

4 A ciência do tempo e o século XX

O conceito de “tempo” tem uma longa e inacabada história no pensamento filosófico-científico, e as abstrações científicas acerca do tempo e do espaço foram, à princípio, “aterrorizantes”. Na medida em que a ciência tirou do espaço e do tempo valores subjetivos, criou a primeira visão de mundo humana que era indiferente não apenas aos temores e esperanças triviais, mas também, à própria existência da raça humana. Por outro lado, muitos pensadores acreditavam que o sucesso da ciência era a prova reconfortante de que o universo era racional e não-caótico, submetido à leis e não arbitrário. Na civilização ocidental, do pensamento medieval em diante, a necessidade dessa crença originou-se na doutrina judaico-cristã de um único Criador cujas leis eram racionais e, assim, acessíveis à razão humana¹.

Como pode ser observado no capítulo passado do presente trabalho, a modernidade é marcada pela separação metodológica entre a ciência e a filosofia, o que antes era uma forma comum de saber natural originou, de um lado, a filosofia natural e a metafísica e, de outro lado, a ciência natural e a física clássica.

A partir dos esforços filosóficos de Galileu e Newton, da articulação do relógio pendular de Huygens e, principalmente, em virtude das necessidades da sociedade comercial moderna, o *tempo* ficou caracterizado na ciência com uma certa *quantidade mensurável* associada ao movimento dos corpos.

Embora Newton fizesse uma distinção metafísica entre o tempo e a sua medida relativa, o fato dele ter atribuído a ambos um fluxo fez com que prevalecesse na modernidade a idéia de um tempo móvel (com cadência própria) e infinito (não limitado em ambos os sentidos). Em virtude deste fato, os princípios metafísicos de Newton acabaram sendo deixados de lado, nos séculos que se seguiram a publicação dos *Principia...*, no desenvolvimento do formalismo matemático da mecânica.

Tempo absoluto, em astronomia, é distinguido do tempo relativo, pela equação ou correção do tempo aparente. Porque os dias naturais são de fato desiguais, apesar de serem comumente considerados como iguais e usados como medida de tempo;

¹ Cf. Silva, N. F. R. da. 2003: *Tempo e Experiência: Um estudo filosófico acerca da natureza do instante e da duração*. p. 84 / 85.

os astrônomos corrigem essa desigualdade, para que possam medir os movimentos celestes por um tempo mais rigoroso. Pode ser que não haja algo como movimento uniforme, onde o tempo possa ser rigorosamente medido. Todos os movimentos podem ser acelerados e retardados, mas o fluxo de tempo absoluto não é passível de mudanças. A duração ou perseverança da existência das coisas permanece a mesma, sejam os movimentos rápidos ou lentos, ou até completamente nulos. E, portanto, essa duração deve ser distinguida daquelas que são apenas suas medidas perceptíveis, a partir das quais aquela é deduzida através da equação astronômica².

Apesar de atrativa para os leigos, a idéia de Newton de tempo absoluto fluindo em um ritmo uniforme sejam quaisquer forem os acontecimentos do mundo, de forma que continuaria igual mesmo que o universo estivesse completamente vazio, foi muitas vezes criticada pelos filósofos, conforme se pode observar no capítulo anterior do presente trabalho. Essa idéia supõe que o tempo é um tipo de coisa e atribui a ele a função de fluir. Se o tempo fosse uma coisa que fluísse, ele próprio consistiria em uma série de eventos no tempo, mas isso não faria sentido algum. Além disso, se o tempo pode ser considerado isolado, “sem relação com qualquer fator externo”, como dizia Newton, o que significaria dizer que seu fluxo não é uniforme? E se não há significado nem mesmo para a possibilidade de um fluxo não-uniforme, de que adianta dizer que o tempo “flui uniformemente”? Uniformemente como relação a que, se ele independe de todo e qualquer fator externo? Pode-se observar que, apesar de procedentes, estas críticas não levam em consideração o fato de Newton não ser um filósofo, num sentido mais apurado do termo, mas um cientista basicamente preocupado com o uso prático de suas idéias fundamentais. Porém, infelizmente, sua definição de *tempo absoluto* não tem uso prático! Nós podemos apenas observar os eventos e processos da natureza e neles basear nossas medidas de tempo. Com efeito, essa ciência, a fim de privilegiar a consideração sobre essa suposta “*ordem eterna*” que rege a natureza, concedeu ao tempo, a partir desta visão inaugural, o estatuto de “tempo real” ou “tempo físico”, definido basicamente em termos de conceituação e medida. O tempo na ciência adquire um “parâmetro matemático abstrato”, presente nas leis e equações (t) tão familiares aos estudantes de física.

