

Albert Einstein e a ruptura de 1905

O ano de 1905 é crucial na vida de Einstein. Nesse ano, escreveu cinco trabalhos seminais, 4 artigos e uma dissertação de doutoramento, que influenciaram definitivamente a evolução da ciência do século XX. Podemos hoje considerar que estes artigos fundaram três domínios da física: a física quântica, a teoria dos processos estocásticos e a teoria da relatividade. Não será pois exagerado afirmar que eles transformaram 1905 num dos anos mais memoráveis da história da física, só comparável a 1666, o ano em que o génio de Newton e a sua investigação criativa e verdadeiramente independente irrompeu.

1. Dos primeiros anos aos tempos de Berna



Einstein em criança, com três anos.

Albert Einstein nasceu a 14 de Março de 1879, em Ulm, no sul da Alemanha, de uma família burguesa e liberal, de ascendência judia. Um traço evidente do seu carácter, que mais tarde se manifestou de forma proeminente no seu trabalho científico, era a sua obstinação. A ciência foi uma preocupação na sua vida desde muito cedo. Com apenas um ano, a sua família deslocou-se para Munique, onde o pai Hermann e o tio Jacob iniciaram um novo negócio. Na fábrica do seu pai, o jovem Einstein maravilhava-se com a descoberta dos dínamos e de outras máquinas eléctricas. Dois acontecimentos parecem ter

Einstein no Serviço do Registo de Patentes em Berna



desempenhado um papel preponderante no acordar para a ciência do jovem Einstein. Aos cinco anos ficou profundamente impressionado quando o seu pai lhe mostrou uma bússola. Aos onze anos descobriu o que mais tarde designou como o “livro sagrado de geometria”. Os livros de divulgação científica



Einstein e Mileva

mostraram-lhe que a Bíblia não podia ser interpretada literalmente, e o fervor religioso da juventude esmoreceu — fervor que desenvolveu apesar dos seus pais não praticarem a religião judaica — dando lugar a um persistente entusiasmo pela ciência.

Embora reconhecido como um dos físicos mais brilhantes do século XX, tornou-se corrente a ideia, no imaginário popular, de que teria sido um mau aluno. Isto não corresponde à verdade histórica, sendo mais adequado classificá-lo como um aluno irregular, que não perdia tempo com aquilo que o aborrecia, mas que era capaz de grande concentração e análise sobre os temas que o interessavam. E nestas matérias era muito bom aluno. O seu diploma do ensino secundário é uma prova disso. Mais tarde confessará: "É quase um milagre que os métodos modernos de ensino não tenham eliminado a sagrada curiosidade que conduz à pesquisa; do que esta planta delicada necessita mais que qualquer outra coisa, além do estímulo, é da liberdade."

Em 1894 a família deslocou-se para o norte da Itália, deixando Einstein a completar o ensino secundário em Munique. Einstein, que tolerava com dificuldade a rígida disciplina do *Gymnasium*, em breve abandonaria a escola, juntando-se à família em Milão. Em 1895, tenta a admissão ao Instituto Politécnico Federal em Zurique (ETH), Suíça, dois anos antes da idade normal, mas não é admitido, embora tenha tido as notas mais elevadas na parte científica das provas. Frequenta então a Escola Cantonal em Aarau, para completar o ensino secundário, ficando hospedado na casa de um dos seus professores, Jost Winteler, vivendo aí um dos seus anos mais felizes. Em 1896, é finalmente admitido no ETH. Também nesse ano, renuncia à cidadania alemã.

Nos anos seguintes, Einstein dedicou-se intensamente ao estudo da física, partilhando o seu tempo entre a frequência do laboratório, o estudo

peçoal de outros livros de física não utilizados pelos professores, e a ligação amorosa com a sua colega Mileva Maric. Einstein queixava-se várias vezes dos programas de algumas das disciplinas de física, que na sua opinião eram pouco actuais e dogmáticos, o que motivava o seu desinteresse pelas aulas e o levava a preferir ler os grande autores da época: Kirchhoff, Helmholtz, Hertz, Drude, Boltzmann, Mach e Poincaré. Este comportamento comprometeu a sua relação com alguns dos seus professores e prejudicou-o quando chegou o momento de procurar uma posição académica, após a graduação em 1900. Só em 1902 conseguiu uma colocação como terceiro oficial na Repartição de Patentes de Berna. Tinha entretanto adquirido a nacionalidade suíça no ano anterior.



