



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

Estudo e análise do efeito de luz cansada

Acadêmico: Hygor Benati Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

Maringá, 11 de maio de 2022



Universidade Estadual de Maringá
Centro de Ciências Exatas
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

Estudo e análise do efeito de luz cansada

TCC apresentado ao Departamento de Física da Universidade Estadual de Maringá, sob orientação do professor Dr. Daniel Gardelli, como parte dos requisitos para obtenção do título de bacharel em Física

Acadêmico: Hygor Benati Gonçalves

Orientador: Prof. Dr. Daniel Gardelli

Maringá, 11 de maio de 2022

Sumário

Agradecimentos	ii
Resumo	iii
Abstract	iv
Introdução	1
1 Revisão histórica	2
1.1 Desvio para o vermelho	2
1.2 Lei de Hubble e suas interpretações	5
1.3 Temperatura da radiação cósmica de fundo	8
2 Efeito Doppler	12
2.1 Ondas mecânicas	12
2.2 Ondas eletromagnéticas	12
2.3 Universo em expansão	13
3 Efeito de luz cansada	14
3.1 Descrição de Fritz Zwicky e outros	14
3.2 Universo estacionário	15
4 Galáxias e Quasares, uma controversa	16
4.1 Halton Arp	16
4.2 NGC 4258	17
4.3 NGC 4319 e a Markarian 205	20
4.4 NGC 7603 e PGC 71041	23
5 Conclusões	26
Referências Bibliográficas	27

Agradecimentos

O desenvolvimento deste trabalho de conclusão contou com a ajuda de diversas pessoas, dentre as quais eu agradeço:

Ao professor orientador Daniel Gardelli, que foi responsável por apresentar uma nova visão a respeito da comunidade científica e da ciência como um todo, possibilitando uma análise do mundo com outro olhar. Agradeço também, por toda sua orientação e auxílio para a elaboração deste projeto.

Aos professores do curso que, de alguma forma positiva, marcaram minha trajetória durante esses anos e com certeza tiveram influência na minha formação como profissional.

Aos meus pais, Sueli Benati Gonçalves e Nilson Jair de Sales Gonçalves por todo apoio, compreensão e amor que incansavelmente sempre me forneceram durante todo esse período, através de todas as conversas, conselhos sobre a vida e muito mais. Saibam que vocês são minhas inspirações para a vida e ainda não sei como expressar minha gratidão por tudo que fazem por mim! Amo vocês!

À minha irmã, meu cunhado e meu sobrinho por todo apoio que sempre senti de vocês, por todas as risadas e brincadeiras e por toda compreensão e parceria ao longo dos anos. Amo vocês!

Aos meus amigos de longa data Luiz Henrique e Ellen Taglianetti pela amizade de anos e amparo desde sempre. Agradeço também aos amigos que adquiri durante o curso, os quais criei uma sincera amizade e também foram de grande importância em todos os momentos, sendo eles: Alexandre Alabora, Ana Bernabé, Hugo Fecchio, Henrique Hundsdorfer, Luiz Sanches, Luiz Pantaleão, Thais Ornellas e Victoria Gonzaga.

Por fim, deixo meus agradecimentos à todos que passaram em minha vida e, de alguma forma, me motivaram a concluir o curso.

Resumo

Neste trabalho apresento uma breve revisão histórica sobre como a cosmologia padrão formou-se ao longo do último século; mostrando como as teorias mais aceitas pela comunidade científica hoje foram tomadas, injustificavelmente, como verdade única para explicar as observações da época. Dessa maneira, mostro como o uso do efeito Doppler para explicar os desvios para o vermelho, observados por Hubble em 1929, implica em um universo finito e em expansão, enquanto a implementação do chamado efeito de luz cansada para a descrição do mesmo fenômeno pode implicar em um universo estático e infinito. Além disso, a descoberta da temperatura da radiação cósmica de fundo, fato que é tomado como decisivo a favor de um universo em expansão, na realidade foi previsto também por modelos de um universo estacionário. Por fim, exponho algumas controversas na cosmologia levantadas por Halton Arp à respeito da verdadeira interpretação dos desvios para o vermelho.

Palavras chave: física, cosmologia, desvio para o vermelho.

Abstract

In this work I present a brief historical revision about how the standard cosmology has formed during the last century; showing how the most accepted theories in the community today were constituted, unjustifiably, as the only true explanations for the time's observations. Thus, I present how the use of Doppler's effect to explain the redshifts, observed by Hubble in 1929, implies in a finite and expanding universe, while the implementation of the tired light effect to describe the same phenomena can implicate in a static and infinite universe. Furthermore, the cosmic background radiation temperature discovery, fact that is taken as decisive for the expanding universe, actually was predicted as well for models of a stationary universe. Lastly, I show some controversies in cosmology raised by Halton Arp about the true nature of redshifts interpretation.

Keywords: physics, cosmology, redshift.

Introdução

Há séculos a espécie humana utiliza das observações dos céus para a sobrevivência: aprendemos a observar as estrelas e através delas compreender os ciclos da terra e da natureza. Além disso, adquirimos a habilidade de descrever e entender os céus de maneira numérica, passando a propor hipóteses para explicar o que vemos e testando-as através da observação. Este método de verificação nos possibilitou grandes avanços para a compreensão da verdadeira natureza do universo.

Entretanto, como é de se esperar, ainda existe lacunas na ciência que não foram explicadas satisfatoriamente, deixando em aberto questões que são de extrema importância para a descrição do mundo e com implicações diretas na maneira com vemos o cosmos, como por exemplo a descrição física do efeito de desvio para o vermelho das galáxias. Nesse sentido, o estudo e análise de teorias que ajudaram na formação da cosmologia atual tornam-se de extrema importância para o desenvolvimento da ciência.

No início do século XX, a cosmologia passava por um período de grande turbulência, onde diversas teorias e observações a respeito do universo eram feitas. Nesse contexto, destacam-se os trabalhos do astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953), em especial seus trabalhos sobre o desvio para o vermelho dos objetos distantes¹. Em 1929, Hubble publicou, com base também em observações de terceiros, seu artigo intitulado "*A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae*" [1], onde foram analisados os desvios para o vermelho de nebulosas extragalácticas e apresentado uma relação linear entre suas distâncias e velocidades radiais ($v = H_0.r$). Vale ressaltar que essa velocidade radial medida por Hubble e seu colaborador, Milton L. Humason (1891-1972), não foi obtida diretamente, mas sim através da determinação do desvio para o vermelho das nebulosas, o que para Hubble era a representação real da velocidade radial, como ele mesmo ressalta no seu artigo.

Nesse contexto, diversas hipóteses surgiram para o explicar o fenômeno físico causador do desvio para o vermelho, como por exemplo o Efeito Doppler². Entretanto, adotar essa descrição para o evento é aceitar também suas implicações: o universo apresenta uma expansão e, logo, tem dimensões finitas. Este modelo é o mais conhecido e aceito na cosmologia atual (discutiremos melhor adiante), porém ao longo desse trabalho vou expor algumas incongruências nessa descrição e apresentar outras hipóteses que foram injustificavelmente descartadas, apresentando uma comparação direta entre elas e suas implicações no universo.

Nesse sentido, vale ressaltar a existência de outras hipóteses que também se aventuram em descrever o desvio para o vermelho, tais como a interação fóton-fóton proposta por Finlay-Freundlich [2], as colisões inelásticas do fóton (com átomos e moléculas) de Marmet [3], a ideia do mecanismo dissipativo do vácuo de Vigier e Monti [4] e o efeito de luz cansada apresentado por Fritz Zwicky [5].

¹O desvio para o vermelho é a característica da onda eletromagnética de variar seu comprimento de onda no sentido do infravermelho do espectro de emissão e consequentemente diminuindo a frequência e energia.

²O efeito Doppler é definido como a variação do comprimento de uma onda devido ao movimento relativo entre a fonte e o observador.

Capítulo 1

Revisão histórica

Este capítulo tem como objetivo revisar como a cosmologia padrão, assim chamada, foi se formando de maneira facciosa a partir de eventos que ocorreram ao longo do século XX, dando uma explicação detalhada dos fatos.

1.1 Desvio para o vermelho

O efeito de desvio para o vermelho (*redshift*, em inglês), independentemente da sua causa, é definido como um deslocamento no sentido do infravermelho do comprimento de onda recebido pelo observador comparado com o comprimento de onda emitido pela fonte [6]. Em outras palavras, o efeito é observado quando o comprimento de onda da luz visível é deslocado no sentido do infravermelho do espectro.

Na natureza, a medida desse efeito é obtida analisando o espectro da luz que incide do corpo analisado. Se, nesse espectro observador, apresentar alterações como as linhas de absorção, linhas de emissão ou outros aspectos, então podemos calcular o desvio para o vermelho. Tipicamente, por ser o átomo mais abundante no universo, analisa-se o espectro de emissão do átomo de hidrogênio que é emitido pela fonte e é então comparado com o mesmo espectro conhecido em laboratório aqui na Terra. Na astronomia, o desvio para o vermelho é representado pela seguinte relação adimensional:

$$z = \frac{\lambda_{obsv} - \lambda_{emit}}{\lambda_{emit}} \quad (1.1)$$

onde λ_{obsv} é o comprimento de onda absorvida e λ_{emit} o comprimento de onda emitido. Podemos representar também em função da frequência da onda, como é usada a radio astronomia hoje:

$$z = \frac{f_{emit} - f_{obsv}}{f_{obsv}} \quad (1.2)$$

sendo f_{emit} a frequência da onda emitida e f_{obsv} a frequência da onda absorvida. Pode-se observar que podemos ter tanto $z > 0$ (desvio para o vermelho) quanto $z < 0$ (desvio para o azul).

Entretanto, observa-se que o caso mais encontrado quando analisamos as galáxias distantes ao nosso redor é dado por $z > 0$ e, como mostrado por Hubble em 1929 [1], quanto maior a distância do corpo analisado, maior é o desvio para o vermelho obtido. Em suas próprias palavras, Hubble descreve em seu livro "*The Realm Of The Nebulae*" ([7], 1934, p.121):

"As observações mostram que os detalhes nos espectros das nebulosas estão deslocados em direção ao vermelho a partir de suas posições normais, e que os desvios

para o vermelho aumentam com a tenuidade aparente das nebulosas. A tenuidade aparente é confiantemente interpretada em termos de distância. Portanto, o resultado observacional pode ser reafirmado – desvios para o vermelho aumentam com as distâncias."

