

# O poder do nada

O vácuo é capaz de controlar o destino de estrelas ou até mesmo do Universo inteiro? Físicos teóricos brasileiros descobrem um novo fenômeno que mostra como isso seria possível

Igor Zolnerkevic

**H**á algo de estranho no espaço aparentemente vazio entre você, leitor, e esta revista. É algo além das partículas de poeira, das moléculas de ar, das ondas luminosas, da radiação infravermelha, das ondas de rádio e micro-ondas que passeiam invisíveis à nossa volta. Mesmo se nos esforçássemos para extrair tudo o que é possível desse espaço, experimentos científicos em escala microscópica comprovam que sobraria ainda uma entidade imaterial que os físicos chamam de energia do vácuo.

Se falar em energia do espaço vazio pode soar esotérico, é porque sua presença é imperceptível no cotidiano terrestre. É de se esperar, então, que, em escalas astronômicas, ela fosse ainda mais desprezível. No grande teatro cósmico, a energia do vácuo apareceria sempre como figurante. Assim, dá para imaginar a surpresa que um grupo de físicos teóricos brasileiros sentiu ao descobrir recentemente um novo efeito capaz de transformar essa energia no protagonista de uma destruição "cataclísmica", como definiu o físico George Matsas, do Instituto de Física Teórica (IFT), da Unesp em São Paulo.

Chamado de "despertar do vácuo", o efeito

foi descoberto pelo físico Daniel Vanzella e seu aluno de doutorado William Lima, ambos do Instituto de Física da USP de São Carlos. Eles o descreveram em um artigo na edição de 23 de abril da *Physical Review Letters*, a mais prestigiada revista científica da área, esboçando as situações em que o "despertar" poderia acontecer. Junto com a dupla, Matsas assinou outro artigo na edição de 8 de outubro da mesma revista, em que explora uma dessas situações em detalhe. Eles mostram como a gravidade de uma estrela de nêutrons em formação pode conceder ao vácuo o poder de destruir a própria estrela (*veja quadro na pág. 20*).

"A dedução do mecanismo está em bases sólidas", afirma Vanzella, que é doutor pelo IFT e ex-aluno de Matsas. Isso significa que não há nenhum princípio geral conhecido que impeça o efeito de acontecer. Mas somente com observações pode-se verificar se o despertar do vácuo é real ou não. E seja ele confirmado ou descartado, uma informação valiosa sobre a física será revelada. Espera-se que essa pista ajude a esclarecer a possibilidade instigante, mas ainda especulativa, de que a energia do vácuo controle o destino de todo o Universo desde sua criação.



**Flutuações misteriosas**

A comunidade dos físicos começou a levar a sério a ideia de que o vácuo não é exatamente vazio quando ficou clara a essência efêmera das partículas subatômicas, como elétrons e prótons. Isso se observa em experimentos nos quais essas partículas viajam a velocidades próximas à da luz. No famoso acelerador LHC, por exemplo, os experimentos começam com dois feixes de prótons colidindo entre si. Após a colisão, os prótons desaparecem e, no lugar deles, novas partículas parecem surgir do nada.

Essa destruição e criação de partículas é descrita com um sucesso quantitativo espantoso pela Teoria Quântica de Campos (TQC). As fórmulas matemáticas da TQC obedecem às duas outras teorias que revolucionaram a física no início do século 20. Uma delas é a Teoria da Relatividade Restrita, que afirma que nada pode viajar mais rápido que a velocidade da luz, e que a massa das partículas pode ser convertida em energia e vice-versa, pela famosa fórmula  $E = mc^2$ . A outra é a Mecânica Quântica, segundo a qual toda partícula tem propriedades de onda e vice-versa. Ela diz também que propriedades como posição e velocidade das ondas/partículas estão sempre flutuando, nunca têm um valor exato. É o chamado Princípio de Incerteza.

