Nosso universo como uma membrana

BERTHA CUADROS-MELGAR

Há apenas seis anos a idéia de dimensões extras habitava a região nebulosa entre a física e a ficção científica. Porém, muitos físicos já tinham começado a ver a nova *teoria de cordas* como o grande próximo passo da física teórica. A teoria de cordas é uma teoria que tenta responder a tudo aquilo que observamos no universo, tanto em larga escala como na escala subatômica. Para isso, a teoria deve dar conta de um único comportamento para todas as partículas elementares e as quatro forças fundamentais, deve unificar as teorias da relatividade geral e da mecânica quântica, e explicar o nascimento do universo e tudo quanto vemos dentro dele. Pela primeira vez em centenas de anos, a resposta pode estar mais perto do que imaginamos.

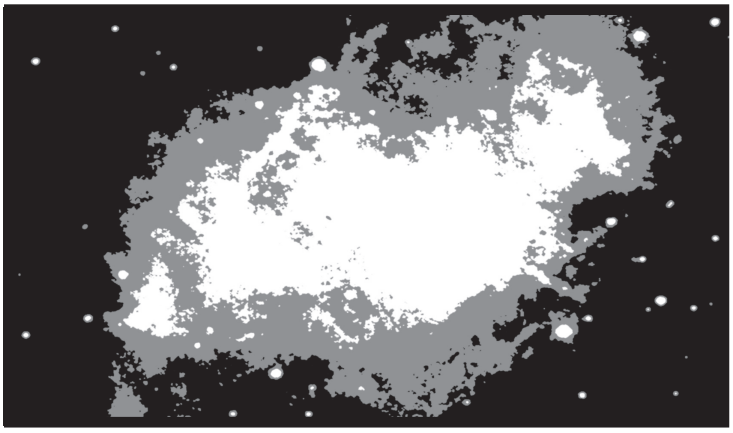
BERTA CUADROS-MELGAR é pesquisadora do Departamento de Física-Matemática do IF-USP.

TEORIA DE CORDAS

No nível mais simples, a teoria de cordas estabelece que as partículas fundamentais constituintes da matéria e das interações não são objetos pontuais, mas fazem parte de pequenas cordas vibrando no espaço-tempo. Diferentes partículas aparecem como diferentes formas de vibração, mas todas estão incluídas na mesma descrição. Acredita-se que a corda fundamental, de onde todas as partículas aparecem como modos vibrantes, seja pequena, de fato, da ordem de 10^{-33} cm, para justificar a inobservância direta de sua existência. O número 10^{-33} cm significa a fração 1/1000000000000000000000000000000000 do centímetro. O raio do próton tem 10^{-13} cm.

Para que a teoria de cordas funcione explicando a existência de todas essas partículas e forças, é preciso aceitar mais dimensões do que aquelas que conhecemos, já que este cenário é muito restritivo. Até há pouco tempo, pensava-se que dez dimensões eram necessárias para as cordas vibrarem de modo a explicar todas as caraterísticas das partículas fundamentais. Quatro dimensões são familiares para nós: comprimento, largura, altura e tempo, mas existem outras seis dimensões que são tão pequenas que não podemos vê-las. Uma visão simples seria dizer que cada ponto no universo tradicional e aparentemente quadridimensional é na realidade um volume pequeno e multidimensional. Essa idéia foi recuperada das antigas idéias propostas por Oscar Klein na década de 20, baseada nos trabalhos prévios de Theodor Kaluza, quando ele tentava unificar gravidade e eletromagnetismo.

Porém, existe um problema com o cenário em dez dimensões. A teoria de cordas veio em cinco diferentes formas, até que o físico matemático Edward Witten repensou a teoria de cordas em 1995. Ele sugeriu que as cinco formas matemáticas diferentes da teoria eram simplesmente maneiras distintas de se olhar para o mesmo problema. De fato, as cinco diferentes teorias de cordas podem ser conectadas umas às outras por artifícios matemáticos e são faces diferentes de uma mesma teoria: a teoria M. No entanto, para assimilar as cinco versões diferentes da teoria, Witten teve que introduzir uma dimensão a mais, a dimensão onze. Colocado de uma forma simples, mais dimensões literalmente fornecem um maior espaço para as cordas vibrarem e fazem com que a teoria tenha maior poder. Mas logo foi notado que acrescentar uma nova dimensão conduz a uma outra implicação: pode existir mais de um universo!



