EINSTEIN E A UNIFICADA D

Independentemente dos méritos ou falhas dos seus esforços, a busca da solução dos problemas mais profundos da física na unificação das interacções fundamentais é uma das marcas mais características do génio de Einstein e, certamente, um legado fundamental.

ORFEU BERTOLAMI E JORGE PÁRAMOS

Instituto Superior Técnico - Departamento de Física
Av. Rovisco Pais, 1
1049-001 Lisboa
orfeu@cosmos.ist.utl.pt
x_jorge@fisica.ist.pt

Suponhamos que, toldados pelo aborrecimento, deixamos uma sala de concerto enquanto a orquestra continua a tocar. Cada instrumento soar-nos-á mais grave. E, se as pernas o permitissem e nos deslocássemos mais depressa que a velocidade do som no ar, cerca de 340 metros por segundo? Deixaríamos de ouvir a orquestra, afastando-nos das ondas sonoras que dela se propagam. E se nos evadíssemos a uma velocidade superior à da luz, cerca de trezentos mil quilómetros por segundo, deixaríamos de ver a orquestra? E, do mesmo modo, o mundo circundante, cuja informação nos alcança como luz?

Este foi um dos muitos problemas com os quais se entreteve o jovem Einstein. Nascido na época áurea da física clássica, Albert desde cedo se debruçou sobre as noções básicas inerentes a todas as conquistas técnicas e de cálculo que os herdeiros de Newton, Descartes e Laplace haviam alcançado: o espaço/onde e o tempo/quando. E fazia-o com aquilo que qualquer jovem possui: a curiosidade.

O seu referencial teve como origem a cidade alemã de Ulm, na Baviera. O seu relógio bateu o primeiro instante em 14 de Março de 1879. E se pouco tinha a acrescentar a estas coordenadas, interrogava-se sobre a validade dos fenómenos habituais num Universo tão vasto quanto as perguntas que nos reserva.

A sua família juntava-se a tantas outras duma crescente classe média, incentivada pela industrialização da Alemanha imperial. O pai, Hermann Einstein, vendia material electroquímico e o seu tio Jakob patenteou um motor eléctrico que, embora engenhoso, não o foi ao ponto de competir com os das grandes companhias do ramo. Já a mãe, Pauline, *neé* Koch, era dotada de um espírito contempla-

ESCRIÇÃO NATUREZA

Movimento browniano

tivo e artístico. Pode-se especular que, em alguma medida, estas influências levariam Einstein a debruçar-se sobre questões físicas seguindo um critério mais estético do que técnico - sem descurar, contudo, as minúcias matemáticas.

Incapaz de se moldar segundo a tradição educacional alemã da época, livrescamente estéril e de disciplina militar, o jovem Albert acabou por se licenciar pela Escola Politécnica Helvética (ETH) em Zurique, corria o ano de 1900. No ano seguinte, saudou o dealbar do século como cidadão suíço, depois de ter abdicado da cidadania alemã. Além do choque intelectual entre a rigidez do país de origem e o seu espírito irrequieto, as pouco auspiciosas perspectivas de futuro para um judeu na Alemanha de então, terão certamente desempenhado um papel importante na sua decisão.

Falhou na obtenção do desejado lugar de professor auxiliar na ETH e, para sobreviver, foi para Berna onde, graças à intervenção do pai de um colega, se tornou funcionário de análise de patentes de terceira classe - a categoria mais modesta - na Repartição Federal de Patentes. Os colegas e superiores desde logo notaram a sua argúcia e capacidade de identificar o essencial duma invenção. No entanto, a sua evolução na profissão não foi particularmente notável - faltava-lhe a paixão, que o jovem funcionário encontrava na elaboração de novas ideias em física teórica. Entre 1901 e 1904 publicou cinco artigos sobre a termodinâmica e sua fundamentação estatística. Trabalho válido, mas insuficiente para lhe dar uma reputação sólida e, consequentemente, um lugar universitário. No entanto, destaque-se que, no relativo isolamento em que labutou, conseguiu redescobrir resultados semelhantes aos do grande físico norte-americano, Josiah Willard Gibbs (1839-1903). Sem o saber!

