



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

A BRIEF HISTORY OF ASTROPHYSICS

BREVE HISTORIA DE LA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins¹, Francisco Aparecido Pinto Osório², Clóves Gonçalves Rodrigues³

e3102046

<https://doi.org/10.47820/recima21.v3i10.2046>

PUBLICADO: 10/2022

RESUMO

Neste artigo se relatou, de maneira muito breve, a história da astrofísica de forma didática e acessível. O foco do trabalho é na parte histórica, sem entrar em detalhes matemáticos, passando pelos principais acontecimentos desta ciência nos últimos séculos, detalhando sobre alguns dos principais cientistas que fizeram contribuições nesta área. Neste artigo se procurou apresentar o desenvolvimento histórico da mecânica celeste dos corpos, da espectroscopia, algumas ferramentas utilizadas na catalogação das estrelas, a composição química dos corpos celestes, e o papel da teoria e da experimentação física nesta área. É realizada, também, uma breve apresentação da evolução dos aparatos de observação espacial como telescópios e radiotelescópios. Questionamentos sobre o que está por vir em um futuro próximo (ou não) também são discutidos.

PALAVRAS-CHAVE: Astrofísica. Mecânica Celeste. Telescópios. História da Ciência.

ABSTRACT

This article briefly describes the history of astrophysics in a didactic and accessible way. The focus of the work is on the historical part, without going into mathematical details, going through the main events of this science in the last centuries, detailing some of the main scientists who made contributions in this area. This paper sought to present the historical development of celestial body mechanics, spectroscopy, some tools used in cataloging the stars, the chemical composition of celestial bodies, and the role of theory and physical experimentation in this area. A brief presentation of the evolution of space observation apparatus such as telescopes and radio telescopes are also given. Questions about what is to come in the near future (or not) are also discussed.

KEYWORDS: Astrophysics. Celestial Mechanics. Telescopes. History of Science.

RESUMEN

En este artículo informamos, de forma muy breve, de la historia de la astrofísica de forma didáctica y accesible. La obra se centra en la parte histórica, sin entrar en detalles matemáticos, repasando los principales acontecimientos de esta ciencia en los últimos siglos, detallando algunos de los principales científicos que realizaron aportaciones en esta área. Este artículo pretende presentar el desarrollo histórico de la mecánica de los cuerpos celestes, la espectroscopia, algunas herramientas utilizadas en la catalogación de las estrellas, la composición química de los cuerpos celestes y el papel de la teoría y la experimentación física en este ámbito. También se presenta brevemente la evolución de los aparatos de observación del espacio, como los telescopios y radiotelescopios. También se discuten cuestiones sobre lo que está por venir en un futuro próximo (o no).

PALABRAS CLAVE: Astrofísica. Mecánica Celeste. Telescopios. Historia de la ciencia

¹ Licenciado em Física pela Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

² Doutor em Física pela Universidade de São Paulo. Professor Titular da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.

³ Doutor em Física pelo Instituto de Física Gleb Wataghin da Unicamp. Professor Titular da Escola Politécnica da Pontifícia Universidade Católica de Goiás.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA
João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

1 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 e em especial o céu noturno que sempre fascinou e ainda encanta o ser humano. A ciência que observa e mapeia as estrelas é a Astronomia que, em seu início, somente observava e nomeava as estrelas que eram visíveis a olho nu, pois ainda não havia telescópios (um breve histórico sobre os telescópios é apresentado no Apêndice). Na época em que não existia o método científico e nem equipamentos de observação altamente tecnológicos como os disponíveis atualmente, o ser humano usava a sua capacidade de imaginar como as coisas funcionavam e supunha por qual motivo funcionavam, criando, então, hipóteses (BORGES, 2022).

Pela curiosidade humana e com a utilização do método científico se tem, atualmente, ferramentas poderosíssimas que nos possibilitam conhecer o universo de uma maneira que os ancestrais jamais imaginaram. Hoje não só sabemos onde estão as estrelas como também podemos determinar as suas temperaturas, os elementos químicos que as compõem, suas dimensões, as suas distâncias etc. Tem-se hoje uma ciência chamada Astrofísica¹. 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 as propriedades de toda a matéria presente no universo.

Apesar de já se saber muito sobre o universo, não se sabe tudo, e não há vergonha alguma em assumir isso. Na verdade, ainda se sabe muito pouco sobre o universo. A ciência não ensina só sobre a natureza do universo, como também ensina humildade. A cada descoberta, a cada contribuição, se aprende que ainda há muito a ser explorado, muito a ser conhecido e pesquisado.

Este artigo trata, historicamente, de como o homem foi apenas da observação das estrelas do céu noturno para uma maior compreensão física do universo, relatando os acontecimentos mais importantes na história da Astrofísica, passando pelos personagens fundamentais no desenvolvimento desta área de conhecimento que é tão importante para um entendimento mais amplo do universo.

2 A GÊNESE DA MECÂNICA CELESTE

Obviamente, em tempos remotos não havia a tecnologia que se conhece hoje. Os telescópios e radiotelescópios ainda não existiam e muito menos a astrofísica. Nesta época remota só era possível olhar para o céu a olho nu.

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. Assim, os filósofos naturais² começaram a observar

¹ Já a Astronomia é a ciência que observa e mapeia os corpos celestes do universo, estando mais ligada à geografia estelar que com a física propriamente dita.

² Filósofos naturais eram como os cientistas eram chamados antigamente.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

os corpos celestes por uma perspectiva diferente, ou seja, além da geografia estelar passando a observar os movimentos dos corpos celestes e a especular do que eram constituídos.

Johannes Kepler (1571–1630), Figura 1, foi um matemático e astrônomo alemão que ministrava aulas em uma escola secundária na cidade de Graz na Áustria. Durante o período da contrarreforma mudou-se para a cidade de Praga e foi trabalhar com um renomado cientista dinamarquês chamado Tycho Brahe (1546–1601), Figura 1, que é considerado o último grande astrônomo observacional antes da invenção do telescópio. Tycho 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 Brahe conseguiu o financiamento de sua pesquisa pelo rei da Dinamarca, Frederik II (1534–1588). Assim, Tycho Brahe pôde construir um observatório na ilha de Hveen, porém, após a morte do Rei, o sucessor cortou o financiamento e Tycho Brahe foi trabalhar em Praga para o imperador da Boêmia (DREYER, 1953).

Figura 1: Johannes Kepler (esquerda) e Tycho Brahe (direita).



