



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS VIII
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIA E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA**

AMARAL RODRIGUES DE FREITAS

**SOBRE AS CONCEPÇÕES HISTÓRICAS DO ÉTER E NOVAS PROPOSTAS DE
UM ÉTER MODERNO**

**ARARUNA-PB
2024**

AMARAL RODRIGUES DE FREITAS

**SOBRE AS CONCEPÇÕES HISTÓRICAS DO ÉTER E NOVAS PROPOSTAS DE
UM ÉTER MODERNO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada ao Programa de graduação em Física da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Física.

Área de concentração: Física.

Orientador: Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos.

**ARARUNA-PB
2024**

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F866s Freitas, Amaral Rodrigues de.
Sobre as concepções históricas do éter e novas propostas de um éter moderno [manuscrito] / Amaral Rodrigues de Freitas. - 2024.
46 p. : il. colorido.

Digitado.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências, Tecnologia e Saúde, 2024.
"Orientação : Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos., Coordenação do Curso de Física - CCTS."
1. Cosmologia. 2. Física. 3. Cosmologia moderna. I. Título
21. ed. CDD 523.1

AMARAL RODRIGUES DE FREITAS

SOBRE AS CONCEPÇÕES HISTÓRICAS DO ÉTER E NOVAS PROPOSTAS DE
UM ÉTER MODERNO

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentada ao Programa de graduação
em Física da Universidade Estadual da
Paraíba, como requisito parcial à obtenção
do título de licenciado em Física.

Área de concentração: Física.

Aprovada em: 27 / 06 / 2024.

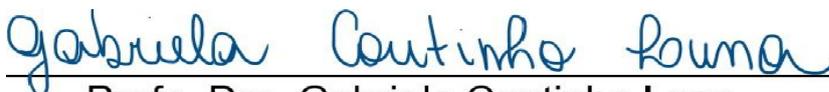
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Jamilton Rodrigues dos Santos (Orientador)
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Dr. Mário Cesar Soares Xavier
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Profa. Dra. Gabriela Coutinho Luna
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)

RESUMO

Nesse trabalho, busca-se enfatizar a importância de um resgate histórico e físico do Éter, desde a antiguidade, e como se tornou ator principal nas discussões em torno de todo o século XIX, até os dias atuais. Além de as diversas interpretações e aparatos teóricos para sustentar a hipótese de um Éter filosófico, luminífero e moderno, que seja capaz de se adequar aos princípios dos fenômenos que tentam explicar a gravidade, a luz e posteriormente alguns problemas na cosmologia moderna. É de suma importância compreender as ideias que constituem a Relatividade Especial, não apenas deu empasse no desenvolvimento teórico do Éter, como, de certa maneira, consolidou uma nova era de novas interpretações para modelos da Física atual, invariavelmente no ramo dos principais temas da cosmologia e Física quântica. É importante esclarecer que há uma linha central na teoria do Éter, que foi se adaptando ao longo dos séculos, dependendo das motivações e dos novos modelos filosóficos e teóricos que se dispunham a tentar buscar uma melhor explicação da natureza, mesmo possuindo diferentes interpretações para o mesmo. Atualmente, o conceito de Éter, tendo sofrido baixas e altas em sua aceitação no campo da Física, vem se consolidando como uma ferramenta essencial para resolver as principais questões que ainda estão em aberto, como no caso energia escura e da constante cosmológica. Logo em linhas gerais, demonstraremos a evolução histórica do conceito de Éter em diferentes facetas, evidenciando os principais arca-bouços que estruturam as novas perspectivas de um Éter moderno na cosmologia moderna.

Palavras-Chave: Éter; Cosmologia moderna; Constante cosmológica.

ABSTRACT

This work seeks to emphasize the importance of a historical and physical review of the Ether from antiquity and how it became a principal actor in discussions throughout the entire nineteenth century to the present day. It also covers the various interpretations and theoretical frameworks to support the hypothesis of a philosophical, luminiferous, and modern Ether that can adapt to the principles of phenomena that attempt to explain gravity, light, and subsequently some problems in modern cosmology. It is of utmost importance that this work demonstrates that the ideas constituting Special Relativity not only posed a challenge to the theoretical development of the Ether but also, in a way, consolidated a new era of new interpretations for current Physics models, invariably in the realm of the main themes of cosmology and quantum physics. It is important to clarify that there is a central line in the theory of Ether that has adapted over the centuries, depending on the motivations and new philosophical and theoretical models that sought a better explanation of nature, despite having different interpretations of it. Even today, the concept of Ether, having suffered highs and lows in its acceptance in the field of Physics, is consolidating as an essential tool to solve the main questions that remain open, such as dark energy and the cosmological constant. Therefore, in general terms, this work demonstrates the historical evolution of the concept of Ether in different facets, highlighting the main frameworks that structure the new perspectives of a modern Ether in modern cosmology.

Keywords: Ether; Modern cosmology; Cosmological constant.

Sumário

1 INTRODUÇÃO	6
2 ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DO ÉTER COMO ELEMENTO CLÁSSICO.....	9
2.1 O Éter Luminífero	16
2.1.1 O arrasto do éter e o experimento de Michelson-Morley.....	19
3 ÉTER MODERNO	27
3.1 Einstein e a constante cosmológica repulsiva	27
3.2 A constante cosmológica no vácuo quântico.....	29
3.3 Os desafios da cosmologia para correção da idade do universo na década de 70	30
3.4 Alan Guth e a inflação cósmica.....	32
3.5 Energia escura e quintessência.....	33
3.6 Novas propostas para o éter moderno.....	36
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
REFERÊNCIAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Motivados pelo desejo de uma busca histórica da evolução do conceito do éter e como a sua presença está entrelaçada no próprio desenvolvimento da Física Moderna e Contemporânea, esta pesquisa foi desenvolvida. Complementam-se os conceitos do éter filosófico, luminífero e os estudos voltados as áreas da Cosmologia Moderna, com ênfase à energia escura. Este trabalho também busca uma melhor compreensão do estudo da física do éter, que passou por diversas mudanças em sua etimologia, desde a antiguidade até os dias atuais.

Nas primeiras interpretações sobre os diferentes conceitos sobre o éter, voltamos a Grécia clássica, onde os filósofos gregos, particularmente os atomistas – Leucipo, Demócrito e Epicuro – introduziram o conceito de um espaço vazio, onde átomos, definido por Demócrito como matéria indivisível, se movimentavam por esse espaço, onde não houvesse qualquer forma de matéria. Essa nova ideia foi alvo de críticas, pois implicaria na ausência completa do vazio absoluto, o que para os gregos seria algo impensável, principalmente no âmbito filosófico.

Alguns desses filósofos não aceitavam a ideia de um espaço puramente vazio e absoluto e trouxeram alternativas para adicionar novas hipóteses, de modo a derrubar o conceito de vácuo, um espaço desprovido de qualquer substância material, considerada impossível. Como cita Martins (2010), esses pensadores atomistas sofreram rejeição generalizada de quase todos os filósofos antigos, principalmente dos chamados eleatas, que eram seguidores de Parmênides (540 – 450 a.C.), o principal crítico da teoria do espaço vazio.

Ainda segundo Martins (2010), a inexistência do espaço vazio foi reforçada quando Platão e Aristóteles estabeleceram as bases do nascimento do éter e a separação do mundo material e terreno e do mundo dito supralunar, quando se normalizou a proposta dos quatro elementos (terra, água, ar e fogo), responsáveis pela formação de todas as coisas do mundo abaixo da esfera celeste, em oposição dos objetos além da esfera lunar, que segundo eles, teria em abundância a substância do éter, permeando todo o cosmos. O termo éter tem a mesma raiz etimológica em que se origina a palavra eterno. Conceito confluyente a imutabilidade aparente do céu, com seu fundo estelar em que não se identificava alteração.

Para autores como Lloyd (1968), a ideia de um éter como elemento que permeia todo o universo e que se caracteriza como uma entidade sutil e imperceptível

e sendo a base que dá forma as estrelas e aos outros planetas. Lloyd (1968) faz menção a posição de Aristóteles diante do éter: “Acreditando que os movimentos dos corpos celestes são contínuos, naturais e circulares, e que os movimentos naturais dos quatro elementos terrestres são retilíneos e descontínuos, Aristóteles concluiu que os corpos celestes devem ser compostos por um quinto elemento, aether [assim usado].” Isso simboliza como o éter estava arraigado na própria forma do pensamento da Filosofia da época e que não era simplesmente um mecanismo para explicar o universo.

Com o tempo, o éter foi usado para explicar a presença de distúrbios não identificados. Por exemplo, em Martins (2010) podemos observar que o suporte das estrelas no universo foi uma das questões que ajudaram a fortalecer o conceito de éter. Assim como a terra, o ar, o fogo e a água eram considerados os elementos constituintes da matéria terrestre, o éter apareceu como o quinto elemento, responsável pela formação dos Planetas e do Sol. Que assim como respiramos o ar, a nossa volta, o éter foi considerado o elemento que os deuses respiravam, localizado além das estrelas, admitia-se que seu movimento era circular e sua essência era perfeita. Desse modo, dado que o éter preenche todo o espaço do universo, o conceito de vácuo não existe.

Grant (1996) cita que durante a idade média, Aristóteles foi a autoridade indiscutível durante séculos. Soma-se a isso o receio de questionar as leis estabelecidas nos textos sagrados ao longo dos séculos seguintes, o que dificultou a divulgação e até impediu o desenvolvimento de pesquisas que pudessem questionar o pensamento dominante. O éter, por sua vez, foi esquecido por não ter impacto direto no cotidiano das pessoas. A investigação nesse período foi frequentemente influenciada por crenças religiosas e não explorava plenamente as possibilidades disponíveis. Mesmo na ocorrência de descobertas promissoras, foram frequentemente abandonadas. Para Dobbs (1983), o éter, na idade média, forneceu base para o estudo e o desenvolvimento da alquimia, voltado para práticas medicinais. Além disso, o mesmo recebe o nome de quintessência, nome em latim para o quinto elemento. É claro, aqui os estudiosos medievais ainda trazem muito da herança aristotélica, tanto no aspecto dos quatro elementos fundamentais quanto na composição dos corpos celestes.

É importante salientar que após a Grécia clássica, o conceito de éter sofreu diversas modificações para se adaptar aos diversos propósitos que convinham

àqueles que, indubitavelmente, estabeleceram novos modelos de explicar o universo e suas leis, especialmente no florescimento e na evolução daquilo que denominamos de ciência moderna (Martins, 2010).

Podemos evidenciar que a cada passo que a Ciência dava, e aqui devemos nos fixar na Física no qual o conceito de éter foi muito mais explorado em suas devidas proporções, o éter também elencava sua importância, seja para tentar explicar determinado fenômeno da Física relacionado a modelos cosmológicos e posteriormente da luz, seja para se adaptar como alternativas de explicações ad hoc, como ocorreu em determinadas situações, como o episódio do experimento de Michelson-Morley em 1887 e com a Relatividade Restrita – vide Paes (1995). Neste contexto, o éter já passara a ter aspectos de explicações de caráter científico e passa a ser denominado de éter luminífero que em termos simples, servia como um meio para a propagação da luz, claramente possuindo um caráter físico, capaz de se adequar, em meio aos estudos da recente descoberta do eletromagnetismo e do comportamento da luz.

A necessidade de uma referência absoluta não é apenas uma questão hipotética. De fato, os físicos precisavam incorporar em suas teorias o fato da luz se constante em um determinado sistema de referência que se tornou inexplicavelmente constante. A velocidade da luz, fótons ou ondas eletromagnéticas, tem valor absoluto de cerca de 300.000 km/segundo; mas absoluto em relação a quê? Na teoria do éter luminífero: ao éter.

Em outra vertente, frente a mudanças em seu conceito e considerando os vários experimentos e artigos publicados na segunda metade do século XX, especialmente aqueles que envolviam Supernovas do Tipo IA, a hipótese do éter é vista como uma ferramenta plausível para explicar modelos da cosmologia moderna, voltado para o estudo da energia escura, inicialmente, isto reflete com um termo acrescido nas equações de campo de Einstein. A condição de constância foi relaxada e podemos associar a quintessência aos campos escalares, como alternativa para explicar essa aceleração do cosmos, algo já experimentado no contexto da inflação cósmica, ou mesmo em estudos da Teoria Quântica de Campos (Mukhanov).