TESTANDO A GRAVIDADE NA BRANA

A décima primeira dimensão permite que uma corda seja capaz de se expandir. Uma corda expandida é conhecida como "brana", nome curto para membrana. Os matemáticos mostraram que, quanto mais energia é dada a uma corda nessa dimensão, maior chega a ser a brana. Dada uma energia suficiente, uma brana poderia ter o tamanho do universo. Assim, a próxima pergunta é obvia: será que moramos numa brana? Mas existe uma outra questão mais lógica ainda: existem outras branas? Talvez exista uma brana do lado daquela que chamamos de nosso universo, uma brana paralela que pode ser chamada de universo paralelo. Porém, tais questões tão complexas fizeram os cientistas pensarem em caminhos para testar a realidade dessas predições.

A gravidade é uma das quatro forças fundamentais, mas se distingue das outras três (fraca, forte e eletromagnética) pelo fato de ser muito mais fraca. Se o nosso universo é de fato uma brana, acredita-se que cada brana deve ter suas próprias leis físicas ditadas pelas cordas que estão ancoradas nela. Mas o que aconteceria se algumas dessas cordas fossem livres de se movimentar para fora da brana? As cordas responsáveis por controlar o comportamento do gráviton (a partícula que transmite a gravidade) podem ser imaginadas como lacinhos fechados, que por sua forma não estão atados a nenhum universo em particular. São livres para permear outras branas. Assim, a gravidade pode bem ser tão forte quanto as outras forças fundamentais, mas, devido a sua habilidade de permear os uni-

versos paralelos, ela fica diluída e sua intensidade aparente em nosso universo brana é muito mais reduzida. Se a teoria estiver certa, então a gravidade poderá ser a única forma que temos para nos comunicar com outros universos paralelos, já que é uma força comum a todos os universos e dimensões.

As dimensões extras também podem ser medidas em termos da energia necessária para sondá-las. Uma partícula acelerada a um trilhão de elétron-volts (1 TeV) tem, de acordo com a mecânica quântica, um aspecto de onda com um comprimento de aproximadamente $2x10^{-19}$ m. Portanto, ela pode explorar facetas do mundo subatômico nessa escala. Dobrar a energia significa ver caraterísticas de um mundo da metade do tamanho anterior, e assim sucessivamente. Em um acelerador é possível fazer colidir partículas de altas energias e esperar ocasionalmente a produção de um gráviton de uma grande energia que possa escapar às dimensões extras e explorá-las, desaparecendo do nosso mundo. Esse é o tipo de experimento mais simples que pode ser feito, e se puderem ser eliminadas outras causas para essa perda de energia, então seremos capazes de dizer que achamos uma evidência para a existência das dimensões extras do espaço.

MODELOS COSMOLÓGICOS

A idéia do universo como uma 3-brana (isto é, uma brana com 3 dimensões espaciais) se movimentando num espaço-tempo com mais dimensões, inspirada pela teoria de cordas, é conhecida hoje como *cosmologia de branas*. Podemos imaginar esse cenário como um subespaço de algum outro espaço maior, sendo que não podemos ver esse último porque a matéria toda e as forças estão confinadas a nosso subespaço. Figurativamente, imaginemos que vivemos numa folha de papel. É claro que ela existe em um espaço tridimensional, mas, já que só podemos nos movimentar na superfície bidimensional da folha, o espaço-tempo que experimentamos parece ter duas dimensões espaciais mais o tempo.

Modelos possíveis da gravitação e dimensões extras

Um dos modelos pioneiros do mundo brana é aquele pensado por Nima Arkani-Hamed, Savas Dimopoulos e Gia Dvali. Eles se concentraram em procurar uma forma em que a gravidade se tornasse comparável em intensidade às outras forças à energia de 1 TeV. Conseguiram esse objetivo supondo dimensões extras do tamanho de 1 mm. Existe um fato no registro científico que torna essa suposição factível. Enquanto as outras forças da natureza têm sido verificadas até a ordem de 10^{-19} m, a gravidade só tem sido verificada até a ordem milimétrica.

