

Ficha Técnica

Título original: *30 Second Einstein*

Copyright © The Ivy Press Limited, 2018

Tradução © Editorial Presença, Lisboa, 2019

Tradução: Sofia Naique

Revisão: *Florabela Barreto*/Editorial Presença

Composição: *Ana Seromenho*

Impresso na China

Depósito legal n.º 460856/19

1.ª edição, Lisboa, fevereiro, 2020

Todos os direitos relativos à
chancela Jacarandá

encontram-se reservados

para a Editorial Presença, S.A.

Estrada das Palmeiras, 59

Queluz de Baixo

2730-132 Barcarena

info@jacaranda.pt

www.jacaranda.pt

facebook.com/jacarandaeditora

instagram.com/jacaranda_editora/

ÍNDICE

- 6 Introdução
- 10 Matéria**
- 12 GLOSSÁRIO
- 14 Uma Ficção Conveniente
- 16 Determinar a Dimensão Molecular
- 18 Aventuras em Mecânica Estatística
- 20 O Movimento Browniano
- 22 **Perfil: Satyendra Bose**
- 24 Partículas de Perrin
- 26 Estatística de Bose-Einstein
- 28 Condensado de Bose-Einstein
- 30 Aventuras Quânticas**
- 32 GLOSSÁRIO
- 34 A Física Inovadora de Einstein
- 36 Quantum de Luz
- 38 A Prova de Millikan
- 40 Vibrações Quantizadas
- 42 **Perfil: Max Planck**
- 44 Dualidade Onda/Partícula
- 46 Emissão Estimulada
- 48 Teoria da Relatividade Especial**
- 50 GLOSSÁRIO
- 52 Das Patentes à Relatividade
- 54 Sonhando com a Luz
- 56 Sobre a Eletrodinâmica dos Corpos em Movimento
- 58 Adeus ao Éter
- 60 **Perfil: Hermann Minkowski**
- 62 Simultaneidade
- 64 Distância, Tempo e Massa
- 66 Espaço-Tempo
- 68 Einstein e o Mundo**
- 70 GLOSSÁRIO
- 72 Energia e Inércia dos Corpos
- 74 $E=MC^2$
- 76 A Cadeia
- 78 **Perfil: Leó Szilárd**
- 80 Tornar Real a Equação de Einstein
- 82 A Carta para Roosevelt
- 84 Uma Voz pela Paz
- 86 A Patente de Einstein
- 88 Resistência ao Quantum**
- 90 GLOSSÁRIO
- 92 Cartas para Born
- 94 A Fenda de Einstein
- 96 Pesando o Fotão
- 98 Variáveis Ocultas
- 100 **Perfil: Niels Bohr**
- 102 EPR
- 104 O Triunfo do Entrelaçamento
- 106 Realismo e Realidade
- 108 Teoria da Relatividade Geral**
- 110 GLOSSÁRIO
- 112 Adeus, Referencial de Inércia
- 114 O Pensamento mais Feliz
- 116 Relógios Pesados
- 118 Uma Curva no Espaço e no Tempo
- 120 **Perfil: Arthur Eddington**
- 122 Precisando de Uma Nova Matemática
- 124 O Desafio de Hilbert
- 126 As Equações
- 128 A Expedição de Eddington
- 130 O Universo de Einstein**
- 132 GLOSSÁRIO
- 134 Buracos Negros
- 136 Lentes Gravitacionais
- 138 Ondas Gravitacionais
- 140 A Constante Cosmológica
- 142 Universo em Expansão
- 144 Buraco de Minhoca
- 146 Arrastamento de Referenciais
- 148 **Perfil: John Wheeler**
- 150 Teoria do Campo Unificado
- 152 Apêndices
- 154 Fontes
- 156 Notas sobre os Colaboradores
- 158 Índice Remissivo
- 160 Agradecimentos