Essa idéia de um tempo absoluto foi rejeitada por Leibniz, que argumentava que os eventos têm estatuto ontológico mais fundamental do que os instantes e que, portanto, seria absurdo imaginar instantes quando não existem coisas, e por

² Cf. Newton, I. 1990: *Principia: Princípios Matemáticos de Filosofia Natural*. p. 8 - 9.

Kant, que ao postular que o tempo é uma forma da percepção humana define, por extensão, que a totalidade da experiência e a sua possibilidade em geral – o númeno – é atemporal. Apesar de hoje já se saber que estas teorias estão muito mais próximas das tendências contemporâneas da física, o modelo científico clássico ignora estes aspectos e funda seus modelos na idéia de tempo que prevalece no senso-comum.

Nós séculos XVIII e XIX, porém, o ponto de vista de Newton era dominante, de modo que no início do século XX admitia-se genericamente que havia apenas um sistema universal de tempo e que ele existia por si só. Essa crença não se limitava aos cientistas: foi alimentada pela tendência crescente na civilização industrial para que a vida dos homens fosse regulada pelo relógio, particularmente depois da produção em massa de relógios baratos. Mesmo a divisão da superfície da Terra em fusos horários separados não minou muito a crença da natureza absoluta e universal do tempo. A introdução da “economia de luz” (horário de verão) no Reino Unido, em 1916, durante a Primeira Guerra Mundial, foi recebida com fortes protestos, não só daqueles que o consideravam inconveniente, mas também dos que achavam um ultraje interferir com “O Próprio Tempo de Deus!”. As pessoas mais sofisticadas percebiam que a escolha da hora zero e das unidades de tempo podia ser alterada para atender às conveniências do homem, mas acreditavam que esses eram os únicos aspectos arbitrários na concepção de tempo, tudo o mais nele era único e inalterável. Na verdade via-se o tempo como uma espécie de lâmina em movimento, que cobria todos os pontos do universo simultaneamente³.

Portanto, foi um grande choque quando, em 1905, Einstein descobriu uma lacuna que tinha passado despercebida na teoria da medida do tempo e que o fez rejeitar suas suposições e toda a filosofia do tempo a elas associadas, mas voltarei a este ponto mais adiante, após uma breve exposição dos meandros da teoria clássica do *tempo físico*.

Sinteticamente, pode-se dizer que este tempo estudado pela mecânica é linear, contínuo, homogêneo e independente do referencial e da presença de campo ou matéria. Além disso, ele compõe, junto com o espaço, o “palco” onde se dão os eventos (fenômenos) físicos. Apesar dessa vinculação teleológica, tempo e espaço são, dentro desta *perspectiva clássica de ciência do tempo*, entidades distintas, independente de qualquer referencial. Segundo a metáfora anteriormente empregada, espaço e tempo são o “palco” cuja existência independe da presença dos “atores”, neste caso, os eventos.

³ Cf. Whitrow, G.J. 2005: *O que é o Tempo?* p. 105

Dizer que o tempo independe do referencial é aceitar que, tanto a variação do tempo (Δt) quanto a simultaneidade entre eventos, é a mesma para quaisquer observadores inerciais entre si. Assim como o Δt , a *simultaneidade* de eventos é também uma noção absoluta, independente do referencial.

O tempo e a *simultaneidade* absolutos, compartilhados por todos os referenciais inerciais, são necessários para dar significado às leis mecânicas. A terceira lei de Newton argumenta que se A exerce uma força sobre B, B exerce *instantaneamente* uma força igual e contrária sobre A, estando a simultaneidade das medidas já aí implicada. A noção de *simultaneidade absoluta* dá um significado inequívoco à esta terceira lei de Newton e se insere naquele quadro de “ação instantânea à distância” tão característico desta teoria e, sem o qual, essa teoria simplesmente não funcionaria⁴.

O tempo, diferentemente do espaço, é unidimensional. É ainda contínuo, no sentido de que entre dois instantes quaisquer existem infinitos outros. Esse caráter linear e contínuo do tempo clássico faz com que uma boa representação para ele seja a reta dos números reais, no entanto, esta ainda seria uma representação estática, o aspecto dinâmico, próprio do tempo, começa a aparecer quando consideramos outra de suas propriedades, a sua *homogeneidade*.

Por homogeneidade entende-se, grosso modo, que todas as “partes” do tempo são idênticas entre si. Isso assegura que quaisquer dois experimentos independentes que tenham *hoje* um resultado X podem ser repetidos *no futuro* com mesmo resultado⁵. Dito e outra forma, é isso que garante que o resultado dos experimentos não dependa do momento em que os experimentos são realizados, os resultados permanecem idênticos preservando-se as mesmas condições iniciais. Essa propriedade encontra-se relacionada, pelo formalismo matemático desta teoria, a um dos mais importantes princípios da conservação da física: o da energia. Poderia-se dizer que a homogeneidade corresponde a uma certa *simetria do tempo* que se reflete na lei de conservação da energia.

