Desenvolveu os primeiros estudos sobre o movimento uniformemente acelerado e sobre o movimento do pêndulo. Depois de várias experiências verificou que, na ausência de atrito, os corpos leves e pesados caem com a mesma velocidade. Enunciou o Princípio da Inércia e o conceito de referencial inercial. Segundo Galileu a inércia seria a tendência dos corpos a se manterem em repouso ou em movimento rectilíneo uniforme, razão pela qual a trajectória de um corpo não parece ser afectada pelo movimento terrestre. Galileu construiu o seu telescópio refractor, com base nas informações que obteve sobre instrumentos semelhantes e foi o primeiro a utilizá-lo para fazer observações astronómicas. Descobriu as montanhas na Lua, as manchas solares, as fases de Vénus, os quatro satélites de Júpiter, os anéis de Saturno, as estrelas da Via Láctea. Estas descobertas contribuíram para reafirmar a teoria Heliocêntrica de Copérnico. As suas observações astronómicas permitiram interpretar fisicamente as leis de Kepler e a incorporação dessas leis no quadro de uma Física mais geral.

Actualmente sabe-se que o nosso sistema planetário está situado na periferia de um dos braços da Via Láctea a cerca de 25 000 anos – luz do seu centro e a Terra é o terceiro planeta a contar do Sol.

1.2 Expansão do Universo

O fenómeno de expansão do Universo foi uma das grandes descobertas científicas do século XX, conseguida por Edwin Hubble na sequência das suas investigações. Juntamente com a teoria da relatividade geral, proposta por Albert Einstein, estas duas descobertas foram fundamentais para o desenvolvimento da cosmologia moderna.

O astrónomo Vesto Slipher, foi o primeiro a observar que o Universo em vez de ser imutável no espaço e no tempo estava a expandir-se. Observou várias nebulosas esperais e verificou que os seus espectros apresentavam desvios para o vermelho em relação aos espectros de estrelas próximas. Para explicar este fenómeno referiu o Efeito de Doppler da luz destas nebulosas, sugerindo que entre elas e a Terra existia uma velocidade relativa diferente de zero. No início do século XX, Einstein desenvolveu a teoria da relatividade, que ao ser aplicada, revelou que o universo poderia estar a expandir-se ou a contrair-se.

Por volta de 1920 Edwin Hubble, depois de analisar os resultados de Slipher, começou a estudar os espectros das galáxias mais distantes e verificou que o desvio para o vermelho era tanto maior quanto mais distantes estivessem as galáxias. Utilizando um telescópio de 5 metros, Hubble alargou a sua investigação a galáxias ainda mais longínquas, concluindo que o Universo estava em expansão e as velocidades de afastamento das galáxias eram directamente proporcionais à sua distância, isto é, quanto mais distante é a galáxia, maior é a sua velocidade de afastamento. Esta foi a primeira evidência para a expansão do Universo e é actualmente conhecida como Lei de Hubble.

Para compreendermos melhor a conclusão de Hubble podemos fazer uma analogia com um balão - Figura 1.7. Marcando pontos na superfície do balão, à medida que se enche, verificamos que, qualquer ponto se afasta, a mesma distância, em relação aos outros. Este afastamento é tanto mais rápido quanto mais longe estiverem do ponto em questão.

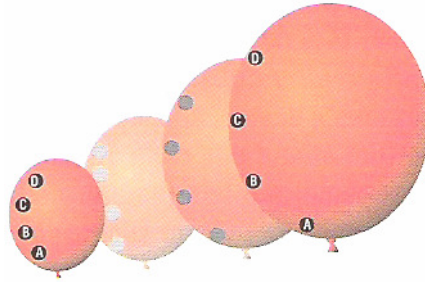


Figura 1.7 - Expansão do Universo [1].

Durante algum tempo as observações feitas em relação ao desvio dos espectros das galáxias para o vermelho, serviram de suporte para duas teorias sobre o estado actual do Universo. A Teoria do Estado Estacionário, que refere que o espaço vazio entre as galáxias continua a ser preenchido por matéria que se forma na mesma região, e parece contrariar o princípio da física, que afirma que a matéria e a energia não podem ser criadas nem destruídas, e a Teoria do *Big Bang* que até hoje tem maior aceitação. Esta Teoria, pressupõe que o Universo evoluiu e se expandiu a partir de uma violenta explosão, que ocorreu há cerca de quinze mil milhões de anos. Nessa explosão toda a matéria e energia, que se encontravam extremamente concentradas, libertaram uma energia gigantesca em forma de raios X e gama.

Os físicos George Gamow e R. H. Dicke previram que, se a radiação da explosão original ainda se propagava pelo universo, ela podia ser detectada na forma de microondas de rádio, enfraquecidas pela expansão. Em 1965 é que essa radiação foi detectada, o que constituiu o maior argumento a favor da Teoria do *Big Bang*.

Actualmente, nos meios especializados, ainda se discute qual é o valor exacto da taxa de expansão do Universo. Esta informação é crucial para compor um modelo cosmológico que seja o mais aperfeiçoado possível. Apesar disto a descoberta de Hubble mostrou que o Universo continua a evoluir, isto é, não vivemos num Universo estático, como acreditava a maioria dos cientistas no início do século XX. Apesar de se acreditar que esta taxa de expansão é conhecida com uma precisão da ordem de 10% espera-se que novas experiências permitam uma determinação ainda mais precisa desta que é considerada uma das grandezas fundamentais do Universo.

Um facto que ainda está por esclarecer, aguardando-se uma melhor estimativa da taxa de expansão, é se o Universo continuará indefinidamente a sua expansão ou ocorrerá um abrandamento até à situação de se inverter o sentido do movimento – Figura 1.8 – iniciando assim uma lenta contracção, ao fim da qual ocorreria um novo Big Bang, reiniciando-se o processo. Isto é, um Universo oscilante.

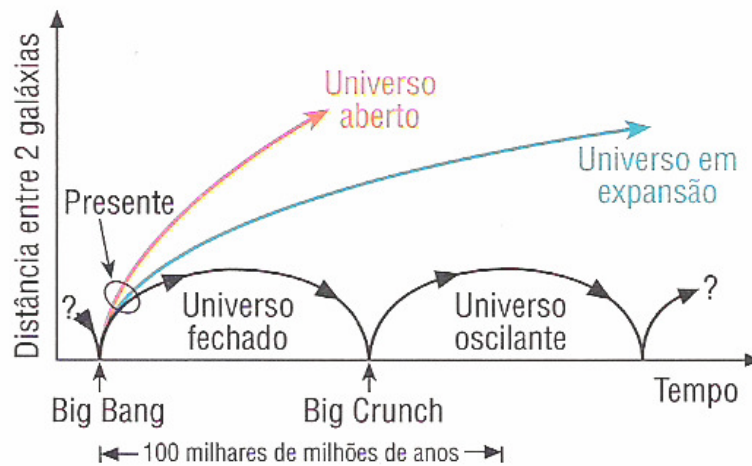


Figura 1.8 - Universo em expansão [1].

A opção por um ou outro modelo dependerá da evolução da massa total do Universo e da correspondente interacção gravitacional.

Se a massa total do Universo for menor do que um valor crítico, a expansão prosseguirá continuamente. Se a massa for superior a esse valor crítico a força gravitacional provocará a diminuição progressiva da velocidade de expansão até ao repouso, com posterior inversão, até ao *Big Bang* seguinte [5].

Sabemos que o universo em que nós vivemos está em expansão, porque vemos galáxias e grupos de galáxias deslocando-se.

1.3 Origem do Universo

Uma das perguntas mais intrigante que nos fazem é “Como era o Universo antes do *Big Bang*?”

Segundo a Filosofia de Anaxógoras ” todas as coisas estavam juntas, ilimitadas em número e em pequenez”.

Esta pergunta, que tem surgido em mentes inquisidoras, e já foi efectuada por teólogos e por filósofos. No entanto, a última palavra está nas mãos dos físicos e, no CERN, o grande colisionador de protões (LHC - *Large Hadron Collider*) pode dar a resposta para se desvendar o segredo.

1.3.1. Origem do Universo Segundo relatos Bíblicos

Desde sempre a humanidade se questionou sobre a origem do Universo, e também do Homem.

As explicações mais antigas eram “mitos” que descreviam como uma ou várias personagens sobrenaturais criaram o mundo primitivo. Estes mitos estavam associados a uma visão religiosa.

Por exemplo, os gregos viam a Terra (a deusa Gaia) como uma superfície plana e redonda, o Céu (o deus Ouranos) seria metade de uma esfera oca, colocada sobre a Terra. Entre o Céu e a Terra existam duas regiões, a região do Ar e a das brumas, que ia do solo até as nuvens, e a outra que seria o ar superior, brilhante e azul, que era visto durante o dia, e era designado de Éter.

Segundo a Bíblia, existe um início de trevas, com certas “águas” primitivas e uma divindade invisível que ia formando todas as coisas. O Génesis descreve a origem do Universo: dizendo “No princípio, Deus criou os céus e a terra, depois as plantas, os animais, os astros, as águas e por fim o Homem”.

Neste mito bíblico, existe apenas uma divindade, que produz todas as coisas. Nada surge de si próprio, parecem não existir forças activas da matéria. É necessário a decisão e o poder de um Deus para que tudo possa surgir.

1.3.2. Origem do Universo Segundo Descartes

Na primeira metade do século XVII, René Descartes (1596-1650), afastando-se da tradição bíblica, imaginou como se poderia formar o Universo sem a intervenção divina. Descartes admitiu que o início absoluto do Universo é devido à acção de Deus, mas supondo que Deus apenas precisou criar a matéria e o movimento, as leis naturais determinaram o que ocorreu depois. Para Descartes, o universo era um espaço totalmente preenchido por uma matéria sólida e homogénea. Deus deu a esta matéria dois movimentos, que lhe provocou quebras sucessivas dando origem a novas partículas.

1.3.3. Origem do Universo Segundo o *Big Bang*

George Lemetri, padre jesuíta e astrónomo, foi o primeiro a sugerir a ideia de que o universo começou com uma explosão. Resolvendo as equações da relatividade geral de Einstein encontrou soluções que indicavam que o universo estava a expandir.

Apesar de não ter sido ainda encontrada uma explicação definitiva capaz de satisfazer toda a gente, a maioria dos cientistas aceitam a **Teoria do *Big Bang***, também chamada **Teoria Evolutiva**, para explicar a Origem do Universo.

O *Big Bang* é uma teoria cosmológica segundo a qual toda a matéria do universo, no seu estado inicial, se encontrava muito condensada e quente. Esta matéria sofreu uma violenta explosão, após a qual a matéria foi arrefecendo continuamente até aos nossos dias, condensando-se e dando origem, ao longo de milhões de anos, às galáxias e aos diferentes astros dentro dessas galáxias – Figura 1.9.

O processo poderia ter-se dado devido a algumas condições; primeiro pela redução da temperatura pela expansão do espaço e, depois, pela diminuição da densidade. Estas foram condições necessárias para o aparecimento dos materiais mais leves da natureza.

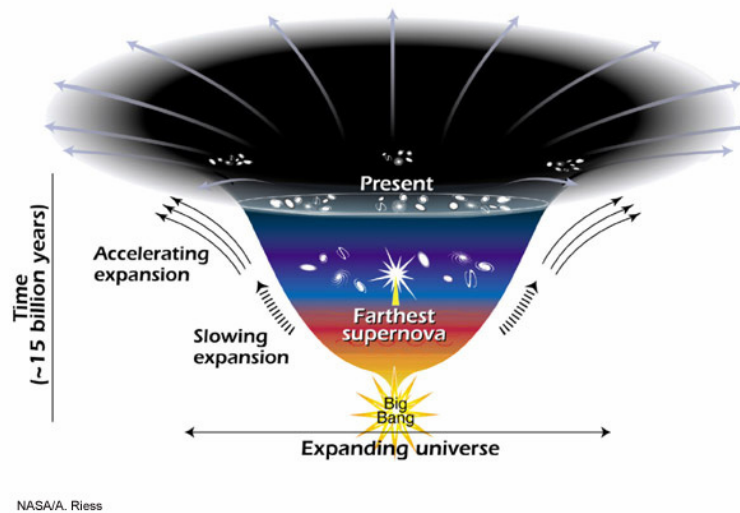


Figura 1.9 - Expansão do Universo [6].

1.4 Escalas de Tempo e de Comprimento

Para contar o tempo o homem primitivo regulava-se pela sombra que o Sol projectava. Só mais tarde é que inventaram instrumentos que permitiam medir o tempo. O relógio solar foi o primeiro desses instrumentos.

Os fenómenos periódicos naturais, como os dias, as fases da lua, as estações do ano, utilizados para medir o tempo, deram origem a diversas unidades de tempo, como o ano, o mês, o dia, a hora, o minuto e o segundo.

Um dos pontos fundamentais para a compreensão do Universo em que vivemos é a escala de distâncias. Quando comparamos as distâncias das estrelas e galáxias com a nossa experiência quotidiana, elas são tão grandes que temos uma enorme dificuldade em compreendê-las e em visualizar as suas consequências. A determinação das distâncias das estrelas foi, para os astrónomos, umas das mais árduas tarefas depois da descoberta do heliocentrismo no início do século XVII, quando foi reconhecido que as estrelas deveriam ser astros semelhantes ao Sol.

Apenas em meados do século XIX, com o aparecimento dos telescópios refratores se obtiveram as primeiras medidas astronómicas das estrelas mais próximas.

O ponto de partida para compreender a escala de distâncias, é utilizar a Unidade Astronómica (UA) que é por definição a distância média ente a Terra e o Sol. Medições recentes indicam que a 1 UA corresponde a 149 597 800 km.

Esta medida, comparada com as que utilizamos no nosso dia a dia, é muito grande, mas para as distâncias cosmológicas, tendo em conta a velocidade da luz no vácuo, que é aproximadamente 300 000 km/s, é muito pequena. A esta velocidade, a luz emitida pelo Sol demora cerca de 8,3 minutos para chegar à Terra, isto é, o Sol está a uma distância de 8 minutos-luz da Terra. Sendo que, um ano-luz é a distância percorrida pela luz, durante um ano através do espaço e equivale a 9 460 700 000 000 km, ou seja 63 240 UA. No nosso sistema solar o planeta mais distante (Plutão que actualmente é considerado um planeta anão), está a uma distância aproximadamente de 39,4 UA, isto é, a cerca de 5 horas-luz - Figura 1.10.

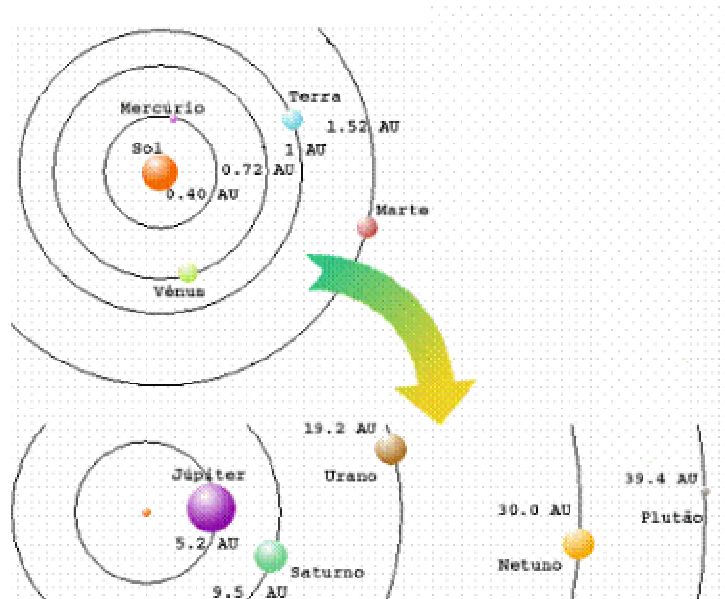


Figura 1.10 - Apesar das enormes distâncias, quando comparadas com os padrões terrestres, o sistema solar tem uma dimensão de aproximadamente 5 horas – luz [7].

Para se medir as distâncias das estrelas mais próximas utiliza-se o método da paralaxe, que consiste em calcular as variações angulares das posições das estrelas em relação ao fundo de estrelas mais distantes, enquanto a Terra descreve a sua órbita anual – Figura 1.11.

Este é o efeito que percebemos quando viajamos de carro e observamos o movimento aparente dos objectos mais próximos em relação aos acidentes geográficos mais distantes. No caso astronómico as estrelas próximas parecem mover-se em relação ao fundo das estrelas mais distantes enquanto a Terra se move em torno do Sol. Este efeito só foi detectado experimentalmente no século XIX.

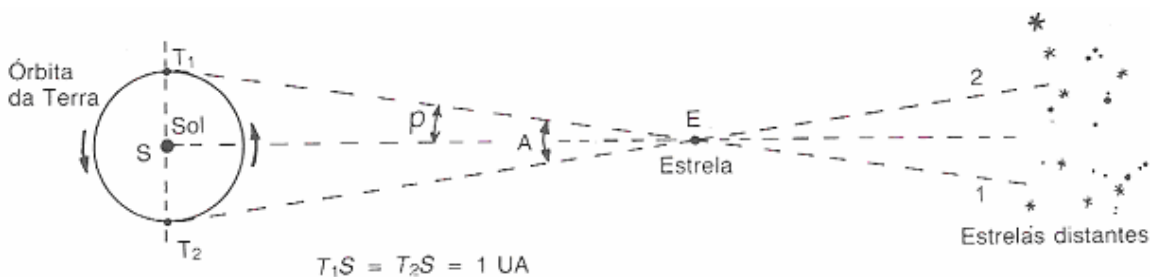


Figura 1.11 - Podemos medir as distâncias das estrelas próximas o seu movimento aparente em relação às estrelas de fundo, enquanto a Terra se movimenta em torno do Sol [5].

A variação angular da posição das estrelas mais próximas é da ordem de 1 segundo de arco, e a linha de base é igual à distância Terra-Sol. Uma estrela que apresente uma paralaxe de um segundo de arco, corresponde a uma distância aproximadamente de $3,086 \times 10^{18}$ cm, conhecida em astronomia como parsec (pc), termo derivado do inglês **Paralaxe Second**. Em termos da velocidade da luz 1 parsec corresponde 3,26 anos-luz, que significa que a luz emitida pelas estrelas mais próximas demora aproximadamente 3 anos para chegar à Terra.

Como as distâncias entre os corpos celestes são muito grandes, houve a necessidade de se criarem estas novas unidades, que embora não façam parte do Sistema Internacional (SI), podem-se converter em unidades SI.

Tabela 1.1 - Principais Conversões de Unidades de Distância.

| Distância | m | UA | anos-luz | pc |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| UA | $1,50 \times 10^{11}$ | 1,00 | $1,59 \times 10^{-5}$ | $4,86 \times 10^{-6}$ |
| anos-luz | $9,46 \times 10^{15}$ | $1,50 \times 10^{11}$ | 1,00 | $3,07 \times 10^{-1}$ |
| pc | $3,06 \times 10^{16}$ | $1,50 \times 10^{11}$ | 3,26 | 1,00 |

O método da paralaxe não se aplica à medição de distâncias de estrelas que se encontram mais distantes da nossa Galáxia. Para se medirem estas distâncias utiliza-se o fluxo da radiação que as estrelas emitem e que chega à Terra – Figura 1.12. Este fluxo é tanto menor quanto maior for a distância entre as estrelas e a Terra. Este fenómeno é basicamente o mesmo que observamos na iluminação proveniente de uma lâmpada. Como a luz difunde-se por todo o espaço, e esbate-se em superfícies esféricas cada vez maiores, e cuja área é proporcional ao quadrado do raio, a iluminação que recebemos diminui com o inverso do quadrado da distância.

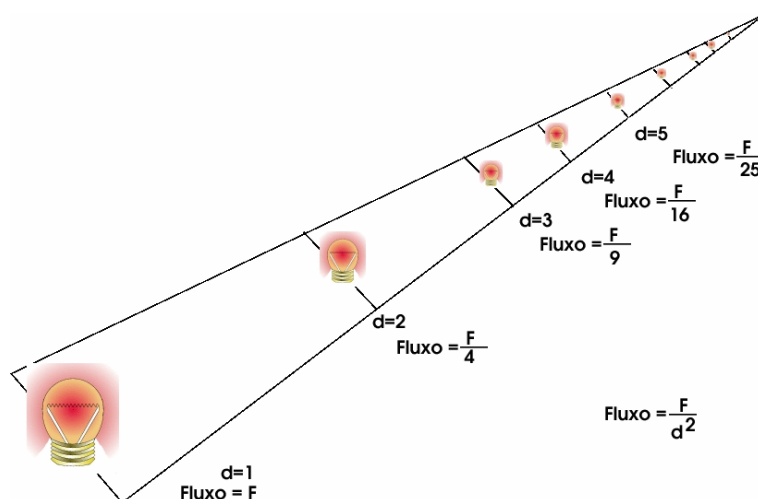


Figura 1.12 - Para medir as distâncias das estrelas da Galáxia podemos utilizar o facto de que o fluxo observado enfraquece com o inverso do quadrado da distância [7].