2 ORIGEM E DESENVOLVIMENTO DO ÉTER COMO ELEMENTO CLÁSSICO

A origem do éter possui relação com abordagens mitológica, metafísica e filosófica. Isso permite várias maneiras de abordar a concepção desse conceito que sofreu modificações ao passar dos séculos, possibilitando ao éter ressurgir em diferentes facetas em sua estrutura conceitual. Para haver luz a esse estudo, faz-se necessário aprofundar cada etapa dessas mudanças, principalmente para chegar a uma definição em sua definição e aplicação em modelos que tentam explicar alguns fenômenos da Física e Astronomia atualmente.

De acordo com Hobart (2018), a origem da palavra éter deriva de origem mitológica e vem do grego homérico que simboliza conceitualmente “ar puro e fresco” ou “céu cristalino”; e que, segundo os gregos, era a substância responsável por permeiar todo o universo e ser o ar que os deuses podiam respirar, fazendo referência ao ar que os humanos respiram.

A priori devemos entender inicialmente como os gregos e seus filósofos viam o mundo a sua volta, isto é, como eles desenvolviam sua própria visão de mundo. Segundo Martins (2010) na Grécia clássica existiam os chamados filósofos que eram conhecidos como atomistas, podemos citar Leucipo e Demócrito, que desenvolveram a ideia de um espaço completamente vazio e infinito, chamado de vácuo, no qual movimentavam sem interação nenhuma por esse espaço singular.

Conforme Martins (2010), muitos filósofos desacreditaram dessa ideia e fomentaram críticas a concepção do espaço infinito e vazio dos atomistas, um desses foi Parmênides (aprox. 540 – 450 a. C.), que admite ser impossível pensar sobre algo que não existe. Essa concepção do filósofo grego se volta para o seu principal trabalho sobre o Ser e a realidade. Ele argumenta que o Ser, ou seja, aquilo que é e deve ser é indubitavelmente eterno, imutável, sem divisões e contínuo. Logo, o Ser é uno e homogêneo, sem propriedades de partes ou características de divisões. O não ser, ou vazio, não possui em sua essência e significado próprio e natural, a existência. Para este filósofo é impossível pensar ou falar sobre o não-ser, porque ele não possui qualquer propriedade em sua essência da realidade. Pensar sobre o não-ser é assim um contrassenso, pois o próprio pensar implica na existência, e o não-ser não existe.

Outro ponto que Parmênides traz à tona tem relação à imutabilidade do Ser, ou seja, o Ser não pode mudar. Essa mudança implicaria que algo que é se torna algo

que não é ou vice-versa, o que é impossível. Portanto, ele conclui que o Ser é eterno e imutável.

Os argumentos de Parmênides em oposição ao estado vazio e infinito do universo influenciou uma gama de seguidores, que além de concordarem com suas ideias, desenvolveram outros argumentos para refutarem o vazio dos atomistas (Martins, 2010). Esses seguidores eram conhecidos como eleatas, dentre eles Zenão de Eleia (aprox. 490 – 430 a. C.), famoso por seus paradoxos e por defender as ideias de seu mestre e que criou argumentos pautados na concepção de mostrar a impossibilidade de raciocinar sobre o movimento e a multiplicidade, o que leva a conclusões absurdas. Outro importante seguidor é Melisso de Samos (aprox. 500 – 440 a. C.), que expandiu as ideias de Parmênides, defendendo que o Ser é infinito e eterno, argumentando que o Ser é imutável e uno, e que qualquer noção de mudança ou multiplicidade é ilusória. Diferentemente de seu mestre, Melisso sustentou que o Ser é infinito tanto no tempo quanto no espaço. Em linhas gerais, afirma Martins (2010) que os princípios dos eleatas estão pautados na crença de que a realidade é contida em uma única substância, o Ser, sendo eterno e imutável, e a rejeição do movimento e da mudança.

Outros autores defenderam a ideia de um espaço preenchido pelo éter, como é o caso de Platão e Aristóteles. Esses dois, especialmente Aristóteles construíram um alicerce sobre suas concepções de universo que se mantiveram por quase dois mil anos.

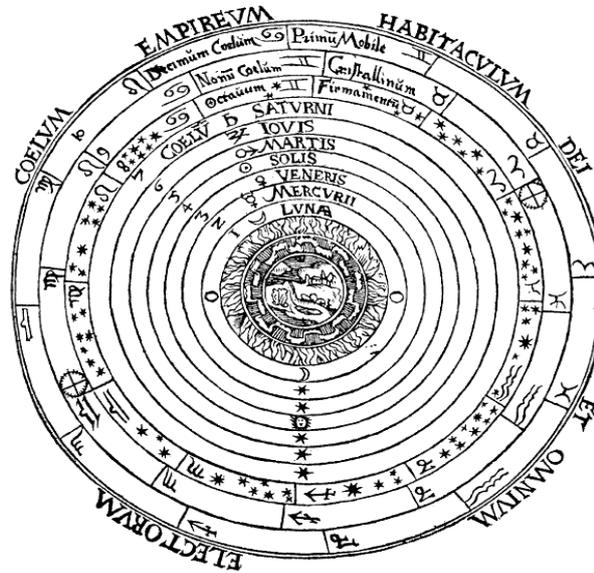
Para entendermos as ideias desses dois filósofos sobre o éter, teremos que retornar a Empédocles (aprox. 495 a. C.) conhecido principalmente pela sua teoria dos quatro elementos fundamentais: terra, água, ar e fogo. Ele acreditava que esses elementos eram imutáveis e eternos, e que todas as transformações no mundo resultam de diferentes combinações e separações desses mesmos elementos. De acordo com Kalderon (2023), Platão (427 – 347 a.C.), além de concordar com os quatro elementos de Empédocles, em seu Timeu, considera que o ar é em sua essência um meio translúcido que ele denominou de éter. Dessa maneira também podemos inferir que o próprio Platão considera que o éter, por ser essa substância de características translúcida, deveria ocupar todo o universo.

Por outro lado, temos as contribuições de Aristóteles (384 – 322 a. C.) para o estudo sobre o éter. Segundo Martins (2010), a concepção de Aristóteles sobre o éter se assemelha muito com a dos eleatas, mas que possui outras atribuições feitas pelo

filósofo. Aqui traz a impossibilidade de conceber um espaço puramente vazio, como se apresenta aparentemente entre os corpos celestes, e que por isso haveria a presença do éter, translúcido e imperceptível, como substância que permeia todo o espaço. Martins (2010) ainda afirma que os argumentos de Aristóteles para refutar o vazio do espaço se pautam na negação de mudança, já que os espaços vazios difeririam um do outro, sendo que eles possuíam propriedades diferentes entre si, e isso não deveria ser possível, já que os espaços vazios deveriam ser iguais com relação aos seus pares. Tendo assim rejeitado a ideia de um espaço vazio, Aristóteles admite que os espaços, teoricamente vazios, agora seriam preenchidos de matéria a qual ele atribuiu certas propriedades e características específicas.

Para Hahm (1982), Aristóteles determina um novo elemento capaz de se adequar ao sistema de elementos clássicos na filosofia grega antiga, é composta pelos quatro elementos que Empédocles denominou como terra, água, ar e fogo. Esses quatro elementos seriam os formadores de toda matéria que estaria abaixo da esfera lunar. Além disso, estariam sujeitos a mudanças e moviam-se de maneira natural e linear, diferenciados como movimento natural e violento. Todavia, ainda havia a necessidade de explicar o mundo supralunar, considerado sagrado e incorruptível, e que Aristóteles, como já foi dito anteriormente, adiciona o elemento éter, o quinto elemento, sendo disposto acima da Lua até os corpos celestes mais distantes que se moviam em círculos, dando o formato de esferas girando em torno da Terra, como em um modelo de cebola cósmica, ilustrado na Figura 1, abaixo:

Figura 1 – O sistema do cosmos e o mundo supralunar imaginado por Aristóteles.
 Schema huius præmissæ diuisionis Sphærarum .



Fonte: elbarrildenewton (2017)

De acordo com Hahm (1982), temos um vislumbre do formato e estrutura do cosmos imaginado por Aristóteles, um universo constituído por esferas celestes mergulhados no éter, girando circularmente em torno da Terra. Essa percepção de universo influenciou fortemente autores posteriores e contribuiu para cravar o modelo geocêntrico como padrão durante toda a idade média.

Lloyd (1968) identifica algumas propriedades específicas do éter de Aristóteles que permeia o mundo supralunar sendo ele amplamente diferente dos quatro elementos, incapaz de movimento qualitativo ou quantitativo, e que só poderia se mover localmente. Esse éter ainda se moveria naturalmente em círculos, sem movimento reverso ou antinatural. Aristóteles também afirmou que a esfera celeste, composta pelo éter continha as estrelas e os planetas. A ideia de que a esfera, formada de éter, se movia em círculos naturais levou Aristóteles a explicar as órbitas verificadas com os planetas e estrelas que se moveriam em formas circulares dotadas de perfeição.

Martins (2010) indica que Aristóteles atribuiu a nomenclatura *Aether*, que estaria associada a luz e que poderia ser aplicada as características de um céu azul e brilhante observado no dia-a-dia. Ainda afirma Martins (2010), o éter possui capacidade de transportar a luz proveniente do Sol e isso só é capaz porque o éter preenche essa região do espaço entre o Sol e à Terra.

O modelo de universo com órbitas circulares definidas por Aristóteles se tornou padrão durante quase toda a idade média, porém a discussão do quinto elemento, estava relacionada a propriedades de densidade. Segundo Grant (1996), a proposição da existência do éter estaria voltada quase que exclusivamente a um tipo de material com variação de densidade que depende de sua localização no espaço que corresponde aos planetas e estrelas, que continham um éter mais denso que o resto que formava todo o universo. Fludd (1659), denotou o éter possuindo características de penetrante e não material, sendo mais sutil que a própria luz.

Para Taylor (1976), o éter, que tinha sido atribuído o termo latim *Quintessência*, referência ao modelo de quinto elemento de Aristóteles, foi concebido também na prática de estudo voltado para a arte da alquimia medieval, se apropriando aos modelos alquímicos que eram desenvolvidos pelos estudiosos, principalmente na alquimia medicinal. Como o éter tinha essa propriedade de ser algo celestial e divino, muitos desses alquimistas atribuíam o éter como substância necessária para produção de remédios e elixires capazes de curar qualquer tipo de doenças e aflições.

A partir daqui, as concepções de éter se baseiam em formulações para propriamente físicos e matemáticos, especialmente a partir do século XVI e XVII, onde muitos cientistas tentavam buscar explicações para os fenômenos físicos recorrendo ao éter.

René Descartes, filósofo e matemático francês do século XVI, postulou o éter como um elemento fluido e contínuo capaz de preencher todo o espaço. Segundo Harrison (1981), Descartes também atribuiu ao mundo as mesmas propriedades que os gregos antigos no que tange o vácuo ou vazio, portanto permitiria descrever o éter contido nesse vazio pelo universo. Esse éter como um fluido contínuo que ocuparia todo o espaço, mas que não estaria disponível no local onde os corpos sólidos estariam localizados. Para ele ainda fornece outra ação importante para o éter, que é a capacidade de se comportar como uma espécie de sistemas de vórtices entrelaçados por diversos turbilhões; seriam esses vórtices, permeando todo o espaço, que iriam mediar suas interações no vácuo. Esses vórtices de éter, transportariam os planetas, imersos nesses redemoinhos, por conseguinte o éter estaria associado aos efeitos gravitacionais.

Também para Descartes, os planetas descreveriam órbitas circulares. Como descreve Harrison (1981), Descartes refere-se ao éter como um tipo diferente da

matéria comum e que formaria um espaço com matéria girando em torno de vórtices grandes e pequenos.