É possível ainda pensar essa *homogeneidade* como fundamento da afirmação newtoniana do *fluir uniforme* do tempo. Dizer que o transcurso do tempo é *uniforme* significa algo como afirmar que ele “passa” sempre da mesma maneira, sem *acelerações* ou *retardamentos* com relação a um determinado

⁴ Cf. Rindler, W. 2001: *Time from Newton to Einstein to Friedman*. p. 65

⁵ Cf. Rindler, W. 2001: *Time from Newton to Einstein to Friedman*. p. 64.

referencial, o que, na verdade, não constitui, conforme observado anteriormente (p. 57), uma definição muito precisa, pois o que significaria dizer que o tempo não é uniforme com relação a seu referencial? Que o *tempo* passa mais rápido, ou mais devagar, com relação ao... *tempo*? De todo modo, podemos conceber, meramente por hipótese, que o fluir não-uniforme do tempo corresponderia, na prática, a algo como o passar desigual de minutos, aos movimentos aritmados de astros em suas órbitas, quase como ver um filme apertando aleatoriamente as teclas “*fast foward*” e “*play*” do dispositivo de vídeo. Em um mundo de tempo não-uniforme, a energia pareceria não se conservar, “surgir do nada” ou simplesmente “desaparecer”.

Não obstante, é necessário observar que afirmar que o tempo é linear, contínuo e homogêneo (uniforme) não significa dizer que ele flui em um *sentido determinado*. Tanto é possível percorrer uma “linha reta” num sentido como no outro. Portanto, a *homogeneidade* do tempo não implica na sua *irreversibilidade*, pois um mundo que funcionasse no sentido oposto obedeceria todas as mesmas leis de conservação de energia necessárias a mecânica. Ainda não é aqui que aparece uma justificação estritamente científica para nossa *intuição dinâmica e irreversível* do tempo. Para elucidar a relação entre a nossa percepção e esse “tempo físico” é necessário observar, portanto, os processos onde a energia se conserva (conservativos) e os processos onde isso não acontece (dissipativos).

É importante reafirmar, primeiramente, que a mecânica clássica é uma *teoria temporalmente reversível*, ou seja, é invariante por reversão temporal (qualquer transformação que troque t por $-t$). Pode-se compreender essa invariância por reversão temporal como a afirmação de que, nesses moldes, uma seqüência qualquer de estados é dinamicamente possível se e somente se o seu reverso temporal também é possível.

Como uma teoria reversível acomoda então a irreversibilidade do tempo? Na verdade, ela não acomoda. Consideremos o caso dos sistemas conservativos. Um sistema desse tipo, como o pêndulo que oscila sem atrito ou qualquer resistência, é idêntico a um outro que seja sua reversão temporal. Na prática, não conseguiríamos distinguir, numa filmagem de ambos, qual deles “avança” e qual “retrocede”. A formulação mecânica assegura, nestes casos, que haja homogeneidade do tempo, conservação de energia e, portanto, reversibilidade dinâmica. Mas sistemas assim representam sempre uma aproximação, pois a energia mecânica nunca se conserva, estritamente.

A quebra da simetria de inversão temporal parece, portanto, estar vinculada a não-conservação de energia. Nos sistemas desse tipo, ditos dissipativos, há transformação da energia mecânica em formas mais “desorganizadas” de energia, principalmente a energia térmica. Um sistema dessa natureza é considerado irreversível, mas **apenas** no sentido de que sua reversão temporal nunca é observada. Dessa maneira, somos capazes de distinguir entre um pêndulo (dissipativo) que oscila até parar de um que milagrosamente parte do repouso e oscila com amplitude cada vez maior. A não-conservação da energia mecânica acrescenta ao “tempo físico” uma de suas características mais fundamentais, sua *irreversibilidade*.

Mas a relação entre a não-conservação da energia mecânica e a irreversibilidade do tempo não é tão imediata, pois embora as inversões temporais dos sistemas dissipativos nunca sejam observadas espontaneamente, elas são *dinamicamente possíveis*. Digo, não há nada nas leis da mecânica que impeça o milagre do pêndulo começara oscilar, a partir do repouso, com amplitude cada vez maior⁶.

Strictu sensu a irreversibilidade do tempo foge ao escopo da mecânica exata e recai numa esfera puramente *estatística*, onde o aumento do grau de entropia (desorganização energética) do sistema determina sua *probabilística irreversibilidade*. O caráter estatístico da lei do aumento da entropia faz com que a reversão do tempo seja simplesmente um processo pouco provável, o suficiente para que os cientistas o considerem, na prática, impossível (de fato). No entanto, é necessário observar que ao tentar vincular a mecânica e a termodinâmica a um tempo *realmente irreversível*, o fazemos mediante uma aceção probabilística, e não absoluta⁷.

