

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 10

Novas ideias sobre o Universo



Esta é uma composição de imagens da Nebulosa Carina. Estas imagens foram obtidas em diferentes épocas a partir da observação com o telescópio MPG/ESO de 2,2 metros de abertura do espelho primário. Opera com uma super câmera de alta resolução e de grande campo de visão capaz de obter a imagem da Lua cheia numa única observação. Este telescópio, situado no Observatório de La Silla, no Chile, foi construído no Instituto Max Planck (Heidelberg, Alemanha).

Crédito: European Southern Observatory (ESO)

Ensino a Distância

COSMOLOGIA

Da origem ao fim do universo

2015

Módulo 10

Novas ideias sobre o Universo

59

Novas teorias sobre o universo



Andrei Linde (1948).

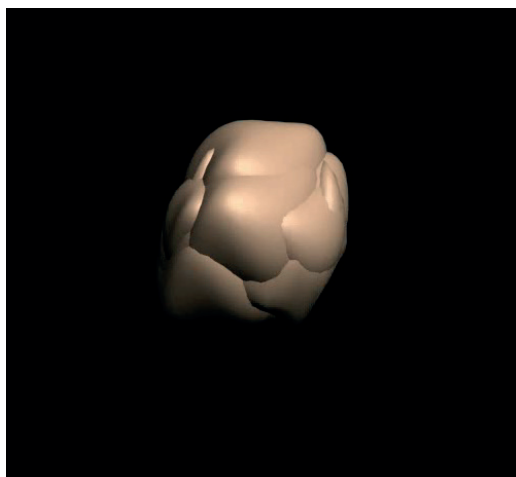


Ilustração da inflação caótica de Linde.

NOVAS TEORIAS SOBRE O UNIVERSO

Com o desenvolvimento da teoria quântica de campos, da física das partículas elementares de altas energias e o aparecimento da teoria da inflação na cosmologia, muitos pesquisadores passaram a se interessar mais pelo universo primordial. Essa fase da existência do universo parecia exigir dos pesquisadores uma compreensão bem mais detalhada da física de altíssimas densidades e energias que existiu nela. No entanto, logo se verificou que o estudo do universo primordial exigia muito mais do que isso.

Entender como o universo foi criado, como surgiram as propriedades associadas a espaço e tempo, e até mesmo se essa criação existiu ou não, fez com que os cientistas que se dedicam à cosmologia tivessem que ousar na imaginação de quais poderiam ser as respostas a essas questões tão fundamentais. Muitas ideias surgiram, grande parte delas baseadas na teoria da inflação, mas várias outras foram absolutamente inovadoras e muitas extremamente ousadas.

Vejamos agora, de modo bem resumido, algumas dessas ideias. Queremos lembrar ao leitor que não se trata aqui de apresentar simples opiniões de cientistas sobre a possível formação do espaço e tempo. Como já dissemos ao longo desse curso, por trás de cada uma dessas hipóteses existe uma matemática super sofisticada e muito trabalho, estritamente científico. Ciência não se faz com apenas uma ideia na cabeça. É necessário complementá-la colocando-a sob a supervisão do amplo conhecimento de física e matemática que dão a ela o envoltório necessário para que possa ser entendida como uma teoria científica e não apenas como uma “sugestão”.

O UNIVERSO QUE SE AUTO-REPRODUZ

A teoria do universo que se auto-reproduz declara que o Big Bang começou como uma flutuação quântica microscópica que ocorreu em algum lugar em um universo que existia anteriormente ao nosso.

Do mesmo modo, o nosso universo pode estar “grávido” de outros universos. Isso quer dizer que a qualquer momento outros eventos semelhantes ao Big Bang poderiam ocorrer, só que desta vez no nosso próprio universo. O problema é que esses nascimentos explosivos somente poderiam ser observados com muita dificuldade e pode até mesmo ser que eles não sejam observados de modo algum!

A INFLAÇÃO CAÓTICA

Essa teoria foi proposta por Andrei Linde, pesquisador do Instituto de Física Lebedev de Moscou, Rússia. Para ele, o universo é uma entidade auto-reprodutora, que existe eternamente, e que está dividida em vários mini-universos alguns dos quais são muito maiores do que a porção observável do nosso universo.

Na teoria de Linde as leis da física de baixas energias e mesmo a dimensionalidade do espaço-tempo podem ser diferentes em cada um desses mini-universos.

Na inflação caótica de Linde o campo quântico que dá origem ao universo não é suave em uma escala microscópica, mas, em vez disso, ele lembra uma “espuma de espaço-tempo”, caótica e não homogênea. Em algumas regiões dessa espuma a densidade de energia poderia ser tão alta quanto 10^{93} gramas por centímetro cúbico, ou seja, 125 ordens de magnitude maior do que aquela do universo visível hoje.

Nessa teoria, outros Big Bangs poderiam começar em qualquer lugar desta “espuma” e permanecerem totalmente desconectados um do outro para sempre. Poderia até mesmo ocorrer que um número infinito de universos se originassem desse campo caótico sem interferir um com o outro.

Similarmente, nosso próprio espaço-tempo ordinário poderia ser caoticamente “espumante” na escala muito pequena de 10^{-33} centímetros. Ele também poderia dar origem a outros universos. As criações poderiam assim formar uma cascata, uma a partir da outra, cada uma produzindo talvez muitos outros universos. Alguns desses universos recém nascidos colapsariam logo ao nascer, mas outros se expandiriam em uma ampla inflação.

Teria sido o nosso universo o primeiro nessa cascata? Linde considera muitíssimo improvável que o nosso universo esteja no topo dessa “árvore” de universos.

A INFLAÇÃO ETERNA

Após a exposição da teoria da inflação original pelo físico norte-americano Alan Guth, um grande número de variações sobre o mesmo tema básico foi proposto por diversos outros cientistas. Isso levou a outras formas de teoria de inflação que receberam nomes diversos tais como “inflação híbrida”, “inflação caótica”, “inflação eterna”, “inflação hiperextendida”, etc. Vejamos algumas dessas ideias, começando com a “inflação eterna” proposta por Guth e Linde.

Segundo os seus autores, depois de cerca de 10^{-30} segundos de inflação, metade da região original que estava no estado de falso vácuo teria decaído em um estado de vácuo normal. Só que isso teria deixado metade do universo ainda no estado de falso vácuo, o que significa que ele continuou a sofrer inflação.

Cálculos teóricos (sobre os quais alguns renomados cientistas têm dúvidas) mostram que a taxa desta inflação, na verdade, teria sido muito maior do que a taxa na qual o estado de falso vácuo decaiu. Um simples raciocínio diz que se algumas áreas estavam sofrendo inflação muito mais rapidamente do que outras estavam sofrendo decaimento, a inflação teria superado o decaimento. Além disso, até hoje alguma parte do universo deveria estar ainda sofrendo o processo inflacionário. Em outras palavras, uma vez que a inflação inicia ela é eterna.

Se esta teoria é correta, vivemos em uma região na qual o estado de falso vácuo decaiu, dando origem a um universo Big Bang padrão. No entanto, outras áreas deste universo deveriam ainda estar passando por inflação.

MULTIVERSOS

Se a proposta de Linde que vimos acima (teoria da “inflação eterna”), está correta, existiriam ainda algumas áreas nas quais a inflação nunca realmente aconteceu. O resultado disso seria uma entidade multiramificada, fractal, gigantesca, chamada multiverso.

