

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS  
ESCOLA DE FORMAÇÃO DE PROFESSORES E HUMANIDADES  
GRADUAÇÃO EM LICENCIATURA PLENA EM FÍSICA



## **UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA**

JOÃO PAULO DE MELO MARTINS

GOIÂNIA  
2021

JOÃO PAULO DE MELO MARTINS

## **UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Formação de Professores e Humanidades, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciatura Plena em Física.

Orientador:

Prof. Dr. Francisco Aparecido Pinto Osório.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues

Prof. Dr. Anderson Costa da Silva

GOIÂNIA  
2021

JOÃO PAULO DE MELO MARTINS

**UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em sua forma final pela Escola de Formação de Professores e Humanidades, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para obtenção do título de Licenciado em Física, em 29 / 11 / 2021.

Banca Examinadora:

*Francisco Osório*

Orientador: Francisco Aparecido Pinto Osório

*Rodrigues*

Prof. Dr. Clóves Gonçalves Rodrigues

*Anderson Costa da Silva*

Prof. Dr. Anderson Costa da Silva

GOIÂNIA  
2021

*Dedico este trabalho aos meus avós José Luiz e Alaíde, aos meus pais, Adão e Janete, a minha irmã Anna Luíza, a minha tia Nilma e em especial a minha avó América Martins por sempre acreditar em mim e me apoiar nas minhas escolhas.*

*João Paulo de Melo Martins*

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente a Deus por estar concluindo esta etapa da minha vida, a toda a minha família e meus amigos pelo apoio durante esses anos de graduação, em especial, ao meu pai pelas caronas, a minha mãe, a minha avó e a minha tia por financiarem meus estudos, e sempre acreditarem em mim. Gostaria também de agradecer o professor Francisco Osório pela orientação, pelas conversas e pela amizade, e também ao coordenador do curso de física, professor Anderson da Costa Silva por sempre ter me ajudado quando precisei ao longo do curso.

*“Planet Earth is blue and there’s nothing I can do.”*

*- David Bowie. (1947-2016)*

## **Resumo**

O objetivo deste trabalho é relatar de maneira breve a história da astrofísica de uma maneira didática e acessível para qualquer leitor. Em alguns momentos aparecem equações, porém o foco do trabalho é na parte histórica, passando pelos principais acontecimentos desta ciência ao longo dos séculos e procurando conhecer um pouco mais da história dos cientistas que fizeram as contribuições para a área. O trabalho procura apresentar de maneira direta sobre o desenvolvimento da mecânica celestial dos corpos, da espectroscopia, algumas ferramentas utilizadas na catalogação das estrelas, a composição química das estrelas e dos corpos celestes, mostrar também um pouco da diferença entre a teoria e a experimentação na física, mostrar de maneira breve a evolução de aparatos de observação espacial como telescópios e radiotelescópios, além de levantar alguns questionamentos sobre o que está por vir em um futuro próximo ou não.

## Sumário

Introdução.....	9
Capítulo 1 A mecânica celestial .....	11
Capítulo 2 Escrito na luz .....	17
Capítulo 3 A classificação espectral.....	22
Capítulo 4 A química das estrelas .....	26
Capítulo 5 Física teórica e física observacional .....	28
Capítulo 6 O que virá?.....	32
Capítulo 7 Conclusão .....	34
BIBLIOGRAFIA .....	35
APÊNDICE A - Uma breve história dos telescópios .....	37
APÊNDICE B - Algumas imagens do telescópio Hubble.....	41
APÊNDICE C – Termo de autorização.....	45

## Introdução

Desde os tempos mais remotos o homem sempre teve curiosidade sobre a natureza ao seu redor. Observando outros animais, as plantas, os fenômenos da natureza como a chuva, os trovões, os raios e a neve. Nós sempre fomos fascinados e principalmente ficamos encantados com o céu noturno com suas estrelas e planetas. A ciência que observa e mapeia as estrelas hoje é chamada de Astronomia, que começou apenas observando e nomeando as estrelas que eram visíveis a olho nu, em uma época onde não havia telescópios newtonianos ou interestelar como temos o Hubble. Não. Em uma época distante o mais tecnológico telescópio era o olho humano e a nossa capacidade de imaginar como as coisas funcionavam e supor por qual motivo funcionavam de tal forma, e criar hipóteses, não havia o método científico. Vivemos hoje em uma época onde a ciência está cada vez mais desenvolvida e cada vez mais presente em nossas vidas. Hoje não precisamos mais olhar o céu noturno para encontrarmos as constelações e as estrelas, podemos pesquisar imagens de altíssima definição na internet. Com apenas alguns segundos temos na palma da nossa mão todas as galáxias, estrelas, planetas, nebulosas, e tudo que já fora observado através de aparatos tecnológicos pelo homem.

Através do método científico e da nossa curiosidade temos ferramentas fortíssimas que nos possibilitam conhecer o nosso universo de uma maneira que nossos ancestrais jamais imaginariam. Hoje não só sabemos onde estão as estrelas como também podemos determinar as suas temperaturas, os elementos químicos presentes nelas, os seus tamanhos, as suas distâncias, hoje temos uma ciência chamada Astrofísica. A Astrofísica assim como todas as áreas da ciência surgiu por causa da curiosidade do ser humano de compreender o que o cerca, desde a natureza das plantas, dos animais, de todos os organismos vivos até às propriedades atômicas de toda a matéria presente em nosso universo. Neste trabalho vamos tratar um pouco da parte histórica de como o homem foi de apenas observar as estrelas do céu noturno até compreender (ou não) coisas como buracos negros, matéria escura, energia escura. Apesar de já sabermos muito sobre o universo, não sabemos tudo, e não há vergonha alguma em assumirmos isso, a ciência não só nos ensina sobre a natureza do universo, como também nos ensina humildade. A única vergonha está em achar que temos todas as respostas. A cada descoberta que fazemos, a cada contribuição que fazemos, aprendemos que ainda há muito a

ser explorado, muito a ser conhecido e que apesar de sabermos muito, não sabemos quase nada.

Trataremos dos acontecimentos mais importantes na história da Astrofísica, passando pelos personagens fundamentais para o desenvolvimento desta área de conhecimento que é tão importante para que possamos ter um entendimento mais amplo do nosso universo.

## Capítulo 1 A mecânica celestial

Em tempos remotos, não havia tecnologia como conhecemos hoje no século XXI. Se nossos ancestrais vissem os equipamentos que possuímos hoje ficariam deslumbrados e fascinados e provavelmente não acreditariam no que os seus olhos estivessem vendo. Nesta época, era apenas possível olhar para o céu a olho nu. Não havia telescópios. Não havia astrofísica. A astronomia é a ciência que observa e mapeia as estrelas no nosso universo, está mais ligada à geografia estelar do que com a física propriamente dita.

Conforme o tempo foi passando, a curiosidade humana também foi crescendo, de modo que o simples fato de conhecer constelações e saber a posição de determinadas estrelas no céu não era mais o suficiente para satisfazer esta curiosidade. Os filósofos naturais<sup>i</sup>, então começaram a observar os corpos celestes por uma perspectiva diferente, isto é, não estavam mais olhando apenas para a geografia estelar e sim para os movimentos dos corpos celeste e a matéria que os compõe.

Johannes Kepler (1571-1630) era um matemático e astrônomo alemão, que dava aulas em uma escola secundária na cidade de Graz na Áustria. Durante o período da contrarreforma mudou-se para Praga e foi trabalhar com um renomado dinamarquês chamado Tycho Brahe (1546-1601), que é considerado o último grande astrônomo observacional antes da invenção do telescópio. Brahe utilizava equipamentos que ele mesmo fabricava para realizar as suas observações, com isso, ele conseguiu coletar dados de posições de estrelas e planetas com uma ótima precisão. Devido ao seu ótimo trabalho, Tycho conseguiu o financiamento de sua pesquisa pelo rei da Dinamarca, Frederik II (1534-1588), com isso, Tycho pôde construir um observatório na ilha de Hveen, porém após a morte do Rei, o sucessor cortou o financiamento e Tycho foi trabalhar em Praga para o imperador da Boêmia.

Após a morte de Tycho, Kepler acabou herdando todos os dados que haviam sido coletados, e dedicou os próximos vinte anos de sua vida a estudá-los. Com os dados coletados por Tycho e seus conhecimentos matemáticos, Kepler, conseguiu determinar a órbita de Marte (planeta cujo Tycho coletou o maior número de dados) e também da Terra. Kepler chegou à conclusão de que a órbita de Marte era uma elipse, pois ao tentar aplicar uma trajetória perfeitamente circular, percebeu que a matemática não se adequava aos dados, e

---

<sup>i</sup> Filósofos naturais eram como os cientistas eram chamados antigamente.

após vários anos insistindo, ele resolveu mudar para uma trajetória oval, e percebeu que, desta forma, a matemática se adequava perfeitamente aos dados, de modo que a posição do Sol ficava exatamente em um dos focos da elipse.