O ano de 1905 foi o seu *annus mirabilis*, publicando quatro artigos que revolucionaram a física. Ainda neste ano, submeteu um quinto artigo e obteve o doutoramento pela ETH. Foi para celebrar o centenário deste grande marco intelectual da humanidade que se decidiu, sob os auspícios da ONU, declarar 2005 o Ano Internacional da Física.

Naqueles artigos, Einstein resolve quatro questões. Começa com a origem do efeito fotoeléctrico, a dependência da energia dos electrões emitidos por superfícies metálicas com a frequência da luz incidente. Prossegue com a explicação do movimento browniano, a deslocação errática de partículas suspensas numa solução devida à colisão com moléculas de água. Descoberto pelo botânico escocês Robert Brown em 1827, a explicação do fenómeno termina a querela filosófica sobre a existência real de átomos, até então inobserváveis directa ou indirectamente. Apresenta a seguir a teoria da relatividade restrita e remata demonstrando a equivalência entre a massa m de um corpo e a energia E nele armazenada: a célebre equação $E = mc^2$, sendo c a velocidade da luz no vácuo, é consequência daquela teoria.

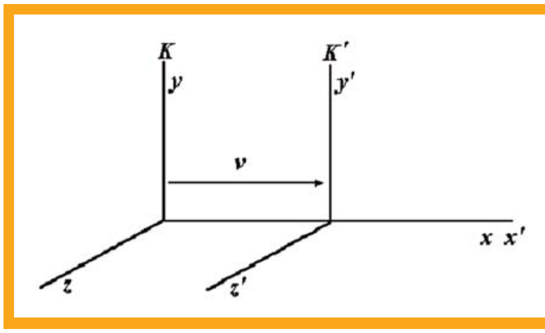
A ideia segundo a qual a energia dos electrões depende da frequência da luz incidente, fundamental para a compreensão do efeito fotoeléctrico, pode ser explicada pela arrojada hipótese dos *quanta*, formulada pelo físico alemão Max Planck (1858 - 1947) em 1900, de acordo com a qual a luz é composta por corpúsculos, os fotões, com energia proporcional à sua frequência. Esta hipótese, que o próprio Planck encarou apenas como uma interpretação matemática conveniente, mas desprovida de significado físico, vai contra a tendência da época: de facto, as equações do electromagnetismo, obtidas por James Clerk Maxwell (1831 - 1879), estabeleciam que a luz resultava da oscilação acoplada do campo eléctrico com o magnético - uma onda electromagnética.

A hipótese corpuscular da luz tinha tido a seu favor um dos pais da física, o inglês Isaac Newton (1642 - 1727), que defendera que as leis da reflexão da luz indicavam a sua natureza corpuscular. Ao renovar esta perspectiva, Einstein abriu caminho à noção de dualidade onda-partícula. Este conceito foi central na revolução introduzida pela mecânica quântica, ao atribuir às partículas microscópicas comportamentos ondulatórios. Em 1921, a explicação do efeito fotoeléctrico deu a Einstein o Prémio Nobel da Física.

A teoria da relatividade restrita veio resolver outra importante crise da física clássica. A mecânica newtoniana e a teoria electromagnética de Maxwell comungavam de uma propriedade tida como imperativa: a existência de leis físicas independentes do sistema de referência. Recordemos que as chamadas transformações de Galileu relacionam classicamente as posições medidas em dois referenciais com velocidade relativa constante. As equações da mecânica newtoniana são invariantes para esta transformação. Contudo, a sua aplicação às equações de Maxwell não as deixa invariantes. Ao invés, estas equações unificadoras das ciências da electricidade e do magnetismo, são invariantes para as chamadas transformações de FitzGerald-Lorentz, devidas a George Francis FitzGerald (1851 - 1901) e Anton Hendrik Lorentz (1853 - 1928), as quais relacionam as coordenadas (x,y,z,t) e (x',y',z',t') de dois referenciais de inércia K e K', de eixos paralelos e o segundo animado de velocidade v segundo o eixo dos xx em relação ao primeiro (ver figura), através de

$$\begin{aligned} x' &= \frac{x-vt}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \\ y' &= y \\ z' &= z \\ t' &= \frac{t-xv/c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \end{aligned} \qquad (1)$$

Einstein abandonou a linha que defendia que a divergência entre estas e as transformações de Galileu se devia a um hipotético "vento do éter", fluido intangível que suportaria a propagação das ondas electromagnéticas.