Nessa teoria, nosso universo nasceu de uma pequena bolha de espaço-tempo que sofreu inflação a partir de uma região pré existente. Esta região, por sua vez, se inflacionou a partir de uma região prévia e assim por diante. Poderíamos seguir esta linha de raciocínio para trás de tal modo que o nascimento original do espaço-tempo - a origem fundamental do universo - teria ocorrido há tanto tempo que poderia ser inútil perguntar como ela ocorreu.

Nessa teoria, o nosso universo seria apenas uma componente do multiverso, o qual continua crescendo por meio de uma série de Big Bangs por muito mais tempo do que a nossa pequena região no multiverso inteiro. E ele continuará a crescer eternamente.

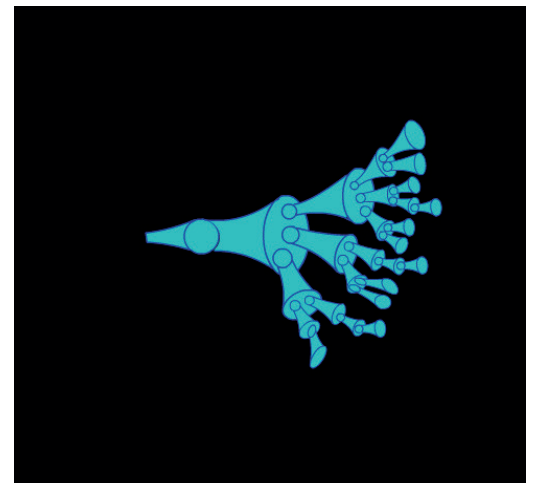


Ilustração do processo inflacionário eterno.

A teoria do multiverso é profundamente complexa. Na verdade, ela nos propõe que as leis da física provavelmente seriam diferentes em cada ramo dessa imensa árvore. Isso significa que poderia nunca ser possível compreender como outras partes do multiverso funcionaram até agora. Isso faria com que nunca fosse possível deduzir uma teoria unificada e simples para todas as leis da física, uma vez que elas poderiam, e certamente seriam, diferentes em cada uma das bolhas geradas nesse multiverso.

A HIPÓTESE SEM-CONTORNO (“NO-BOUNDARY” HYPOTHESIS)

Em 1983 Hartle e Hawking começaram a trabalhar sobre a questão da singularidade cosmológica usando uma abordagem matemática conhecida como “integral de trajetória”. Eles procuraram calcular os problemas que surgiam se o universo tivesse começado de várias maneiras diferentes.

Desse trabalho saiu uma proposta chamada de “*no-boundary hypothesis*”, que traduzimos livremente como “hipótese sem contorno”.

Para entender a chamada “*no-boundary hypothesis*” vamos precisar da ajuda de uma figura geométrica muito simples, um cone.

Imagine que o cone represente a evolução do universo. O tempo cresce ao lado do cone, do seu vértice para cima, enquanto que o espaço se desloca em torno do cone. Note que à medida que você se desloca para cima no cone, do seu vértice para sua base, ou seja, na direção crescente do tempo, a largura do cone, que é o espaço, aumenta. A origem do tempo e do espaço ocorre no ponto localizado na parte inferior do cone, o seu vértice. No modelo tradicional do Big Bang esta é a singularidade.

Mas, na física quântica não há tal coisa como um ponto preciso. Há sempre uma incerteza associada a ele. Para visualizar isto, imagine que o ponto é arredondado como se ele fosse a ponta de uma caneta esferográfica, só que poderosamente diminuída. Isso é exatamente o que a integral de trajetória de Hartle e Hawking prevê como a configuração mais provável para o universo no seu nascimento. Ao invés da dimensão do tempo (que cresce ao longo do lado do cone) começar em um ponto discreto, ela emerge da dimensão do espaço (em torno do cone). E do mesmo modo como não há ponto sobre a superfície de uma esfera onde podemos dizer que a esfera “começa”, não há ponto distinto sobre o fundo arredondado, hemisférico, do cone onde o espaço e/ou o tempo começam. Simplesmente não há ponto inicial e não há distinção entre espaço e tempo, ou mesmo entre passado e futuro.

Em resumo, Hartle e Hawking propuseram que o universo se inflacionou a partir do vértice arredondado de um cone. Havia, entretanto, um problema com a teoria. Hartle e Hawking conseguiram completar seus cálculos de integrais de trajetória usando uma classe de teorias inflacionárias que produziam somente universos fechados. Como as observações atuais sugerem que o universo é ou aberto ou plano, o modelo de criação de Hartle e Hawking conduzia a um universo de um tipo diferente daquele em que vivemos.

A INFLAÇÃO DUPLA

Desde meados dos anos de 1990 Neil Turok passou a procurar uma teoria de inflação para um universo aberto. Trabalhando com Martin Bucher da Cambridge University e Alfred Goldhaber da State University of New York at Stony Brook, Turok encontrou que uma dose dupla de inflação, na qual um universo bolha se forma dentro de uma bolha maior, poderia resolver o problema. De modo bastante estranho, os cálculos mostraram que o espaço no



James Hartle (1939).

interior da bolha que está inflacionando, a qual corresponde ao nosso universo, é geometricamente aberto.

O próprio Turok reconhece que este cenário não descreve de onde vieram os primeiros campos que impelem a inflação (as condições iniciais) nem por que necessariamente deveriam haver duas fases de inflação.

O UNIVERSO A PARTIR DE UM INSTANTON

Turok procurou Hawking, que sugeriu que poderia ser possível resolver o problema surgido na teoria de inflação dupla modificando a ideia “*no-boundary*” que ele havia desenvolvido com Hartle. Isso poderia levar à produção de um universo bolha aberto com somente uma época de inflação. Tal teoria simplificaria bastante as coisas e explicaria as condições iniciais para a inflação, o que significa nada menos do que as condições iniciais do próprio universo.

Inicialmente a abordagem usando integrais de trajetória descartaram soluções de inflação aberta a partir do “cone” “*no-boundary*” de Hartle e Hawking. No entanto, quando Turok adicionou a energia gravitacional ao problema tudo mudou. Como sabemos, uma vez que energia é equivalente a massa, a energia cria um campo gravitacional. A gravidade, por sua vez, tem um aspecto especial: sua energia é negativa. Em outras palavras, a energia positiva infinita produziria uma energia negativa infinita perfeitamente equilibrada.



À esquerda: Stephen Hawking (1942); À direita: Neil Turok (1958).

Ao colocarem esses conceitos nos seus cálculos, Turok e Hawking notaram que o novo modelo era capaz de produzir um universo inflacionário aberto e sem qualquer inflação dupla. Seus cálculos mostraram também que tal tipo de universo era o universo mais provável.

Com o que esse universo primordial se pareceria? Segundo uma entrevista dada por Turok para um jornal inglês esse universo primordial se pareceria com uma incomensuravelmente pequena “ervilha”: pequena, não perfeitamente redonda, e com pequenas “covinhas”.

Só que essa seria uma “ervilha” muito especial. Seu tamanho seria de apenas um milionésimo de um trilionésimo de um trilionésimo do tamanho normal de uma ervilha! No entanto, ela seria um pouco mais densa do que a matéria ordinária, e assim sua massa seria quase a mesma de uma ervilha.

No entanto, essa “ervilha cósmica” é muito especial. Nela o espaço e o tempo estão misturados de tal modo que sua metade “inferior” é semelhante ao vértice

STEPHEN HAWKING VERSUS NEIL TUROK

No dia 18 de março de 2014 foi publicada a notícia que pesquisadores do Centro Harvard-Smithsonian de Astrofísica haviam detectado, por meio de observações, ondas gravitacionais que teriam provocado a inflação cósmica do universo.

