

## Einstein

Eduardo Lage  
Universidade do Porto

### CITAÇÃO

Lage, E. (2019)  
Einstein,  
*Rev. Ciência Elem.*, V7(03):046.  
[doi.org/10.24927/rce2019.046](https://doi.org/10.24927/rce2019.046)

### EDITOR

José Ferreira Gomes,  
Universidade do Porto

### RECEBIDO EM

14 de setembro de 2019

### ACEITE EM

15 de setembro de 2019

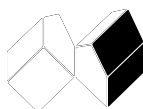
### PUBLICADO EM

16 de outubro de 2019

### COPYRIGHT

© Casa das Ciências 2019.  
Este artigo é de acesso livre,  
distribuído sob licença Creative  
Commons com a designação  
[CC-BY-NC-SA 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/), que permite  
a utilização e a partilha para fins  
não comerciais, desde que citado  
o autor e a fonte original do artigo.

[rce.casadasciencias.org](http://rce.casadasciencias.org)



Albert Einstein nasceu a 14 de março de 1879, em Ulm, numa Alemanha acabada de se unificar (1870). Três anos depois, nasceu sua irmã Maja, sendo estes os únicos filhos de Hermann Einstein e Pauline Koch, uma família judaica que vivia com dificuldades financeiras obrigada a procurar melhores condições em Munique e, mais tarde, em Milão e Pavia, deixando o jovem Albert entregue a amigos enquanto frequentava uma escola que ele detestava quer pela atmosfera prussiana quer pela exigência de cega obediência às autoridades, o que gerou no adolescente uma repulsa a tais atitudes que o marcariam para toda a vida. E é assim que, em 1896, pagou 3 marcos pelo certificado atestando não mais ser alemão, tornando-se, em 1901, cidadão suíço, um ano após ter obtido a licenciatura em Física pela Politécnica de Zurique, tendo alcançado classificações máximas em Física e Matemática.

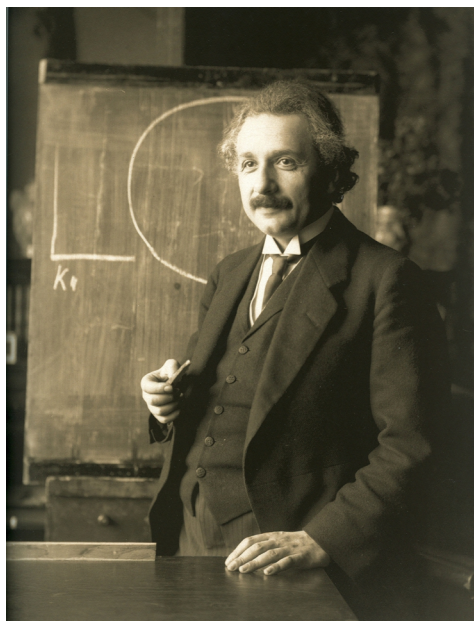


FIGURA 1. Einstein em 1921.

É na Escola Politécnica de Zurique que conhece Mileva Maric, colega de curso, com quem viria a casar em 1903, após o nascimento, em 1902, de uma filha, Lieserl, sobre a qual nada mais se conhece, aventando-se a hipótese de ter sido dada para adoção, face às enormes dificuldades financeiras do casal, mesmo após Albert ter obtido o seu primeiro emprego, como oficial de 2ª classe, no Departamento de Patentes, em Berna. Em 1904, nasce Hans Albert que viria, muitos anos mais tarde, a ser professor de hidráulica numa universidade ameri-

