ANDRÉ
BONAVENTURA

PRINCÍPIOS DE ENERGIA E TEMPO

FILOSOFIA
NATURAL

FILOSOFIA NATURAL

PRINCÍPIOS DE ENERGIA E TEMPO

ANDRÉ BONAVENTURA

Copyright © 2021 Editora Ponto e Vírgula

A reprodução de qualquer parte deste livro só é permitida mediante autorização por escrito do editor e dos autores da obra.

Capa & diagramação **THE CREATIVE BOX**

Dados Internacionais para catalogação
na Publicação (CIP)

B699

BONAVENTURA, André

Filosofia Natural: princípios de energia e tempo / André
Bonaventura – São Paulo/SP: Editora Vecchio, 2021.

102p.;

ISBN: 978-65-89922-11-7

1. Científico. I. Título.

CDD: 398.36

Índice para catálogo sistemático:

1. Científico

[2021]

Todos os direitos desta edição reservados à Editora Vecchio.

editorapontoevirgula@outlook.com.br

"Olhem para as estrelas e aprendam com elas,"

ALBERT EINSTEIN

CAPÍTULO 1

HISTÓRIA DA CIÊNCIA E COSMOLOGIA

O universo sempre despertou o interesse da humanidade. Antigamente, a origem dele estava relacionada à crença e à mitologia, o que deu origem à pseudociência denominada de cosmogonia. Contudo, foi na escola filosófica pré-socrática que surgiram os primeiros filósofos gregos, conhecidos como filósofos naturais. Algumas perguntas que motivaram esses filósofos foram: "Qual a origem de tudo? Do que as coisas são feitas? Como descrever matematicamente a natureza?" Porém, tais respostas só começaram a fazer sentido com o nascimento da Física Clássica, na Era do Renascimento (início do século XVI). A Física Clássica foi dividida em quatro grandes áreas: mecânica (estudo dos movimentos e da gravitação), termodinâmica (estudo da temperatura e do calor), óptica (estudo da luz) e eletromagnetismo (estudo dos fenômenos eletromagnéticos).

No início do século XX, havia perguntas que a Física Clássica não conseguia responder. Foi então que surgiu

a Física Moderna. Essa nova área da física foi dividida em dois grandes pilares: Física Quântica e Teoria da Relatividade.

Contudo, a própria Teoria da Relatividade apresenta duas vertentes. A primeira é a Teoria da Relatividade Especial, que estuda o comportamento da natureza de objetos que se deslocam próximo da velocidade da luz. Já segunda vertente, a Teoria da Relatividade Geral, é uma descrição da gravidade; essa vertente substitui o conceito de força gravitacional, de Isaac Newton, pela deformação do espaço-tempo.

A união entre Física Quântica e Teoria da Relatividade Especial foi obtida com sucesso pela equação de Dirac e pela teoria da Eletrodinâmica Quântica. Por outro lado, a união da Teoria da Relatividade Geral com a Física Quântica ainda é um grande desafio para os físicos contemporâneos. No próximo capítulo propomos uma união dessas teorias e denominamos o resultado da Teoria Quântica da Gravidade.

Sendo assim, a teoria que propomos responderá de forma simples e trivial às perguntas mais intrigantes da Física Moderna. Procuramos descrever a Teoria Quântica da Gravidade de forma acessível a todos, a fim de que qualquer um consiga entender o universo no qual está contido. Por isso, com o objetivo de orientar os novos leitores nessa área, apresentaremos uma breve revisão da história e dos conceitos essenciais que abordaremos nos próximos capítulos. Iniciamos com a Física Quântica e posteriormente passamos às duas Teorias da Relatividade.

A Física Quântica teve início no ano de 1900, com Max Planck. Naquela época, havia um problema na física denominado “catástrofe ultravioleta”. Essa catástrofe ocorria porque a Física Clássica não conseguia explicar a emissão eletromagnética de um corpo em equilíbrio térmico, por exemplo, um corpo negro. A solução para o problema foi apresentada por Max Planck, em 1900. Ele mostrou que a energia não era contínua, mas sim quantizada.

De forma simples, quantizar alguma coisa é dividi-la em pequenos pedaços indivisíveis. Assim, quando desejamos descrever algo maior, basta multiplicar ou somar os pequenos pedaços quantizados anteriormente. Dessa forma, Max Planck mostrou que a energia irradiada por um corpo em equilíbrio térmico é quantizada. A quantização da energia é sempre igual à constante de Planck ($h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js) multiplicado pela frequência; isto é:

$$E = hf \quad (1)$$

Pouco tempo depois de Max Planck, em 1905, Albert Einstein resolveu outro problema que a Física Clássica não conseguia explicar. Esse problema era o efeito fotoelétrico. Antes de Albert Einstein, a natureza da luz era associada apenas aos efeitos ondulatórios. Mas Albert Einstein mostrou que a luz também apresentava comportamento corpuscular, de partículas chamadas fótons. Logo, cada fóton carregava consigo uma energia quantizada igual ou maior que a energia necessária para retirar um elétron de um certo material. Isso resolveu o

problema do efeito fotoelétrico. Essa solução indicou um novo caminho para a física: a dualidade das partículas elementares.

Inspirado na solução do efeito fotoelétrico, no ano de 1924, o físico Louis de Broglie apresentou sua tese na qual além dos fótons, todas as partículas também deveriam apresentar comportamento dual (de onda e de partícula). Devido a esse conceito de onda-partícula, foi necessário desenvolver uma nova forma de descrever a mecânica (teoria que descreve o movimento), o que deu origem à mecânica quântica.

Então, no ano de 1925, o físico Erwin Schrödinger apresentou uma teoria que descrevia uma função de onda-matéria (onda-partícula), hoje conhecida como Equação de Schrödinger. No contexto não relativístico (baixa velocidade), a Equação de Schrödinger é muito relevante e assertiva, pois ela descreve bem a forma em que o estado quântico evolui com o tempo. Todavia, a teoria desenvolvida por Erwin Schrödinger não era compatível com a Teoria da Relatividade Especial de Albert Einstein. Por isso, o físico teórico Paul Dirac dedicou tempo do seu trabalho para descrever uma equação que incluísse a Relatividade Especial na Equação de Schrödinger.

Foi então que, no ano de 1928, Paul Dirac apresentou a equação de onda-partícula relativística e previu a existência de partículas com energia negativa, isto é, antipartículas. Quatro anos depois, em 1932, o pósitron (antipartícula do elétron) foi detectado experimentalmente. Este fato motivou a comunidade científica da época a

planejar e a construir outros experimentos a fim de detectar novas partículas elementares (indivisíveis) e suas antipartículas correspondentes. As buscas pelas novas partículas foram bem-sucedidas e renderam muitos prêmios Nobel para os físicos no século XX.

Para organizar todas as partículas elementares que foram detectadas até o presente momento, foi criado um Modelo Padrão das Partículas Elementares. Em tal modelo, as partículas são organizadas de acordo com as suas características em comuns, ou seja, massa, carga elétrica e *spin*. A Figura 1 ilustra a organização atual das partículas elementares no Modelo Padrão:

Figura 1 - Modelo Padrão das Partículas Elementares organizado em 4 grupos: léptons, *quarks*, partículas mediadoras e bóson de Higgs.

Para cada partícula elementar, exceto as partículas mediadoras, existe uma antipartícula. O encontro de uma partícula de matéria com sua respectiva partícula de antimatéria causa o aniquilamento e a energia é dissipada por meio de um fóton.

Há um limite experimental para a detecção simultânea da posição (Δr) e do momento da partícula (Δp). Este limite foi apresentado em 1927 por Werner Heisenberg. Ele é conhecido como Princípio da Incerteza de Heisenberg; isto é:

$$\Delta r \Delta p = \frac{h}{4\pi} \quad (2)$$

Além da incerteza na posição e no momento, o Princípio da Incerteza de Heisenberg também impõe limite na medida simultânea da energia (ΔE) e do tempo (Δt); isto é:

$$\Delta E \Delta t = \frac{h}{4\pi} \quad (3)$$

Também existem partículas que não podem ser detectadas experimentalmente, pois o seu tempo de vida é muito curto, o que exigiria uma energia muito grande (infinita – vide Equação 3). Essas partículas são denominadas de partículas virtuais. Mesmo com tempo de vida curto, essas partículas virtuais existem e são responsáveis pelas flutuações quânticas do vácuo. De forma indireta, essas flutuações quânticas podem ser detectadas coletivamente, por meio do experimento proposto pelo físico holandês Hendrik Casimir, em 1948. Tal experimento consiste em aproximar duas placas condutoras

no vácuo. Assim, a pressão das flutuações quânticas no interior das placas condutoras será menor que a pressão das flutuações quânticas na parte externa das placas. Essa diferença de pressão faz com que as placas condutoras se aproximem uma da outra, sem a necessidade da aplicação de uma força externa sobre as placas.

Durante o século XX, a física teórica também realizou grandes avanços, com elaborações de teorias fundamentais, como a Teoria Quântica de Campos (TQC), a Eletrodinâmica Quântica, a Teoria Eletrofraca e a Cromodinâmica Quântica.

Outra grande contribuição para a física ocorreu no ano de 1905, com a Teoria da Relatividade Especial, apresentada por Albert Einstein. Essa teoria foi construída sobre dois postulados:

1º postulado: as leis da física são invariantes (as mesmas leis) em qualquer referencial inercial.

2º postulado: a velocidade da luz é constante em todos os referenciais inerciais.

A motivação que Albert Einstein usou para desenvolver a Teoria da Relatividade Especial foi a imaginação. Ele imaginou o que aconteceria se viajássemos próximo da velocidade da luz.

Por convenção, vamos padronizar o índice 0 como sendo as medidas realizadas por um observador que se move com velocidade “ v ” em relação a um observador em repouso. Em altas velocidades ($v \approx c$, onde c é a velocidade da luz), as grandezas físicas (espaço e tempo) sofrerão alterações para que a velocidade da luz permaneça constante (2º postulado da Teoria da Relatividade

Especial). Sendo assim, o ajuste na dimensão espacial (ΔL) medida por um observador em repouso em relação a um que se move com velocidade v , será:

$$\Delta L = \Delta L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \quad (4)$$

Já o ajuste no tempo, isto é, dilatação temporal (Δt) que um observador em repouso mede em relação a um que se move com velocidade v , será:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

Dessa forma, Albert Einstein mostrou que o espaço e o tempo são grandezas físicas relativas. Daí o nome da teoria (teoria da “relatividade”), pois o espaço e tempo dependem do observador, do referencial e da velocidade com que um objeto ou observador se move. Esse discernimento, compreendido pela imaginação criativa de Albert Einstein, mudou o paradigma da Física Clássica. Até então, o espaço e o tempo eram grandezas físicas absolutas (fixas, rígidas e imutáveis). Foi nesse conceito de absolutismo que Isaac Newton se apoiou para descrever a gravidade clássica que aprendemos no ensino básico.

Além do espaço e do tempo, a massa inercial (m) também varia em função da velocidade com que o corpo se move. A variação da massa inercial (m) é descrita em função da massa de repouso (m_0) e do fator de Lorentz (denominador da Equação 6):

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (6)$$

Caso o corpo esteja em repouso ($v = 0$), o fator de Lorentz será igual a 1. Esse fato implica que a massa inercial (m) será igual à massa de repouso (m_0). Foi a partir dessa observação que Albert Einstein mostrou matematicamente a equivalência entre energia e massa de repouso (m_0), ou seja:

$$E = m_0 c^2 \quad (7)$$

Albert Einstein é conhecido como um grande gênio do século passado, porque, além da Teoria da Relatividade Especial, ele fez outras grandes contribuições para a Física Moderna. Por exemplo, em 1915 ele apresentou a Teoria da Relatividade Geral. Como de costume, ele usou a imaginação para descrever a teoria. Ele imaginou que uma pessoa dentro de um elevador fechado (sem acesso à informação externa) não seria capaz de distinguir se ela está em movimento acelerado ou sob a ação de um campo gravitacional local. Esse experimento mental é conhecido como Princípio de Equivalência, que inspirou a elaboração da Teoria da Relatividade Geral.

Foi por meio da Teoria da Relatividade Geral que Albert Einstein mostrou que espaço e tempo não são independentes, mas sim, que formam uma única entidade. Essa unicidade é o que entendemos como espaço-

-tempo, composto por 4 dimensões (x, y, z e tempo). Em nossa imaginação, podemos representar o espaço-tempo como um tecido elástico cósmico que preenche todo o universo.

Porém, para Albert Einstein, o espaço-tempo também poderia ser escrito como um tensor, tal como o tensor $G_{\mu\nu}$. Um tensor é uma entidade matemática que representa a soma ou produto de um conjunto de operações. Sobre o tensor $G_{\mu\nu}$ (geometria do espaço-tempo), estão distribuídos todos os objetos astronômicos do nosso universo (estrelas, planetas, buracos negros...). Cada um desses objetos gera um tensor energia-momento (tensor $T_{\mu\nu}$) capaz de deformar o espaço-tempo (tensor $G_{\mu\nu}$). Portanto, na Teoria da Relatividade Geral, a gravidade é a deformação do tensor $G_{\mu\nu}$ devido à ação do tensor $T_{\mu\nu}$. A relação matemática entre os tensores $G_{\mu\nu}$ e $T_{\mu\nu}$ é descrita pela Equação de Campo de Einstein, onde k é a constante de acoplamento:

$$G_{\mu\nu} = kT_{\mu\nu} \quad (8)$$

Analisando a Equação 8, entendemos a frase de John Wheeler: “o espaço-tempo diz à matéria como se mover; a matéria diz ao espaço-tempo como se curvar”. Após a publicação da Teoria da Relatividade Geral, vários físicos e matemáticos da época procuraram resolver a Equação de Campo de Einstein. Por isso, o termo do lado esquerdo da Equação 8 é equivalente à soma do tensor de Curvatura de Ricci (tensor $R_{\mu\nu}$), do tensor métrico (tensor $g_{\mu\nu}$), do tensor curvatura escalar (R) e da

constante cosmológica (Λ). A constante de acoplamento está em função de outras constantes: π , G (constante da gravitação universal) e c (velocidade da luz):

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R + g_{\mu\nu} \Lambda = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (9)$$

Através da Física Quântica, das Teorias da Relatividade, das observações astronômicas em grandes escalas e dos métodos numéricos, criou-se uma área na física denominada de Cosmologia Moderna. A Cosmologia Moderna procura entender a composição, a origem, a evolução e o futuro do universo.

Atualmente, o modelo cosmológico mais completo e aceito é o Λ -CDM ("lambda - matéria escura fria"; em inglês, "*Lambda - Cold Dark Matter*"). De acordo com o modelo Λ -CDM, a composição do universo é dividida em 3 grandes setores, conforme apresentado na Figura 2. Note que conhecemos (e podemos observar diretamente) apenas 5% de tudo o que existe. O restante, 95%, corresponde aos setores desconhecidos, isto é, a 25% de matéria escura e 70% de energia escura.

Figura 2 – Composição do universo segundo a o modelo cosmológico - CDM

Diante da grande lacuna de desconhecimento sobre a composição do universo (95% de tudo o que existe), torna-se necessário propor novas teorias e novos experimentos, de modo a discernir a origem e a composição do desconhecido.

Por isso, neste tempo presente, estamos repetindo as ações dos primeiros filósofos naturais, ou seja, estamos praticando a arte da filosofia natural (do latim "*philosophiæ naturalis*"). Veremos, ao longo dos próximos capítulos, que as respostas que a Cosmologia Moderna procura estão relacionadas com os princípios de energia e tempo (do latim "*principia energiæ et tempus*"). Por isso, o título deste livro é: *Filosofia Natural: princípios de energia e tempo*.

