

## O éter ou o nada

### **Ainda se estuda a existência de uma entidade invisível que preenche todo o espaço.**

Roberto de Andrade Martins

A teoria cosmológica mais aceita, atualmente, é uma versão modificada da teoria do *big bang*, proposta em meados do século XX. No entanto, já se sabe há algum tempo que esse modelo, mesmo com os vários aperfeiçoamentos que lhe foram adicionados, tem um defeito grave: falta matéria no universo, de acordo com os cálculos. Para sermos mais exatos, a massa da matéria que conhecemos e que preenche o espaço cósmico, constitui as galáxias e todas as estrelas, é dez vezes menor do que a teoria exige. Ou o sistema cosmológico atualmente aceito precisa ser substituído por outro, ou é necessário encontrar essa matéria que está faltando.

Nos últimos anos houve várias propostas a respeito dessa “matéria escura” desconhecida. Uma das mais recentes afirma que dois terços da massa do universo é constituída pela *quintessência*. Essa não é uma palavra nova. Foi usada por muitos séculos pelos seguidores de Aristóteles para designar uma substância invisível, que preencheria todo o espaço celeste, e que era também denominada de *éter*.

Não se trata de uma coincidência: a escolha do nome é proposital. Essa e outras propostas recentes da física estão reabilitando a idéia de um éter – uma idéia que parecia ter sido rejeitada definitivamente, no início do século XX. Esse é um tema que toca os fundamentos da física e que suscita a pergunta: Quem está errado? Os físicos atuais, ou os que tinham abandonado o éter? Um dos dois grupos cometeu um enorme erro. Qual deles?

Para compreendermos a situação atual, vamos rever a longa história da questão, desde a Antigüidade até hoje.

#### **O nada e o todo**

O mais antigo embate filosófico que conhecemos sobre esse tema ocorreu na Grécia, no período dos pré-socráticos. No século V a.C. os antigos atomistas (Demócrito e Leucipo) alegavam que o universo continha apenas átomos (pequenos corpos indivisíveis) e espaço vazio. As infinitas combinações de diferentes tipos de átomos constituíam toda a matéria conhecida. Essa matéria, constituída por partículas eternas, estava espalhada em um espaço infinito. Além dos átomos e do vazio, nada mais existia – nem deuses, nem almas imateriais.

Tal concepção foi rejeitada por praticamente todos os outros filósofos antigos. Ela foi fortemente criticada pelos *eleatas* – os seguidores de Parmênides, de Eléia. Parmênides (aprox. 540-450 a.C.) havia ensinado que é impossível pensar sobre aquilo que não existe – o não-ser. Só se pode raciocinar sobre aquilo que existe, e o que existe nunca pode deixar de existir, nem começar a existir. Aquilo que existe também não pode se transformar em algo diferente, pois toda mudança significa o desaparecimento de algo e o aparecimento de outra coisa. Mas nada que seja real pode surgir ou desaparecer. Portanto, a mudança não deve existir. Zenão, um dos eleatas, desenvolveu famosos argumentos que procuravam mostrar a impossibilidade de se pensar a respeito do movimento sem cair em absurdos. Ele não queria mostrar que não podemos nos mover, e sim que o movimento é impensável.

Parmênides defendeu ainda que aquilo que é real deve ser único (não existem dois seres reais diferentes), compacto (sem partes ou divisões), como uma esfera perfeita. Nada existe além disso. Ele estava tentando descrever uma realidade filosófica mais profunda que não pode ser atingida pela observação, mas apenas pelo pensamento. Ela entra em conflito com tudo o que percebemos à nossa volta, mas Parmênides alertava que não devemos nos deixar enganar pelos sentidos.

Os atomistas combateram essa visão. Eles aceitavam que a realidade mais profunda é imutável, mas associavam essa idéia à infinidade de átomos, que são eternos e que nunca se transformam. Eles se movem, combinam-se e separam-se, e isso produz todas as mudanças que vemos. Para que eles possam se mover, deve existir o espaço vazio, pois se não houvesse qualquer lugar vago para onde eles pudessem se deslocar, teriam que ficar parados.

### **A impossibilidade do vazio**

Esses e outros filósofos antigos foram importantes, mas não foram suas visões que perduraram. Foi a concepção de universo de Aristóteles que se tornou a mais influente, durante séculos.

Aristóteles (384-322 a.C.) queria, como os atomistas (e a maioria dos pré-socráticos) encontrar uma teoria que explicasse o universo que vemos à nossa volta. Porém, desejava ir além das aparências e encontrar aquilo que é permanente e imutável, que está por trás daquilo que observamos e que sua teoria estivesse livre de contradições.