Na TQC, todas as partículas elementares e ondas surgem de entidades que permeiam o espaço, chamadas de campos. "O que é fundamental na descrição da natureza não é o conceito de partícula, mas o conceito de campo", explica Vanzella. Assim, por exemplo, todos os fótons — as partículas que compõem a luz visível e outras radiações eletromagnéticas do Universo — são manifestações de um único campo que permeia tudo, o campo eletromagnético. O que chamamos de fótons ou de ondas eletromagnéticas são "excitações" desse campo, localizadas em uma certa região. No restante do espaço, onde não há fótons, o campo está no seu estado de energia mínima, o chamado estado de vácuo.

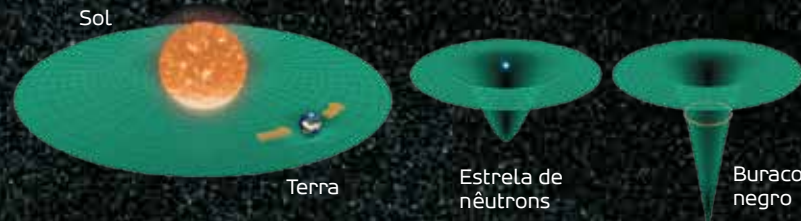
O valor do campo no estado de vácuo, porém, não é absolutamente zero. "Pelo Princípio de Incerteza, não dá para ga-

**Catástrofes estelares**

A gravidade extrema pode transformar o espaço vazio em um destruidor de estrelas

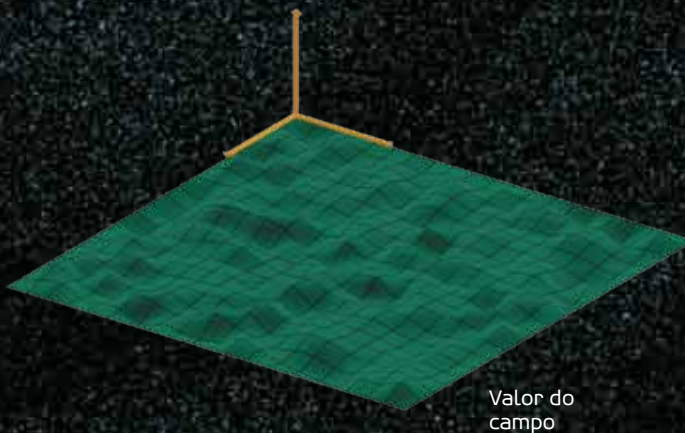
**Espaços curvos**

A força da gravidade é a curvatura do espaço por massa e energia. Parte dessa curvatura é representada pelas superfícies em verde. A órbita da Terra, por exemplo, segue o caminho no espaço curvado pelo Sol. Muito mais curvo é o espaço em volta de uma estrela de nêutrons. Pior ainda é um buraco negro, uma região do espaço vazia, mas tão curva que qualquer coisa que ultrapasse o horizonte de eventos (em amarelo) jamais sai de lá, caindo em direção ao seu fim



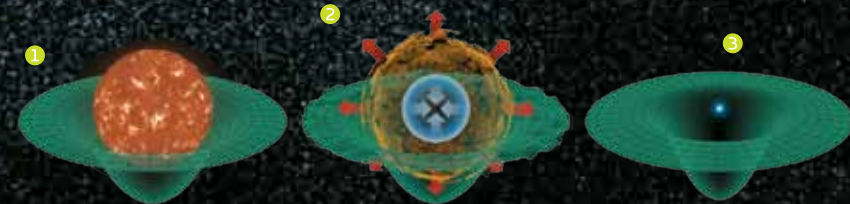
**O vácuo quântico**

Longe de ser "nada", o espaço vazio é cheio de campos quânticos em um estado de energia mínima chamado de vácuo. O valor desses campos flutua em todos os pontos. Normalmente a energia dessas flutuações é muito pequena



**Supernovas**

São eventos explosivos no fim da vida de estrelas gigantes (1). As camadas externas são ejetadas ao mesmo tempo em que o "caroço" delas implode (2). A implosão pode continuar sem parar e resultar num buraco negro, ou pode parar, formando uma estrela de nêutrons (3)