Este livro é uma homenagem a Isaac Newton, porque, assim como nós, ele enfrentou o isolamento social devido a uma pandemia; no caso de Isaac Newton, o isolamento ocorreu entre os anos de 1665 e 1666, devido à pandemia da Peste Negra, que assolou a Europa e o mundo. Isaac Newton usou o isolamento para refletir sobre a filosofia natural e praticá-la. O resultado do isolamento social deu origem a um livro "*Philosophiæ Naturalis: Principia Mathematica*", publicado em 1687, ou seja, 300 anos antes do meu nascimento. Inspirado em Isaac Newton, eu (ao lado do meu amigo dog, o Charlie) usei o isolamento social – devido agora à pandemia do COVID-19 – para também refletir sobre a filosofia natural e praticá-la. Os resultados, frutos da imaginação e da arte da dúvida, são apresentados nos próximos capítulos.

CAPÍTULO 2

INTRODUÇÃO A TEORIA QUÂNTICA DA GRAVIDADE

INTRODUÇÃO:

A natureza é uma só, e, por isso, as teorias bem-sucedidas da física precisam convergir. Unir os conceitos da Física Quântica com a Teoria da Relatividade Geral é um desafio. As tentativas de construir uma teoria quântica para a gravidade já exigiram muitos esforços dos cientistas em todo o mundo. A busca por essa teoria é importante, pois ela será capaz de responder às indagações abertas pela Cosmologia Moderna, tais como a origem da matéria escura e da energia escura. Sendo assim, neste capítulo, apresentamos uma teoria quântica para a gravidade. Porém, ao contrário do que muitos imaginam, a união que propomos entre essas teorias da física se deu de forma muito simples; afinal de contas, a natureza é simples.

METODOLOGIA:

Usaremos os conceitos abordados no capítulo anterior: Teoria da Relatividade Especial e Geral, Física Quântica, partículas virtuais e Teoria Quântica de Campos (TQC), a fim de descrever a teoria que apresentaremos, isto é, a Teoria Quântica da Gravidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Nesta seção, mostraremos as etapas para a construção da Teoria Quântica da Gravidade. A ideia geral é quantizar (discretizar) tanto a geometria do espaço-tempo (tensor $G_{\mu\nu}$) quanto o tensor energia-momento (tensor $T_{\mu\nu}$), ambos descritos pela Teoria Da Relatividade Geral de Albert Einstein.

O primeiro passo para a construção de tal teoria é analisar o vácuo (ausência de matéria comum/bariônica). Dessa maneira, estaremos estritamente analisando a geometria do espaço-tempo e não a das partículas elementares de matéria e antimatéria do Modelo Padrão. No vácuo, a velocidade da luz (c) é constante e invariante. Relacionando-a com a constante de Planck, temos:

$$\frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{h}{h} c \quad (1)$$

Manipulando os termos da Equação 1 e usando a definição de frequência ($f = 1/\Delta t$) e de momento linear ($\Delta p = hf/c$), obtemos a Equação 2. Como estamos analisando o vácuo (ausência de matéria comum/bariônica), o valor de Δp (variação do momento linear) corresponde ao va-

lor médio do mar de partículas virtuais que preenche um intervalo de espaço delimitado por Δr .

$$\Delta r \frac{hf}{c} = h \therefore \Delta r \Delta p = h \quad (2)$$

De acordo com a Equação 2, os valores Δr , Δt e Δp não podem ser nulos. Esse fato revela que a geometria do espaço-tempo (tensor $G_{\mu\nu}$) não é contínua; caso contrário, poderíamos ter $\Delta r = 0$. Logo, a geometria do espaço-tempo (tensor $G_{\mu\nu}$) deve ser granulada, isto é, formada por pequenos elementos consecutivos de Δr e Δt , que denominaremos de pixel (menor parte do espaço-tempo). Por isso, de acordo com os resultados das Equações 1 e 2, definimos que:

“A geometria do espaço-tempo é formada por *pixels* consecutivos com dimensão h obtidos pelo produto de Δr por Δp ”

Da Teoria da Relatividade Especial, sabemos que os valores de Δr e Δt são relativos, para que a velocidade da luz (c) seja constante. Então, o valor de Δp também será relativo, pois Δp é inversamente proporcional a λ , e λ está limitado a Δr . Essa limitação ocorre, porque as partículas virtuais estão dentro de Δr . Devido ao fato de Δr ser a menor unidade mensurável do espaço-tempo, as partículas virtuais tornam-se indetectáveis ($\Delta r > \lambda$). Além disso, é importante destacar que estamos analisando o valor da variação do momento (Δp) do mar de partículas que preenche o pequeno espaço (Δr) e não apenas de uma única partícula virtual. Por isso, λ apresenta o valor médio:

$$p = \frac{h f}{c} = \frac{h}{\Delta t c} = \frac{h}{\lambda_{\text{médi}}} \quad (3)$$

De acordo com Albert Einstein, a energia total (E) é dada por:

$$E^2 = (m_0 c^2)^2 + (pc)^2 \quad (4)$$

Contudo, como estamos analisando o vácuo, a massa de repouso (m_0) é nula, e, por isso, o segundo termo da Equação 4 será igual a zero ($m_0 c^2 = 0$). Assim, a Equação 4 se resume apenas ao último termo (pc). Além disso, estamos adotando que “ p ” é equivalente à variação do momento (Δp). Por isso, usamos novamente a definição de momento ($\Delta p = hf/c$) e frequência ($f = 1/\Delta t$) na Equação 4. Dessa maneira, obtemos a próxima equação fundamental:

$$\Delta E = pc \therefore \Delta E \Delta t = h \quad (5)$$

Da mesma forma que definimos que o produto de Δr por Δp equivale a um pixel da geometria do espaço-tempo (Equação 2), podemos definir que o produto de ΔE por Δt é equivalente a um pixel que denominaremos de energia-tempo. A combinação consecutiva dos *pixels* energia-tempo dá origem a uma nova geometria, que chamaremos de geometria energia-tempo.

Comparando as Equações 2 e 5, obtemos:

$$\Delta r \Delta p = \Delta E \Delta t = h \quad (6)$$

A Equação 6 é a “regra do produto da quantização dos *pixels*”, já que um pixel é a menor parte de uma geometria. Além disso, a Equação 6 mostra a equivalência dos *pixels* de ambas as geometrias. Esse resultado é o mais importante deste capítulo, pois ele revela que um observador não consegue distinguir se ele está na geometria do espaço-tempo ou na geometria energia-tempo. Portanto, essa indistinguibilidade revela a equivalência entre as geometrias. Em outras palavras, as geometrias se sobrepõem e se tornam indistinguíveis uma da outra, formando uma única geometria, a geometria do espaço-tempo-energia. Por isso, definimos que:

“A estrutura mais fundamental que preenche todo o universo não é o espaço-tempo, mas sim, a geometria do espaço-tempo-energia”.

Contudo, dependendo do objetivo da investigação, podemos analisar as geometrias separadas ou unificadas. Por exemplo, a gravidade é analisada com louvor utilizando-se apenas a geometria do espaço-tempo. Mas veremos nos próximos capítulos que as respostas para a origem da matéria escura e da energia escura decorrem da análise unificada das geometrias, isto é, da análise da geometria do espaço-tempo-energia.

Conforme foi apresentado no capítulo anterior, a gravidade é descrita pela Equação de Campo de Einstein. A forma simplificada dessa equação é apresentada na Equação 7. Devemos lembrar que $G_{\mu\nu}$ é o tensor equivalente à geometria do espaço-tempo, $T_{\mu\nu}$ é o tensor energia-momento e k é a constante de acoplamento entre os tensores:

$$G_{uy} = kT_{uy} \quad (7)$$

Isolando a constante de acoplamento (k) da Equação 7, obtemos a razão do tensor $G_{\mu\nu}$ por $T_{\mu\nu}$ (Equação 8). Note que, no Sistema Internacional (SI), a constante de acoplamento ($k = \frac{8\pi G}{c^4}$) apresenta as unidades de “metro por joule” (m/J); isto é:

$$k = \frac{G_{uy}}{T_{uy}} = \frac{8\pi G}{c^4} \equiv \left[\frac{m}{J} \right] \quad (8)$$

Porém, como estamos interessados em discretizar (quantizar) a gravidade (Equação 7) em função dos *pixels*, devemos escrever as equações dos *pixels* (Equações 2 e 5) na forma de um sistema linear de duas equações; isto é:

$$\begin{cases} \Delta r \Delta p = h \\ \Delta E \Delta t = h \end{cases} \quad (9)$$

Dividindo a primeira equação pela segunda e ajustando os termos, obtemos:

$$\frac{\Delta r}{\Delta E} = \frac{\Delta t}{\Delta p} \quad (10)$$

Note que no SI as dimensões de $\Delta r/\Delta E$ e $\Delta t/\Delta p$ são as mesmas que as da constante de acoplamento k (Equação 8), isto é, “metro por joule” (m/J). Portanto, uol (Eureka!), a constante k é a ponte que liga os *pixels* (que possui propriedades quânticas) com a Teoria da Relatividade Geral. Devido ao fato de o pixel ser um pequeno elemento da geometria do espaço-tempo-energia, nós in-

serimos o índice “0” nos tensores $G_{\mu\nu}$ e $T_{\mu\nu}$, para indicar que tais tensores agem proporcionalmente e localmente no pixel. Por isso, reescrevendo as igualdades apresentadas nas Equações 8 e 10, temos:

$$k = \frac{\Delta r}{\Delta E} = \frac{\Delta t}{\Delta p} = \frac{G_{\mu\nu,0}}{T_{\mu\nu,0}} \quad (11)$$

A partir da Equação 11, podemos obter um conjunto de equações equivalentes que descreverão a teoria quântica para a gravidade:

$$G_{uy,0} = k T_{uy,0} \quad (12)$$

$$\Delta r = k \Delta E \quad (13)$$

$$\Delta t = k \Delta p \quad (14)$$

Vamos analisar cada uma das equações apresentadas acima. Anteriormente, já havíamos adiantado que o índice 0 nos tensores $T_{\mu\nu}$ e $G_{\mu\nu}$ representava tensores locais. Comparando a Equação 12 com a Equação 13, confirmamos esse fato, pois, além das semelhanças matemáticas entre as equações, há também o significado físico. Ou seja, o lado esquerdo de ambas as equações (Equações 12 e 13) representa a deformação local da geometria do espaço-tempo. Já o lado direito dita a intensidade com que as deformações ocorrerão. Portanto, o tensor $G_{\mu\nu,0} = \Delta r$, assim como o tensor $T_{\mu\nu,0} = \Delta E$. Por isso, a soma de todos os *pixels* ou tensores locais ($G_{\mu\nu,0}$) forma a geometria do espaço-tempo, isto é, do tensor $G_{\mu\nu}$ sem o índice 0:

$$G_{\mu\nu} = \sum G_{\mu\nu,0} \quad (15)$$

Análoga à Equação 15, a soma de todos os tensores locais ($T_{\mu\nu,0}$) equivale ao tensor energia-momento (tensor $T_{\mu\nu}$ sem o índice 0). Por isso, usando a propriedade de soma (Σ) nos tensores locais apresentados na Equação 12, obtemos uma Equação Quântica de Campo Einstein (Equação 16). Note que essa equação é equivalente à Equação 7 da Teoria da Relatividade Geral!

$$\sum G_{\mu\nu,0} = k \sum T_{\mu\nu,0} \quad (16)$$

Do ponto de vista dos *pixels* (Equação 13), a geometria também é obtida pela soma (Σ) de todos os *pixels* do espaço-tempo-energia; isto é:

$$\sum \Delta r = k \sum \Delta E \quad (17)$$

As ideias de *pixels* (Equações 6 e 13), tensores locais (Equações 11 e 12) e geometria global (Equações 16 e 17) são ilustradas na Figura 1. Note que a geometria global do espaço-tempo-energia foi dividida em pequenos elementos, ou seja, os *pixels*. Os *pixels* se deformam para assegurar o perfil (formato) existente nas deformações do espaço-tempo, devido à ação do tensor $T_{\mu\nu}$. Por isso, cada pixel pode ser representado por tensores locais ($G_{\mu\nu,0}$ e $T_{\mu\nu,0}$).

Figura 1 – Ilustração, fora de proporção, dos *pixels* consecutivos que formam a geometria do espaço-tempo-energia e que preenchem todo o universo.

Analisando a Figura 1, fica fácil entender porque os valores de Δr , Δt , ΔE e Δp dos *pixels* são flexíveis (Equação 6), ou seja, variáveis. Isso ocorre, pois eles se deformam para satisfazer a deformação na geometria global (Equação 7).

A natureza do tempo está contida na análise da Equação 14. Substituindo o valor da constante de

acoplamento k pela razão de $G_{\mu\nu,0}/T_{\mu\nu,0}$ (Equação 11), encontramos:

$$\Delta t = \frac{G_{uy,0}}{T_{uy,0}} \Delta p \quad (18)$$

Substituindo Δp por $h/\Delta r$ (Equação 2) e lembrando que o tensor local $G_{\mu\nu,0}$ é equivalente a Δr , a Equação 18 define uma equação para o tempo; ou seja:

$$\Delta t = \frac{h}{T_{uy,0}} \quad (19)$$

Tal equação (19) mostra que o tempo é uma propriedade quântica (h , constante de Planck) e relativística (tensor $T_{\mu\nu,0}$). No capítulo 4, "A natureza do Tempo", iremos explorar o significado da Equação 19, bem como propor o motivo para a origem do tempo (Big Bang) e a solução para a assimetria da matéria e da antimatéria que observamos hoje em nosso universo.

Einstein investigou a formação da estrutura da geometria do espaço-tempo. Agora, vamos aprofundar a nossa investigação na outra geometria fundamental, isto é, da geometria energia-tempo. Anteriormente, foi adiantado que ela é formada por *pixels* consecutivos de ΔE por Δt . Os *pixels* energia-tempo são equivalentes aos *pixels* espaço-tempo; por isso, postulamos que:

"O mesmo formalismo (Equação de Campo de Einstein, Equação 7) que opera na geometria do espaço-tempo é o que opera na geometria energia-tempo."

Em outras palavras, assim como a geometria do espaço-tempo é representada por um tensor $G_{\mu\nu}$ a geometria energia-tempo também será. Matematicamente,

representaremos a geometria energia-tempo pelo tensor G_{xz} . Este tensor (G_{xz}) é deformado por um tensor análogo ao tensor energia-momento, que chamaremos de tensor T_{xz} . Dessa maneira, no arquétipo da Equação 7, descrevemos uma Equação de Campo para a geometria energia-tempo:

$$G_{xz} = k T_{xz} \quad (20)$$

Portanto, a deformação na geometria energia-tempo é análoga à força de campo transmitida pelas partículas virtuais. Mas afinal, o que são essas partículas virtuais que preenchem os *pixels* (vácuo)?

As respostas para a pergunta acima estão contidas nas teorias bem-sucedidas da física moderna, tais como a Teoria Quântica de Campos (TQC) e a Eletrodinâmica Quântica. De acordo com a TQC, cada partícula fundamental possui um campo. Exemplos: campo de elétrons, campo de neutrinos, campo de *quarks* etc. No total, há 24 campos quânticos distintos. Uma partícula real (detectável experimentalmente) é a excitação do próprio campo; ou seja, o elétron é a excitação do campo de elétrons, o neutrino é a excitação do campo de neutrinos, e assim por diante. As interações entre as partículas reais ocorrem por meio das partículas virtuais do próprio campo. Essas partículas são virtuais (não detectadas experimentalmente), pois são continuamente criadas no vácuo (via operador de criação da TQC) e aniquiladas (via operador de aniquilação TQC).

