

TEMPO: ESSE VELHO ESTRANHO CONHECIDO

André Ferrer P. Martins e João Zanetic

O tempo veste um traje diferente para cada papel que desempenha em nosso pensamento.

John Wheeler

Existe um tempo único **real**, que **flui** do passado em direção ao futuro, e que rege de algum modo os fenômenos do Universo? Seria o tempo, por outro lado, apenas uma criação da nossa consciência, uma estrutura que projetamos sobre os fenômenos a fim de interpretá-los? Ou seria ele uma relação entre coisas, concebido, medido e determinado a partir dos próprios fenômenos físicos? E mais: o que é o *agora*? Havia tempo antes do *Big Bang*? Etc etc etc.

Qualquer pessoa não familiarizada com a história da Física muitas vezes imagina que essa ciência tem nas suas bases conceitos definitivamente elucidados. O tempo certamente seria um deles. Mas, como perceberemos pela leitura deste breve artigo, o conceito de tempo tem uma longa história que parece muito longe de seu final.

COMO O TEMPO ENTRA NA HISTÓRIA? Embora a idéia do fluir do tempo esteja conosco desde o começo dos tempos – seja lá o que isso significa – aqui nos interessa o início da sua conceituação e medida. E isso deve ter ocorrido no período neolítico quando, devido à necessidade de produzir mais alimentos, provocada pela concentração de grupos humanos, surgem nas terras férteis encontradas às margens dos grandes rios as civilizações da Mesopotâmia, Egito, Suméria, entre outras. Ao lado das benesses oferecidas pelos rios, essas populações sofriam quando ocorriam grandes inundações que tinham terríveis conseqüências. Os egípcios chegaram a construir os **nilômetros**, que marcavam a altura do rio, para poder prever a ocorrência de inundações perigosas. Aos poucos essas populações foram aprendendo a associar o ciclo de fertilidade do solo, fundamental para a nascente agricultura, ao movimento cíclico dos corpos celestes. Dessa forma tornou-se possível medir os grandes intervalos de tempo a partir da construção de calendários, o que possibilitava prever as épocas da enchente, da sementeira e da colheita, nomes das primeiras estações do ano. Assim, a repetição do dia e da noite, as fases da lua, o movimento do sol, das estrelas, e das estrelas errantes ou planetas, forneceram para essas diferentes civilizações diversos modos de efetuar a medida do passar do tempo. Platão fez o seguinte comentário sobre esse desenvolvimento:

“Se nunca tivéssemos visto as estrelas, o sol e o céu, nenhuma das palavras que pronunciamos sobre o Universo teria sido dita. Mas a visão do dia e da noite, e dos meses, e as revoluções dos anos, criaram um número e nos deram uma concepção do tempo, e o poder de indagar sobre a natureza do Universo.” (1).

Na antiguidade o tempo vai ser estudado, entre outros, pelos gregos do século IV aC: Platão, que concebe o tempo contínuo **produzido** pela rotação dos corpos celestes, e Aristóteles, que pensa o tempo como um coadjuvante no estudo do movimento. E, na Idade Média, podemos destacar Santo Agostinho (354-430) e São Tomás de Aquino (1225-1274), que

concebem que o tempo foi criado **junto** com o Universo. Já no início do século XVII, no alvorecer da física clássica, encontramos Galileu (1564-1642) que, rompendo com a física aristotélica, incorpora definitivamente o tempo como protagonista no estudo – agora matematizado – do movimento, abrindo o caminho para o espaço e o tempo newtonianos.

TEMPO ABSOLUTO X TEMPO RELATIVO: ORIGENS MAIS RECENTES A bem conhecida metáfora do espaço e do tempo compondo o **palco** onde se desenrolam os fenômenos físicos sintetiza com fidelidade o papel por eles desempenhado no teatro newtoniano do mundo. Para Isaac Newton (1642-1727), espaço e tempo têm existência independente dos objetos e dos fenômenos físicos. Além disso, ele diferencia nos *Principia* **tempo absoluto** de **tempo relativo**, sendo o último uma medida do primeiro:

“I - O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, por si mesmo e da sua própria natureza, flui uniformemente sem relação com qualquer coisa externa e é também chamado de duração; o tempo relativo, aparente e comum é alguma medida de duração perceptível e externa (seja ela exata ou não uniforme) que é obtida através do movimento e que é normalmente usada no lugar do tempo verdadeiro, tal como uma hora, um dia, um mês, um ano.” (2). Assim, o tempo absoluto de Newton, que não tem **relação com qualquer coisa externa**, é uma pura abstração. É interessante, também, notar como a noção de um **fluir uniforme** permanece, até os nossos dias, bastante presente na visão **comum** sobre o tempo. Contemporâneo de Newton, Gottfried W. Leibniz (1646-1716) contrapôs-se a essa visão, defendendo que o tempo não poderia ter existência independente das coisas materiais. O tempo deveria ser algo relativo, e não absoluto, pois o concebemos a partir da **ordem sucessiva das coisas**. Em uma longa correspondência mantida durante os anos de 1715 e 1716 com Samuel Clarke, discípulo de Newton, Leibniz trata dessa e de outras questões referentes ao seu pensamento filosófico e religioso:

“Quanto a mim, deixei assentado mais de uma vez que, a meu ver, o espaço é algo puramente relativo, como o tempo; a saber, na ordem das coexistências, como o tempo na ordem das sucessões. De fato, o espaço assinala em termos de possibilidade uma ordem das coisas que existem ao mesmo tempo, enquanto existem junto, sem entrar em seu modo de existir. E quando se vêem muitas coisas junto, percebe-se essa ordem das coisas entre si.” (3). Leibniz é considerado um precursor das críticas ao tempo absoluto da mecânica, retomadas no século XIX por Ernst Mach (1838-1916), cuja obra influenciou fortemente o pensamento de Einstein.

Mach publicou em 1883 um importante tratado sobre o desenvolvimento histórico da mecânica, no qual a possibilidade de um tempo absoluto é negada. Para o cientista alemão, a própria idéia de tempo é uma abstração, à qual chegamos pela variação das coisas. Não podemos afirmar, por exemplo, que o movimento de um pêndulo ocorre no tempo. Percebemos esse movimento quando comparamos as sucessivas posições do pêndulo com outros pontos (na Terra, por exemplo). Ainda que esses pontos não existissem, a comparação seria possível por meio de nossos pensamentos e sensações, que seriam diferentes em cada momento. Para Mach, a nossa representação do tempo surge a partir de uma correspondência entre o conteúdo de nossa memória e o conteúdo de nossa percepção.

Em sintonia com isso, um movimento só seria interpretado como uni-

forme quando comparado a outro movimento, também uniforme: “A questão de que um movimento seja uniforme em si não tem nenhum sentido. Muito menos podemos falar de um “tempo absoluto” (independente de toda variação). Este tempo absoluto não pode ser medido por nenhum movimento, não tem pois nenhum valor prático nem científico; ninguém está autorizado a dizer que sabe algo dele; não é senão um ocioso conceito **metafísico**.” (4).

Mach não endereçava suas críticas somente aos conceitos de espaço e tempo da mecânica de Newton, mas pretendia reformular toda a ciência da mecânica a partir apenas de conceitos **relacionais**, ou seja, que não envolvessem quantidades **absolutas**.

O TEMPO NA TEORIA DA RELATIVIDADE Não foi no contexto de uma crítica a esses conceitos que surgiu o conceito de **tempo relativo** em 1905, com a Teoria da Relatividade Especial (TRE) de Albert Einstein (1879-1955). O problema original de Einstein era compatibilizar o eletromagnetismo clássico, na formulação de Maxwell-Lorentz, com o **princípio da relatividade** da mecânica, segundo o qual as leis da Física devem ser invariantes segundo uma transformação de coordenadas entre sistemas inerciais de referência. Ao buscar uma solução para esse problema, Einstein estabeleceu como postulado básico a **constância da velocidade da luz no vácuo (c)**, conforme medida por qualquer sistema de referência inercial. Isso o levou a redefinir espaço e tempo para tornar essa premissa – e as equações de Maxwell – compatíveis com o **princípio da relatividade**. Surge a partir daí uma nova entidade: o **espaço-tempo**. Nele, medidas de tempo ou espaço não podem mais ser consideradas independentemente. Consideremos, por exemplo, um determinado **evento** com coordenadas espaço-temporais (x,y,z,t) relativas a um referencial inercial K . As coordenadas (x',y',z',t') desse mesmo evento, relativas a outro sistema de referência inercial K' , que se desloca com velocidade constante V em relação ao primeiro sistema, não obedecerão mais as Transformações de Galileu da mecânica clássica, mas sim as *Transformações de Lorentz* (ver box *Mecânica clássica x relatividade*). O **intervalo de tempo** entre dois eventos, medido num dos sistemas de referência, deixa de ser absoluto. Isso leva a uma relativização do conceito de **simultaneidade**, que passa a depender do sistema de referência do observador. Com essas novas idéias, Einstein introduz a **dilatação do tempo**:

“Consideremos agora um relógio que marque segundos e que se encontra em repouso no ponto inicial ($x' = 0$) de K' . Consideremos $t' = 0$ e $t' = 1$ duas batidas consecutivas deste relógio. Para estas duas batidas, a [quarta equação] das transformações de Lorentz [fornece]:

$$t = 0 \text{ e } t = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Observado a partir de K , o relógio está em movimento com a velocidade V ; em relação a este corpo de referência, entre duas de suas batidas transcorre não um segundo, mas sim $\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$ segundos, portanto um intervalo de tempo um pouco maior.

Como consequência do seu movimento, o relógio anda um pouco mais

lento do que no estado de repouso.” (5).

Dessa forma, a TRE problematizou nossa noção **senso comum** de **presente**. O que é o **agora** se o tempo é relativo? O que é passado e futuro se eventos que já ocorreram num referencial ainda não foram detectados em outro?

Por outro lado, o espaço-tempo é afetado pela presença da **matéria**. Para incorporar a gravitação no contexto da Relatividade, Einstein apresenta em 1916 sua Teoria da Relatividade Geral (TRG) que, entre outras coisas, estabelece a equivalência entre movimentos acelerados e a presença de campos gravitacionais. Nesse novo contexto, a estrutura do espaço-tempo é dada por sua **métrica**, sendo esta afetada pelo conteúdo material do Universo, ou seja, já não se pode fazer uma distinção entre **conteúdo** e **continente** (o que era válido tanto na mecânica clássica quanto na TRE). A TRG prevê uma outra **dilatação do tempo** na presença de um campo gravitacional. Relógios (ou processos atômicos) próximos à superfície da Terra, por exemplo, andam mais lentamente do que outros situados a grandes altitudes. Embora neste caso a diferença seja bastante pequena, experimentos para detectar tal variação já foram realizados com sucesso. No entanto, as principais consequências e aplicações da TRG encontram-se no âmbito da cosmologia.

Os diversos modelos cosmológicos surgidos com a TRG levam a teorias e especulações sobre a **origem do tempo** e a idade do Universo. Dentro do chamado **modelo padrão**, que estabelece a existência de um *Big Bang* há cerca de 15 (20? 10?) bilhões de anos, a partir do qual o Universo conhecido iniciou uma expansão que perdura até hoje, questiona-se se o próprio tempo nasceu na grande explosão.

Outro aspecto bastante explorado, principalmente em artigos e livros de divulgação, é o fato da TRG não proibir as chamadas **viagens no tempo**, ou seja, deformações espaço-temporais que permitam a um **viajante** (uma partícula subatômica, por exemplo) percorrer uma

trajetória (do **tipo-tempo**) fechada. Essa possibilidade teórica remete-nos imediatamente a paradoxos que desafiam nossa interpretação, como a possibilidade de alteração do passado.

UM POUCO SOBRE IRREVERSIBILIDADE Se em nosso dia-a-dia sabemos que o **tempo não volta atrás**, as teorias físicas parecem relutar a dar uma explicação consensual a esse respeito. A Mecânica Clássica, a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica são teorias **reversíveis temporalmente**, ou seja, teorias cujas estruturas matemáticas não fazem distinção entre t e $-t$. Dito de outro modo, isso significa que se filmássemos um sistema puramente mecânico, por exemplo, como um pêndulo que oscila sem atrito, e exibíssemos o filme **de trás para frente**, seríamos incapazes de diferenciar as duas situações (ambas obedeceriam às mesmas leis físicas). De modo semelhante, as equações de Maxwell também não distinguem o passado do futuro, permitindo que ondas eletromagnéticas avancem ou retrocedam no tempo sem distinção. Um átomo que absorve um fóton pode ser visto como o inverso temporal de um átomo que emite um fóton. Etc.

Também um dos princípios mais fundamentais da Física – o da conservação da energia – não diferencia um sentido preferencial para o

RELÓGIOS PRÓXIMOS À SUPERFÍCIE DA TERRA ANDAM MAIS LENTAMENTE DO QUE OUTROS...

tempo. Se víssemos os pedaços de uma xícara, que se quebrou ao cair da mesa, juntarem-se espontaneamente e reconstituírem-na, isso não violaria em nada o princípio de conservação da energia. O que nos faz, então, diferenciar o passado do futuro, e atribuir uma **irreversibilidade** aos fenômenos físicos?