Mileva e os 2 filhos do casal, Hans Albert e Eduard

Apesar das fortes objecções dos seus pais, casou com Mileva Maric (1875-1948) em 1903, de quem tinha tido uma filha, Lieserl, que aparentemente nunca chegou a viver com o casal. Suspeita-se que tenha sido dada para adopção, mas dela não há qualquer traço além do registo de nascimento e de uma carta de Albert para Mileva. Tiveram mais dois filhos: Hans Albert (1904-1973) e Eduard (1910-1965).

Nos tempos da sua vida em Berna foi importante a chamada “Akademie Olympia”, um grupo de discussão criado por Einstein, pelo amigo Conrad Habicht, na altura a trabalhar numa tese de doutoramento em matemática, e por um jovem judeu romeno, Maurice Solovine, estudante de física e filosofia na Universidade de Berna. Solovine, que não encontrava resposta às suas perguntas nas aulas da Universidade, respondeu a um anúncio de lições particulares (com a primeira lição grátis ...) em física e matemática, colocado por Einstein pouco depois de ter chegado a Berna. Para além dos jogos e outros divertimentos com que se entretinham, os “académicos” tinham um programa de leitura sistemática, onde constavam livros como *Ciência e*

Hipótese de Henri Poincaré e A Mecânica e seus Desenvolvimentos de Ernst Mach, que tiveram uma influência significativa na génese das teorias da relatividade restrita e geral, respectivamente.

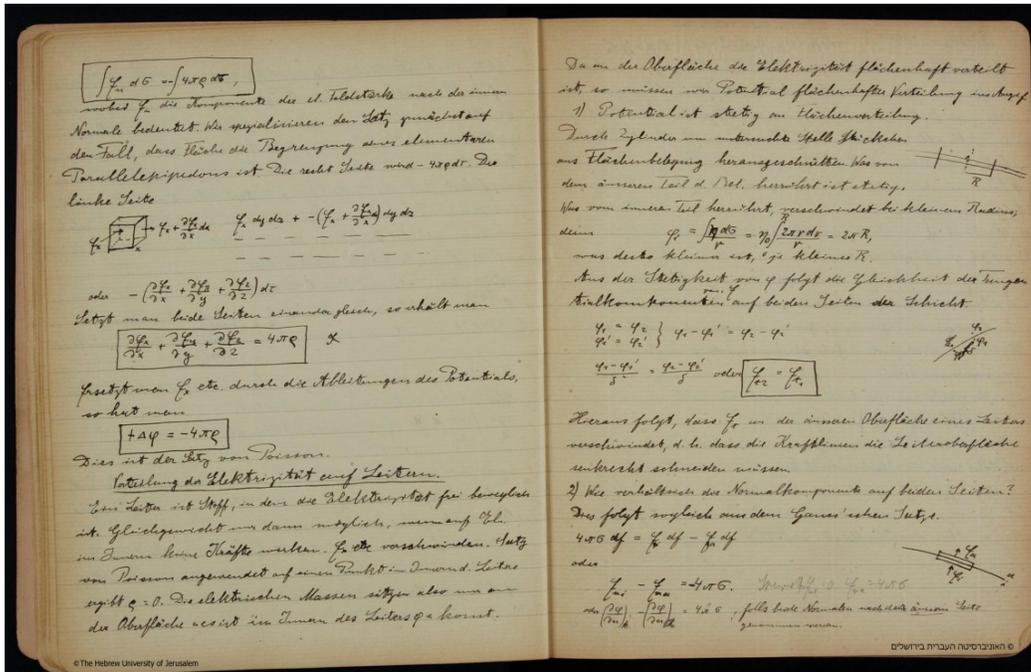
Um outro aspecto menos conhecido, que está também ligado às discussões na “Akademie”, é a actividade de Einstein como inventor. Entre elas conta-se uma “pequena máquina” (*Maschinechen*) que fez com os irmãos Conrad e Paul Habicht, um voltímetro de precisão para medir pequenas diferenças de potencial da ordem de um milésimo do volt, numa altura em que os melhores electrómetros disponíveis no mercado não iam além de alguns milésimos de volt. Outras invenções se seguirão mais tarde, tais como uma bomba para um frigorífico controlada electromagneticamente, desta vez com Leo Szilard; um aparelho auditivo, com o engenheiro electrotécnico Rudolf Goldschmidt, do qual registam uma patente em 1934, e vários projectos com o seu amigo radiologista Gustav Bucky, como o mecanismo de abertura de uma câmara automática e um indicador do nível de gasolina para automóveis.

