



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

As “Experiências de Pensamento” em Física: 2) Newton e Mach.

Em verbete desta série, vimos que o conceito de *inércia* foi fortalecido em “Experiências de Pensamento” realizadas pelo astrônomo e físico italiano Galileu Galilei (1564-1642) e descritas em seus dois livros: **Dialogo supra i due Massimi Sistemi del Mondo Tolemaico e Copernicano** [Diálogo sobre dois Máximos Sistemas no Mundo Ptolomaico e Copernicano (Discurso Editorial/FAPESP, 2001)], publicado em 1632, e **Discorsi e Dimonstrazione Mathematiche intorno a Due Nuove Scienze Attenenti alla Mechanica ed i Movimento Locali** (“Discursos e Demonstrações Matemáticas em torno de Duas Novas Ciências Atinentes à Mecânica e aos Movimentos Locais”) [Duas Novas Ciências (Ched Editorial/Istituto Italiano di Cultura/Nova Stella, 1985), tradução de L. Mariconda e P. R. Mariconda; **Dialogues Concerning the Two New Sciences/Great Books of the Western World 26** (Encyclopaedia Britannica, Inc./Chicago, 1993)], publicado em 1638. Esse conceito de *inércia* foi objeto de crítica em outra “Experiência de Pensamento”, conforme veremos a seguir.

O físico e matemático inglês Sir Isaac Newton (1642-1727) inicia seu famoso livro **Philosophiae Naturalis Principia Mathematica** (“Princípios Matemáticos de Filosofia Natural”) (Nova Estella/EDUSP, 1990), publicado em 1687, com uma série de definições e, logo na III, apresenta o **Princípio da Inércia** da seguinte maneira: - *A vis insita, ou força inata da matéria, é um poder de resistir pelo qual cada corpo, enquanto depende dela, continua em seu presente estado, seja de repouso, seja de movimento uniforme em linha reta.* É interessante registrar que, segundo alguns Historiadores da Ciência, as ideias de Newton sobre *inércia*, decorreram da leitura que fizera nos livros do filósofo e matemático francês René du Perron Descartes (1696-1650), principalmente o **Principia Philosophiae** (“Princípios de Filosofia”), publicado em 1644, e no livro do filósofo e matemático francês, o padre Pierre Gassendi (1592-1655), intitulado **Syntagma Philosophicum** (“Tratado Filosófico”), e publicado postumamente, em 1658). [L. U. Pancheri, *American Journal of Physics* **46**, p. 455 (1978)]. Mais adiante, Newton apresenta as polêmicas definições de **tempo** e de **espaço**, e que são as seguintes: - *O tempo absoluto, verdadeiro e matemático flui sempre igual por si mesmo e por sua natureza, sem relação com qualquer coisa externa;* - *O espaço absoluto, por sua natureza, sem nenhuma relação com algo externo, permanece sempre semelhante e imóvel.* Terminadas as definições, Newton passa a enumerar as três leis fundamentais da Mecânica, com os seguintes enunciados: **1ª Lei** (PLN)– *Todo corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento uniforme em linha reta, a não ser que seja obrigado a mudar seu estado por forças impressas nele;* **2ª Lei** (SLN) – *A mudança do movimento é proporcional à força motriz impressa, e se faz segundo a linha reta pela qual se imprime essa força;* **3ª Lei** (TLN) – *A uma ação sempre se opõe uma reação igual, ou seja, as ações mútuas de dois corpos um sobre o outro são sempre iguais e se dirigem a partes contrárias.*

Após apresentar os elementos básicos (definições e leis ou axiomas) necessários para fundamentar a Mecânica, Newton passa a estudar o movimento dos corpos, tanto no vácuo, como nos meios resistentes. Considerando o objetivo deste verbete, vamos apresentar apenas alguns resultados da Mecânica Newtoniana que foram objeto de crítica por intermédio de “Experiências de Pensamento”. Vejamos o primeiro deles. Quando se procura saber em relação a que referenciais a Segunda Lei de Newton (SLN) tem a mesma forma, isto é, representada pela mesma expressão analítica, descobre-se que isto acontece para todos os referenciais que estão parados ou em movimento retilíneo uniforme em relação ao espaço absoluto. Hoje, essa afirmação é facilmente