Filosoficamente, a questão da irreversibilidade do tempo no âmbito da mecânica está em aberto. O estudo de sistemas dissipativos tem procurado mostrar a existência de uma “seta do tempo” mais fundamental, ligada a equações não-lineares que descrevem de modo assimétrico os sistemas mais elementares da mecânica estatística (Prigogine & Stengers, 1992). Para outros, no entanto, a

⁶ Essa discussão sobre a possibilidade de explicação da irreversibilidade do tempo através da mecânica clássica, apesar de datar do final do século 19, permanece atual. Ela ficou conhecida como “paradoxo da reversibilidade” e a idéia central é justamente a de como é possível explicar a irreversibilidade macroscópica (observada) se, microscopicamente, as leis mecânicas que movem as partículas são reversíveis temporalmente.

termodinâmica não-linear irreversível não revolucionou a visão tradicional sobre o sentido do tempo, pois continua apoiando suas conclusões sobre condições subjetivas e não leis fundamentais realmente irreversíveis (Von Borzeszkowski & Washner, 1984). Daí que se busque ainda hoje, na mecânica quântica e na física relativística, argumentos tanto em prol de uma *irreversibilidade real* quanto de sua *aparência ilusória*.

A física relativista, apesar de ter causado uma revolução na maneira de se compreender o tempo, não surgiu com este intuito. O problema originário de Einstein era tentar conciliar o eletromagnetismo clássico, na formulação de Maxwell-Lorentz, com o “princípio da relatividade” da mecânica newtoniana, enunciado, num dos corolários do *Principia...*, desta forma: “Os movimentos dos corpos incluídos em um dado espaço são os mesmos entre si, esteja este espaço em repouso ou seguindo uniformemente em linha reta”.

Embora esse princípio de relatividade fosse considerado universalmente válido para corpos materiais, ele parecia divergir da teoria de Maxwell. Ao buscar uma solução para essa incompatibilidade, Einstein estabeleceu como postulado básico a constância de c (300.000 km/s), conforme medida por qualquer sistema referencial inercial. E foi isso que o levou, em última análise, a tocar nos conceitos de espaço e tempo, tomando como premissa as equações de Maxwell, nas quais a luz está contida.

O fato da luz ter uma velocidade propagação finita insere um novo dado na formulação mecânica. Antes era possível considerar, p.ex., a interação entre os centros gravitacionais da Terra e da Lua dentro de um contexto de *ação simultânea à distância*, onde justamente as astronômicas distâncias eram ignoradas ao assumir-se que a interação se propagava com velocidade infinita e, por isso, *instantaneamente*. Dentro desta perspectiva, o par ação-reação que descreve a interação gravitacional entre esses corpos e se encontra imaginariamente representado por uma linha reta que liga seus centros de massa, seria deslocado simultaneamente a qualquer alteração na posição desses corpos.

Einstein constatou também que, segundo sua teoria, as leis de movimento de Newton – antes consideradas o fundamento de grande parte da física – tinham que

⁷ Cf. Martins, P. F. A. & Zanetic, J. 2002: *Tempo: esse velho estranho conhecido*. In: *Ciência e Cultura* ; pp. 41-42.

ser modificadas, particularmente para corpos com movimentos rápidos. Por exemplo, a massa inerte de um corpo, anteriormente considerada independente de seu movimento, passou a ser vista aumentando indefinidamente, à medida que sua velocidade se aproxima da velocidade da luz. Conseqüentemente, quanto mais rápido esse corpo se mover, sua velocidade se alterará cada vez menos, pela ação de uma certa força. Disso resulta que nenhuma partícula de matéria pode jamais atingir a velocidade da luz⁸.

O estabelecimento da velocidade finita de propagação da luz fixou uma espécie de limite superior para essa transmissão de informação. No entanto, o seu valor absurdamente elevado faz com que as conseqüências dessa finitude não sejam perceptíveis em nosso cotidiano. Porém, a grandes distâncias, o conceito de simultaneidade entre eventos se torna relativo. Um observador a meio caminho entre a Terra e o Sol demoraria cerca de 4 minutos para perceber uma anomalia no Sol e esta mesma anomalia só seria detectada pelos demais observadores terrestres outros quatro minutos depois. Dois eventos, um na Terra e outro no Sol, que para esse observador fossem simultâneos, não o seriam para um outro observador lunar.

