

Júpiter Cirilio da Roza Silva
Cleci Teresinha Werner da Rosa
Johnny Ferraz Dias

CALENDÁRIO CÓSMICO E A FÍSICA NUCLEAR

**UPF**[®]
Universidade
de Passo Fundo

PPGECM

Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEG

“A natureza é um enorme jogo de xadrez disputado por deuses, e que temos o privilégio de observar. As regras do jogo são o que chamamos de física fundamental, e compreender essas regras é a nossa meta”

Richard Phillips Feynman

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S586c Silva, Júpiter Cirilo da Roza
Calendário Cósmico e a física nuclear [recurso eletrônico]
/ Júpiter Cirilo da Roza Silva, Cleci Teresinha Werner da
Rosa, Johnny Ferraz Dias. – Passo Fundo: Ed. Universidade
de Passo Fundo, 2019.
2.2 Mb ; PDF. – (Produtos Educacionais do PPGECEM).

Inclui bibliografia.
ISSN 2595-3672

Modo de acesso gratuito: <<http://www.upf.br/ppgecem>> Este material integra os estudos desenvolvidos junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECEM), na Universidade de Passo Fundo (UPF), sob orientação da Profa. Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa.

1. Física – Ensino médio. 2. Física nuclear – Estudo e ensino. 3. Teoria da aprendizagem. 4. Prática de ensino.
I. Rosa, Cleci Teresinha Werner da. II. Dias, Johnny Ferraz.
III. Título. IV. Série.

CDU: 539.1

Bibliotecária responsável Juliana Langaro Silveira – CRB 10/2427

SUMÁRIO

Apresentação ~ 4

Calendário Cósmico: a inspiração ~ 5

Sobre ombros de gigantes ~ 7

Capítulo 1 ~ 11

Criando o Universo

Capítulo 2 ~ 22

Iluminando o Cosmos

Capítulo 3 ~ 36

Sobre ser pequeno

Capítulo 4 ~ 44

Azul e Verde

Capítulo 5 ~ 57

Aprendendo a andar

Capítulo 6 ~ 66

A Ciência moderna

Apresentação

O presente texto refere-se a um material de apoio para professores de Física que atuam no ensino médio e está vinculada a dissertação de mestrado intitulada “Calendário Cósmico e a Física Nuclear”, desenvolvida junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo, sob orientação dos professores Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa e Dr. Johnny Ferraz Dias.

O objetivo do material é servir de subsídio para a elaboração de atividades relacionadas ao tópico de Física Nuclear abordados no ensino médio, oportunizando a sua contextualização a partir do Calendário Cósmico. Nesta perspectiva, destacamos que o texto representa um compilado de informações que julgamos ser pertinente ao professor para estabelecer relações entre a Física Nuclear e a Astronomia, evidenciando o processo de contextualização do saber. O texto que se apresenta não tem a pretensão de servir de apostila ou semelhante para ser utilizado por estudantes do ensino médio, tampouco tem a pretensão de servir de texto referência para que os professores construam seus conhecimentos relativos os conteúdos contemplados. Seu intuito está tão somente em reunir um conjunto de informações e estruturá-los didaticamente, servindo de referencial metodológico para os professores do ensino médio.

O texto produzido está organizado seguindo o Calendário Cósmico como proposto por Carl Sagan, sendo que inicialmente são apresentadas as razões da escolha deste calendário como referencial para abordar Física Nuclear; na sequência, é apresentado uma breve introdução histórica da evolução dos conhecimentos em Física com objetivo de situar o leitor em termos dos aspectos a serem contemplados na discussão que está por vir; e, na continuidade, são apresentados os tópicos em estudo estruturados de acordo com o Calendário Cósmico.

O material produzido é de acesso livre e está disponibilizado no Portal eduCapes, podendo ser acessado e utilizados por todos aqueles que desejarem, desde que referenciado os autores.

A operacionalização e avaliação do material produzido é tema da dissertação de mestrado e igualmente está disponibilizado em acesso aberto no site da Plataforma Sucupira e na página do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade de Passo Fundo.

Calendário cósmico: a inspiração

A ideia de representar a idade do Universo na forma de um calendário foi inicialmente concebida por Carl Sagan (1934-1996) em seu livro de 1977, *Os Dragões do Éden*, e na série televisiva dos anos 80, *Cosmos*, produzida por ele. Foi uma maneira didática encontrada por Sagan na tentativa de explicar a idade do Universo e a dimensão do tempo em uma escala de uso cotidiano.

Em *Os Dragões do Éden*, obra que lhe rendeu o Prêmio Pulitzer¹ de literatura daquele ano, Sagan descreve como a mente humana evoluiu ao longo do tempo. Compactando toda a vida do Universo em um ano e iniciando pelo Big Bang até os dias atuais, Sagan apresenta de forma clara e concisa como se desenvolveu o cérebro humano. Narrando a evolução humana e dialogando com várias áreas do conhecimento como: Astronomia, Filosofia, Biologia, História e etc, Carl Sagan inicialmente se utiliza do Calendário Cósmico para desenvolver a sua narrativa sobre o processo evolutivo da mente humana.

Cosmos é uma série televisiva criada por Carl Sagan e sua esposa, Ann Druyan. Transmitida nos anos de 1980, a série foi fundamental em questão de divulgação científica tendo alcançado milhões de telespectadores. Logo no final do primeiro episódio da série, *Os Limites do Oceano Cósmico*, Carl Sagan apresenta o Calendário Cósmico e que também seria utilizado na reformulação da série em 2014, quando apresentada por Neil deGrasse Tyson, um de seus seguidores assumidos.

O Calendário Cósmico (CC) se apoia na ideia de compactar toda a vida do Universo em uma escala de tempo de um ano. Adotando o calendário Gregoriano como referência, deste modo a divisão do ano fica em 12 meses, com 365 dias. Dentro desta escala, cada mês possui cerca de 1,2 bilhões de anos. Cada dia cerca de 40 milhões de anos. Cada segundo corresponde a 500 anos. O calendário tem início em primeiro de janeiro, com o Big Bang, e termina em 31 de dezembro, sendo os dias atuais.

Dentro da escala, dia primeiro de janeiro, à zero hora ocorre o Big Bang. Com isso, o Universo surge em uma grande expansão. Às primeiras estrelas aparecem durante a segunda semana de janeiro. A Via Láctea começa a se formar no final de janeiro e tomara uma forma final em meados de maio. Na primeira semana de setembro o Sistema Solar é formado e na semana seguinte, a Terra. A vida começa em

¹ O Prêmio Pulitzer é concedido à pessoas que realizaram trabalhos de excelência na área do jornalismo, música, letras e teatro. Foi criado em 1917 por desejo de Joseph Pulitzer (1847-1911) que, na altura da sua morte, deixou dinheiro à universidade de Columbia. Parte do dinheiro foi usada para começar o curso de jornalismo na universidade em 1912. Atualmente os prêmios são anuais e divididos em 21 categorias.

21 de setembro. Os dinossauros aparecem em dezembro, dia 24 e são extintos quatro dias depois, em 28 dezembro.

Ao homem fica reservado a sua aparição dia de 31 de dezembro, algo próximo às 22 horas e 30 minutos. Os últimos 15 segundos do último dia do ano é onde se localiza toda a história da humanidade registrada até então. Faltando 10 segundos para terminar o dia, são inventados o alfabeto e a roda. Nos últimos 5 segundos nasce Cristo, os trabalhos de Ptolomeu e Arquimedes, e a geometria de Euclides. No último segundo estão os últimos 500 anos, momento onde está todo o conhecimento moderno construído pelo ser humano, o desenvolvimento da ciência, as revoluções, as guerras mundiais, a exploração espacial e a tecnologia atual.

Aqui podemos indicar também a utilização de cada capítulo separado para a prática docente. Sendo o capítulo 1 dedicado ao Big Bang, a nucleossíntese primordial e os primeiros momentos do Universo. O capítulo 2 sobre a formação e evolução estelar, e em especial, a fusão nuclear. Já no capítulo 3, o seu foco são as maiores estruturas do Cosmos. Iniciando com as galáxias, aglomerados e superaglomerados e decrescendo de tamanho passando por sistemas, estrelas, planetas, asteroides e cometas. No capítulo 4, a radioatividade é o tema. Partindo da formação dos planetas e da Lua, o capítulo busca elucidar a maneira de que se tem conhecimentos sobre estes períodos. No penúltimo capítulo, é discorrida sobre a evolução biológica do homem em uma visão interdisciplinar. Com os primeiros seres, os primeiros animais, homínídeos, a revolução do neolítico e a idade dos metais. Por fim, no último capítulo é realizada um resgate histórico sobre a astronomia e física, percorrendo um caminho das eras pré-Cristãs até os dias atuais.

Sobre ombros de gigantes

Para se iniciar a jornada, entender o seu ponto de partida bem como a chegada, inicialmente necessitamos realizar uma incursão pela história da Física. Ao entendermos a estrutura do presente texto na forma de um Calendário Cósmico, o objetivo desta introdução está em proporcionar um breve resumo das evoluções, construções e modificações das ideias da Física. Como também, constituir um arcabouço de conhecimentos que possam contribuir com o entendimento do texto e esclarecer o caminho percorrido.

Longe de ter a pretensão de abarcar todo contexto histórico da produção do conhecimento em Física, buscamos em rápidas pinceladas evidenciar fatos que não só enaltecem o processo evolutivo e humano da produção do conhecimento, mas também, apontam a construção lógica, coerência e consistente dos fundamentos apresentados.

Mostrando, em segundo plano, que as descobertas são decorrência de esforços de cientistas em diferentes épocas, com suas etnias e nacionalidades distintas, mas debruçados na busca por produzir conhecimento, por desvelar os mistérios do universo e do mundo circundante. Uma história construída de forma lenta, gradativa, mas com “passos largos” e que passamos a discorrer na sequência.

A origem do Universo, a sua constituição e formação sempre foi um tema um intrigante para o homem. Tanto que nas eras pré-cristã já se desenvolviam hipóteses sobre o início do Universo. Desta maneira, atribui-se à Astronomia como a ciência mais antiga e seu uso é registrado por diversos povos como os chineses, egípcios e babilônios. Em suma, praticamente todo e qualquer povo possui algum registro de estudos sobre os astros. As principais aplicações desses conhecimentos estão na confecção de calendários (medição de tempo), tanto para colheita e plantio como para previsões climáticas, orientações e, até mesmo, para previsões do futuro.

O apogeu desses estudos está na Grécia, com o empenho dos filósofos gregos em desvendar o Cosmo, surgiram os primeiros conceitos. Naquela época, existia conhecimentos sobre o Sol, planetas (eram conhecidos Mercúrio a Saturno) e a Lua e seus respectivos movimentos. Os gregos formularam explicações para fenômenos como: as fases da Lua, eclipses, formato da Terra e do Universo. Fizeram a divisão dos céus em constelações, que foram muito utilizadas nas navegações e são usadas até os dias atuais. Também se indagavam sobre a dinâmica do Sistema Solar, propondo modelos que colocavam a Terra no centro do Universo (geocêntrico), enquanto, outros defendiam que o Sol estava no centro (heliocêntrico).

A ideia da Terra como centro do Universo só foi superada no século XV, com Copérnico (1473-1543) ao defender o modelo heliocêntrico que até então não era muito bem aceita. Tycho Brahe (1546-1601), astrônomo dinamarquês, catalogou e mapeou o céu antes mesmo da invenção do telescópio. Trabalhos estes que contribuíram para que o matemático e astrônomo alemão Johannes Kepler (1571-1630) pudesse se debruçar sobre a questão dos movimentos dos planetas. Galileo Galilei (1564-1642) contribuindo de forma significativa para o estudo da mecânica e na construção de

telescópios, o italiano colaborou para estabelecer os conceitos de inércia e gravidade, mais tarde retomados nos estudos de Isaac Newton.

Em 1687, o inglês Isaac Newton (1642-1727) publica *Philosophiae naturalis principia mathematica* (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”), onde descreve as leis do movimento, desenvolve a lei da Gravitação Universal e, paralelamente aos estudos do alemão Gottfried Wilhelm von Leibnitz (1646-1716), o cálculo infinitesimal.

No século XVII ocorre a primeira revolução industrial e com ela a explosão da Termodinâmica. Com o avanço do conhecimento surgem as máquinas térmicas, relacionando os fenômenos da troca de calor em sistemas físicos. Também, na mesma época se inicia os estudos sobre a eletricidade e magnetismo, o que mais tarde seria unificado por James Clerk Maxwell definindo por eletromagnetismo.

Data-se o século XVIII como importante marco na retomada das ideias atômicas discutidas pelos gregos no século V a. C. No início, Leucipo (século V a.C.) e Demócrito (460 a.C.-370 a.C.) que foram os primeiros a tentar explicar a composição da matéria, acreditavam de que ela seria finita e sua mínima parte seria o átomo que, por sua vez, seria também finito, inquebrável e único. Toda a matéria no universo seria composta por estes “tijolos elementais”.

Entretanto, essas ideias foram retomadas em 1803 por John Dalton (1766-1844) em sua Teoria Atômica, também conhecida como “Modelo Bola de Sinuca”. Nessa teoria Dalton infere que os elementos químicos são partículas discretas, indivisíveis e que possuem característica específicas. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos, sendo o peso a única característica que os diferencia.

O primeiro modelo atômico foi formulado por J. J. Thompson (1856-1940) e recebeu o nome de “Pudim de Passas” em virtude da semelhança com esse doce que era comum na época. Na analogia o centro do pudim é o núcleo do átomo (positivo) e as “passas” seriam o elétron (negativo) que orbita ao redor.

Ernest Rutherford (1871-1937), também teve importante colaboração nesses estudos, formulando outro modelo atômico, inferindo uma analogia com um sistema planetário, onde no núcleo pequeno e maciço estariam os prótons (positivo) e se movimentando de forma circular ao redor desse núcleo estariam os elétrons (negativo).

Anos mais tarde, o dinamarquês Niels Bohr (1885-1962), orientando de Rutherford, usou o mesmo modelo de para quantizar o átomo e explicar as incongruências do modelo proposto por seu orientador. Na sequência, Werner Heisenberg (1901-1976) dá início aos estudos da mecânica quântica para explicar o mundo microscópico. E, posteriormente, Erwin Schrödinger (1887-1961), por meio da estruturação da equação que leva o seu nome, tornou o átomo probabilístico.

Em termos da Física Atômica e Nuclear, pode-se dizer que seu início como campo de estudos está associado a descoberta dos Raios X por Wilhelm Konrad von Röntgen (1845-1923). Posteriormente, Henri Becquerel (1852-1909) observou que sais de urânio emitem radiação, inicialmente também classificou de Raio X, contudo, a partir de maiores investigações e discussões, percebeu que aquela radiação emitida

pelo sal de urânio possuía características diferentes. Esta nova radiação foi lhe dado o nome de “raios Becquerel”.

O Casal Curie - Marie Skłodowska Curie (1867-1934) e Pierre Curie (1859-1906) - estudando os “raios Becquerel” identificou que o tório apresentava características radioativas, assim como o urânio. Eles foram os primeiros a denominar de “Radioatividade” o fenômeno de desintegração do núcleo de átomos. Em 1898, Madame Curie ficou conhecida pela descoberta do elemento químico polônio e, posteriormente, do elemento rádio.

Um marco histórico do período em discussão pode ser considerado o estudo de Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) ao romper com a teoria clássica inferindo que a radiação não obedecia às leis clássicas da Física. Planck propõe que a energia irradiada por um objeto a certa temperatura não era de forma aleatória mas em “pacotes” de energia discretos, o *quantum*. Com isso, Planck nega o caráter contínuo da radiação e assume de as trocas de energias ocorrem em doses bem definidas. Partindo destes pressupostos, Albert Einstein (1879-1955) utiliza a mesma ideia, de pacotes de energia, para explicar o efeito fotoelétrico.

Ainda na primeira década do século XX, Einstein é protagonista de outro momento marcante da história da Física ao trabalhar com os fenômenos do efeito fotoelétrico e o movimento browniano. Além disso, no mesmo período iniciou os estudos sobre a Teoria da Relatividade, que acaba lhe consagrando na história. A teoria da relatividade muda significativamente a maneira de pensar grandezas como espaço, tempo, energia e matéria.

Einstein em dois momentos trabalhou na teoria da relatividade, sendo possível distinguir ela em duas partes: a relatividade restrita publicada em 1905 e, a relatividade geral publicada em 1915. A teoria da relatividade restrita trata de fenômenos inerciais, ou seja, com ausência da aceleração, propõe a equivalência entre massa e energia e a dilatação temporal e dimensional, admitindo assim, que espaço e tempo não são absolutos. Na sequência dos trabalhos, Einstein investiga os sistemas acelerados e em 1915 publica a Relatividade Geral.

Na década de 1920, o astrônomo Edwin Powell Hubble (1889-1953) realiza diversos estudos envolvendo estrelas e galáxias. Destes estudos, Hubble consegue medir a distância entre o planeta Terra e as estrelas e galáxias observáveis. Junto com estas observações, Hubble percebeu que existia uma relação da distância da galáxia com a velocidade de seu afastamento, e pode concluir que, quanto mais afastada a galáxia estivesse maior será a sua velocidade de afastamento. Esse conjunto de observações e evidências contribuíram para a formulação de um modelo cosmológico atual.

Nesses estudos sobre o universo estático ou em movimento, o físico e matemático russo Alexander Friedmann (1888-1925) teve uma significativa contribuição ao buscar soluções para um universo não-estático. Antes das observações de Hubble, Friedmann chegou à conclusão de que o universo está em expansão. Com isso, Friedmann chegou à três possíveis soluções para o problema em discussão: que o universo teria formato fechado, aberto ou plano. As consequências de cada modelo estariam em que em um universo fechado, um dado momento de tempo, a expansão iria parar e o universo começaria a se contrair; em um modelo de universo aberto, a

densidade de matéria seria baixa demais para iniciar uma regressão e o universo iria se expandir para sempre; e, no caso do universo plano, a velocidade de expansão iria diminuir gradativamente até próximo à zero.

Além de Friedmann, o padre e cosmólogo belga Georges-Henri Édouard Lemaître (1894-1966), propõe um modelo cosmológico para o universo. Seu modelo é de um universo dinâmico, argumentando que toda a matéria e energia do universo estaria concentrada em um único ponto no início do universo, o qual ele chamou de “átomo primordial”. Ideia inicial do que seria a teoria do Big Bang.

Paul Dirac (1902-1984) realiza esforços para quantificar o campo eletromagnético em conjunto da mecânica quântica, o que leva nos próximos anos ao desenvolvimento da eletrodinâmica quântica, teorização das forças nucleares forte e fraca, bem como a elaboração do modelo padrão de partículas. Realizando previsões como a existência da antimatéria, partículas subatômicas, desenvolvimento da supercondutividade e da cosmologia.

Nos anos que se seguiram houveram progressos em relação à fissão e fusão nuclear, com o desenvolvimento das bombas atômicas e a origem da energia das estrelas respectivamente. Explosão no descobrimento de partículas e subpartículas, avanços na cosmologia e astrofísica com os buracos negros (que não são tão negros assim) e a matéria escura. Construção de aceleradores de partículas e a formação de anti átomos, bem como a detecção de ondas gravitacionais e a radiação cósmica de fundo.

Como mencionado na introdução desta seção, o intuito do que foi relatado aqui está em possibilitar a imersão do leitor no conhecimento utilizado para a construção do calendário cósmico a ser apresentado na sequência, de modo a retomar algumas das ideias presente na evolução dos conhecimentos em Física.

O descrito fornece um ponto de partida e chegada, um caminho orientado por meio do Cosmo. Em nossa viagem, muitas vezes, precisaremos evidenciar aspectos de diversas áreas. Citando um exemplo, na discussão da formação estelar, onde a gravidade, a fusão nuclear e a hidrostática se fazem presentes na estabilidade de uma estrela. Assim, muitas áreas da Física, conhecimentos, teorias e ideias serão exploradas, esmiuçadas dentro do Calendário Cósmico. Ainda que passearemos por diversos momentos, entretanto, o nosso foco será a Física Nuclear. Uma minúscula degustação do que nos espera, em que, aproximadamente, 500 anos de produção de conhecimento moderno serão discutidas em um calendário que abriga 13,5 bilhões de anos.

The background of the page is a complex, abstract pattern of thin, light gray lines. These lines form a dense network of overlapping circles, spirals, and intersecting paths, creating a sense of movement and depth. The overall effect is reminiscent of a microscopic view of a complex material or a network diagram.

CAPÍTULO 1

CRIANDO O UNIVERSO

Capítulo 1 - Criando o Universo

O início de tudo

“Se você entende como o universo funciona, de certa forma pode controlá-lo”

Stephen W. Hawking (1942-2018)

Janeiro

1º de janeiro - 00 horas, 0 minutos e 0 segundos

A nossa viagem começa no dia primeiro de janeiro, às 0 horas do nosso calendário. Algo muito próximo de 13,8 bilhões de anos atrás [1], neste momento o Universo em si não é muito bem compreendido. No instante de tempo igual à zero, as leis da Física não são aplicáveis. Neste ponto, em um minúsculo período de tempo e antes dele, o que se passa com o Universo é mera especulação. Stephen Hawking (1942-2018) e Roger Penrose (1931-) [2] ainda na década de 1970 conseguiram demonstrar que a noção de tempo antes da origem do Universo, e até mesmo dentro de um buraco negro, não existe.

O que sabemos deste começo é que o “tudo” estava concentrada em um único ponto, minúsculo, ínfimo, insignificante, onde se encontrava todo o espaço, toda a matéria e toda energia do Universo, uma singularidade. Neste Universo primitivo, as condições eram de uma temperatura extremamente quente, as forças da natureza como as conhecemos e que descrevem o Universo em si estavam unidas. Ainda não sabemos ao certo o que puxou o gatilho para o início do Universo, porém este estopim resultou em uma expansão neste cosmo. Este gatilho é o que chamamos de “Big Bang”.

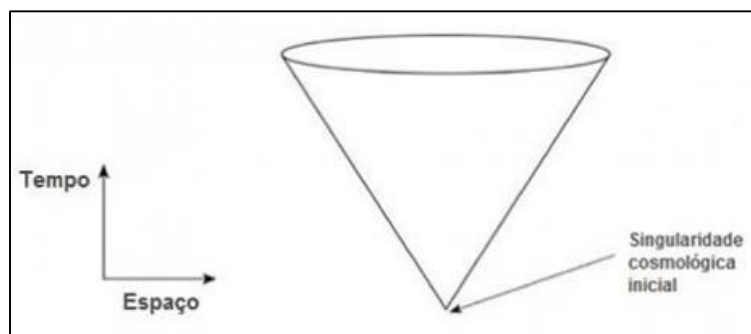
A partir dele, em um momento entre o tempo igual à 0 e 10^{-43} segundos (um décimo de milionésimo de trilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo) é o que chamamos de “era Planck”. Neste intervalo de tempo, a era Planck é caracterizada pelas leis da Física estarem unificadas e, dentro daquilo que conhecemos, não são o suficiente para descrever este período. A teoria da relatividade, a qual fornece uma imagem da gravidade como sendo a distorção no tecido do espaço-tempo e a mecânica quântica como aquela que descreve o mundo microscópico dos átomos, partículas e etc, são nitidamente opostas. Com isso, surge para os cientistas o desafio de resolver como que este casamento “problemático” aconteceu. O conflito entre a relatividade e a quântica atualmente é bem resolvido, cada uma nos fornece informações consistentes. No caso macro, a relatividade e, no micro, a quântica. Contudo, neste período específico, se desconhece qualquer teoria física para descrevê-lo [5].

Capítulo 1 - Criando o Universo

Durante este tempo a temperatura do Universo era cerca de 10^{32} kelvin [3]. Com o passar do tempo, a temperatura vai diminuindo enquanto o Universo continua a expandir-se. Com isso, nos momentos seguintes é possível obter algumas informações, como por exemplo, a separação das forças elementares, a formação de partículas, dos átomos e demais estruturas.

A era Planck termina quando se obtém as primeiras informações deste Universo jovem. Entre o intervalo de tempo de 10^{-43} e 10^{-32} segundos é deixada para trás a era Planck e agora inicia-se o que consideramos como a era da Grande Unificação. Este é o primeiro momento quando começa a se estruturar o Universo. No primeiro instante a gravidade consegue se separar das demais forças. Neste sentido, a gravidade toma forma, uma identidade que pode ser descrita por nossas teorias mais atuais. Contudo, ainda restam as últimas forças elementares tomarem forma.

Figura 01: Singularidade cosmológica inicial



Fonte: <https://bit.ly/2UiCWs>

A segunda força a tomar forma é a força nuclear forte. A nuclear forte é responsável por manter os núcleos dos átomos unidos, ela atua nos prótons e nêutrons. É a força de maior intensidade entre todas as outras, todavia, tem um alcance curtíssimo (algo em torno de 10^{-15} metros). Ela ganha forma ao final da era da Grande Unificação e no começo da próxima era.

A era Eletrofraca é o período entre 10^{-32} e 10^{-12} segundos. Neste instante de tempo, o Universo continua a sua expansão; ainda com temperaturas altíssimas, a gravidade e a força nuclear forte como forças independentes, porém, com a unificação ainda do eletromagnetismo e da força nuclear fraca.

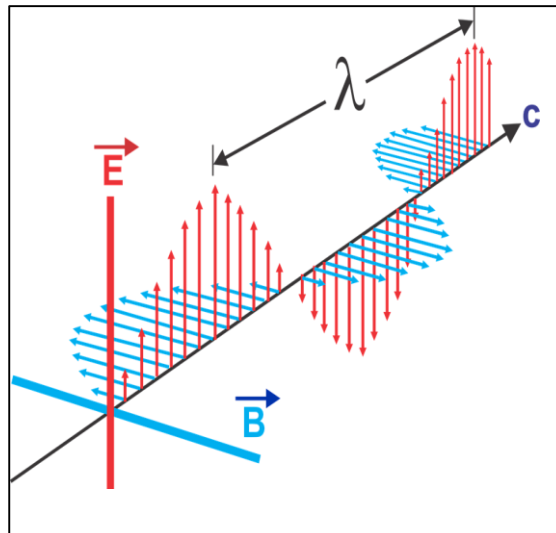
Neste universo de diversas radiações (ou energia, se preferirmos), a temperatura colossal deste cosmo é suficientemente alta para evitar a existência de matéria. Portanto, neste período, quando o eletromagnetismo se torna uma força independente, veremos fótons interagindo entre si e convertendo em pares de matéria e antimatéria e, esta matéria e antimatéria aniquilando-se mutuamente, devolvendo a energia em fótons novamente.

Fótons, de uma forma simples, são “pacotes de energia”. A sua estrutura é uma onda eletromagnética, uma associação de campos elétricos e magnéticos. Seu

Capítulo 1 - Criando o Universo

comportamento se apresenta em duas facetas: onda e partícula, com isso, em alguns fenômenos, pode-se dizer que fótons são partículas e, em outros, que é uma onda. É um comportamento duplo. Contudo, existem diversos fótons e o que os diferencia é a sua energia.

