

PARADOXO DE OLBERS: ALGUNS ELEMENTOS HISTÓRICOS E POSSÍVEIS SOLUÇÕES

THÁCYLA OLIVEIRA SOUZA; JOÃO KAYAN DE MATOS SILVA; YARLEI DOS SANTOS BARBOSA; DAIANE FABRICIO DOS SANTOS; ÍCARO JAEL MENDONÇA MOURA.

RESUMO

Introdução: A cosmologia busca compreender a evolução, a estrutura e a composição do Universo em suas maiores escalas. Assim, a cosmologia pretende abordar algumas das questões mais profundas que a humanidade busca responder, como a origem e o destino final do Universo. **Metodologia:** Este trabalho realizou-se a partir de uma revisão da literatura em trabalhos acadêmicos a fim de estudar a evolução das soluções do paradoxo. **Resultados:** Em meados do Século XX, acreditava-se que o espaço era infinito, estático e continha infinitas estrelas. Entretanto, desta maneira, qualquer linha de visão em direção ao espaço coincidiria com uma estrela de forma que o céu noturno deveria ser, portanto, extremamente brilhante, mesmo considerando a diminuição do brilho com a distância. Sendo assim, como explicar a evidente constatação que o céu é escuro durante a noite? Este problema é conhecido como o Paradoxo de Olbers (PO), em homenagem ao astrônomo amador alemão, Heinrich Olbers (apesar dele não ter sido o primeiro a descrevê-lo). Este enigma perdurou por vários anos. Diversos astrônomos, como Kepler, tentaram elaborar uma resposta para o problema. Até o momento, o PO não foi completamente resolvido, mas várias ideias foram propostas para tentar explicar a escuridão do céu noturno: uma hipótese é que a absorção e espalhamento da luz por partículas de poeira e gás interestelar pode ser responsável por reduzir significativamente a quantidade de luz que atinge a Terra; outra, é que a finitude da idade do Universo e a expansão do espaço-tempo limitam a quantidade de luz que pode chegar até nós. **Conclusão:** Neste sentido, pode-se dizer que a tentativa de resolução do PO desempenhou um papel essencial no desenvolvimento da cosmologia moderna, visto que levou à percepção de que o Universo não é infinito e estático, mas na verdade está se expandindo e evoluindo.

Palavras-chave: Universo; Astronomia; Céu Noturno; Cosmologia; Escuridão.

1 INTRODUÇÃO

Ao sair em uma noite sem lua, longe das luzes artificiais da cidade e olhar para cima, é possível visualizar um céu escuro com aproximadamente duas mil estrelas por todo o espaço (RYDEN, 2016). Ao analisar esse cenário podemos fazer a seguinte indagação: “por que o céu noturno é escuro?”. Aparentemente, essa pergunta pode parecer simples e sem graça, mas mostrou-se um importante problema para cientistas, filósofos e até poetas, que tentaram explicá-lo de diversas maneiras. Nos dias atuais, não há muita incerteza sobre a escuridão celeste, mas isso já foi questionado por grandes mentes, como Johannes Kepler.

De acordo com o astrônomo e cosmólogo inglês Edward R. Harrison, o primeiro a propor algo parecido com o Paradoxo foi o astrônomo Thomas Digges em meados do Século XVI. Contudo, o Paradoxo recebeu o nome de Heinrich Olbers, pois ele o apresentou de forma mais completa em 1823. Johannes Kepler, um dos maiores astrônomos da história, foi

um dos primeiros a se questionar sobre a escuridão do céu noturno. No entanto, Kepler não propôs uma solução para o Paradoxo de Olbers (OLIVEIRA, 2020).

Edmond Halley também se interessou pelo paradoxo de Olbers. Em 1721, ele propôs que a poeira e os gases espaciais poderiam estar absorvendo a luz das estrelas e fazendo com que o céu noturno fosse escuro. No entanto, essa teoria não explica completamente o paradoxo, pois a quantidade de poeira e gás necessário para obscurecer todas as estrelas do céu noturno teria que ser muito grande. Além disso, eventualmente toda a energia absorvida por essa poeira aumentaria a sua temperatura, eventualmente fazendo-a emitir radiação luminosa (SEABRA, 2018).