cana; e, em 1910, nasce Eduard, um filho que, parece, sofria de esquizofrenia. A situação financeira melhora ligeiramente quando Albert obtém, em 1904, uma posição permanente no Departamento de Patentes, e ainda mais quando, em 1909, já estrela de 1ª grandeza na Física, é nomeado professor convidado da Universidade de Zurique; mais tarde, em 1911, é professor titular na Universidade Karl-Ferdinand, em Praga. Não obstante, o casal separa-se em 1914, tendo a família regressado a Zurique enquanto Albert se desloca para Berlim, após Planck e Nernst lhe oferecerem uma posição como investigador, sem obrigações docentes, na Academia Prussiana de Ciências, onde é aceite, em 1913, com 21 votos a favor e um contra. O divórcio é decretado em 1918, nos termos do qual, Albert cede a Mileva o dinheiro, mas não o diploma e medalha, do prémio Nobel que só viria a receber em 1922 (retroativo a 1921). Em 1919, casa com sua prima Elsa Löwenthal, com quem já vivia, tendo o casal emigrado para os Estados Unidos em 1932, onde Albert é nomeado professor no Advanced Study Institute, Princeton, e onde vem a morrer em 18 de abril de 1955, sendo, por sua vontade, cremado no mesmo dia.

Neste sumário da vida de Einstein não foram consideradas as suas contribuições fundamentais para a Física; uma exposição mais detalhada será apresentada a seguir. Se tivéssemos que resumir, em duas palavras, a sua obra científica, essas palavras seriam “Invariâncias” e “Flutuações”, seguindo a feliz síntese de Abraham Pais no seu livro *Subtle is the Lord*, considerada a biografia oficial de Einstein. Realmente, os trabalhos de Einstein sobre o quantum de luz, o movimento Browniano, a opalescência crítica, a emissão estimulada ou a condensação do gás de Bose, definem-se, claramente, como estudos de flutuações; enquanto que as teorias da relatividade, restrita e geral, a cosmologia física, as ondas gravitacionais, ou a teoria do campo unificado, surgem, nitidamente, da sua procura de invariantes. Há outro aspeto a salientar: Einstein, até aos seus 45 anos, é um intuitivo, um inexcedível detetive das questões que tinham que ser respondidas, um impressionante imaginativo das “gedanken-experiments”, *i.e.*, das experiências conceituais que incidem diretamente no âmago dos problemas conduzindo à sua solução; já o Einstein mais velho apresenta-se muito mais formal, procurando equações e abstrações.

O primeiro Einstein é um dos principais arquitetos da, então, emergente e confusa teoria quântica; o segundo Einstein afasta-se decisivamente da “interpretação de Copenhaga” da Mecânica Quântica, desenvolvida por Heisenberg, Pauli, Dirac, Born, sob a tutela de Bohr, embora reconhecendo-lhe méritos, e com esse alheamento acaba por se afastar dos novos desenvolvimentos da Física, passando a ser, como ele próprio dizia, uma espécie de fóssil vivo. As discussões entre Einstein e Bohr, que nunca mancharam a estima e admiração mútuas, iniciadas no 5º Congresso Solvay (1927), sobre realismo e localidade em Física, constituem uma admirável crítica dos fundamentos, princípios e alcance da Física, e marcam, definitivamente, o fim da era clássica, determinista, objetiva e previsível, de que Einstein foi um dos maiores expoentes, e o surgimento da incerteza, da complementaridade e das limitações ao conhecimento, conforme argumentava Bohr, um dos maiores intérpretes da Física moderna.

Mas vejamos, agora, com algum detalhe, os principais trabalhos de Einstein, quase todos publicados nos *Annalen der Physik*, a principal revista científica até à 2ª Guerra Mundial.

1902 a 1904: Artigos sobre as definições de temperatura e entropia, irreversibilidade e flutuações, interpretadas à luz da relação de Boltzmann entre a entropia termodinâmica e o número de estados microscópicos acessíveis a um sistema isolado; também, artigos

sobre capilaridade e tensão superficial.