Por isso, analisando a Equação 20 com base nas ideias apresentadas no parágrafo anterior, entendemos que as partículas virtuais da TQC são as partículas que preenchem os *pixels* da geometria energia-tempo. Além disso, as partículas reais (detectadas experimentalmente) são deformações pontuais nos *pixels*, ou seja, o próprio tensor T_{xz} .

Contudo, observações mostram que um campo quântico pode estar excitado localmente (gerando partícula real), enquanto os demais campos quânticos não estão deformados, ou seja, permanecem no estado fundamental. Por isso, um elétron pode existir (excitação do campo de elétrons), mas esse fato não requer que todos os campos quânticos fiquem excitados. Esse fato permite que tenhamos um par de partículas específicas em um certo ponto, sem a necessidade de demais partículas.

Por isso, convém destrinchar (ramificar/dividir) a geometria G_{xz} e o tensor T_{xz} em outros tensores, a fim de descrever o comportamento de cada campo quântico individualmente. Ou seja, para cada campo quântico devemos associar um tensor geometria específico e um tensor específico do tipo tensor energia-momento. A sobreposição (soma) de todas as geometrias específicas é igual ao tensor G_{xz} e a soma de todos os tensores específicos do tipo tensor energia-momento é igual ao tensor T_{xz} .

Além de resolver o problema de campos quânticos com excitações distintas, a idéia descrita acima, associada à equivalência entre as geometrias do espaço-tempo-energia, nos permite escrever uma Equação de Tudo! Ou seja, descrever uma equação tensorial que una todas as forças e campos quânticos da natureza. Além disso,

na Equação de Tudo, a gravidade não precisa de uma partícula (tal como o suposto gráviton), pois a gravidade é descrita pela geometria do espaço-tempo e não pela geometria energia-tempo.

Para exemplificar o que estamos propondo, vamos descrever apenas a soma das Equações de Campos que representam as forças fundamentais da natureza: força gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. Poderíamos, porém, estender a análise para os demais campos quânticos e para os seus respectivos tensores (geometria e tensores do tipo energia-momento). Um estudo mais aprofundado do que é proposto aqui julgará os graus (ranges dos tensores) e as soluções para cada Equação de Campo extra (tensores destrinchados de G_{xz} e T_{xz}).

Então, por simplicidade e didática, vamos usar a Equação de Campo de Einstein (Equação 7) como arquétipo para todas as outras Equações de Campos. Assim, os tensores que representam as geometrias das forças fundamentais são: $G_{\mu\nu}$, G_{ab} , G_{cd} e G_{ef} , respectivamente, para força gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. E, ainda, os tensores do tipo energia-momento, que deformam suas respectivas geometrias, são: $T_{\mu\nu}$, T_{ab} , T_{cd} e T_{ef} , respectivamente, para força gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. Por fim, as constantes de acoplamentos são k , k_2 , k_3 e k_4 , respectivamente, para força gravitacional, eletromagnética, forte e fraca. A soma de todos os tensores é apresentada na Equação 21. O lado esquerdo da Equação 21 representa as geometrias específicas, enquanto o lado direito da equação representa os tensores respectivos que deformam as geometrias.

Portanto, a Equação 21 é a Equação de Tudo (lembre-se que, por simplicidade ocultamos os tensores que representam os campos quânticos):

$$G_{\mu\nu} + G_{ab} + G_{cd} + G_{ef} = kT_{\mu\nu} + k_2T_{ab} + k_3T_{cd} + k_4T_{ef} \quad (21)$$

Talvez a Equação 21 seja a que Albert Einstein buscou: uma equação que unificasse todas as forças da natureza em termos de equações tensoriais e geométricas. As soluções para a Equação 21, além dos termos que foram ocultados (demais campos quânticos), constituem um grande desafio para os físicos teóricos, para os matemáticos, para os cientistas de dados ou mesmo para a inteligência artificial contemporânea. Não abordaremos as soluções aqui, pois elas, além de desafiadoras, fogem do escopo deste livro, que é lançar novas ideias para a Física Moderna.

A Equação 21 descreve qualquer ponto do universo. No caso de ausência de partículas do Modelo Padrão ou corpos celestes, temos vácuo. Mesmo assim, a Equação 21 é válida, pois neste caso, a geometria estará no estado fundamental (*background*).

Por fim, com base na Teoria Quântica da Gravidade que estamos apresentando aqui, vamos resolver o maior erro da Cosmologia Moderna, isto é, a divergência de 124 ordens de grandeza entre a densidade de energia teórica (d_t) e observacional (ϵ_c) do vácuo. O valor de $d_t \cong 3,78 \times 10^{+113} \text{ J/m}^3$. Já o valor de ϵ_c é de $8,33 \times 10^{-10} \text{ J/m}^3$.

Por definição fundamental, a densidade de energia é a razão da energia (ΔE) pelo volume (se for um cubo: V

$= \Delta r^3$). Contudo, como estamos analisando o vácuo (ausência de matéria bariônica), o valor de ΔE corresponde às partículas virtuais, e o de Δr , à largura de um pixel. Todavia, tais valores (ΔE e Δr) são relativos e estão em função da posição e da intensidade do tensor $T_{\mu\nu}$ (vide Figura 1).

O espaço entre os aglomerados de galáxias, por exemplo, é uma boa região onde há vácuo, e, portanto, o tensor $T_{\mu\nu} \cong 0$ (região plana, *background* gravitacional). Nessa região, o valor da densidade de energia do vácuo observacional é de $8,33 \times 10^{-10} \text{ J/m}^3$, ou seja, ϵ_c . Manipulando os termos da Equação 1, podemos encontrar o volume (Equação 1: $\Delta V = \Delta r^3 = c^3 \Delta t^3$). Da mesma forma, manipulando os termos da Equação 5, encontramos o valor de ΔE (Equação 5, $\Delta E = h/\Delta t$). Assim, usando a definição fundamental de densidade de energia do vácuo ($\epsilon_c = \Delta E / \Delta V$), podemos determinar o valor de Δt do pixel no *background* gravitacional; isto é:

$$\epsilon_c = \frac{\Delta E}{(\Delta x)^3} \leftrightarrow \Delta t = \left(\frac{h}{c^3 \epsilon_c} \right)^{\frac{1}{4}} \therefore \Delta t = 4,144 \times 10^{-13} \text{ s} \quad (22)$$

A partir do resultado da Equação 22, podemos determinar os valores de Δr e ΔE referentes ao *background* gravitacional (geometria plana). Para tanto, basta usar a regra do produto da quantização dos *pixels*; ou seja, Equação 6. Assim, no estado fundamental (*background*), $\Delta r = 1,242 \times 10^{-4} \text{ m}$ e $\Delta E = 1,599 \times 10^{-21} \text{ J}$.

Para calcular a densidade teórica (d_t), utilizamos as unidades de Planck, isto é, $\Delta r_p = 1,616 \times 10^{-35}$ m e $\Delta t_p = 5,391 \times 10^{-44}$ s. Mas antes, é preciso calcular o valor de ΔE referente ao mar partículas virtuais que preenche o pixel com dimensão Δr_p e Δt_p . Para isso, usamos novamente a regra do produto da quantização (Equação 6), isto é:

$$\Delta E \Delta t_p = h \leftrightarrow \Delta E = 1,228 \times 10^{10} \text{ J} \quad (23)$$

Note que o valor de ΔE apresentado na Equação 23 é aproximadamente 86 % maior do que o valor reportado na literatura (energia de Planck). Esse fato será bem explorado no próximo capítulo, sobre a origem da matéria escura. Porém, de forma sucinta, este resultado refere a matéria escura.

Agora que sabemos o valor de ΔE (valor associado as partículas virtuais dentro do pixel de Planck), vamos aplicar a definição fundamental de densidade de energia teórica (d_t); ou seja:

$$d_t = \frac{\Delta E}{(\Delta r)^3} = 2,901 \times 10^{114} \quad (24)$$

Comparando os valores de Δr_p e Δt_p com os valores obtidos a partir da Equação 22, fica claro que os *pixels* analisados estão em regiões diferentes, isto é, próximos de tensores $T_{\mu\nu}$ distintos. Para que haja uma deformação significativa no pixel, a ponto de se obter Δr_p , é necessário um intenso tensor $T_{\mu\nu}$ ($T_{\mu\nu} \gg 1$), tal como no interior de um buraco negro. Contudo, é preciso lembrar que estamos analisando o interior dos *pixels* (vácuo) e não a

massa ou a energia que causou a deformação do pixel. Logo, a massa do buraco negro serve apenas para gerar o tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$ que conseqüentemente deforma o pixel nas dimensões de Planck.

Portanto, o problema da divergência entre as densidades teórica e observacional (ϵ_c e d_T) é uma questão de referencial! Pois um *pixel* próximo de tensor $T_{\mu\nu} \approx 0$ tem a densidade de $8,33 \times 10^{-10} \text{ J/m}^3$, e o pixel próximo de um intenso tensor $T_{\mu\nu}$ ($T_{\mu\nu} \gg 1$) tem a densidade de $2,901 \times 10^{114} \text{ J/m}^3$. Então, se um observador localizado no *background* gravitacional ($T_{\mu\nu} \approx 0$) desejar medir a densidade de energia de um pixel próximo de um tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$, o observador precisará fazer as devidas correções relativas, em função do tensor $T_{\mu\nu}$.

A primeira correção é relativa ao espaço (Δr) e, conseqüentemente, ao volume ($\Delta V = \Delta r^3$). Para um observador no *background* gravitacional, o valor de Δr_0 é $1,242 \times 10^{-4} \text{ m}$. Porém, se este pixel estivesse próximo de um tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$, o valor seria o de Planck (Δr_p), isto é, $1,616 \times 10^{-35} \text{ m}$. Logo, a correção em relação ao volume (v') é dada pela seguinte razão:

$$v' = \left(\frac{\Delta r_0}{\Delta r_p} \right)^3 = 7,686 \times 10^{+93} \quad (25)$$

De modo análogo, a segunda correção é relativa a ΔE . Para um observador no *background* gravitacional, o valor de ΔE_0 é $1,599 \times 10^{-21} \text{ J}$. Porém, se este pixel estivesse próximo de um tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$, o valor da energia interno ao pixel de Planck (ΔE_p), isto é, $1,228 \times 10^{10} \text{ J}$. Logo, a

correção em relação a energia (E') é dada pela seguinte razão:

$$E' = \frac{\Delta E_0}{\Delta E_p} = 7,970 \times 10^{-31} (26)$$

Feitas as devidas correções relativas à posição do tensor $T_{\mu\nu}$ a constante de proporcionalidade (R) entre a equivalência de ε_c e dT é dada pela razão de E' (Equação 26) e ν' (Equação 25); isto é:

$$\varepsilon_c = \frac{E'}{\nu'} d_T \therefore \varepsilon_c \approx R d_T \quad (27)$$

A constante R resolve o problema da divergência entre as densidades do vácuo.

CONCLUSÕES:

Portanto, como foi apresentado, é possível unir a Teoria da Relatividade Geral com ideias e conceitos de Física Quântica. A união dessas áreas da física permitiu a construção da Teoria Quântica da Gravidade, cujo elo foi a constante de acoplamento k da Equação de Campo de Einstein. A Teoria Quântica da Gravidade descreve que tanto a geometria do espaço-tempo (tensor $G_{\mu\nu}$) quanto a geometria energia-tempo (tensor G_{xz}) pode ser descrita por *pixels* consecutivos regidos pela regra do produto da quantização; isto é, $\Delta \mathbf{r} \Delta \mathbf{p} = \Delta E \Delta t = h$. A geometria do espaço-tempo-energia corresponde à soma dos tensores $G_{\mu\nu,0}$ e $G_{xz,0}$ ou dos *pixels*.

A partir das partículas virtuais que preenchem os *pixels* das geometrias, obtemos a Equação de Tudo, ou seja, uma equação que descreve todas as forças e todos os campos quânticos da natureza. Além disso, mostramos que o problema da divergência da densidade de energia do vácuo é apenas uma questão de referencial. Nos próximos capítulos, aplicaremos a Teoria Quântica da Gravidade, para responder à questão da origem da matéria escura e da energia escura. Também definiremos, posteriormente, a natureza do tempo, o que causou o Big Bang e a solução para a assimetria de matéria e antimatéria. Por fim, com a aplicação dessa teoria, nos últimos dois capítulos apresentaremos maneiras de se obter energia elétrica a partir do vácuo, para o bem da humanidade.

CAPÍTULO 3

ORIGEM DA MATÉRIA ESCURA

INTRODUÇÃO:

As observações astronômicas não deixam dúvidas: está faltando matéria (massa) no universo. Esta falta é denominada de matéria escura. Contudo, a origem e a composição da matéria faltante é uma das grandes incógnitas atuais da Cosmologia Moderna. Com base na Teoria Quântica da Gravidade, que apresentamos no capítulo anterior, mostraremos que a matéria escura está associada a uma propriedade intrínseca dos *pixels* deformados próximos a intensos tensores $T_{\mu\nu}$.

METODOLOGIA:

Utilizamos a Teoria Quântica da Gravidade para investigar o comportamento da variação da energia (ΔE) dos *pixels* da geometria do espaço-tempo-energia próximos de objetos astronômicos (estrelas, planetas, buracos negros entre outros); isto é, fontes dos tensores $T_{\mu\nu}$. Assim,

tecemos a compreensão da matéria escura. Também comparamos os resultados com os dados reportados na literatura e com as recentes observações astronômicas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

No capítulo anterior aprendemos que a geometria do espaço-tempo-energia preenche todo o universo. Além disso, ela é formada por *pixels* cujo valores Δr , Δt , Δp e ΔE são relativos à posição e à intensidade do tensor $T_{\mu\nu}$. A partir dessas ideias e desses conceitos, podemos discernir a resposta para a pergunta fundamental deste capítulo: “O que é a matéria escura?”.

Uma galáxia é um grande sistema gravitacionalmente ligado e composto por muitos objetos astronômicos de diferentes massas e tamanhos. Alguns exemplos desses objetos são: estrelas, planetas, buracos negros, nebulosas, nuvens de poeiras, gás etc. Cada um desses objetos astronômicos possui um tensor $T_{\mu\nu}$ correspondente. Se o valor do tensor $T_{\mu\nu}$ for intenso (tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$), então, em torno dele, haverá deformações significativas nos *pixels* da geometria do espaço-tempo-energia, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Deformações nos *pixels* da geometria do espaço-tempo-energia devido à ação de um intenso tensor $T_{\mu\nu}$.

Analisando a Figura 1, é notório que os *pixels* são distintos uns dos outros. Porém, independente do formato do pixel, todos eles são quantizados pela regra do produto ($\Delta \mathbf{r} \Delta \mathbf{p} = \Delta E \Delta t = h$). Esse fato revela que a geometria do espaço-tempo-energia é um campo escalar com dimensão h , ou seja, um campo quântico discreto (granular) em que cada pixel tem valor de $6,62 \times 10^{-34}$ Js. Analisando qualitativamente os *pixels* destacados na Figura 1 concluímos que $\Delta \mathbf{r}_5 > \Delta \mathbf{r}_4 > \Delta \mathbf{r}_3 > \Delta \mathbf{r}_2 > \Delta \mathbf{r}_1$, $\Delta t_5 > \Delta t_4 > \Delta t_3 > \Delta t_2 > \Delta t_1$, e, por isso, temos que $\Delta E_1 > \Delta E_2 > \Delta E_3 > \Delta E_4 > \Delta E_5$.