Segundo Cohen (1985), Isaac Newton (1642 – 1727), também considerou a possibilidade de o éter ser introduzido na Teoria da Gravitação Universal, em meados do século XVII. É importante frisar que o éter de Newton possui algumas diferenças ao éter de Descartes, e a principal está relacionada ao éter do tipo partícula, ou éter particulado, enquanto o éter descrito por Descartes era puramente fluido.

Newton publica em 1687, no Principia, o modelo de gravitação que descreve como os planetas orbitam o Sol em órbitas elípticas, em que esses corpos celestes se moveriam em interações dinâmicas descritas pela sua lei da Gravitação Universal. Contudo, conforme afirma Rosenfeld (1969), Newton busca explicar a interação gravitacional à distância realizada pelos planetas, por meio de um mecanismo que se propagaria por intermédio do éter como proponente responsável. Newton ainda conceberia a gravitação como resultado de impulsos como um jato de correntes constituído de partículas de éter que iria bombardeando os corpos de cima para baixo em direção aos planetas, assim como ocorreria na Terra.

Para ele a luz era constituída de pequenas partículas que ele denominou de corpúsculos e que os raios de luz seriam formados por um fluxo de partículas se movimentando em linha reta onde, partículas de luz estimulam ou acompanham as vibrações do éter que está em todo o espaço. Esse éter que flui de maneira contínua pelo espaço é o que ele denominou como o efeito da força gravitacional, agora sem a necessidade de agir a distância, o que seria deferível para uma explicação plausível do modelo newtoniano da gravidade, já que muitos cientistas criticavam essa ação a distância que a gravidade forneceria aos objetos, sem necessariamente um está em contato com outro.

No ano de 1717, Isaac Newton publica uma nova edição do seu livro Óptica, como algumas ressalvas e novas considerações sobre o seu modelo de gravidade. Em sua nova versão o éter possui algumas novas propriedades, ele é visto como meio suave e que transmitiria as forças provenientes dos efeitos gravitacionais como coesão e repulsão, onde a matéria viria a ser contida em sistemas organizados. Segundo Rosenfeld (1969), a principal adição ao conceito de éter estaria relacionada a suposição de Newton de que o éter era em linhas gerais mais denso nas regiões de espaço vazio em relação ao espaço próximo dos corpos rígidos, como planetas e asteroides, ou seja, isto explicaria porque o éter é mais raro nas regiões contendo

esses objetos massivos. Newton chama esse fenômeno de densidade variável, já que há certa diferença nas densidades do éter, dependendo da sua localização no espaço.

Além dessas novas interpretações que Newton atribui para o éter, ele propriamente não desenvolve em aprofundamento esse novo conceito baseado no éter, já que ele em determinado momento abandona a ideia de um modelo de gravidade sustentada na existência de um éter capaz de promover a interação de forças à distância entre os corpos rígidos, mudando para um modelo puramente mecânico e por ação de forças de atração. Percebemos que a ideia do éter foi relevante para o desenvolvimento dos primeiros modelos físicos desenvolvidos no início da Física Clássica.

Após Newton, houveram diversos físicos e matemáticos proeminentes que contribuíram para a postergação do éter, como veremos a seguir muitos desses estudiosos construíram modelos próprios atribuindo condição de levar o éter a um real modelo para explicar as interações que ocorriam no decorrer de novas teorias que iam surgindo. Nesse âmbito, Layzer (1985) cita Christian Huygens (1629 – 1695) matemático, astrônomo e físico holandês que elaborou um éter estacionário e gravitacional, sendo este propondo a teoria ondulatória da luz, onde a luz se propagaria em termos de ondas longitudinais por meio de um éter estacionário com velocidade de propagação limitada. Este éter é contínuo em torno do espaço, contendo partículas duras e elásticas que podem transmitir impulsos sem se mover. Huygens concordava com a ideia de Descartes sobre o redemoinho de vórtices para explicar os efeitos da gravidade e para tentar provar experimentalmente essa hipótese ele induziu, em um balde com água e pedras, um redemoinho que fez com que as pedras fossem jogadas para o meio do balde e isso para Huygens foi suficiente para provar a hipótese dos vórtices de éter proposta por Descartes.

Leonhard Euler (1707 – 1783) matemático e físico suíço, concebeu o éter como um meio universal, transmitindo não apenas a luz como também tendo a capacidade de transmitir forças elétricas, magnéticas e gravitacional, mas que seria adepto ao modelo de éter ondular da luz, diferente do modelo corpuscular de Newton. Pierre Simon de Laplace (1749 – 1827) matemático e astrônomo francês, também traz o éter como uma densidade variável e que essa densidade era em grau de proporcionalidade à distância radial ao centro de um objeto massivo, sendo o Sol um desses objetos, e que a gravidade seria originária de um tipo de impulso ou onda gravitacional pelo meio formado de éter.

Ainda no século XVII Robert Boyle também propõe seu modelo de éter que consistia na composição de partículas extremamente finas. Essas partículas desempenham dois papéis principais: um tipo de partícula etérica, que impede a existência de um vácuo absoluto, preenchendo o espaço e permitindo interações mecânicas entre objetos macroscópicos e outro tipo de partícula, responsável por explicar fenômenos como o magnetismo e possivelmente a gravidade; esses fenômenos não podem ser explicados apenas pelas interações mecânicas tradicionais. Nas palavras de Boyle:

...embora no éter dos antigos não houvesse nada percebido além de uma substância difusa e muito sutil; ainda assim, estamos atualmente satisfeitos em admitir que há sempre no ar um enxame de correntes que se movem em um curso determinado entre o polo norte e o polo sul (BOYLE, 1772, P.316).

Até esse ponto podemos distinguir as etapas na construção do modelo do éter desde a antiguidade, porém como veremos adiante, o éter passará por uma revolução, envolta de reviravoltas e discussões no âmbito da Física, que teria um grande salto no desenvolvimento de teorias revolucionárias, centro de grandes debates dos séculos XIX e XX, sendo o éter um dos grandes símbolos dessas novas teorias de grande importância para a Física.

2.1 O Éter Luminífero

Para se compreender o conceito de éter luminífero é preciso que se tenha conhecimento sobre o contexto em que a Física se encontrava a partir do século XIX, especialmente quando se trata sobre os princípios do estudo da luz.

À época de Newton, a teoria corpuscular da luz foi soberana, porém haviam problemas para que a hipótese de Newton sobre a luz conseguisse explicar de maneira satisfatória alguns fenômenos provenientes da luz, especialmente a interferência e a difração. Por conta disso, a hipótese corpuscular tornou-se alvo de muitas críticas, Martins (2010). Muitos desses críticos se voltaram para o modelo de ondas, desenvolvido por Huygens.

Nessa perspectiva, a hipótese do éter deixará de ser um meio, uma substância que não interage com a matéria, para se tornar uma ferramenta essencial para explicar alguns fenômenos da Física. Thomas Young (1773 – 1829) e Augustin Fresnel (1788

– 1827) desenvolveram uma teoria ondulatória para a luz, em que essas ondas se moveriam transversalmente, diferentemente das longitudinais propostas por Huygens (Martins, 2010, p. 43). No entanto, era necessária uma nova maneira de conceber o éter. Foi Young que considerou o éter luminífero se comportando com as propriedades de um gás. Esse gás era o responsável por transportar as ondas transversais, no contexto em que Young conseguiu realizar seu famoso experimento de dupla fenda e que o possibilitou detectar e medir com bastante precisão o comprimento das ondas de luz, consolidando a derrocada do modelo corpuscular de Newton; o modelo ondulatório se tornou a base para os primeiros trabalhos do campo da Óptica (Martins, 2010, p. 43).

Sendo a luz proveniente de ondas mecânicas, único modelo conhecido à época, era preciso definir um meio de propagação, já que a luz apenas se moveria pelo espaço se houvesse algo que a transportasse; era inconcebível a concepção de que ondas mecânicas se movessem no vácuo. A ideia seria semelhante e logo Thomas Young e muitos outros admitiram o éter como meio transportador para o modelo ondulatório da luz. Daí surge o termo *éter luminífero*, aquele que conduz luz, sendo o seu portador.

Outros cientistas desenvolveram modelos semelhantes ao de Young para o éter, dentre eles Étienne Louis Malus (1775 – 1812) que em 1808 fez a descoberta da polarização da luz e que propôs o éter como um gás rígido. O efeito da polarização contribuía para ver as ondas transversais da luz e assim no ano de 1817, o físico francês Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827) consolidou o modelo de ondas transversais, possibilitando novas ferramentas matemáticas para explicação dos fenômenos conhecidos da luz.

Augustin Cauchy (1789 – 1857) matemático francês e George Stokes (1819 – 1903) físico e matemático britânico inferiram o éter como sólido e elástico, e que na visão deles as ondas transversais eram suficientemente sólidas e que não se comprimiam nem se dilatavam, permitindo que os objetos de matéria passassem por ele (Miller, 1933, p. 239). Stokes salientou que o éter era impedido de movimentar livremente por si só e que de alguma maneira teria seu movimento restringido. Logo significa que objetos como a Terra, por exemplo, não só possuem éter fluindo através de sua massa, mas também arrasta o éter consigo.

A contribuição massiva para sustentação do éter até os dias atuais foi em parte graças aos estudos sobre uma nova área que surgiu no século XIX, o

eletromagnetismo. Para Martins (2010), os contribuintes desse novo ramo de estudos deram nova vida ao éter luminífero. Estudiosos como Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806), André-Marie Ampère (1775 – 1836) determinaram que os efeitos considerados do eletromagnetismo eram causados pela interação à distância das cargas elétricas conhecidas naquela época, porém havia outros que buscaram outras maneiras de conceber os fenômenos eletromagnéticos como consequência de um meio que servia para transportar as interações eletromagnéticas. Alguns nomes como Hans Christian Ørsted (1777 – 1851), Michael Faraday (1791 – 1867) e James Clerk Maxwell (1831 – 1879) defenderam em seus estudos essa última concepção sobre o eletromagnetismo.

Antes de Maxwell havia dois ramos de estudos que a princípio eram distintos: a eletricidade e o magnetismo. No entanto, com os experimentos de Ørsted e Faraday conseguiu-se perceber uma relação entre as forças elétricas e magnéticas. Para Faraday as forças que agem em irmãs são definidas por ação à distância. Isso porque um par de ímãs, distantes um do outro, conseguem ‘sentir’ a presença um do outro, mesmo sem estarem em contato. Faraday logo chamou essa interação de linhas de força (Martins, 2010, p. 44).

Maxwell era um grande admirador das ideias de Faraday, mas para ele essas interações que aconteciam a priori por distanciamento entre as forças elétricas e magnéticas, necessitavam de um meio para percorrer. Maxwell atribuiu ao éter essa função de ser um intermédio para a interação dessas forças.

Segundo Martins (2010), desde que Maxwell adotou o éter em sua teoria, nunca o iria abandonar, pois admitir que haveria espaços vazios entre as interações das forças elétricas e magnéticas era algo inconcebível. Para Maxwell é necessário algum meio ‘real’ e tangível em que a matéria e os campos iriam ser transportados. Não haveria a possibilidade de a matéria ser transportada pelo vácuo. Logo as linhas de força de Faraday eram, segundo Maxwell, tubos de éter girando em seus próprios eixos. Essa rotação gerava naturalmente força centrífuga, que permitiria nos tubos a expansão de maneira lateral e contração na longitude e isso explicaria a atração e repulsão que Faraday identificou nos ímãs.

As interações ocorridas eram consequentes do éter que ao ocupar todo o espaço serviria de transmissor de interações de um objeto para o outro. Dessa maneira, de acordo com Martins (2010) o éter luminífero era algo mais inclusivo, se tornando peça chave na teoria eletromagnética de Maxwell. Isso possibilitou explicar

como cargas elétricas, mesmo estando paradas, geravam campos elétricos sendo que isso impactava no éter tensões e movimentos, criando os campos elétricos e magnéticos. De certa maneira isso ajudava a compreender porque havia campos e ondas eletromagnéticas mesmo em espaços, que a princípio eram vazios, porém eram preenchidos pelo éter luminífero.