Figura 02: Onda eletromagnética



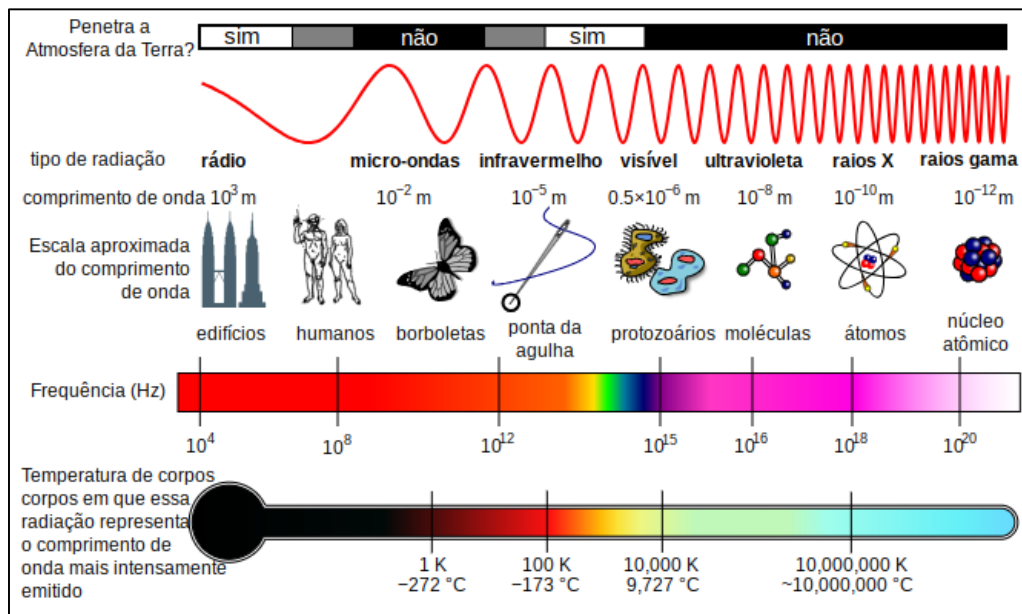
Fonte: <https://bit.ly/2OaeImA>

A luz é composta por fótons e tem uma determinada energia. Mas, por exemplo, os raios gama também são ondas eletromagnéticas e por consequência fótons. A diferença entre eles é a sua energia. Raios gama possuem muito mais energia do que a luz, assim como, a luz tem muito mais energia que as ondas de rádio. O espectro eletromagnético nos mostra perfeitamente o comportamento dos fótons, ou da radiação. Por serem onda, apresentam frequência e comprimento da onda. A frequência da onda nada mais é do que a oscilação dela e o comprimento, o seu tamanho. É interessante perceber que, quanto maior a frequência (oscilação) da radiação, maior é a sua energia. Apesar disso, quanto maior a energia, menor o comprimento de onda. Consequentemente, no caso dos raios gama, eles têm uma frequência alta, porém, um comprimento de onda pequeno.

A luz, comparando com os raios gama, têm uma frequência mais baixa, contudo, seu comprimento de onda é maior. Se olharmos para o espectro eletromagnético notamos que as ondas de rádio são as mais baixas ondas de energia e os raios gama serão as ondas com mais energia. A luz visível se encontra em uma pequena região deste espectro, logo acima está a radiação ultravioleta e abaixo, o infravermelho. Interessante perceber que as cores também têm energias distintas, as mais “fracas” começam no vermelho e vai subindo até o azul. O arco-íris é um fenômeno que representa esta beleza da natureza.

Capítulo 1 - Criando o Universo

Figura 03: Espectro eletromagnético



Fonte: <https://bit.ly/2JwuI43>

Com um trilionésimo de vida (ou 10^{-12} segundos, se preferir), o Universo começa a ficar mais interessante. É iniciado a era dos Quark e com isso, a matéria começa a tomar forma. A partir deste tempo, a temperatura baixou significativamente, porém continua bilhões de vezes mais quente que o núcleo do Sol [3]. Neste momento as forças elementares da natureza enfim estão separadas. A força eletromagnética se separa da força nuclear fraca e com isso o eletromagnetismo toma forma ficando responsável pelos fenômenos decorrentes de cargas elétricas e magnéticas, e a força nuclear fraca, a responsável pelo decaimento radioativo. A gravidade, o eletromagnetismo, as forças nucleares forte e fraca tem, a partir de agora, uma identidade própria.

Depois deste mar de radiação, agora temos os quark, glúon, léptons e a antimatéria. Esse montante de “tijolos” são o que temos de mais básico e indivisível na natureza. E a parte mais curiosa disto é a variedade que se pode ter destas partículas subatômicas.

O quark é o que consideramos como uma das unidades mais fundamentais e elementares da natureza, é um pequeno tijolo primordial que forma prótons e nêutrons. Ele possui característica bem peculiar como a carga elétrica fracionária e o fato de ser sempre encontrado aos pares ou mais [4][5]. Glúons são outras partículas subatômicas elementares, porém atuam como intermediários podendo serem vistos como uma “cola” ou um “elástico” que mantém quarks unidos. Com isso, são os responsáveis por transmitir a força forte.

Léptons são representados pelo elétron, o neutrino e outras partículas elementares (um pouco maiores). A principal característica está em não interagir com a força nuclear forte e com isso não serem formados por quarks, também podendo ter

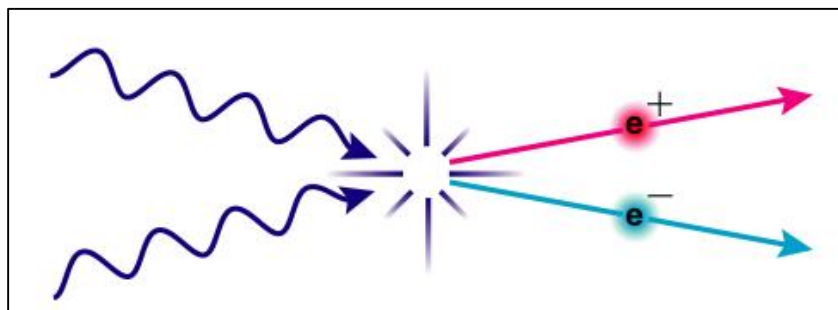
Capítulo 1 - Criando o Universo

carga elétrica inteira ou não. Lépton descende da palavra “leptos” do grego, algo como “magro” ou “fino”.

A antimatéria [4] talvez seja o ponto mais interessante do abordado até agora. Por hora somente falamos de matéria, contudo, a antimatéria tem como características carga e spin oposto à matéria comum. Sendo assim, cada partícula possui a sua antipartícula correspondente. Neutrinos possuem antineutrinos, elétrons possuem antielétrons (conhecidos também por pósitrons), partículas neutras como fótons são iguais às suas antipartículas. Ela foi produzida experimentalmente, porém, na natureza é rara às exceções onde se possa encontrá-la.

Evidências teóricas indicam uma assimetria, um desequilíbrio, de matéria-antimatéria, sugerindo assim que, no início do Universo este fenômeno mostra que uma parte da matéria conseguiu “escapar” e não ser aniquilada. Algo em torno de uma parte em um bilhão, uma pequeníssima parte que, em meio à bilhões de partículas e antipartículas se aniquilando e recriando, uma partícula tinha a oportunidade de não encontrar a sua antipartícula [3].

Figura 04: Par de criação-aniquilação por raios gama



Fonte: <https://bit.ly/2O89UOI>

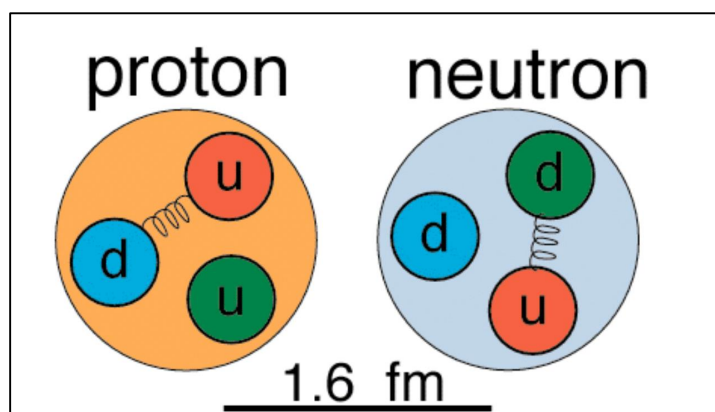
Agora com um milionésimo de vida, o Universo começa a ser descrito pelas nossas teorias. Já não tão quente e denso, os quarks que antes andavam livremente, começam a se unir formando hádrons (do grego “hádros”, sinônimo de “pesado”, “espesso”), também neste período, fótons se chocavam gerando prótons e nêutrons que se aniquilavam em seguida com suas antipartículas. Este período específico é chamado de era Hadrônica. Podemos dizer que os hádrons são uma família, são partículas que interagem com a força nuclear forte. Porém, dentro desta família pode ter duas distinções: bárions e méson [5].

Bárions são classificados como um trio de quarks, enquanto mésons, são um par formado de um quark e um antiquark. Atualmente sabemos que existem seis tipos de quarks: *up* (acima), *down* (baixo), *charm* (charme), *strange* (estranho), *top* (topo) e *bottom* (base). E a combinação destes quarks resultam mésons (enquanto um quark e um antiquark) ou bárions (enquanto um trio de quarks). Um grande número de combinações pode ser realizado, porém se destacam duas: o próton e o nêutron [4].

Capítulo 1 - Criando o Universo

O próton é a combinação de três quarks: dois *up* e um *down*, enquanto o nêutron, é formado por dois *down* e um *up*. Na atualidade é impossível flagrar um quark solitário, eles sempre estão aos pares ou trios. Pela simples existência da força que os mantém juntos (glúons), na tentativa de separá-los, a natureza recorre à famosa equação de Einstein: $E = MC^2$. Esta equação mostra a equivalência entre massa e energia, mostrando que são intercambiáveis. De uma forma simples a equação aponta quanto a sua massa vale em energia e vice-versa. Com isto em mente, na tentativa de separar quarks, a energia acumulada neste processo é o suficiente para produzir um novo quark e retornar ao estado inicial, ou seja, a natureza leva ao começo novamente [5].

Figura 05: Composição dos bárions: próton e nêutron



Fonte: <https://bit.ly/2TbHDYx>

A descrição deste fenômeno é que, quando se tenta separar quarks, a força dos glúons aumenta, isto é, a força atrativa entre quarks se torna mais poderosa quanto mais você os afasta. Metaforicamente, podemos interpretar os glúons como um elástico que mantém quarks unidos. Quando existe a tentativa de separar quarks, este elástico estica e armazena energia. Quando o elástico é rompido, a energia armazenada é liberada e esta mesma energia é o suficiente para formar um novo quark [4][5].

O Universo com um segundo de vida começa agora a formar léptons, surgindo a era Leptônica, a era das partículas leves. Os principais representantes dos léptons são o elétron e o neutrino (“pequeno nêutron” em italiano). Da mesma maneira como os quarks, léptons também possui seis tipos: o elétron e seu neutrino, o múon, o neutrino do múon, táuon e o neutrino do táuon.

Léptons também são partículas elementares, possuem carga elétrica inteira (podendo ser neutra ou negativa) e, junto com os quarks, não possuem estrutura interna [4]. Diferente dos quarks, os léptons sofrem influência da força nuclear forte, por consequência disto, conseguimos localizá-los sozinhos na natureza. Vale lembrar que cada lépton possui o seu par antilépton.

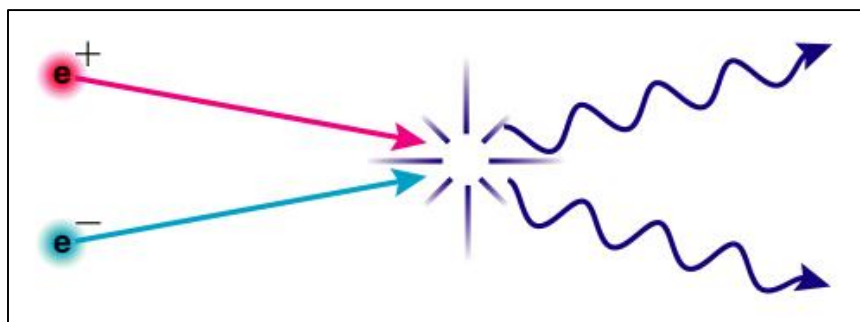
Neste período a temperatura já caiu pela metade de seu valor inicial (neste momento a temperatura do Universo era cerca de 1 bilhão kelvin, ainda centena de

Capítulo 1 - Criando o Universo

vezes mais quente que o núcleo do Sol) [3], fótons não conseguem mais produzir pares de prótons-antiprótons e nêutrons-antinêutrons (mas prótons e nêutrons continuariam a se aniquilar com suas antipartículas) e o tamanho do Universo já alcançava alguns ano-luz. Contudo, a energia do choque de fótons ainda era o suficiente para formar pares de elétrons-pósitrons que na sequência se aniquilavam. A leve diferença entre matéria e antimatéria era o suficiente para restar alguns sobreviventes.

No início, os sobreviventes desta guerra de produção e destruição de matéria-energia eram os quarks, com o avançar do tempo e a temperatura diminuindo, hádrons entravam nesta lista seguidos dos léptons. Assim como os quarks, os hádrons (prótons e nêutrons), a leve desigualdade que existia entre matéria e antimatéria dava a um elétron a sorte de sobreviver entre um bilhão de elétrons. Para aquelas partículas e subpartículas que não conseguiam “fugir” restava a aniquilação com seus pares de antimatéria, em um oceano de fótons.

Figura 06: Par de criação-aniquilação por pósitron-elétron



Fonte: <https://bit.ly/2O89UOI>

A era Leptônica iniciou quando o Universo chegou a um segundo de vida, e terminou quando completou três segundos. Durante este curto tempo de 2 segundos, a temperatura do Universo continua a baixar, hádrons já não mais sofrem com a guerra de criação e aniquilação, léptons lentamente começam a ter mais “sobreviventes”. A quantidade de aniquilação é maior que a quantidade de criação de matéria, com isso, a radiação tem um reinando neste universo. Porém, ainda que a radiação seja suprema neste universo, a matéria gradualmente começa a se sobressair. Com a persistência de prótons e nêutrons, a interação frequente entre partículas e fótons resulta em um número maior de prótons em relação aos nêutrons [3] [5].

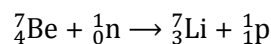
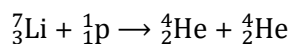
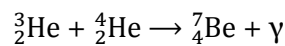
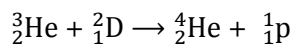
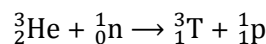
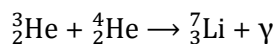
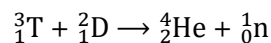
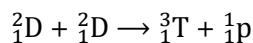
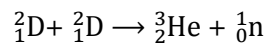
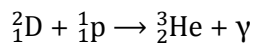
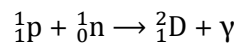
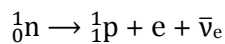
Quando o Universo alcança 3 minutos de vida inicia-se a nucleossíntese primordial. E com isso, existe a possibilidade de formar os primeiros átomos como o hidrogênio e o hélio. A temperatura chegou a um bilhão de kelvin e continua a diminuir conforme evolui no tempo. Prótons e nêutrons são partículas realmente pesadas se compararmos com as outras e, por consequência disto, o choque entre elas é inevitável. Porém, antes mesmo do choque, em dimensões minúsculas como 10^{-15} metros, a força nuclear forte (ou interação forte) passa a agir.

Capítulo 1 - Criando o Universo

Em um Universo extremamente quente, a força elétrica não é o suficiente para manter a repulsão entre partículas de mesma carga, como o caso de prótons com prótons. Dado estas condições, tanto prótons como nêutrons continham energia cinética, a energia associada ao seu movimento, tão grande que era possível se aproximar o suficiente para que a interação forte eclodisse e unisse as partículas. Neste ponto a força nuclear forte começa a ter uma influência maior entre prótons e nêutrons, e com isso, instaura-se a união entre eles e a formação de núcleos atômicos. Este tipo de processo de formação de núcleo é dado o nome de fusão nuclear.

É uma ideia simples, a fusão nuclear consiste na união de partículas (no caso entre prótons e nêutrons) e como resultado desta união, surge um núcleo maior e mais pesado junto com a liberação de energia em forma de radiação. Na contramão da fusão, existe a fissão nuclear, isto é, a divisão do núcleo. E esta divisão do núcleo atômico produz a formação de dois ou mais núcleos atômicos menores e também a liberação de energia na forma de radiação. A fusão nuclear é o fenômeno responsável pela energia das estrelas.

O período de nucleossíntese durou aproximadamente 3 minutos. Durante este tempo a matéria iria se compor predominantemente em hidrogênio, hélio, resíduos de deutério (um hidrogênio “pesado”, que é formado por um próton e um nêutron unidos), trítio (outro hidrogênio mais pesado que os anteriores, com dois nêutrons e um próton) e uma miúda fração de lítio e berílio. Todos os demais elementos serão formados futuramente no núcleo das estrelas[5].



Com 6 minutos de vida, a temperatura já não é alta o suficiente para continuar o processo de fusão. No “cabo de guerra” entre a interação forte e a força elétrica, a eletricidade começava a ganhar vantagem. O caminho que poderia percorrer um fóton era tão pequeno que sua colisão com algum elétron era praticamente inevitável, desta forma, a luz não conseguia percorrer uma longa distância [3].

Este cenário não mudaria pelos próximos 380 mil anos, desse modo, este período pode ser entendido como um plasma incandescente. O plasma representa o quarto estado da matéria e podemos caracterizá-lo de forma análoga a um gás ionizado [7]. Neste estado, a matéria não tem uma forma bem definida e neste caso, não conseguimos distinguir se é um gás ou líquido. É uma linha bem tênue entre os dois estados. Também, devido às altas temperaturas, as partículas andam livremente.

Capítulo 1 - Criando o Universo

1º de janeiro - 0 horas, 12 minutos e 40 segundos - 380 mil anos

Chegamos a era da Recombinação, com 380 mil anos, na qual o Universo apresenta uma temperatura cerca de 3 mil kelvin (metade da superfície do Sol) na qual prótons e elétrons conseguem estar ligados eletricamente formando átomos com carga neutra. A ligação entre eles permite que fótons viagem livremente e o Universo pela primeira vez se torna transparente. Esta radiação, que apresentava temperatura de 3 mil kelvin, é o que chamamos hoje de Radiação Cósmica de Fundo (RCF). Ela representa a gravação no céu do nascimento do Universo, e a partir disso a matéria começou a ter domínio sobre a radiação. Hoje nós detectamos esta mesma radiação como micro-ondas e no valor de aproximadamente 3 kelvin.

O prêmio Nobel de 1978 foi entregue à Pyotr Leonidovich Kapitsa (1894-1984) por estudos na área da Física em baixas temperaturas e aos pesquisadores Arno Allan Penzias (1933-) e Robert Woodrow Wilson (1936-) [8] pela descoberta da RCF. Em 1964, Penzias e Wilson eram apenas rádio-astrônomos que trabalhavam para a Bell Laboratories. Sua função era a calibração de uma antena de micro-ondas que seria utilizada para telecomunicações. Contudo, perceberam que na transmissão dos dados sempre havia presença de ruído o qual não sabiam a origem e que isso era independente da região para onde a antena estivesse apontada. Tal percepção mostrava que a emissão desta radiação era proveniente de todas as regiões do Universo. Paralelo a isso, Robert Henry Dicke (1916-1997), Philip James Edward Peebles (1935-), Peter G. Roll, e David T. Wilkinson (1935-2002) investigavam na Universidade de Princeton a construção uma antena para captar a radiação resultante do Big Bang, prevendo que a radiação teria o valor em torno de alguns kelvin. Em 1948, Ralph Asher Alpher (1921-2007) e Robert Herman (1922-1997) [9], em conjunto com George Gamow (1904-1968) fizeram a previsão de que a radiação deveria ter valor de 5 kelvin - hoje sabemos que este valor, obtido experimentalmente, é de 2,7 kelvin [3].

Desses estudos, um fato curioso é que Penzias e Wilson [10] publicaram os resultados de seus estudos em 1965 na *Astrophysical Journal* e no mesmo volume o grupo de físicos de Princeton [11] publicou a interpretação desta radiação como a “lembrança” deste momento. Penzias sabendo do trabalho de Dicke associou que o ruído detectado pela antena seria a radiação oriunda do início do Universo. Esse feito marcou a identificação acidental da RCF, o rendeu aos pesquisadores o prêmio Nobel.

O Universo não seria muito diferente pelos próximos 490 milhões de anos. Durante este tempo, a temperatura atinge os 100 kelvin. A matéria conhecida continua sendo composta pelo hidrogênio e hélio majoritariamente. Também este período é nomeado como a “Idade das Trevas”, sobretudo em virtude de que o espaço não tem objetos estelares e a radiação inicial já se degradou o suficiente para não conseguir iluminar este cosmo jovem.

Capítulo 1 - Criando o Universo

REFERÊNCIAS

- [1] ADAM, R et al. Planck 2015 results - I. Overview of products and scientific results. *Astronomy & Astrophysics*. v. 594, pp.1-38, A1, 2016.
- [2] HAWKING, Stephen W; PENROSE, Roger. The Singularities of Gravitational Collapse and Cosmology. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, vol 314, issue 1519, p. 529-548. 1970.
- [3] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [4] MOREIRA, Marco A. O modelo Padrão da Física de Partículas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 1-11, 2009.
- [5] TYSON, Neil deGrasse. *Astrofísica para apressados*. Trad. Alexandre Martins. São Paulo: Planeta, 2017.
- [6] CHUNG, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.
- [7] ZIEBELL, Luiz Fernando. *O quarto estado da matéria*. Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, p. 30, 2004.
- [8] "The Nobel Prize in Physics 1978". Nobelprize.org. Nobel Media AB 2014. Web. 1 Aug 2018.
<http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1978/index.html>
- [9] ALPHER, Ralph A.; HERMAN, Robert. Evolution of the Universe. *Nature*, v. 162, n. 4124, p. 774, 1948.
- [10] PENZIAS, Arno A.; WILSON, Robert Woodrow. A measurement of excess antenna temperature at 4080 Mc/s. *The Astrophysical Journal*, v. 142, p. 419-421, 1965.
- [11] DICKE, Robert H. et al. Cosmic Black-Body Radiation. *The Astrophysical Journal*, v. 142, p. 414-419, 1965.

CAPÍTULO 2

ILUMINANDO O COSMOS

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

12 de janeiro - 17 horas, 44 minutos e 46 segundos - 480 milhões de anos

A RCF nos dá indícios de como foi distribuída a matéria no espaço. Satélites como o COBE (Cosmic Background Explorer) lançado em 1989, WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) lançado em 2001 e até mesmo o mais recente, o satélite Planck em 2009 apresentam dados de que a distribuição da matéria não foi igual no espaço depois da era da recombinação. A justificativa para isso é, que durante este tempo a matéria e a radiação estavam à mesma temperatura e com isso, qualquer desigualdade na distribuição uniforme da matéria iria influenciar na distribuição da radiação. Partindo disso, na RCF temos pequenas variações na temperatura e estas pequenas variações permitem a formação de estruturas como galáxias, planetas, estrelas e outros. Os delatores deste fenômeno são os fótons desta época, pois, se eles estivessem em uma região mais densa que as demais, uma parte de sua energia seria gasta para escapar do campo gravitacional. Desta maneira, eles carregam informações sobre a disposição da matéria no espaço [1].

A formação do Universo como conhecemos inicia aqui, algo como uma nebulosa primitiva. Nebulosas, que vem do latim “nebula” ou “nuvem”, são regiões no espaço contendo hidrogênio, hélio, moléculas e gases ionizados (plasma). Contudo, nesta nebulosa pioneira a sua composição é de elementos leves como hidrogênio, hélio, lítio e outros. As nebulosas podem ser consideradas tanto como um berçário de estrelas ou o cadáver de uma estrela. Um berçário pelo simples motivo de ser uma região de constante formação estelar; quando partes de seu material começam a se juntar devido à gravidade, iniciando o processo de formação de uma estrela. E também um cadáver devido ao resultado do fim de vida estelar, quando no processo final a estrela não consegue formar elementos mais pesados e explode jogando sua matéria química pelo espaço.

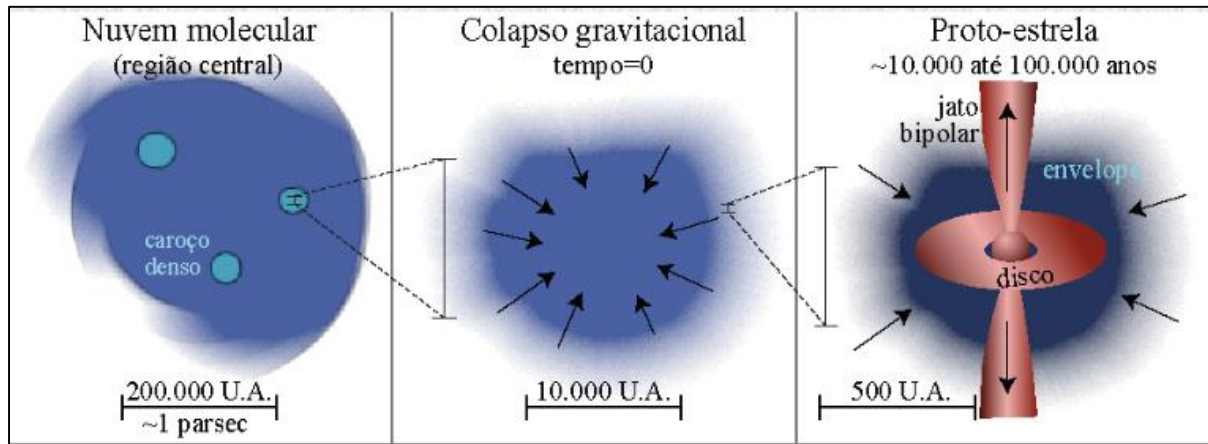
As nebulosas podem tomar diversas formas. Assim como as nuvens do céu, possuem movimento e com isso algumas mudam de formato. Outras tem um movimento tão lento que a sua mudança é imperceptível, podendo até dizer que são estáticas. Hoje sabemos que existem vários tipos de nebulosas como, por exemplo, nebulosas de emissão, reflexão, difusas e até mesmo escuras.

A partir deste período, o processo de formação das primeiras estrelas começa. Evidências indicam que a estrela mais velha, até agora descoberta, tenha cerca de 13,2 bilhões de ano [2], portanto, pode-se entender que as primeiras estrelas nasceram em torno de 500 milhões de anos depois do Big Bang. O estágio do nascimento de uma estrela é considerado violento, caótico e este processo pode levar alguns milhões de anos. As primeiras estrelas formadas são classificadas como estrelas de primeira geração e são as responsáveis pelo pontapé inicial. Comparando com o Sol, estas primeiras estrelas eram superiores em proporções de centenas e até milhares de vezes a massa, tamanho e temperatura. Estima-se que a vida das primeiras estrelas tenha sido alguns milhões de anos devido a quantidade de matéria que possuíam. Tratando-se de estrelas, a massa é um fator fundamental. É a massa que controla o seu tempo de vida, o seu brilho, a temperatura e o desfecho de morte.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Os modelos de formação estelar apontam que o nascimento de uma estrela se inicia a partir de leves alterações no equilíbrio de uma nebulosa (gravitacional, térmico, cinético e etc.) [1]. Qualquer perturbação neste meio faz que a nebulosa comece a se compactar. Sendo a temperatura em uma nebulosa extremamente baixa, cerca de 10 a 20 kelvin, a matéria se condensa formando moléculas, favorecendo assim a aglomeração da massa e aumentando a sua densidade.

