



## **Espaço e tempo na física quântica: o Devir**

### **Space and Time in Quantum Physics: The Becoming**

DOI: 10.20873/rpv7n2-48

**José Nunes Ramalho Croca**

Orcid ID: 0000-0002-5625-251X

Email: croca@fc.ul.pt

#### **Resumo**

Os conceitos de espaço e tempo absolutos, independentes entre si, foram propostos por Newton como os mais básicos fundamentos da mecânica clássica. Alguns estudiosos, como Leibniz, admitiram haver alguma interconexão entre o espaço e o tempo. No século passado, devido ao incrível aprimoramento dos instrumentos físicos de observação em diferentes escalas, mudanças aconteceram. Com a relatividade, foi proposto o conceito de espaço-tempo, uma relação linear entre o espaço e o tempo. Com a mecânica quântica, devido a Niels Bohr, as coisas mudaram radicalmente. Na interpretação de Copenhague, os conceitos de espaço e tempo perdem a sua natureza ontológica. Devido à ontologia de Fourier, um postulado implícito da mecânica quântica, qualquer entidade física é assumida como existindo em todo espaço e em todo tempo. Além disso, um fenômeno aparentemente estranho é previsto: o efeito de túnel, que permite (segundo alguns autores) a transmissão de informação em tempo zero. Esses fatos indicam que, possivelmente, os conceitos de espaço e tempo (cronológico), inter-relacionados, talvez não tenham a suposta adequação absoluta e universal, em diferentes escalas de observação e diferentes níveis de descrição da realidade. Neste universo conceptual mais geral, o conceito ontológico mais básico é o Devir, a mudança permanente dos seres físicos.

#### **Palavras-chave**

Devir, espaço-tempo. Mecânica quântica ortodoxa. Emaranhamento quântico. Túnel quântico. Transição de tempo zero.

#### **Abstract**

The concepts of absolute space and time, independent of each other, were proposed by Newton as the most basic foundations of classical mechanics. Some scholars, such as Leibniz, have admitted that there is some interconnection between space and time. In the last century, due to the incredible improvement of physical instruments for observation at different scales, changes took place. With relativity, the concept of space-time was proposed, a linear relationship between space and time. With quantum mechanics, thanks to Niels Bohr, things changed radically. In the Copenhagen interpretation, the concepts of space and time lose their ontological nature. Due to the Fourier ontology, an implicit postulate of quantum mechanics, any physical entity

is assumed to exist in all space and all time. Furthermore, a strange phenomenon is predicted: the tunnel effect, which allows (according to some authors) the transmission of information in zero time. These facts indicate that, possibly, the concepts of space and time (chronological), interrelated, may not have the supposed absolute and universal adequacy, in different scales of observation and different levels of description of reality. In this more general conceptual universe, the most basic ontological concept is Becoming, the permanent change of physical beings.

### Keywords

Becoming, spacetime. Orthodox quantum mechanics. Quantum entanglement. Quantum tunnel. Zero time transition.

## 1. Espaço absoluto e tempo absolutos

Para dar sentido à sua lei fundamental da mecânica,

$$f = ma = m \frac{d^2r}{dt^2} = f(r, t) \quad (1.1)$$

em que a força  $f$  é uma função do espaço  $r$  e do tempo  $t$ , Newton propôs a existência do espaço absoluto e do tempo absoluto. De acordo com ele:

1. O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e por sua própria natureza, flui igualmente sem qualquer relação externa, e por outro nome é chamado de duração: o tempo relativo, aparente e comum, é uma medida sensível e externa (quer seja exata ou desigual) da duração por meio de movimento, que é aquele comumente usado em vez do tempo verdadeiro.
2. O espaço absoluto, em sua própria natureza, sem ter em conta nada externo, permanece sempre semelhante a si próprio e imóvel. (NEWTON, 1999, p.408)

Assim, o espaço absoluto era entendido como algo semelhante a um palco em que a matéria desempenhava seu papel de acordo com as leis absolutas, universais e eternas da natureza que Newton acabara de descobrir. O tempo absoluto, desenvolve-se por si mesmo sem nada ter em conta. O espaço absoluto e o tempo absoluto são, de facto, os ingredientes conceptuais básicos, sem os quais todo o edifício da física clássica entraria em colapso.

## 2. Espaço-tempo

Ainda assim, nesta bela construção teórica de Newton, Leibniz<sup>1</sup> viu algumas fragilidades. De facto, para ele, espaço e tempo tinham apenas uma natureza relacional. A história da sua longa controvérsia com Newton, mediada por Clark<sup>2</sup>, é um exemplo claro desta profunda divergência. De qualquer forma, devido principalmente ao prestígio de Newton e à eficácia prática concreta de sua mecânica, esta situação, em que reinava o espaço absoluto e o tempo absoluto, manteve-se na ciência até o advento da relatividade no início do século XX. No entanto, contrariando a tendência principal, em que o espaço absoluto e o tempo absoluto imperavam, alguns pensadores do século XIX principalmente na sequência dos seguidores de Leibniz, a saber, Arthur Schopenhauer<sup>3</sup> e Edgar Allan Poe<sup>4</sup>, escreveram explicitamente que o tempo (cronológico) estava profundamente interligado com o espaço.