Aristóteles admitia que a matéria é infinitamente divisível, nunca se podendo chegar a partes da matéria sem tamanho. Os átomos, portanto, não existem. E o vazio? Também não. Para ele, o conceito de vazio leva a absurdos.

Tendo rejeitado a possibilidade de vazios, Aristóteles supõe que todos os espaços do universo – mesmo os que parecem vazios – estão cheios de matéria. A matéria que vemos perto de nós seria constituída por terra, água, fogo e ar (os quatro elementos propostos por Parmênides). No entanto, o mundo celeste seria constituído pela quinta essência, o éter. A partir da Lua, até as estrelas, o universo estaria formado por cascas esféricas dessa substância invisível, que girando em torno da Terra transportariam os astros. Os próprios planetas e estrelas seriam feitos constituídos por um éter mais denso.

A luz do Sol apenas pode chegar até nós, segundo Aristóteles, porque existe o éter. A luz é uma qualidade que pode se propagar nos objetos transparentes, mas não pode se espalhar pelo nada, que não tem qualidades. O nome do quinto elemento está associado à luz.

### **A ciência moderna ataca o éter**

A teoria do universo de Aristóteles tornou-se predominante, durante séculos. No período medieval ela foi aceita pelos pensadores islâmicos e, a partir do século XII, foi redescoberta pelos europeus, que também a adotaram. Popularizou-se a idéia de que a natureza tem *horror ao vácuo*, e que apenas Deus poderia – por causa de sua onipotência – criar um espaço vazio.

Porém, no século XVI os textos dos antigos atomistas começaram a ser estudados e alguns filósofos (como Giordano Bruno) começaram a dar valor a essas idéias. No século seguinte, Galileo adotou uma teoria atomista da matéria e aceitou a existência de vazios minúsculos entre essas partículas. Seriam eles que produziram a coesão dos líquidos. Além disso, Galileo defendeu a idéia de que os corpos celestes não são constituídos de éter, tendo a mesma natureza que os terrestres – uma hipótese essencial para todos os que, como ele, defendiam a teoria de Copérnico.

Foram alguns discípulos de Galileu que procuraram mostrar experimentalmente a possibilidade de produção do vácuo. O trabalho mais conhecido é o de Evangelista Torricelli (1608-1647), que em 1643 produziu um espaço aparentemente vazio em um tubo de vidro contendo mercúrio. O experimento de Torricelli foi repetido e modificado por vários outros pesquisadores da época, como Blaise Pascal (1623-1662), que defendeu a existência de um vácuo absoluto na região superior do tubo. O desenvolvimento das bombas de vácuo por pesquisadores como Robert Boyle e Otto von Guericke permitiu retirar o ar de recipientes maiores e realizar testes importantes, como mostrar que o som não se propaga nesses espaços vazios.

Pode-se pensar, ingenuamente, que a partir desses experimentos tinha ficado estabelecida a possibilidade do vácuo. Não é verdade – a menos que chamemos de “vácuo” um espaço do qual foi tirado o ar. Mas a questão realmente importante é saber se aquele espaço estava totalmente vazio, ou seja, se era um vácuo *absoluto*. Vários pensadores negaram essa conclusão, como René Descartes. Talvez se imagine que essas eram pessoas agarradas à tradição, sem espírito científico, incapazes de compreender os novos resultados. Porém, não podemos fazer essas acusações contra Descartes, um grande inovador, que compreendia perfeitamente o papel da pressão atmosférica e sugeriu a Pascal seu mais importante experimento sobre o assunto.

Na época em que o experimento de Torricelli foi divulgado, Descartes já havia desenvolvido sua teoria sobre o universo, que era bem diferente da aristotélica. Não havia uma matéria celeste diferente da terrestre, mas um único tipo de matéria, formada por partículas de diferentes tamanhos. A matéria grosseira, que percebemos pelo sentido, era formada por partículas grandes. Nos seus poros, no entanto, havia partículas menores, como as que preenchiam o espaço entre os astros. Descartes não chamou essa matéria de éter, provavelmente porque não queria que suas idéias fossem confundidas com as de Aristóteles.