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler#/media/Ficheiro:JKepler.jpg

Após a morte de Tycho Brahe, Kepler herdou todos os dados que haviam sido coletados por Tycho Brahe, e dedicou os próximos vinte anos de sua vida a analisá-los. Utilizando os dados astronômicos coletados por Tycho Brahe e com seus conhecimentos matemáticos, Kepler, conseguiu determinar a órbita de Marte (planeta que Tycho Brahe coletou o maior número de dados) e também da Terra. Kepler chegou à conclusão que a órbita de Marte era uma elipse (em que a posição do Sol ficava exatamente em um dos focos da elipse), pois ao tentar aplicar uma trajetória perfeitamente circular, percebeu que a matemática não se adequava aos dados (BERRY, 1961).

Aliando os seus conhecimentos matemáticos com os dados observacionais das órbitas dos planetas, Kepler elaborou entre 1609 e 1618 o que conhecemos hoje como as três leis de Kepler (ALONSO, 1992). São elas:



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

1. **Lei das órbitas elípticas:** 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:** 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:** 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, Galileu Galilei (1564–1642), Figura 2, considerado o pai da física moderna, compreendia o princípio da inércia³, que foi fundamental no desenvolvimento das teorias de Isaac Newton, que veremos mais adiante. É importante frisar que o termo “inércia” se deve a Kepler, já que Galileu ainda usava o termo “impetus” (BASSALO, 2012). Galileu começou a fazer observações astronômicas utilizando um telescópio com aumento de três vezes que ele próprio construiu em 1610. Galileu fez descobertas importantíssimas para o desenvolvimento do nosso conhecimento sobre o universo. Galileu descobriu que a Via Láctea é constituída por uma infinidade de estrelas, descobriu os quatro satélites naturais⁴ (Io, Europa, Ganimedes e Calisto)⁵ que orbitam o planeta Júpiter, observou que o planeta Vênus passa por um ciclo de fases, observou as manchas do Sol e o relevo da superfície da Lua, mostrou que os corpos celestes não são esferas perfeitas, pois possuem irregularidades em seus formatos (DREYER, 1953).

³ 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.

⁴ Estes satélites são conhecidos como “galileanos”.

⁵ Simon Marius (1573–1624) pode ter descoberto os satélites antes, porém Galileu publicou primeiro.

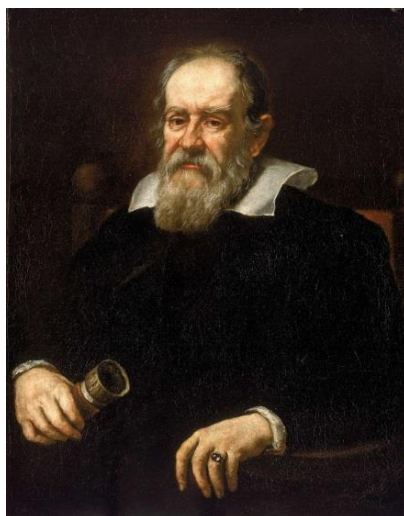


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 2: Galileu Galilei. Pintura de Justus Sustermans em 1636.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei#/media/Ficheiro:Justus_Sustermans_-_Portrait_of_Galileo_Galilei,_1636.jpg

Assim, o sistema heliocêntrico passou a ter um grande suporte de evidências científicas (dados observacionais) graças às descobertas de Galileu, o que gerou problemas entre Galileu e o papa Urbano VIII, que o acusou de heresia e o obrigou a se retratar perante a Inquisição Romana, condenando-o à prisão domiciliar perpétua (STRATHERN, 1998a). Tardamente, no ano de 1992, o papa João Paulo II o redimiou e reconheceu o erro do Vaticano.

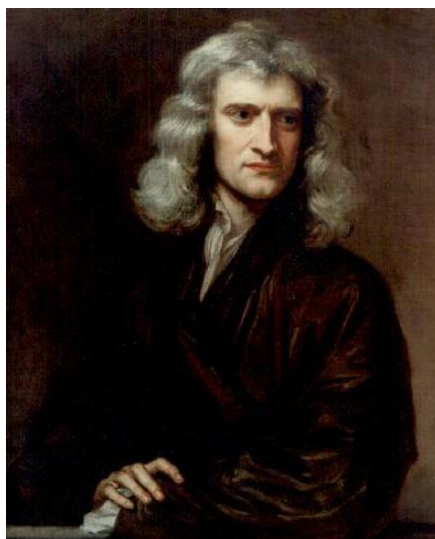
Galileu foi um grande experimentalista e observador. Entretanto, Galileu não tinha uma grande “caixa de ferramentas” matemáticas. Na verdade, ninguém tinha nessa época. Dessa forma, era possível observar e explicar os fenômenos físicos, porém não era possível descrevê-los através de equações matemáticas,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

Até que chegamos a Isaac Newton (1643–1727), Figura 3, que é um dos nomes mais importantes de toda a Física. Newton, a partir dos trabalhos de Galileu, explicou de maneira adequada o que é o movimento e como as forças atuam. Para isso ele inventou o que conhecemos hoje como “Cálculo Diferencial e Integral”⁶ que é uma ferramenta matemática fundamental para que se possa explicar os fenômenos físicos. Newton também teve contribuições em outras áreas da física, não só na mecânica (STRATHERN, 1998b).

⁶ Gottfried Wilhelm Leibniz (1646–1716) foi um matemático alemão também creditado pela invenção do cálculo na mesma época, de maneira independente.



Figura 3: Isaac Newton, com 46 anos de idade, retratado por Godfrey Kneller em 1689.



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton#/media/Ficheiro:Sir_Isaac_Newton_\(1643-1727\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton#/media/Ficheiro:Sir_Isaac_Newton_(1643-1727).jpg)

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 (NUSSENZVEIG, 2014):

1. **Lei da inércia**⁷: 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, que em notação moderna pode ser escrita como:

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

onde \vec{F}_R é a força resultante, ou seja, a soma de todas as forças que atuam sobre a partícula.

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:

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

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 estabeleceu as leis do movimento e definiu a força que nos prende sobre a Terra, foi possível compreender o movimento dos planetas do nosso sistema solar. Vale salientar

⁷ A primeira lei de Newton é uma reafirmação do princípio da inércia iniciado por Galileu.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

que a forma analítica da Mecânica Newtoniana só foi elaborada e concretizada pelo físico e matemático Leonhard Euler (1707–1783) com os seus trabalhos no século XVIII (BASSALO, 2012).

Figura 4: Retrato de Euler feito por Jakob Emanuel Handmann ilustrando o problema de visão no olho direito que Euler tinha (provavelmente estrabismo). O olho esquerdo de Euler, que aqui ainda aparece saudável, foi depois prejudicado por uma catarata.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Leonhard_Euler#/media/Ficheiro:Leonhard_Euler.jpg

Tendo o conhecimento que áreas iguais são percorridas em tempos iguais na órbita dos planetas, Newton percebeu que o Sol poderia ser o centro das forças que regem os movimentos planetários. Analisando a terceira lei de Kepler, foi possível determinar que quanto mais afastado o planeta esteja do Sol, mais fracas são as forças de interação deste planeta com o Sol. Analisando estas duas leis, Newton concluiu que deveria existir uma força inversamente proporcional ao quadrado da distância, na direção de uma linha reta entre os dois corpos. A partir disto, Newton fez uma generalização dessa força, ou seja, ela não se aplica apenas para planetas em interação com o Sol, mas também é aplicável para descrever a atração de satélites naturais em relação aos planetas, como as luas de Júpiter e também a Lua do nosso planeta (CAJORI, 1961).