Do mesmo modo, negou que a última equação fosse apenas um conveniente artifício matemático, e compreendeu que o tempo, como o espaço, é relativo. Adoptou, pois, estas transformações e generalizou a mecânica de Newton. Para tal, baseou-se em dois postulados que a seguir se referem.

A mecânica de Newton supunha que as leis do movimento eram as mesmas em qualquer referencial inercial, mas a relatividade restrita estendeu esta invariância a toda a física, da mecânica ao electromagnetismo, da física estatística à nuclear, etc. Einstein supôs também que a velocidade da luz no vácuo, c, é constante e tem o mesmo valor independentemente da velocidade da fonte emissora ou do observador.

Destes postulados surgiram implicações que, à luz da mecânica de Newton, são paradoxais. Refira-se um exemplo: sendo a informação sobre acontecimentos transmitida pela luz a uma velocidade finita, a noção de simultaneidade depende do sistema de referência, ou seja, acontecimentos simultâneos num referencial não o são noutro. Einstein tinha como método o recurso a experiências conceptuais (*gedankenexperiment*) para explorar as consequências das suas propostas. Deste modo, concluiu também que comprimentos e intervalos de tempo não são iguais quando observados de sistemas de referência diferentes. Comparando as medições de um observador em repouso com as de outro em movimento, mostrou que os comprimentos surgem contraídos, enquanto que os intervalos de tempo são dilatados. Tal resulta das velocidades relativas dos observadores, dependendo estes efeitos do quadrado da razão entre a velocidade de deslocamento e a velocidade da luz, como se observa nas transformações de Lorentz. Dadas as velocidades presentes na vida quotidiana, estas correcções são habitualmente desprezáveis: recupera-se a noção de simultaneidade absoluta, as transformações de Galileu e outras implicações clássicas. No entanto, são relevantes, por exemplo, para o cálculo da posição e velocidade com o auxílio do sistema de navegação por satélite GPS (*Global Positioning System*), ou o projecto europeu Galileu. O mérito de Einstein residiu em compreender as limitações do senso comum, que surge assim claramente distinto da inteligência pura. Onde esta é ágil e objectiva, aquele baseia-se frequentemente em concepções *ad hoc* e em extrapolações falaciosas.

Do ponto de vista matemático, a relatividade restrita trata o espaço e o tempo em moldes semelhantes. Assim, é natural a sua unificação numa única entidade, o *continuum* espaço-tempo. Abandona-se a descrição separada do "onde" espacial e do "quando" temporal, em abono de uma localização de pontos no espaço-tempo: os acontecimentos. Esta formulação ultrapassa a mera conveniência ou apelo estético, já que a introdução de uma medida de distância entre acontecimentos do espaço-tempo permite formular um critério para a sua causalidade ou independência. Como é de esperar, a distância é definida como invariante para diferentes observadores: embora espaço, tempo e espaço-tempo sejam relativos, o nexo causal entre eventos é único e inequívoco.

Matematicamente, tal exprime-se pela generalização do habitual intervalo infinitesimal num espaço euclideano a três dimensões:

$$|d\vec{r}|^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 = \sum_{i,j} \delta_{ij} dx^i dx^j \ , \qquad (2)$$

onde $x^1 = x$, $x^2 = y$ e $x^3 = z$ e o somatório percorre os índices i e j de um a três. O símbolo δ_{ij} é o chamado delta de Kronecker, igual a um quando $i = j$ e zero no caso contrário (correspondendo, portanto, à matriz identidade 3×3). Por conveniência, empregaremos a partir daqui a chamada notação de Einstein, onde se omite o símbolo de somatório. Este encontra-se subentendido sempre que duas quantidades apresentarem índices repetidos em sub e em super-escrito. Assim, o intervalo infinitesimal euclideano (2) lê-se $|d\vec{r}|^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2 = \delta_{ij} dx^i dx^j$. Notando que, depois de um intervalo de tempo t, uma frente de onda emitida isotropicamente cobre uma esfera de equação $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$, onde $r = ct$, define-se o intervalo infinitesimal