Isso ajudou Maxwell a perceber que a luz possuía propriedades eletromagnéticas e enxergou o éter como um quadro de referência preferencial no qual a luz se propaga com velocidade constante em todas as encontradas. Embora incluísse a ideia de tubos rotativos microscópicos, o éter era visto como um meio fixo. Para Maxwell, James Clerk (1865), as equações determinavam que todas as ondas eletromagnéticas no vácuo se propagassem a uma velocidade constante, c . Pela Física newtoniana, isso só poderia ocorrer em um referencial absoluto. Portanto, foi proposto o conceito de éter como esse referencial único e absoluto, onde as equações de Maxwell seriam válidas. O éter deveria estar "em repouso" de forma universal, pois caso contrário, a velocidade c variaria de acordo com qualquer mudança no meio em que as ondas se propagam.

Algumas décadas após Maxwell publicar seus trabalhos unificando o magnetismo e a eletricidade, dando início ao eletromagnetismo, Heinrich Rudolf Hertz (1857 – 1894) conseguiu experimentalmente demonstrar as ondas eletromagnéticas previstas por Maxwell e que essas ondas são semelhantes às ondas de luz. Nesse experimento Hertz produziu uma faísca elétrica que percorria um fio de cobre, em que havia uma pequena divisão livre para permitir que se observasse a faísca com um detector, porém observou-se que as ondas não estavam apenas limitadas ao aparato experimental, mas que se espalhava por toda a sala. Isso sem dúvidas fortificou a hipótese do éter luminífero, sendo um transmissor no espaço, teoricamente vazio, para as ondas eletromagnéticas.

2.1.1 O arrasto do éter e o experimento de Michelson-Morley

Como o éter já deixava de ser um elemento abstrato, a próxima etapa era conseguir resultados positivos de experimentos que conseguissem detectar fisicamente os efeitos do éter no espaço. Diante desse novo desafio, a tarefa agora era conseguir construir um aparato experimental suficientemente preciso e apresentar resultados satisfatórios. É claro que o éter luminífero já era uma unanimidade entre a

comunidade de físicos, mas como modelo teórico, precisava-se de uma prova experimental cabível. Muitos experimentais dedicavam tempo e dinheiro para a prova de sua existência.

A hipótese de um arrasto do éter já tinha sido proposta por Augustin-Jean Fresnel (1788 – 1827). Segundo Fresnel (1818), o éter seria quase estacionário, atribuindo um modelo de arrastamento parcial que seria possibilitado pelo coeficiente do arrasto de Fresnel. Stokes (1845) também propôs um modelo semelhante, mas que modelava um arrastamento completo promovido pelo éter.

O arrasto do éter de Fresnel sofria de algumas dificuldades oferecidas pela incompatibilidade da mecânica newtoniana com o eletromagnetismo, pelo fato de que, enquanto na mecânica clássica, as equações que envolvem dinâmica são invariantes quando se tem as transformações de Galileu, isso não ocorria no eletromagnetismo, já que a luz, por estar percorrendo o éter como referencial único e universal não era um invariante. Esse efeito é semelhante à velocidade do som, que muda sua velocidade de propagação ao mudar de um meio menos denso para um com mais densidade, por exemplo, ao passar do ar para a água. Mesmo assim, Maxwell buscou alternativas para burlar esse que parecia ser um impedimento na integração do éter no eletromagnetismo.

Para Maxwell (1865) haveria uma maneira de conseguir detectar o éter com relação ao movimento da Terra e estaria relacionado às diferenças nas velocidades da luz e da Terra. Sendo assim, a luz, ao acompanhar o deslocamento da Terra, apresentaria uma velocidade distinta quando comparada à luz que se move em sentido oposto, uma vez que ambas estariam se deslocando em relação ao éter estacionário, e no caso de haver uma corrente universal no éter, as variações de posição com o passar das quatro estações permitiria identificar esse deslocamento, possibilitando a detecção da deriva do éter prevista hipoteticamente.

O éter enfim podia ser detectado, já que existe uma substância no espaço que sofre efeitos de arrasto por objetos massivos, e que permitiria medir a velocidade da Terra não em relação ao espaço, mas agora em relação ao meio que permeia esse espaço, o éter. Portanto, segundo Martins (2010), conseguir medir a velocidade da Terra com relação ao éter, que está sendo um referencial em relação ao nosso planeta, seria como detectar algum objeto que está se movendo pelo ar, que promove algum tipo de ação nesse objeto, de modo similar ao ar que estando em movimento produz efeitos que são perceptíveis.

Como o éter, na hipótese de Fresnel, é um meio quase estacionário, é importante que se enfatize que há diferenças nos experimentos com o propósito na detecção do éter. Para tal, os que conseguiram obter resultados positivos e negativos são descritos por Wilhelm Wien (1864 – 1928) que criou uma lista contendo esses experimentos, diferenciando-os pela medida do coeficiente de arrasto de Fresnel V/c . Esse coeficiente apenas permitiria a detecção do éter nos experimentos com imprecisão superiores a duas vezes o desvio padrão.

Armand Hyppolyte Louis Fizeau (1819 – 1896) foi um dos primeiros a realizar os experimentos. Em 1859, de acordo com Martins (2010), Fizeu tentou descobrir uma alteração, ocorrida pelo movimento da Terra, na rotação do plano de polarização por meio de colunas feitas de vidro (Fizeau, 1861). No caso, os resultados foram positivos, assim como os de Anders Jonas Ångström (1814 – 1874). Porém, tempos depois, ao realizarem os mesmos experimentos, nas mesmas condições dos originais, obtiveram resultados negativos.

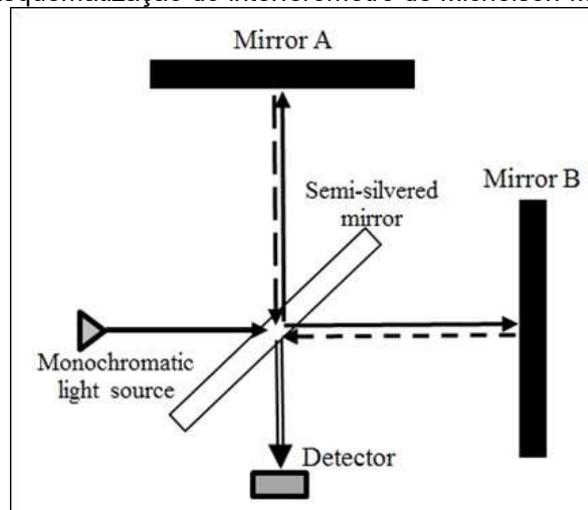
Outros experimentalistas tentaram outros meios em seus experimentos. Hoek (1868) tentou aprimorar o experimento de Fizeu enviando raios de luz em direções opostas, por diferentes meios de propagação, com um feixe por um tubo com água e outro pelo ar. Também não obteve os resultados esperados. Wilhelm Klinkerfues (1827 – 1884) e Éleuthère Mascart (1837 – 1908) também tentaram por meios diferentes, mas também não conseguiram resultados positivos. Acabou considerando que, se o éter fosse detectado, os resultados seriam irrisórios, quase imperceptíveis; segundo Martins (2010), os projetos experimentais eram muito precisos, capazes de detectar o mínimo resultado possível, porém não foi o que aconteceu. Os experimentos citados aqui, segundo Wien, se caracterizam como experimentos de primeira ordem.

Mesmo diante de resultados nulos na medição do éter luminífero, a busca pela sua detecção estava longe do fim. Em 1887, foi promovido um dos experimentos mais importantes do século e da história da Física, conduzido por Albert A. Michelson (1852 – 1931) e Edward W. Morley (1858 – 1923). Nessa ocasião, havia bastante expectativa na comunidade de físicos, já que a maioria concordara que esse seria o experimento mais preciso possível para comprovar a existência do éter. Essa não foi a primeira tentativa de Michelson para tentar detectar o éter. Segundo Pais (1918), em meados dos anos 1880, Michelson, que era um perito da marinha dos Estados Unidos, realizou

um experimento, que também era um interferômetro semelhante ao construído em 1887, tendo resultados nulos na análise dos dados experimentais.

No experimento de 1887, o objetivo principal era medir a diferença na velocidade da luz em diferentes direções relativas ao movimento da Terra, esperando detectar variações que confirmariam a existência do éter luminífero. Pelas descrições de Michelson e Morley (1887), o equipamento principal usado foi um interferômetro de Michelson, composto pelos seguintes componentes: fonte de luz que lançava uma luz branca ou uma lâmpada de arco de gás, que fornecia um feixe de luz coerente. Um divisor de feixe, contendo um espelho semitransparente que dividia o feixe de luz em dois feixes perpendiculares. Dois espelhos colocados em ângulos retos um em relação ao outro, refletiam os feixes de luz de volta para o divisor de feixe. Havia também uma placa de compensação, onde um vidro era disposto no caminho de um dos feixes para igualar o percurso óptico dos dois feixes. Além da utilização de um telescópio que seria usado para observar as franjas de interferência resultantes quando os dois feixes recombinavam no divisor de feixe. Como podemos visualizar na Figura 2.

Figura 2 – Esquemática do interferômetro de Michelson-Morley de 1887.



Fonte: PHYSICS.BG (2009)

Para Michelson e Morley (1887), se à Terra estivesse se movendo através do éter, a velocidade da luz deveria (diferir) ao longo do movimento da Terra (na direção do movimento) em comparação à perpendicular a ele. Isso criaria uma diferença no tempo de viagem dos dois feixes e, conseqüentemente, um deslocamento no padrão de interferência observado. Para se conseguir entender melhor, visualize um navio navegando o mar, enquanto ele se desloca para frente, uma grande quantidade de

água é deslocada na direção oposta no movimento do navio, criando uma série de ondas. Para o caso do movimento da Terra, o fenômeno era semelhante. Contudo, para a decepção de muitos, e que diferentemente do esperado, o experimento não identificou mudanças relevantes nas franjas de interferência, não importando a direção do interferômetro. Tal constatação indicou a inexistência de discrepâncias na velocidade da luz em várias direções, o que contradiz a teoria do éter luminífero.

Contudo, mesmo diante do resultado considerado nulo, muitos físicos ainda não estavam completamente satisfeitos, o que possibilitou que fosse iniciada uma série de tentativas para explicar porque o experimento de Michelson-Morley não conseguiu obter os resultados previstos. Lorentz (1853 – 1928) em 1895 desenvolveu uma explicação que se baseava em um éter estritamente parado, e com isso não poderia se mover quando estivesse próximo de objetos massivos. O éter aparece como um elo intermediário entre os elétrons, e as alterações nesse campo não conseguem se espalhar a uma velocidade maior que a da luz. Uma ideia fundamental que Lorentz chamou de teorema dos estados correspondentes em 1895 (Lorentz, 1895). Segundo esse teorema, o observador em movimento relativo ao éter realiza as mesmas observações que um observador estacionário faz, isso após uma alteração de variáveis. Lorentz percebeu ser necessário ajustar as variáveis espaço-temporais ao trocar de referenciais e introduziu conceitos como a contração física do comprimento (Lorentz, 1892). Essas implicações ajudaram a justificar o porquê dos resultados negativos dos experimentos de Michelson-Morley e Fizeu.

Outro proponente que tentou desenvolver justificativas para a não detecção do éter foi Henri Poincaré (1854 – 1912), que contribuiu para o desenvolvimento da teoria da relatividade. Segundo Poincaré (1900) o conceito de simultaneidade era apenas uma convenção prática que depende da velocidade da luz, segundo a qual a constância dessa mesma velocidade seria um postulado útil para simplificar ao máximo as leis da natureza. Buscou corrigir e aprimorar os erros nas transformações de Lorentz (Poincaré, 1906) e definir a impossibilidade de detectar o éter, pautada na incapacidade de conseguir encontrar o movimento relativo da matéria com relação ao éter. Isso estaria fortemente ligado ao princípio da relatividade, que, segundo ele, é impossível saber se estamos parados ou em movimento estando em efeitos relativísticos. Posteriormente, essas ideias iriam contribuir significativamente para que Einstein chegasse em sua teoria especial da relatividade.