verificada usando-se a expressão analítica da SLN: ; o Princípio da Relatividade de Galileu: ; e as hipóteses newtonianas: $t = t'$ e $m = m'$. Note-se que (') refere-se a um referencial que se desloca com uma velocidade () constante, em relação a um referencial inercial em repouso. Usando-se essas expressões, temos: . Essa invariância significa que é impossível saber se um corpo está em repouso ou em movimento retilíneo uniforme por intermédio de uma experiência mecânica, ou seja, a velocidade é uma grandeza relativa. Por outro lado, quando um referencial se acelera em relação a outro que esteja em repouso, a SLN permite determinar essa aceleração, o que significa dizer que a aceleração é uma grandeza absoluta.

As forças que aparecem em referenciais acelerados são denominadas de **forças de inércia**. Vejamos um exemplo de uma delas. Admitamos uma plataforma girando em relação a um referencial inercial com velocidade angular (ω) constante e, preso a ela, consideremos uma haste vertical de cuja extremidade pende um pequeno corpo preso a um fio inextensível. Então, um observador fora dessa plataforma e colocado em um referencial inercial em repouso, dirá que o pequeno corpo descreverá uma circunferência em torno da haste, porque ele está sujeito a uma **força centrípeta**, resultante da composição do peso do pequeno corpo com a tensão no fio. Por sua vez, um observador colocado em cima da plataforma girante, verá o pequeno corpo em repouso em relação a ele. Para explicar esse repouso (resultante total das forças que atua em um corpo é nula), o observador da plataforma girante afirma que além do peso e da tensão no fio, atua no pequeno corpo uma força em sentido contrário à **força centrípeta**, chamada então de **força centrífuga**. Essa força, contudo, segundo a Mecânica Newtoniana é uma **força de inércia** que, no entanto, não tem existência física, é uma força fictícia. É oportuno salientar que o aparecimento das **forças de inércia** decorre quando se estuda a rotação de sistemas coordenados. [Keith R. Symon, **Mechanics** (Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 1961)].

Do exposto acima, vê-se que a distinção entre forças verdadeiras e fictícias, decorre da escolha do sistema de referência. Assim, os referenciais para os quais só concorrem forças verdadeiras, são chamados de **referenciais inerciais** (RI) que, em síntese, são definidos como aqueles para os quais a SLN é escrita na forma mais simples: , o que equivale dizer que são aqueles que estão em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. No entanto, essa definição não é completa, pois falta dizer em relação a quê ocorre o repouso ou o movimento retilíneo uniforme. Para Newton, a resposta seria: o **espaço absoluto**. Para ilustrar essa resposta, Newton lança mão da seguinte experiência, descrita no primeiro Escólio, depois das Definições de seu **Principia**. Tomemos um balde com água e o suspendamos por uma corda, e depois, torçamo-la. Quando a corda é solta, o balde começa a rodar em torno dela, em relação ao solo, por algum tempo. Inicialmente, em virtude da viscosidade da água, a superfície da mesma permanece plana e horizontal, porém, depois de algum tempo, quando a água começar a rodar juntamente com o balde, a sua superfície torna-se côncava, assumindo a forma de um parabolóide. Se em um dado momento, o balde for freado com as mãos, a água permanecerá, ainda, por algum tempo, com a sua superfície parabolóide, mostrando que a força centrífuga decorre da rotação da água em relação a um “espaço absoluto” (“sensório de DEUS”), e não em relação às paredes do balde. Essa foi a explicação dada por Newton à experiência relatada acima, pois, segundo ele, se a concavidade da água decorresse do movimento relativo entre a mesma e as paredes do balde, ela deveria ser observada quando o balde girasse em relação à água (ou esta em relação ao balde), ocorrendo justamente ao contrário.

Note-se que Newton considerava como exemplo de referencial inercial àquele ligado às estrelas fixas, pois, devido à grande distância que as estrelas se encontram em relação ao nosso planeta Terra, elas aparecem quase em repouso em relação ao centro de massa do Universo. Lembrar que a primeira paralaxe (movimento ou deslocamento aparente de objetos próximos vistos contra o pano de fundo de objetos mais distantes; ela é produzida pelo movimento ou deslocamento do observador) de estrelas foi medida pelo astrônomo alemão Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846), em 1838.