Como foi dito anteriormente, a teoria de cordas dita que qualquer dimensão extra fora da brana afeta somente a gravidade. Em outras palavras, somente a força mediada pelos grávitons pode viajar no espaço-tempo além da brana deixando o resto das forças confinadas à brana. Qualquer dimensão extra afetando a gravidade deve então alterar a lei do inverso do quadrado de Newton, que diz que todos os objetos são atraídos um pelo outro com uma força que é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre eles. O grupo de Arkani-Hamed, Dimopoulos e Dvali estimou que uma só dimensão extra modificaria a lei de Newton na escala de 100 milhões de quilômetros, aproximadamente a distância entre a Terra e o Sol. Mas sabemos que esta opção não é possível já que a órbita da Terra obedece à lei do inverso do quadrado. Se existissem duas dimensões extras, porém, elas modificariam a lei de Newton na escala de 0,1 a 1 mm, comprida o suficiente para ser detectada, mas pequena demais para ser testada hoje pela lei do inverso do quadrado. Com mais dimensões extras, a escala vai se encolhendo abaixo da escala milimétrica.

Outro dos modelos que vieram a seguir nessa onda de novidades da cosmologia de branas foi proposto por Lisa Randall e Raman Sundrum. Eles consideraram uma só dimen-

são extra e que pode ser ainda infinita. O argumento é que a tal dimensão seja curva o suficiente para confinar a gravidade por perto da brana. Mas, sendo assim, hoje não seria possível utilizar sinais gravitacionais para percebermos a dimensão extra. No entanto podemos usar o fato de o universo estar se expandindo, assim, se olharmos para trás, veremos que houve um tempo em que todas as dimensões tinham um comprimento comparável e os sinais gravitacionais daquela época poderiam carregar a informação de que essas dimensões extras, seja uma única ou sejam várias, realmente existem.

Em um estudo com antenas, Penzias e Wilson, em 1965, observaram a existência de uma radiação de fundo em todo o céu que obedece a uma distribuição de Planck, com um parâmetro de temperatura T tendo um valor de aproximadamente 3 K (3 graus acima do zero absoluto). Essa descoberta foi fundamental para que se pudesse confirmar experimentalmente a teoria do big-bang. A radiação aqui descrita é chamada de radiação cósmica de fundo e é o resquício dessa grande explosão ocorrida há bilhões de anos.

As evidências que buscamos da alta dimensionalidade podem justamente estar escondidas nas inomogeneidades desses sinais. As observações do satélite Cobe, que nos dá a estrutura da radiação cósmica de fundo, 300 mil anos após a explosão inicial, podem portanto revelar os indícios que comprovariam a existência de dimensões extras, já que tal radiação carrega informação de uma era remota, quando os efeitos gravitacionais da alta dimensionalidade eram macroscópicos.

ATALHOS GRAVITACIONAIS

Como sabemos, a luz é de radiação eletromagnética, e em um modelo de branas, as cargas e os campos devem se propagar somente na brana. Assim, não existiria forma de sondar as dimensões extras usando a luz, mesmo que essas dimensões fossem infinitas. Como foi dito anteriormente, o único caminho seria olhar para qualquer comportamento suspeito da gravidade.

Na cosmologia usual, devido à expansão do universo e ao fato de a velocidade da luz ser finita, escalas que hoje estão em contato causal não estiveram assim no passado. O alto grau de homogeneidade do universo visível em larga escala é conhecido como problema do horizonte. Já que a fração do universo hoje observável foi maior que o alcance dos fótons em um tempo anterior, como explicar que o universo hoje seja homogêneo mesmo sem nunca ter estado em contato causal? Na cosmologia padrão introduz-se uma fase de expansão acelerada conhecida como *inflação* para contornar essa dificuldade. Na cosmologia do mundo brana, sinais gravitacionais encontrariam atalhos através das dimensões extras suficientemente efetivos para que seu alcance fosse maior que a fração do universo observável, levando dessa forma informação entre pedaços não conectados por sinais de luz. Assim, a cosmologia de branas dá um novo aspecto ao problema do horizonte.