INTRODUÇÃO

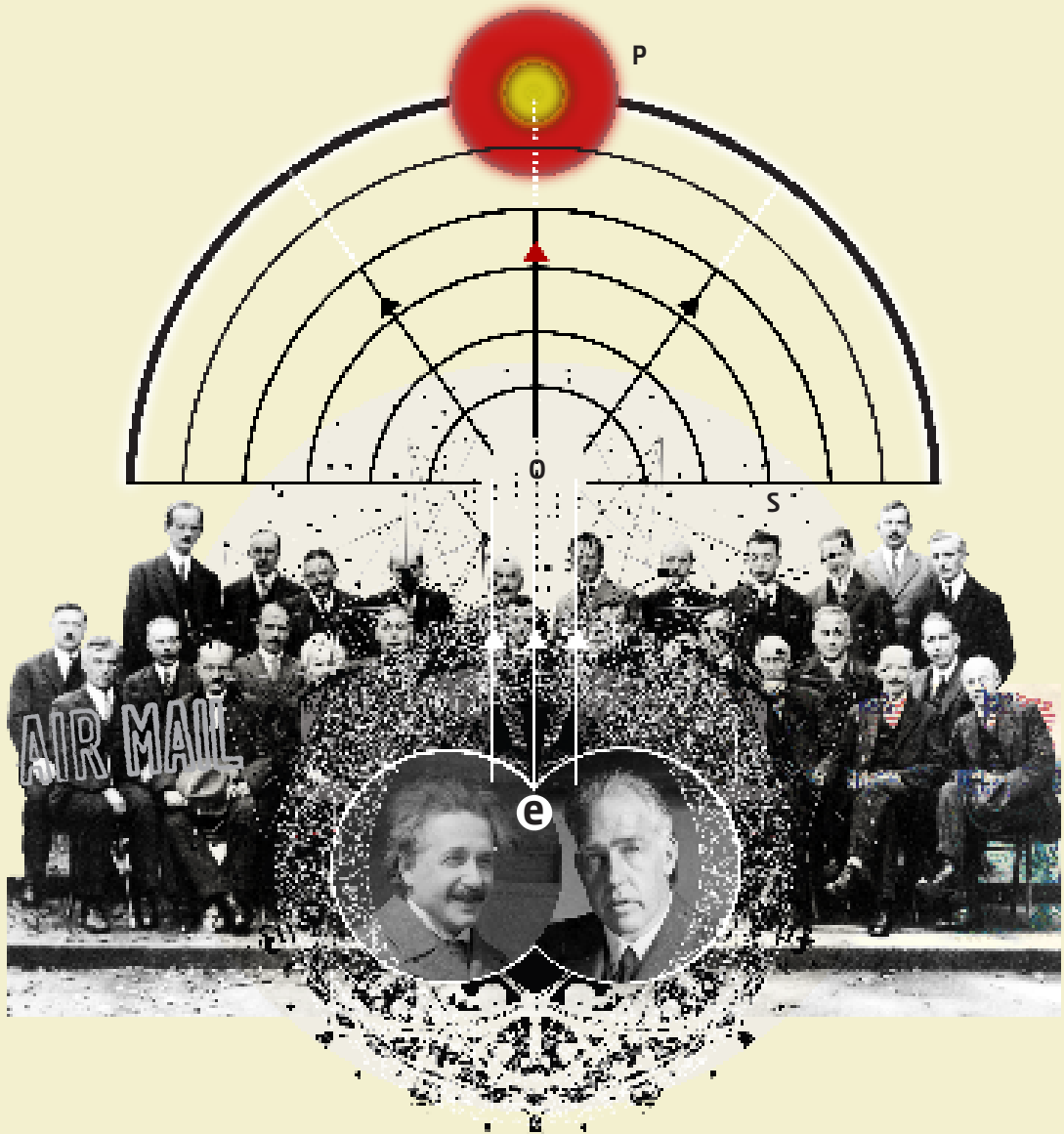
Brian Clegg

É simples imaginar Albert Einstein como um génio que se dedicou à ciência e que, por si só, transformou a forma como compreendemos o mundo. Porém, como disse o historiador Thony Christie, «Não existem génios isolados; a ciência é um percurso e um trabalho coletivos, de colaboração entre muitos». É certo que Einstein não trabalhou isoladamente, tendo desenvolvido as suas ideias a partir do trabalho dos seus predecessores. No entanto, em termos de contribuição, por um único indivíduo, para o desenvolvimento da física, é claro que só Newton está ao nível de Einstein.

Einstein foi o primeiro cientista a receber a adulação dos meios de comunicação social. Talvez seja essa a razão por que se verificam tentativas frequentes de depreciação do seu trabalho. Qualquer pessoa que trabalhe na área de comunicação em ciência recebe, de forma regular, livros e artigos que pretendem demonstrar que Einstein estava errado. É curioso que a lista dos dez mais importantes físicos da história, publicada pelo jornal *Observer* em 2013, apresentava Einstein somente no quarto lugar, depois de Newton, Bohr e Galileu. É verdade que é exagerada a atenção dedicada a alguns cientistas por parte dos meios de comunicação social. No entanto, tal não pode ser dito em relação a Albert Einstein.