2. Aos ombros de gigantes

Vale a pena referir os aspectos mais relevantes da física no final do século XIX, tal como Einstein a conheceu nos seus tempos de estudante, mencionando alguns dos novos fenómenos com que teve de se confrontar, tais como a radiação do corpo negro e o efeito fotoelétrico. Estes resistiam a todas as tentativas de interpretação quer no âmbito da velha visão mecanicista do mundo, incluindo a sua aplicação à concepção atomista da matéria, quer na nova abordagem da electrodinâmica de Maxwell e Lorentz através da teoria dos campos, ou mesmo na combinação das duas visões.

Einstein, com o seu espírito crítico e a sua capacidade de detectar as contradições entre as teorias existentes, foi também sensível aos comentários metodológicos com que os grandes físicos da época acompanhavam os seus trabalhos teóricos. Hertz, por exemplo, insistia no carácter simbólico das teorias físicas, na necessidade de definições operacionais das grandezas fundamentais e na eliminação da redundância na representação dos fenómenos. Boltzmann defendia a liberdade de construção das teorias físicas, e criticava os que julgavam não ser possível fazer hipóteses quando confinados

à fenomenologia matemática. Helmholtz e Planck defendiam uma abordagem



Electrostatica. Notas das Lições de Electricidade e Magnetismo. Semestre de Inverno de 1910-1911.

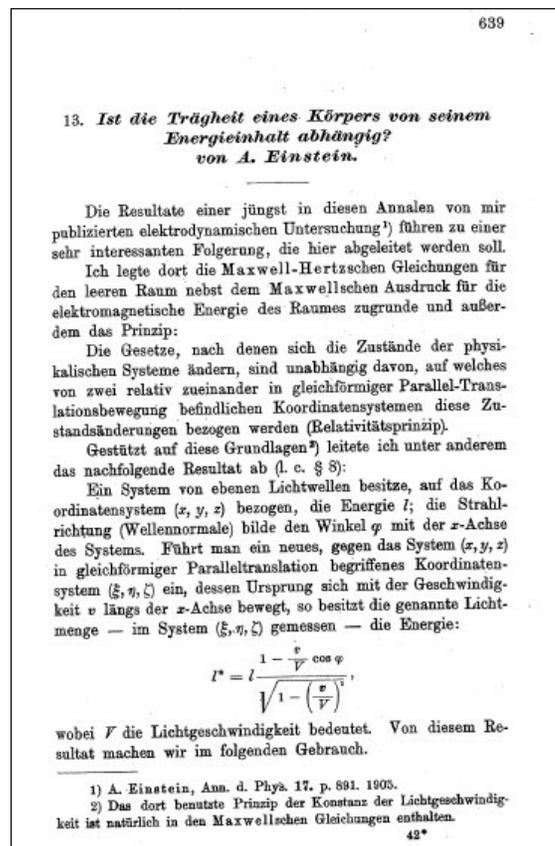
da física na qual os princípios gerais, como o princípio da conservação da energia ou o “princípio da mínima acção” deviam guiar a construção das novas teorias. Estavam convencidos da unidade profunda da física e procuravam estabelecer novas pontes entre domínios até então separados. Esta física de princípios tinha outros adeptos, como Wilhelm Wien e Henri Poincaré, que se socorriam de “experiências de pensamento” onde exploravam o jogo resultante da aplicação combinada destes princípios. Todas estas ideias, de uma forma ou de outra, influenciaram Einstein, que as aplicou à análise dos seus temas de eleição. Das suas leituras das teorias da época, Einstein foi levado a formular três temas de investigação: clarificação das relações entre o éter e a matéria, tendo em conta as dificuldades da óptica dos corpos em movimento; a procura de meios mais directos e mais precisos para aceder às grandezas moleculares e clarificar os fundamentos da teoria de Boltzmann; elucidação dos mecanismos responsáveis pela radiação do corpo negro.