No espaço-tempo, a fonte do tensor $T_{\mu\nu}$ pode estar em repouso, em movimento uniforme ou com movimento acelerado. Nesse último caso, do movimento acelerado, a fonte do tensor $T_{\mu\nu}$ produzirá ondas gravitacionais que se propagam pelo espaço-tempo. Já nos dois primeiros casos, do repouso ou do movimento uniforme, não haverá formação de ondas gravitacionais.

Portanto, quando não há ondas gravitacionais, isso implica que as deformações nos *pixels* são constantes (estacionárias) em relação ao tensor $T_{\mu\nu}$. Nesse caso, os valores de $\Delta \mathbf{r}$, Δt , $\Delta \mathbf{p}$ e ΔE se conservam enquanto houver ação do tensor $T_{\mu\nu}$. Como estamos interessados em analisar a origem da matéria escura, devemos focar nosso estudo em ΔE . Lembrando que ΔE é a energia associada às partículas virtuais (flutuações quânticas do vácuo) que preenchem o interior do pixel.

Se, em um pixel qualquer, o valor de ΔE permanece constante, podemos invocar a equivalência entre energia-massa; isto é, $E = mc^2$. Contudo, devido ao fato de

estarmos analisando o vácuo (interior do pixel), o valor de “ m ” **não corresponde à massa de repouso (m_0)** das partículas reais do Modelo Padrão, mas sim a uma nova propriedade intrínseca do pixel deformado, que denominaremos de massa gravitacional (m_g). Assim, a massa gravitacional (m_g) é:

$$m_g = \frac{\Delta E}{c^2} \quad (1)$$

Analisando a Equação 1, observamos que m_g tem unidade de massa (kg). Contudo, conforme foi escrito anteriormente, m_g não é uma partícula de matéria real do Modelo Padrão. Além disso, m_g não emite luz, pois não possui natureza eletromagnética, mas sim gravitacional (deformação local da geometria $G_{\mu\nu}$). Por isso, é fácil e trivial propor que m_g é um pixel discreto de matéria escura; ou seja:

“A origem da matéria escura é o resultado da concentração de flutuações quânticas em um pixel do espaço-tempo-energia, devido à ação de um tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$ ”.

A matéria escura observada em uma galáxia, por exemplo, é a soma de todos os *pixels* que apresentam $m_g > 0$, ou seja:

$$m_{dark} = \sum m_g \quad (2)$$

Devido ao fato de uma galáxia possuir muitas fontes de tensores do tipo $T_{\mu\nu}$ e também que cada fonte tensorial deforma muitos *pixels* (deste da fonte até o *background* gravitacional), o valor da Equação 2 torna-se relevante. Portanto, a soma da m_{dark} (Equação 2) com a

massa comum/bariônica (m_b) é igual à massa total (m_T) da galáxia; isto é:

$$m_T = m_b + \sum m_g \quad (3)$$

Sabemos que, antes da formação das primeiras estrelas ou galáxias, o universo já apresentava grandes nuvens de gás e, portanto, massa comum/bariônica (m_b). Mesmo que a m_b estivesse dispersa, ela já correspondia a um tensor $T_{\mu\nu}$. Consequentemente, se havia tensor $T_{\mu\nu}$, havia a presença de m_g . A soma de m_b com m_g favoreceu, por meio de efeitos gravitacionais, a aglomeração de m_g para a formação das primeiras estrelas e galáxias.

A partir das equações apresentadas (Equações 1 a 3), propomos um modelo matemático para estimar a quantidade de matéria escura da Via Láctea. Para isso, usamos como arquétipo a lei de Gauss do eletromagnetismo. Fazemos essa escolha, porque, de acordo com Gauss, as posições que as partículas ocupam dentro de uma superfície gaussiana não interferem no valor do cálculo final.

Assim, criamos uma superfície gaussiana gravitacional que envolve toda a via Láctea. Em seguida, de forma hipotética, acomodamos toda a matéria bariônica da galáxia em pacotes com dimensão de Planck. Adotamos que a massa da Via Láctea é de $m_b \approx 2,000 \times 10^{42}$ kg e que a massa de Planck é igual a $2,177 \times 10^{-8}$ kg. Logo, seriam necessários aproximadamente $9,187 \times 10^{49}$ pacotes (*pixels*) para acomodar toda a matéria bariônica da Via Láctea.

Aplicando o valor do tempo de Planck ($t_p = 5,391 \times 10^{-44}$ s) na regra do produto ($\Delta E \Delta t = h$), obtemos o valor de ΔE ; isto é, $\Delta E = 1,228 \times 10^{10}$ J. Este valor corresponde à energia média do mar de partículas virtuais que preenche o interior do pixel de Planck. Assim, aplicando o valor de ΔE na Equação 1, obtemos o valor da massa gravitacional (m_g) que corresponde a um pixel de Planck; ou seja, $m_g = 1,367 \times 10^{-7}$ kg. Por fim, multiplicando o valor de m_g pelo número total de *pixels* da via Láctea ($9,187 \times 10^{49}$), encontramos o valor da massa total de matéria escura; isto é, $m_{\text{dark}} = 1,256 \times 10^{43}$ kg.

Analisando o valor encontrado, $m_{\text{dark}} = 1,256 \times 10^{43}$ kg, concluímos que ele corresponde a 86,264% da massa total da Via Láctea (m_v , Equação 3). Ou seja, esse é o mesmo valor reportado nas observações indiretas da matéria escura e apresentado na literatura. Portanto, uol (Eureka!). A origem da matéria escura é de fato uma propriedade local dos *pixels* deformados da geometria do espaço-tempo-energia. Note também que o valor de $m_g > m_p$, o que revela que o conjunto de partículas virtuais têm “peso” maior que as partículas reais.

Por simplicidade, podemos somar todos os tensores $T_{\mu\nu}$ de uma galáxia, a fim de obter um único tensor equivalente, ou seja, um tensor $T_{\mu\nu}$ resultante. Essa simplificação permite que analisemos situações complexas, sem termos que recorrer ao modelo hipotético descrito acima.

Por exemplo, a explicação da existência da matéria escura no bojo da galáxia pode ser explicada usando o tensor $T_{\mu\nu}$ resultante; pois o tensor $T_{\mu\nu}$ resultante deforma os *pixels* adjacentes à superfície gaussiana gravitacional que

delimita a galáxia. Então, se há deformações nos *pixels*, há m_g . O fato de a superfície gaussiana gravitacional de uma galáxia ser grande implica que há muitos *pixels* deformados; portanto, é cabível usar a definição da Equação 2, ou seja, m_{dark} .

Outra aplicação do tensor $T_{\mu\nu}$ resultante é no estudo das galáxias ultradifusas (UDG). Tais galáxias apresentam baixa densidade de estrelas e de matéria, quando comparadas com outras galáxias do mesmo tamanho. Esse fato faz com que diminua a intensidade do tensor $T_{\mu\nu}$ resultante. Consequentemente, as deformações nos *pixels* da geometria do espaço-tempo-energia não são tão significativas como em uma galáxia normal do mesmo tamanho. Portanto, prevemos que, nas galáxias do tipo UDG, deve haver pouca m_{dark} ou seja, matéria escura rarefeita.

O astrofísico e divulgador científico Carl Sagan disse que “alegações extraordinárias exigem evidências extraordinárias.” Por isso, iremos apresentar a primeira alegação. Contudo, se ela não for suficiente, descreveremos outras 5 alegações, testáveis experimentalmente em laboratórios ou por meio de observações astronômicas.

A inserção do fator de Lorentz ($\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$) na dilatação temporal e contração espacial apresentada pela Teoria da Relatividade Especial é fácil de entender, já que a velocidade da luz deve permanecer constante em todos os referenciais inerciais.

Porém, qual é o significado físico da inserção do fator de Lorentz na relação entre massa inercial (m) e massa

de repouso (m_0)? Por que a massa inercial (m) se torna significativa apenas quando $v \gg 1$? As respostas para essas indagações revelarão a primeira alegação extraordinária que apresentaremos para comprovar m_g . De acordo com Albert Einstein, a relação entre m , m_0 e o fator de Lorentz é dada por:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (4)$$

Segundo a Teoria da Relatividade Especial, quando $v \gg 1$, os valores de Δr e Δt diminuem. Além disso, de acordo com a Teoria Quântica da Gravidade, se $T_{\mu\nu} \gg 1$, os valores de Δr e Δt também diminuem. Usando as previsões de ambas as teorias, se Δt diminui, o valor de ΔE aumenta (regra do produto da quantização: $\Delta E \Delta t = h$). Devido ao fato de m_g ser diretamente proporcional ao valor de ΔE (Equação 1), temos que, se ΔE aumentar, o valor de m_g também aumentará. Por isso, o real motivo da massa inercial (m) aumentar de valor no regime relativístico ($v \gg 1$ ou $T_{\mu\nu} \gg 1$) é porque a massa de repouso (m_0) é envolvida pela massa gravitacional (m_g). Em outras palavras:

“partículas de matéria com $v \approx c$ interagem fortemente com *pixels* de matéria escura (m_g)!”

Isto acontece, porque, no regime relativístico, o comprimento de onda de Broglie da partícula de matéria diminui. Então, consequentemente o comportamento ondulatório da massa inercial passa a interagir (competir) com o comprimento de ondas das partículas virtuais,

ou seja, com o conteúdo interno do pixel (m_g). Prova disso é a abundância de partículas que surgem na colisão de partículas aceleradas, com altas velocidades. Muitas dessas partículas detectáveis após a colisão já existiam, porém, no domínio virtual. Portanto, o aumento da massa inercial (Equação 4) é equivalente à soma da massa de repouso (m_0) com a massa gravitacional (m_g); ou seja:

$$m = m_0 + m_g \quad (5)$$

Observe que a Equação 5 é o arquétipo da Equação 3. Contudo, a Equação 3 está escrita em função de um cenário global da Teoria da Relatividade Geral; já a Equação 5 está escrita em função da Teoria da Relatividade Especial e da Teoria Quântica da Gravidade em um cenário local (uma partícula e um pixel específico). Esse fato mostra que as leis da física são invariáveis, tanto no cenário global quanto no local, o que comprova o 1º postulado da Teoria da Relatividade Especial. Essa consonância entre as propriedades da macrocósmica e as da microcósmica era um fato esperado na união entre a teoria quântica e a da Relatividade.

Substituindo o valor de m (Equação 4) na Equação 5 e isolando o termo de m_g , obtemos:

$$m_g = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - m_0 \quad (6)$$

Colocando o termo m_0 em evidência, encontramos:

$$m_g = m_0 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right) \quad (7)$$

Uol (Eureka!), a existência de m_g é comprovada pela sólida e inquestionável Teoria da Relatividade Especial (Equação 7). Pois, analisando a Equação 7, observamos que, se $v \approx 0$, o valor de m_g é zero. Contudo, se $v \gg 1$, o valor de $m_g \gg 1$. Este fato era esperado, pois, para $v \gg 1$ ou $T_{\mu\nu} \gg 1$, a m_g torna-se significativa! Já que Δt diminui e ΔE aumenta.

Além da alegação descrita acima e do modelo hipotético para Via Láctea, apresentamos a seguir outras 5 maneiras experimentais e observacionais, a fim de se comprovar m_g .

O 1º experimento é ilustrado na Figura 3. A ideia fundamental é construir uma balança de matéria escura em laboratório. Tal balança é constituída de duas placas paralelas condutoras e, entre elas, uma esfera com massa inercial conhecida. As placas condutoras são conectadas a uma fonte de tensão variável. Assim, quando a fonte de tensão é ligada, cria-se um intenso tensor eletromagnético T_{ab} entre as placas e a esfera. No capítulo 6, exploraremos mais as propriedades e as aplicações do tensor T_{ab} . Aqui, basta saber que, quanto maior a intensidade do tensor T_{ab} , maiores serão as deformações nos *pixels* da geometria energia-tempo, e, portanto, maior ΔE e m_g . Desse modo, prevemos que a massa total da esfera

(Equação 3) aumentará proporcionalmente em relação ao aumento da intensidade do tensor T_{ab} .

Figura 3 – Esquema simplificado de uma balança de matéria escura em laboratório. Um intenso tensor eletromagnético T_{ab} é aplicado entre as placas onde está a esfera com massa inercial conhecida. A massa total da esfera (Equação 3) aumentará proporcionalmente em relação a intensidade do tensor T_{ab} .

O segundo método para validar a existência de m_g ocorre por meio do experimento de Casimir. De acordo com o físico holandês Hendrik Brugt Gerhard Casimir, ajustando a distância entre duas placas metálicas, é possível controlar indiretamente as flutuações quânticas entre elas. Sendo assim, a ideia fundamental é posicionar entre as placas metálicas uma fina folha de ouro (ou similar) com massa inercial conhecida. Em seguida, com o auxílio de uma balança supersensível, devemos

variar a distância entre as placas metálicas. Então, prevemos que a massa total m_T (Equação 3) sofrerá pequenas variações, pois, estaremos indiretamente mudando a quantidade de partículas virtuais no vácuo, ou seja, influenciaremos o valor de ΔE e, conseqüentemente, de m_g (Equação 2) e de m_T (Equação 3).

O terceiro método experimental que propomos é a desaceleração das partículas de neutrinos, pois, conforme foi apresentado na primeira alegação, a massa inercial das partículas com velocidade próxima à da luz ($v \approx c$) corresponde à soma da massa bariônica (m_b) com a massa geométrica (m_g). Assim, ao desacelerar um neutrino, prevemos que o valor da massa total (Equação 3) diminuirá.

O quarto método proposto para validar m_g é obtido por meio de observações astronômicas. A ideia fundamental é mapear a matéria escura antes e depois da explosão de uma supernova, pois, antes da explosão, os *pixels* da geometria $G_{\mu\nu}$ estão fortemente deformados, devido à ação do tensor $T_{\mu\nu}$ (tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$) e, portanto, apresentam intenso valor de m_g . Posteriormente à explosão da supernova, a intensidade da matéria escura deve diminuir significativamente, porque o tensor $T_{\mu\nu}$ tende a zero e m_g também tende a zero.

O quinto método também é resultado de observações astronômicas, porém das ondas gravitacionais. A ideia fundamental é observar uma onda gravitacional propagando-se por regiões com valores distintos de tensores $T_{\mu\nu}$. Assim, prevemos a observação de um arco-íris gravitacional, já que os valores de Δr , Δp , ΔE e Δt são

relativos à posição e à intensidade do tensor $T_{\mu\nu}$. Logo, se Δt variar, a frequência ($f = 1/\Delta t$) também irá variar, o que é uma característica de um arco-íris gravitacional (variação da frequência). Além disso, se ΔE variar, isso implica que m_g apresenta valores distintos em cada região (Equação 2).

Para finalizar o estudo sobre matéria escura, apresentamos uma discussão com 30 argumentos, a partir das principais ideias apresentadas ao longo deste capítulo. De forma didática, os argumentos foram numerados com base nas três primeiras equações apresentadas: Equações 1, 2 e 3.

