

2395 41



### ABSTRACT

*There are three concepts of time Physics. In the sense of simultaneity, the time concept is based on the space-time substratum, in a geometrical point of view. When dealing with processes or transformations, time is related with the correlation which can be empirically observed to exist in the cadences of phenomena which physical systems undergo. And time as something that goes on, with past, future and a present*

★ **Ricardo Knesebeck**, é Vice-diretor e Professor do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná; Licenciado em Física, UFPR, 1964; Mestre em Educação,

## O CONCEITO DE TEMPO NA FÍSICA

Ricardo Luís Knesebeck ★

*which can be sensed empirically by observers, which resembles a tridimensional shock wave propagating along the mesh of world lines of existing physical beings.*

### RESUMO

*Existem três conceitos de tempo nas teorias da Física. Em juízos de simultaneidade, o tempo deriva do substrato espaço-tempo relativista, dentro de um enfoque geométrico. Ao tratar de processos ou transformações, o tempo está ligado à correlação, empiricamente observada, que existe nas cadências dos fenômenos que ocorrem nos sistemas físicos. E o tempo que passa, com passado, futuro e, especialmente, o presente do qual cada observador toma ciência por percepção empírica, assemelha-se a uma onda de choque tridimensional que percorre a malha de linhas do universo dos entes físicos existentes.*

área de Administração Escolar, Instituto de Estudos Avançados em Educação, da Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 1979.



O tempo é tido como um conceito primitivo na formulação da maioria das teorias da Física. Pouco é ele discutido e analisado pelos cientistas.

Não é por deixar de ser importante. Pelo contrário. O tempo aparece desde os postulados das teorias, pois toda teoria física trata de processos e transformações, e estes se desenvolvem com o passar do tempo.

A concepção Newtoniana de um tempo único e universal que governe todos os processos, apesar de sempre muito útil nas aplicações práticas, foi definitivamente derogado por fatos experimentais dentro das previsões das teorias relativistas. A análise do **conceito tempo** não pode deixar de lado as exigências dessas teorias, assim como as da Mecânica Quântica e das teorias que estão hoje sendo buriladas para explicar a estrutura da matéria.

O tempo está relacionado com três classes básicas de juízos: simultaneidade de eventos, cadência e presente. Analisando esse fato, veremos que não existe um único conceito de tempo.

### SIMULTANEIDADE DE EVENTOS

Em muitas situações dizemos que dois eventos ocorrem no mesmo instante, ou seja, que eles são simultâneos.

No tocante à simultaneidade de eventos, temos dois casos possíveis: eventos que ocorrem em um mesmo ponto e eventos que ocorrem em posições diferentes. Para um par elétron-pósitron que se aniquile, aparentemente se requer que as duas partículas estejam simultaneamente no mesmo ponto, no evento terminal de suas existências.

Em termos relativistas, essa condição pode ser escrita dizendo-se que as linhas de universo do elétron e do pósitron convergem para um ponto no contínuo espaço-tempo, e que a simultaneidade de sua presença no ponto de aniquilamento são, respectivamente, iguais.

Em outras palavras, o conceito de simultaneidade nesse caso se reduz a um problema geométrico de coincidência de pontos no substrato Minkowskiano ou Riemanniano que é adotado como sede dos fenômenos físicos. Nesta concepção não entra qualquer consideração de relógio, de transformações, de passado, presente ou futuro, ou de cadência. É uma simples concepção de posição estática em uma variedade geométrica de quatro dimensões.

O conceito de simultaneidade se complica ao se tentar formular juízos sobre a simultaneidade de eventos que ocorrem em pontos diferentes do espaço. A teoria da Relatividade Especial, ou de suas extensões à teoria da Relatividade Geral, com o peso das evidências empíricas já coligidas que a corroboram, mostra que são relativas as conclusões sobre simultaneidade em tais casos.

Dependendo do estado de movimento dos observadores que analisam dois even-

tos, eles podem concluir diversamente sobre a simultaneidade ou precedência temporal dos eventos observados. E mais, devido à natureza intrínseca do contínuo espaço-tempo, que é impossível determinar, por meio de um procedimento científico, a simultaneidade ou não simultaneidade absoluta de dois eventos que ocorrem em posições diferentes.

No espaço de Mikowski, o conceito de simultaneidade para posições diferentes é substituído pelos resultantes da partição do contínuo espaço-tempo, em cada evento, em três regiões: os dois hipercones, do passado e do futuro, e a região remanescente, do presente em relação ao evento. Essas três regiões são separadas por hiper-superfícies denominadas pelos relativistas cones de luz, cujo vértice é o evento.