Como as partículas dessa matéria eram muito pequenas, elas seriam capazes de atravessar a matéria grosseira, que teria estrutura semelhante à de uma esponja. Segundo Descartes, no experimento de Torricelli, quando o mercúrio desce e aparece um espaço que parece vazio, ele na verdade está cheio dessa matéria invisível, que entrou através do vidro. Por causa disso, segundo ele, era possível *ver* através dele. Se fosse um espaço absolutamente vazio, a luz não poderia atravessá-lo, pois Descartes considerava que ela seria uma pressão transmitida pela matéria.

Nem Torricelli, nem Pascal nem qualquer outro pesquisador poderia *provar* que o espaço acima do mercúrio era um vácuo absoluto. A única coisa que podia ser mostrada era que essa região estava vazia de certas coisas conhecidas – água, ar, mercúrio. O problema aparece quando queremos saber se lá existem ou não coisas invisíveis e desconhecidas. É impossível excluir esse tipo de possibilidade, por qualquer observação que seja feita.

Durante o século XVII as opiniões ficaram divididas. Descartes foi extremamente influente, e uma grande proporção dos pensadores aceitou que o vácuo de Torricelli era apenas um vazio relativo. No entanto, o prestígio da filosofia atomista era também muito forte e levou muitos pesquisadores, como Isaac Newton (1642-1727), a aceitarem a possibilidade do vazio absoluto. A teoria corpuscular da luz, que ele defendeu, ajudava a aceitar a existência do vácuo, pois permitia que a luz se propagasse do Sol até a Terra e passasse através do vazio. Além disso, Newton argumentou que se o espaço celeste estivesse cheio de um éter, essa substância atrapalharia o movimento dos planetas.

Ao mesmo tempo que lançava dúvidas sobre a existência do éter, Newton aceitava que o espaço tem propriedades físicas. A Terra gira e, por causa dessa rotação, é

achatada – um fato que foi confirmado pouco depois da morte de Newton. Esse achatamento não é devido à rotação da Terra em relação ao Sol ou a qualquer outra coisa material, mas simplesmente seu movimento em relação ao espaço absoluto. Assim, o espaço pode ser causa de efeitos físicos. Mais do que isso: era um lugar ocupado por Deus e que servia como seu órgão sensorial. Ele não era um nada, para Newton.

### **O éter luminífero**

No século XIX ocorre outra mudança: o desenvolvimento da óptica e do eletromagnetismo implanta na física um novo éter. Nas três primeiras décadas do século, a teoria corpuscular da luz vai sendo atacada e acaba por ser substituída pela teoria ondulatória, principalmente graças aos trabalhos de Thomas Young (1773-1829) e Augustin Fresnel (1788-1827). Esses pesquisadores mostraram que certos fenômenos (interferência e difração) podiam ser explicados quantitativamente pela teoria ondulatória, enquanto sua explicação corpuscular era extremamente problemática. Conseguiram também explicar a polarização da luz assumindo que as ondas luminosas são transversais, e não longitudinais como o som. Em torno de 1830 a grande maioria dos físicos havia se convencido de que essa era a teoria correta.

A nova teoria ondulatória da luz exigia a existência de um meio que transportasse as ondas luminosas – o éter luminífero, ou seja, aquele que transporta a luz. Esse éter, segundo Fresnel, preencheria todo o espaço que não contém matéria, e também penetraria nos objetos. Para explicar as ondas transversais, o éter era considerado como um sólido elástico (e não um fluido), o que trazia a dificuldade de compreender como os objetos podem se mover através dele. Muitos autores do século XX ridicularizaram essa idéia, mas considerava-se no século XIX que essa dificuldade poderia ser superada. Afinal, era uma concepção menos contraditória do que a dualidade onda-partícula da luz, que aceitamos atualmente.

O estudo dos fenômenos eletromagnéticos foi a outra porta de entrada do éter, na física. Alguns pesquisadores, como Charles Augustin Coulomb (1736-1806), André-Marie Ampère (1775-1836), Franz Neumann (1798-1895), Wilhelm Weber (1804-1890) e Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866) analisavam esses fenômenos como forças exercidas à distância entre as cargas elétricas. Outros, como Hans Christian Ørsted (1777-1851), Michael Faraday (1791-1867), William Thomson (1824-1907) e James Clerk Maxwell (1831-1879) adotaram uma postura diferente: assumiram a existência de alguma coisa que servia como intermediário nas interações eletromagnéticas.

As teorias de ação à distância e a teoria do éter de Maxwell coexistiram durante algum tempo, sem que fosse possível fazer uma escolha científica entre elas. Seus estilos eram muito diferentes, mas levavam praticamente às mesmas previsões experimentais. Surgiu uma possibilidade de diferenciá-las, no entanto, quando Maxwell previu a possibilidade de produção de ondas eletromagnéticas no espaço “vazio”.