Da equação 1, discutimos que: 1) m_g é uma propriedade intrínseca do espaço-tempo-energia; 2) m_g não é uma partícula do Modelo Padrão; 3) m_g está em repouso (estado estacionário) em relação ao tensor $T_{\mu\nu}$; 4) m_g não é uma onda gravitacional; 5) m_g não apresenta propriedades de matéria comum/bariônica (exceto gravitacional), por isso, não interage com partículas do Modelo Padrão; 6) m_g não emite luz, pois não se origina das interações eletromagnéticas; 7) m_g é consequência da deformação da geometria local do espaço-tempo-energia e, portanto, está de acordo com Teoria da Relatividade Geral; 8) m_g não requer mudança nas Teorias da Relatividade e não exige teorias alternativas; 9) a origem de ΔE é o aniquilamento contínuo do mar de partículas virtuais que preenchem o vácuo quântico (*pixels*); 10) partículas virtuais são previstas em teorias consolidadas da física, tais como a Eletrodinâmica Quântica e a Teoria Quântica de Campos; 11) m_g interage gravitacionalmen-

te, pois ela é uma parte discreta da própria gravidade; 12) m_g pode assumir valores distintos em cada pixel do espaço-tempo-energia, pois os *pixels* são relativos; 13) a matéria bariônica define a geometria; logo, ela define ΔE e, portanto, m_g ; 14) m_g é quantizada, pois depende dos valores de ΔE e Δt que são quantizados devido à regra de produto da quantização ($\Delta E \Delta t = h$); e 15) o aumento da massa inercial reportado pela Teoria da Relatividade Especial ocorre devido ao envolvimento da massa inercial com m_g (Equação 7).

Das Equações 2 e 3, discutimos que: 1) a matéria escura total (m_{dark}) é formada pela soma de todos os pixels que contem $m_g > 0$; 2) a m_{dark} é abundante, pois é grande o número de pixels em uma galáxia; 3) gravidade e matéria escura possuem a mesma natureza, isto é, a distorção do espaço-tempo; 4) a matéria escura está distribuída por toda a galáxia, pois nela há muitos objetos astronômicos capazes de deformar os pixels e, portanto, gerar m_g e m_{dark} ; 5) em galáxias ultradifusas, há pouca matéria escura, pois a densidade de estrela é baixa, e, conseqüentemente, o tensor $T_{\mu\nu}$ resultante é baixo, e as deformações nos pixels são pequenas; 6) a matéria escura é estável, pois não há criação de novos pixels dentro da galáxia; 7) buracos negros são poços de matéria escura e matéria bariônica, pois o tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$; 8) a matéria escura é predominante no interior das galáxias, pois o tensor $T_{\mu\nu}$ resultante é grande; 10) a matéria escura não domina a região fora das galáxias, pois m_b tende a zero, e, conseqüentemente, o tensor $T_{\mu\nu} \approx 0$, e $m_g \approx 0$; 11) antes da formação das estrelas e das galáxias,

já havia massa bariônica (nuvens de gás), e, por isso, já havia tensor $T_{\mu\nu}$ e a m_g ; 12) experimentos em laboratórios ou observações astronômicas podem comprovar a existência da matéria escura; 13) neutrinos podem ser portadores de matéria escura, pois eles se deslocam em alta velocidade ($v \cong c$), 14) m_g e m_{dark} são estáveis, pois os objetos astronômicos tem vida longa; e 15) a m_{dark} está de acordo com o modelo Λ -CDM.

CONCLUSÕES:

A geometria do espaço-tempo-energia é uma entidade real, com efeitos físicos não desprezíveis. No regime relativístico ($v \gg 1$ ou $T_{\mu\nu} \gg 1$), a soma das propriedades dos *pixels* torna-se relevante. A origem da matéria escura é uma propriedade intrínseca dos *pixels* deformados devido às ações de tensores $T_{\mu\nu}$. Neste capítulo, estudamos a importância dos *pixels* que apresentam $m_g > 0$. Já no próximo capítulo, investigaremos a importância dos *pixels* que apresentam $m_g \cong 0$. Como será apresentado, a soma dos *pixels* com $m_g \cong 0$ revelará outro mistério da Cosmologia Moderna: a origem da energia escura.

CAPÍTULO 4

ORIGEM DA ENERGIA ESCURA

INTRODUÇÃO:

Historicamente, em 1915 Albert Einstein apresentou a Teoria da Relatividade Geral. Para ele, o universo era estático; por isso, ele precisou introduzir uma constante, a constante cosmológica (Λ). Contudo, no ano de 1922, Alexander Friedmann resolveu a Equação de Campo de Einstein e mostrou que o universo poderia ser dinâmico. Para tirar essa dúvida, se o universo era ou não dinâmico, foram necessárias observações astronômicas. Então, de 1922 a 1929, Edwin Hubble observou a existência de outras galáxias e percebeu que elas estavam se afastando de nós. Tais observações confirmaram que o universo era dinâmico. Foi nesse momento que Albert Einstein disse que a constante cosmológica (Λ) foi o maior erro de sua vida. No ano de 1998, porém, outras observações astronômicas revelaram que a expansão do universo ocorre de forma acelerada. Esse fato fez com que a constante cosmológica (Λ) entrasse novamente em jogo. Foi atribuída a ela a causa da expansão acelerada

do universo. Mas vale salientar que a origem de Λ ainda é um mistério para a Cosmologia Moderna. Por isso, cabe a nós, filósofos naturais e físicos contemporâneos, desvendar esse mistério.

METODOLOGIA:

Para descrever a origem da energia escura e da constante cosmológica (Λ), usamos os conceitos abordados nos capítulos anteriores, isto é, da Teoria da Relatividade Especial e Geral, além, é claro, da Teoria Quântica da Gravidade. Também abriremos uma subseção para estudar a singularidade do buraco negro e a organização da matéria no interior do horizonte de eventos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

No capítulo anterior aprendemos que a origem da matéria escura são as deformações dos *pixels* da geometria do espaço-tempo-energia. Contudo, uma pergunta fundamental deve nos inquietar: “Qual é a importância dos *pixels* não deformados, ou seja, do *background* gravitacional (tensor $T_{\mu\nu} \equiv 0$)?” A resposta para essa indagação permitirá discernir a origem da energia escura, como será descrito a seguir.

O espaço vazio entre as galáxias ou entre os aglomerados de galáxias é um bom exemplo de onde o tensor $T_{\mu\nu}$ é igual ou próximo a zero, pois a matéria bariônica é rarefeita (vácuo). Além disso, a distância entre as ga-

laxias ou entre os aglomerados é grande, e, consequentemente, a geometria é plana, e o número de *pixels* também se torna muito grande. Por exemplo, a galáxia mais próxima da nossa é a de Andrômeda. Essa galáxia está a uma distância de 1,3 milhões de anos-luz, ou seja, $8,2097 \times 10^{26}$ *pixels* do *background* gravitacional (lembre-se que, no *background* gravitacional, $\Delta r = 1,2435 \times 10^{-4}$ m).

A energia de um único pixel no *background* gravitacional é pequena ($\Delta E = 1,59 \times 10^{-21}$ J) e muitas vezes desprezível. Contudo, a soma da energia de muitos *pixels* torna-se relevante; isto é, a energia total (ΔE_T) de n pixel é:

$$\Delta E_T = \sum \Delta E_n (1)$$

A fim de estimar a ordem de grandeza da Equação 1, podemos admitir um modelo hipotético para o universo. Nesse modelo, supomos que o universo está vazio de matéria bariônica e, por isso, todos os *pixels* estão no estado fundamental (*background* gravitacional). O raio do universo observável é de aproximadamente 14×10^{12} pc, e o volume é equivalente a $2,6997 \times 10^{90}$ m³. Já o valor de Δr de um pixel no estado fundamental é de $1,2435 \times 10^{-4}$ m, e o volume é equivalente a $1,9228 \times 10^{-12}$ m³. Portanto, nesse universo hipotético, caberiam cerca de $1,362 \times 10^{102}$ *pixels* do estado fundamental. Se cada pixel possui $\Delta E = 1,59 \times 10^{-21}$ J, a soma da energia de todos os *pixels* (Equação 1) corresponde a um valor de $2,21 \times 10^{81}$ J. Note que, como prevíamos, quando o número de *pixels* é muito grande ($n \gg 1$), a energia total associada ao vácuo não é desprezível, mas sim muito grande ($\Delta E_T \gg 1$).

Ao analisar o universo real, isto é, o descrito pelas observações astronômicas e pelo modelo Λ -CDM, é fácil concluir que ΔE_T não deve ser desprezível, pois o número de *pixels* no estado fundamental é muito grande. Destacamos que grande parte da energia do vácuo (ΔE_T) deve estar distribuída na região entre as galáxias e entre os aglomerados de galáxia, pois, nessas regiões, o tensor $T_{\mu\nu} \equiv 0$ (geometria plana), e as distâncias são grandes ($n^\circ \text{ pixels} \gg 1$). Por isso, definimos e postulamos que:

“A energia escura é a soma de todos os *pixels* do *background* gravitacional com $\Delta E \gtrsim 0$, ou seja, a energia escura é ΔE_T (Equação 1)”.

O postulado acima se refere à definição da energia escura e não a da constante cosmológica (Λ), pois, como será descrito ao longo desta seção, a constante Λ está associada ao acréscimo de energia no vácuo, e tal acréscimo é o que faz o universo expandir aceleradamente. Além disso, mostraremos que a constante Λ está associada à evaporação gravitacional de buracos negros.

Antes de abordar a origem de Λ , porém, convém discutir o termo “expansão”. Erroneamente, esse termo transmite a ideia de que os *pixels* do *background* gravitacional tendem a se esticar além do permitido ($\Delta r = 1,2435 \times 10^{-4} \text{ m}$). Contudo, se isso fosse verdadeiro, o valor da densidade de energia do vácuo ($\Delta E / \Delta r^3$) seria diferente para cada região do espaço-tempo. Esse fato causaria uma expansão não isotrópica do universo, o que contraria as atuais observações astronômicas. Por isso, o termo “expansão” deve ser interpretado como a inserção de novos *pixels* entre os objetos distantes, por exemplo, novos *pixels* entre os aglomerados de galáxias. Assim, a soma de Δr e ΔE dos novos *pixels* intersticiais

justifica o aumento na distância entre os aglomerados e o aumento da energia do vácuo.

Para entender como os novos *pixels* são inseridos no espaço-tempo, é necessário recorrer à origem da constante Λ . No entanto, como já foi adiantado, a constante Λ está associada à evaporação gravitacional dos buracos negros. Por isso, vamos abrir uma subseção para discutirmos algumas propriedades dos buracos negros, usando a Teoria Quântica da Gravidade.

SUBSEÇÃO: ELETROMAGNETISMO DE BURACOS NEGROS:

A existência de Buracos Negros (BNs) é uma das soluções da Equação de Campo de Einstein, resolvida pelo físico teórico Karl Schwarzschild. Há dois tipos de BNs: os estelares, cuja origem é a evolução estelar, e os supermassivos, cuja origem ainda é desconhecida. O BN pode ser fixo (conhecido com BN Schwarzschild) ou de rotação (conhecido com BN de Kerr). Dentro do BN, há uma singularidade com densidade de matéria infinita. No BN do tipo de Schwarzschild, a singularidade é um ponto e, no BN de Kerr, a singularidade é um anel. Contudo, em ambos os casos, a singularidade não é observada diretamente, pois ela está dentro do horizonte de eventos (limite do qual a luz não consegue escapar).

Uma área comum, no estudo de Buracos Negros (BNs), é a Termodinâmica de BNs. Essa área de estudo teve início em 1973, com a publicação do artigo de Stephen Hawking em conjunto com seus colegas. Eles mostraram analogias

entre as equações da Termodinâmica e as da Teoria da Relatividade Geral.

Aqui propomos uma nova área de estudo para os BNs: o Eletromagnetismo de BNs. Não estamos nos referindo, porém, aos BNs com carga elétrica, mas sim a qualquer tipo de BN. A motivação para relacionar o buraco negro com o eletromagnetismo é apresentada na Figura 1. Na primeira parte, Figura 1-a, um feixe de elétrons é ilustrado passando próximo de uma esfera eletrizada com $q \gg 0$. Já na Figura 1-b, um feixe de luz (fótons) é ilustrado passando próximo de um buraco negro.

Figura 1 – Ilustração da trajetória das partículas (elétrons e fótons) passando próximo de: a) esfera eletrizada com $q \gg 0$; b) buraco negro.

Com base na Figura 1, listamos os argumentos que nos permitem fazer analogias entre BN e eletromagnetismo. No entanto, além dos argumentos favoráveis, há também divergências; afinal de contas, uma esfera eletrizada não é um BN. Listamos a seguir os 5 argumentos:

1) A direção das partículas que passam próximo de um BN é influenciada pela gravidade (deformação do espaço-tempo). O mesmo ocorre com os elétrons que passam próximo de uma esfera eletrizada; ou seja, a direção é influenciada pelo campo elétrico. No capítulo 6, mostraremos que o campo elétrico é análogo à deformação da geometria energia-tempo.

2) Tanto a massa do BN quanto a carga elétrica resultante da esfera eletrizada podem ser consideradas como pontuais e concêntricas. Portanto, a singularidade é análoga a uma massa puntiforme.

3) A intensidade da gravidade próxima do BN é proporcional à massa puntiforme, assim como o campo elétrico próximo à esfera eletrizada é proporcional à carga puntiforme.

4) A superfície da esfera eletrizada é análoga ao horizonte de eventos de um BN, pois, se o elétron ultrapassar a superfície da esfera eletrizada (ou entrar em contato com ela), ele não conseguirá mais escapar da superfície. Isso acontece, porque o elétron irá se aniquilar com uma carga de sinal oposto.

5) À medida que elétrons interceptam a esfera eletrizada, a carga elétrica puntiforme resultante diminui, e, conseqüentemente, os efeitos externos (campo elétrico) minimizam. O mesmo ocorre quando uma antimatéria

cai dentro do BN. A interação da matéria com a anti-matéria faz o BN perder massa, e, conseqüentemente, a massa puntiforme diminui, e os efeitos externos (gravidade) minimizam.

Além das analogias que foram pautadas acima, ainda existe uma que ajudará a resolver o problema da singularidade (densidade de matéria infinita). Essa analogia tem como fundamento o campo elétrico no interior da esfera eletrizada.

De acordo com o eletromagnetismo clássico, o campo elétrico no interior da esfera condutora é nulo, mas o potencial elétrico é contínuo e diferente de zero. Como adiantamos no argumento 1, tal campo é análogo à geometria energia-tempo, que será explorada no capítulo 6. Por isso, o fato de o campo elétrico no interior da esfera eletrizada ser nulo é um sinônimo de que a geometria está no estado fundamental, ou seja, sem deformações.

Usando como arquétipo a ideia de campo elétrico no interior da esfera eletrizada, propomos uma mudança de paradigma. Em relação ao interior do horizonte de eventos do BN; isto é:

“os pixels da geometria espaço-tempo internos ao horizonte de eventos são regulares (distintos dos pixels exteriores)”.

Para que os *pixels da geometria espaço-tempo* sejam regulares, é necessário que a massa do BN esteja distribuída de forma homogênea no interior do horizonte de eventos. Esse fato, a regularidade dos *pixels*, justifica porque a matéria não converge para o centro do BN,

descartando, assim, a necessidade de uma singularidade com densidade de massa infinita.

A Figura 2 ilustra a mudança de paradigma proposta anteriormente. Observe as diferenças nos formatos dos *pixels* externos e internos do horizonte de eventos ilustrados na figura. A gravidade é acentuada apenas na parte externa do horizonte de eventos, já que, na parte interna, os *pixels* são regulares e não convergem para uma singularidade, devido à distribuição homogênea da massa/matéria.

Figura 2 – Mudança de paradigma sobre o interior do horizonte de eventos. A massa (matéria) no interior do BN é distribuída de forma homogênea nos *pixels* da geometria do espaço-tempo-energia. Assim, as deformações nos pixels são regulares e excluem a necessidade de uma singularidade com densidade de massa infinita.

Analisando a Figura 2, podemos concluir que a ideia de singularidade ou de massa puntiforme é válida apenas para facilitar os cálculos ou as explicações teóricas. Esse fato é análogo ao eletromagnetismo clássico (Lei de

Gauss); ou seja, trocamos um arranjo de cargas elétricas distribuídas no interior de uma superfície gaussiana por uma carga puntiforme.