Figura 01: Formação estelar a partir de uma nebulosa



Fonte: <https://bit.ly/2TRoBZS>

Sob influência da gravidade, cada vez mais o material da nebulosa se compacta. Com cada vez mais matéria se aglomerando, surge a formação de um disco de acreção. Denominação dada pelo fato da matéria continuar a “cair” no centro, lugar mais denso do sistema e também por iniciar um movimento de rotação. A consequência deste fenômeno é o surgimento de uma proto-estrela, que fica no centro deste conjunto e inicialmente tem algo em torno de 1% de sua massa final.

Com o passar do tempo, a proto-estrela ganha cada vez mais massa devido a sua influência gravitacional, e como consequência, a sua temperatura e pressão aumentam. A queda de matéria em direção ao centro termina quando se inicia o processo de fusão termonuclear. E junto com isso, parte da matéria é ionizada e lançada para fora da proto-estrela produzindo jatos bipolares [1].

Com o começo da fusão termonuclear é dado início à sequência principal. Agora a proto-estrela já tem temperatura suficiente para fundir o hidrogênio em hélio, e com isso passa a ser uma estrela jovem. A sequência principal é o maior e principal período de uma estrela. É o momento quando a estrela atinge a capacidade de produzir fusões nucleares em seu núcleo, e termina quando a mesma não consegue mais fundir o hidrogênio em hélio. Durante a sequência principal, a estrela irá converter hidrogênio em hélio e o tempo de duração deste processo depende exclusivamente de sua massa. Após a sequência principal, a estrela evolui para uma gigante convertendo hélio em carbono e adiante em supergigante, quando o carbono é transformado em ferro. As possíveis evoluções das estrelas serão discutidas mais à frente.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

14 de janeiro - 13 horas, 36 minutos e 21 segundos - 550 Milhões de anos

Já se passaram 70 milhões de anos desde a nossa última parada, ou quase dois dias no nosso calendário. As estrelas no Universo podem ser observadas com um pouco mais de meio bilhão de vida, a luz percorre todo esse espaço deixando a ‘era das trevas’ para trás. Recordações deste período serão poucas, as estrelas maiores irão morrer em pouco tempo, as menores, em menor número, somente algumas irão sobreviver para contar a história até os dias atuais.

Estrelas são esferas de plasma incandescente, uma bola gigante de gás ionizado superaquecido. Sua vida começa a partir do momento em que a proto-estrela aquece o suficiente para começar a realizar fusões nucleares em seu núcleo, ou seja, a produção de átomos cada vez mais pesados. Podemos dizer que as estrelas são simples reatores nucleares astronômicos, emitindo energia de seu núcleo. Mas para a sua sobrevivência precisam de mais algumas condições, como por exemplo de um equilíbrio hidrostático, isto é, as estrelas necessitam de uma estabilidade entre a sua própria gravidade e a pressão exercida pelo gás em seu núcleo. Este equilíbrio hidrostático é um “cabo de guerra” entre as forças que agem sobre as estrelas, sendo a força gravitacional para dentro e a força da pressão para fora.

Porém, nem todas as proto-estrelas conseguem tal proeza, uma vez que a massa é o fator fundamental nesta equação. Se tomamos o nosso Sol como referência de massa e analisarmos algumas estrelas, vamos notar que, não somente a massa influencia na questão do tempo de vida, mas também no seu desfecho, envolvendo temperatura e brilho. De acordo com a sua massa podemos definir o seu futuro se tornando uma estrela anã branca, um buraco negro ou uma estrela de nêutron. Da mesma maneira, o brilho e a temperatura de uma estrela também será definido pela sua massa, uma vez que os corpos estelares mais massivos são mais quentes e luminosos (cores branca, azul), enquanto as menores são mais frias e menos luminosas (cores vermelho, laranja).

Para uma proto-estrela conseguir se tornar uma estrela, isto é, realizar fusões nucleares, ela necessita que seu núcleo atinja a temperatura de 8 milhões de kelvin. Todavia, para atingir este objetivo, a proto-estrela precisa ter ao menos 10% da massa do Sol, o que corresponde, por exemplo, a um pouco mais de 70 vezes a massa de Júpiter [1].

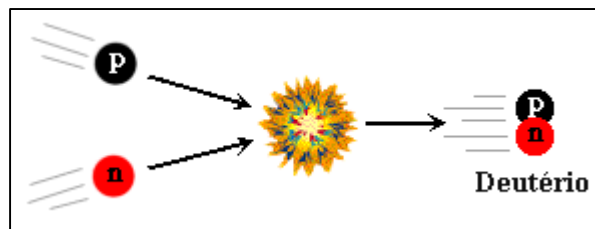
A grande fonte de energia de uma estrela é a fusão nuclear e consiste em uma ideia bem simples: a união de núcleos atômicos. A estrela, sob ação da própria gravidade, se comprime a ponto de superaquecer o seu núcleo. A temperatura atingindo os 8 milhões de kelvin inicia este processo que só termina ao final de sua vida. Hans Albrecht Bethe (1906-2005) desvendou esse mistério no artigo intitulado *A Produção de Energia nas Estrelas* [3] de 1939, e que lhe rendeu o prêmio Nobel em 1967. Hans Bethe utilizou para explicar esta produção de energia, uma cadeia de reações que envolve carbono e nitrogênio, conhecida como “Ciclo do Carbono”. No

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

entanto, neste momento usaremos como exemplo um modelo mais simples mas que envolve o mesmo raciocínio.

Albert Einstein (1879-1955) mostrou que matéria pode ser convertida em energia e vice-versa. Então, tomando por exemplo a união entre um próton e um nêutron, o resultado desta junção será a formação de deutério, um hidrogênio mais pesado (um próton e um nêutron). Contudo, se somarmos a massa do próton com a do nêutron e compararmos com o deutério veremos que há uma diferença. O deutério é um pouco mais leve do que o próton e nêutron juntos e com isso, esta diferença de massa é a energia convertida. Essa porção de matéria, mesmo que mínima, ao ser convertida em energia é liberada na forma de radiação explicando assim o brilho das estrelas. No processo de criação do deutério, a energia liberada é milhões de vezes maior que em uma grama de carvão. E no caso do Sol, o processo que existe é a conversão de milhões de toneladas de hidrogênio em hélio. Neste processo de converter hidrogênio em hélio, a energia liberada é muito maior que a formação do deutério. A energia que o Sol converte em um segundo é equivalente à 5 trilhões de bombas de hidrogênio - a bomba atômica mais destrutiva que conhecemos [1][4].

Figura 02: Fusão próton-nêutron



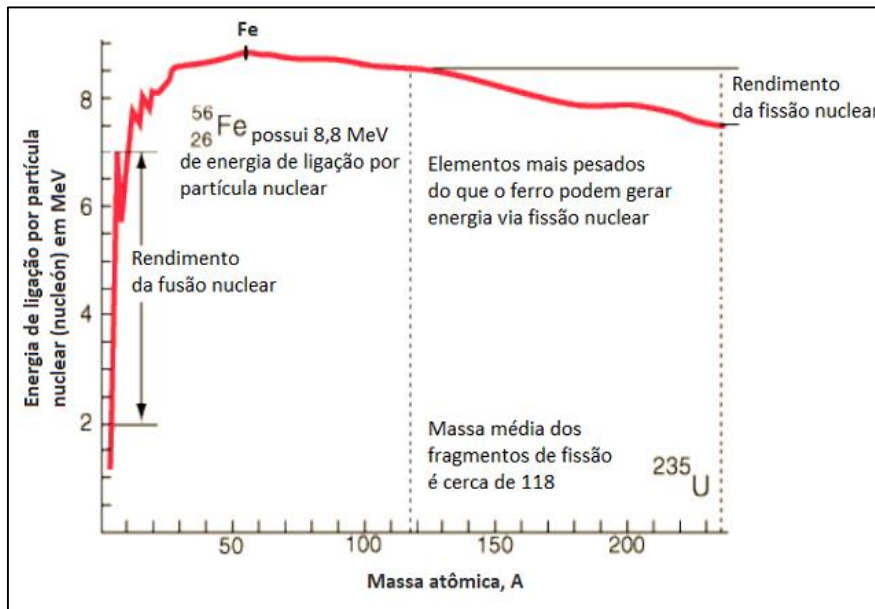
Fonte: <https://bit.ly/2TaZoXV>

Diferentes estrelas poderão ter diferentes processos de fusão nuclear. As mais simples e com menor massa que o Sol, somente conseguiram em sua vida transformar o hidrogênio em hélio, outras um pouco mais pesadas, só conseguiram converter a sua massa em carbono e oxigênio. Algumas estrelas produziram silício e enxofre e as mais massivas e com maiores temperaturas conseguiram formar somente até o ferro.

A partir da formação do ferro, as estrelas com maior massa não conseguem mais atingir temperaturas o suficiente para continuar a transmutação de elementos e, com isso, termina a sua vida explodindo como uma nova ou supernova. Os átomos mais pesados que o ferro, são somente formados nos eventos como estes, onde em alguns instantes de tempo, núcleos atômicos conseguem capturar nêutrons e isso ocasiona a fabricação tais átomos pesados [1][4].

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Figura 03: Rendimento fusão/fissão nuclear

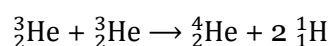
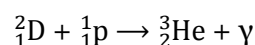
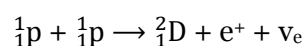


Fonte: <https://bit.ly/2CnjGYP>

Para descrever cada estrela usaremos o fator massa. Para tanto, iniciaremos falando daquelas com massas pequenas e prosseguindo com o aumento gradativo. Como já mencionado, a primeira etapa da formação é a proto-estrela e caso sua massa não chegue a 10% da massa do Sol, ela não realiza fusões em seu núcleo. Assim, o seu destino é ser uma anã marrom.

As anãs marrons possuem massa menor que o Sol, porém é maior que a de um planeta. Por não conseguir realizar fusão nuclear, são consideradas estrelas frustrada. Na sua composição pode-se encontrar hidrogênio, hélio e demais elementos. Também possuem altas temperaturas e com isso ganha uma pequena luminosidade na cor avermelhada. Contudo, ao longo do tempo, sua temperatura vai diminuindo e com isso seu pequeno brilho deixa de existir. No futuro, a anã marrom se torna uma anã preta, um objeto astronômico com tamanho semelhante ao planeta Júpiter e sem brilho.

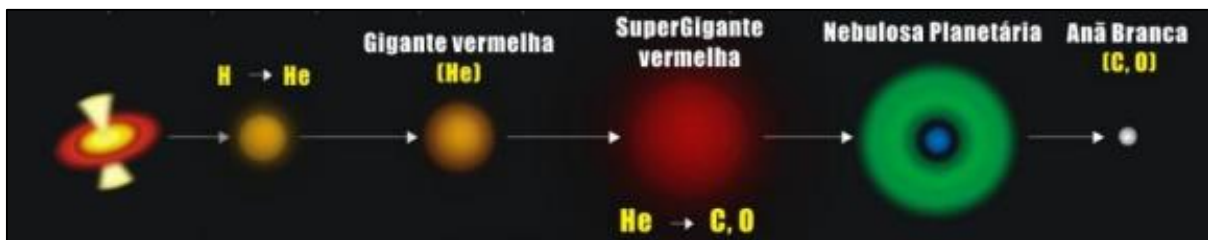
Estrelas com massa entre 10% e até 50% conseguem realizar fusões, porém somente há transformação de hidrogênio em hélio. Estas estrelas ganham o nome de anãs vermelhas. São corpos estelares frios (em relação ao Sol) e com brilho fraco. O futuro destes tipos de estrela é tornar uma gigante vermelha, quando terminar a fusão de hidrogênio em hélio. Neste processo, o seu tamanho irá aumentar, porém, não irá conseguir atingir temperatura o suficiente para converter o hélio. À vista disso, até o fim de sua vida irá se comprimindo até se tornar uma anã branca com sua composição majoritariamente em hélio [1][5].



Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

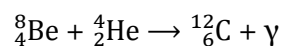
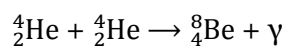
Agora, estrelas entre a metade e até 8 vezes a massa do Sol terão um final de vida semelhante. A sua evolução será, em primeiro momento, a transformação do hidrogênio em hélio. Quando acabar a fusão do hidrogênio e somente sobrar o hélio em seu núcleo, o equilíbrio entre a gravidade e a pressão deixa de existir. A partir disso, a estrela se contrai e o núcleo aumenta de temperatura. Com este aumento de temperatura, a luminosidade da estrela aumenta também. A contração somente termina quando o núcleo atinge temperatura o suficiente para começar a fusão do hélio em carbono e pequenas porções de oxigênio. Com a fusão do hélio, a energia liberada pela estrela é maior do que antes e, devido a isso, a pressão aumenta. As camadas mais externas da estrela se reajustam e este reajuste se dá com o aumento do seu tamanho. Conseqüentemente, com o aumento de tamanho, a temperatura na sua superfície diminui. Este processo de reajuste cessa quando ocorre o equilíbrio entre gravidade e pressão novamente. Esta fase de gigante vermelha irá durar até que o estoque de hélio acabe.

Figura 04: Evolução estelar de uma estrela com massa entre 0,5MSol até 8MSol



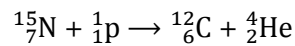
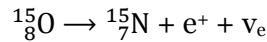
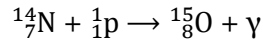
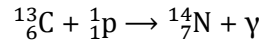
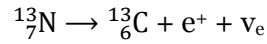
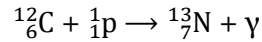
Fonte: <https://bit.ly/2JlrNLI>

Após a transformação do hélio em carbono e algumas pequenas partes em oxigênio, a estrela novamente se contrai e o processo se repete porém não chega ao seu final. Estrelas deste tipo não tem condições para realizar a fusão do carbono. E como as estrelas anteriores, termina a sua vida como uma anã branca formada por carbono e oxigênio. Dos seus últimos atos, as camadas exteriores serão ejetadas formando uma nebulosa planetária.



Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Neste momento podemos voltar ao ciclo do carbono. Aqui envolve o carbono, nitrogênio e oxigênio como catalisadores, dominante como fonte de energia da estrela [1].



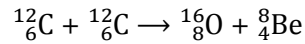
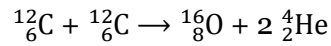
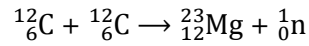
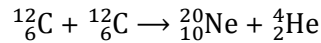
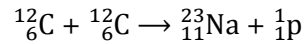
As anãs brancas são o fim de vida de uma estrela, aquele momento quando não consegue mais produzir energia nuclear. Contudo, por ser remanescente do núcleo de uma estrela, as anãs brancas possuem uma densidade e temperatura extremamente alta. Seu tamanho é semelhante à Terra, porém sua massa é equivalente à do Sol. Ainda que exista temperaturas e pressões altíssimas nestas estrelas, ainda não é o suficiente para dar início às fusões nucleares. O que resta para estas estrelas ao longo de milhares e até bilhões de anos é brilharem, devido a energia interna restante, e esfriarem até o ponto de se tornarem anãs pretas.

No caso das anãs brancas, a gravidade é contrabalançada pela pressão de degenerescência, isto é, este ponto a matéria está em um estado chamado “degenerado”, onde os elétrons não estão mais livres e sim, espremidos contra os núcleos atômicos. Devido a isto, os efeitos quânticos passam a atuar, e então, os elétrons passam a vibrar e esta energia contrabalança a gravidade, impedindo que a anã colapse. A anã irá esfriar pelo processo de radiação (emitindo luz) ou a emissão de neutrinos, quando raios gama produzem pares de neutrinos que escapam da anã levando energia. Ao passo que esfria, em seu núcleo pode formar uma estrutura organizada, liberando radiação. Isso ocorre quando a temperatura atinge um valor crítico e é chamado de “cristalização”. Após um longo tempo, quando quase toda a sua energia interna é irradiada, a anã branca se torna um corpo frio, sólido e cristalizado, denominado de “anã preta” [1].

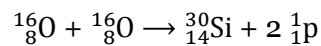
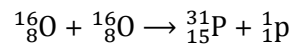
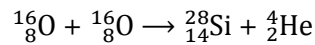
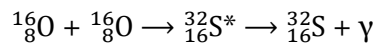
Estrela mais massiva, entre 8 e 25 vezes a massa do Sol, como todas as outras passam pelos mesmos processos porém evoluem muito mais rápido. Iniciaram a fusão de hidrogênio em hélio, como uma estrela normal e na cor azul. Passam do hélio para carbono e oxigênio, como uma gigante vermelha. Se transformam em uma supergigante vermelha e realizam a fusão do carbono e oxigênio em neônio, magnésio, silício até o ferro.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

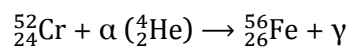
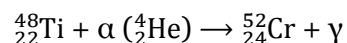
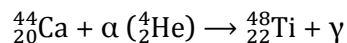
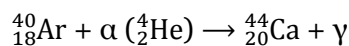
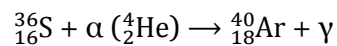
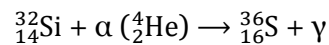
Queima do carbono [1]



Queima do oxigênio [1]



Ao produzir em seu núcleo átomos de ferro, a estrela chega a um momento crítico de sua vida. Diferentes dos outros elementos, o ferro absorve a energia produzida pela estrela e também não consegue ser fundido. A origem dos elementos a partir do oxigênio se dá pela captura de uma partícula alfa (${}^4_2\text{He}$) pelo núcleo atômico [5].

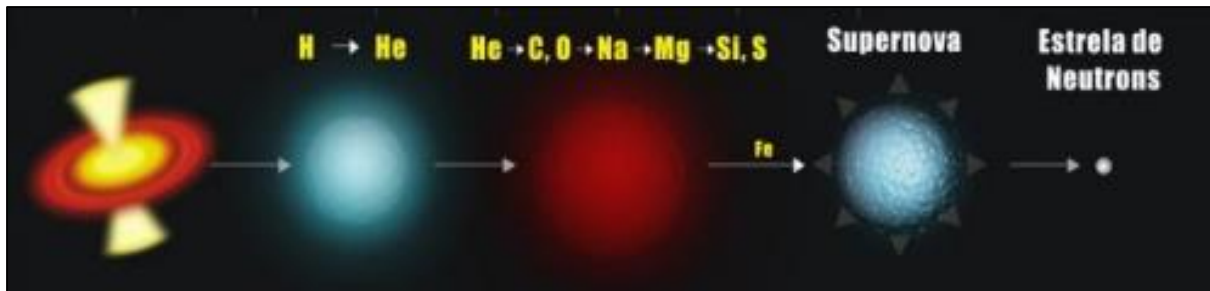


A consequência disto é a existência de um desbalanço de energia, o cabo de guerra do equilíbrio hidrostático começa a ficar do lado da gravidade, as camadas exteriores da estrela são comprimidas em direção ao centro e o caroço de ferro recém-

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

formado rebate estas investidas ejetando matéria com velocidades extremamente altas para fora da estrela. Este fenômeno é chamado de supernova.

Figura 05: Evolução estelar de uma estrela com massa entre 8MSol até 25MSol



Fonte: <https://bit.ly/2JlrNLI>

Supernova é nome dado ao fenômeno quando uma estrela explode terminando a sua vida. Isto ocorre quando uma estrela forma em seu núcleo átomos de ferro, finalizando o processo de fusão nuclear. A partir deste momento, é liberada tanta energia que a supernova brilha ao equivalente à uma galáxia. Os elementos mais pesados que o ferro são formados neste processo devido às altas energias envolvidas. Este processo é tão rápido que somente com supercomputadores para simular [1].

Estrelas de nêutrons são o estágio final de corpos estelares deste tipo. Após a supernova, os resíduos lançados ao espaço podem ser reaproveitados e formarem novos sistemas, estrelas, planetas e etc. No seu centro, caso não ocorra disrupção total, isto é, um colapso gravitacional, se encontra uma estrela de nêutrons. Devido à força gravitacional intensa, elétrons e prótons são comprimidos e com isso, são obrigados a se unir e formar nêutrons e neutrinos. Sendo as estrelas mais densas e menores que conhecemos, estrelas de nêutron possuem raio de dezenas de quilômetros (muito menor que a Terra), contudo, a sua temperatura na superfície atinge facilmente os 50 mil kelvin [1].

Composta por matéria degenerada, em uma estrela de nêutrons, a distância média entre os nêutrons é de um fentômetro (10^{-15}m) ou igual ao tamanho de um nêutron. Por ter um raio pequeno, este astro não brilha o suficiente para ser notado. Assim como as anãs brancas, evidenciam uma relação do seu raio com a massa. Esta relação aponta para que quanto maior a massa de uma estrela de nêutrons, menor será o seu raio. Modelos apontam que o núcleo seja formado por um caroço superdenso com nêutrons superfluidos e prótons supercondutores, logo acima, um manto com nêutrons superfluidos e a crosta com elétrons e átomos de ferro. Em virtude de seu tamanho pequeno, giram com altas velocidades e com isso, surge um efeito parecido a de um dínamo, produzindo um campo magnético como a Terra [1].

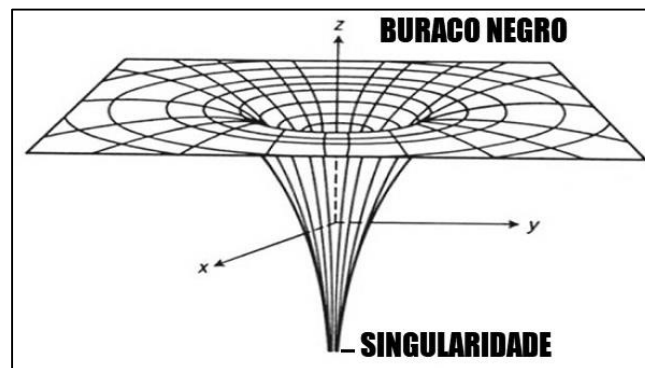
Os corpos estelares com 25 vezes a massa do Sol terão um desfecho um tanto pior que é a formação de um buraco negro. No início começaram como estrelas azuis, contudo, não existe um marco para reconhecer as fases de gigantes e supergigantes, bem como a fusão do hélio, carbono, neônio e demais átomos. Este período é contínuo

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

e imperceptível. Estrelas deste tipo passam pela fase chamada “Wolf-Rayet” em que seu brilho varia e é formado um envoltório de poeira ejetado devido às pressões da radiação. A vida destas estrelas é relativamente curta, não chegando à centena de milhões de anos. Com a formação de ferro em seu núcleo, a estrela entra em colapso. As camadas da superfície caem em direção ao núcleo e são ejetadas para fora da estrela ao bater com o núcleo de ferro, disso resulta em uma supernova, formando um buraco negro em seu centro. Por causa de sua composição, não existe nada para contrabalançar a gravidade, o que leva a colapso gravitacional, onde a força gravitacional é tão forte que nem mesmo a luz consegue escapar.

Como a luz não consegue escapar do intenso campo gravitacional, surge o que conhecemos como “buraco negro”. O nome é decorrente do fato de que nesta região do espaço nenhuma informação sai e não em virtude de sua aparência, como porventura se possa imaginar. Se pudessemos olhar para um buraco negro, veríamos uma região negra no espaço, mas não um buraco negro em si. O que veríamos seria a sua influência gravitacional deformando o espaço-tempo ao seu redor, e em alguns casos, uma porção de matéria orbitando ao seu redor.

Figura 06: Buraco Negro sob perspectiva da relatividade (visão 2D)



Fonte: <https://bit.ly/2TgCpuM>

A melhor “imagem” de um buraco negro é a utilizada no filme *Interestelar*², onde seus autores e diretores contaram com a ajuda de físicos para tentar reproduzir esta região. Dessa maneira, a aparência do Gargantua (como é chamado o buraco negro do filme) é de uma esfera escura no espaço com matéria orbitando ao seu redor. Com o efeito da distorção do espaço, a matéria que orbita o Gargantua é possível ser vista em um mesmo plano e passando acima do buraco negro. Mas isso é apenas uma ilusão de óptica, pois existe apenas uma órbita.

Sob a perspectiva da Relatividade, os buracos negros são lugares no Universo onde o tecido do espaço-tempo está extremamente distorcido. A matéria está tão compactada em uma região do espaço tão infinitamente pequena que desaparece dando origem a uma singularidade. A singularidade é o coração do buraco negro, um lugar onde não existe espaço e tempo. Todavia, existe uma região chamada “horizonte

² *Interestelar*, Christopher Nolan, Paramount Pictures & Warner Bros. Pictures, 2014.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

de evento” que é marcada como o começo do buraco negro e o ponto-limite onde a informação consegue sair do astro [4].

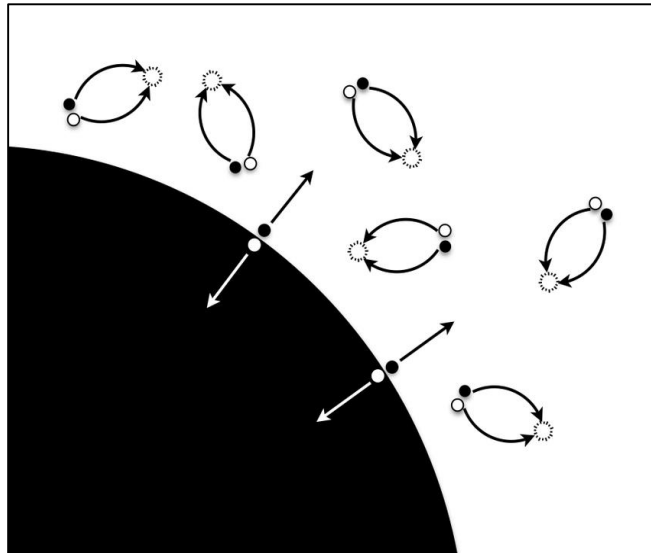
Acreditava-se que com isso nenhuma informação poderia sair do buraco negro e a informação que adentrasse nele era perdida. Contudo, em 1974, Stephen Hawking inferiu que, de uma certa forma, buracos negros emitem radiação e essa radiação emitida teria relação com a massa do buraco negro [6][7][8]. Inicialmente, buracos negros não tão massivos teoricamente iriam emitir mais radiação do que absorver. E como um sistema qualquer, os buracos negros menos massivos teriam a temperatura maior do que a radiação cósmica de fundo, e assim, iriam ceder a sua energia para o meio. Estando a temperatura relacionada em uma proporção inversa com a massa, a previsão é de que buracos negros ao longo do tempo irão evaporar e deixar de existir. Hawking embasa o seu argumento primeiro no *Princípio da Incerteza* formulado por Werner Heisenberg (1901-1976).