Nessa concepção, o conceito de simultaneidade pode passar a ser um conceito derivado, definido a partir de noções de hiperplanos perpendiculares a linhas de universo de um observador, ou mesmo, no caso de teorias relativistas gerais, fundamentadas em variedades Riemannianas com curvatura, em famílias de hiper-superfícies definidas a gosto do criador de cada teoria.

Poderia questionar-se a utilidade de tal conceito de simultaneidade e até indagar se não é possível criar as teorias sem o conceito de simultaneidade de eventos espacialmente separados. Acontece que muitas das modernas teorias sobre a estrutura da matéria partem de uma formulação inicial lagrangeana, em cujas equações o tempo aparece como variável explícita independente e na qual está postulada, sempre que não se trate de modelo de um único ponto material, a premissa de simultaneidade de validade dos valores atribuídos às demais variáveis.

Por exemplo, quando o físico, com base no Princípio de Correspondência, utiliza a equação de Schrödinger, derivada do Hamiltoniano representativo de uma estrutura atômica, está implícita, nesse método de análise do problema, a simultaneidade de validade dos valores das coordenadas e momentos lançados na equação de onda.

### CADÊNCIA

Um segundo conceito associado ao de tempo é o de cadência dos processos físicos. Esse conceito pode ser generalizado para todos os processos físicos que obedecem a alguma forma de lei temporal, mas é melhor explicado para o caso de processos periódicos.

Consideremos, como exemplo, o conjunto dos pulsares conhecidos. Adotando um relógio qualquer, que pode ser um desses pulsares, e fazendo as devidas compensações para as diferenças decorrentes dos seus movimentos relativos e de eventuais processos internos que alteram suas velocidades angulares, observa-se que existe uma correlação aparentemente total e uni-



versal na contagem dos ciclos que ocorrem nos diferentes pulsares em intervalos de tempo quaisquer. Existe, para qualquer observador inercial, uma razão constante entre o número de ciclos contados nos diferentes pulsares, em dois intervalos de tempo.

Essa coerência se verifica no conjunto de todos os sistemas físicos em que ocorrem processos periódicos, indicando a existência de uma cadência universal natural, que independe das distâncias e da localização dos sistemas. E mesmo nos processos físicos não periódicos, que são governados por leis que podem ser representadas por funções matemáticas, o tempo, como grandeza física, entra, de um modo natural, como a única variável independente e universal.

Para melhor entender esse conceito de cadência universal que associamos ao tempo, imagine-se uma situação irreal.

Suponha-se que, a partir de um momento arbitrário, os períodos característicos dos quasares, determinados em relação a um relógio qualquer, passassem a variar aleatoriamente. Nenhum dos quasares permaneceria no seu ritmo histórico, de alguns milissegundos, mas apresentaria ora períodos de fantosegundos, ora de milênios. Tal caos cósmico seria, certamente, considerado por qualquer astrônomo como uma inacreditável e impossível subversão das leis naturais.

A noção da cadência universal está tão arraigada no pensamento científico que ela normalmente passa despercebida. Raras vezes um cientista analisa o fato de que a variável tempo, que aparece no estudo de diferentes sistemas físicos, tem uma universalidade facilmente verificável pela evidência empírica.

A cadência natural dos processos físicos é intimamente ligada ao conceito de tempo próprio nas teorias relativistas. Só que nestas não se dá, em geral, muita importância à relação que existe entre os tempos próprios de todos os sistemas físicos, pois, paradoxalmente para o epistemólogo relativista, esse conceito de cadência universal reconduz à questão da existência de algum tipo de tempo absoluto, que não é certamente nenhum dos tempos próprios de sistemas particulares. É um tempo em que nada tem a ver com as noções de simultaneidade, nem de presente.

## PRESENTE

O terceiro aspecto ligado ao tempo é a evidência empírica ligada ao deslocamento do presente.

Tanto nas representações gráficas como na concepção relativista do contínuo espaço-tempo, com suas linhas de universo dos entes físicos, o tempo sempre aparece ligado a linhas.

Por exemplo, nos modelos relativistas, ao centro de massa do Sol e dos seus plane-

tas estão associadas, no substrato geométrico quadridimensional, linhas de universo, cujos eventos iniciais se perdem nos primórdios da formação do Sistema Solar, e que talvez se estendam indefinidamente para o futuro.

É correntemente aceito pelos cosmólogos que o Universo se originou de uma explosão inicial que ocorreu entre 15 e 20 bilhões de anos atrás.

Para contornar possíveis dificuldades relativas ao substrato geométrico do Universo nos seus momentos iniciais, adote-se, com base de raciocínio, um referencial inercial no qual a origem da coordenada temporal esteja 1 bilhão de anos após o evento inicial da criação explosiva do Universo.