Em seu artigo "Uma relação entre distância e a velocidade radial entre nebulosas extragalácticas" [1], Hubble nos informa a maioria das nebulosas extra-galácticas ¹ observadas apresentam um desvio espectral para o vermelho e, além disso, quanto maior era a distância observada, maiores eram os desvios. Por conseguinte, a primeira metade do século XX passou a se tornar um período de grande agitação na comunidade científica, visto que haviam observações experimentais feitas por Hubble e outros astrônomos cuja descrição teórica ainda não era conhecida.

Assim, o desvio para o vermelho foi recebendo diversas hipóteses que explicavam qual era o mecanismo físico responsável pelo desvio e porque ele aumentava conforme a distância. Dentre elas, Fritz Zwicky (1898 - 1974) propôs a ideia de que a luz, ao percorrer as longas distâncias do universo, perderia energia devido à alguma interação com o espaço durante a trajetória [5]; Erwin Finlay-Freundlich (1885-1964) sugeriu que os fótons de luz pudessem interagir entre eles de modo a causar um desvio no comprimento de onda ou frequência [2]; J.P. Vigier (1920 - 2004) e R. Monti (1945 – 2014), seguindo a hipótese original de Finlay-Freundlich, propuseram que o desvio para o vermelho pudesse ser devido a interação da luz com o meio intergaláctico [4]; Paul Marmet (1932-2005), propôs a ideia de que a luz interagindo com o gás quente interestelar diminuísse sua energia e então aumentasse seu comprimento de onda, causando o desvio para o vermelho [3]. Essas e outras hipóteses ficaram conhecidas como o efeito de luz cansada, uma vez que o mecanismo causador dos desvios estava embutido na maneira como o comprimento de onda da luz altera-se ao interagir com os materiais.

Além disso, Christian Doppler (1803-1853) também propôs sua ideia a respeito desse fenômeno; utilizando da ideia do efeito Doppler para ondas mecânicas, Doppler descreveu o desvio para o vermelho como sendo causado pelo movimento de recessão do objeto e o observador. Essa ideia, quando usada unicamente para descrever as observações de Hubble, nos indica que a grande maioria das galáxias estariam se afastando da Terra, com velocidades maiores a medida que a distância aumenta, o que concorda com a formulação de um universo em expansão cósmica². Essa hipótese passou a ser muito usada pelos cientistas para descrever os desvios espectrais (tanto para $z > 0$ quanto para $z < 0$), causando um esquecimento injustificável das outras hipóteses da época que também descreviam matematicamente o efeito. Como G. Reber mostra em seu texto ([8], 1986, p. 679), a principal razão para a comunidade científica ter adotado unicamente a hipótese do efeito Doppler como causa dos desvios para o vermelho tem relação com a suposição de que o espaço intergaláctico é um vazio e que nada acontece com a luz em sua jornada de uma galáxia para a Terra, tornando inviável a ideia de luz cansada. Porém, sabemos hoje que esse não é o caso real e que o espaço intergaláctico está cheio de raios cósmicos, nuvens de poeira, etc. que poderiam interagir com os fótons de luz viajantes.

Em suma, o desvio para o vermelho observado por Hubble e outros durante a primeira metade do século XX causaram grandes discussões a respeito da natureza da luz e do espaço. Como resultado, muitas hipóteses surgiram para explicar o fenômeno dos desvios, apresentando descrições matemáticas funcionais e mecanismos físicos passíveis de testes, mas com implicações diferentes a respeito da natureza do universo. Porém, como brevemente mostrado, a hipótese do efeito Doppler acabou ganhando mais popularidade, considerando o argumento apresentado

¹As nebulosas extra-galácticas a que Hubble se refere naquela época, são as galáxias.

²Desenvolverei melhor essa ideia no Capítulo 2.

por G. Reber e também todo período histórico pós publicação das teorias da Relatividade Geral de Einstein³.

³Farei um melhor discussão sobre o assunto no item 1.3.

1.2 Lei de Hubble e suas interpretações

Vesto M. Slipher (1875-1969), astrônomo norte-americano, registrou medidas da velocidade radial das então chamadas nebulosas espirais durante o início do século XX, chegando a analisar e medir 41 dessas [9]. Mais tarde, durante a década de 1920, Edwin P. Hubble mostrou que grande parte dessas "nebulosas espirais" apresentavam um desvio para o vermelho em seus espectros de luz e, juntamente ao astrônomo Milton L. Humason, fizeram uma análise das velocidades radiais v com suas distâncias r que foram obtidas através da magnitude aparente, chegando a conclusão de que quanto maior a distância das galáxias, maior eram os desvios para o vermelho observados e consecutivamente maior eram as velocidades [1]. Assim, em março de 1929 Hubble publica seu artigo chegando a seguinte relação linear:

$$v = H_0 r \quad (1.3)$$

onde H_0 é a constante de Hubble. Essa constante foi e ainda é alvo de discussão a respeito do seu verdadeiro valor⁴, uma vez que seu cálculo depende do quão preciso são as medidas de v e r para cada galáxia observada.

Por sua vez, a medida feita por Hubble para a velocidade radial também é motivo de discussões, visto que foi obtida assumindo que o desvio para o vermelho era em razão do efeito Doppler, utilizando a relação não relativista $v = cz$, onde c é a velocidade da luz no vácuo e z é o desvio para o vermelho (1.1). Como já discutido no item 1.1, esse efeito está relacionado à ideia de um universo em expansão.

Nesse sentido, com respeito a interpretação de seus resultados, Hubble escreve ao fim do seu artigo ([1], 1929, p. 173):

A importante característica, contudo, é a possibilidade de que a relação distância-velocidade possa representar o efeito de Sitter e, portanto, que dados numéricos possam ser introduzidos na discussão da estrutura geral do espaço. Na cosmologia de de Sitter, o deslocamento do espectro origina-se de duas fontes, uma diminuição aparente das vibrações atômicas e uma tendência geral das partículas materiais se dispersarem. Esta última envolve uma aceleração e, portanto, introduz o fator tempo. A importância relativa destes dois efeitos poderia determinar a forma da relação entre distâncias e velocidades observadas; e neste contexto deve ser enfatizado que a relação linear encontrada na presente discussão é uma primeira aproximação, representando uma faixa restrita em distância.

O efeito de Sitter citado por Hubble refere-se à solução de Willem de Sitter (1872-1934), astrônomo neerlandês, para as equações da relatividade geral de Einstein, que leva diretamente a ideia de um universo em expansão. A partir disso e dado o período histórico pós teoria da relatividade geral de Albert Einstein (1879 - 1955), podemos imaginar que a comunidade científica passou a se dividir com relação a qual modelo de universo adotar, visto que até então um universo em expansão era pouco aceitado.

Além de tudo, vale ressaltar que foi a partir desse fato que Hubble passa a ser associado, erroneamente, como o descobridor da expansão cósmica. Na realidade, ao contrário do que muitos livros dizem, Hubble, durante toda sua vida, permaneceu cauteloso com relação a ideia de um universo em expansão e também manteve-se cético a respeito da natureza do desvio para

⁴Quando foi medida pela primeira vez, seu valor era de 500 km/s/Mpc, cerca de sete vezes o valor que os astrônomos medem hoje.

o vermelho, como muito bem narrado pelo trabalho de André K. T. Assis "A cosmologia de Hubble: De um universo finito em expansão a um universo infinito no espaço e no tempo" [10].

Com relação a Hubble, vale enfatizar o seguinte trecho publicado em julho de 1929, pouco tempo depois de publicar sua relação linear ([11], 1929, p. 96):

É difícil acreditar que as velocidades sejam reais; que toda a matéria está realmente dispersando-se da nossa região do espaço. É mais fácil supor que as ondas de luz estão alongando-se e as linhas de espectro estão deslocadas para o vermelho, como se os objetos estivessem recuando por conta de alguma propriedade do espaço ou por forças agindo na luz durante a sua longa viagem à Terra.

Pode-se observar que Hubble matem-se cauteloso com relação ao verdadeiro valor das velocidades radiais e das implicações do efeito Doppler (afastamento das galáxias), além termina propondo explicações alternativas para o desvio espectral. Além disso, vale ressaltar também que em 1935 no seu artigo intitulado "*Two Methods Of Investigating The Nature Of The Nebular Red-Shift*", publicado juntamente à Richard C. Tolman (1881-1948), Hubble mantém-se ainda mais cuidadoso com relação ao fenômeno que explica o desvio para o vermelho, passando a utilizar o termo velocidade de recessão "aparente" ([12], 1935, p. 303):

Até que evidência adicional esteja disponível, ambos os autores desejam manter a mente aberta em relação à explicação final mais satisfatória para o desvio para o vermelho das nebulosas e, na apresentação das descobertas puramente observacionais, continuar a usar a expressão velocidade de recessão "aparente". Contudo, ambos tendem à opinião de que se o desvio para o vermelho não é devido a um movimento de recessão, a sua explicação envolverá provavelmente princípios físicos muito novos.

Ainda no artigo citado acima, Hubble e Tolman discutem à respeito da descrição do desvio para o vermelho, considerando tanto o caso em que ele é ocasionado pelo movimento de recessão, quanto o caso em que o movimento de recessão não é considerado. Na conclusão, eles escrevem ([12], 1935, p. 355):

Nossas conclusões quanto ao estado atual das contagens nebulares podem portanto, ser resumido afirmando que pode ser possível explicar os resultados com base em um universo estático e homogêneo com uma causa desconhecida para o desvio para o vermelho, ou através de um modelo homogêneo em expansão com introdução de efeitos da curvatura espacial que parecem inesperadamente grandes, mas podem não ser impossíveis.

Nesse contexto, Hubble e Tolman deixam claro que a ideia de um universo estático e homogêneo não foi descartada, bastando apenas introduzir uma explicação para o desvio espectral. Dessa forma, suas observações, constantemente tomadas como prova de um universo em expansão, podem ser explicadas através de outras hipóteses que não o efeito Doppler, evitando a implicação direta da expansão cósmica. Ainda sobre a visão de Hubble a respeito da verdadeira natureza do desvio para o vermelho, ele comenta mais tarde em 1936 no seu livro "*The Realm Of The Nebulae*" ([7], 1936, p. 197):

O coeficiente observado é menor aqui do que na relação calculada a partir de ambas as interpretações dos desvios para o vermelho, mas é muito mais próximo ao

coeficiente representando ausência de movimento. O exame cuidadoso das possíveis fontes de incertezas sugere que as observações podem provavelmente ser explicadas se os desvios para o vermelho não forem desvios de velocidades. Se os desvios para o vermelho são desvios de velocidades então alguns fatores vitais devem ter sido desprezados na investigação.