Capítulo 2

Espectros, Radiações e Energia

Matéria e Energia são dois conceitos que não existem isoladamente, isto é, não podemos ter apenas matéria ou energia. Definir matéria não é difícil e vulgarmente dizemos que é tudo aquilo que tem massa e ocupa espaço. Contudo, definir energia não é assim tão simples.

No início do século XX, Einstein mostrou que matéria e energia são apenas duas manifestações diferentes da mesma realidade física fundamental e que se podem converter uma na outra de acordo com a equação:

$$E = mc^2 \quad (2.1)$$

Tudo o que nos rodeia é energia e, de forma simples podemos afirmar que a energia é a capacidade de fazer com que a matéria se transforme. A energia pode manifestar-se de diferentes formas, por exemplo, energia potencial, energia cinética, energia térmica, energia electromagnética, etc.

A energia que é transmitida sobre a forma de ondas designa-se Radiação. Existem diferentes tipos de radiação sendo as mais familiares, a radiação visível, a radiação infravermelha e a radiação ultravioleta. Ao conjunto de todas as formas de energia radiante (luz solar, raios X, raios gama, ondas de rádio/TV, radiação cósmica...) do Universo chamamos Espectro das Radiações Electromagnéticas. Em função do comprimento de onda e da frequência das ondas electromagnéticas (EM) podemos definir diferentes zonas de energia.

Isaac Newton provou que a radiação solar poderia ser separada num espectro colorido, como acontece num arco-íris, que foi o primeiro espectro observado. O arco-íris é

causado pela dispersão da luz solar que é refractada pelas gotas de chuva. Inicialmente a luz ao atravessar a superfície da gota de água é refractada, em seguida sofre uma reflexão e ao sair da gota é de novo refractada. O efeito global é tal que no interior da gota a luz é reflectida segundo vários ângulos, situando-se a luz mais intensa num ângulo compreendido entre os 40° e os 42° . Este ângulo depende do índice de refração da gota mas é independente do seu tamanho. A quantidade de luz refractada depende do comprimento de onda e da cor.

A radiação azul é reflectida com um ângulo maior do que a vermelha, mas devido à reflexão interna total da luz, a radiação vermelha aparece mais alta no céu, e forma a cor mais externa do arco-íris.

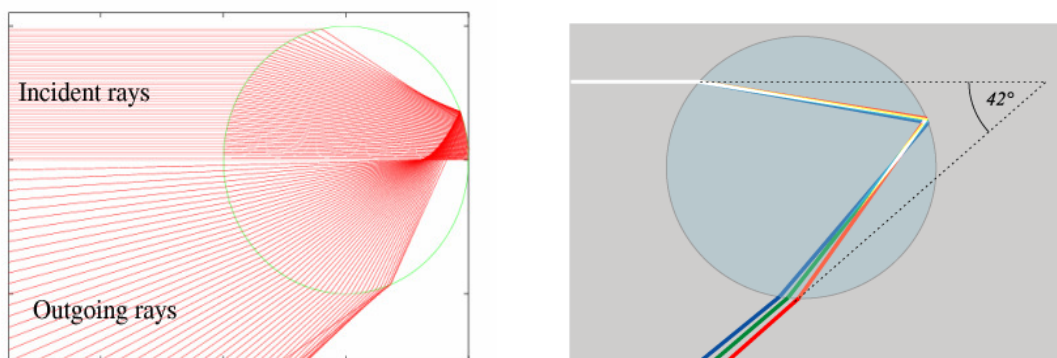


Figura 2.13- A luz branca separa-se em diferentes cores (comprimentos de onda) ao entrar numa gota de chuva, a radiação vermelha é refractada com um ângulo menor que a radiação azul. Ao saírem, da gota de chuva, os raios vermelhos tem um ângulo menor que os raios azuis, produzindo o arco-íris [8].

O arco-íris é uma ilusão de óptica cuja posição aparente depende da posição do observador. Todas as gotas de chuva refractam e reflectem a luz do sol da mesma forma, mas apenas a emissão de algumas delas chega até ao olho do observador. Algumas vezes, aparece um segundo arco-íris, mais fraco do que o principal, devido a uma dupla reflexão da luz do Sol nas gotas de chuva, com um ângulo de 50° a 53° . Devido à reflexão extra, as cores do segundo arco são invertidas quando comparadas com o arco-íris principal, o azul aparece no lado externo e o vermelho no interno.

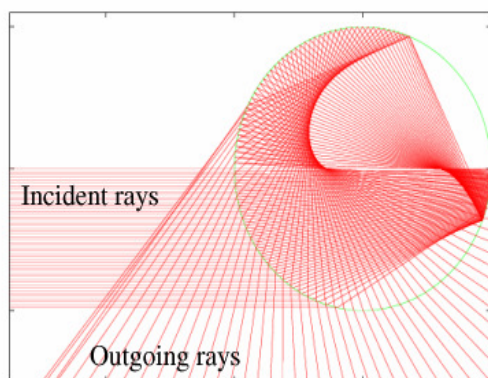


Figura 2.14 - Alguns raios de luz podem reflectir duas vezes dentro da gota de chuva antes de sair. Quando a luz incidente é muito brilhante isto pode ser visto como um arco-íris secundário, brilhando entre 50° a 53° [8].

2.1 Espectros de Riscas de Absorção e Emissão de Radiação pelas Estrelas

De acordo com a teoria atómica sabemos que cada átomo é envolvido por electrões que se distribuem em níveis de energia bem definidos, característicos do próprio elemento. Isto significa que qualquer excitação que tenda a deslocar um electrão do seu estado fundamental para um estado excitado, só terá sucesso se a energia fornecida for exactamente igual à diferença entre esses dois níveis característicos. No entanto, logo que o processo de transferência de energia termina, o electrão regressa à sua posição de equilíbrio, libertando essa energia sob a forma de radiação à qual corresponderá um determinado comprimento de onda. A emissão dessa energia, ao ser analisada com um espectroscópio, é visualizada como uma risca situada numa posição que corresponde a um comprimento de onda que depende dos níveis entre os quais se deu a transição. Ao conjunto das riscas dá-se o nome de espectro.

A energia irradiada por uma estrela obriga alguns dos seus electrões a ocuparem, temporariamente, níveis de energia superiores aos habituais e nessa transição, os electrões absorvem energia, constituindo um Espectro de Absorção. No entanto, logo que lhes é possível, eles regressam ao estado inicial, emitindo a energia anteriormente absorvida, originando um Espectro de Emissão. Em ambos os casos o valor de energia,

absorvida ou emitida, e o comprimento de onda são os mesmos, de modo que, a risca de emissão ou de absorção irá surgir na mesma posição relativa.

Os espectros estelares são espectros descontínuos de riscas de absorção, semelhantes ao “arco-íris”, de cores interrompidas por riscas escuras. Observando o espectro do Sol, com um espectroscópio de bolso, de boa qualidade, podemos observar estas riscas escuras, que correspondem a radiação proveniente do interior do Sol, que ao atravessar as suas camadas e a atmosfera solar, na qual existem diversos elementos, absorvem parte desta radiação – Figura 2.15.

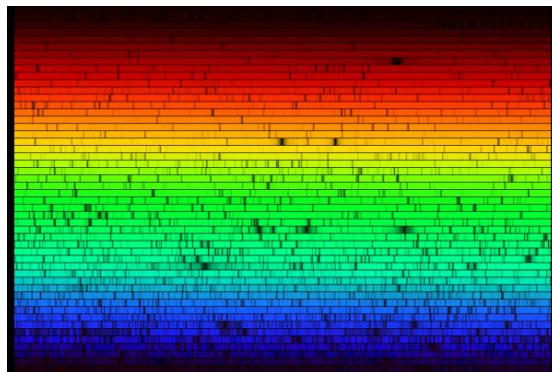


Figura 2.15 - Espectro solar de absorção [9].

2.2 O Espectro Electromagnético

No nosso quotidiano, temos três situações simples da presença da luz. Por exemplo, quando acendemos uma vela ou quando ligamos uma lâmpada incandescente ou mesmo quando olhamos para os raios do Sol.

Desde que Maxwell identificou a luz visível como sendo uma onda electromagnética, foram descobertas muitas outras ondas electromagnéticas com comprimentos de onda que variam desde o tamanho do raio da Terra (aproximadamente 6 370 km) até ao tamanho do núcleo atómico (aproximadamente 10^{-15} m).

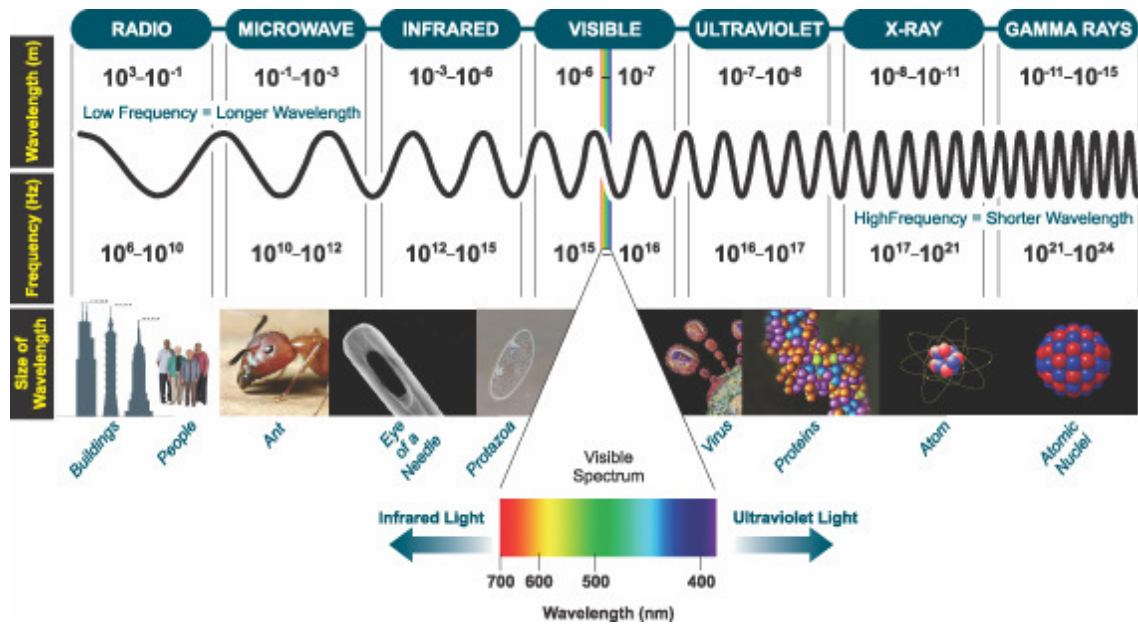


Figura 2.16 – Espectro Electromagnético [10].

O Espectro Electromagnético -Figura 2.16 - é formado por ondas que se propagam no vazio com velocidade igual à velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s) e sem ser necessário qualquer meio material. Cada radiação do espectro electromagnético é caracterizada pelo seu valor de energia, isto é, pelo seu comprimento de onda, λ , ou frequência, f :

$$E = hf \quad (2.2)$$

nesta equação h representa a constante de Planck.

O comprimento de onda está relacionado com a frequência através da equação:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.3)$$

2.3 Relação entre as Cores do Espectro Visível e a Energia da Radiação

Quando um espectro de luz emitida contém todos os comprimentos de onda das cores que compõem a luz branca (por exemplo: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta) é designado Espectro Contínuo. Os espectros contínuos são emitidos por sólidos incandescentes, líquidos, ou gases comprimidos.

Várias estrelas, como, por exemplo, o Sol, emitem espectros contínuos nos quais as cores se fundem umas nas outras, estando a cor vermelha numa das extremidades e a cor azul na outra.

Apesar das estrelas serem emissores de luz visível com espectro contínuo, a sua cor pode variar devido à variação da temperatura.

As estrelas que apresentam uma cor vermelha possuem temperaturas superficiais de 3 000 K, as estrelas amarelas, como o Sol, têm temperaturas que rondam os 6 000 K, e as brancas ou azuis possuem temperaturas superiores a 10 000 K. As estrelas emitem energia em todos os comprimentos de onda mas não com a mesma intensidade, uma vez que para cada temperatura existe um pico da sua radiância. Uma determinada quantidade de energia vai determinar a cor predominante da estrela.

Devido à variação da temperatura da sua superfície, a cor das estrelas vai variando ao longo da sua vida. As estrelas apresentam várias cores, que reflectem a temperatura das suas atmosferas de acordo com *lei de Wien* que refere que o comprimento de onda (λ) dominante da radiação emitida por um corpo negro é inversamente proporcional à temperatura, T :

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} \quad (2.4)$$

Nesta equação, a constante de proporcionalidade, b , designada por constante de *Wien*, vale $2,90 \times 10^{-3}$ m.K.

A cor de uma estrela é determinada pela parte do seu espectro visível que mais contribui para sua luminosidade total. As estrelas mais "frias", cuja temperatura é da ordem dos 2 000 K ou 3 000 K, cerca de 15 000 vezes mais quentes que o forno que temos nas nossas cozinhas, emitem radiações vermelhas, que são radiações visíveis menos energéticas. As estrelas mais "quentes" podem atingir uma temperatura de 20 000 K, ou mais, e emitem radiações violetas e azuis, sendo estas as mais energéticas. O Sol é a estrela que se encontra mais próxima da Terra e é uma estrela de cor amarela com uma temperatura de cerca de 6 000 K. Através do espectro térmico que uma estrela apresenta podemos saber qual é temperatura da sua superfície – Figura 2.17.

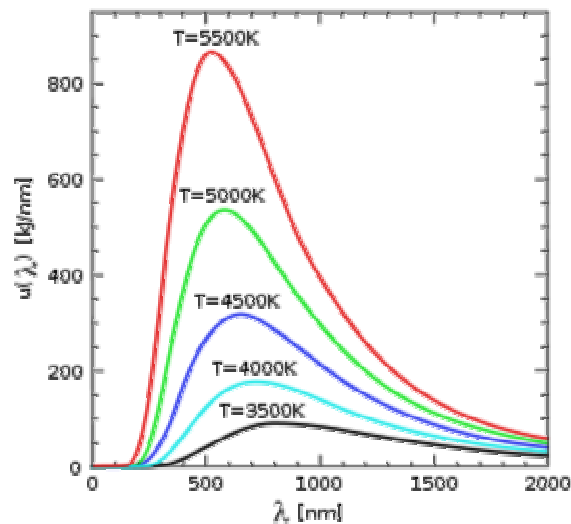


Figura 2.17 - Intensidade de emissão térmica de um corpo negro em função do comprimento de onda [11].

Capítulo 3

Evolução Estelar

Quando olhamos para o céu, conseguimos ver um grande conjunto de pontos brilhantes. No entanto, sabemos que nem todos eles representam estrelas. Nesse universo existem igualmente planetas e galáxias.

Devido à diversidade de estrelas não é fácil encontrar um modo concreto para se descrever o céu mas, apesar disso, é possível conhecê-lo. A astronomia moderna, baseada no método utilizado pelos povos da Antiguidade, tem vindo a aprofundar o seu estudo. Uma das grandes diferenças situa-se na abordagem que é utilizada para se conhecer melhor o céu, que se distingue pelo facto de se ter deixado um pouco de lado os agrupamentos de estrelas para se passar à procura exaustiva do conhecimento de cada estrela individualmente, dentro das suas constelações.

O interesse e curiosidade pelas estrelas existem desde a antiguidade. Muito antes dos instrumentos utilizados no estudo das estrelas se sabia que estas eram objectos luminosos com cores diferentes. Existe até um número significativo de cientistas que afirma que o Homem é, em parte, formado por elementos que resistiram à explosão estelar.

Os povos antigos dedicaram-se à observação das estrelas, imaginando linhas imaginárias a uni-las de modo a formar determinadas configurações constituídas por seres do seu quotidiano. Estes conjuntos são designados por constelações. Quando se olha para o céu à vista desarmada parece que são todas iguais e que se encontram dispersas ao acaso. Contudo isso não é verdade, pois encontram-se agrupadas em galáxias e apresentam cores e brilhos diferentes.

Genericamente podemos definir as estrelas como esferas constituídas essencialmente por um plasma de hidrogénio que é mantido a elevada temperatura. A sua energia é gerada através de uma série de reacções nucleares que as fazem brilhar durante milhões de anos. As estrelas mantêm-se relativamente estáveis devido ao equilíbrio que existe entre a força da gravidade e a força de pressão resultante da radiação emitida devido às reacções nucleares. Quando este equilíbrio deixa de existir as estrelas morrem.

A luminosidade de uma estrela depende da sua temperatura e dimensão. A lei de Stefan-Boltzman estabelece que a luminosidade depende de T^4 e de R^2 , onde T representa a temperatura e R o raio da estrela (ou seja, é proporcional à sua área):

$$L = 4\pi\sigma R^2 T^4 \quad (3.1)$$

onde σ representa a constante de Stefan-Boltzman e vale $5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$.

Por este motivo, é possível observar-se uma estrela que pode ser muito luminosa (emitindo muita luz por unidade de tempo) e, no entanto, ser fria e vermelha, a única imposição é que ela seja muito grande, que é o caso da gigante ou da supergigante.

Quando se fala em evolução estelar não se pode deixar de considerar os diagramas de Hertzsprung-Russell (HR), uma vez que nos permitem saber não apenas o estágio de evolução ocupado por diferentes estrelas, mas também comparar estrelas diferentes que se encontram em estádios de evolução diferentes. A elaboração destes diagramas implica um enorme conjunto de observações espectroscópicas efectuadas durante vários anos e com equipamento altamente sofisticado. Analisando os espectros das estrelas é possível determinar a sua constituição e o estágio de evolução em que se encontram. Através da sua luminosidade os diagramas HR permitem que se conhece a temperatura superficial das estrelas.

3.1 Produção de Energia nas Estrelas

A energia nas estrelas é produzida por fusão nuclear. A imensa quantidade de energia libertada pelo Sol e pelas outras estrelas é resultado da conversão de matéria em energia, quando os átomos de hidrogénio, estando sujeitos a temperaturas e pressões elevadas, se combinam para formar átomos de hélio.

As nebulosas, berçários das estrelas, são regiões do Universo com grandes massas gasosas que contêm hidrogénio, pequenas quantidades de hélio e restos de outras estrelas que se extinguíram. Estas nuvens de gás, não uniforme, encontram-se a temperaturas de 10 K a 2 000 K, têm uma massa que varia entre 10 massas solares a 10^7 massas solares e um raio que pode variar de 1 ano-luz a 100 anos-luz.

O centro da massa gasosa arrefece dando origem a uma redução da pressão e por fim ao colapso gravitacional. À temperatura a que a nossa galáxia se encontra, calcula-se que sejam necessárias cerca de 1 000 massas solares para que ocorra o colapso, pois se forem inferiores a gravidade torna-se insuficiente para vencer a pressão. A pressão gravitacional comprime o gás e a agitação térmica deste equilibra a força gravitacional. A contração da matéria determina o aumento da densidade e induz a temperatura a aumentar até um milhão de graus Kelvin. Quando a temperatura no núcleo da estrela atingir os 2 000 K inicia-se a dissociação da molécula de hidrogénio em dois átomos de hidrogénio. Quando é alcançada a temperatura de 10^7 K a fusão nuclear torna-se possível e os dois prótons fundem-se num deutério - Figura 3.18.

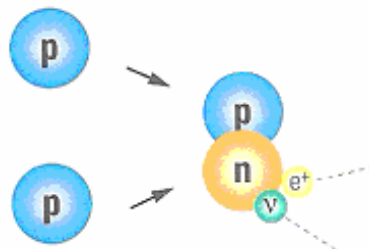
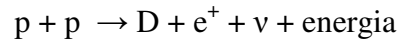


Figura 3.18 - Fusão de dois prótons num deutério [12].