Somando os dados observacionais das órbitas dos planetas com seus conhecimentos matemáticos, Kepler elaborou o que conhecemos hoje como as três leis de Kepler. São elas:

1. **Lei das órbitas elípticas (1609):** A órbita de cada um dos planetas do sistema solar é uma elipse com o Sol em um dos focos, devido a isso, a distância do Sol ao planeta varia ao longo da órbita.
2. **Lei das áreas (1609):** A reta entre o planeta e o Sol percorre áreas iguais em tempos iguais. A velocidade orbital não é uniforme, porém varia de maneira regular. Quanto mais distante o planeta está do Sol, mais devagar ele se move.
3. **Lei harmônica (1618):** O quadrado do período orbital dos planetas é diretamente proporcional ao cubo de sua distância média ao Sol. Sendo  $P$  o período sideral do planeta,  $a$  o semieixo maior da órbita que é igual à distância média do planeta ao Sol, e  $K$  uma constante, podemos expressar a 3ª lei como:  $P = Ka^3$ .

Enquanto Kepler descobria estas leis, Galileo Galilei (1564-1642), considerado o pai da física moderna, compreendia o princípio da inércia<sup>ii</sup>, que foi fundamental para o desenvolvimento das teorias de Isaac Newton, que veremos mais adiante neste trabalho. Galileo começou a fazer observações astronômicas utilizando um telescópio com aumento de três vezes que ele construiu em 1610. Galileo fez descobertas importantíssimas para o desenvolvimento do nosso conhecimento sobre o universo. Ele descobriu que a nossa galáxia, a Via Láctea, é constituída por uma infinidade de estrelas, descobriu os quatro satélites naturais<sup>iii</sup> (luas) que orbitam o planeta Júpiter, são eles: Io, Europa, Ganimedes e Calisto<sup>iv</sup>, além de observar também que o planeta Vênus passa por um ciclo de fases assim como a Lua. Viu também as manchas do Sol e a superfície em relevo da Lua, e provou que os corpos celestes não são esferas perfeitas, pois possuem irregularidades em seus formatos. O sistema heliocêntrico passou a ter um grande suporte de evidências científicas (dados observacionais) graças às descobertas de Galileo, o que gerou problemas entre ele e o então papa, Urbano VIII, que o acusou de heresia e o obrigou a se retratar perante à Inquisição Romana,

---

<sup>ii</sup> O princípio da inércia diz que um corpo tende a permanecer em seu estado natural de repouso ou velocidade constante, a menos que uma força externa passe a atuar sobre ele.

<sup>iii</sup> Estes satélites são conhecidos como “galileanos”.

<sup>iv</sup> Simon Marius (1573-1624) afirma ter descoberto os satélites antes, porém Galileo publicou primeiro.

condenando-o à prisão domiciliar perpétua, porém, séculos depois, em 1992, o papa João Paulo II o redimiou e reconheceu o erro do Vaticano.

Galileo foi um grande experimentalista, e observador, porém ele não tinha uma grande “caixa de ferramentas” matemáticas. Na verdade, ninguém tinha nessa época, então era possível explicar os fenômenos e os observar, porém não era possível descrevê-los através de equações matemáticas, ou seja, não havia uma explicação teórica, fundamentada e equacionada.

Até que chegamos a Isaac Newton (1643-1727), que é provavelmente o nome mais importante de toda a física. Newton, a partir dos trabalhos de Galileo, foi quem explicou de maneira completa o que é o movimento e como as forças atuam. Para isso ele inventou o que conhecemos hoje como *Cálculo Diferencial e Integral*<sup>v</sup> que é uma ferramenta matemática fundamental para que possamos explicar os fenômenos físicos. Newton também teve contribuições em outras áreas da física, não só na mecânica, como veremos mais adiante.

Após a invenção do cálculo diferencial e integral, foi possível elaborar o que conhecemos hoje como as três leis do movimento de Newton, publicadas em sua obra “*Philosophiae naturalis principia mathematica*”. São elas:

1. **Lei da inércia**<sup>vi</sup>: Diz que em ausência de forças externas, um objeto que está em repouso ou velocidade constante, permanecerá desta maneira, a não ser que uma força (externa) passe a atuar sobre ele.

A medida da inércia de um corpo é dada pelo seu *momentum*, definido por Newton como sendo proporcional à velocidade do corpo:

$$\vec{p} = m\vec{v} = \text{constante}, \text{ se } \vec{F}_R = 0.$$

onde  $\vec{F}_R$  é a força resultante, ou seja, a somatória vetorial de todas as forças que atuam sobre o corpo.

2. **Lei da força**: A segunda lei mostra de uma maneira mais específica como a velocidade muda de acordo com as influências de forças externas:

$$\vec{F}_R = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

---

<sup>v</sup> Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) foi um matemático alemão também creditado pela invenção do cálculo na mesma época, de maneira independente.

<sup>vi</sup> A primeira lei de Newton é uma reafirmação do princípio da inércia.

3. **Lei da ação e reação:** A terceira lei estabelece que se um corpo  $a$  exerce uma força em um corpo  $b$ , o corpo  $b$  exercerá uma força em  $a$  com mesma intensidade, mesma direção, porém sentido oposto.

Uma vez que Newton enunciou as leis do movimento e definiu a força que nos prende sobre a Terra, também foi possível compreender o movimento dos planetas do nosso sistema solar.

Newton percebeu que o Sol poderia ser o centro das forças que regem os movimentos planetários, sabendo que áreas iguais são percorridas em tempos iguais. Ele chegou à conclusão de que a lei das áreas é uma consequência direta de todas as forças se dirigirem exatamente em direção ao Sol. Analisando a terceira lei de Kepler, foi possível determinar que quanto mais afastado o planeta, mais fracas são as forças de interação com o Sol. Analisando estas duas leis, Newton chegou à conclusão de que deveria existir uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância, na direção de uma linha reta entre os dois objetos. A partir disto, Newton fez uma generalização dessa força, ou seja, ela não se aplica apenas para planetas em relação ao Sol, também é aplicado para descrever a atração de satélites naturais em relação aos planetas, como as luas de Júpiter e também a nossa Lua.

Newton sabia que havia uma força prendendo a Lua à Terra, e também sabia da força que nos prende sobre à Terra, então chegou à conclusão de que essas duas forças eram na verdade uma só, uma força universal, onde tudo atrai todo o resto. A chamamos hoje de *gravidade*. Isso significa que os planetas do sistema solar caem em direção ao Sol e as luas que orbitam os planetas caem em direção a eles. Isso quer dizer que a gravidade produz uma aceleração centrípeta necessária para manter os corpos celestes orbitando o Sol, um corpo com massa muito maior que a deles. Importante ressaltar que Newton não chegou a estas conclusões do dia para noite, ele passou anos trabalhando nisso. Inclusive quando ele fez os cálculos para saber se a atração da Terra sobre os corpos presentes nela era a mesma que a sobre a Lua, isto é, inversamente proporcional ao quadrado da distância, obteve um resultado muito discrepante que resolveu não publicar por pensar que seu raciocínio estava errado. Porém, seis anos depois, os astrônomos reviram os valores dos parâmetros atribuídos à Terra, e descobriram que estavam utilizando valores incorretos em seus cálculos. Newton ao saber disto, refez os cálculos comparando um corpo caindo em relação a Terra e a Lua em relação à Terra e obteve um valor mais preciso.

Depois de tudo isso feito, chegamos à Lei da gravitação universal, onde a força centrípeta do Sol sobre um planeta de massa  $m$ , velocidade  $v$  e raio da órbita  $r$ , é dada por:

$$F = m \frac{v^2}{r}$$

Se partirmos de que a órbita do planeta é circular, e que pode ser generalizada para qualquer planeta, teremos então um período  $P$  que é dado por:

$$P = \frac{2\pi r}{v}$$

Como este é um trabalho que busca explicar os conceitos históricos da astrofísica, não vamos nos prender a muitas demonstrações matemáticas, porém, a partir de mais alguns cálculos, utilizando a terceira lei de Kepler, Newton chegou ao que chamamos hoje de lei da gravitação de Newton que é dada pela seguinte equação:

$$F = -G \frac{M \cdot m}{r^2}$$

onde  $G$  é a constante gravitacional:

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{kg}^2$$

“ $M$ ” e “ $m$ ” representam as massas dos corpos, sendo “ $M$ ” a massa maior e “ $m$ ” a massa menor e “ $r$ ” o raio.

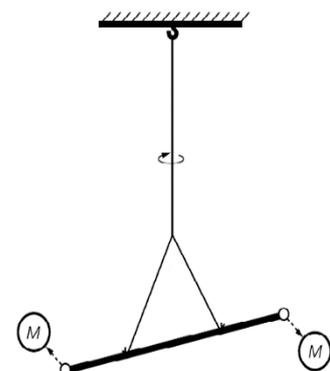


Figura 1- Balança de torção. Fonte: FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. The Feynman lectures on physics, v. 1. Addison-Wesley (1969).

