

Albert Einstein .

I

A comemoração do centenario do nascimento de Albert Einstein em todo o mundo civilizado veio demonstrar que o interesse pela figura e a obra do fisico, por muitos considerado o maior do seculo XX cresceu ainda mais nos ultimos anos. Indiscutivelmente Einstein não foi apenas um cientista mundialmente famoso, mas também uma das figuras mais carismaticas de nossa epoca, o que talvez só tenha acontecido com Pitagoras, Copernico, Kepler, Galileu, e Newton e Darwin em toda a Historia. No caso de Einstein, a imensa admiração pelo fisico genial apresenta também a característica nova do fascínio irresistível da sua personalidade humana e moral, talvez só comparavel ao de Gandhi, no seculo XX . Os cientistas geniais em geral não despertaram simpatias envolvendo todos os homens, mas apenas a admiração pelas suas contribuições para o conhecimento e a cosmovisão . Einstein foi não apenas um genio da Ciencia, mas sobretudo uma personalidade de estatura gigantesca, talvez unica desde Pitagoras.

.....

Landau, o fisico mais eminente da União Sovietica observou que os demais fisicos de categoria maxima do Seculo XX , como Planck, Lorentz, Rutherford, Bohr, Heisenberg e Schrodinger tinham sido cada um o criador de um novo ramo da Fisica , enquanto Einstein criara numerosos ramos novos da Fisica . Alem de criador principal de quase toda a Teoria da Relatividade, tanto da restrita como da generalizada, Einstein fora também o criador da Nova Cosmologia e um dos principais criadores da teoria dos quanta e das estatísticas quanticas , assim como um dos fundadores da Mecanica Estatística e da Fisica estocastica . Einstein foi também um dos fundadores da Fisica do Estado Solido, com a sua teoria dos calores especificos dos solidos, que foi

a primeira teoria quântica de um fenômeno não ligado diretamente com radiações eletromagnéticas. Einstein foi também um dos criadores da teoria quântica dos fluidos, quando relacionou o comportamento do hélio líquido com a estatística de Bose - Einstein.

.....

Uma das contribuições mais interessantes de Einstein foi a prova direta da estrutura molecular e atômica, que no começo do século era ainda posta em dúvida por cientistas da estatura de Mach e Ostwald, de fortes tendências positivistas. Partindo da ideia da estrutura molecular da matéria Einstein redescobriu teoricamente a existência do movimento browniano, desconhecendo a sua descoberta experimental pelo botânico inglês Robert Brown em 1827. Einstein percebeu que a observação desse fenômeno permitia uma prova direta da estrutura molecular e a medida das dimensões das moléculas. A teoria de Einstein foi utilizada nas experiências de Jean Perrin, que comprovaram diretamente a existência de moléculas e de átomos, estudando a distribuição de partículas coloidais em suspensão num líquido. Assim foram corroboradas as hipóteses de Leucipo e Demócrito, de um modo incontestável, mais de dois mil anos depois.

O caso do movimento browniano mostra de um modo impressionante como Einstein era guiado por uma imaginação teórica espetacular, que lhe permitia obter resultados extraordinários com uma ignorância espetacular de dados experimentais.

O método de trabalho de Einstein forçou a uma revisão profunda de concepções dominantes na filosofia da Ciência, mostrando que a indução não era o fundamento da construção da teoria física, e valorizando fundamentalmente o papel da imaginação e da intuição na construção da Física.

A obra de Einstein foi sem dúvida uma luta permanente contra as tendências positivistas na elaboração da estrutura teórica da Física apesar da grande estima de Einstein por Mach.

II

Na elaboração teórica de Einstein o método das "experiências pensadas" desempenhou um papel destacado, como já acontecera com Galileu, e provavelmente com muitos outros grandes físicos do passado. Nessas "experiências" o físico imagina uma certa situação física e procura intuir o que ocorreria. Einstein começou a fazer "experiências pensadas" desde a adolescência. Por volta dos dezesseis anos imaginou uma dessas experiências, que foi o ponto de partida da sua criação da teoria da Relatividade Restrita. Nela um observador em movimento retilíneo e uniforme acompanhava com a velocidade da luz a propagação no vácuo de uma onda plana electromagnética, na mesma direcção e no mesmo sentido do deslocamento do observador, situação permitida pela Física pre-relativista, mas absurda porque a onda estaria em repouso em relação ao observador. Dali ele concluiu que as concepções de Espaço e Tempo da Física newtoniana eram insatisfatórias, já que permitiam situações físicas inadmissíveis. Finalmente em 1905 elaborou a Teoria da Relatividade Restrita, que modificava as concepções de Espaço e Tempo da Física newtoniana, impedindo que um observador pudesse atingir a velocidade da luz no vácuo.