**Despertar do vácuo**

Físicos teóricos da USP de São Carlos e da Unesp descobriram que o estado de vácuo de alguns campos quânticos pode destruir uma estrela de nêutrons



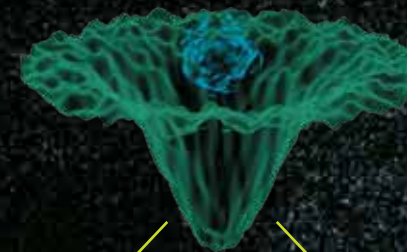
1 O núcleo remanescente da supernova começa a se contrair. A curvatura do espaço ainda é pequena



2 A densidade da estrela atinge um ponto em que a curvatura dispara um crescimento violento das flutuações do vácuo



3 Em milissegundos, a energia delas é maior que a da própria estrela. Sua flutuações curvam o espaço caoticamente, desestabilizando a estrela



4 Apenas simulações computacionais podem determinar o que acontece a partir daqui. Pode ser que a estrela colapse por completo, formando um buraco negro, exploda totalmente, ou até mesmo aconteça uma combinação dos dois

rantir que o valor do campo é o mesmo em todos os pontos", explica Vanzella. "Embora em média esse valor seja nulo, ele tem de flutuar."

Essas flutuações do vácuo acontecem tão rápido que são impossíveis de medir diretamente (observá-las violaria o princípio de incerteza). Mesmo assim, os físicos estão certos de que elas existem, porque observam como elas interagem com a matéria e a radiação. Só levando em conta as flutuações do vácuo do campo eletromagnético é possível entender alguns fenômenos, como o poder das lagentas de escalar janelas de vidro (veja quadro na pág. 25).

A demonstração mais inequívoca da existência das flutuações do vácuo é o efeito Casimir. Em 1949, o físico holandês Hendrik Casimir (1909-2000) imaginou duas placas metálicas paralelas próximas. Sem cargas elétricas e desprezando a atração gravitacional entre elas, pode-se esperar que as placas permaneçam imóveis uma de frente para outra. Mas não é o que acontece: a presença das placas metálicas perturba o vácuo do campo eletromagnético, provocando uma diferença entre as flutuações no espaço entre as placas e fora delas. O vácuo, por sua vez, reage a essa perturbação pressionando as placas a se aproximarem até grudarem uma na outra.

De tão minúsculo, o efeito Casimir foi medido com precisão apenas no final dos anos 1990. Essa pequenez típica dos efeitos da energia do vácuo fez com que ninguém suspeitasse que eles tivessem algum papel na evolução de um corpo celeste, como uma estrela, até que o efeito do despertar do vácuo foi descoberto

**Velho desconhecido**

Matsas lembra que esse efeito permaneceu por quase dez anos debaixo do nariz dos pesquisadores, sem que o percebessem. Desde um pouco antes de Vanzella concluir o doutorado, em 2001, ele lembra, "havia algo no ar". Na época, os dois, junto com Jorge Castiñeiras e Luís Crispino, então doutorandos do IFT, trabalhavam no problema de como a força da gravidade de estrelas afeta os campos quânticos.

Diferente das outras forças da nature-

Marcus Japs Perna





#### LUZ SOBRE O INVISÍVEL

Medir a densidade de estrelas de nêutrons, como a B1509 (ponto branco mais brilhante), ajudará a verificar se campos quânticos livres existem no Universo

za que podem ser descritas por campos quânticos, a gravidade é um caso à parte. Apesar de muitas tentativas promissoras em construção, como a famosa teoria das supercordas, uma teoria quântica completa da gravidade ainda não existe. A esnobe gravidade parece resistir a ser tratada pelos físicos da mesma maneira que as outras interações, exigindo que eles formulem uma teoria exclusiva para ela.

Isso é o que foi proposto por Albert Einstein (1879-1955) com sua Teoria da Relatividade Geral, em 1916. Segundo ele, uma estrela ou qualquer outra forma de energia (matéria, radiação, etc.) cria uma deformação na geometria do espaço ao seu redor. Os corpos em torno da estrela sentem essa deformação como “a força da gravidade”. A equação de Einstein diz como a energia deforma o espaço e como a curvatura do espaço afeta o fluxo da energia.