A experiência proposta acima foi realizada por Newton para fazer a distinção entre forças verdadeiras e fictícias. Ela recebeu crítica do físico e filósofo austríaco Ernst (Waldfried Josef Wenzel) Mach (1838-1916) em seu famoso livro intitulado **Die Mechanik in Ihrer Entwicklung Historisch-**

Kritisch Dargestellt (“A Ciência da Mecânica e seu Desenvolvimento Crítico-Histórico”), publicado em 1883 [**The Science of Mechanics: A Critical & Historical Account of Its Development** (The Open Court Publishing Co., 1960)]. Antes de fazer a crítica daquela experiência, Mach rejeitou as definições de **tempo** e de **espaço** dadas por Newton, bem como a de **massa inercial** [em linguagem atual: - *A quantidade de matéria (M) é a medida da mesma, oriunda conjuntamente de sua densidade (d) e grandeza (V)*], em seu **Principia**. Essa definição, segundo Mach, era circular, já que não havia maneira de definir a densidade de um corpo independentemente de sua **massa**, pois pela definição newtoniana, tem-se: $d = M/V$.

Desse modo, Mach propôs outra definição de **massa inercial**, mais operacional, por intermédio da SLN e TLN, como veremos a seguir. Estando dois corpos A e B em interação mútua, o corpo A exerce uma aceleração de módulo a sobre B, e este, uma aceleração de módulo a' sobre A, porém de sentido contrário ao de a . Note-se que estas acelerações devem ser entendidas em relação ao referencial das estrelas fixas. Considerando a massa de um desses dois corpos como padrão (p.e.: a do corpo A como sendo m_A), usando a SLN, tem-se:  e ; pela TLN,  = - , e, portanto, em módulo, teremos: $m_B = m_A (a'/a)$. (Symon, op. cit.). Dessa maneira, Mach concluiu que sua definição de **massa inercial** não precisava da “quantidade de matéria” envolvida na mesma.

Vejamos, agora, como Mach criticou a “**experiência do balde d’água**” de Newton. Tomando como base a ideia de que as **forças inerciais** decorrem da distribuição de massa do Universo, e não apenas de uma simples mudança de referencial (de inercial para não-inercial) (conhecido como **Princípio de Mach** – PM), Mach propôs a seguinte “**Experiência de Pensamento**”. Se girarmos rapidamente um grande cilindro de paredes bem espessas em torno do balde d’água, dever-se-á observar que a superfície da água tomará a forma de um parabolóide. No entanto, a dificuldade na realização dessa experiência decorre da necessidade de se dispor de massa rotatórias que não sejam desprezíveis em relação à massa total do Universo [Enrique Loedel, **Física Relativista** (Kapelusz, 1955)]. Note-se que uma experiência desse tipo, empregando uma balança de torção em lugar de um balde d’água e tendo como massa giratória o volante de uma grande máquina, foi realizada, sem êxito, entre 1894 e 1896, pelos irmãos alemães Friedlaender [o zoólogo Benedict (1866-1908) e o vulcanólogo Gottfried Immanuel (1871-1948)] e apresentada em seu livro intitulado **Absolute oder Relative Bewegung?** (“Movimento Absoluto ou Relativo?”) (Verlag von Leonhard Simion, Berlin, 1896). Observe-se que as ideias de Mach sobre os movimentos absolutos e relativos também foram desenvolvidas pelo engenheiro alemão August Otto Föppl (1854-1924), em 1904 [**Über Absolute und Relative Bewegung** (“Sobre Movimento Absoluto e Relativo”), *Sitzungsberichte der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Mathematisch-Physikalische Klasse* **35**, p. 383], considerando os corpos no Universo divididos em grupos grandes e pequenos com uma distância fixa entre eles, em cada grupo. Segundo Föppl, o movimento relativo deles alteraria o sistema inercial do conjunto e induziria pequenos movimentos neles mesmos. (Herbert Lichtenegger and Bahram Mashhoon, **Mach’s Principle**, *arXiv:physics/0407078v2* [physics.hist-ph], 31/03/2008).