O coeficiente em questão é o chamado coeficiente de magnitude (Δm) que relaciona-se com a distância das galáxias. Dessa forma, através das publicações do próprio Hubble, é possível ter uma maior noção de como a interpretação dos desvios para o vermelho reflete diretamente no modo como suas observações, e também sua relação linear, podem ser entendidas, levando a maneiras diferentes de entender o universo, mas não únicas.

1.3 Temperatura da radiação cósmica de fundo

A cosmologia como a conhecemos surgiu durante o século passado, onde diversas ocasiões ajudaram na formação do conhecimento científico necessário para tentar entender melhor como o universo funciona. Considerando as observações feitas por Hubble e outros astrônomos, além das publicações de Albert Einstein sobre sua teoria da relatividade geral (teoria essa que influenciou a maneira como os cientistas entendiam o espaço), pode-se imaginar que os modelos que descreviam o universo, com formulações diferentes a respeito da expansão e do mecanismo físico causador do desvio para o vermelho, foram aprimorando-se ao decorrer do período.

Nesse sentido, vale ressaltar que até as publicações de Hubble em 1929 [1] sobre a relação do desvio para o vermelho com a distância aparente das galáxias, as formulações teóricas para o universo que eram adotadas pelos cientistas variavam entre a descrição de Einstein (-), onde o universo seria finito e fechado, ou o universo de Willem de Sitter (-), que era aberto e infinito, mas sem expansão do espaço. Somente depois de 1929, com as observações dos desvios para o vermelho de Hubble, foi que a discussão a respeito de um universo em expansão voltou a tona, trazendo as ideias do *Big-bang* do padre belga Georges Lemaître (-) juntamente as soluções das equações da relatividade geral pelo matemático Alexander Friedmann (-).

Posteriormente, em 1948 H. Bondi, T. Gold [13] e F. Hoyle [14] vão publicar seus novos modelos onde o universo seria sempre o mesmo em todo os tempos, adotando a ideia de um universo estacionário. Dessa forma, a comunidade científica passa a se dividir, ainda mais, em dois lados: os defensores de um universo finito em expansão e os adeptos à um universo infinito no espaço e no tempo.

É importante ressaltar aqui que, como André K. T. Assis descreve muito bem em seu artigo ([15], 1995, p. 14), as duas teorias vigentes da época, tanto de Lemaître quanto a do estado estacionário citado acima, adotaram que o desvio para o vermelho era em razão do efeito Doppler, o que implica justamente na ideia de expansão cósmica, seja por expansão do vácuo (*Big-bang*) ou por criação contínua de matéria na borda (modelo de Bondi, Gold e Hoyle), respeitando o princípio cosmológico perfeito.

Essa desarmonia das hipóteses do universo seguiu (e ainda segue, diga-se de passagem) por um bom tempo, até que em 1965 Arno Allan Penzias (1933 -) e Robert Woodrow Wilson (1936 -) vão obter, acidentalmente ⁵, a temperatura do espaço interestelar [16]. Esse marco na história da cosmologia é descrito por muitos como o fato decisivo a favor da ideia do *Big-bang* (e.g., [17]), visto que o valor da temperatura obtido concordava com previsões que usavam o universo em expansão como modelo.

Entretanto, há uma grande controversa a respeito dessa conclusão. Como mostra André K. T. Assis no seu artigo já citado ([15]), a justificativa usado para adotar o modelo do *Big-bang* como modelo padrão apresenta incongruências, tendo em vista que outros cientistas, cujo modelo usado para suas previsões era o modelo de um universo estático, também previram corretamente a temperatura do espaço interestelar anos antes de sua constatação.

Nesse sentido, vale ressaltar também que é muito comum observar nos livros de cosmologia a comparação direta do modelo de Lemaître com o modelo de universo estacionário de H. Bondi, T. Gold e F. Hoyle o qual, como já falado acima, também traz a ideia da expansão cósmica. Entretanto, existem outros modelos de universo estacionário que comumente não são considerados como por exemplo o modelo proposto, ao longo século XX, por vários cientistas,

⁵A. A. Penzias e R. W. Wilson estavam testando um ultra-sensível detector de micro-ondas, quando observaram que o aparelho registrava mais ruído do que seria de se esperar. O ruído extra não apresentava variações, mesmo mudando sua direção, medindo durante o dia ou a noite, o ruído era o mesmo. Isto demonstrava que a radiação deveria vir de fora da galáxia.

tais como E. R. A. Regener, W. Nernst, E. Finlay-Freundlich, Max Born entre outros. Os autores, diferentemente das descrições exposta anteriormente, consideraram os desvios para o vermelho como não provenientes do efeito Doppler, mas sim assumindo algum tipo de interação do fóton ao longo do caminho que percorre até a Terra, evitando assim a implicação direta da expansão do universo.

Além disso, o é importante a enfatizar aqui é que esses autores fizeram boas previsões para a temperatura do espaço intergalático, fato que, como citado acima, foi decisivo para a aceitação da teoria do *Big-bang*. Em 1926, por exemplo, Arthur Stanley Eddington (1882 - 1944), ainda adepto a um universo estático, publica no ultimo capítulo de seu livro *The Internal Constitution of the Stars* o seguinte ([9], 1926, p. 371):

A luz total das estrelas recebida por nós é estimado que seja equivalente a 1000 estrelas de primeira magnitude [...] Nós devemos primeiramente calcular a densidade de energia dessa radiação [...] De acordo com a radiação total das estrelas, temos uma densidade de energia de [...] $E = 7.67 \times 10^{-13} \text{ erg/cm}^3$. Pela formula $E = aT^4$ a temperatura efetiva correspondente a essa densidade é de 3.18 K.

É interessante destacar que o valor obtido por Eddington de 3.18 K era devido, segundo ele, ao campo de radiação total emitida pelas fontes estelares, onde estaria em uma situação de equilíbrio, como Eddington segue dizendo:

Em uma região do espaço que não esteja nas proximidades de qualquer estrela, esta constitui o campo de radiação total, e um corpo negro, e.g. um termômetro de bulbo negro, vai adquirir neste local uma temperatura de 3.18 K, de modo que sua emissão possa contrabalançar a radiação incidindo sobre ele e sendo absorvida por ele. Isso é algumas vezes chamado de 'temperatura do espaço interestelar'.

Já em 1928 R. A. Millikan (1868 - 1953) e G. H. Cameron (1902 - 1977), ao analisar as radiações cósmicas utilizando balão estratosférico, vão encontrar que a energia total dos raios cósmicos no topo da atmosfera era um décimo da energia devida à luz e calor das estrelas [18]. Em 1933, E. Regener (1881 - 1955), utilizando dos trabalhos de Millikan e Cameron, vai concluir que ambos fluxos de energia tinham o mesmo valor [19], fato que, como explicado por André Assis ([20], p.80), é de grande importância para a formação da cosmologia, visto que isso nos indica que a densidade de energia da nossa galáxia está em equilíbrio com a radiação cósmica, que em grande parte é de origem de fora da galáxia. Vale destacar que, em seu trabalho de 1933, Regener ressalta ter calculado a temperatura do espaço interestelar, obtendo um valor de 2.8 K ([19], 1933, p. 668):

Um corpo celeste com as dimensões necessárias para absorver os raios cósmicos [...] será aquecido pelo mesmo. O aumento na temperatura será proporcional a energia de absorção cósmica (S_u) e a superfície (O). O aumento de temperatura do corpo vai até emitir a mesma quantidade de radiação térmica, que é igual a ($\sigma.T^4$). A temperatura final é determinada por $T = \sqrt[4]{\frac{S_u}{\sigma}}$. Substituindo os valores numéricos, nós temos 2.8 K

Nesse sentido, seguindo os passos de Regener, W. Nernst (1864 - 1941) em 1937 também faz sua previsão a respeito da temperatura, obtendo um valor de 0.75 K para o espaço intergalático ([20], apêndice B). Nernst, como já comentado acima, defendia a ideia de um universo sem expansão e neste artigo ele sugeriu uma equação para explicar o desvio para o vermelho através da interação da luz com a poeira cósmica. No artigo, ele diz ([20], 1937, p. 8):

Se adotarmos minha a hipótese de um universo estacionário (hipótese a qual eu tenho usado com sucesso para tirar várias conclusões) nós devemos assumir que o espaço entre as nebulosas contém uma quantidade constante e bem definida de radiação. Essa ideia leva a formulação do desvio para o vermelho dependente do tempo, o qual ocorrer claramente nos corpos celestes distantes, i.e

$$\frac{-d(h\nu)}{dt} = H(h\nu) \quad (1.4)$$

uma equação que deve estar aberta a generalidades consideráveis.

onde h é a constante de Planck, ν a frequência da luz e H a constante de Hubble.

Ademais, outro autor que também fez sua previsão a respeito da temperatura foi E. Finlay-Freundlich (1885 - 1964), em 1953. O físico propôs que o desvio para o vermelho da estrelas fosse proporcional a quarta potencia da temperatura do meio e a distância percorrida pela luz, chegando a expressão [2]:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = -A.l.T^4 \quad (1.5)$$

onde $\Delta\nu$ é a variação da frequência, ν sua frequência original, A era uma constante, l era o comprimento do caminho percorrido e T a temperatura do campo de radiação. Finlay-Freundlich ainda descrever que, se interpretarmos esse desvio como o desvio cosmológico, é possível obter um valor médio para a temperatura do espaço intergalático dado por $1.9K < T < 6.0K$ ([15], p. 17).

Até o exposto, mostrei previsões de autores que não concordavam com a ideia de um universo em expansão, descrevendo suas próprias hipóteses para explicar o desvio para o vermelho. Mas, como é de se esperar, outros autores também fizeram previsões da temperatura do universo utilizando a ideia de um universo em expansão. Nesse sentido, Ralph A. Alpher (1921 - 2007) e Robert C. Herman (1914 -1997) utilizando a formulação de um universo em expansão, vão publicar seus resultados a respeito da temperatura em 1949 ([21], 1949, p. 1093):

De acordo com a equação (4) [$\rho_r \rho_m^{\frac{4}{3}} = \text{constante}$], a especificação de ρ_r'' , ρ_m' e ρ_r' fixa da densidade atual da radiação, ρ_r' . De fato, encontramos que o valor de ρ_r' consiste com a equação (4) é dado por: ρ_r

$\approx 10^{-22}g/cm$, o que corresponde a uma temperatura atual da ordem de 5K. Esta temperatura média para o universo é para ser interpretada como a temperatura de fundo que resultaria apenas da expansão universal. Contudo, a energia térmica resultando da produção de energia nuclear nas estrelas aumentaria este valor.