Matsas e seus colegas, portanto, usam a mista Teoria Quântica de Campos em Espaços-Tempos Curvos (TQCEC). Também conhecida como “gravitação semiclássica”, ela combina a melhor formulação para

as partículas elementares (TQC) com a melhor para a gravidade (Relatividade Geral), da maneira mais austera possível, sem assumir nada além.

A TQCEC começou a ser desenvolvida no final dos anos 1960, pelo físico norte-americano Leonard Parker, entre outros. Em 1974, ganhou força quando o britânico Stephen Hawking descobriu que buracos negros perturbam o vácuo de todos os campos quânticos ao seu redor, induzindo a criação de partículas. Essa produção acontece em

Os físicos estão tão seguros de sua dedução que George Matsas aposta uma caixa de vinho que o despertar da energia do vácuo é capaz de fazer algo cataclísmico o suficiente para que não se possa mais chamar a estrela de nêutrons de estrela

uma taxa muito baixa, infelizmente, para ser observada da Terra, embora o efeito tenha revolucionado o entendimento de leis fundamentais da Física.

Em 1976 o físico canadense William Unruh descobriu outro efeito, semelhante à radiação Hawking, mas que não depende da curvatura do espaço. Em 2001, Vanzella e Matsas mostraram, em um artigo na *Physical Review Letters*, que o comportamento de um próton acelerado só pode ser entendido completamente se o efeito de Unruh existir. É por esses e outros resultados que os pesquisadores botam a mão no fogo pela TQCEC.

Calculado com as fórmulas dessa teoria, Matsas e seus alunos concluíram em 2002 que os campos quânticos ao redor de estrelas com gravidade muito forte poderiam em princípio ser afetados por “um potencial efetivo negativo”. Os pesquisadores tinham uma expressão matemática para esse tal potencial, mas não sabiam como interpretá-lo. “A física dessa matemática não estava clara”, lembra Matsas. Atarefados com outros projetos de pesquisa, ele e Vanzella deixaram a questão adormecida.

Entre 2001 e 2003, Vanzella trabalhou com Parker na Universidade de Wisconsin, nos EUA, deduzindo um fenômeno semelhante ao do potencial negativo a partir de um modelo usando uma espécie de TQCEC modificada. A interpretação do potencial era clara – ele provocava um crescimento rápido e sem limites da amplitude da energia do vácuo. Poderia, então, o potencial negativo com que os pesquisadores brasileiros haviam se deparado em 2002 ser interpretado da mesma maneira?

A oportunidade de atacar o problema de frente surgiu em 2008, quando William Lima aceitou explorar em sua tese de doutorado a possibilidade de encontrar efeitos parecidos usando a TQCEC convencional. Já nos primeiros meses de doutorado, ele e seu orientador, Vanzella, reencontraram em seus cálculos o velho conhecido potencial negativo, mas deduzindo-o de maneira mais genérica. Em seguida, a dupla passou para a parte realmente difícil: descobrir que espécie de efeito esse potencial negativo podia provocar.

A primeira ideia, sugerida por Matsas,

era de que o potencial induziria os campos quânticos a saírem do estado de vácuo e produzirem partículas. Analisando mais a fundo, porém, perceberam que essa criação de fato ocorria, mas era desprezível, diante de outro efeito mais importante: o tal despertar do vácuo, algo parecido com o que havia sido analisado por Parker e Vanzella.

#### Estrelas de nêutrons

Esse despertar, Lima e Vanzella concluíram, pode acontecer subitamente durante duas situações distintas: a evolução do Universo e a formação de uma estrela de nêutrons. Junto com Matsas, eles examinaram a última em detalhe.

Estrelas de nêutrons são, de longe, os objetos macroscópicos mais densos do Universo. Concentram geralmente um pouco mais que a massa do Sol em um espaço de apenas 20 quilômetros de diâmetro. Uma colher de chá da matéria da estrela, feita de nêutrons concentrados, pesaria milhões de toneladas.

