

## Público

## Albert Einstein e a Teoria da Relatividade

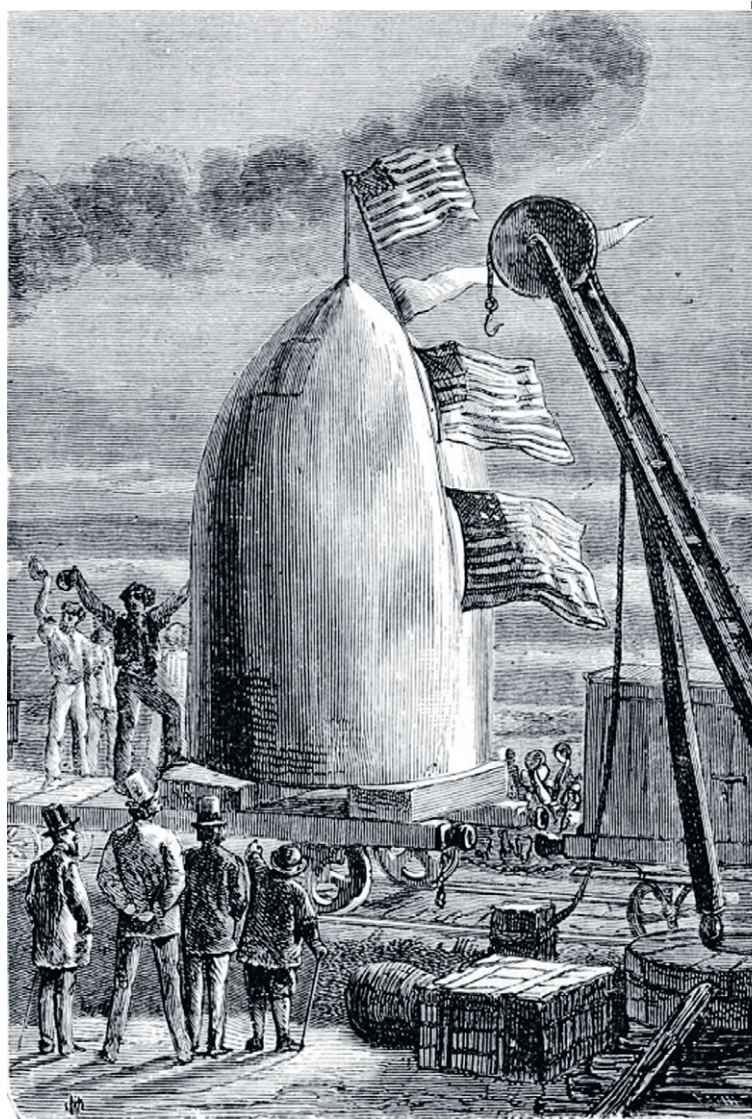


Paulo Crawford

Passados 115 anos após a publicação da Teoria da Relatividade Restrita (RR) e 105 anos depois da criação da Teoria da Relatividade Geral (RG), a teoria de Albert Einstein continua a ser a melhor teoria do campo gravitacional. A longevidade da RG pode explicar-se pela grande variedade de fenómenos que prevê. Podemos apreciar a dificuldade em retirar da teoria muitos dos seus resultados mais relevantes, ao contrastar a data da solução matemática que descreve o buraco negro mais simples (1916), com a data da descoberta da solução mais interessante, a de um buraco negro em rotação (1963). E só em 1967, quando John Wheeler cunhou a expressão “*black hole*” (buraco negro), é que foi compreendida a matemática que descreve o colapso gravitacional, embora já em 1939 Robert Oppenheimer e Hartland Snyder o tivessem descrito rigorosamente no caso particular de um buraco negro esfericamente simétrico. Com efeito, durante muito tempo, mesmo entre os astrónomos, a realidade dos buracos negros manteve-se na sombra.

De igual modo, durante os anos 70 do século passado, foi mantido um aceso debate sobre se a RG previa realmente a existência de ondas gravitacionais e se estas efectivamente transportavam energia, temas hoje totalmente esclarecidos. As “singularidades”, pontos do espaço-tempo onde a curvatura se torna infinita, o espaço-tempo termina, e são violadas todas as leis de conservação, foram um mistério até que Stephen Hawking, Roger Penrose e outros clarificaram a sua natureza matemática (1965). Os seus teoremas sobre as singularidades tornaram mais fácil a aceitação dos buracos negros e do próprio Big Bang. Mas ainda continuamos sem saber se é possível evitá-las.