Numa declaração ao programa Today da BBC Radio 4, Stephen Hawking disse que a descoberta das ondas gravitacionais contradiz a teoria de Neil Turok. Afirma que havia feito uma aposta com Turok sobre a existência das ondas gravitacionais.

Se confirmada por outros grupos de pesquisa, a descoberta provaria a existência da inflação cósmica, uma teoria que diz que o universo passou por um período de expansão extremamente rápido logo após o Big Bang. A teoria explica porque o universo parece ser quase o mesmo em todas as direções.

"É mais uma confirmação da inflação", disse Hawking ao programa Today.

Mas Turok não admite, ainda, a notícia. Ele disse ao programa que a aposta se baseou nos resultados do telescópio espacial Planck da Agência Espacial Europeia, que no ano passado não conseguiu detectar quaisquer sinais de ondas gravitacionais.

"Em 2001 propus uma nova teoria do Big Bang, segundo a qual ele foi apenas o mais recente de uma série infinita de Big Bangs, mostrando que o universo é cíclico", disse Turok. "Stephen, com seu jeito satírico, no final de uma conversa, disse: "Eu aposto com você que o satélite Planck vai descobrir o sinal da inflação, o que descarta imediatamente a sua teoria, porque a nossa previsão era de que deveria haver sinal de onda gravitacional."

A ideia de inflação cósmica veio de Alan Guth, um físico do MIT (Massachusetts Institute of Technology - Instituto de Tecnologia de Massachusetts), por acaso em uma noite de 1979. Ele sugeriu que a expansão do universo primordial seria exponencial.

Turok pediu cautela sobre as últimas afirmações.

"Antes de tudo, devo dizer que este é apenas um resultado espetacular, e certo ou errado, ele realmente indica que estamos no caminho para explicar, de forma completamente nova, o Big Bang e suas consequências", disse ele.

Mas ele acrescentou: *"Não tenho motivos para dúvidas sobre a nova experiência e seus resultados. No entanto, não é inteiramente convincente para mim, pois devemos ser céticos.*

O experimento foi extremamente difícil de realizar e não há uma explicação concreta, a partir desses dados, que evidenciem a expansão. O problema com a teoria inflacionária é que ela realmente não explica o começo do universo."

Hawking é conhecido por fazer apostas com outros cientistas. Recentemente, ele perdeu US\$ 100 para Gordon Kane, da Universidade de Michigan, ao afirmar que os cientistas do Cern (*Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire* - Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear), laboratório que abriga o Large Hadron Collider (Grande ...

arredondado do cone que vimos no modelo "no-boundary" original de Hartle e Hawking. Nesse novo modelo de Turok e Hawking o tempo, mais uma vez, emerge da geometria do espaço e não há nenhum começo discreto para ambos.

Quando Turok e Hawking realizaram os cálculos sobre o incrível objeto que dá origem a este modelo cosmológico, verificaram que um universo inflacionário aberto surgia, quase instantaneamente, da metade "superior" da "ervilha". Daí eles terem dado a essa "ervilha cósmica" o nome de instanton.

E qual a necessidade desse instanton possuir irregularidades na sua superfície? Na verdade, essas irregularidades são uma representação física de flutuações quânticas que teriam perturbado o tecido do espaço-tempo. Quando o instanton desenvolve rapidamente o universo, essas imperfeições existentes na sua superfície formam um tipo de desenho cósmico sobre o qual o universo toma sua feição.

Essa teoria é perfeita? Várias vozes de renome se levantaram contra ela. Muitos críticos dizem que Turok e Hawking não eliminaram inteiramente a singularidade, pois ela sobrevive como um ponto no interior do instanton primordial. Turok rebate dizendo que essa singularidade é tão amena quanto aquela existente no campo elétrico no centro de um átomo de hidrogênio. Para ele, a singularidade existente no centro de um instanton primordial é tão aceitável quanto aquela existente no centro de um buraco negro e que, embora saibamos que existe, em nenhum momento colocamos dúvidas sobre a existência desse objeto cósmico. Para Turok, o que eles fizeram foi contornar a singularidade em vez de evitá-la totalmente, encontrando um caminho que permite ir até o princípio do tempo e contornar a singularidade.

Outros cientistas alegam que o instanton dá origem a um universo que é aberto demais. Nesse caso, a densidade de matéria deveria ser tão baixa que as galáxias seriam muito poucas e estariam muito espaçadas. Segundo eles, mesmo usando o Hubble Space Telescope, não seríamos capazes de ver nenhuma outra galáxia a partir da nossa. Para Turok o fato desse modelo aberto nos dar um erro de um fator 30 é perfeitamente aceitável por que os cálculos feitos por ele e Hawking foram sobre um modelo muito simples e não deram um resultado tão errado assim!

Uma outra crítica severa ao trabalho de Turok e Hawking foi feita por Linde, que alegou que o instanton criado por eles usa a ideia de "tunelamento quântico" para explicar como o universo poderia ter sido criado a partir do "nada". Em linguagem da teoria quântica, o tunelamento nos diz como uma partícula ou um campo poderia se mover de um lado para outro de uma barreira aparentemente insuperável, sem realmente passar por cima ou através da barreira em um sentido clássico. Explicando melhor, classicamente você não conseguiria superar uma enorme montanha à sua frente se não lhe fosse dada a opção de passar por cima dela, contorná-la, ou atravessá-la por meio de um túnel. No entanto isso é possível segundo as regras da física quântica, não para corpos macroscópicos como nós, mas para partículas e campos. Segundo Linde, o instanton proposto por Turok e Hawking descreve a origem do universo como um evento de tunelamento quântico que passa de um estado de "nada" para um estado de existência. Segundo Turok, não se trata de tunelamento. Para ele, o instanton não é, na verdade, criado a partir do "nada". O instanton, significando o universo no seu nascimento, apenas "é".

O instanton de Turok e Hawking deixa ainda uma questão fundamental não resolvida: como ele surgiu? Para os dois cientistas a pergunta não tem significado. Não existe "fora" do instanton ou "antes" dele. O instanton é apenas um objeto que se originou pelas próprias leis da física. Mas, desse modo, apenas transferimos a pergunta: e o que criou essas leis?

O UNIVERSO “EKPIRÓTICO”

Em 2001 surgiu uma nova teoria que procurava descrever o que aconteceu antes do Big Bang, evento ocorrido há cerca de 15 bilhões de anos. Essa teoria foi desenvolvida por Paul Steinhardt e seus colaboradores da Princeton University, Estados Unidos. O modelo proposto, com o estranho nome de “modelo ekpirótico” tenta explicar importantes detalhes sobre a natureza do nosso universo, inclusive o porquê dele estar se expandindo da maneira como percebemos hoje.

Esse modelo é bem complicado (como se os modelos apresentados acima não o fossem!). Ele está baseado na chamada “teoria M” (*M-Theory*), que pode ser entendida como uma extensão da “teoria de cordas” (*string theory*). Segundo essa última teoria, ao contrário do que é descrito no modelo padrão de física de partículas (apresentado anteriormente em um dos módulos do curso), as partículas elementares que formam a matéria existente no Universo não são (como dissemos) estruturas puntiformes. Ao contrário, os elementos constituintes fundamentais do espaço e do tempo são pequeníssimas cordas vibrantes. A maneira como essas cordas vibram determinaria as propriedades características de cada partícula que detectamos na natureza.