No entanto, a ruptura com o modelo clássico de tempo, na teoria da relatividade, vai mais além. A teoria de Einstein da relatividade especial é incompatível com o conceito de Newton de tempo absoluto, mas poderia, por outro lado, ser vista como um desenvolvimento da teoria de Leibniz do tempo relativo. A idéia de que o tempo deriva dos eventos é compatível com a existência de uma multiplicidade de sistemas de tempo associados com diferentes observadores. Dentro do escopo da relatividade especial o tempo passa a ser considerado, como esclarece Whitrow, “um aspecto da relação entre o observador e o Universo”. Ou seja, tempo e espaço já não podem mais ser analisados desconectados entre si, como argumentou Minkovski: “Ninguém jamais percebeu um lugar a não ser em um tempo, ou um tempo a não ser em um lugar”. Segundo as transformações de Lorentz, espaço e tempo formam uma única entidade tetra-dimensional e todos os eventos passam a ser descritos segundo quatro coordenadas, três espaciais e uma temporal.

A crítica de Einstein ao conceito clássico de simultaneidade, anteriormente citado, parece descartar a possibilidade de uma seqüência objetiva de estados

⁸ Cf. Whitrow, G.J. 2005: *O quê é o Tempo?* p. 111.

temporais do universo, pois cada observador tem sua própria seqüência desses estados, e nenhum pareceria ser de alguma forma especialmente privilegiado.

Neste novo “palco” da relatividade, embora não haja um observador privilegiado, existe uma *classe* de observador privilegiado, o observador inercial. E com relação a estes observadores inerciais, a realidade relativística prevê um efeito bastante curioso no que diz respeito ao tempo. Uma vez que se toma o “espaço-tempo” como uma só realidade, a alteração da velocidade de um objeto gera um fenômeno chamado de *dilatação do tempo* com relação a um observador inercial em relação a este objeto. É justamente em virtude desse fenômeno que pode-se observar o “paradoxo do relógio”, como é hoje chamado, que descreve a diferente passagem do tempo em dois relógios viajando a diferentes velocidades, o efeito é maior quanto mais próximo da velocidade da luz for o deslocamento.

Embora os intervalos de tempo e a simultaneidade dependam dos sistemas de referência adotado, isso não significa que “tudo é relativo”. A relatividade especial incorporou novos absolutos, como a velocidade da luz e o “intervalo relativístico”, que é uma espécie de “distância generalizada” no espaço-tempo⁹. Também a causalidade foi preservada, uma vez que dois eventos conectados entre causalmente entre si (separados por uma distância d tal que $d < ct$) mantêm o seu nexos causal independentemente do referencial. Isso significa que, embora a observação dos eventos temporais possa ser observada na ordem inversa dependendo da posição do observador, está preservada dentro do escopo desta teoria uma certa *ordem determinada* de eventos, segundo uma linha encadeada de causa-efeito¹⁰.

Se a homogeneidade do tempo encontrava-se, classicamente, associada a conservação de energia, na teoria da relatividade existe uma dependência do transcurso do tempo com relação ao estado de movimento do observador e isso insere um novo elemento a teorização do tempo da mecânica: Do mesmo modo que tempo e espaço perdem sua autonomia, energia e movimento também formam um composto de tal maneira que o espaço-tempo corresponde a conservação da energia-movimento.

O último golpe na maneira clássica de se pensar o tempo se dá com o advento da “relatividade geral”.

⁹ Cf. Szamoz, G. 1988: *Tempo e Espaço: as dimensões gêmeas*; p. 150.

¹⁰ Cf. Davies, P. 1999: *O Enigma do Tempo*; p. 25-32 – 370.

Em física, a relatividade geral é a generalização da teoria da gravitação de Newton, publicada em 1915 por Albert Einstein. A nova teoria leva em consideração as idéias descobertas na relatividade restrita sobre o espaço e o tempo e propõe a generalização do princípio da relatividade do movimento de referenciais em movimento uniforme para a relatividade do movimento mesmo entre referenciais em movimento acelerado. Esta generalização tem implicações profundas no nosso conhecimento do espaço-tempo, levando, entre outras conclusões, à de que a matéria (energia) curva o espaço e o tempo à sua volta. Isto é, a gravitação é um efeito da geometria do espaço-tempo¹¹.

Com esta teoria, Einstein incorpora a gravitação no âmbito da relatividade, tomando como princípio fundamental dessa teoria a *equivalência entre sistemas acelerados e sistemas submetidos a campo gravitacional*¹². O princípio da relatividade passa a ter validade universal, e não apenas em sistemas inerciais de referência. O espaço-tempo, nesse novo contexto, é afetado pela própria presença da *matéria*, a própria noção de massa (matéria) é reeditada e, pela primeira vez, há a identificação, como consequência do princípio de equivalência supracitado, entre massa inercial e massa gravitacional. É como se o “palco”, até então não dependente da presença dos “atores”, passasse a depender disso para existir. A *métrica* do espaço-tempo, determinada numa geometria generalizada (não-euclidiana), é afetada pelo conteúdo material do Universo.

