



**Universidade Estadual de Maringá**  
Centro de Ciências Exatas  
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

## **James Webb e as anomalias no Modelo Cosmológico Padrão (MCP)**

Acadêmica: Muriel Yasmin Jorge  
Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves  
Maringá, 30 de dezembro de 2024



**Universidade Estadual de Maringá**  
Centro de Ciências Exatas  
Departamento de Física

Trabalho de Conclusão de Curso

## **James Webb e as anomalias no Modelo Cosmológico Padrão (MCP)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de Física da  
Universidade Estadual de Maringá, como  
requisito parcial para obtenção do título de  
bacharel em Física.

Acadêmica: Muriel Yasmin Jorge  
Orientador: Prof. Dr. Marcos Cesar Danhoni Neves  
Maringá, 30 de dezembro de 2024

## **Agradecimentos**

Agradeço primeiramente à minha família que sempre me incentivou a pesquisar e me inseriu na área científica desde pequena, para sempre procurar aprender o máximo possível. Pela minha mãe, Ana, que se estivesse comigo hoje em dia teria orgulho de me ver onde estou, junto com minha área e esforços. Pelo meu pai, Cláudio, em que segui seus passos e que sempre me incentivou no curso oferecendo o máximo de apoio, pela minha irmã Lumma e sobrinho Benjamin por toda assistência e confiança. Agradeço também meu namorado Murilo que está sempre aqui para me apoiar e me ajudar de acordo com a jornada acadêmica.

Agradeço também meu orientador, professor doutor Marcos Cesar Danhoni Neves, por sempre instigar conhecimento a todos em sua volta, pela confiança e pelo auxílio em assuntos que abriram meus olhos na Física. Agradeço por toda sua orientação durante meus anos como PETiana, assim como em diversos trabalhos publicados e projetos.

Agradeço também aos PETianos que me ajudaram tanto nos últimos anos, por toda companhia e amizade que tivemos de acordo com quase três anos, em eventos, convivência e trabalhos.

## Resumo

O Modelo Cosmológico Padrão (teoria do *Big Bang*) de acordo com a história passou por diversas mudanças para poder ser aceito como é. Porém, a teoria mais aceita até hoje está repleta de anomalias e equívocos a partir de seus princípios fundamentais. O propósito deste trabalho é demonstrar desde o CBR (*cosmic background radiation*), *redshift*, matéria escura e dos dados observacionais advindos dos telescópios espaciais Hubble e James Webb como o paradigma do *estrondão* está repleto de anomalias, ao ponto de ser necessária uma radical mudança em sua teoria ou uma quebra de paradigma. Utilizamos dados recentes do JWST para explicar sobre galáxias maduras no Universo primordial, além de explicar em outras seções sobre a tensão da constante de Hubble, a velocidade de rotação das galáxias e outros argumentos para demonstrar algumas questões não respondidas pelo *Big Bang*, utilizando alternativas ao atual MCP e teorias que o apoiam.

**Palavras-chave:** JWST, MCP, Big Bang, CBR, redshift.

## **Abstract**

The Standard Cosmological Model (Big Bang theory) has undergone several changes throughout history in order to be accepted as it is. However, the most widely accepted theory today is filled with anomalies and errors based on its fundamental principles. The purpose of this work is to demonstrate, using CBR (cosmic background radiation), redshift, dark matter, and observational data from the Hubble and James Webb space telescopes, how the Big Bang paradigm is full of anomalies, to the point where a radical change in the theory or a paradigm shift is needed. We use recent data from the JWST to explain mature galaxies in the primordial Universe, as well as explaining in other sections the tension in the Hubble constant, galaxy rotation speeds, and other arguments to highlight some unanswered questions in the Big Bang theory, using alternatives to the current SCM and supporting theories.

**Key-words:** JWST, SCM, Big Bang, CBR, redshift.

## Lista de Figuras

1. Representação da deusa Nut como o céu celeste .....	08
2. Ciclo do progresso científico de acordo com Thomas Khun .....	13
3. Fases do Universo de acordo com o Big Bang.....	14
4. Deslocamento dos redshifts de várias galáxias .....	27
5. A relação velocidade versus distância de Hubble .....	27
6. Demonstração do efeito Doppler sonoro .....	29
7. Demonstração do efeito Doppler luminoso, com a fonte 1 sendo uma estrela próxima, a fonte 2 sendo uma galáxia próxima, a fonte 3 sendo uma galáxia à grande distância e a fonte 4 sendo uma galáxia muito distante. Os números acima e abaixo das linhas espectrais são os valores dos comprimentos de onda .....	30
8. Imagem feita pelo HDF.....	39
9. Imagem feita pelo HUDF .....	41
10. Representação da evolução das galáxias e esquema do Big Bang .....	42
11. Representação de um Universo infinito no tempo e espaço .....	42

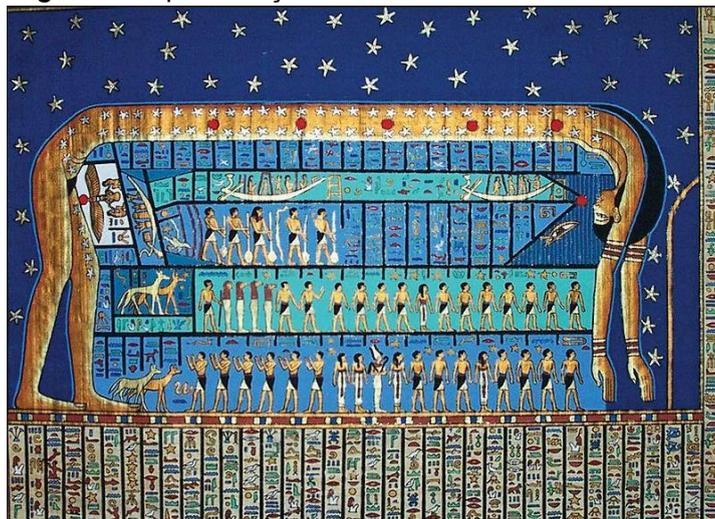
## Sumário

1. Introdução .....	08
2. Os paradigmas e a ciência normal .....	10
3. A teoria do Big Bang .....	14
4. O CBR (Radiação Cósmica de Fundo) .....	20
4.1. A história do CBR .....	21
5. O <i>Redshift</i> .....	26
5.1. O efeito Doppler .....	28
5.2. <i>Redshift</i> do Universo em estado estacionário .....	30
5.3. Problemas relevantes ao <i>redshift</i> do efeito Doppler.....	33
6. A matéria e energia escura .....	36
6.1. Alternativas à matéria escura .....	37
7. Os telescópios espaciais .....	39
7.1. O telescópio espacial de Hubble .....	39
7.2. O telescópio espacial de James Webb e suas influências .....	43
8. Considerações Finais .....	45
9. Referências .....	48

# 1 - Introdução

O céu da Terra sempre foi considerado um mistério, desde as mais antigas civilizações até os tempos modernos. O Universo e o cosmos foram, a princípio, estudados como divindades, onde a crença referente à época incorporava o mito como uma expressão de Ciência, como cosmogonias (histórias sobre a origem do Universo) (Blanc, 2021). Um exemplo disto é o Egito Antigo, em que a deusa Nut era a representação do céu celeste, como visto na Figura 1, em que ela aparece abraçando o deus Geb, a representação da Terra, formando a abóbada celeste. Também havia a representação do Sol pelo deus Rá e o deus Athon, que teria se criado, além de criar todos os entes e cosmos do Universo (Blanc, 2021).

**Figura 1:** Representação da deusa Nut como o céu celeste



Fonte: (Britannica, s. d.)

Dessa forma, sendo um tema de grande fascínio desde os primórdios das civilizações, a Astronomia foi uma área do conhecimento que empenhou esforços observacionais e de pesquisas realizados por muitos intelectuais da História da humanidade: desde Anaxímenes, Aristóteles, Ptolomeo, Copérnico, Giordano Bruno, Galileo Galilei e Johannes Kepler, por exemplo. O desenvolvimento da Astronomia e da Cosmologia fez com que a invenção de várias tecnologias que usamos hoje em dia, direta ou indiretamente, fossem possíveis, complementando o nosso conhecimento e entendimento dos Cosmos. Esta compreensão envolveu diferentes civilizações, especialmente a mesopotâmica, a árabe, a grega, a chinesa entre outras civilizações. Com os métodos de observação desenvolvidos, sempre foi

especulado e estudado o *funcionamento* do Universo, sendo ele estático, dinâmico, finito ou infinito. Giordano Bruno por exemplo tinha uma visão de Universo infinito e sem centro, já Nicolau Copérnico tinha uma visão de Universo finito em que seu centro era o Sol (Neves, 2006). No século XX foram obtidos muitos avanços na área da Astronomia e da Cosmologia, com teorias de Erwin Finlay-Freundlich, George Gamow, Albert Einstein, Edwin Hubble, além da detecção da radiação cósmica de fundo (CBR) por Penzias e Wilson, entre outros.

Estas teorias implicam desde o *redshift* (desvio para o vermelho) observado em estrelas e galáxias, a CBR (radiação cósmica de fundo, do inglês, *cosmic background radiation*), temperatura do espaço, e a princípio, o *Big Bang* (estrondão) e, em oposição, teorias sobre um Universo infinito no espaço e no tempo. Com essas descobertas e a popularização da teoria do *Big Bang*, foi criado então um Modelo Cosmológico Padrão (MCP), sendo esse o modelo do *estrondão*. Mesmo com o MCP, ainda há teorias que explicariam as mesmas descobertas realizadas de maneira diferente ao estrondão e até contrárias às teorias de Einstein, porém, estas não têm recebido tanto reconhecimento quanto mereceriam.

O paradigma é, por definição, um exemplo que serve como um modelo ou padrão. Logo, dizemos que o *Big Bang* é o paradigma cosmológico da origem do Universo, em que os cientistas trabalham dentro dele operando uma “ciência normal”. Kuhn (2013) diz que ao aceitar um paradigma, a comunidade científica adere toda ela, conscientemente ou não, à atitude de considerar que todos os problemas resolvidos o foram de fato, e de uma vez para sempre. Isso não é diferente para o MCP, afinal seu modelo é ensinado desde o Ensino Fundamental na educação como um modelo único, sem alternativas e sendo levado como verdade universal. A teoria do estrondão está cada vez mais apresentando falhas de acordo com os estudos referentes à idade do Universo, diferenças de *redshifts* de quasares, baixa anisotropia do espaço, e outros aspectos (Neves, 2023) que serão revisados neste trabalho.

Como a teoria do *Big Bang* trabalha como um paradigma, são feitos “remendos” das falhas nessa teoria, como por exemplo a teoria do Universo inflacionário. Porém, desde o Telescópio Hubble com o Hubble Ultra-Deep Field, até o atual Telescópio Espacial James Webb, o estudo das imagens produzidas por ambos telescópios (principalmente o Telescópio James Webb) nos mostra que o MCP precisa ser corrigido ou alterado, pois seus dados não correspondem a teoria,

como por exemplo a existência de galáxias e estrelas observadas pelo Telescópio Espacial James Webb tão massivas onde, em teoria, não poderiam ser formadas de acordo com a idade do Universo (Mann, 2023).

## 2 - Os paradigmas e a ciência normal

Em seu livro “A estrutura das revoluções científicas”, Thomas Kuhn, físico e historiador, define um paradigma como “um modelo ou padrão aceitos”, em que estes podem ser limitados tanto na precisão quanto na aparição. De acordo com Kuhn (2013), os paradigmas adquirem seus status porque são mais sucedidos que seus competidores na resolução de alguns problemas. Porém, ser bem sucedido não significa nem ser totalmente bem sucedido com um único problema, nem bem sucedido com um grande número desses, em que o paradigma é uma promessa de sucesso que pode ser descoberta em exemplos selecionados e ainda incompletos.

A ciência normal é, também definida por Kuhn (2013), uma “fase” em que a ciência é dominada pelo paradigma, em que seus cientistas e pesquisadores atuam na promessa desse modelo, incrementando o paradigma já existente estudando minúcias da área, porém com diversas restrições que limitam as pesquisas, incluindo aproximações teóricas e instrumentais e, conseqüentemente, as visões dos cientistas. Kuhn, em seu livro, também diz:

“A maioria dos cientistas, durante toda a sua carreira, ocupa-se com operações de limpeza. Elas constituem o que chamo de ciência normal. Examinado de perto, [...] esse empreendimento parece ser uma tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis fornecidos pelo paradigma. A ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômenos; na verdade, aqueles que não se ajustam aos limites do paradigma frequentemente nem são vistos. Os cientistas também não estão constantemente procurando inventar novas teorias; frequentemente mostram-se intolerantes com aquelas inventadas por outros. Em vez disso, a pesquisa científica normal está dirigida para a articulação daqueles fenômenos e teorias já fornecidos pelo paradigma.” (Kuhn, 2013).

O paradigma, porém, não é maléfico, afinal ele ajuda a expandir nosso conhecimento da natureza e ciência em geral, enquanto ainda funciona. Como Kuhn (2013) explica, as restrições e regras se revelam essenciais para o desenvolvimento da ciência, afinal mantendo um enfoque em apenas uma faixa de problemas, a profundidade do assunto estudado é muito maior e detalhada do que algo geral. Ele também diz que, enquanto o paradigma está funcionando como deveria, os

cientistas resolvem problemas inimagináveis cuja solução vem diretamente com o comprometimento com o paradigma, em que parte dessas realizações demonstra ser permanente.

Contudo, muitos exemplos de aplicação dos paradigmas na ciência normal faz com que cientistas produzam novos materiais e teorias que originam um paradigma mais preciso que o original, eliminando ambiguidades do anterior, mas que acabam sendo descartados por não estarem no modelo ou até considerados fracassos pelos próprios cientistas, assim: “Abandonar o paradigma é deixar de praticar a ciência que este define” (Kuhn, 2013).