Quatro Artigos Essenciais

No intervalo de um ano, sem estar ligado a qualquer universidade, Einstein publicou quatro artigos que tiveram um impacto enorme. Um desses artigos descreve o mecanismo que está na base do efeito fotoelétrico, propulsionando o desenvolvimento da física quântica e conduzindo à atribuição do Prémio Nobel a Einstein. Um segundo descreve a natureza do movimento browniano, provando a existência do átomo. Um terceiro artigo apresenta a teoria da relatividade especial. No quarto, Einstein estabelece a equivalência entre massa e energia através da equação mais conhecida no mundo: $E=mc^2$. Todo este trabalho antecedeu aquele que Einstein desenvolveu no âmbito da física quântica e também a sua teoria da relatividade geral.



Einstein não era uma pessoa entre muitas. Repudiava a estrutura rígida das escolas alemãs, renunciou à nacionalidade alemã na sua adolescência, teve a sua primeira posição na universidade aos 30 anos e acreditou resolutamente na paz toda a sua vida.

Como funciona este livro

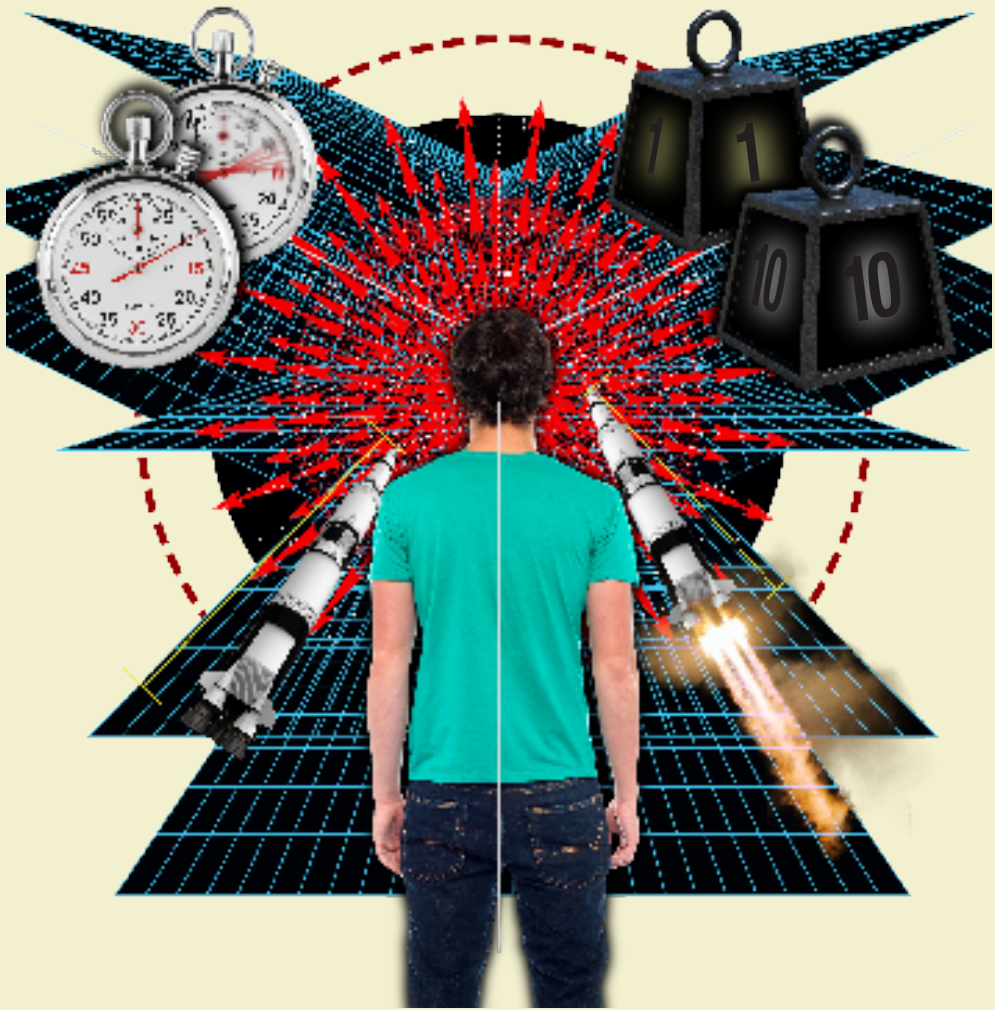
Cada tópico é clara e concisamente apresentado num único parágrafo, a que chamamos **30 segundos de teoria**. Para que tenha uma perspetiva global, apresentamos a ideia central do tópico numa única frase:

Resumo em 3 segundos. Finalmente, **Pensamento para 3 minutos** desenvolve o tema, analisando as consequências de uma teoria ou explorando algum aspeto surpreendente. Cada capítulo apresenta ainda a biografia de um cientista pioneiro na área, que se associou a Einstein, como, por exemplo, Minkowski, Bohr ou Bose.