Na Teoria da Relatividade Restrita o Espaço e o Tempo para um observador em movimento inercial não eram os mesmos de outros observadores inerciais em relação ao observador considerado. Assim o Espaço e o Tempo eram relativos aos vários observadores inerciais. Essa teoria foi caracterizada como restrita, porque só era aplicável aos observadores inerciais. Sendo qualquer observador inercial o seu Espaço era tri-dimensional, obedecendo à geometria de Euclides. O matemático Hermann Minkowski descobriu que a Teoria da Relatividade Restrita podia ser interpretada como baseada sobre um Espaço - Tempo com quatro dimensões, válido para qualquer observador inercial, em que se aplicava uma geometria euclideana modificada, que se denomina de

pseudo - euclidiana. Cada ponto do Espaço - Tempo de Minkowski tem quatro coordenadas cartesianas, tres de espaço e uma de tempo. Cada um desses pontos pode ser associado a um evento fisico, num instante dado e numa posição dada. O Espaço de um observador num instante dado é uma seção plana do Espaço - Tempo correspondente ao hyperplano normal à trajetoria retilinea do observador no Espaço - Tempo de Minkowski. O tempo de um observador inercial é a medida do segmento de sua trajetoria desde a posição do observador no tempo 0 até a sua posição no instante considerado.

.....

Ao ler o trabalho de Einstein sobre a Relatividade Restrita, Max Planck compreendeu logo que ele representava a maior sintese já realizada até aquele momento em toda a Historia da Fisica, porque afetava todos os ramos da Fisica, desde a Mecanica até ao Electromagnetismo e tornava essencialmente a Geometria num capitulo da Fisica, além de modificar essencialmente o conceito de simultaneidade, pois eventos simultaneos para um observador inercial não o são em geral para outro.

Na Relatividade Restrita a ordem de sucessão de dois eventos só é a mesma para dois observadores inerciais diferentes quando houver a possibilidade de um nexu causal entre os dois. Nesse caso o evento -causa antecede sempre o evento -efeito para qualquer observador. Quando o quadrado da distancia minkowskiana entre dois pontos do Espaço - Tempo de Minkowski for negativa, a ordem de sucessão de eventos associados aos dois pontos depende do observador ~~iner~~

inercial. Nesse caso a distancia entre os pontos de localização dos eventos no Espaço de qualquer observador é maior do que a distancia durante ~~o~~ que a luz percorreria no vacuo no intervalo de tempo medeando entre os dois eventos, para esse observador. Pode-se ver facilmente que nesse caso ha sempre observadores inerciais para os quais os dois eventos são simultaneos.

III

III

Einstein considerou como a consequencia mais importante da Relatividade Restrita a lei de equivalencia entre massa e energia dada pela famosissima formula $E = M c^2$, E denotando a energia de um corpo e M a sua massa, para o mesmo observador inercial. Essa equivalencia implica na possibilidade de transformação de materia em energia e reciprocamente, que abaçou duas das leis fundamentais da Fisica pre-relativista : as leis de conservação da massa de Lavoisier e a lei de conservação da energia, que são agora fundidas numa unica: lei de conservação.

O ponto de partida de Einstein para a descoberta da transformação de massa em energia foi a propriedade de crescimento da massa de um corpusculo com a sua velocidade, decorrente das suas equações diferenciais de movimento de Einstein, que não são as mesmas de Newton. A massa em repouso de uma particula é aumentada pela inclusão da energia cinetica, que não é mais apenas a força viva proporcional ao quadrado da velocidade.

