



JOSÉ CARLOS SANTOS
Universidade
do Porto
jcsantos@fc.up.pt

O ESPAÇO-TEMPO

Quem criou o conceito de espaço-tempo? Ao contrário do que normalmente se julga, não foi Einstein.

INTRODUÇÃO

Há 100 anos, em 1916, Einstein publicou o seu artigo de síntese relativo à Relatividade Geral, *Bases de uma Teoria da Relatividade Generalizada*, alguns meses após ter chegado às respetivas equações de campo.



Figura 1: Albert Einstein (c.1905).

Quem fala em Relatividade fala em espaço-tempo e quem já esteve exposto à Teoria da Relatividade já ouviu dizer que, no âmbito dessa teoria, não se podem separar o espaço e o tempo e que cada evento deve ser descrito recorrendo a quatro coordenadas: três coordenadas espaciais e uma temporal. Sendo assim, é natural que se pense que o conceito de espaço-tempo se deve a Einstein.

É mesmo uma ideia que se encontra muito espalhada. Por exemplo, em <http://www.space.com/17661-theory-general-relativity.html> é afirmado que Einstein «descobriu que o espaço e o tempo estão entrelaçados numa única entidade chamada espaço-tempo». Em <http://mundoes-tranho.abril.com.br/materia/o-que-e-a-teoria-da-relatividade> pode ler-se que “Em 1905, o genial físico alemão Albert Einstein afirmou que tempo e espaço são relativos e estão profundamente entrelaçados”. Existe mesmo um livro (veja-se [1]) sobre Relatividade que tem por título *Einstein's Space Time*.

I. HERMANN MINKOWSKI



Figura 2: Hermann Minkowski.

No entanto, o criador da ideia de que o espaço e o tempo não devem ser vistos separadamente mas, pelo contrário, são duas componentes inseparáveis de uma única entidade chamada espaço-tempo não foi Einstein, mas sim Hermann Minkowski (1864–1909). A ênfase que ele colocou na importância desta fusão é visível nas palavras que proferiu, em 1908, no início de uma palestra feita na 80.^a Assembleia Alemã de Cientistas e Médicos:

“ Cavalheiros! Os conceitos de espaço e tempo que gostaria de desenvolver perante vós erguem-se do solo da Física experimental. Aí reside a sua força. As suas tendências são radicais. Doravante, o espaço só por si e o tempo só por si irão mergulhar totalmente na sombra e somente uma espécie de união entre os dois continuará a ser real. ”

Vejamos quem foi Hermann Minkowski e que relação há entre ele e Einstein; para mais detalhes, veja -se [2].

Tanto Minkowski como Einstein eram judeus alemães e filhos de homens de negócios, embora Minkowski tenha nascido em Kaunas (na altura, chamava-se Alexotas e fazia parte de Império Russo), mas no seio de uma família alemã. Foi colega de Hilbert enquanto se licenciava em Matemática na Universidade de Königsberg (a atual Kaliningrado, que era então uma cidade alemã) e foi professor de Matemática no Instituto Politécnico de Zurique de 1896 a 1902, tendo tido aí Einstein como aluno em nove cadeiras.

E que impressão é que Einstein provocou em Minkowski? O mínimo que se pode dizer é que não foi boa. Einstein gostava das aulas de Minkowski, mas não as frequentava, em grande parte por preferir passar o seu tempo a fazer experiências de Física e também por ter a possibilidade de estudar a matéria a partir dos excelentes apontamentos do seu colega e amigo Marcel Grossmann. Naturalmente, isto não era o tipo de coisas que provocassem boa impressão em Minkowski, o qual descreveu mais tarde Einstein como um “cão preguiçoso”.

2. O NASCIMENTO DA RELATIVIDADE

Einstein formulou a Teoria da Relatividade Restrita em 1905. O artigo original de Einstein não tem qualquer ideia geométrica e não faz qualquer referência explícita à necessidade de se juntarem o tempo e o espaço numa só entidade. Quando Minkowski ouviu falar destes trabalhos de Einstein, ficou muito surpreendido por se tratar do mesmo Einstein que fora seu aluno poucos anos antes. No entanto, escreveu-lhe uma carta, em 1907, na qual dizia:

“ Estive recentemente em Zurique e tive o prazer de ouvir falar em diversos locais do grande interesse despertado pelos seus sucessos científicos. ”

A partir dessa altura, Minkowski dedicou-se à Teoria da Relatividade, mas abordando-a de um ponto de vista matematicamente sofisticado, o que não foi do agrado de Einstein e que o levou a publicar dois artigos, juntamente com Jakob Laub (outro antigo aluno de Minkowski), a expor como era possível explicar os resultados de Minkowski com matemática clássica. Por esta altura Einstein afirmou: “Agora que os matemáticos se ocupam da Teoria da Relatividade, nem eu a percebo.”