Newton sabia que havia uma força prendendo a Lua à Terra, e uma força que prendia os corpos da superfície do nosso planeta ao mesmo. Newton deduziu, então, que essas duas forças eram na verdade uma única força, uma força universal, onde tudo atrai todo o resto. Essa força universal é o que chamamos hoje de “força da 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 planetas orbitando o Sol. Importante ressaltar que Newton não chegou a estas conclusões do dia para noite, ele passou anos trabalhando nisso. Inclusive quando Newton fez os cálculos para saber se a atração da Terra sobre os corpos presentes em sua superfície era a mesma que a sobre a Lua, 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



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Newton utilizou valores incorretos em seus cálculos. Newton ao saber disto, refez os cálculos comparando um corpo caindo em relação à Terra e a Lua em relação à Terra e obteve um valor mais preciso corrigindo, então, o seu erro inicial.

Considerando, por simplicidade, uma órbita circular onde o módulo da força centrípeta F_{cp} do Sol sobre um planeta de massa m , velocidade v e raio da órbita r é

$$F_{cp} = m \frac{v^2}{r},$$

tem-se um período P que é dado por:

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

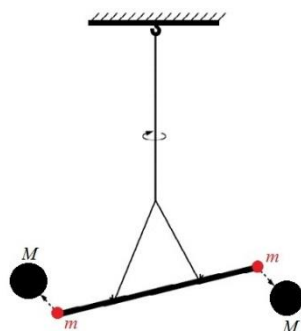
A partir de mais alguns cálculos, utilizando a terceira lei de Kepler, Newton chegou ao que chamamos hoje de lei da gravitação de Newton que, em módulo, é dada pela seguinte equação:

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

onde G é a constante gravitacional, M é a massa maior, m a massa menor e r o raio orbital.

O valor da constante G foi medida pelo físico inglês Henry Cavendish⁸ (1731-1810) em seu laboratório usando uma balança de torção, ilustrada na Figura 5. A balança de Cavendish, como é conhecida, consiste em uma barra suspensa por um fio, com duas massas pequenas (m) em suas extremidades e duas massas maiores (M) nas proximidades de cada massa menor. Cavendish observou que a força de interação gravitacional provocava um deslocamento da massa menor em direção à massa maior, causando uma torção no fio que sustenta a barra. A partir da medida do ângulo de torção, Cavendish pôde calcular a constante gravitacional G (CAJORI, 1961).

Figura 5: Balança de torção de Cavendish.



Fonte: adaptado de (FEYNMAN, 1969).

Graças a todas estas contribuições que levaram anos para serem concretizadas, e que são frutos de muito trabalho duro por parte dos cientistas, é que 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 e o trabalho dos cientistas não é fácil, exige muita

⁸ 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”.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

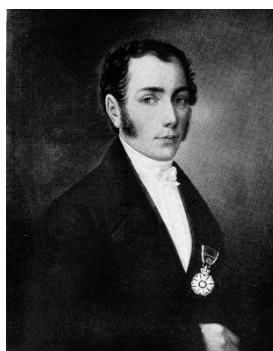
dedicação e muita paciência para que se possa ter uma compreensão de como as coisas ao nosso redor funcionam. Os avanços tecnológicos que ocorreram ao longo dos séculos são resultados de contribuições científicas e do trabalho de pessoas que não desistiram por não compreender algo à primeira vista.

3 ESCRITO NA LUZ

A astrofísica não trata somente do movimento dos corpos celestes, mas também das propriedades da matéria que os constituem. Perguntas como “do que são feitas as estrelas?”, “do que são feitos os planetas?”, “o que é o Sol?”, só podem ser hoje respondidas devido a um jovem órfão alemão que trabalhava no porão da casa de um vidraceiro manipulando produtos químicos altamente tóxicos em um caldeirão. Seu nome era Joseph von Fraunhofer (1787–1826), Figura 6. Fraunhofer era impedido de estudar pelo vidraceiro, até que em 1801 a casa do vidraceiro desmoronou e houve uma operação de resgate por sobreviventes. Felizmente, Fraunhofer sobreviveu e foi levado pelo Duque de Zweibrücken, Maximiliano I José da Baviera que forneceu a Fraunhofer livros e exigiu que o vidraceiro o deixasse ter tempo para estudar (GONTIJO, 2021).

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 os melhores equipamentos ópticos do mundo na época. Nem mesmo o grande experimentalista Michael Faraday⁹, conseguia fazer vidros tão bons quanto os de Fraunhofer.

Figura 6: Joseph von Fraunhofer.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Joseph_von_Fraunhofer#/media/Ficheiro:Joseph_v_Fraunhofer.jpg

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 era na verdade uma mistura de todas as cores do arco-íris. Essa descoberta foi feita por Isaac Newton, que realizou um experimento de câmara escura, deixando uma fresta de luz entrar em um quarto escuro e

⁹ Michael Faraday (1791-1867) foi um físico e químico inglês conhecido pela sua excelência em experimentação.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

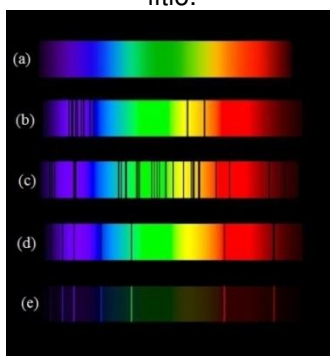
UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

passar por um prisma. Dessa forma Newton pôde observar que as cores separadas que saíam do outro lado do prisma eram as cores do arco-íris, ao qual Newton deu o nome de “*spectrum*”, do latim, “*phantom*” (NEWTON, 2002). Esse espectro é hoje chamado de “espectro de luz visível”. Apesar de sua grande descoberta, Newton não observou nada além disso. Na verdade havia mais coisas escondidas na luz, uma espécie de código secreto do universo.

Fraunhofer utilizou um teodolito¹⁰ 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, Figura 7. Vale ressaltar também que de maneira independente, na mesma época, em 1802, o químico inglês William Hyde Wollaston (1766–1828) também observou estas linhas realizando um experimento semelhante. Esta observação das linhas escuras foi de extrema importância para o desenvolvimento do que chamamos hoje de espectroscopia¹¹.

Figura 7: Algumas linhas de Fraunhofer: (a) espectro contínuo; (b) espectro de absorção do sódio; (c) espectro de absorção do mercúrio; (d) espectro de absorção do lítio; (e) espectro de emissão do lítio.