O desenvolvimento explosivo da tecnologia ótica, na segunda metade do século XIX, especialmente no campo da interferometria, levou à possibilidade de avaliação concreta de intervalos de tempo muito curtos, da ordem do *femtosegundo* ( $\Delta t = 10^{-15}$ s). Esses dispositivos permitiram a realização de experiências óticas muito precisas, como as de Michelson e Morley. Estas importantes experiências, mostraram que o princípio da adição linear cartesiana para as velocidades não era adequado para explicar os resultados observados. Os resultados experimentais, obtidos por esses pesquisadores, foram um dos principais pontos de partida para a construção da relatividade<sup>5</sup>. A relatividade rejeita os conceitos de espaço absoluto e tempo absoluto, até então assumidos como perfeitamente independentes. A relatividade assume assim a primazia do espaço-tempo. Este conceito de espaço-tempo implica que existe uma relação linear simples entre espaço e tempo,  $r \propto t$ , conectada pela velocidade da luz,  $c$ , assumida como uma constante universal,  $r = ct$ .

---

<sup>1</sup> "Leibniz's Theory of Space and Time" (BALLARD, 1960, pp. 49-65).

<sup>2</sup> "The Leibniz-Clark Correspondence" (ALEXANDER, 1956).

<sup>3</sup> "On the Fourfold Root of the Principle of Sufficient Reason" (SCHOPENHAUER, 1974).

<sup>4</sup> "Eureka: A Prose Poem" (POE, 2017 [1848]).

<sup>5</sup> "On the electrodynamics of moving bodies" (EINSTEIN, 1953 [1905], pp.35-65).

### 3. Mecânica Quântica

Em março de 1927, Heisenberg foi a Copenhague para apresentar a Niels Bohr um conjunto de relações matemáticas derivadas a partir da análise de matrizes. Essas expressões matemáticas, mais tarde receberam o nome de relações de Heisenberg. Diz-se, que eles tiveram uma discussão muito difícil sobre o assunto. Bohr não se sentia satisfeito, porque, no seu entender, as relações precisavam capturar tanto a natureza corpuscular quanto a natureza ondulatória das entidades quânticas. O assunto era tão importante para ele, que dedicou todo o seu tempo a tentar encontrar uma solução adequada para o problema. Nas férias de verão desse mesmo ano, encontrou a solução. Solução que apresentou pela primeira vez publicamente em setembro do mesmo ano na Conferência Internacional de Volta realizada no lago Di Como, na Itália<sup>6</sup>. A forma como ele chegou a tal solução introduziu uma mudança radical com a forma tradicional de entender espaço e tempo ou mesmo com o conceito de espaço-tempo. Esse processo de compreensão da Realidade, que Bohr nunca apresentou explicitamente, e que agora pode ser entendido como um verdadeiro pressuposto, um postulado implícito da mecânica quântica ortodoxa é o que se designa por Ontologia de Fourier<sup>7</sup>. A partir dessa ideia, e com a ajuda da análise de Fourier, ele derivou de um modo formal extremamente simples e elegante as relações de Heisenberg.

Vejamos agora brevemente em que consiste a chamada ontologia de Fourier.

As fórmulas fenomenológicas mais básicas da física quântica são as Fórmulas de Planck e de Broglie:

$$\begin{cases} E = \hbar\omega \\ p = \hbar k \end{cases} \quad (2)$$

---

<sup>6</sup> “Como Lectures, Collected Works” (BOHR, 1985 [1928]).

<sup>7</sup> Consultar: “Fourier ontology versus wavelet local analysis: a test for the general validity of orthodox mechanics against the nonlinear causal quantum physics” (CROCA & GARUCCIO, 2010, pp.214-217); e “Quantum Indeterminism: a direct consequence of Fourier Ontology” (CROCA, 2013).

Onde,  $E$  representa a energia,  $p = mv$ , o momento,  $\hbar$  a constante de Planck,  $\omega = 2\pi/T$ , a frequência temporal angular e  $p = 2\pi/\lambda$  a frequência angular espacial. Sendo,  $T$  o período e  $\lambda$  o comprimento de onda.

Uma vez que o conceito de frequência que foi aqui introduzido desempenha um papel muito importante convém esclarecer um pouco melhor qual o seu significado. O conceito de frequência está sobretudo relacionado com o ritmo, a taxa em que um determinado padrão relativamente regular se repete em um determinado processo de medição. No caso de se tratar de frequência temporal, traduz o número de, por exemplo, batimentos por hora, se for frequência espacial, o número de lugares por metro numa fila de uma sala de cinema, e assim sucessivamente.