Joseph Larmor (1857 – 1942) concebeu o éter não constituído de matéria, sendo um dos poucos a fazer essa consideração. Larmor (1900), assim como outros cientistas de sua época, aceitou a existência do éter como o meio que permitia a propagação das ondas eletromagnéticas. Ele desenvolveu teorias que tentavam explicar como o éter poderia ser afetado pelo movimento dos corpos celestes, como à Terra. Suas ideias estavam em linha com as concepções do éter predominantes na época e, por consequência, buscaram compreender o éter luminífero. Propôs modelos que tentavam explicar como à Terra se movendo através do éter poderia afetar a medida da velocidade da luz.

Em 1913, o físico francês Georges Sagnac (1869 – 1928) fez sua tentativa para a detecção do arrasto do éter luminífero. De acordo com Sagnac (1913), o experimento consiste em um dispositivo rotatório simétrico que contém um feixe de luz dividido em dois caminhos que circulam em sentidos opostos ao longo de um percurso circular. O feixe de luz é dividido em dois ramos que circundam o caminho circular em direções opostas. Posteriormente, os dois feixes são recombinados. Qualquer diferença de tempo de percurso entre os dois ramos seria detectada como um deslocamento na interferência entre os dois feixes. Se o éter luminífero estivesse presente e influenciasse a velocidade da luz em relação ao observador estacionário, esperava-se observar um deslocamento na interferência dos feixes de luz quando o dispositivo estivesse em rotação. Isso ocorreria porque a velocidade da luz em relação ao éter seria adicionada ou subtraída da velocidade da luz em relação ao observador em movimento.

No entanto, o resultado real do experimento de Sagnac, confirmado por inúmeras repetições e variações do experimento, é que não há deslocamento na interferência dos feixes de luz quando o dispositivo está em rotação. Isso significa que a velocidade da luz é independente da velocidade do observador e que não há necessidade de um éter luminífero para explicar o comportamento da luz. Este resultado foi fundamental para a formulação da teoria da relatividade restrita de Einstein, que postula que a velocidade da luz é constante e independente do referencial inercial do observador.

Mesmo diante de tantos percalços, a hipótese do éter luminífero continuava muito forte. Além de Lorentz e Poincaré, Martins (2010) enfatiza que o próprio Einstein, mesmo que a princípio tenha adotado na relatividade descartar o éter, não necessariamente admite que o éter não existe. Diferentemente do que muitos

imaginam, Einstein dizia que a existência ou inexistência do éter é um debate sem fundamentos, já que sua detecção pouco implicaria no modelo teórico da relatividade, tal que seus resultados positivos seriam mínimos, de modo a serem desconsiderados.

Martins (2010) reitera que, com a publicação da teoria especial da relatividade, Einstein eliminou a necessidade do éter como meio para a propagação da luz. Ele mostrou que a luz pode se propagar no vácuo sem necessidade de um meio, e que as leis da física são as mesmas para todos os observadores em movimento uniforme. O conceito de espaço e tempo absoluto foi substituído por um espaço-tempo relativo, onde as medidas de tempo e espaço dependem do estado de movimento do observador. Einstein (1918) introduz uma nova visão do espaço na teoria geral da relatividade. Ele descreveu o espaço-tempo como um tecido flexível que pode ser curvado pela presença de massa e energia. Nesse contexto, ele reintroduziu uma espécie de conceito de éter, mas de uma maneira muito diferente da visão clássica. Este "éter" não é uma substância material, mas uma propriedade geométrica do espaço-tempo.

Como o próprio Einstein cita em seu artigo sobre a relatividade especial: “Será provado que a introdução de um éter luminoso é supérflua, já que, de acordo com o conceito que será desenvolvido aqui, não será introduzido nenhum espaço em repouso absoluto, com propriedades especiais” (Einstein, 1905). E que, segundo afirma Martins (2010), não houve nenhum cientista na época que conseguisse provar ou desaprovar a existência do éter.

Segundo o próprio Einstein (1924), um éter pode estar contido na relatividade geral. Ele esclareceu que, embora a relatividade restrita não necessitasse de um éter para a propagação da luz, a relatividade geral requer algo que desempenhe o papel do éter em termos de suas propriedades geométricas. No entanto, este éter não possui as características mecânicas tradicionais atribuídas ao éter luminífero do século XIX. Em suas palavras:

Podemos dizer que de acordo com a teoria geral da relatividade o espaço é dotado de qualidades físicas; nesse sentido, portanto, existe um éter. De acordo com a teoria geral da relatividade, o espaço sem éter é impensável; pois em tal espaço não só não haveria propagação de luz, mas também não haveria possibilidade de existência de padrões de espaço e tempo (varas de medição e relógios), nem, portanto, quaisquer intervalos de espaço-tempo no sentido físico. Mas este éter não pode ser pensado como dotado da qualidade característica dos meios ponderáveis, como consistindo de partes que podem ser rastreadas ao longo do tempo. A ideia de movimento não pode ser aplicada a ele (EINSTEIN, 1924).

Portanto, temos que enxergar que, nesse sentido, Einstein constitui, de certa maneira, uma nova evolução para o conceito do éter, tendo em vista que em 1905 ele elimina a necessidade do éter, mostrando que a luz pode se propagar no vácuo. Já em 1917, reintroduz um conceito de éter, agora como uma propriedade geométrica do espaço-tempo, essencial para a curvatura espaço-temporal e a gravitação. Logo, a visão de Einstein sobre o éter passou de uma rejeição completa na relatividade especial para uma reinterpretação sofisticada e geométrica na cosmologia.

Provavelmente, a única ocasião em que o éter sofreu uma forte rejeição foi em 1905 com a relatividade especial, contudo o debate sobre sua capacidade de ser atribuída a determinados fenômenos físicos está no cerne de discussões da Física atual. Mesmo após Einstein e seus predecessores abordarem o éter, outros o consideravam nessa mesma linha de pensamento, como é o caso de Paul Dirac, que em 1951, publicou um artigo com o título "Existe um éter?" e ainda outro "Somos bastante forçados a ter um éter" (Dirac, 1951).

3 ÉTER MODERNO

Na atualidade os modelos que compõem o éter em sua formulação teórica estão relacionados, principalmente, a Cosmologia Moderna, em que alguns dos fenômenos atribuídos a energia e matéria escura são delineados por um éter não singular, sendo um meio permeando o universo, e um propagador dessas entidades misteriosas. Tendo em vista todos os modelos de éter que foram apresentados até o presente momento, desde a sua introdução na antiguidade clássica até os meados do século XX, os trabalhos na área da Física, constituindo uma nova interpretação para o éter em novos ramos empreendidos na Física Moderna, como a matéria e energia escura, além de outros, vem ganhando notoriedade. É relevante que se evidencie essas pesquisas, para se poder entender melhor qual o papel do éter e do porquê ainda ser considerado nos estudos científicos atualmente.

Historicamente, o éter era uma hipotética substância que se acreditava preencher todo o espaço e ser o meio de propagação da luz. Mesmo diante dos diversos percalços que a hipótese do éter tenha sofrido no final do século XX, ela ainda persiste como aplicabilidade em modelos físicos que tentam se adequar aos modelos empíricos que vão surgindo ao desenrolar do desenvolvimento de novas tecnologias.

3.1 Einstein e a constante cosmológica repulsiva

Em 1916, após quase uma década de trabalho, Einstein chegou à teoria geral da relatividade, na qual mostrou que a força gravitacional entre dois objetos pode ser explicada pela curvatura do espaço ao seu redor: quanto maior, maior a massa, maior será a curvatura do espaço produzido (Einstein, 1915). Como a Teoria Geral engloba a Teoria Especial de 1905, a massa pode gerar dinâmica não apenas para o espaço, mas também a energia.

Assim Einstein conseguiu, com o apoio da sua teoria, mostrar como a curvatura do espaço é determinada pela presença de massa e energia, se a massa-energia de todo o universo puder ser estimada, então a teoria poderá ser usada para determinar a geometria do universo.

Foi em 1917 que Einstein publicou "Considerações Cosmológicas na Relatividade Geral", onde aplicou sua teoria para explicar o universo e sua geometria.

Logo percebeu que sua teoria enfrentava a mesma contradição que a teoria de Newton: a natureza estática do universo não poderia ser verdadeira. Contudo, em vez de descartar toda a teoria, Einstein fez uma modificação única, introduzindo o que mais tarde ficou conhecido como constante cosmológica, determinada pela letra grega Λ , uma nova constante na natureza, agindo como repulsão cósmica. Esta força equilibra a gravidade ao mesmo tempo que provoca uma configuração estática para o universo, que essencialmente mantém estas duas forças opostas afastadas e mantém a uniformidade no espaço.

A solução de Einstein para a geometria do universo marcou o início da era moderna da cosmologia. Segundo Einstein, o universo deve ser estático, ou seja, o passado e o futuro são iguais. Esta hipótese não era esperada, sendo que naquela altura, não havia nenhuma razão significativa para acreditar que o universo poderia ser dinâmico, que evoluiria ao longo do tempo. Apenas algumas observações astronômicas mostravam aberrações em nebulosas distantes, sendo essa última, sem clara explicação. Para reduzir a distribuição da matéria a apenas um número, Einstein (1917) propôs o princípio cosmológico segundo o qual o universo é, em média, o mesmo quando visto à distância. É claro que, se olharmos para as estrelas, veremos que elas não são nada iguais. Mas a ideia é observar distâncias realmente enormes, a milhões de anos-luz de distância.

Sobrava agora resolver a proposta e determinar o raio do universo em função da quantidade de matéria. Aqui está um problema central em sua teoria, a gravidade é atrativa, fazendo com que o universo se tornasse incompreensível. É impossível obter um universo esférico estático com uma distribuição média constante de matéria e energia. É desse problema que surge a constante cosmológica, funcionando como um aparato repulsivo que possibilita equilibrar o universo (Einstein, 1917). Em 1929, o astrônomo americano Edwin Hubble (1889 – 1953) mostrou que o universo estava se expandindo, de maneira que as galáxias estavam se afastando umas das outras. Uma constante cosmológica não é necessária. Posteriormente Einstein chegou a admitir que a introdução desta constante foi o seu maior erro.

Com relação ao éter, para Carroll (2001) a constante cosmológica (Λ) seria uma forma de "éter", ou como ele denominou, *éter moderno*, preenchendo substancialmente todo o universo, influenciando a constante cosmológica, por meio de um campo energético uniforme.

3.2 A constante cosmológica no vácuo quântico

Outra aplicação para o éter moderno se baseia na concepção do vácuo quântico como um novo éter. O conceito da constante cosmológica como propriedade do vácuo quântico é baseado nas ideias de Zeldovich (2008) e é uma das ideias mais fundamentais na física moderna. No contexto da física quântica, o vácuo quântico não é simplesmente um vazio, mas um estado com flutuações quânticas devido à criação e aniquilação contínua de partículas virtuais. Essas flutuações são descritas pela teoria do campo quântico, e a energia associada a essas flutuações é derivada da energia do campo quântico (Zeldovich, 1967).

Diferente do vácuo clássico, que é simplesmente um espaço vazio sem matéria ou radiação, e nesse sentido, é entendido como o estado nulo de energia e momento, o vácuo quântico é uma entidade dinâmica e cheia de atividade. Ele desempenha um papel crucial em muitos fenômenos físicos, incluindo a estrutura do espaço-tempo, a origem das partículas e a dinâmica do universo (Zeldovich, 1967).

Para Zee (2010), com o advento da mecânica quântica e da teoria quântica de campos, a visão do vácuo mudou drasticamente. Em vez de um espaço vazio, o vácuo quântico é entendido como um estado de mínima energia, mas repleto de flutuações quânticas. Essas flutuações implicam que partículas virtuais estão sendo constantemente criadas e aniquiladas, conferindo ao vácuo propriedades dinâmicas. Podemos identificar essas flutuações em vários fenômenos quânticos conhecidos, especialmente no caso do efeito Casimir (Birrell, Davies, 1982). Esse efeito surge entre duas superfícies condutoras sem carga, muito próximas uma da outra no vácuo. Isso se deve à flutuação do campo quântico do vácuo que ocorre devido a vagas em ambos os campos.