Este valor foi medido pelo físico inglês Henry Cavendish<sup>vii</sup> (1731-1810) em seu laboratório. Ele usou uma balança de torção<sup>viii</sup> como mostra a Figura 1, e observou que a força de interação gravitacional provocou um deslocamento da massa menor em direção à massa maior, o que provoca uma torção no fio que sustenta a barra. A partir da medida do ângulo de torção, Cavendish pôde calcular a constante gravitacional “ $G$ ”.

Graças a todas estas contribuições, que levaram anos para serem feitas, e que são fruto de muito trabalho duro por parte dos cientistas, podemos ter uma melhor compreensão de como os corpos celestes se comportam, de como eles se movimentam e os impactos que isso tem em nossas vidas. O universo é vasto e complexo, o nosso trabalho como cientistas não é fácil,

<sup>vii</sup> Henry Cavendish foi um físico e químico franco-britânico que além de ter descoberto a constante gravitacional também descobriu o hidrogênio e o reconheceu como elemento químico, o qual ele chamou de “ar inflamável”.

<sup>viii</sup> Consiste em uma barra, suspensa por um fio, com duas massas pequenas nas extremidades e duas massas maiores nas proximidades.

exige muita dedicação e muita paciência para podermos compreender como as coisas ao nosso redor funcionam, porém todos os avanços tecnológicos que ocorreram ao longo dos séculos são fruto de contribuições científicas e do trabalho de pessoas que não desistiram por não compreender algo à primeira vista.

## Capítulo 2 Escrito na luz

Quando falamos de astrofísica, não pensamos somente no movimento dos corpos celestes. Temos que olhar também para as propriedades da matéria que constituem as estrelas e os corpos celestes. Do que são feitas as estrelas? E os outros planetas do sistema solar? E o nosso Sol? Todas essas perguntas começaram a ser respondidas graças a um jovem órfão alemão que trabalhava no porão da casa de um vidraceiro mexendo um caldeirão com produtos químicos altamente tóxicos. Seu nome era Joseph von Fraunhofer (1787 - 1826). Ele era impedido de estudar pelo vidraceiro, até que em 1801 a casa do vidraceiro desmoronou e houve uma operação de resgate para buscar os sobreviventes. Felizmente Fraunhofer sobreviveu e foi levado pelo Duque de Zweibrücken, Maximiliano I José da Baviera que forneceu a ele livros e exigiu que o vidraceiro o deixasse ter tempo para estudar.

Após alguns meses de estudo, Fraunhofer foi trabalhar no instituto de óptica em Benediktbeuern, que era um monastério dedicado à vidraçaria. Durante o seu tempo no monastério, ele descobriu como fazer os melhores vidros ópticos e desenvolveu métodos para medir dispersão de maneira precisa, além de desenvolver na época os melhores equipamentos ópticos do mundo, nem mesmo o grande experimentalista Michael Faraday<sup>ix</sup>, conseguia fazer vidros tão bons quanto os dele.

Mas o que um vidraceiro, órfão aos 11 anos de idade, tem a ver com a maneira que nós compreendemos a composição dos corpos celestes? Nesta época já se sabia que a luz do Sol na verdade era uma mistura de todas as cores do arco-íris. Essa descoberta foi feita por Isaac Newton, que realizou um experimento de câmara obscura, deixando uma fresta de luz entrar em um quarto escuro e passar por um prisma, assim ele pôde observar que o “*display*” de cores que saía do outro lado do prisma eram as cores do arco-íris, ao qual ele deu o nome de “*spectrum*”, do latim, “*phantom*”, que chamamos hoje de espectro de luz visível. Porém Newton não observou nada além disso, não que isso não seja grande coisa, foi uma grande descoberta e uma grande contribuição, porém havia mais coisas escondidas na luz, um tipo de código secreto do universo.

---

<sup>ix</sup> Michael Faraday (1791-1867) foi um físico e químico inglês conhecido pela sua excelência em experimentação, a qual o levou a fazer imensas contribuições à ciência.

Fraunhofer utilizou um teodolito<sup>x</sup> para observar um feixe de luz através de um prisma, realizando a mesma experiência de Newton, porém com um equipamento mais sofisticado. Ao observar as cores do espectro de luz visível, Fraunhofer observou que havia linhas escuras entre as cores, porém ele não entendeu o porquê. Vale ressaltar também que de maneira

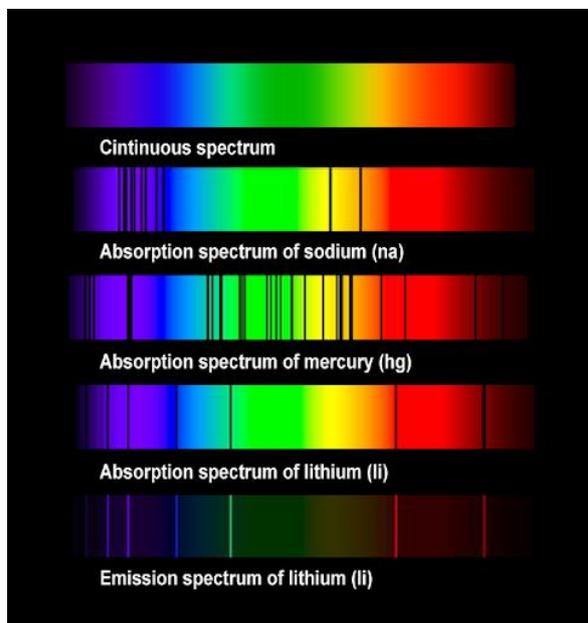


Figura 2 Algumas linhas de Fraunhofer.

Fonte:

<http://www.astronoo.com/pt/artigos/espectroscopia.html>

Acesso em 02/12/2021

independente, na mesma época, em 1802, o químico inglês William Hyde Wollaston também observou estas linhas realizando um experimento semelhante. Esta contribuição foi de extrema importância para o desenvolvimento do que chamamos hoje de espectroscopia<sup>xi</sup>.

Após a observação de Fraunhofer através do teodolito, deu-se início à espectroscopia, e dois cientistas contemporâneos de Fraunhofer, aprimoram a técnica inventada por ele. Gustav Kirchhoff (1824-1887) e Robert Bunsen (1811-1899) desenvolveram um espectroscópio mais sofisticado do que o de Fraunhofer e puderam estudar a luz e observar as linhas escuras, que são conhecidas hoje como linhas de Fraunhofer de uma maneira mais aprofundada.

Robert Bunsen é conhecido entre os químicos por ter aprimorado o bico de chamas inventado por Michael Faraday, que hoje está presente em todos os laboratórios de química e é conhecido como o bico de Bunsen, que consiste em um bico de gás que ao ser aceso, produz uma chama incolor. O fato da chama ser incolor foi fundamental para o que aconteceu depois, pois quando uma substância química era adicionada à chama, via-se a cor daquela substância e não a cor da chama. Em 1856, Gustav Kirchhoff já tinha formulado as leis que regem as voltagens e correntes em circuitos elétricos, conhecidas hoje como as leis de Kirchhoff. Em parceria com Bunsen, Kirchhoff sugeriu que as cores poderiam ser vistas com mais clareza se

<sup>x</sup> Teodolito é um instrumento de precisão óptico que mede ângulos verticais e horizontais, aplicado em diversos setores como na navegação, na construção civil, na agricultura e na meteorologia.

<sup>xi</sup> Espectroscopia é uma técnica usada para obter dados físico-químicos através da absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra.

fossem passadas através de um prisma. Então colocaram um prisma em frente a um conjunto de lentes e puderam observar as linhas e passaram a identifica-las em cada elemento químico.

Eles perceberam que os gases que observavam não emitiam um espectro contínuo, por isso perceberam que cada elemento tinha uma série de linhas diferentes. Porém, as linhas observadas por eles eram brilhantes, diferente das linhas de Fraunhofer que eram escuras, o que levou Kirchhoff a realizar um experimento com o objetivo de mostrar que algumas das linhas de Fraunhofer<sup>xii</sup> eram linhas de sódio, passando a luz do Sol através de uma chama de sódio. Ele pensou que as linhas claras preencheriam as linhas escuras do Sol, porém percebeu que as linhas escuras ficavam mais fortes e mais escuras. Foi então que ele pensou em substituir a luz do Sol por um sólido quente e percebeu que as linhas eram as mesmas, o que o levou a concluir que o Sol é na verdade um gás ou um sólido envolto por um gás mais frio, onde as camadas mais frias produzem as linhas mais escuras do espectro. Ao comparar o espectro, ele descobriu linhas de  $M_g$ ,  $C_a$ ,  $C_r$ ,  $C_o$ ,  $Z_i$ ,  $B_a$  e  $N_i$  no Sol. Isso mostra que através de muita persistência, mudando o experimento e procurando pensar de uma forma diferente, ele conseguiu descobrir a composição química do Sol. Essas contribuições não são feitas do dia para a noite, exigem muitas tentativas que encontram muitos erros experimentais no caminho, e por isso muitos experimentos fracassam, porém, cada um deles tem o papel de mostrar o caminho errado para que o caminho certo seja encontrado. Todos os grandes cientistas cometeram erros, porém nunca desistiram.