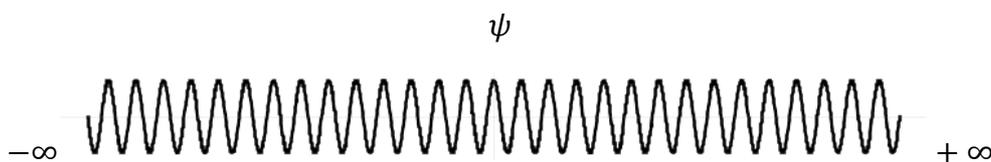
Estas frequências apresentadas nas expressões fundamentais empíricas estão relacionadas com ondas, ou seja, são frequências de ondas. Em tais condições, a questão que deve colocar é a de saber que tipo de onda física tem uma única frequência pura bem definida tal que  $\Delta\omega = \Delta k = 0$ ?

A resposta a esta questão, dada implicitamente por Bohr, é que as únicas ondas que têm uma única frequência bem definida são as ondas planas harmónicas.

A sua expressão Matemática é:

$$\psi = Ae^{i(kx - \omega t)} \quad (3)$$

cuja representação gráfica se mostra na, Fig.1:



**Fig. 1** - Onda plana harmónica

Estas ondas planas harmónicas, são onipresentes no espaço e no tempo, ou seja, são definidas entre menos infinito,  $-\infty$ , e mais infinito,  $+\infty$ , ambos no espaço e no tempo. Isso significa

que a partícula quântica com frequência espacial e temporal bem definida ocupa todo o espaço,  $-\infty \leq x \leq \infty$  e tempo,  $-\infty \leq t \leq \infty$ .

Neste universo conceptual, se uma partícula quântica tem uma energia bem definida, tal que,  $\Delta E = \Delta \omega = 0$ , então é necessário concluir que a dita partícula existe em todos os lugares e todos os tempos para sempre, desde sempre e para sempre. Uma vez que uma partícula quântica, com uma frequência, temporal e espacial bem definida, está em toda a parte e todo o tempo, isso implica que, pelo menos, para essa estranha entidade, os conceitos de espaço e tempo não são elementos relevantes para descrever seu comportamento.

### 3.1. Efeito de túnel

A natureza nunca deixa de nos surpreender das formas mais inesperadas. Foi exatamente o que aconteceu com a chamada reflexão interna total. Quando Newton estava fazendo experiências para estudar a reflexão total, para sua surpresa descobriu que, mesmo em condições de reflexão total, havia alguma luz que podia ser observada fora da zona proibida. Mais de um século e meio depois, no final do século XIX, foi possível, com a ajuda da teoria eletromagnética de Maxwell, explicar e prever esse estranho fenômeno.

Inicialmente, tratava-se apenas de uma vaga curiosidade teórica. Na realidade, foi apenas em 1910 que Schaefer e G. Gross<sup>8</sup> puderam estudar experimentalmente esse estranho fenômeno com radiação, na faixa do centímetro, incidente em prismas de parafina. Mais recentemente, em 1966, Coon<sup>9</sup> fez a experiência com radiação visível. Hoje, essa onda aparentemente impossível, proveniente da reflexão total frustrada da luz, é amplamente aplicada em tecnologias atuais, como por exemplo nos écrans de telemóveis e computadores, sensíveis ao toque, “touch screens” e assim por diante.

---

<sup>8</sup> “Untersuchungen über die Totalreflexion” (SCHAEFER & GROSS, 1910, pp.648-672).

<sup>9</sup> “Counting Photons in the Optical Barrier Penetration Experiment” (COON, 1966, p.240).

Na mecânica quântica, foi Gamow<sup>10</sup> quem mostrou que a emissão alfa por núcleos radioativos também poderia ser explicada em termos de um efeito semelhante à reflexão total, denominado a partir de então por efeito de túnel.

Ainda assim, esse efeito de túnel, mesmo que teoricamente muito interessante, foi por cerca de meio século não mais do que uma mera excitante curiosidade de laboratório. Essa situação mudou radicalmente, quando na década de oitenta do século passado dois pesquisadores da IBM, Binning e Roher<sup>11</sup>, produziram o protótipo de toda uma nova geração de microscópios de super-resolução baseados precisamente no efeito de túnel com elétrons. Essa nova tecnologia de imagem foi logo estendida ao domínio ótico por Pohl e seu grupo<sup>12</sup>. Como era previsível, esta nova tecnologia de imagem passou por um desenvolvimento muito rápido e agora dispomos de microscópios óticos de super-resolução de varrimento com uma resolução centenas de vezes maior que os microscópios óticos tradicionais de Fourier. Presentemente, os sistemas de imagem mais avançados são baseados precisamente nesse aparentemente estranho fenómeno que é o efeito de túnel.

### 3.1.1. Transição de tempo zero

Os cálculos quânticos, quer na mecânica quântica ortodoxa linear, dada por Bohr e seguidores, quanto na física quântica não-linear<sup>13</sup>, dão resultados inesperados quando aplicados ao efeito de túnel. De facto, o tempo de emergência,  $T$ , tempo necessário entre a incidência de uma partícula quântica na barreira e a emergência na outra extremidade da barreira é independente do comprimento,  $L$ , dela,

$$T \neq T(L).$$

---

<sup>10</sup> "Zur Quantentheorie des Atomkernes" (GAMOW, 1928, pp.204-212).