Zeldovich (1967) explicita que a constante cosmológica quântica aparece quando consideramos a contribuição da energia do vácuo para a densidade de energia do universo. De acordo com a teoria quântica de campos, o vácuo tem uma densidade de energia diferente de zero devido a essas flutuações quânticas. Esta energia do vácuo é expressa em termos de gravidade como a constante cosmológica.

Para se conseguir compreender melhor esse tema, Padmanabhan (2003) nos fornece novas percepções como relação entre a constante cosmológica, que representa a energia escura no universo, e a energia do vácuo, que permeia todo o

espaço-tempo, onde propõe que a constante surge da energia do vácuo, e que essa energia é inerente à própria estrutura espaço-temporal.

Padmanabhan (2003) apresenta a conexão entre a entropia de um buraco negro e a constante cosmológica e que essa entropia do buraco negro contribui para a energia do vácuo, sendo essa contribuição equivalente à constante cosmológica observada. Dessa maneira a constante cosmológica pode ser interpretada como uma medida da entropia do universo, e que essa entropia está continuamente crescendo.

As observações teóricas da densidade de energia do vácuo são extremamente altas, cerca de 120 ordens de magnitude maiores do que o valor observado e que segundo Padmanabhan (2003) as flutuações quânticas da densidade de energia do vácuo podem ser responsáveis pela constante cosmológica observada, propondo que, embora as contribuições individuais das flutuações sejam grandes, suas médias ao longo do espaço-tempo possam levar a um valor pequeno, compatível com as observações cosmológicas.

3.3 Os desafios da cosmologia para correção da idade do universo na década de 70

Na década de 1970, a idade do universo era um tema muito debatido e incerto na cosmologia. O principal problema estava relacionado às diferenças nas estimativas de idade do universo com base em diferentes métodos de medição e observação (Sandage, 1972). A essência desta questão está nos seguintes pontos: a taxa de expansão do universo, relacionado a constante de Hubble H_0 , que descreve a taxa de expansão do universo, era problemática. Estimativas variavam de aproximadamente 50 km/s/Mpc a 100 km/s/Mpc. Na ocasião existiam valores muito altos que indicavam o H_0 cerca de 100 km/s/Mpc implicavam que o universo tinha aproximadamente 10 bilhões de anos, e para valores menores com H_0 sendo cerca de 50 km/s/Mpc implicando uma idade de cerca de 20 bilhões de anos.

Para Peebles, (1993) esta variação afetava diretamente a idade estimada do universo, pois uma constante de Hubble mais alta implicava em um universo mais jovem e uma constante mais baixa implicava em um universo mais antigo. O autor ainda enfatiza a questão dos campos escalares que são descritos por uma única função que depende do espaço e do tempo, e são usados na física teórica para

modelar diversos fenômenos, incluindo a energia escura. Na década de 1970, o entendimento dos campos escalares estava começando a se desenvolver.

Outro problema, segundo Gunn & Tinsley, (1975) era os diferentes modelos cosmológicos, distribuídos em modelo aberto: sugerindo que o universo continuará a se expandir para sempre; modelo fechado: dizia que o universo eventualmente parará de se expandir e começará a se contrair; e o modelo plano: afirmando que o universo se expandirá, mas a uma taxa que diminui gradualmente até parar no infinito.

Na época, a composição do universo de matéria escura, energia escura e matéria bariônica comum não eram bem conhecidas, o que alterava uma incerteza significativa nas estimativas de idade. Para Bahcall & Davis, (1980) a idade das estrelas mais velhas observadas, especialmente em aglomerados globulares, representava um paradoxo: para o caso de aglomerados globulares no qual observações indicavam que algumas estrelas, nesses aglomerados tinham idades comparáveis ou até maiores que algumas estimativas da idade do universo. Estudos estimavam que essas estrelas poderiam ter entre 12 a 16 bilhões de anos, sugerindo que o universo deveria ser, pelo menos, mais novo do que essas estrelas.

Diversos métodos de datação também eram muito imprecisos e cada um tinha suas próprias incertezas sendo estes a nucleossíntese primordial: A abundância de elementos leves formados nos primeiros minutos após o Big Bang forneceu informações sobre a densidade da matéria e a taxa de expansão do universo primitivo, influenciando assim as estimativas de idade. Outro ponto era a evolução estelar: a modelagem da vida de estrelas, desde sua formação até a fase final, ajudava a estimar idades, mas dependia de muitos parâmetros que não eram completamente compreendidos na época (Bahcall & Davis, 1980).

Os dados observacionais na década de 1970 eram limitados e imprecisos em comparação com as tecnologias modernas, que se baseavam em Técnicas de medição de distância como a paralaxe estelar e o uso das variáveis ceifadas são menos precisas, levando a grandes incertezas na medição de distâncias astronômicas. Havia também o problema da calibração dos instrumentos de medição como telescópios terrestres, com limitações significativas em termos de resolução e sensibilidade.

A década de 1970 foi, portanto, um período crucial de desenvolvimento e refinamento na cosmologia, preparando para os avanços que se seguiram e que permitiram uma compreensão mais precisa da idade do universo.

3.4 Alan Guth e a inflação cósmica

Alan Guth é uma figura importante na cosmologia contemporânea por propor a teoria da expansão do universo ou inflação em 1981. De acordo com esta teoria, o universo expandiu-se rapidamente e exponencialmente logo após o Big Bang. Este período de inflação resolveu muitas questões fundamentais que desafiaram a teoria tradicional do Big Bang.

Antes do surgimento da teoria da inflação, o modelo do Big Bang enfrentava vários problemas não resolvidos, como o problema do horizonte, segundo o qual as observações mostravam que regiões do universo, que nunca poderiam ter estado em contato causal, tinham temperaturas quase idênticas (Guth, 1981). De acordo com a relatividade, essas regiões não deveriam ter comunicado para equilibrar suas temperaturas; problema de planicidade, onde a forma do universo era considerada plana, indicando que a densidade do universo teria sido definida para um valor grande (Guth, 1981).

Esse problema ainda indicava que pequenas mudanças no tempo poderiam resultar em um universo dominado por buracos negros ou que causariam a formação rápida de galáxias. Por fim havia o problema da ausência de monopólos magnéticos, que em linhas gerais, especialmente voltado para a teoria da unificação, previam a formação de monopólos magnéticos em grande quantidade, mas nenhum monopólo foi observado.

A teoria da inflação cósmica de Guth (1981) propõe que parte da expansão do universo foi causada por um campo escalar denominado campo de inflação. Durante este período de expansão, o universo cresceu uma fração de segundo, com ordem de grandeza entre 10^{-36} e 10^{-32} segundos após o Big Bang. Esta expansão foi impulsionada pelo forte campo do ínflaton, que age de maneira semelhante à constante cosmológica (Λ).

Ainda para Guth (1981) o campo ínflaton é caracterizado por um potencial escalar $V(\phi)$, onde ϕ é o valor do campo inflaton. Este potencial determina a dinâmica da inflação. No regime inflacionário, esse campo se encontra em um estado de energia potencial elevada e quase constante, causando a expansão exponencial do universo. A equação de Friedmann, que governa a expansão do universo, é modificada pela inclusão do termo de energia do campo inflaton, que diz:

$$H^2 \approx \frac{8\pi G}{3} V(\phi)$$

onde H é a taxa de expansão do universo, também conhecido como a constante de Hubble), G é a constante gravitacional e $V(\phi)$ é o potencial do campo ínflaton.

Guth (1981) indica que quando o campo do ínflaton passa pelo potencial $V(\phi)$, ele perde energia potencial e a inflação termina. Com isso, o universo entra numa fase não acelerada e mais lenta de expansão, dominada pela radiação e pela matéria. A energia do ínflaton o converte em partículas comuns, aquecendo o planeta em um processo denominado aquecimento. Este processo é necessário para criar a matéria e a radiação que constituem o universo hoje.

Além de resolver estes problemas da teoria tradicional do Big Bang, Guth (1981) diz que a inflação fornece um mecanismo natural para produzir mudanças de densidade que dão origem a estruturas de grande escala no universo, tais como galáxias e aglomerados de galáxias. Estas diferenças são causadas por diferenças na localização das zonas de inflação, que se espalharam pelo mundo durante a inflação.

As observações da radiação cósmica de fundo (CMB) e da distribuição de grandes estruturas no universo apoiam fortemente a teoria da inflação. As missões COBE, WMAP e Planck forneceram dados detalhados que apoiam as previsões de inflação, particularmente o espectro de potência das flutuações de temperatura na radiação cósmica de fundo, que reflete flutuações quânticas na inflação ao longo da inflação que se estende à escala do universo (Akrami, et al. 2020).

O trabalho de Alan Guth sobre a evolução cósmica revolucionou a nossa compreensão do universo primitivo, fornecendo soluções perspicazes para as questões fundamentais do modelo do Big Bang e uma base teórica sólida apoiada por uma visão de mundo. A teoria da aceleração é uma área de pesquisa ativa e dinâmica com profundas implicações para a cosmologia e a física fundamental.

3.5 Energia escura e quintessência

A energia escura é um dos fenômenos mais interessantes e controversos da cosmologia moderna. Isto está ligado à expansão acelerada do universo que foi primeiro observada nos anos finais do milênio passado. Os estudos publicados por

Riess, et al. (1998) e Perlmutter, et al. (1999), mostrou que as supernovas distantes eram menos brilhosas do que o esperado, fazendo com que o universo estivesse se expandindo de forma acelerada. A interpretação mais simples para essa garantia foi a reintrodução da constante cosmológica nas equações de Einstein, indicando uma energia do vácuo que permeia todo o espaço e possui uma pressão negativa.

Existem várias teorias que tentam explicar a natureza dessa força misteriosa, entre elas a constante cosmológica e a quintessência. Além disso, campos escalares, com características de um conteúdo etéreo, também são investigados como possíveis para a energia escura. Para Riess, et al. (1998) a energia escura pode ser entendida como a densidade de energia do vácuo, possuindo uma pressão negativa que causa a aceleração da expansão do universo. Existem várias abordagens para explicar essa energia, sendo estas como pressão negativa: A constante cosmológica age como uma forma de energia com pressão negativa, uniformemente distribuída pelo espaço. Além disso, a constante cosmológica deve possuir um valor determinado, onde os dados observacionais indicam que esse valor da constante cosmológica é muito pequeno, mas não nulo, o que é suficiente para causar a aceleração observada.

A existência da energia escura e sua descrição como constante cosmológica são suportadas por várias observações relacionadas a supernovas Tipo Ia distantes que mostram o universo em expansão de maneira acelerada. Em outros casos temos as medições da CMB – vide a Figura 3, como as feitas pelo satélite Planck, que fornecem dados sobre a composição do universo, apoiando a existência de energia escura. Além disso, temos a questão de estruturas em grandes escalas, no qual a distribuição de galáxias e aglomerados de galáxias no universo também indica a presença de uma componente de energia que está impulsionando a expansão acelerada.

Figura 3 - A imagem detalhada de todo o céu do universo infantil criada a partir de nove anos de dados WMAP.

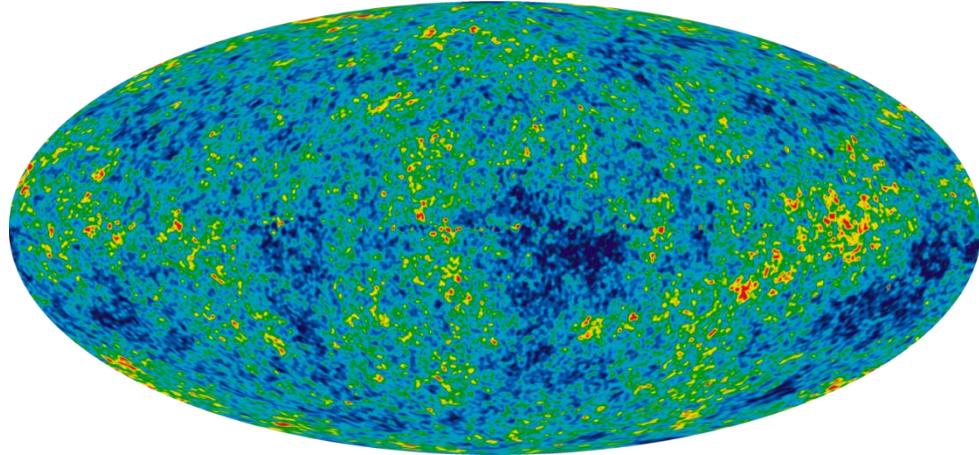


Foto: Equipe Científica da NASA/WMAP (2010)

Outra questão essencial para o estudo do éter moderno na cosmologia está relacionada a quintessência, que em linhas gerais é uma forma hipotética de energia escura postulada para explicar a aceleração da expansão do universo. Diferente da constante cosmológica proposta por Einstein, a quintessência é dinâmica e pode variar no tempo e no espaço. Este conceito foi introduzido por Ratra e Peebles em 1988. Eles propuseram um campo escalar com um potencial que permite que a densidade de energia varie com o tempo.