O Princípio da Incerteza nos diz que é inviável conhecer ao mesmo tempo duas propriedades de uma partícula, no caso, a sua posição no espaço e a sua velocidade. Então, caso conhecemos uma das propriedades da partícula, a outra por consequência teria uma imprecisão na sua medida, ou vice-versa. Em outras palavras, se conhecemos bem a posição de uma partícula, a sua velocidade será imprecisa. As duas propriedades estão ligadas ao passo que, quando uma cresce a outra decresce e vice-versa. Desta maneira, o resultado do produto das duas propriedades sempre será maior ou igual a um mínimo de energia. A consequência deste princípio é a flutuação quântica no vácuo, que acontece para manter a propriedade da incerteza. Isto configura uma dúvida, uma probabilidade, de existir ou não, no caso uma partícula, em uma determinada região do Universo. À vista disso, pares de partículas e antipartículas são produzidos em tempos extremamente curtos. Como a sua duração é extremamente curta, estes tipos partículas são considerados “virtuais”. As partículas virtuais não violam as leis da Física, pois respeitam o Princípio da Incerteza. Mas, elas contribuem para a “energia de ponto zero”, isto é, uma região no espaço com a menor quantidade de energia possível.

Ocorrendo este fenômeno de flutuação quântica na região do horizonte de evento, existe a probabilidade que uma destas partículas cair no buraco negro e a outra consiga escapar, forçando que ela se torne real e deixe se der virtual. Considerando que a antipartícula adentre o buraco negro, ela irá interagir com uma partícula e se aniquilar, fazendo assim, o buraco negro perder massa. A partícula que escapa do horizonte de evento é o que chamamos de “radiação Hawking”. Todavia, para acontecer a evaporação de um buraco negro seria necessário mais tempo que a própria idade do Universo.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

Figura 07: Radiação Hawking - criação-aniquilação de partículas perto da borda de um buraco negro



Fonte: <https://bit.ly/2O8eZXi>

O que relatamos até aqui, possivelmente, representa duas semanas de vida no nosso calendário - um pequena ponta do iceberg. Estes objetos representam uma parte do que realmente existe no Universo hoje. Neste instante de tempo que passou, estes diversos corpos astronômicos irão influenciar o futuro, de uma forma tão aleatória que é difícil assinalar se é sorte ou mera casualidade onde estamos hoje. No futuro outros objetos irão se formar, como planetas, asteróides, cometas e etc. Estruturas gigantescas como galáxias, aglomerados e grupos locais serão criadas por obra simples da Natureza.

REFERÊNCIA

- [1] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [2] FREBEL, Anna et al. Discovery of HE 1523–0901, a Strongly r-Process-enhanced Metal-poor Star with Detected Uranium. *The Astrophysical Journal*. v. 660, n. 2, 2007.
- [3] BETHE, Hans Albrecht. Energy production in stars. *Physical Review*, v. 55, n. 5, p. 434, 1939.
- [4] TYSON, Neil deGrasse. *Astrofísica para apressados*. Trad. Alexandre Martins. São Paulo: Planeta, 2017.
- [5] CHUNG, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.

Capítulo 2 – Iluminando o Cosmos

[6] HAWKING, Stephen W. *Uma breve história do tempo*. Trad. Cássio de Arantes Leite. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2015.

[7] HAWKING, Stephen W. Particle creation by black holes. *Communications in mathematical physics*, v. 43, n. 3, p. 199-220, 1975.

[8] HAWKING, Stephen W. *O universo numa casca de noz*. Trad. Cássio de Arantes Leite. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2016.

CAPÍTULO 3

SOBRE SER PEQUENO

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

26 de janeiro - 10 horas, 55 minutos e 14 segundos - 1 bilhão de anos

Estamos na iminência de terminar o primeiro mês do calendário e o que presenciamos até aqui representa o primeiro bilhão de anos do Universo. Desta forma, no ponto onde nos encontramos podemos dizer que algumas estrelas já morreram e jogaram no espaço as suas vísceras enriquecidas quimicamente formando novas nebulosas. Também neste mesmo cenário é possível a existência de algumas diferentes estrelas, a formação de uma segunda geração estelar, bem como a presença de buracos negros, estrelas de nêutrons e anã brancas.

Este período é marcado pelo início da formação das galáxias [1](termo que vem do grego “galaxias kyklos” e significa “caminho de leite” por referência a nossa Via Láctea). Elas são aglomerados de gás, poeira, nebulosas, estrelas, planetas, luas e demais objetos astronômicos, podendo ter diferente tamanhos e englobar de milhões à trilhões estrelas, com isso, se torna incalculável, e até mesmo inimaginável, a quantidade de objetos em uma única galáxia. O fator gravitacional é o que mantém uma galáxia coesa, porém, evidências indicam que grande parte da gravidade de uma galáxia é promovida pela matéria escura, isto é, uma matéria que só interage pela gravidade [2].

A galáxia que abriga o sistema solar e onde nos encontramos é chamada Via Láctea, o seu tamanho aproximado é de 100 mil anos-luz (de uma extremidade a outra), sendo que o sistema solar está aproximadamente 30 mil anos-luz de distância de seu centro [3]. Com idade aproximada de 13 bilhões de anos, acredita-se que ela se formou junto com as outras galáxias. Localizada na constelação de Sagitário, ela pode ser vista em lugares com pouca iluminação. Identificada como uma faixa luminosa no céu, de intensidade fraca, porém bem nítida, o seu nome é devido esta característica, um caminho de leite jorrado que se prolonga ao céu estrelado.

As galáxias só ganharam aspecto independente com Edwin Hubble, pois os astrônomos anteriores tinham dúvidas em relação a estes objetos. A descrição de alguns objetos estavam corretos como aglomerados estelar, porém outras, tinha a definição de nebulosas gasosas, contudo, a natureza das maiorias destes objetos ainda estava sem explicação. Em 1923, Hubble analisando a estrela Cefeida, que fazia parte da “nebulosa” de Andrômeda, conseguiu medir a sua distância. O dado indicava que a estrela se localizava à mais de 2 milhões de anos-luz, o que estava além dos limites da Via Láctea. Desta forma, ficou constatado que a “nebulosa” de Andrômeda, onde se localiza a estrela, é um sistema independente e, portanto, uma galáxia. Hubble também foi o pioneiro na classificação das galáxias e seus esquemas são utilizados até hoje, como indicado no seu livro *The Realm of the Nebulae* [4] de 1936.

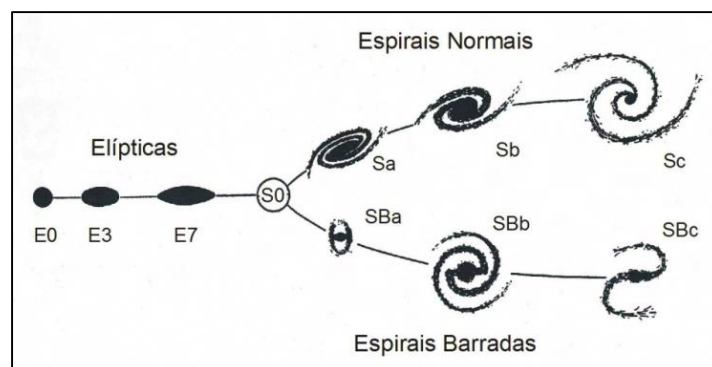
Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

Março

20 de março - 08 horas, 45 minutos e 42 segundos - 3 bilhões de anos

Nesse momento se passaram quase 80 dias e o universo ainda jovem, começa a formação dos aglomerados de galáxias [5]. Durante o mês de fevereiro não existe fenômenos que ainda não tenham sido descritos. São um pouco mais de 2 bilhões de anos sem uma novidade no Universo, somente a presença dominante de corpos estelares. Estes corpos estelares serão criados e desmanchados em um ciclo quase vicioso. Ao menos, já previsto, podemos dizer que o universo está mais rico quimicamente, porque com as diferentes gerações de estrelas, novos elementos foram fabricados. Sabemos que, seguindo a tabela periódica, o ferro é a parada final. Somente até o ferro é gerado nos núcleos estelares. Porém, com a morte de algumas estrelas específicas e os episódios onde acontece supernovas, alguns raros elementos são formados.

Figura 01: Tipos de galáxias



Fonte: <https://bit.ly/2W8aOom>

Podemos dizer que os aglomerados de galáxias se formaram junto com as galáxias, contudo, para descrevermos um “rosto” para as maiores estruturas do Universo, inevitavelmente temos que esperar um tempo realmente grande. Neste ponto em específico, quando o Universo atinge os 3 bilhões de anos de idade, enfim podemos descrever estas estruturas. Como o nome sugere, um aglomerado de galáxias é um grupo de galáxias que interagem entre si gravitacionalmente. O conteúdo de um grupo é exorbitante, podendo haver centenas até milhares de galáxias em um único grupo. As maiores ganham destaque como superaglomerados e foram descobertas a pouco tempo.

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

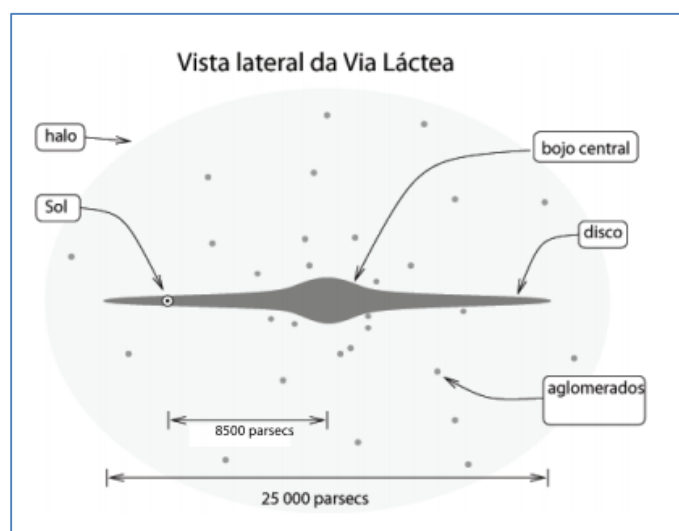
Setembro

02 de setembro - 05 horas, 56 minutos e 48 segundos - 9,2 bilhões de anos

Após o começo da formação dos aglomerados e superaglomerado - as maiores estruturas do Universo, passamos a focalizar nossa viagem em direção ao endereço atual. Para isso, necessitamos fazer um pulo de aproximadamente seis meses, ou um pouco mais de 6 bilhões de anos. Neste ponto, olhemos atentos a uma pequena região do Universo.

A região escolhida é o superaglomerado de Virgem. Afunilando mais um pouco, escolhemos o Grupo Local e dentro deste grupo, escolhemos uma simples galáxia: a Via Láctea. O que chama a atenção está em um dos braços desta galáxia, um lugar miúdo e insignificante, mas de grande importância para nós, mas onde uma pequena estrela, oriunda de outra, começa a se formar. Essa pequena estrela terá em sua órbita alguns planetas e em especial um, onde em um certo tempo existirá vida.

Figura 02: Estrutura da Via Láctea e a posição do Sol



Fonte: <https://bit.ly/2TNVdWz>

Com as últimas estimativas, entende-se que demoraram ao menos 9 bilhões de anos para que o Sol começasse a se formar. Hoje já sabemos que ele tem a idade aproximadamente de um pouco mais de 4,5 bilhões de anos [6]. Também sabemos que irá demorar os mesmos 4,5 bilhões de anos para que saia da sequência principal e evolua para uma gigante vermelha [2]. Um fato interessante é que devido a sua idade estimada, sabemos que o Sol deve ser uma estrela de segunda ou terceira geração, isto é, antes dele houveram ao menos uma estrela anterior. Com isso, os elementos que

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

podemos encontrar no Sol não são somente os exclusivos hidrogênio e hélio. Com a sua composição sendo de segunda ou terceira geração, mesmo que uma mísera (quase inexistente) parte, é possível encontrar ferro, silício, magnésio e outros átomos de elementos mais pesados.

Não diferente das outras estrelas, a formação do Sol é quase uma repetição do que já foi dito. Sendo assim, podemos imaginar que uma estrela chegou ao seu fim, espalhando pelo espaço toda a sua matéria. Esta matéria sabemos que contém diversos elementos pesados, porque na Terra encontramos estes elementos. Assim, sabemos que o fim desta estrela foi em uma supernova. Somente estes átomos pesados (como o urânio, rádio, plutônio e etc) são formados em supernovas. Então, partindo desta ideia inicial, dizemos que o sistema solar surgiu de uma nebulosa pós-supernova.

Ao longo da história da humanidade surgiram diversas tentativas para explicar a origem do sistema solar. René Descartes (1596-1650) talvez tenha sido o primeiro na tentativa de dar uma explicação científica ainda no século XVI. Dentro da teoria atual, Immanuel Kant (1724-1804) foi o que iniciou a argumentação a partir de uma nebulosa. A ideia é que o sistema solar teve começo de uma nuvem de gás e poeira, onde uma porção colossal (mais de 95%) desta matéria compõe o Sol e o restante, formou os demais corpos. Esta ideia teve suporte do matemático francês Pierre-Simon de Laplace (1749-1827), onde em seu livro *Exposition du Système du Monde* [7] desenvolveu a matemática para verificar se era sustentável este pensamento. Laplace verificou que, como todos os planetas estavam em um mesmo plano, como também giravam na mesma direção (tendo a exceção de Vênus), o sistema teria origem inevitavelmente de uma nebulosa de partículas em rotação. A versão moderna não se diferencia muito da ideia de Laplace, propondo que a nebulosa em rotação deu origem primeiro ao Sol e depois, ao demais objetos astronômicos.

O Sol é a estrela mais próxima que temos e como fonte de luz e vida, é a estrela que mais conhecemos. Sendo o maior corpo, ele contém 98% da massa do sistema, consegue influenciar, por meio de sua gravidade, objetos à um ano-luz de distância. Podemos falar que, a temperatura em seu núcleo atinge perto dos 15 milhões de kelvin, ao mesmo tempo que, na sua superfície, a temperatura é perto dos 6 mil kelvin.

Projeta-se o seu fim para daqui a 4,5 bilhões de anos, quando se tornará uma gigante vermelha. A sua fase de gigante vermelha terá uma duração de aproximadamente de 100 milhões de anos e depois desta fase, irá colapsar em uma supernova, formando uma nebulosa planetária com uma anã branca em seu centro, a qual poderá levar outros bilhões de anos até esfriar completamente. Durante a fase de transição da sequência principal para a gigante vermelha, o seu tamanho irá mudar. Espera-se que o Sol cresça passando da órbita da Terra, o que, por consequência, irá engolir Mercúrio, Vênus e a própria Terra.

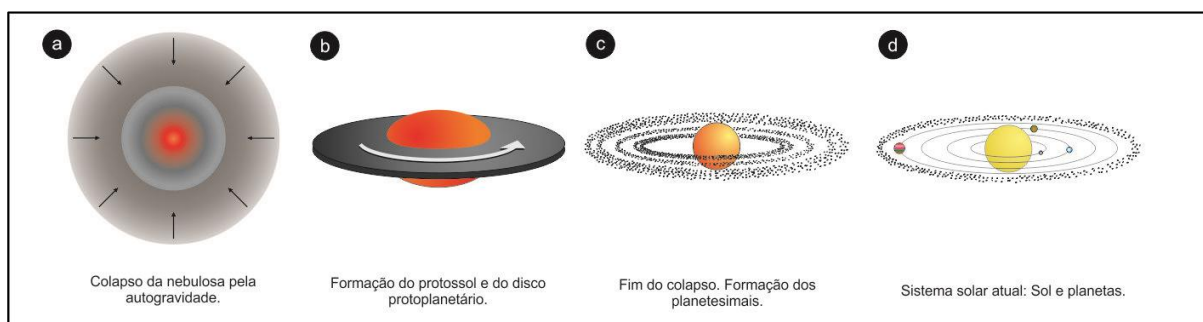
Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

05 de setembro - 10 horas, 24 minutos e 25 segundos - 9,32 bilhões de anos

Com o colapso gravitacional da nebulosa, inicialmente é formado o Sol e logo depois os planetas. Das melhores estimativas, acredita-se que o sistema solar tenha a idade aproximadamente de 4,5 bilhões de anos [8]. À vista disso, o nascimento do Sol durou ao menos 100 milhões de anos. Este tempo foi o necessário para que toda matéria agrupada fosse o suficiente para esquentar e iniciar as fusões nucleares. Após este processo, o Sol não adquire mais massa, contudo, ainda tem a existência do disco de matéria ao seu redor. Este disco esfria com o passar do tempo, o que contribui para a matéria se reunir em pequenos corpos.

E sob ação da gravidade, estes corpos começam a se unir em corpos maiores e recebem o nome de “planetesimais” devido as suas dimensões serem realmente pequenas em comparação aos planetas atuais. Estes planetesimais crescem conforme a sua distância em relação ao Sol: lugares mais distantes têm temperaturas mais baixas, contribuindo para que os elementos mais leves pudessem se condensar, enquanto, as regiões mais perto, com temperaturas mais altas, os elementos pesados conseguem permanecer em estado sólido e se unirem. Consequentemente, isso implica que os planetas mais internos são constituídos de elementos pesados, porém os seus tamanhos são relativamente pequenos. Ao passo de que os planetas mais distantes do Sol conseguem reunir mais matéria, formando planetas gigantes [2].

Figura 03: Formação dos planetesimais



Fonte: <https://bit.ly/2CBmBgH>

Dentro do sistema solar, utilizando como parâmetro o tamanho, iremos encontrar 8 planetas que estão assim dispostos em ordem de distância do Sol: Mercúrio, Vênus, Terra, Marte, Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Podemos diferenciá-los em duas categorias: terrestres e gasosos, sendo terrestres os quatro primeiros e gasosos (ou jovianos) os quatro últimos. Todos os planetas estão no mesmo plano do sistema, bem como a rotação em seu próprio eixo segue a mesma direção. Neste período em específico, acredita-se que todos os planetas tenham se formado na mesma época.

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

Decrescendo de tamanho, encontramos os planetas anões. Os planetas anões são corpos com massa o suficiente para terem forma esférica, contudo, sem uma grande influência gravitacional. Orbitando o Sol, podemos encontrar diversos objetos, mas estes em especial, não são tão significantes em tamanho e massa. O bastante lembrado é Plutão, que deixou de ser planeta em 2006 e desde que foi descoberto em 1930, ainda não completou um período orbital. Outros planetas anões são: Éris, Ceres, Haumea e Makemake. Eles podem ser encontrados em diversas regiões do sistema solar. Somente Ceres pode ser encontrado entre as órbitas dos planetas (Cinturão de Asteroides), os demais de encontrar além da órbita de Plutão (Cinturão de Kuiper).

Além dos planetas e do Sol, também fazem parte do sistema solar corpos menores. Estes corpos menores englobam as luas (satélites naturais), asteróides, cometas, meteoróides e todos os demais objetos que orbitam o Sol e os planetas. As luas, que são satélites naturais, são corpos relativamente pequenos que orbitam planetas e podem ser encontrados em diversos tamanhos que, em alguns casos, são maiores que outros planetas. O satélite natural mais conhecido é a Lua, e a sua origem ainda desperta a curiosidade dos pesquisadores. Normalmente, o número de lua de um planeta está ligado à sua massa, portanto, um planeta mais massivo, conseqüentemente, irá possuir mais luas.

Seguindo temos os asteroides, que são corpos um pouco menor que as luas, porém com órbita ao redor do Sol. Metálicos ou rochosos no geral, têm um formato irregular com diâmetro de alguns quilômetros. Na sua grande maioria, são encontrados no “Cinturão de Asteroides”, uma região entre as órbitas de Marte e Júpiter. Também é possível encontrar alguns asteroides fora desta órbita. Aqueles asteroides que se encontram no Cinturão, possuem uma órbita quase circular [2].

Outro grupo de corpos pequenos são os cometas. Suas órbitas normalmente são bem excêntricas, e não estão no mesmo plano como os demais objetos. Devido ao seu tamanho, como os asteroides, dificilmente são vistos à olho nú. Na sua composição podemos encontrar gelo, poeira e mais alguns compostos. Normalmente, os cometas se aproximam do Sol, e esta aproximação faz que o seu gelo em sua estrutura sublima. Esta sublimação resulta na produção de uma nuvem de gás e poeira ao redor do cometa [2].

Figura 04: Diferenças entre cometa, asteroide e meteoro



Fonte: <https://bit.ly/2FmjKtD>

Capítulo 3 – Sobre ser pequeno

Por últimos, temos os meteoroides, cujo tamanho não passa de centenas de metros e comumente são fragmentos de cometas ou asteroides. Passam a ser visíveis a olho nú quando a Terra consegue capturar algum pela força gravitacional, que ao adentrar a atmosfera, chamados este fenômeno de “meteoro”. E pelo atrito com a atmosfera, sua temperatura aumenta deixando um caminho brilhante pelo céu (são as famosas “estrelas cadentes”). Caso sobreviva, o meteoróide que atinge o solo é chamado de “meteorito”. Todo dia a Terra é cometida por diversos corpos vindos do espaço que, para nossa sorte, a grande maioria é de tamanho insignificante e muitas vezes são sobrevive ao atrito da atmosfera [2].

REFERÊNCIAS

- [1] SOBRAL, David et al. Evidence for PopIII-like stellar populations in the most luminous Ly α emitters at the epoch of reionization: spectroscopic confirmation. *The Astrophysical Journal*, v. 808, n. 2, p. 139, 2015.
- [2] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [3] BOEHLE, A. et al. An improved distance and mass estimate for Sgr A* from a multistar orbit analysis. *The Astrophysical Journal*, v. 830, n. 1, p. 17, 2016.
- [4] HUBBLE, Edwin Powell. *The realm of the nebulae*. Yale University Press, 1982.
- [5] CANAMERAS, R. et al. Planck’s dusty GEMS: The brightest gravitationally lensed galaxies discovered with the Planck all-sky survey. *Astronomy & Astrophysics*, v. 581, p. A105, 2015.
- [6] BONANNO, A.; SCHLATTL, H.; PATERNO, L. The age of the Sun and the relativistic corrections in the EOS. *Astronomy & Astrophysics*, v. 390, n. 3, p. 1115-1118, 2002.
- [7] MARQUIS DE LAPLACE, Pierre Simon. *Exposition du système du monde*. Bachelier, 1835.
- [8] BOUVIER, Audrey; WADHWA, Meenakshi. The age of the Solar System redefined by the oldest Pb–Pb age of a meteoritic inclusion. *Nature Geoscience*, v. 3, n. 9, p. 637, 2010.

CAPÍTULO 4



Capítulo 4 – Azul e verde

06 de setembro - 18 horas, 15 minutos e 55 segundos - 9,37 bilhões de anos

“Uma das grandes revelações da exploração espacial é a imagem da Terra, finita e solitária acomodando toda a espécie humana através dos oceanos do tempo e do espaço”

Carl Sagan (1934-1996)

Ainda que todos os planetas tenham se formado logo após o Sol, para falarmos da Terra em especial, precisamos dar um passo de 50 milhões de anos. Embora represente apenas um pouco mais de 24 horas em nosso calendário, vale mencionar que isso corresponde a um tempo maior que toda a existência da humanidade.

A Terra, o terceiro planeta em distância em relação ao sol, têm na sua estrutura a presença de elementos pesados, como ferro, níquel e outros. E até o final da sua formação irá sofrer diversos processos. Um sistema onde conseguimos encontrar milhares até milhões de organismos vivos. Sua distância em relação ao Sol é, em média, de 150 milhões de quilômetro, o que nos coloca em uma zona privilegiada em comparação aos demais planetas. A Terra leva 365 dias para completar uma volta ao redor do Sol e o seu dia tem duração de 24 horas. Ligeiramente maior que Vênus, a Terra possui características bem distintas, como por exemplo, a atmosfera e temperatura propícia para a vida. Em conjunto com o vasto oceano em sua superfície, que detêm a riqueza em elementos químicos.

Da estrutura dos planetas, os quatro primeiros ganham um aspecto rochoso (Mercúrio, Vênus, Terra e Marte), e os quatro últimos, são predominantemente constituídos por gases (Júpiter, Saturno, Urano e Netuno). Os terrestres são pequenos em tamanho e massa, com os valores próximos ao da Terra. A sua densidade é maior que os gasosos, superando significativamente em valores. Devido às estas características, a presença de satélites naturais é quase inexistente.

No caso dos planetas gasosos, seus tamanhos e massa são algumas centenas de vezes maiores em relação à Terra, porém, sua densidade é pequena, como Saturno, onde a sua densidade média é menor que a da água. O número de luas destes planetas é realmente grande, chegando a algumas dezenas [1].

Capítulo 4 – Azul e verde

08 de setembro - 2 horas, 7 minutos e 26 segundos - 9,42 bilhões de anos

“Este é um pequeno passo para o homem, mas um grande salto para a humanidade”

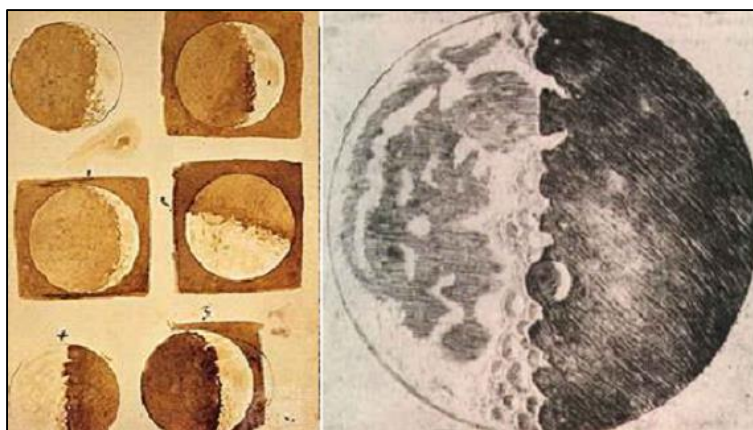
Neil Armstrong,

durante a missão Apollo 11 ao pisar na Lua em 1969

O objeto astronômico mais perto da Terra é a Lua, que fica cerca de 385 mil quilômetros da Terra e é o único astro que o ser humano pisou, além da Terra. Depois do Sol, é o objeto mais brilhante do céu. Sendo o único satélite natural da Terra, seu tamanho é, aproximadamente, quatro vezes menor do que nosso planeta.

Especula-se que a sua origem tenha sido entre 60 e 100 milhões de anos após a formação do sistema solar [2]. Ao olharmos para a Lua e para o Sol, temos a impressão de que ambos apresentam o mesmo tamanho. Essa sensação decorre do tamanho angular dos dois astros que é praticamente o mesmo, em virtude da Lua estar muito mais próxima da Terra que o Sol.