Kuhn (2013) utiliza o conceito de “quebra-cabeça” para definir semelhanças entre a pesquisa na ciência normal e ele, como a utiliza regras além de um teste de engenhosidade e habilidade de resolver problemas. A resolução de um quebra-cabeça é feita para ser realista, logo cientistas normais utilizam fielmente as regras de um paradigma para achar suas soluções, enquanto outros problemas são considerados problemáticos demais para serem discutidos, considerados um quebra-cabeça sem solução.

A ciência normal é utilizada para especializar e minimizar os erros do paradigma, produzindo testes teóricos e experimentais para gradativamente expandi-lo, manipulando a teoria com objetivo de apresentar uma nova aplicação do paradigma ou aumentar sua precisão (Kuhn, 2013). Porém, de nada adianta insistir em correções se o paradigma apresentar erros desde o princípio de sua teoria, afinal ele continuará infundado e teorias alternativas surgirão para o substituir (além daquelas já existentes que são silenciadas pela suposição do paradigma ser uma verdade absoluta).

Sabendo que a natureza não é idêntica ou sempre contínua, possuindo exceções e resultados fora do comum, no meio da pesquisa científica ocorrem erros envolvendo resultados e teorias, em que estas são chamadas de “anomalias” por Kuhn. De acordo com ele:

“A descoberta começa com a consciência da anomalia, isto é, com o reconhecimento de que, de alguma maneira, a natureza violou as expectativas paradigmáticas que governam a ciência normal. Segue-se então uma exploração mais ou menos ampla da área onde ocorreu a anomalia. Esse trabalho somente se encerra quando a teoria do paradigma for ajustada, de tal forma que o anômalo se tenha convertido no esperado. A assimilação de um novo tipo de fato exige mais do que um ajustamento aditivo da teoria. Até que tal ajustamento tenha sido completado — até que

o cientista tenha aprendido a ver a natureza de um modo diferente — o novo fato não será considerado completamente científico.” (Kuhn, 2013).

Para eliminar uma anomalia, o paradigma deve ser incrementado/melhorado, ou alterado. Toda descoberta, possui as seguintes características: “[...] a consciência prévia da anomalia, a emergência gradual e simultânea de um reconhecimento tanto no plano conceitual como no plano da observação e a conseqüente mudança das categorias e procedimentos paradigmáticos - mudança muitas vezes acompanhada por resistência.” (Kuhn, 2013). As anomalias levam à quebra do paradigma existente, se continuar persistente.

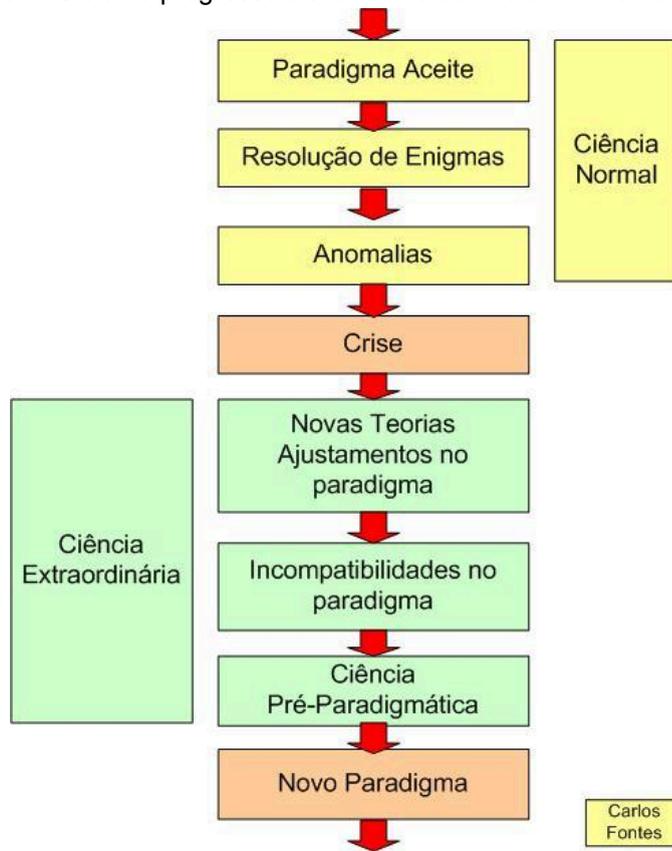
A ciência normal é então constituída de: paradigmas, resolução de quebra-cabeças e anomalias. Se a anomalia não for resolvida com uma incrementação ou mudança no paradigma existente, há uma crise na comunidade científica, ou melhor, na ciência normal.

“Paradigmas não podem, de modo algum, ser corrigidos pela ciência normal. Em lugar disso, como já vimos, a ciência normal leva, ao fim e ao cabo, apenas ao reconhecimento de anomalias e crises. Essas terminam, não através da deliberação ou interpretação, mas por meio de um evento relativamente abrupto e não-estruturado semelhante a uma alteração da forma visual. Nesse caso, os cientistas falam frequentemente de “vendas que caem dos olhos” ou de uma “iluminação repentina” que “inunda” um quebra-cabeça que antes era obscuro, possibilitando que seus componentes sejam vistos de uma nova maneira — a qual, pela primeira vez, permite sua solução.” (Kuhn, 2013).

É então onde é introduzida a revolução científica. Essa revolução ocorre após haver tantas contradições no paradigma já existente que a ciência normal se torna uma ciência pré-paradigmática, onde seus conceitos originais são revisitados e a mente do cientista utilizar o quadro geral para criar novas teorias, em que estas depois são transformadas em um novo paradigma, retornando à ciência normal.

De acordo com Kuhn (2013), no final de uma revolução científica, muitas medições e manipulações antigas são simplesmente substituídas. Logo, não importa o que o cientista possa ver, após a revolução o cientista ainda está olhando para o mesmo mundo, com a maioria dos seus instrumentos de laboratório e linguagens sendo os mesmos que antes, mesmo que antes fossem utilizados de maneira diferente.

**Figura 2:** Ciclo do progresso científico de acordo com Thomas Khun.

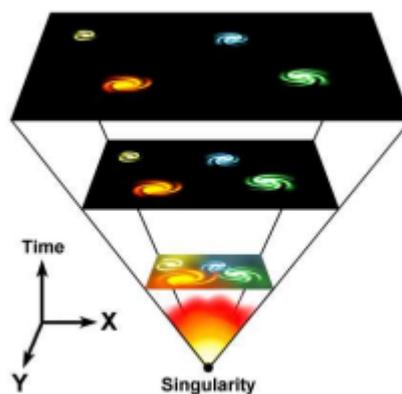


**Fonte:** (Fontes, s. d.)

### 3 - A teoria do *Big Bang*

Os modelos cosmológicos podem ser definidos como um Universo finito, infinito, estático e não-estático. O modelo cosmológico padrão é o atual paradigma, o Big Bang, que é considerado um modelo não-estático, podendo ser finito e ilimitado (a atual fronteira da expansão), infinito no espaço-tempo (se a expansão continuar para sempre), finito no espaço (se a gravitação sobrepor-se à expansão, detendo-a) e infinito no tempo (se o ciclo de expansão-contração continuar para sempre) (Neves, 2000a), em que suas fases podem ser observadas na Figura 3.

**Figura 3:** Fases do Universo de acordo com o *Big Bang*



**Fonte:** (Tort, 2014)

O *Big Bang* é uma teoria de modelo cosmológico, sobre o início e evolução do Universo, criada na década de 1920 por George Lemaître e desenvolvida principalmente por Alexander Friedmann, Edwin Hubble, George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman. A teoria foi criada com base na teoria da relatividade de Albert Einstein, levando em consideração por exemplo as singularidades (como buracos negros), a expansão do Universo e um sistema dinâmico considerando o comportamento do espaço-tempo .

Pela teoria do *Big Bang*, que é a do MCP, há cerca de 13,8 bilhões de anos, o Universo era concentrado em um único ponto de singularidade, com densidade e com temperatura infinita, os dois estando em um tempo infinito, em que estas condições chegam a ficar tão extremas ao ponto de acontecer uma grande explosão

e criar o espaço-tempo, a matéria e radiação. Essa explosão é então denominada de “*Big Bang*” (ou estrondão) pelo astrônomo Fred Hoyle como sintetização de ideias contrárias aos modelos de Universo estático (de Hoyle, Narlikar e Gold). Esse termo foi criado após George Gamow propor a tese de que os elementos leves que existem hoje no Universo terem sido fabricados nas fases iniciais do Universo em expansão, sendo conhecido como a nucleossíntese, a síntese dos primeiros núcleos atômicos (Neves, 2000b).

Após esse estrondão, o desenvolvimento do Universo é descrito por uma variação decrescente de temperaturas com intervalos de tempo entre eles, em que a diminuição da temperatura é devida à expansão do Universo. Inicialmente, o Universo era constituído por uma “sopa cósmica” em que a temperatura era tão alta que impedia a constituição de qualquer núcleo atômico, sendo essa sopa composta por fótons, neutrinos, pósitrons e elétrons, que estão em equilíbrio térmico. Aos cem bilhões de graus Kelvin ( $10^{11}K$ ), eram já formados alguns prótons e nêutrons estáveis, porém com seu número sendo muito pequeno comparado às outras partículas, sendo apenas um (prótons e nêutrons) para cada bilhão de fótons ou elétrons, ou pósitrons, ou neutrinos, que reflete o desequilíbrio entre a matéria e a radiação naquele estado (Neves, 2000b).

Um segundo após a explosão, com a temperatura à dez bilhões de graus Kelvin ( $10^{10}K$ ) os neutrinos se desacoplam e a temperatura dos neutrinos decresce proporcionalmente à quanto o raio do Universo aumenta (ordem de  $1/r$ ), em que nessa fase as interações eletromagnéticas e nucleares fortes mantinham equilíbrio térmico entre as partículas presentes (que na época eram: fótons, pósitrons, nêutrons e prótons), e, à medida que a temperatura diminuía com a expansão, aos seis bilhões de graus Kelvin ( $6 \times 10^{10}K$ ), as colisões entre fótons produziam pares de partículas e antipartículas elétron-pósitron (Neves, 2000b).

Vendo desta maneira, podemos comparar a expansão do Universo à um comportamento de um gás, que se resfria adiabaticamente, sem ter a perda de calor para o ambiente, quando seu volume aumenta e não isotermicamente, com uma série de estágios de equilíbrio térmico. Enquanto o equilíbrio térmico ocorre, é necessário que o número de cada partícula (elétrons, pósitrons, e afins), com temperatura limite inferior a temperatura efetiva, se equilibre quase completamente com o número de fótons. Neves (2000b) diz que: “Se o número de partículas é

inferior àquele dos fótons, estes são criados mais rapidamente que quando são destruídos e o seu número sobe, e vice-versa”.

Se pensarmos que acima de  $6 \times 10^{10} K$  o número de elétrons e pósitrons seria quase o mesmo que o número de fótons, onde o Universo seria formado principalmente de fótons, elétrons e pósitrons, não apenas de fótons, entendemos que o Universo era composto de variados tipos de radiações em cada momento diferente, dependendo de cada partícula. É interessante notar que em um Universo neutro, o número de prótons ( $n_p$ ) tem que ser igual a diferença entre o número de elétrons ( $n_{e^-}$ ) e o número de pósitrons ( $n_{e^+}$ ), em que é possível observar que há um curto excesso de elétrons comparado ao número de pósitrons, em que estes produzem fótons energéticos ao aniquilar-se, aumentando a temperatura dos fótons em relação dos neutrinos, sendo hoje em dia a temperatura dos fótons 1,5x maior que a temperatura dos neutrinos, demonstrando também que o Universo não é eletricamente neutro (Neves, 2000b).

George Gamow e seus colaboradores observaram a possibilidade da nucleossíntese (produção de núcleos) entre prótons e nêutrons primordiais em altas temperaturas do início do Universo, em que os núcleos foram divididos em 70% de hidrogênio e 30% de hélio-4. Podemos ver pela física nuclear que o núcleo de um deutério (que é composto por um próton e um nêutron) é facilmente dissociado por fótons e pelas altas temperaturas e baixa energia de ligação não conseguiram formar elementos mais pesados, porém, há cerca de um bilhão de graus, os deutérios eram mais estáveis e interagindo entre si conseguem formar o hélio-4, em que nesse ponto a nucleossíntese estava tão rápida que quando ocorre a formação do hélio, não há mais fótons capazes de desassociá-lo por conta de sua energia de ligação ser tão forte, e assim, todos os nêutrons disponíveis são capturados para formação de hélio (Neves, 2000b).

Cerca de 300 mil anos após o estrondão, quando a temperatura diminui para 4 mil Kelvin, os primeiros átomos de hidrogênio são formados, ainda com o excesso de fótons, e esses têm a capacidade de resistir à dissociação feita pelos fótons. Este processo faz com que a matéria (eletricamente neutra) comece a existir, sendo transparente aos fótons, sendo chamado de o grande desacoplamento de matéria e fótons (radiação). Ocorrendo isto, a pressão do Universo decai demasiadamente, um fator decisivo para a formação das galáxias, observando também nesta fase a

temperatura era de 4.000 K, diferente dos tempos atuais, em que a temperatura é igual a 2,7 K de radiação cósmica de fundo (que será mencionado adiante neste trabalho), mostrando que a frequência dos fótons atuais diminuíram comparados à frequência da época da formação de hidrogênio, vistos nos diferentes valores de *redshifts* observados em galáxias (Neves, 2000b).