Todas as teorias da época eram compatíveis com ondas eletromagnéticas em meios materiais, como os sinais telegráficos que se propagavam por fios. Porém, numa teoria de ação à distância, uma carga elétrica não pode interagir com o espaço vazio e não pode, portanto, emitir energia sem que ela seja recebida por outra carga. Na teoria de Maxwell, uma carga elétrica que oscila produz ondas no éter, que transportam a energia para longe, mesmo se não houver outra carga elétrica próxima para receber essa energia.

Em 1887 Heinrich Hertz (1857-1894) conseguiu produzir ondas eletromagnéticas, medir sua velocidade, analisar suas propriedades e confirmar a previsão de Maxwell. Esse resultado foi decisivo para a aceitação da teoria do éter. As concepções de ação

direta à distância foram abandonadas rapidamente, ao mesmo tempo que as “ondas hertzianas” adquiriam grande importância tecnológica, sendo primeiramente aplicadas ao telégrafo sem fio e, depois, à transmissão de voz (rádio).

Na década de 1890 a teoria eletromagnética de Maxwell já era aceita por quase todos e, com ela, o éter eletromagnético (que incluía agora também os fenômenos ópticos) passou a ser considerado como uma realidade.

### A teoria da relatividade

Apesar dessas conquistas, a teoria do éter enfrentava também problemas. Deveria ser possível determinar a velocidade da Terra através do éter, por experimentos ópticos ou eletromagnéticos, assim como um navio pode estabelecer sua velocidade em relação à água e um avião pode medir sua rapidez em relação ao ar. Porém, várias tentativas de detecção da velocidade da Terra em relação ao éter falharam.

Outros experimentos realizados nos anos seguintes também não deram resultado. Henri Poincaré (1854-1912) interpretou a situação afirmando, em 1895: “É impossível medir o movimento absoluto da matéria, ou melhor, o movimento relativo da matéria em relação ao éter. Só se pode evidenciar o movimento da matéria em relação à matéria.” Em 1899 Poincaré deu a essa hipótese o nome de “lei da relatividade”, e nos anos seguintes intitulou-o “princípio do movimento relativo” e “princípio da relatividade”. Essa idéia guiou as pesquisas de Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928), do próprio Poincaré e, mais tarde, de Albert Einstein (1879-1955), levando à descoberta das leis daquilo que chamamos de teoria da relatividade.

Poincaré e Lorentz aceitavam o princípio da relatividade, mas continuavam a admitir o éter. Einstein, pelo contrário, propôs excluir o éter da física, já que era impossível detectá-lo. Quanto às previsões experimentais, as duas abordagens levavam às mesmas equações. Era impossível escolher entre elas através de qualquer experimento.

Mas como seria possível jogar fora o éter, se ele era a base da óptica e do eletromagnetismo? Einstein pensou em atirar junto, pela janela, a teoria ondulatória da luz, retornando à teoria corpuscular de Newton. Porém, fazendo isso, era impossível explicar os fenômenos de interferência e difração da luz. Os próprios conceitos de frequência e comprimento de onda perderiam o significado. E o que fazer com os campos elétrico e magnético? Se não existia o éter, esses campos espalhados pelo espaço – que eram modificações do éter – não poderiam ter realidade. Seria necessário retornar a uma teoria de forças à distância e as próprias ondas eletromagnéticas não deveriam existir.

O preço que deveria ser pago para abandonar o éter era alto demais – a menos que Einstein fizesse alguma mágica. Ele fez. Em um truque de levitação, retirou o éter que suportava os campos elétrico e magnético, considerando que eles poderiam existir no vácuo absoluto. As ondas eletromagnéticas podiam assim ser conservadas. A energia dessas ondas estaria suportada pelo nada, em vez de estar armazenada no éter. A velocidade das ondas eletromagnéticas podia continuar a ser calculada como  $1/\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}$ , mas agora as constantes  $\epsilon_0$  e  $\mu_0$  deixavam de ser propriedades do éter e passavam a ser propriedades do espaço vazio.

A maioria dos físicos atuais diria, sem piscar, que não há nada de errado nisso. Em vez de falar no éter, podemos falar apenas sobre o espaço vazio. Essas pessoas não percebem que há uma diferença entre o espaço matemático, geométrico, e o espaço sobre o qual estão falando. O espaço da geometria só pode ter propriedades geométricas, não tem propriedades físicas. O nada, o vazio absoluto, não pode ter

constante dielétrica, não pode ter permeabilidade magnética, não pode ter propriedades que definam uma velocidade fundamental.