Todos os seus artigos anteriores a 1905 abordam temas que se enquadram na mecânica newtoniana e nas suas aplicações à teoria cinético-

molecular da matéria. Entre 1901 e 1904 Einstein publicou quatro artigos numa revista alemã de grande prestígio, *Annalen der Physik*, onde recorre profusamente a argumentos termodinâmicos, especialmente nos dois primeiros. O seu objectivo último era formular os pressupostos atomísticos mínimos de um sistema mecânico, necessários para deduzir os conceitos e princípios da termodinâmica. Einstein considerava o segundo princípio da termodinâmica “uma consequência necessária da visão mecanicista do mundo”.

Primeira página do artigo onde Einstein introduz a equação $E=mc^2$

Entre 17 de Março e 27 de Setembro de 1905, Einstein submeteu mais quatro trabalhos para publicação na mesma revista. Depois da sua publicação a física nunca mais voltaria a ser a mesma. A dissertação doutoral de Einstein, completada a 30 de Abril de 1905, só foi publicada no ano seguinte. O primeiro artigo, segundo as suas palavras, “trata da radiação e das propriedades energéticas da luz e é muito revolucionário”. Depois de mostrar as limitações tanto da mecânica clássica como da teoria electromagnética na explicação das propriedades da radiação electromagnética, introduz a hipótese da luz ter uma estrutura granular de forma a explicar o efeito fotoeléctrico. Mais tarde, em 1909, estabelecerá que qualquer teoria satisfatória da luz deve combinar aspectos da teoria ondulatória e da teoria corpuscular. Este foi o primeiro enunciado do dualismo onda-córculo. No segundo artigo, Einstein explica o movimento browniano e as leis por que é regido, as quais lhe permitiram determinar as dimensões moleculares e assim contribuir para o reconhecimento da realidade física dos átomos. No terceiro, sobre a electrodinâmica dos corpos em movimento, introduz a teoria da relatividade



restrita: elimina o éter luminoso, postula a invariância da velocidade da luz (em referenciais inerciais) e repensa a noção de simultaneidade de acontecimentos distantes. Recorde-se que desde o final do século XVII se sabia, partindo da observação das irregularidades aparentes da órbita de Io, a lua mais próxima de Júpiter, e das deduções de O. Roemer, que a velocidade da luz tinha um valor finito. Finalmente, o último artigo é uma consequência importante da teoria da relatividade restrita, a inércia da energia. Por outras palavras, nele Einstein estabelece a equivalência entre a massa (inercial) e a energia, expressa pela equação mais famosa da história da física: $E=mc^2$. Estes dois últimos artigos são tentativas bem sucedidas de ampliar e aperfeiçoar a teoria de Maxwell-Lorentz, modificando os fundamentos da mecânica clássica de modo a estender o princípio da relatividade a toda a física conhecida na altura.

É talvez surpreendente que o artigo de Einstein sobre os fenómenos quânticos (primeiro artigo) e o artigo sobre relatividade (terceiro artigo) pareçam partir de pressupostos mutuamente contraditórios no que se refere ao estatuto da teoria electromagnética de Maxwell, enquanto explicação para o fenómeno da luz. No primeiro artigo, Einstein rejeita explicitamente a ideia de que as equações de Maxwell sejam suficientes para explicar a acção da luz (enquanto ondas do campo electromagnético) e apresenta um modelo em que, pelo contrário, a luz se comporta como um conjunto de pequenas partículas. E, no entanto, no terceiro artigo, desenvolve a teoria restrita da relatividade a partir do pressuposto de que a teoria de Maxwell representa *realmente* a verdade fundamental; a teoria da relatividade é especificamente concebida de forma a deixar intactas as equações de Maxwell. E mesmo no início do primeiro artigo, em que Einstein apresenta a perspectiva “corpuscular” da luz, em contradição com a teoria de Maxwell, afirma que a outra teoria da luz (ondulatória) “provavelmente nunca será substituída por nenhuma outra teoria”.