Apesar da grande dificuldade de realização da “**Experiência de Pensamento**” proposta por Mach, convém, no entanto, examinar seus principais resultados. Assim, de acordo com o PM, a aceleração deixaria de ser uma grande absoluta, já que ela seria definida em relação ao centro de massa de todas as massas do Universo, e a **massa inercial newtoniana** não seria mais uma propriedade intrínseca de um corpo, pois dependeria da distribuição de massas do Universo. Em decorrência disso, as **forças de inércia** não seriam mais geradas pela aceleração dos corpos em relação ao **espaço absoluto newtoniano**, e sim, devido ao movimento relativo dos mesmos com respeito a todos os corpos do Universo. Além do mais, ainda como consequência do PM, em um Universo vazio não existiria **massa inercial**. Para o nosso Universo, no entanto, a **massa inercial** seria uma grandeza tensorial uma vez que, a distribuição de matéria em nosso Universo é certamente anisotrópica. Dessa maneira, a ideia de **inércia machiana** é a de que ela mede a resistência à aceleração com relação a todas as massas do Universo.

Concluindo este verbete, é interessante registrar que o PM permite desenvolver uma **Mecânica Relacional**, como fez o físico e epistemólogo brasileiro André Koch Torres Assis (n.1962) (a quem, neste momento, agradeço a leitura crítica deste texto), no livro: **Mecânica Relacional** (Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência, CLE/UNICAMP **22**, 1988), assim como no livro mais recente: **Mecânica Relacional e Implementação do Princípio de Mach com a Força de Weber Gravitacional** (Apeiron, Montreal, 2013). Essa Mecânica (cujo nome foi cunhado pelo próprio Assis) é aquela em que as forças dependem da velocidade e da aceleração entre os corpos que estão interagindo. Registre-se que o primeiro a propor uma força desse tipo para o eletromagnetismo foi o físico alemão Wilhelm Eduard Weber (1804-1891), em 1846 [*Abhandlungen bei Begründung der Königlich Sächsische Gesellschaft der Wissenschaften am Tage der zweihundertjährigen Geburtstagfeier Leibnizens herausgegeben von der Fürstliche Jablonowskischen Gesellschaft (Leipzig)*, p. 211], com a seguinte expressão (em módulo):

$$F = (e_1 e_2) / r^2 [1 - (1/c^2) (dr/dt)^2 + (2r/c^2) (d^2r/dt^2)],$$

onde dr/dt e d^2r/dt^2 representam, respectivamente, a velocidade e a aceleração radiais relativas entre as cargas e_1 e e_2 , e c é uma constante que expressa a relação entre as unidades eletrostática e eletrodinâmica da carga elétrica.

Segundo Assis (1988/2013, op. cit.), o primeiro a propor uma **lei de Weber** para a gravitação com o intuito de implementar o PM foi Immanuel Friedlaender, em uma nota de pé de página no livro que ele e o irmão Benedict escreveram em 1896 (op. cit.). Logo depois, em 1900, o matemático e filósofo alemão Alois Höfler (1853-1922) no livro intitulado **Studien zur Gegenwärtigen Philosophie der Mathematischen Mechanik** (“Estudo sobre a Filosofia Atual da Mecânica Matemática”), publicado em Leipzig, fez a mesma sugestão de Immanuel. Em 1904, o matemático austríaco Wenzel Hofmann, no livro intitulado: **Kritische Beleuchtung der beiden Grundbegriffe der Mechanik: Bewegung und Trägheit und daraus gezogene betreffs der Achsendrehung der Erde und des Foucault’schen Pendelversuchs** (“Análise Crítica dos Conceitos Básicos de Mecânica: Movimento e Inércia e Implicações para o Eixo de Rotação da Terra e a Experiência do Pêndulo de Foucault”) (Wien und Leipzig: M. Kuppitsch Witwe) propôs substituir a energia cinética ($mv^2/2$) por uma interação entre corpos dada por: $L = k M m f(r) v^2$, sendo k uma constante, $f(r)$ alguma função da distância entre as massas M e m , com v representando a velocidade relativa entre essas massas. Uma nova tentativa de implementar o PM foi realizada pelo engenheiro aeronáutico alemão Hans Jacob Reissner (1874-1967) em trabalhos realizados em 1914 (*Physikalische Zeitschrift* **15**, p. 371) e 1915 (*Physikalische Zeitschrift* **16**, p. 179), nos quais trabalhou com uma energia potencial newtoniana (dada por: $U = - Gm_1m_2/r$) acrescida do termo $C m_1m_2 (dr/dt)^2$, sendo C uma constante (em 1914) e, em 1915, considerou o termo weberiano: $m_1m_2 (dr/dt)^2/r$. Contudo, como em 1916 (*Annalen der Physik* **50**, p. 106) ele foi o primeiro a encontrar uma solução para a **equação de Einstein** [proposta pelo físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), em 1915 (*Sitzungsberichte Preussische Akademie der Wissenschaften* **2**, p. 844)] que continha um buraco negro com massa, carga (elétrica ou magnética) e simetria esférica, ele abandonou o PM.