Ao contrário do que algumas pessoas acreditam, nem Einstein nem qualquer outro pesquisador *provou* que o éter não existe. Nunca se pode *provar* que não existe nada em uma certa região do espaço, pois ali poderiam existir entes físicos ainda desconhecidos, que não sabemos detectar.

Apesar da resistência de vários físicos, a abordagem de Einstein foi sendo aceita por muitas pessoas. Dois motivos principais determinaram o sucesso de Einstein. Primeiramente, sua teoria era mais simples do que a de Lorentz e Poincaré. Em segundo lugar, ela estafa fundamentada em uma abordagem epistemológica que estava em moda, na época – o empirismo – que defendia a eliminação, na ciência, de tudo o que não pudesse ser observado.

Este poderia ser o final da história, se quiséssemos nos limitar aos primeiros anos do século XX. É neste ponto que se encerra o histórico da maior parte dos livros didáticos de física. O éter era uma tolice e foi rejeitado. Não precisamos dele. Viva o espaço vazio!

### **O retorno do éter**

A rejeição do éter por Einstein ocorreu durante o desenvolvimento daquilo que chamamos de teoria da relatividade especial, que estava intimamente ligada ao eletromagnetismo. No entanto, alguns anos depois, Einstein se dedicou à construção de uma outra teoria: a relatividade geral, que estuda a gravitação.

Segundo a teoria da relatividade geral, cada ponto do espaço tem certas propriedades (a métrica do espaço-tempo) que variam de um ponto para outro, quando existe um campo gravitacional. Nessa teoria, a Terra não atrai a Lua: ela apenas produz uma deformação no espaço-tempo à sua volta; essa distorção chega à região onde está a Lua e faz com que ela desvie seu movimento, como se estivesse sendo puxada por nosso planeta. A matéria e a energia atuam sobre o espaço-tempo, e este, por sua vez, influi sobre a matéria e a energia. O próprio movimento da luz é alterado por ele. Quando medida por um observador distante, a velocidade da luz pode ter diferentes velocidades em diversas regiões do campo gravitacional, como se o espaço tivesse um índice de refração variável. Isso produz um retardamento mensurável de sinais luminosos que passam perto de corpos de grande massa (como o Sol) e o encurvamento da luz.

À medida que ia desenvolvendo essa teoria, Einstein começou a mudar sua atitude em relação ao espaço.

Embora isso não transparecesse nos artigos publicados por Einstein, ele comentou a questão em cartas a algumas pessoas. Em 1916, escreveu a Lorentz: “Eu concordo com você que a teoria da relatividade geral admite uma hipótese do éter, assim como a teoria da relatividade especial”. Um de seus amigos, Paul Ehrenfest, começou a ficar confuso, pois já não sabia mais se Einstein aceitava ou não o éter. Ehrenfest pediu-lhe que deixasse clara sua posição. A oportunidade escolhida por Einstein para elucidar sua opinião surgiu em 1920 quando, a convite de Ehrenfest, visitou a Holanda e apresentou uma conferência na universidade de Leyden sobre o éter e a teoria da relatividade. O texto completo dessa palestra foi publicado no mesmo ano, em alemão, e logo depois foi traduzido para o francês e para o inglês. Infelizmente, é um trabalho pouco lido.

Nessa conferência Einstein faz um longo histórico das idéias a respeito do éter e do surgimento da teoria da relatividade especial e comenta: “A posição que poderia ser assumida em seguida parecia a seguinte. O éter não existe. Os campos eletromagnéticos não são estados de um meio e não estão ligados a qualquer transportador, mas são realidades independentes que não podem ser reduzidas a nenhuma outra coisa,

exatamente como os átomos da matéria.” Essa é exatamente a opinião que se costuma atribuir a Einstein. No entanto, pouco mais adiante ele afirma: “Uma reflexão mais cuidados nos ensina, no entanto, que a teoria especial da relatividade não nos obriga a negar o éter. Podemos assumir a existência de um éter; apenas devemos desistir de lhe atribuir um estado definido de movimento [...]. Veremos mais adiante que este ponto de vista [...] é justificado pelos resultados da teoria geral da relatividade.”