Segundo o próprio Einstein afirmou, os seus objectivos ao elaborar estes trabalhos eram muito ambiciosos: “Quero saber como Deus criou o mundo. Não estou interessado neste ou naquele fenómeno particular, no espectro deste ou daquele elemento. Quero conhecer os pensamentos de Deus; o resto são pormenores.” Assim, apesar da aparente disparidade dos assuntos versados nestes trabalhos, há algo que os une. Como explicou mais tarde, os seus trabalhos inseriam-se nas chamadas “teorias de princípio”. Para as

construir Einstein partia de generalizações apoiadas numa profusão de evidências experimentais, mesmo quando tais generalizações pareciam ser contraditórias. Com uma lógica irresistível, e apoiado em “experiências de pensamento”, deduzia então as consequências dessas generalizações, pondo em destaque nesse processo várias noções que identificava como preconceitos a eliminar (como foi o caso do conceito de simultaneidade de acontecimentos distantes, na teoria da relatividade). “O meu interesse em ciência foi sempre essencialmente limitado ao estudo dos princípios ... “

3. Os tempos de Berlim

Na sequência de um insistente e irrecusável convite de Max Planck e Walther Nernst, Einstein tornou-se professor da Universidade de Berlim no princípio de



Max Planck oferece a medalha Planck a Einstein em 1929.

1914, após ter sido eleito membro da Academia Prussiana das Ciências em Novembro de 1913. Permanecerá em Berlim até 1933, quando os nazis sobem ao poder e o forçam a abandonar a Alemanha para sempre. A ida para Berlim foi a última gota de água na já muito deteriorada relação com Mileva Maric. Esta e os dois filhos do casal regressaram a Zurique pouco depois, e Einstein reinicia uma relação que tinha começado em 1912 com a sua prima Elsa Einstein-Löwenthal (1876-1936), com quem celebra um casamento de conveniência em 1919, pouco depois de se ter divorciado de Mileva.

A mudança de Einstein para Berlim é um ponto de viragem na sua vida, Não só na vida íntima mas também na sua investigação. É em Berlim que vai finalizar a sua teoria da relatividade geral (Novembro de 1915), talvez o seu trabalho mais relevante, e se vai tornar mundialmente famoso.

Todos reconhecem que a emergência da relatividade restrita não é um feito isolado, embora possa ainda existir alguma polémica acerca do papel desempenhado pelos principais intervenientes: H.A. Lorentz, H. Poincaré e A.