Resumidamente, a teoria do *Big Bang* explicaria como foi o início do Universo e seu funcionamento como radiação, matéria e temperatura, contando com um universo não-infinito e sendo explicado pelo máximo de dados observados na medida do possível com a tecnologia da época. A teoria virou o modelo cosmológico padrão pela precisão da época para as teorias do *redshift* e a radiação cósmica de fundo, do inglês, CBR (*cosmic background radiation*), sendo explicadas por teorias relevantes ao *Big Bang*, porém, como veremos adiante, havia outras explicações relevantes aos dois fenômenos que poderiam ser explicadas por outras teorias não relevantes ao *Big Bang*.

A teoria do *Big Bang*, se tornando um paradigma, chegou em confrontos e precisou ser alterada e complementada de acordo com o tempo, como por exemplo com sua teoria de um universo inflacionário, a adição da matéria e energia escura, entre outros. A teoria do universo inflacionário veio de um problema em que o espectro de CBR deveria ter alterações de frequência quando ocorreu a desacoplação de matéria e radiação, na formação de estruturas galácticas e nebulosas, comparado com o espectro de frequências observadas hoje em dia. Essas anisotropias, que deveriam caracterizar o espectro da radiação de fundo, foram calculadas para pequenos ângulos do céu, e o valor encontrado foi de valores semelhantes à  $\frac{\Delta T}{T} = 10^{-5}$ , sendo que teorias de formações de galáxias predizem flutuações de radiações da ordem de  $10^{-3}$ , em que esses limites impõem que o Universo do passado não seria homogêneo suficiente para formar galáxias, além desse resultado indicar que as densidades de matéria serem pequenas demais para a época em que o Universo estava na passagem de plasma para o desacoplamento de radiação e matéria (Neves, 2000b).

Para explicar como flutuações de densidade extremamente pequenas evoluíram as estruturas cósmicas de hoje, foi usado um argumento ad hoc (argumento criado apenas para certa finalidade) da existência de uma matéria não observável, sendo a matéria escura. A matéria escura é também uma explicação

para as galáxias espirais, afinal, considerando o parâmetro  $\Omega$  (razão entre a densidade média de matéria e a densidade crítica necessária para “fechar” o Universo, parando a expansão pela força gravitacional originada da matéria presente) - em que  $\Omega < 1$  é um Universo aberto, se expandindo indefinidamente;  $\Omega > 1$  é um Universo fechado, colapsando sobre si mesmo (Big Crunch) e  $\Omega = 1$  é um Universo que interrompe sua expansão no infinito - com a matéria escura, ele subiria para  $\Omega$  em torno de 0,2 ou 0,3, em que a matéria escura envolveria as galáxias espirais, sendo invisíveis para telescópios, porém que ajustaria a velocidade dos braços das galáxias espirais (Neves, 2000b).

Essa matéria escura precisa ser não-bariônica, afinal se remetemos a matéria escura à matéria bariônica, admitindo a hipótese de haver um fase de transição entre o período que o Universo está como um plasma de prótons e nêutrons livres para um sistema composto por núcleos de hidrogênio, hélios e outros elementos leves, essa matéria não pode passar do valor máximo de  $\Omega \approx 0,1 - 0,2$ . Porém, como o modelo inflacionário diz, a densidade de matéria é maior que o valor citado, sendo assim necessário que a matéria escura fosse não-bariônica, ou também chamada de WIMPS (*weakly interacting massive particles*) (Neves, 2000b).

O modelo inflacionário do Big Bang foi introduzido para tentar solucionar as falhas da teoria do Big Bang, como a extrema uniformidade da CBR, superprodução de monopolos magnéticos e o problema do horizonte. Nesse modelo, o Universo passa por uma expansão excessivamente rápida, em que este período é chamado de inflação, em que os três primeiros minutos do Universo seriam retrocedidos até  $10^{-30}$  segundos, o que permite explicar a uniformidade inicial do Universo. Ademais, sobre a sobreprodução de partículas exóticas chamadas monopolos magnéticos que seriam supostos no modelo padrão, no modelo inflacionário é previsto uma densidade mais baixa de monopolos, assim como observado experimentalmente, onde as equações da inflação direcionam as condições iniciais do Universo para aquelas assumidas no modelo padrão. Sobre o problema do horizonte, este questiona como certas regiões do Universo teriam temperaturas uniformes sem nem ter tempo para ter interação, em que a inflação propõe que o Universo era muito menor que sua distância no horizonte, assim, durante a inflação, a expansão exponencial que ocorreu acabou preservando a temperatura inicial uniforme da

pequena área, que resultou na CBR homogênea observada hoje em dia e a mesma no passado (Neves, 2000b).

São necessárias teorias de partículas elementares como a GUT (*Grand Unified Theory*) - a unificação de forças fundamentais como gravitacionais, eletromagnéticas e nucleares em uma única teoria, porém que exige uma quebra de simetria em uma temperatura crítica de  $10^{27} K$  - e a SUSY (*Super Symmetries*). o GUT, porém, implicaria em fenômenos como o decaimento do próton com uma vida média maior que  $10^{34}$  anos, o que é atualmente impossível de ser testado experimentalmente, assim como muitos dos conceitos fundamentais do modelo inflacionário (Neves, 2000b).

Outros problemas desse modelo é, além de os níveis de energia necessários para testar estas teorias necessárias serem da ordem de  $10^{27}$  GeV, as teorias de partículas elementares necessárias, as partículas exóticas e neutrinos pesados, tendem a diminuir a idade do Universo, com sua idade sendo estimada a  $9 \times 10^9$  anos, mesmo tendo galáxias de aglomerados globulares observadas com uma idade entre  $10 \times 10^9$  e  $18 \times 10^9$  anos, além da uniformidade extrema da CBR deixar de poucos a quase nenhum vestígio de formação de galáxias, aglomerados e superaglomerados, sugerindo que o *Big Bang* um sistema isotérmico (com flutuações de temperaturas baixíssimas) ao invés de adiabático (onde não é cedido calor), que deixaria uma flutuação de temperatura ampla demais, o que não é observado no espectro de CBR (Neves, 2000b).

## 4 - O CBR (Radiação Cósmica de Fundo)

O CBR é conhecido como um dos pilares da teoria do *Big Bang*, junto com o *redshift*, sendo um dos motivos do modelo ser mundialmente aceito. Teoricamente, o CBR seria uma representação do passado do Universo, quase como um “fóssil” ou “fotografia” do *Big Bang*, ou seja, do Universo jovem, afinal seu espectro demonstra a radiação residual de quando a luz conseguiu viajar livremente após o desacoplamento de radiação e matéria e o fenômeno de recombinação, em que é observada como micro-ondas como justificativa dos bilhões de anos que passaram que alongaram o comprimento de onda com a expansão do Universo.

A temperatura do CBR de hoje em dia é dado por 2,7K, porém possui certas variações de temperatura, que são chamadas de anisotropias, em que estas são consideradas flutuações de densidade do Universo antigo, em que essas flutuações são reconhecidas como formadoras de aglomerados, galáxias, entre outros. Smoot (2000) diz:

“A interpretação natural, e comumente aceita, das pequenas anisotropias descobertas é que estas resultam de perturbações primordiais no Universo primitivo. Todas as indicações são que as estruturas de grande escala no Universo foram desenvolvidas pelo processo de instabilidade gravitacional destas perturbações primordiais de pequenas amplitudes na densidade de energia. Regiões com um leve excesso de densidade começam a colapsar sob a influência da gravidade, com cada vez mais excesso de densidade. Regiões sob densas se rarificam enquanto expandem e seu material flui para as regiões mais densas. Com o tempo o contraste de densidade aumenta. O resultado é a formação de estruturas de larga escala como galáxias, aglomerados de galáxias, vácuo e características como a grande muralha das galáxias.” (Smoot, 2000, tradução nossa)<sup>1</sup>

No Universo primitivo, matéria e radiação faziam parte do todo, porém ao resfriar do Universo, a ionização, que mantinha a radiação e matéria agrupados, acaba em uma temperatura de cerca de 3.000 K, em que prótons e elétrons se agruparam para formar os primeiros núcleos de hidrogênio. A radiação que conhecemos hoje em dia (2,7 K) é devido ao resfriamento da expansão e dessa

---

<sup>1</sup> “The natural, and commonly accepted, interpretation of the very small anisotropies discovered is that they result from primordial perturbations in the early universe. All indications are that the large-scale structure in the universe has developed by the process of gravitational instability from these small amplitude primordial perturbations in the energy density. Slightly overdense regions begin collapsing under the influence of gravity, becoming more and more overdense. Under dense regions rarify as they expand and their material flows to more dense regions. Over time the density contrast increases. The result is the formation of large scale structure such as galaxies, galaxy clusters, voids, and features such as the great wall of galaxies.”

época de resfriamento e recombinação, foram criados os agrupamentos de matéria conhecidos, em que daquele momento até agora os fótons tiveram sua temperatura diminuída num fator de 1.000, mantendo ainda as propriedades do Universo primordial. Estas propriedades são resumidas pela característica da radiação de corpo negro, em que quando matéria e radiação estavam em equilíbrio térmico, as duas apresentavam a mesma temperatura, como numa caixa em que suas paredes são tão densas que nada pode penetrá-las, fazendo com que a temperatura da radiação seja a temperatura de suas paredes, efetuando um processo de absorção e emissão contínua da radiação, em que um bom emissor é um bom absorvedor, então a radiação emitida é parcialmente absorvida para depois ser emitida e assim continua, em que isto explicaria a radiação atualmente observada como um resquício “fóssil” da densa e quente matéria espalhada pelo Universo primordial (Neves, 2000b).

#### **4.1 - A história do CBR**

O CBR foi descoberto pelos físicos Arno Penzias e Robert Wilson, em 1965, ao utilizar uma antena refletora com formato de um chifre/corneta, que tinha sido criada para o estudo de radioastronomia. Enquanto utilizavam esta antena, conseguiram detectar uma temperatura de cerca de 3,5 K (com desvio de  $\pm 1,0$  K) ao observar a radiação de fundo no comprimento de onda de 7,3 cm. Essa descoberta foi atribuída à teoria do *Big Bang*, sendo a interpretação da radiação fóssil do estrondão com um espectro de corpo negro, sendo considerada prova da existência teoria (Assis; Neves, 1995).

Mesmo com o CBR sendo descoberto apenas em 1965, uma temperatura do espaço já tinha sido estimada por outros cientistas, aliás antes da teoria do *Big Bang* ter sido admitida e antes das previsões de George Gamow.

Em 1896, Charles Guillaume propôs a estimativa mais antiga conhecida sobre a temperatura do espaço, em que ele utiliza medidas da razão da luz do céu estrelado para a Lua cheia sendo igual a 1/44, e assim, duplicando para os dois hemisférios e adotando a razão da intensidade luminosa da Lua para aquela do Sol como sendo igual a 1/600.000, Guillaume encontrou que o Sol enviava 15.200.000

mais energia vibratória que o conjunto de estrelas. Com este valor, ele argumenta que ao aumentar a temperatura de um corpo isolado no espaço, e submetido meramente à ação das estrelas, o valor será igual ao quociente da elevação da temperatura devida ao Sol sobre a órbita da Terra pela raiz quadrada de 15.200.000, que é aproximadamente 60, em que este valor deve ser considerado um valor mínimo, considerando uma taxa de desvio. Com isso, justificam que apenas a radiação das estrelas manteria o corpo de prova, que assumiram ter sido colocado em locais diferentes do céu, à uma temperatura de  $338/60 = 5.6$  K. Portanto seu valor final da “temperatura do espaço” ficou entre 5K e 6K (Assis; Neves, 1995).

Arthur Eddington, em 1926, discute a temperatura no espaço em seu livro “*The Internal Constitution of the Stars*”, em que nele argumenta que o calor recebido por nós das estrelas poderia ser estimado a 2.000 estrelas com magnitude bolométrica aparente (magnitude correspondente ao fluxo em todos os comprimentos de onda) de 1,0. Sabendo que uma estrela com magnitude bolométrica absoluta 1,0 irradia 36,3 vezes a energia do Sol, ou  $1,37 \times 10^{35} \text{ erg/s}$ , o que seria igual a  $1,15 \times 10^{-5} \text{ erg/(cm}^2 \text{ s)}$  sobre uma esfera com raio de 10 parsecs (onde a magnitude bolométrica absoluta é igual a aparente), logo sua densidade de energia é igual a  $3,83 \times 10^{-16} \text{ erg/cm}^3$ . Com estes cálculos, Eddington argumenta que a radiação total das estrelas será correspondente à:  $2.000 \times 3,83 \times 10^{-16} = 7,67 \times 10^{-13} \text{ erg/cm}^3$ . Utilizando a lei de Stefan-Boltzmann ( $F = \sigma T^4$ ), Eddington concluiu que a temperatura efetiva correspondente a esta densidade é de 3,18 K, porém é interessante observar que Eddington e Guillaume estavam medindo a temperatura do espaço apenas com as estrelas pertencentes às nossas galáxias, afinal foi apenas em 1924 que Edwin Hubble definiu a existência de galáxias externas a Via Láctea (Assis; Neves, 1995).

Erich Regener, em 1933, ao aperfeiçoar o método de, por balões, levar telescópios com auto-gravação até as mais altas camadas da atmosfera ou mergulhá-los em grandes profundidades aquáticas, descobriu que a densidade de energia produzida por raios cósmicos é aproximadamente igual à densidade da luz e calor emitido pelas estrelas fixas. Isso significa que, tendo as dimensões necessárias para absorver os raios cósmicos, um corpo celeste será aquecido pelos raios cósmicos, em que esse aumento de energia será proporcional à energia dos

raios cósmicos absorvidos ( $S_U$ ) e à superfície ( $0$ ), fazendo com que a temperatura do corpo aumente até que o calor que ele emite chegue ao mesmo valor (em que no caso da radiação do corpo negro é utilizada a lei de Stefan-Boltzmann. Portanto, a temperatura final obtida é de  $T = \sqrt[4]{\frac{S_U}{\sigma}}$ , obtendo 2,8 K (Assis; Neves, 1995).