A dinâmica da Relatividade Restrita lançou luz sobre uma nova espécie de energia, descoberta no fenómeno da Radioatividade, assim como sobre a origem do calor solar: a energia nuclear. A equação de Einstein $E = Mc^2$ tornou-se extremamente divulgada depois do aparecimento da bomba atômica, na década de quarenta. Ela se tornou o símbolo do dilema em que a Humanidade vive desde a produção das armas nucleares, que se tornariam ameaça permanente de extermínio da espécie humana, até agora incapaz de encontrar a solução política do desafio nuclear.

.....

O aparecimento da Relatividade Restrita permitiu compreender melhor a natureza da Teoria electromagnética de Maxwell, que fora a maior realização da Física depois da estruturação da Mecânica newtoniana. No fim do século XIX havia uma série de dificuldades essenciais na teoria electromagnética, que resultavam essencialmente da sua incompatibilidade com os conceitos de Espaço e Tempo da Física Newtoniana. Implicitamente a teoria de Maxwell exigia uma nova estrutura de Espaço e Tempo, porque as equações de Maxwell são invariantes para as transformações das coordenadas espaciais e do tempo que constituem o grupo de Lorentz da Relatividade Restrita, mas não para as transformações do grupo de Galileu da Mecânica Newtoniana. O Espaço - Tempo de Minkowski é a estrutura de continuo físico quadri - dimensional plano adequada às equações de Maxwell.

A substituição das equações diferenciais de Newton pelas de Einstein adaptou a dinâmica da partícula ao Espaço - Tempo natural à teoria de Maxwell, eliminando as incompatibilidades que apareciam antes da Relatividade Restrita. Por outro lado a Relatividade Restrita revelou claramente a simetria natural da teoria electromagnética, juntando as seis componentes do campo elétrico e do campo magnético como as seis componentes distintas de um tensor antisimétrico covariante de segunda ordem do Espaço - Tempo de Minkowski. As componentes do potencial vetor e do potencial eletrostáticos são unificadas como as quatro componentes de um vetor quadri - dimensional, assim como as densidades de carga elétrica e de corrente elétricas são unificadas como as quatro componentes de um vetor de corrente quadri-dimensional. O caráter vetorial dos potenciais corresponde ao da corrente elétrica geradora do campo eletromagnético.

.....

IV

Na Teoria da Relatividade Restrita uma distribuição de energia é descrita por um tensor simétrico de segunda ordem, como o tensor de energia do campo eletromagnético. A equivalência de massa ^e energia confere às distribuições de massa o mesmo caráter tensorial que às distribuições de energia, descrevendo -as portanto por tensores simétricos de segunda ordem. Isso conduz à descrição do campo gravitacional por um tensor simétrico de segunda ordem do Espaço - Tempo quadri - dimensional, admitindo - se que o campo gravitacional seja criado

pelas massas , como na teoria newtoniana da Gravitação.

Na teoria geral da Relatividade se admite que o Espaço- Tempo seja uma variedade riemanniana cujo tensor simetrico $g_{\mu\nu}(x)$ da metrica tem um determinante $g(x)$ sempre negativo, mas diferindo do Espaço - Tempo plano de Minkowski pela possibilidade de curvatura. Para obter a teoria gravitacional postulase que os $g_{\mu\nu}(x)$ sejam os potenciais gravitacionais satisfazendo as equações de derivadas parciais de Einstein

$$R_{\mu\nu} - 1/2 g_{\mu\nu} R = k T_{\mu\nu} \quad (1)$$

sendo a constante gravitacional de Einstein, R o tensor contraído de Riemann - Christoffel e R o escalar de curvatura, com $T_{\mu\nu}(x)$ denotando o tensor de energia da materia, incluindo os campos de ~~EM~~ forças não gravitacionais , como o campo eletromagnetico.

O Espaço - Tempo de Minkowski corresponde a uma solução particular do sistema (1) com $T_{\mu\nu} = 0$, para a qual o tensor de curvatura se anula em todos os pontos da variedade.

.....