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

Após a observação de Fraunhofer através do teodolito deu-se, então, início à espectroscopia. Dois cientistas contemporâneos de Fraunhofer aprimoraram a técnica inventada por ele: Gustav Kirchhoff (1824–1887) e Robert Bunsen (1811–1899), Figura 8, desenvolveram um espectroscópio mais sofisticado que o de Fraunhofer e conseguiram estudar a luz observando tais linhas escuras, que são conhecidas hoje como linhas de Fraunhofer.

¹⁰ Teodolito é um instrumento óptico de precisão que mede ângulos verticais e horizontais. É aplicado em diversos setores como na navegação, na construção civil, na agricultura e na meteorologia.

¹¹ Espectroscopia é uma técnica usada para obter dados físico-químicos através da absorção ou reflexão da energia radiante incidente em uma amostra.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 8: Gustav Kirchhoff (esquerda) e Robert Bunsen (direita).



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Gustav_Kirchhoff#/media/Ficheiro:Bunsen-Kirchhoff.jpg

Robert Bunsen é conhecido entre os químicos por ter aprimorado o bico de chamas inventado por Michael Faraday, que hoje está presente nos laboratórios de química sendo conhecido como “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 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 (GONTIJO, 2021).

Eles notaram que os gases observados não emitiam um espectro contínuo, percebendo que cada elemento químico tinha uma série de linhas diferentes. Porém, as linhas observadas por eles eram brilhantes, diferente das linhas de Fraunhofer que eram escuras. Tal observação levou Kirchhoff a realizar um experimento com o objetivo de mostrar que algumas das linhas de Fraunhofer¹² eram linhas de sódio. Passando a luz do Sol através de uma chama de sódio Kirchhoff 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 Kirchhoff substituiu a luz do Sol por um sólido quente, percebendo assim 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, Kirchhoff descobriu linhas de Mg, Ca, Cr, Co, Zr e Ba no Sol. Isso mostra que através de muita persistência, mudando o experimento e procurando pensar de uma forma diferente, Kirchhoff conseguiu descobrir a composição química do Sol (ZELLIK, 1994). 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 desses

¹² Em 1820, Fraunhofer já havia contado por volta de 574 linhas escuras no espectro solar.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

experimentos 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 (ZELLIK, 1987), a saber:

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.

A espectroscopia proporcionou grandes descobertas científicas. Graças a ela, hoje sabemos que as estrelas e os corpos celestes são compostos pelos mesmos elementos químicos existentes na Terra. Uma importante descoberta neste sentido, feita pelo astrônomo sueco Anders Jonas Ångström (1814–1874), Figura 9, são as linhas de hidrogênio do Sol. Nessa época, Cavendish já havia descoberto o hidrogênio e o classificado como elemento químico, como foi brevemente citado na Seção 2.

Figura 9: Anders Jonas Ångström.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Anders_Jonas_%C3%85ngstr%C3%B6m#/media/Ficheiro:A%C3%85ngstr%C3%B6m.jpg

Novos elementos químicos foram sendo descobertos, como por exemplo, o Hélio. Através de uma análise de linhas espectrais o astrônomo inglês Sir Joseph Norman Lockyer (1836–1920), Figura 10, não conseguiu relacionar o espectro analisado com nenhuma outra linha de espectro já conhecido. Assim, concluiu que era um elemento desconhecido, o qual ele batizou de Hélio, do grego, *helios*, que significa Sol. Na astrofísica a espectroscopia assume um papel de fundamental importância para a pesquisa sobre a constituição química dos corpos celestes.

**Figura 10:** Joseph Norman Lockyer.

Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Norman_Lockyer#/media/Ficheiro:Lockyer-Norman.jpg

4 A CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL

Chegamos num ponto em que todas as contribuições que vimos até aqui nos dão uma grande possibilidade para entender mais sobre os corpos celestes do universo. Na segunda seção vimos que através das leis de Kepler e de Newton é possível compreender a mecânica que rege o movimento dos corpos celestes. Na Seção 3 mostramos que a espectroscopia nos possibilita compreender a composição química da matéria que forma os corpos celestes. A partir disso, os cientistas conseguiram coletar uma grande quantidade de informações sobre as estrelas e demais corpos celestes, e conforme a física foi se desenvolvendo, foi necessário armazenar estas informações, para que se tivesse uma base de dados com a qual trabalhar e pesquisar mais e mais sobre as estrelas. Nesta Seção será mostrado um pouco da história de como o catálogo e a classificação das estrelas foi realizada.

Na época de Fraunhofer, o astrônomo britânico Sir William Huggins (1824–1910), Figura 11, e o padre e astrônomo italiano Ângelo Secchi (1818–1878), Figura 11, fizeram análises mais completas de vários espectros e perceberam que nem todos eram iguais. Alguns deles eram parecidos com o do Sol. Porém, ao analisarem mais de 70 outros espectros concluíram que as nebulosas apresentavam linhas brilhantes (de emissão). Assim, fizeram a primeira classificação espectral das estrelas, baseando-se nas linhas escuras de absorção de luz.

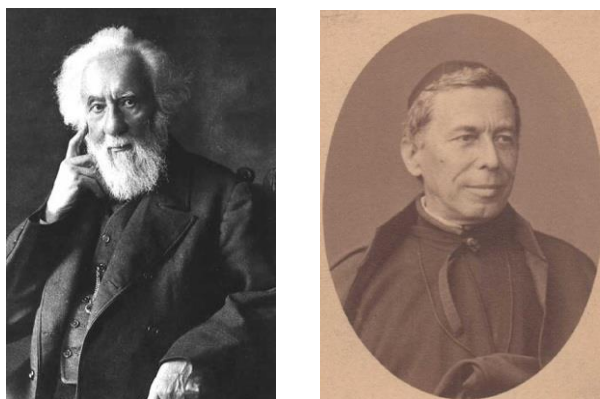


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 11: William Huggins (esquerda) e Ângelo Secchi (direita).



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/William_Huggins#/media/Ficheiro:Huggins_William_1910.jpg

Deve-se ressaltar 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 ao estudo dos corpos celestes. E no ano de 1872, Henry Draper (1837–1882) conseguiu a primeira foto de um espectro da luz emitida por uma estrela (além do sol é claro): a estrela Vega, Figura 12.

Figura 12: Vega é a estrela mais brilhante da constelação de Lira.



