



FABIO CHALUB
Universidade
Nova de Lisboa
chalub@fct.unl.pt

MATÉRIA ATRAI MATÉRIA... E A ANTIMATÉRIA?

A Lei da Gravidade de Newton afirma que duas partículas se atraem, sobre a linha que as une, com uma força proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância. Mas o que é que aconteceria se tivéssemos partículas de massa negativa? Será possível que tenhamos por aí partículas que se repelem? Será a antimatéria uma candidata a sentir a força *antigravitacional*? Uma nova pesquisa lança luz nestes antigos mistérios.

Matéria atrai matéria. É por isso que a Terra gira em torno do Sol. Na verdade, é por isso que a própria Terra existe: sem esta propriedade universal, o universo não passaria de um conjunto de grãos de poeira distribuído de forma aproximadamente uniforme. Foi Newton quem primeiro colocou a atração entre dois objetos em bases matemáticas sólidas: duas partículas atraem-se com uma força proporcional ao produto das suas massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Veja a figura 1. É interessante notar que a constante de proporcionalidade, chamada constante de Gravitação Universal, G , é independente dos objetos envolvidos. Ou seja, a força com que duas bolas de 1 kg de ouro se atraem é a mesma de duas esferas de igual massa, mas feitas de madeira, ou mesmo se fosse uma de madeira e outra de ouro.

Isto, no entanto, é parte da história. Por um lado, a força gravitacional é proporcional à massa; por outro lado, o seu efeito, a alteração do estado de movimento a que chamamos *aceleração*, é inversamente proporcional à massa. Esta é a segunda lei de Newton ("força é igual a massa vezes aceleração"). Estes dois fenómenos cancelam-se, e a massa de um objeto é afinal irrelevante para entender o seu movimento sob efeito único da gravidade.

É isto o que havia percebido Galileu alguns anos antes, ao notar que objetos de diferentes massas caíam

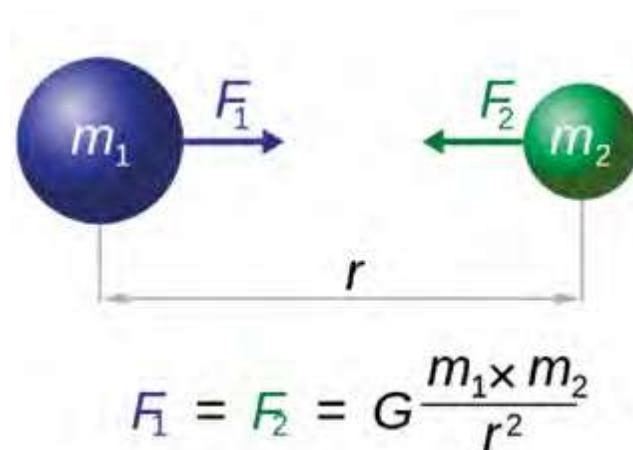


Figura 1. A Lei da Gravitação de Newton: duas partículas de massas m_1 e m_2 positivas atraem-se de acordo com a expressão da figura. Fonte: Wikimedia commons.

livremente a partir do repouso sempre com a mesma velocidade. Não só objetos feitos do mesmo material mas com massas distintas empatavam a corrida gravítica, como também objetos de materiais distintos corriam emparelhados. Este fenómeno intrigou cientistas ao longo dos séculos, sendo Newton provavelmente o primeiro a perceber que a massa não mede apenas o quanto um objeto resiste a ter seu estado de movimento alterado (a chamada *inércia*) mas também mede a capacidade

de um corpo atrair tudo o que está em seu redor.

Para entender melhor esta questão, vamos supor que a massa que entra na formulação da segunda lei de Newton, m , não é a mesma que aparece da Lei da Gravitação Universal, a que chamaremos de massa gravítica m_g . Assim, para calcular a aceleração a de um objeto com massas inercial e gravítica m e m_g , respetivamente, em queda livre, a distância r de uma partícula fixa de massa gravitacional m_g , temos de resolver

$$G \frac{M_g m_g}{r^2} = ma ,$$

e portanto

$$a = G \frac{M_g m_g}{r^2} \frac{1}{m} .$$

Desta forma podemos testar experimentalmente se as massas inerciais e gravitacionais são idênticas medindo as suas acelerações em queda livre. Supondo todos os objetos no mesmo sítio (ou seja, o mesmo valor de r), a identidade $m_g = m$ leva a acelerações que não dependem do objeto. Isto sabemos ser verdade (pelo menos aproximadamente) desde, pelo menos, Galileu. Muitos outros experimentos foram feitos com resultados semelhantes.