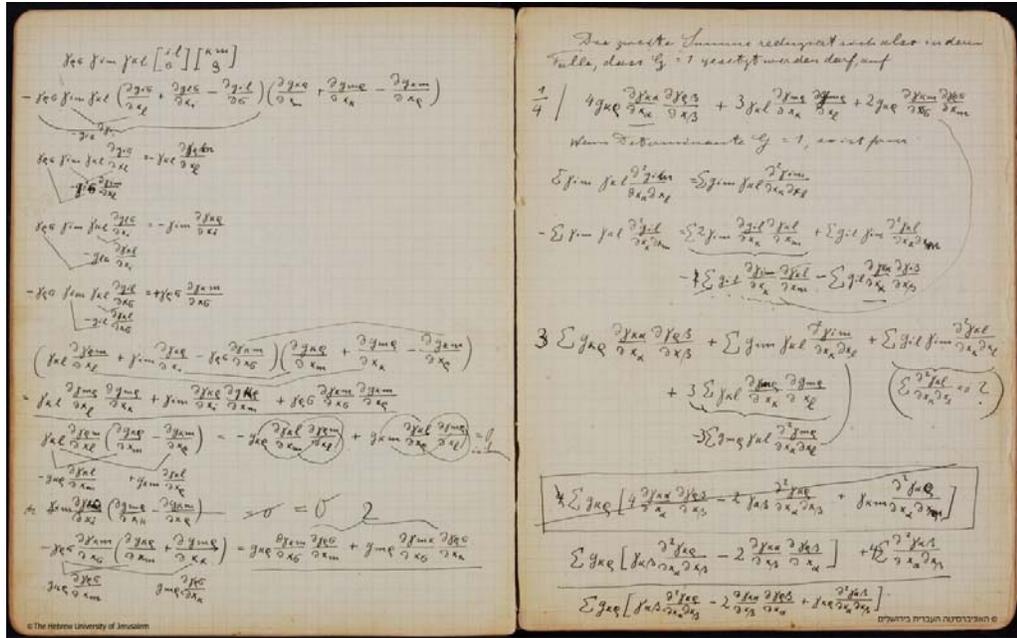
Einstein. Mas já em relação à gênese da teoria da relatividade geral não parece restar qualquer disputa acerca do papel singular atribuído a Einstein, após um longo percurso de oito anos que se inicia com a reflexão acerca da equivalência entre movimento acelerado e gravidade. A chave para esta generalização surgiu-lhe em 1907, ao preparar um artigo de revisão encomendado por Johannes Stark, quando teve a ideia brilhante de analisar (localmente) um campo gravítico, no referencial de um observador em queda livre. Conforme recordará mais tarde, num artigo de 1919: “Então chegou até mim a melhor ideia [*die glücklichste Gedanke*] da minha vida [...] tal como o campo eléctrico gerado pela indução electromagnética, o campo gravitacional só tem uma existência relativa. Porque, para um observador em queda livre do telhado de uma casa, não existe campo gravitacional durante a queda. O facto experimental da aceleração devida à gravidade não depender do material é assim um argumento poderoso para estender o postulado da relatividade aos sistemas em movimento relativo não uniforme.”

Um dos manuscritos recentemente encontrados, que é uma peça essencial para a reconstrução da descoberta da teoria da relatividade geral, é o famoso livro de notas de Zurique. Nele, há registos da construção da teoria da gravitação realizada em colaboração com Marcel Grossmann, no período que vai do verão de 1912 à primavera de 1913, quando Einstein se encontrava no ETH. Nesta fase, a teoria, hoje conhecida por “Entwurf” (esboço), não era covariante e não previa correctamente algumas das previsões que Einstein tinha antecipado, como a explicação do avanço do periélio de Mercúrio. Um resultado surpreendente da análise dessas notas, revelado em 1997 por



Jürgen Renn e Tilman Sauer, foi a descoberta que no inverno de 1912-1913 Einstein tinha já obtido o *Ansatz* correcto para as equações de campo. Mas abandonou-as com um argumento aparentemente falacioso e só voltou a derivá-las quase três anos mais tarde.

Cabeçalho do jornal londrino *The Times* de 7 de Novembro de 1919.