As partículas formadas, o deutério (D), o positrão (e^+) e o neutrino (ν), no seu conjunto, têm uma massa inferior à massa inicial dos dois protões. A diferença de massa, $\Delta M = 0,41 \text{ MeV}/c^2$, é libertada sob a forma de energia e corresponde a $0,41 \times 1,602 \times 10^{-13} \text{ J}$ [13].

O processo mais importante no início da vida das estrelas é a fusão nuclear do hidrogénio para formar hélio - Figura 3.19.

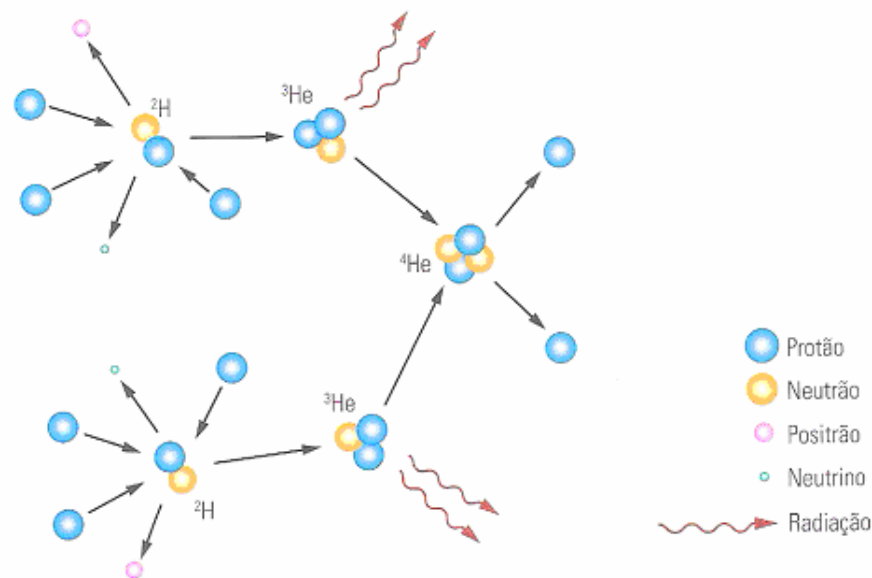
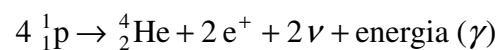


Figura 3.19 - Ciclo do Hidrogénio (em que 4 protões dão origem a hélio-4) [12].



As estrelas irão passar a maior parte da sua vida nesta fase. Por cada quatro protões forma-se um núcleo de hélio e libertam-se 26,7 MeV de energia.

Quando o hidrogénio acabar, não há mais produção de energia, a agitação térmica das partículas diminui e a força gravítica vence. A estrela contrai-se aumentando a temperatura do seu núcleo essencialmente formado por hélio e rodeado de hidrogénio

que continua em “combustão”. As camadas mais externas expandem-se e arrefecem, deslocando-se o pico da radiação para a zona do vermelho. A estrela evolui para uma gigante vermelha [14].

Se a massa for suficiente, a pressão gravitacional exercida no núcleo da estrela e o aumento da temperatura criam condições para que ocorra a fusão de núcleos mais pesados. Ao atingir os 10^8 K inicia-se a combustão de três núcleos de hélio para formar carbono - Figura 3.20 - e posteriormente a sucessiva combustão dos núcleos mais pesados, oxigénio, néon, magnésio e silício.

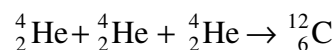
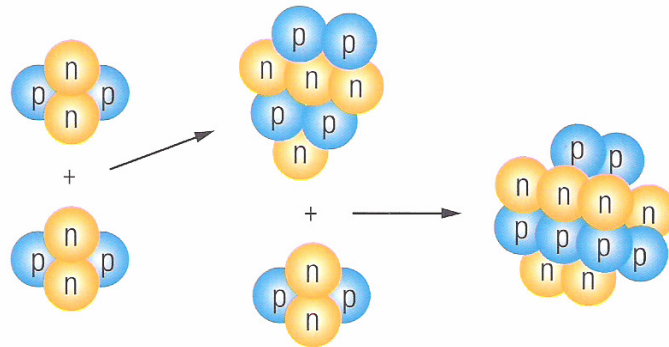
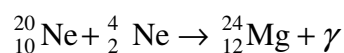
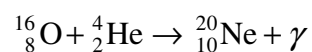
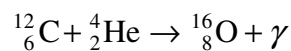


Figura 3.20 - Formação de um núcleo de carbono [12].

E também reacções de combustão dos núcleos mais pesados:



Desta forma, no interior das estrelas podem produzir-se fusões de núcleos cada vez mais pesados até se atingir a síntese de núcleos de ferro ($Z = 26$), como acontece no caso das estrelas com massas superiores a 8 massas solares - Figura 3.21. Uma vez que o ferro tem uma grande energia de ligação, a partir deste momento torna-se difícil a libertação de mais energia através da fusão e a produção de energia, que sustém o colapso gravitacional, termina.

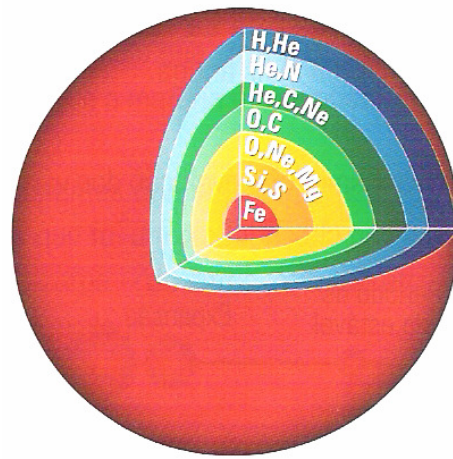


Figura 3.21 - Estrutura interna de uma supergigante vermelha [13]

3.2 Propriedades das Estrelas

As estrelas vivem, em média, vários bilhões de anos. No seu interior as reacções nucleares produzem grandes quantidades de energia, que podemos observar mesmo a grandes distâncias. Algumas características das estrelas, como por exemplo, a temperatura, brilho, luminosidade, raio, massa e taxa de rotação, podem ser medidas através da informação que se obtém da radiação electromagnética que elas emitem. Este estudo pode ser efectuado através da análise do espectro de cada uma delas. Cada estrela possui um espectro característico, como se fosse uma impressão digital, e assim torna-se possível catalogá-las - Figura 3.22.

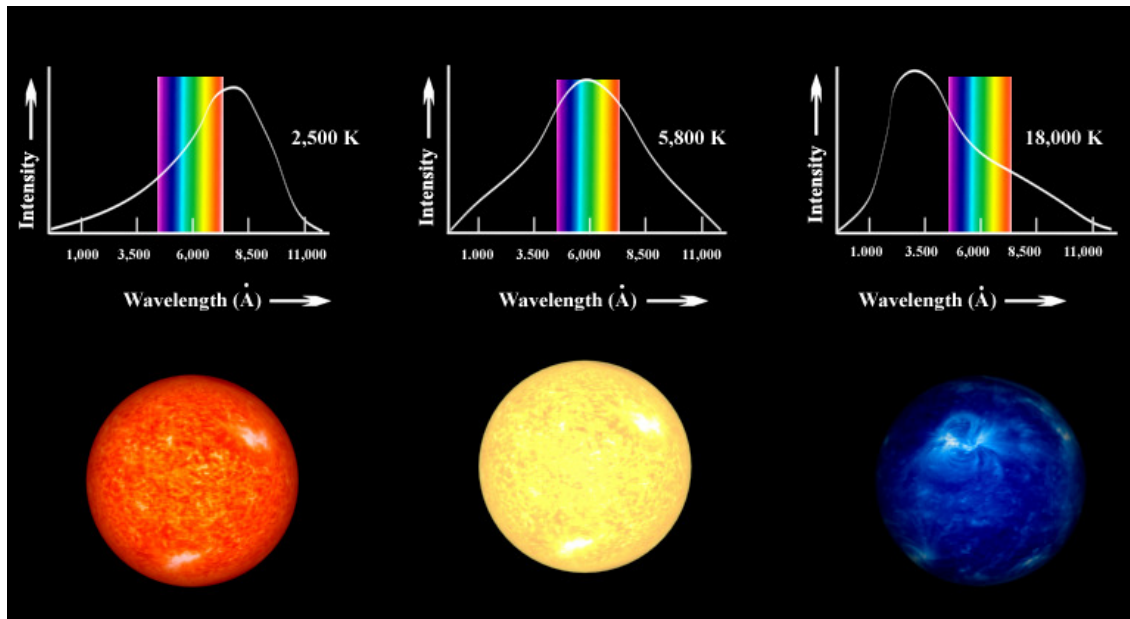


Figura 3.22 - Espectros característicos de três diferentes tipos de estrelas [14].

William Hyde Wollaston, no século XIX, com a descoberta de riscas escuras, no espectro da luz solar, deu origem à espectroscopia estelar. O físico alemão, Joseph Van Fraunhofer, dedicou-se ao estudo do espectro solar, descobrindo várias centenas de riscas escuras. Estas riscas, mais tarde designadas por riscas de Fraunhofer, correspondem às radiações que foram absorvidas pelos elementos químicos e/ou substâncias que existem na atmosfera solar (fotosfera). O interesse pela análise espectral não se ficou só pelo estudo do Sol, passando para a análise do espectro de um maior número de estrelas.

A primeira classificação a ser adoptada internacionalmente foi desenvolvida no Observatório de Harvard em 1910, por Annie J. Cannon e seus colaboradores. Essa classificação recebeu o nome de **Classificação de Harvard**. Annie J. Cannon classificou as estrelas de acordo com cores que vão do azul ao vermelho. Da mais quente à mais fria, as estrelas são agrupadas em classes identificadas pelas letras do alfabeto O, B, A, F, G, K, M, R, N e S.

As estrelas que pertencem às classes R, N e S são as que apresentam pouco brilho e temperaturas baixas. Como estas são relativamente poucas, consideram-se

frequentemente apenas os sete grupos principais: O, B, A, F, G, K, M, fáceis de memorizar considerando as iniciais da seguinte frase em inglês:

“Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me”

Na tabela 3.2 podemos observar as características das principais classes espectrais.

Tabela 3.2 - Classes Espectrais

| Classe Espectral | Cor da Estrela | Temperatura Superficial (K) | Exemplo |
|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------|
| O | Branco-azulado | > 45 000 | Alnitak |
| B | Branco-azulado | 25 000 | Espiga |
| A | Branco | 10 000 | Sírio |
| F | Branco-amarelado | 8 000 | Prócion |
| G | Amarelado | 6 000 | α Centauri |
| K | Laranja | 4 000 | Arcturo |
| M | Vermelho | 3 000 | Antares |

As classes de luminosidade estão relacionadas com a intensidade luminosa intrínseca das estrelas. Dentro da mesma classe espectral, com uma mesma temperatura superficial e cor, podem ter características físicas diferentes, em particular no que diz respeito ao seu diâmetro. Duas estrelas com uma temperatura idêntica emitem a mesma energia por unidade de superfície mas, se uma delas for muito maior, a energia total emitida será também muito maior [15].

Na tabela 3.3 podemos observar a classificação das estrelas quanto a sua luminosidade.

Tabela 3.3 - Classificação das estrelas quanto a sua luminosidade.

| Classe | Nome |
|--------|-----------------------------|
| I | supergigantes |
| II | gigantes luminosas |
| III | gigante |
| IV | subgigantes |
| V | anãs da sequencia principal |
| VI | subanãs |
| VII | anãs brancas |

Para se designar uma estrela a classe luminosa associa-se à classe espectral, de acordo com esta definição o Sol é designado como uma estrela do tipo G2V.

Por volta de 1911, os cientistas Enjar Hertzsprung e Henry Russel, apesar de trabalharem independentemente, estudaram as relações entre a magnitude, a classe espectral e a massa das estrelas. Elaboraram um digrama que é conhecido por diagrama Hertzsprung-Russel ou simplesmente H-R- Figura 3.23.

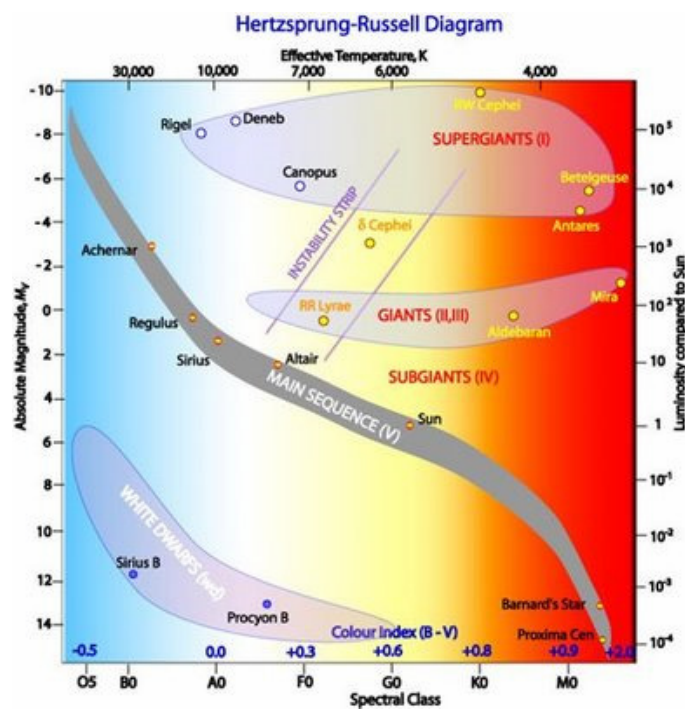


Figura 3.23 - Diagrama de Hertzsprung-Russe [16].

No diagrama podemos observar uma faixa principal, designada por sequência principal. É nesta região que se situa a maioria das estrelas e onde permanecem a maior parte das suas vidas. As estrelas estão representadas de acordo com as suas características e, durante as suas vidas, podem mover-se pelas diversas áreas do diagrama. Neste diagrama, o eixo das ordenadas corresponde à magnitude absoluta visual das estrelas e o das abcissas, ao tipo espectral, expresso com as letras O, B, A, F, G, K e M. Na Figura 3.23 observam-se os agrupamentos, da sequência principal, do ramo das gigantes, das supergigantes e das anãs brancas.

Olhando para o eixo da temperatura observamos que as estrelas mais jovens encontram-se no lado esquerdo do diagrama uma vez que são mais quentes e as estrelas mais velhas, como são mais frias, estão do seu lado direito.

3.3. O diagrama H-R e a evolução estelar

O diagrama H-R sendo um instrumento básico para os astrónomos é utilizado para determinação das magnitudes absolutas das estrelas relativamente aos seus espectros ou temperaturas de superfície, que determinam os tipos de espectro.

Em cada região do diagrama há um conjunto de processos físicos que conduzem aos vários estágios evolutivos da estrela – Figura 3.23. O diagrama ajuda os astrónomos a entender a evolução estelar e a estabelecer a relação entre as suas propriedades.

Durante a Sequência Principal (*Main Sequence* - MS) ocorre no núcleo da estrela uma lenta transformação do hidrogénio em hélio, e existe equilíbrio entre as forças gravitacionais e as forças de pressão da radiação. Quando todo o hidrogénio do núcleo termina, esse equilíbrio altera-se e a estrutura interna da estrela, bem como a sua aparência externa modificam-se e a estrela dá início à fase final da sua vida. Esta fase é denominada *Turn Off* (TO), e é a fase em que a estrela sai da sequência principal.

Com os processos de fusão nuclear, a composição do interior estelar muda gradualmente, com um aumento da abundância de hélio e a consequente diminuição do hidrogénio. No

centro da estrela, onde a temperatura é mais alta, a quantidade de hélio aumenta mais rapidamente e a taxa de fusão nuclear torna-se mais lenta nas bordas do núcleo central. À medida que o tempo passa, o hidrogénio vai continuando a ser consumido e a região mais interna do núcleo da estrela transforma-se num núcleo de hélio puro. Nesse núcleo a produção de energia nuclear termina e os processos de fusão iniciam-se nas camadas superiores. O núcleo mais interno de hélio puro, onde não ocorre fusão, torna-se cada vez maior. Sem a produção de radiação, a pressão do gás diminui nesse núcleo mais interno, mas a força da gravidade não, e isso faz com que mudanças na estrutura se tornem inevitáveis. Cerca de 10 biliões de anos depois da estrela estar na sequência principal, quando a diminuição do hidrogénio é substancial, o núcleo de hélio começa a contrair.

No Ramo das Sub-Gigantes (*Sub-Gigants Branch* - SGB) as estrelas estão na fase final do ciclo de fusão do hidrogénio nos seus núcleos.

O Ramo das Gigantes Vermelhas (*Red Giants Branch*- RGB) é a fase da combustão da camada de hidrogénio até à fusão do hélio que se encontra inerte.

O Ramo Assintótico das Gigantes (*Asymptotic Giant Branch* – AGB) é a fase onde ocorre simultaneamente a queima do núcleo de hélio com a camada de hidrogénio. Próximo deste estado, as estrelas, de massa superior à do Sol, atingirão as temperaturas fatais que levam à explosão da estrela em supernova.

As estrelas com massa igual ou inferior à massa solar percorrem todo o ramo horizontal, atingindo o estágio das nebulosas planetárias. Finalmente, o Pós - AGB (*Post-Asymptotic Giant Branch* -P-AGB) é a fase final da evolução de uma estrela.

3.4 Ciclo de Vida das Estrelas

As estrelas levam cerca de 90% das suas vidas a realizar, próximo ao seu centro, reacções nucleares de alta pressão na fusão do hidrogénio para produção de hélio. Estas estrelas encontram-se na sequência principal do diagrama de Hertzsprung-Russell.

Uma estrela forma-se a partir da condensação de uma nuvem de gás e poeira, a nuvem interestelar. As regiões onde se formam as estrelas são conhecidas como Nebulosas ou Berçários, o mais conhecido é o Ninho da Águia, contudo existem outros, tais como: a Grande Nebulosa de Oriente e a Cabeça do Cavalo, que são constituídas essencialmente por hidrogénio e elementos sintetizados nas estrelas de anteriores gerações, que explodiram, já na fase final das suas vidas, lançando grande parte do seu material interestelar para o espaço. Essas nuvens podem ter dimensões de várias centenas de anos-luz e as suas massas podem ser cerca de 1 000 vezes superiores à massa do Sol.

Devido à intensa força gravitacional, a nebulosa contrai-se progressivamente, o seu volume diminui, aumentam as colisões e fricções entre as partículas da nuvem de matéria, transformando a energia potencial em energia térmica. Desta forma inicia-se o aquecimento gradual e o correspondente aumento da pressão do futuro núcleo estelar. À medida que o volume diminui, a pressão, a fricção e a temperatura aumentam, até que, finalmente, a estrela começa a brilhar. Esta fase é designada por proto-estrela. As estrelas podem permanecer nesta fase uns 50 milhões de anos.

As estrelas podem classificar-se em grandes, médias e pequenas. O Sol é considerada uma estrela média. Por convenção, as estrelas que apresentam massa inferior à do Sol são consideradas estrelas pequenas e as que têm massa superior são consideradas grandes.

O corpo celeste luminoso transforma-se numa estrela quando se inicia, no seu núcleo, a fusão do hidrogénio. Quando é atingida a temperatura de 10 milhões de graus, inicia-se a

fusão nuclear do hidrogénio que, ao longo de milhões de anos, dará origem à energia irradiada pela estrela em diversas formas, como, por exemplo, o aparecimento de elementos mais pesados, como o hélio e, posteriormente, o carbono [5].

Para que as reacções nucleares prossigam é necessário que a temperatura vá aumentando com o decorrer do tempo. Este aumento é alcançado à custa do aumento da pressão produzida por toda a massa da estrela que envolve o respectivo núcleo. A energia é irradiada do centro para a atmosfera da estrela, onde irá originar reacções com o hidrogénio [5].

Há algumas décadas atrás pensava-se que, na fase final da sua evolução, as estrelas se tornavam anãs brancas. Estas estrelas, apesar de terem massas próximas das do Sol, são muito compactas, e os seus diâmetros podem ser inferiores ao da Terra. As estrelas que tinham massa superior à do Sol, antes de atingirem o seu fim, consumiam ou libertavam parte da sua matéria para o espaço.

Apesar das estrelas nascerem todas de uma nuvem proto-estrela - Figura 3.24 - a maioria termina como anã, quando todo o “combustível” nuclear se consome, impedindo assim a produção de energia.