A relatividade geral prevê o evento da *dilatação do tempo* na presença de um campo gravitacional. Relógios próximos a superfícies da Terra, p.ex., andam mais lentamente do que seus semelhantes colocados em grandes altitudes. O fenômeno da dilatação do tempo é maior quanto maior for a intensidade do campo gravitacional¹³. Logo, o fluir do tempo, além de depender da velocidade relativa entre seus observadores, é afetado pela presença da matéria do Universo.

No século XX, as teorias da relatividade, aliadas à mecânica quântica, levaram a um desenvolvimento sem precedentes na área da *cosmologia*. Surgiram diversos modelos teórico-experimentais, sempre acompanhados de afirmações e, principalmente, de questões nas quais o tempo desempenha papel central; o tempo é hoje uma das questões, se não “a questão”, mais fundamental dentre aquelas

¹¹ “Relatividade Geral” In: Wikipédia (<http://pt.wikipedia.org>)

¹² Idem

¹³ Cf. Davies, P. 2002: *Como construir uma máquina do tempo*. p. 62-67.

sobre as quais conjectura a física. Ainda atualmente, admitindo-se o “modelo padrão” aceito atualmente, que prevê a ocorrência do Big Bang e uma posterior expansão cósmica, a “origem do tempo” e a idade do cosmo são temas controversos.

Para entender o modo como a física quântica lida com a questão do tempo, é necessário entender que tipo de brecha aparece na relatividade geral para que uma nova linha de questionamento pudesse ser desenvolvida.

A teoria da relatividade, conforme mencionado anteriormente, se baseia conceitualmente em alguns fatores absolutos, o mais importante deles sendo a velocidade da luz (c). A tese fundamental levantada por esta teoria, e apoiada nesse absoluto, é a de que nenhuma partícula (parte de matéria) pode viajar a uma velocidade maior do que a da luz, tomando a luz como a coisa movente mais veloz no universo.

Ao longo do século XX, Plank, Rutherford e, por final, Bohr, trabalharam no sentido de obter um conhecimento mais refinado acerca das estruturas fundamentais da matéria, chegando finalmente a um conhecimento acerca da *natureza do átomo*, e, paralelamente a isso, Einstein trabalhava no sentido de tornar mais coesa a fundamentação de suas *equações da luz* que, muito embora a teoria da relatividade tenha sido muito bem aceita, de maneira geral, foram bastante contestadas, pois pareciam, em certa medida, insustentáveis, segundo esclarece Szamosi¹⁴, e justamente o que a tornava tão difícil de ser assimilada era a hipótese levantada por Einstein de haver um caráter *dual* na existência da luz. Como se poderia supor a época que algo não era nem onda e nem partícula, mas que, dependendo da situação, poderia ser uma coisa ou a outra? Foi precisamente esta idéia que impulsionou uma grande revolução no ramo das ciências físicas e que gerou, mais tarde, a física quântica.

Um dado interessante a respeito da física quântica é que, diferentemente das teorias físicas apresentadas até aqui, a teoria quântica não surge como resultado do trabalho de um autor específico, mas sim de várias pesquisas paralelas que vieram a concluir, por fim, aquilo que hoje se chama de mecânica quântica¹⁵. Conforme mencionado anteriormente, a origem do questionamento acerca na natureza quântica do átomo ganha relevância na ciência após essa confluência teórica,

¹⁴ Cf. Szamosi, G. 1988: *Tempo e Espaço: as dimensões gêmeas*. p. 184.

¹⁵ Cf. Szamosi, G. 1988: *Tempo e Espaço: as dimensões gêmeas*. p. 187.

Einstein e o caráter dual da luz e Plank, Rutherford e Bohr com a descoberta do núcleo e a fundação dos primeiros modelos atômicos.

Em 1913, o modelo atômico de Bohr surge como o primeiro capaz de explicar a estabilidade atômica prevendo uma série de órbitas elétricas ao redor do núcleo carregado. No contexto desta teoria, um átomo absorveria a luz ou a emitiria em virtude do posicionamento desses elétrons nessas diferentes órbitas. Bohr criou as condições matemáticas para determinar essas órbitas e explicar esse mecanismo sem, no entanto, conseguir justificar o porquê destas órbitas e o que exatamente manteria os elétrons dentro destes perímetros determinados.

Na década seguinte experimentos foram empreendidos por diversos estudiosos no sentido de tentar viabilizar a hipótese de Louis de Broglie (1923), de que o caráter dual da luz poderia ser também atribuído as demais entidades físicas¹⁶. Como resultado desse grande empreendimento encontramos o surgimento, principalmente, da mecânica ondulatória de Schroedinger e dos princípios atômicos de Heisenberg.