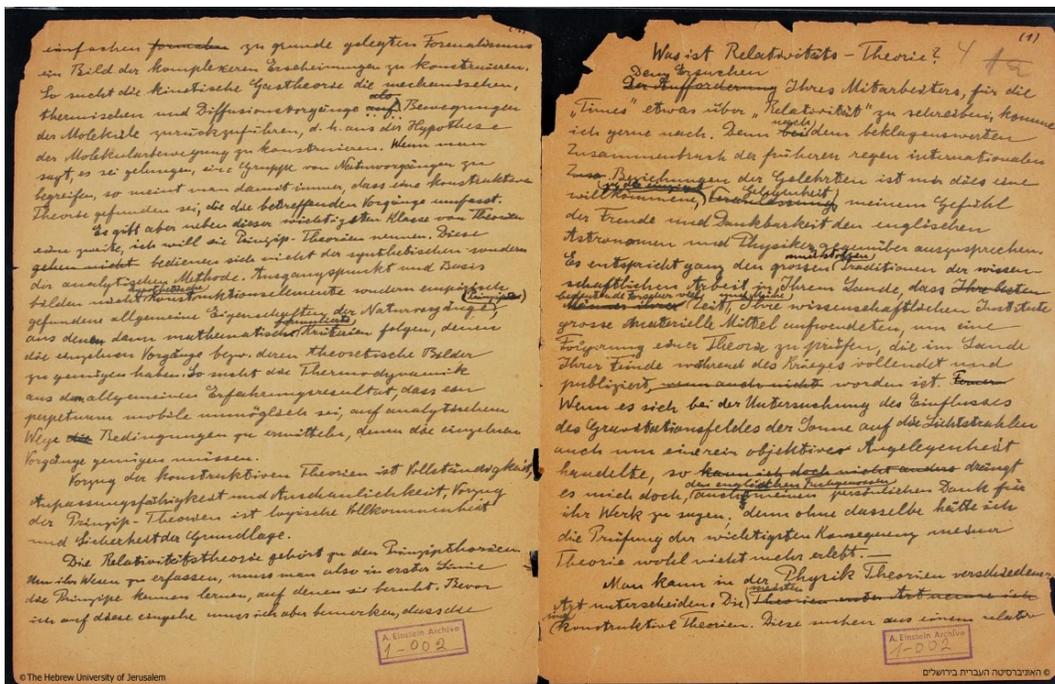


Página 15 do famoso livro de notas de Zurique datado entre 01/01/1912 e 31/05/1913

Quando foi anunciado em Londres, em Novembro de 1919, que as medidas do encurvamento dos raios luminosos rasando o Sol, realizadas durante um eclipse solar, confirmavam as previsões da teoria da relatividade geral, Einstein tornou-se de um dia para o outro, aos olhos da opinião pública, no maior e mais famoso cientista de sempre, com a popularidade de uma estrela do cinema, cujas opiniões científicas, políticas ou morais eram escutadas com respeito e admiração.

Embora Einstein seja principalmente reconhecido como o gênio criador da teoria da relatividade, as suas contribuições em muitos outros domínios da física não foram menos importantes. Posteriormente ao artigo seminal de 1905 em que introduziu os quanta de luz, desenvolveu, já em Berlim outros trabalhos fundamentais sobre a teoria quântica da radiação (1916 e 1917). Num destes, Einstein previu que a luz, ao passar através de uma substância, pode estimular a emissão de mais luz, efeito que está na base da explicação do *laser* moderno e que vai contribuir, no campo teórico, para a gênese da mecânica quântica. Num outro trabalho importante (1923), Einstein previu um novo e estranho estado da matéria, o que hoje se designa por condensado de Bose-Einstein, mais de setenta anos antes de ter sido produzido num laboratório. Finalmente,

não é possível ignorar a sua discussão dos fundamentos da mecânica quântica, cujo ponto alto é o artigo com Podolsky e Rosen em 1935, desenvolvendo o que ficou conhecido na história da física como o “paradoxo EPR” (das iniciais dos seus três autores), recentemente reapreciado como um estímulo a uma melhor compreensão da teoria desenvolvida pela escola de Copenhaga, liderada por Niels Bohr. São também de enorme relevância os sucessivos trabalhos, iniciados em 1922, que o ocuparam em exclusivo nos últimos vinte anos de vida, sobre a construção de uma teoria de campo unificado dos fenómenos electromagnéticos e gravíticos. Nessa tentativa, em vez de reduzir a estrutura do espaço-tempo à matéria, Einstein esperava mostrar como a matéria poderia emergir deste campo unificado.

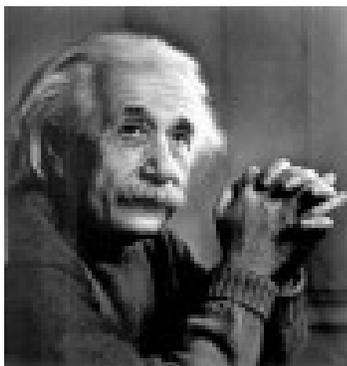


Manuscrito de Einstein do artigo “O que é a Teoria da Relatividade”, publicado no jornal *The Times* a 28 de Novembro de 1919.