Um “argumento de peso” que Einstein apresenta a favor da hipótese do éter é que “negar o éter é, em última instância, assumir que o espaço vazio [de matéria] não tem nenhuma qualidade física. Os fatos fundamentais da mecânica não se harmonizam com essa visão.” Ele esclarece logo em seguida: as propriedades mecânicas um sistema físico dependem de seu estado de rotação, e isso dá uma realidade objetiva ao espaço, como Newton já havia mostrado. “Newton poderia ter chamado seu espaço absoluto de ‘éter’; o que é essencial é apenas que, além dos objetos observáveis, há outra coisa, que não é perceptível, que deve ser considerada real, para podermos considerar a aceleração ou rotação como algo real.”

Vemos, portanto, que Einstein aceitava, em 1920, que os argumentos de Newton a favor do espaço absoluto eram corretos, e que podiam ser interpretados como favoráveis à hipótese do éter. Mas não apenas isso: a estrutura da relatividade geral também levava a abandonar a idéia de que o espaço é fisicamente vazio. Logo em seguida, Einstein comparou “o éter da relatividade geral” com o éter de Lorentz. Esclareceu que a diferença era que, no caso da relatividade geral, o estado do éter em cada lugar depende das influências da matéria e do éter em pontos próximos; no caso da teoria de Lorentz, o éter é igual em todos os pontos. “Assim, penso que podemos dizer que o éter da relatividade geral é o produto da relativização do éter de Lorentz.”

O último parágrafo da conferência de Einstein apresenta de forma muito clara sua posição em 1920:

“Recapitulando, podemos dizer que de acordo com a teoria geral da relatividade, o espaço é dotado de qualidades físicas; neste sentido, portanto, existe um éter. De acordo com a teoria da relatividade geral, espaço sem éter é impensável; pois em tal espaço não haveria propagação de luz, nem possibilidade de padrões de espaço e tempo (régua e relógios), nem portanto intervalos de espaço-tempo no sentido físico. Mas esse éter não pode ser pensado como dotado da qualidade dos meios ponderáveis, que consistem em partes que podem ser seguidas ao longo do tempo. A idéia de movimento não pode ser aplicada a ele.”

É curioso. Em parte, Einstein retornou ao éter por causa da teoria da relatividade geral. Porém, alguns dos argumentos que ele apresentou eram muito mais antigos, como o associado à rotação dos corpos. Maxwell e muitos outros físicos do século XIX assinariam embaixo da frase “sem éter, não poderia haver propagação de luz”.

## **O éter quântico**

Não foi apenas pela teoria da relatividade geral que o éter retornou à física. A teoria quântica introduziu um conceito denominado “vácuo quântico” que pode ser tudo, menos vazio.

O princípio proposto por Werner Heisenberg (1901-1976) em 1927 estabelece que existe uma indeterminação mínima de certas grandezas físicas relacionadas entre si. Não podem existir simultaneamente valores exatos para a posição e o momentum (massa vezes velocidade) de uma partícula; nem do tempo e da energia.

Por causa disso, de acordo com a teoria quântica, em qualquer região do espaço aparentemente vazia estão continuamente surgindo e desaparecendo “partículas virtuais”, que podem ser elétrons, fótons, mésons ou mesmo elefantes. Esses entes

surgem sem nenhuma causa, existem durante um tempo muito curto (limitado pelo princípio de Heisenberg) e depois desaparecem. Esse “vácuo quântico” é extremamente dinâmico e repleto de coisas, cujo único defeito é não durarem muito.

Essa idéia foi desenvolvida de forma quantitativa, para o caso dos fótons, na “eletrodinâmica quântica”. Em todos os lugares surgem e desaparecem continuamente fótons de todas as energias que, em princípio, poderiam ir de zero até infinito. Os de menor energia podem durar mais tempo, os de maior energia desaparecem mais depressa.

Há, no entanto, um detalhe importante. As partículas de grande energia podem surgir em qualquer lugar; mas nem todas as regiões do espaço permitem o surgimento de fótons de pequena energia.

Há uma consequência física importante disso, que foi desenvolvida pela primeira vez pelo físico holandês Hendrik Casimir (1909-2000), em 1948. Quando duas placas metálicas, sem carga elétrica, são colocadas muito próximas uma da outra, ocorre uma redução da densidade de fótons virtuais entre elas, e os fótons externos, que são em maior quantidade, as empurram uma em direção à outra. Tudo se passa como se as placas estivessem se atraindo, com uma força que não é nem gravitacional nem elétrica. É um efeito quântico produzido pelos fótons virtuais do vácuo.