$$ds^2 = -c^2 dt^2 + |d\vec{r}|^2 = \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \ , \qquad (3)$$

onde $\eta_{\mu\nu}$ é uma matriz diagonal de entradas (-1,1,1,1). Além das coordenadas espaciais, surge também a coordenada temporal $x^0 = ct$, somando-se agora os índices $\{\mu,\nu\}$ de zero a três. Note-se que esta última coordenada tem dimensão de comprimento, por consistência com as coordenadas espaciais. Esta definição corresponde a $ds^2 = 0$. Este intervalo é invariante em qualquer referencial de inércia, isto é, a distância quadri-dimensional entre dois acontecimentos não muda. Tal pode ser verificado pela substituição directa das equações (1) na expressão (3). Concluída a construção da relatividade restrita, que estabeleceu a invariância das leis da física para referenciais inerciais, o passo seguinte passava pela generalização para referenciais acelerados. Dez anos depois, Einstein alcançou a desejada generalização da relatividade restrita. Para construir esta teoria da relatividade geral, Einstein observou que, na vizinhança de um dado ponto, os efeitos de um campo gravitacional são equivalentes aos observados num referencial acelerado. Este é o Princípio de Equivalência, que incorpora a igualdade da massa gravitacional e inercial de um corpo. Tal já havia sido compreendido por Newton, e atribui-se a sua verificação experimental a Galileu (1564 - 1642), ao observar que duas massas distintas caíam com a mesma aceleração da torre de Pisa. Apoiado neste princípio, Einstein argumentou que, uma vez que um raio de luz é curvado num referencial acelerado, então o mesmo deverá acontecer num campo gravitacional. Tal foi confirmado em 1919 durante a observação de estrelas de referência no eclipse solar de 29 de Maio, por expedições de astrónomos britânicos que se deslocaram à ilha do Príncipe e a Sobral no Brasil. A confirmação da sua teoria catapultou Einstein para a fama mundial, tornando-o num ícone público.

Segundo a teoria da relatividade geral, a gravitação é uma consequência da geometria do espaço-tempo. Sendo influenciado pela matéria, espera-se que o espaço-tempo não seja absoluto e imutável, mas curvo. Esta curvatura pode ser entendida recorrendo à soma dos ângulos de um triângulo: é igual a 180 graus se se desenhar o triângulo numa superfície plana. No entanto, um triângulo com dois vértices situados no equador e outro num pólo terrestre apresenta uma soma de ângulos internos claramente superior a 180 graus.

Por força desta lógica, Einstein foi levado a concluir que a métrica do espaço-tempo é uma variável dinâmica, influenciada pela matéria. Ao propagar-se num espaço-tempo curvo, a luz é deflectida na vizinhança de corpos massivos e o movimento dos corpos celestes é determinado por essa curvatura. Na generalização da sua teoria, Einstein reescreveu o intervalo invariante

$$ds^2 = g_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu \ , \qquad (4)$$

em que $g_{\mu\nu}$ é uma nova quantidade dinâmica, a métrica - uma matriz 4×4 simétrica. A relatividade restrita, correspondendo ao caso de um espaço-tempo estático e plano, é um caso particular desta teoria, com uma métrica de coeficientes constantes, dita de Minkovski[1], $g_{\mu\nu} = \eta_{\mu\nu} = diag(-1,1,1,1)$. No caso geral, os coeficientes da métrica dependem da posição no espaço-tempo. A métrica é a grandeza fundamental da relatividade geral, e deve ser relacionada com a distribuição de matéria. Após um intenso esforço de formulação matemática, Einstein obteve a famosa equação homónima que relaciona a geometria do espaço-tempo com o seu conteúdo energético, sob a forma