A teoria M não abandona o conceito de Big Bang. Ao contrário, a teoria M procura explicar os eventos que ocorreram *antes* do Big Bang.

Para realizar o seu propósito, a teoria M exige que o Universo tenha 11 dimensões. Dessas, 6 estão “enroladas” formando estruturas tão microscópicas que podem ser ignoradas.

O leitor cuidadoso fez as contas: se a teoria M fala de um Universo de 11 dimensões e o nosso possui 4 (3 de espaço e uma de tempo) tem alguma coisa estranha com essa conta! Na verdade, a teoria M considera que toda ação no Universo ocorre em um espaço-tempo de 5 dimensões.

Para a teoria M, antes que o Big Bang tivesse ocorrido, o Universo consistia de duas superfícies 4-dimensionais, perfeitamente planas. Uma dessas “membranas” (que abreviamos para “brana”) é o nosso Universo. A outra “brana” é um Universo paralelo “escondido” de nós.

De acordo com Paul Steinhardt e seus colaboradores, flutuações aleatórias que ocorreram nesse Universo “escondido” fizeram com que ele sofresse distorções que influenciaram o *nosso* Universo.

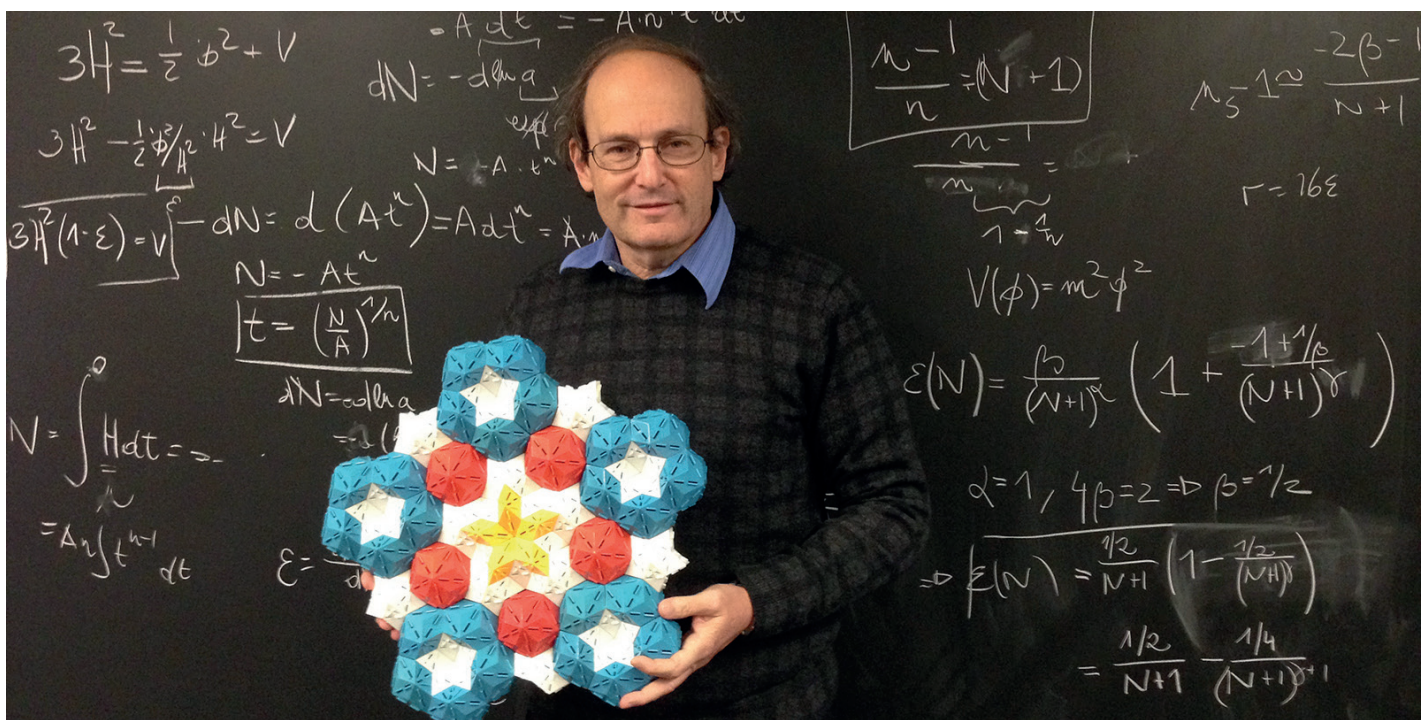
... Colisionador de Hadrões) perto de Genebra - Suíça, não iria encontrar o bóson de Higgs. Eles descobriram a partícula em julho de 2012.

Turok disse que precisava ter mais evidências para aceitar a existência de ondas gravitacionais originadas do Big Bang, antes de admitir perder a aposta para Hawking.

"O importante sobre a ciência é que não importa quantos [cientistas] você seja contra.

Em última análise, as ideias certas é que devem vencer. A ciência não é um concurso de popularidade. Galileo Galilei estava certo, mas suas ideias não eram populares. A aposta ainda está aberta", disse ele.

Paul J Steihardt (1952).