A partir dessas descobertas dos elementos químicos presentes na luz do Sol, Kirchhoff elaborou as três leis fundamentais da espectroscopia para a determinação de elementos químicos:

1. **Lei do espectro contínuo:** Um corpo opaco e quente, independentemente de ser sólido, líquido, ou gasoso emite um espectro contínuo.
2. **Lei do espectro de emissão:** Um gás com baixa densidade (transparente) tem um espectro de linhas brilhantes e estas linhas dependem dos elementos químicos que compõem o gás.
3. **Lei do espectro de absorção:** Se um espectro contínuo passar por um gás em baixa temperatura, o gás mais frio provoca a presença de linhas escuras (absorção). Isso também depende dos elementos químicos presentes no gás.

---

<sup>xii</sup> Em 1820, Fraunhofer já havia contado por volta de 574 linhas escuras no espectro solar.

A espectroscopia proporcionou grandes descobertas na área da física e da química. Graças a ela, hoje sabemos que as estrelas e os corpos celestes são compostos pelos mesmos elementos químicos que possuímos aqui na Terra. Algumas descobertas importantes são as da linha de hidrogênio no Sol feita pelo astrônomo sueco Anders Jonas Ångström (1814-1874). Nessa época, Cavendish já havia descoberto o hidrogênio e o classificado como elemento químico, como foi brevemente citado no Capítulo 1. Além disso, novos elementos químicos foram descobertos, como por exemplo, o Hélio, que através de uma análise nas linhas espectrais o astrônomo inglês Sir Joseph Norman Lockyer (1836-1920) não conseguiu relacionar com nenhuma outra linha de espectro que já era conhecida, portanto, concluiu que era um elemento desconhecido, o qual ele batizou de Hélio, do grego, *helios*, Sol.

É importante citar também a influência da espectroscopia na mecânica quântica. Em 1909 Ernest Rutherford (1871-1937) junto com Johannes Wilhelm Geiger (1882 -1945) e Ernest Marsden (1889-1970) realizaram um experimento onde bombardearam folhas de ouro com partículas alfa (íons de Hélio) e obtiveram o resultado de que uma em cada 20.000 partículas incidentes eram refletidas na mesma direção de incidência. Através disso, eles puderam demonstrar que os átomos são compostos de um pequeno núcleo, que possui carga elétrica positiva e que é orbitado por uma nuvem de elétrons com carga elétrica negativa. Porém, este modelo atômico tinha falhas, pois se os átomos eram orbitados por cargas negativas, elas não poderiam estar paradas, pois seriam atraídas em direção ao núcleo por causa da força coulombiana, além disso, cargas elétricas aceleradas geram instabilidade e claramente os átomos são estáveis, o que levou à conclusão de que as leis da mecânica clássica não se aplicavam à corpos extremamente pequenos.

Em 1900, Max Planck (1858-1947) fez um modelo de quantização da energia dos osciladores de uma cavidade de corpo negro, onde a energia absorvida, ou emitida pelos osciladores, seria composta por vários “pacotes” de energia, os quais foram chamados de “*quanta*”. Albert Einstein (1879-1955), estudando o efeito fotoelétrico, usou esta ideia de pacotes de energia, e quantização para a luz, o que o levou a concluir que a luz podia ser considerada como constituída por fótons, e que cada fóton tem uma energia  $E$ , expressa por:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

onde  $h$  é a constante de Planck:

$$h = 6,62607004 \cdot 10^{-34} \text{J} \cdot \text{s}$$

e  $c$  é a velocidade da luz,  $c = 299.792.458 \text{ m/s}$ .

A partir destas contribuições a mecânica quântica passou a ser desenvolvida. No entanto o foco deste trabalho não é entrar nos detalhes da quântica e sim da astrofísica, mas não podemos deixar de citar a influência da espectroscopia em diferentes áreas da ciência.

Em astrofísica o papel da espectroscopia também é fundamental para o que é chamado de radiação de corpo negro. Corpos negros são aqueles que não refletem nenhum tipo de luz e absorvem (e emitem) toda a radiação térmica que é incidida sobre eles. Todo corpo emite e absorve radiação térmica do meio. Corpos muito aquecidos como as estrelas emitem radiação no infravermelho, mas também emitem no espectro visível.

## Capítulo 3 A classificação espectral

Chegamos num ponto em que todas as contribuições que vimos até aqui nos dão uma grande possibilidade de entender mais sobre as estrelas e os corpos celestes do nosso universo. No Capítulo 1 vimos que através das leis de Kepler e de Newton podemos compreender a mecânica que rege o movimento destes corpos. No Capítulo 2 vimos que a espectroscopia nos possibilita compreender a composição química e a matéria que compõe os corpos celestes. A partir disso, os cientistas conseguiram coletar uma grande quantidade de informações sobre as estrelas, e conforme a física ia se desenvolvendo, era necessário arquivar estas informações, para que se tivesse uma base de dados com a qual trabalhar e pesquisar mais e mais sobre as estrelas.

Neste Capítulo vamos entrar um pouco na história de como o catálogo e a classificação das estrelas foi feito. Veremos também um pouco da evolução do meio científico, que até então era um lugar dominado pelos homens, mas isso era apenas um reflexo da sociedade da época. Edward Charles Pickering (1846-1919) diretor do observatório da Universidade de Harvard, em Cambridge nos Estados Unidos, tinha em sua equipe um grande número de mulheres, que foram fundamentais para a classificação de muitas estrelas a partir de seus espectros de emissão e absorção de luz.

Antes disso, porém, na época de Fraunhofer, que observou vários espectros da luz emitida pelas estrelas, um homem chamado Sir William Huggins (1824-1910) e o irmão Ângelo Secchi (1818-1878), fizeram análises mais completas desses espectros e perceberam que nem todos eram iguais, alguns deles se pareciam com o do Sol. Porém ao analisarem espectros de uma nebulosa (o primeiro), e depois mais de 70 outros espectros, concluíram que as nebulosas apresentavam linhas brilhantes (de emissão) e fizeram também a primeira classificação espectral das estrelas, baseando-se nas linhas escuras de absorção de luz.

Antes de voltarmos à história de Pickering, temos que citar que tirar fotografias das estrelas ainda não era possível, até que em 1839, Joseph-Nicéphore Niépce (1765-1833) e Louis-Jacques-Mandé Daguerre (1787-1851) conseguiram aplicar a fotografia à astronomia e astrofísica. Até que em 1872, Henry Draper (1837-1882) conseguiu a primeira foto de um espectro da luz emitida por uma estrela, neste caso o da estrela Vega.

Finalmente chegamos em Pickering, que ao perceber que precisaria de vários espectros estelares para fazer a catalogação ou classificação espectral, passou a utilizar da fotografia para coletá-los. Williamina Fleming (1857-1911) começou com a classificação, até que em seguida várias outras mulheres ajudaram na classificação espectral, dentre elas Antonia Caetana de Paiva Pereira Maury (1886-1952), esta sobrinha de Henry Draper, Annie Jump Cannon (1863-1941), esta responsável pela classificação de mais de 225.000 estrelas. Annie Cannon percebeu que as estrelas variavam de azul-esbranquiçadas até avermelhadas e classificou os espectros da seguinte forma com base nas linhas de hidrogênio: A são as estrelas com linhas mais fortes, B são estrelas com linhas um pouco menos forte, C as estrelas com linhas ainda mais fracas e assim sucessivamente. No período de classificação dos espectros, diversas mulheres trabalharam no observatório dirigido por Pickering. Isso foi muito importante para que as mulheres ganhassem mais espaço no meio científico, já que Pickering era conhecido por não gostar de trabalhar com homens, pois os achava incompetentes demais para fazer o trabalho de maneira correta. Foi uma época importante para a contribuição feminina na ciência. Importante ressaltar que Pickering, era professor do MIT<sup>xiii</sup> e além da contribuição na classificação espectral também foi o responsável por descobrir as estrelas binárias espectroscópicas<sup>xiv</sup>.