A teoria da Relatividade Geral de Einstein dá uma teoria que não só aperfeiçoa a de Newton como abre também perspectivas imensas para a Cosmologia, com a possibilidade de numerosos modelos. Atualmente a teoria da Relatividade Geral vem despertando um interesse cada vez maior, relacionado tanto com a discussão dos modelos cosmologicos como com os buracos negros e os quasares , alem dos estudos teóricos sobre as ondas gravitacionais e a sua comprovação

observacional . Em particular os estudos associando a teoria gravitacional de Einstein com a teoria dos campos quantizados parecem abrir novos horizontes para a Física Teorica fundamental .

,.....

O desenvolvimento da Teoria Geral da Relatividade abriu tambem novos horizontes para a analise dos metodos de construcão das teorias fisicas. Einstein já salientara em The World as I see it que o fato da Relatividade Geral não dar em muitos casos diferenças sensíveis, em relação aos da teoria newtoniana da Gravitação, tem o grande interesse filosofico de provar que os mesmos resultados experimentais podem ser compatíveis com sistemas de conceitos fisicos muito diferentes. Isso provaria que os ~~mesmos~~ dados experimentais podem fornecer os sistemas de conceitos, que seriam em larga parte criações da imaginação do cientista. A estrutura da teoria da Relatividade Geral é indiscutivelmente um dos monumentos maiores da imaginação científica. Ela foi certamente construida com pouquissimos dados experimentais, mas vem abrindo perspectivas gigantescas.

.....

v

Einstein foi indiscutivelmente uma das figuras maiores da criação da Fisica dos Quanta, para a qual deu contribuições conceituais fundamentais durante tres decadas. Com a descoberta do foton em 1905 Einstein introduziu a dualidade dos aspetos corpusculares e ondulatorios na Fisica dos Quanta. Foi tambem o primeiro a usar con-

de fotons (10)

ceitos de probabilidade de emissão e e de absorção no seu famoso trabalho de 1917 sobre a emissão da luz por um átomo. Nesse trabalho descobriu teoricamente a existência do fenômeno de emissão estimulada da luz, que nos últimos vinte anos adquiriu uma importância fundamental tanto para a tecnologia como para a instrumentação científica, servindo de base para a construção dos masers e lasers que afetou campos muito diferentes desde a Física, até a Astronomia, a metalurgia e a Medicina.

Aliás Einstein já aplicara conceitos probabilísticos para estabelecer uma conexão entre os aspectos corpusculares e ondulatórios da luz. Max Born reconheceu que a sua interpretação probabilista da função de onda de Schrödinger fora sugerida pela de Einstein para conciliar os aspectos corpusculares da luz com as equações de Maxwell, que corresponde à sua reinterpretação dessas equações como equações de onda relativistas para o photon, partícula de spin 1 e massa 0. Einstein fora portanto um precursor da Mecânica Ondulatória Relativista. Quando lhe fizeram essa observação, respondeu graciosamente que não deveriam atribuir tanta importância às suas loucuras juvenis.... Na realidade na sua maturidade havia preferido uma certa coerência da racionalidade lógica à criatividade destemerosa da sua imaginação juvenil, indiferente às contradições.

É interessante observar que a maneira de ver o mundo dos jovens físicos teóricos que construíram a Mecânica Quântica se aproximara muito da Filosofia Oriental e da dialética taoísta, sob

tambem

a influencia de varias correntes filosoficas existencialistas, fenomenologicas etc . Nas ultimas decadas vem se processando uma critica mais aprofundada dos principios da Mecanica Quantica que podera abrir novas perspectivas sobre o Determinismo e a causalidade na Fisica . As criticas de Einstein muito contribuiram para estimular esse debate.

.....

Nas ultimas decadas da sua vida Einstein dedicou - se sobretudo a tentar desenvolver uma Teoria de Campo Unificado classico .Uma das suas motivações foi provavelmente a preocupação com a existencia da famosa constante sem dimensão e^2/hc construída com a carga do electron e , a constante de Planck h e a velocidade da luz c, que parece indicar uma redundancia fundamental de conceitos. As tentativas de Einstein não permitiram esclarecer esse fato, nem obter os efeitos quanticos de uma teoria classica de campo unificado . É porem digno de nota que nos ultimos anos vem crescendo de modo impressionante o interesse por teorias unificadas, se bem que em linhas bastante diferentes das seguidas por Einstein .

.....