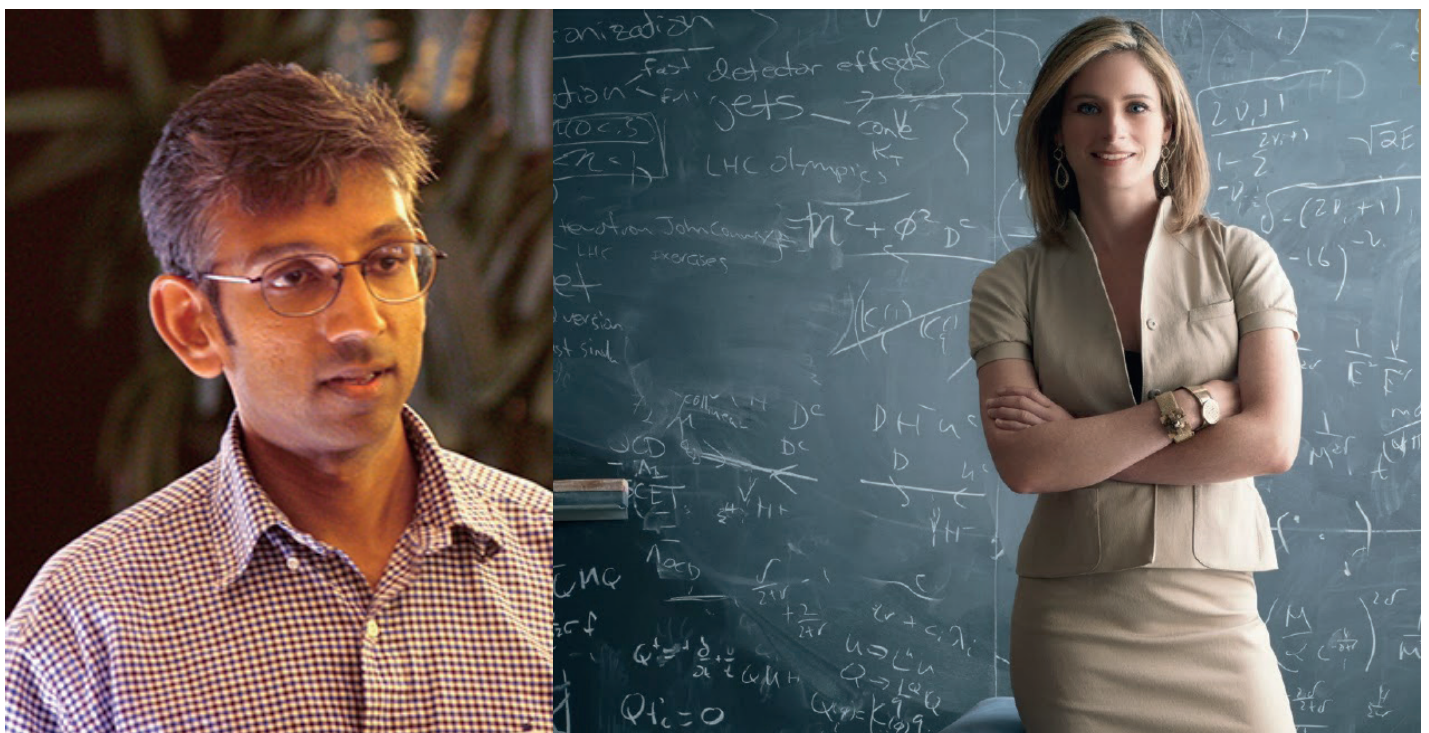
Qual é a proposta do modelo de Universo “ekpirótico”? O modelo do Big Bang possui diversos problemas que precisam ser “ajustados” pelos cientistas, principalmente quando nos referimos à história mais primordial do universo, ou seja, os primeiros bilionésimos do bilionésimo do bilionésimo de segundo ou mais cedo ainda! Uma das propostas existentes para explicar o Universo nesse curtíssimo mas fundamental período de tempo é a chamada “teoria inflacionária”. Ela propõe que o Universo “nasceu” quente e denso, mas sofreu um período de hiperinflação. O modelo ekpirótico é uma nova alternativa que, em muitos aspectos, se afasta radicalmente das ideias até então engessadas pelo Big Bang. O modelo ekpirótico está baseado na ideia de que o nosso universo de Big Bang quente foi criado a partir da colisão de dois “mundos” tridimensionais que se movem juntamente com uma dimensão extra escondida. Os dois “mundos” tridimensionais colidem e se grudam. A energia cinética na colisão é convertida em quarks, elétrons, fótons, etc., que estão confinados a se moverem ao longo de três dimensões. Como a temperatura resultante é finita, a fase de Big Bang quente começa sem uma singularidade. O Universo é homogêneo porque a colisão e a iniciação da fase do Big Bang ocorrem quase simultaneamente em todos os lugares.

O termo “*ekpyrosis*” é uma palavra grega que significa “conflagração”. Ela foi usada pelos cientistas como uma homenagem a uma antiga ideia que formava o modelo cosmológico pregado pelos estóicos segundo o qual o universo teria sido criado por uma súbita explosão de fogo, algo não muito diferente do que acontece quando duas membranas tridimensionais colidem no modelo ekpirótico.

TEORIA DA GEOMETRIA “RETORCIDA”(WARPED) 5-DIMENSIONAL

Os físicos Lisa Randall e Raman Sundrum propuseram um modelo cosmológico, baseado na teoria de “branas”, à qual eles deram o nome de “*5-dimensional warped geometry theory*”, que podemos traduzir livremente como “teoria da geometria retorcida 5-dimensional”. Essa teoria também é chamada de RS-1.

À esquerda: Raman Sundrum; À direita: Lisa Randall (1962).



Este modelo envolve um conjunto 5-dimensional finito que é extremamente “retorcido” e contém duas “branas”. Uma delas é chamada “Gravitobrana” ou “Planckbrana”, onde a gravidade é uma força relativamente forte. A outra “brana” é a “Weakbrana” (brana fraca) ou “Tevbrana”, nosso lar, onde o modelo padrão de partículas elementares é observado.

Neste modelo, as duas “branas” estão separadas por uma quinta dimensão não necessariamente grande.

A Gravitobrana tem uma energia de brana positiva enquanto que a Weakbrana tem energia de brana negativa. São essas energias que fazem com que o espaço-tempo seja extremamente “retorcido”. Note, entretanto, que nesse modelo somente a 5-dimensão é “retorcida”.

Nesse modelo todos os objetos que se movem da Gravitobrana para a Weakbrana estarão crescendo, se tornando mais leves (lembre que a gravidade é muito mais forte na Gravitobrana do que na Weakbrana) e se movendo mais lentamente ao longo do tempo.

OS ATUAIS MODELOS CÍCLICOS

Embora modelos cíclicos do universo tenham acompanhado os cosmólogos desde a divulgação de suas primeiras ideias, todos esses modelos não levaram a bons resultados. Nos anos de 1930 Einstein considerou seriamente a possibilidade do universo obedecer a um modelo cíclico. Outro grande pensador da cosmologia, Richard Tolman também propôs modelos cíclicos que não sobreviveram a análises mais profundas. Somente agora no século XXI, após a descoberta da chamada “energia escura”, modelos cosmológicos cíclicos voltaram a trafegar com naturalidade entre os cientistas. Vamos descrever alguns:

1. O modelo de Steinhardt-Turok

No seu modelo cíclico, duas branas paralelas colidem periodicamente em um espaço de dimensão mais alta. O universo 4-dimensional visível está situado em uma dessas “branas”. As colisões correspondem a uma reversão entre contração e expansão do próprio universo. Nesse modelo, a “energia escura” corresponde à força entre as branas. Como consequência, o universo “surge” e “desaparece” repetidas vezes.

2. O modelo do Tempo Cíclico de Lynds

O cientista Peter Lynds propôs um modelo no qual o tempo é cíclico e o universo se repete exatamente do mesmo modo num número infinito de vezes. Uma vez que é exatamente o mesmo ciclo que se repete, podemos interpretá-lo como ocorrendo apenas uma vez!

O FIM DO UNIVERSO

Muitos cosmólogos se preocupam hoje em apresentar o fascinante cenário de como teria sido a possível origem do nosso universo. Ele está aí. Nós o observamos tanto com os pequenos telescópios como com os grandes equipamentos profissionais mantidos por observatórios de todo o mundo.

Mas o que podemos dizer quanto ao seu futuro? Existirá um fim para o universo ou ele é eterno? Como interpretar o conceito de um universo eterno em relação à nossa própria existência? E como aceitar que em algum momento ele possa “desaparecer”? O que significa isso?

Para discutirmos esses temas precisamos, mais uma vez, especular usando a física que conhecemos. E tudo depende da massa do universo, que é quem determina se ele se expande para sempre ou sofre um colapso final.

A pergunta que nos guiará nessa especulação sobre o destino final do nosso universo é a seguinte: o universo se expandirá para sempre, com as galáxias desaparecendo gradualmente e se dispersando ou, ao contrário, ele recolapsará concentrando novamente toda a matéria em uma pequeníssima região do espaço-tempo?

Em geral a primeira verificação a essas duas hipóteses viria da observação do “*redshift*” das galáxias, ou seja, do deslocamento de suas linhas espectrais na direção do vermelho do espectro eletromagnético. Esse deslocamento nos diria se as galáxias estão se aproximando umas das outras, e nesse caso suas linhas espectrais estariam sofrendo não um deslocamento para o vermelho mas sim um deslocamento para a região azul do espectro eletromagnético, ou se elas continuam se afastando umas das outras como medimos atualmente. Por esse método, em princípio, poderíamos comparar a expansão do universo atual com aquela medida e verificar o quanto ele está contraindo.