Elas nascem após um evento catastrófico chamado supernova. Quando uma estrela maior, com massa mais ou menos dez vezes a do Sol, consome todo seu combustível nuclear, suas camadas mais externas explodem, enquanto seu núcleo implode. Dependendo da massa da estrela original, o núcleo pode se contrair sem parar e desaparecer, formando um buraco negro (veja a figura da pág. 21). Mas, em vez disso, o processo de contração pode terminar em uma estrela de nêutrons estável.

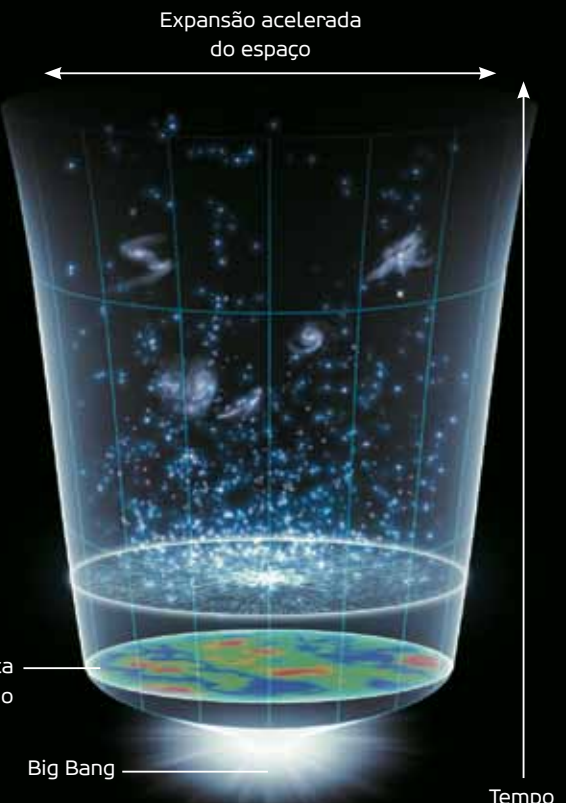
Isso é o que acontece se o vácuo não desperta e, realmente, astrônomos observaram pelo Universo muitas nuvens de gás e poeira remanescentes da supernova, e verificaram que várias contêm no centro estrelas de nêutrons estáveis. Lima, Vanzella e Matsas sabem disso. Eles resolveram assumir em seus cálculos, porém, a presença de um campo quântico genérico e simplificado, governado por uma equação plausível. “Não há princípio geral da Física que descarte a existência de campos assim”, explica Matsas. “Só a natureza pode dizer se um campo assim existe.”

Supondo, então, que sim, ele permanecerá adormecido durante o processo de

#### UNIVERSO DE PROBLEMAS

O Big Bang foi a origem do Universo, há 13,7 bilhões de anos. Uma evidência disso é a Radiação Cósmica de Fundo (RCF), formada 380 mil anos depois. As flutuações da RCF são explicadas se logo após o Big Bang aconteceu a Inflação Cosmológica. A atual expansão acelerada do Universo sugere que o espaço é cheio de algo chamado energia escura

Radiação Cósmica de Fundo



contração da estrela até ela atingir um certo raio, cujo valor exato depende da intensidade com que o campo interage com a curvatura do espaço e da massa da estrela. Nesse ponto, o vácuo desperta.

A energia de suas flutuações vai crescer exponencialmente. Embora a energia total de vácuo do campo vá continuar, a rigor, sendo nula, ela será monstruosamente positiva em alguns pontos do espaço e igualmente negativa em outros.

“Em milissegundos, a energia dessas flutuações passa de seu valor desprezível para maior que o da própria estrela”, afirma Vanzella. E as flutuações de vácuo passam naquele instante a ser a fonte de energia mais importante que controla a curvatura do espaço, segundo as equações de Einstein. De repente, a estrela se encontrará em um espaço caoticamente curvo.