<sup>11</sup> "Scanning tunneling microscopy – from birth to adolescence" (BINNING & ROHER, 1987, p.615).

<sup>12</sup> "Scanning near-field optical microscopy" (HEISELMANN & POHL, 1994, pp.89-101).

<sup>13</sup> "Towards a nonlinear quantum physics" (CROCA, 2003); "Eurhythmic Physics or Hyperphysics: the Unification of Physics" (CROCA, 2015).

Não importa a extensão da barreira, o tempo de transição,  $T$ , é sempre o mesmo. Estes resultados indicam que o tempo de travessia “dentro” da barreira de túnel é zero, ou como Nimtz lhe chama transição em tempo zero<sup>14</sup>. Ainda assim, esta conclusão não é surpreendente, uma vez que espaço e tempo não são conceitos ontológicos básicos no quadro conceptual da mecânica quântica ortodoxa.

Consequentemente, tentar encontrar uma descrição para esse fenómeno, no contexto tradicional de espaço e tempo, está completamente fora do programa ortodoxo da mecânica quântica. Como consequência da ontologia de Fourier, antes da medição, qualquer entidade quântica está espalhada por todo o espaço e tempo. Ou seja, é onipresente no tempo e no espaço. Quando a medição real é feita, devido, em última instância, à consciência do observador, apenas um dos múltiplos estados potenciais possíveis se atualiza.

Estes resultados teóricos surpreendentes<sup>15</sup> foram confirmados por experiências realizadas em todo o mundo. Em tais circunstâncias, seria possível enviar um sinal através de uma barreira física, em condições de túnel que na linguagem tradicional poderiam ser assumidas como viajando mais rápido que a luz no referido vácuo. De facto, Nimtz declarou ter enviado, através de uma barreira de túneis de 12 cm, a 40<sup>a</sup> Sinfonia de Mozart a 4,7 vezes a velocidade da luz. Conforme relatou o cosmólogo Ananda Bosman (ATON Institute, Norway), em “Phi Harmonics in Faster-than-light Quantum Tunneling” (2000):

During the mid 1990s the European media highlighted a potential science shattering discovery, faster-than-light signalling of Mozart's 40th Symphony. Our specialised magazine Vortexijah (issue 4/5, Autumn 1994) also reported on this odd finding, which was stated to be a "failure in causality", Einstein's version of Karma, or cause and effect, which states that nothing goes faster than the speed of light.

Amidst this European media spur, was a 1995 article in the conservative foundation stone news paper of Germany, *Die Zeit*, which published this as a headline story entitled: “Mozart's Symphony #40 Causes Breakdown In Modern Physics.”

---

<sup>14</sup> “Zero Time Space: How Quantum Tunneling Broke Light Speed Barrier” (NIMTZ & HAIBEL, 2008).

<sup>15</sup> “Photonic Tunneling Experiments: Superluminal Tunneling” (NIMTZ et al., 1993); “Photonic-tunneling experiments” (NIMTZ & ENDERS, 1993); “Macroscopic violation of special relativity” (NIMTZ & STAHLHOFEN, 2007); “Superluminal Motions? A Bird's-Eye View of the Experimental Situation” (RECAMI, 2001, pp.1119-1135); “Superluminal optical pulse propagation at 1.5 $\mu$ m in periodic fiber Bragg gratings” (LONGHI et al., 2001); “Tunneling times: a critical review” (HAUGE & STØVNENG, 1989, p.917); “Recent developments in the time analysis of tunneling processes” (OLKHOVSKY & RECAMI, 1992, pp.339-356).

We were given a clipping, without the date, which was approximately June 1995. Here are some excerpts translated into English: "Koeln physics professor Guenther Nimtz, used a hollow metal pipe, called a wave transducer. On the end of the Ca. 20 cm long metal pipe a section of Mozart's Symphony #40 became audible through an amplifier. Not digital quality, but good enough for radio. There was a speed change of the waves that were transduced. This tunnel effect was  $4.7 \times C$  [ $c$  = speed of light]. The lengths of the microwaves that Nimtz chose were actually too wide for the wave transducer. But still some of them found their way through the other side to the amplifier. In the tunnel occurrence the waves do not seem to require any time. Whereas outside the tunnel the waves were well behaving enough to follow the classical laws and travel at the speed of light. Mozart's symphony has information content, Nimtz contends. (ANANDA, 2000, available at: [akasha.de/~aton/SuperPHI.html](http://akasha.de/~aton/SuperPHI.html))

#### 4. O conceito de espaço e seus limites

A maneira habitual de pensar, no universo conceptual tradicional, pressupõe implícita ou mesmo explicitamente que:

- 1 – Existe um espaço físico.
- 2 – Este espaço é homogéneo.
- 3 - Num espaço homogéneo, a luz propaga-se em linha reta.