No entanto, não é difícil ver que esta ideia não está devidamente enraizada na mente das pessoas, mesmo de cientistas profissionais. Pense num hipotético objeto de massa negativa e largue-o no ar. Ele sobe ou desce? A maioria das pessoas, pela minha experiência, diz que "sobe". Falso: se, neste caso, a força da gravidade aponta para cima, também a aceleração deve ser na direção oposta da força, resultando num movimento tal e qual o da matéria "normal". De alguma forma, ao dizer que o corpo de massa negativa deve subir sob ação da gravidade, a nossa intuição diz-nos que apenas um dos termos da equação acima mudou de sinal. Por outras palavras, teríamos massa gravitacional negativa com massa inercial positiva (ou o contrário), o que mostra o quão pouco intuitiva é a ideia de que estas são duas faces da mesma moeda.

Fica ainda a questão fundamental sobre o que aconteceria com um objeto de massa zero, como a luz. Por um lado, ao não ter massa, não deve interagir gravitacionalmente; por outro, seria uma estranha exceção, já que mesmo objetos de massa muito ténue (positiva ou negativa!) são atraídos da mesma forma. De facto, a primeira vez que se vislumbrou o conceito de buraco negro, um objeto tão massivo que nem a luz lhe escapa, foi em 1783, por obra de John Mitchel. A ideia não foi genericamente aceite, pois, como sabem os mais jovens estudantes, não podemos *cortar* zeros de ambos os lados da equação.

A situação muda, e muito, com o advento da já centenária Teoria Geral da Relatividade, de Albert Einstein. Esta mostra que a identidade entre os dois tipos de massas não é uma simples coincidência do nosso universo, mas uma propriedade central de tudo aquilo que conhecemos. Para Einstein, não há observadores privilegiados, não há referenciais melhores do que outros. Devemos todos descrever as mesmas leis da física. Assim, um astronauta que flutua no espaço sideral e outro em queda livre sob ação da gravidade devem ter descrições consistentes das suas realidades. Se as massas inerciais e gravitacionais fossem distintas, enquanto o primeiro experimentero veria todos os objetos a acompanhá-lo no seu movimento em linha reta com velocidade constante cosmos afora, o segundo veria movimentos relativos, com alguns objetos caindo mais rapidamente e outros mais lentamente. Desta forma, estes dois referenciais não seriam equivalentes, e as leis da física dependeriam do referencial. A equivalência entre todos os referenciais é conhecida como *princípio de equivalência*.

Em física, o árbitro último é a experiência. Portanto, devemos sempre continuar a verificar as previsões experimentais no laboratório. A Teoria Geral da Relatividade é extremamente bem estabelecida no seu domínio próprio, dos objetos com muita massa. Mas tem pouco a dizer quando estamos no domínio da física de altas energias (partículas) em que a Mecânica Quântica dá as cartas. Desta forma, a investigação em [1] analisou a razão entre as massas inerciais e gravitacionais tanto para a matéria quanto para a anti matéria. Apesar de sermos capazes de isolar muitas partículas elementares, o campo gravitacional por estas gerado é tão fraco que nunca fora possível mostrar se a antimatéria é atraída ou repelida pela matéria. Até então, tudo o que sabíamos era que $-65 < m_g/m < 110$, não permitindo eliminar o estranho efeito conhecido como "antigravidade".

Com as novas técnicas introduzidas pelo jovem físico russo Tigran Kalaydzhyan, nascido em 1987 na União Soviética, foi possível melhorar tanto as estimativas para o elétron como para o positrão para $0.96 < m_g/m < 1.04$ usando dados do *Large Electron-Positron Collider (LEP)*, um famoso acelerador de partículas do Centro Europeu de Investigação Nuclear. Veja a figura 2. Considerando as correções devido ao campo gravitacional gerado pelo super aglomerado local de galáxias, uma imensa estrutura de aproximadamente 500 milhões de anos luz de diâmetro, a estimativa obtida foi de $1 - 4 \times 10^{-7} < m_g/m < 1 + 2 \times 10^{-7}$, tanto para o elétron



Figura 2. Grande colisor de elétrões e positrões, na fronteira franco-suíça. Numa direção, atiram-se elétrões a velocidades altíssimas; na direção contrária, voam suas antipartículas, os positrões. Do resultado das suas colisões, estudam-se as suas propriedades – e também as propriedades de outros constituintes da matéria. **Fonte:** <http://scienceblogs.com/startswithabang/files/2011/05/lep-birdsview.gif>



como para sua antipartícula, o positrão. Desta forma, a identidade verificada por Galileu, que intrigou Newton e inspirou Einstein, foi demonstrada em domínios que estes nem suspeitavam existir (figura 3).

Figura 3. Galileu Galilei (1564-1642), Isaac Newton (1643-1727) e Albert Einstein (1879-1955): três das mentes mais brilhantes da humanidade que se sentiram intrigadas e atraídas pela estranha identidade entre a massa inercial e a gravitacional. **Retratos em domínio público.**

REFERÊNCIAS

[1] Tigran Kalaydzhyan, "Gravitational mass of relativistic matter and antimatter", *Physics Letters B*, Volume 751, 17 December 2015, Pages 29-33, ISSN 0370-2693, <http://dx.doi.org/10.1016/j.physletb.2015.10.014>.