As estrelas que nascem com uma massa inferior à massa do sol, por falta de massa, não atingem a fase de brilho intenso. Por isso, uma vez que a radiação que emitem é insuficiente, vão-se contraindo gradualmente, passando pela fase de anãs castanhas. Estes corpos celestes são escuros, dificilmente visíveis, pois não emitem luz própria nem reflectem luz. As anãs castanhas tornam-se, posteriormente, em anãs negras.

Quando a massa inicial da estrela for maior do que 0,8 massas solares e menor do que 10 massas solares, passa 90 % do seu período de evolução seguindo a sequência prevista até transformar, através da fusão nuclear, todo o seu hidrogénio em hélio, tornando-se numa gigante vermelha. Nesta fase ocorrem as reacções de síntese do hélio em carbono e sucessivamente em elementos mais pesados. Nesta altura, a gigante vermelha transforma-se numa nuvem planetária, grande parte da massa da estrela é expelida e vai orbitar em torno do núcleo. O núcleo, constituído essencialmente por ferro e níquel, contrai-se transformando-se numa anã branca.

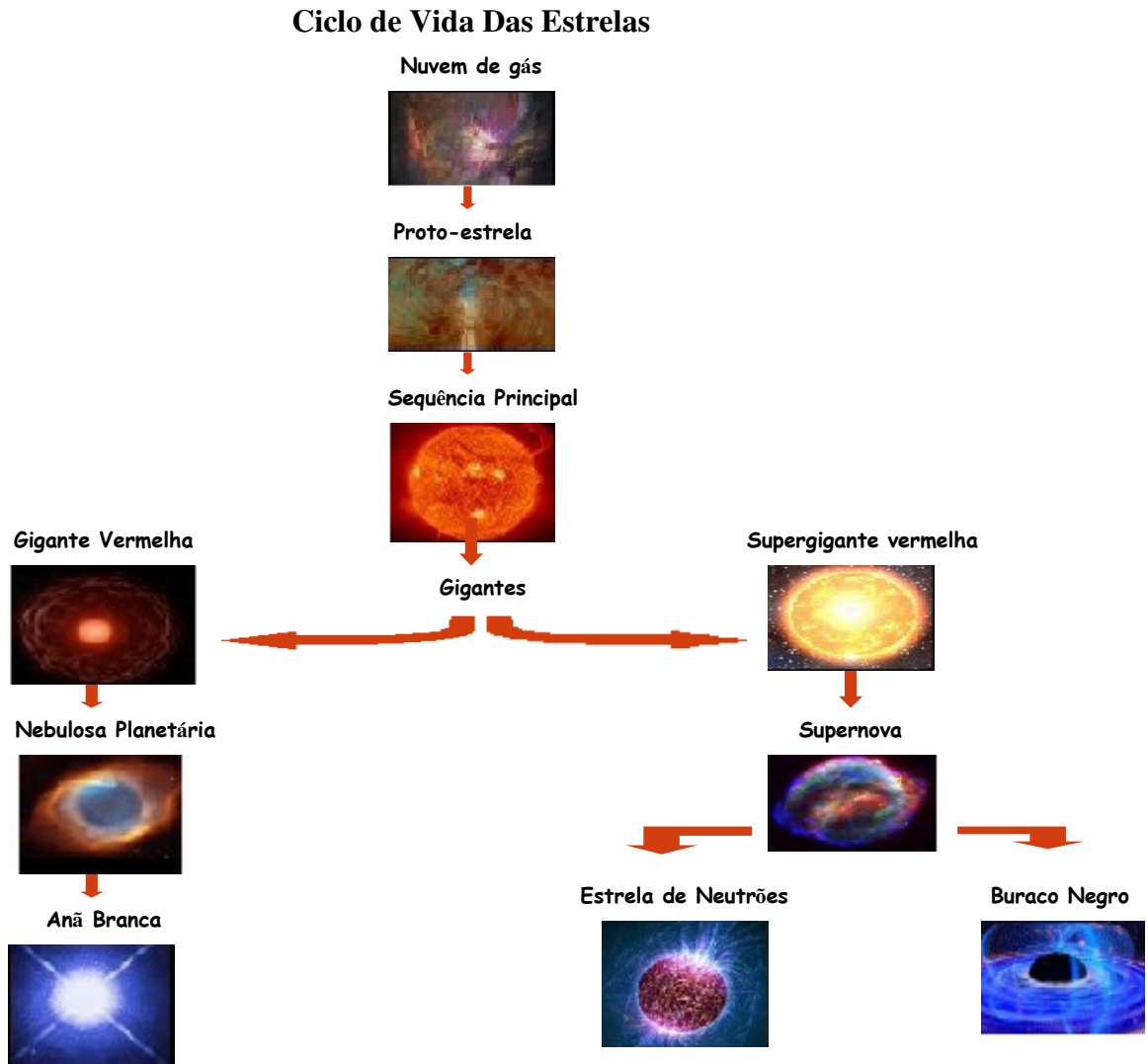


Figura 3.24 - Ciclo de Vida das estrelas.

Estrelas com massas compreendidas entre 10 massas solares e 25 massas solares, atingem uma temperatura superficial de 37 000 K. Após a transformação de todo o hidrogénio em hélio, forma-se numa super-gigante vermelha. Esta estrela vai sintetizando, mais rapidamente, os elementos mais pesados, passando a uma supernova. O fim da estrela é marcado por uma explosão. Após esta explosão, o núcleo contrai-se violentamente formando uma Estrela de Neutrões. Para estrelas cujas massas sejam superiores a 25 massas solares, o processo é semelhante ao caso anterior, só que após a explosão da super-nova o núcleo, devido ao campo gravitacional criado pela grande

quantidade de massa, contrai-se, entrando em total colapso e torna-se num buraco negro
- Figura 3.25.

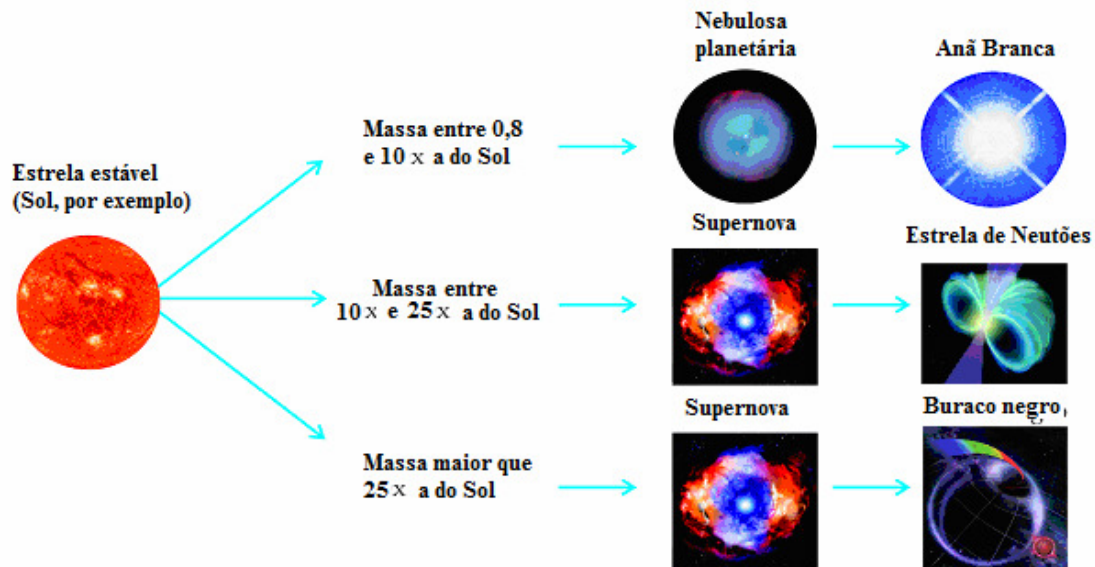


Figura 3.25 - Evolução final das estrelas de acordo com a sua massa inicial [18].

3.5 Buracos Negros

As estrelas não duram para sempre. Embora não sejam seres vivos, cada uma tem um ciclo que vai do seu nascimento, passa pela maturidade, que na Astronomia recebe o nome de “sequência principal”, e por fim chega à morte, que é a extinção do seu brilho.

Os ciclos das estrelas são parecidos, mas, tal como acontece com os seres vivos, a duração e o modo como morrem pode variar bastante. Quando atingem o seu último momento de existência explodem violentamente difundindo de uma só vez energia equivalente a um bilhão de sóis e fazem-se notar entre as estrelas de toda a galáxia. Após esta explosão de grande massa, pensa-se que, sob acção da força da gravidade, o núcleo da estrela original seria capaz de se contrair, até se transformar num buraco negro – Figura 3.26. No interior de um buraco negro a concentração de matéria é tão grande que nada pode escapar, nem mesmo a luz, daí ser chamado “negro”.



Figura 3. 26 – Buraco Negro [19].

Os buracos negros constituem uma das mais importantes descobertas científicas do século XX. No seu interior as leis que regem o Universo e os nossos conceitos de espaço e tempo parecem desmoronar-se.

Dependendo da sua massa e origem, podem ser divididos em dois grupos, os buracos negros estelares, que têm origem no colapso gravitacional de uma estrela de grande massa, e podem ter uma massa superior a oito massas solares, e os supermassivos que podem ter massas milhões ou até biliões de vezes maiores que a massa do Sol. Esta classe de buracos negros encontra-se principalmente no centro das galáxias e são formados, ao contrário dos buracos negros estelares, por imensas nuvens de gás ou por aglomerados de milhões de estrelas que colapsaram quando o universo era mais jovem. A maioria dos buracos negros supermassivos, já catalogados, estão em forte actividade, isto é, continuam a atrair matéria, aumentando ainda mais a sua massa.

O intenso campo gravitacional do buraco negro por aglomerados de milhões de estrelas que colapsaram sobre a sua própria poderia produzir um grande efeito sobre as estrelas próximas, apesar dele próprio ser invisível em todos os comprimentos de onda.

Capítulo 4

Sol

No capítulo dois falou-se da natureza da radiação electromagnética e como ela transfere energia através do espaço. A partir da luz emitida pelas estrelas obtemos informações sobre as suas características.

Neste capítulo vamos falar na estrela mais próxima de nós, o Sol, que tem um papel na preservação dos seres vivos, pela energia diária que nos fornece, e está ligada as alterações geomagnéticas e climatéricas sentidas na superfície terrestre.

Desde há milhares de anos, que o homem identifica algumas das características do Sol, como por exemplo, a rotação do disco solar, as manchas solares escuras e as regiões mais brilhantes na superfície. No entanto, devido às novas tecnologias, o estudo do Sol já pode ser realizado com maior detalhe.

Esta é uma dos milhares de milhões de estrelas que constituem a nossa galáxia. Encontra-se situada num dos braços em espiral da Via Láctea, o braço de Orion, a cerca de 7,5 mil parsecs do centro desta. Esta estrela move-se, em conjunto com todas as estrelas que constituem a Galáxia, em torno do seu centro e demora cerca de 200 milhões de anos a efectuar uma volta completa.

4.1. Características Gerais

O Sol, como todas as estrelas, é constituído por uma massa gasosa e brilhante, sustentada pela sua própria gravidade e pelas forças geradas nas reacções nucleares que ocorrem no núcleo. No diagrama de Hertzsprung-Russel é classificado como uma estrela do tipo G2V, que se encontra na sequência principal.

Apesar do Sol ser grande e muito brilhante, trata-se de uma estrela comum. Na tabela 4.4 apresentam-se algumas das suas propriedades.

Tabela 4.4 - Características do Sol

| Características do Sol | |
|-------------------------------|---|
| Massa | $1,989 \times 10^{30}$ kg |
| Raio | $6,959 \times 10^8$ km |
| Densidade média | $1,410 \text{ g/m}^3$ |
| central | $160\,000 \text{ kg/m}^3$ |
| Luminosidade | 3.83×10^{33} kW |
| Temperatura superfície | 5785 K |
| central | 1.5×10^7 K |
| Composição química | Hidrogénio 92,1 % Hélio 7,8 % Oxigénio 0,061 % Carbono 0,039 % Azoto 0,0084 % |
| Período rotacional equador | 25 dias |
| pólos | 31 dias |

Os gases no interior solar (principalmente hidrogénio e hélio) encontram-se quase que completamente ionizados, pois estão submetidos a temperaturas, pressão e densidade muito elevadas, as quais aumentam tanto, quanto maior for a profundidade dentro do Sol. Assim, na região mais central as condições físicas propiciam as reacções termonucleares de transformação de hidrogénio em hélio, libertando grandes quantidades de energia na forma de fotões e movimentos térmicos.

Por não ser possível a observação da estrutura interna do Sol recorre-se a modelos físicos/ matemáticos que dependem de grandezas observáveis tais como a temperatura da superfície, luminosidade, massa e composição química, que são usadas como condições fronteiras [20].

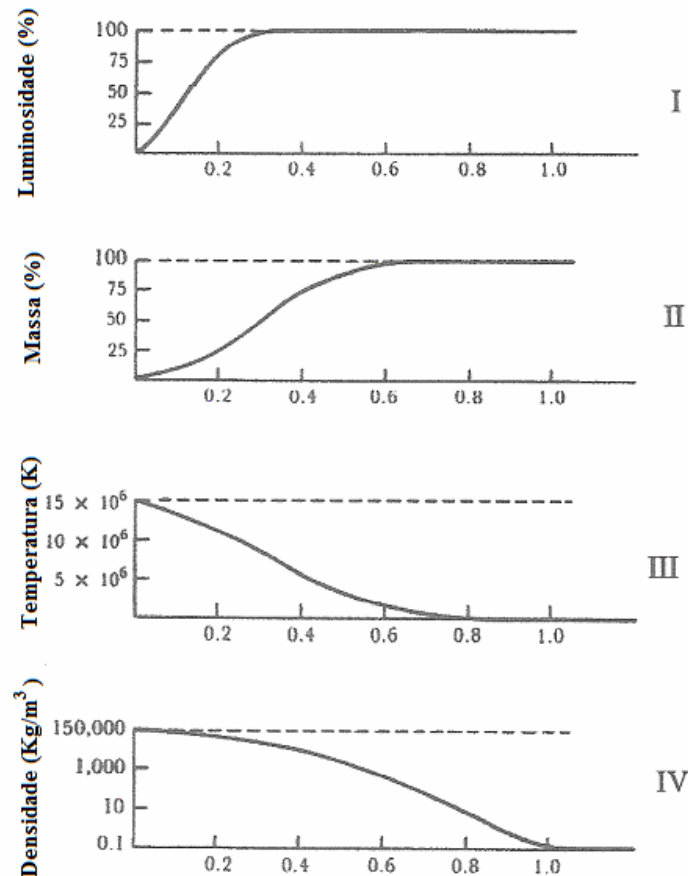


Figura 4.27 - Gráficos da variação de da luminosidade, massa, temperatura e densidade com o aumento do raio solar [20].

Os gráficos da Figura 4.27 ilustram a variação de algumas dessas grandezas com o raio. Estes correspondem à representação do modelo padrão aceite para o Sol admitindo que a luminosidade é produzida no núcleo e transportada até à superfície, a massa do Sol está mais concentrada nas zonas centrais (as de maior densidade) e a quase totalidade é atingida a pouco mais de 50 % do raio. A temperatura varia de acordo com a produção de energia e transporte até ao exterior, é elevada no centro e decresce até perto da superfície. A densidade (ou as forças de pressão), uma vez que corresponde a uma situação de equilíbrio hidrostático, decresce à medida que nos afastamos do centro até atingir um valor muito baixo na superfície [20].

4.2. Estrutura solar

Como o interior do Sol não é acessível directamente, podem fazer-se razoáveis suposições sobre a sua estrutura interna.

O Sol pode ser dividido em duas partes, o interior solar e a atmosfera solar. No interior solar encontramos o Núcleo e duas zonas designadas por Zona Radioactiva e Zona Convectiva. A atmosfera solar divide-se em 3 camadas: a fotosfera, a cromosfera e a coroa.

4.2.1 O interior e a energia solar

O estudo científico das condições físicas no interior e na atmosfera das estrelas permitiram-nos determinar os processos de produção de energia. Sabemos que as estrelas são gigantescas massas de gás que se mantêm coesas pela própria força gravitacional. Por este motivo, tanto a pressão como a temperatura do gás no núcleo das estrelas, são muito elevadas. A estas pressões e temperaturas o gás encontra-se ionizado e devidas às altas pressões no núcleo, apresenta propriedades que podem ser descritas no estado de fluido ao invés do estado gasoso [21], daí ser considerado um plasma.

O Sol está em equilíbrio térmico, apesar de emitir muita energia sob a forma de calor e de luz. Contudo, para manter este equilíbrio é necessário uma fonte interna de energia. Esta fonte encontra-se no núcleo, e é através de reacções nucleares, como foi referido no capítulo 3, que convertem por segundo cerca de 700 milhões de toneladas de hidrogénio em hélio, que é libertado o equivalente a 5 milhões de toneladas de energia. A potência emitida pelo Sol é de $3,9 \times 10^{26}$ W.

É no núcleo que ocorrem as reacções termonucleares responsáveis pela conversão do hidrogénio em hélio, e em energia, e que deixa a superfície como luz visível. Tem uma temperatura estimada em cerca de 15×10^6 K, possui uma pressão da ordem dos milhões de atmosferas e a sua densidade é de aproximadamente 150g/cm^3 . A temperatura, a pressão e a densidade não diminuem linearmente, do núcleo para a superfície.

A energia é libertada sob a forma de radiação gama de alta-frequência e através neutrinos que são detectados à superfície da Terra [20].

Calcula-se que a energia produzida no interior do Sol demora cerca de um milhão de anos a atingir a sua superfície, a fotosfera, passando primeiro pela Zona Radioactiva e depois pela Zona Convectiva – Figura 4.28.

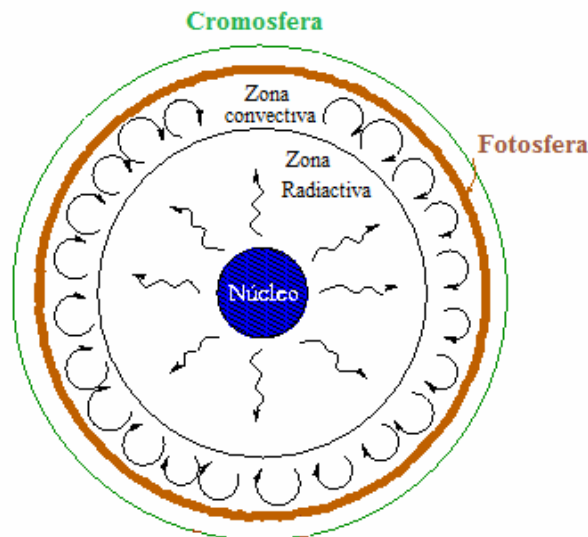


Figura 4.28 - Mecanismo de transporte de energia [22].

A Zona Radioactiva é a zona que envolve o núcleo, dentro da qual a energia é transmitida por emissão de radiação. A energia gerada no núcleo é libertada na sua maior parte na forma de raios- γ e raios-X que fluem através do gás, à medida que este se torna menos denso. À medida que a densidade diminui a temperatura também desce até cerca de 2×10^6 K. Considerando que a trajectória é aleatória, um determinado fóton demora entre 10 000 a 100 000 anos a atravessar esta zona.

Na Zona Convectiva, a temperatura é elevada, o gás começa a efectuar movimentos ascendentes e descendentes (como um fluido em ebulição). Estes movimentos de convecção transportam a energia, em forma de calor, para a superfície onde o fluido se expande e arrefece ao elevar-se, e quando atinge a superfície a densidade é muito baixa e a temperatura é de cerca de 5 700 K.

4.2.2 A atmosfera solar

A atmosfera solar é formado fundamentalmente pela fotosfera, cromosfera, e coroa solar.

▪ Fotosfera

A fotosfera (do grego *phôtos*, luz), considerada a superfície do Sol, é uma camada fina de gás com uma espessura de cerca de 500 km, ao longo da qual diminuem, subitamente, a densidade e a luminosidade. É bastante opaca, apresenta uma densidade compreendida entre 10^{16} e 10^{17} partículas/cm³, a temperatura é cerca de 5 800 K e pressão de 0,1 atm. Desta camada provém quase a totalidade da energia que recebemos do Sol, principalmente em forma de luz visível.