Em **Matéria** analisamos o trabalho inicial de Einstein em relação ao átomo, observando como aplicou a estatística para explicar o seu comportamento. Em **Aventuras Quânticas**, exploramos a sua contribuição para a física quântica, trabalho que precedeu a formulação da sua **Teoria da Relatividade Especial**. Esta teoria descreve como a relação entre espaço e tempo é condicionada pelo facto de a velocidade da luz ser constante. Terá também conduzido Einstein a compreender a relação entre matéria e energia, que está na base da energia nuclear e da bomba atómica. Em **Einstein e o Mundo** analisamos estes aspetos do percurso de Einstein e discutimos a sua imprevisível patente para um frigorífico!

Em **Resistência ao Quantum** exploramos como Einstein desafiou os seus contemporâneos, em particular Niels Bohr, relativamente a hipóteses formuladas no âmbito da física quântica. Estas discussões terão conduzido Einstein ao fenómeno extraordinário do entrelaçamento quântico, cuja formulação é posterior à da sua **Teoria da Relatividade Geral**. Esta é a obra-prima de Einstein, que conduziu a uma nova compreensão do **Universo de Einstein**.

Adequadamente, a obra de Einstein percorre as dimensões desde o mundo diminuto do átomo e da teoria quântica àquela que caracteriza os limites do cosmo.





MATÉRIA



MATÉRIA

GLOSSÁRIO

ciência dos coloides A palavra «coloide» tem origem no termo grego «*kolas*» (que significa «que cola»). Neste tipo de sistema verifica-se a suspensão de partículas insolúveis numa outra substância. A ciência dos coloides estuda o movimento de partículas suspensas, tendo assim conduzido ao movimento browniano.

corrente de convecção Num fluido cuja temperatura é diferente em pontos distintos, as partículas a temperatura superior deslocam-se mais rapidamente e para cima enquanto aquelas a menor temperatura se movimentam mais devagar e para baixo. Estes movimentos no fluido repetem-se, designando-se correntes de convecção. Estas são responsáveis por inúmeros fenómenos naturais.

lei de Dulong-Petit No início do século XIX, os físicos franceses Pierre Dulong e Alexis Petit estabeleceram que a quantidade de calor necessária para aumentar em $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a temperatura de uma substância sólida é proporcional ao seu peso atómico — uma mole dessa substância requer uma quantidade constante de calor. Esta é a lei de Dulong-Petit, mais tarde revista por Einstein à luz da quantização da energia.

número de Avogadro Também conhecido como a constante de Avogadro, designa o número de átomos ou moléculas existentes numa mole de uma qualquer substância. Coincide com o número de átomos em 12 gramas de carbono-12 e é aproximadamente igual a $6,022 \times 10^{23}$. No século XIX, o cientista italiano Amedeo Avogadro admitiu que o volume de um gás (a uma dada pressão e temperatura) é proporcional ao número de átomos ou de moléculas nele contido, independentemente da natureza desse gás. Depois de definido, esse número passou a ter o seu nome.

número quântico de spin As partículas quânticas possuem uma propriedade intrínseca chamada número quântico de *spin* (ou simplesmente *spin*), semelhante ao momento angular (que caracteriza a rotação de um corpo em torno de um eixo), mas esta interpretação clássica do termo *spin* não é adequada no plano quântico. O número quântico de *spin* é um inteiro ou uma fração, cujos valores estão definidos. Os férmions (partículas elementares como os eletrões ou os quarks) possuem *spin* com valor igual a $1/2$, $3/2$, $5/2$, etc. Pelo contrário, os bósons (partículas mediadoras de energia como o fóton e o glúon) possuem *spin* com valor inteiro.

plasmon Uma quasipartícula que ocorre em plasma ou metal. Um plasma resulta, em geral, do aquecimento de um gás até que parte dos átomos no gás liberte os seus elétrons, daí resultando uma mistura de elétrons e íons positivos. Os elétrons livres em plasmas ou metais movimentam-se, conduzindo energia elétrica. Se um grupo de elétrons for deslocado em certa direção, quando libertado irá retomar a posição anterior. Tal como com uma mola, pode então verificar-se oscilação e esse movimento parece ser conduzido por partículas quânticas. Os plasmons influenciam as propriedades do plasma. O material será, por exemplo, transparente à luz cuja frequência é superior à da vibração.