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \,, \qquad (5)$$

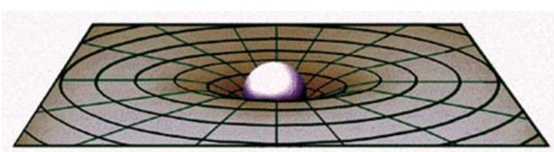
sendo $R_{\mu\nu}$ o tensor de Ricci e R o escalar de curvatura. Ambos são quantidades dadas em termos de combinações não-lineares de segundas derivadas da métrica, obtidas do chamado tensor de Riemann $R_{\lambda\mu\nu\sigma}$. Este é definido por

$$R_{\lambda\mu\sigma\nu} = \frac{1}{2}\left[\frac{\partial^2 g_{\lambda\sigma}}{\partial x^\nu \partial x^\mu} - \frac{\partial^2 g_{\mu\sigma}}{\partial x^\nu \partial x^\lambda} - \frac{\partial^2 g_{\lambda\nu}}{\partial x^\sigma \partial x^\mu} + \frac{\partial^2 g_{\mu\nu}}{\partial x^\sigma \partial x^\lambda}\right] + g_{\eta\kappa}\left[\Gamma^\eta_{\sigma\lambda}\Gamma^\kappa_{\mu\nu} - \Gamma^\eta_{\nu\lambda}\Gamma^\kappa_{\mu\sigma}\right] \qquad (6)$$

onde se introduziram os chamados símbolos de Christoffel,

$$\Gamma^\lambda_{\mu\nu} = \frac{1}{2} g^{\lambda\sigma}\left[\frac{\partial g_{\mu\sigma}}{\partial x^\nu} + \frac{\partial g_{\sigma\nu}}{\partial x^\mu} - \frac{\partial g_{\mu\nu}}{\partial x^\sigma}\right]. \qquad (7)$$

Um tensor de Riemann não-nulo indica que o espaço--tempo é curvo. Claramente, a relatividade restrita implica $R_{\lambda\mu\nu\sigma} = 0$ (um espaço-tempo plano), já que a métrica utilizada nesta teoria é constante e, como tal, tem derivadas parciais nulas.



Curvatura do Espaço-Tempo

No segundo membro da equação de Einstein (5), $T_{\mu\nu}$ é o chamado tensor energia-momento, representando a distribuição de matéria e energia (matéria fluida, poeira, energia electromagnética, etc.) em cada ponto. As incógnitas desta equação de Einstein são em geral as dez componentes independentes da métrica. Uma vez obtidas, estas especificam o movimento livre de uma partícula ou da luz, isto é, as geodésicas correspondentes. Na relatividade restrita estas geodésicas são rectilíneas, exprimindo o facto de o espaço-tempo ser plano. Na relatividade geral tal pode não suceder: o espaço-tempo é, em geral, curvo. Salta à vista a complexidade da teoria e a necessidade da sua comprovação experimental, de modo a justificar a sua superioridade relativamente à gravitação newtoniana. A previsão exacta do ângulo de deflexão da luz na vizinhança do Sol, verificada durante o eclipse total de 1919 e a explicação do excesso de 43 segundos de arco no avanço do periélio do planeta Mercúrio foram testes essenciais para a validação da teoria de Einstein.

Naturalmente, qualquer nova teoria tem de se harmonizar convenientemente com o paradigma anterior, no regime onde este apresente uma eficácia indubitável na descrição dos fenómenos. Assim, a relatividade geral tem o seu limite newtoniano, isto é, coincide com a descrição clássica da gravitação, quando as velocidades envolvidas são muito menores que a da luz e os campos gravíticos são "fracos". Neste limite, a equação de Einstein coincide com a equação de Poisson para o potencial gravítico,

$$\nabla^2 \Phi = -4\pi G\rho \,, \qquad (8)$$

donde resulta que a componente temporal da métrica, g_{00}, varia proporcionalmente ao potencial gravitacional clássico Φ, segundo