Através de várias observações descobriu-se que a camada da fotosfera não é homogénea e o seu brilho não é uniforme. O Sol apresenta uma textura irregular definida por granulação, que está relacionada com as correntes de convecção - Figura 4.29.

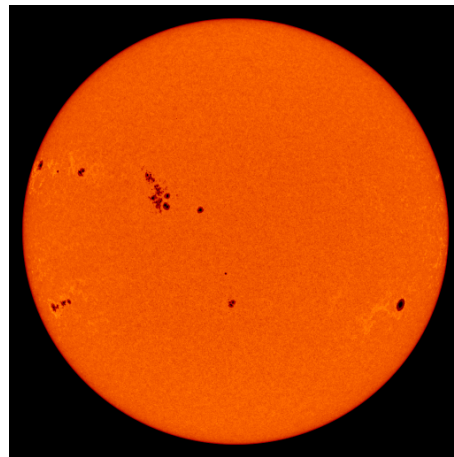


Figura 4.29 - Fotosfera solar, observada no dia 21 de Maio de 2000, pela experiência MDI a bordo da sonda espacial SOHO. A SOHO é uma missão conjunta da ESA e da NASA [23].

Para além da granulação podem ser observadas manchas escuras – manchas solares - que surgem e desaparecem por completo em períodos regulares de cerca de 11 anos, e

que estão relacionadas com o ciclo das actividades solar, proeminências, “*flares*” entre outros.

A granulação representa o mais pequeno movimento padrão, bem definido na superfície do Sol, apresenta uma estrutura poligonal, mais ou menos regular, formado por pequenas células brilhantes, que se designam por grânulos.

Os grânulos não excedem os 700 km de diâmetro, têm um tempo de vida médio de vários minutos e ficam separados por intervalos escuros - Figura 4.30. Estes grânulos formam-se devido ao movimento das correntes de convecção que atingem uma superfície do Sol, com velocidade de 0,4 km/s e deslocam-se horizontalmente com menor velocidade, arrefecem e descem novamente [20].

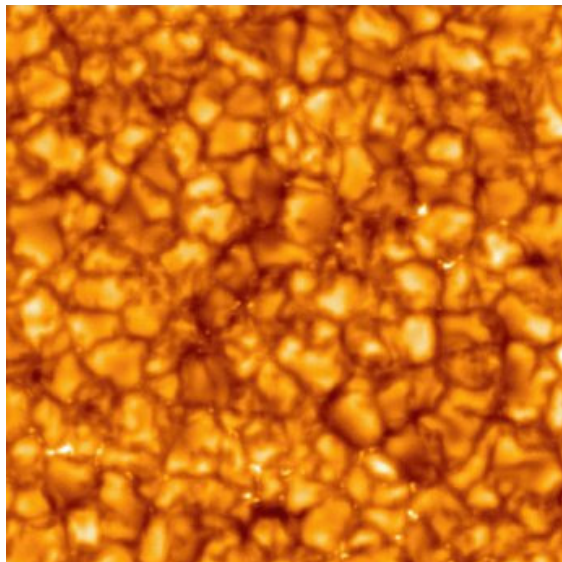


Figura 4.30- Granulação Solar [24].

Milhares de anos antes de Cristo, os chineses já observavam as manchas solares. Mas o seu estudo científico só começou com o uso do telescópio, sendo observadas (por projecção da imagem do Sol) desde Galileu, já em 1610.

As manchas solares normalmente estão associadas em grupos, pelo que é raro encontrar manchas isoladas. O número de manchas varia com o tempo, localizam-se, normalmente a 40° do Equador Solar e depende do nível da actividade solar – Figura 4.31 – O seu tamanho está relacionado com o estágio de evolução de cada uma. Uma mancha típica pode ter uma dimensão entre 40 000 km e 60 000 km. São constituídas por duas partes: a

umbra, que é a parte interna e mais escura, com temperaturas a rondar os 3 800 K, e a penumbra, que é parte externa e um pouco mais clara, onde são visíveis filamentos característicos (fibrilhas) que se devem ao movimento do gás entre o interior e o exterior da mancha – Figura 4.32.

A presença de manchas solares indica-nos a existência de campos magnéticos intensos na atmosfera solar. Uma vez que o campo magnético inibe o processo convectivo, o transporte de energia nas manchas é menor, e conseqüentemente as manchas são mais frias, emitindo menos radiação que a restante superfície solar. É devido ao contraste com a superfície solar mais brilhante que as manchas aparecem escuras.

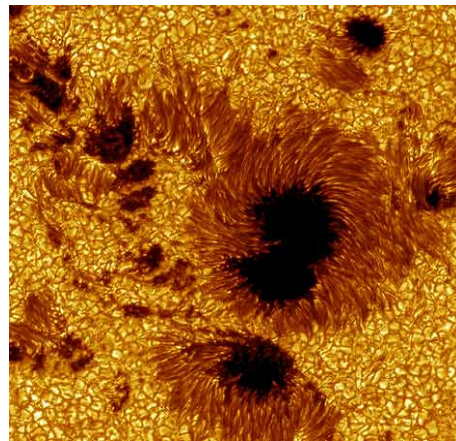


Figura 4.31 - Grupo de manchas solares [25].

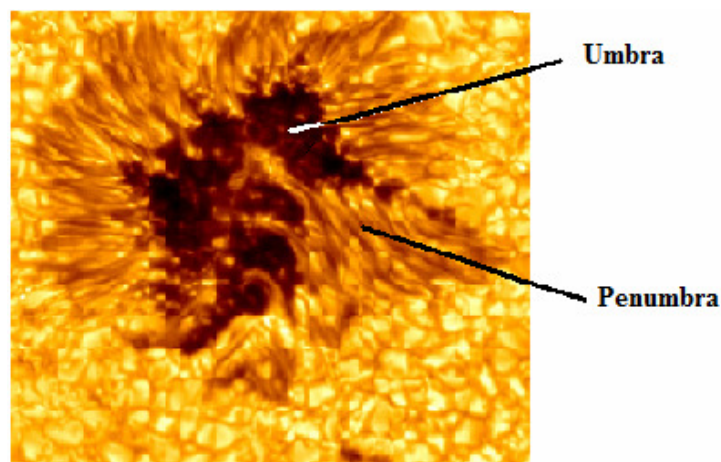


Figura 4.32 - Mancha Solar, onde se identifica a umbra e penumbra [26].

Se observamos uma fotografia do Sol em luz branca – Figura 4.33 – ele apresenta a forma de um disco circular, e o brilho é mais acentuado no centro do que no limbo. O escurecimento do limbo revela a diminuição da temperatura do interior para o exterior da fotosfera, o que significa que, as regiões superficiais da fotosfera são menos quentes do que as regiões profundas.

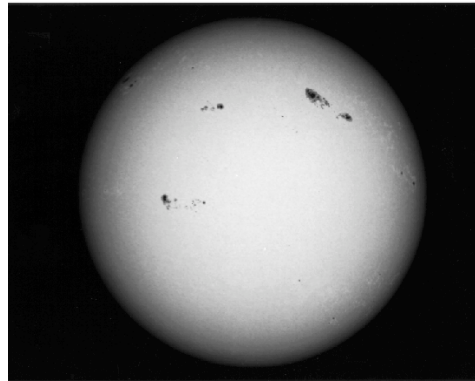


Figura 4.33 - Fotografia do Sol em luz branca [27].

Analisando o espectro da radiação do Sol, verifica-se que o espectro da fotosfera ultrapassa a zona do visível, tanto para a zona dos ultravioletas, até cerca de 200 nm, como para a zona dos infravermelhos, até cerca de 100×10^3 nm.

O espectro apresenta um fundo contínuo sobre o qual se encontram sobrepostas inúmeras faixas escuras chamadas faixas de Fraunhofer. Essas faixas correspondem aos comprimentos de onda dos fótons absorvidos pela matéria, no seu percurso pela atmosfera solar em direcção ao meio interestelar. Assim, as faixas espectrais constituem o indicador das condições físicas da matéria: cada uma delas tem por responsável um elemento particular do fluido solar e informa acerca da abundância deste elemento, determinando-se, assim, a composição química do meio. A largura e a forma do perfil vertical das faixas podem ser associados à temperatura, à pressão e aos movimentos turbulentos [28].

A temperatura efectiva, L , corresponde ao valor que esta toma na fotosfera, estando relacionada com o fluxo de energia, Φ , que é perdido pelo Sol na sua superfície, de acordo com:

$$L = 4 \pi R^2 \times \Phi \quad (4.1)$$

onde R representa o raio do Sol.

O espectro da radiação emitida é caracterizado por uma temperatura de cor, ou seja, apresenta uma curva com um máximo de emissão para um determinado valor de comprimento de onda, que corresponde ao valor típico desta temperatura na zona de emissão. Como uma estrela se comporta, em termos de emissão, como um corpo negro, esta temperatura é de facto similar à temperatura efectiva [28].

▪ Cromosfera

O nome da cromosfera (do grego *Khrôma*, cor) é baseado na sua cor avermelhada, devido principalmente ao hidrogénio ionizado.

A cromosfera tem aproximadamente 2 000 km de espessura, formada principalmente por hélio e hidrogénio, a variação da sua densidade é grande, na parte mais interna é cerca de 10^{12} partículas/cm³ e na parte mais externa é de 10^9 partículas/cm³. Esta camada estende-se até cerca de 10 000 km acima da fotosfera, e a sua temperatura aumenta do interior para o exterior, sendo em média de 15 000 K.

A cromosfera é visível, a olho nu, durante os eclipses totais do Sol, em forma de franja de cor que envolve o disco da Lua enquanto eclipsa o Sol – Figura 4.34. Também pode ser vista quando se observa o Sol com um filtro especial na luz vermelha conhecido como H-alfa, que corresponde à primeira linha da série de Balmer do átomo de Hidrogénio.

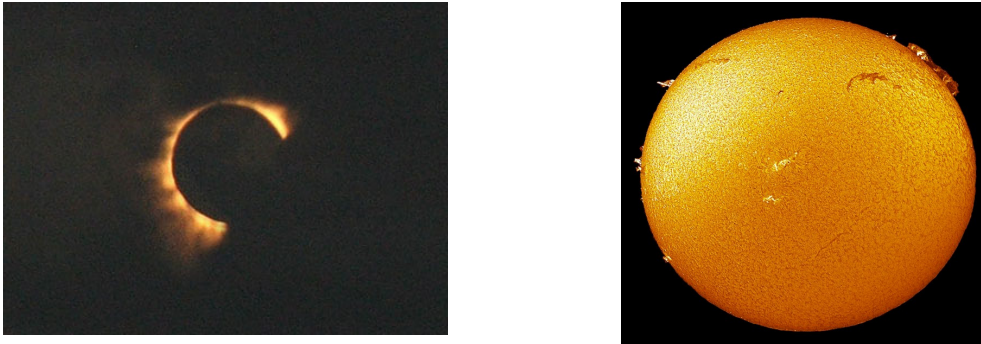


Figura 4.34 - A- Imagem do Sol num eclipse total [29]; B - Imagem do Sol com um filtro H-alfa [30].

A cromosfera através pode igualmente ser observada da análise espectral, Utilizado filtros de banda estreita (filtro de Lyot), ou um espectro-heliógrafo. O espectro da cromosfera aparece na forma de linhas brilhantes, que comprovam que esta camada é constituída por gases quentes que emitem luz, dando origem a riscas de emissão. Estas riscas tornam-se difíceis de observar devido à luz brilhante da fotosfera.

Uma das riscas mais brilhantes do espectro de emissão cromosférico é a linha de Balmer H-alfa, no comprimento de onda 656,3 nm, que no espectro solar normal aparece em absorção. Esta risca corresponde a transições electrónicas no átomo de hidrogénio, correspondentes à desexcitação do electrão do 3º para o 2º nível de energia, com a consequente libertação de radiação visível, mais precisamente de luz vermelha, daí a cor da cromosfera [28].

Quando se observa o Sol com o filtro H-alfa podem distinguir-se várias estruturas cromosféricas, como por exemplo, as proeminências, os filamentos e os espículos.

▪ Zona de Transição

Esta região é a zona que separa a cromosfera da coroa, e tem uma espessura de 2 500 km. A observação desta região é feita em linhas de emissão de UV (Ultra-Violeta). Aqui a temperatura sofre um grande aumento, passando de 30 000 K para 200 000 K, nos primeiros 30 km, nos restantes o acréscimo é mais lento, passando dos 200 000 K para 1 000 000 K- Figura 4.35.

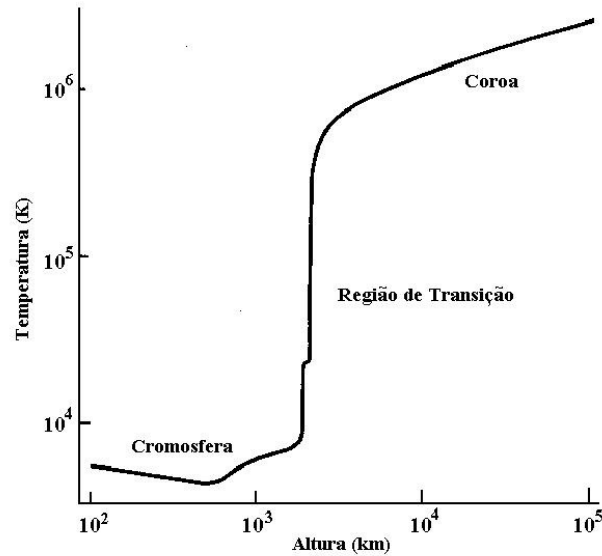


Figura 4.35 - Gráfico que relaciona a temperatura com a altitude [31].

Este aumento de temperatura está relacionado com a libertação de energia por parte de ondas acústicas ou outras relacionadas com o campo magnético do Sol [20].

▪ Coroa

A coroa (do grego *koróne*) é a camada mais externa, abrange praticamente todo o sistema solar. É visível durante os eclipses totais do Sol (quando a Lua tapa completamente a fotosfera e a cromosfera), apesar de ter um brilho equivalente ao da Lua Cheia, ela fica obscurecida quando a fotosfera fica visível – Figura 4.36.

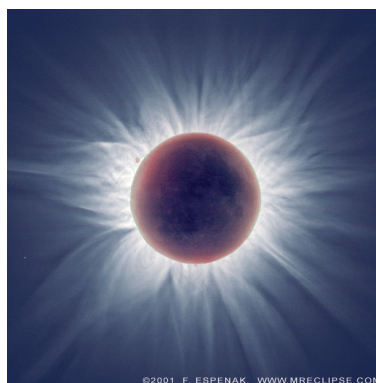


Figura 4.36 - Eclipse total [32].

A coroa tem uma densidade muito inferior à da comosfera, cerca de 10^8 partículas/cm³, e que diminui com a altitude. A sua temperatura média é de cerca de 2×10^6 K. A esta temperatura o gás encontra-se na forma de plasma produzindo assim electrões e iões que podem originar o vento solar. Como a temperatura é extremamente alta, a coroa emite grandes quantidades de Raios-X, por esta razão apenas é possível a sua observação com a ajuda de satélites, uma vez que a atmosfera terrestre absorve este tipo de radiação.

Na observação da coroa em raios-X, vêem-se duas regiões distintas, uma que corresponde aos buracos coronais, onde as linhas de campo são predominantemente abertas, e outra com zonas claras com número indeterminado de anéis ou arcos coronais (*loops*) e pontos brilhantes, que correspondem a zonas predominantemente fechadas e podem ter um diâmetro de 2 200 km.

Os buracos coronais apresentam com densidade mais baixa e uma temperatura ligeiramente menor. Os arcos podem ter até 700 000 km de comprimento e uma temperatura de 2 a 3×10^6 K e uma densidade de 7×10^8 partículas/cm³. As extremidades estão fixas nos pontos de campo magnético intenso, perto da orla das regiões activas. Os arcos tem uma duração de um dia, mas um conjunto de arcos pode resistir vários meses [20].

Os pontos brilhantes têm 2 200 km de diâmetro. Por dia são observados cerca de 1 500 pontos com uma duração de 8 horas sendo que alguns podem brilhar durante 2 dias.

Nesta camada observam-se regiões activas, locais onde a temperatura e a densidade são elevadas e possuem campos magnéticos elevados (*n* ordem das centenas de milhares de Gauss) distribuídos de forma de arcos com pontas – pólos magnéticos – situados na fotosfera [21].

Nas camadas activas ocorrem as explosões solares, “*flares*”, com maior frequência nos períodos de máxima actividade solar.

4.3. Campo magnético solar

A descoberta do campo magnético solar, em 1952, e as interações entre as linhas de campo vem explicar de algum modo a observação dos fenómenos da atmosfera.

O Sol apresentar um campo magnético forte, que é produzido pelo fluxo das partículas carregadas electricamente e presentes no plasma que o constitui. O campo magnético solar é bipolar com os pólos a coincidirem com os pólos heliográficos. No início de cada ciclo da actividade solar as linhas de campo têm a direcção dos meridianos, que atravessam o Sol desde o pólo Norte até ao pólo Sul, ou vice-versa, e são perpendiculares ao Equador Solar.

Pelo facto de no Sol existir rotação diferencial, as linhas de campo são arrastadas com velocidades diferentes, cujo valor depende da latitude, pelo gás ténue e ionizado (plasma) que se encontra preso às linhas de campo, e que é um bom condutor eléctrico, causando uma distorção na sua direcção e em direcção ao equador. À medida que se aproximam do equador, onde a velocidade de rotação é maior, as linhas de campo, a cada rotação, vão sendo mais arrastadas e distorcidas, até que a sua densidade se torne mais elevada e fiquem paralelas à linha equatorial solar – Figura 4. 37.

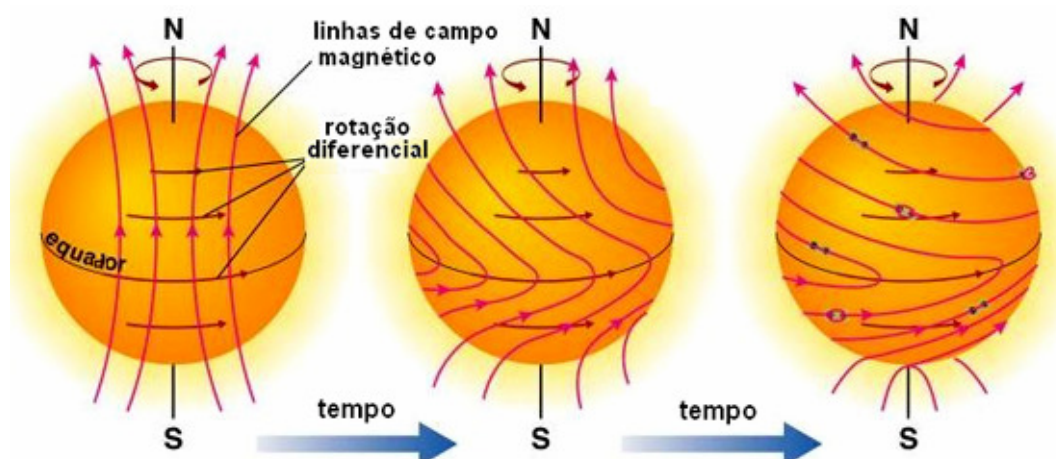


Figura 4.37 - Distorção das linhas de campo devido à rotação diferencial do Sol [33].

Nas regiões próximas de 40° de latitude vai ocorrer uma concentração de campo magnético dando origem à elevação das linhas de força que arrastam o plasma do Sol acima da superfície formando arcos que ligam pontos de polaridade oposta. Se o gás fluir através destas linhas de campo poderá observar-se uma proeminência. Os pontos de apoio dos arcos também podem ser a origem de um par de manchas – Figura 4.38 – [20].

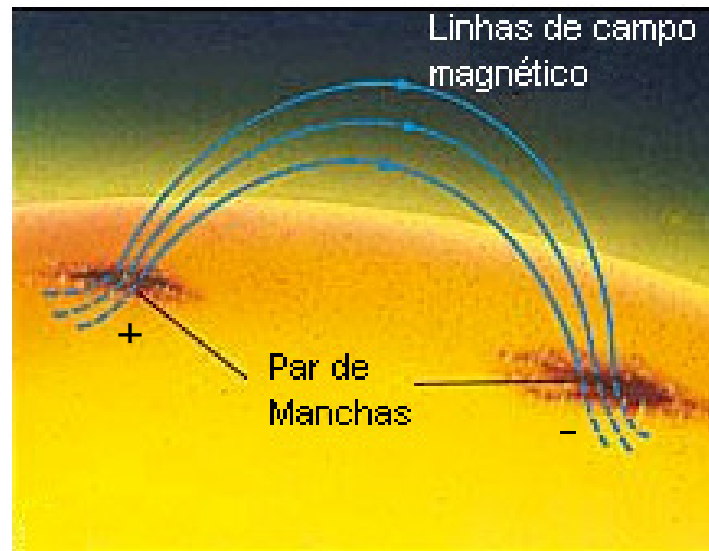


Figura 4.38 - Aparecimento das manchas solares [27].