Existe, entretanto, um modo mais indireto de determinar se a expansão do universo está destinada a parar e iniciar um caminho reverso de contração. Sabe-se que a interação gravitacional mantém a ligação entre os corpos celestes. Aliás, a interação gravitacional mantém todos os corpos, até mesmo as menores partículas, em contato umas com as outras. Se dois asteroides colidem, seus resíduos se espalham pelo espaço vizinho, mas o comportamento desses resíduos dependerá muito da velocidade com que eles se espalham. Se ela for muito grande, eles se perdem no espaço sideral sendo, possivelmente, atraídos futuramente por outros corpos maiores. Se esses resíduos possuem baixa velocidade de escape, eles podem ser novamente atraídos por um dos corpos que o originou. Nesse caso, a expansão dos resíduos seria parada, sendo atraídos novamente na direção do corpo original.

Algo semelhante a isso é projetado pela teoria relativística da gravitação. As galáxias são os “resíduos” do nosso universo, fragmentos de um processo de expansão que começou há bilhões de anos. Sabemos qual a velocidade de expansão que elas possuem. Poderíamos então calcular facilmente se o universo em algum momento irá recolapsar. No entanto, nos falta um dado fundamental. Até o momento os cientistas não sabem precisamente qual é a quantidade de matéria real que existe no universo e que poderia parar essa expansão. Eles já calcularam qual a quantidade de matéria suficiente para parar a expansão: cerca de 3 átomos por metro cúbico, que seria a densidade crítica

do universo. Se a concentração média da matéria no universo estiver abaixo dessa densidade crítica, ele deverá se expandir para sempre, mas se ela for superior a esse valor o universo em algum momento irá recontraír.

Mas o que falta para que os cientistas saibam exatamente qual é o conteúdo de matéria do universo? Ocorre que evidências no estudo da dinâmica das galáxias parecem nos indicar que existe uma grande quantidade de matéria invisível no universo, à qual damos o nome de matéria escura. Estudos dinâmicos de aglomerados e grupos de galáxias nos indicam que existe cerca de 10 vezes mais material escuro no universo do que é realmente observado. Desse modo, mais de 90% da massa existente no universo pode estar em alguma forma ainda não detectada e não necessariamente se revelar como estrelas. Essa matéria escura pode estar na forma de estrelas “mortas”, buracos negros primordiais, partículas previstas pela chamada teoria da supersimetria e que até hoje não foram observadas, etc. Não necessariamente essa massa escura estaria na forma de bárions.

Não há qualquer razão para acreditar que tudo no universo brilha. O que já conseguimos observar ou acreditamos existir pode ser apenas uma fração pequena, atípica, do que realmente existe. Se os detectores dos grandes telescópios pudessem registrar apenas a parte óptica do espectro eletromagnético, nossa compreensão sobre a quantidade de matéria existente no universo estaria muito errada. Mesmo observando em várias faixas do espectro eletromagnético, tudo indica que a nossa visão sobre o conteúdo de matéria do universo ainda está bastante incompleto.

O fato de não conseguirmos observar um fenômeno, não significa que ele não exista. Pode ser que realmente haja matéria suficiente no universo para fazê-lo colapsar no futuro.

Vemos, portanto, que a determinação da densidade de matéria e da desaceleração do universo são testes cruciais para a cosmologia.

O FIM DE UM UNIVERSO QUE SE EXPANDE PARA SEMPRE

O que ocorreria se o nosso universo se expandisse para sempre e tivesse tempo suficiente para atingir um estado final?

Em 1956 o físico alemão Hermann von Helmholtz fez a seguinte previsão: o nosso universo estava morrendo. Como sustentação à sua hipótese ele usava a segunda lei da termodinâmica. Segundo ela, em um sistema isolado, ou seja, que não recebe energia de outros corpos, o calor sempre flui de um corpo mais quente para aquele que está mais frio. Existe, portanto, um direcionamento fundamental para o fluxo de calor: dizemos que o comportamento do fluxo de calor é unidirecional. Isso é comumente representado como uma “seta do tempo” que passa do passado para o presente e indica que o processo é de natureza irreversível.

Esses conhecimentos de termodinâmica levaram ao conceito de **entropia**, uma propriedade que caracteriza as mudanças irreversíveis que podem ocorrer na termodinâmica. A segunda lei da termodinâmica nos diz que a entropia de um sistema isolado nunca diminui, pois se isso acontecesse teríamos calor fluindo espontaneamente de um corpo mais frio para um outro mais quente.

O conceito de entropia pode ser generalizado para todos os sistemas fechados: a entropia nunca diminui. Mas o nosso universo é um sistema fechado, pois não há sentido em falar sobre o seu “lado de fora”. Com isso, constatamos que a entropia do universo realmente nunca diminui. Ela cresce sempre. Por exemplo, o Sol emite seu calor para o espaço frio e essa forma de energia nunca retorna, um processo absolutamente irreversível.



Hermann von Helmholtz (1821 - 1894).

A pergunta que se faz é se a entropia do universo pode crescer para sempre. Se todas as estrelas emitem energia térmica para o espaço frio, e como sabemos que essa energia estelar não é inesgotável, isso significa que em algum momento todo o universo estará à mesma temperatura ou seja, o universo terá alcançado aquilo que os físicos chamam de “equilíbrio termodinâmico”, uma condição de entropia máxima.

No caso de um universo que se expande para sempre, seu destino final seria ficar, para sempre, completamente cheio de radiação. Tudo existente nele de alguma forma decairia de volta à radiação e isso poderia acontecer por meio de vários processos. Algumas teorias de Grande Unificação permitem o chamado “decaimento do próton”, o que seria suficiente para aniquilar toda a matéria existente no universo em um longo prazo. É bom lembrar que o próton não é uma partícula fundamental e sim composta por três quarks. Esses quarks estão o tempo todo interagindo no interior do próton e poderia ser que, em algum momento, eles se aproximassem o suficiente para que a interação gravitacional entre eles aumentasse a interação forte ali existente. Nesse caso, eles poderiam se unir formando um mini buraco negro. Dizemos então que o próton colapsaria devido à sua própria gravidade em virtude do efeito do tunelamento quântico que ocorreria dentro dele. Esse mini buraco negro é altamente instável e desaparece quase instantaneamente dando origem a um pósitron, que é a antipartícula do elétron, e a um píon neutro. Os possíveis tempos de vida para que ocorra o decaimento de um próton, sugeridos pelas teorias de Grande Unificação, nos indicam um intervalo muito grande de possibilidades, o menor deles sendo de 10^{45} anos.

Se é verdade que os prótons são instáveis e decaem, mesmo que isso ocorra após um período tão longo de tempo, as consequências são trágicas para a matéria existente no universo. Tudo que existe nele seria instável e acabaria por desaparecer em algum momento, desde que o universo tenha tempo suficiente para atingir este estado final. Todos os corpos celestes, todas as formas de matéria existentes, perderiam seus prótons por meio desse processo em algum momento de suas vidas.

Com o decaimento dos nêutrons e prótons (os nêutrons também são formados por quarks) o universo ficaria composto por esse tipo de partículas (pósitrons e píons). O píon, por ser instável, decairia em dois fótons ou em um par elétron-pósitron. Veja, portanto, que o universo adquire cada vez mais pósitrons. Uma vez que todos os prótons tenham decaído em pósitrons, haverá uma mistura quase igual deles e elétrons no universo. Inicialmente o elétron e o pósitron irão se combinar em uma espécie de mini-átomo, chamado positrônio, unidos por uma atração elétrica mútua, pois eles possuem cargas elétricas diferentes. Esse sistema é instável e seu movimento orbital tem a forma de uma espiral. Isso faz com que essas partículas terminem por se aniquilarem. O tempo necessário para que essa aniquilação ocorra depende da distância inicial entre o elétron e o pósitron. Estimativas mostram que seriam necessários 10^{71} anos para que os positrônios fossem formados, seus constituintes tendo órbitas da ordem de muitos milhões de anos-luz. Inevitavelmente, todos os positrônios serão, em algum momento, aniquilados.