Historicamente, a irreversibilidade sempre esteve associada à 2ª Lei da Termodinâmica e à idéia de **entropia** (grandeza vinculada ao número de microestados de um sistema compatíveis com um determinado macroestado, e cujo valor sempre cresce na direção do equilíbrio termodinâmico). Segundo uma tradição que se iniciou no século XIX com Ludwig Boltzmann (1844-1906), considerado o fundador da mecânica estatística, e continuou ao longo do século XX, principalmente nos trabalhos de Hans Reichenbach e Adolf Grünbaum, o aumento da entropia nos sistemas chamados **quase-isolados**, e a consequente irreversibilidade física, podem ser explicados por considerações de natureza probabilística: haveria uma maior probabilidade de ocorrência de determinados estados microscópicos compatíveis com a evolução futura do sistema no sentido da entropia crescente, em contraposição a uma probabilidade quase nula de ocorrência de outros estados, correspondentes a um conjunto de condições iniciais preciso, que levasse à **reversibilidade**.

Mais modernamente, o estudo dos sistemas dissipativos e da termodinâmica, longe do equilíbrio, trouxe novas idéias para o centro desse debate. Os **defensores da irreversibilidade** afirmam que as equações não-lineares que regem tais sistemas introduzem uma **flecha do tempo**, e que há correlações (no nível microscópico) que permitiriam descrever de forma assimétrica (em relação ao tempo) os sistemas mais elementares tratados pela mecânica estatística.

Seria a **flecha do tempo** resultado de algum processo mais elementar na natureza? A Física de Partículas Elementares parece responder **sim** a essa indagação. Ao menos é o que indica o estudo de um tipo de *méson* criado em colisões nucleares, chamado *káon*. O *káon* neutro (ou K^0) transforma-se espontaneamente na sua antipartícula (*antikáon* ou K^0), e vice-versa. Embora a transformação *káon-antikáon* seja simétrica à transformação *antikáon-káon*, o *káon* permanece mais tempo como *antikáon* do que como *káon*. Essa **assimetria** sugere a existência de uma **flecha do tempo** no mundo das partículas elementares, privilegiando um dos processos de decaimento ao invés do outro. Os físicos nucleares afirmam que isso poderia, inclusive, explicar o predomínio no Universo da matéria sobre a antimatéria.

Vejam a que ponto chegamos em nossa discussão! A questão do tempo na física é tão fundamental e vasta que abrange praticamente todas as suas subáreas, da Física de partículas à cosmologia. E, é claro, transcende a própria Física, instigando filósofos, e alimentando o imaginário de poetas, escritores e artistas em geral. É o sempre eterno mistério do tempo...

E O MUNDO QUÂNTICO?

Tempo e energia compõem uma das relações de incerteza de Heisenberg ($\Delta E \Delta t \geq h/2$), desigualdade para a qual há diversas interpretações, todas de acordo com a idéia mais geral de que estas grandezas não podem ser, simultaneamente, conhecidas com precisão arbitrária.

O indeterminismo quântico, expresso nessa relação, deixa sem resposta questões do tipo: quanto **tempo** leva um elétron para ir de um nível de

energia a outro? **Quando** ele **salta**? O princípio da incerteza não nos permite observar o átomo no **momento exato** de um decaimento, nem determinar sua **duração**. A teoria fornece a duração **média** de um estado excitado, mas não diz **quando** um átomo específico irá decair. E não podemos esquecer que tudo o que pode ser **dito** no mundo quântico refere-se ao que pode ser **medido**, segundo **arranjos experimentais** determinados. Quando falamos do tempo, por exemplo, devemos ter em mente relógios **reais**, também sujeitos à imprecisão quântica.

Embora o indeterminismo também se aplique ao tempo, cabe apontar que ele é um **parâmetro numérico** no formalismo quântico, diferentemente de outros **observáveis** (como posição, momento e energia), representados na teoria por **operadores**.