À medida que o ciclo vai avançando no tempo as linhas de campo vão torcendo cada vez mais dando origem a mais manchas que se aproximam do equador [d]. Decorridos 11 anos, inicia-se um novo ciclo solar com as linhas de campo a fazerem o mesmo tipo de movimento, em sentido contrário ao do ciclo solar anterior. Ao iniciar-se outro ciclo de actividade as linhas de campo inverterão novamente o seu sentido, desta forma repetindo o mesmo sentido do penúltimo ciclo. É por este motivo que o período do ciclo magnético solar é de cerca de 22 anos, correspondendo ao intervalo de tempo de 2 ciclos de actividade solar.

Mas na maioria dos casos a geometria da configuração do campo magnético nas regiões activas é extremamente complexa, envolvendo a interacção de vários arcos de tamanhos e dinâmica distintos – Figura 4.39. Esta complexidade propicia condições de

instabilidade que origina a libertação de energia armazenada no campo magnético, originando os “*flares*”.

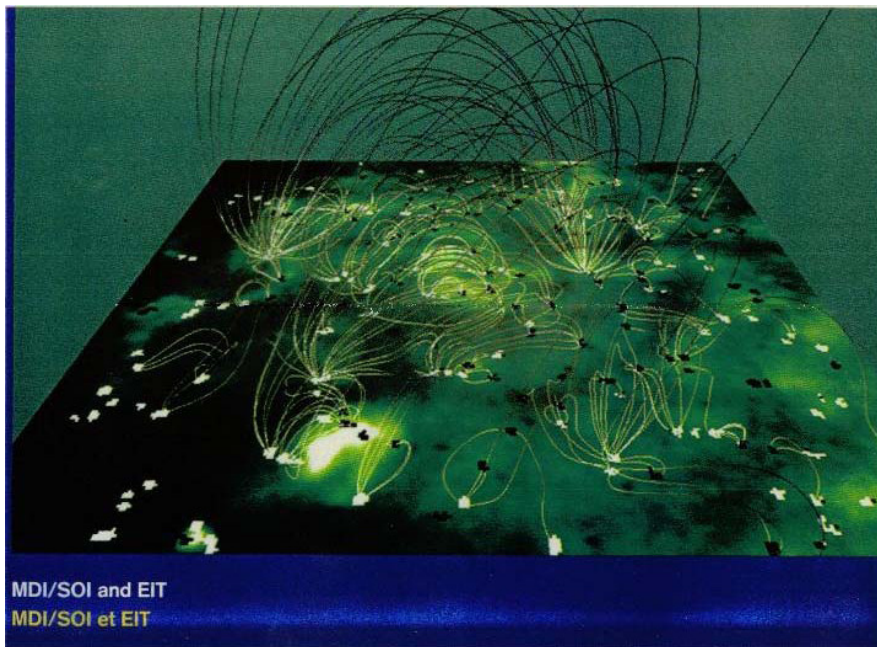


Figura 4.39- Configuração do campo magnético de uma região activa solar em estágio evoluído [21].

Na tentativa de explicar o modo como o campo magnético solar é gerado e como evolui, surge também a teoria do íman. Esta teoria refere que o campo magnético é produzido por um “dínamo” magnético no interior do Sol, surgindo do movimento de correntes eléctricas oriundas das partículas ionizadas que constituem o plasma solar.

O número de manchas e de outras manifestações da actividade solar relacionadas com elas, varia ao longo deste período. O intervalo de tempo durante o qual se verifica o número máximo de centros de actividade tem o nome de máximo da actividade solar, enquanto que o intervalo de tempo durante o qual deixam de existir estes centros de actividade ou o seu número é mínimo, chama-se mínimo da actividade solar. Assim, os máximos e os mínimos alteram-se ao fim de um período médio de onze anos. A variação da polaridade magnética das manchas constitui uma característica muito importante do

ciclo da actividade solar. Durante cada ciclo de onze anos todas as manchas anteriores dos grupos bipolares têm a polaridade de um dado sinal no Hemisfério Norte e a de sinal oposto no Hemisfério Sul. O mesmo se verifica no caso das manchas posteriores, cuja polaridade é sempre oposta à das manchas anteriores. Em cada ciclo inverte-se a polaridade das manchas anteriores e posteriores. Simultaneamente, verifica-se também a inversão da polaridade do campo magnético do Sol.

Em 11 de Fevereiro de 2010 foi lançado, pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), o Observatório Dinâmico Solar (SDO- *Solar Dynamic Observatory*) para uma missão de cinco anos, durante os quais irá analisar o campo magnético do Sol e proporcionar uma melhor compreensão sobre o papel do Sol na atmosfera terrestre e no clima.

4.4. Actividade solar

A descoberta do campo magnético solar e a correlação feita entre o movimento do plasma e as interacções entre as linhas de campo magnético, que são distorcidas devido a esses movimentos, vem explicar os fenómenos que ocorrem na atmosfera solar, tais como manchas solares, proeminências e “*flares*”.

O aspecto mais relevante da actividade solar é o ciclo de 11 anos. Neste período o número de manchas solares cresce, atinge um máximo e decrescendo em seguida [20].

No início de cada ciclo as manchas são pequenas e surgem em latitudes mais elevadas e em número reduzido, à medida que o ciclo evolui em direcção ao máximo da actividade, as manchas vão-se formando mais próximo ao equador e aumentam em tamanho. Posteriormente vão decrescendo à medida que o ciclo chega ao fim - Figura 4.40 .

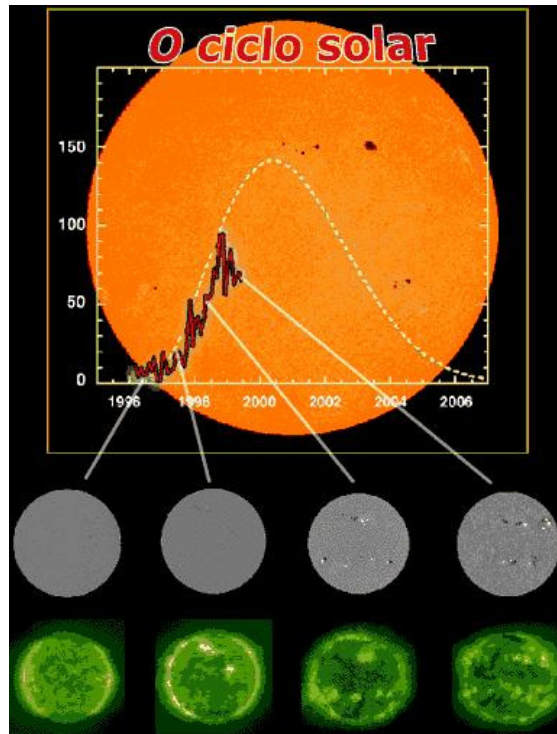


Figura 4.40 - Ciclo Solar [34].

Actualmente estamos no ciclo solar 24, cujo máximo vai ocorrer em 2012, prevendo-se que seja um dos ciclos mais intensos registrados desde que se começou a observar o Sol há 400 anos – Figura 4.41.

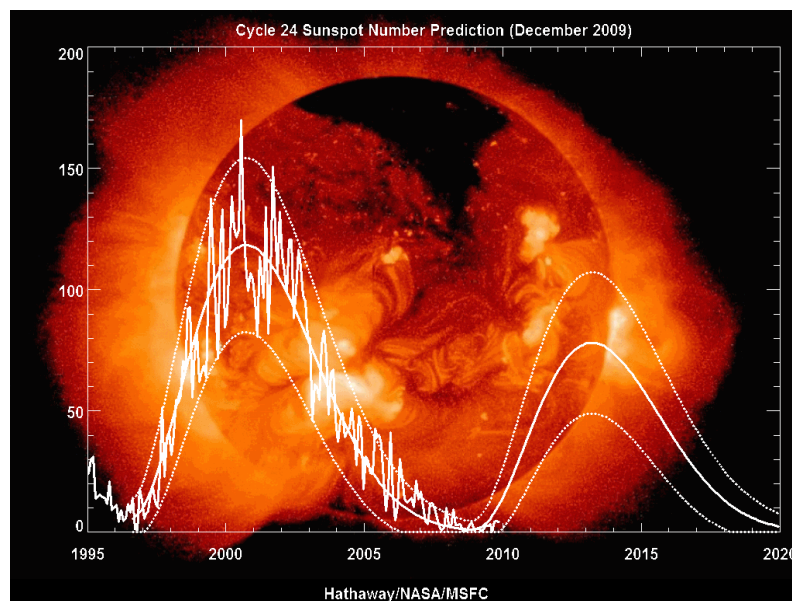


Figura 4.41 - Ciclo Solar (registos solares desde 1995) [35].

Durante o máximo de um ciclo solar também aumenta a ocorrência de fenómenos energéticos (explosões ou “*flares*”) que ocorrem nas regiões mais activas associadas às manchas solares.

A explosão solar está associada à ejeção da massa coronal e à ocorrência de tempestades magnéticas na Terra [20].

4.4.1. Protuberâncias ou Proeminências Solares

As protuberâncias solares são estruturas que pertencem à cromosfera devido ao seu estado de ionização e temperatura. Estas estruturas são formações activas que se observam na coroa solar e são constituídas por nuvens, mais densas e frias, de gás luminoso suportadas pelo campo magnético local. São observadas através das linhas de emissão do hidrogénio neutro. Utilizando comprimentos de onda em H- α podem ser observadas no disco como linhas escuras, finas e sinuosas [20].

As protuberâncias, consoante o seu tempo de vida, podem ser classificadas em activas (podem ter a duração de minutos ou horas) e em estáveis (podem durar até alguns meses). As protuberâncias activas formam-se numa região activa, situada ao longo de uma linha de inversão magnética, entre duas regiões de polaridade opostas – Figura 4.42. Quando a região se dispersa, a protuberância torna-se mais densa e estável, pode desenvolver durante meses, alongando-se e migrando lentamente para o pólo mais próximo [20].

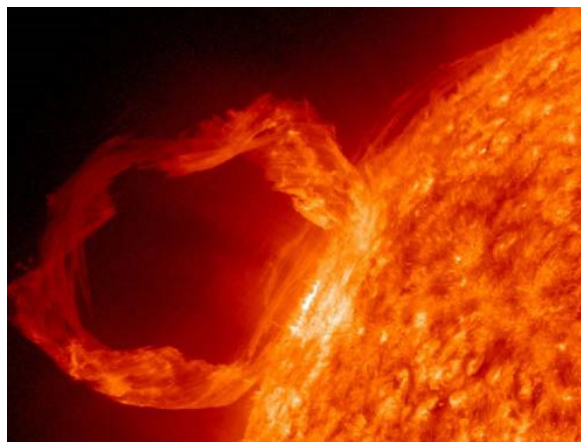


Figura 4.42 - Protuberâncias nos Sol [36].

As protuberâncias estáveis apresentam uma densidade média de cerca de 10^{17} partículas/metro cúbico, um campo magnético que varia entre 5 a 10 G e um temperatura de 7 000 K. Uma proeminência tem uma dimensão media de 200 000 km de comprimento, 5 000 km de altura e 6 000 km de espessura, estes valores variam ao longo da estrutura da proeminência. As proeminências que se situam em regiões de baixa latitude têm um tempo de vida inferior às que estão localizadas perto dos pólos [20].

As protuberâncias activas apresentam movimentos violentos com uma duração de minutos até algumas horas. Apesar de terem uma dimensão inferior às protuberâncias estáveis a sua temperatura é muito elevada. Podem apresentar diversas formas consoante o tipo de linhas de campo, cuja intensidade varia de 100 a 200 G. Estas ocorrem em zonas situadas a 10° de latitude das manchas solares que se movimentam em direcção ao equador durante o ciclo solar e também em zonas com latitudes por volta de 70° dispondo-se quase paralelamente à linha do equador. Estas zonas formam-se 3 anos após o máximo das manchas solares e migram para os pólos e acompanham a inversão da polaridade do campo magnético global do Sol [20].

4.4.2. “Flares” ou Explosões solares

As explosões solares foram observadas pela primeira vez, em Setembro de 1859, por R.C. Carrington e R.Hodson, enquanto observavam manchas solares.

Os *flares* são fenómenos explosivos, podem ser definidos como um clarão quando observados em H- α , que surgem próximo das manchas solares, podem ter uma duração de alguns minutos a algumas horas e libertam grandes quantidades de energia - Figura 4.45. Estes fenómenos ocorrem devido à energia armazenada que é libertada de forma abrupta nos campos magnéticos por intervalos de tempo relativamente curtos. Esta energia é emitida em forma de radiação que se distribui por grande parte do espectro electromagnético, desde as ondas de rádio, a raios-X e raios- γ . Também são expelidas partículas carregadas, apesar de a maioria ser desviada pelo campo magnético terrestre, algumas chegam à Terra.

Uma explosão solar produz uma quantidade de energia equivalente a cerca de 40 biliões de vezes a energia da bomba atómica lançada em Hiroxima [21].

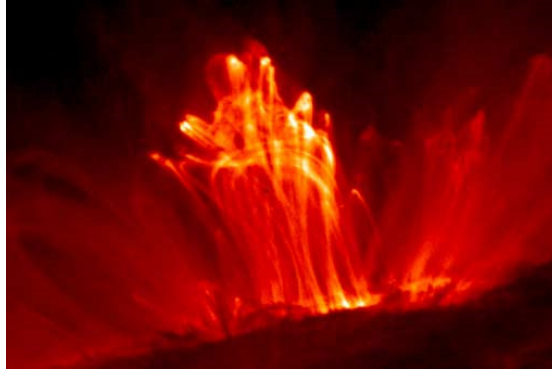


Figura 4.43 - Explosão solar [37].

As explosões solares – Figura 4.43 – podem estar associados à explosão de grandes quantidades de matéria, este fenómeno designa-se de ejeção da massa coronal, e é a ocorrência de tempestades magnéticas na Terra, que se foram muito intensas podem causar grandes perturbações na magnetosfera terrestre, podendo causar até um apagão.

Uma explosão solar pode apresentar 3 fases distintas: A fase precursora, onde a libertação de energia é activada, por emissão de raios-X moles. A fase impulsiva, acima de 1 MeV, em que as partículas (electrões e protões) ficam mais energéticas e, finalmente, a fase de decaimento, na qual se verifica uma diminuição gradual da energia.

No dia 14 de Julho de 2000 registou-se uma impressionante erupção solar. Esta erupção foi responsável, dias mais tarde, pelas auroras boreais registadas na Terra, que foram visíveis no estado do Texas, nos Estados Unidos da América, e pelo mal funcionamento temporário de alguns satélites que se encontravam em órbita. Associado ao ciclo solar, parece haver também um ciclo de *flares* solares, assim, durante o período de máximo solar as explosões que libertam material em direcção à Terra parecem acontecer em períodos de 27 dias [38].

A 5 de Fevereiro de 2002 a NASA lançou o HESSI (High Energy Solar Spectroscopic Imager). O objectivo deste novo observatório é identificar quais são as partículas aceleradas por estas explosões e localizar as regiões, onde se dá esta aceleração e o momento em que esta ocorre, com o intuito de melhorar a capacidade de previsão da ocorrência de *flares* solares [38].

4.4.3. Ejecção de massa coronal – CME (Coronal mass ejected)

As massas coronais são grandes quantidades de matéria que são expulsas durante varias horas - Figura 4.44 - em forma de energia a partir do núcleo e chega a fotosfera por convecção, onde é libertada em forma de luz, calor e outros tipos de energia electromagnética em diversos comprimentos de onda. Estas quantidades de massas expandem-se pelo espaço a velocidades de várias centenas a poucos milhares de km/s.

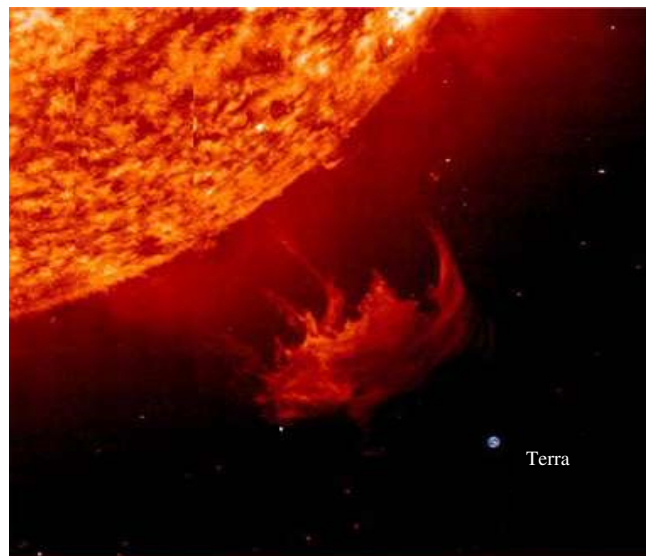


Figura 4.44 - Ejecção de massa coronal [39].

As erupções podem ser causadas por mudanças bruscas no campo magnético do Sol. A frequência dos CME varia com o ciclo da actividade solar. Nos períodos de maior actividade, as explosões solares ejectam grandes quantidades de plasma, que podem atingir até três vezes o tamanho da Terra. Durante este período pode-se observar 2 a 3 eventos por dia.

Os CME podem interagir no fluxo do vento solar provocando as tempestades geomagnéticas.

4.5. Vento Solar

A coroa solar, devido à sua elevada temperatura e à pressão da radiação, liberta continuamente partículas electricamente carregadas (electrões, prótons ou partículas carregadas de átomos mais pesados), em forma de plasma com velocidade de cerca de 600 km/s e propaga-se pelo meio interplanetário. A velocidade do vento solar, em regiões próximas da Terra, varia entre os 400 e os 800 km/s e a sua densidade ronda as 10 partículas/cm³ – Figura 4.45.

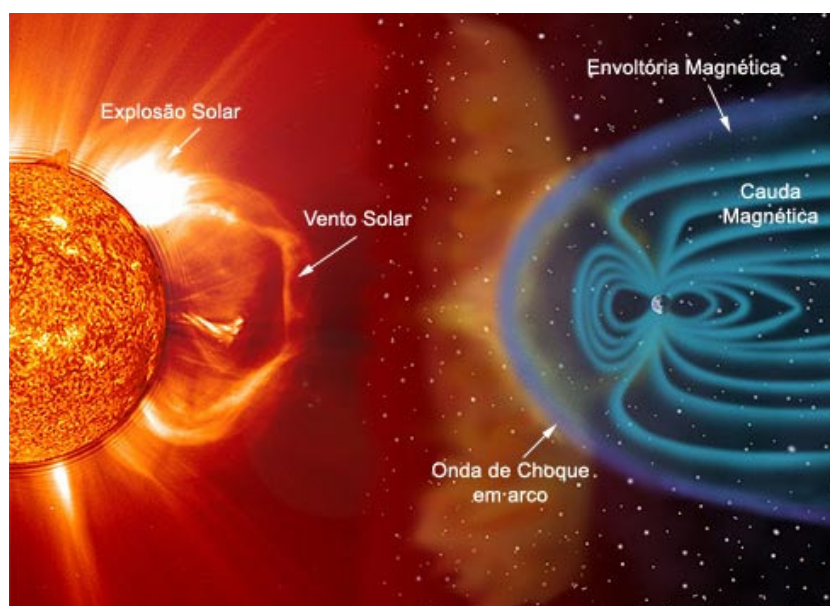


Figura 4.45 - Vento Solar [40].

A intensidade do vento solar, assim como a sua polaridade, velocidade e composição química podem variar devido ao campo magnético não ser regular. A interação entre o plasma e o campo magnético na coroa solar determina o tipo de fenómeno que pode ocorrer. Quando as linhas de campo provenientes das regiões polares do Sol se abrem, formam o chamado buraco coronal de onde saem e se expandem, para o espaço interplanetário, as correntes de plasma que dão origem ao vento solar [20].