Ainda assim, a maioria das pessoas tem conhecimento das miragens e outras ilusões óticas. Isso significa que, pelo menos para essas pessoas, a terceira suposição não é, em geral, sempre verdadeira. Esta conclusão pode ser evitada dizendo que o espaço, pelo menos para a luz, não é homogéneo. Implicando, implicitamente, que o mesmo espaço físico pode ser homogéneo para o comportamento de outras entidades e não homogéneo para a luz. De facto, na relatividade geral, assume-se que um campo gravitacional pode encurvar a luz. Supondo agora que uma estrela S emitindo luz que interage com um campo gravitacional muito intenso e invisível, conforme indicado no esboço, Fig. 2.

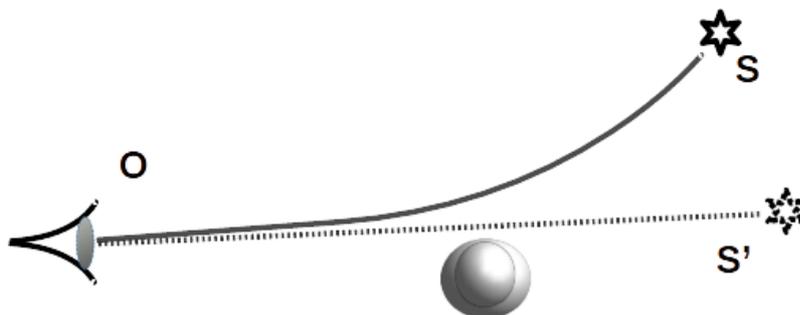
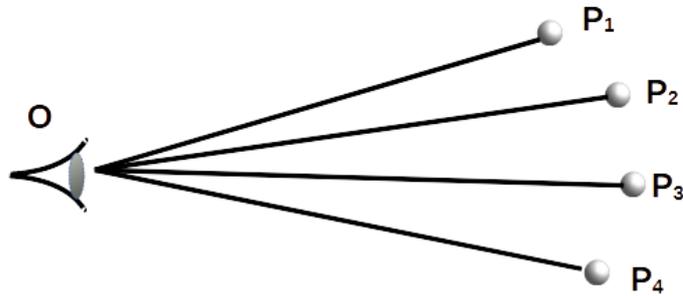


Fig. 2 – Deflexão da luz por um campo gravitacional intenso

Nestas condições, a posição da estrela  $S$ , devido à deflexão da luz, pelo campo gravitacional intenso invisível, é suposta estar em  $S'$ . Portanto, a direção de uma fonte de luz emissora, não é em geral tão segura, quanto possa parecer à primeira vista. Agora o problema que se coloca é: como sabemos se a posição de um objeto emissor de luz está onde parece estar? Ou colocando a questão de outra forma equivalente, o espaço é homogêneo para o comportamento da luz ou não? Como podemos decidir?

A resposta é, não podemos ter certeza! Naturalmente, podemos supor, como se faz geralmente, que o espaço é homogêneo. É a hipótese mais simples! Mas é claro que sabemos que não é a resposta mais adequada, pois sempre estão presentes uma multiplicidade de agentes desconhecidos em interação. Em tal situação insegura, não é possível, em geral, determinar a direção correta de um objeto emissor de luz.

Quanto à conclusão, podemos dizer que a direção angular de um ponto emissor de luz não é em geral tão objetiva quanto somos encorajados a pensar. De facto, a direção observada depende em última instância do contexto relacional de interação da fonte com o meio. Vejamos agora, com um pouco mais de detalhes, o que acontece com a determinação da distância de diversos pontos. Suponha que, por exemplo, temos quatro pontos:  $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  e  $P_4$ , e desejamos determinar sua distância em relação ao observador  $O$ , Fig. 3.



**Fig. 3** - Determinação experimental da distância de diversos pontos.

O processo experimental para a determinação da distância do ponto  $P_1$  ao observador 'O' é basicamente o seguinte:

Ao tempo,  $t_0 = 0$ , o observador O, envia um feixe de luz até ao ponto  $P_1$ .

O feixe de luz atinge o ponto  $P_1$ , ao tempo,  $t_{01}$ . O tempo de percurso é dado por:

$$t_{01} - t_0 = \Delta t_{01} = \Delta t_1.$$

Então a luz é refletida do ponto  $P_1$  chegando ao observador ao tempo  $t_{10}$ . O tempo que leva o percurso é:

$$t_{01} - t_{10} = \Delta t_{10} = \Delta t_1.$$

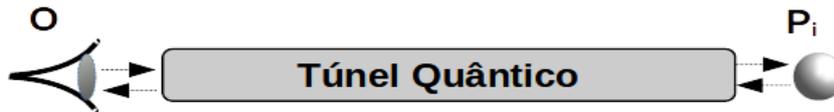
O tempo global que leva a luz na ida e volta é:  $\Delta t_{010} = \Delta t_{01} + \Delta t_{10} = 2\Delta t_1$ .

Uma vez que  $c = x_1 / \Delta t_1$ , a distância, o espaço, do ponto  $P_1$  ao observador O é dado então por,  $x_1 = c\Delta t_1$ .