Pelo recorte, vemos que os autores chegaram a um valor de aproximadamente 5 K, ressaltando, porém, que essa temperatura deve ser aumentada quando consideramos a energia térmica proveniente da energia nuclear das estrelas. Dessa forma, obtiveram um valor de no mínimo 5 K.

Outro autor importante a ser brevemente citado aqui é George Gamow (1904 - 1968), que em 1953 obtém um valor de 7 K para a temperatura do espaço intergalático, usando a formulação de um universo em expansão ([22], p. 6). Um pouco mais tarde, em 1961, Gamow comenta brevemente a respeito da temperatura do universo em seu livro "The Creation of the Universe" [23]. Na pagina 40 do livro, ele utiliza do valor da constante de Hubble e a densidade média do universo para deduzir uma expressão que fornece a temperatura do universo em função do tempo, chegando a um valor final de 50 K.

Dessa forma, fica claro que a maneira como a "cosmologia padrão" é descrita nos livros, tomando as descobertas de Penzias e Wilson como comprovações definitivas da teoria do *Big-bang*, está de alguma forma equivocada, visto que outros autores, que adotaram suas próprias descrições para explicar o desvio para o vermelho e calcular a temperatura do universo também fizeram boas previsões, muito antes de 1964. Através da Tabela 1.1, podemos visualizar melhor a comparação direta do exposto nesse subcapítulo, mostrando as previsões para as temperaturas e seus respectivos autores, dividindo eu dois grupos.

Tabela 1.1-Previsão da temperatura do universo previsto por diferentes autores e diferentes modelos de universo e em diferentes anos.

Ano	Big-bang	Universo estacionário	Temperatura
1926		A. S. Eddington	3.18 K
1928		E. Regener	2.8 K
1937		W. Nernst	0.75 K
1948	Alpher e Herman		$T \geq 5K$
1953		E. Finlay-Freundlich	$1.9 K < T < 6.0 K$
1953	G. Gamow		7 K
1961	G. Gamow		50 K
1964	Penzias e Wilson		2.7 K

Fonte: o autor, 2022.

Capítulo 2

Efeito Doppler

Neste capítulo, gostaria de expor uma visão geral sobre o efeito Doppler, incluindo sua formulação tanto para ondas mecânicas quanto para ondas eletromagnéticas. Além disso, mostrar também como o uso desse efeito para explicar eventos observacionais do século XX implicam em um universo em expansão.

2.1 Ondas mecânicas

As ondas mecânicas são aquelas que precisam de um meio material para se propagarem. Quando um observador, relativamente parado, recebe as ondas provenientes de uma fonte que está em movimento relativo, ele observa uma mudança na frequência da onda¹: este é o efeito Doppler. Esse efeito foi primeiramente observado e descrito pelo físico e matemático austríaco Christian Doppler (1803 - 1853), em 1842 [24]. Doppler propôs a seguinte fórmula:

$$f_e = f_s \frac{1}{1 \pm \frac{v_s}{v}} \quad (2.1)$$

onde f_e é a frequência observada pelo observador, f_s a frequência emitida pela fonte, v_s a velocidade do fonte com relação ao meio e v a velocidade de propagação da onda no meio. Nesse caso, o observador estaria em repouso e a fonte em movimento, no caso contrário, temos:

$$f_e = f_s \left(1 \pm \frac{v_e}{v}\right) \quad (2.2)$$

onde v_e é a velocidade do observador com relação ao meio. Dessa forma, temos as equações que descrevem o efeito Doppler clássico, percebe-se que a maneira como a frequência muda depende da velocidade com que a fonte e o observador estão se movimentando relativo ao meio.

2.2 Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas, como dizem os livros de física, são aquelas que não dependem de um meio para se propagar. Na época de Christian Doppler (século 19), a comunidade científica acreditava que a luz caminhava pelo seu próprio meio especial, o chamado Éter luminífero [25]. Mesmo assim, Doppler fez sua previsão de que não só o som, mas todas as ondas devem

¹O exemplo mais clássico presente nos livros de física é o do som que ouvimos quando estamos parados, com relação à terra, e uma ambulância passa por nós com as sirenes ligadas

sofrer esse efeito de variação na frequência devido ao movimento. Quando tratamos de ondas eletromagnéticas, entretanto, sabe-se que elas não dependem do meio para se propagar, dessa forma temos outra formulação para descrever o efeito Doppler em ondas eletromagnéticas:

$$f_e = f_s \sqrt{\frac{1 \pm v_{rel}/c}{1 \pm v_{rel}/c}} \quad (2.3)$$

onde c é a velocidade da luz no vácuo, v_{rel} a velocidade relativa do movimento entre a fonte de o observador f_e e f_s são das frequências de onda recebida pelo observador e emitida pela fonte, respectivamente. Pode-se observar que o efeito não depende mais da velocidade relativa ao meio, mas sim da velocidade relativa entre o observador.

2.3 Universo em expansão

Como já apresentado no Capítulo 1, durante o século XX as observações de E. Hubble foram de muita importância para o entendimento da natureza do universo. Hubble, juntamente a outros astrônomos, mostrou que a grande maioria das galáxias, dentre as observadas, apresentava um desvio no espectro de luz para o vermelho. Não só isso, mas também utilizou das relações do efeito Doppler para interpretar esses desvios e traçar uma relação linear entre a distância e a velocidade das galáxias estudadas. Vale lembrar que, naquele período, a grande parte da comunidade científica descrevia o espaço intergaláctico como sendo completamente vazio, impassível de interação e estático, ideia essa que sabemos ser falsa hoje em dia.

Dessa forma, a única explicação a ser considerada para justificar o porque da luz apresentar um desvio para o vermelho, tornou-se assumir a hipótese do efeito Doppler. Assim, por conta desse efeito aparecer quando os corpos em questão estão em movimento relativo entre si, a descrição tomada por vários cientistas ao analisar as observações de Hubble e as soluções das equações de Einstein feita por Friedmann e Lemaître, foi assumir que o universo estava em expansão e, além disso, que teve um início. A ideia do *Big-bang*, que envolve a descrição do efeito Doppler para explicar o desvio espectral e as teorias da relatividade, apresenta algumas incongruências tanto com relação à teoria usada como base, isto é, a relatividade geral de Einstein (ver por exemplo, [26]), quanto na incompatibilidade do efeito Doppler para descrição de alguns sistemas de galáxia-quasar (discutirei melhor essa questão no último capítulo). Dessa maneira, é comum para os adeptos dessa teoria, ter que assumir algumas suposições que são no mínimo estranhas de modo a não descartar a teoria como um todo, como por exemplo a matéria e energia escuras, inflação cósmica, entre outras implicações.

Capítulo 3

Efeito de luz cansada

O efeito de luz cansada está associado à descrições alternativas ao efeito Doppler que não envolvem a velocidade de recessão como agente causador dos desvios espectrais, mas sim um mecanismo física pelo qual o fóton de luz perde energia ao longo de uma trajetória. Durante a primeira metade do século XX e até hoje, muitas descrições como essa surgiram a fim de explicar os desvios para o vermelho observados. Algumas dessa hipóteses são detalhadas ao longo desse capítulo.

3.1 Descrição de Fritz Zwicky e outros

O astrônomo suíço Fritz Zwicky (1898 - 1974) foi o primeiro a propor uma ideia alternativa ao efeito Doppler, em 1929. Zwicky publicou seu artigo intitulado "*On the redshift of spectral lines through interstellar space*" [5], no periódico "*Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*" no mesmo volume em que Hubble publica seu artigo demonstrando a "lei de Hubble". Em seu artigo, Zwicky apresenta uma interpretação diferente para as observações de Hubble, propondo que o desvio para o vermelho fosse devido a perder de energia dos fótons de luz viajando por galáxias distantes, ideia que ficou conhecida como efeito de "luz cansada". O fóton de luz ao perder energia diminui a sua frequência e, consecutivamente, aumenta o seu comprimento de onda, explicando assim o desvio avermelhado. Além disso, ele propõem que o mecanismo físico responsável pela perda de energia seria algo como um análogo gravitacional do efeito Compton, nas próprias palavras de Zwicky ([5], 1929, p. 773): "*Finalmente, um novo efeito das massas sobre a luz será sugerido, que é uma espécie de análogo gravitacional do efeito Compton*". Esse mecanismo, porém, prevê um borrão na imagens de galáxias distantes, o que não é observado [27].

As contribuições de Zwicky, entretanto, foram de extrema serventia para a busca de mecanismos que não implicassem diretamente na expansão do universo, já que em sua ideia o desvio para o vermelho era causado simplesmente por conta da interação do fóton da luz ao longo da sua trajetória.

Dessa forma, a partir de 1929 muitos teóricos começaram a propor explicações do desvio para o vermelho, passando por W. Nernst propondo uma interação do fóton com a radiação cósmica (1.4) e Finlay-Freundlich que inicialmente descreveu um modelo para explicar o desvio para o vermelho das linhas solares dependendo da temperatura do campo de radiação e então extrapolou para o desvio cosmológico (1.5). Até modelos mais novos como o de Ming-Hui Shao ([28] [29]) que propõem a perda de energia do fóton através da força elétrica de Lorentz, L. Ashmore que defende a "nova luz cansada" [30] onde o fóton perderia energia ao interagir com o elétron no plasma intergalático e outros modelos como muito bem listado por H. J. Rebol

em seu artigo "*Untrivial redshifts-A bibliographical catalogue*" [31].

3.2 Universo estacionário

A ideia de um universo em expansão, na década de 30-60, surgiu e foi sustentada unicamente pelo desvio para o vermelho das galáxias e a lei de Hubble. A falta de uma explicação satisfatória a respeito do desvio para o vermelho foi um fato que influenciou na adoção do efeito Doppler como alternativa, como afirmou o presidente da Sociedade Astronômica Real na época, Harrold Knox-Shaw (1885–1970) ([32], 1933, p. 309):

Vou agora voltar ao assunto das nebulosas. Algumas dúvidas foram levantadas à respeito dos desvios espectrais serem interpretados como consequência do efeito Doppler, mas na abstinência de alguma explicação satisfatória, considero que temos razão em expressá-los em termos de velocidade.