Nas zonas de buracos coronais o vento é mais rápido uma vez que as partículas se deslocam com facilidade ao longo das linhas de campo abertas, e o fluxo é mais

uniforme. Os fluxos de alta velocidade giram com o Sol num período equatorial de aproximadamente 27 dias.

Nas zonas onde as linhas de campo estão mais fechadas, há interação entre os fluxos de diferentes velocidades produzindo efeitos de compressão e ondas de choque para além de dificultarem a emissão de partículas ionizadas podem estar na origem do vento lento, devido ao plasma ficar aprisionado nas linhas de campo [20].

Os anéis do campo magnético, que se encontram abaixo das correntes coronais, podem expandir ou ser ejetados explosivamente para o espaço interplanetário, produzindo uma enorme nuvem de plasma - ECM, que pode alcançar a Terra em 1 ou 2 dias.

As partículas emitidas pelo Sol interagem com os gases de alta atmosfera, nas proximidades das regiões polares da magnetosfera terrestre, ionizam os átomos desses gases. Os iões e os electrões dos átomos ionizados recombina-se para formar um átomo neutro, emitindo uma radiação característica desse átomo que está a ser recombinado [20].

Uma vez que a atmosfera terrestre composta por vários gases e a energia das partículas incidentes não é fixa pode-se observar, a olho nu, luz de várias cores e padrões diferentes, a que se dá o nome de auroras. Este fenómeno ocorre a altas latitudes terrestres, se for no hemisfério norte é a aurora boreal – Figura 4.46 – se for no hemisfério Sul é a aurora austral.



Figura 4.46 – A- Auroras Boreais [41]; B - Auroras Austrais [42].

As auroras podem aparecer de diversas formas e cores diferentes, podem ser verdes, vermelhas, azuis ou uma combinação de cores – Figura 4.47. A cor depende da concentração do oxigénio e do azoto, na atmosfera, que muda em função da altitude. Os iões de azoto irradiam uma luz vermelha, azul e violeta. Nos lugares onde existem iguais quantidades de azoto e oxigénio, a cor predominante é a verde. Se a altitude for inferior a 120 km as auroras são azuis e violetas, entre 120 km e 180 km são verdes e acima dos 180 km são vermelhas. Após o máximo do ciclo solar, a cor vermelha pode aparecer a altitudes que variam de 90 a 100 km [43].



Figura 4.47 - Formas das auroras [44].

Actualmente, com base em observações feitas a partir do satélite IMAGE (Imager for Magnetopause to Aurora Global Exploration) que está em órbita polar, os cientistas já conseguem ter uma visão ampla do campo magnético global e das tempestades magnéticas da Terra [45].

Conclusão

A Astronomia é útil para o desenvolvimento da perspectiva do ser humano, relativamente à sua existência e à sua relação com o cosmos, fornecendo aos adolescentes uma boa formação pessoal sobre a nossa história evolutiva, pois desafia a capacidade individual para a compreensão da vastidão das grandezas no Universo.

Uma vez que o campo da Astronomia não é fácil de ser abordado, em sala de aula, desenvolveu-se, com o programa PowerPoint, o jogo "Quem quer ser Cientista", um CD Didático: "Conceitos básicos sobre Astronomia" e elaborou-se um jogo de tabuleiro "Viagem pelo Universo" que podem ser trabalhados com os alunos do 3º Ciclo do Ensino Básico e do Secundário e que pretendem facilitar, e potenciar, o processo de aprendizagem.

A elaboração deste trabalho, para além do aprofundamento de alguns conceitos de astronomia, permitiu criar uma nova forma de apresentação de conteúdos. A utilização das TIC em sala de aula é útil e fundamental, pois permite, não só, revelar conceitos de Física de forma mais motivante, mas também, estabelecer outra dinâmica entre o professor e os alunos.

Elaborando aulas de forma mais interactiva consegue-se que os alunos participem mais activamente nas mesmas, ao contrário do que acontece quando se procede apenas à habitual exposição de conteúdos. Este tipo de abordagem permite que os alunos procurem os seus pontos de interesse e desenvolvam os seus próprios métodos de estudo e pesquisa.

Os jogos criados deverão servir como ponto de partida para, de uma forma simples, mas rigorosa, se estudarem alguns conceitos e princípios sobre o Universo e chamar à atenção para a descoberta de relações entre diferentes fenómenos observados, com a intenção de esclarecer dúvidas e ainda servir de meio de desestruturação de concepções alternativas que os alunos possam ter.

Tendo em conta, não apenas, a faixa etária, mas também o nível de escolaridade dos alunos a quem este trabalho se destina, foi feita uma análise mais qualitativa do que quantitativa e, por este motivo, os cálculos matemáticos complexos que servem de base ao tema, não foram aqui contemplados.

Referências Bibliográficas

- [1] Simões, T. S., Queirós, M. A., Simões, M. O., *Química em contexto*, 2007, Porto Editora
- [2] <http://uniterra.no.sapo.pt/images/atmosfera.jpg> [Citação: Fevereiro de 2010]
- [3] <http://www.iped.com.br/sie/uploads/18934.jpg> [Citação: Fevereiro de 2010]
- [4] Alonso, M., & Finn, E. J., *Física*, 1992, Ddison Weley Logman
- [5] Ferreira, M., & de Almeida, G., *Introdução à Astronomia e às Observações Astronómicas*, 7ª Edição, Plátano Editora.
- [6] <http://www.if.ufrgs.br/~thaisa/fis2003/darkenergy/images/coneexpand.jpg> [Citação: Fevereiro de 2010]
- [7] <http://www.astro.iag.usp.br/~ronaldo/intrcosm/Notas/ExpansUniv.pdf> [Citação: Fevereiro de 2010]
- [8] <http://pt.wikipedia.org/wiki/Arco-%C3%ADris> [Citação: Fevereiro de 2010]
- [9] http://www.siteselinks.com.br/solarspectrum_noao.jpg [Citação: Fevereiro de 2010]
- [10] http://www.andor.com/image_lib/lores/introduction/introduction%20%28light%29/intlight%201%20small.jpg [Citação: Fevereiro de 2010]
- [11] www.handsonuniverse.org/hs/.../WiensLawWISEtempMeas.doc [Citação: Fevereiro de 2010]
- [12] Paiva, J., Ferreira, A. J., Ventura, G, Fiolhais, M., Fiolhais, C., *10 Q - Física e Química A*, 1ª Edição, Texto Editores
- [13] *Gazeta de Física*, volume 32 – n.º 2/3,2009, Sociedade Portuguesa de Física
- [14] http://docs.kde.org/stable/pt_BR/kdeedu/kstars/ai-colorandtemp.html [Citação: Março de 2010]
- [15] *Manual de Apoio ao Estudante*, Astronomia 11, Ediciones Credimar, S.L. 2006
- [16] http://3.bp.blogspot.com/_m5Bv_OGYCMM/SQGCLHAzIFI/AAAAAAAAApE/K6GchqYpmI/s400/hrgenericmml.jpg [Citação: Fevereiro de 2010]
- [17] <http://www.resumos.net/files/formacaoelementosquimicos.PDF> [Citação: Fevereiro de 2010]
- [18] Damásio, Felipe, Pacheco, Sabrina M.Villela , *Física na Escola*, volume 10, n.º 1, 2009, Sociedade Brasileira de Física
- [19] http://www.imagick.org.br/zbolemail/Bo07x11/buraco_negro%5B1%5D.gif [Citação: Fevereiro de 2010]

- [20] http://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/10010/3/3225_TM_01_P.pdf
[Citação: 10-05-2010]
- [21] <http://150.163.34.243/col/sid.inpe.br/jeferson/2003/08.14.14.51/doc/capitulo4.pdf>
[Citação: 10-05-2010]
- [22] http://1.bp.blogspot.com/_sLjuDPITvUo/S7TPLsRsnYI/AAAAAAAAAQ/IS_LUs_Bie8/s1600/SolEstruturaInternaMEU.jpg [Citação: 10-05-2010]
- [23] http://www.oal.ul.pt/oobservatorio/vol8/n6/vol8n6_4.html [Citação: 05-06-2010]
- [24] www.iped.com.br/sie/uploads/10601.jpg [Citação: 02-07-2010]
- [25] <http://portalhispano.files.wordpress.com/2008/11/solar1.jpg> [Citação: 22-05-2010]
- [26] <http://www.horaultima.decoelum.net/images/granulaciones.png> [Citação: 22-05-2010]
- [27] <http://www.prof2000.pt> [Citação: 22-05-2010]
- [28c] http://www.prof2000.pt/users/angelof/af16/ts_sol/estrutura_interna_transporte_energia.htm [Citação: 22-05-2010]
- [29] <http://helderदारocha.com.br/blog/total.jpg> [Citação: 12-07-2010]
- [30] <http://www.coronadofilters.com/QuickGal/SolarMax90/041705.jpg> [Citação: 22-05-2010]
- [31] <http://www.colegioweb.com.br/geografia/cromosfera> [Citação: 22-05-2010]
- [32] <http://stereo.gsfc.nasa.gov/classroom/eclipse.shtml> [Citação: 22-07-2010]
- [33] http://www.prof2000.pt/users/angelof/af16/ts_sol/bigsol94_95.htm [Citação: 12-07-2010]
- [34] http://www.oarquivo.com.br/portal/images/stories/geral5/ciclo_solar.jpg [Citação: 12-07-2010]
- [35] <http://blog.sarmiento.eng.br/2009/12/13/> [Citação: 12-07-2010]
- [36] (<http://info.abril.com.br/noticias/ciencia/nasa-fotografa-proeminencias-no-sol-28042010-9.shl>) [Citação: 12-07-2010]
- [37] <http://www.m-information.html> [Citação: 12-07-2010]
- [38] [http://www.infopedia.pt/\\$flares](http://www.infopedia.pt/$flares) [Citação: 12-07-2010]
- [39] <http://www.tldm.org/News3/aurora.htm> [Citação: 12-07-2010]
- [40] http://www.apolo11.com/imagens/etc/magnetosfera_esquema.jpg [Citação: 12-07-2010]
- [41] <http://www.deltateta.com.br/wpcontent/uploads/2010/04/auroraNoruega1.jpg>
[Citação: 22-07-2010]

[42] <http://www.deltateta.com.br/wp-content/uploads/2010/04/aurora11.jpg> [Citação:22-07-2010]

[43] <http://ciencia.hsw.uol.com.br/auroras1.htm> [Citação: 22-07-2010]

[44] <http://minilua.com/conheca-tipos-formas-das-auroras-boreais/> [Citação: 22-07-2010]

[45] <http://sites.google.com/site/massacoronalejetada/home> [Citação: 22-07-2010]

Anexos I

Jogo: “Quem quer ser Cientista”

CD Didático: “Conceitos Básicos sobre Astronomia”

Anexo II

Jogo: “Viagem pelo Universo

Regras do Jogo “Viagem pelo Universo”

- Seleccionar o número de jogadores.
- Lançar o dado e responder às perguntas.
- Se a resposta estiver errada, volta à casa de onde saiu.
- Se cair nas casas:
 - **5, 9, 17, 21, 37 e 41** , e der a resposta certa, tem direito a jogar outra vez, caso contrario fica sem jogar uma vez.
 - **14** volta ao início do jogo.
 - **25 e 29** recua 2 casas.
 - **33** avança 3 casas.

Viagem pelo Universo

O UNIVERSO É....

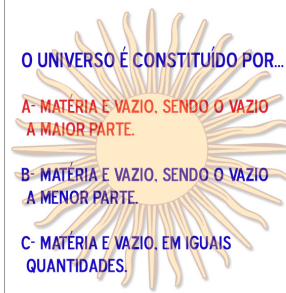
- A- COMPLETAMENTE DESCONHECIDO.
- B- TOTALMENTE CONHECIDO.
- C- POSSÍVEL DE SER ESTUDADO.



Viagem pelo Universo

O UNIVERSO É CONSTITUÍDO POR...

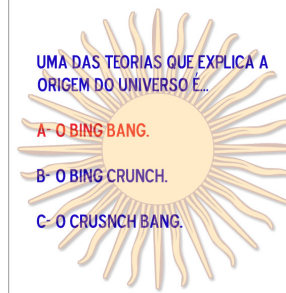
- A- MATÉRIA E VAZIO. SENDO O VAZIO A MAIOR PARTE.
- B- MATÉRIA E VAZIO. SENDO O VAZIO A MENOR PARTE.
- C- MATÉRIA E VAZIO. EM IGUAIS QUANTIDADES.



Viagem pelo Universo

UMA DAS TEORIAS QUE EXPLICA A ORIGEM DO UNIVERSO É...

- A- O BING BANG.
- B- O BING CRUNCH.
- C- O CRUSNCH BANG.



Viagem pelo Universo

HÁ QUANTO TEMPO SE DEU O BIG BANG?

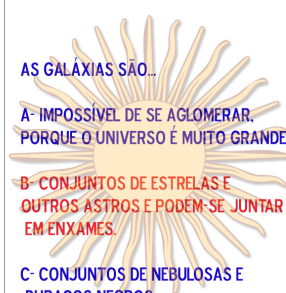
- A- 15 000 ANOS.
- B- 150 000 ANOS.
- C- 15 000 000 000 ANOS.



Viagem pelo Universo

AS GALÁXIAS SÃO...

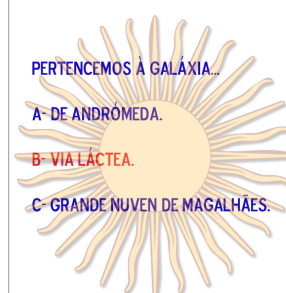
- A- IMPOSSÍVEL DE SE AGLOMERAR. PORQUE O UNIVERSO É MUITO GRANDE.
- B- CONJUNTOS DE ESTRELAS E OUTROS ASTROS E PODÊM-SE JUNTAR EM ENXAMES.
- C- CONJUNTOS DE NEBULOSAS E BURACOS NEGROS.



Viagem pelo Universo

PERTENCEMOS À GALÁXIA...

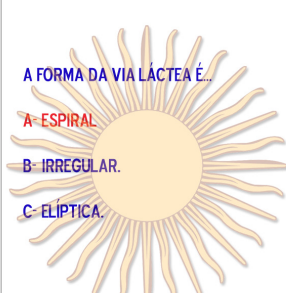
- A- DE ANDRÔMEDA.
- B- VIA LÁCTEA.
- C- GRANDE NUVEN DE MAGALHÃES.



Viagem pelo Universo

A FORMA DA VIA LÁCTEA É...

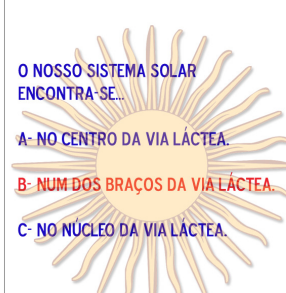
- A- ESPIRAL.
- B- IRREGULAR.
- C- ELÍPTICA.



Viagem pelo Universo

O NOSSO SISTEMA SOLAR ENCONTRA-SE...

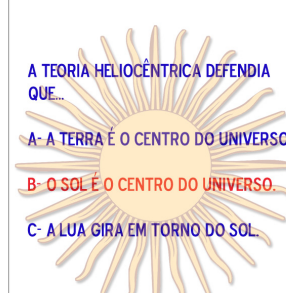
- A- NO CENTRO DA VIA LÁCTEA.
- B- NUM DOS BRAÇOS DA VIA LÁCTEA.
- C- NO NÚCLEO DA VIA LÁCTEA.



Viagem pelo Universo

A TEORIA HELIOCÊNTRICA DEFENDIA QUE...

- A- A TERRA É O CENTRO DO UNIVERSO.
- B- O SOL É O CENTRO DO UNIVERSO.
- C- A LUA GIRA EM TORNO DO SOL.



Viagem pelo Universo

NO UNIVERSO EXISTE...

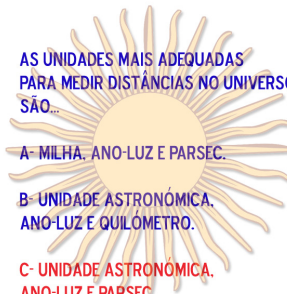
- A- UM SÓ SISTEMA PLANETÁRIO.
- B- DOIS SISTEMAS PLANETÁRIOS.
- C- MUITOS SISTEMAS PLANETÁRIOS.



Viagem pelo Universo

AS UNIDADES MAIS ADEQUADAS PARA MEDIR DISTÂNCIAS NO UNIVERSO SÃO...

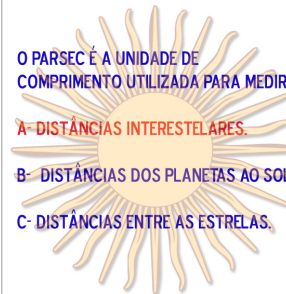
- A- MILHA, ANO-LUZ E PARSEC.
- B- UNIDADE ASTRONÓMICA, ANO-LUZ E QUILOMETRO.
- C- UNIDADE ASTRONÓMICA, ANO-LUZ E PARSEC.



Viagem pelo Universo

O PARSEC É A UNIDADE DE COMPRIMENTO UTILIZADA PARA MEDIR...

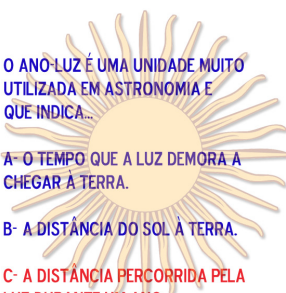
- A- DISTÂNCIAS INTERSTELARES.
- B- DISTÂNCIAS DOS PLANETAS AO SOL.
- C- DISTÂNCIAS ENTRE AS ESTRELAS.



Viagem pelo Universo

O ANO-LUZ É UMA UNIDADE MUITO UTILIZADA EM ASTRONOMIA E QUE INDICA...

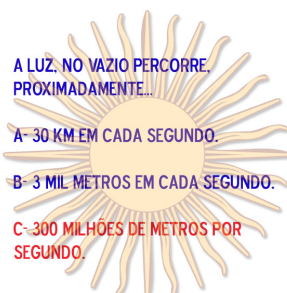
- A- O TEMPO QUE A LUZ DEMORA A CHEGAR À TERRA.
- B- A DISTÂNCIA DO SOL À TERRA.
- C- A DISTÂNCIA PERCORRIDA PELA LUZ DURANTE UM ANO.



Viagem pelo Universo

A LUZ, NO VAZIO PERCORRE, PROXIMAMENTE...

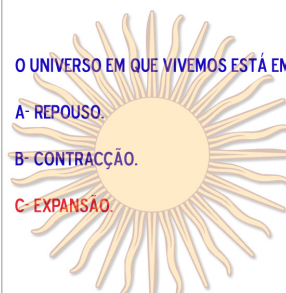
- A- 30 KM EM CADA SEGUNDO.
- B- 3 MIL METROS EM CADA SEGUNDO.
- C- 300 MILHÕES DE METROS POR SEGUNDO.



Viagem pelo Universo

O UNIVERSO EM QUE VIVEMOS ESTÁ EM...

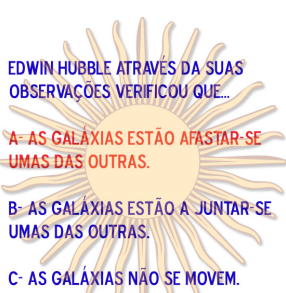
- A- REPOUSO.
- B- CONTRACÇÃO.
- C- EXPANSÃO.



Viagem pelo Universo

EDWIN HUBBLE ATRAVÉS DA SUAS OBSERVAÇÕES VERIFICOU QUE...

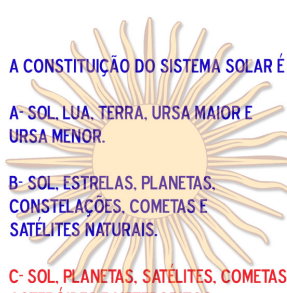
- A- AS GALÁXIAS ESTÃO AFASTAR-SE UMAS DAS OUTRAS.
- B- AS GALÁXIAS ESTÃO A JUNTAR-SE UMAS DAS OUTRAS.
- C- AS GALÁXIAS NÃO SE MOVEM.



Viagem pelo Universo

A CONSTITUIÇÃO DO SISTEMA SOLAR É ...