De modo semelhante, para os outros pontos, as diferentes distâncias serão dadas por:

$$x_2 = c\Delta t_2, \quad x_3 = c\Delta t_3, \quad x_4 = c\Delta t_4.$$

Suponhamos agora, que ao invés de fazer a medição das distâncias da forma tradicional, iremos fazer a experiência utilizando, entre o observador e cada ponto, uma barreira de túnel conforme indicado na Fig.4:



**Fig. 4** – Entre o observador e o ponto coloca-se uma barreira de túnel.

Nesta situação experimental, o tempo que a luz, emitida pela fonte localizada no observador, leva para atingir o primeiro ponto  $P_1$ , é:  $t'_{01} = \Delta t'_1$ .

Ao atingir o ponto a luz é refletida e o tempo necessário para chegar ao observador é o mesmo  $t'_{10} = t'_{01} = \Delta t'_1$ . O tempo experimental medido, em uma viagem de ida e volta, do observador ao ponto e do ponto ao observador, é dado por:

$$t'_{010} = t'_{01} + t'_{10} = 2\Delta t'_1.$$

Como estamos nessas condições muito especiais de túnel, o tempo medido para os outros diversos pontos é o mesmo:

$$\Delta t'_1 = \Delta t'_2 = \Delta t'_3 = \Delta t'_4 = \Delta t'.$$

Nestas condições, qualquer que seja a eventual velocidade da luz  $c'$ , se houver, a distância, o espaço, do observador a cada ponto é precisamente o mesmo:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x = c' \Delta t'$$

Dos resultados obtidos acima, a conclusão a tirar é que, o espaço, a distância entre os pontos, não é relevante. De facto, com as medições feitas da maneira tradicional, os pontos estão separados, o que significa que são pontos diferentes:  $x_1 \neq x_2 \neq x_3 \neq x_4$ .

Pelo contrário, usando outro processo de medição, como o de túnel, conclui-se que os pontos não estão separados. Na realidade, com este processo de medição de interação muito especial, os quatro pontos,  $P_1, P_2, P_3$  e  $P_4$ , constituem, na verdade, o mesmo ponto P:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x$$

A conclusão a tirar desses resultados opostos é que os conceitos de espaço e do correlacionado tempo cronológico não são ideias básicas fundamentais. Definitivamente, eles têm apenas um estatuto relacional, adequado para nos ajudar a compreender a Realidade, apenas em determinadas circunstâncias particulares.

À primeira vista, pode parecer estranho que esses conceitos tão queridos, de espaço e tempo, tempo cronológico, tão importantes em nosso cotidiano, possam, afinal, não serem tão importantes quanto fomos formatados para acreditar. Ainda assim, se olharmos com mais cuidado e tentarmos entender nosso processo de conhecimento, verificamos que estamos imersos em um mar de interações recíprocas com uma multiplicidade de sistemas. Para sobreviver, para persistir, de todas as interações recíprocas possíveis com o meio, precisamos seguir aquelas que são eurítmicas.

Temos assim que seguir um processo inter-relacional, com o meio tal que tendencialmente maximize nossas possibilidades de persistir. Caso contrário, nossa existência seria realmente muito curta. Em tais condições, para compreender e melhor entender esses diferentes tipos de interações, temos tradicionalmente empregado um processo global em que os conceitos, de espaço e tempo cronológico, têm sido assumidos como fundamentais.

## 5. Devir

Agora, que apresentamos algumas evidências relevantes sobre o estado da arte no que se refere aos conceitos de tempo e espaço, gostaríamos de esclarecer, um pouco melhor, a distinção, entre o conceito de tempo entendido como o devir e o tempo cronológico.

O tempo cronológico, ou seja, o tempo dos relógios, é algo, uma medida que fazemos com a ajuda do espaço. Sem espaço, o tempo cronológico seria totalmente sem sentido. Um relógio é essencialmente um aparelho para medir o tempo cronológico. O dispositivo físico que é chamado de relógio, pode assumir muitas formas práticas concretas diferentes: Desde uma simples haste colocada verticalmente na terra até um instrumento muito sofisticado. No caso do relógio solar, localizando a posição da sombra de uma haste colocada verticalmente no solo, podemos inferir o tempo cronológico. Neste caso mais simples, a medição do tempo resulta, em última instância, das medições espaciais, ou seja, da posição da sombra no solo. Esta conclusão, adequada para um dos relógios mais simples, também é aceitável para qualquer outro dispositivo de medição de tempo, por mais complexo que possa ser. Então, nesse sentido o tempo, ou seja, o tempo cronológico e o espaço estão intimamente ligados.

É justamente por causa dessa íntima conexão que a relatividade desenvolveu o conceito de espaço-tempo, uma relação linear entre espaço e tempo. O tempo sendo proporcional ao espaço,  $T \propto S$  ou  $T = (1/c)S$ , em que a constante de proporcionalidade,  $(1/c)$ , é o inverso da velocidade da luz no referido vácuo. O *tempo*, no sentido mais básico do Devir, da mudança, da interação, é inteiramente outra questão.

O *tempo*, nesse sentido amplo do Devir, está relacionado sobretudo com a mudança, a alteração, a modificação, resultante das interações complexas relacionais, por isso é um conceito muito mais geral do que o conceito de “tempo cronológico”. Trata-se, portanto, de algo básico, de algo inerente à mudança, à alteração, à modificação de um determinado estado. Ainda mais, porque a própria definição de estado, de ente relacional implica essa mudança constante: o Devir.