O número de *pixels* ($n_{p,BN}$ - Equação 2) no interior do horizonte de eventos é expresso pela razão da massa do BN (M_{BN}) pela massa de Planck (m_p). Logo, a informação no interior do horizonte de eventos não está destruída, mas sim distribuída nos *pixels*.

$$n_{p,BN} = \frac{M_{BN}}{m_p} \quad (2)$$

A ciência é movida pela “arte da dúvida”. A dúvida é o combustível que movimenta a nossa imaginação. Por isso, deixamos uma provocação, para você pensar: note que para qualquer tipo de BN, se multiplicarmos o $n_{p,BN}$ (Equação 2) pelo comprimento de Planck ($1,616 \times 10^{-35}$ m), encontraremos um valor correspondente à metade do raio de Schwarzschild. A dúvida é: por que isso ocorre?

Com tais explicações e com a provocação descrita no parágrafo anterior, encerramos aqui a subseção referente ao Eletromagnetismo de BN.

De acordo com Stephen Hawking, pares de partículas virtuais de matéria e antimatéria podem surgir no limite do horizonte de eventos de um BN. Essas partículas deixam de ser virtuais, caso elas se separem. Uma forma desse fato ocorrer é quando uma das partículas cai dentro do BN e a outra escapa, o que forma a radiação Hawking. Se a partícula que caiu dentro do BN for de antimatéria, ela aniquilará uma partícula de matéria do BN, e, por isso, o BN perderá massa (evaporará).

Nosso interesse, contudo, é analisar as consequências que o aniquilamento entre a matéria e a antimatéria causa no pixel interno do horizonte de eventos do BN. Além disso, queremos estudar qual é a relação desse aniquilamento com a expansão acelerada do universo, isto é, com a constante cosmológica (Λ).

A conservação da energia é uma lei inquestionável da física e da Teoria Quântica da Gravidade. Por isso, o aniquilamento das partículas de matéria e antimatéria resulta em um fóton. A soma da energia desse fóton com a energia interna do pixel resultará em um estado excitado. Chamaremos esse pixel de pixel P' .

Além de o pixel P' estar excitado em relação aos demais *pixels* regulares, a massa que mantinha o pixel P' deformado foi aniquilada. Por isso, tal pixel quer se expandir e atingir o menor estado de energia possível. Esses fatos fazem o pixel querer sair do interior do BN e ir em direção ao *background* gravitacional (estado de menor energia).

Para melhor compreendermos esse fenômeno (movimento do pixel P' para fora do BN), devemos nos lembrar da origem de ΔE . A energia de ΔE é decorrente das flutuações quânticas no interior do pixel e, portanto, não das partículas reais do Modelo Padrão. Se o fóton oriundo da aniquilação das partículas de matéria e antimatéria está aprisionado no interior do pixel P' , ele passa a ser um fóton virtual. Por isso, o conteúdo interno do pixel P' é apenas de partículas virtuais e não de partículas reais do Modelo Padrão. Por esse motivo, a gravidade não atrai o pixel P' , não o aprisiona e não impede o seu

movimento para fora do BN. O movimento que o pixel P' realiza sobre a geometria do espaço-tempo-energia é caracterizado por uma onda gravitacional.

Portanto, se o buraco negro está perdendo *pixels*, concluímos que ele se evapora gravitacionalmente. Já que um pixel é um pedaço discreto da gravidade. Além disso, o pixel P' torna-se um forte candidato para ser a origem da constante cosmológica (Λ), já que a energia do pixel P' provém do vácuo (flutuações quânticas) e já que ele tende a ir para o *background* gravitacional (regiões externas das galáxias ou dos aglomerados de galáxia). Com isso, convém investigar essa candidatura, usando as ideias consolidadas da Cosmologia Moderna.

A energia (ΔE) está contida no volume do pixel ($v = \Delta r^3$). Por isso, o pixel P' é um pacote de densidade volumétrica de energia do vácuo ($\varepsilon = \frac{\Delta E}{\Delta r^3}$) que se propaga no vácuo. Porém, devido ao fato de que foi aniquilada a matéria que fazia ele se contrair, o pixel P' tende a se expandir; assim, devemos atribuir um negativo na densidade, isto é, $-\varepsilon$. Além disso, o movimento do pixel P' ocorre para fora do BN; ou seja, ele contraria a própria gravidade. Esse movimento exerce uma pressão (P) contrária ao colapso gravitacional. Matematicamente, essas ideias são descritas pela Equação de Friedmann; isto é:

$$P = -\varepsilon = \frac{c^2}{8\pi G} \Lambda \quad (3)$$

Manipulando os termos da Equação 3 e substituindo ε por $\Delta E / \Delta r^3$, em módulo, obtemos:

$$\Lambda = \frac{\Delta E}{\Delta r^3} \frac{8\pi G}{c^2} \quad (4)$$

Portanto, analisando a Equação 4, concluímos que a densidade volumétrica de energia (ε) contida no pixel P' que sai do BN define a origem da constante Λ . Fenomenologicamente, quando o pixel P' chega ao *background* gravitacional, ele salta para o estado fundamental, liberando energia ($\Delta E_{P'}$) e espaço (Δr e volume) para o vácuo. Por isso, definimos que:

“A expansão acelerada do universo ocorre devido à inserção de novos *pixels* do tipo P' com origem na evaporação gravitacional de buracos negros”.

Quando o pixel P' chega no *background* gravitacional, ele sofre a expansão, pois, no interior do horizonte de eventos, o tensor $T_{\mu\nu} \gg 1$, e, no estado fundamental, o tensor $T_{\mu\nu} \approx 0$. Por isso, no *background* gravitacional (e na Equação 4), o valor de $\Delta E_{P'}$ é $1,599 \times 10^{-21}$ J, e o do volume é $1,916 \times 10^{-12}$ m³. Sendo assim, para manter a atual taxa de expansão do universo (constante de Hubble, 70 Km/s/Mpc) é necessário que, no intervalo de 1 Mpc, ocorram $564,51 \times 10^6$ saltos de pixel do tipo P' para o *background* gravitacional (lembrando que cada pixel tem: $\Delta r = 1,242 \times 10^{-4}$ m).

Pesquisas indicam que, só na nossa galáxia (diâmetro de 0,032 Mpc), devem existir, no mínimo, 100 milhões de BNs com massas estelares (estatística: a cada mil estrelas, 1 tem massa suficiente para virar BN).

Contudo, o universo é muito maior do que a nossa galáxia. Por isso, quanto mais distante um aglomerado de galáxias está, maior a probabilidade de existi-

rem BNs entre nós e o aglomerado. Consequentemente, maior será a probabilidade de *pixels* do tipo P' decaírem para o estado fundamental, aumentando assim, a energia do vácuo e a distância entre nós e o aglomerado. Essa é a explicação para a Lei de Hubble (Equação 5). Ou seja, quanto maior a distância, maior a velocidade de propagação:

$$v = H_0 d \quad (5)$$

Devemos lembrar que, de acordo com o modelo Λ -CDM, o universo só passou a se expandir de forma acelerada nos últimos 5 bilhões de anos. A explicação que apresentamos para esse fato é que a natureza reservou o período anterior para a evolução estelar, ou seja, para a formação de BNs devido à morte das estrelas.

Antes de propor os experimentos para validar o que foi reportado, devemos discutir uma solução para o Paradoxo da Informação contida no interior do BN. Como foi descrito anteriormente, o fóton oriundo da aniquilação da partícula de matéria com antimatéria ficou aprisionado no pixel P' . Esse fato permitiu que o fóton (no domínio virtual) saísse do BN juntamente com o pixel P' . Quando o pixel P' salta para o estado fundamental (*background*), ele libera o fóton aprisionado e a informação. Logo, o fóton deixa de ser virtual e passa a ser real, podendo dar origem a um par de partículas de matéria e antimatéria, ou continuar sendo fóton. Note, então, que a informação não é perdida, mas sim transferida do BN para o *background* gravitacional.

Agora, sim, vamos apresentar 4 propostas para validar o que foi proposto, isto é, a origem da constante cosmológica (Λ).

A primeira proposta para validar o que é proposto consiste em detectar o fóton que estava aprisionado no pixel P' . Já as demais propostas consistem na detecção de ondas gravitacionais devido ao deslocamento do pixel do tipo P' pela geometria do espaço-tempo-energia. Essas ondas gravitacionais devem apresentar assinaturas diferentes das ondas ordinárias, ou seja, das investigadas atualmente pelos detectores de ondas gravitacionais. Essas diferenças caracterizam as outras 3 propostas experimentais, sendo elas: i) maior intensidade da energia da onda gravitacional, pois elas são formadas no interior da galáxia (BNs); ii) a detecção da onda gravitacional apresentará um sinal distinto das ondas gravitacionais ordinárias, pois a origem da energia do pixel P' é virtual; iii) mapeamento contínuo do céu em ondas gravitacionais permitirá detectar anomalias pontuais. Tais anomalias devem ser as fontes de pixel P' , ou seja, buracos negros.

CONCLUSÕES:

A energia escura é a energia do vácuo. Como há um número muito grande de *pixels* no *background* gravitacional, há também muita energia distribuída nele. A expansão acelerada do universo ocorre devido à evaporação gra-

vitacional de buracos negros. Os buracos negros, mais uma vez, mostram que são objetos astronômicos curiosos, fundamentais para a dinâmica do universo.

CAPÍTULO 5

A NATUREZA DO TEMPO

INTRODUÇÃO:

O que é o tempo? Essa é uma pergunta intrigante, que inspirou muitas respostas pessoais, filosóficas e científicas ao longo da história. Para os antigos gregos, por exemplo, o tempo era dividido entre Chronos e Kairós. O Chronos se refere ao tempo cronológico, racional e sequencial, ou seja, segundos, minutos, horas, dias, anos, décadas etc. O tempo Kairós, por outro lado, é relativo às emoções, à divindade, aos momentos pessoais ou coletivos do presente, do passado e do futuro. Para a Física Clássica o tempo é o período em que um ciclo se repete. Neste capítulo, porém, com base na Teoria Quântica da Gravidade, veremos que o tempo é equivalente ao número de *pixels* que se deslocam na geometria do espaço-tempo-energia.

METODOLOGIA:

A metodologia consiste em usar a Teoria Quântica da Gravidade e a discretização do tensor $T_{\mu\nu}$ a fim de definir o que é tempo. Listamos uma série de movimentos involuntários e intrínsecos em relação a um pixel arbitrário qualquer. Através da regra do produto da quantização dos *pixels*, discutimos a causa (motivação) do Big Bang.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

As duas versões da Teoria da Relatividade (Especial e Geral) e a Teoria Quântica da Gravidade revelam que o tempo é uma grandeza física relativa, flexível, intersticial a Δr . No capítulo 2, deduzimos que o tempo é expresso por:

$$\Delta t = \frac{h}{T_{\mu\nu,0}} \quad (1)$$

Analisando a Equação 1, observamos que h é uma constante, ou seja, a constante de Planck. Portanto, o tempo está em função apenas da intensidade local do tensor $T_{\mu\nu,0}$. Sendo assim, além da velocidade (no caso da Teoria da Relatividade Especial), a massa ou a energia que formam o tensor energia-momento também são capazes de deformar o tempo. Por isso, na Terra e no nível do mar, o tempo passa da mesma maneira para todos que deslocam sobre a superfície terrestre, pois estamos influenciados pelo mesmo tensor $T_{\mu\nu,0}$.

Contudo, no espaço sideral (por exemplo, na região dos satélites) o tempo passa de maneira diferente, quando comparado com o tempo no nível do mar. Esse fato ocorre, porque os *pixels* são relativos à posição do tensor $T_{\mu\nu}$. Logo, no espaço sideral, os *pixels* estão mais relaxados, e, conseqüentemente, o valor local do tensor $T_{\mu\nu,0}$ é diferente em relação ao valor no nível do mar; por isso, no espaço sideral, o tempo é dilatado (Equação 1).

Analisando a regra do produto da quantização ($\Delta r \Delta p = \Delta E \Delta t = h$), concluímos que o valor de h corresponde a um pixel, ora do espaço-tempo, ora de energia-tempo. Por isso, o numerador da Equação 1 equivale a um pixel. Sendo assim, a cada pixel que percorrermos na geometria do espaço-tempo-energia, o nosso relógio marcará uma unidade de tempo (Δt_0). Portanto, o período (P) será equivalente à quantidade de *pixels* (n) que deslocamos ao longo da geometria do espaço-tempo-energia; isto é:

$$P = n \Delta t_0 = n \frac{h}{T_{uy,0}} (2)$$

A partir da definição de período (P) (Equação 2), podemos entender que o espaço e o tempo são grandezas equivalentes. Ou seja, é indiferente analisar a distância percorrida ou o período gasto para o deslocamento de um ponto ao outro.

Na natureza, tudo está em movimento em relação a um referencial (pixel arbitrário qualquer). E não estamos nos referindo apenas ao movimento que realizamos propositalmente, ao nos deslocarmos por aí. Estamos nos referindo também à combinação de todos os movimen-

tos intrínsecos e involuntários: expansão do universo; movimentos astronômicos da Terra (rotação, translação e precessão); movimentos do sistema solar e da galáxia; e movimentos quânticos (precessão do *spin*, propagação de ondas de matéria, propagação da luz, agitação térmica dos átomos e das moléculas, saltos quânticos etc.) Portanto, pelo simples fato de pertencermos à natureza, já estamos em movimento.

É importante definirmos, porém, o sentido em que o deslocamento ocorre, se é para a direita ou para a esquerda do pixel de referência (pixel arbitrário qualquer). As partículas de matéria se movem sempre para a direita do pixel de referência; ou seja, elas se movem no sentido do futuro. Já as partículas de antimatéria se movem para a esquerda do pixel de referência; ou seja, para o passado. Todavia, se a partícula não se move nem para frente nem para trás, isso significa que ela está em repouso (estado estacionário) em relação ao pixel de referência. Portanto, essa partícula estacionária é uma partícula virtual! Este fato (estado estacionário) explica porque o tempo de vida das partículas virtuais é tão curto: não há tempo para elas saírem de dentro do pixel!

De acordo com o exposto no parágrafo anterior, as partículas reais de matéria ou de antimatéria se deslocam pelos *pixels* do espaço-tempo-energia. A maior probabilidade de encontrar essas partículas acontece na interface entre dois *pixels*, pois, no interior dos *pixels*, o domínio é virtual. A interface entre os *pixels* apresenta uma largura de $1/4\pi$, conforme ilustrado na Figura 1. É daí que vem o denominador (4π) do Princípio de

Incerteza de Heisenberg ($\Delta r \Delta p = \Delta E \Delta t = h/4\pi$), quando comparado com a regra do produto da quantização dos *pixels* ($\Delta r \Delta p = \Delta E \Delta t = h$). Por isso, sempre que quisermos medir as propriedades de uma partícula real de matéria ou de antimatéria, devemos levar em consideração o denominador 4π .

Figura 1 – Representação da interface entre dois *pixels*, onde ocorre a maior probabilidade de encontrar partículas reais de matéria ou de antimatéria.

Analisando a Figura 1, observamos que é inevitável que uma partícula real passe pelo interior do pixel. Quando isso ocorre, a partícula real torna-se virtual. Porém, como ela está em movimento, logo ela entrará em uma região de interface e será novamente detectável. Esse processo ocorre sucessivamente. Todavia, esse fato não é exclusivo da Teoria Quântica da Gravidade. A existência do elétron no átomo de Bohr, por exemplo, só é permitida em certos orbitais, ou seja, em certas interfaces. Por isso, durante o salto entre os dois orbitais,

o elétron desaparece do mundo real (a probabilidade de encontrá-lo é muito baixa) e reaparece no próximo orbital (interface).