Estrelas são esferas auto gravitantes de gás ionizado que têm a sua fonte de energia na fusão nuclear do hidrogênio em hélio, e conforme vão envelhecendo, o hélio se funde em lítio, lítio se funde em berílio e assim sucessivamente, de acordo com a tabela periódica. Foi descoberto, de maneira independente em 1911 pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967) e em 1913 pelo americano Henry Norris Russel (1877-1957) o que é chamado hoje de diagrama HR, que consiste na relação entre a luminosidade de uma estrela e a temperatura superficial da mesma. O diagrama HR ainda é usado nos dias de hoje para a classificação estelar. Hertzsprung descobriu que as estrelas poderiam ser divididas de duas formas:

1. **Luminosas:** São as estrelas gigantes.
2. **Baixa luminosidade:** São as estrelas anãs.

É possível determinar a magnitude absoluta (luminosidade) de uma estrela e a sua temperatura através da magnitude aparente e da sua cor e/ou tipo espectral, respectivamente. Através do diagrama mostrado na Figura 3, percebemos que as estrelas não se distribuem de

---

<sup>xiii</sup> MIT é a sigla do Massachusetts Institute of Technology, localizado em Cambridge, Massachusetts nos Estados Unidos.

<sup>xiv</sup> Estrelas binárias consiste em um sistema estelar de duas estrelas orbitando um centro de massa em comum.

uma maneira igual, porém elas se concentram em determinadas partes. O que determina onde uma estrela vai ficar, ou não no diagrama é a sua massa, isto é, estrelas mais massivas são mais luminosas e mais quentes, e as estrelas que ficam na parte do diagrama chamada de sequência principal, têm uma luminosidade chamada luminosidade  $V$ , e são chamadas de anãs. A Figura 3 mostra como é o diagrama HR.

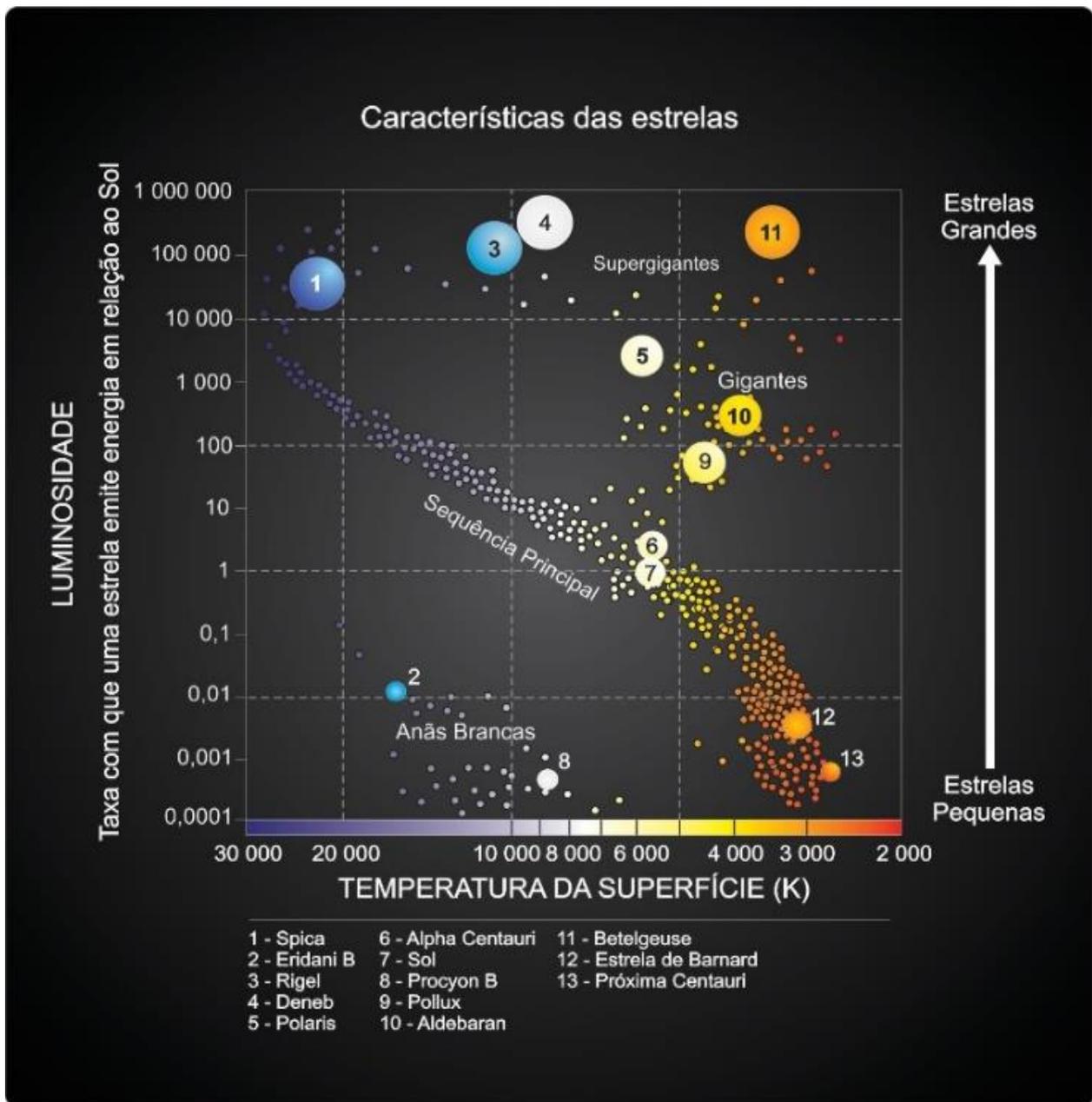


Figura 3 Diagrama HR

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>

Acesso em 21/09/2021

## Capítulo 4 A química das estrelas

Arthur Eddington (1882-1944) foi o responsável por antecipar a descoberta do processo de fusão nuclear que ocorre nas estrelas. Como já foi brevemente mencionado no Capítulo 3, estrelas são corpos esféricos, auto gravitantes, feitos de metais ionizados.

Durante o seu tempo de vida uma estrela faz a queima de um elemento químico em outro elemento químico, seguindo a ordem da tabela periódica. O hidrogênio é o elemento mais abundante e mais simples em todo o universo, possuindo apenas um próton e um elétron. O processo de fusão nuclear na superfície do Sol ocorre quando quatro prótons e dois elétrons se fundem formando assim o núcleo do segundo elemento da tabela periódica, a partícula alfa mais dois neutrinos e seis raios gama. Este processo de fusão se repete de elemento nuclear para elemento nuclear, dependendo da temperatura da região estelar, e vai percorrendo a tabela periódica. Entretanto, no seu tempo de vida, as estrelas não são capazes de fundir todos os elementos da tabela periódica, as estrelas maiores chegam a fundir até no máximo o núcleo do ferro, e acaba-se a capacidade de fundir os núcleos dos átomos maiores e a estrela morre.

Eddington especulou que este processo de fusão nuclear liberaria uma grande quantidade de energia de acordo com a equação de Einstein:

$$E = mc^2$$

onde  $E$  é a energia,  $m$  é a massa e  $c$  é a velocidade da luz.

A fonte de energia das estrelas foi um mistério tão grande para os cientistas, que quando Cecilia Payne-Gaposchkin (1900-1979) publicou sua dissertação de doutorado no Radcliffe College (hoje parte da Universidade de Harvard), onde ela aplicava a teoria da ionização às atmosferas estelares com o objetivo de relacionar as classes espectrais à temperatura das estrelas, descobrindo assim que a composição química da maioria das estrelas é de hidrogênio e hélio, seus orientadores, sugeriram que ela mudasse a conclusão de seu trabalho antes mesmo de ser publicado, pois foi uma descoberta muito inesperada para a época, porém pesquisas posteriores comprovaram que esta contribuição pioneira foi dela. Importante ressaltar que Cecilia Payne frequentou a Universidade de Cambridge que na época chamava-se Newnham College, onde estudou botânica, física e química, concluindo seus estudos, porém não recebeu o diploma, pois até 1948 a Universidade de Cambridge não concedia diplomas a mulheres. Depois disso, ela se mudou para os Estados Unidos, onde

atuou como pesquisadora na Universidade de Harvard, onde escreveu a sua tese de doutorado já mencionada, e em 1956 se tornou a primeira mulher a ser professora associada de Harvard. Isso mostra que mesmo diante das dificuldades impostas pela sociedade daquela época, a perseverança e o trabalho fizeram com que Cecília conseguisse realizar os seus objetivos.

Todas estas contribuições de como são compostas as estrelas foram fundamentais para o conhecimento que se tem hoje sobre os processos estelares. Os avanços feitos nos últimos anos também só foram possíveis graças a modelagens computacionais, que através das equações básicas da mecânica de fluidos, termodinâmica, mecânica estatística, da física de plasmas, física nuclear e física de partículas, além da mecânica relativística, foi possível obter as informações sobre as estrelas que se tem hoje.