Casimir previu que essa força deveria ser proporcional à área das placas e inversamente proporcional à quarta potência da distância. Ou seja: se a distância for reduzida à metade, a força aumenta 16 vezes. Portanto, a força de Casimir aumenta muito rapidamente para pequenas distâncias, e diminui muito rapidamente para distâncias maiores, tornando-se insignificante para distâncias de um milímetro, por exemplo. Para distâncias de um milésimo de milímetro, embora a força seja pequena, ela pode ser medida.

Estamos acostumados a pensar que a mecânica quântica se aplica apenas a fenômenos em uma escala atômica ou sub-atômica. Um átomo tem dimensões da ordem de um Ångström, e um milésimo de milímetro é dez mil vezes maior do que um átomo. Como a força de Casimir atua em distâncias como essa, trata-se de um efeito quântico que não é limitado às dimensões atômicas. Recentemente se observou que essas forças precisam ser levadas em consideração quando se trabalha com nanotecnologia, pois para distâncias de 10 nm elas produzem uma força equivalente à pressão atmosférica.

O efeito Casimir já foi confirmado através de vários experimentos. O primeiro, feito em 1958 por seu colega holandês Marcus Spaarnay, não dispunha dos recursos técnicos necessários e apenas concluiu que os resultados “não contradizem a previsão teórica de Casimir”..

Há outros efeitos do vácuo quântico que já foram medidos, mas que são mais difíceis de explicar, como o desvio de Lamb (uma variação dos níveis atômicos de energia devidos à interação dos elétrons com o vácuo quântico), a polarização do vácuo e a força de Casimir-Polder entre átomos neutros, o fator giromagnético anômalo do elétron, a emissão espontânea de luz por átomos, etc.. Eles não serão discutidos aqui, mas é importante mencioná-los para indicar que não é apenas pelo efeito Casimir que a teoria foi confirmada.

A densidade de energia dos fótons no vácuo quântico é imensa – talvez infinita – e há pesquisadores (como Harold E. Puthoff) investigando a possibilidade de utilizar essa energia para fins práticos, sem obter resultados, no entanto. A NASA tem patrocinado estudos a respeito do uso do vácuo quântico para a propulsão de veículos espaciais de longa distância.

Assim, de acordo com a teoria quântica, o espaço não está vazio, mas está cheio de partículas virtuais capazes de produzir efeitos observáveis. Poderíamos, então, medir a

velocidade da Terra em relação ao vácuo quântico? Poderia esse novo éter derrubar a teoria da relatividade?

Há, como Einstein enfatizou, uma diferença entre um éter compatível com a teoria da relatividade e o éter clássico: deve ser impossível associar ao éter relativístico um estado de repouso ou movimento. Ou seja: quando dois observadores se movem um em relação a outro, ambos devem observar exatamente tudo igual. É muito difícil imaginar alguma coisa real que possa obedecer a essa regra. No entanto, em 1951 Paul Adrien Dirac (1902-1984) provou que era possível construir um éter obedecendo a essa propriedade. Se tivermos no espaço radiação se movendo para todos os lados, isotropicamente, e se a densidade de fótons de cada tipo for proporcional à terceira potência da frequência, então esse gás de fótons terá a mesma aparência para todos os observadores. Esse éter quântico é compatível com a teoria da relatividade especial e não permite medir a velocidade da Terra em relação ao éter.

### A quintessência

Os proponentes do vácuo quântico (exceto Dirac) nunca utilizaram a palavra “éter” em seus trabalhos científicos. Parecem envergonhados de empregar o termo maldito, possivelmente porque não estão informados que Einstein, desde 1920, reabilitou o éter.

O “modelo padrão” utilizado em cosmologia há meio século é a teoria do “big bang”. No entanto, ela sofreu tantas mudanças durante esse tempo que não conserva praticamente nada da proposta original. Não se passam muitos anos sem que a teoria precise sofrer ajustes bastante profundos.

O modelo cosmológico padrão assume que o universo está se expandindo e que esse processo se iniciou uns 15 bilhões de anos atrás, a partir de um estado de imensa temperatura e densidade. A força gravitacional, que atrai os corpos entre si, se opõe a esse processo expansivo. Por isso, imaginou-se que a velocidade de expansão do universo poderia ir diminuindo gradualmente, ou até mesmo cessar e se transformar em uma contração, em um futuro remoto. Em 1998, entretanto, novas medidas da velocidade de expansão, utilizando medidas de supernovas distantes, levaram a um resultado inesperado: a expansão está se *acelerando*. A proposta da *quintessência* é justamente uma possível explicação desse fenômeno.