O PM só voltou a ser objeto de pesquisa por parte do físico austríaco Erwin Schrödinger (1887-1961; PNF, 1933) em trabalho realizado em 1925 (*Annalen der Physik* **77**, p. 325) [ver tradução em: A. L. Xavier Jr. e A. K. T. Assis, **O Cumprimento do Postulado da Relatividade na Mecânica Clássica – Uma Tradução Comentada de um Texto de Erwin Schrödinger sobre o Princípio de Mach**, *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **12**, p. 3 (1994)] como veremos a seguir. Nesse artigo, Schrödinger diz que vai implementar o PM, uma vez que Einstein não havia feito para obter sua equação, em 1915, como vimos acima. Com isso em mente, ele justifica sua implementação, dizendo: - *Pode-se perguntar se talvez fosse possível que a energia cinética, assim como a potencial dependesse não apenas de uma partícula, mas da energia de interação das duas massas, e assim sendo, da*

distância e velocidade relativa das duas partículas. De todas as expressões para essa energia, escolhemos heurísticamente a que satisfaz às seguintes exigências: 1. A energia cinética como energia de interação deve depender das massas e distâncias das partículas da mesma maneira que o potencial de Newton; 2. Deve ser proporcional ao quadrado da velocidade de variação da distância. Para a energia de interação total de duas massas pontuais, μ e μ' , à distância r , isso resulta na expressão: $W = -(\mu \mu' / r) [1 - \gamma (dr/dt)^2]$. As massas são aqui, dadas de tal forma que a constante gravitacional seja igual a 1. A constante indeterminada γ tem dimensão de recíproco de uma velocidade quadrática. Como ela deve ser universal, esperamos que se trate, a menos de um fator numérico, da velocidade da luz (c) e veremos que ela pode ser reduzida a um fator numérico quando escolhermos o segundo-luz como unidade de tempo. Posteriormente, mostraremos que esse fator é igual a 3. Note-se que $W = U/G$, onde U é a energia potencial e G a **constante de gravitação**.

Muito embora Schrödinger tenha dado a entender que chegara ao valor de W sozinho (heurísticamente), já que ele não cita ninguém (principalmente Weber, que usou a mesma expressão para W , e Reissner), anos mais tarde, em 1984, quando a *Academia Austríaca de Ciências* publicou as obras completas de Schrödinger, ao final da reimpressão do artigo de 1925 há uma nota datilografada, assinada por Schrödinger, onde ele pede profundas desculpas por ter plagiado conscientemente a ideia de Reissner, de 1914, mas não ter certeza sobre o artigo de 1915. Ele chama os artigos de Reissner “muito interessantes” e espera que seu próprio artigo vá ser de algum interesse por apresentar um tratamento do assunto um pouco diferente. [A. L. Xavier Jr. e A. K. T. Assis, **Schrödinger, Reissner, Weber e o Princípio de Mach**, *Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência* **17**, p. 111 (1997).]