1905: É o *annus mirabilis* que vem revolucionar a Física.

março: Introduce o quantum de luz como hipótese da sua análise das flutuações de energia na radiação originada por um corpo negro, obtendo, dessa forma, a explicação do efeito fotoelétrico. Einstein considerou este ser o seu único artigo revolucionário e seria ele a justificar o prêmio Nobel.

abril: Tese de doutoramento, na Universidade de Zurique, onde apresenta uma nova estimativa das dimensões moleculares através de uma fórmula, por si desenvolvida, que relaciona a alteração na viscosidade de um fluido quando nele se dissolvem pequenas partículas (e.g., açúcar).

maio: Explicação do movimento Browniano, obtendo a relação entre o desvio médio quadrático da posição de uma partícula (e.g., grão de pólen) sujeita a choques erráticos, e o coeficiente de difusão definido, a nível macroscópico, pela lei de Ficke.

junho: Teoria da relatividade restrita, baseada em dois postulados - a velocidade da luz (no vazio) e as leis da Física devem ser as mesmas para todos os observadores em movimento relativo uniforme e retilíneo. Este artigo permanece com absoluta atualidade e veio revolucionar o conceito de simultaneidade e deduziu a transformação de Lorentz como uma relação cinemática entre as coordenadas espaço-temporais dos observadores em movimento, daí resultando que um relógio em movimento bate mais lentamente que um relógio igual parado e que uma régua em movimento é mais curta que uma régua igual parada.

novembro:  $E = mc^2$ , talvez a fórmula mais famosa da Física.

dezembro: Teoria completa do movimento Browniano.

1907: Princípio da equivalência. Na sua procura de obter uma descrição relativista do campo gravítico, Einstein percebe que um campo gravítico uniforme é equivalente a um referencial acelerado uniformemente, tendo, como consequência imediata, que a massa inerte (presente na lei fundamental da dinâmica newtoniana) é igual à massa gravítica (presente na lei newtoniana da atração universal).

Teoria dos calores específicos. Einstein utiliza a quantificação de um oscilador harmónico, como modelo simples de um sólido elástico, e obtém a sua capacidade calorífica que se desvia da lei de Dulong e Petit para baixas temperaturas, evoluindo para 0 quando a temperatura (absoluta) tende para zero, o que dá uma base forte ao princípio de Nernst (conhecido por 3º princípio da Termodinâmica). Este artigo inaugura a moderna teoria da Física do Estado Sólido.

1910: Opalescência crítica - a grande dispersão de luz nas vizinhanças do ponto crítico de um fluido são explicadas por Einstein como consequência das enormes flutuações de densidade.

1912-13: Vários trabalhos exploram consequências do Princípio da Equivalência. Exemplos: a não sincronização de relógios imóveis num campo gravítico, o desvio de um raio de luz pelo mesmo campo e o deslocamento para vermelho (i.e., menor frequência) de radiação que "suba" nesse campo. Einstein apercebe-se, também, que o formalismo de Minkowski é mais do que uma simples representação geométrica das relações cinemáticas

deduzidas na relatividade restrita, revelando-se como um mapa de uma pequena região do espaço-tempo, escondendo, por isso, que este apresenta curvatura, tal como um mapa de Portugal não revela a curvatura da Terra. Todos estes trabalhos são, ainda, incoerentes mas indicam aspectos essenciais que têm de ser incorporados na teoria final.

1915 novembro: Formulação definitiva da Teoria da Relatividade Geral, uma obra monumental do génio humano. A teoria modifica completamente os conceitos newtonianos sobre espaço e tempo absolutos, fundindo-os num espaço-tempo que depende do observador e que se revela moldável pela presença de matéria/energia. Um corpo livre, i.e., apenas submetido à gravidade, segue geodésicas, as linhas mais a direito em variedades curvas. A equação fundamental da teoria pode escrever-se como uma igualdade: Geometria (do espaço-tempo)=Matéria/Energia (presente nesses espaço-tempo). As coordenadas e os instantes não têm mais valor que latitudes e longitudes na esfera terrestre; em vez delas, surge como conceito fundamental o tensor métrico, 10 quantidades que são o equivalente do potencial newtoniano, mas vão muito além disso porque relacionam as medições de diferentes observadores, sendo elas próprias determinadas pelo conteúdo em massa/energia do espaço-tempo.

novembro: Einstein obtém a precessão de 43"/século terrestre para a órbita de Mercúrio, tal como há muito observado mas que permanecia inexplicável. Deduz, também, que um raio de luz rasante à superfície do Sol deve desviar-se de 1.66", o dobro de previsões newtonianas, e que viria a ser confirmado por Eddington, em 1919.