Fonte: http://www.astrosurf.com/re/first_star_photograph.pdf

O astrônomo e físico americano Edward Charles Pickering (1846–1919), Figura 13, percebeu que precisaria de vários espectros estelares para fazer a catalogação ou classificação espectral. Assim passou a utilizar a técnica da fotografia para coletá-los. Pickering era diretor do observatório da Universidade de Harvard, em Cambridge, nos Estados Unidos, e 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. Até então o meio científico era um lugar dominado pelos homens, mas isso era apenas um reflexo da sociedade da época.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 13: Edward Charles Pickering.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Edward_Charles_Pickering#/media/Ficheiro:Edward_Charles_Pickering_06050r.jpg

Williamina Paton Stevens Fleming (1857–1911), uma assistente de Pickering, começou com a classificação. Logo em seguida várias outras mulheres ajudaram na classificação espectral. Dentre elas Antonia Caetana de Paiva Pereira Maury (1886–1952), sobrinha de Henry Draper e Annie Jump Cannon (1863–1941), 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, Figura 14. 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 *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), localizado em Cambridge, Massachusetts nos Estados Unidos. Além da contribuição na classificação espectral Pickering foi também o responsável pela descoberta das estrelas binárias espectroscópicas¹³.

Figura 14: Grupo de mulheres que compunham a equipe de Pickering no Harvard College Observatory.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Williamina_Fleming#/media/Ficheiro:Astronomer_Edward_Charles_Pickering's_Harvard_computers.jpg

¹³ Estrelas binárias consiste em um sistema estelar de duas estrelas orbitando um centro de massa em comum.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

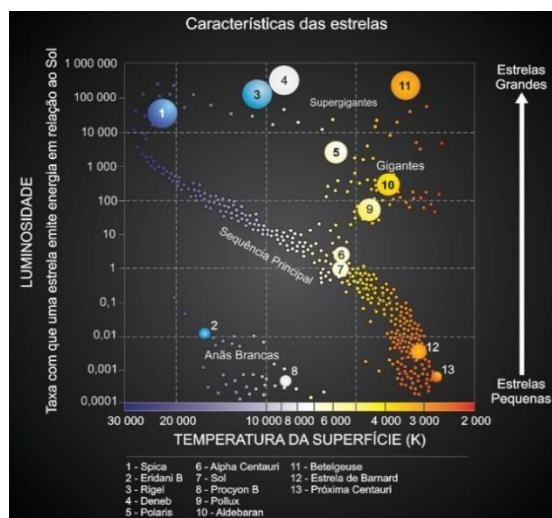
UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Estrelas são esferas auto gravitantes de gás ionizado que têm como fonte de energia a fusão nuclear do hidrogênio em hélio. Conforme as estrelas vão envelhecendo, o hélio se funde em lítio, lítio se funde em berílio e assim sucessivamente. Foi desenvolvido de maneira independente, em 1911 pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873–1967) e em 1913 pelo americano Henry Norris Russel (1877–1957), o diagrama HR, que consiste na relação entre a luminosidade de uma estrela e a temperatura superficial da mesma. O diagrama HR ainda é atualmente utilizado na classificação estelar (BOCKZO, 1984).

É possível determinar a magnitude absoluta (luminosidade) e a temperatura de uma estrela através da sua magnitude aparente e da sua cor e/ou tipo espectral, respectivamente. Através do diagrama mostrado na Figura 15, percebe-se que as estrelas não se distribuem de maneira igual, mas sim em determinadas regiões do gráfico. O que determina a localização de uma estrela no diagrama é a sua massa, isto é, estrelas mais massivas são mais luminosas e mais quentes. As estrelas que ficam na parte do diagrama, chamadas de sequência principal, têm uma luminosidade chamada luminosidade V , e são chamadas de anãs.

Figura 15: Diagrama HR.



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

5 A QUÍMICA DAS ESTRELAS

Durante o seu tempo de vida, uma estrela faz a queima de um elemento químico em outro elemento químico, seguindo em ordem crescente da tabela periódica. O hidrogênio é o elemento químico 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, Figura 16, 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



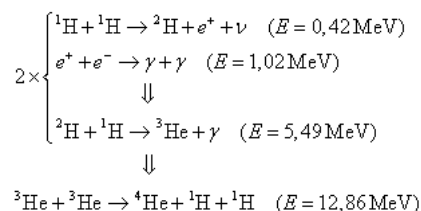
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

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 (SHU, 1982).

Figura 16: Processo de fusão termonuclear no Sol com as respectivas energias produzidas em cada reação.



Fonte: Adaptado de (ALONSO, 1992).

Arthur Stanley Eddington (1882–1944), Figura 17, especulou que este processo de fusão nuclear liberaria uma grande quantidade de energia de acordo com a equação de Einstein (EISBERG, 1979):

$$E = mc^2,$$

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

Figura 17: Arthur Stanley Eddington.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Arthur_St Stanley_Eddington#/media/Ficheiro:Arthur_St Stanley_Eddington.jpg

A fonte de energia das estrelas foi um mistério tão grande para os cientistas, que quando Cecilia Payne-Gaposchkin (1900–1979) publicou sua tese 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 era uma descoberta muito inesperada para a época. Entretanto, pesquisas posteriores comprovaram que esta contribuição pioneira foi de Cecilia Payne. Importante ressaltar que Cecilia Payne frequentou a Universidade de Cambridge que na época chamava-se Newnham College, onde estudou botânica, física e química,



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

concluindo seus estudos. No entanto, não recebeu o seu diploma, pois até 1948 a Universidade de Cambridge não concedia diplomas a mulheres. Depois disso, Cecilia 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 tornou-se a primeira mulher a ser professora associada de Harvard, Figura 18. 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.

Figura 18: Cecilia Payne-Gaposchkin no trabalho.



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Cecilia_Payne-Gaposchkin#/media/Ficheiro:Cecilia_Helena_Payne_Gaposchkin_\(1900-1979\)_\(3\).jpg](https://pt.wikipedia.org/wiki/Cecilia_Payne-Gaposchkin#/media/Ficheiro:Cecilia_Helena_Payne_Gaposchkin_(1900-1979)_(3).jpg)

Todas estas contribuições, sobre como são compostas as estrelas, foram fundamentais para o conhecimento atual sobre os processos estelares. Pesquisas atualizadas sobre as estrelas só tem sido possíveis graças às modelagens computacionais associadas às equações básicas da mecânica de fluidos, termodinâmica, mecânica estatística, física de plasmas, física nuclear, física de partículas, e relatividade (FILHO, 2017).

6 FÍSICA TEÓRICA E FÍSICA OBSERVACIONAL

A Física é em essência a ciência que estuda a matéria e a energia. Apesar de ser uma ciência majoritariamente experimental, existem fenômenos na natureza que não são possíveis de serem reproduzidos experimentalmente (o Big Bang, por exemplo). A Física Teórica vem a ajudar nesta deficiência. 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.