pressão osmótica No processo de osmose, considera-se um solvente no qual está dissolvida uma outra substância (o soluto). Esta solução ocupa duas áreas, separadas por uma membrana que permite a passagem do solvente, mas não a do soluto. A osmose é o processo de passagem do solvente do meio mais diluído para o meio menos diluído até que a solução tenha a mesma concentração dos dois lados. Este é um processo importante em biologia, em que frequentemente se observam

solventes a atravessarem membranas semipermeáveis. A pressão osmótica é a pressão necessária para impedir este movimento do solvente, refletindo as características do processo osmótico.

quasipartículas Diversos tipos de vibração ou excitação em sólidos podem ocorrer como se resultassem do movimento de partículas quânticas através do material. Não existem partículas físicas independentes do material; no entanto, as quasipartículas comportam-se como se o fossem. Entre as quasipartículas incluem-se o fonão (vibrações quantizadas semelhantes às sonoras), o excitão (a combinação de um elétron com o buraco que ele deixa num semiconductor), o polariton (a junção de um excitão com um fotão), o magnon (a ação coletiva do *spin* de um elétron num cristal, responsável por magnetismo permanente) e o plasmon.

vitalismo Uma corrente de pensamento segundo a qual os objetos inanimados são distintos dos organismos vivos por estes últimos possuírem «energia vital». O vitalismo foi uma explicação inicial (e incorreta) para o movimento, observado sob um microscópio, de grãos de pólen numa suspensão de água. Na verdade, este é um exemplo de movimento browniano.

UMA FICÇÃO CONVENIENTE

30 segundos de teoria

RESUMO EM 3 SEGUNDOS

Até 1900 não existia prova laboratorial da existência do átomo. Ninguém podia assegurar se o átomo era de facto real ou uma ficção útil.

PENSAMENTO PARA 3 MINUTOS

Em 1890, Lorde Rayleigh estimou a dimensão do átomo (em termos estritos, da molécula). Lorde Rayleigh adicionou azeite a uma superfície de água. Supôs que esta massa de azeite teria a dimensão de uma molécula quando assumisse a sua maior extensão sobre a água. A sua estimativa, de 16×10^{-8} cm, estava próxima do valor que Agnes Pockels obteve dois anos mais tarde. Estava também muito próximo do valor moderno. No entanto, não havia evidência laboratorial do átomo ou da molécula.

O conceito de átomo como elemento fundamental da matéria foi estabelecido pelos filósofos gregos Leucipo e Demócrito no século v a.C. Existiam diversas formas de conceber o átomo. Isaac Newton e Daniel Bernoulli (cientista suíço do século XVIII) consideravam o átomo uma partícula real, invisível e de pequena dimensão. Outros consideravam o átomo uma ficção útil, semelhante às fronteiras entre nações: objetos úteis ao estudo do Universo, mas desprovidos de realidade física.

No final do século XIX, muitos cientistas consideravam o átomo uma entidade real, sem terem dela evidência laboratorial: para eles, o átomo era uma hipótese de trabalho, como é hoje a matéria escura. Ludwig Boltzmann desenvolveu a sua «teoria cinética» dos gases nos anos 1870-90, admitindo que um gás é uma massa de átomos que se movem de forma frenética. Enfrentou a oposição de céticos (em relação à teoria atômica) como Wilhelm Ostwald e Ernst Mach. Estes acreditavam que o conceito essencial é o da energia, e que a ciência não deve aceitar conceitos desprovidos de prova física.

A crítica levou Boltzmann a sentir-se marginalizado e deprimido. Citando Abraham Pais (biógrafo de Einstein), «é difícil imaginar Boltzmann evidenciando, sob ataque, a reação séria e animada com que Einstein lidou com a questão da realidade molecular». Albert tinha a personalidade exigida para desenvolver ideias totalmente inovadoras.

TÓPICOS RELACIONADOS

Ver também
DETERMINAR A DIMENSÃO MOLECULAR
página 16

O MOVIMENTO BROWNIANO
página 20

PARTÍCULAS DE PERRIN
página 24

BIOGRAFIAS EM 3 SEGUNDOS

DEMÓCRITO
c.460–c.370 AEC
Filósofo grego, considerado o «pai do átomo»