Steinhardt e Wang expandiram essa ideia na década de 1990. Eles sugeriram que a quintessência poderia ser responsável pela melhoria da expansão cósmica. Em um artigo de 1998, Caldwell e Steinhardt discutiram a possibilidade de uma forma de energia escura com uma busca de estado variável, diferente da constante cosmológica.

Caldwell e Steinhardt (1998) enfatizam o éter moderno relacionado a campos escalares, que surge da necessidade de explicar fenômenos como a energia escura e a matéria escura, sem recorrer à noção de partículas materiais tradicionais. Esses campos escalares são dinâmicos e interativos, ao contrário do éter estático. Eles permeiam todo o espaço e podem influenciar a estrutura e a evolução do universo e também o potencial $V(\phi)$, onde o comportamento dos campos escalares é determinado pelo potencial, que pode ser ajustado para explicar diferentes observações cosmológicas.

A energia escura, descrita pela constante cosmológica, é uma área ativa de pesquisa em cosmologia. Observações astronômicas fornecem suporte robusto para

sua existência, mas a compreensão de sua verdadeira natureza requer mais investigações teóricas e observacionais. Por outro lado, a quintessência e os campos escalares como um tipo de éter moderno representam uma fronteira emocionante na física teórica e cosmologia. Eles oferecem um potencial explicação para a energia escura e a aceleração cósmica, reintroduzindo a ideia de um meio que permeia todo o universo, semelhante às primeiras visões do éter, mas sob uma nova luz e com base em princípios quânticos e relativísticos.

3.6 Novas propostas para o éter moderno

A aplicação de estudos sobre o éter moderno possui outras proposições no contexto da Física contemporânea. No entanto, diferentemente das propostas anteriores, no qual as concepções de adequavam a teorias bem estabelecidas e aceitas na cosmologia, aqui o éter moderno terá um caráter em modelos físicos hipotéticos, no qual não tiveram, ainda, confirmação experimental.

Há um interesse renovado em ideias relacionadas com o éter no contexto da teoria da quebra de simetria de Lorentz, que explora a possibilidade de que as simetrias fundamentais da relatividade especial não sejam uma descrição completa da natureza. Mattingly, (2005) define a simetria de Lorentz como um pilar da teoria da relatividade especial, que afirma que as leis da física são as mesmas para todos os observadores inerciais, independentemente de sua velocidade relativa ou orientação espacial. Essa simetria é refletida nas transformações de Lorentz, que descrevem como as coordenadas de espaço-tempo se transformam entre diferentes observadores inerciais. Ainda segundo o autor as teorias de violação da simetria de Lorentz ou VSL sugerem que essa simetria pode não ser exata em todas as escalas. Esses modelos são motivados por diversas razões, incluindo a tentativa de unificar a mecânica quântica com a relatividade geral ou explorar efeitos de escala na gravitação quântica.

Kostelecký, (2004) diz que uma das maneiras de formular a violação da simetria de Lorentz é através da introdução de campos de fundo que permeiam o espaço-tempo e que selecionam direções ou referenciais preferenciais. Esses campos podem ser vistos como uma espécie de éter moderno. Além disso, Campos vetoriais de fundo, como os vetores de Lorentz, podem ser introduzidos no espaço-tempo, o que rompe a isotropia e a homogeneidade inerentes à simetria de Lorentz. Esses vetores de

fundo poderiam, por exemplo, afetar a propagação de partículas em diferentes direções de maneira distinta, criando efeitos observáveis.

A busca por violação da simetria de Lorentz é ativa em muitos experimentos e observações astronômicas. Para Mattingly, (2005) alguns dos testes incluem os experimentos de alta precisão como aqueles utilizando relógios atômicos e interferômetros de laser, onde testam as variações nas constantes físicas fundamentais que poderiam sugerir uma violação da simetria de Lorentz. Há também as observações de raios cósmicos de alta energia e neutrinos que podem fornecer indícios de violação da simetria de Lorentz, especialmente se forem observadas variações anômalas nas suas velocidades ou padrões de interação. Ainda temos os testes envolvendo a teoria da gravitação, como as observações das ondas gravitacionais e o comportamento de sistemas binários de estrelas de nêutrons, podem revelar desvios das previsões da relatividade geral que poderiam ser interpretados como violações da simetria de Lorentz.

A ideia de um meio ou campo de fundo que poderia quebrar a simetria de Lorentz continua sendo uma área intrigante de pesquisa na física teórica moderna. Modelos que incorporam esses campos de fundo permitem explorar novas físicas além da relatividade especial, potencialmente levando a uma melhor compreensão da unificação das forças fundamentais e da gravitação quântica.

O éter moderno pode também estar relacionado aos Modelos de Mundo Brana e a Teoria das Cordas. Mesmo que sejam propostas hipotéticas, há boas alternativas para se tentar explicar essas novas hipóteses de modelos físicos. Por meio disso podemos explorar as principais propostas sobre a constante cosmológica e campos escalares em Modelos de Mundo Brana e Teorias de Cordas.

Randall & Sundrum, (1999) nos fornece as bases para um cenário de Mundos Brana, em que nosso Universo é concebido como uma "brana" ou uma subvariedade de dimensões menores embutida em um espaço de maior dimensionalidade chamado de "bulk". Estas ideias emergem da teoria de supercordas e da teoria M, que postulam a existência de múltiplas dimensões além das quatro (três espaciais e uma temporal) que percebemos. Propostas por Randall e Sundrum, sugerem que nosso universo pode ser uma 3-brana em um espaço-tempo de 5 dimensões, além de explorar diferentes configurações de branas e o efeito de uma constante cosmológica no bulk.

Randall & Sundrum, (1999) indicam que em Modelos de Mundo Brana, a constante cosmológica pode ter diferentes valores no bulk e na brana. A dinâmica das

branas e a curvatura do bulk são influenciadas por Λ , levando a possíveis soluções para o problema da constante cosmológica e implicações na cosmologia observacional.

Com relação a campos escalares, estes, segundo Randall & Sundrum, (1999), desempenham um papel crucial em Teorias de Mundo Brana e Teorias de Cordas, frequentemente associados a modos de vibração das cordas ou a componentes da métrica em espaços adicionais. Esses espaços são definidos a partir do Dílaton, um campo escalar que surge naturalmente nas Teorias de Cordas. O dílaton é importante para definir a constante de acoplamento da teoria e influencia a dinâmica de branas e do bulk. Em muitos cenários, a evolução cosmológica do dílaton pode afetar a constante cosmológica efetiva percebida na brana. Outros casos são os moduli que são campos escalares correspondentes às formas das dimensões compactificadas. A estabilização dos moduli é um problema crucial, pois sua dinâmica pode levar a uma constante cosmológica efetiva e influenciar a estrutura do universo.

A Teoria das Cordas, segundo Randall & Sundrum, (1999) se apresenta como uma das principais candidatas a fornecer uma descrição unificada de todas as forças fundamentais, incluindo a gravidade. Em sua formulação mais completa, a teoria requer 10 ou 11 dimensões de espaço-tempo. Para reconciliar as dimensões extras com a realidade observada, as dimensões adicionais são compactificadas em escalas muito pequenas, formando uma variedade interna. A estrutura dessa compactação afeta a física de 4 dimensões, incluindo a constante cosmológica.

Em muitas soluções da teoria das cordas, os fluxos de campo em massa podem contribuir com a energia do vácuo e, com a constante cosmológica. A interação entre campos de fluxo e membranas pode gerar potenciais de campos escalares eficazes que influenciam a dinâmica cósmica permeando todo o universo como um éter ou quintessência (Randall & Sundrum, 1999).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A história e o desenvolvimento do conceito de éter no contexto da filosofia e da física revelam uma jornada rica e complexa que influenciou profundamente o pensamento científico durante séculos. O éter teve origem na Grécia antiga e foi proposto por filósofos como Parmênides e Aristóteles. É considerado o quinto elemento, uma substância celestial que preenche o espaço além da terra. Esta ideia foi a base da cosmogonia aristotélica e persistiu durante muitos séculos como uma explicação razoável dos fenômenos celestes.

Com o surgimento da ciência moderna, o conceito de éter evoluiu e se transformou. No século XVII, René Descartes e posteriormente Isaac Newton incorporaram o éter em sua física mecânica, propondo que o éter era um meio contínuo que preenchia todo o espaço e transmitia forças entre os objetos. No final do século XIX, o éter luminífero tornou-se a pedra fundamental da teoria da propagação da luz, particularmente a teoria ondulatória da luz proposta por Thomas Young e Augustin-Jean Fresnel. O desenvolvimento da teoria eletromagnética por James Clerk Maxwell solidificou ainda mais a importância do éter, que era visto como um meio necessário para a propagação de ondas eletromagnéticas. Na época, pensava-se que o éter luminífero era crucial para explicar como o fenômeno da luz e outras radiações eletromagnéticas viajavam através do vácuo pelo espaço. Porém, a virada do século XX trouxe uma reviravolta no paradigma com os experimentos de Michelson e Morley, que não obtiveram os resultados esperados em detectar qualquer movimento relativo do éter em relação à Terra. Esta anomalia foi uma das motivações para a teoria da relatividade especial de Albert Einstein, que tirou a necessidade do éter ao introduzir o conceito do limite da velocidade da luz com uma nova cinemática, baseada nas transformações de Lorentz.

A teoria da relatividade e o advento da mecânica quântica no início do século XX marcaram o fim do éter como uma entidade puramente filosófica, substituindo-o por conceitos mais robustos e verificáveis empiricamente. No entanto, o éter deixou um legado duradouro no desenvolvimento do pensamento científico, ilustrando a transição de explicações metafísicas para modelos físicos estruturalmente fundamentados.

A história do éter no contexto filosófico e da física exemplifica a evolução do pensamento científico, refletindo a busca incessante por uma compreensão mais

profunda da natureza do universo. A trajetória do conceito de éter, desde suas raízes filosóficas na Antiguidade até a nova definição de um éter moderno na cosmologia moderna, demonstra como a ciência avança através da integração de novas evidências e da reformulação de teorias preexistentes. Este percurso histórico serve como um lembrete da natureza dinâmica do conhecimento científico e da importância da abertura para novas ideias e paradigmas na Física e na Ciência.