Dessa forma, podemos concluir que nossa realidade é uma intermitência entre mundo real e mundo virtual. Para nossa felicidade, porém, essa intermitência entre partículas reais e virtuais já foi estudada com muito sucesso pela Eletrodinâmica Quântica. Portanto, a melhor maneira de descrever o movimento de uma partícula real nos *pixels* do espaço-tempo-energia é com a utilização dos diagramas de Feynman da Eletrodinâmica Quântica. A Figura 2 representa o diagrama de Feynman entre a interação elétron-pósitron. Observe que essas partículas só podem ser detectadas nas regiões de interface entre dois *pixels*, pois, nas demais regiões, elas se transformam em fótons virtuais.

Figura 2 - Movimento das partículas reais de matéria e de antimatéria representado por Feynman, da Eletrodinâmica Quântica.

Até agora, analisamos o que é o tempo e como ele evolui, mas falta estudar como ele surgiu. Ou, em outras palavras: “O que causou o Big Bang?” Pois, antes do Big Bang, havia somente um pixel (o pixel primordial).

Logo, o Big Bang representa o início da criação de novos *pixels* e, portanto, do próprio tempo.

Para estudar o pixel primordial, devemos nos lembrar da mudança de paradigma proposta na subseção “Eletromagnetismo de Buraco Negros”, apresentada no capítulo anterior. De acordo com ela, a singularidade não apresenta $\Delta r = 0$, ou massa infinita, mas sim a validade da regra do produto da quantização ($\Delta r \Delta p = \Delta E \Delta t = h$). Por isso, o pixel primordial era preenchido apenas por flutuações quânticas (partículas virtuais) de grande intensidade, já que $\Delta r \ll 1$.

Devido ao fato de o pixel primordial ter apenas partículas virtuais, devemos reformular a pergunta inicial para: “O que aconteceu com as flutuações quânticas no interior do pixel primordial, que foi capaz de dar início ao Big Bang?”. Para responder a essa pergunta, temos que analisar o interior do pixel. Porém, não havia outro pixel além do primordial para fazermos comparações. Sendo assim, convém usarmos setas para analisar se os valores de Δr , Δt e ΔE aumentaram ou diminuíram (o valor de Δp é intrínseco a ΔE). Os significados das setas são: $\uparrow$, aumentou; $\downarrow$, diminuiu; $\uparrow\uparrow$, aumentou muito; e $\downarrow\downarrow$, diminuiu muito.

Para organizar todas as probabilidades possíveis no interior do pixel, usaremos uma Tabela da Verdade, também conhecida como Mapa de Karnaugh de 3 variáveis. Nesse mapa, Tabela 1, vamos inserir as proibições ($\Delta r = 0$, $\Delta t = 0$ e $\Delta E = 0$), o que acarreta que nem o pixel nem a quantização podem existir ($\nexists$). A análise da Tabela 1 será discutida posteriormente; ela revelará o motivo (es-

topim) do Big Bang e a origem da assimetria da matéria e da antimatéria.

Tabela 1: Probabilidades possíveis de Δr , Δt e ΔE no interior do pixel primordial

Estados	Δr	Δt	ΔE	Quantização
1	0	0	0	$\neq$
2	0	0	$\uparrow$ ou $\downarrow$	$\neq$
3	0	$\uparrow$ ou $\downarrow$	0	$\neq$
4	$\uparrow$ ou $\downarrow$	0	0	$\neq$
5	$\uparrow$	$\uparrow$	$\downarrow$	h
6	$\downarrow$	$\downarrow$	$\uparrow$	h
7	$\uparrow\uparrow$	$\uparrow$	$\downarrow$	h^*
8	$\downarrow$	$\downarrow\downarrow$	$\uparrow\uparrow$	Início do Big Bang

Analisando a Tabela 1, observamos que, entre os estados 1 e 4, existe no mínimo uma grandeza física (Δr , Δt ou ΔE) que é nula. Esse fato implica na violação da regra do produto da quantização ($\Delta r \Delta p = \Delta t \Delta E = h$). Por isso, não é possível a formação de um pixel primordial e, consequentemente, do universo.

Já os estados 5 e 6 são os mais comuns de ocorrerem, pois, além de satisfazerem a regra do produto da quantização, são os que mais observamos no universo atualmente. Possivelmente esses estados (5 e 6) ocorreram ciclicamente muitas vezes antes do início da grande expansão (Big Bang).

Analisando o estado 7, observamos que o valor de Δr aumentou muito ($\uparrow\uparrow$), mas o mesmo não ocorreu com os valores de Δt e ΔE . Porém, como isso é possível?

Devemos lembrar que, no interior do pixel, há um mar de partículas virtuais e que o valor de Δr representa o valor médio. Por isso, provavelmente no estado 7, dentro das inúmeras partículas do mar das flutuações quânticas, um par apresentou um λ muito grande, exigindo que Δr se dilatasse para comportá-las. Contudo, como o tempo de vida das partículas virtuais é muito curto, esse par de partículas virtuais se aniquilou e deu origem a um fóton virtual. Tal ação originou uma lacuna (falta) de partículas virtuais de matéria e de antimatéria, note que tais partículas são distintas de fótons.

A lacuna de partículas virtuais de matéria e de antimatéria dentro do pixel não foi preenchida instantaneamente, porque a informação de que era necessário que mais fótons virtuais se convertessem em partículas de matéria e de antimatéria não se propagou com velocidade infinita, mas sim, na velocidade da luz. Portanto, somente quando toda a informação foi transmitida é que a lacuna foi preenchida.

O estado 8 é um reflexo da instabilidade iniciada no estado 7, pois o valor de Δr tendia a diminuir enquanto a informação ainda era transmitida e a lacuna era preenchida pelos fótons virtuais que se converteram em partículas de matéria e antimatéria. Por outro lado, quando toda a informação foi transmitida, surgiu outro problema: não havia espaço (Δr) para acomodar tantas partículas virtuais de matéria e de antimatéria que se converteram dos fótons virtuais.

O excesso de partículas virtuais de matéria e de antimatéria, no estado 8, exigiu que a natureza criasse

um pixel adjacente ao primordial para acomodar tais partículas excedentes. Foi nesse momento que a grande expansão (o Big Bang) começou; ou seja, teve início a criação de novos *pixels*. Conforme os novos *pixels* adjacentes ao primordial eram criados, a energia total se dividida, Λ aumentava, a temperatura abaixava. Desse ponto em diante, a história passa a ser narrada pelo modelo Λ -CDM. Esse processo (criação de novos *pixels*) ocorre até hoje na fronteira do universo. Porém, ele não tão rápido como na Era da Inflação Primordial, pois a quantidade de energia contida nos *pixels* diminuiu.

Para estudar a origem da assimetria da matéria e da antimatéria, vamos admitir, inicialmente, que o pixel que acomodou as partículas excedentes foi criado à direita do pixel primordial. Portanto, quando as partículas virtuais em excesso fluíram para o pixel da direita, elas passaram pela região de interface dos *pixels* ($1/4\pi$, ilustrada na Figura 1). Esse fato revela que o universo já apresentava condições mínimas para que partículas virtuais se tornassem partículas reais.

Além disso, note que apenas as partículas de matéria fluíram para direita, pois, como já discutimos, partículas de antimatéria se deslocam apenas para esquerda! Esse fato revela o motivo de haver mais partículas de matéria do que de antimatéria. A condição inicial (pixel adjacente à direita do pixel primordial) favoreceu as partículas de matéria.

Todavia, o oposto poderia ter ocorrido: o pixel adjacente ao primordial poderia ter sido criado à esquerda do pixel primordial. A probabilidade desse fato ocorrer

era de 50%. Nessa hipótese, as partículas excedentes viajariam para o passado; ou seja, as partículas de antimatéria seriam as favorecidas. Então, nesse cenário, tudo o que conhecemos (inclusive nós) seria feito de antimatéria, e estaríamos viajando para o passado.

Vale destacar que, independentemente da escolha da natureza, as leis da física seriam as mesmas, pois o princípio PCT (polaridade, carga e direção do tempo) se conserva, mesmo na condição inicial.

CONCLUSÕES:

O espaço e o tempo são grandezas físicas equivalentes. O período é o número de *pixels* que percorremos na geometria do espaço-tempo-energia. Partículas reais se deslocam para o futuro, isto é, para a direita de um pixel de referência qualquer; já as partículas de antimatéria se deslocam para a esquerda do pixel de referência. O pixel primordial apresenta as mesmas propriedades dos *pixels* atuais. Uma instabilidade, contudo, foi o estopim para a grande expansão, isto é, para o Big Bang. A probabilidade de o universo ser dominado por partículas de matéria ou de antimatéria era a mesma. Porém, devido ao fato de o primeiro pixel adjacente ter sido criado à direita do pixel primordial, o universo passou a ser dominado por partículas de matéria.

CAPÍTULO 6

EXTRAINDO ENERGIA DO VÁCUO

INTRODUÇÃO:

Nos capítulos anteriores, aprendemos que 95% de tudo o que existe no universo é energia; parte dela é associada à matéria escura ($\Delta E = m_g c^2$), enquanto a outra parte é associada à energia escura (ΔE_{dark}). Esse fato gera uma indagação justa: *“Como usufruir dessa energia em nosso cotidiano?”*. Em outras palavras: *“Como transformar a energia do vácuo em energia elétrica?”*. A energia elétrica é importante, porque, a partir dela, conseguimos obter outros tipos de energia comum para nós, por exemplo: energia luminosa, mecânica, térmica, cinética, sonora etc. Além disso, a geração de energia elétrica limpa e sustentável favorece a manutenção da vida em nosso planeta e o combate ao aquecimento global. No futuro próximo, essa nova forma de geração de energia poderá ser utilizada em carros elétricos, missões espaciais ou mesmo na colonização de novos planetas pela humanidade, nos quais a matriz energética será a energia do vácuo. Neste capítulo, apresentaremos as formas

de extrair energia a partir do vácuo dos *pixels* da geometria energia-tempo.

METODOLOGIA:

A metodologia para se extrair energia do vácuo é representada pela absorção da diferença de energia entre um estado excitado (pixel deformado) e um estado não excitado (pixel não deformado). Por isso, mostramos como alcançar cada um desses estados, com a utilização de cargas elétricas estacionárias e de dispositivos de engenharia (relé e transistor).

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

O primeiro passo para usufruir a energia do vácuo é aumentar a quantidade de energia (ΔE) em cada pixel. Essa ação depende de um tensor, tal como um tensor $T_{\mu\nu}$ formado por objetos astronômicos (estrelas, planetas, buracos negros...). Nesse caso, o tensor $T_{\mu\nu}$ deforma os *pixels*, em especial os da geometria do espaço-tempo.

Outra forma de aumentar a quantidade de energia (ΔE) é deformar os *pixels* da geometria energia-tempo. Porém, como discutimos no capítulo 2, a geometria energia-tempo (representada pelo tensor G_{xz}) é a soma de todos os campos quânticos e forças da natureza (exceto a gravidade). A estratégia, portanto, é deformar a geometria que representa o campo eletromagnético (tensor G_{ab}), por meio da ação de um tensor eletromagnético T_{ab} .

As deformações nos *pixels* da geometria eletromagnética (tensor G_{ab}) são análogas ao campo elétrico ou magnético. Por isso, quanto maior a intensidade do tensor T_{ab} , maior será a deformação dos *pixels*; isto é, maior será a intensidade do campo elétrico ou magnético.

A ação do tensor T_{ab} na geometria eletromagnética é ilustrada na Figura 1. Note que essa figura representa um experimento trivial da física clássica, ou seja, um capacitor de placas paralelas conectado a uma fonte de tensão variável. Por isso, quando a fonte de tensão está desligada, o valor do tensor T_{ab} é zero, e a geometria não está deformada (vide Figura 1-a), mas sim no estado fundamental. Contudo, quando a fonte de tensão é ligada, surge um tensor T_{ab} que será capaz de deformar os *pixels* entre as placas paralelas do capacitor. O fato de haver deformações nos *pixels* significa que há campo elétrico, conforme representado na Figura 1-b.

Figura 1 – Ilustração qualitativa dos *pixels* (fora de proporção) entre duas placas paralelas: a) sem tensor eletromagnético ($T_{ab} = 0$); b) com intenso tensor eletromagnético ($T_{ab} \gg 1$).

Aplicando a regra do produto da quantização ($\Delta E \Delta t = h$), concluímos que quanto menor o pixel, maior a energia. Portanto, analisando a Figura 1, é intuitivo concluir que a energia total (soma de todos os *pixels*) é maior na Figura 1-b do que na Figura 1-a. Então, denominamos de “estado fundamental” os *pixels* da Figura 1-a (*pixels* não deformados) e “estado excitado” os *pixels* deformados (Figura 1-b).

A física clássica já previa o resultado descrito acima, pois, de acordo com ela, a energia do campo elétrico ou magnético era armazenada pela densidade volumétrica do campo. No caso do campo elétrico, a densidade de energia (d) está em função da constante de permeabi-

lidade do vácuo (ε_0) e do quadrado do campo elétrico ($\vec{E}$); isto é:

$$d = \frac{\vec{E}}{\Delta r^3} = \frac{\varepsilon_0 \vec{E}^2}{2} \quad (1)$$

Usando a Teoria Quântica da Gravidade, a Equação 1 pode ser reescrita como sendo a soma de todos os *pixels* (*n pixels*) entre as placas do capacitor que apresenta $\Delta E > \Delta E_0$ (onde ΔE_0 é a energia no estado fundamental, ou seja, quando o tensor $T_{ab} = 0$); isto é:

$$d \equiv \sum \Delta E \, n \quad (2)$$

Outra forma de produzir campo elétrico é por meio de cargas elétricas isoladas (íons). As cargas elétricas pontuais geram campo elétrico radial, cuja intensidade cai ao inverso do quadrado da distância. Já do ponto de vista da Teoria Quântica da Gravidade, as deformações dos *pixels* da geometria (campo elétrico) gerada pelos íons atenuam (diminuem) à medida que se afastam da fonte do tensor T_{ab} , pois a geometria tende a voltar ao estado de menor energia (*background* gravitacional).

A base teórica para responder à motivação deste capítulo (como obter energia elétrica a partir do *vácuo*?) está apresentada na Figura 2. Na primeira parte da figura, Figura 2-a, ilustramos uma carga elétrica e as deformações que ela causa nos *pixels* da geometria energia-tempo. Já na Figura 2-b, uma placa condutora aterrada (que denominaremos de P1) é posicionada próximo à carga elétrica isolada, porém, sem tocá-la e sem descarregá-la.

Note que os *pixels* à direita da placa P1 atingem o estado fundamental (sem deformação) de forma abrupta, isto é, sem haver atenuação nos *pixels* da geometria.

Figura 2 – Deformações dos *pixels* em torno de uma carga elétrica pontual: a) sem placa condutora P1; b) com placa condutora P1, os *pixels* do lado direito da placa P1 decaem para o estado fundamental de forma abrupta.

Analisando a Figura 2, observamos que a carga elétrica e que os *pixels* muito próximos a ela permanecem constantes, independentemente da posição da placa P1. Esse comportamento era o esperado; ele equivale à ideia de campo eletrostático conservativo. Por isso, as propriedades locais (região sobre a carga elétrica e *pixels* muito próximos a ela) constituem uma região limite, na qual as leis da Física Clássica podem ser aplicadas com louvor.