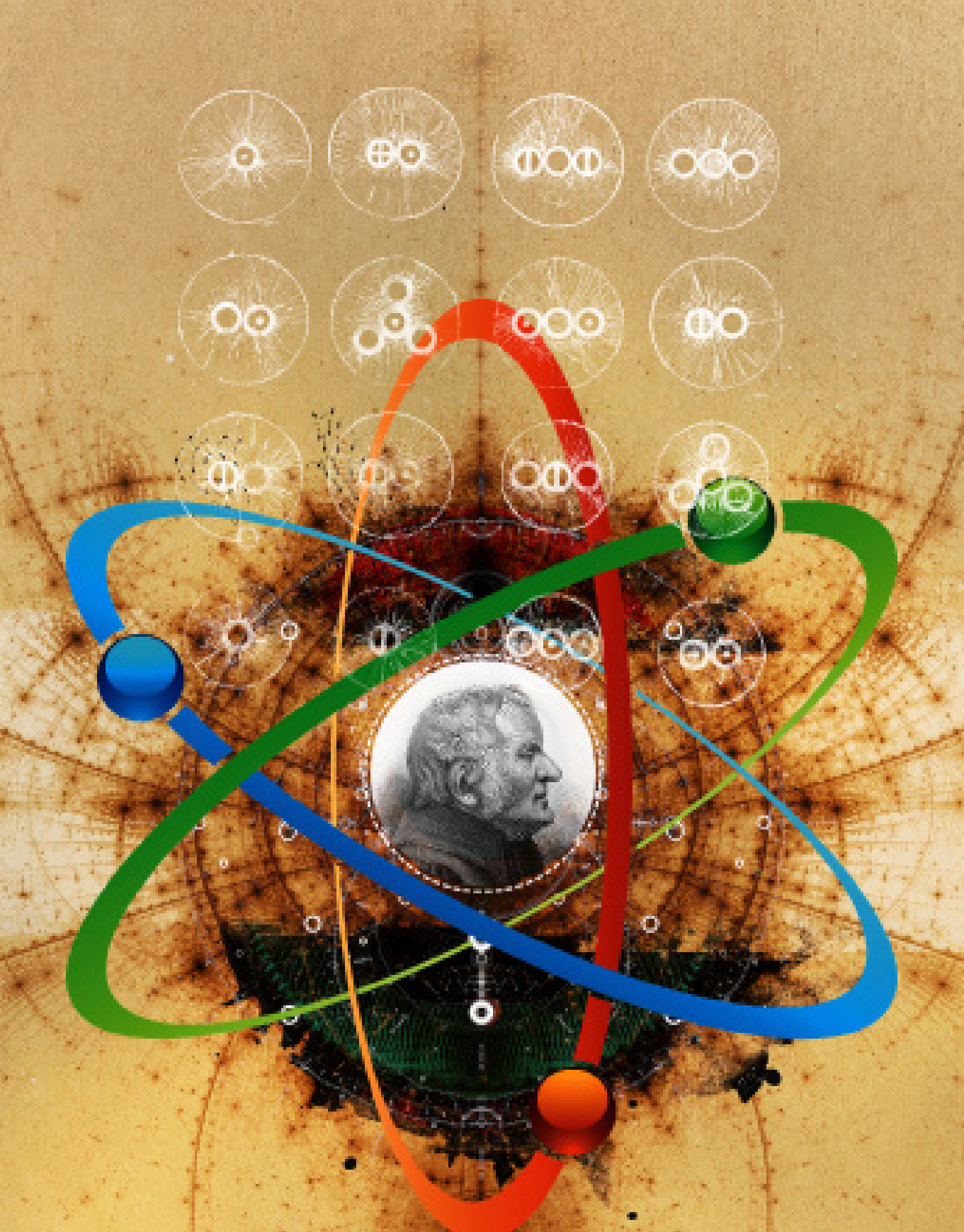
JOHN DALTON
1766–1844
Químico inglês que propôs a teoria atômica moderna em 1803

ERNST MACH
1838–1916
Físico austríaco que olhava a hipótese atômica, no início do século XX, com grande ceticismo

TEXTO EM 30 SEGUNDOS

Philip Ball

John Dalton aplicou o antigo conceito de átomo para explicar o comportamento dos elementos químicos.



DETERMINAR A DIMENSÃO MOLECULAR

30 segundos de teoria

No início da sua carreira, Einstein poderia ter sido confundido com um químico. Os conceitos de átomo e molécula estimulavam a sua curiosidade: qual é a sua dimensão, quais são as forças que agem entre eles, qual é o seu movimento em sólidos, líquidos ou gases? Einstein submeteu a sua primeira tese à Universidade de Zurique em 1901. Em 1902, por razões desconhecidas, retirou a submissão dessa tese. Por isso, não sabemos exatamente qual era o seu conteúdo, embora se admita que fosse uma discussão sobre forças moleculares. Einstein apresentou uma nova tese em julho de 1905. Desta vez, o tema da tese foi escolhido por ele: as moléculas, um novo método para estimar a sua dimensão e também estimar o número de moléculas (constante de Avogadro) contidas na medida universal da química para a quantidade de matéria (que se designa mole). O seu novo método era inovador, fazendo uso da teoria do movimento em fluidos (hidromecânica), da teoria relativa a soluções e pressão osmótica. Envolveria também a teoria da difusão (movimento aleatório, provocado por calor, de moléculas e pequenas partículas), que viria a surgir de novo no seu trabalho sobre movimento browniano. A tese — que Einstein também publicou como um artigo em *Annalen der Physik* nesse mesmo ano — era inteiramente teórica. Uma vez que a física teórica não fora reconhecida como uma disciplina por si mesma, este era um risco. A tese foi aceite em agosto.