Para todos os sistemas materiais que existiram ou existem hoje no Universo, haverá uma ou mais linhas de universo que, em princípio, podem ser descritas por meio das coordenadas de seus eventos em relação ao referencial acima escolhido.

Observe-se que essas linhas de universo, apesar de não serem propriamente de natureza material, têm existência concreta no mundo físico, pois são o conjunto de eventos que constituem a história de cada ente material. Elas não são apenas elocubrações abstratas em representações gráficas traçadas sobre folhas de papel, ou contidas em expressões matemáticas.

O conjunto das linhas de universo de todos os corpos materiais que, em qualquer época, tiveram, têm ou terão existência no Universo, será uma malha quadridimensional de linhas, sobreposta ao contínuo espaço-tempo.

Como se tivesse o poder, que nenhum homem tem, de ver essa malha de linhas de universo embebida no substrato geométrico do Universo, nada nela indicaria a presença do presente. Nenhum ponto de qualquer das linhas de universo, nem qualquer hiper-superfície que elas cruzam, teria qualquer particularidade para ser considerado como presente.

Mas qualquer observador da realidade física percebe que ele está, em cada instante, em uma posição particular na sua própria linha de universo, com quatro coordenadas, três espaciais e uma temporal, bem definidas em relação ao referencial que ele adote para descrever suas observações dos eventos.

Se o leitor adotar um referencial qualquer, pode registrar em relação a ele um evento de seu próprio presente. Mas se meditar alguns minutos sobre seu ato, vai perceber que o evento específico que registrou como presente, já não pode mais ser considerado como tal; esse evento já pertencerá a seu passado, e o intervalo que, em cada momento, o separará daquele evento, segundo a métrica do substrato geométrico, crescerá inexoravelmente de maneira monotônica, à proporção que ele repita suas observações e medições.

O presente de um observador não é



um evento, nem uma hiper-superfície fixa do contínuo espaço-tempo. O presente é algo que se movimenta ao longo das linhas de universo de todos os entes materiais, como uma gigantesca ondulação tridimensional que se propaga ao longo da malha que elas tecem dentro do substrato geométrico que é costumeiramente chamado “contínuo espaço-tempo”. O presente é algo que a experiência empírica torna óbvia para qualquer observador, e que, contudo, é uma espécie de movimento inobservável e indescritível, por falta de outro referencial em relação ao qual se possa estabelecê-lo empiricamente.

O conceito de presente tem relação com o de simultaneidade que já foi ventilado. Dizer que dois eventos são simultâneos, segundo o julgamento de um observador, talvez equivalha a dizer que, em algum momento da vida desse observador, os dois eventos eram parte, para esse observador, de um mesmo presente. Não se afirma taxativamente que é equivalente, mas prefere-se usar a cláusula condicionante “talvez” na sentença acima, pois não se sabe se a existência empírica poderá corroborar tal juízo. Será que experimentos ou observações podem ser feitas para determinar o que é realmente o presente de um observador em um momento de sua existência, fora de sua própria linha de universo?

Por exemplo, não se sabe se os acontecimentos que estão acontecendo em remotíssimas galáxias agora, ou seja, em nosso presente empiricamente observado pelo ato de olhar nosso relógio e calendário, são eventos que estão sobre um hiperplano perpendicular, neste momento, a nossa linha de universo, ou são eventos que, estando equidistantes — em termos de intervalos determinados com a métrica do substrato geométrico do Universo — do

evento inicial da grande explosão, pertencem a uma hiper-esfera centrada no evento da grande explosão inicial.

A primeira posição implica na relatividade do presente segundo os observadores, e o torna ligado ao substrato geométrico. É a posição que é mais adotada pelos físicos.

A segunda posição liga o presente aos tempos próprios que teriam relógios em movimento inercial desde a criação do Universo.

## CONCLUSÃO

O conceito de tempo, na Física, não é simples nem uno. Quando é aplicado em juízos de simultaneidade, ele adquire atributo de relatividade, passando a depender do estado de movimento do observador que, por processos empíricos, sobre ele executa medições.

Quando o conceito de tempo entra em considerações ligadas a processos ou comportamentos de sistemas físicos, ele tem outra natureza, ligada à cadência das alterações que ocorrem nos sistemas naturais. Nesse caso, apesar da posição radical que os relativistas assumem, ele se manifesta como o grande maestro que rege as alterações de todos os sistemas físicos. Os tempos próprios de que falam os relativistas são, em cada ente material, ligados de alguma maneira a esta cadência cósmica.

E, por último, existe o conceito de tempo como algo que passa, vindo do “passado” e indo para o “futuro”, ambos separados pelo efêmero “agora”, como uma onda de choque tridimensional que percorre a malha quadridimensional de linhas de universo que o conjunto de todos os entes físicos tecem dentro do substrato geométrico riemanniano em que existe o Universo.