Edward Harrison, um astrofísico e cosmólogo britânico do Século XX, foi um dos principais estudiosos do Paradoxo de Olbers. Ele argumentou que o universo era finito em idade e tamanho, o que significava que a luz das estrelas mais distantes ainda não teria tido tempo de chegar até a Terra. Além disso, a expansão do universo faria com que a luz das estrelas mais distantes sofresse um desvio para o vermelho, tornando-a, além de mais fraca, mais difícil de detectar. Essa teoria também explicaria a escuridão do céu noturno. Embora as teorias de Kepler, Halley e Harrison tenham ajudado a avançar o entendimento do paradoxo de Olbers, nenhuma delas mostrou-se satisfatória. Esse paradoxo foi tema de intensa discussão na astronomia e na física, e várias explicações foram propostas ao longo dos anos (OLIVEIRA, 2020).

Este trabalho objetivou apresentar o Paradoxo de Olbers, bem como uma exploração do desenvolvimento de sua solução.

2 METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido a partir de revisão bibliográfica. Foram consultadas diversas fontes acadêmicas, incluindo artigos científicos, livros e monografias disponíveis em repositórios online como Scielo e Google Acadêmico. A pesquisa foi norteada pelos temas gerais Paradoxo de Olbers e céu noturno escuro e limitada a trabalhos que discutissem a formulação teórica do problema, bem como algumas soluções propostas para o mesmo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O Paradoxo de Olbers (PO) é baseado em uma suposição simples: se o universo é infinito e eterno, e se as estrelas estão distribuídas uniformemente ao longo do espaço, então a luz de todas as estrelas deve eventualmente alcançar a Terra, tornando o céu noturno completamente brilhante. No entanto, isso não é o que observamos realmente.

Ao longo do tempo, várias soluções foram propostas para explicar esse paradoxo. Na Tabela 1 são resumidas as principais hipóteses e seus autores. Nesta tabela, pode-se perceber uma visão geral de todas as tentativas de resolver o Paradoxo de Olbers, desde as teorias clássicas propostas por Edgar Allan Poe até as soluções mais recentes baseadas em conceitos da física moderna, como a expansão do Universo.

Tabela 1 - Visão geral do P.O. e suas possíveis soluções

	Descrição Resumida	Possíveis Soluções	Quem
O Paradoxo	Se o Universo é infinito, eterno e uniformemente populado por estrelas, por que o céu noturno não é brilhante e iluminado?	1. O Universo pode ser finito em tamanho e quantidade de estrelas; 2. A luz das estrelas distantes é atenuada pela poeira interestelar; 3. A expansão do Universo faz com que a luz das estrelas mais distantes seja deslocada para comprimentos de onda maiores e, portanto, menos visíveis para nós;	Diferentes cientistas e estudiosos ao longo da história contribuíram para a elaboração das possíveis soluções para o paradoxo.

		4. A idade do Universo limita a quantidade de estrelas visíveis, uma vez que a luz de algumas delas ainda não teve tempo suficiente para alcançar a Terra.	
Solução 1	O Universo pode ser finito em tamanho e quantidade de estrelas	1. O Universo pode ter começado com o Big Bang, o que significa que o tempo desde o início do universo é finito; 2. O Universo pode ser "fechado" em si mesmo, o que significa que sua curvatura implica em um tamanho finito; 3. O Universo pode ter um número finito de estrelas, como resultado da formação e evolução estelar.	1. Edgar Allan Poe; 2. Lord Kelvin.
Solução 2	A luz das estrelas distantes é atenuada pela poeira interestelar	1. A poeira interestelar é opaca e absorve parte da luz emitida pelas estrelas distantes, fazendo com que elas pareçam mais fracas; 2. A poeira interestelar espalha a luz emitida pelas estrelas distantes em todas as direções, tornando a luz menos direcional e menos brilhante.	1. Johann Lambert; 2. William Herschel.
Solução 3	A expansão do Universo faz com que a luz das estrelas mais distantes seja deslocada para comprimentos de onda maiores e, portanto, menos visíveis para nós	A expansão do Universo faz com que a luz das estrelas mais distantes seja deslocada para comprimentos de onda maiores, o que significa que a luz que antes era visível em outras regiões do espectro eletromagnético, agora não é mais visível.	Edwin Hubble
Solução 4	A idade do Universo limita a quantidade de estrelas visíveis	Algumas estrelas que poderiam ser visíveis em um Universo infinito ainda não tiveram tempo suficiente para que sua luz viaje até a Terra, pois a luz tem uma velocidade finita.	James Jeans

Seguindo a abordagem de Ryden (2016), o brilho máximo do céu noturno em um Universo infinito pode ser estimado a partir da quantidade n_* de estrelas em um determinado volume do Universo. Em grandes escalas, este número é aproximadamente 10^9 Mpc^{-3} .