RESUMO EM 3 SEGUNDOS

A tese de doutoramento de Einstein (em 1905, na Universidade de Zurique) descrevia um novo método para determinar a dimensão das moléculas, ao mesmo tempo oferecendo prova da sua existência.

PENSAMENTO PARA 3 MINUTOS

Einstein calculou, na sua tese de doutoramento, a dimensão da molécula de açúcar: tem um raio igual a 10^{-9} m, ou seja, um nanómetro. Este valor é razoavelmente correto, mas o valor que ele obteve para a constante de Avogadro, $2,1 \times 10^{23}$, é três vezes menor. Esta diferença resulta de um erro no raciocínio de Einstein, erro que foi identificado em 1911 por um seu aluno, Ludwig Hopf. Einstein refez os cálculos, obtendo valores mais próximos daqueles que são aceites na atualidade. Até ele cometia erros.

TÓPICOS RELACIONADOS

Ver também
UMA FICÇÃO CONVENIENTE
página 14

AVENTURAS EM MECÂNICA
ESTATÍSTICA
página 18

BIOGRAFIAS EM 3 SEGUNDOS

ALFRED KLEINER
1849–1916

Físico experimental, de origem suíça, que orientou Einstein no seu doutoramento. Einstein abandonara o trabalho com o seu anterior orientador, Heinrich Weber