Como na prática essas flutuações não poderiam crescer indefinidamente até o infinito, os pesquisadores acreditam que seus cálculos revelem apenas o instante de uma situação provisória. Logo essa quantidade monstruosa de energia

armazenada no vácuo seria dissipada. Mas como, exatamente? A estrela sobreviveria a esses instantes turbulentos?

Para descobrir a resposta, os pesquisadores terão de resolver a equação de Einstein levando em conta as flutuações do vácuo e a estrela, algo atualmente impossível de se fazer com lápis e papel – essencialmente todo o equipamento que usaram até agora para chegar a suas conclusões. Os novos cálculos dependem de simulações computacionais, que o grupo espera fazer em breve.

“Até realizar essas simulações, não dá para afirmar nada categoricamente”, diz Matsas. “Há uma pequena chance de a estrela se reequilibrar, mas seria como tentar equilibrar um lápis na ponta do dedo. Eu realmente aposto uma caixa cheia de garrafas de vinho que a energia do vácuo vai fazer algo cataclísmico o suficiente para que a gente não possa mais chamar a estrela de estrela no final.”

Os pesquisadores especulam sobre os possíveis destinos da estrela engolfada pelo vácuo. “A energia do vácuo pode fa-

zer com que a estrela colapse, formando um buraco negro, ou pode ter um efeito repulsivo, provocando a explosão da estrela”, diz Vanzella. Mas se vai ocorrer uma coisa ou outra, “ou uma combinação em que a estrela explode, mas também forma um buraco negro com a massa que sobra”, complementa, só se saberá com as simulações.

### Campos livres

Os cálculos computacionais podem não apenas confirmar se o despertar do vácuo destrói estrelas, como fornecer detalhes a serem usados por astrofísicos para buscar evidências da existência do fenômeno no Universo. Toda semana, telescópios de raios X e gama registram sinais de eventos explosivos em todas as partes do céu, alguns deles aguardando explicações conclusivas.

Como Lima, Matsas e Vanzella ressaltam, o ponto forte de seus cálculos é serem baseados na TQCEC. O ponto fraco é que um campo quântico só dispara o efeito se cumprir duas condições. Se o campo existir, eles não terão dúvida sobre a manifestação do efeito, diz Vanzella.

Uma das condições é que o campo seja afetado pela curvatura do espaço de uma

certa maneira determinada por suas equações. A outra é que a massa das partículas que o campo produz seja menor que um valor extremamente baixo, menor que a massa da mais leve partícula conhecida, o neutrino. “Até mesmo a massa do campo do neutrino seria muito alta, para qualquer estrela que a gente conheça”, explica Matsas.

Só um campo conhecido satisfaria a essas condições. É o campo eletromagnético, cujas partículas, os fótons, têm massa igual a zero. O grupo ainda não fez as contas específicas para este campo, que envolvem uma sofisticação maior que aquelas para o campo simplificado que usaram para demonstrar o efeito. “É cedo para afirmar se no caso da estrela de nêutrons a energia do vácuo do campo eletromagnético seria despertada”, diz Vanzella.

A outra possibilidade é que o efeito seja disparado por um campo ainda desconhecido pela física. Matsas explica que, em princípio, pode existir um campo quântico “livre” que interage apenas pela curvatura do espaço com os demais campos conhecidos. “Você não o estaria observando, não porque ele não existe, mas porque ele está aqui, cruzando a Terra, sem a gente perceber”, diz.

“Que deve existir um campo assim, é praticamente um fato”, afirma Vanzella. As evidências vêm das medidas do conteúdo total da energia do Universo, que atualmente são obtidas por alguns métodos independentes, todos chegando à mesma estupefaciente conclusão: todos os campos quânticos que se conhecem, somados, chegam somente a 4% do total da energia do Universo. De acordo com as observações cosmológicas, 22% da energia deve estar na forma de “matéria escura”, e 74%, na de “energia escura”, mas a ciência ainda pouco conhece das propriedades tanto de uma quanto da outra. Vários modelos concorrentes procuram explicá-las, assumindo que existem um ou mais campos livres.