Walther Nernst, ganhador do prêmio Nobel pela sua terceira lei da termodinâmica, discutiu bastante sobre o trabalho de Regener, era um defensor do Universo estático, espacialmente infinito, homogêneo em larga escala e sem expansão, e defendia a ideia do *redshift* ser uma causa da teoria da luz cansada, e não do efeito Doppler (Assis; Neves, 2013). Nernst chegou a uma temperatura no espaço intergalático de 0,75 K em 1937 (Assis; Neves, 1995).

Herzberg, em 1941, utilizando as observações de Andrew McKellar, ao fazer medidas no espaço interestelar sobre o cianogênio, encontrou a temperatura que descreve o grau observado de excitação das moléculas CN caso estivessem em equilíbrio num banho térmico, sendo a temperatura de 2,3 K, o que é um valor surpreendente próximo levando em consideração o fato do estudo ser de teor químico, e também sem utilizar a cosmologia do *Big Bang* (Assis; Neves, 1995).

Em 1949, os colaboradores de George Gamow, sendo Ralph Alpher e Robert Herman (todos os citados sendo teorizantes do *Big Bang*), afirmavam que temperatura do Universo, interpretada como a temperatura de fundo que resultaria apenas da expansão universal, correspondia a um valor da ordem de 5 K, tendo que ser maior ou igual que este sabendo que a energia térmica resultando da produção de energia nuclear nas estrelas aumentaria o valor dos 5 K (Assis; Neves, 1995).

Já em 1953, George Gamow, antes da descoberta de Penzias e Wilson, teria feito a descoberta da temperatura no espaço igual a 7 K, que foi até mencionada em trabalhos de Finlay-Freundlich, mesmo não tendo muitos artigos que mencionam (Assis; Neves, 2013).

Porém, também em 1953, Finlay-Freundlich estimou a temperatura do espaço utilizando a interpretação do *redshift* não como uma resposta com o efeito Doppler, mas sim explicando-o pelo modelo de luz cansada, se baseando na fórmula que relaciona a temperatura média do espaço ( $T_S$ ) com a luz emitida por corpos celestes ( $T_{BB}$ ), que deduziu que  $T_S$  deveria ser próximo do zero absoluto, porém utilizando a

analogia do *redshift*, fazendo com que o valor da temperatura do espaço intergaláctico seja entre 1,9 K e 6 K (Assis; Neves, 1995).

Concluindo a história das temperaturas da CBR, Gamow novamente, em 1961, discute sobre a temperatura do espaço interestelar antes da descoberta de Penzias e Wilson, em 1965. Desta vez, ele explica que utilizando a constante de Hubble e a densidade média do universo, é possível achar uma fórmula que resulta na temperatura dos estágios iniciais da expansão em função do tempo da compressão máxima. Quando Gamow alterou o tempo para ser a idade do Universo da década de 1960, o resultado obtido foi de uma temperatura de 50 K (Neves, 2000a).

Tabela 1 - Lista cronológica das temperaturas do CBR

Ano	Universo Estacionário	<i>Big Bang</i>	Temperatura
1896	Guillaume		$T = 5,6 \text{ K}$
1926	Eddington		$T = 3,18 \text{ K}$
1933	Reneger		$T = 2,8 \text{ K}$
1937	Nernst		$T = 0,75 \text{ K}$
1941	McKellar e Herzberg		$T = 2,3 \text{ K}$
1949		Alpher e Herman	$T \geq 5 \text{ K}$
1953		Gamow	$T = 7 \text{ K}$
1953	Finlay-Freundlich		$1,9 \text{ K} \leq T \leq 6,0 \text{ K}$
1961		Gamow	$T = 50 \text{ K}$
1963		Penzias e Wilson	$T = 3,5 \pm 1,0 \text{ K}$

Na Tabela 1 é feita a classificação da linha cronológica da descoberta das temperaturas do CBR, sendo separada por descobertas com teorias dependentes no modelo cosmológico padrão e descobertas com teorias sem essa dependência, utilizando dados experimentais sem o teor expansivo, com cientistas que acreditavam no modelo do Universo expansivo.

Como é possível observar, os dados das temperaturas que mais se assemelham à temperatura definida do CBR de 2,7 K são dos cientistas não “Big Bang-istas”. Como Neves (2000a) explica: “Por exemplo: com relação à previsão da temperatura da CBR, os modelos de estado estacionário, ou seja, de um Universo sem criação, infinito no espaço e no tempo, previam valores muito mais próximos daquele descoberto por Penzias, do que os valores teóricos daqueles que abraçaram a ideia de um Universo evolucionário”, mostrando que o CBR não se deve diretamente ao estrondão.

Os livros didáticos cosmológicos assumem que Gamow e colaboradores encontraram o valor da temperatura do CBR de 2,7 K antes de Penzias e Wilson, utilizando teorias relevantes ao estrondão, como por exemplo o efeito Doppler para explicar o *redshift*, e logo considerando o modelo expansionista do Universo. Porém, o modelo do Universo escrito por físicos citados acima e outros, como Nernst, Finlay-Freundlich, Max Born e Louis de Broglie, que é um Universo em equilíbrio dinâmico, sem expansão e sem criação contínua de matéria, é comumente esquecido em citações didáticas e mesmo assim foram os que primeiro acharam valores mais semelhantes à temperatura do CBR utilizando cálculos e medidas não-relevantes ao *Big Bang*, incluindo Max Born que fez descobertas sobre o *redshift* antes de Penzias e Wilson utilizando o mesmo instrumento de pesquisa, e descobrindo o CBR com um comprimento de onda característico de 7cm (Assis; Neves, 1995).

## 5 - O *redshift*

O termo “*redshift*” (deslocamento para o vermelho, do inglês) é pertinente à interpretação do deslocamento das raias espectrais para o vermelho, sendo explicado (na teoria do *Big Bang*) pelo efeito Doppler.

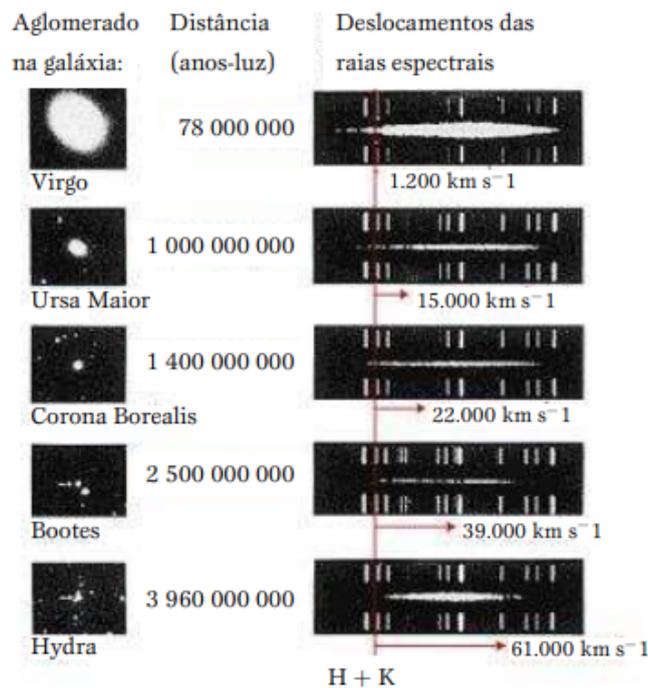
O *redshift* foi descoberto por Edwin Hubble, em 1929, em que ele foi o primeiro a obter provas que o Universo era muito maior que os limites da Via Láctea. Hubble, em 1923 ao observar a galáxia Andrômeda pelo telescópio de cem polegadas de Monte Wilson, separou estrelas com ramos em espiral que variavam seu brilho, assim como a variação periódica da luminosidade das Cefeidas (estrelas da Via Láctea). Como já existia uma relação entre os períodos de variações das Cefeidas com suas respectivas luminosidades absolutas, Hubble utilizou essa relação para comparar as luminosidades absolutas do padrão de variância das Cefeidas na galáxia de Andrômeda, obtendo que a galáxia deveria estar a 900.000 anos-luz da Terra, hoje sabemos que o valor correto é de 2.000.000 anos luz, porém a técnica para obter a distância desenvolvida por Hubble está certa, e, assim, Hubble começou a classificar galáxias em dois tipos, sendo estes as galáxias elípticas (com formas elipsoidais) e galáxias de braços espiralados (Neves, 2006).

Já em 1929, em um trabalho publicado por Hubble, chamado “*A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extragalactic Nebulae*” (do inglês, “Uma Relação entre Distância e Velocidade Radial das Nebulosas Extragalácticas”), ele demonstrou a proporcionalidade em que o deslocamento das raias do espectro para o vermelho (*redshift*) cresce de acordo com a distância que separa as galáxias observadas, que pode ser observada na Figura 4.

Como Neves (2000b) cita:

“Assim, como os espectros apresentavam sempre raias deslocadas para regiões de longos comprimentos de onda (e, conseqüentemente, baixas frequências), poder-se-ia imaginar que, num passado distante, estas linhas eram muito menos deslocadas, chegando, inclusive, a não haver deslocamento algum (*redshift* igual a zero) se, adotando a hipótese de um Universo em expansão, toda a matéria e radiação atuais estivessem concentradas em um ponto de densidade infinita (singularidade).” (Neves, 2000b)

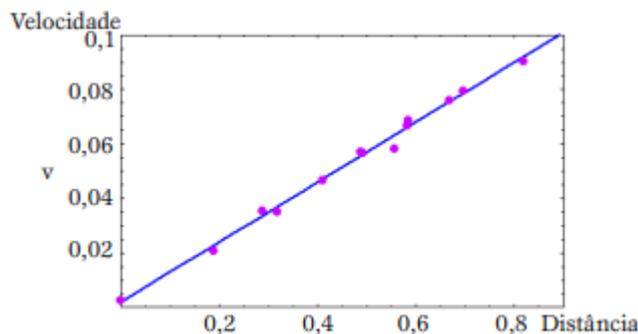
**Figura 4:** Deslocamento dos *redshifts* de várias galáxias



Fonte: (Neves, 2006)

A relação de proporcionalidade observada nas 18 galáxias (em que todas apresentavam *redshifts*) estudadas por Hubble levou-o a argumentar em uma relação linear entre as velocidades de recessão das galáxias e suas respectivas distâncias (como visto na Figura 5), que fez o *redshift* ser interpretado como comportamento do efeito Doppler óptico, com Hubble estimando que para cada milhão de anos-luz, as velocidades das galáxias aumentavam 170 km/s (Neves, 2000a).

**Figura 5:** A relação velocidade versus distância de Hubble



Fonte: (Neves, 2006)

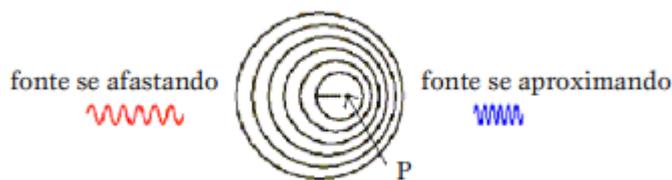
Com essas descobertas, Edwin criou a Lei de Hubble, em que esta diz que o *redshift* de uma galáxia é proporcional à sua distância, com a fórmula de:  $v = H_0 \cdot D$  - onde  $v$  é a velocidade de recessão da galáxia,  $D$  é a distância da fonte desde a Terra e  $H_0$  é uma constante de proporcionalidade (constante de Hubble) - onde  $H_0$  tem a dimensão do recíproco do tempo (t), com:  $H_0 = \frac{1}{t}$ , dizendo que ao determinar esta constante, se determina o ponto zero da criação do Universo, ou seja, sua idade, de acordo com a teoria do *Big Bang*, que seria entre 12 e 15 milhões de anos - com a idade atualizada de 13,8 anos - (Neves, 2000b). O valor da constante de Hubble é uma incerteza na cosmologia, por causa da tensão de Hubble, que fazem a medição da constante ter métodos diferentes, alterando o valor final (Shamir, 2024). Porém, a medida mais aceita para a constante é de 100 h km/s/Mpc, em que h é um parâmetro de incerteza de 0,4 a 1 (Neves, 2000b).

Pela interpretação do *redshift* ser devido ao efeito Doppler, as galáxias no passado deveriam estar muito mais próximas do que atualmente, além de que, por teoria, o Universo deveria ter tido uma origem há cerca de um bilhão de anos atrás, que é um número baixo demais considerando que estudos mostravam que a Terra teria sua formação em cerca de quatro bilhões de anos. O valor destoante da idade do Universo teria seu motivo pela incerteza de valores obtidos para as distâncias intergalácticas baseadas na luminosidade das Cefeidas (Neves, 2000a).

## 5.1 - O efeito Doppler

O efeito Doppler é muito conhecido como o efeito Doppler sonoro, como por exemplo uma ambulância, que quando se aproxima, com curto comprimento de onda, logo possuindo grande frequência sonora, possui a sensação de um som agudo, e quando se afasta, com grande comprimento de onda, logo possuindo pequena frequência sonora, possui a sensação de um som grave. Esse efeito diz que a frequência de todo fenômeno oscilatório aparecerá mais baixa ou mais alta de acordo com a relação de aproximar ou distanciar entre o observador e a fonte, como visto na Figura 6 (Neves, 2000b).