$$g_{00} = -1 - \frac{2\Phi}{c^2} \,. \qquad (9)$$

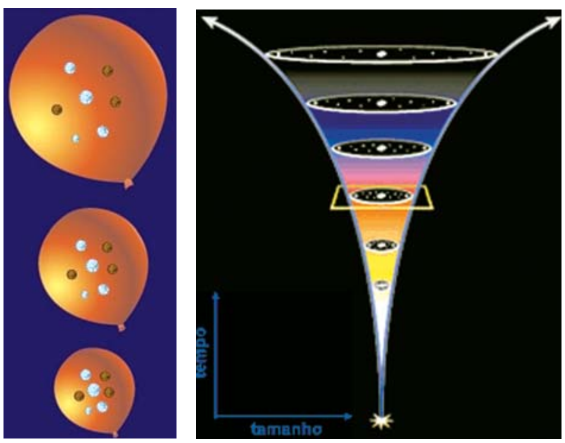
Como é de esperar, na ausência de gravidade, o respectivo potencial é zero e a métrica dinâmica $g_{\mu\nu}$ coincide com a métrica $\eta_{\mu\nu}$ que define o intervalo invariante na relatividade restrita.

A teoria da relatividade geral, permite que se descreva o Universo como um todo. Einstein concluiu que a relatividade geral, enquanto teoria global do espaço-tempo, era (e, por enquanto, é) a melhor teoria cosmológica, isto é, a mais apta a descrever a evolução e estado actual do Cosmos. Assim, em 1917, escreveu um dos artigos fundadores da cosmologia relativista, onde argumentou que a equação fundamental da relatividade geral deve ser modificada para garantir um universo estático. Nascia assim o chamado termo cosmológico ou constante cosmológica Λ, responsável pela força universal repulsiva que contrabalançaria a atracção mútua dos corpos. Quase trezentos anos antes, Newton havia concluído, ao especular sobre a estrutura do Universo, que uma força repulsiva era necessária para a estabilidade do Universo. Matematicamente, tal manifestou-se na alteração da equação de Einstein segundo

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R - \Lambda g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \,, \qquad (10)$$

onde se nota que o sinal negativo no termo cosmológico lhe confere carácter repulsivo. Com ou sem constante cosmológica, a cosmologia nasceu dos esforços para encontrar soluções para a equação de Einstein. Sendo isotrópico e homogéneo, o Universo assemelha-se a um fluido; assim, o tensor energia-momento, que descreve o conteúdo de matéria, é dado por uma matriz diagonal de entradas (ρ, p, p, p), sendo ρ a densidade do Universo e p a pressão.

Como se sabe, o preconceito filosófico de um universo estático cedo se revelaria injustificado. No final da década de 1920, o astrónomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) descobriu que o universo está em expansão, pelo que a constante cosmológica *ad-hoc* se tornava desnecessária. Contudo, a física de hoje considera este termo não-nulo, devido a um acumular de provas e indicações nesse sentido, oriundas do mundo da física de partículas e, mais recentemente, de observações astronómicas e de interpretações cosmológicas, que apontam para um aumento da velocidade de expansão do Universo devido a uma força desconhecida de natureza repulsiva. A inconsistência dos valores desta constante, estimados através da física das partículas e calculados por meio da cosmologia é um dos problemas mais candentes da física contemporânea e revela a profundidade do pensamento de Einstein.



O Universo em expansão acelarada

Na busca de uma solução para a métrica no contexto cosmológico, nos anos vinte, o abade belga Georges Lemaître (1894 - 1966), o russo Alexander Friedmann (1888 - 1925), o norte-americano Howard Percy Robertson (1903 - 1961) e o inglês Arthur Geoffrey Walker (1909 - 2001) obtiveram nos seus estudos resultados que se podem resumir na chamada métrica RW, iniciais dos dois últimos:

$$ds^2 = dt^2 - a(t)\,|\,d\vec{r}\,|^2, \qquad (11)$$

Esta engloba o chamado princípio cosmológico, que de um modo simplificado afirma a equivalência entre observadores situados em diferentes regiões do Universo, ou seja, que este deve ser visto de forma semelhante independentemente da posição do observador. O factor de escala a(t) presente na métrica (11) dá-nos uma medida da dimensão do Universo. Introduzindo a métrica RW na equação de Einstein obtemos a chamada equação diferencial de Friedmann, com a evolução temporal do factor de escala a(t) como incógnita. A sua resolução re-vela que este factor aumenta com o tempo, apoiando a descoberta de Hubble de um universo em expansão. Uma interpretação da actual taxa de expansão indica que o universo terá cerca de quatorze milhões de anos.