Os avanços tecnológicos do final do século XX permitiram que boa parte das previsões da RG fosse testada. Os testes positivos da RG começaram realmente em 1919, com a observação do eclipse total do Sol a 29 de Maio. O astrónomo real britânico, Sir Frank



Dyson, e o astrofísico Sir Arthur Eddington planearam e analisaram as observações do encurvamento da luz das estrelas, ao passar perto do Sol, verificando as previsões de Einstein. Logo em 1922, o reputado matemático Francisco Gomes Teixeira descrevia a teoria da gravitação de Einstein como só comparável aos “*Princípios Matemáticos* do grande Newton.” Fê-lo no prefácio de uma dissertação, agora publicada pelo PÚBLICO, sobre a teoria da RR, da autoria do licenciado em Matemática Mário Mora, escrita para o concurso de admissão à Escola Normal Superior de Coimbra, e realizada um ano após a publicação do primeiro volume da *Teoria da Relatividade* do oficial de marinha e astrónomo Ramos da Costa (o segundo é de 1923).

Dez anos após o referido eclipse, Edwin Hubble confirmava a expansão do Universo ao verificar a recessão de

galáxias distantes. Em 1960, Robert V. Pound e Glenn A. Rebka, validaram a distorção do tempo, no campo gravítico da Terra, usando uma torre de 22,6 m de altura do Laboratório de Física de Jefferson, na Universidade de Harvard. Cerca de 20 anos depois, a medida da taxa de decrescimento do período orbital do pulsar binário PSR 1913+16 forneceu a primeira prova indireta das ondas gravitacionais (1979). Usando os elementos orbitais e as massas do sistema, obtidas por aplicação da RG, uma fórmula de Einstein previa corretamente a taxa de atenuação do período orbital. Atualmente, as observações têm um rigor ainda maior, e o valor observado está de acordo com a previsão teórica, o que é uma prova (indireta) da existência de ondas gravitacionais, do seu carácter quadripolar e da validade da fórmula de Einstein da RG. Estes resultados estiveram na base da atri-

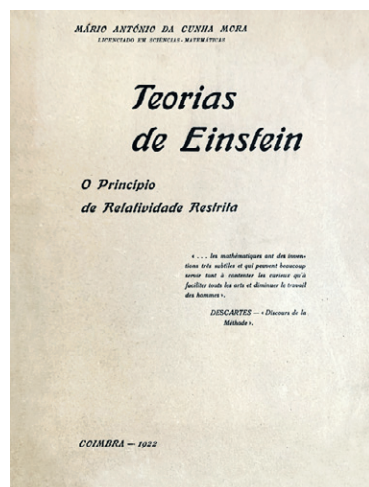
buição do Prémio Nobel da Física de 1993 a Joseph Taylor e Russell Hulse, da Universidade de Princeton. Hoje conhecem-se mais de 40 pulsares binários emissores de rádio. Dois deles, o PSR 1534+12, que se encontra na nossa galáxia, e o PSR 2127+11C, no enxame globular M15, são “laboratórios” de relatividade altamente promissores. O PSR 1534+12 fornece uma determinação ainda mais rigorosa da dita taxa do que o valor facultado pelo PSR 1913+16.

Além de permitirem a detecção indireta de ondas gravitacionais, os pulsares binários permitem a realização de testes da RG para campos fortes, em contraste com os testes para campos fracos realizados no sistema solar. No final de 2015, investigadores do projecto LIGO (*Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory*) observaram “distorções no espaço e no tempo” causadas por um par de buracos negros, com cerca de 30 massas solares cada um, dando origem à detecção direta de ondas gravitacionais, só revelada a 11/2/2016. Esta foi só a primeira de várias observações dessas ondas.

Apesar de todos estes sucessos, alguns físicos duvidam de que a teoria de Einstein seja a última palavra sobre a gravitação. Tal como a teoria de Newton ou a teoria eletromagnética de Maxwell, a RG também tem as suas limitações que apontam para uma teoria mais abrangente. Mas tal não significa que tenhamos de abandonar a RG, bem como ainda não abandonámos a teoria da gravitação de Newton.

Aos ombros de Einstein, tal como Einstein se colocou aos ombros de Newton, os físicos podem hoje pôr certas questões – simples, mas profundas – sobre a natureza do espaço e do tempo, na mira da teoria que sucederá à RG. Algumas das perguntas sem resposta imediata que nos levam a apontar para uma nova teoria da gravidade são as seguintes: o que são o espaço e o tempo e donde surgiram? O que há no coração de um buraco negro? O que ocorreu antes do *Big Bang*? Por que é que a Expansão do Universo está a acelerar, há pelo menos 5 milhares de milhões de anos, em vez de desacelerar? Como conciliar a RG com a Mecânica Quântica?

**Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço da Universidade de Lisboa**



5 de Novembro  
**Teorias de Einstein: o Princípio de Relatividade Restrita**  
Mário António da Cunha Mora