

29 de novembro de 2024

## Com participação de pesquisador do IFSC/USP – Todos os observáveis da Natureza podem ser medidos com uma única constante, o “segundo”



(Créditos – aeditorialbow1/Best of Web)

Um grupo de pesquisadores brasileiros apresentou proposta inovadora para resolver um debate que já dura décadas entre físicos teóricos: quantas constantes fundamentais são necessárias para descrever o universo observável? Aqui, a expressão “constantes fundamentais” refere-se aos padrões básicos necessários para medir tudo.

O estudo, publicado na revista *Scientific Reports*, teve a participação de George Matsas e Vicente Pleitez, ambos do Instituto de Física Teórica da Universidade Estadual Paulista (IFT-Unesp), além de Alberto Saa, do Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica da Universidade Estadual de Campinas (Imecc-Unicamp), e Daniel Vanzella, do Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo (IFSC-USP).

O grupo argumenta que o número de constantes fundamentais depende do tipo do espaço-tempo em que as teorias são formuladas. E que, em um espaço-tempo relativístico, esse número pode ser reduzido a uma única constante, utilizada para definir o padrão de tempo. O estudo é uma contribuição original à polêmica instaurada em 2002 por um artigo famoso de Michael Duff, Lev Okun e Gabriele Veneziano publicado no *Journal of High Energy Physics*.

A história toda começou dez anos antes, no verão de 1992, quando os três renomados cientistas se encontraram no terraço da cafeteria do Cern, a organização europeia para pesquisa nuclear. Em uma conversa informal, descobriram que divergiam em relação ao número de constantes fundamentais. “No verão de 2001, voltamos ao assunto e descobrimos que as nossas opiniões ainda divergiam. Decidimos, então, explicar nossas

posições”, escrevem os três no Abstract de seu artigo.

Em resumo, Okun afirmou que três unidades básicas – metro (comprimento), quilograma (massa) e segundo (tempo) – eram necessárias para medir todas as grandezas físicas. Vale dizer que reafirmou aquilo que era conhecido como Sistema MKS (M, de metro; K, de quilograma; S, de segundo), posteriormente incorporado ao Sistema Internacional de Unidades (SI). Veneziano, por seu lado, argumentou que, em certos contextos, bastariam duas unidades: uma para o tempo e outra para o comprimento. Duff não ficou nem lá nem cá, afirmando que o número de constantes podia variar dependendo da teoria em questão.

Justificando o novo artigo agora publicado, Matsas afirma: “O objetivo é buscar a descrição mais fundamental possível da física. A questão que Okun, Duff e Veneziano levantaram não é, de forma alguma, trivial. Como físicos, somos confrontados com a necessidade de entender qual é o número mínimo de padrões de que precisamos para medir tudo”.

Os pesquisadores brasileiros – apoiados pela FAPESP (projetos 22/10561-9, 21/09293-7 e 23/04827-9) – sustentam que a quantidade de constantes fundamentais depende do espaço-tempo em que as grandezas físicas são consideradas. E analisam dois tipos de espaço-tempo: o galileano, sobre o qual Isaac Newton (1642-1727) construiu a mecânica clássica; e o relativístico, que oferece o substrato para a teoria da relatividade geral de Albert Einstein (1879-1955).

Há vários espaços-tempos relativísticos, que correspondem a diferentes soluções das equações de Einstein. O mais simples deles é o espaço-tempo de Minkowski, assim nomeado em referência ao matemático judeu-litiano de cultura alemã Hermann Minkowski (1864-1909). Trata-se de um espaço-tempo vazio (livre de partículas e tudo mais), homogêneo (em que todos os pontos apresentam as mesmas propriedades) e isotrópico (em que todas as direções espaciais se equivalem). Por uma questão de facilidade, o artigo em pauta utiliza o espaço-tempo de Minkowski. Mas seus autores advertem que as conclusões a que chegaram podem ser generalizadas para qualquer espaço-tempo relativístico.