Figura 01: Desenhos da Lua feito por Galileu



Fonte: <https://bit.ly/2Csammj>

A principal teoria para a origem da Lua [3] (e a mais aceita atualmente) é que a Lua é o resultado de uma colisão de dois objetos: a Terra e um outro corpo chamado Theia. O período de formação da Terra, no início do sistema solar, é marcado pela intensa colisão entre corpos. Sendo assim, neste período a Terra sofreu com diversos choques de asteróides, meteoritos e dentre outros. Dentro destes acontecimentos, em especial acredita-se que Theia, um objeto astronômico do tamanho de Marte, tenha se chocado com a Terra. O choque entre Theia e a proto-Terra levou à fragmentação dos corpos [4]. Por ser no início de sua formação, a superfície da Terra não apresentava

Capítulo 4 – Azul e verde

uma crosta totalmente rochosa e, por isso, existia a presença de magma. Com a colisão, fragmentos da Terra foram jogadas ao espaço, enquanto, uma parte considerável de Theia fundiu-se com a Terra (parte principal do núcleo) e o restante foi jogado ao espaço. Entende-se que a colisão não ocorreu de maneira frontal, mas lateral. Os fragmentos jogados do espaço se aglutinaram sob a ação da gravidade e pouco a pouco formaram a Lua. Sobre a composição da Lua, ela revela que é quase idêntica à da Terra [5].

11 de setembro - o hora, 12 minutos e 4 segundos - 9,53 bilhões de anos

Dentro dos períodos geológicos estamos no período Hadeano, que consiste na formação da Terra, Lua, rochas e etc. Esse período corresponde ao primeiro e temos poucas informações desta época [6]. Sabemos, por exemplo, que a superfície da Terra foi tomada pelo magma, devido a intensa atividade vulcânica oriunda do núcleo e o choque de outros corpos advindos do sistema solar. Na atmosfera, sabemos que haviam indícios de água (H₂O), gás carbônico (CO₂), hidrogênio (H₂) e nitrogênio (N₂).

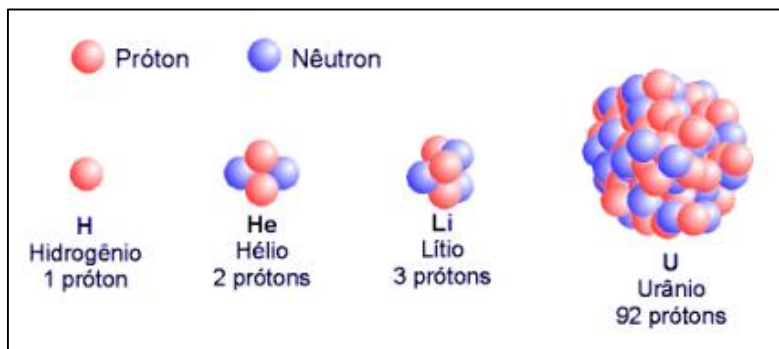
No entanto, na Austrália foi encontrado um fragmento de zircão e este fragmento foi datado aproximadamente 4,3 bilhões de anos. O zircão é um mineral composto de zircônio, silício e oxigênio (ZrSiO₄), se apresentando ao natural em diversas cores (vermelho, dourado e incolor). Sendo considerado atualmente como o mineral mais antigo do planeta Terra, a sua origem se situa próximo do fim do período Hadeano.

A estimativa da sua idade é possível em virtude da presença de isótopos de urânio (U-238 e U-235) e tório (Th-232), dois átomos radioativos, encontrados junto com o zircão. Em função da presença destes dois elementos (3 isótopos U-238, U-235, Th-232) e de acordo com a seu longo período de decaimento radioativo, o resultado final será a existência de dois isótopos de chumbo, Pb-206 e Pb-207 junto com o fragmento de zircão.

Para compreender como o processo de datação da estimativa da idade deste fragmento é feita, devemos primeiramente entender os fenômenos dos quais os elementos químicos sofrem. Inicialmente, olhamos para a tabela periódica, que representa uma organização sistemática dos elementos de acordo com o seu número atômico. Em outras palavras, cada elemento ganha uma posição na tabela de acordo com a quantidade de prótons existentes no seu núcleo atômico. Cada elemento é identificado essencialmente por meio deste número.

Capítulo 4 – Azul e verde

Figura 02: Número atômico



Fonte: <https://bit.ly/2sYRqqr>

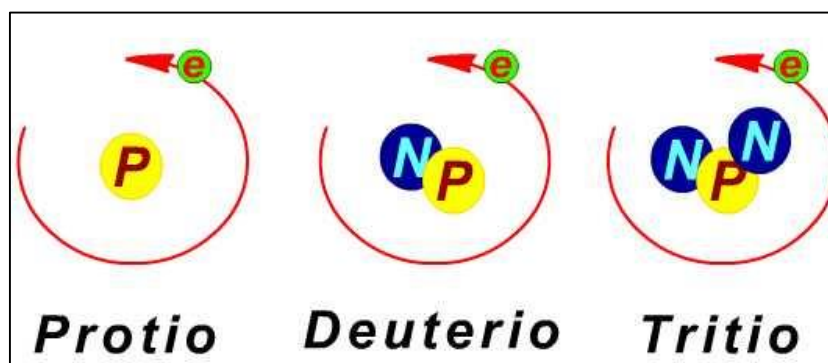
Ou seja, se tomarmos por exemplo o hidrogênio, para o elemento ser caracterizado como tal, só pode ter em seu núcleo um único próton (o número de nêutrons é indiferente). Desta forma, a tabela periódica está estruturada de forma crescente. Sendo eles: hidrogênio, hélio, lítio, berílio, boro, carbono, nitrogênio e oxigênio. O hidrogênio apresenta um único próton, o hélio dois, lítio três e assim sucessivamente até o oxigênio com 8 prótons no núcleo atômico.

Neste quesito, o nêutron não provoca diferença, entretanto, participa para a massa do elemento. A massa do elemento, ou massa atômica, consiste na soma de prótons e nêutrons existentes em seu núcleo. Desta forma, podemos diferenciar os mesmos elementos pela sua massa. Um exemplo que faz parte da produção de energia das estrelas, são os isótopos do hidrogênio. Isótopos são elementos iguais, mas com massa diferente.

No caso do hidrogênio são: o prótio, deutério e o trítio [7]. O prótio é o tipo de hidrogênio mais abundante (e que, muitas vezes, este nome não é usado). Ele consiste de um único próton em seu núcleo. Um hidrogênio mais “pesado” é o deutério, e em seu núcleo são encontrados um próton e um nêutron. O hidrogênio mais pesado de todos é o trítio, composto pelo mesmo único próton, porém, têm a companhia de dois nêutrons. O hidrogênio é o único elemento o qual seus isótopos possui um nome em específico, os demais são nomeados pelo nome do elemento seguido do seu número atômico (Por exemplo: Fe⁵⁷).

Capítulo 4 – Azul e verde

Figura 03: Isótopos do hidrogênio



Fonte: <https://bit.ly/2s9odXl>

Porém, na natureza alguns elementos se apresentam de forma instável, o que afeta o núcleo atômico provocando a transformação de um elemento em outro ou a liberação de energia. Estes dois fenômenos é o que chamamos de “radioatividade”.

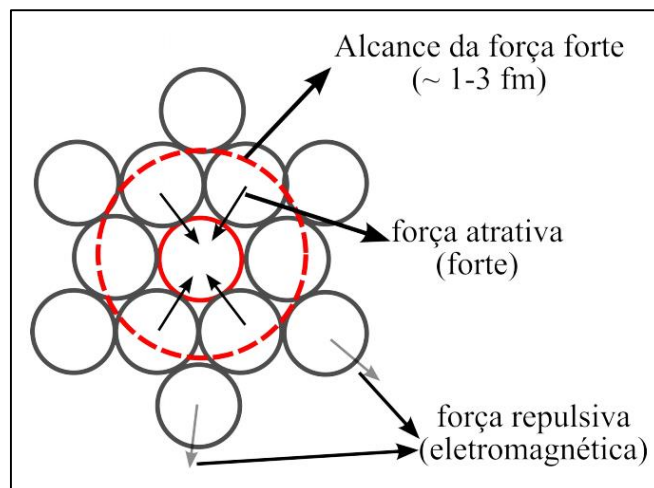
A instabilidade do núcleo tem origem na quantidade de prótons e nêutrons. Comumente núcleos atômicos muito grandes são instáveis, ao passo que, núcleos pequenos são estáveis. Como sabemos, prótons e nêutrons experimentam a força nuclear forte que surge a partir da interação de partículas. Estas partículas são os mésons e, em particular, possuem massa. Como os mésons não obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli (spin inteiro), podem ser trocados sem um valor limite. Contudo, por apresentar massa, os mésons possuem um alcance muito pequeno e são de difícil produção. Usando um exemplo contrário, temos os fótons (ou até mesmos os grávitons) que são partículas que fazem a interação de outras forças, porém, não possuem massa e com isso o seu alcance se torna ilimitado. O motivo de mésons terem uma vida curta é uma consequência direta da equivalência massa-energia (estabelecida pela Teoria da Relatividade) e da relação a partir do Princípio da Incerteza em termos de energia-tempo (mecânica quântica). Então, respeitando o Princípio da Incerteza, mésons tem um tempo de vida curto devido à grande energia que possuem, ao passo que, fótons não têm massa e o seu tempo de vida tende ao infinito. Desta maneira, a incerteza em relação a medidas realizadas destas partículas é mantida [8].

Então, pelo motivo dos mésons terem um alcance bem limitado, a interação forte não ocorre com todas as partículas do núcleo (em caso de átomos grandes). O alcance dos mésons é aproximadamente de 1,5 fentometro (um fentometro é igual à 10^{-15} metros), ou duas vezes o tamanho de um próton/nêutron. Em especial, existem algumas peculiaridades dentro do núcleo atômico. Isto é, no caso de duas partículas, a propriedade do Princípio da Incerteza exclui a possibilidade de uma partícula estar colada à outra partícula. Principalmente com corpúsculos com propriedades de carga tal como prótons, a força repulsiva elétrica tende ao infinito impedindo assim de as partículas estarem extremamente próximas umas das outras. Contudo, a força forte consegue, de maneira atrativa, manter estas partículas próximas o suficiente para formarem núcleos.

Capítulo 4 – Azul e verde

A força forte age de maneira atrativa com um valor extremamente alto (suficiente para superar a repulsão da força coulombiana), ao passo que se esta distância for maior que os 1,5 fentômetros, a interação forte deixa de existir e o seu valor cai à zero. A partir disso, podemos concluir que em átomos instáveis existe um desequilíbrio entre forças que atuam no núcleo atômico. Em outras palavras, o cabo-de-guerra, em dado momento, é vencido por uma das forças [87].

Figura 04: Atuação da força forte vs. eletromagnética



Fonte: <https://bit.ly/2HrLpvv>

Uma outra maneira de entender estas relações é imaginar uma fila pequena de partículas. Imaginemos que o primeiro lugar desta fila está ocupado por um próton e no segundo lugar, por um nêutron. A interação entre os dois é atrativa (o mesmo aconteceria caso no segundo lugar houvesse a presença de próton). Devido às dimensões envolvidas, não existe uma ação repulsiva significativa, somente predomínio atrativo e isso torna este núcleo estável, unificado. Agora, no terceiro lugar imaginemos outro nêutron. Como a carga elétrica do nêutron é zero, a sua energia de ligação é menor que a do próton (excluisse a força elétrica). Nesta fila, ainda que as dimensões forem maiores que 1,5 fermi (fermi é sinônimo do fentômetro) entre o primeiro e terceiro lugar, a força se mantém coesa. Um exemplo deste tipo é o trítio (3_1T), que cujo núcleo se apresenta na forma de um triângulo devido às forças envolvidas e, desta forma, as distâncias entre as partículas é diminuída e prevalece a força atrativa.

Não obstante, imaginemos agora outra situação. No mesmo terceiro lugar da fila, trocamos o nêutron por um próton. Neste caso agora devemos considerar a força elétrica envolvida no processo, porém, essa força elétrica ainda não tem uma ação significativa. Deste modo, o núcleo é estável e não ocorre um decaimento. Esta interação está tipificada como um 3_2He , que como o trítio, se apresenta também na forma de um triângulo. Sob a forma triangular, as distâncias entre as partículas são reduzidas ao máximo e assim, novamente, a interação forte atua de forma

Capítulo 4 – Azul e verde

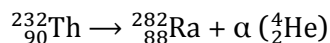
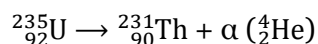
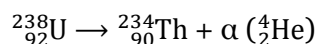
predominante. Portanto, fica fácil perceber que, em um dado momento a interação predominante nem sempre será atrativa.

Com o crescimento do núcleo atômico, se necessita de mais elementos para manter a coesão nuclear. Então, em um núcleo muito grande a interação forte é inexistente com as partículas dos extremos. Tendo presença somente com partículas próximas. Voltando-se ao exemplo da fila, um átomo grande enfileirado, as partículas dos extremos não interagem pelo meio da força forte, somente pela repulsão elétrica.

Isso tudo posto, podemos chegar à conclusão que a radioatividade é um modo encontrado pelo átomo para se tornar estável, isto é, uma maneira de se desfazer de uma porção de energia (sendo em forma de partículas ou em ondas eletromagnéticas) e assim encontrando um equilíbrio entre as forças que agem sobre o núcleo.

Chamamos de “radiação” a energia produzida pelo núcleo atômico, podendo ser de três maneiras, ou três tipos: a radiação alfa, beta e gama, sendo que para cada radiação existem uma característica específica. Por exemplo, a radiação alfa consiste em um átomo de hélio (dois prótons e dois nêutrons no núcleo) duplamente ionizado. Neste caso, o átomo que emite esta radiação sofre uma transmutação (ou decaimento), fazendo com que um elemento se transforme em outro. Na situação do decaimento alfa existe a perda dois prótons e com isso, o elemento se transforma em outro de menor número atômico. Também existe a perda de dois nêutrons, fazendo com que a massa do elemento caia em quatro unidades.

E o exemplo mais simples é o caso do urânio-238, o qual possui 92 prótons e 146 nêutrons em seu núcleo. Como o elemento é radioativo, o urânio emite uma radiação (ou partícula) alfa. Deste modo, o urânio-238 se transforma em tório-234, ficando com 90 prótons e 144 nêutrons. Todavia, as emissões alfas possuem energia mais baixa em comparação às demais, sendo facilmente barrada por qualquer objeto um pouco espesso (uma camada de 7 centímetros de ar, uma folha de papel, etc). Contudo, esta radiação habitualmente está inclusa com outras radiações tornando-se perigosa ao ser humano.



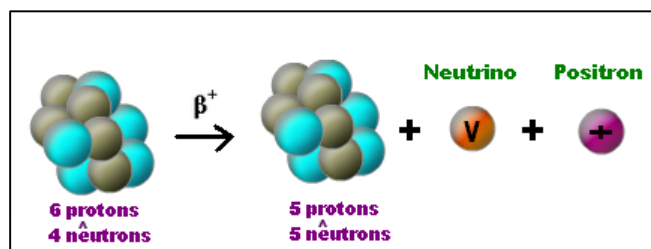
As equações mencionadas anteriormente fazem parte de três séries mais conhecidas, são elas: a série do urânio, actínio e tório respectivamente. São três exemplos de elementos radioativos que emitem partículas alfa, no entanto, estes exemplos são somente a ocorrência de um único decaimento. Diferentes elementos podem ter diferentes cadeias radioativas (sequências de transmutações). Algumas podem ser muito longas (com vários decaimentos), enquanto outras, podem ser pequenas ocorrendo um ou dois decaimentos [9].

Capítulo 4 – Azul e verde

A radiação beta é um pouco mais penetrante do que a radiação alfa, por isso, necessita uma barreira mais espessa para ser barrada. No ser humano essa radiação pode ocasionar queimaduras, no entanto, dificilmente afeta os órgãos internos. A radiação beta pode se dividir em duas: β^+ (beta mais) e β^- (beta menos).

A radiação β^+ (beta mais) é quando um próton se converte em um nêutron, um pósitron e um neutrino do elétron. Este decaimento, também chamada de “emissão de pósitron”, ocorre usualmente com núcleo com excesso de prótons. O núcleo ao realizar este decaimento, faz com que o elemento perca um próton e com isso, converte-se em um elemento mais leve da tabela periódica. Em resumo, o decaimento β^+ ocorre devido ao excesso de energia que é dispersa ao formar o nêutron, o pósitron, o neutrino e mais a soma das energias cinética de cada partícula [8].

Figura 05: Processo β^+

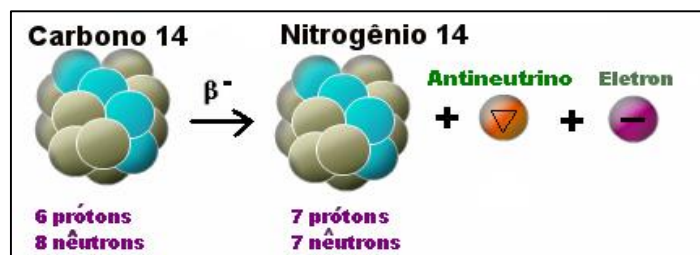


Fonte: <https://bit.ly/2TcAffy>

No decaimento de β^- (beta menos), a conversão acontece com um nêutron, que se transforma em um próton, um elétron e um antineutrino do elétron. O neutrino (e até mesmo o antineutrino), como já mencionado, é uma partícula sem carga e quase sem massa. Devido a estas características, a sua interação com a matéria é muito pequena e, por isso, é de difícil detecção. A todo momento milhões de neutrinos provenientes do Sol atravessam a Terra sem mesmo interagir com um único átomo. O próton fica aprisionado junto ao núcleo, enquanto o elétron é emitido junto com o antineutrino com velocidades próxima à da luz. O núcleo que sofre este decaimento, ao perder um nêutron, ganha um próton e com isso, se transmuta em um elemento mais pesado da tabela periódica [8].

Capítulo 4 – Azul e verde

Figura 06: Processo β^- (beta menos)



Fonte: <https://bit.ly/2TcAffy>

Uma outra forma de radiação beta é a captura eletrônica, que consiste na união de um próton e um elétron e resulta em um nêutron e um neutrino. O processo de captura eletrônica é responsável pela formação de estrelas de nêutrons. Isso ocorre porque ao chegar ao seu final de vida, a estrela colapsa devido a ação da gravidade fazendo que prótons e elétrons se unifiquem, formando assim um núcleo de nêutron [8]. Podemos resumir os processos β^+ (beta mais), β^- (beta menos) e a captura eletrônica na seguinte tabela:

Tabela 01: Processos betas e captura eletrônica

Processo	Símbolo	Produto Inicial	Produto final	Equação
Beta mais	β^+	Próton (p)	Nêutron + Pósitron (e^+) + Neutrino do elétron (ν_e)	$p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$
Beta menos	β^-	Nêutron (n)	Próton (p) + Elétron (e) + Antineutrino do elétron ($\bar{\nu}_e$)	$n \rightarrow p + e + \bar{\nu}_e$
Captura eletrônica	-	Próton (p) + Elétron (e)	Nêutron (n) + Neutrino do elétron (ν_e)	$p + e \rightarrow n + \nu_e$

Fonte: [7], adaptado.

A radiação com mais energia é a gama, por isso tem o poder de penetração maior que as outras radiações, necessitando de uma barreira de chumbo bem espessa para poder impedi-la. Normalmente, após a emissão de partícula alfa ou beta, se o núcleo estiver em um nível excitado, isto é, ainda conter energia, a maneira encontrada de se estabilizar ocorre na forma de emissão de ondas eletromagnéticas (raios gama). Estas ondas eletromagnéticas de alta energia é o que formam a radiação gama. Existem outras maneiras de produzir os gamas, como a desaceleração de partículas carregadas ou processo de aniquilação de matéria e antimatéria (elétron-pósitron, próton-antipróton e etc).

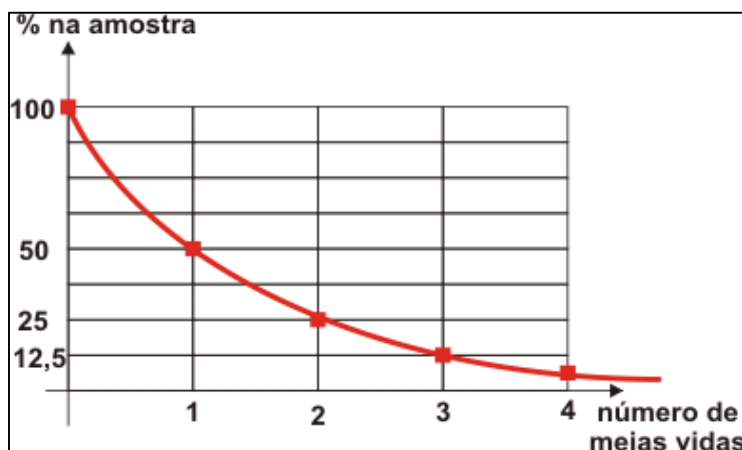
Capítulo 4 – Azul e verde

Analisando as várias transmutações que um elemento pode sofrer, então podemos afirmar que um átomo radioativo tem um “prazo de validade”. E que este prazo de validade é o tempo que um elemento permanece o mesmo ou conserva a sua configuração original. Então para acompanhar a vida deste elemento é preciso determinar uma maneira de comparar. Deste modo, foi instaurada a “meia-vida” como forma de medir a atividade de um átomo radioativo. A meia-vida é o tempo em que um elemento é reduzido à metade.

Podemos utilizar o exemplo do carbono-14 (isótopo mais usado para a datação de compostos orgânicos) onde a sua meia-vida é de, aproximadamente, 5000 anos. Isto significa que em 5000 anos, um quilograma de carbono-14 terá transmutado em 500 gramas em nitrogênio-14. Estes 500 gramas restantes de carbono levaram mais 5000 anos para que 250 gramas se transformem em nitrogênio e assim sucessivamente. Desta forma, a cada meia-vida de um elemento, a sua atividade radioativa se reduz à metade da anterior até que atinja valores insignificantes que, de tão pequenos não possam ser percebidos.

Vale ressaltar que a meia-vida é uma ideia probabilística [8]. Isso significa que olhando somente um núcleo radioativo é impossível prever quando irá ocorrer a transmutação. Porém, pode ser observado diversos núcleos de um mesmo elemento e contar quantas transformações ocorreram em um determinado tempo. Esta é a maneira mais fácil de estimar a meia-vida de um elemento com atividade radioativa.

Figura 07: Meia vida



Fonte: <https://bit.ly/2Hv1VuN>

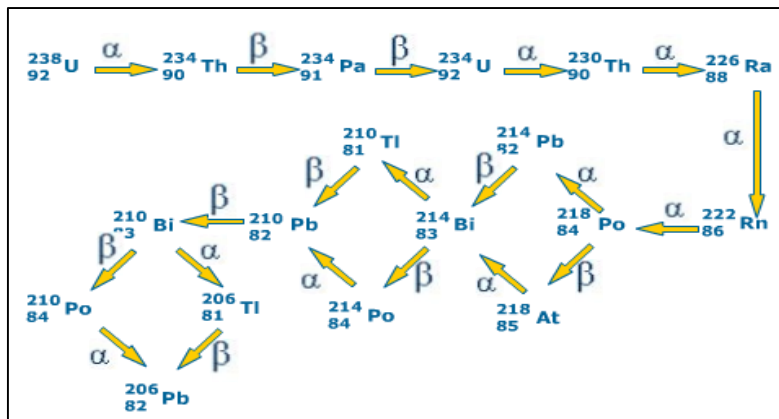
Dispostos os fenômenos que podem ocorrer com o núcleo atômico, podemos voltar a estimativa da idade das primeiras rochas do planeta Terra. Esta estimativa de

Capítulo 4 – Azul e verde

idade é chamada de “datação” e consiste na ideia de comparar as quantidades de elementos denominados “pai” e “filho”. Isto é, o elemento-pai é o átomo de origem e o elemento-filho é o produto final. No caso da datação das idades das rochas, foram considerados como cronômetros geológicos os seguintes elementos: urânio-238, urânio-235 e o tório-232. Os elementos chumbo-207 e 206 são os produtos finais desta longa cadeia [6]. Para fins de simplificação, usaremos somente como exemplo o urânio-238.

O urânio-238 possui uma longa cadeia radioativa, passando por 14 decaimentos até se estabilizar no chumbo-206. Contudo, isto não impede a sua datação. Sabendo o tempo de meia-vida do urânio e o seu produto final, basta uma mera comparação entre as quantidades de urânio-238 e o chumbo-206 para definirmos a idade do material. Então, sabendo que o tempo a meia-vida do urânio que é de 4,5 bilhões de anos, podemos deduzir que o mesmo está na sua primeira vida. Isto é, caso na amostra tivesse, por exemplo, 10 gramas de urânio na sua formação, hoje restariam apenas 5 gramas. Estas 5 gramas restantes formam o tório-234, porém o tório tem uma meia-vida curta de 24,6 dias. Então, parte deste tório já se transmutou em protactínio que também têm uma meia-vida extremamente curta (quase dois minutos). Com a emissão beta do protactínio, o mesmo volta a ser o urânio, porém o de massa atômica 234. Este urânio possui uma meia-vida relativamente alta em comparação aos demais elementos (cerca de 270 mil anos). Assim, o urânio agora 234 também é radioativo e continua o processo, que pode levar alguns bilhões de anos até se estabilizar no chumbo-206.

Figura: Série radioativa do urânio



Fonte: <https://bit.ly/2UIT5MP>

A critério de reflexão, caso conseguirmos um átomo de urânio-238 que se transmuta a cada segundo, depois de 15 segundos ele se tornaria o chumbo-206.

Capítulo 4 – Azul e verde

Contudo, em uma situação bem menos feliz; caso fosse um urânio da terceira meia-vida, ele levaria o tempo de aproximadamente 13,5 bilhões de anos (próximo a idade do Universo) somente para a primeira transmutação. Imaginando os mesmos 10 gramas de urânio, a sua terceira meia-vida seria da porção de 1,25 gramas restante. Em uma situação intermediária, no caso de cada transmutação ocorrer ao final de cada meia-vida de cada elemento, o tempo necessário seria de aproximadamente 4,6 bilhões de anos, indo do urânio até o chumbo.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [2] BARBONI, Melanie et al. Early formation of the Moon 4.51 billion years ago. *Science Advances*, v. 3, n. 1, p. e1602365, 2017.
- [3] JENVEY, Karen. NASA. Lunar Scientists Develop New Theory on Earth and Moon Formation. 2012. Disponível em:
<https://www.nasa.gov/topics/solarsystem/features/moon_formation.html#>.
- [4] ZHANG, Junjun et al. The proto-Earth as a significant source of lunar material. *Nature Geoscience*, v. 5, n. 4, p. 251, 2012.
- [5] WIECHERT, Ulrich et al. Oxygen isotopes and the Moon-forming giant impact. *Science*, v. 294, n. 5541, p. 345-348, 2001.
- [6] VALLEY, John W. et al. Hadean age for a post-magma-ocean zircon confirmed by atom-probe tomography. *Nature Geoscience*, v. 7, n. 3, p. 219-223, 2014.
- [7] ROCHA-FILHO, R. C; CHAGAS, A. P. About The Names Of The Chemical Elements, Including The Transfermium Elements [sobre Os Nomes Dos Elementos Químicos, Inclusive Dos Transfêrmios]. *Química Nova*, v. 22, n. 5, p. 769-773, 1999.
- [8] CHUNG, K. C. *Introdução à Física Nuclear*. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2001.
- [9] CARDOSO, Eliezer de Moura. *A energia nuclear*. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012. (Apostila educativa)

CAPÍTULO 5

APRENDENDO A ANDAR



Outubro

1º de outubro - 10 horas, 49 minutos e 54 segundos - 10,3 bilhões de anos

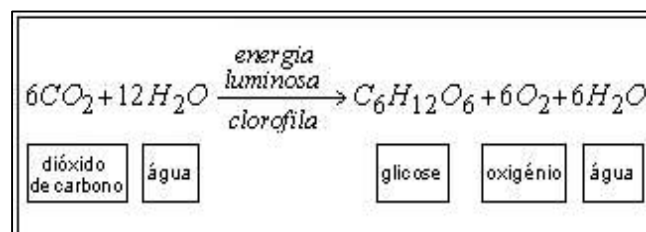
Os fósseis mais antigos encontrados na Terra apresentam idade de, aproximadamente, 3,5 bilhões anos [1]. Este são microfósseis de algas e bactérias primitivas do período Arqueano. Esse período é marcado pela continuidade da atividade vulcânica, aparecimento das primeiras formações rochosas expostas, início da vida, das grandes bacias hidrográficas no planeta e o decréscimo da temperatura da Terra. A vida no planeta se apresentava na forma mais simples, em organismos unicelulares. Estes organismos são chamados de “procariontes” e contêm características bem sutis, como células procariontes que tem como principal característica o fato de que seu material genético está disperso pelo citoplasma, sem nenhuma delimitação.