A partir de 1926 a mecânica quântica evoluiu através de duas vertentes distintas: uma delas ocupou-se em responder várias perguntas relacionadas com os átomos, com as moléculas, com a física nuclear, com a química e com os problemas do estado sólido; a outra vertente (1927), se voltará para o desconhecido mundo do eletromagnetismo e das partículas elementares, estendendo a mecânica quântica ao domínio dos campos eletromagnéticos. Desse modo passou a apresentar resultados muito satisfatórios que envolviam, ao mesmo tempo e, de forma inusitada, a luz e os átomos¹⁷.

Há diversas questões envolvendo a noção de tempo na mecânica quântica, quase todas sendo bastante polêmicas – como é característico dessa teoria. Para compreender então o que diz a física quântica a respeito do tempo, é necessário compreender esse duplo aspecto do enfoque da teoria quântica.

Conforme citado anteriormente, a física do átomo e a física da luz atingem um patamar comum e, ao longo da década de vinte, constituem então a mecânica quântica em cima de duas hipóteses fundamentais. A primeira delas sendo, a

¹⁶ Cf. Szamozí, G. 1988: *Tempo e Espaço: as dimensões gêmeas*. p. 187.

¹⁷ Cf. Silva, N. F. R. da. 2003: *Tempo e Experiência: Um estudo filosófico acerca da natureza do instante e da duração*. p. 107.

dualidade onda-partícula, derivada das pesquisas de Einstein sobre a luz e estendida para todos os componentes subatômicos da matéria, e a segunda, *o princípio de incerteza*, atribuído a Heisenberg.

A dualidade onda-partícula postula que, tal como a luz, toda substância subatômica constituinte da matéria não é onda nem partícula isoladamente, mas constitui uma existência dual que pode comportar-se como onda ou como partícula em virtude da situação (do experimento), o que leva a conclusão – aparentemente contraditória – de que ontologicamente são as duas coisas, onda e partícula, ou seja, uma outra coisa que não é nenhuma destas duas tomadas isoladamente.

Isso, por si só, já causa uma grande alteração no pano de fundo sob o qual trabalhava a física até então, a relatividade geral, p.ex., ao postular a velocidade da luz (onda e partícula) como um limite superior inigualável de velocidade, trata tudo o mais no universo com sendo ontologicamente partícula, e deriva daí, segundo a lei fundamental de Newton ($F = m \cdot a$), que nenhuma partícula poderia atingir velocidade igual ou superior a da luz.

Mas e agora que isso que era entendido meramente como partícula adquire o caráter dual de, tal com ao luz, ser onda e partícula *simultaneamente*? Classicamente falando, conhecendo-se certos dados a respeito de uma partícula (velocidade, aceleração, posição em um dado momento) é possível determinar outros dados e rever ou prever seu movimento com precisão. Uma vez que o conceito fundamental desse elemento subatômico é refeito, ora um elétron, p.ex., pode se comportar como uma partícula elementar localizada numa posição do espaço ora como uma onda estendida espacialmente. Isso significa que, dentro do contexto quântico, o cálculo dos dados instanciais desse elemento são *incertos*, não podem ser aferidos com precisão, ou ainda, numa perspectiva mais abrangente, não são observáveis. Esse fato foi descoberto por Heisenberg e ficou conhecido com o “*princípio de incerteza*”.

Esse “*princípio de incerteza*” de Heisenberg “fixa limites rigorosos ao grau de precisão com que podemos determinar as propriedades de uma partícula¹⁸”. Conforme explica Davies, segundo esse princípio, quanto mais se conhece sobre um determinado atributo do elemento, mais incerto se tornam os demais atributos,

¹⁸ Cf. Davies, P. 1999: *O Enigma do Tempo*; p. 117.

quanto melhor se mede o deslocamento desse elemento, mais incerta se torna sua posição e vice-versa, foi antecipando algo desta natureza incerta das partículas subatômicas que Schroedinger, em 1926, obteve sua fórmula segundo a qual uma mesma partícula pode estar em dois lugares ao mesmo tempo com 50% de chance de estar no primeiro e 50% de chance de estar no último. Outro destaque é a presença do tempo numa das relações de incerteza de Heisenberg, conjugado a grandeza E (energia), evidenciando que ambos não podem ser simultaneamente conhecidos com precisão. Ou seja, quando o tempo é tomado como efetivamente definido (existente), a própria partícula, sua constituição energética, se torna “mal definida” e vice-versa, se a partícula é energeticamente bem definida, o tempo, por sua vez, é incerto, não pode ser determinado com precisão ou, dependendo da interpretação, não existe. Essa relação entre energia e tempo é historicamente polêmica e ainda hoje parece não haver consenso sobre qual a melhor maneira de interpretá-la¹⁹.

