



SEARA DA CIÊNCIA

CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Bassalo



Efeito Casimir.

Em 1947, os físicos holandeses Henrik Brugt Gerhard Casimir (1909-2000) e Dirk Polder realizaram o cálculo da energia de interação entre átomos. Nesse cálculo [publicado em 1948 (*Physical Review* 73, p. 360)], eles consideraram a velocidade finita de propagação do campo eletromagnético e, com isso, demonstraram que essa energia diminuía com o inverso da sexta potência da distância entre os átomos quando estivessem bem próximos e com o inverso da sétima potência quando estivessem a grandes distâncias. Certo dia, no verão ou outono daquele ano de 1947, Casimir mostrou essas contas ao físico dinamarquês Niels Henrik David Bohr (1885-1962; PNF, 1922) que, então, sugeriu-lhe que considerasse em seus cálculos a energia do ponto zero do vácuo. Desse modo, Casimir preparou um novo trabalho para apresentar no colóquio que seria realizado em Paris, em abril de 1948. Logo depois, em 29 de maio de 1948, apresentou-o à *Academia Real Holandesa de Artes e Ciências*.

Nesse artigo, publicado em 1948 (*Koninklijke Akademie von Wetenschappen te Amsterdam Proceedings* B51, p. 793), Casimir afirmou que: *Existe uma força atrativa entre duas placas metálicas que independe do material das placas desde que a distância seja tão grande que para comprimentos de onda comparáveis com essa distância, a profundidade de penetração é pequena comparada com a distância. Essa força pode ser interpretada como uma pressão de ponto zero das ondas eletromagnéticas. Embora o efeito seja pequeno, uma confirmação experimental não parece infactível e pode ser de algum interesse.* Ainda nesse artigo, Casimir afirmou que tal força referida é dada pela expressão: $F = -A\pi^2\hbar c/(240a^4)$, onde A é a área de cada placa, a é a separação entre elas, $\hbar = h/(2\pi)$, sendo h a constante de Planck, e c representa a velocidade da luz no vácuo. No caso em que as placas têm um centímetro quadrado de área ($A = 1 \text{ cm}^2$) e separadas por um micrômetro ($a = 10^{-6} \text{ m}$), Casimir previu que aquela força seria de **0,013** dinas.

Esse efeito, conhecido a partir daí como o efeito Casimir, foi comprovado experimentalmente pela primeira vez, em 1958 (*Physica* 34, p. 751), pelo físico também holandês Marcus J. Sparnaay, usando dois espelhos metálicos planos feitos de alumínio (Al) ou crômio (Cr) ou aço, e uma balança de mola. A incerteza na medida da separação entre as placas, alertada pelo próprio Sparnaay, fizeram com que uma nova experiência, porém com uma geometria ligeiramente diferente, só fosse realizada em 1997 (*Physical Review Letters* 78, p. 5), por Steve K. Lamoreaux. Com efeito, ele usou uma lente metálica esférica com 4 cm de diâmetro e uma placa plana de quartzo com 2,5 cm de espessura, ambos foram revestidos com cobre (Cu) e ouro (Au) e conectados a um pêndulo de torção. Quando ele aproximou o conjunto (lente e placa) a uma distância de vários microns μ [no intervalo de 0,6 a 6 μ ($1\mu = 10^{-6} \text{ m}$)], a *força de Casimir* puxou-os para junto e produziu uma torção no pêndulo. Ao medir essa força e ao comparar com o valor teórico ele encontrou uma precisão de **5%**. Esse bom resultado obtido nessa experiência de Lamoreaux inspirou a realização de novas experiências como, por exemplo, as realizadas ainda em 1997 (*Physical Review* D56, p. R6) e 1998 (*Physical Review* D57, p. 2024), por Michael Bordag,

G. T. Gillies e V. M. Mostepanenko. Também em 1998 (*Physical Review Letters* 81, p. 4549), Umar Mohideen e Anushree Roy usaram um *Microscópio de Força Atômica* e mediram a *força de Casimir* entre uma esfera, revestida de Al ou Au, cujo diâmetro (d) vale 196 μm e uma placa, revestida com esses mesmos metais, para separações entre elas de 0, 1 μm a 0, 9 μm . Eles mostraram que os resultados experimentais estão em bom acordo (1%) com a estimativa teórica.

Agora, vejamos como hoje se explica esse fenômeno usando a noção moderna de *vácuo quântico*, no contexto da Teoria Quântica de Campos. Para isso, usaremos os seguintes artigos de físicos brasileiros: Marcus Venicius Cougo-Pinto, Carlos Farina e Alexandre C. Tort, em 1998 (*Cadernos de Divulgação e Educação Científica* 5. IFUFRJ); em 1999, Cougo-Pinto, Farina e A. Tenório (*Brazilian Journal of Physics* 29, p; 371 e *Physical Review D* 60, p. 105022), F. C. Santos, Tenório e Tort (*Physics Letters B* 446, p. 170); Cougo-Pinto, Farina, Santos e Tort (*Journal of Physics: Mathematical, Nuclear and General* A32); 2000 (*Revista Brasileira de Ensino de Física* 22, p. 122), Cougo-Pinto, Farina e Tort; e 2003 (*Physical Review A* 67, p. 022103), Danilo Teixeira Alves, F. A. Barone, Farina e Tort..Segue a explicação.