Assim, o conceito de Devir deve aqui ser entendido como algo que procura traduzir, descrever e eventualmente quantificar a permanente mudança, a que todos os entes naturais

complexos estão sujeitos. Esta mudança, este Devir, resulta, em última análise da interação recíproca complexa dos entes físicos com o meio em que estão inseridos. David Bohm, no livro *“Wholeness and the Implicate Order”* (1983), desenvolve de uma forma bastante interessante e inovadora esta ideia da profunda interligação de todos os entes naturais.

Nestas condições, devemos admitir que um ente físico só existe, só é significativo num dado universo relacional.

## 6. Conclusão

Das evidências apresentadas, relacionadas principalmente com um tipo de interação muito especial, a interação de efeito de túnel, é razoável inferir que existe uma forte justificação, experimental e conceptual, indicando claramente que os conceitos de espaço e tempo cronológico não são, de facto, conceitos ontológicos básicos.

Na verdade, não passam de meras ferramentas conceptuais úteis, mais ou menos adequadas, relativamente a uma dada escala de interação e observação e descrição da Realidade. Convém ainda salientar que, mesmo que espaço e tempo cronológico não sejam conceitos básicos ontológicos, continuam ainda assim a ser bastante úteis na descrição e previsão da maioria dos fenómenos clássicos que lidamos.

Na mesma situação está o modelo da Terra plana. De facto, esse modelo simplista é implicitamente aceite e utilizado na descrição e previsão da grande maioria dos fenómenos de nossa vida cotidiana. Todos concordam que seria uma tolice, por exemplo, no planeamento da construção de uma pequena casa de campo, tomar em consideração que a Terra não é plana e gira, a grande velocidade, em torno de si mesma, ao redor do Sol, e por sua vez o Sol se move em nossa Galáxia, que também se move em relação ao grupo de Galáxias, e assim por diante.

Antes de concluir este breve trabalho sobre o Devir, é oportuno referir-nos a um complexo problema, aparentemente sem solução adequada, que vem perseguindo a humanidade desde há alguns milénios. É do conhecimento geral que a racionalidade grega enfrentou o importante problema da natureza do Ser. Parmênides e Zenão afirmavam que o

movimento era uma ilusão dos nossos sentidos, porque um Ser é algo que é, portanto não pode mudar.

Para Heráclito, um Ser é algo que está em permanente devir. Tudo está em transformação, tudo está, segundo ele, em movimento. Então, aparentemente há uma grande dicotomia, um grande vazio entre estas duas posições extremas. Uma afirmando que o movimento é uma ilusão, o outro afirmando o contrário, que tudo é movimento. Acreditamos que ambos os pensadores estavam, em certo sentido, certos. De facto, ambos conseguiram alguns vislumbres da Verdade. Essa confusão e aparente contradição pode ser facilmente superada se olharmos o problema com outros “olhos”.

Parmênides e Zenão e outros pensadores, estavam certos quando afirmaram que o movimento é uma ilusão dos nossos sentidos. O movimento, neste contexto, deve ser entendido como uma alteração de algo que ocorre no espaço, ou seja, uma mudança no espaço. Este movimento é medido relacionando as posições no espaço com o tempo. Por sua vez, este tempo, o tempo cronológico, é calculado com a ajuda de um relógio. Um relógio, como vimos, é um dispositivo que avalia o tempo cronológico por medições feitas no espaço. Isso significa que estamos diante de um círculo vicioso. O movimento é assim uma relação entre o espaço e o tempo, mas também o tempo (cronológico) depende do espaço.

Heráclito por sua vez, com razão afirmou que um Ser está em permanente mudança, mas só agora essa mudança não tem nada a ver com espaço e tempo cronológico. Essa mudança, esse Devir é algo muito mais básico e para além do alcance dos conceitos auxiliares e secundários de espaço e tempo cronológico. Portanto, Parmênides e Zenão estavam certos quando diziam que o movimento e, conseqüentemente, o espaço e o tempo cronológico são uma ilusão dos nossos sentidos. Por sua vez Heráclito também estava certo quando sustentava que tudo está em permanente Devir. Nesse sentido, a grande contradição enfrentada pelos gregos clássicos foi resolvida de forma bastante satisfatória.

É necessário, como salientamos, não ficarmos aprisionados nos conceitos simplistas auxiliares e limitativos de espaço e tempo cronológico. O problema está justamente em querer encontrar uma explicação na prisão conceptual restritiva do espaço e do tempo cronológico

para algo que está fora de seu alcance. A grandeza desses pensadores do passado foi que, apesar do facto de viverem imersos no universo conceptual do espaço e tempo cronológico, conseguiram ainda assim vislumbrar algumas indicações importantes da Verdade.

Nota: o leitor interessado neste assunto, pode consultar: “Beyond Space and Time, the Becoming” (CROCA, 2021), onde estes conteúdos estão melhor desenvolvidos.