Através destas considerações, Lemaître concluiu em 1927 que, algures no passado, o factor de escala foi nulo; daqui se segue que o Universo teve origem numa singularidade, quando o seu volume foi nulo e as grandezas físicas infinitas. Nascia assim a teoria do *Big Bang*, o momento primordial a que tudo se seguiu.

A par com a relatividade geral, a mecânica quântica é outro pilar fundamental do conhecimento físico do século XX. Einstein é um dos fundadores desta teoria física, graças à explicação do efeito fotoeléctrico, à compreensão do processo de emissão estimulada que meio século depois deu origem aos *lasers*, e à generalização dos métodos estatísticos desenvolvidos em 1924 pelo físico indiano Satyendranath Bose (1894 - 1974). No entanto, exprimiu as suas reservas sobre a aleatoriedade intrínseca da mecânica quântica. Ao exclamar que, "Deus não joga dados!", Einstein declarou a sua insatisfação com o desenvolvimento conceptual e hermenêutico do formalismo quântico que, segundo a sua intuição, era apenas uma solução tempo-rária para descrever processos microscópicos. Desta feita, a razão não parece ter estado do seu lado, dados os sucessos e aplicações da teoria quântica. Não obstante o seu cepticismo, não se limitou a críticas superficiais e estéreis, estando o seu trabalho expresso no bem conhecido artigo que, já em Princeton, escreveu com os discípulos Boris Podolski e Nathan Rosen (1909 - 1995), em 1935, e que contém elementos essenciais para a compreensão dos aspectos mais profundos da mecânica quântica.

Nas últimas décadas da sua vida, Einstein dedicou a sua actividade científica à tentativa de unificar a gravitação com o electromagnetismo. Céptico relativamente à mecânica quântica, tinha a convicção de que a unificação daquelas duas forças permitiria uma compreensão mais profunda da estrutura da matéria e acabaria por responder às lacunas que julgava existirem na teoria quântica. Não atingiu o objectivo proposto, pois faltou-lhe incluir a força fraca, que a moderna teoria de campos unifica com a electromagnética, através do chamado modelo padrão das interacções fundamentais, desenvolvido por Sheldon Glashow, Abdus Salam (1926 - 1996) e Steve Weinberg nos anos sessenta do século passado e também a força forte, que mantém coesos os núcleos atómicos. Esboçou contudo, valiosas metodologias seguidas pelas gerações seguintes. De entre estas, destacam-se aspectos matemáticos da ideia proposta pelo físico Theodor Kaluza (1885 - 1954), segundo o qual o espaço-tempo necessário para a unificação da gravitação com o electromagnetismo deveria ser penta-dimensional, e também os esforços para dotar a métrica de uma componente antissimétrica. Nesta fase da sua vida, em contraste com o passado, Einstein colaborou directamente com numerosos discípulos: com Jakob Grommer, Leopold Infeld, Bonesh Hoffmann, Walter Mayer, Peter Bergmann e Bruria Kaufman estudou o problema da unificação dos campos, e com Ernst Gabor Straus a consistência da métrica de um objecto compacto com a envolvente cosmológica.

Independentemente dos méritos ou falhas dos seus esforços, a busca da solução dos problemas mais profundos da física na unificação das interacções fundamentais é uma das marcas mais características do génio de Einstein e, certamente, um legado fundamental.

É este espírito "romântico", almejando a solução completa dos problemas, que norteia esforços hodiernos, como a teoria das cordas quânticas.