## Capítulo 5 Física teórica e física observacional

A física é a ciência que estuda a matéria e a energia. Existem diversas áreas dentro da física, sendo a astrofísica uma delas, porém também temos o que é chamado de física teórica. Apesar de ser uma ciência majoritariamente experimental, existem fenômenos na natureza que não somos capazes de reproduzir experimentalmente. Por exemplo, na mecânica newtoniana, que vimos no Capítulo 1 temos a lei da gravitação universal, que pode ser reproduzida através do experimento da balança de torção como mostra a Figura 1. Já a física teórica se preocupa com a formulação de modelos matemáticos para prever e descrever os fenômenos físicos observados, ou previstos. Neste contexto as experimentações são mais limitadas.

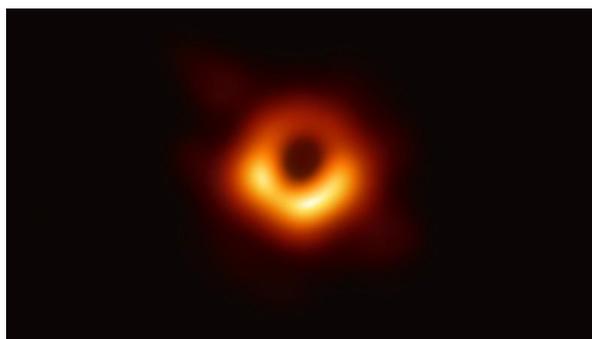


Figura 4 - Primeira imagem de um buraco negro.

Fonte:

<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2019/04/foto-de-um-buraco-negro-e-revelada-pela-primeira-vez-na-historia.html>

Acesso em 13/10/2021

Enquanto a astrofísica é uma ciência observacional, isto é, podemos ver os corpos celestes e coletar dados sobre as estrelas através de telescópios com tecnologia de ponta e assim realizar pesquisas científicas baseadas nos dados coletados. Porém algumas questões não podem ser respondidas apenas olhando o universo através de um telescópio, como por exemplo: “o que acontece quando nos aproximamos de um buraco negro?” É uma pergunta pertinente. Hoje, no século XXI já conseguimos tirar fotos de um buraco negro como mostra a Figura 4, porém não temos como saber o que acontece ao nos aproximarmos de um buraco negro, pois a gravidade é tão forte que nem mesmo a luz consegue escapar. É neste ponto que entra o papel da física teórica com a elaboração de teorias e modelos para explicar as coisas que não podem ser verificadas com simples experimentos ou observadas através de equipamentos ópticos.

Há também uma inversão de papéis. Às vezes, é necessário que se comprove experimentalmente uma previsão teórica que até então era considerada impossível. Um exemplo simples da relação entre a física teórica e a astrofísica é a teoria da Relatividade Geral de Einstein, que substituiu conceitos independentes de espaço e tempo da teoria newtoniana e passa a olhar para ambos como uma única entidade geométrica, o espaço-tempo.

Todos estes conceitos teóricos têm embasamento científico e claro, são estudados e verificados por vários cientistas depois de serem publicados até serem aceitos pela comunidade como teorias científicas.

No que diz respeito à parte observacional, não podemos falar de astrofísica sem falar de Edwin Hubble (1889-1953), que foi um astrônomo americano que fez grandes contribuições para a astronomia e astrofísica. Hubble estudou Direito na Universidade de Chicago, era conhecido por ser um rapaz muito atlético, jogava beisebol, futebol americano e basquete e quebrou o recorde do salto em altura no estado de Illinois nos Estados Unidos. Mas as suas maiores contribuições não foram para o direito nem para o esporte. Depois de alguns anos atuando na área jurídica, Hubble decidiu ensinar matemática, física, espanhol e treinar o time de basquete em uma escola no estado de Indiana nos Estados Unidos e fazer um doutorado na área de astronomia. Após o término do doutorado se alistou no exército e serviu durante a primeira guerra mundial. Após a guerra, voltou a estudar e trabalhar em um observatório no estado da Califórnia.

Durante a sua carreira como astrônomo, Hubble fez várias descobertas e contribuições fundamentais para a área. Ele descobriu ao observar nuvens de poeira e gás que os astrônomos acreditavam serem nebulosas, que existem outras galáxias além da nossa Via Láctea. Além disso, ele calculou a distância entre a galáxia de Andrômeda e a Via Láctea, obtendo um resultado de aproximadamente 1 milhão de anos-luz. Hubble também descobriu que as galáxias que ele observava estavam se afastando umas das outras, e que a velocidade de afastamento aumenta conforme elas se afastam, ou seja, quanto mais se afastam, mais rápido se afastam. Esta contribuição é conhecida como a Lei de Hubble, também chamada de Lei de Hubble-Lemaître. A forma matemática para lei de Hubble é:

$$v = H_0 D$$

onde  $H_0$  é a constante de proporcionalidade que até hoje não há um consenso entre os astrônomos e astrofísicos em relação ao seu valor, porém o valor mais aceito é de aproximadamente  $67,15 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ ,  $D$  é a distância em megaparsecs (Mpc) e  $v$  é a velocidade em  $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Além disso, a descoberta de que as galáxias estão se afastando umas das outras<sup>xv</sup>, veio a confirmar a teoria do Big-Bang proposta pelo padre jesuíta e físico belga Georges Lemaître

---

<sup>xv</sup> Nem todas as galáxias estão se afastando.

(1894-1966) que a chamava de “hipótese do átomo primordial.” A teoria do Big-Bang ou grande expansão diz que em um tempo finito o universo estava denso e quente há cerca de 13,8 bilhões de anos atrás. Lemaître baseou-se na teoria da relatividade geral de Einstein para propor esta, até então, hipótese em um artigo publicado dois anos antes da publicação de Hubble sobre o afastamento das galáxias. Esta é a parte fundamental da ciência. Várias pessoas contribuindo, para o conhecimento do homem sobre o universo. A física teórica nem sempre pode ser demonstrada experimentalmente, mas a questão fundamental é que ambas as partes são de extrema importância para que possamos adquirir cada vez mais conhecimento sobre o universo. Fazer ciência é um trabalho árduo, que requer muito esforço, muito estudo e dedicação por parte do cientista, e são nomes como Hubble que começou sua carreira como advogado e migrou para a ciência que nos inspiram a continuar pesquisando e procurando cada vez mais compreender como os fenômenos acontecem no nosso universo. Hubble recebeu diversas homenagens pelas suas contribuições, dentre elas: o asteroide 2069 Hubble, a cratera Hubble na Lua, o telescópio espacial Hubble, o Planetário Edwin P. Hubble, na Edward R. Murrow High School, no Brooklyn, em Nova York, a Rodovia Edwin Hubble Highway, um acesso da Interestadual 44, passando por sua cidade natal, em Marshfield, no estado do Missouri, nos Estados Unidos, a Hubble Middle School, escola pública em Wheaton, Illinois onde ele morou por 11 anos.

Na física e em outras áreas da ciência, como a química e a biologia, as contribuições levam um certo tempo para serem feitas. É necessário muito estudo, muita pesquisa e muita verificação daquilo que está sendo proposto, utilizando sempre o método científico. Quando olhamos para as contribuições e as descobertas mais recentes, isso fica evidente. Em 1916, Albert Einstein previu a existência de ondas gravitacionais, baseando-se em sua teoria da reatividade geral. Estas ondas foram detectadas em 2015, 99 anos depois da previsão de Einstein. Estas ondas transportam energia na forma de radiação gravitacional, com base na teoria da relatividade. Corpos com massa causam deformação no espaço-tempo, quando estes corpos maciços, como estrelas ou buracos negros se fundem, eles causam ondulações no “tecido” do espaço tempo e estas ondas se espalham pelo universo. Com o auxílio do Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory, ou LIGO, que é um laser sensível o suficiente para detectar estas ondas que são praticamente imperceptíveis, os cientistas conseguiram confirmar a previsão feita por Einstein quase cem anos antes.

A teoria da relatividade geral foi fundamental para o desenvolvimento da física teórica e também para os avanços na astrofísica. Durante o século XX tivemos grandes contribuições

de físicos como Stephen Hawking (1942-2018) que ficou famoso por ser um homem extremamente inteligente e que mesmo diante das dificuldades impostas pela sua doença degenerativa e incurável (Esclerose Lateral Amiotrófica - ELA), fez contribuições importantíssimas para a física, astrofísica e cosmologia. Dentre os trabalhos científicos de Hawking, temos o teorema da singularidade gravitacional, baseada na relatividade geral, e a previsão teórica de que os buracos negros emitem radiação, que em sua homenagem, é chamada de radiação Hawking.

## Capítulo 6 O que virá?



Figura 5 Ilustração fictícia da colonização de Marte.