1916 junho: Previsão de ondas gravitacionais, com dois estados de polarização, detectadas, pela primeira vez, em 2015.

julho: Einstein reobtem a fórmula de Planck (1900) para a densidade de energia electro-magnética emitida por um corpo negro, utilizando a teoria atómica de Bohr (1913). Mas, para obter a fórmula de Planck, Einstein conclui que não basta um oscilador emitir ou absorver energia: o oscilador pode, espontaneamente, decaír para um nível mais baixo (com emissão do fóton) e o oscilador emite mais energia se a radiação já estiver presente, o que conduz ao conceito de emissão estimulada, a base de funcionamento dos lasers.

outubro: Assente no trabalho anterior, estuda as flutuações de posição de um pequeno espelho imerso no campo de radiação, concluindo que o quantum de luz não transporta, apenas, energia, mas também momento linear (igual à energia dividida pela velocidade da luz).

1917 fevereiro: Primeira aplicação da Teoria da Relatividade Geral ao Universo considerado como um fluido de densidade constante. Este modelo prevê um Universo em expansão, em aparente desacordo com as observações astronómicas conhecidas e que pareciam revelar um Universo estático. Einstein "pára" a expansão inventando a constante cosmológica mas que, mais tarde (1931), viria a considerar o maior erro da sua vida quando Hubble, em 1929, detecta o afastamento de galáxias e, portanto, a expansão do Universo. Compreende-se o "erro": teria sido uma previsão extraordinária! Mas até esse "erro" se revelaria fecundo: em 1998, verificou-se que a expansão do Universo está a acelerar, o que se explicaria pela presença dominante de "energia escura" cujo valor as teorias quânticas de campo prevêem demasiado grande, pelo que se ressuscita a constante cosmológica

para a cancelar, deixando um pequeno resíduo que seria o valor observado.

1918 fevereiro: Segundo artigo sobre ondas gravitacionais. A sua geração é “quadrupolar”, i.e., um objecto esférico, pulsando radialmente, não as emite, nem tão pouco duas massas iguais vibrando uma contra a outra. Emissão quadrupolar significa que uma esfera, para emitir, tem de se contrair no equador e alongar nos pólos, seguindo-se o movimento inverso.

1922 janeiro: Teoria unificada de campo. Einstein tenta, sem sucesso, incorporar os campos gravítico e electromagnético numa única descrição. Este projecto irá ocupar-lhe o resto da vida, mesmo após as descobertas de dois outros campos fundamentais - o forte, que mantém a coesão dos núcleos, e o fraco, responsável pela desintegração do neutrão - tornando ainda mais ilusórios os sonhos de unificação.

1924 dezembro: Estatística de Bose-Einstein. Surge através de um trabalho de Bose onde é deduzida a distribuição de Planck tratando o campo de radiação como uma colecção de partículas, os quanta de luz ou fotões. Einstein considera a mesma estatística aplicada a um gás de partículas com massa. Deduz a equação de estado mas encontra um resultado inesperado: parece não haver solução para temperaturas inferiores a uma temperatura crítica definida pela densidade do gás. Isso não o impede de estudar as flutuações de densidade àquela temperatura, encontrando uma expressão muito semelhante à que ele próprio havia encontrado, em 1905, no estudo das flutuações da energia na radiação do corpo negro. E se, em 1905, aquele estudo o fez sugerir que a radiação se comporta como se fosse constituída por partículas, agora sugere que matéria pode apresentar um comportamento ondulatório, propondo mesmo que se efectuem experiências de difracção em feixes moleculares.