Uma outra questão que envolve a noção temporal na mecânica quântica diz respeito aos chamados “efeitos não-locais”, cuja origem histórica pode ser considerada a apresentação do paradoxo de Einstein, Podolsky e Rosen (EPR) em 1935, clímax do famoso debate Einstein-Bohr sobre os fundamentos da teoria quântica. No argumento teórico de EPR, dois sistemas quânticos que interagiram no passado encontram-se agora separados por uma grande distância. O paradoxo consistiria no fato de que a modificação de um dos sistemas implica uma mudança **instantânea** ($\Delta t = 0$) do outro, o que significaria uma transmissão de informação a uma velocidade maior do que c , contradizendo a Teoria da Relatividade.

Entretanto, resultados experimentais recentes evidenciaram que o tipo de correlação não-local parece ocorrer de fato. Arranjos experimentais denominados “apagadores quânticos” lidam com efeitos não-locais absolutamente estranhos a nossa intuição comum, onde parece ser possível **alterar o passado**.

A MEDIDA DO TEMPO

O nosso padrão de medida do tempo, que desde a antiguidade tinha como referência o movimento de rotação da Terra (1 segundo = 1/86.400 de um dia), passou, com o advento dos relógios atômicos em meados do século passado, a ser referenciado no mundo sub-microscópico regido pelas leis quânticas. Em 1967 o **segundo** foi redefinido como sendo igual a 9.192.631.770 períodos da radiação emitida ou absorvida na transição entre dois níveis hiperfinos do átomo de Césio-133.

Num relógio atômico típico, utiliza-se um campo magnético apropriado para selecionar, de um feixe de vapor de Césio, aqueles átomos capazes de absorver microondas de uma dada frequência fundamental ν_0 . Após atravessar o campo de microondas, os átomos que sofreram a transição desejada são desviados por outro campo magnético em direção a um detector. Um circuito de retro-alimentação é usado para maximizar o número de átomos que chegam ao detector, regulando a frequência de microondas cada vez que esse número diminui. Dessa forma, essa frequência é mantida ajustada, dentro da maior precisão possível, àquela frequência ν_0 . Acopla-se a esse campo de microondas um dispositivo eletrônico (**divisor de frequências**) que, essencialmente, faz a **contagem** dos pulsos, gerando **pulsos temporais**. Dessa forma, por mais distante que isso possa parecer de uma compreensão **senso comum** do que é **um segundo**, estabelece-se a relação 9.192.631.770 períodos da radiação = 1 segundo (uma série de experimentos realizados entre 1955 e 1958 relacionou a frequência ν_0 com o segundo, conforme definido astronômicamente à época).

Em diversos laboratórios espalhados ao redor do mundo, relógios atômicos

formam (e controlam) uma escala de tempo chamada Tempo Atômico Internacional (TAI). A coordenação de um tempo internacional, baseado nessa escala, é de responsabilidade do Bureau Internacional de Pesos e Medidas, sediado na França. Há ainda outras escalas de tempo, baseadas no movimento de rotação da Terra, e que são mantidas coordenadas com o TAI por meio de uma outra escala, denominada Tempo Universal Coordenado (UTC).

O TEMPO DENTRO DA VIDA, ALÉM DA VIDA DENTRO DO TEMPO

Luiz Menna-Barreto e Nelson Marques

MECÂNICA CLÁSSICA X RELATIVIDADE

<ul style="list-style-type: none"> • Espaço e Tempo absolutos • Simultaneidade e Δt são absolutos • Transformações de Galileu deixam as leis invariantes por uma mudança de coordenadas do sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Não há Espaço e Tempo <i>a priori</i> • Simultaneidade e Δt são relativos • Transformações de Lorentz deixam as leis invariantes por uma mudança de coordenadas do sistema
--	---

V : velocidade (constante) de K' em relação a K , paralela aos eixos x e x'

$x = x' + Vt'$		$x = \frac{x' + Vt'}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$
$y = y'$		$y = y'$
$z = z'$		$z = z'$
$t = t'$		$t = \frac{t' + Vx'/c^2}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$

André Ferrer P. Martins é mestre em Ensino de Física, da FEUSP/IFUSP
 João Zanetic é professor do IFUSP e doutor em Educação pela FEUSP

Notas e referências

- 1 Ferris, T. *O despertar da via láctea*. Campus: Rio de Janeiro, 1990, p. 3.
- 2 Newton, I. *Principia: princípios matemáticos de filosofia natural* - Vol. I (Trad. Trieste Ricci et al.), São Paulo: Nova Stella / EDUSP, 1990, pp. 6-7.
- 3 Leibniz, G.W. *Correspondência com Clarke* - coleção "Os pensadores" (Trad. Carlos Lopes de Mattos), São Paulo: Abril Cultural, 2ª edição, 1983, p. 177.
- 4 Mach, E. *Desarrollo histórico-crítico de la mecánica* (Trad. Jose Babini), Buenos Aires: Espasa - Calpe, 1949, p.190 – tradução nossa.
- 5 Einstein, A. *A teoria da relatividade especial e geral* (Trad. Carlos Almeida Pereira), Rio de Janeiro: Contraponto, 1999, pp. 36-7.