Em relação à astrofísica, informações sobre os corpos celestes podem ser obtidas por meio de telescópios e com tecnologia de ponta, possibilitando a realização de 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



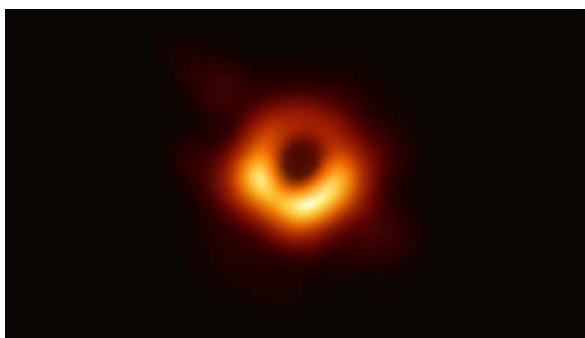
RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

um buraco negro?” É uma pergunta pertinente. Hoje, cientistas conseguem tirar fotos de um buraco negro como o apresentado na Figura 19. Porém, não se sabe o que acontece nos limites próximos de um buraco negro, pois a gravidade é tão forte que nem mesmo a luz consegue escapar (GREENE, 1999). É neste ponto que entra o papel da física teórica com a elaboração de teorias e modelos para explicar os fenômenos que não podem ser reproduzidos em laboratório de forma experimental ou observados e medidos por meio de equipamentos.

Figura 19: 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>

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 disto está na relatividade de Einstein (STRATHERN, 1997). A teoria da Relatividade Geral de Einstein surgiu antes de sua comprovação experimental. Esta teoria substitui os conceitos independentes de espaço e tempo da teoria newtoniana e passa a considerar ambos como uma única entidade geométrica: o espaço-tempo. A comprovação experimental desta teoria foi verificada posteriormente por vários cientistas, passando a ser aceita pela comunidade científica.

No que diz respeito à parte observacional, não se pode falar de astrofísica sem falar de Edwin Powell Hubble (1889–1953), Figura 20, 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 na época 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.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 20: Edwin Hubble.



Fonte: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Edwin_Powell_Hubble#/media/Ficheiro:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_\(cropped\).JPG](https://pt.wikipedia.org/wiki/Edwin_Powell_Hubble#/media/Ficheiro:Studio_portrait_photograph_of_Edwin_Powell_Hubble_(cropped).JPG)

Durante a sua carreira como astrônomo, Hubble fez várias descobertas e contribuições fundamentais no campo da astronomia. Ele descobriu ao observar nuvens de poeira e gás (que os astrônomos da época acreditavam serem nebulosas) que existem outras galáxias além da nossa Via Láctea. Além disso, Hubble 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 observou estavam se afastando umas das outras, e que a velocidade de afastamento aumentava conforme elas se afastavam, ou seja, quanto mais se afastam, mais rápido se afastam. Esta contribuição é conhecida como “Lei de Hubble”, também chamada de “Lei de Hubble-Lemaître”. A forma matemática para lei de Hubble é bem simples

$$v = H_0 D,$$

onde D é a distância em megaparsecs (Mpc), v é a velocidade de afastamento em $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ e H_0 é uma constante de proporcionalidade. Até hoje não há um consenso entre os astrônomos e astrofísicos em relação ao valor de H_0 , porém o valor mais aceito é de aproximadamente $67,15 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$. A Figura 21 mostra a velocidade de recessão e a distância para alguns aglomerados de galáxias. O quadrado próximo a origem do gráfico mostra a região em que se encontravam as galáxias observadas por Hubble na década de 20.

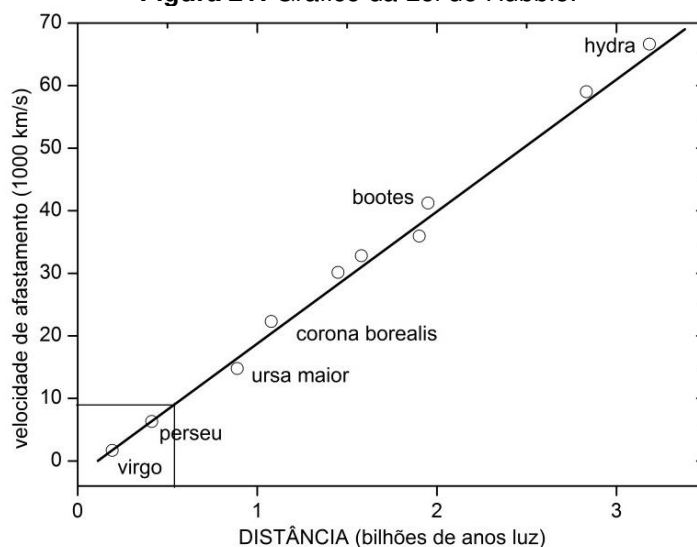


RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 21: Gráfico da Lei de Hubble.



Fonte: adaptado de (WUENSCH, 2005).

A descoberta de que as galáxias estão se afastando umas das outras¹⁴, veio a confirmar a teoria do Big-Bang proposta pelo físico e padre jesuíta belga Georges Lemaître (1894–1966) que a chamava de “hipótese do átomo primordial.” A teoria do Big-Bang ou teoria da 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 hipótese expondo seus resultados em um artigo publicado dois anos antes da publicação de Hubble sobre o afastamento das galáxias. Esta é uma parte central na ciência. Várias pessoas contribuindo para um maior conhecimento sobre o universo. A física teórica nem sempre pode ser demonstrada experimentalmente, e a física experimental nem sempre consegue reproduzir um fenômeno do universo. Mas a questão fundamental é que ambas trabalhando juntas (física teórica + física experimental) são de extrema importância para se adquirir cada vez mais conhecimento sobre o universo. Fazer ciência é um trabalho árduo, que requer muito esforço, muito estudo e dedicação por parte dos cientistas, e são pessoas como Hubble, que iniciou 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, 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 tempo para serem completamente concretizadas. É necessário muito estudo, muita pesquisa e

¹⁴ Deve ser feita uma ressalva que nem todas as galáxias estão se afastando uma da outra.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

muita verificação daquilo que está sendo proposto, utilizando sempre, é claro, 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 relatividade 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 e 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* (LIGO), Figura 22, que é um laboratório experimental sensível o suficiente para detectar estas ondas gravitacionais praticamente imperceptíveis, os cientistas conseguiram confirmar a previsão teórica feita por Einstein quase cem anos antes.

Figura 22: Imagem aérea do LIGO localizado em Livingston, Louisiana, USA.



Fonte: <https://pt.dreamstime.com/o-obervat-rio-ligo-da-gravitacional-onda-do-interfer-metro-laser-livingston-louisiana-eua-uma-experi-ncia-em-grande-escala-f-sica-image146424647>.

A teoria da relatividade geral foi fundamental para desenvolvimentos e avanços no campo da astrofísica. Durante o século XX houve grandes contribuições de físicos como Stephen William Hawking (1942–2018), Figura 23, que mesmo diante das dificuldades impostas pela sua doença degenerativa e incurável, a Esclerose Lateral Amiotrófica, fez contribuições importantíssimas para a astrofísica e cosmologia. Dentre os trabalhos científicos de Hawking, há o teorema da singularidade gravitacional, baseado na relatividade geral, e a previsão teórica de que os buracos negros emitem radiação, que em sua homenagem, é chamada de “radiação Hawking”.