## Agradecimentos

Desejo agradecer ao Professor Vinícius, pelas suas sugestões que bastante contribuíram para enriquecer o presente trabalho, além disso quero ainda agradecer a Filipe Pamplona pelo seu poético e eficaz apoio.

## Referências bibliográficas

- ALEXANDER, H. (ed.) *The Leibniz-Clark Correspondence*. Manchester: at U. Press, 1956.
- ANANDA, Bosman. *Phi Harmonics in Faster-than-light Quantum Tunneling*. Norway: ATON Institute, 2000. [Available at: <http://www.akasha.de/~aton/SuperPHI.html> ]
- BALLARD, K. E. Leibniz's Theory of Space and Time. *Journal of the History of Ideas*, University of Pennsylvania Press, Vol. 21, Nº. 1, 1960. Pp. 49-65, Jan-Mar.
- BINNING, G. & ROHER, H. Scanning tunneling microscopy – from birth to adolescence. *Reviews of Modern Physics*, **59**, p.615, 1987.
- BOHM, David. *Wholeness and the Implicate Order*. London: Routledge, 1983.
- BOHR, N. *Como Lectures, Collected Works*. Vol.6. Amsterdam: North-Holand Pub. Co., 1985.
- COON, D. Counting Photons in the Optical Barrier Penetration Experiment. *American Journal of Physics*, **34**, p.240, 1966.
- CROCA, J. R. *Towards a nonlinear quantum physics*. London: World Scientific, 2003.
- CROCA, J. R. Quantum Indeterminism: a direct consequence of Fourier Ontology. In: *Proceedings Vol. 8832: The Nature of Light: What are Photons? V*. San Diego, U.S., 2013.
- CROCA, J. R. *Eurhythmic Physics or Hyperphysics: the Unification of Physics*. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2015.
- CROCA, J. R. *Beyond Space and Time, the Becoming*. Chisinau: Lambert Ac. Pub., 2021.
- CROCA, J. R. & GARUCCIO, A. Fourier ontology versus wavelet local analysis.: a test for the general validity of orthodox mechanics against the nonlinear causal quantum physics. *Advanced Science Letters*, Vol. 3, No. 2, pp.214-217, 2010.

- EINSTEIN, A. On the electrodynamics of moving bodies [1905]. In: LORENTZ, H. A et al. (auth.) *The Principle of Relativity* (notes by A. Sommerfeld). New York: Dover, 1953.
- GAMOW, G. Zur Quantentheorie des Atomkernes. *Zeits. für Physik*, **51**, pp.204-212, 1928.
- HAUGE, E. H. & STØVNENG, J. A. Tunneling times: a critical review. *Review Modern Physics*, **61**, 917, 1989.
- HEISELMANN, H. & POHL, D. W. Scanning near-field optical microscopy. *Applied Physics A*, **59**, pp.89-101, 1994.
- LONGHI, S., MARANO, M., LAPORTA, P. and BELMONTE, M. Superluminal optical pulse propagation at 1.5µm in periodic fiber Bragg gratings. *Physical Review E*, **64**, 2001.
- NEWTON, I. (auth.), COHEN, I. B. et al. (eds.). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy* [1726]. Berkeley and L.A.: University of California Press, 1999.
- NIMTZ, G. & ENDERS, A. Photonic-tunneling experiments. *Phys. Rev. B*, **47**, 9605, 1993.
- NIMTZ, G., ENDERS, A. and SPIEKER, H. Photonic Tunneling Experiments: Superluminal Tunneling. In: MERWE, V. & GARUCCIO, A. (eds.) *Wave and Particle in Light and Matter*. New York: Plenum, 1993.
- NIMTZ, G. & HAIBEL, A. *Zero Time Space: How Quantum Tunneling Broke Light Speed Barrier*. Wienheim: Wiley-VCH Verlag, 2008.
- NIMTZ, G. & STAHLHOFEN, A. *Macroscopic violation of special relativity* [arXiv: 0708.0681v1], 2007. <https://doi.org/10.48550/arXiv.0708.0681>;
- OLKHOVSKY, V. S. & RECAMI, E. Recent developments in the time analysis of tunneling processes. *Physical Reports*, **214**, Iss.6, pp.339-356, 1992.
- POE, E. A. *Eureka: A Prose Poem* [1848]. Createspace Independent Pub. Platform, 2017.
- RECAMI, E. Superluminal Motions? A Bird's-Eye View of the Experimental Situation. *Foundations of Physics*. **31**, pp.1119-1135, 2001.
- SCHAEFER, C. & GROSS, G. Untersuchungen über die Totalreflexion. *Annalen der Physik*, **32**, pp.648-672, 1910.
- SCHOPENHAUER, A. *On the Fourfold Root of the Principle of Sufficient Reason*. La Salle, Illinois: Open Court Publishing Co., 1974.

Recebido em: 01/06/2022  
Aprovado em: 20/11/2022

### **José Nunes Ramalho Croca**

Department of Physics, Center of Philosophy of Sciences of the University of Lisbon, Faculty of Sciences of the University of Lisbon Portugal.