Entretanto, como já exposto ao longo deste trabalho, outras alternativas ao efeito Doppler foram surgindo, até mesmo junto as publicações de Hubble, o que possibilitou a sustentação da ideia de um universo estático. Além disso, vale ressaltar aqui o universo "estático" proposto por H. Bondi, T. Gold e F. Hoyle. que na visão desses autores o espaço em si seria desprovido de movimento (dai o estático), além de não ter tido começo ou fim; sua aparência ao longo do tempo também não mudaria, seguindo o principio cosmológico perfeito, sendo então necessário que a matéria fosse surgindo continuamente de modo a não diminuir a densidade do universo [33]. Porém, ideia não apresentava muita distinção ao modelo do *Big-bang* proposto pelo padre Georges Lemaître, isso se deve ao fato de ambos aceitaram o efeito Doppler em razão do desvio espectral, como mostrado por Assis no seu trabalho "*the redshift revisited*" [15].

Ao longo do ultimo século, E. Regener, W. Nernst e E. Finlay-Freundlich também tiveram suas contribuições a respeito da interpretação dos desvios espectrais, como já citado. Esses autores não assumiram que os resultados de Hubble eram devido ao movimento de recessão, mas descreveram suas próprias maneiras pela qual o fóton perderia energia e então causaria desvio para o vermelho. Alguns mecanismos físicos propostos nunca foram observados, já outros ainda são passíveis de testes, mas o interessante é que possibilitam a formulação de modelos de universo onde a expansão cósmica não é necessária, evitando que tenhamos que resolver os problemas já expostos no capítulo anterior (2.3) e evitando também controversas como as que seguem no capítulo seguinte.

Capítulo 4

Galáxias e Quasares, uma controversa

Desde o início da rádio astronomia na metade do século XX, fontes de radiação anômalas começaram a surgir no céu. Hoje em dia, grande parte dessas fontes são conhecidas como quasares e sabemos também que há algum tipo de associação desses astros com galáxias de formatos não triviais. A observação e análise desses objetos astronômicos é de grande importância para o estudo da formação das galáxias e consecutivamente da cosmologia. Trabalhos desenvolvidos nessa área mostram uma incongruência observacional na maneira como interpretamos os desvios para o vermelho desses astros.

4.1 Halton Arp

Halton Christian Arp (1927 - 2013) foi um astrônomo norte-americano que atuou durante anos nos observatórios Monte Palomar e Monte Wilson, maiores observatórios da sua época. Arp demonstrou grande interesse pelas galáxias que apresentavam formas não triviais causadas, geralmente, por interações gravitacionais com a vizinhança; além de galáxias em processo de fusão, apresentando suas formas originais desfiguradas, e as que pareciam expulsar algum material para fora, resultando em galáxias "estendidas". Em 1966, algum tempo depois de se tornar membro do observatório Monte Palomar, Arp publica o resultado do suas observações em seu artigo "*Atlas of Peculiar Galaxies*" [34]. Um atlas de galáxias peculiares, em português, conta com um amontoado de 338 galáxias e estrelas incomuns fotografadas através do telescópio de 200 polegadas (e com o de 48 polegadas, para campos de grande escala) do Monte Palomar. Os astros foram dispostos ao longo de 57 páginas onde são divididos em quatro grandes grupos dependendo de suas formas e aparência visual. O trabalho feito por Arp foi e ainda é de grande importância para o estudo das galáxias; como ele mesmo diz logo no começo do artigo ([34], 1966, p. 1): "*[..] as peculiaridades também são importantes pois, se pudessemos analisar galáxias em laboratório, nós iríamos deformá-las, chocá-las e examiná-las a fim de descobrir suas propriedades*".

Quando a rádio astronomia teve início na segunda metade do século XX, astrônomos começaram a detectar pequenas fontes de emissão de rádio anormais entre as galáxias distantes (ver [35] e [36]). Essas anomalias desafiavam as explicações antes conhecidas; eram emissões em grande escala de energia e em várias frequências, além de não apresentarem um correspondente óptico visível. Halton Arp, no mesmo ano em que publicou seu catálogo de galáxias peculiares, começou a analisar essas fontes de emissão de rádio¹ do espaço e percebeu que, ao comparar com seu catálogo, muitas dessas fontes poderiam ser provenientes das galáxias já

¹Essas fontes de emissão de rádio eram, em grande maioria, quasares.

observada por ele.

Dessa forma, em 1967 Halton Arp publica o seu artigo intitulado "*Peculiar Galaxies and Radio Sources*", onde ele mostra que as novas fontes de rádio observadas não estavam distribuídas aleatoriamente no céu, mas que apresentavam uma relação com as galáxias peculiares já catalogadas por ele; Arp descreve que o padrão mais comum apresentado em suas observações era de que as fontes de rádio pareciam estar nas redondezas das galáxias, associadas com material luminoso no mesmo raio de direção, sugerindo que as fontes tivessem sido ejetadas pelo centro da galáxia e fossem então as responsáveis por formar quasares, nebulosas e toda nova matéria observada nas redondezas. Além disso, Arp também observou o desvio para o vermelho do centro das galáxias analisadas e comparou com o desvio das fontes de rádio associadas, concluindo, em suas palavras ([37], 1966, p. 364):

É com relutância que chego à conclusão de que os desvios para o vermelho de alguns objetos extragalácticos não são inteiramente devidos à velocidade por causa das consequências possivelmente de longo alcance, tanto astronômicas quanto físicas.

Assim, Arp havia deu início a uma das maiores discussões a respeito do modelo padrão da cosmologia, a controversa do desvio para o vermelho. A análise feita por ele foi a seguinte: se as fontes de rádio ao redor da galáxia foram ejetadas do centro da galáxia (o que aparenta ser), então podemos considerar que os astros estão a mesma distância, ou pelo menos muito próximo, da Terra e, conseqüentemente, apresentam o mesmo desvio para o vermelho (segundo o modelo padrão que descreve o desvio para o vermelho em razão da velocidade de recessão). Entretanto, Arp observou que nem todos os objetos ao redor das galáxias apresentavam o mesmo desvio para o vermelho. Na realidade, algumas demonstraram um desvio espectral muito maior que o da própria galáxia. Essas observações trouxeram a tona uma discussão a respeito do verdadeiro significado do desvio para o vermelho, visto que o uso do efeito Doppler como descrição implicaria que a fonte de rádio estivesse extremamente longe da galáxia de que foi ejetada, apesar de parecerem muito próximas opticamente.

Já na sua época, Halton Arp recebeu muitas críticas às suas publicações, astrônomos alegavam que suas observações eram simplesmente coincidências astronômicas e que o problema da distância era facilmente resolvido quando assumíamos outra perspectiva, além de acreditarem que as observações apresentadas por ele eram somente casos isolados. Entretanto, Arp dedicou imensa atenção à esses objetos ao longo das décadas seguintes, demonstrando vários "casos isolados" onde existe uma associação entre os quasares de grande desvio para o vermelho e as galáxias de baixo desvio para o vermelho. Alguns desses casos são expostos nos itens a seguir.

4.2 NGC 4258

Na constelação de *Canes Venatici* (Cães de caça), próxima à constelação da Ursa maior, a 23-25 milhões de anos luz da Terra existe uma galáxia denominada NGC 4258 (ou M106 pelo catálogo de Messier). Essa é uma galáxia espiral como a Via Láctea mas que apresenta uma distinção a mais: dois braços em espiral que emitem grandes quantidades de energia; sua representação em luz visível está na Figura 4.1 abaixo:

Figura 4.1: Foto da galáxia NGC 4258 em luz visível feita pelo telescópio Hubble



Fonte: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2017/messier-106>

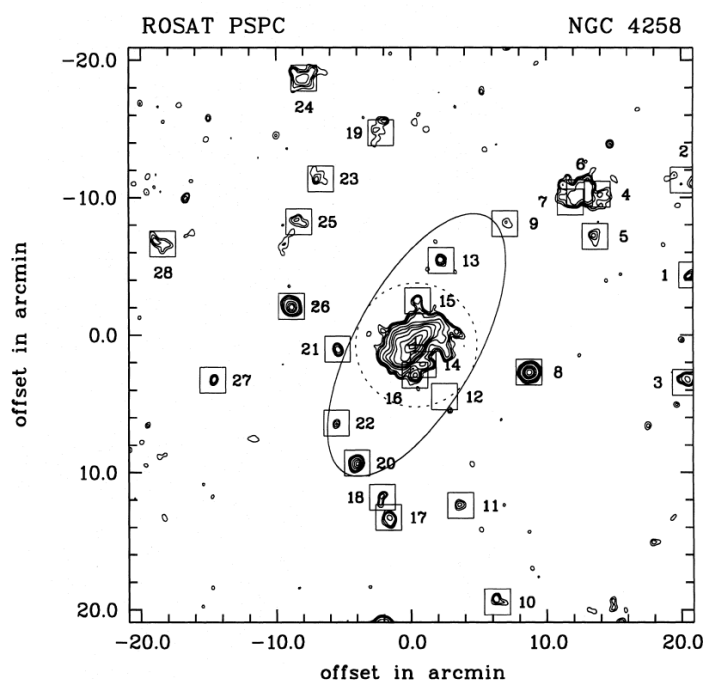
Na busca de estudar esse astro atípico, em 1963, E. Margaret Burbidge (-) e G. R. Burbidge (-) publicaram seus trabalhos onde apresentam uma descrição da velocidade, rotação e massa da galáxia [38]. Seus resultados mostram que existem regiões onde velocidades anômalas foram encontradas e que ela é originada nas porções indevidamente brilhantes dos braços da galáxia. Algum tempo depois, em 1994, Wolfgang Pietsch (-) e outros colaboradores, utilizando do satélite de raio-x ROSAT PSPC para estudar as fontes de emissão presente nos braços da NGC 4258; utilizando de algumas correções angulares fornecidas por Halton Arp, eles conseguem demonstrar a existência de inúmeros pontos de fontes de emissão que estavam espalhados pelo plano da galáxia, como ilustra a Figura 4.2. Dessa forma, sabiam de qual forma aleatória as fontes que emitem raio-x estavam distribuídas ao longo do plano da galáxia, mas o que chama atenção nesse estudo, é a detecção de duas fontes de raio-x fora do disco da NGC 4258, as quais nas palavras de Pietsch "*estão alinhadas simetricamente ao núcleo da galáxia*" ([39], 1994, p. 388). Em seu artigo expondo esses resultados, Pietsch conclui dizendo ([39], 1994, p. 395):

Duas das fontes de raio-x para as quais objetos estelares azuis estão associados, destacam-se em termos de intensidade do raio-x, posições simetria e equidistantes com relação ao núcleo da NGC 4258 [...] A linha que conecta as duas fontes de raio-x toca o final dos braços anômalos e também o final das fontes [...] Se a conexão dessas fontes com a galáxia for real, elas podem então terem sido ejeções bipolares do núcleo.