**Figura 6:** Demonstração do efeito Doppler sonoro



**Fonte:** (Neves, 2006)

A fórmula dada para o efeito Doppler relativístico é de:

$$v_{rec} = v_{em} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta \cos(\theta)}, \quad (1)$$

onde  $v_{rec}$  é a frequência de onde está o receptor e  $v_{em}$  é a frequência que a fonte emite,  $\theta$  será igual a  $0^\circ$  se a fonte se aproximar do observador e igual a  $180^\circ$  se a fonte se afastar do observador, além da velocidade da onda ser dada por  $v = \beta c$ . Portanto, se fizermos que  $\theta = 0^\circ$ , a fórmula do efeito Doppler será:

$$v_{rec} = v_{em} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta} = v_{em} \frac{\sqrt{1+\beta}}{\sqrt{1-\beta}}, \quad (2)$$

que é a representação do *blueshift*. Já se fizermos  $\theta = 180^\circ$ , a fórmula se iguala a:

$$v_{rec} = v_{em} \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1+\beta} = v_{em} \frac{\sqrt{1-\beta}}{\sqrt{1+\beta}}, \quad (3)$$

que é a representação do *redshift* (Tort, 2014).

Sabendo da relação entre frequência e comprimento de onda, sendo igual a  $\lambda v = c$ , podemos reescrever as equações (2) como:

$$\lambda_{rec} = \lambda_{em} \frac{\sqrt{1-\beta}}{\sqrt{1+\beta}}, \quad (4)$$

que seria o *blueshift*, com aproximação relativa. Reescrevendo também a equação (3), obtemos:

$$\lambda_{rec} = \lambda_{em} \frac{\sqrt{1+\beta}}{\sqrt{1-\beta}}, \quad (5)$$

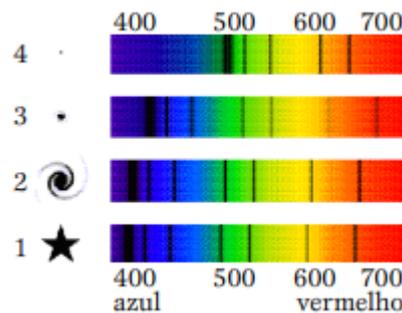
que seria o *redshift*, com afastamento relativo. Podemos, então, calcular o parâmetro de *redshift*  $z$  das galáxias e estrelas, que é dado por:

$$z = \frac{\Delta\lambda}{\lambda_{em}} = \frac{\lambda_{rec} - \lambda_{em}}{\lambda_{em}}, \quad (\text{Tort, 2014}) \quad (6)$$

Como previamente demonstrado, é possível obter o *blueshift* (deslocamento para o azul, do inglês), que seria a tendência de se deslocar para a extremidade azul do espectro, e o *redshift*, que seria a tendência de se deslocar para a

extremidade vermelha do espectro ao analisar as linhas espectrais de absorção da radiação de algum corpo celeste, em que respectivamente, são relevantes à aproximação da fonte (galáxia ou estrela) ao observador e o afastamento da fonte ao observador, como visto na Figura 7 o efeito Doppler luminoso (Neves, 2006).

**Figura 7:** Demonstração do efeito Doppler luminoso, com a fonte 1 sendo uma estrela próxima, a fonte 2 sendo uma galáxia próxima, a fonte 3 sendo uma galáxia à grande distância e a fonte 4 sendo uma galáxia muito distante. Os números acima e abaixo das linhas espectrais são os valores dos comprimentos de onda.



Fonte: (Neves, 2006)

## 5.2 - *Redshift* do Universo em estado estacionário

O *redshift*, para muitos cientistas que discordavam da teoria do *Big Bang*, tem a interpretação de ser devido a uma interação entre fóton-fóton desde a galáxia que ele parte até a Terra, que é a base para a teoria da luz cansada. Essa teoria e outras alternativas ao *redshift* devido efeito Doppler são esquecidas pelo paradigma do estrondão, porém os mesmos físicos que tiveram um resultado mais bem apropriado da temperatura da CBR do que Gamow e colaboradores eram a favor desta teoria da luz cansada, sendo um modelo alternativo válido e que nessa sessão será discutido juntamente as teorias de seus defensores. Como Assis e Neves (2013) explicam:

“Enfatizamos o fato de que existe uma quantidade muito grande de pesquisa, realizada por vários físicos notáveis, que é crítica em relação à explicação dos desvios para o vermelho cosmológicos como sendo devidos a um efeito Doppler. Também deve ser enfatizado que existem vários artigos sobre o tópico das observações de desvios para o vermelho anômalos (ver, por exemplo, Reber (1981), com uma lista de 772 desvios para o vermelho não triviais). Os desvios para o vermelho anômalos não podem ser explicados facilmente com o modelo Doppler. Mas se o desvio para o vermelho cosmológico não é devido a um efeito Doppler, qual é sua origem?” (Assis; Neves, 2013)

Nernst, defensor de um Universo espacialmente infinito e sem expansão, sugeriu uma equação para argumentar sobre a absorção da luz pela poeira cósmica ou afins, resultando a um avermelhamento do fóton pela diminuição da energia luminosa de cada quantum de luz, que se igualou a:

$$- d(h\nu) = H(h\nu)dt, \quad (7)$$

onde  $h$  é a constante de Planck,  $\nu$  é a frequência da luz e  $H$  é a constante de Hubble, concluindo que o *redshift* não é devido ao efeito Doppler (Assis; Neves, 2013).

Finlay-Freundlich, em 1954 ao analisar o *redshift* de estrelas de classe B e O da Nebulosa de Orion, descobriu que as estrelas B apresentaram valores maiores (por um fator de ordem de dez) que o *redshift* descritos pela relatividade, assim como as estrelas O (com +18 km/s do valor previsto). Analisando sistemas de estrelas binárias, encontrou *redshifts* maiores ainda do que os previstos pela relatividade, de fator de 10 a 20, argumentando que esse fenômeno não pode ser atribuído a um deslocamento gravitacional nem como efeito de recessão real, propondo então uma hipótese de que o fóton, ao atravessar camadas espessas de um campo de radiação, acaba perdendo energia (podendo ser por interação de fóton-fóton) e que a energia perdida é proporcional tanto à densidade do campo de radiação quanto ao comprimento da trajetória da luz através desse campo. Freundlich chegou então à fórmula:

$$\frac{\Delta\nu}{\nu} = - AT^4l, \quad (8)$$

onde  $\Delta\nu$  é a variação na frequência da linha espectral,  $\nu$  é a frequência original,  $A$  é uma constante,  $T$  é a temperatura do campo de radiação e  $l$  é o comprimento percorrido pela luz através do campo de radiação (Assis; Neves, 2013) e (Neves, 2000a).

Freundlich aplica sua equação para o *redshift* de estrelas A, Wolf-Rayet, M supergigantes, para o próprio Sol e para anãs brancas com sucesso, e com isso comparou o desvio para o vermelho cosmológico com o desvio para o vermelho estelares, obtendo então a temperatura para o corpo negro para o espaço intergaláctico, já discutido na sessão passada. Concluindo, Freundlich diz que o *redshift* não é devido a um Universo em expansão, mas sim devido a uma perda de energia sofrida pela luz nas distâncias imensas de espaço que ele tem que percorrer ao viajar de sistemas mais distantes até nós, observadores.

Fazendo um adendo, ao decorrer da história observamos que: Paul Marmet acreditava em um *redshift* produzido por colisões inelásticas de fótons com átomos e moléculas; Reber e Kierein acreditavam que o *redshift* era devido ao efeito Compton, porém que hoje em dia é considerado improvável; Vigier e Monti viam o *redshift* decorrido pela resistividade do meio intergaláctico; Arp acreditava que o *redshift* era devido a um efeito pela idade dos corpos celestes; Louis de Broglie defendeu um “envelhecimento dos fótons” devido a perda contínua de energia pelo fóton; como vimos, Finlay-Freundlich acreditava que o *redshift* ocorria por uma interação fóton-fóton que ocorria nos campos intensos de radiação das estrelas; Max Born também associou o *redshift* a um efeito da interação fóton-fóton e estando ligado a radioastronomia, inclusive com essa previsão acontecendo 11 anos mais cedo que Penzias e Wilson, utilizando uma antena refletora num formato de chifre que havia sido construída para estudar emissões de rádio. (Assis; Neves, 2013).

Hubble, desde 1936 (em seu livro “*The Realm of Nebulae*”, O reino das galáxias, do inglês), em 1937 e 1942, escreve sobre como o *redshift* pode ser interpretado como um efeito Doppler (como velocidade de afastamento, com movimento de recessão) ou “explicado por algum princípio até agora desconhecido na Física” e que “a luz pode perder energia durante sua jornada através do espaço, mas se assim o for, nós ainda desconhecemos como a perda de energia pode ser explicada” (ambos citados por Neves e Silva, 2023). Também, adicionando três citações de Hubble (citados por Assis e Neves, 2013):

“A luz pode perder energia durante a sua jornada através do espaço, mas, se assim for, ainda não sabemos como a perda pode ser explicada.

As características perturbadoras são introduzidas pelos fatores de recessão, pela suposição de que os desvios para o vermelho são desvios de velocidade. A divergência de uma relação linear dos desvios para o vermelho, a divergência de uma distribuição uniforme, a curvatura necessária para restaurar a homogeneidade, a matéria excessiva requerida pela curvatura, cada um destes é meramente o fator de recessão em outra forma. Estes elementos identificam um único modelo entre o rol de mundos em expansão, e, neste modelo, as restrições na escala de tempo, a limitação das dimensões espaciais, a quantidade de matéria não observada, é, cada um, equivalente ao fator de recessão.

Por outro lado, se o fator de recessão é eliminado, se os desvios para o vermelho não são primariamente desvios de velocidades, o quadro é simples e plausível. Não existe evidência da expansão e não existe restrição da escala de tempo, nenhum traço de curvatura espacial, e nenhuma limitação das dimensões espaciais.

Parecemos encarar, como uma vez nos dias de Copérnico, a escolha entre um universo pequeno e finito, e um universo indefinidamente grande, mais um novo princípio da natureza. “ (Assis; Neves, 2013)

Com isso podemos concluir que Edwin Hubble descobriu o *redshift* cosmológico, em que ele associa o desvio das raias espectrais a uma “velocidade aparente”, mas não descobriu a expansão do Universo (Neves; Silva, 2023).

### 5.3 - Problemas relevantes ao *redshift* do efeito Doppler

O *redshift* pelo efeito Doppler produz alguns desafios nesta teoria, que estão cada vez mais aparentes pelas novas tecnologias astronômicas. Alguns desses problemas são: o grande número de *redshifts* para galáxias maduras, *redshifts* de quasares, velocidade de rotação de galáxias e tensões de  $H_0$ .

Primeiramente, sobre os quasares - onde quasares é a denominação de “quasi-stellar radio source” (fonte de rádio quase estelar, do inglês), sendo objetos astronômicos com dimensões de estrelas porém com o seu brilho sendo equivalente a de uma galáxia - que apresentam *redshifts* altíssimos estando nos confins do universo e uma grandíssima luminosidade. Alguns desafios atuais dos quasares (com altos *redshift*) são que estes podem ser associados fisicamente com galáxias próximas (com baixo *redshift*), fazendo com que os quasares não estivessem em distâncias tão grandes, como sugerido pelos seus *redshifts*, em que Halton Arp sugere que seus altos *redshifts* fossem relacionados às propriedades físicas dos quasares, e não suas distâncias, significando que o *redshift* pelo efeito Doppler não é um padrão de confiança para indicar distâncias (Neves, 2006). Além disso, se for pensar que quasares estão realmente nos confins do Universo, com sua grande luminosidade e energia, não teria como em um Universo primordial obter tanta energia assim.

Agora, explicando sobre os problemas do *redshift* pelo efeito Doppler relacionando suas soluções ao substituí-lo pelo *redshift* com a teoria da luz cansada: essa teoria foi criada por Fritz Zwicky em 1929, com diversos autores que concordavam com a teoria, como visto nesta sessão. Como será discutido adiante nas próximas sessões, o Telescópio Espacial James Webb (JWST, do inglês, *James Webb Space Telescope*) detectou galáxias maduras e massivas com *redshifts* maiores que 13 e até  $z = 15$ , o que não é possível no modelo cosmológico padrão, por significar que o Universo primordial não teria condições físicas para formar

galáxias maduras, argumentando que galáxias já seriam bem formadas antes de meio bilhão de anos do começo do Universo. Com isso, foi feito um estudo relevante a velocidade de rotação e linear das galáxias, levando em conta que a velocidade de rotação normalmente é ignorada por ser um valor muito pequeno e que não influencia o efeito Doppler, porém, com o aumento do  $z$  dos *redshifts*, o valor não é mais insignificante e traz desafios à compreensão do efeito Doppler como motivo do *redshift*, em que isso será mais discutido no Capítulo 7 (Shamir, 2024).