Um outro processo que estaria acontecendo simultaneamente seria a formação e subsequente evaporação de buracos negros por meio de processos quânticos. Estrelas, tais como anãs brancas e de nêutrons, poderiam sofrer processos que as transformariam em buracos negros com sua consequente “evaporação”.

Note que os processos que estão ocorrendo num universo que se expande para sempre acontecem cada vez mais lentamente. Nosso universo, em eterna expansão, terá como matéria final o fundo cósmico que sempre esteve presente, a radiação de fótons e neutrinos que foi criada com ele. A matéria ordinária do universo

já terá desaparecido e todos os buracos negros já terão evaporado. Nesse futuro longínquo, o universo seria apenas uma “sopa” incrivelmente diluída de fótons, neutrinos e um número cada vez menor de elétrons e pósitrons que se afastam cada vez mais lentamente (lembre-se que o universo continua a expandir).

Não conhecemos nenhum motivo pelo qual o universo poderia interromper essa sua degradação térmica e retornar a um processo de criação de matéria. Isso levará um tempo imenso para acontecer, mas será inexorável se o universo se expandir para sempre. A esse processo damos o nome de “morte térmica” do universo.

| TEMPO | O QUE ACONTECE |
|-------------------------------|---|
| 10^{14} | a atividade estelar ordinária está completada: as estrelas esgotaram seu combustível nuclear |
| 10^{17} | significante relaxação dinâmica nas galáxias |
| 10^{20} | efeitos de radiação gravitacional em galáxias |
| $10^{31} - 10^{36}$ | decaimento do próton (se as previsões das Teorias de Grande Unificação estiverem corretas) |
| $10^{64}(m/m_{\text{sol}})^3$ | evaporação quântica de buracos negros (efeito Hawking) |
| 10^{1600} | estrelas anãs brancas se transformam em estrelas de nêutrons (isso se o decaimento do próton não ocorrer antes) |
| $10^{1026} - 10^{1027}$ | as estrelas de nêutrons sofrem tunelamento quântico transformando-se em buracos negros os quais então rapidamente evaporam (isso se o decaimento do próton não ocorrer antes) |

O FIM DE UM UNIVERSO QUE RECOLAPSA

O que acontece se o universo inicia um recolapso? Inicialmente não seríamos capazes de perceber o que estaria acontecendo. O universo começaria a recolapsar de uma maneira muitíssimo lenta. Levaríamos algum tempo, algumas dezenas de bilhões de anos, antes de observarmos que algo de novo estaria acontecendo nele.

Algo sutil poderia ser o primeiro fator a provar aos astrônomos que o universo começou a recolapsar. Este seria um aumento na temperatura da radiação cósmica de fundo, que hoje é de cerca de 3 Kelvin. Essa radiação é um remanescente da grande expansão inicial do universo e ela esfria à medida que o universo se expande. A detecção no aumento dessa temperatura seria um dado impressionante de que ele começou a colapsar.

Como já dissemos, os deslocamentos para o vermelho das linhas espectrais das galáxias, seus “*redshifts*”, começam a ser substituídos por deslocamentos para o azul, “*blueshifts*”. Os aglomerados e grupos de galáxias começam a contrair gravitacionalmente. As galáxias, tendo em vista essa contração, começam a se juntar cada vez mais dentro desses aglomerados e grupos de galáxias. Isso provocará uma interação gravitacional cada vez maior entre elas aumentando o número de colisões e disrupções dessas galáxias no interior desses aglomerados. A energia de ligação gravitacional que está sendo liberada à medida que os aglomerados de galáxias, e conseqüentemente as galáxias e suas estrelas, progressivamente se juntam, aceleram o processo de contração do universo. No entanto, essa inexorável tendência à contração será retardada por outros processos físicos existentes no universo tais como a rotação, a energia nuclear e até mesmo a enorme escala dos sistemas astronômicos, o que faz com que os processos aconteçam lentamente, adiando um pouco a inevitável vitória da interação gravitacional.

Com o aumento das interações, as regiões centrais das galáxias, formadas em geral por imensos buracos negros, se tornarão impacientes devoradores de estrelas, aumentando continuamente suas massas. O espaço-tempo ficará cada

vez mais “furado” à medida que, além do fato desses imensos buracos negros centrais de galáxias continuarem inchando, estrelas “mortas”, que já esgotaram seu combustível nuclear, também se transformarem em buracos negros.

À medida que o universo recolapsa a temperatura da radiação de fundo aumenta inevitavelmente. Todos os corpos celestes sofrerão a consequência disso, inclusive a nossa Terra. Essa radiação se tornaria tão intensa que o céu noturno passaria a ter uma coloração vermelha e nosso planeta, assim como todos os outros, não conseguiria resistir ao calor e seria destruído. O espaço passaria a ser preenchido por gases cada vez mais quentes. A temperatura aumentaria até atingir valores superiores a bilhões de graus.

Com uma temperatura tão alta os núcleos atômicos se desintegrariam, seriam esmagados e só restariam no espaço buracos negros. Prótons e nêutrons individuais também deixariam de existir sobrando apenas uma “sopa” de quarks, seus constituintes básicos.

O colapso continuaria a acelerar. Os buracos negros agora se fundem, a gravitação domina tudo. Isso faz com que a curvatura do espaço se torne cada vez mais acentuada e o comprima cada vez mais. É o fim do universo.

O colapso, cada vez mais intenso, levará a um “grande esmagamento” que engolirá toda a matéria. O estágio final seria uma imensa bola de fogo, semelhante àquela que iniciou a expansão do universo.

Poderíamos então imaginar que após esse “grande esmagamento” um novo processo físico de expansão teria início com a formação de um novo universo. Seria possível? Não temos como prever, uma vez que não conhecemos detalhes fundamentais do processo que deu origem ao nosso universo. Além disso, não necessariamente um novo universo criado a partir desse “grande esmagamento” teria qualquer semelhança com o nosso. Podemos lembrar que também não sabemos quais as condições iniciais que deram origem às leis físicas que hoje percebemos no nosso universo. Novas teorias sobre a formação do universo possibilitam a existência de vários universos onde as leis físicas podem ser absolutamente diferentes.

| tempo | o que acontece |
|--------|--|
| - | o universo começa lentamente a colapsar; a temperatura da radiação de fundo começa a aumentar |
| 10^9 | os aglomerados de galáxias começam a se aproximar e iniciam processos de colisão |
| 10^8 | as galáxias colidem no interior dos aglomerados |
| 10^6 | as estrelas se movem relativisticamente |
| 10^5 | a temperatura da radiação de fundo continua a aumentar; o “céu noturno” inteiro é mais quente do que a superfície de uma estrela |
| 10^3 | estrelas são destruídas; buracos negros crescem catastróficamente |
| 1 | a temperatura no universo é maior do que 10^8 Kelvin em todos os seus pontos |
| - | acontece o “grande esmagamento” |

A DESTRUIÇÃO ABRUPTA DO UNIVERSO

Quando falamos sobre a teoria da inflação, consideramos rapidamente o conceito de que poderiam existir vários estados de vácuo: aquele que realmente é o estado de menor energia ou “vácuo verdadeiro” e aquele que é um pseudo estado de menor energia ou “vácuo falso”.