O ponto de vista de Minkowski não só era sofisticado como também era geométrico. Com efeito, não só Minkowski recorreu à geometria não-euclidiana para estudar a Relatividade, como introduziu os chamados diagramas de Minkowski, como o da figura 3, para a explicar melhor. E embora estes diagramas se tenham tornado uma ferramenta pedagógica central no ensino da Relatividade, no livro [3], inteiramente dedicado à divulgação da Relatividade baseada na geometria, o nome de Minkowski nem sequer surge!¹

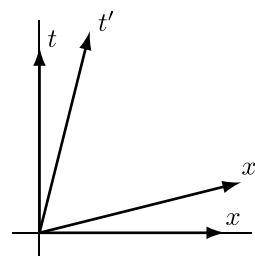


Figura 3: Diagrama de Minkowski.

Pela mesma altura, Minkowski passou a ter como assistente Max Born, que se tornaria amigo pessoal de Einstein e que viria a receber o Prémio Nobel da Física em 1954. Born também estava muito interessado na Teoria da Relatividade (foi, aliás, por isso mesmo que Minkowski quis tê-lo como assistente), o que foi importante para a divulgação das ideias de Minkowski. Com efeito, Minkowski morreu inesperadamente em 1909, com apenas 44 anos, e, no ano seguinte, Born publicou um artigo com as últimas ideias que Minkowski estava a desenvolver.

¹ Pode ser vista em <https://www.khanacademy.org/science/physics/special-relativity/a/minkowski-spacetime-2016-01-18T22:56:14.718Z> uma série de vídeos didáticos sobre o espaço-tempo e os diagramas de Minkowski.

3. APÓS MINKOWSKI

Lentamente, Einstein foi-se apercebendo de que a abordagem de Minkowski, contrariamente à sua impressão inicial de que consistia unicamente numa “erudição supérflua”, era fundamental para poder incorporar a Gravidade na Teoria da Relatividade. Por exemplo, em 1912 escreveu que supor que o espaço é plano “contém hipóteses físicas que poderão acabar por se revelar incorretas”. Com efeito, à medida que se ia aproximando da Teoria Geral da Relatividade, Einstein foi tomando consciência de que quer a abordagem geométrica da Relatividade quer a fusão do espaço com o tempo eram fundamentais.

No seu artigo de 1916 mencionado no início deste texto, Einstein escreveu que “a generalização da Teoria da Relatividade foi consideravelmente facilitada por Minkowski, um matemático que foi o primeiro a aperceber-se da equivalência formal entre as coordenadas espaciais e a coordenada temporal e que empregou isto na construção da teoria” e viria a escrever mais tarde que, sem ela, “a Teoria Geral da Relatividade [...] talvez não tivesse passado da infância”.

Einstein não foi o único físico de renome a aperceber-se da importância da contribuição de Minkowski. Em 1955, no decorrer de uma conferência comemorativa dos 50 anos da Teoria da Relatividade, Max Born afirmou:

“ [A] Teoria da Relatividade restrita não foi, afinal, uma descoberta de um só homem. A contribuição de Einstein foi a pedra angular de um arco que Lorentz, Poincaré e outros construíram e que viria a suportar a estrutura erigida por Minkowski. ”

REFERÊNCIAS

- [1] Gabriel Ferraro, *Einstein's Space-Time: An Introduction to Special and General Relativity*, Springer-Verlag, 2007.
- [2] José Carlos Santos, “Minkowski, Geometria e Relatividade”, *Revista Brasileira de História da Matemática* 9, n.º 18, 2009, pp. 115–131.
- [3] Jacob T. Schwartz, *Relativity in illustrations*, Dover, 1989.



Centro de Formação

spm
SOCIETY OF PORTUGUESE MATHEMATICS

O Centro de Formação da Sociedade Portuguesa de Matemática continua a contribuir para um contínuo aprofundar de conhecimentos nas diversas áreas da Matemática.

Oferta de ações para 2016/2017 brevemente disponível!

www.formacao.spm.pt