1925 fevereiro: Encontra a solução para o problema anterior. Abaixo da temperatura crítica, uma fracção finita das partículas ocupa o estado fundamental. É a condensação de Bose-Einstein, observada, pela primeira vez, em 1995. Esta transição de fase não é idêntica à habitual condensação de um vapor em liquido: trata-se, na verdade, de uma condensação no espaço dos momentos lineares e o condensado pode ser considerado um sistema com entropia nula (porque se encontra no estado quântico fundamental). Este modelo é o ponto de partida para o estudo de superfluidos (como o He4), embora aí tenham que ser consideradas as interacções atómicas; e é, também, fundamental para o estudo de supercondutores porque, embora formados por fermiões (electrões ou He3), as interacções entre as partículas levam à formação de pares (os pares de Cooper), no espaço dos momentos, comportando-se o par de fermiões como um bóson que, assim, já pode condensar formando o superfluido eléctrico que é o supercondutor.

1935: Com Podolsky e Rosen, analisa o comportamento de duas partículas quanticamente emparelhadas, para concluir que a Mecânica Quântica é incompleta pois, segundo os autores, parece ser possível efectuar previsões certas sobre variáveis conjugadas, i.e., as relações de incerteza de Heisenberg não seriam verificadas. Esta célebre experiência ideal, conhecida por EPR, continua a série de debates com Bohr sobre realismo e

localidade. Em 1964, John Bell corporizou os debates numa desigualdade testável: se a interpretação de EPR estivesse correcta, a desigualdade teria que ser verificada, enquanto que a Mecânica Quântica prevê a violação da desigualdade. Em 1984, Alain Aspect, usando fótons emparelhados, obteve, pela primeira vez, evidência experimental da violação da desigualdade de John Bell.

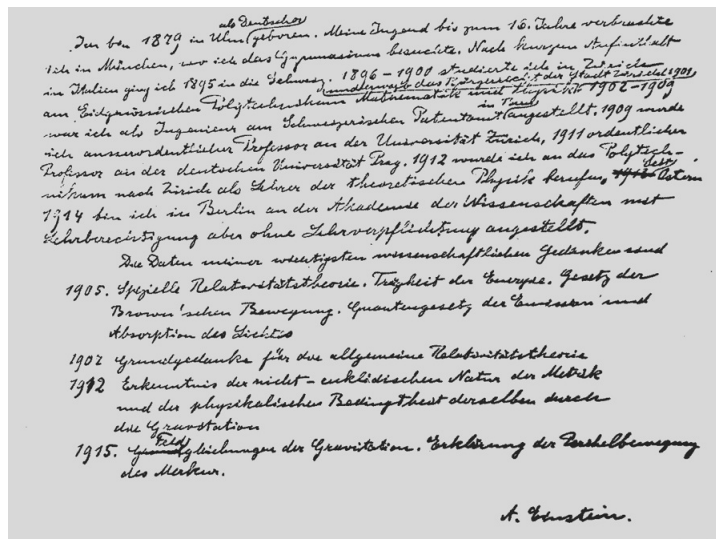


FIGURA 2. Biografia de Einstein.

Este breve sumário ignorou as sete patentes registadas por Einstein, entre as quais um método de refrigeração baseado em campos magnéticos. E ignorou, também, a célebre carta que Einstein enviou a Roosevelt (1939), alertando para a possibilidade de fabricação de armas nucleares pelos nazis, a qual iria despoletar o projecto Manhattan que conduziria a Hiroshima e Nagasaki. E, igualmente, ignorou o convite de Ben Gurion para que Einstein se tornasse no primeiro presidente de Israel (Einstein recusou). Estes, e outros factos históricos, encontram-se na bibliografia anexa, mas distrairiam o leitor da componente científica de Einstein, a única que verdadeiramente interessa neste artigo. A sua curta autobiografia manuscrita diz tudo (FIGURA 2).

## REFERÊNCIAS

- <sup>1</sup> Abraham, P., *Subtle is the Lord*, ISBN-13: 978-0198539070.
- <sup>2</sup> Abraham, P., *The genius of Science*, ISBN-13: 978-0198506140.
- <sup>3</sup> Levenson, T., *Einstein in Berlin*, ISBN-10: 096575006X.