Baseados nessas considerações, os cientistas Sidney Coleman e Frank de Luccia levantaram a seguinte questão muito importante sobre o destino do

nosso universo: o que aconteceria se o nosso universo estivesse não em um estado de “vácuo verdadeiro” mas sim em um estado de “falso vácuo”?

Sabemos que um estado de vácuo excitado tende a cair para um estado de vácuo verdadeiro. Os átomos existentes em um estado de falso vácuo são todos instáveis e tendem a decair para estados de menor energia, a que damos o nome de “estado fundamental”.

Acreditamos hoje que o nosso universo está em um estado de “vácuo verdadeiro”. Mas e se isso não for verdade?

Coleman e De Luccia levantaram a possibilidade de que o nosso universo possa estar não em um estado de “vácuo verdadeiro” mas sim em um estado de “vácuo metaestável” que teria uma longa duração. Isso nos estaria dando um falso sentido de segurança por estar durando alguns bilhões de anos, mas precisamos lembrar que os núcleos do urânio também apresentam meias-vidas que podem durar bilhões de anos e nada os impede de decair para outros estados.

O que Coleman e De Luccia propuseram é a possibilidade de que, se o nosso universo estiver em um estado de “vácuo metaestável” não seria impossível que ele venha a cair para um estado de energia ainda mais baixa com terríveis consequências para nós.

Uma transição entre estados de vácuo se dá por meio do chamado “tunelamento quântico” que já explicamos. Embora esse efeito não seja percebido na nossa vida diária, ele é muito comum no mundo quântico, tais como nos semicondutores que você usa no seu dia-a-dia.

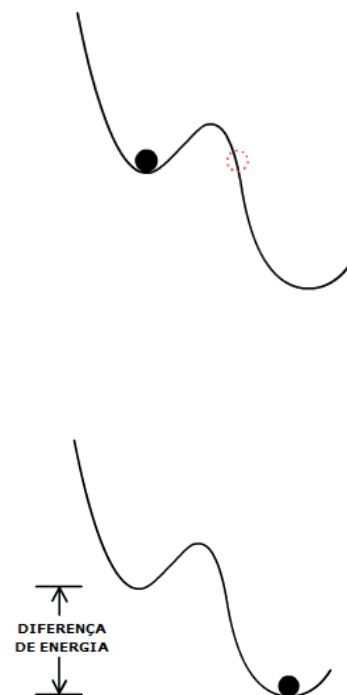
Segundo Coleman e De Luccia, o decaimento começaria em uma região qualquer do espaço na forma de uma pequeníssima bolha de vácuo “verdadeiro” cercado pelo vácuo “falso” que sabemos ser instável. Tão logo a bolha de vácuo “verdadeiro” tenha se formado ela se expandirá a uma taxa que rapidamente alcançará a velocidade da luz. Desse modo, ela englobará uma região cada vez maior do “vácuo falso” e o converterá instantaneamente em “vácuo verdadeiro”. Toda a energia está concentrada na parede da bolha que varre o universo de lado a lado e destrói tudo que encontra no seu caminho.

O que aconteceria conosco? Em primeiro lugar, só perceberíamos a existência dessa bolha de vácuo verdadeiro quando aparecesse sua parede. Ela causaria uma mudança instantânea na estrutura quântica do nosso mundo. Não teríamos qualquer aviso de que isso iria acontecer e, quase que imediatamente, a natureza das partículas subatômicas e seus processos de interação sofreriam mudanças extremamente radicais. Por exemplo, isso poderia causar o decaimento instantâneo dos prótons com a consequente evaporação de toda a matéria existente. Segundo os cientistas, a energia e a pressão existentes no interior da bolha de vácuo verdadeiro criariam um campo gravitacional tão intenso que a região englobada por ela entraria em colapso em apenas alguns microssegundos, embora sua parede continuasse a expandir. A aniquilação do nosso universo seria abrupta, uma implosão para o interior de uma singularidade do espaço-tempo sem qualquer aviso prévio.

OUTRAS POSSIBILIDADES MODERNAS DA “DESTRUIÇÃO” DO UNIVERSO

Antes de terem sido feitas as observações que foram interpretadas como o Universo estando em expansão acelerada, os cosmólogos consideravam somente os dois cenários descritos acima para o futuro do Universo.

As observações modernas que mostram a expansão acelerada do Universo implicam que cada vez mais a parte atualmente visível do Universo cruzará nosso horizonte de eventos e ficará fora de contato conosco. O resultado eventual disso não é conhecido. O modelo Lambda-CDM do Universo contém



As figuras ilustram a hipótese de Sidney Coleman e Frank de Luccia.

energia escura na forma de uma constante cosmológica. Essa teoria sugere que somente sistemas gravitacionalmente ligados, tais como as galáxias, permaneceriam juntos e eles também estariam sujeitos à morte térmica, à medida que o Universo expande e esfria.

Outras explicações da energia escura - as chamadas teorias de “energia fantasma”, sugerem que no fim das contas os aglomerados de galáxias, estrelas, planetas, átomos, núcleos, e a própria matéria seria separada com força pela sempre crescente expansão em um chamado Big Rip.

O objetivo deste curso é difundir, atualizar e socializar o conhecimento científico para todos os interessados em ciências, estabelecendo uma conexão entre a pesquisa e o público em geral. A proposta do conteúdo do curso termina aqui? É claro que não, pois são inúmeras as teorias e modelos propostos num esforço para explicar o universo e seus mistérios. Assim, podemos nos fazer inúmeras perguntas, como: que força teria criado um universo tão complexo e intrigante? O que teria acontecido naquele instante muito próximo de zero, quando tudo surgiu? Será que o universo surgiu do nada, foi criado ou ele sempre existiu? É preciso estudar muito mais!

Todos esses modelos são frutos de milhares de anos de estudos, de reflexões do ser humano sobre o universo que está a sua volta e, porque não, sobre a sua própria existência. Ao contrário do que se pensa, os cientistas levam anos, décadas e passam as suas vidas a se dedicar, em todas as áreas da ciência, a um problema específico. Há momentos em que são necessárias várias gerações de cientistas para resolver, ou pelo menos para entender melhor este problema. Não é trivial, como costumamos dizer.

É preciso observar a natureza que nos cerca. Entendê-la e descrevê-la com modelos físicos-químicos-matemáticos não é simples, como vimos. Não tem jeito, temos que queimar os neurônios e suar muito a camisa. É assim mesmo.

Olhar para o céu e admirar as estrelas, a Lua, ou se imaginar em outro planeta, numa outra galáxia, faz parte da visão romântica que todos nós temos do universo. Mas a Astronomia exige dos seus seguidores um trabalho muito árduo e de contínua investigação científica das leis físicas que regem os corpos celestes. Afinal de contas, conhecer a origem, a forma como funciona e o possível fim do universo é compreender a própria existência da humanidade.

O pintor francês Eugène Henri Paul Gauguin (1848-1903) nos faz um convite à reflexão. São perguntas extremamente simples, mas para respondê-las a ciência ainda levará muito tempo, exigindo dos pesquisadores uma profunda dedicação e uma incansável perseverança:

D'où venons-nous ? Que sommes-nous ? Où allons-nous ?

“De onde viemos? Que somos? Para onde vamos?”