Como exposto acima, essas fontes de raio-x encontradas externamente à galáxia poderiam ter sido ejetadas do seu centro. Na Figura 4.2 abaixo podemos ver os pontos de emissão em destaque, sendo os pontos 26 e 8 as duas possíveis estrelas azuis que apresentam uma simetria com o núcleo da NGC 4258.

O correspondente óptico para tais fontes observadas ainda não era confirmado; para Halton Arp, entretanto, era quase certeza que se tratavam de quasares, como ele relata em seu livro "O universo vermelho" [40]. Assim, a análise do desvio espectral óptico dessas fontes de emissão passou a ser de grande interesse para a descrição e entendimento desses astros, visto que eles pareciam ter uma alguma relação com o centro da galáxia. Nessa época, vale ressaltar, tanto

Figura 4.2: figura do artigo



Fonte: W. Pietsch, 1994, p. 388 [39].

Halton Arp quanto Pietsch sofriam sanções das instituições, sendo ambos impedidos de utilizar os observatórios para investigar tal espectro ².

Entretanto, quase dois anos depois, E. Margaret consegue um espaço para realizar a medida e análise do desvio espectral óptico das duas fontes de raio-x e então publicar seus resultados em 1995 [41]. Em seu artigo, Margaret confirma o que já fora imaginado por Arp anteriormente: as fontes de raio-x eram na verdade quasares e, além disso, sugere que esses tenham sido ejetados do centro da NGC 4258³. Nesse sentido, Margaret calcula o desvio espectral dos quasares, obtendo valores muito maiores que o valor do centro da galáxia, como ilustrado na tabela abaixo:

Tabela 4.1: Comparação do desvio para o vermelho entre os quasares e o centro da galáxia

Objeto	Desvio para o vermelho
Quasar à oeste	$z = 0.3978 \pm [0.0006]$
Quasar à leste	$z = 0.6535 \pm [0.0007]$
Núcleo da NGC 4258	$z = 0.001541 \pm [0.000090]$

Fonte: o autor, 2022.

²Nessa época, Halton Arp sofria boicotes com relação ao seu trabalho, passando a ser proibido, desde 1982, de utilizar o observatório de Palomar para continuar suas investigações sobre associações de galáxias com quasares.

³Margaret, na verdade, cita o trabalho de Valtonen, cujo o autor mostra um interessante alinhamento dos quasares com o núcleo da galáxia NGC 4258 quando se é analisado através das ondas de rádio [42]

Assim, basta uma pequena análise nos valores obtidos por Margaret para perceber que há algo estranho acontecendo: Os quasares, aparentemente ejetados do núcleo, apresentam um desvio para o vermelho extremamente maior que o próprio núcleo e, pela teoria padrão, devem estar muito mais distantes da terra do que a própria galáxia que ejetou-os. Esse é um caso entre vários, como já mostrado pelos trabalhos de Halton Arp e outros; existem sistemas onde galáxias de baixo desvio para o vermelho estão associados com quasares de grande desvio para o vermelho, o que impossibilita a descrição dos astros através do modelo padrão, uma vez que os objetos deveriam estar próximos por conta da associação entre eles.

O sistema da NGC 4258 com seus quasares é um dos vários "casos isolados" presentes na natureza; A postura adotada pelas revistas de astronomia quando artigos como o de Margaret e Pietsch são enviados é dizer que os dados são só um caso isolado e o problema está na perspectiva que adotamos, além constantemente afirmar que os resultados obtidos são meras coincidências. Entretanto, como Halton Arp calcula, a probabilidade de encontrarmos um sistema onde o núcleo da galáxia apresenta um alinhamento com dois quasares que estão opostos entre si no plano da galáxia, é de quase 1 em 2.5 milhões! ([40], 1998, p. 13-14).

4.3 NGC 4319 e a Markarian 205

Markarian 205 (Mrk205) é um quasar localizado à parte oriente da constelação de Draco (Dragão), próximo a Camelopardalis (Girafa). Esse quasar chamou a atenção de alguns astrônomos na década de 70 por localizar-se próximo galáxia NGC 4319 e, além disso, por apresentar um forte brilho de radiação emitido do seu centro, como ilustrado na Figura 4.3 feita pelo telescópio Hubble. O astrônomo Daniel W. Weedman (1942 -) despertou um interesse no astro em questão e calculou o desvio para o vermelho do quasar Mrk205, obtendo o valor de $z_{mrk} = 21.000 km.s^{-1}$ [43]; Se utilizarmos o modelo padrão, onde o desvio para o vermelho é explicado pelo efeito Doppler, esse valor nos informa que o objeto está localizado a mais de um bilhão de anos luz da Terra e, considerando que o desvio para o vermelho obtido para a galáxia NGC 4319 foi de $z_{ngc} = 1.700 km.s^{-1}$ (80 milhões de anos luz da Terra), temos a impressão, naturalmente, de que o quasar estaria apenas como plano de fundo da galáxia e a aproximação aparente dos dois, representada na Figura 4.3, não é nada mais que uma coincidência. Esse foi o pensamento da maioria dos astrônomos da época, reforçando a visão convencional de que objetos com desvios para o vermelho tão diferentes não poderiam estar fisicamente ligados.

Entretanto, alguns astrônomos se interessaram em analisar a proximidade, e possível conexão, desses astros através do seu observatório. Em 1983, Jack W. Sulentic (-) faz uma listagem de pixel na imagem da região entre NGC 4319 e Mrk 205 no seu artigo [44]. Essa imagem está representada aqui na Figura 4.4, onde um contorno no disco da galáxia está ressaltado, de modo a mostrar algum vínculo aparente entre os astros. Essa simples análise dos pixel da foto em luz visível feita por Sulentic já foi suficiente para retomar discussões a respeito de um possível vínculo entre os astros (e.g., [45])

Dentre todas as discussões a respeito dessa possível conexão, Halton Arp ressaltou um fato que era claramente observado: A galáxia NGC 4319 estava em processo de destruição. Assim, Arp juntamente à Sulentic apresentaram de maneira cautelosa em seus artigos de 1987 [46], uma análise do sistema em raio-x e em ondas de rádio mostrando linhas de ejeção saindo do núcleo da NGC 4319 e se estendendo radialmente ao longo dos braços da galáxia no sentido do quasar Mrk 205. Esses braços aparentam ter sofrido recentemente⁴ alguma explosão ou uma perturbação interna, considerando as falhas de gás apresentadas.

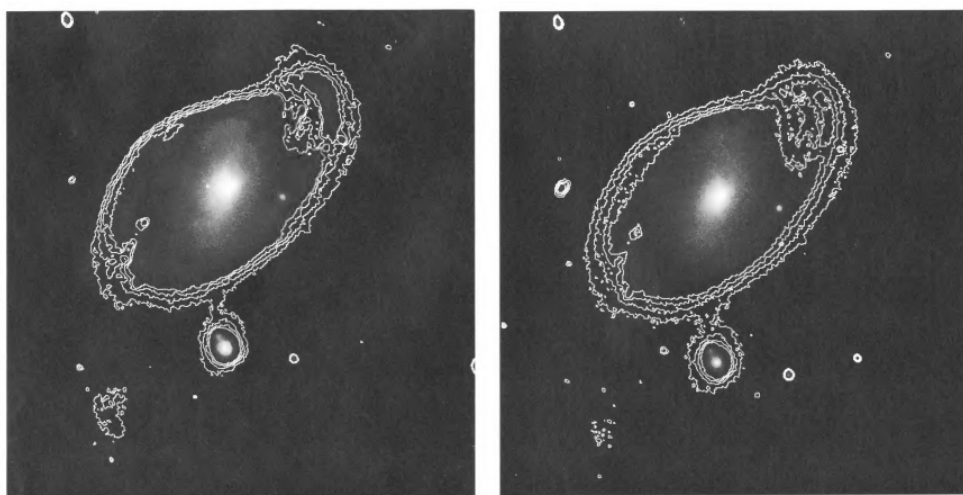
⁴Na ordem de dez milhões de anos atrás, uma pequena fração do período de rotação da própria galáxia

Figura 4.3: Foto pós processada retirada pelo telescópio Hubble da NASA mostrando a galáxia NGC 4319 e o quasar Mrk 205 no canto superior direito.



Fontes: <https://url.gratis/pZmTmA>

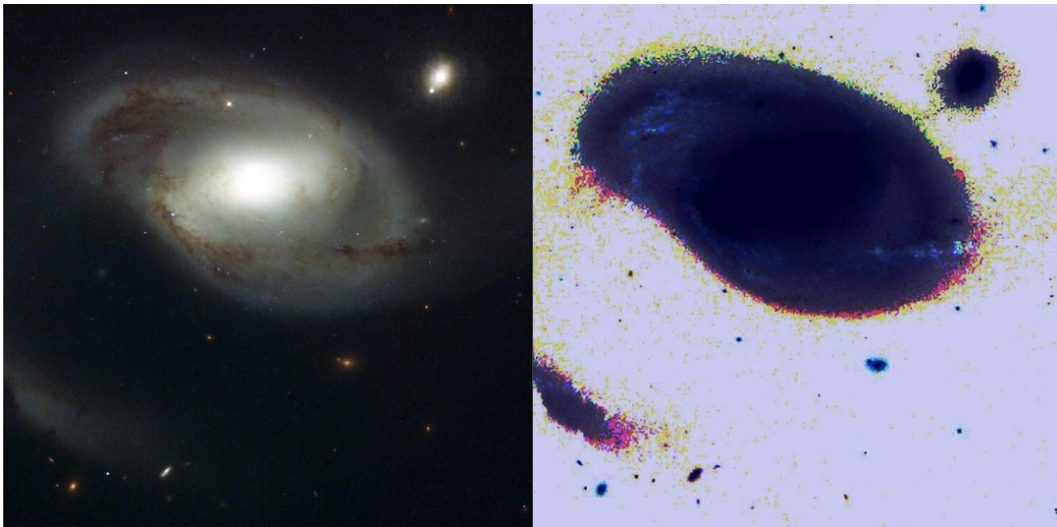
Figura 4.4: Fotos de pratos de absorção com contornos em destaque ao longo do disco da galáxia NGC 4319 e do quasar Mrk 205.



Fonte: Jack W. Sulenti, 1983, p. 50-51 [44].