“No espaço-tempo galileano, são necessárias régua e relógios para medir todas as variáveis físicas. No espaço-tempo relativístico, porém, relógios são suficientes. Isto porque, na relatividade, o espaço e o tempo estão de tal forma interligados que basta uma única unidade para descrever todas as grandezas. Relógios de alta precisão, como os relógios atômicos utilizados atualmente, são capazes de atender a todas as necessidades de medição”, diz Matsas.

Como se percebe pela frase anterior, até mesmo no espaço-tempo galileano já é possível uma simplificação de grandezas fundamentais que deixa a massa de fora. “Historicamente, a partir de um esforço de padronização adotado durante a Revolução Francesa (1789-1799), o quilograma foi definido como sendo a massa de um litro de água pura em determinada condição de pressão e temperatura. Em termos práticos, é muito conveniente ter um padrão de massa, mas, do ponto de vista fundamental, ele não é necessário”, afirma Vanzella. “A massa de um corpo é dada pela aceleração com que uma partícula é atraída quando está a uma certa distância da massa.”

Em sua versão atual, o Sistema Internacional de Unidades (SI) utiliza sete unidades básicas: metro (comprimento), segundo (tempo), quilograma (massa), kelvin (temperatura), ampere (corrente elétrica), candela (intensidade luminosa) e mol (quantidade de moléculas ou átomos). “Mas essas unidades são básicas apenas porque atendem a objetivos práticos. Por exemplo, se alguém precisa comprar uma lâmpada, o número de candelas informa quanta intensidade luminosa essa lâmpada deverá fornecer. Porém, há muito tempo é sabido que essas unidades apresentam redundâncias. Isto é, que muitas delas podem ser definidas a partir de outras. Após uma revisão realizada em 2019, essas unidades passaram a ser associadas a constantes da natureza, como a velocidade da luz [c] e a constante de Planck [h]”, pontua Matsas.

Pelo critério usado por Duff, Okun e Veneziano, o número de constantes fundamentais está relacionado ao número mínimo de padrões independentes necessários para expressar todas as grandezas físicas. Repetindo, no espaço-tempo de Galileu todos os observáveis podem ser expressos em termos de unidades de tempo e espaço, que, usualmente, são o “segundo” e o “metro”. Em espaços-tempos relativísticos, a unidade de tempo – vale dizer, o “segundo” – é suficiente para expressar qualquer observável.

E a definição de “segundo” é estabelecida, atualmente, a partir de uma constante da natureza: a diferença de energia entre dois níveis específicos da camada eletrônica do célio-133. Um segundo (1s) corresponde ao tempo de 9.192.631.770 oscilações da radiação emitida quando um elétron transita entre esses dois estados do célio-133. “Qualquer artefato capaz de contar com regularidade 9.192.631.770 oscilações dessa radiação terá medido 1s e poderá ser considerado um relógio honesto”, informa Matsas.

Resumindo: no espaço-tempo relativístico (que é o espaço-tempo no qual o estudo em pauta considera que vivemos), qualquer grandeza física pode ser medida a partir do “segundo”, que constitui a unidade de tempo. O tempo é uma variável, pois está em incessante mudança; mas o “segundo” é definido a partir de uma constante, associada a um certo nível de energia da camada eletrônica do átomo de célio-133. “O veredicto de que um observável seja ou não uma constante da natureza é absoluto, pois é proclamado pelos relógios honestos, que precisam existir para que o próprio conceito de espaço-tempo faça sentido. Mas a eleição de qual ‘constante fundamental’ será usada para defini-los é uma construção social e histórica que depende da conveniência”, comenta Vanzella.

O artigo *The number of fundamental constants from a spacetime-based perspective* pode ser lido na íntegra em: [www.nature.com/articles/s41598-024-71907-0](http://www.nature.com/articles/s41598-024-71907-0)

(Agência FAPESP – José Tadeu Arantes)

Assessoria de Comunicação – IFSC/USP