Estas evidências indicam que a vida surgiu na Terra em torno de um bilhão de anos após a sua formação. Este tempo em específico é considerado como o período pré-cambriano (período anterior à explosão de formas de vida) e, ainda, levaria mais alguns milhões de anos para que os organismos tomassem uma forma mais evoluída.

20 de outubro - 01 horas, 50 minutos e 58 segundos - 11,15 milhões de anos

Evidências encontradas em organismo unicelulares mostram que alguns apresentavam a capacidade de gerar oxigênio [2]. Esta capacidade é oriunda do processo da fotossíntese que, é a maneira que as plantas utilizam para obter alimento. O processo consiste em utilizar a energia da luz solar para converter o dióxido de carbono e a água em glicose (açúcar), oxigênio e uma fração de água como subproduto. A fotossíntese teve grande importância, pois, uma vez que levou a atmosfera a ficar inundada de oxigênio.

Figura 01: Processo de fotossíntese



Fonte: <https://bit.ly/2ujcVm4>

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

Novembro

23 de novembro - 13 horas, 10 minutos e 5 segundos - 12,3 bilhões de anos

Na escala do nosso Calendário Cósmico, levou ao menos 2 bilhões de anos [3] para que a vida pioneira evoluísse de unidades solitárias para organismo mais complexos. As células, denominadas como “eucariontes” que antes tinha o seu material disperso pelo citoplasma, passam a conter em seu interior organelas, ou seja, compartimentos delimitados. Das hipóteses mais aceitas para essa evolução de procariontes para eucariontes, temos a de que foram anexadas as primeiras, células bacterianas, criando assim uma relação chamada de “simbiose”, onde existe uma relação mútua de ganho. A célula fornece nutrientes e proteção do meio externo, enquanto a bactéria oferta um maior rendimento e aproveitamento energético por meio da respiração. O resultado desta relação são as organelas mitocôndrias e o cloroplasto.

Dezembro

06 de dezembro - 19 horas, 45 minutos e 7 segundos - 12,8 bilhões de anos

No último mês do calendário, destacamos o início do surgimento de organismo mais complexos no planeta Terra. Estamos no último bilhão de anos e com isso cada segundo de tempo começa a ganhar importância. Com origem nas colônias, os organismos começam a agrupar formando estruturas. A vantagem de seres multicelulares é que podem dividir as funções para cada célula, cada uma exercendo um papel específico. Isso ocorre desde os seres mais complexos como o ser humano, animais e planta, até às mais simples como as esponjas do mar. O caso do ser humano é um exemplo bem nítido com suas células neurais, musculares, e etc. Cada uma com uma determinada função. Mas isso varia para cada organismo, os mais simples possuem dois ou três tipos de células, enquanto, os mais complexos, possuem centenas de variedades.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

06 de dezembro à 31 dezembro - Entre 12,8 a 13,76 bilhões de anos

Neste momento temos um compilado da evolução da vida no planeta Terra, na qual temos dificuldade de estimar datas, especialmente em se tratando de seres vivos. Podemos perceber que a vida é o resultado de uma longa cadeia natural de evolução tanto sob o ponto de vista da química, como da biologia. De uma forma geral, as características apresentadas pelos seres vivos são a existência de um metabolismo, a reprodução e a alteração de seu sistema. Tais características permitem sintetizar que a vida sofre adaptações, acumulando informações para a sua sobrevivência. Contudo, para o surgimento da vida inteligente, como a concebemos hoje, é necessário um tempo maior, com uma longa seleção cumulativa de informações e adaptações.

Entretanto, as características mencionadas permitem uma tendência a vida, por meio das mutações, que é a evolução para sistemas mais complexos. A partir disso e considerando ser o último ponto onde ocorre o surgimento dos organismos multicelulares, podemos dissertar sobre o caminho da evolução da vida na Terra. Assim, após a formação de sistema multicelulares, alguns milhões anos mais tarde apareceu os primeiros animais simples. Com capacidade de reagir ao ambiente ao seu redor, estes animais se alimentam não mais por meio da fotossíntese, mas por meio de outros seres vivos.

Os artrópodes representam a maiores quantidades de espécimes na atualidade, surgindo a aproximadamente 550 milhões de anos, no período Cambriano. Envoltos por um exoesqueleto e sendo invertebrados, são os ancestrais na forma de aranhas, caranguejos, centopéias e etc. Durante o período Cambriano eram encontrados nos oceanos e hoje são conhecidos somente por fósseis restantes desta época.

Passados ao menos mais 50 milhões de anos, ocorre o surgimento dos primeiros peixes e anfíbios. A vida neste momento existe somente nas águas, contudo, passados alguns milhões de anos e por meio do processo evolutivo, a vida começa gradativamente a surgir na terra. A crosta terrestre começa a ser colonizadas primeiro sob a forma de plantas e depois por insetos e sementes.

A presença de uma coluna vertebral, bem como um crânio para a proteção do cérebro, é o que caracteriza os vertebrados. Com a passagem de 100 milhões de anos, no período Siluriano é notado a presença dos primeiros seres vivos dotados com estas características. Fósseis indicam que os primeiros animais vertebrados foram os peixes.

Após os peixes, os anfíbios foram os primeiros animais a desenvolver membros e a sair da água. Seguidos pelos répteis com a capacidade de reprodução através de ovos e com isso, sem a necessidade de voltar a água. Nesse momento a vida começa a ser colonizada na crosta terrestre em conjunto com as plantas.

Com o início da Era Mesozóica, o supercontinente começou a se dividir em dois: Laurásia e Gondwana. Esta Era é conhecida pelos seus habitantes, os dinossauros, que formaram o grupo de répteis que dominaram a crosta terrestre durante este período. Possuindo diversos tamanhos, alguns tinham característica tanto de herbívoros quanto carnívoros. Novamente, a vida começa a florescer na Terra e novas formas de

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

vidas, como os mamíferos, plantas e etc, começam a surgir pelo próximos milhões de anos.

Com mais alguns milhões de anos, aparecem os mamíferos. Estes seres, diferentes dos répteis, começam a adquirir algumas características como a temperatura corporal constante e o desenvolvimento de membros para a locomoção. Vivendo nas sombras dos dinossauros, estes seres tinham hábitos noturno e se alimentavam inicialmente de pequenos insetos.

As aves apareceram quase que conjuntamente com os mamíferos. Considerados os últimos dinossauros sobreviventes, fósseis indicam a sua origem em dinossauros emplumados, isto é, dinossauros muito semelhantes com as aves atuais e que possuíam penas. Os primeiros ancestrais tinham característica diferentes como a presença de mandíbula e a ausência de capacidade de voar.

O fim da Era Mesozóica é compreendido pelo período do Cretáceo, algo em torno de 65 milhões de anos atrás. Este momento é conhecido pelo fenômeno que ocasionou a extinção dos maiores animais da Terra, os dinossauros e é compreendido dentro do dia 30 de dezembro do nosso calendário.

Após a última extinção em massa, os poucos sobreviventes desta época foram os mamíferos, aves e alguns répteis. Durante esta época conhecida como “Paleoceno”, com o extermínio dos dinossauros, as aves ganham destaque conseguindo se tornar os maiores predadores terrestres. A vida no planeta ainda consegue sobreviver, dar alguns suspiros e os últimos sobreviventes continuam os seus processos evolutivos. No caso dos mamíferos, ao final do período Paleoceno surge os primeiros primatas e com eles começam a aparecer características como pelo, pele e lactação, ocorrendo a evolução placentária, isto é, a formação de vida dentro do ser vivo e não mais em ovos.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

31 de dezembro - Os últimos 40 milhões de anos - 13,76 milhões de anos

Chegamos ao último dia do Calendário Cósmico, os últimos 40 milhões de anos restantes. A partir deste ponto o foco estará no homem, embasados pela evolução biológica. Na época do Eoceno, onde estamos localizados, houve uma explosão de variedade de espécimes e houve o predomínio dos mamíferos, onde podemos encontrar ancestrais dos cavalos, rinocerontes, camelos e alguns lêmures.

As 6 horas do dia 31, surgem os primeiros macacos que vivendo entre galhos de árvores se alimentavam de pequenos insetos. Este quadro vai mudar com o crescimento dos ossos e do cérebro. Inicialmente com os gibões, evoluindo para gorilas e depois para chimpanzés, a presença da laringe entre a faringe e os pulmões indica algo como a precursora da fala.

O começo do desenvolvimento para o ser humano como conhecemos hoje iniciou aproximadamente a 2 milhões de anos. Os primeiros do gênero Homo são o Homo Habilis, que devido a habilidade manual ganharam este nome. Essa capacidade resultou na confecção de ferramentas, que inicialmente eram feitas de ossos e pedra.

O Homo Erectus acredita-se que seja o primeiro homínídeo a lidar com o fogo. Tendo não só tamanho maior em relação ao Habilis, o seu crânio também era ao menos 50% maior. Com cérebro maior, possibilitou-lhes a construção de ferramentas mais elaboradas. Além do fogo, foram os primeiros a iniciar uma migração para fora do continente africano.

O Homo Neanderthalensis é uma subespécie do homem que surgiu a aproximadamente 400 mil anos atrás e desapareceu a cerca de 35 mil. Ainda que o seu DNA seja praticamente igual ao humano, eles não são os nossos ancestrais. Existem algumas evidências entre o convívio do Homo Neandertal com o Sapiens e um possível cruzamento entre as espécies. As teses sobre a extinção do Neandertal sugerem que ocorreram vários conflitos, tiveram baixa mobilidade da população e apresentaram dificuldade em se reproduzir [4][5].

Nos últimos 200 mil anos aparece o Homo Sapiens, do latim “homem sábio”. Essa espécie apresentava a habilidade de compreender conceitos abstratos, curiosidade, capacidade de observar a natureza e de estabelecer conclusões sobre como o ambiente.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 0 segundos - 40 mil anos

Estamos agora no último minuto do nosso calendário. Neste período inicia a existência do “homem comportavelmente moderno”, isto é, pequenos grupos caçador-coletor, sobretudo nômade. Além de pedras e madeiras, agora este homem usava outros materiais para as suas ferramentas, como: ossos, galhadas, marfins e dentes. Outras ferramentas como: facas, anzóis, agulhas e alfinetes demonstravam uma superior habilidade tecnológica e complexa, indicando uma alta capacidade de caça. Como também de pesca, com a construção de barcos [6].

Um ponto forte a ser considerado é o desenvolvimento da linguagem por estes homens. Na carona do desenvolvimento genético, a linguagem possibilitou uma melhora significativa sobre aprender e inovar. Os humanos mais primitivo não tinha controle de uma linguagem, principalmente de funções mais elevadas como a descritiva e argumentativa. Assim, no controle da linguagem, informações poderiam ser transferidas além do espaço e do tempo e não ficando apenas refém dos instintos e imitações [6].

Todavia, esta sobrevivência dependia do ambiente ao seu redor. Essencialmente parasitárias, o desafio principal e insolúvel destes grupos era o esgotamento de recurso. Não existia a produção de recursos, excluindo as ferramentas, somente o consumo. Assim, havia a necessidade da espera da natureza se regenerar e reabastecer. Este modo de sobrevivência, somente a retirada de suprimentos, não favorecia o crescimento populacional. Para manter um padrão alto de sobrevivência precisaria necessariamente de um limite de caça e coleta e, muitas vezes, incluía abortos e infanticídio em casos em que a população superasse estes limites [6].

Ainda que existisse práticas para limitar o aumento da população dentro dos grupos, estas medidas não solucionavam o problema. Restava poucas alternativas como: lutar por mantimentos, migrar de regiões ou adotar uma nova organização social e desenvolver tecnologia para se manter no mesmo território. Assim, quanto a primeira alternativa, existem diversas provas antropológicas que deixam bem claro o nível de violência neste período. Principalmente em níveis de brutalidade extrema e fatalidade quase certa. Com o aumento da população, encontros assim se tornavam cada vez mais frequentes e, pela característica parasita, não existia excedentes e conseqüentemente, o comércio.

A segunda solução, a migração, apesar de ser custosa, aparentemente se tornava a escolha menos prejudicial. Iniciando ao leste da África, grupos atravessaram o Mar Vermelho em direção à península arábica, alguns continuaram prosseguindo rumo a Àsia e a Indonésia, outros tomaram a direção noroeste partindo da Índia, atravessando o Afeganistão, Irã e Turquia. Outras rotas foram tomadas e regiões ocupadas como: a Sibéria, atravessando a estreito de Bering e chegando até a Patagônia, cruzando o Pacífico e chegando às ilhas da polinésia. Quase que um processo ritual, os grupos ocupavam uma região, a população aumentava, alguns grupos permaneciam e outros alcançavam outras regiões [6].

Ao passar de alguns milhares, grande parte dos territórios acessíveis estava ocupado (Europa, Àsia e África). O estilo de vida parasitário não agregava em nada à

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

sobrevivência destes grupos, e a armadilha malthusiana persistia. A dispersão de diversos grupos contribuiu com a modificação a partir da seleção natural, sobretudo com o fator do clima, da separação e isolamento destas sociedades [6].

A Revolução do Neolítico resolveu temporariamente o problema malthusiano, uma vez que, o modo de produção parasitário - caça e coleta - foi trocado para um modo de produção baseado no cultivo de plantas e criação de animais. Assim se desenvolvia a agricultura e a domesticação de animais. Foi um marco cognitivo fundamental, principalmente por esboçar as primeiras inovações como: a propriedade privada, o estabelecimento da família, o ambiente doméstico e a divisão do trabalho. Desta forma, com o desenvolvimento da agricultura e da domesticação dos animais, houve também aumento de produtividade e a disponibilidade de alimentos era maior. Isso melhorou a qualidade de vida do homem e auxiliou no desenvolvimento de outras atividades [6].

A descoberta do cobre e as técnicas de fundições marcam o começo da Idade dos Metais. O domínio das técnicas de fundições possibilitou vantagens as comunidades que tinham este conhecimento. Vantagens essas na competição de melhores condições para a sobrevivência como: pastagens, terra férteis e alimentos. A existência de bens escassos gerou conflitos, e uma comunidade tendo o domínio da tecnologia da época desencadeou um controle sobre uma outra. Assim, sob a conquista de uma comunidade sobre outra, houve o surgimento dos primeiras cidades-estados.

Logo após o cobre, as técnicas de fundição levaram ao surgimento do bronze. A Idade do Bronze é datada o seu começo aproximadamente 6 mil anos atrás, em torno dos últimos 13 segundos do nosso calendário. Da mesma maneira que o cobre, o bronze garantiu poder de comunidades que detinham o domínio das técnicas de fundição. Começando na Grécia e China, se estendendo pelo Oriente Médio até mais ou menos 1.500 anos antes de cristo. Também houve o aparecimento da escrita com os sumérios e, em especial, da primeira ciência: a astronomia.

O homem desta época, em sua luta de sobrevivência, nitidamente percebeu os fenômenos que ocorriam à sua volta e com sua capacidade intelectual, teve a iniciativa de entendê-los. Inicialmente, deu atenção aos fenômenos que influenciavam a sua vida, como a luminosidade e a escuridão periódica, a temperatura e clima variáveis, bem como a percepção do Sol, Lua, planetas e demais estrelas. Com certeza, os homens pré-históricos perceberam também que fenômenos ocorriam no céu estrelado, como por exemplo: as fases da Lua, eclipses, cometas e etc. Estes acontecimentos levaram a crença em deuses, símbolos de divindades e influenciaram suas vidas, tudo decorrente da mistificação e desconhecimento. Disto levou o surgimento da Astrologia, a capacidade de interpretar a vontade dos deuses e o futuro dos indivíduos.

Capítulo 5 – Aprendendo a andar

REFERÊNCIAS

- [1] ALTERMANN, Wladyslaw; KAZMIERCZAK, Józef. Archean microfossils: a reappraisal of early life on Earth. *Research in Microbiology*, v. 154, n. 9, p. 611-617, 2003.
- [2] SOO, Rochelle M. et al. On the origins of oxygenic photosynthesis and aerobic respiration in Cyanobacteria. *Science*, v. 355, n. 6332, p. 1436-1440, 2017.
- [3] RIBEIRO, Tiago. *O Surgimento das Células Eucarióticas*. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/biologia/o-surgimento-das-celulas-eucarioticas.htm>>.
- [4] SERAFIM, Teresa Sofia. *Os neandertais têm uma nova história (romântica) para contar e nós também entramos*. 2017. Disponível em: <<https://www.publico.pt/2017/10/11/ciencia/noticia/os-neandertais-tem-uma-nova-historia-romantica-para-contar-e-nos-tambem-entramos-1788383>>.
- [5] SIMONTI, Corinne N. et al. The phenotypic legacy of admixture between modern humans and Neandertals. *Science*, v. 351, n. 6274, p. 737-741, 2016.
- [6] HOPPE, Hans-Hermann. *Uma breve história do homem: progresso e declínio*. Trad. Paulo Polzonoff. São Paulo: LVM Editora. 2018.

An aerial, top-down view of a city with a highly symmetrical, circular layout. The city is centered around a large, circular plaza or park, with numerous streets and buildings radiating outwards in a radial pattern. The overall appearance is that of a planned city, possibly a university campus or a government district, with a strong sense of order and symmetry.

CAPÍTULO 6

A CIÊNCIA MODERNA

Capítulo 6 – A Ciência moderna

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 48 segundos - 4000 antes de Cristo

A origem da astronomia vem de uma região situada entre os rios Tigres e Eufrates: a Mesopotâmia [1][2]. Na Idade do Bronze, a Mesopotâmia abrigava sumérios, assírios e babilônios. Sendo os sumérios ao sul dos rios, os assírios ao norte do rio Tigre e os babilônios, na margem do rio Eufrates mais ao sul. Hoje, a Mesopotâmia se localiza na região do atual Iraque e Kuwait, além de se estender em pequenas porções da Síria, Turquia e Irã.

Contudo, podemos atribuir aos sumérios a fundação da astronomia. Com a escrita cuneiforme, isto é, inscrições de símbolos em tábuas de argila com o auxílio de uma cunha de madeira, impulsionou em muito o desenvolvimento desta ciência. Como verdadeiros arquivos, foram encontrados milhares e milhares destes pequenos tijolos com preciosas e precisas informações astronômicas. Analisando estes registros, nota-se que a astronomia para estes povos não era apenas observacional, mas também investigativa onde a participação da matemática se fez importante [2].

Devido às longas observações, o uso da matemática e os registros, conheciam o período de luação, em outras palavras, o intervalo de período o qual a Lua leva para apresentar a mesma fase. Também o tempo do movimento do Sol (ano) e a sua inclinação variável. Conheciam uma estreita região percorrida pelo Sol onde se encontram os planetas e a Lua. Perceberam que a velocidade da Lua ao redor da Terra era variável, como também conseguia prever os eclipses [1].

Para um melhor estudo do céu, iniciaram o agrupamento de estrelas. Principalmente ao longo da eclíptica, onde estes grupos formavam imagens de animais. Estes agrupamentos nós conhecemos por constelações e as constelações ao longo da eclíptica são conhecidas como as constelações do Zodíaco. Formando um círculo, dividiram-na em 12 partes iguais (ou 30° cada), dando origem aos signos [1].

Ao longo do tempo, com o aumento do conhecimento, foi possível a criação de calendário. No início não eram muito precisos o que levou ao longo do tempo uma aprimoração. A semana também é uma criação dos mesopotâmios e é utilizada até hoje. Derivando da astrologia, tinham a ideia de que os planetas eram deuses e tinham influência sobre os acontecimentos terrenos [1][2].

Todos esses conhecimentos astronômicos foram obtidos pelos mesopotâmios com persistentes e sistemáticas observações realizadas durante séculos e até milênios fazendo uso de aparelhos muito rudimentares [2].

Observando outros povos, também percebe se seus conhecimentos sobre astronomia. Como os maias em seus calendários e observatórios. Monumentos de pedra como Stonehenge e Newgrange que são essencialmente calendários astronômicos [1].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 54 segundos - 1000 a.C.

Mas foram com os gregos onde a astronomia atingiu o seu ápice [1][2]. Fundamentando com a razão, afastou o misticismo da astronomia. Antes astronomia e astrologia eram tidas como sinônimos e com os gregos, iniciou-se uma mudança e uma separação gradual entre as duas áreas.

Com os gregos, a astronomia ganha uma importância cultural. Desenvolvendo a matemática e a astronomia em níveis que só seriam ultrapassados no século XVI. Em especial, uma herança dos povos da Mesopotâmia e Egito. A ideia do “cosmo” apareceu com os gregos, com o intuito de definir o Universo. Assim, inicia-se a Cosmologia que interessa pela constituição, formação, origem e fim do Universo [2].

A história da astronomia grega inicia-se com Tales de Mileto (623 a.C. - 548 a.C.), como um dos primeiros filósofos gregos. Acreditava que a água era a origem de todas as coisas, ainda que houvesse discussão entre seus discípulos. Quando jovem, viajou ao oriente, especificamente à Mesopotâmia e Egito, reunindo os conhecimentos e informações destes povos e trazendo a Grécia Antiga [1].

Contemporâneos de Tales, Leucipo e Demócrito foram os primeiros a tentar explicar a composição da matéria. Eles acreditavam de que a matéria seria finita e sua mínima parte seria o átomo. O átomo seria finito, inquebrável e único; e toda a matéria no universo seria composta por estes tijolos elementares.

Pitágoras de Samos (572 a.C. - 497 a.C.) defendia que os corpos celestes possuíam formato esférico e foi o primeiro a chamar os céus de “cosmos”. Acreditava que a Terra girava em torno de seu eixo devido às diversas observações. Fundador da escola pitagórica, ele e seus discípulos tinham interesses nas propriedades dos números. Desta forma, desenvolveram estudos não só na matemática, mas também na área da física. Segundo eles, o cosmo obedeceria às relações matemáticas. Evidenciado pelos fenômenos como: dia e noite, as estações, o movimento dos astros, o universo poderia ser chamado de cosmo, isto é, a ideia de ordem, beleza e harmonização [1][2].

Aristóteles de Estagira (384-322 a.C.) é considerado como um dos maiores filósofos da Antiguidade. Contribuindo com várias áreas do conhecimento, sua filosofia ganhou importância ao final da Idade Média dominando o pensamento ocidental. Sobre a cosmologia e astronomia, Aristóteles afirmava que o Universo seria finito e esférico e, onde a Terra ocuparia o seu centro [1][2].

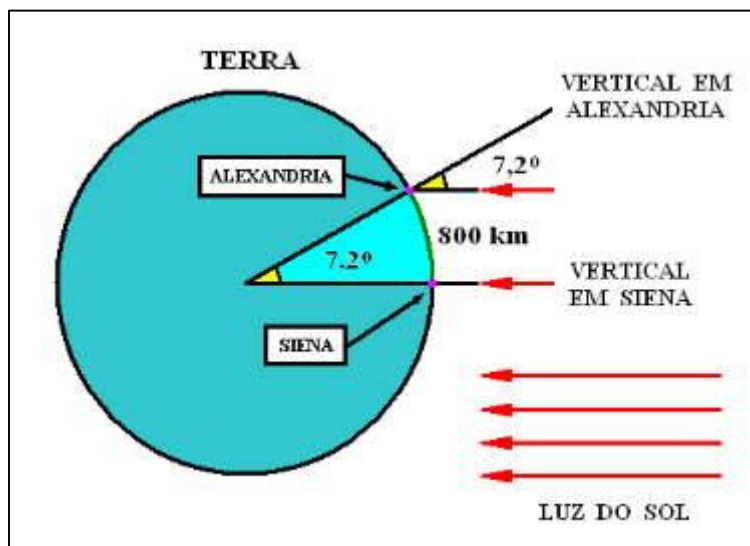
Surgiria ainda nesta época o modelo Heliocêntrico com Aristarco de Samos (310 a.C. - 230 a.C.). Quase todas suas obras foram perdidas, contudo, suas ideias são conhecidas devido às menções nos trabalhos de seus contemporâneos como Arquimedes, Plutarco e outros. Assim, defendendo a ideia da translação da Terra ao redor do Sol e a rotação em seu próprio eixo, Aristarco é o precursor do Heliocentrismo. Desta forma, antecedendo Nicolau Copérnico em quase dois milênios. Contudo, não fora bem aceito devido às insatisfatórias explicações de alguns fenômenos advindos do pensamento da época [1][2].

Ainda da escola de Alexandria, Eratóstenes de Cirênia (276-194 a.C.) foi o primeiro a medir o diâmetro da Terra. Diretor da Biblioteca de Alexandria,

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Eratóstenes sabia que, na cidade de Siena, no primeiro dia do verão, ao meio-dia, a luz solar atingia o fundo de um grande poço, ou seja, o Sol a pino (seu ponto mais alto). Em outras palavras, a luz do Sol estava incidindo perpendicularmente à Terra em Siena. Enquanto em Alexandria, localizada ao norte de Siena, o mesmo fenômeno não acontecia. Medindo o tamanho da sombra de um bastão na vertical, Eratóstenes observou que em Alexandria, no mesmo dia e hora, o Sol estava aproximadamente 7 graus mais ao norte [1].

Figura 01: Cálculo realizado por Eratóstenes para medir a circunferência da Terra



Fonte: <https://bit.ly/2Wo6HUc>

A distância entre Alexandria e Siena era conhecida como de 5000 estádios, sendo o estádio uma unidade de distância usada na Grécia antiga. Eratóstenes sabia que 7 grau corresponde a $\frac{1}{50}$ de um círculo completo (360 graus). Alexandria deveria estar a $\frac{1}{50}$ da circunferência da Terra ao norte de Siena e a circunferência da Terra deveria ser 50 vezes a distância entre Alexandria e Siena (de outra forma, 50 vezes 5000 estádios). Se baseando por estimativas, Eratóstenes deve ter encontrado um valor com erro de 1% do encontrado atualmente [1][2].