REFERÊNCIAS

- Albert Einstein (1918). "**Dialog about Objections against the Theory of Relativity**" , *Naturwissenschaften*, 6 (48): 697–702, Bibcode:1918NW.....6..697E, doi:10.1007/BF01495132, S2CID 28132355. Acesso em: 08 de maio, 2024.
- Albert Einstein. (1917). "**Kosmologische Betrachtungen zur allgemeinen Relativitätstheorie.**" *Sitzungsberichte der Königlich Preußischen Akademie der Wissenschaften* (Berlin), 1917 (part 1): 142-152. Disponível em: https://www.academia.edu/1964864/Einstein_in_the_Daily_Press. Acesso em: 13 de maio, 2024.
- Akrami, Y., et al. (2020). **Resultados do Planck 2018. X. Restrições à inflação.** *Astronomia e Astrofísica*, 641, A10. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1807.06211>. Acesso em: 15 de jun. 2024.
- Bernard Cohen. **Revolução na Ciência** (Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1985) p170. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=KniUvcxFtOwC>. Acesso em: 06 de maio, 2024.
- Birrell, ND e Davies, PCW (1982). **Campos Quânticos em Espaço Curvo.** Monografias de Cambridge sobre Física Matemática. Imprensa da Universidade de Cambridge, Cambridge. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511622632>. Acesso em: 16 de jun. 2024.
- Bahcall, J. N., & Soneira, R. M. (1980). "**The universe at faint magnitudes. I. Models for the galaxy and the predicted star counts.**" *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 44: 73-110. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1980ApJS...44...73B/abstract>. Acesso em: 15 de jun. 2024.
- B.J.T. Dobbs (1983). **The Foundations of Newton's Alchemy**, p. xiv. Edição ilustrada, reimpressão. Editora CUP Archive, 1983. *E-book*.
- Caldwell, R. R., Steinhardt, Paul J. (1999). **Cosmic Concordance and Quintessence.** American Astronomical Society. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1086/308331>. Acesso em: 16 de jun. 2024.
- Caldwell, R. R. and Dave, Rahul and Steinhardt, Paul J. (1998). **Cosmological Imprint of an Energy Component with General Equation of State.** American Physical Society. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.80.1582>. Acesso em: 16 de jun. 2024.
- David Layzer. **Construindo o Universo**, Scientific American Library (WH Freeman & Co., Nova York, 1984) p162. *E-book*.
- Dayton C. Miller. **The Ether-Drift Experiment and the Determination of the Absolute Motion of the Earth.** *Reviews of Modern Physics*, Vol.5 (July 1933) p239. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/RevModPhys.5.203>. Acesso em: 07 de maio, 2024.
- Dirac, P. M. (1951). "**Is there an Aether?**". *Nature*. 168 (4282): 906. Bibcode:1951Natur.168.906D. doi:10.1038/168906a0. S2CID 4288946. Acesso em: 08 de maio, 2024.
- ER Harrison. **Cosmologia, a Ciência do Universo.** (Cambridge University Press, 1981) p108 e I. Bernard Cohen, *Revolution in Science* (The Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1985) p162. *E-book*.
- Einstein, Albert (1905a), "**Zur Elektrodynamik bewegter Körper**", *Annalen der Physik*, 322 (10): 891–921, Bibcode:1905AnP...322..891E,

- doi:10.1002/andp.19053221004. See also: English translation Archived 2005-11-25 at the Wayback Machine. Acesso em: 08 de maio, 2024.
- Elbarrildenewton. **El cosmos aristotélico**. Disponível em: <https://elbarrildenewton.wordpress.com/2017/03/07/591/>. Acesso em: 23 de jun. 2024.
- F. Sherwood Taylor. **Os Alquimistas**, página 95. Edição: reimpressão Editora: Paladin, 1976. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=XYqpzwEACAAJ>. Acesso em: 06 de maio, 2024.
- FIZEAU, H. (1851). "**The Hypotheses Relating to the Luminous Aether, and an Experiment which Appears to Demonstrate that the Motion of Bodies Alters the Velocity with which Light Propagates itself in their Interior**". *Philosophical Magazine*. 2: 568–573. doi:10.1080/14786445108646934. Acesso em: 07 de maio, 2024.
- GRANT, Edward (1996). **Planets, Stars, & Orbs: The Medieval Cosmos, 1200-1687** (1st pbk. ed.). Cambridge [England]: Cambridge University Press. pp. 322–428. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/391463957/Edward-Grant-Planets-Stars-And-Orbs-the-Medieval-Cosmos-1200-1687>. Acesso em: 02 de maio, 2024.
- GUNN, J. E. Tinsley, B. M. (1975). **An accelerating Universe**. *Nature*, vol. 257, Oct. 9, 1975, p. 454–457. NSF-supported research. DOI: 10.1038/257454a0. Acesso em: 14 de jun. 2024.
- GUTH, Alan H. (1981). **Inflationary universe: A possible solution to the horizon and flatness problems**. American Physical Society. doi: 10.1103/PhysRevD.23.347. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.23.347>. Acesso em: 15 de jun. 2024.
- KALDERON, Mark. (2023). **Cosmos and Perception in Plato's Timaeus: In the Eye of the Cognitive Storm**. 10.4324/b22913. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/369874799_Cosmos_and_Perception_in_Plato's_Timaeus_In_the_Eye_of_the_Cognitive_Storm. Acesso em: 05 de maio, 2024.
- KOSTELECKÝ, V. Alan. (2004). **Gravity, Lorentz violation, and the standard model**. *Physical Review D*. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevD.69.105009>. Acesso em: 17 de jun. 2024.
- HOBART, Michael E. (2018-04-16). **The Great Rift: Literacy, Numeracy, and the Religion-Science Divide**. Harvard University Press. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330018725_The_Great_Rift_Literacy_Numeracy_and_the_Religion-Science_Divide. Acesso em: 05 de maio, 2024.
- HAHM, David E. (1982). "**The fifth element in Aristotle's De Philosophia: A Critical Re-Examination**". *The Journal of Hellenic Studies*. 102: 60–74, at p.62. doi:10.2307/631126.
- HOEK, M. (1868). "**Determination de la vitesse avec laquelle est entraînée une onde lumineuse traversant un milieu en mouvement**". *Verslagen en Mededeelingen*. 2: 189–194. Disponível em: https://fr.wikisource.org/wiki/Determination_de_la_vitesse_avec_laquelle_est_entraînée_une_onda_lumineuse_traversant_un_milieu_en_mouvement. Acesso em: 07 de maio, 2024.
- LLOYD, G. E. R. (1968). **Aristotle: The Growth and Structure of his Thought**, Cambridge: Cambridge Univ. Pr., pp. 133–139. *E-book*.
- LORENTZ, Hendrik Antoon (1895). **Versuch einer Theorie der electrischen und optischen Erscheinungen in bewegten Körpern [Attempt of a Theory of Electrical and Optical Phenomena in Moving Bodies]**, Leiden: E.J. Brill.

Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=vY6HAAAQBAJ>. Acesso em: 07 de maio, 2024.

LARMOR, Joseph (1900). **Aether and Matter: A Development of the Dynamical Relations of the Aether to Material Systems on the Basis of the Atomic Constitution of Matter, Including a Discussion of the Influence of the Earth's Motion on Optical Phenomena**, Being an Adams Prize Essay in the University of Cambridge, Cambridge University Press. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=ROKZAAAAIAAJ>. Acesso em: 07 de maio, 2024.

MARTINS, Roberto de Andrade. **Espaço, tempo e éter na teoria da relatividade**. Pp. 31-60, in: KNOBEL, Marcelo; SCHULZ, Peter A. (orgs.). *Einstein: muito além da relatividade*. São Paulo: Instituto Sangari, 2010.

MICHELSON, Albert Abraham & MORLEY, Edward Williams (1887). "**On the Relative Motion of the Earth and the Luminiferous Ether**". *American Journal of Science*, 34 (203): 333–345, Bibcode:1887AmJS...34..333M, doi:10.2475/ajs.s3-34.203.333, S2CID 124333204. Acesso em: 07 de maio, 2024.

MATTINGLY, D. (2005). **Testes Modernos de Invariância de Lorentz**. *Revisões Vivas na Relatividade*, 8, 5. Disponível em: <http://www.livingreviews.org/lrr-2005-5>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

National Aeronautics and Space Administration. **CMB Images**. Disponível em: <https://map.gsfc.nasa.gov/media/121238/index.html>. Acesso em: 23 de jun. 2024.

MUKHANOV, V. **Physical Foundations of Cosmology**. Cambridge University Press, 2005.

PAES, Abrahan. **Sutil é o Senhor... A Ciência e a Vida de Albert Einstein**. Nova Fronteira, 1995, ISBN 85-209-0631-1.

POINCARÉ, Henri (1900). "**La théorie de Lorentz et le principe de réaction**", *Archives Néerlandaises des Sciences Exactes et Naturelles*, 5: 252–278. Disponível em: <https://web.archive.org/web/20080626193037/http://www.physicsinsights.org/poincare-1900.pdf>. Acesso em: 07 de maio, 2024.

POINCARÉ, Henri (1906). "**Sur la dynamique de l'électron**" [**On the Dynamics of the Electron**], *Rendiconti del Circolo Matematico di Palermo*, 21: 129–176, Bibcode:1906RCMP...21..129P, doi:10.1007/BF03013466, hdl:2027/uiug.30112063899089, S2CID 120211823. Acesso em: 07 de maio, 2024.

RATRA, B., & Peebles, P.J.E. (2003). "**The cosmological constant and dark energy**." *American Physical Society*. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/RevModPhys.75.559>. Acesso em: 16 de jun. 2024.

RANDALL, L., & Sundrum, R. (1999). "**An alternative to compactification**." *Physical Review Letters*, 83(23), 4690. Disponível em: <https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.83.4690>. Acesso em: 17 de jun. 2024.

RIESS, AG, et al. "**Evidências observacionais de supernovas para um universo em aceleração e uma constante cosmológica**." *Revista Astronômica*, 1998. E-BOOK.

Robert Fludd, "**Filosofia mosaica**". Londres, Humphrey Moseley, 1659. Pág. 221. *E-book*.

ROSENFELD, L. (1969). "**As opiniões de Newton sobre o éter e a gravitação**". *Arquivo de História das Ciências Exatas*.6(1): 29 37.

doi:10.1007/BF00327261.S2CID122494617. Acesso em: 06 de maio, 2024.

Robert Boyle. **Os Trabalhos do Honorável Robert Boyle**, ed. Thomas Birch, 2ª ed., 6 vols. (BOYLE,1772,P.316). Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?id=LqYrAQAAMAAJ>. Acesso em: 07 de maio, 2024.

SAGNAC, Georges (1913). "**L'éther lumineux démontré par l'effet du vent relatif d'éther dans un interféromètre en rotation uniforme**" [The demonstration of the luminiferous aether by an interferometer in uniform rotation], Comptes Rendus, 157: 708–710. Disponível em:

https://en.wikisource.org/wiki/Translation:The_Demonstration_of_the_Luminiferous_Aether. Acesso em: 08 de maio, 2024.

SANDAGE, A. (1958). **Problemas de Correntes na Escala de Distância Extragaláctica**. O Jornal Astrofísico, 127, 513-526. <http://dx.doi.org/10.1086/146483>. Acesso em: 14 de jun. 2024.

SANDAGE, A. (1958). **Problemas de Correntes na Escala de Distância Extragaláctica**. O Jornal Astrofísico, 127, 513-526. <http://dx.doi.org/10.1086/146483>. Acesso em: 14 de jun. 2024.

Sean M. Carroll. **The Cosmological Constant : Living Reviews in Relativity**, Vol.4:1 (2001). Posted at:<http://relativity.livingreviews.org/Articles/lrr-2001-1>. Acesso em: 15 de maio, 2024.

PADMANABHAN, T. (2003). "**Cosmological Constant — The Weight of the Vacuum**." Physics Reports, 380(5-6), 235-320. doi:10.1016/S0370-1573(03)00120-0. Acesso em: 14 de jun. 2024.

PHYSICS.BG. **Real analysis of the famous blunder “Michelson-Morley experiment”**. Disponível em: <https://physics.bg/home/physics-problems/speed-of-light-constancy/michelson-morley-experiment-blunder/>. Acesso em: 23 de jun. 2024.

PEEBLES, P.J.E. (1993). **Principles of Physical Cosmology**. Volume 27. Princeton Series in Physics. Edição ilustrada. Editora Princeton University Press, 1993 ISBN 0691019339, 9780691019338. Disponível em:

<https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=LRCnDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=Peebles,+P.+J.+E.+%22Physical+Cosmology.%22+Princeton+University+Press,+1971.&ots=jpAptiMa2d&sig=NgM6r0N3jTnUGs9JssPD0k2VO7o#v=onepage&q=Peebles%2C%20P.%20J.%20E.%20%22Physical%20Cosmology.%22%20Princeton%20University%20Press%2C%201971.&f=false>. Acesso em: 14 de jun. 2024.

PERLMUTTER, S. et. al. (1999). **Measurements of Ω and Λ from 42 High-Redshift Supernovae**. The Astrophysical Journal, 517(2), 565-586. doi:10.1086/307221. Acesso em: 16 de jun. 2024.