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:

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

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:

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

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:

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

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:

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

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

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

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 $T_{\mu\nu,0}$).

a) *pixels* sem deformações b) *pixels* deformados pela ação do tensor energia-momento

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 $\Delta \mathbf{r}$, $\Delta \mathbf{t}$, ΔE e $\Delta \mathbf{p}$ 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.

Solução para o problema da densidade de energia do vácuo

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_o) do vácuo. O valor de $d_t \approx 3,78 \times 10^{+113} \text{ J/m}^3$. Já o valor da ϵ_o 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:

$= \Delta r^3$). 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 $T_{\mu\nu} \equiv 0$ (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_l) 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 $2,901 \times 10^{14} \text{ J/m}^3$. 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 v' (Equação 25); isto é:

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

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, $\Delta r \Delta p = \Delta E \Delta t = h$. 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, consequentemente, 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 ($v \approx c$), 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 $m_g \approx 0$. Como será apresentado, a soma dos *pixels* com $m_g \approx 0$ revelará outro mistério da Cosmologia Moderna: a origem da energia escura.

ANDRÉ
BONAVENTURA

PRINCÍPIOS DE ENERGIA E TEMPO

FILOSOFIA
NATURAL

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