O BIG-BANG

A teoria de cordas, que hoje se tornou teoria M, está dando lugar a uma revolução na forma como percebemos o cosmos. Mas o que ela tem a dizer sobre como tudo começou?

A teoria do big-bang é até hoje a mais aceita para descrever o começo do universo. Ela estabelece que tudo o que observamos nasceu de um ponto infinitesimalmente pequeno, que rapidamente se expandiu por causa de uma enorme explosão de energia. O que causou essa grande explosão e o que a precedeu nunca conseguiu ser satisfatoriamente explicado.

Na atualidade, alguns cientistas acreditam na idéia de que o big-bang é uma manifestação da colisão de branas. Dessa maneira, o big-bang está longe de ser único. Os big-bangs são somente um produto dos ciclos sem fim dentro do cosmos. Eles

aconteceram antes, e acontecerão de novo.

Há três anos Paul Steinhardt e Neil Turok propuseram uma teoria descrevendo essa colisão de branas sob o nome de *universo cíclico*. Nesse cenário, o espaço e o tempo existiram sempre. O big-bang não é o começo do tempo, é somente uma ponte a uma era anterior de contração. O universo sofre uma seqüência interminável de ciclos nos quais ele se contrai em um "big-crunch" e reemerge em um big-bang de expansão, com trilhões de anos de evolução. A temperatura e a densidade do universo não chegam a ser infinitas em nenhum ponto do ciclo; certamente, elas nunca excedem um limite finito (ao redor de um trilhão de trilhão de graus). Nenhum processo de inflação teve lugar desde o big-bang. O caráter plano e homogêneo do universo foi criado por eventos que ocorreram antes do último big-bang. As sementes para a formação de galáxias foram criadas por instabilidades produzidas quando o universo esteve colapsando para o big-crunch, antes do nosso big-bang.

O modelo cíclico recupera todas as predições de sucesso das teorias do big-bang e inflação, e ainda tem suficiente poder preditivo para direcionar muitas questões que esses modelos não souberam responder: o que aconteceu na singularidade inicial? Qual o destino do universo? O tempo existiu antes do big-bang ou depois do big-crunch?

Nesse modelo cada ciclo prossegue através de um período de domínio da radiação e outro da matéria, consistente com a cosmologia padrão. Para os próximos trilhões de anos ou mais, o universo sofre um período de lenta aceleração cósmica e provoca os eventos que conduzem à contração e ao big-crunch. A transição do big-crunch ao big-bang automaticamente preenche o universo criando nova matéria e radiação. A gravidade e a transição do big-crunch ao big-bang mantêm os ciclos eternamente. Essa transição é devida ao colapso, oscilação e reexpansão de uma das dimensões extras. Por exemplo, numa variante da teoria M, o universo consiste de duas branas que limitam a dimensão extra, e a singularidade corresponde a uma colisão e ao pulo sucessivo das duas branas. Esse cenário foi precedido pelo *modelo ekpirótico*, proposto pelos mesmos autores junto com J. Khoury e B. Ovrut, que falava da possibilidade de criar o universo do colapso único da dimensão extra. O modelo cíclico é construído sobre essas idéias para produzir uma nova visão com um grande poder preditivo e explicativo.

Dispersando o mito de que o big-bang é o começo do espaço e do tempo, a teoria de cordas abre novas possibilidades para a história cosmológica do universo.

CONCLUSÃO

É claro que para que a teoria de cordas seja um sucesso matemática e experimentalmente, é necessário haver uma mudança radical da forma como vemos o universo. Porém, é importante ter em mente que a teoria de cordas, com todas as suas conseqüências bizarras, está baseada mais no pensamento que no experimento.

No entanto, ela não é diferente das idéias revolucionárias de Einstein há quase um século, e suas idéias foram logo vindicadas como fato científico. Naquele tempo, a relatividade especial e a geral foram formas científicas de pensar bastante novas e excitantes, que nos empurraram dentro de novos mundos do entendimento. A teoria de cordas bem poderia fazer o mesmo em um futuro não muito longínquo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDALLA, E. & CASALI, A. G. "Cordas, Dimensões e Teoria M", *Scientific American*, Brasil, março de 2003.
REES, M. *Before the Beginning.*
_____. *Just six Numbers.*