Passados alguns anos, reconhecemos que essas primeiras teorias de Einstein representaram avanços significativos no sentido da unificação, que de alguma forma se reflectem nas teorias de supergravidade e de supercordas dos últimos 30 anos. Hoje, os físicos que procuram construir uma teoria quântica da gravitação tomam a mecânica quântica como fundamental. Com isto Einstein não estaria provavelmente de acordo. Mas, é certo que a maioria dos físicos teóricos de hoje segue Einstein ao atribuir um papel central às

ideias geométricas das novas teorias de unificação. Muitos físicos de partículas, por exemplo, acreditam que a teoria das supercordas fornece um quadro apropriado para realizar o sonho de Einstein, embora ainda não exista uma evidência experimental para estas teorias.

4. Os tempos de Princeton



“O verdadeiro objectivo da minha investigação foi sempre a simplificação e a unificação do sistema da física teórica”

A fama de Einstein transformou-o num alvo natural das forças anti-semíticas na sociedade alemã dos anos vinte. As suas teorias foram apelidadas de “física judaica” e houve rumores de que o seu nome figurava em listas de indivíduos a eliminar pelos ultra-radicais de direita. Contudo, em nome da lealdade que sentia por Planck e por outros físicos da comunidade berlinense, Einstein permaneceu em Berlim até ao limite do razoável bom senso. Aliás, apesar do seu pacifismo e internacionalismo, que o opunham ao militarismo alemão, o cidadão suíço Einstein manifestou grande solidariedade pelo povo alemão, após a Primeira Guerra Mundial, em face das condições impostas pelo tratado de Versailles. Einstein usou, então, a sua posição e influência para promover o reencontro da Alemanha com a comunidade científica internacional. Mas, quando os nazis chegam ao poder em 1933, Einstein vê-se forçado a abandonar a Alemanha, aceitando um lugar permanente no novo Instituto de Estudos Avançados, em Princeton nos Estados Unidos da América, para onde se muda em Outubro desse ano. Em 1940 tornou-se cidadão americano, juntamente com a sua enteada Margot e a sua secretária e governanta Helen Dukas, mas sem perder nunca a

cidadania suíça de que muito se orgulhava. No seu novo país, Einstein foi também um homem sensível ao contexto socio-político em que viveu. Pacifista,



Einstein com Leo Szilard, na altura em que escreveu ao Presidente Roosevelt

internacionalista, socialista ético, lutou contra o racismo, o clima de terror do McCartismo, incitando os intelectuais a não testemunharem perante o Congresso. Muitos destes aspectos têm ficado esquecidos. Os ficheiros do FBI contêm muitas centenas de páginas sobre Einstein e, quando morreu, estaria a preparar-se o seu processo de deportação dos EUA.

Aos que o acusam de ser contraditório poderemos contrapor que Einstein procurava a síntese adequada às circunstâncias, tanto na ciência como na política. Defensor de um governo supra-nacional, de uma organização das nações, foi ainda assim apoiante da formação do Estado de Israel. O pacifista que participa no contra-manifesto (1914) à declaração de apoio dos 93 intelectuais alemães à invasão alemã da Bélgica, é o mesmo que escreve mais tarde uma carta ao Presidente Franklin D. Roosevelt (1939) apelando à construção de um programa nuclear para a construção de uma bomba atómica, receando que Hitler a pudesse construir primeiro. Mas, após o lançamento das bombas em Hiroshima e Nagasáki, participa no movimento de desarmamento nuclear, lidera o Comité de Emergência de Cientistas Atómicos, e investe na cooperação pacífica pós-Segunda Guerra Mundial.

Einstein levou a política muito a sério. Por isso foi incómodo. E, por isso, muitos dos que escreveram sobre ele apagaram vários destes aspectos não científicos ... "Como gostaria que existisse uma ilha para aqueles que são sensatos e de boa vontade! Num tal local, até mesmo eu seria um ardente patriota."