Bibliografia consultada

- Martins, A.F.P. *O ensino do conceito de tempo: contribuições históricas e epistemológicas* (Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, IFUSP/FEUSP, São Paulo, 1998).
 Davies, P. *O enigma do tempo* (Trad. Ivo Korytowski), Rio de Janeiro: Ediouro, 1999.
 Itano, W. M. E Ramsey, N. F. *Scientific American* 269, 46, 1993.
 Na internet: www.nist.gov; www.bipm.org; www.inmetro.gov.br

Outros livros de interesse:

- Coveney, P.E Highfield, R. *A flecha do tempo* (Trad. J. E. Smith Caldas), São Paulo: Siciliano, 1993.
 Hawking, S.W. *Breve história do tempo* (Trad. Ribeiro da Fonseca), Lisboa: Gradiva, 4ª edição, 1996.
 Prigogine, I. E Stengers, I. *Entre o tempo e a eternidade* (Trad. Roberto L. Ferreira), São Paulo: Cia das Letras, 1992.
 Whitrow, G.J. *O tempo na história: concepções do tempo da pré-história aos nossos dias* (Trad. Maria Luiza X. de A. Borges), Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1993.

Costumamos entender os processos vitais como eventos que se desenrolam ao longo de um tempo, geralmente externo aos organismos, algo intangível mas cuja existência se faz evidente nas transformações exibidas pelos seres vivos. Esse tempo exterior pode ser percebido em diversas escalas de grandeza: desde um tempo filogenético, cujas marcas são evidenciadas pela história das espécies e medido em milhares ou mesmo milhões de anos, até um tempo microscópico, da ordem de milésimos de segundo, no qual um átomo penetra em um célula através de um canal iônico. Não será esse tempo exterior o tema desse ensaio, mas sim o que podemos chamar de tempo interior, conceito em construção a partir de meados do século XX, quando se reconhece a existência de estruturas geradoras de tempo no interior dos organismos, os chamados “relógios biológicos”. O conceito de tempo interior ou endógeno está ancorado no corpo de conhecimentos que é identificado hoje como Cronobiologia, o estudo da dimensão temporal da matéria viva (1).

Apresentaremos inicialmente um breve retrospecto histórico da Cronobiologia para, em seguida, abordarmos seus principais marcos conceituais e concluiremos com indicações sobre o que muda no cenário do conhecimento biológico quando assumimos o tempo interior como mensagem relevante dos processos vitais.

HISTÓRIA As primeiras tentativas de ler os tempos próprios dos organismos vivos datam do início do século XVIII, quando um membro da Academia de Ciências da França, o astrônomo Jean-Jacques Dortous de Mairan (1678-1771) sugeriu e publicou um artigo sobre a possível existência de um mecanismo marcador de tempo em uma planta. Essa sugestão foi a tentativa de explicar porque os movimentos espontâneos de abertura e fechamento das folhas de uma planta persistiam quando ela era isolada do ambiente e mantida por alguns dias dentro de um baú em obscuridade constante. A persistência dessas oscilações, vista até essa época como reações reflexas dos organismos à presença ou ausência de luz solar, vem sendo a partir de então testada em uma infinidade de organismos. Esses experimentos, mais frequentes a partir de meados do século passado, seguem genericamente o mesmo protocolo: promove-se o isolamento temporal dos organismos em estudo eliminando-se os ciclos normalmente presentes em seus ambientes. Essa eliminação consiste, por exemplo, em manter organismos sob claridade constante (alternativamente, escuridão constante), geralmente em laboratórios que permitam o controle adequado do conjunto das condições ambientais, como temperatura, umidade, som, etc. O resultado é claro: praticamente em todos os organismos testados as oscilações persistem durante o isolamento temporal.

A curiosidade despertada por essas demonstrações motivou o surgimento dos primeiros grupos de pesquisa e sociedades dedicadas a esse tema, sobretudo