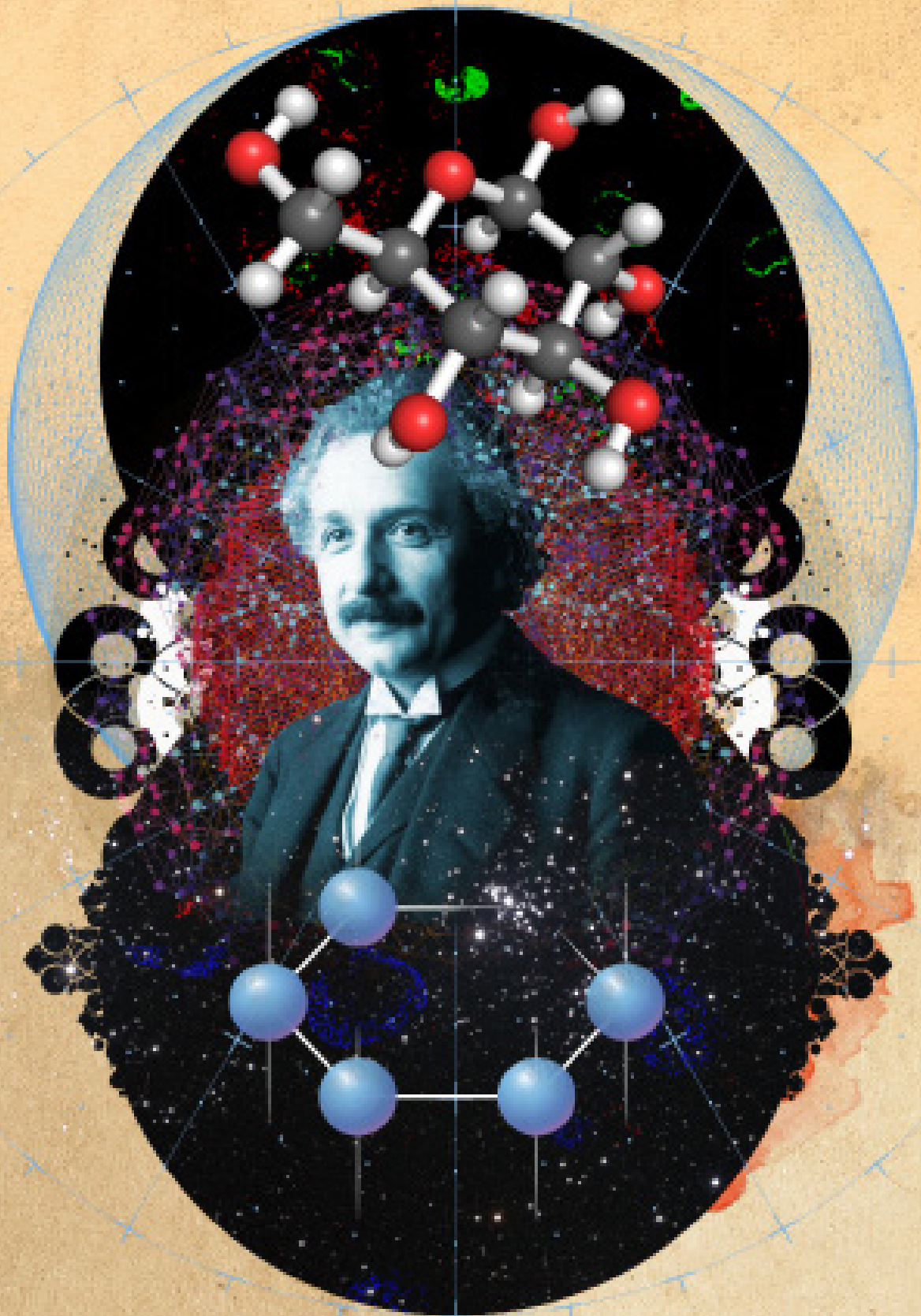
WILLIAM SUTHERLAND
1859–1911

Físico de origem austríaco-escocesa conhecido como um importante especialista em física molecular. Em 1905 definiu um método (similar ao de Einstein) para estimar a massa de uma molécula

TEXTO EM 30 SEGUNDOS

Philip Ball

Na sua tese de doutoramento, Einstein aplicou o movimento de fluidos na determinação da dimensão da molécula.



AVENTURAS EM MECÂNICA ESTATÍSTICA

30 segundos de teoria

As contribuições de Einstein para o estudo das propriedades da matéria são consideradas de menor importância, quando contrapostas ao seu trabalho nas áreas da relatividade ou dos fundamentos da teoria quântica. No entanto, estas contribuições são, por si só, um trabalho de enorme distinção. Grande parte dos resultados iniciais de Einstein nesta área baseia-se nos trabalhos de James Clerk Maxwell e Ludwig Boltzmann, que deduziram propriedades de sólidos, líquidos e gases com base no movimento e nas forças de interação entre os átomos e as moléculas que os formam. Este é um exercício em estatística: explicar a pressão, a densidade, assim como a termodinâmica que os relaciona. Pensava-se na altura que a perspetiva mecânica se estendia à descrição da matéria. De facto, acreditava-se que se aplicava à descrição mais fundamental da matéria. Entre 1902 e 1904, Einstein publicou três artigos que pretendiam dar novo fundamento à estatística mecânica. Esta sua nova aproximação, em fusão com a perspetiva quântica das vibrações atómicas (introduzida por Max Planck), permitiu que Einstein definisse a «capacidade calorífica» dos sólidos: o processo como os sólidos absorvem o calor. Este processo fora anteriormente descrito (de forma empírica) por uma relação chamada lei de Dulong-Petit. A análise das vibrações quantizadas de Einstein num modelo sólido permitiu-lhe fundamentar, por completo, esta lei, em 1907.

RESUMO EM 3 SEGUNDOS

O trabalho inicial de Einstein investigava como as propriedades observáveis e termodinâmicas da matéria se relacionam com a estatística das suas interações moleculares e a teoria molecular de calor.

PENSAMENTO PARA 3 MINUTOS

A mecânica estatística é uma área da física, discutivelmente mais importante do que a relatividade ou a teoria quântica. Conceitos como as alterações abruptas de estado (designadas transição de fase) ou os pontos de instabilidade e grande flutuação (designados pontos críticos) são aplicados em áreas como a física nuclear, física de polímeros, da supercondutividade e simulação de multidões. Na base, estas ideias abordam o comportamento coletivo na interação de muitos componentes.

TÓPICOS RELACIONADOS

Ver também
DETERMINAR A DIMENSÃO
MOLECULAR
página 16

O MOVIMENTO BROWNIANO
página 20

VIBRAÇÕES QUANTIZADAS
página 40

BIOGRAFIAS EM 3 SEGUNDOS

JOSIAH WILLARD GIBBS
1839–1903

Físico e químico norte-americano cuja monografia, de 1902, é considerada a base da mecânica estatística clássica

LUDWIG BOLTZMANN
1844–1906

Físico austríaco pioneiro na teoria estatística que aborda a matéria a nível microscópico, fundamentando-se na hipótese atómica

TEXTO EM 30 SEGUNDOS

Philip Ball

Recorrendo à estatística, Einstein previu o comportamento da matéria como a combinação de ações de múltiplos átomos e moléculas.