Nos ultimos anos tem havido um desenvolvimento impressionante de teorias combinando a Relatividade Geral com a Fisica Quantica e a Termodinamica, estimuladas sobretudo pelos trabalhos do fisico inglês Hawking sobre os buracos negros. Constitui-se assim uma nova sintese em as considerações de carater estatistico intervêm ainda mais fortemente atravez da combinação de Termodinamica e Teoria Quantica,

de modo primario irredutivel . Desaparece assim a possibilidade de separar da

o probabilismo primario Mecanica Quantica do probabilismo secundario da Termodinamica Estatistica. Circunstancias semelhantes parecem se produzir tambem nas colisões de particulas , com a criação de bolas de fogo. A constante de Boltzmann k vai adquirindo um novo status na Fisica .

.....

VI

Na vida de Einstein a atividade politica, etica e pacifista sempre representou uma parte fundamental , pelo menos desde a Primeira Guerra Mundial, a qual se opoz corajosamente, denunciando o militarismo do imperio prussiano , apoiado pela quase totalidade dos grandes cientistas alemães. Desde então as preocupações pacifistas e democraticas marcaram fundamentalmente a sua atuação. Apoiou entusiasticamente a Republica e tornou-se um alvo predileto do nazismo alemão, desde os seus primeiros dias.

Abandonou a Alemanha desde o advento do nazismo, emigrando depois para os Estados Unidos. Ante o perigo do militarismo nazista apoiou o rearmamento dos paises democraticos, vendo-se forçado a deixar provisoriamente o seu anterior pacifismo radical. Teve uma atuação importante para convencer o presidente Roosevelt a produzir a bomba atomica , ante a possibilidade da sua produção pela Alemanha nazista. Ficou porem consternado com a destruição de Hiroshima e Nagasaki, passando a combater as armas atomicas até a sua morte.

Einstein ficou muito preocupado com o surto do macartismo nos Estados Unidos, compreendendo que a democracia americana corria um grave perigo. Apesar de não ter sido convocado pelo famoso comité, tomou corajosamente a atitude de aconselhar um seu amigo a se recusar a depor, autorizando - o a publicar a sua carta. Compreendia que a manutenção plena das liberdades democraticas era indispensavel para impedir a volta do fascismo e a guerra atomica.

Einstein escreveu muito sobre problemas sociais, economicos e politicos, num estilo de clareza e concisão admiraveis, demonstrando a mesma capacidade critica e a mesma intuição que distinguiram a sua obra de cientista natural. Esses escritos teem sido uma fonte de inspiração para milhões de homens em todo o mundo. Infelizmente as suas obras não teem sido traduzidas para o portugues, sendo pouco conhecidas entre nós. Seria extremamente desejavel que as comemorações do centenario do seu nascimento incluam uma tradução das suas obras, tanto de ^{cientista} Física como de pensador.

ceitos de probabilidade de emissão e de absorção em relação aos ftons. Como reconheceu Max Born, o criador da interpretação probabilista da Mecanica Ondulatoria, fôra inspirado pela aplicação de conceitos probabilísticos para a correlação dos aspetos corpusculares e ondulatorios da luz por Einstein na sua reinterpretação probabilista das ondas de Schrödinger. É certo que desde o fim da década de vinte, Einstein foi se afastando cada vez mais da elaboração da teoria quântica, infênso às suas interpretações probabilistas, em contraste com o entusiasmo com e estimulara que recebera as primeiras descobertas da Mecanica Ondulatoria.

Einstein preocupava-se com o aparente excesso de constantes fundamentais indicado pela existencia de numero e^2/hc , esperando tal- que alguma forma de teoria de campo unitario pudesse esclarecer o seu sentido, e assim o da constante de Planck, raiz das incertezas da teoria dos quanta. Nos ultimos anos ressurgiu o interesse sobre teorias de campo unificado, se bem que em linhas diferentes das tentativas de Einstein.

.....

Nos ultimos vinte anos, o fenomeno da emissão estimulada da luz descoberto por Einstein em 1917 no seu famoso trabalho teorico sobre a emissão da luz, adquiriu uma importancia cientifica e tecnologica enorme com a construção dos masers e lasers e as suas numerosas aplicações em campos muito diferentes, desde a metalurgia até a medicina.