É ainda interessante notar que, no artigo de 1925, Schrödinger integrou sua expressão de W para uma casca esférica de massa M e raio R interagindo com uma massa pontual interna m próxima do centro e movendo-se em relação a ele com uma velocidade v . Desse modo, ele demonstrou que: $U = -(G m M/r) [1 - (v/c)^2]$, que se ajustava aos resultados experimentais usados por Einstein. Depois de ele considerar uma casca esférica de raio R_0 , admitir uma densidade de matéria constante ρ_0 , obteve a seguinte expressão: $2 \pi \rho_0 R_0^2 = c^2/(2 G) \approx 6,7 \cdot 10^{26} \text{ kg/m}$, uma vez que a velocidade $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ e $G \approx 6.7 \cdot 10^{-11} \text{ uMKS}$. Ele também observou que, considerando que R_0 e ρ_0 representam o raio e a densidade da *Via Láctea*, respectivamente: $R_0 \approx 200 \text{ par sec} \approx 6 \cdot 10^{18} \text{ m}$ e $\rho_0 \approx 4 \cdot 10^{-21} \text{ kg/m}^3$, Schrödinger encontrou que: $2 \pi \rho_0 R_0^2 \approx 10^{17} \text{ kg/m}$. Essa grande diferença ($< 10^{11}$), concluiu Schrödinger, se devia ao fato de que a inércia dos corpos no sistema solar é devida principalmente a uma matéria que está bem afastada de nossa galáxia. Conforme salienta Assis (1988/2013, op. cit.), em dezembro de 1924, o astrônomo norte-americano Edwin Powell Hubble (1889-1953) observou que na *galáxia de Andrômeda* existiam estrelas do mesmo tipo existente na nossa *Via Láctea*. Essa observação foi publicada em 1925 (*Astrophysical Journal* **62**, p. 409).

Voltemos ao artigo de Schrödinger. Usando a energia potencial W ele mostrou que a presença do Sol tem o efeito de aumentar a interação gravitacional resultando no fato de que a inércia “radial” (m_r) do planeta é algo menor do que a inércia “tangencial” [$m_t = m_g$ (massa gravitacional)] e, portanto, a diferença entre essas massas é que seriam responsáveis pela precessão do periélio planetário. Continuando nesse estudo, Schrödinger concluiu que: - *Uma distribuição de massa como a gerada pelas estrelas conhecidas deve fazer com que um corpo tenha uma interação de inércia maior no plano galáctico do que perpendicular a este*. Essa conclusão sobre a precessão do periélio planetário, ainda segundo Assis (1988/2013, op. cit.), seria uma confirmação do PM, ou seja, que a massa teria um caráter tensorial.

Concluindo seu artigo, Schrödinger escreveu: - *Tenho por mim como possível que um subsequente desenvolvimento dessas ideias daria origem a várias modificações na teoria da relatividade geral. Essas questões representam uma área que nenhuma teoria moderna se aventurou ainda e para a qual nenhuma resposta concreta e vital foi encontrada. A apresentação aqui feita, sobre a variação dos movimentos relativos e não absolutos dos corpos abre uma área a ser*

trabalhada. Eu a fiz como um estágio intermediário útil e possível, que possibilite a compreensão de questões fundamentais, com origem puramente empírica, familiares a todos, de uma maneira simples e clara por princípio. (Xavier e Assis, 1994, op. cit.)

Embora o resultado experimental de Hubble fosse favorável a Schrödinger (que provavelmente o desconhecia), seu empenho, a partir de 1926, em construir a Mecânica Quântica e sua adesão à Relatividade Einsteiniana, os fizeram desistir de criar uma Mecânica Relacional (Xavier e Assis, 1994, op. cit.). Muito embora alguns trabalhos envolvendo grandezas relacionais, derivadas intrínsecas e a configuração espacial relativa do Universo tenham sido publicadas, em 1974 (*Nature* **250**, p. 606) pelo físico inglês Julian Barbour (n.1937) e, em 1977 (*Nuovo Cimento* **38B**, p. 1) e 1982 (*Proceedings of the Royal Society of London* **382**, p. 295), por Barbour e pelo físico italiano Bruno Bertotti (n.1930), a criação da **Mecânica Relacional** como hoje ela é apresentada, deve-se a Assis, que começou a desenvolvê-la em trabalhos desde 1988 (Assis: 1988/2013, op. cit.), mesmo porque ele só veio a conhecer o trabalho de Schrödinger referido acima, em julho de 1993, por indicação pessoal de Barbour que, por sua vez, tivera conhecimento dele, dias antes, por intermédio do físico alemão Domenico Giulini (n.1959).



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)