A teoria da luz cansada, como explicado por Shamir (2024), mesmo sendo puramente teórica, explica que os fótons acabam perdendo energia pelas interações do meio intergaláctico e por isso alteram o valor das linhas espectrais que chegam a nós, observadores, ocorrendo o *redshift*, e com isso explicaria o motivo de existir galáxias maduras tão distantes (abrindo espaço para teorias diferentes do modelo cosmológico padrão). Ele adiciona que a distância das galáxias estaria envolvida com a parte teórica da luz cansada, e não necessariamente com sua velocidade, o que explicaria o motivo de ser observado mais galáxias que giram opostamente à Via Láctea de acordo com quanto maior for seu *redshift* (ver Capítulo 7), como citado:

“Mas quando usamos a velocidade de rotação da Terra dentro da galáxia Via Láctea, um pequeno viés de *redshift* é esperado, por causa da velocidade de rotação da Terra. É esperado que esse viés afete diferentemente galáxias rotacionando na mesma direção relativa à Via Láctea do que as galáxias rotacionando na direção oposta à Via Láctea. É esperado esse viés ser pequeno, mas de acordo com vários conjuntos de dados, como mostrado aqui, é estatisticamente significativo. Principalmente, o viés aumenta com o *redshift*, sugerindo que não é apenas a velocidade que leva ao viés. A velocidade de rotação da Terra dentro da Via Láctea é obviamente uma constante que não altera, e a velocidade radial das galáxias rotacionando na mesma direção relativa à Via Láctea é esperada ser, em média, a mesma que a velocidade radial das galáxias que rotacionam na direção oposta relativa à Via Láctea. A ideia que o *redshift* pode mudar com a distância, e não necessariamente com a velocidade, pode ser um bom ponto na teoria centenária de Fritz Zwicky.” (Shamir, 2024, tradução nossa)<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> “But when using the rotational velocity of the Earth within the Milky Way galaxy, a small redshift bias is expected, due to the rotational velocity of the Earth. That bias is expected to affect galaxies rotating in the same direction relative to the Milky Way differently than it affects galaxies rotating in the opposite direction relative to the Milky Way. That bias is expected to be small, but according to several datasets, as shown here, it is statistically significant. More importantly, the bias grows with the redshift, suggesting that it is not the velocity alone that leads to the bias. The rotational velocity of the Earth within the Milky Way galaxy is obviously a constant that does not change, and the radial velocity of galaxies rotating in the same direction relative to the Milky Way galaxy is expected to be, on average, the same as the radial velocity of galaxies that rotate in the opposite direction relative to the Milky Way. The idea that the redshift can change with the distance, and not necessarily the velocity, might be an indication supporting Fritz Zwicky’s century-old theory.”

Além disso, a teoria da luz cansada poderia explicar o problema cosmológico da tensão de  $H_0$ , já citada, argumentando que como o valor de  $H_0$  é diretamente dependente do *redshift*, ao escolher galáxias com direções opostas à rotação da Via Láctea, o valor de  $H_0$  se aproxima do valor derivado do CBR e reduz a tensão entre os métodos (Shamir, 2024). Portanto, o *redshift* pela teoria da luz cansada é demonstrada como um ótimo substituto do *redshift* pelo efeito Doppler, diminuindo significativamente os desafios atuais cosmológicos da teoria.

## 6 - A matéria e energia escura

A matéria e energia escura são conhecidos como “*dark sector*” (setor escuro, do inglês) e constituem cerca de 95% do Universo, sendo puramente teórico, porém sendo tratado como vários tópicos de pesquisa como modelos de causa e efeito desse setor (Oks, 2021). A matéria escura já foi discutida em detalhes da necessidade da criação da sua teoria, em que, reiterando, foi proposta para explicar flutuações extremamente pequenas do CBR e galáxias espirais, inserindo a existência de uma matéria que não pode ser observada, a matéria escura, em que esta matéria teria que ser não-bariônica para sua densidade de matéria não colidir com o valor máximo de  $\Omega \approx 0,1 - 0,2$ . As hipóteses relevantes à matéria escura podem ser divididas entre as teorias de partículas de matéria escura (como neutrinos inertes, matéria escura auto-interagente, dibarions, entre outros citados em Oks, 2021, que não serão abordados neste trabalho) e as teorias indicando a não existência da matéria escura, que serão discutidos mais a fundo na próxima sessão.

Sobre a energia escura, seu propósito principal é explicar a expansão do Universo atualmente no modelo cosmológico padrão, em que sua proposta mais simples seria considerar uma densidade de energia constante distribuída homogeneamente no vácuo, sendo ela a constante cosmológica, ou a radiação de ponto zero do espaço, que tem um problema atual de seu valor experimental ser menor em ordem de magnitude de 120 do seu valor teórico (outras teorias pertinentes a energia escura são: a quinta força fundamental (quintessence), que aliás não consegue ocorrer no MCP; energia fantasma, entre outros citados em Oks, 2021, que também não serão abordados neste trabalho). Há também hipóteses que dizem que a energia escura não existe, como a teoria da gravidade modificada, em que essa contém mais uma grande sessão de teorias, porém a próxima seção trará mais interpretações sobre a matéria escura, ao invés da energia escura. (Oks, 2021). Como citado por Mann (2023):

“Uma explicação mais exótica ajusta as concepções de energia escura, que geralmente é considerada a responsável pela expansão acelerada observada do universo. Físicos acreditam que a densidade da energia escura tem sido constante desde o Big Bang, mas medições discrepantes da expansão do cosmos podem exigir uma reavaliação da natureza da energia escura. Estudos do universo próximo sugerem uma taxa de expansão mais rápida do que a extrapolada a partir de observações do

universo infantil. Vários modelos, que já existiam antes do lançamento do JWST, chamados de 'energia escura precoce', postulam que havia mais energia escura cerca de 50.000 anos após o Big Bang, diz Boylan-Kolchin. Esses modelos, que ajudam a resolver a discrepância na taxa de expansão, também acabam prevendo que as galáxias cresceram mais rápido e de forma mais abundante no universo primordial, o que poderia explicar as observações do JWST. Mas há um problema óbvio: o modelo padrão da cosmologia, com sua densidade constante de energia escura, tem sido extremamente bem-sucedido em explicar a evolução da estrutura em larga escala do universo, incluindo a teia observada de galáxias, aglomerados galácticos e aglomerados de aglomerados. Quaisquer mudanças nesse modelo precisarão manter esses aspectos positivos enquanto abordam as novas observações." (Mann, 2023)<sup>3</sup>.

## 6.1 - Alternativas à matéria escura

Algumas alternativas à matéria escura mais conhecidas são: gravidade modificada (ou MOND) e objetos compactos exóticos, com outros exemplos sendo citados em Oks, 2021.

Começando com o último, temos a teoria dos objetos compactos exóticos, em que estes se referem a um conjunto de propostas teóricas de corpos densos (como estrelas compactas hipotéticas) que não possuem sua composição de elétrons, prótons ou nêutrons, isso é, sem qualquer partícula comum. Estes objetos não colapsam gravitacionalmente devido a pressões de degenerescência ou propriedades quânticas. Esses objetos substituiriam a matéria escura e explicariam questionamentos físicos como a rotação das galáxias e formação de grandes estruturas cósmicas, afinal os objetos exóticos teriam massas elevadas e propriedades gravitacionais que explicariam os fenômenos citados (Oks, 2021).

Alguns exemplos de objetos compactos exóticos seriam: os buracos de minhoca (proposto por Einstein e Rosen em 1935) que sua estabilidade poderia ser

---

<sup>3</sup> "A more exotic explanation tweaks conceptions of dark energy, which is generally believed to be causing the observed accelerated expansion of the universe. Physicists consider the density of dark energy to have been a constant since the Big Bang, but discrepant measurements of the cosmos' expansion might require a rethink of the nature of dark energy. Studies of the nearby universe suggest a faster expansion rate than the rate extrapolated from observations of the infant universe. Several models that have been around since before JWST launched, called "early dark energy," posit that more dark energy existed roughly 50,000 years after the Big Bang, Boylan-Kolchin says. Such models, which help resolve the expansion rate discrepancy, also happen to predict that galaxies grew faster and more abundantly in the early universe, which could explain the JWST sightings. But there's an obvious problem: The standard model of cosmology, with its constant dark energy density, has been extremely successful in explaining the evolution of the large-scale structure of the universe, comprising the observed web of galaxies, galactic clusters, and clusters of clusters. Any changes to that model will need to retain such positive aspects while addressing the new observations."

alcançada com matéria exótica; as estrelas de quark (proposto por Ivanenko e Kurgdelaidze em 1965), em que, sob pressão e temperaturas extremas, os nêutrons se dissolveriam em quarks empacotados, cujo colapso gravitacional seria evitado pela repulsão elétrica e pressão de degenerescência; os superespinares (baseados na teoria das cordas) iriam girar tão rapidamente que excederiam o limite permitido pela geometria de Kerr; a *fuzzball* desafiaria a definição clássica do horizonte de evento de buracos negros, onde o horizonte seria difuso (*fuzzy*, do inglês), onde há uma superposição de microestados da geometria dos buracos negros, fazendo com que os horizontes de evento de cada uma sejam minimamente diferentes, o que resultaria em um horizonte de evento difuso para o sistema inteiro; o *gravastar* - estrelas de vácuo gravitacional - (proposto por Mazur e Mottola em 2001) teriam uma região interna parecida com um condensado de Bose-Einstein e uma região externa que se comporta como buracos negros comuns, com a diferença da sua estrutura não ter um horizonte de eventos definido; entre outros (Oks, 2021).

A teoria da gravidade modificada, - ou dinâmica Newtoniana modificada, MOND (Modified Newtonian Dynamics, do inglês) - criada por Milgrom (1983), foi proposta para explicar como a lei da gravidade proposta por Newton falha em escalas cosmológicas, como por exemplo curvas de rotação plana de galáxias espirais, que mostra como as estrelas na borda da galáxia aparecem movendo em velocidades semelhantes a estrelas mais próximas do centro da galáxia, sendo que pela dinâmica Newtoniana as estrelas da borda deveriam estar mais devagar. MOND propõe que na borda das galáxias a força gravitacional é mais fraca do que o previsto pela física Newtoniana, além de que, em acelerações muito baixas, a dinâmica gravitacional não segue a dinâmica Newtoniana. Em MOND, a força passa a ser proporcional ao inverso da distância ( $\frac{1}{r}$ ) - ao invés do inverso da distância ao quadrado ( $\frac{1}{r^2}$ ) - por ser comparável à escala das galáxias (McGaugh; Sanders, 2002).

O MOND conseguiu chegar à dados muito bem congruentes com sua teoria, como por exemplo a capacidade de prever curvas de rotação de galáxias espirais a partir da distribuição da matéria visível, o que é inalcançável utilizando a teoria da matéria escura, além de acertar na forma dos halos de galáxias e discrepâncias no CBR, explicando também a densidade de superfície preferencial em galáxias espirais e elípticas, a aceleração interna de sistemas isotermais, a dinâmica de

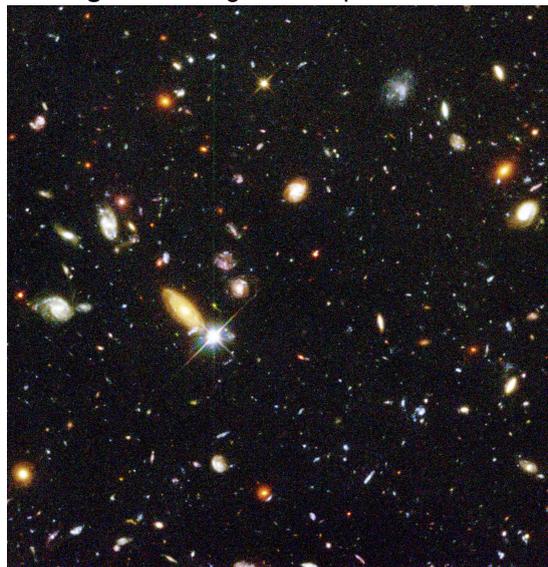
galáxias anãs e aglomerados galácticos, entre outros. Considerando os problemas atuais do paradigma da matéria escura, MOND consegue explicar muito do que a seção escura não é capaz, levando em conta sua área hipotética (McGaugh; Sanders, 2002).

## 7 - Os telescópios espaciais

### 7.1 - O telescópio espacial de Hubble

Em 1995, o telescópio espacial Hubble observou o assim denominado *Hubble Deep Field* (HDF) capturando por 10 dias uma compilação de imagens surpreendentes (Figura 8), tiradas com a *Wide Field Planetary Camera 2* (WFPC2), utilizando 150 órbitas de Tempo Discricionário do Diretor - em que estes são conjunto de órbitas, ou, também, períodos de observação reservados no programa de um telescópio espacial - do *Hubble Space Telescope* (HST). A imagem obtida revelou diversas galáxias com *redshifts* acima de 1, mostrando também galáxias pequenas e irregulares que apareciam em pequenos grupos ou em pares, com alto brilho superficial, além de mostrar 3.000 galáxias. Campos profundos (utilizados no HDF) tem uma vantagem a campos rasos em questão de luminosidade e o aumento dos tamanhos das amostras quando a inclinação da função de luminosidade é grande próximo à magnitude limite da pesquisa, fazendo com que uma inclinação acentuada aumente o tamanho da amostra de uma maneira rápida, em que o tempo restante tem prioridade à observação em um único campo, ao invés de cobrir uma área maior, além dos campos profundos produzirem amostras de *redshifts* entre 5 e 7, que permitiria uma boa caracterização da função de luminosidade no espaço primitivo (Beckwith, *et tal.* 2006).

**Figura 8:** Imagem feita pelo HDF

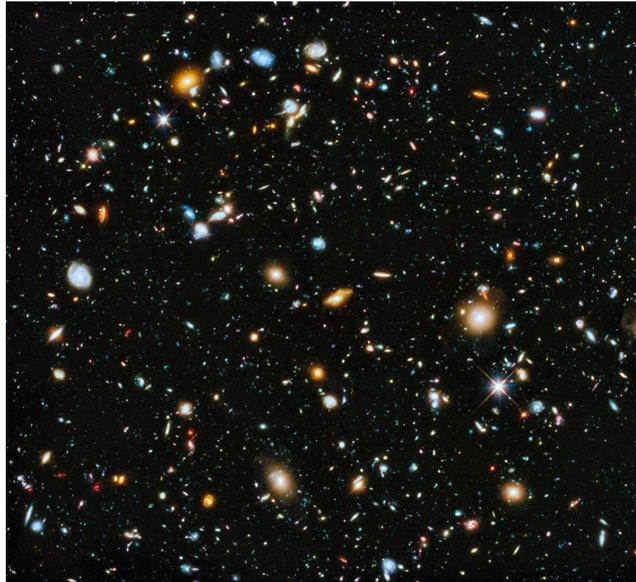


Fonte: (NASA, s. d.)