De uma forma intuitiva, podemos entender que a aceleração da expansão do universo só pode acontecer se existir alguma força repulsiva que suplante a atração gravitacional. Na teoria da relatividade geral, que é uma das bases da cosmologia, há duas únicas formas de introduzir essa repulsão: através do ajuste daquilo que se chama “constante cosmológica”; ou por matéria que tenha uma *pressão negativa* – ou seja, o contrário do que observamos em qualquer gás conhecido. A teoria da quintessência explora a segunda dessas alternativas, introduzindo no universo uma nova matéria, que não tem qualquer semelhança com aquilo que a teoria de partículas elementares já desvendou. Para poder funcionar de forma adequada na teoria cosmológica, é necessário supor que essa matéria é uma espécie de éter, que mantém densidade constante durante a expansão do universo, em vez de ficar cada vez mais diluída à medida que ocupa maior espaço.

Além de poder explicar a aceleração da expansão do universo, a quintessência poderia também solucionar outro problema cosmológico: o da “matéria escura”. Há cerca de 20 anos já se sabe que o universo deve conter cerca de dez vezes mais massa do que tudo o que constitui as galáxias e estrelas que conhecemos. Houve várias soluções propostas para resolver essa dificuldade, e a teoria da quintessência é uma delas. Sua vantagem sobre outras tentativas é que ela mata dois coelhos com uma só cajadada.

É cedo, no entanto, para saber se essa teoria terá uma vida longa. Ao contrário da relatividade geral e do vácuo quântico, a proposta da quintessência ainda não teve confirmações significativas. Pode ser que dentro de uma ou duas décadas ela já tenha sido abandonada.

### Existe o éter?

Os exemplos apresentados acima mostram que, na física atual, o espaço “vazio” está cheio de entes físicos. O modelo de éter do século XIX foi abandonado, mas o avanço científico exigiu a introdução de novos entes semelhantes ao antigo. Pode-se dizer que o éter está bem vivo e forte, embora o nome “éter” ainda seja um tabu e muitos cientistas, contrariando aquilo que os filósofos já nos ensinaram há dois mil anos, preferiram dizer que estão falando sobre as propriedades do espaço vazio.

O éter passou por várias mortes e ressurreições. Em algumas épocas os pesquisadores *tinham certeza* de que ele existia, em outros momentos *tinham certeza* de que ele não existia. Houve, com certeza uma sucessão de erros. Se Einstein estava correto em 1905, ele estava errado em 1920, e vice-versa.

A questão final é saber se, hoje em dia, estamos corretos ou não. Podemos dizer que, atualmente, há pelos menos dois tipos de éter bastante confiáveis, o da relatividade geral e o vácuo quântico. Essas teorias, como outras, são provisórias. Sabemos, em particular, que não se encontrou ainda uma unificação total entre a relatividade e a mecânica quântica e isso sugere que nenhuma delas pode ser definitiva. Não sabemos como será a física no ano 2100 ou nos séculos seguintes. Pode ser que esses ou algum outro éter perca por muito tempo. Mas ignoramos se eles não serão futuramente rejeitados por cientistas que, novamente, *terão certeza* de que o éter não existe.

### Leituras complementares

- BOYER, Timothy H. The classical vacuum. *Scientific American* **253** (2): 56-62, August 1985.
- EINSTEIN, Albert. *Sidelights on relativity*. New York: Dover, 1983. Este livro contém a tradução para o inglês da palestra que Einstein apresentou em Leyden, em 1920, sobre relatividade e éter.
- FORD, Lawrence H. & ROMAN, Thomas A. Negative energy, wormholes and warp drive. *Scientific American* **282** (1): 30-37, January 2000.
- KOSTRO, Ludwik. *Einstein and the ether*. Montreal: Apeiron, 2000.
- MARTINS, Roberto de Andrade. Em busca do nada: considerações sobre os argumentos a favor e contra o vácuo. *Trans/Form/Ação* **16**: 7-27, 1993.
- MARTINS, Roberto de Andrade. O vácuo e a pressão atmosférica, da Antigüidade a Pascal. *Cadernos de História e Filosofia da Ciência* [série 2] **1** (3): 9-48, 1989.
- OSTRIKER, Jeremiah & STEINHARDT, Paul J. O universo quintessencial. *Scientific American Brasil* **1** (7): 40-49, Dezembro 2002.
- YAM, Philip. Exploiting zero-point energy. *Scientific American* **277** (6): 54-57, December 1997.