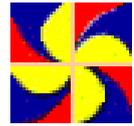




CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br



Feynman e a Nanotecnologia.

Em 29 de dezembro de 1959, por ocasião da Reunião Anual da *Sociedade Americana de Física*, ocorrida no *California Institute of Technology* (CALTECH), o físico norte-americano Richard Philips Feynman (1918-1988; PNF, 1965) ministrou uma palestra com o título **There's Plenty of Room at the Bottom** ("Há Abundância no Chão de Baixo"), hoje considerada a precursora da **Nanotecnologia**, que é um tipo de Tecnologia que envolve estruturas (com dimensões **nanométricas**: $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m} = 10 \text{ \AA}$) para manipular a matéria em escalas atômicas [p.ex.: o átomo de hidrogênio (H) tem o diâmetro $\sim 0,1 \text{ nm}$] e moleculares [p.ex.: a molécula de água (H_2O) tem o diâmetro $\sim 1 \text{ nm}$]. Vejamos como se chegou até ela.

Inicialmente, façamos um pequeno resumo dos equipamentos construídos para chegar a observar o "chão feynmaniano". Os primeiros **microscópios** (que observam objetos da dimensão de um *micron* ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m} = 1.000 \text{ nm}$)) foram construídos na Renascença e decorrente da pesquisa da técnica de polimento de vidros. Assim, em 1590, o óptico holandês Hans Jansen [auxiliado por seu filho Zacharias (1580-c.1638)], utilizou uma **lente côncava** e uma **lente convexa**, de pequeno poder de aumento, e inventou o **Microscópio Composto** (MC). Por sua vez, o físico inglês Robert Hooke (1635-1703) inventou o MC de várias lentes e, com ele, fez observações microscópicas de insetos, plumas de aves e escamas de peixes. No entanto, sua grande descoberta ocorreu quando ele examinou a cortiça. Por intermédio de cortes delgados, Hooke observou que a estrutura da cortiça era constituída de unidades ocas, retangulares e regularmente alinhadas, as quais denominou **células**. Essas observações foram descritas em seu livro de nome **Micrographia**, publicado em 1665. Outra grande descoberta decorrente do uso do MC foi realizada pelo microscopista holandês Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), que era um exímio construtor de lentes muito delicadas, bem finas e de pequena

distância focal (algumas não chegavam a ultrapassar a cabeça de um alfinete). Assim, a partir de 1673, utilizando-se de uma montagem na qual uma única dessas lentes era utilizada para observar objetos iluminados por um espelho côncavo, isto é, o denominado **microscópio simples** (MS), Leeuwenhoek foi o primeiro cientista a descobrir seres vivos unicelulares, hoje chamados de **protozoários** (entre dezenas e centenas de μm). Foi também, o primeiro a descrever um espermatozóide. Contudo, sua grande descoberta ocorreu em 1683, ocasião em que descreveu as primeiras **bactérias** [(0,2 – 30) μm = (200 – 3.000) nm].

A **Microscopia Óptica** teve um grande avanço quando, em 1879, o físico inglês John William Strutt, Lord Rayleigh (1842-1910; PNF, 1908) ao estudar a difração nas lentes, mostrou que o limite de aplicação de qualquer instrumento óptico (p.ex.: **microscópio** e **telescópio**) relacionava-se com o comprimento de onda (λ) da luz utilizada. Esse limite, que caracteriza o **poder de separação (resolução)** de um instrumento óptico, ficou então conhecido como o **Critério de Rayleigh** (CR), e é dado pela expressão: $\omega = 1,22 \lambda/d$, onde ω é a separação angular (em radianos) entre dois pontos a ser separados (observados) por uma abertura circular de diâmetro d .

Ora, como a luz utilizada nos instrumentos ópticos é limitada pelo espectro eletromagnético visível [extremo vermelho (750 nm) até o extremo violeta (400 nm)], o CR nos mostra que quanto menor for λ , melhor será a **resolução** dos dispositivos ópticos. Desse modo, quando o físico francês, o Príncipe Louis Victor Pierre Raymond de Broglie (1892-1987; PNF, 1927) formulou, em 1923 (*Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris* **177**, p. 507; 548; 630), a hipótese segundo a qual os elétrons apresentam um caráter dual, isto é, **onda-partícula** ($\lambda = h/p$, onde p é o momento linear do elétron e h é a constante de Planck), surgiu a possibilidade de os elétrons serem usados para observar objetos com mais detalhes, já que o λ a eles associado é muito menor do que o da luz visível usada nos **microscópios ópticos**. Segundo vimos em verbetes desta série, essa possibilidade viabilizou-se, em 1927, quando os físicos, os norte-americanos Clinton Joseph Davisson (1881-1958; PNF, 1937) e Lester Halbert Germer (1896-1971) (*Nature* **119**, p. 558; *Physical Review* **30**, p.