A interpretação dos altos redshifts do HDF e outras imagens de telescópios foi que existiria uma evolução substancial em tamanho e estrutura entre os tempos primordiais e hoje, em que observações subsequentes concluiriam que as populações de galáxias parecem marcadamente diferentes em alto redshift em comparação com o tempo presente. Como a morfologia aparente de galáxias de alto redshift é fortemente afetada pela perda de características de baixo brilho superficial devido ao escurecimento cosmológico, uma maneira importante de testar se a perda dessas características distorce nossa percepção das galáxias em alto redshift é fazer observações mais profundas da amostra em redshifts intermediários. Assim, um campo ultra profundo pode fornecer um complemento importante para as observações pioneiras do HDF buscando componentes de baixo brilho superficial de galáxias fracas, e foi assim que o *Hubble Ultra Deep Field* foi pensado (Beckwith, *et al.* 2006).

O *Hubble Ultra Deep Field* (HUDF) capturou, entre 2003 e 2004, uma compilação de imagens contendo 10.000 galáxias, sendo observada, teoricamente, as primeiras galáxias depois do *Big Bang*. Utilizando a Advanced Camera for Surveys (ACS) - que tinha o dobro do campo de visão e uma sensibilidade maior que o WFPC2 - em conjunto com Hubble's Near-Infrared Camera e Multi-Object Spectrometer, foi criada a famosa imagem mostrada na Figura 9. A localização do campo ultra profundo é na constelação de Fornax, que é considerada quase vazia, permitindo observações mais distantes. Algumas considerações da Figura 9 são que muitas galáxias mostradas têm formatos "estranhos", sendo explicadas por virem de tempos mais caóticos do Universo (o Universo primordial), além da figura, e o HUDF em geral, demonstrar que os buracos negros no centro das galáxias são propensos de crescer com o tempo, assim como mostrou que grandes galáxias crescem gradualmente à medida que outras se fundem e colidem, e que as primeiras galáxias eram muito menores que a atual Via Láctea (NASA, s.d.)

**Figura 9:** Imagem feita pelo HUDF



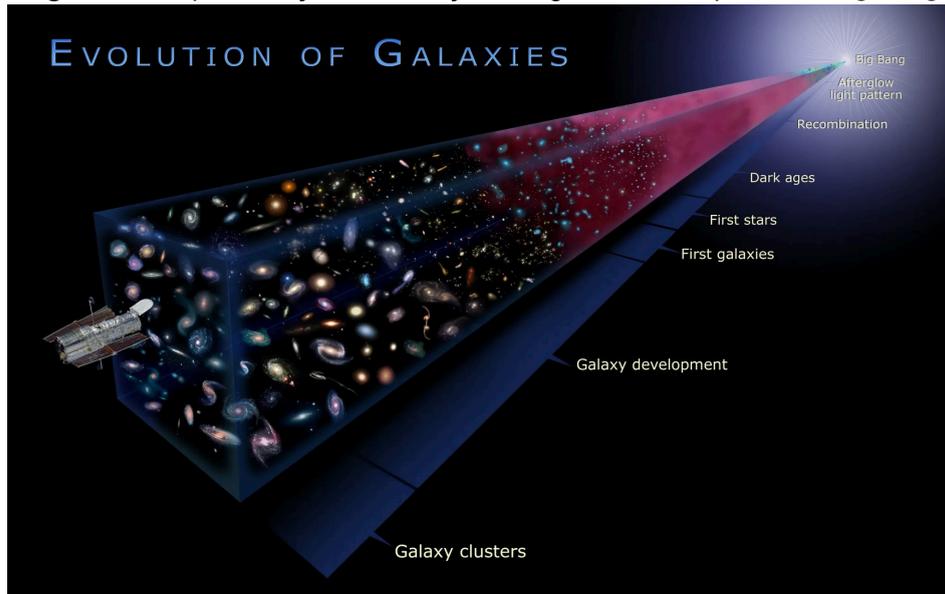
Fonte: (NASA, s. d.)

Alguns dos problemas relacionados aos HDF e HUDF foram que, o primeiro não utilizou uma grande área para seu estudo e muitas órbitas de tempo discricionário de diretor, fazendo com que tivesse um tempo “perdido”. Já no HUDF muitas críticas foram feitas pelo pouco tempo utilizado para a exposição, em que Neves e Silva (2023) dizem:

“No trabalho de 2019 nos perguntávamos se, ao invés de 11 dias de exposição, fossem 22, 33, 44 dias ou mais. Provavelmente a foto das 10 mil galáxias conteriam novos milhares de galáxias, mais maduras, uma vez que estas transformaram boa parte da radiação em matéria fria (planetas, luas, asteroides) e são, portanto, menos energéticas. Na Astronomia, sabe-se que é necessária uma fotografia de muito longa exposição para registrar os objetos mais difusos. Raciocinando com essa lógica do astrônomo observador, foi proposto o esquema ilustrado na figura 10, a partir da corruptela daquela apresentada na figura 9. Nessa imagem esquemática, as galáxias maduras aparecem dispersas por todo o infinito no espaço e no tempo” (Neves; Silva, 2023).

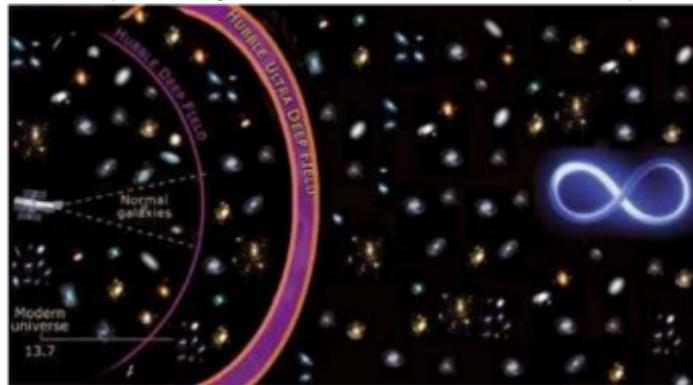
As imagens referidas como figura 9 e figura 10 são, respectivamente, a Figura 10 e Figura 11 mencionada na citação acima. A Figura 10 se refere como a “prova” da teoria do *Big Bang* devido aos dados do HUDF e suas interpretações (utilizaremos uma imagem semelhante à citada), pelas galáxias irregulares com altas energias, que são características de galáxias muito jovens. Já a Figura 11 se refere a o resultado se o HUDF tivesse sido exposto por mais tempo, mostrando uma estimativa de um Universo infinito no espaço e tempo.

**Figura 10:** Representação da evolução das galáxias e esquema do *Big Bang*



Fonte: (NASA, s. d.)

**Figura 11:** Representação de um Universo infinito no tempo e espaço



Fonte: (Neves; Silva, 2023)

Outro argumento citado por Neves e Silva (2023) para solidificar a Figura 11

é:

“[...] Será o céu encoberto de luz para o HUDF [ultra profundo] no UITE [universo infinito no tempo e espaço]? Mesmo se a quantidade de energia no visível for suficientemente grande teremos uma limitação intransponível, a saber, o avermelhamento da luz das galáxias distantes, o efeito Hubble (Soares, 2009). Este efeito manifesta-se na região local do universo como a lei de Hubble. Rigorosamente a lei de Hubble estabelece a relação linear entre o desvio para o vermelho observado na luz de uma galáxia e a sua distância até o observador. Para regiões remotas do universo, como as que necessariamente teremos no universo infinito, a relação não será linear, mas ainda assim há um aumento do avermelhamento da luz das galáxias. Então o céu não será recoberto de luz visível, mas sim de luz de maiores comprimentos de onda, micro-ondas e até ondas de rádio. É importante salientar que o UITE não está em expansão. A lei de Hubble representa um fenômeno físico para o qual uma das explicações possíveis é a expansão do universo, mas não é a única. O UITE mesmo sem expansão deve obedecer a esta lei, pois ela representa um fenômeno físico observado.” (Neves; Silva, 2023).

## 7.1 - O Telescópio Espacial de James Webb e suas influências

O Telescópio Espacial de James Webb - do inglês, James Webb Space Telescope (JWST) - lançado em dezembro de 2021 (com seus espelhos de 6,5 metros), foi designado especialmente para investigar uma era de um Universo “nascente”, achando, surpreendentemente, grandes números de galáxias brilhantes que existiam no Universo primordial. Como já explicado anteriormente, no MCP, depois do *Big Bang*, há 13,8 bilhões de anos atrás, o Universo se esfriou e com a separação de radiação e matéria, esta última se aglutinou durante os primeiros milhões de anos, formando a primeira geração de estrelas e galáxias. Porém, com os resultados das imagens formadas pelo JWST, as galáxias e estrelas estariam se formando muito mais rápido que o esperado na cosmologia (Mann, 2023).

De acordo com Mann, em 2009 astronautas instalaram um dos últimos instrumentos dos telescópios espaciais de Hubble, o Wide Field Camera 3 (WFC3), que permitiu que o telescópio capturasse a luz de vários objetos que quebram recordes, como a galáxia GN-z11, que existiu quando o Universo tinha apenas 400 milhões de anos. Porém, com o JWST foi identificada a galáxia GLASS-z12, com cerca de 350 milhões de anos, assim como observações de galáxias existindo com cerca de 180 milhões de anos depois do *Big Bang*, além de diversas outras galáxias maduras antes do primeiro bilhão de anos do estrondão, o que é extremamente surpreendente (Mann, 2023).

Um dos maiores mistérios (de acordo com o modelo padrão) desses dados são a formação dessas galáxias tão maduras em tão pouco tempo, levando em conta por exemplo que a Via Láctea não se formaria até 1 a 2 bilhões de anos após o *Big Bang*. Com o Universo escaldante nos primeiros milhões de anos após o estrondão diz que a matéria não teria condições de se condensar em galáxias e estrelas. De acordo com o MCP, enquanto ocorre a expansão do Universo, as partículas de matéria negra se aglomeravam, formando halos gigantes, em que a matéria usual seria atraída por sua gravitação, produzindo suas galáxias e estrelas. Já pela primeira imagem formada do JWST do SMACS 0723, podiam ser avistados seis galáxias alongadas, empoeiradas e vermelhas, formando estrelas rapidamente,

em que estas galáxias existiam nos primeiros 500 a 700 milhões de anos depois do *Big Bang*, em que ainda por cima cada uma delas tinha, pelo menos, a massa de 10 bilhões da massa do Sol, uma sendo um colosso contendo cerca de 100 bilhões de sóis, sendo praticamente impossível pela teoria do MCP (Mann, 2023).

Além de tudo isso, no MCP é previsto um número de halos de matéria escura de diferentes tamanhos que deveriam estar presentes em diferentes épocas do Universo, porém, considerando as galáxias citadas no parágrafo passado, não há aglomerados de matéria escura para abrigar estas galáxias, pensando que as galáxias só viveriam dentro desses aglomerados. Levando em conta todas essas observações, não tem como a teoria atual de formação de galáxias estar correta. Uma alternativa seria do Universo primordial ser muito mais denso e compacto do que o previsto, fazendo com que o gás e a poeira se compactem muito mais rápido em estrelas e galáxias, só assim possibilitaria a criação de inúmeras galáxias massivas e maduras no primeiro bilhão (ou menos) de anos desde o *Big Bang*, e ainda por cima a eficiência da formação das galáxias teria que ser muito maior que o esperado atualmente pelo MCP (Mann, 2023).

Como citado por Neves e Silva (2023): “(o) JWST pode fazer desabar o edifício de epíclis/anomalias que se apoiam sobre o sistema paradigmático da cosmologia contemporânea.”. Assim como citado por Shamir (2024):

“O poder de imagem sem precedentes do JWST revelou novas informações sobre o Universo que não estão alinhadas com algumas das suposições cosmológicas fundamentais atuais. Por exemplo, a presença de galáxias com *redshifts* superiores a 13 ou até mesmo tão altos quanto 15 não era esperada de acordo com suposições anteriores. Galáxias massivas e maduras observadas em *redshifts* de ~11 também desafiam o modelo cosmológico e a história do Universo. A existência de galáxias massivas em altos *redshifts* já havia sido relatada antes do lançamento do JWST, mas o JWST forneceu mais exemplos e instâncias mais profundas dessas galáxias, mostrando que galáxias maduras eram prevalentes no Universo primitivo [...]” (Shamir, 2024, tradução nossa)<sup>4</sup>

---

<sup>4</sup> “The unprecedented imaging power of JWST has revealed new information about the Universe that is not aligned with some of the current fundamental cosmological assumptions. For instance, the presence of galaxies at redshift higher than 13 or even as high as 15 was not expected according to previous assumptions. Mature massive galaxies observed at redshift of ~11 also challenge the cosmological model and the history of the Universe. The existence of massive galaxies at high redshift was reported also before JWST was launched, and JWST provided more and deeper instances of such galaxies, showing that mature galaxies were prevalent in the early Universe [...]”

## 8 - Considerações finais

Avaliando todos os tópicos discutidos neste trabalho, entra-se em um consenso de: ou se adiciona ao paradigma, ou se faz a revolução científica. Com os argumentos iniciais do *Big Bang* sendo contrariados cada vez mais, mostrando que as mesmas descobertas foram feitas de maneira teórica e experimental diferentemente que os físicos confiados à teoria do estrondão, com o *redshift* pelo efeito Doppler sendo seu próprio paradigma, sendo “consertado” com teorias ad hoc (assim como o próprio *Big Bang*), e mesmo assim possuindo falhas fundamentais que podem ser contestadas com a tecnologia atual, também com questionamentos sobre velocidades de rotação de galáxias, da tensão  $H_0$  (que fornece dois resultados diferentes sobre taxas de expansão e idades do Universo), além de galáxias que não teriam como existir tão cedo na história do Universo e mais massivas que o esperado, quasares não conseguindo ser propriamente explicados pela teoria do MCP do *redshift*, entre outros diversos motivos que contestam o atual modelo cosmológico padrão, como demonstrado.