Fonte:

<https://revistagalileu.globo.com/Ciencia/Espaco/noticia/2018/07/nas-a-revela-melhores-ideias-de-casas-para-colonizacao-de-marte.html>

Acesso em 31/10/2021

há pouco tempo atrás. Vemos nos noticiários, empresários bilionários investindo em exploração espacial, e de fato querendo visitar outros planetas do nosso sistema solar. O Homem pisou na Lua com uma tecnologia que hoje é extremamente inferior a qualquer telefone celular que está no bolso das pessoas, e os avanços não param. Então em um futuro próximo podemos ter naves espaciais mais rápidas, mais eficientes, assim como teremos o *Extremely Large Telescope*, podemos ter uma “*Extremely Large Space Station*”, onde poderemos visitar turisticamente, ou quem sabe até morar em Marte.

É claro que a colonização de Marte parece algum roteiro de filme de ficção científica, porém, em algum dado momento no passado a ida do Homem à Lua também era visto desta forma, e seria de extrema importância para a astronomia e astrofísica, de modo que os humanos poderiam explorar o planeta por si próprio ao invés de “apenas” enviarem máquinas de exploração espacial. Inclusive já existem graduações em mineração espacial em algumas Universidades dos Estados Unidos, e a previsão é de que em um futuro próximo esta profissão esteja em alta. Vivemos em uma época onde temos o privilégio de ver roteiros de ficção científica se tornando realidade, e com tantos lugares esperando para serem explorados no Universo, tomara que um dia consigamos aprender um pouco mais sobre a nossa origem, afinal, como disse Carl Sagan:

“O cosmos é tudo que existe, existiu ou existirá. A nossa contemplação do universo nos comove, provoca calafrios, nos corta a voz, causa uma sensação de vertigem como uma memória remota de estar caindo de uma grande altura. Sabemos que estamos nos aproximando do maior de todos os mistérios [...] alguma parte do nosso ser nos diz que esta é a nossa origem, e nós queremos retornar, e podemos, porque o cosmos está dentro de nós. Nós somos feitos de matéria estelar. Nós somos uma forma do cosmos conhecer a si mesmo.”

O Universo está cheio de mistérios esperando para serem explicados ou até mesmo descobertos, nossa espécie é jovem e curiosa, e tomara que consigamos desvendar e aprender cada vez mais sobre a nossa origem.

## Capítulo 7 Conclusão

Ao se estudar ciência, aprende-se muito sobre o universo e como as coisas funcionam, seja através da física, da química, da biologia, da astrofísica. Quando se olha para a história da ciência, pode-se ver o quanto o trabalho científico é importante para o desenvolvimento do ser humano, não só intelectualmente, mas como uma sociedade em si. Máquinas a vapor foram criadas baseando-se no método científico, graças à física e as suas aplicações. Hoje existem máquinas elétricas que tornam a vida do ser humano no dia-a-dia mais fácil. Ao olhar a história da astrofísica e das pessoas que fizeram contribuições inestimáveis para o ramo, podemos ver que não foi fácil. O trabalho científico é árduo e difícil, mas vale a pena. Todos aqueles que foram citados neste trabalho que fizeram contribuições desde Galileo, Newton, até Stephen Hawking, estão para sempre na história da ciência como grandes contribuintes para o conhecimento da humanidade acerca do Universo.

Há um ditado popular que diz ser importante estudar história para que não se cometam os mesmos erros do passado. Porém esta é uma maneira pessimista de olhar as coisas, focando apenas em não repetir erros. Devemos também estudar a história da ciência para que possamos aprender com os acertos daqueles que vieram antes de nós, e usá-los como inspiração para que continuemos em busca de conhecimento sobre o Universo.

## BIBLIOGRAFIA

FILHO O. S. K., SARAIVA, O. F. M., *Astronomia e Astrofísica*, Editora Livraria da Física, 2017.

BERRY A. *A Short History of Astronomy*, New York: Dover, 1961.

CAJORI F. *A history of physics*, New York Dover, 1961.

DREYER, J.L.E. *A history of astronomy from Thales to Kepler*, New York: Dover, 1953.

GREENE, B. *The elegante universe*, New York: W.W. Norton & Company, 1999.

BOCKZO, R. *Conceitos de Astronomia*, São Paulo, editora Blucher, 1984.

FEYNMAN, R.P., LEIGHTON, R.B., SANDS, M. *Lições de física de Feynman*, v. 1, Editora Bookman, 2019.

SHU. F. *The physical Universe; An introduction to astronomy*. Mill Valley: Universe Science Books, 1982.

ZELLIK. M. *Astronomy – The evolving universe*. New York: John Wiley & Sons, 1994.

ZELLIK. M; SMITH. E. *Introductory Astronomy and Astrophysics*. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1987.

HALLIDAY, D RESNICK, R. WALKER, J. *Fundamentos da Física*, v. 1 - 10ª Edição Rio de Janeiro, Editora Livros Técnicos e Científicos, 2016.

EISBERG, Robert; RESNICK, Robert. *Física Quântica; átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas*, editora Campus, 1ª Edição, 1979.

H.M. NUSSENZVEIG, *Curso de Física Básica.*, Vol. 1, editora Blucher 5ª Edição, 2014.

H.M. NUSSENZVEIG, Curso de Física Básica., Vol. 4, editora Blucher 2ª Edição, 2014.

## APÊNDICE A - Uma breve história dos telescópios



Figura 6 – Luneta de Galileu.

Fonte: [www.galileotelescope.org](http://www.galileotelescope.org).

Acesso em 13/10/2021

Muitas pessoas acreditam que Galileo Galilei foi o inventor do telescópio, porém, escavações feitas na ilha de Creta indicam que instrumentos ópticos já eram utilizados para observações espaciais por volta de 2000 a.C. Galileo de fato construiu o seu próprio telescópio (luneta da Figura 6) em 1610 e começou a fazer observações com ele.

Existem dois tipos de telescópios: o refletor e o refrator. O telescópio construído por Galileo em 1610 era composto por uma lente côncava e uma convexa. Johannes Kepler publicou um livro chamado *Dioptrice* em 1611, onde afirmava que um telescópio seria melhor construído se fossem usadas duas lentes convexas, como são usadas hoje em dia. Isaac Newton em 1668, construiu um telescópio refletor, que é usado até os dias atuais em todos os observatórios profissionais. Ele usou um espelho curvo do tipo paraboloide ou hiperboloide ao invés de usar uma lente como nos telescópios refratores, como os de Galileo e Kepler. Newton decidiu utilizar um espelho pois ele havia descoberto que a luz branca na verdade era uma mistura dos diferentes tipos de raios que eram refratados em ângulos diferentes. O telescópio de Newton gerava imagens nove vezes maiores do que as imagens de um telescópio refrator quatro vezes mais longo, porém os espelhos esféricos daquela época produziam imagens com imperfeições e aberrações esféricas.

Em 1672, um francês chamado Guillaume Cassegrain (1625-1712), também conhecido como Jacques Cassegrain, de quem se sabe muito pouco, propôs que se usasse um segundo espelho do tipo convexo para que a luz pudesse convergir em um buraco no centro do espelho principal, porém não era possível fazer espelhos curvos naquela época. Hoje, praticamente todos os telescópios refletores possuem o foco Cassegrain,



Figura 7 - Telescópio de Newton.

Fonte: <http://astro.if.ufrgs.br/telesc/node2.htm>

Acesso em 13/10/2021

sendo que a distância entre o espelho principal e o secundário aumenta a distância focal e permite uma grande escala de imagens.

Em 1731, o matemático inglês John Hadley (1682-1744) inventou um aparelho chamado sextante, cujo propósito é olhar o horizonte e uma estrela de maneira simultânea através de uma luneta, podendo assim medir a sua altura. Este instrumento foi bastante utilizado na navegação, pois a distância angular entre o bordo inferior do disco solar e o horizonte com a hora na qual a observação é feita permite determinar a posição do navio. Alguns anos depois em 1757, um físico e imigrante francês na Inglaterra chamado John Dolland, patenteou uma lente acromática que combina duas lentes de vidro diferentes para focar a luz com diferentes comprimentos de onda no mesmo ponto focal. De maneira independente o matemático inglês Chester Moor Hall (1703-1771) havia construído um telescópio (o primeiro) com lentes acromáticas. Em 1897, o astrônomo e fabricante de lentes americano Alvan Clark (1804-1887) inaugurou o telescópio refrator de 40 polegadas de Yerkes, em Chicago, Illinois nos Estados Unidos.



Figura 8 – Sextante de Hadley.

Fonte:

<http://www.astro.mat.uc.pt/novo/observatorio/site/museu/T0194sex.htm>

Acesso em 13/10/2021



Figura 9 – Telescópios Keck I e Keck II.

Fonte:

<https://www.paybanks.ga/products.aspx?cname=keck+ii+telescopes&cid=6&xi=2&xc=25&pr=62.99>

Acesso em 13/10/2021

Em 1948 o telescópio Hale foi inaugurado no Monte Palomar na Califórnia, Estados Unidos. Ele possui um espelho primário de 200 polegadas (5 metros) de diâmetro e durante três décadas foi o maior telescópio do mundo. Desde 1993 os maiores telescópios são o Keck I e o Keck II, localizados no Havaí, e seus espelhos possuem um diâmetro de 10 metros cada e são formados por mosaicos de espelhos menores. Há também os telescópios de espelhos únicos, chamados monolíticos, os maiores são o VLT que pertence ao European Southern Observatory, localizado no Chile, o Gemini Norte e o Subaru que também fica no Havaí, sendo todos eles com um diâmetro de 8,2 metros no espelho principal.