Também da escola de Alexandria, Hiparco de Nicéia (190 a.C. - 120 a.C.) ao lado de Cláudio Ptolomeu, é considerado como um dos maiores astrônomos da era pré-cristã. Produzindo dezenas de obras sobre diversas áreas, em especial a Astronomia, das quais se perderam com o tempo. Assim, as informações ao seu respeito se fazem em citações de outros autores. Sobretudo, Ptolomeu que em suas obras o menciona diversas vezes. A invenção do astrolábio é atribuída a Hiparco, um instrumento com objetivo de determinar distâncias angulares e que fora muito utilizado até os séculos XVI durante as navegações. Construiu um catálogo com a posição no céu e a magnitude de mais de 850 estrelas. A magnitude, que especificava o brilho da estrela, era dividida em seis categorias, de 1 a 6, sendo 1 a mais brilhante, e 6 a mais fraca visível a olho nu [1][2].

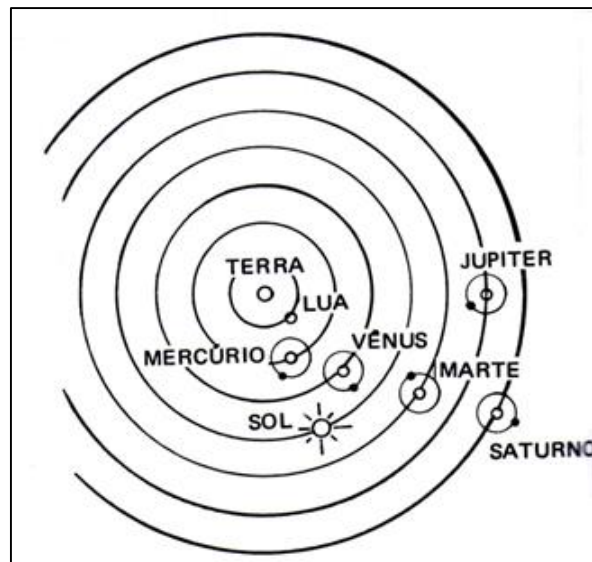
Capítulo 6 – A Ciência moderna

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 56 segundos - 0 à 500

Ainda na Antiguidade, porém no começo da Era Cristã, o último importante astrônomo que conhecemos: Cláudio Ptolomeu (85 a.C. - 165 a.C.). Vivendo em Alexandria, Ptolomeu confeccionou uma série com vários volumes sobre astronomia. Esta série é conhecida como Almagesto, e é a maior fonte de conhecimento da astronomia grega. Também, sob influência de Aristóteles e munido de dados observacionais, idealizou o Modelo Geocêntrico que foi usado até a Renascença, século XVI [1][2].

O Modelo Geocêntrico de Ptolomeu utilizava-se de representações geométricas do sistema solar, isto é, para explicar os diversos fenômenos recorria a diversas formas geométricas. Ptolomeu tinha como objetivo produzir um modelo que permitisse prever a posição dos planetas de forma correta. Ainda que houvesse uma margem de erro, o modelo de Ptolomeu se saía em parte coerente. Este e outros motivos levaram o modelo a ser usado por quase um milênio e meio [2].

Figura 02: Modelo Geocêntrico



Fonte: <https://bit.ly/2HIT8ED>

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Depois de adentrar a Era Cristã, com o último grande astrônomo, a Astronomia não suporta mais que alguns séculos para se esfarelar com o tempo. Durante a Idade Média, a produção do conhecimento ficou estagnado, chegando perto de um esquecimento. Ainda que houvesse o começo das primeiras universidades, o desenvolvimento militar, da arquitetura, a ciência em si não progredia. Contudo, com as invasões islâmicas na Europa contribuem para começar a reacender uma brasa que por hora estava quando se esgotando. Os árabes ao descobrir os textos gregos, se fascinaram com o conhecimento, fazendo-os a assimilar em sua própria língua. À vista de um renascimento cultural, ainda não haverá inovações. Este renascimento irá somente ganhar forças ao final da Idade Média [2].

31 de dezembro - 23 horas, 59 minutos e 59 segundos - 1500 à 2000

“E pur si muove!”

Galileo Galilei (1564-1642)

Ao final da Idade Média se inicia o pensamento escolástico. Isto é, a fusão do elemento grego com o cristão e a necessidade de se ter centro de conhecimento. Em outras palavras, a necessidade do surgimento da Universidade. Este movimento surge a partir da redescoberta de Aristóteles, quando árabes pertencentes da Igreja Católica promovem a tradução dos textos gregos do árabe para o latim [1][2].

Com o início da Renascença no século XVI, o conhecimento moderno agora toma um novo rumo. Se inicia uma fase de quebras de paradigmas e o primeiro a romper com os mesmos seria um monge polonês. Nicolau Copérnico (1473-1543) estudando na Itália, consegue acessar as idéias de Aristarco, em específico a Teoria Heliocêntrica. “De Revolutionibus Orbium Coelestium”, livro lançado no ano de sua morte, Copérnico defende que o Universo é composto por 7 esferas concêntricas. Colocando o Sol no centro do sistema, dispendo os planetas em ordem de distâncias e com isso em suas respectivas órbitas. Relacionou que quanto mais perto do Sol, a velocidade orbital do planeta é maior e com isso o movimento retrógrado (laçada) era facilmente explicado. Contudo, ainda que não era bem aceita, o sistema de Copérnico fornecia explicações para os fenômenos, porém, tinha dificuldades para prever as posições de forma precisa [1][2].

Tycho Brahe (1546-1601), um astrônomo dinamarquês, realiza fantásticos trabalhos (antes mesmo da invenção do telescópio) em catalogar e mapear os céus. E devido a excelência de seus trabalhos, conseguiu construir o seu próprio observatório com patrocínio do rei da Dinamarca, Frederic II (1534-1588). Contudo, com a morte do rei e o desentendimento com o sucessor, Tycho perdeu os seus privilégios e foi forçado a sair da Dinamarca. Seus trabalhos eram de grande importância para época devido às navegações, que encontravam nas estrelas o seu mapa para orientação e navegação, como a alta precisão de seus estudos [1].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Ao longo dos próximos 20 anos, Kepler tentou de várias soluções até encontrar aquelas que correspondiam verdadeiramente a realidade. Hoje conhecidas como as Leis de Kepler, são enunciadas da seguinte maneira: 1) a Lei das órbitas elípticas: a órbita de cada planeta é uma elipse, com o Sol em um dos focos. Como consequência de a órbita ser elíptica, a distância do Sol ao planeta varia ao longo de sua órbita; 2) a Lei das áreas: a reta unindo o planeta ao Sol varre áreas iguais em tempos iguais. O significado físico desta lei é que a velocidade orbital não é uniforme, mas varia de forma regular: quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move; 3) a Lei harmônica: o quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Esta lei estabelece que planetas com órbitas maiores se movem mais lentamente em torno do Sol e, portanto, isso implica que a força entre o Sol e o planeta decresce com a distância ao Sol [1].

Contemporâneo de Kepler, na Itália, Galileu Galilei (1564-1642) contribuía para a ciência moderna de forma significativa com estudos da mecânica e na construção de telescópios. O italiano colaborou para estabelecer os conceitos importantes de inércia e gravidade, como também estudos sobre a queda livre e pêndulos. Inaugurou a astronomia observacional, contudo não é a ele creditado a invenção do telescópio. Munido de seu telescópio, Galileu realizou investigações importantes como a descoberta do planeta Júpiter e seus satélites naturais, a análise da superfície da Lua e que identificou que os planetas também apresentam fases semelhantes ao que ocorre com a Lua. Os resultados de suas pesquisas davam suporte para o Modelo Heliocêntrico, cuja defesa lhe custou a perseguição pela inquisição romana sob acusação de heresia. Situação que o obrigou a se retratar e ficar sob prisão domiciliar até o final de sua vida. Galileu foi perdoado pela Igreja em 1992 [1].

No mesmo ano de morte de Galileu, nasceu na Inglaterra, Isaac Newton (1642-1727). Considerado um dos maiores cientistas de todos os tempos, publica em 1687 *Philosophiae naturalis principia mathematica* (“Princípios Matemáticos da Filosofia Natural”). Sendo a sua *Magnum Opus* (e um dos livros mais influentes do mundo), nesta obra Newton descreve as leis do movimento e a atuação da Força. Aplicando tanto a colisões, pêndulos e projéteis, como também a corpos celestes. Newton também contribuiu em outras áreas como na óptica com estudos sobre a luz, na matemática com o cálculo infinitesimal (paralelamente aos estudos do alemão Gottfried Wilhelm von Leibnitz [1646-1716]) e na astronomia com a criação do telescópio. Em especial, no terceiro volume do Principia, Newton concebe a teoria da gravitação universal e assim, une os céus e a Terra pela primeira vez. Dando um passo importante para o entendimento da primeira força fundamental da natureza [1].

Outro ponto importante seria a unificação da Eletricidade com o Magnetismo. O conhecimento sobre forças de origem elétrica e magnética vem desde o começo da humanidade, contudo, foram os gregos os primeiros a racionalizar sobre estas forças. O pioneiro nestes estudos foi William Gilbert (1544-1603) na Idade Média, descrevendo a força elétrica a partir de materiais friccionados. Benjamin Franklin (1706-1790) foi um dos primeiros a conseguir armazenar cargas por meio de um experimento com uma pipa. Charles Coulomb (1736-1806) foi o primeiro a quantificar a força elétrica utilizando uma balança de torção e expressá-la matematicamente – Lei de Coulomb. Hans Christian Orsted (1777-1851) em 1820, após diversos e repetidas experiências se utilizando de correntes elétricas e agulhas imantadas, consegue evidenciar que fenômenos elétricos e magnéticos estavam relacionados um com o outro. Michael Faraday (1791-1867) em direção oposta à de Orsted, demonstrou

Capítulo 6 – A Ciência moderna

experimentalmente que uma força magnética é capaz de gerar uma corrente elétrica. Utilizando-se dos trabalhos de Gauss, Faraday e Ampère, James Clerk Maxwell (1831-1879) reconheceu similaridades entre os dois fenômenos e conseguiu descrevê-los por meio de quatro equações – Equações de Maxwell. Tais empreendimentos possibilitaram o surgimento do Eletromagnetismo e, na continuidade a previsão da existência de ondas eletromagnéticas [3].

Em 1650, Otto von Guericke (1602-1686) construiu a primeira bomba de vácuo, o que representou para muitos o início da Termodinâmica. O calor sempre foi associado ao fogo, entretanto, hoje a Termodinâmica é entendida como fenômeno relacionado a troca de calor em sistemas físicos. Seu objeto de estudo vai além do fogo, envolvendo o comportamento de grandezas físicas como pressão, temperatura e volume nos sistemas. Essa ampliação do entendimento da Termodinâmica oportunizou o aprimoramento das máquinas térmicas e representou um importante elemento na Revolução Industrial. Thomas Savery (1650-1715) criou a primeira máquina à vapor, James Prescott Joule (1818-1889) conseguiu em seus experimentos expressar a igualdade entre trabalho mecânico e calor. William Thomson (1824-1907), também conhecido como Lord Kelvin, propôs a existência de um nível mínimo de energia para a matéria o qual seria zero na escala Kelvin. Sadi Carnot (1769-1832), Ludwig Boltzmann (1844-1906), Julius R. von Mayer (1814-1878) e Rudolf Clausius (1822-1888) contribuem para as formulações das Leis da Termodinâmica, que fala sobre a conservação de energia, equilíbrio térmico e entropia [4].

Em especial, durante os séculos XVIII e XIX surgem as bases filosóficas para as ideologias coletivistas e totalitárias. Onde o resultado culminará nos regimes socialistas, fascistas e nazistas do século XX. Ainda que se acredita que sejam distintos, estes regimes apresentam, em base, os mesmos objetivos. Podendo ser considerados como “irmãos briguentos”, suas divergências aparecem em poucas ideias, contudo se afluem no modus operandis [5].

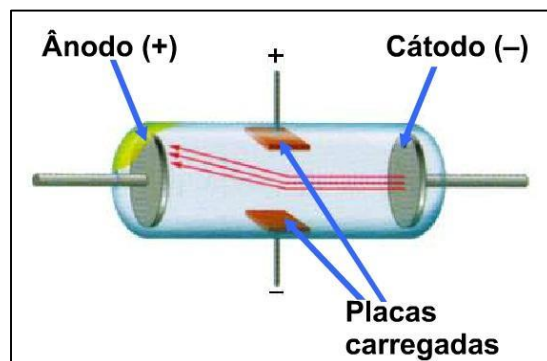
Ideias sobre a matéria foram retomadas em 1803 por John Dalton (1766-1844) em sua Teoria Atômica, também conhecida como “Modelo Bola de Sinuca”. Nessa teoria Dalton infere que os elementos químicos são partículas discretas, indivisíveis e que possuem característica específicas. Todos os átomos de um mesmo elemento são idênticos, sendo o peso a única característica que os diferencia. Segue Dalton afirmando que os compostos químicos são formados pela união de átomos de diferentes elementos [6]. Nesse contexto, assume relevância o experimento de eletrólise realizado por Faraday que possibilitou atribuir que os átomos possuem carga elétrica e que subsidiou os estudos de Dmitri Mendeleev (1834-1907) ao formular uma classificação para os átomos - Tabela Periódica dos Elementos.

Em 1894, J. J. Thompson (1856-1940) trabalhando com o tubo de raio catódicos descobriu o elétron. O tubo de raios catódicos consiste em uma ampola de vidro com vácuo em seu interior, acrescido de dois eletrodos nas extremidades. Junto com isso, é fornecida uma corrente elétrica de alta voltagem e o resultado é a produção de raios. Estes raios são um fluxo de partículas carregadas eletricamente. Depois de três anos analisando o experimento, Thompson sugeriu que esses raios eram partículas menores do átomos e aceitar que havia descoberto uma nova partícula: o elétron. À vista disso, um novo modelo atômico fora formulado: o “Pudim de Passas”. Este nome é em virtude da semelhança com esse doce que era comum na época. Na analogia o centro

Capítulo 6 – A Ciência moderna

do pudim é o núcleo do átomo (positivo) e as “passas” seriam o elétron (negativo) que orbita ao redor [6].

Figura 03: Tubo de raios catódicos



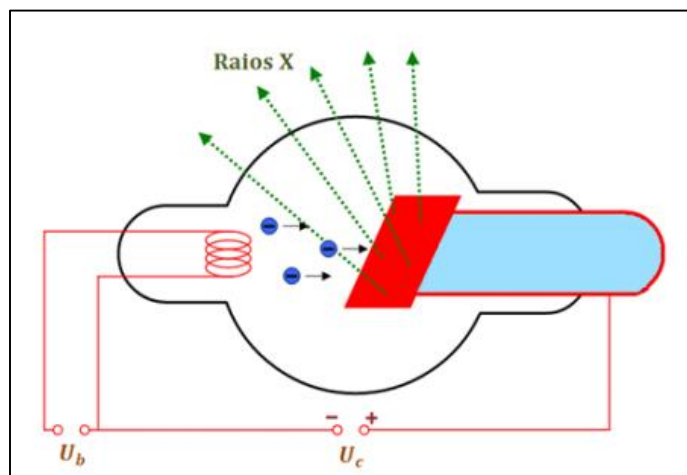
Fonte: <https://bit.ly/2TFY9oC>

Quase na virada para o século XX, a Física Atômica e Nuclear começa a aparecer. O alemão Wilhelm Roentgen (1845-1923), ao final do ano 1895, trabalhando com um tubo de raios catódicos procurava encontrar radiação de alta frequência como também observar um estranho fenômeno dos raios catódicos que escapavam do tubo. Este estranho fenômeno já fora observado por outros físicos, contudo não lhe deram a mesma atenção assim como já era conhecido que estes mesmos “raios fugitivos” eram capazes de iluminar uma placa cuja superfície já havia recebido material fosforescente. Um detalhe que surpreendeu Roentgen foi que, mesmo com o equipamento encoberto por um papelão preto, o fenômeno ainda acontecia. As características que estes raios traziam era de: produzir luminescência em certos materiais fluorescente (independente da face voltada ao equipamento), conseguir impressionar chapas fotográficas, ser invisível ao olho humano, não sofrer desvio por ímãs e ter um alto poder de penetração na matéria. Pelo total desconhecimento da natureza deste raios, Roentgen deu o nome de “raios x” (um tempo depois, eles foram rebatizados de “raios Roentgen”). Hoje sabemos que, na produção de raio-x, o fenômeno que ocorre pelo choque de um feixe de elétrons contra uma superfície (vista macroscópica), onde o elétron libera energia na forma eletromagnética [6][7].

Com esta descoberta, Roentgen se voltou seriamente sobre o fenômeno e passou ao longo de semanas buscando entender este fato. Em menos de dois meses de investigações, Roentgen fizera o primeiro comunicado de suas observações e dados obtidos em um artigo publicado nos últimos dias de dezembro de 1895. Na primeira semana do ano de 1896, providenciou separatas de seu trabalho e enviou à diversos físicos do mundo. Assim que seu trabalho foi lido e reproduzido, Roentgen tornou-se famoso. E por este trabalho foi laureado com o prêmio Nobel de 1901 [7][8].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Figura 04: Produção de raios x



Fonte: <https://bit.ly/2FmoY4b>

Os estudos sobre a Física Nuclear e Atômica estão intimamente ligados pela série de fatos históricos que contribuíram para as suas descobertas. Pois, tão logo a divulgação do trabalho de Roentgen, o fenômeno foi amplamente discutido em diversas academias de ciências. Assim, ainda no mês de janeiro do ano de 1896, Henri Poincaré (1854-1912) fez um relato verbal à Academia Francesa de Ciências e se mostrou interessado pelo assunto e levantou uma hipótese. Na experiência realizada por Roentgen, quando aplicada uma descarga elétrica no tubo de raios catódicos e o mesmo começa a emitir raios x, a parede de vidro do tubo de frente ao cátodo ficava luminescente e era naquela região que se originava os raios x. Poincaré conjecturou que existia uma relação entre os raios x e a fluorescência do vidro, de tal forma que, se os tubos fossem capazes de emitir tal radiação, provavelmente outros materiais tivesse a mesma propriedade. Esta hipótese foi verificada e pouco tempo depois foi “confirmada” com alguns experimentos, contudo, com os conhecimentos atuais sabemos que não existe tal relação. Porém, esta pista falsa tem uma importância pois serviu como guia para descobertas futuras [9].

Testando a conjectura de Poincaré, chegaram a algumas conclusões como: um material fosforescente poderia emitir os raios x mesmo sem o tubo de raios catódicos, um material poderia emitir tal raios apenas com a exposição aos raios solares e também no escuro após a exposição. Desta forma, foram testados diversos materiais para determinar se era de validade geral e dentro dos vários experimentos realizados, um em especial teve um resultado inesperado.

Henri Becquerel (1852-1908) trabalhando com a relação dos raios x e a luminescência, sabia que o sal de urânio ficava fluorescente sob luz do sol, porém se necessitava saber se era também emissor da tal radiação X. No seu primeiro artigo sobre o assunto chegou às mesmas conclusões de seus predecessores, contudo na sua segunda pesquisa foi diferente. Nos dias em que esperava realizar as experiências, o clima da região não favoreceu, o Sol aparecia de forma irregular. O que levou a Becquerel a guardar o material do experimento. Em uma gaveta fechada, colocou as chapas fotográficas com seus envoltórios e o sal de urânio. Como a porção de sal de urânio não estaria sendo iluminada pelo Sol, não iria ficar fluorescente e assim, não

Capítulo 6 – A Ciência moderna

iria impressionar a chapa fotográfica. Passados alguns dias, ao analisar a chapa fotográfica, Becquerel percebeu que ela estava impressionada e levou ele à deduzir que o sal de urânio não emitia a radiação X, porém, emitia outro tipo de radiação com poder de penetração diferente entretanto também desconhecida. Silvanus Phillips Thompson (1851-1916) quase que simultaneamente com Becquerel, chegou às mesmas conclusões. A explicações de ambos consiste que, estes materiais após excitados, possuíam uma fosforescência longa. Thompson deu o nome de “hiperfosforescência” a este fenômeno, porém futuramente fora substituído por radioatividade [9].

O termo “radioatividade” fora cunhado primeiramente por Marie Skłodowska Curie (1867-1934) e não só o conceito, como também a inauguração de uma nova área de pesquisa: a radioatividade. Assim, com a descoberta dos raios x, a guia pela conjectura de Poincaré e da descoberta da hiperfosforescência, já em 1897 os experimentos com o urânio não despertavam tanto o interesse. Nesta época, um ponto dos trabalhos era a relação dos raios x com descargas elétricas e por isso, alguns métodos elétricos foram desenvolvidos bem como a observação de “raios secundários”, isto é, raios semelhantes, porém menos penetrantes, oriundos do raios x quando o mesmo colidia com metais [9][10].

Neste contexto, Marie Curie ao final do ano de 1897 buscou o seu doutoramento em física com uma pesquisa sobre a radiação do urânio. Uma pesquisa padrão, que buscava um estudo sistemático sobre a condução elétrica do ar sob influência dos raios do urânio (ou raios Becquerel). Os primeiros testes foram basicamente de testes e familiaridade com os equipamentos, sobretudo confeccionado por Pierre Curie (1859-1906), marido de Marie Curie. No primeiro e segundo mês, reproduções de experiência já realizadas com os raios x, e depois, testada com o urânio. Mas Curie registrou alguns pontos nestes trabalhos de rotina: i) aquecer a amostra não aumenta a intensidade da radiação do urânio e, ii) a iluminação e irradiação com raios x também não altera as propriedades da amostra de urânio. Curie havia aceitado as conclusões de Becquerel e Thompson, então podemos acreditar que, este primeiros experimentos visavam testar se a radiação do urânio era um tipo de fosforescência. Marie Curie começou a questionar o conceito de hiperfosforescência pois o urânio não se encaixava nas propriedades dos materiais fosforescentes. Isto é, os dois pontos assinalados por Curie tinham forte influência sobre materiais fosforescente ao passo que não tinham nenhuma influência com o urânio [9][10][11].

Seguindo com a sua pesquisa, Curie testou uma variedade de substâncias disponíveis a fim de comparar com o urânio, porém observou que nenhuma tinha as mesmas propriedades. Logo depois, examinou um mineral de urânio (pechblenda) e que, como previsto, exibia os mesmo efeitos que o urânio puro. Contudo, um resultado chamou-lhe a atenção: a corrente elétrica sob influência da pechblenda era maior que a do urânio. Becquerel já havia analisados outros compostos e chegado à conclusão que sua atividade era menor do que a substância pura, assim, o esperado que a atividade da pechblenda fosse menor. Após diversos e repetidos teste, a pechblenda ainda se mostrava com atividade maior que a do urânio. Este fato capturou a sua atenção e que levou a testar mais substâncias disponíveis no momento, na qual nenhuma mostrou a mesma atividade. Desta forma, Marie Curie suspeitou que poderia haver, na pechblenda, uma outra substância que também emitia raios semelhantes ao urânio e ainda não fora descoberta [10][11].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

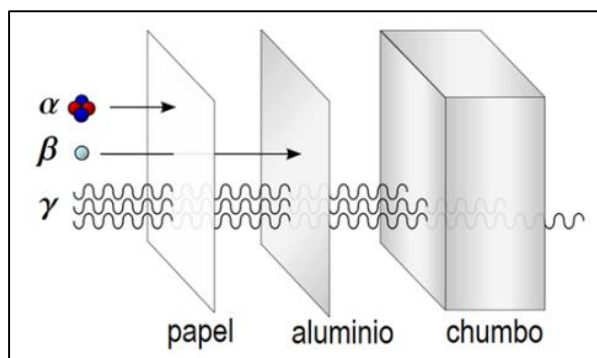
Na composição da pechblenda continha, além do urânio, outras substâncias em pequena quantidade, sendo uma delas o tório. Isto levou Marie Curie a examinar outros minerais com tório, nióbio e outros elementos. O resultado obtido mostrou que o tório continha atividade semelhante ao urânio, enquanto as outras substância não. Esta conclusão não foi exclusiva de Curie, outros pesquisadores obtiveram mesmas observações. Todavia, fortaleceu a hipótese que este fenômeno seria de origem atômica, uma vez que, ocorria com a presença de determinados elementos químicos e era independente das propriedades moleculares. Contudo, esta explicação conflitava com os conhecimentos sobre minerais da época, pois, no caso da própria pechblenda e da calcolita a sua atividade era superior ao urânio e tório em condições puras [10].

Desta forma, Marie Curie procurou esclarecer este ponto sintetizando o fosfato duplo de urânio e de cobre presentes na calcolita. A calcolita artificial se comportava de maneira “tradicional”, isto é, com sua atividade menor que a do urânio puro. Tal fato apoiava a hipótese atômica e sugeria que, na calcolita natural, haveria alguma substância desconhecida com atividade maior que a do urânio. Esta hipótese conduziu as pesquisas restantes e levou a hipótese da existência de novos elementos químicos. O primeiro fora o polônio, nome dado em referência ao país de Marie Curie e o segundo, o rádio. Devido aos conhecimentos químicos da época, na primeira comunicação sobre a existência do polônio, o casal Curie ainda não o tinha em mãos. O processo de extração destes elementos da pechblenda era difícil, sobretudo do rádio. Era necessário diversos processos químicos e ainda assim, não se tinha de fato o elemento em si. A grande evidência era que, o polônio deveria existir junto ao bismuto, pois o mesmo não apresentava atividade radioativa. O mesmo acontecia com o rádio, encontrado junto ao bário, também não radioativo. Levou algum tempo até que se tivesse de fato o polônio e o rádio isolado. Todavia, em 1903 Henri Becquerel junto com o casal Curie foram agraciados com o prêmio Nobel. Marie Curie voltaria ganhar mais tarde, porém em química, no ano de 1911 [11][12][13].

Ainda na década de 1890, Thompson também analisava os raios x e, sobretudo, o seu poder de penetração. Thompson teve ajuda de Ernest Rutherford (1871-1937), físico neozelandês recém chegado ao laboratório Cavendish. Rutherford já havia identificado que os raios x produzia partículas carregadas, que em pouco tempo se recombinavam e formavam moléculas neutras. A estas partículas, Rutherford deu o nome de raios alfa (α) e raios beta (β). Em pouco tempo, Becquerel e outros físicos observaram que estes raios sofriam uma deflexão quando estavam presente a um campo magnético, um fato que corroborou com a hipótese de Rutherford [14].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Figura 05: Tipos de radiação e sua penetração na matéria



Fonte: <https://bit.ly/2Fm0Y4b>

Não obstante, ainda sobre a radiação, Paul Villard (1860-1934) identificou um terceiro tipo de radiação e deu o nome de raios gama (γ). Diferente das outras, os raios gama não sofrem deflexão por campos magnéticos, contudo, tinha um poder de penetração maior do que as anteriores. Hoje nós sabemos que os raios alfa são partículas de hélio duplamente ionizados, os raios beta são elétrons e os raios gama são ondas eletromagnéticas [14].