Considerando a observação uma estrela em uma direção qualquer, desenha-se um cilindro de raio R_* (sendo R_* o raio de uma estrela, que pode ser estimado pelo raio do Sol, $R_{\odot} = 2,3 \times 10^{-14} \text{ Mpc}$) ao redor da linha de visão, como mostrado na Figura 1. Caso o centro de uma estrela esteja dentro desse cilindro, a estrela bloqueia a sua visão de objetos mais longínquos.

Se o comprimento do cilindro é λ , então seu volume será $V = \lambda \pi R_*^2$ e o número médio de estrelas que têm os seus centros no interior do cilindro é $N = n_* V = n_* \pi R_*^2 \lambda$.

Assim, a distância típica entre o observador e uma estrela é a distância λ para a qual $N = 1$. Da equação acima, esta distância é dada por $\lambda = \frac{1}{n_* \pi R_*^2}$.



Figura 1 - Representação do raio de visão de um observador.
Fonte: Ryden (2016)

Assim, tomando $n_* \sim 10^9 \text{ Mpc}^{-3}$ e $\pi R_*^2 \sim \pi R_\odot^2 \sim 10^{-27} \text{ Mpc}^2$, obtém-se $\lambda \sim \frac{1}{(\sim 10^9 \text{ Mpc}^{-3})(10^{-27} \text{ Mpc}^2)} \sim 10^{18} \text{ Mpc}$, que é uma distância muito grande, porém finita. Conclui-se portanto que, em um Universo infinito, o céu será completamente pavimentado com estrelas.

Como isso implica a luminosidade do céu? Se uma estrela de raio R_* estiver a uma distância $r \gg R_*$, a sua área angular, em esterradianos será $\Omega = \frac{\pi R_*^2}{4\pi r^2} = \frac{R_*^2}{4r^2}$. Se a luminosidade da estrela é L_* , então o seu fluxo medido a uma distância r será $F = \frac{L_*}{\pi R_*^2}$. O brilho da superfície da estrela, em W/m^2 do observador por esterradiano, será então $\Sigma_* = \frac{F}{\Omega} = \frac{L_*}{\pi R_*^2}$, independentemente da distância até à estrela.

Assim, conclui-se que o brilho da superfície de um céu pavimentado com estrelas será, independentemente da distância a essas estrelas, igual ao brilho da superfície de uma estrela individual. Portanto, em um Universo infinito, o céu inteiro, seja dia ou noite, deveria ser deslumbrantemente brilhante. Isto é evidentemente equivocado, pois, por exemplo, o brilho da superfície do Sol é $\Sigma_\odot \sim 5 \times 10^{-3} \text{ W/m}^2$ enquanto que o brilho da superfície do céu escuro da noite é $\Sigma \sim 5 \times 10^{-17} \text{ W/m}^2$, tornando equivocada a estimativa por um fator de 10^{14} .

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo teve como propósito apresentar de forma geral o Paradoxo de Olbers, bem como possíveis soluções. O PO teve um papel importante no avanço da cosmologia moderna, uma vez que permitiu evidenciar que o Universo não é infinito e imutável, mas que se encontra em estado de expansão. Além disso, foi apresentada uma estimativa do brilho aparente do céu noturno segundo as hipóteses de um Universo infinito e eterno. Embora nessa estimativa não sejam considerados efeitos de dispersão da luz entre a estrela e o observador, a diferença de escala entre a estimativa e os valores observados é tão grande que essas hipóteses são postas em cheque.

REFERÊNCIAS

FELD S., Ramissés. **Noções de astrofísica e cosmologia moderna nas aulas de física do ensino médio: uma sequência didática a partir do Paradoxo de Olbers**. 2014. 105 f.

Trabalho de conclusão de curso (Licenciatura em Física) – Departamento Acadêmico de Física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

OLIVEIRA, S. R.. Por que o céu é escuro à noite? Considerações geométricas com um olhar histórico e pedagógico do paradoxo de Olbers. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. Rev. Bras. Ensino Fís., 2020 42, p. 1-9, e20200381, 2020.

RYDEN, Barbara. **Introduction to cosmology**. Ed. 2. Ohio State University: Cambridge University Press, 2016.

SEABRA, Maria Emilia Faria. **Problematizando o estudo da cosmologia para a educação básica: Por que a noite é escura?**. Dissertação (mestrado em física) - Universidade Federal de Lavras, Lavras -MG, 2018.