Figura 23: Stephen Hawking na década de 1980 na NASA.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Stephen_Hawking

7 PERSPECTIVAS PARA O FUTURO: O QUE VIRÁ?

Em nenhum momento da história humana foi possível prever com exatidão quais seriam as futuras descobertas. No entanto, é possível fazer especulações e previsões baseadas na tecnologia atual. Nos últimos anos vêm se falando em visitas de passeio ao espaço, colonização de Marte, assuntos que eram apenas tópicos de ficção científica há pouco tempo atrás. Nos noticiários são mostrados 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 em computação que hoje seria inferior a qualquer telefone celular que está no bolso das pessoas, e os avanços não param. Então, em breve, será possível ter naves espaciais mais rápidas, mais eficientes, assim como o *Extremely Large Telescope*, poderá ter uma *“Extremely Large Space Station”*, onde se possa visitar turisticamente, ou quem sabe até morar em Marte.

É claro que a colonização de Marte parece algum roteiro de filme de ficção científica. No entanto, em algum dado momento no passado, a ida do Homem à Lua também era vista desta forma, e seria de extrema importância para a astronomia e astrofísica. Uma tese defendida por muitos cientistas é a “terraformação” de marte, isto é, transformar de forma artificial o planeta marte em um mundo habitável para o ser humano. Segundo alguns cientistas, para isto seria necessário aproximadamente 400 anos a um custo de 4 trilhões de dólares. Mas se um dia o ser humano se tornar habitante de outros mundos, com certeza deixará de ser um “homem” e se tornará um “pós-homem”. Isto porque as condições de vida diferentes das existentes no planeta Terra (como taxa de radiação, gravidade, alimentos, ar etc.) causarão mutações no ser humano que venha a habitar outros mundos.

Outra possibilidade existente é a criação de máquinas de exploração espacial, até mesmo androides. Duas universidades americanas criaram recentemente curso de graduação em mineração espacial, e possivelmente esta será uma futura profissão. Tal investida se faz necessário, já que alguns recursos como ouro, platina, e outros minerais importantes, vão se esgotar em pouco tempo no nosso planeta, e sabe-se da importância desses materiais nas modernas tecnologias atuais (RODRIGUES, 2016, 2018).



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

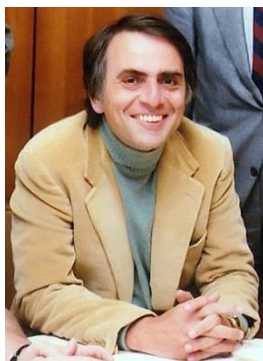
UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

A humanidade vive em uma época em que se tem 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 se consiga aprender um pouco mais sobre a origem do universo, 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.” (SAGAN, 1980)

Figura 24: Carl Edward Sagan (1934–1996) no ano de 1994.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Carl_Sagan#/media/Ficheiro:Carl_Sagan_Planetary_Society.JPG

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

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

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. Ao olhar a história da astrofísica e das pessoas que fizeram contribuições inestimáveis para este ramo, pode-se ver que não foi uma tarefa fácil. O trabalho científico é árduo e difícil, mas vale a pena. Todos aqueles que foram citados neste artigo e fizeram contribuições desde Galileu, Newton, até Stephen Hawking, estão para sempre na história da ciência como grandes contribuintes para o conhecimento da humanidade acerca do Universo.

Vivemos hoje em uma época onde a ciência está cada vez mais desenvolvida e cada vez mais presente em nossas vidas. Hoje não é mais preciso olhar o céu noturno para encontrar as constelações e as estrelas, sendo possível pesquisar imagens de altíssima definição na internet. Com apenas alguns



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

segundos se tem na palma da mão galáxias, estrelas, planetas, nebulosas, e tudo que já fora observado pelo homem através de aparatos tecnológicos.

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. Deve-se também estudar a história da ciência para que se possa aprender com os acertos daqueles que vieram antes, e usá-los como inspiração para dar continuidade em busca de conhecimento sobre o Universo.

APÊNDICE: UMA BREVE HISTÓRIA DOS TELESCÓPIOS

Muitas pessoas acreditam que Galileu 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. Registros históricos mostram que Galileu de fato construiu o seu próprio telescópio em 1610 e começou a fazer observações com ele, luneta da Figura 25.

Existem dois tipos básicos de telescópios: o refletor e o refrator. O telescópio construído por Galileu 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 atualmente.

Figura 25: Luneta de Galileu.



Fonte: www.galileotelescope.org.

No ano de 1668, Isaac Newton construiu um telescópio refletor, o qual é um modelo ainda utilizado atualmente em observatórios profissionais. Newton utilizou um espelho curvo do tipo hiperboloide ou paraboloide ao invés de empregar uma lente como as utilizadas nos telescópios refratores de Kepler e Galileu. Newton decidiu utilizar um espelho, pois ele havia descoberto que a luz branca era uma combinação das diferentes espécies de raios refratados em diferentes ângulos. O telescópio de Newton, Figura 26, gerava imagens nove vezes maiores que as imagens de um telescópio refrator que possuía um comprimento quatro vezes maior. No entanto, naquela época as imagens produzidas por espelhos esféricos continham as chamadas “aberrações esféricas” e outras imperfeições.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA
João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 26: Telescópio de Newton.



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

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 orifício no centro do espelho principal, porém não era possível fazer espelhos curvos naquela época. Hoje, praticamente todos os telescópios refletores possuem o foco Cassegrain, 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, Figura 27, cuja função é observar o horizonte e uma estrela de maneira simultânea através de uma luneta, podendo assim medir a sua altura. O sextante foi rotineiramente usado na navegação, porque a medida da distância angular entre o horizonte e o bordo inferior do disco solar no momento da observação permitia determinar com exatidão a posição de uma embarcação que navegava no mar.

Figura 27: Sextante de Hadley.



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

Alguns anos depois em 1757, um físico e imigrante francês na Inglaterra chamado John Dolland, patenteou uma lente acromática que combinava 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) construiu um telescópio (o primeiro) com lentes



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

acromáticas. Em 1897, o astrônomo e fabricante de lentes americano Alvan Clark (1804–1887) inaugurou um telescópio refrator de 40 polegadas em Chicago, Illinois nos Estados Unidos.

Em 1948 o telescópio Hale foi inaugurado no Monte Palomar na Califórnia, Estados Unidos. Ele possui um espelho primário de 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, Figura 28, localizados no Havaí, e seus espelhos possuem um diâmetro de 10 metros cada, sendo 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 ficam no Havaí, tendo todos eles um diâmetro de 8,2 metros no espelho principal.