Sejam duas placas metálicas paralelas, eletricamente neutras e com massas desprezíveis. Ainda que classicamente não haja motivo para que elas se atráíssem, elas realmente se atraem. A origem desse fenômeno está no fato de uma parte dos fótons virtuais, que compõem o *vácuo quântico* entre as placas, é suprimida pela presença das placas metálicas, levando a uma diminuição da energia desse vácuo e, conseqüentemente, ao aparecimento de uma força atrativa, de acordo com o princípio de minimização de energia.

É oportuno salientar que, como o efeito Casimir foi inicialmente estudado como devido a uma alteração da energia do vácuo do campo eletromagnético quântico (mediado pelo bóson não-massivo, o fóton) confinado entre duas placas condutoras, planas e paralelas, naturalmente surgiu a possibilidade de generalizá-lo, considerando novas geometrias (placas esféricas e cilíndricas) e, também, outros campos quânticos. Estes, por exemplo, podem ser campos de férmions massivos que confinam quarks e glúons dentro dos hádrons (mésons e bárions). Desse modo, esse confinamento indica que o efeito Casimir deva desempenhar um papel importante nas propriedades dos hádrons. Sobre essas partículas citadas, ver verbetes nesta série.

Uma outra generalização do efeito Casimir consiste em considerá-lo como efeito produzido nas flutuações do *vácuo quântico* provocado pela geometria do espaço usual R^3 no qual acontecem as flutuações. Por outro lado, no estudo da Teoria de Cordas (vide verbete nesta série), existem mais de três dimensões espaciais (os três eixos: x, y, z). Contudo, as demais dimensões, além das três referidas acima, são compatificadas, ou seja, elas não são descritas por uma reta inteira, mas por exemplo, por um círculo ou uma curva obtida da deformação contínua do círculo. Até o presente momento (abril de 2009), ainda não foram observadas essas dimensões na Natureza. No entanto, se houver tais dimensões elas causarão modificações no *vácuo quântico*, e, portanto, manifestações do efeito Casimir.

Além disso, o efeito Casimir é também importante na verificação da lei da gravitação Newtoniana em distâncias muito pequenas (da ordem de nanômetros ou ainda menores), bem como nos sistemas microeletromecânicos e nas nanoestruturas [1 nanômetro (nm) = 10^{-9} m], pois, na escala em que se situam essas micro/nanomáquinas, os seus componentes podem se juntar por intermédio da *força de Casimir*. Por fim, especula-se ainda uma possível relação entre esse efeito e o fenômeno da *sonoluminescência* (ver verbete nesta série), conforme foi sugerido pelo físico norte-americano Julian Seymour Schwinger (1918-1994; PNF, 1965), em 1992, e pela física norte-americana Claudia C. Eberlein, em 1995.

Os novos aspectos do efeito Casimir relacionados acima, podem ser vistos nos seguintes textos: em 1991 (*Physical Review D* 43, p. 1300; *Modern Physics Letters A* 6, p. 1855), os

físicos brasileiros Francisco Caruso Neto (n.1959), Nelson Pinto Neto (n.1957), Benar Fux Svaiter e Nami Fux Svaiter (n.1958) estudaram o efeito Casimir no espaço-tempo Minkowskiano; em 1999 (*International Journal of Modern Physics A*14, p. 2077), Caruso, R. De Paola e N. Svaiter analisaram a energia do ponto zero de campos escalares sem massa na presença de fronteiras mole (“soft”) e semiduras (“semihard”) em D dimensões; em 2001 (*arXiv:quant-ph/0106045v1; Physics Reports* 353, p. 1), Bordag, U. Mohideen e Mostepanenko descreveram novos desenvolvimentos desse efeito; em 2001, K. A. Milton, escreveu o livro intitulado *The Casimir Effect: Physical Manifestations of Zero-point Energy* (World Scientific, Singapore), no qual há um estudo bastante interessante sobre esse efeito e algumas de suas consequências; em fevereiro de 2002, O. Kenneth, I. Klich, A. Mann e M. Revzen, do *Departamento de Física do Instituto de Tecnologia de Israel* observaram que materiais de certa permissividade e permeabilidade, ou com uma certa configuração, podem apresentar um efeito Casimir repulsivo (pt.wikipedia.org/wiki/Efeito_Casimir). Outras informações sobre o efeito Casimir podem ser encontradas em: A. Lambrecht, *The Casimir Effect: A Force from Nothing* (*Physics World*, September 2002); e Ulf Leonhardt e Thomas Philbin, *IN: Press Office University of St. Andrews, Scientist Float Levitation Theory* (06 August 2007).



ANTERIOR

SEGUINTE