Os resultados demonstrados por Halton Arp e Jack W. Sulentic a respeito da conexão física entre a NGC 4319 e o Mrk 205 levam a concluir que a possível conexão seja real, considerando o já exposto. Entretanto, assim como outros casos não triviais publicados por Arp, esse resultado não foi bem aceito pela comunidade, recebendo contra argumentações que diziam que o sistema apresentava uma "conexão aparente" ou "ilusão de perspectiva". Na Figura 4.3 tirada pelo telescópio Hubble e publicada pelo Instituto de Ciências do Telescópio Espacial em 2002, podemos observar que a conexão aparente, antes observada pelas astrônomos, não está presente. Essa foto foi tomada pela comunidade como a prova da ausência de uma conexão física dos dois astros [47], entretanto, basta alguns ajustes no brilho e contraste na imagem original para passarmos a ver novamente o filamento que liga os dois, como feito por mostrado na Figura 4.5 abaixo.

Figura 4.5: Comparação entre a mesma foto tirada pelo telescópio Hubble com contraste diferente.



Fonte: Adaptado de <https://www.haltonarp.com/articles/rebuttals>.

Vale lembrar que a relutância da comunidade em aceitar a existência de um filamento ligando os dois objetos é decorrente do fato de que o modelo padrão simplesmente não permite. Como Arp muito bem descreve em seu livro de 1988 "*Quasars, Redshifts and Controversies*" [48], no modelo padrão, galáxias como a NGC 4319 que apresentam baixo desvio para o vermelho, não podem estar ligadas a quasares como o Mrk 205 que apresenta altos desvios para o vermelho, pelo fato de que o desvio para o vermelho pode ser interpretado como distância e, consecutivamente, os objetos deveriam estar muito distantes um do outro (nesse caso, teriam uma distância de mais de 900 bilhões de anos luz entre os astros!).

4.4 NGC 7603 e PGC 71041

A galáxia espiral localizada na constelação de *Pisces* (peixes) NGC 7603, catalogada por Halton Arp em 1967 no seu livro "Um Atlas de Galáxias Peculiares" [34], ficou conhecida pela sua peculiaridade pouco provável. A NGC 7603 é caracterizada como uma galáxia Seyfert, ou seja, que apresenta uma grande atividade no seu núcleo, além disso, está localizada em um região onde existem relativamente poucos astros próximos, exceto pela sua companheira PGC 71041 (também chamada de NGC 7603B), como mostra a Figura 4.6.

Figura 4.6: Foto da galáxia NGC 7603 juntamente à galáxia PGC 71041 em luz visível.



Fonte: <https://cseligman.com/text/atlas/ngc76.htm7603>.

A galáxia companheira NGC 7603B, como é conhecida, está localizada ao final de um filamento de luz que é ligado até à NGC 7603, sugerindo uma clara ligação entre os astros. Por esse motivo, Halton Arp se interessou pelo sistema e, em 1970, decidiu medir o desvio para o vermelho dos objetos [48]. Para a galáxia maior (NGC 7603), ele obteve um valor de aproximadamente $c.z_{NGC} = 8.700km.s^{-1}$, o que, pelo modelo padrão, nós da uma distância de quase 500 milhões de anos luz da Terra. Entretanto, para a galáxia menor (NGC 7603B) Arp obteve um valor de $c.z_{PGC} = 17.000km.s^{-1}$, o que nos retorna o dobro da distância calculada para a NGC 7603!

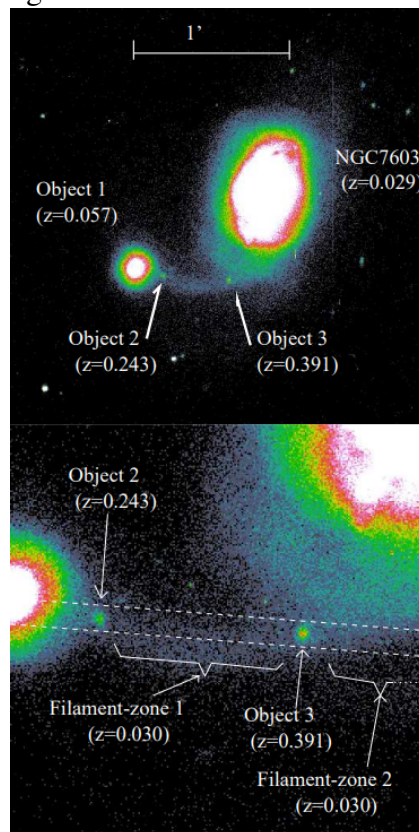
Podemos então fazer algumas considerações à respeito desses dados; se considerarmos que o desvio para o vermelho é um indicador de distância, segundo o modelo padrão, teremos duas opções: primeiramente, a ligação apresentada entre os dois astros, na verdade seria uma ilusão de perspectiva e a galáxia menor está localizada ao plano de fundo a, mais ou menos, 450 milhões de anos luz da galáxia maior (o que seria espaço suficiente para colocarmos pouco mais de 4x

a nossa galáxia entre a NGC 7603 e a NGC 7603B!); Além disso, teríamos que assumir que o filamento que às liga tem uma extensão imensa (o que seria muito pouco provável, dado as observações atuais [49] [50]) e densidade de matéria muito bem distribuída, de modo a não aparentar muitas falhas na luz visível. A outra consideração é assumirmos que a ligação entre os astros simplesmente não existe e que o filamento é mais um caso isolado de coincidência óptica dos objetos (hipótese que foi assumida por muitos na época, *e.g.*, [51]), evitando assim uma incongruência das descrições do desvio para vermelho através do efeito Doppler (modelo padrão utilizado).

Entretanto, como discute Halton Arp em seu livro de 1988 [48], há diversas evidências que sustentam a ideia de um conexão real entre os objetos e, além disso, de que a galáxia menor poderia ter sido ejetada do núcleo da galáxia maior. A NGC 7603 é conhecida, como já dito, por ser uma galáxia de um núcleo muito ativo e, não somente isso, por apresentar um distúrbio no seu centro. Além disso, nota-se que apenas um filamento luminoso surge saindo da galáxia e encontra-se com a campainheira PGC 71041. Tudo isso, nas palavras de Halton Arp ([48], 1988, p. 82-83) "é extremamente improvável de ser uma ocorrência acidental".

Nesse sentido, trabalhos mais recentes como o de M. López Corredoira (-) e C. M. Gutiérrez (-) de 2002 [52] e 2004 [53], mostraram uma análise mais detalhada com relação a esse filamento que liga os astros, sustentando a ideia de que ele seja real. López encontrou dois quasares com um desvio para o vermelho muito alto, um próximo ao começo do filamento (junto à NGC 7603) e outro próximo ao fim do filamento (junto à PGC 71041), ligando às duas galáxia, como ilustra a Figura 4.7.

Figura 4.7: Foto retirada pelo Telescópio Óptico Nórdico utilizando fotometria na banda R (próximo ao infravermelho) das galáxias NGC 7603 e PGC 71041 (objeto 1).



Fonte: López-Corredoira, 2002, p. 17 [52].

Colocando em ênfase a parte superior da Figura 4.7, pode-se observar a galáxia NGC 7603 juntamente com seu filamento ligando até o Objeto 1 (PGC 71041), além disso, temos os dois novos quasares em questão, Objeto 2 e 3, dentro da área do filamento. O importante a observar aqui é que os quasares aparentam estar juntos ao filamento que une o sistema, entretanto, apresentam também altos valores para o desvio espectral. Para o Objeto 2, próximo à PGC 71041, tem-se um desvio para o vermelho de $z_2 = 0.243$, o que, pelo modelo padrão, nos informa que o quasar estaria a 3.6 bilhões de anos luz da Terra. Além disso, para o Objeto 3, temos um desvio para o vermelho de $z_3 = 0.391$, o que corresponde à uma distância de 5.3 bilhões de anos luz da Terra. Já na parte inferior da Figura 4.7, entretanto, podemos analisar o desvio para o vermelho calculado para o filamento, tanto próximo à galáxia PGC 71041, quanto próximo à Galáxia NGC 7603. O fato observado por López, foi que o desvio espectral ao longo de todo o filamento é idêntico ao desvio obtido para a galáxia NGC 7603, porém, os quasares presentes no filamento aparentam ter um desvio muito diferente.

Dessa forma, voltamos novamente ao empasse. Há quem ainda considere que todos esses alinhamentos, tanto da galáxia menor PGC 71041 localizada ao fim da ponte que liga-se nitidamente até a galáxia maior NGC 7603, quanto dos quasares no início e fim dos respectivos lados, são apenas coincidências astronômicas e apenas um caso isolado na natureza⁵. Entretanto, na busca de traçar uma conexão das observações com a teoria, e não o contrário, Halton Arp nos dá uma alternativa para que possamos conciliar os valores obtidos de desvios para o vermelho com as observações. Em seu artigo "*Intrinsic Redshifts in Quasars and Galaxies*" [54], Arp propõe a ideia de um desvio para o vermelho intrínseco à matéria. Para o astrônomo, o desvio para o vermelho não é devido, ou pelo menos não inteiramente, ao movimento de recessão dos objetos, mas sim seria uma característica inata nos corpos e que tende a apresentar maior valor em materiais recém criadas no universo⁶, fato que justificaria o alto desvio para o vermelho dos quasares aqui expostos.

⁵Argumento esse que, considerando os trabalhos exposto acima e também vários outros, torna-se inválido

⁶Arp e outros cientistas veem obtendo bons resultados para explicar os desvios através do desvio para o vermelho intrínseco, e.g. [55] [56] [54] [57] [58]

Capítulo 5

Conclusões

Neste trabalho abordamos sobre diversos temas relacionado ao desvio para o vermelho, traçando uma revisão dos fatos históricos desde sua observação (começo do século XX) até os dias atuais com Halton Arp. Dessa forma, expus aqui as observações feitas por Hubble e como a comunidade científica da época tentou explicar os fenômenos observados, propondo ideias como a de Fritz Zwicky, sobre o efeito de luz cansada, até ideias como a de Christian Doppler, onde a luz perde energia pelo movimento e recessão. Além disso, mostrei como essas descrições são, por mais que expliquem o mesmo fenômeno, completamente distintas uma da outra, visto que suas implicações levam a formulações de universos diferentes. Explico também que o efeito Doppler tornou-se preferencialmente, através de motivos insustentáveis, o modelo mais utilizado para explicar os desvios.

Além do mais, apresentei o fato do descobrimento da temperatura da radiação cósmica de fundo por Penzias e Wilson em 1964; acontecimento esse que foi tomado, como mostrado aqui, injustificavelmente como comprovação para as formulações de um universo em expansão. Por fim, apresentei algumas questões controversas a respeito de observações feitas por Halton Arp de sistemas onde existem galáxias de baixo desvio para o vermelho ligadas à quasares com altos desvios, fato que o modelo padrão falha em explicar satisfatoriamente, como mostrado por Arp.