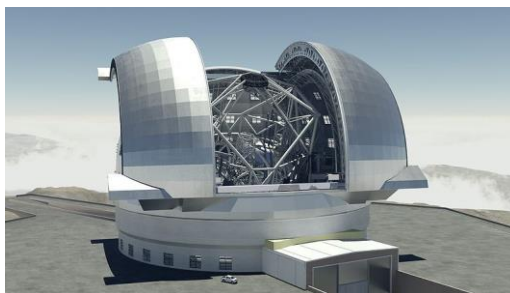
Figura 28: Telescópios Keck I e Keck II.



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

Atualmente, em 2021 está sendo construído o telescópio que será o maior de todos e que irá ajudar a coletar 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 o ano de 2025. A Figura 29 é uma representação ilustrativa de como ele será.

Figura 29: Extremely Large Telescope.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:The_E-ELT.jpg

Além destes telescópios na superfície da Terra, existem também telescópios em órbita no espaço, sendo o mais famoso deles o telescópio espacial Hubble, Figura 30, que recebeu este nome em homenagem a Edwin Hubble, e foi lançado em 24 de abril de 1990 pela NASA (*National Agency of*



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

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.

Figura 30: Telescópio Hubble.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Telesc%C3%B3pio_espacial_Hubble

Em 25 de dezembro de 2021 foi lançado o mais moderno telescópio espacial: o Telescópio Espacial James Webb, o qual foi desenvolvido em conjunto pela Agência Espacial Europeia, a Agência Espacial Canadense e a NASA. Possuindo um melhor equipamento para captar a radiação infravermelha, este telescópio terá como principais funções recolher dados para estudar a formação e evolução das galáxias, estrelas e planetas. O James Webb foi inicialmente denominado *de Next Generation Space Telescope* (NGST). O termo “*Next Generation*” refere-se ao fato que se pretende que ele substitua o telescópio espacial Hubble, pois após o lançamento do Hubble, novas e melhores tecnologias foram desenvolvidas, o que permitiu a construção de um novo telescópio mais moderno. Posteriormente o NGST foi renomeado para homenagear um antigo administrador da agência espacial americana, James Edwin Webb, que liderou uma série de importantes missões espaciais, dentre elas o programa Apollo. A massa do James Webb é aproximadamente a metade da massa do telescópio Hubble, e o seu espelho primário possui um diâmetro 2,5 vezes maior e uma área de espelho seis vezes maior que a do Hubble, permitindo captar muito mais luz. Outra vantagem do James Webb é que ele está em uma órbita mais distante da Terra.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

Figura 31: Telescópio James Webb.



Fonte: <https://gizmodo.uol.com.br/telescopio-mais-poderoso-da-historia-mudara-o-jeito-como-vemos-o-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. Por meio de radiotelescópios é possível analisar uma maior quantidade de dados vindos de regiões mais internas das galáxias. Assim, é possível captar a radiação oriunda do hidrogênio que compõe nuvens de gás e poeira, como é a radiação do Sol e 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 e seu nome é RATAN-600, Figura 32, com 576 m de diâmetro da antena circular (RODRIGUES, 2020).

Figura 32: RATAN-600 o maior radiotelescópio do mundo.



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

No ano de 2020, o radiotelescópio mais conhecido do mundo, o radiotelescópio de Arecibo, Figura 33, localizado em uma cratera vulcânica 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 instituição responsável pela manutenção do telescópio anunciou que ele seria desativado, porém antes mesmo disso acontecer, vários dos cabos de suporte restantes sofreram uma falha crítica e a estrutura



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA

João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

de suporte, antena e conjunto de cúpula caíram no dia 1º de dezembro de 2020, destruindo o telescópio.

Figura 33: Telescópio de Arecibo em Porto Rico.



Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:Arecibo_Radiotelescopio_SJU_06_2019_7472.jpg

REFERÊNCIAS

- ALONSO, M.; FINN, E. J. **Physics**. Harlow: Addison Wesley, 1992.
- BASSALO, J. M. F. O Cenário da Física Antes de 1900. *In: Partículas Elementares 100 anos de descobertas*. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2012.
- BERRY, A. **A Short History of Astronomy**. New York: Dover, 1961.
- BOCKZO, R. **Conceitos de Astronomia**. São Paulo: Blucher, 1984.
- BORGES, C. L. S.; RODRIGUES, C. G. Astronomia: Breve História, Principais Conceitos e Campos de Atuação. **Brazilian Applied Science Review**, v. 06, n. 2, 545-577, 2022.
- 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.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica, Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. Rio de Janeiro: Editora Campus, 1979.
- FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS, M. **The Feynman lectures on physics**. New York: Addison-Wesley, 1969. v. 1.
- FILHO, O. S. K.; SARAIVA, O. F. M. **Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2017.
- GONTIJO, L. M. A.; RODRIGUES, C. G. Sobre a Evolução do Conceito de Calor e Energia Térmica. **História da Ciência e Ensino: Construindo Interfaces**, v. 24, n. 1, 19-51, 2021.
- GREENE, B. **The Elegant Universe**. New York: W. W. Norton & Company, 1999.
- <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-cosmo/lei-de-hubble.php>
- NEWTON, I. **Óptica**. Tradução: André Koch Torres de Assis. São Paulo: Edusp, 2002.



RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

UMA BREVE HISTÓRIA DA ASTROFÍSICA
 João Paulo de Melo Martins, Francisco Aparecido Pinto Osório, Clóves Gonçalves Rodrigues

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica**. Rio de Janeiro: Blucher, 2014. v. 1.

RODRIGUES, C. G. **Ondas, Acústica, Psicoacústica e Poluição Sonora**. Goiânia: Ed. do autor, 2020. ISBN 978-65-00-06846-7

RODRIGUES, C. G.; LUZZI, R. Science, Technology and Non Equilibrium Statistical Mechanics. **Physics Journal**, v. 4, n. 2, 9-16, 2018.

RODRIGUES, C. G.; SILVA, A. A. P.; SILVA, C. A. B.; VASCONCELLOS, A. R.; RAMOS, J. G.; LUZZI, R. Science, technology, government and societal goals, and the role of thermo-statistics of non-equilibrium systems in present day advanced Technologies. **Physicae Organum**, v. 2, n. 02, 1-23, 2016.

SAGAN, C. **Cosmos: Os Limites do Oceano Cósmico (Episódio 01)**. 1980 Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=0jMOACMdgpo>

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

STRATHERN, P. **Einstein e a Relatividade**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1997.

STRATHERN, P. **Galileu e o Sistema Solar**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998a.

STRATHERN, P. **Newton e a Gravidade**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998b.

WUENSCHÉ, C. A. **A Lei de Hubble**. Brasília: INPE, 2020 Disponível em:

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.