Outro problema que despertava a atenção da física neste período era a “catástrofe do ultravioleta”. O contexto da época não possuía respostas satisfatórias ao problema, aliás, o criava. Um objeto em temperatura ambiente emite radiação térmica e esta aumenta a sua emissão conforme o acréscimo de temperatura. As tentativas de modelagem matemática para este fenômeno levavam à conclusão de que, quanto maior a temperatura maior a emissão e especialmente de forma contínua. De uma maneira prática, ao aquecer um metal o mesmo irá emitir radiação. Se observamos, com o aumento de temperatura, o metal irá começar a mudar de cor. O metal antes que estava em condições normais, irá se apresentar na cor rubra, laranja, amarelo e assim sucessivamente com o aumento da temperatura. Podemos imaginar que, em tal ponto o metal irá emitir todas as cores (branco) e com isso todos os comprimentos de onda. De fato, isto não ocorre. Não ocorre a emissão infinita de radiação.

Este problema foi solucionado por Max Karl Ernst Ludwig Planck (1858-1947) e inaugurando assim a física quântica. Planck rompe com a teoria clássica inferindo que a radiação não obedecia às leis clássicas da Física. Assim, propõe que a energia irradiada por um objeto a certa temperatura não era de forma aleatória mas em “pacotes” de energia discretos, o *quantum*. Ou seja, o metal incandescente somente consegue emitir definidos comprimentos de onda, isto é, uma radiação finita. Planck nega o caráter contínuo da radiação e assume que as trocas de energias ocorrem em doses bem definidas. E sobretudo, as conclusões de Planck concordam com os dados experimentais. Um trabalho audacioso e que até mesmo o próprio Max Planck não estava bem convencido da solução, contudo, foi por este trabalho que foi laureado com o Prêmio Nobel de física de 1918 [14].

Em 1905, Albert Einstein publica cinco artigos. Considerado o seu *annus mirabilis*, os trabalhos envolvem a interação da matéria e radiação, dimensões moleculares, o movimento browniano e as noções de tempo e espaço. Em 1921,

Capítulo 6 – A Ciência moderna

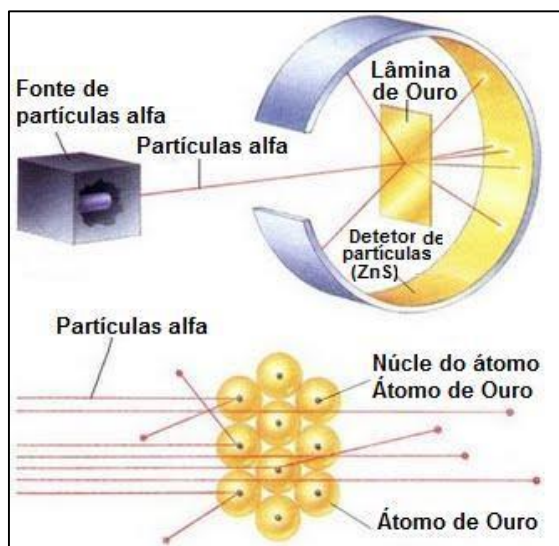
Einstein recebeu o prêmio Nobel de física por sua explicação para o fenômeno do efeito fotoelétrico. O efeito consiste na emissão de elétrons por uma placa metálica quando a mesma incide sobre luz. Utilizando-se da idéia do quantum, Einstein propôs que a luz interagia com a matéria de forma corpuscular, assim, ao incidir sobre uma placa metálica, cedia parte da sua energia. A emissão do elétron só ocorre em comprimentos de onda bem definidos, portanto, para o elétron ser arrancado do metal, a luz, necessariamente, precisa ter uma quantidade de energia específica. Caso contrário, o efeito não ocorria [14].

Também dentro deste conjunto de trabalhos, Einstein iniciou os estudos sobre a Teoria da Relatividade, o que acaba lhe consagrando na história. A teoria da relatividade muda significativamente a maneira de pensar grandezas como espaço, tempo, energia e matéria. Einstein em dois momentos trabalhou na teoria da relatividade, sendo possível distinguir ela em duas partes: a relatividade restrita publicada em 1905 e, a relatividade geral publicada em 1915. A teoria da relatividade restrita trata de fenômenos inerciais, ou seja, com ausência da aceleração, propõe a equivalência entre massa e energia e a dilatação temporal e dimensional, admitindo assim, que espaço e tempo não são absolutos. Assim, quebrando um paradigma iniciado com Galileu e Newton e, sobretudo, conciliando a mecânica newtoniana com o eletromagnetismo de Maxwell [15].

Ainda sobre a matéria, Ernest Rutherford ganharia um novo destaque. Mesmo após ganhar o Nobel, colaborou significativamente na formulação do modelo atômico planetário. Realizando o experimento de lançar partículas alfa sobre uma fina folha de ouro que estava em uma sala coberta por folhas de sulfeto de zinco. Nos vários testes realizados, Rutherford conseguiu observar que grande parte das partículas atravessavam a folha de ouro e muito poucas tinha um desvio na sua trajetória. Tal feito provocou discussões em torno de a possibilidade da matéria ser constituída de um grande espaço vazio. De uma forma análoga, Rutherford formulou outro modelo atômico, inferindo uma analogia com um sistema planetário, onde no núcleo estariam os prótons (positivo) e se movimentando de forma circular ao redor desse núcleo estariam os elétrons (negativo) [14].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

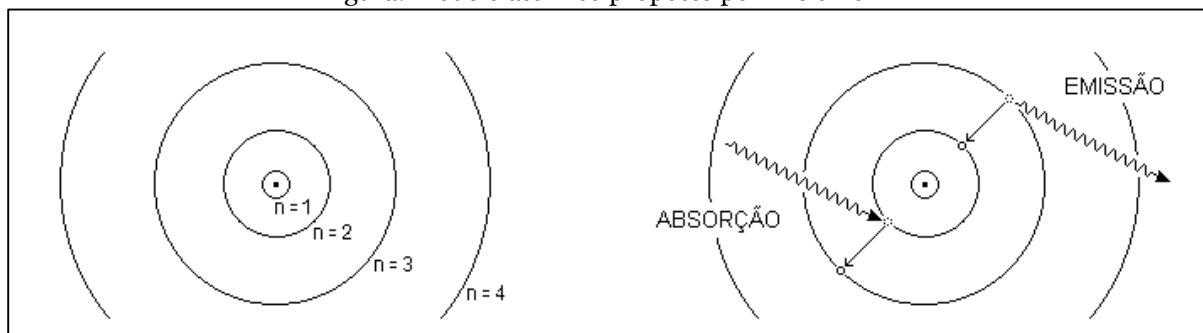
Figura 06: Experimento de Rutherford



Fonte: <https://bit.ly/2YdhQCT>

Aluno de Rutherford, Niels Henrick David Bohr (1885-1962), um físico dinamarquês propõe a quantização do átomo. Bohr buscava solucionar os problemas deixados pelos modelos atômicos anteriores, sobretudo de seus professores: Thomson e Rutherford. Com o modelo planetário, onde os elétrons transitam em órbita ao redor do núcleo, o pensamento da época direcionava a concluir que o mesmo modelo seria instável, pois ao estar em órbita, o elétron necessariamente iria emitir radiação, perder energia e colidir com o núcleo. De fato, isto não ocorre. A solução dada por Bohr fora de que, o elétron em sua órbita não emite radiação e, somente este fenômeno iria ocorrer caso houvessem transições de níveis, isto é, o elétron indo de uma camada para outra. Especificamente, o elétron para se deslocar de uma camada inferior para uma superior, seria necessário absorver energia (salto quântico), enquanto, ao contrário, isto é, indo de uma camada superior para uma inferior, deveria se desfazer (emitir) de uma porção de energia. A grande sucesso de Bohr foi a explicação dos dados sobre o espectro do hidrogênio, apesar da introdução da quantização não tivesse uma fundamentação sólida [14].

Figura: Modelo atômico proposto por Niels Bohr



Fonte: <https://bit.ly/2T7zPXP>

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Einstein voltaria em 1915 com a Relatividade Geral, investigando os sistemas acelerados. Nessa teoria é retomada e questionada as discussões sobre a gravidade, especialmente as noções galileana e newtoniana de a gravidade é uma força entre corpos. Para Einstein, a gravidade é fruto da deformação do espaço-tempo e como consequência temos que sob influência de um campo gravitacional, a noção de tempo e espaço flui de forma diferente para diferentes referenciais, também, pelo espaço estar curvado a luz sofre deflexão na sua trajetória. Uma das previsões de Einstein que derivada da relatividade geral é a existência de ondas gravitacionais. Na relatividade geral, o espaço-tempo pode ser olhado na forma de um tecido, e este tecido pode ser curvado e distorcido. A partir disto, esta deformação pode se propagar pelo tecido, o que Einstein denominou de “ondas gravitacionais”. Isso leva a considerar que a forma do universo depende da quantidade de matéria existente nele [15].

Pouco tempo depois, novamente Rutherford, iria propor a existência do próton. Utilizando-se do mesmo experimento, agora a novidade era lançar partículas alfas em sobre o nitrogênio e o resultado que Rutherford encontrou foi: a combinação do nitrogênio com as partículas alfa formava oxigênio e hidrogênio. A conclusão dele foi de que o hidrogênio tinha origem do oxigênio, de tal forma, que o oxigênio poderia se desintegrar e formar novos elementos, tal como o hidrogênio. Assim, este hidrogênio poderia ser uma partícula elementar que fazia parte do núcleo [14].

Após a proposta do próton, em 1932, James Chadwick (1891-1974) identifica o nêutron. Mais uma vez sob a proposta de Rutherford, pois, o mesmo ao realizar o seu experimento, apontou que encontrará um isótopo do oxigênio. Este oxigênio teria uma partícula a mais com a mesma massa do próton, porém neutra. Assim, Chadwick bombardeou amostras de berílio com partículas alfa. Este processo tinha como resultado uma radiação neutra capaz de arrancar prótons da parafina. Chadwick testou então com outras amostras e identificou uma partícula com massa um pouco maior do que a do prótons, como proposto por Rutherford [14].

Na década de 1920 seria inaugurada a Mecânica Quântica. Formulada primeiramente por Werner Karl Heisenberg (1901-1976) com a mecânica matricial, onde como o nome sugere, usava matrizes para representar grandezas física. Também auxiliou com a formulação do Princípio da Incerteza, já discutido. Um segundo nome foi Erwin Rudolf Josef Alexander Schrödinger (1887-1961) com a famosa equação que leva o seu nome. Schrödinger usa uma abordagem ondulatória, incluindo o postulado de Louis-Victor-Pierre-Raymond, mais conhecido por Louis de Broglie (1892-1987), a famosa dualidade onda-partícula.

Haveria ainda uma terceira abordagem com o inglês Paul Adrien Maurice Dirac (1902-1984), incluiu a relatividade especial na sua formulação. A sua principal contribuição foi a previsão da antimatéria, especialmente do pósitron em 1932 descoberto por Carl David Anderson (1905-1991).

Também houve a descoberta da radioatividade artificial por Frédéric e Irène Joliot Curie (filha do casal Curie). Núcleos pequenos, porém pesados, como por exemplo o excesso de nêutrons, pode realizar processos radioativos tal como núcleo grandes. O novo casal Curie bombardearam o alumínio com partículas alfa, obtendo um isótopo radioativo de fósforo e provocando emissão de nêutrons [16].

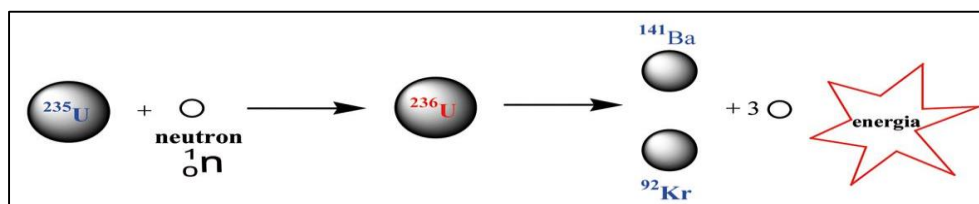
Capítulo 6 – A Ciência moderna

Enrico Fermi (1901-1954), um professor que de Roma atravessou o Atlântico para se estabelecer em Chicago, foram um dos principais nomes para a física nuclear. Quando descoberto o nêutron, Fermi começou a realizar diversos experimentos que consistiam no bombardeio de nêutron em núcleo, e desta forma, provocando várias reações. Também foi Fermi o primeiro a construir um reator nuclear, usando o processo de reação em cadeia [16].

Usando a ideia de bombardeamento por nêutron, Otto Hahn (1879-1968) e Fritz Strassman (1902-1980) realizaram a fissão do urânio em Berlin. O urânio 235, quando bombardeado com nêutrons, dava origem a núcleos de criptônio e bário. Muito mais leves que o urânio, o processo também libertava nêutrons. Contudo, a explicação para este fenômeno ocorreu por uma mulher, Lise Meitner (1878-1968) e o seu sobrinho, Otto Frisch (1904-1979). O urânio ao receber o nêutron em seu núcleo ficava instável, liberava energia em forma de calor e radiação e se dividia em elementos mais leves. Junto com os elementos leves produzidos, havia liberação de nêutrons de alta energia dos quais poderiam introduzir-se em outros núcleos de urânio e assim ocasionando uma reação em cadeia de fissões nucleares [16].

Então, podemos definir a fissão nuclear como um processo onde os átomos grandes sofre resultando na sua fragmentação. Ao contrário da fusão, onde existe a produção de elementos mais pesados, na fissão ocorre a produção de elementos mais leves. Utilizando o urânio e o plutônio como exemplo, ao absorverem o nêutron em seus núcleos, os átomos adquirem um estado de excitação. Passado um curto período, o núcleo de rompe e se dividem em fragmentos. Estes fragmentos são constituídos de elementos mais leves como também de partículas e radiação.

Figura 08: Fissão do urânio 235



Fonte: <https://bit.ly/2OgZEUD>

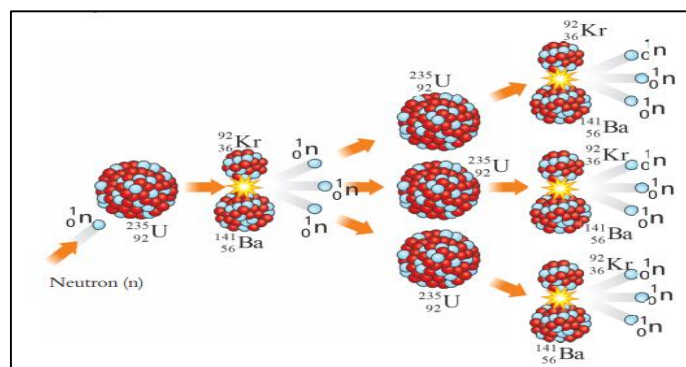
Durante a Segunda Guerra Mundial, a Alemanha ciente dos estudos sobre a fissão nuclear e o seu enorme potencial de destruição, organizou forças para a construção de uma bomba atômica. Em virtude das relações de amizade entre os cientistas da época esta informação foi vazada. Com a informação de que a Alemanha poderia ter em mãos uma bomba atômica, Albert Einstein de viu obrigado a escrever uma carta ao presidente dos Estados Unidos, Franklin Roosevelt, alertando sobre o perigo da bomba atômica em poder dos nazistas e a conseqüente derrota na guerra [16].

A carta de Einstein culminou na criação do Projeto Manhattan, o qual foi um projeto que reuniu cientistas para a confecção da bomba atômica antes dos nazistas. Com base no deserto de Los Alamos, o Projeto Manhattan resultou em três bombas

Capítulo 6 – A Ciência moderna

atômicas: Trinity, Fat Man e Little Boy. A bomba Trinity foi testada no deserto, enquanto a Little Boy e Fat Man foram lançados sobre as cidades japonesas de Hiroshima e Nagasaki respectivamente. As consequências da explosão das bombas resultaram em um total de 300 mil mortes devido à explosão, queimaduras, envenenamento radioativo e outras lesões. Os efeitos em razão das explosões são sentidos até os dias atuais [16].

Figura 9: Processo de reação em cadeia do urânio-235



Fonte: <https://bit.ly/2JqmFFz>

Logo após o término da Segunda Guerra Mundial, o mundo se dividiu. Iniciada a Guerra Fria, um período onde, de fato não houve guerra, mas somente a demonstração de poder entre nações, a União Soviética (URSS) e os Estados Unidos encabeçaram a liderança de cada lado. Os Estados Unidos com o sistema capitalista baseado na propriedade privada, trocas voluntárias e o respeito pelos direitos individuais como a livre associação e expressão. A União Soviética fazia a defesa do sistema socialista, se baseando na economia planificada, abolição do mercado e um estado autoritário [17].

Nos anos 1950, o Estados Unidos são os primeiros a confeccionar a bomba de hidrogênio. Baseada na fusão nuclear, o poder destrutivo da bomba é muito superior às usadas em na Segunda Guerra. Não demorando muito tempo para que a URSS consiga desenvolver a sua, seguida pela Inglaterra, China e demais países. Durante os anos cinquenta e sessenta era normal os testes envolvendo estas bombas e devido as suas consequências, como o material radioativo fabricado e a exposição mesmo em regiões muito afastadas, promoveu campanhas contra a sua utilização.

Ao longo dos anos haveria um crescimento na construção de reatores nucleares, sendo o seu principal objetivo em uso militar e como fonte de energia. Em 1979 ocorreu o mais grave acidente com reatores nucleares no Estados Unidos, na usina de Three Mile Island onde houve erros na operação do sistema. Entretanto, os trabalhos de emergência conseguiram evitar que o material radioativo fosse liberado e contaminasse o ambiente [18].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Os efeitos provenientes da radiação em organismos biológicos no começo do século XX ainda eram desconhecidos e por isso, não havia precaução alguma. Assim, logo após a descoberta do raios x, a exposição à radiação aumentou consideravelmente. Com o passar dos anos e mais estudos realizados, medidas de prevenção foram adequadas e melhoradas. No Brasil, a responsável sobre os cuidados da radiação fica a cargo da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) [19].

A interação da radiação com o corpo humano pode trazer alterações em maior ou menor grau. Esta exposição pode resultar na morte do organismo como também mutações em seu material genético. Com grande energia, a radiação é capaz de destruir as moléculas que compõem esses órgãos. Contém vários relatos de mortes devido a manipulação de elementos radioativos que na época eram ignorados. No corpo humano podem ocorrer lesões, leves ou mais graves, dependendo da intensidade da radiação. Essas lesões podem ocorrer na pele ou em órgãos internos do corpo [19].

Porém, o acidente mais grave até então envolvendo reatores foi na usina de Chernobyl em 1986, localizado hoje na Ucrânia. Neste caso, durante um teste em um dos reatores, diversas falhas tanto dos equipamentos quanto humanas levou a perda de controle sobre as reações nucleares que ocorriam. Assim, sem controle das reações levaram a explosões que provocaram a liberação do material radioativo. Pelos ventos, o material foi espalhado por uma parte grande da Europa levando a milhares de pessoas a ficarem contaminadas. Chernobyl foi evacuada fazendo um êxodo de centenas de milhares de pessoas. As estimativas de pessoas afetadas pelo incidente são difícil de se calcular, tanto direta ou indiretamente. Em pouco tempo foram constatados aumentos de doenças como câncer, leucemia, deformações. Doenças essas que formam um indicativo de uma grande exposição à radiação [18].

Em Goiânia no ano de 1987, houve uma contaminação de civis por material radioativo. O episódio ficou conhecido como o Acidente Radiológico de Goiânia. É o maior, até então, acidente radioativo que ocorreu no Brasil e fora de usinas nucleares. E ainda que tenha passado mais de 30 anos, os efeitos são sentido tanto diretamente quanto indiretamente. O episódio se inicia com o Instituto Goiano de Radioterapia (IGR) que foi fundado em 1971 e funcionou até o ano de 1985. O Instituto possuía duas máquinas de radioterapia, uma usando cobalto-60 e a outra césio-137. No ano de 1985, devido a problemas contratuais, o Instituto mudou de lugar de operação. A máquina de radioterapia que continha o césio foi abandonada na antiga sede. A antiga sede teve algumas partes demolidas e o que restou ficou em ruínas. A máquina ficou abandonada e desativada durante dois anos, e durante esse tempo [20].

A partir do longo tempo de abandono do local, já em ruínas, e do desconhecimento do que se poderia encontrar, catadores de sucatas invadiram os escombros do antigo Instituto, em busca de objetos que pudessem vender, tiveram acesso a máquina abandonada e, conseqüentemente à cápsula onde se encontrava o cloreto de césio-137. A cápsula de cloreto de césio que foi encontrada nos escombros da sede do Instituto foi retirada da máquina de radioterapia e vendida como ferro velho. Foi no ferro-velho em que a cápsula foi aberta e o material radioativo descoberto. O material foi exposto e manipulado entre os donos do ferro-velho, familiares e amigos. A luminescência do Césio na ausência de luz e a aparência com o sal de cozinha foram as principais razões que levaram as pessoas a manipularem o material. O acontecimento resultou na morte de quatro pessoas, e a contaminação de aproximadamente duzentas [20].

Capítulo 6 – A Ciência moderna

Estimativas consideram que dezenas de pessoas morreram posteriormente devido complicações da contaminação, mas não há estatísticas cobrando o número exato dessas pessoas. A contaminação ocorreu ao longo de duas semanas e somente após esse período e já com sintomas como náuseas, diarreia e vômitos, as pessoas procuraram ajuda médica. O incidente gerou toneladas de lixo radioativo, problemas de saúde na população, assim como afetou o setor do comércio e imobiliário da região. Outra consequência desastrosa foi o preconceito criado com os moradores da cidade em virtude do medo de contaminação. Isso resultou em dificuldades de diversas natureza para toda população, inclusive econômica. O impacto desse acidente na sociedade local foi imensa, tanto que após passado tanto tempo, ainda são sentidos os reflexos do acidente [20].

Ainda sobre os acidentes, temos que em 2011, o Japão foi abalado por um terremoto o qual deu a origem a um tsunami que atingiu a usina de Fukushima. Este fenômeno foi responsável por danificar o sistema de resfriamento da usina e resultando no último acidente nuclear registrado. Com o sistema de resfriamento da usina danificado, três dos seis reatores da usina superaqueceram o suficiente para derreter e lançar elementos radioativos no ambiente. Junto com Chernobyl, o acidente nuclear em Fukushima também é considerado um dos piores já ocorridos e o segundo a chegar a nota 7 na escala de acidentes nucleares. Mas devido a competência das autoridades, os protocolos de segurança seguidos, as consequências do acidente foram mínimas em comparação à Chernobyl [18].

Atualmente temos diversas áreas se servindo da Física Nuclear, dentre as quais a medicina, pesquisa, indústria farmacêutica e agricultura. O uso nestas áreas vem trazendo grandes avanços e vários benefícios para o ser humano. Como o uso de elementos radioativo em diagnósticos, a radioterapia, raios-x e o uso de equipamentos que se utilizam de irradiações na medicina [18].

Na agricultura, o uso de materiais radioativos permite um acompanhamento mais de perto da plantação e da mesma maneira, como uma forma de eliminação de pragas. Para a conservação de alimentos utilizam-se da irradiação de certo elementos.

Nas indústrias é muito usada para verificar a qualidade de peças e equipamentos, como fissuras que podem ocorrer. Para medições de níveis, esterilização de peças, falhas e vazamentos. Além de usada como controle de qualidade, é utilizada para a segurança dos trabalhadores.

O uso de usinas nucleares para produção de energia corresponde à 15% de da produção mundial. A utilização da fissão nuclear nos processos de produção tem como consequências alguns perigos referentes ao lixo produzido. O lixo produzido pode ser convertido em matéria prima para a produção, o que torna as reservas energéticas superiores às reservas de combustíveis fósseis. Mas em casos de acidentes, como aqueles já ocorridos, os perigos de contaminação e exposição à radiação, os impactos ambientais ocasionados pela utilização e a possível camuflagem para produção bélica são alguns fatores que exercem influência para a mínima utilização.

Capítulo 6 – A Ciência moderna

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA FILHO, Kepler de Souza; SARAIVA, Maria de Fátima Oliveira. *Astronomia & Astrofísica*. 3 ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2013.
- [2] ALARSA, Flávio; FARIA, Romildo Póvoa (Coord.). *Fundamentos de astronomia*. 3. ed. Campinas: Papirus, 1987, 209 p.
- [3] OKA, Mauricio Massazumi. *História da eletricidade*. USP, 2000. Disponível em: <https://bit.ly/2C914M3>
- [4] BRAGA, Marco. *Breve história da ciência moderna - volume 4: a belle-époque da ciência*. Zahar, 2008.
- [5] HAYEK, Friedrich August. *O caminho da servidão*. 6. ed. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2010.
- [6] BYNUM, William. *Uma breve História da ciência*. Trad. Iuri Abreu. L&PM. 2017
- [7] LIMA, Rodrigo da S; AFONSO, Júlio C; PIMENTEL, Luiz Cláudio F. Raios-x: fascinação, medo e ciência. *Química Nova*, vol. 32, n. 1, p. 263-270, 2009.
- [8] MARTINS, Roberto de Andrade. A Descoberta dos Raios X: O Primeiro Comunicado de Röntgen. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, São Paulo, SP, v. 20, n.4, p. 373-391, 1998.
- [9] MARTINS, Roberto Andrade. Hipóteses e Interpretação experimental: a conjectura de Poincaré e a descoberta da hiperfosforescência por Becquerel e Thompson. *Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p. 501-516, 2004.
- [10] MARTINS, Roberto de Andrade. As primeiras investigações de Marie Curie sobre elementos radioativos. *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência*, Rio de Janeiro, v. 1, n.1, p. 29-41, 2003.
- [11] MARTINS, Roberto de Andrade. *Do urânio ao rádio: os curie e os novos elementos radioativos*. Disponível em: <http://www.ghtc.usp.br/server/pdf/ram-CURIE-2b.PDF>
- [12] “*The Nobel Prize in Physics 1903*”. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Web. <<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/1903/summary/>>
- [13] “*The Nobel Prize in Chemistry 1911*”. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2019. Web. <<https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1911/summary/>>
- [14] PINHEIRO, Lisiane A; COSTA, Sayonara S. C. da; MOREIRA, Marco A. *Do átomo grego ao Modelo Padrão: os indivisíveis de hoje*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 22, n. 6, 2012.

Capítulo 6 – A Ciência moderna

- [15] WOLFF, Jeferson F. de S; MORS, Paulo M. *Relatividade: a passagem do enfoque galileano para a visão de Einstein*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 16, n. 5, 2005.
- [16] CNEN. *A História da energia Nuclear*. Apostila educacional. 2015
- [17] MISES, Ludwig von. *As seis lições*. Trad. Maria Luiza Borges. São Paulo: Instituto Ludwig von Mises Brasil, 2009.
- [18] CARDOSO, Eliezer de Moura. *A energia nuclear*. 3. ed. Rio de Janeiro: CNEN, 2012. (Apostila educativa)
- [19] MEDEIROS, Rogério Fachel de; SANTOS; Flávia M. T. dos. *Introdução à Física das Radiações*. Textos de Apoio ao Professor de Física, Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, v. 22, n. 5, 2011.
- [20] ROSA, Cleci. T. W. da; SILVA, Júpiter C. da R; DARROZ, Luiz. M. Acidente nuclear de Goiânia nos livros didáticos de física. *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, v. 14, n. 1, p. 51-62, 2019.