Matsas acredita que explorar o efeito do despertar do vácuo talvez seja a única maneira de verificar se campos livres existem ou não. Seria improvável, ele considera, observá-los em colisões em um acelerador de partículas. “O LHC só poderia examinar campos que interagem diretamente com a matéria”, diz.

Na prática, o teste da existência do efeito seria feito observando a massa e o raio das estrelas de nêutrons. Se as observações astronômicas comprovam que uma estrela desse tipo com certo raio e massa existe, mas a teoria afirma que um certo campo livre a teria destruído durante sua formação, então, obviamente, a existência daquele tipo de campo livre estaria descartada. Uma ideia a menos para os físicos teóricos se preocuparem.

### Vácuo criador

Embora a ideia de que o vácuo possa destruir estrelas seja inédita, há mais de 30 anos os cosmólogos levam a sério a possibilidade igualmente fantástica de a energia do vácuo ser a principal responsável pelo fato de o Universo estar cheio de galáxias e estrelas e não ser apenas uma imensa e amorfa nuvem de gás e poeira. Essa é uma das predições da Inflação Cosmológica, enunciada inicialmente em 1979, pelo físico norte-americano Alan Guth, como um adendo à teoria mais aceita para a origem e evolução do Universo, a do Big Bang.

Segundo ela, todo o Universo visível expandiu-se a partir de um estado con-

centrado com densidade e temperatura assombrosamente altas. Tudo o que conhecemos teria surgido dessa explosão, o Big Bang, há um pouco mais de 13 bilhões de anos. As provas do Big Bang vêm não só da observação de que as galáxias distantes estão se afastando umas das outras, mas também de outras evidências. Uma delas é a presença de uma tênue radiação, na faixa das micro-ondas, permeando todo o espaço, chamada de Radiação Cósmica de Fundo (RCF), uma das testemunhas do passado mais quente e denso do Universo.

Esfriada pela expansão do Universo, a temperatura média atual da RCF está em torno de 270 °C negativos, com pequenas flutuações. O único modelo matemático capaz de explicar e descrever acuradamente a distribuição no espaço das flutuações da RCF é o da Inflação.

De acordo com essa teoria, instantes após o Big Bang, a energia do vácuo de um campo quântico hipotético chamado inflaton teria obrigado o espaço a se expandir exponencialmente. Com isso, flutuações do vácuo em escala quântica foram infladas para escalas macroscópicas, dando origem às flutuações da RCF, explica Vanzella. Essas variações, por sua vez, foram o ponto de partida para a formação das primeiras estrelas e galáxias do Universo.

Vanzella diz ainda não ter pensado se o efeito do despertar do vácuo poderia esclarecer o modelo da Inflação que, apesar de descrever muito bem as observações, ainda permanece incompleto, por não responder à pergunta do que teria provocado a expansão exponencial. Já

o físico norte-americano Richard Woodard, da Universidade da Flórida (EUA), especialista em cosmologia, considera o trabalho dos brasileiros “de qualidade muito boa” e que o despertar do vácuo é um exemplo do tipo de efeito que ele acredita ter provocado a expansão durante a fase inflacionária da história do Universo.


Lima e Vanzella estão apenas começando a explorar quais consequências o despertar do vácuo pode ter na evolução do Universo. “O trabalho está em andamento, mas um pouquinho devagar”, diz Vanzella. O motivo é que para o caso cosmológico os cálculos são muito mais complicados que no caso estelar e vão exigir, mesmo em um primeiro momento, simulações computacionais avançadas.

O que eles têm de certo até agora é apenas que o efeito, que começa e termina em questão de milissegundos no caso astrofísico, se desenvolveria no contexto cosmológico de maneira muito mais lenta, ao longo de bilhões de anos.

Curiosamente, essa é justamente a escala de tempo do fenômeno da energia escura — o problema em aberto mais misterioso e importante da cosmologia. Desde o final dos anos 1990, observações cosmológicas têm verificado que a taxa de expansão do Universo cresce de forma acelerada. A causa seria algum alguma fonte de energia distribuída uniformemente por todo o Universo capaz de gerar uma espécie de antigravidade que compele o espaço a se expandir.