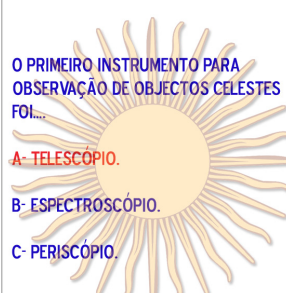
- A- SOL, LUA, TERRA, URSA MAIOR E URSA MENOR.
- B- SOL, ESTRELAS, PLANETAS, CONSTELAÇÕES, COMETAS E SATÉLITES NATURAIS.
- C- SOL, PLANETAS, SATÉLITES, COMETAS, ASTEROÍDES E METERORITOS.



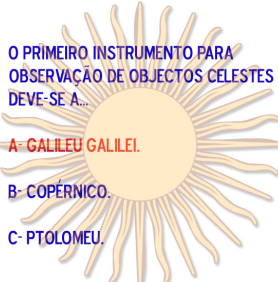
Viagem pelo Universo

O PRIMEIRO INSTRUMENTO PARA OBSERVAÇÃO DE OBJECTOS CELESTES FOI...

- A- TELESCÓPIO.
- B- ESPECTROSCÓPIO.
- C- PERISCÓPIO.




Viagem pelo Universo



O PRIMEIRO INSTRUMENTO PARA OBSERVAÇÃO DE OBJECTOS CELESTES DEVE-SE A...

- A- GALILEU GALILEI.
- B- COPÉRNICO.
- C- PTOLOMEU.

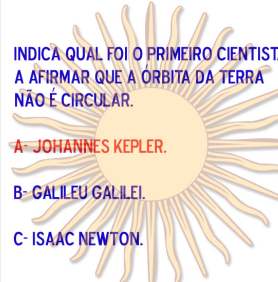
Viagem pelo Universo



AS CONSTELAÇÕES SÃO CONSTITUÍDAS POR...

- A- COMETAS.
- B- NEBULOSAS.
- C- ESTRELAS.


Viagem pelo Universo



INDICA QUAL FOI O PRIMEIRO CIENTISTA A AFIRMAR QUE A ÓRBITA DA TERRA NÃO É CIRCULAR.

- A- JOHANNES KEPLER.
- B- GALILEU GALILEI.
- C- ISAAC NEWTON.


Viagem pelo Universo



A DECOMPOSIÇÃO DA LUZ SOLAR, FOI ESTUDADA DE FORMA SISTEMÁTICA POR...

- A- PTOLOMEU.
- B- EINSTEIN.
- C- ISAAC NEWTON.


Viagem pelo Universo



O PRIMEIRO ESPECTRO A SER OBSERVADO FOI...

- A- ESPECTRO DA ESTRELA SIRIUS.
- B- ARCO-IRIS.
- C- ESPECTRO DA ESTRELA POLAR.

Viagem pelo Universo



O ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO É...

- A- O CONJUNTO DE TODAS AS RADIAÇÕES VISÍVEIS.
- B- O CONJUNTO APENAS DAS RADIAÇÕES INFRAVERMELHAS E ULTRAVIOLETAS.
- C- O CONJUNTO DE TODAS AS FORMAS DE ENERGIA RADIANTE.

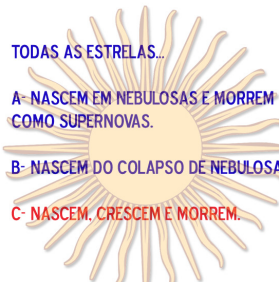
Viagem pelo Universo



AS ESTRELAS NASCEM DAS...

- A- NEBULOSAS DIFUSAS.
- B- NEBULOSAS PLANETÁRIAS.
- C- NUVENS.

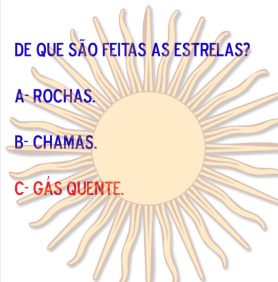
Viagem pelo Universo



TODAS AS ESTRELAS...

- A- NASCEM EM NEBULOSAS E MORREM COMO SUPERNOVAS.
- B- NASCEM DO COLAPSO DE NEBULOSAS.
- C- NASCEM, CRESCEM E MORREM.

Viagem pelo Universo



DE QUE SÃO FEITAS AS ESTRELAS?

- A- ROCHAS.
- B- CHAMAS.
- C- GÁS QUENTE.

Viagem pelo Universo

A FORÇA QUE PERMITE A FORMAÇÃO DE UMA ESTRELA É ...

A- A FORÇA DA GRAVIDADE.

B- A FORÇA ELÉCTRICA.

C- A FORÇA MAGNÉTICA.

Viagem pelo Universo

AS ESTRELAS TÊM DIFERENTES PERCURSOS CONSOANTE...

A- A SUA MASSA.

B- A SUA LOCALIZAÇÃO.

C- O SEU RESPECTIVO SISTEMA SOLAR.

Viagem pelo Universo

O COMBUSTÍVEL DAS ESTRELAS É...

A- A GASOLINA.

B- O HIDROGÉNIO.

C- O HÉLIO.

Viagem pelo Universo

A ENERGIA DO SOL PROVÉM DAS...

A- REACÇÕES QUÍMICAS NO SEU INTERIOR.

B- REACÇÕES NUCLEARES NO SEU INTERIOR.

C- REACÇÕES NUCLEARES NO SEU EXTERIOR.

Viagem pelo Universo

ATRÁVÉS DAS REACÇÕES NUCLEARES, NO INTERIOR DAS ESTRELAS, O HIDROGÉNIO É TRANSFORMADO EM...

A- HÉLIO.

B- NÉON.

C- ÁRGON.

Viagem pelo Universo

PARA QUE AS REACÇÕES NUCLEARES PROSSIGAM É NECESSÁRIO QUE A TEMPERATURA ...

A- VÁ DIMINUÍDO.

B- VÁ AUMENTANDO.

C- SE MANTENHA.

Viagem pelo Universo

UMA ESTRELA "COMEÇA" A BRILHAR QUANDO ...

A- SE INICIAM AS REACÇÕES QUÍMICAS NO SEU INTERIOR.

B- SE INICIAM AS REACÇÕES DE FUSÃO NUCLEARES NO SEU INTERIOR.

C- TERMINAM AS REACÇÕES DE FUSÃO NUCLEARES NO SEU INTERIOR.

Viagem pelo Universo

O ÚLTIMO ELEMENTO QUÍMICO A SER GERADO NO CORAÇÃO DA ESTRELA É...

A- CARBONO.

B- HÉLIO.

C- FERRO.

Viagem pelo Universo

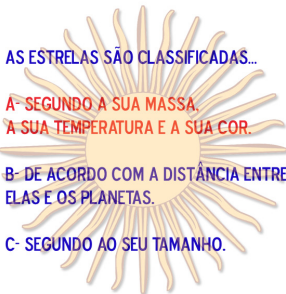
O "PISCAR" IRREGULAR DAS ESTRELAS É DEVIDO...

A- À LUZ QUE AS ESTRELAS EMITEM.

B- AO FACTO DE A LUZ DAS ESTRELAS TER DE ATRAVESSAR A ATMÓSFERA QUE ENVOLVE A TERRA.

C- AO VENTO SOLAR.

Viagem pelo Universo




AS ESTRELAS SÃO CLASSIFICADAS...

A- SEGUNDO A SUA MASSA,
A SUA TEMPERATURA E A SUA COR.

B- DE ACORDO COM A DISTÂNCIA ENTRE
ELAS E OS PLANETAS.

C- SEGUNDO AO SEU TAMANHO.

Viagem pelo Universo



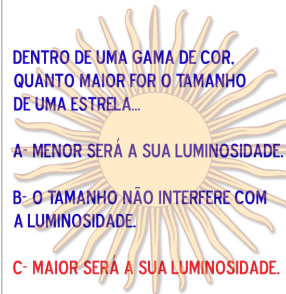
A COR DE UMA ESTRELA MUITO QUENTE É...

A- AMARELA.

B- AZUL.

C- VERMELHA.

Viagem pelo Universo




DENTRO DE UMA GAMA DE COR,
QUANTO MAIOR FOR O TAMANHO
DE UMA ESTRELA...

A- MENOR SERÁ A SUA LUMINOSIDADE.

B- O TAMANHO NÃO INTERFERE COM
A LUMINOSIDADE.

C- MAIOR SERÁ A SUA LUMINOSIDADE.

Viagem pelo Universo



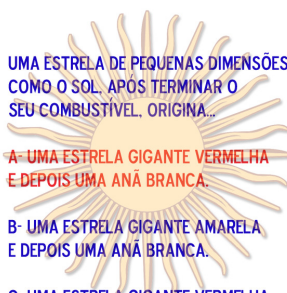
UMA ESTRELA QUE APRESENTE
UMA TEMPERATURA SUPERFICIAL
DE 3 000 K PERTENCE A CLASSE...

A- ESPECTRAL O.

B- ESPECTRAL A.

C- ESPECTRAL M.

Viagem pelo Universo



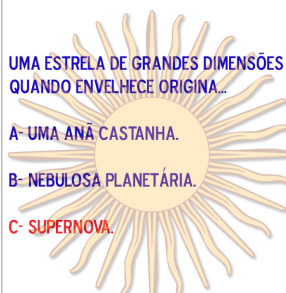
UMA ESTRELA DE PEQUENAS DIMENSÕES,
COMO O SOL, APÓS TERMINAR O
SEU COMBUSTÍVEL, ORIGINA...

A- UMA ESTRELA GIGANTE VERMELHA
E DEPOIS UMA ANÃ BRANCA.

B- UMA ESTRELA GIGANTE AMARELA
E DEPOIS UMA ANÃ BRANCA.

C- UMA ESTRELA GIGANTE VERMELHA
E DEPOIS UMA ANÃ NEGRA.

Viagem pelo Universo




UMA ESTRELA DE GRANDES DIMENSÕES
QUANDO ENVELHECE ORIGINA...

A- UMA ANÃ CASTANHA.

B- NEBULOSA PLANETÁRIA.

C- SUPERNOVA.

Viagem pelo Universo



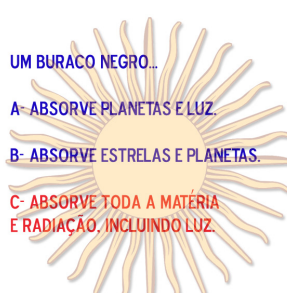
A EXPLOÇÃO DA SUPERNOVA PODE
ORIGINAR...

A- ESTRELAS DE NEUTRÕES
OU UM BURACO NEGRO.

B- UM BURACO NEGRÃO
OU ANÃS NEGRAS.

C- NEBULOSAS PLANETÁRIAS
OU ESTRELAS DE NEUTRÕES.

Viagem pelo Universo



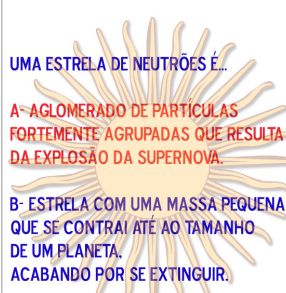
UM BURACO NEGRO...

A- ABSORVE PLANETAS E LUZ.

B- ABSORVE ESTRELAS E PLANETAS.

C- ABSORVE TODA A MATÉRIA
E RADIAÇÃO, INCLUINDO LUZ.

Viagem pelo Universo



UMA ESTRELA DE NEUTRÕES É...

A- AGLOMERADO DE PARTICULAS
FORTEMENTE AGRUPADAS QUE RESULTA
DA EXPLOÇÃO DA SUPERNOVA.

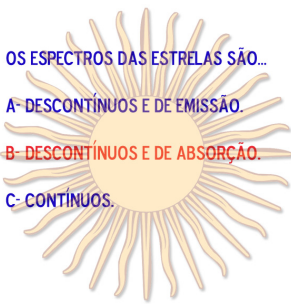
B- ESTRELA COM UMA MASSA PEQUENA
QUE SE CONTRAI ATÉ AO TAMANHO
DE UM PLANETA,
ACABANDO POR SE EXTINGUIR.

C- ESTRELA QUE EXPLODE.

Viagem pelo Universo

OS ESPECTROS DAS ESTRELAS SÃO...

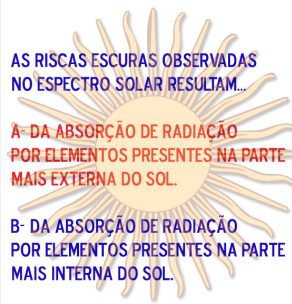
- A- DESCONTÍNUOS E DE EMISSÃO.
- B- DESCONTÍNUOS E DE ABSORÇÃO.
- C- CONTÍNUOS.



Viagem pelo Universo

AS RISCAS ESCURAS OBSERVADAS NO ESPECTRO SOLAR RESULTAM...

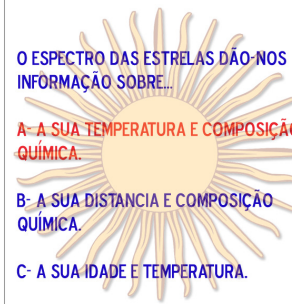
- A- DA ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO POR ELEMENTOS PRESENTES NA PARTE MAIS EXTERNA DO SOL.
- B- DA ABSORÇÃO DE RADIAÇÃO POR ELEMENTOS PRESENTES NA PARTE MAIS INTERNA DO SOL.
- C- DA EMISSÃO DE RADIAÇÃO POR ELEMENTOS PRESENTES NA PARTE MAIS EXTERNA DO SOL.



Viagem pelo Universo

O ESPECTRO DAS ESTRELAS DÃO-NOS INFORMAÇÃO SOBRE...


- A- A SUA TEMPERATURA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA.
- B- A SUA DISTANCIA E COMPOSIÇÃO QUÍMICA.
- C- A SUA IDADE E TEMPERATURA.



Viagem pelo Universo

O GÁS QUE EXISTE EM MAIOR QUANTIDADE NO SOL É O...

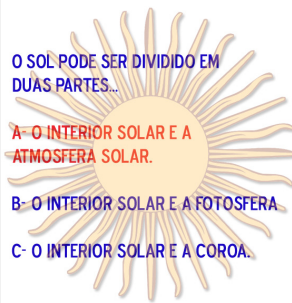
- A- OXIGÉNIO.
- B- HÉLIO.
- C- HIDROGÉNIO.



Viagem pelo Universo

O SOL PODE SER DIVIDIDO EM DUAS PARTES...

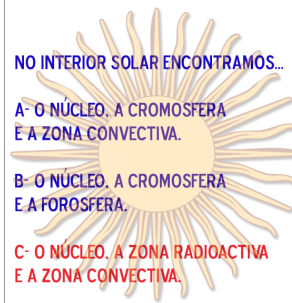
- A- O INTERIOR SOLAR E A ATMOSFERA SOLAR.
- B- O INTERIOR SOLAR E A FOTOSFERA.
- C- O INTERIOR SOLAR E A COROA.



Viagem pelo Universo

NO INTERIOR SOLAR ENCONTRAMOS...


- A- O NÚCLEO, A CROMOSFERA E A ZONA CONVECTIVA.
- B- O NÚCLEO, A CROMOSFERA E A FOTOSFERA.
- C- O NÚCLEO, A ZONA RADIOACTIVA E A ZONA CONVECTIVA.



Viagem pelo Universo

A ATMOSFERA SOLAR É DIVIDIDA EM...

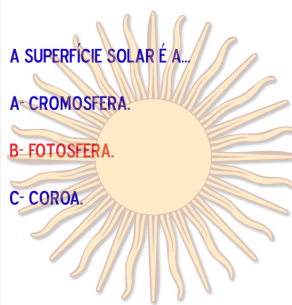
- A- FOTOSFERA, MANCHAS SOLARES E PERTUBERÂNCIAS.
- B- FOTOSFERA, CROMOSFERA E COROA.
- C- CROMOSFERA, COROA E MANCHAS SOLARES.



Viagem pelo Universo

A SUPERFÍCIE SOLAR É A...


- A- CROMOSFERA.
- B- FOTOSFERA.
- C- COROA.



Viagem pelo Universo

A COR AVERMELHADA DA CROMOSFERA DEVE-SE...

- A- AO HIDROGÉNIO IONIZADO.
- B- AO HÉLIO IONIZADO.
- C- FERRO IONIZADO.




Viagem pelo Universo

A ENERGIA DO SOL PROVÉM DAS...

A- REACÇÕES QUÍMICAS NO SEU INTERIOR.

B- REACÇÕES NUCLEARES NO SEU INTERIOR.

C- REACÇÕES NUCLEARES NO SEU EXTERIOR.




Viagem pelo Universo

A TEMPERATURA NA SUPERFÍCIE E NO NÚCLEO DO SOL É DE, RESPECTIVAMENTE, ...

A- 60 000 K E 150.0 K.

B- 5 K E 15 000 K.

C- 5 800 K E 15 000 000 K.



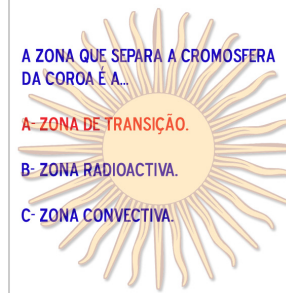
Viagem pelo Universo

A ZONA QUE SEPARA A CROMOSFERA DA COROA É A...

A- ZONA DE TRANSIÇÃO.

B- ZONA RADIOACTIVA.

C- ZONA CONVECTIVA.



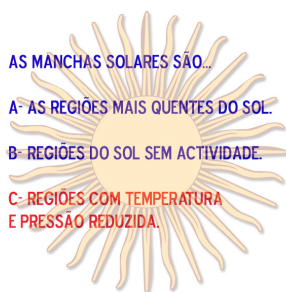
Viagem pelo Universo

AS MANCHAS SOLARES SÃO...

A- AS REGIÕES MAIS QUENTES DO SOL.

B- REGIÕES DO SOL SEM ACTIVIDADE.

C- REGIÕES COM TEMPERATURA E PRESSÃO REDUZIDA.



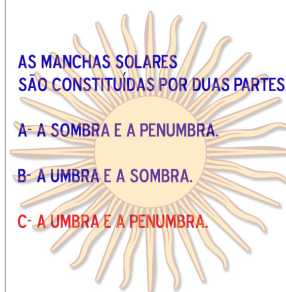
Viagem pelo Universo

AS MANCHAS SOLARES SÃO CONSTITUÍDAS POR DUAS PARTES..

A- A SOMBRA E A PENUMBRA.

B- A UMBRA E A SOMBRA.

C- A UMBRA E A PENUMBRA.



Viagem pelo Universo

A ORIGEM DE MANCHAS SOLARES ESTÁ RELACIONADA AO...

A- CAMPO MAGNÉTICO DO SOL.

B- CAMPO MAGNÉTICO DA TERRA.

C- CAMPO MAGNÉTICO DA LUA.



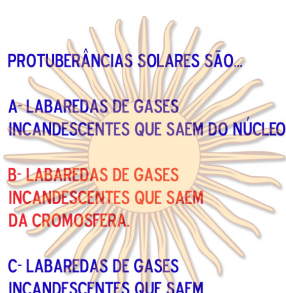
Viagem pelo Universo

PROTUBERÂNCIAS SOLARES SÃO...

A- LABAREDAS DE GASES INCANDESCENTES QUE SAEM DO NÚCLEO.

B- LABAREDAS DE GASES INCANDESCENTES QUE SAEM DA CROMOSFERA.

C- LABAREDAS DE GASES INCANDESCENTES QUE SAEM DA FOTOSFERA.



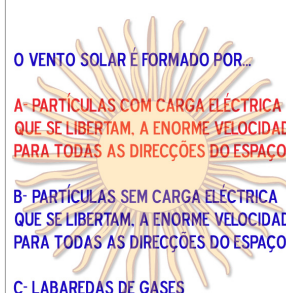
Viagem pelo Universo

O VENTO SOLAR É FORMADO POR...

A- PARTÍCULAS COM CARGA ELÉCTRICA QUE SE LIBERTAM, A ENORME VELOCIDADE, PARA TODAS AS DIRECÇÕES DO ESPAÇO.

B- PARTÍCULAS SEM CARGA ELÉCTRICA QUE SE LIBERTAM, A ENORME VELOCIDADE, PARA TODAS AS DIRECÇÕES DO ESPAÇO.

C- LABAREDAS DE GASES INCANDESCENTES QUE SAEM DA COROA.



Viagem pelo Universo

UM DOS FENÓMENOS QUE O VENTO SOLAR ORIGINA E É OBSERVADO APENAS NAS REGIÕES POLARES É...

A- AS PROTUBERÂNCIAS.

B- AS EXPLOSÕES SOLARES.

C- AS AURORAS.