Em suma, tanto o uso do efeito Doppler para explicar o desvio para o vermelho, quanto o uso do efeito de luz cansada apresentam problemas a serem resolvidos, sendo o primeiro incongruente para explicar observações como as de Halton Arp e o segundo desprovido de um mecanismo físico que explique o "cansaço" da luz. Entretanto, comento que ainda existem estudos recentes, como os de Ming-Hui Shao, L. Ashmore e outros que trazem novas explicações alternativas aos modelos anteriores. O importante a ressaltar é que o problema do desvio para o vermelho das galáxias distantes ainda está em aberto, deixando uma lacuna no conhecimento científico que, para a maioria da comunidade científica, é preenchido por um hipóteses incompletas.

Referências Bibliográficas

- [1] E. Hubble, “A relation between distance and radial velocity among extra-galactic nebulae,” *Proceedings of the national academy of sciences*, vol. 15, no. 3, pp. 168–173, 1929.
- [2] E. Finlay-Freundlich, “Xxxv. red shifts in the spectra of celestial bodies,” *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 45, no. 362, pp. 303–319, 1954.
- [3] P. Marmet, “Non-doppler redshift of some galactic objects,” *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 18, no. 1, pp. 56–60, 1990.
- [4] J.-C. Pecker and J.-P. Vigier, “A possible tired-light mechanism,” *Apeiron*, vol. 2, pp. 13–15, 1988.
- [5] F. Zwicky, “On the redshift of spectral lines through interstellar space,” *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 15, no. 10, p. 773, 1929.
- [6] H. M. Nussenzveig, *Curso de física básica: Ótica, relatividade, física quântica (vol. 4)*. Editora Blucher, 2014.
- [7] E. Hubble, “The realm of the nebulae,” *The Scientific Monthly*, vol. 39, no. 3, pp. 193–202, 1936.
- [8] G. Reber, “Intergalactic plasma,” *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 14, no. 6, pp. 678–682, 1986.
- [9] A. S. Eddington, *The internal constitution of the stars*. Cambridge University Press, 1988.
- [10] A. K. Assis, M. C. Neves, and D. S. Soares, “A cosmologia de hubble: De um universo finito em expansão a um universo infinito no espaço e no tempo,” *Evoluções e Revoluções: O Mundo em Transição*. Maringá: Editora Massoni e LCV Edições, pp. 199–221, 2008.
- [11] E. Hubble, “A clue to the structure of the universe,” *Leaflet of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 1, p. 93, 1929.
- [12] E. Hubble and R. C. Tolman, “Two methods of investigating the nature of the nebular redshift,” *The Astrophysical Journal*, vol. 82, p. 302, 1935.
- [13] H. Bondi and T. Gold, “The steady-state theory of the expanding universe,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 108, no. 3, pp. 252–270, 1948.
- [14] F. Hoyle, “A new model for the expanding universe,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 108, p. 372, 1948.

- [15] A. K. T. Assis and M. Neves, “The redshift revisited,” *Astrophysics and Space Science*, vol. 227, no. 1, pp. 13–24, 1995.
- [16] A. A. Penzias and R. W. Wilson, “A measurement of excess antenna temperature at 4080 mc/s.,” *The Astrophysical Journal*, vol. 142, pp. 419–421, 1965.
- [17] R. Durrer, “The cosmic microwave background: the history of its experimental investigation and its significance for cosmology,” *Classical and Quantum Gravity*, vol. 32, no. 12, p. 124007, 2015.
- [18] R. A. Millikan and G. H. Cameron, “The origin of the cosmic rays,” *Physical review*, vol. 32, no. 4, p. 533, 1928.
- [19] E. Regener, “Der energiestrom der ultrastrahlung,” *Zeitschrift für Physik*, vol. 80, no. 9, pp. 666–669, 1933.
- [20] A. K. Assis and M. C. Neves, “History of the 2.7 k temperature prior to penzias and wilson,” *Apeiron*, vol. 2, no. 3, pp. 79–87, 1995.
- [21] R. A. Alpher and R. C. Herman, “Remarks on the evolution of the expanding universe,” *Physical Review*, vol. 75, no. 7, p. 1089, 1949.
- [22] G. Gamow, *Expanding universe and the origin of galaxies*. Munksgaard Copenhagen, 1953.
- [23] G. Gamow, *The creation of the universe*. Courier Corporation, 2004.
- [24] M. Fowler, “The doppler effect,” 2009.
- [25] E. T. Whittaker, *A History of the Theories of Aether and Electricity from the Age of Descartes to the Close of the Nineteenth Century*. Longmans, Green and Company, 1910.
- [26] D. Soares, “Uma pedra no caminho da teoria da relatividade geral,” *Tópicos em cosmologia relativista, disponível em www.researchgate.net/publication/338842995 (acesso em dez. 2020)*, 2009.
- [27] D. Soares, “O paradigma da luz cansada revisitado,” *Cadernos de Astronomia*, vol. 2, no. 1, pp. 121–121, 2021.
- [28] M.-H. Shao, “The energy loss of photons and cosmological redshift,” *Physics Essays*, vol. 26, no. 2, pp. 183–190, 2013.
- [29] M.-H. Shao, N. Wang, and Z.-F. Gao, “Tired light denies the big bang,” in *Redefining Standard Model Cosmology*, IntechOpen, 2018.
- [30] L. E. Ashmore, “Data from 14,577 cosmological objects and 14 frbs confirm the predictions of new tired light (ntl) and lead to a new model of the igm,” 2022.
- [31] H. Rebol, “Untrivial redshifts-a bibliographical catalogue,” *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*, vol. 45, pp. 129–144, 1981.
- [32] H. Knox-Shaw, “Nebulæ, extra-galactic, the distances and motions of the (presidential address),” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 93, p. 304, 1933.

- [33] H. Bondi and T. Gold, “The steady-state theory of the expanding universe,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 108, no. 3, pp. 252–270, 1948.
- [34] H. Arp, “Atlas of peculiar galaxies,” *The Astrophysical Journal Supplement Series*, vol. 14, p. 1, 1966.
- [35] T. A. Matthews and A. R. Sandage, “Optical identification of 3c 48, 3c 196, and 3c 286 with stellar objects,” tech. rep., OWENS VALLEY RADIO OBSERVATORY PASADENA CA, 1963.
- [36] G. A. Shields, “A brief history of active galactic nuclei,” *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, vol. 111, no. 760, p. 661, 1999.
- [37] H. Arp, “Peculiar galaxies and radio sources,” *The Astrophysical Journal*, vol. 148, p. 321, 1967.
- [38] E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, and K. Prendergast, “The velocity field, rotation, and mass of ngc 4258.,” *The Astrophysical Journal*, vol. 138, p. 375, 1963.
- [39] W. Pietsch, A. Vogler, P. Kahabka, A. Jain, and U. Klein, “Rosat pspc x-ray observations of ngc 4258: detection of point sources, 4 million k halo emission, and anomalous arms,” *Astronomy and Astrophysics*, vol. 284, pp. 386–402, 1994.
- [40] H. Arp, “Book review: Seeing red: redshifts, cosmology and academic science/apeiron, 1998,” *The Observatory*, vol. 119, p. 141, 1999.
- [41] E. Burbidge, “Spectra of two quasars possibly ejected from ngc 4258.,” *Astronomy and Astrophysics*, vol. 298, p. L1, 1995.
- [42] M. Valtonen, “Radio source pairs near spiral galaxies,” *The Astrophysical Journal*, vol. 211, pp. L111–L114, 1977.
- [43] D. W. Weedman, “A photometric study of markarian galaxies,” *The Astrophysical Journal*, vol. 183, pp. 29–40, 1973.
- [44] J. Sulentic, “Confirmation of the luminous connection between ngc 4319 and markarian 205,” *The Astrophysical Journal*, vol. 265, pp. L49–L53, 1983.
- [45] G. Cecil and A. Stockton, “The nature of the luminous feature between markarian 205 and ngc 4319,” *The Astrophysical Journal*, vol. 288, pp. 201–204, 1985.
- [46] J. W. Sulentic and H. C. Arp, “The galaxy-quasar connection-ngc 4319 and markarian 205. i-direct imagery. ii-spectroscopy,” *The Astrophysical Journal*, vol. 319, pp. 687–708, 1987.
- [47] H. C. Arp, “Ngc 4319 and markarian 205 - why hide a cosmic bridge?,” <http://www.haltonarp.com/articles/rebuttals>, 2003.
- [48] H. C. Arp, *Quasars, redshifts and controversies*. Cambridge University Press, 1988.
- [49] C. Li, K. Qiu, B. Hu, and Y. Cao, “The discovery of the largest gas filament in our galaxy, or a new spiral arm?,” *The Astrophysical Journal Letters*, vol. 918, no. 1, p. L2, 2021.

- [50] B. T. Dullo, A. W. Graham, and J. H. Knapen, “A remarkably large depleted core in the abell 2029 bcg ic 1101,” *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, vol. 471, no. 2, pp. 2321–2333, 2017.
- [51] N. Sharp, “Anomalous redshift companion galaxies-ngc 7603,” *The Astrophysical Journal*, vol. 302, pp. 245–256, 1986.
- [52] M. López-Corredoira and C. M. Gutiérrez, “Two emission line objects with in the optical filament apparently connecting the seyfert galaxy ngc 7603 to its companion,” *Astronomy & Astrophysics*, vol. 390, no. 3, pp. L15–L18, 2002.
- [53] M. López-Corredoira and C. M. Gutiérrez, “The field surrounding ngc 7603: Cosmological or non-cosmological redshifts?,” *Astronomy & Astrophysics*, vol. 421, no. 2, pp. 407–423, 2004.
- [54] H. Arp, C. Fulton, and D. Carosati, “Intrinsic redshifts in quasars and galaxies,” 2013.
- [55] M. Bell, “Further evidence for large intrinsic redshifts,” *The Astrophysical Journal*, vol. 566, no. 2, p. 705, 2002.
- [56] D. G. Russell, “Evidence for intrinsic redshifts in normal spiral galaxies,” *Astrophysics and Space Science*, vol. 298, no. 4, pp. 577–602, 2005.
- [57] D. Soares, “The galileo of palomar and harrison’s ballet,” 2021.
- [58] R. Meyers and G. Burbidge, “The universe: Cosmology quest,” 2004.