Atualmente, em 2021 está sendo construído o telescópio que será o maior de todos e que irá nos ajudar a coletar ainda mais informações sobre as estrelas e o universo observável. Ele se chamará “*Extremely Large Telescope*” ou ELT, que significa telescópio extremamente grande e terá um espelho com um diâmetro de 39 metros. A previsão é que ele fique pronto até 2025. A Figura 10 é uma ilustração de como ele será.

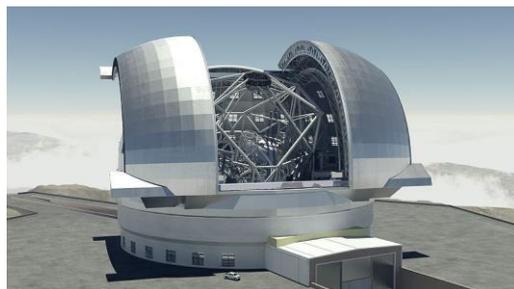


Figura 10 - Extremely Large Telescope.

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:The E-ELT.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:The_E-ELT.jpg)

Acesso em 13/10/2021



Figura 11 - Telescópio Hubble.

Fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio espacial Hubble>

Acesso em 27/10/2021

Além destes telescópios que temos aqui na Terra, também existem telescópios espaciais, sendo o mais famoso deles o telescópio espacial Hubble, que recebeu este nome em homenagem a Edwin Hubble, e foi lançado em 24 de abril de 1990 pela NASA (National Agency of Space Administration) a bordo do ônibus espacial Discovery na missão STS-31. O telescópio Hubble já proporcionou inúmeras fotografias de galáxias, quasares, nebulosas, dentre outros corpos celestes presentes no universo.

Além dos telescópios ópticos, existem radiotelescópios, que também são instrumentos de observação astronômica capazes de captar um grande intervalo de ondas eletromagnéticas de rádio, que não são visíveis a olho nu, e através de radiotelescópios é possível analisar uma maior quantidade de dados vindos de regiões mais internas das galáxias. Assim, é possível mostrar o “som” oriundo do hidrogênio que compõe nuvens de gás e poeira, como é o “som” da nossa estrela, o Sol ou ainda ouvir a radiação cósmica de fundo, que é a radiação remanescente do Big Bang. Os radiotelescópios fazem parte de uma área da astronomia chamada radioastronomia, que é justamente a coleta de dados astronômicos através das ondas de rádio.

O maior radiotelescópio do mundo está localizado na Rússia, seu nome é RATAN-600 com 576 m de diâmetro da antena circular.

No ano de 2020, infelizmente o radiotelescópio mais conhecido do mundo, o radiotelescópio de Arecibo, localizado em Porto Rico foi destruído. O radiotelescópio sofreu danos devidos ao furacão Maria em 2017 e também com terremotos nos anos de 2019 e 2020, a empresa responsável pela manutenção do telescópio anunciou que ele seria desativado, porém antes mesmo que isso



Figura 12 RATAN-600 O maior radiotelescópio do mundo.

Fonte: <https://veja.abril.com.br/ciencia/sinal-misterioso-captado-na-russia-e-possivelmente-terrestre/>

Acesso em 31/10/2021



Figura 13 Radiotelescópio de Arecibo em Porto Rico.

Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Arecibo\\_Radiotelescopio\\_SJU\\_06\\_2019\\_7472.jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Arecibo_Radiotelescopio_SJU_06_2019_7472.jpg)

Acesso em 31/10/2021

puddesse acontecer, vários dos cabos de suporte restantes sofreram uma falha crítica e a estrutura de suporte, antena e conjunto de cúpula caíram no dia 1 ° de dezembro de 2020, destruindo o telescópio.

## APÊNDICE B - Algumas imagens do telescópio Hubble.



Figura 14- Anel de Einstein (Imagem: Reprodução/NASA/ESA/Hubble).

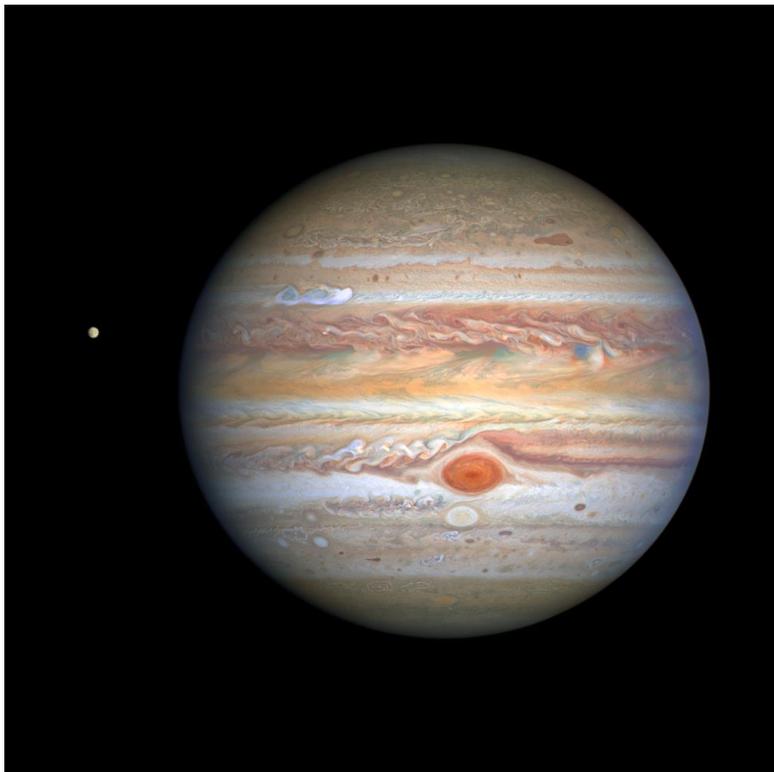


Figura 15 - O planeta Júpiter (Imagem: Reprodução/NASA/ESA/Hubble).



Figura 16 Recife C3smico (Imagem: Reproduo3o/NASA/ESA/STSCI).



Figura 17 Gal3xia UGC 2885 (Imagem: Reproduo3o/NASA/ESA/STSCI).

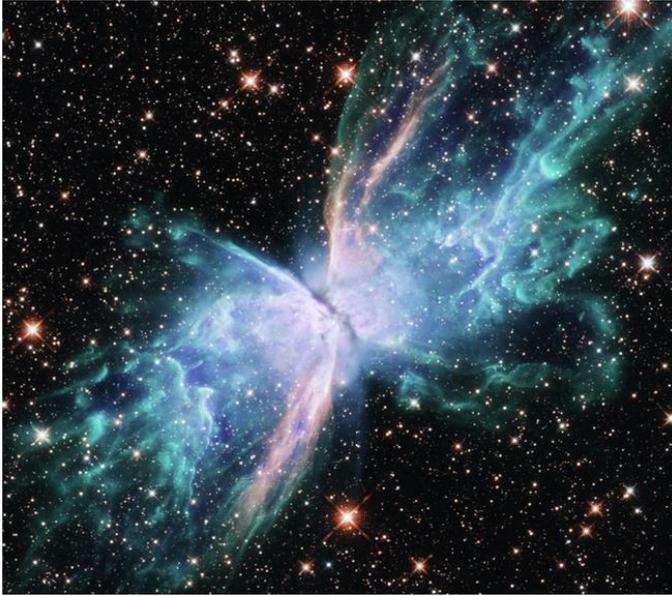


Figura 18 Nebulosa da Borboleta (Imagem: Reprodução/NASA/ESA/STSCI).



Figura 19 Sombra de um buraco negro (Imagem: Reprodução/NASA/ESA/STSCI).



Figura 20 Berçário de estrelas frEGGS (Imagem: Reprodução/NASA/ESA/STSCI).

## RESOLUÇÃO n°038/2020 – CEPE

### APÊNDICE C – Termo de autorização.

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O estudante João Paulo de Melo Martins do Curso de **Licenciatura plena em Física**, matrícula 2018.2.0018.0025-6, telefone:(62) 98253-0845, e-mail joapaulo03540@gmail.com, na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei n° 9.610/98 (Lei dos Direitos do autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado **Uma breve história da astrofísica** gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto (PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 08 de dezembro de 2021.

Assinatura do(s) autor(es):

*João Paulo de Melo Martins*

Nome completo do autor: João Paulo de Melo Martins

Assinatura do professor-orientador: *Francisco Osório*

Nome completo do professor-orientador: Francisco Aparecido Pinto Osório