Levando em consideração a relatividade geral de Einstein, o próprio *Big Bang* na teoria o viola, afinal, o modelo do *Big Bang* considera um átomo primordial contendo toda a massa do Universo, concentrada num volume próximo de zero, em que este átomo representa o exemplo mais extremo de um buraco negro imaginável. Assim, sabendo que nada pode ser emitido de buracos negros, o átomo primordial não pode se expandir. Esse trecho é uma citação indireta de Marmet, por Neves (2000a). Também, em “*Qui a Peur du Big Bang?: Les Limites de L Infini*”, por J-M. Levy-Leblond, citado por Neves (2000b): “[...] Precisa-se sair da falsa ideia de que o Big Bang seria um instante. O Big Bang é uma fase, a fase mais explosiva da vida do Universo, que começou em um tempo infinito e, deste ponto de vista, de que o Universo sempre existiu.”.

Em 1989, o ex-editorialista da renomada revista Nature, John Maddox, publicou seu artigo chamado “*Down with the Big Bang*”, fornecendo uma crítica à teoria do *Big Bang*, como mostrado:

“Felizmente para o restante de nós, os criacionistas moderados têm irmãos mais impacientes (e barulhentos) que parecem mais preocupados em demonstrar que o mundo inteiro começou há apenas alguns milhares de anos, motivo pelo qual se atolaram na tarefa de tentar refutar o registro geológico relativamente recente (e terrestre). Mas, a longo prazo, os

criacionistas impacientes terão de recuar até o Big Bang. Por essa razão, pode ser relevante o fato de que Donald Lynden-Bell, J. Katz e J.H. Redmount (o primeiro e o último do Instituto de Astronomia da Universidade de Cambridge) acabaram de publicar um cálculo mostrando que, a menos que a densidade média do Universo seja tão grande a ponto de interromper a fase atual de expansão, o Big Bang não poderia ter sido um único ponto no espaço-tempo, mas, no mínimo, deve ter sido uma linha nesse contexto (Mon. Not. R. astr. Soc. 239, 201; 1989).”(Maddox, 1989, tradução nossa)<sup>5</sup>

Além disso, Maddox (1989) conclui sua crítica com:

“[...] O Big Bang em si é o ápice de uma cadeia de inferências que, no momento, não oferece explicação para os quasares e a origem da massa oculta conhecida no Universo. Será uma surpresa se ele, de alguma forma, sobreviver ao telescópio Hubble.”(Maddox, 1989, tradução nossa)<sup>6</sup>

A maior evidência atual para a quebra do paradigma da teoria do Big Bang são os dados interpretados pelo JWST, em que em diversas notícias é proposto a “quebrar o Universo”, ou pelo menos a visão cosmológica padrão que temos dele, com suas galáxias antigas e massivas confundindo teóricos, insinuando uma mudança nas teorias atuais, em que resolver esses problemas significa revisitar os fundamentos sobre evolução de galáxias (e como vimos, sobre o paradigma completo) (Mann, 2023).

Como Shamir (2024) explica:

“Essas observações intrigantes representam um desafio para a cosmologia: se os indicadores de distância forem precisos, o modelo cosmológico padrão está incompleto. Se as teorias cosmológicas padrão atuais estiverem completas, então os indicadores de distância podem não ser totalmente precisos. Ou seja, ou as teorias cosmológicas padrão precisam ser revisadas, ou o desvio para o vermelho como indicador de distância precisa ser revisado, mas é possível que os dois não possam coexistir sem modificações.” (Shamir, 2024, tradução nossa)<sup>7</sup>

Neves e Silva (2023) já disseram, em discussão sobre as anomalias decorrentes ao MCP:

---

<sup>5</sup> Luckily for the rest of us, moderate creationists' more impatient (and noisy) brethren seem more concerned to demonstrate that the whole world began just a few thousand years ago, which is why they have impaled themselves on the hook of trying to disprove the relatively recent (and terrestrial) geological record. But, in the long run, the impatient creationists will have to retreat to the Big Bang, for which reason it may be important that Donald Lynden-Bell, J. Katz and J.H. Redmount (the first and last from the University of Cambridge's Institute of Astronomy) have just published a calculation showing that, unless the average density of the Universe is so great that the present expansionist phase will be halted, the Big Bang could not have been a single point in space-time, but must at the very least have been a line therein (Mon. Not. R. astr. Soc. 239,201; 1989)

<sup>6</sup> [...] The Big Bang itself is the pinnacle of a chain of inference which provides no explanation at present for quasars and the source of the known hidden mass in the Universe. It will be a surprise if it somehow survives the Hubble telescope.

<sup>7</sup> These puzzling observations introduce a challenge to cosmology: if the distance indicators are accurate, the standard cosmological model is incomplete. If the current standard cosmological theories are complete, then the distance indicators may not be fully accurate. That is, either the standard cosmological theories need to be revised, or the redshift as a distance indicator needs to be revised, but the two may not be able to co-exist without modifications.

“Aqui podemos ver claramente anomalias profundas no paradigma: Halton Arp, de um lado, mostrando que os redshifts de quasares não eram cosmológicos, mas intrínsecos às galáxias, métodos de calibração/determinação de idade de estrelas mais velhas que o BB, o próprio editoralista da mais consagrada revista de ciência no mundo, a Nature, prevendo o fim do BB, etc. O universo infinito imaginado por Bruno e Digges parecia voltar à pauta. Entretanto, nem com Maddox, nem com o Hubble Space Telescope, o paradigma se manteve, acrescidos, novamente falando com seus três colossais epiciclos: expansão acelerada, matéria e energia escuras. Salvaram o fenômeno, como diriam os gregos (DUHEM, 1984).” (Neves; Silva, 2023)

Afinal, os modelos cosmológicos alternativos ao padrão deveriam ser revisitados, em que nestes podem ser encontrado respostas para as questões mais relevantes da astronomia e cosmologia atual, como o modelo do Universo estacionário. Como vimos anteriormente, o paradigma chega a uma crise de acordo com o aumento das suas anomalias, até a chegada de um novo paradigma. Neves e Silva (2023) discorrem:

“O espaço ultra profundo guarda os segredos que Bruno já havia divisado em sua defesa de um copernicanismo radical. O físico André Assis, escreveu, profeticamente, em 1992: “acreditamos que o universo é isotrópico, homogêneo e sem fronteiras (estendendo-se indefinidamente em todas as direções com uma densidade de massa constante). Isto significa que, em princípio, existem galáxias nas mais diferentes direções em relação a nós. Consequentemente, uma previsão é de que, com o desenvolvimento de instrumentos observacionais, encontraremos galáxias em distâncias cada vez maiores, sem limites [no espaço e no tempo] (in: ARP; KEYS, RUDNICKI, 1992).” (Neves; Silva, 2023)

## 9 - Referências

- ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D. **A história da Temperatura de 2,7 Kelvin antes de Penzias e Wilson**. 1995. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/2938670\\_History\\_of\\_the\\_27\\_K\\_Temperature\\_Prior\\_to\\_Penzias\\_and\\_Wilson](https://www.researchgate.net/publication/2938670_History_of_the_27_K_Temperature_Prior_to_Penzias_and_Wilson)>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- ASSIS, A. K. T.; NEVES, M. C. D. **O DESVIO PARA O VERMELHO REVISITADO**. Em: O. Freire Jr. e S. Carneiro (orgs.); *Ciência, Filosofia e Política: Uma Homenagem a Fernando Bunchaft*. Salvador: EDUFBA, 2013. págs. 53-69. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Assis-Neves\(2013\).pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~assis/Assis-Neves(2013).pdf)>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- BECKWITH, S. V. W. et al. **The Hubble Ultra Deep Field**. *AJ: The Astronomical Journal*, v. 132, n. 5, set. 2006. Disponível em: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1086/507302/meta>>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- BLANC, C. **O grande livro da mitologia egípcia**. São Paulo: Camelot, 2021. p. 144.
- BRITANNICA. **Nut - Egyptian Goddess**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/topic/Nut-Egyptian-goddess>>. Acesso em: 20 de dez. 2024.
- FONTES, C. **Thomas Kuhn e a Racionalidade Científica**. *Navegando na Filosofia*. Disponível em: <<http://www.filorbis.pt/filosofia/11.ThomasKhun.htm>>. Acesso em: 28 de nov. 2024.
- KUHN, T. **A estrutura das revoluções científicas**. 12. ed. São Paulo: Perspectiva, 2013.
- MADDOX, J. **Down with the Big Bang**. *Nature*, v. 340, p. 425, 1989. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/340425a0>>. Acesso em: 06 de nov. 2024.
- MANN, A. **The James Webb Space Telescope prompts a rethink of how galaxies form**. *PNAS: Proceeding of the National Academy of*

Sciences, v. 120. n. 32, ago. 2023. Disponível em:

<<https://www.pnas.org/doi/full/10.1073/pnas.2311963120>>. Acesso em: 04 de nov. 2024.

- NASA. **Hubble's Deep Fields - NASA Science**. Disponível em: <<https://science.nasa.gov/mission/hubble/science/universe-uncovered/hubble-deep-fields/>>. Acesso em: 20 de dez. 2024.
- NEVES, M. C. D. **A questão controversa da cosmologia moderna: Hubble e o infinito - parte 1**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 17, n. 2, p. 189-204, 2000a. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6772>>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- NEVES, M. C. D. **A questão controversa da cosmologia moderna: Uma teoria e suas incongruências - parte 2**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 17, n. 2, p. 205-228, 2000b. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6774>>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- NEVES, M. C. D. **DO MUNDO FECHADO DA ASTRONOMIA À COSMOLOGIA DO UNIVERSO FECHADO DO BIG BANG: REVISITANDO NOVOS DOGMAS DA CIÊNCIA ASTRONÔMICA**. In: — (org.). Estudos de História e Filosofia das Ciências: Subsídios para Aplicação no Ensino. Livraria da Física, 2006. p. 139-166. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/355176514\\_DO\\_MUNDO\\_FECHADO\\_DA\\_ASTRONOMIA\\_A\\_COSMOLOGIA\\_DO\\_Universo\\_FECHADO\\_DO\\_BIG\\_BANG\\_REVISITANDO\\_NOVOS\\_DOGMAS\\_DA\\_CIENCIA\\_ASTRONOMICA](https://www.researchgate.net/publication/355176514_DO_MUNDO_FECHADO_DA_ASTRONOMIA_A_COSMOLOGIA_DO_Universo_FECHADO_DO_BIG_BANG_REVISITANDO_NOVOS_DOGMAS_DA_CIENCIA_ASTRONOMICA)>. Acesso em: 28 de nov. 2024.
- NEVES, M. C. D.; SILVA, J. A. P. **IMAGENS, ANOMALIAS E REVOLUÇÕES: FAREWELL TO BIG BANG**. Problemata: Revista Internacional de Filosofia, v. 14, n. 4, p. 143-161, dez. 2023. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Neves-6/publication/376718417\\_IMAGENS\\_ANOMALIAS\\_E\\_REVOLUCOES\\_FAREWELL\\_TO\\_BIG\\_BANG\\_IMAGES\\_ANOMALIES\\_AND\\_REVOLUTIONS\\_FAREWELL\\_TO\\_BIG\\_BANG/links/6584e5f16f6e450f19901268/IMAGENS-ANOM](https://www.researchgate.net/profile/Marcos-Neves-6/publication/376718417_IMAGENS_ANOMALIAS_E_REVOLUCOES_FAREWELL_TO_BIG_BANG_IMAGES_ANOMALIES_AND_REVOLUTIONS_FAREWELL_TO_BIG_BANG/links/6584e5f16f6e450f19901268/IMAGENS-ANOM)>

[ALIAS-E-REVOLUCOES-FAREWELL-TO-BIG-BANG-IMAGES-ANOMALIES-AND-REVOLUTIONS-FAREWELL-TO-BIG-BANG.pdf](#)>. Acesso em: 04 de nov. 2024.

- OKS, E. **Brief review of recent advances in understanding dark matter and dark energy**. New Astronomy Reviews, v. 93, dez. 2021. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/2111.00363>>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- SANDERS, R. H.; MCGAUGH, S. S. **Modified Newtonian Dynamics as an Alternative to Dark Matter**. Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics, v. 40, p.263-317, set. 2002. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/astro-ph/0204521>>. Acesso em: 04 nov. 2024.
- SHAMIR, L. **An empirical Consistent Redshift Bias: A Possible Direct Observation of Zwicky's TL Theory**. Particles, v. 7, n. 3, ago. 2024. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2571-712X/7/3/41>>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- SMOOT, G. F. **The Cosmic Background Radiation**. EPJ: The European Physical Journal, v. 15, n. 1, mar. 2000. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/226268364\\_Cosmic\\_background\\_radiation](https://www.researchgate.net/publication/226268364_Cosmic_background_radiation)>. Acesso em: 04 de nov. 2024.
- TORT, A. C. **Tópicos de Física Contemporânea: O efeito Doppler relativístico**. Rio de Janeiro: UFRJ, 23 maio 2014. Material didático. Disponível em: <[http://pef.if.ufrj.br/producao\\_academica/material\\_didatico/2014/Tort\\_DopplerRR.pdf](http://pef.if.ufrj.br/producao_academica/material_didatico/2014/Tort_DopplerRR.pdf)>. Acesso em: 04 de nov. 2024.