Contudo, contrariando a lógica da Física Clássica e usando a Teoria Quântica da Gravidade, mostraremos a seguir que é possível obter energia elétrica conservando a carga elétrica e o campo elétrico em torno dela.

O primeiro passo que devemos dar é usar a “arte da dúvida”, ou seja, indagar. Por isso, ao analisar a Figura 2-b, devemos perguntar: “Para onde foi a energia (ΔE) dos *pixels* posicionados à direita da placa P1?” A resposta é simples: “a energia se propagou pela geometria do espaço-tempo-energia”.

Todavia, devemos nos atentar para não cairmos no erro de achar que a energia que foi dissipada na geometria do espaço-tempo-energia apresenta a mesma intensidade da energia mecânica gasta para mover a placa P1 do infinito até próximo da carga elétrica central. Já que se repetirmos o ciclo, porém sem carga elétrica central, gastamos a mesma energia mecânica para mover a placa P1. Dessa vez, porém, não haverá a dissipação de energia na geometria do espaço-tempo-energia, pois todos os *pixels* já estavam no estado fundamental antes de se mover a placa P1.

Portanto, a energia (ϵ) dissipada na geometria espaço-tempo-energia é devida a diferença de energia contida nos *pixels* entre o estado excitado (ΔE_f) e o estado fundamental (ΔE_0); ou seja:

$$\epsilon = \Delta E_f - \Delta E_0 \quad (3)$$

Logo, a ideia fundamental deste capítulo (obter energia elétrica a partir do vácuo) é absorver a energia expressa na Equação 3. Para tanto, devemos criar um anteparo experimental, conforme ilustrado na Figura 3. Nesse anteparo, uma placa condutora (que chamaremos de P2) com área dA está conectada em série a uma lâmpada e ao fio terra. A lâmpada acenderá e dissipará energia luminosa, se houver passagem de corrente elétrica por ela. Note também que a placa P1 (a mesma discutida na Figura 2-b) possui uma articulação na parte inferior (↓). Essa articulação permitirá o movimento oscilatório (de vaivém) da placa P1 próximo à carga elétrica. Ou seja, haverá momentos em que a placa P1 estará na frente da carga elétrica (Figura 3-a), e outros momentos em que ela não estará em frente à carga (Figura 3-b). Essa intermitência é similar ao funcionamento de uma chave; isto é, ora ela está ligada (ON), ora está desligada (OFF).

Figura 3 - Anteparo experimental para absorver a energia do vácuo dissipada na geometria do espaço-tempo-energia.

Há duas possibilidades para analisar a Figura 3. A primeira ocorre quando a placa P1 não está na frente da carga elétrica (Figura 3-b). Essa possibilidade é análoga a uma chave aberta (ON), pois o campo elétrico que tem origem na carga elétrica flui livremente até atingir a placa P2. De acordo com princípios eletrostáticos, quando o campo elétrico atinge a placa P2, elétrons sobem pelo fio terra, passam pela lâmpada e estacionam na placa P2. Esse movimento ocorre até o equilíbrio eletrostático ser atingido. Note que o movimento de elétrons pela lâmpada faz com que ela acenda e dissipe energia luminosa.

A segunda possibilidade de análise em relação à Figura 3 ocorre quando a placa P1 é posicionada na frente da carga elétrica isolada (sem tocar ou descarregar a carga), isto é, Figura 3-a. Essa situação é análoga a uma chave fechada (OFF), pois o campo elétrico com origem na carga elétrica isolada não fluirá até a placa P2, uma vez que ele será barrado pela placa P1. Consequentemente, os elétrons que estavam em equilíbrio (por indução ele-

trostática) na placa P2 vão descer pelo fio terra, a fim de neutralizar a placa P2. O movimento desses elétrons vai passar novamente pela lâmpada, fazendo-a acender e dissipar energia luminosa novamente

Observe que só há movimento de elétrons quando há variação do fluxo de campo elétrico ($\mathcal{O}_E$) sobre a placa P2. Por isso, podemos invocar a lei de Maxwell (Equação 4) para descrever os elétrons que passam pela lâmpada. De acordo com Maxwell, a variação do fluxo de campo elétrico em função do tempo gera uma corrente elétrica de deslocamento (conhecida também como corrente virtual).

$$i_v = \frac{d\mathcal{O}_E}{dt} \quad (4)$$

Se a placa P1 executar um movimento periódico (cíclico) próximo à carga elétrica estacionária, podemos caracterizar a Figura 3 como uma fonte de corrente virtual (ou fonte de corrente de deslocamento). Então, se essa corrente elétrica virtual for utilizada em um receptor elétrico (por exemplo, a lâmpada), podemos ampliar a funcionalidade do anteparo apresentado pela Figura 3. Portanto, a Figura 3 ilustra um Gerador de Energia Virtual!

No entanto, é preciso deixar claro que a fonte de energia ("combustível") do Gerador de Energia Virtual é a energia do vácuo ($\mathcal{E}$, Equação 3), ou seja, a energia oriunda da variação entre o estado excitado e o fundamental dos *pixels* da geometria eletromagnética. Lembre-se que a geometria eletromagnética está contida na geometria energia-tempo.

Para tornar o Gerador de Energia Virtual mais competitivo e viável, é necessário trocar a placa P1 por dispositivos de engenharia sofisticados. Essa mudança permitirá construir *chips* de geração de energia elétrica, os quais, certamente, marcarão o início de uma nova revolução industrial e tecnológica.

A função do dispositivo de engenharia é aumentar a frequência de chaveamento entre os estados ON e OFF, isto é, aumentar a potência do *chip* de geração de energia elétrica. Contudo é importante destacar que tais dispositivos devem permitir apenas a passagem de fluxo de campo elétrico, e não de cargas elétricas. Por isso, torna-se conveniente usar materiais avançados, como dielétricos e ferroelétricos.

Os materiais dielétricos são excelentes isolantes elétricos e “transparentes” ao campo elétrico. Já os materiais ferroelétricos, além de apresentarem as mesmas propriedades dos dielétricos, também permitem a polarização dos domínios ferroelétricos e, conseqüentemente, a eficiência do *chip*.

Citamos 2 exemplos de dispositivos de engenharia: um relé dielétrico e transistor ferroelétrico. Combinando vários deles e encapsulando, obtemos um *chip* de geração de energia elétrica. Por simplicidade, ocultamos os detalhes desses dispositivos de engenharia, já que **são** detalhes apresentados em um pedido de patente depositado no órgão competente.

CONCLUSÕES:

No vácuo, há grande oferta de energia. Podemos usufruir dessa energia alternando o estado excitado e o fundamental dos *pixels* da geometria energia-tempo, onde está inserido todos os campos quânticos, inclusive a geometria eletromagnética. A absorção dessa energia caracteriza um Gerador de Energia Virtual. Por meio de pesquisa e desenvolvimento (P&D), o Gerador de Energia Virtual pode ser encapsulado na forma de um *chip*. Esse fato, sem dúvida, representará um salto tecnológico no quesito de produção de energia elétrica de forma limpa e sustentável, tanto para o uso na Terra quanto para a exploração espacial ou para a colonização de novos planetas pela humanidade.

CAPÍTULO 7

ENERGIA DE REPOUSO DA CARGA ELÉTRICA E *SPIN*

INTRODUÇÃO:

A necessidade de energia elétrica limpa e sustentável é uma demanda crescente da sociedade contemporânea. Por isso, para finalizar este livro, apresentaremos outra aplicação tecnológica obtida a partir da Teoria Quântica da Gravidade. Dessa vez, contudo, a energia equivale a $E = m_0 c^2$ e decorre do cessamento das propriedades intrínsecas e involuntárias do elétron. Diferentemente dos capítulos anteriores, este capítulo terá uma abordagem matemática mais detalhada; porém, nada muito difícil. O motivo dessa diferença é que, neste capítulo, pretendemos mostrar ao público leigo ou aos futuros cientistas como um físico teórico trabalha: manipulando equações e leis físicas fundamentais da natureza.

METODOLOGIA:

O método utilizado consiste em analisar um átomo que contém um único elétron. Além disso, sobre esse elétron, colocamos o nosso referencial inercial. Portanto, quem executa o movimento orbital é o próton. Esse fato (movimento do próton) justifica a ação de um campo magnético (B) sobre o elétron. A partir da interação do campo magnético (B) com o momento de dipolo magnético do *spin* do elétron (μ_s), deduzimos a equação da energia inercial associada à carga elétrica e ao *spin*. Tal energia é equivalente a $E = m_0 c^2$. O elétron em repouso é similar a um elétron livre em equilíbrio eletrostático. Por isso, a constante giromagnética é igual a $\gamma = 1,76085977 \times 10^{11} \text{ C.Kg}^{-1}$, e as outras constantes fundamentais são: carga elétrica $q = 1,602176634 \times 10^{-19} \text{ C}$, fator g do *spin*: $g_s = 2,00231930$ e velocidade da luz (c): $299792458 \text{ m.s}^{-1}$.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Em um átomo com um único elétron, a energia potencial orientacional (ΔE) do momento de dipolo magnético do *spin* do elétron (μ_s) interagindo com o campo magnético interno (B) é:

$$\Delta E = -\mu_s \cdot B \quad (1)$$

μ_s está em função do fator g do *spin* (g_s), do momento angular intrínseco de *spin* (S), do magnéton de Bohr (μ_b) e da constante de Planck reduzida ($\hbar$); isto é:

$$\mu_s = -\frac{g_s \mu_b}{\hbar} S \quad (2)$$

A componente de μ_s no eixo z pode assumir dois valores, pois $m_s = -1/2, +1/2$:

$$\mu_{s,z} = -g_s \mu_b m_s \quad (3)$$

Em que μ_b é:

$$\mu_b = \frac{q\hbar}{2m} = 0,927 \times 10^{-23} \text{ Am}^2 \quad (4)$$

A energia potencial orientacional (ΔE) é conservada, pois o ângulo entre os vetores μ_s e B é constante. O movimento de μ_s em torno de B é de precessão, também conhecido como precessão de Larmor. A frequência de Larmor (ω) está em função de B e da constante giromagnética (γ):

$$\omega = 2\pi f = \gamma B \quad (5)$$

O *spin* do elétron já era postulado na mecânica quântica de Schrödinger, mas foi o físico Paul Dirac, através da teoria quântica relativística, que mostrou que o elétron deveria ter *spin* e μ_s .

Da Teoria da Relatividade Espacial, também obtemos a equivalência entre energia e massa de repouso (m_0):

$$E = m_0 c^2 \quad (6)$$

Uma pergunta fundamental é: “Existe equivalência entre energia (Equação 6) com a carga elétrica e o *spin*?” A resposta é sim, conforme mostraremos a seguir.

A Figura 1 ilustra o campo magnético (B) na direção z . Especificamente, a Figura 1-a mostra o ângulo θ formado entre o vetor μ_s e o eixo z , além da frequência angular de precessão de Larmor (ω) e da componente $\mu_{s,z}$. O cone representa o produto escalar de $\mu_s \cdot B$ no tempo, isto é, ΔE . Aqui, nós interpretamos que ΔE equivale à energia cinética de precessão. Já na Figura 1-b, o vetor μ_s foi alinhado com a direção do campo magnético (B), ou seja, com a direção z . Por isso, o movimento de precessão cessa, e o cone de energia cinética de precessão (ΔE) é dissipado na geometria do espaço-tempo-energia na forma de um fóton.

Figura 1 - a) interação do campo magnético (B) com vetor μ_s , resultando no movimento de precessão de Larmor com frequência ω . O cone representa a energia cinética associada ao movimento de precessão que é equivalente à energia potencial orientacional, isto é, ΔE ; **b)** o alinhamento do vetor μ_s com a direção z do campo magnético (B) promove o fim

do movimento de precessão. A energia cinética associada à precessão do elétron é dissipada por um fóton.

A interação de μ_s com B foi descrita na Equação 1. Por isso, a componente μ_s na direção z torna-se:

$$\mu_{s,z} = \mu_s \cos \theta \leftrightarrow \mu_s = \frac{\mu_{s,z}}{\cos \theta} \quad (7)$$

Logo, ΔE (Equação 1), na direção do eixo z, fica sendo:

$$\Delta E_z = -\frac{\mu_{s,z}}{\cos \theta} \cdot B \quad (8)$$

Devido ao fato de B e $\mu_{s,z}$ estarem na mesma direção, o ângulo será nulo ($\alpha = 0^\circ$). Portanto, o produto escalar de $\mu_{s,z} \cdot B$ ($\mu_{s,z} B \cos \alpha$, onde $\cos 0^\circ = 1$) se resume em $\mu_{s,z} B$. Logo, a Equação 8 torna-se:

$$\Delta E_z = -\frac{\mu_{s,z} B}{\cos \theta} \quad (9)$$

Substituindo $\mu_{s,z}$ (Equação 3) na Equação 9, encontraremos:

$$\Delta E_z = \frac{g_s \mu_b m_s B}{\cos \theta} \quad (10)$$

Usando μ_b (Equação 4), $m_s = |\pm 1/2|$, $\theta = 60^\circ$ ($\cos \theta = \frac{1}{2}$ ângulo de máxima otimização) na Equação 10, obtemos:

$$\Delta E_z = \frac{g_s q \hbar B}{2m} \quad (11)$$

Da Equação 5, obtemos a expressão para o campo magnético B ; por isso, substituindo B na Equação 11 e simplificando, temos:

$$\Delta E_z = \frac{g_s q h}{2m 2\pi} \frac{2\pi f}{\gamma} = \frac{g_s}{2\gamma} q \frac{hf}{m} \quad (12)$$

Agrupando g_s e 2γ , obtemos a constante A , cuja unidade é KgC^{-1} :

$$A = \frac{g_s}{2\gamma} = 5,68562964 \times 10^{-12} \quad (13)$$

Substituindo, na Equação 12, a constante A e hf/m por c^2 (já que hf é energia, e a razão da energia pela massa de repouso é igual a c^2), encontramos a energia equivalente à massa, à carga elétrica e ao *spin*. Por isso, uol (Eureka!)

$$\Delta E = Aqc^2 = m_0c^2 = 8.18710509 \times 10^{-14} \text{ J} \quad (14)$$

A energia inercial da carga elétrica e do *spin* do elétron é equivalente à energia cinética associada ao movimento de precessão de Larmor. Por isso, se μ_s (e não apenas $\mu_{s,z}$) alinhar com B , o movimento de precessão cessa. Então, a energia cinética de precessão é dissipada com intensidade m_0c^2 (Equação 14). Portanto, essa é a explicação quântica para a expressão deduzida por Albert Einstein ($E = m_0c^2$, Equação 6)!

Outro resultado relevante é equivalência entre massa, carga elétrica e *spin*, conforme apresentado na Equação 15. Essa equação é válida quando há o alinhamento de μ_s e B . Porém, no estado fundamental (Equação 1 e

Figura 1-a), a massa do elétron é formada parcialmente pela interação do campo de Higgs e pela interação entre carga elétrica e *spin*, pois $\theta \neq 0^\circ$ e $\mu_s \neq \mu_{s,z}$.

$$m = \frac{g_s}{2\gamma} q \quad (15)$$

CONCLUSÕES:

A massa de repouso do elétron é parcialmente resultado do efeito quântico relativístico, isto é, γ , g_s e q . O alinhamento de μ_s com o campo magnético B cessa o movimento de precessão, e a energia ($m_0 c^2$) é dissipada por meio de um fóton na geometria do espaço-tempo-energia. Esses resultados fomentam o desenvolvimento de pesquisas para a produção de energia limpa e sustentável, além de novos avanços científicos e tecnológicos obtidos naturalmente, por meio de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D).