O tempo reaparece como problema no contexto dos efeitos “não-locais”, onde sistemas com distância (d) superior a ct são capazes de interagir entre si instantaneamente. A explicação da interação não-local desta natureza, confirmadas por experimentos recentes, sugere a possibilidade da transmissão de algum tipo de “informação” a uma velocidade maior que c , o limite fixado pela teoria da relatividade.

O problema da irreversibilidade também é formulado pela mecânica quântica e, sendo a mecânica uma teoria reversível temporalmente, o privilégio de um certo sentido do tempo nos sistemas de “onda-partícula” carece de explicação. Muitos argumentam que o próprio processo de medição do sistema (o colapso da função “onda” dos sistemas) altera a simetria e introduz o caráter irreversível nos sistemas quânticos.

Price, p.ex., argumenta que a assimetria observada não deve ser aplicada ao mundo quântico e que, no entanto, esta mesma crença está pressuposta tacitamente em todas as interpretações quânticas. Price conclui, portanto, que essa crença na “seta do tempo”, longe de ser justificável pela mecânica, é uma característica elementar da experiência humana que não deve ser transposta para o micro-mundo. Esse tipo de leitura da mecânica quântica reacende a possibilidade

¹⁹ Cf. Pessoa Jr, O. 1995: *Uma incerta história do observável tempo na física quântica*. p. 207-246.

de compreensão da mecânica baseada na idéia de simetria e da simultaneidade (da possibilidade da perfeita reversão temporal), o que eliminaria inclusive a problemática dos efeitos “não-locais”, citada anteriormente.

Na contra-mão deste tipo de leitura, os defensores de uma irreversibilidade real buscam no eletromagnetismo quântico a solução para este problema. Nesse contexto, as anti-partículas podem ser entendidas como partículas que andam “para trás” no tempo e os experimentos recentes com o *káon* (partícula gerada em colisões nucleares) tentam demonstrar o modo pelo qual o *káon* se transforma espontaneamente no seu *anti-káon* e vice-versa. Embora esses processos também sejam simétricos, os estudos indicam que há um sentido privilegiado nessa relação, uma vez que a partícula parece “permanecer mais tempo” enquanto *anti-káon* do que enquanto *káon*, o quê daria pistas de uma “irreversibilidade elementar”.

Também ligados a esta questão estão os estudos com a anti-matéria, que prevêm um universo paralelo ao nosso (um anti-Universo) em que o tempo p.ex. anda para trás. O aprofundamento destas questões foge ao objetivo deste trabalho, mas só para situar o nível de complexidade dos temas tratados em micro-física atualmente podemos observar as palavras de Daniel Greenberger, conforme citadas por Davies em *O enigma do Tempo*: “Einstein afirmou que se a física quântica estiver certa, o mundo é louco. Bem, Einstein estava certo. O mundo é louco²⁰”.

Talvez já seja hora de considerarmos tal possibilidade, ou melhor, talvez seja a hora de considerarmos a possibilidade de que o conhecimento da verdade escape aos limites da simples razão e exija de nós algum outro tipo de intuição a respeito do mundo. De qualquer maneira esse tipo de questionamento foge ao limites estritos do método científico e, portanto, não são sequer formulados pela ciência.

²⁰ Cf. Davies, P. 1999: *O Enigma do Tempo*; p. 217.

Os problemas aqui tratados não transcendem, e nem podem, a esfera dos fenômenos e, no que diz respeito a fenômenos, o “tempo está em apuros”. Todas as “mecânicas” brevemente apresentadas aqui são teorias reversíveis temporalmente e nenhuma delas parece ser capaz de confirmar nossa experiência ordinária de que o tempo passa, de que o tempo flui e de que ele não volta atrás.

Se existe uma palavra que pode definir o conceito de tempo na ciência contemporânea, essa palavra é *incerteza*. O tempo, tal qual toda e qualquer outra medida precisa como posição, aceleração ou trajetória, simplesmente desaparecem na física contemporânea enquanto instâncias objetivamente determináveis. A cosmologia quântica simplesmente aboliu o tempo. Do ponto de vista puramente quântico o tempo não passa de uma noção aproximada e derivada e supor a realidade de uma “seta do tempo” simplesmente não faz sentido²¹. Do ponto de vista quântico a única *certeza* é de que não há nenhum tempo bem definido em que os processos quânticos se dêem. Logo, conclui Davies, parece que Wheeler está certo ao dizer que o tempo tende a desaparecer como alicerce da física contemporânea²².

²¹ Cf. Davies, P. 1999: *O Enigma do Tempo*; p. 239.

²² Cf. Davies, P. 1999: *O Enigma do Tempo*; p. 239.