Seria a energia escura na verdade a energia das flutuações do vácuo de um ou mais campos? Provar a conexão entre elas, explicando uma com a outra é um sonho de muitos físicos teóricos, mas até agora ninguém chegou perto disso.

É claro que Vanzella e Lima ficariam felizes se conseguissem explicar a energia escura pelo efeito de despertar do vácuo. Mas como Vanzella ressaltava, é apenas uma ideia a ser explorada. “Mesmo que a energia do vácuo seja despertada em escala cosmológica, isso não garante que ela daria conta de explicar a energia escura.”

Física teórica realmente não é para os fracos de coração. Seu modelo pode explicar literalmente tudo, ou dar em nada. 

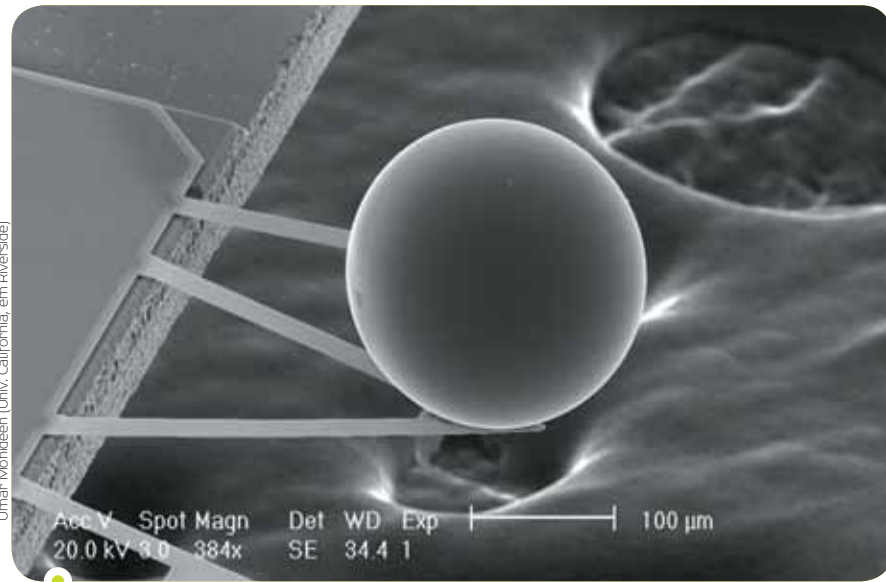


Bjorn Christian Thorsen

## O vazio do cotidiano

O efeito Casimir não incomoda ninguém no dia a dia porque sua intensidade diminui rapidamente com a distância. Mas quando separações entre objetos metálicos da ordem de 10 bilionésimos de milímetro estão em jogo, é um problema real. Pesquisadores de nanotecnologia observam que as engrenagens microscópicas de máquinas chamadas de sistemas microeletromecânicos (MEMS, na sigla em inglês) grudam uma na outra por causa desse efeito, emperrando seu mecanismo. Na verdade, o efeito Casimir é apenas uma variante de outro muito mais presente no cotidiano. As chamadas “forças de Van der Waals”, entre átomos neutros, são provocadas por flutuações aleatórias nos campos de seus elétrons e no vácuo do campo eletromagnético.

Elas explicam, por exemplo, a consistência “melequenta” da maionese e de outras substâncias parecidas, chamadas de coloides, e também por que uma lagartixa é capaz de escalar qualquer superfície, mesmo que seja lisa como uma janela de vidro. Os pelos microscópicos que cobrem as palmas das patas do animal (foto acima) permitem que elas cheguem tão próximos dos átomos da superfície da parede que acabam sendo atraídas pelas forças de Van der Waals.



### COMPELIDOS PELO NADA

O efeito Casimir foi comprovado ao se medir a atração entre uma esfera microscópica e uma superfície próxima, como as desta foto, feita em 1998