Outro aspecto marcante da personalidade de Einstein foi o seu envolvimento cívico. Em Outubro de 1914, um conjunto de intelectuais e académicos alemães pronunciou-se a favor da invasão da Bélgica pela Alemanha a quatro de Agosto, no chamado *Manifesto dos 93*. Então com trinta e cinco anos, Einstein e o professor de Fisiologia da Universidade de Berlim George Nicolai escreveram no mesmo ano um documento clamando pela paz e repudiando o manifesto. Esta oposição valeu-lhe a hostilidade de muitos colegas, incluindo Max Planck. Muitos anos mais tarde, já exilado nos Estados Unidos, Einstein alertou o presidente Roosevelt para o perigo da apropriação do urânio em posse da Bélgica e da Checoslováquia pela Alemanha nazi. Nessa carta de Agosto de 1939, aconselhava-o a desenvolver esforços para acelerar a investigação americana sobre a fissão nuclear. Em 1945, escreveu novamente ao presidente Roosevelt, desta vez para se manifestar contrário à utilização das armas nucleares entretanto desenvolvidas. Infelizmente, Roosevelt faleceu antes de receber a carta e, o seu sucessor Harry Truman não a teve em consideração. Até 1955, ano da sua morte, Einstein procurou sensibilizar a opinião mundial para a necessidade de se evitar a corrida às armas nucleares, cujo desenlace poderia aniquilar a espécie humana.

O sionismo foi outra causa que sempre lhe foi muito cara. Era-lhe claro que Israel só poderia garantir a sua existência respeitando o direito dos palestinianos a um estado independente. Em 1952, o primeiro-ministro Ben Gurion convidou-o a assumir a presidência do recém-criado estado judaico, com a devida aprovação do parlamento israelita, o Knesset. Einstein declinou o convite, alegando inépcia em questões de Estado, mas declarou ter ficado comovido com a proposta.

No final do século XX, a revista norte-americana Time elegeu-o como a figura mais marcante daquele século. Não deixa de ser significativo que a segunda figura mais votada tenha sido o estadista que, segundo o próprio Einstein, "representou a mais elevada concepção das relações humanas na esfera política" - Mahatma Gandhi.

BIBLIOGRAFIA

Albert Einstein, *The Meaning of Relativity*, Chapman and Hall, Bristol, 1922.

H.A. Lorentz, A. Einstein e H. Minkowski, *O Princípio da Relatividade*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1978.

Albert Einstein, *Notas Autobiográficas*, Editora Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1982.

Albert Einstein e Leopold Infeld, *A Evolução da Física*, Livros do Brasil, Lisboa.

Albert Einstein, *Ideas and Opinions*, Laurel Edition, New York, 1973.

Sigmund Freud e Albert Einstein, *Porquê a Guerra? Reflexões sobre o destino do Mundo*, Edições 70, Lisboa, 1997.

The Born-Einstein Letters 1916 - 1955, Macmillan Press, New York, 2005.

Ronald W. Clark., *Einstein*: *The Life and Times*, Avon Books, New York, 1971.

Michael White and John Gribbin, *Einstein*: *A Life in Science*, Simon & Schuster, London, 1993.

Leopold Infeld, *Albert Einstein*, Publicações Europa - -América, Lisboa, 1961.

General Relativity: An Einstein Centenary, Eds. S.W. Hawking, W. Israel, Cambridge University Press, Cambridge, 1979.

Eduardo Lage, "O centenário do *quantum* de luz", *Gazeta de Física* Vol. **28**-1, 2005.

Steven Weinberg, *Gravitation and Cosmology: Principles and Applications of the General Theory of Relativity*, John Wiley & Sons, New York, 1972.

Jorge Dias de Deus, *Viagens no Espaço-Tempo*, Gradiva, Lisboa, 1998.

João Manuel Resina Rodrigues, *Introdução à teoria da relatividade restrita*, IST Press, Lisboa, 1998.

Maria da Conceição Bento e Orfeu Bertolami, "Supercordas e a unificação das interacções fundamentais da Natureza", *Futuro*, Outubro de 1988.

Orfeu Bertolami, *O Livro das Escolhas Cósmicas*, Gradiva, Lisboa, 2005, (no prelo).

NOTAS

[1] Hermann Minkovski (1864 - 1909), matemático russo, professor de Einstein na ETH e responsável pela formulação quadri-dimensional da Relatividade Restrita.