705) , e os ingleses Sir George Paget Thomson (1892-1975; PNF, 1937) [filho do físico inglês Sir Joseph John Thomson (1856-1940; PNF, 1906), o descobridor do elétron, em 1897] e Alexander Reid (*Journal de Physique et le Radium* **7**, p. 327) observaram a difração de elétrons (lembrar que a difração é um fenômeno físico ondulatório) em monocristais de níquel (Ni) e em finas lâminas de celulóide [plástico transparente ou translúcido, altamente inflamável, feito de nitrato (NO₃) de celulose e de cânfora (C₁₀H₁₆)], respectivamente. Por fim, a materialização dessa possibilidade foi realizada pelo engenheiro elétrico e físico alemão Ernst August Friedrich Ruska (1906-1988; PNF, 1986) ao inventar o **Microscópio Eletrônico**, conforme veremos a seguir.

Ruska estudou Engenharia Eletrônica na *Universidade Técnica de Munique*, entre 1925-1927, e logo em 1928 transferiu-se para a *Universidade Técnica de Berlim* (UTB), onde, juntamente com o físico alemão Max Knoll (1897-1969), começou a investigar a **Teoria de Busch**. Esta havia sido desenvolvida pelo físico alemão Hans Busch (1884-1973), em 1926, ao mostrar a analogia entre o efeito de uma bobina magnética num feixe de elétrons e o de uma lente convexa em um feixe de luz. Assim, Ruska e Knoll realizaram experiências com feixe de elétrons e bobinas de focagem, usando estas para formar a imagem de uma pequena abertura com uma amplificação um pouco maior do que um (> 1). Nessa pesquisa investigativa sobre a focagem de elétrons, Ruska percebeu que o comprimento de focagem das ondas eletrônicas poderia ser diminuído usando uma tampinha de ferro (Fe). O trabalho deles sobre a **microscopia eletrônica**, com o qual conseguiram uma amplificação de dezessete (17) vezes, foi apresentado em 14 de junho de 1931 no *Colóquio Crantz*, ocorrido na UTB. Agora, trabalhando isoladamente e com mais lentes, Ruska construiu, em 1933, o primeiro **Microscópio Eletrônico** (ME), com uma amplificação de 7.000 vezes. Logo em 1934, Ruska defendeu sua Tese de Doutorado na UTB, sob essa sua invenção e sob a orientação de Knoll.

O desenvolvimento do ME de Ruska levou a aumentar seu **poder de resolução** até 0,5 nm. Contudo, ele apresentava uma dificuldade, qual seja: a de só permitir obter imagens bidimensionais dos objetos

observados. Para contornar essa dificuldade, os físicos, o alemão Gerd K. Binnig [n.1947; PNF, 1986; *Kavli Prize Nanoscience* (KPN), 2016] e o suíço Heinrich Rohrer (n.1933; PNF, 1986) [que trabalhavam juntos no *Laboratório de Pesquisas da International Business Machines Corporation* (IBM), em Rüschlikon, Suíça], começaram a projetar o **Microscópio de Tunelamento de Varredura** [*Scanning Tunneling Microscope* (STM)], usando o famoso **efeito túnel** (ET), que havia sido proposto, em 1928, em trabalhos independentes do físico russo-norte-americano George Antonovich Gamov (1904-1968), e dos físicos, o inglês Ronald Wilfrid Gurney (1898-1953) e o norte-americano Edward Uhler Condon (1902-1974). Esse efeito significa a capacidade de um elétron penetrar em uma barreira de potencial de altura maior do que a sua energia cinética.

No STM, um estilete com ponta (*tip*) de tungstênio (wolfrâmio – W), com cerca de 0,1 nm de largura, *varre* a superfície de dada amostra a uma distância entre 0,5-1 nm. Assim, se uma voltagem positiva é aplicada àquela ponta, elétrons da amostra examinada chegam a essa ponta pelo EF, e uma corrente elétrica pode ser detectada. Portanto, essa corrente é sensível à distância que se encontra da superfície da amostra; uma ligeira mudança nessa distância produzirá uma significativa mudança na corrente. Desse modo, se um mecanismo de *feedback* (realimentação) mantém a corrente constante, levantando ou baixando a ponta do STM, a varredura (*scanning*) desse dispositivo sobre a superfície do material resultará em um mapa topográfico dela. Esse mapa permite, então, reconhecer átomos individuais superficiais. Registre-se que a invenção do STM foi anunciada em um artigo assinado por Binnig e Rohrer e, também, pelos físicos alemães Christoph H. Gerber (n.1942; KPN 2016) e Edmund Weibel, publicado na *Physical Review Letters* **49**, p. 57, em 1982. [Gerd Binnig and Heinrich Rohrer, **Nobel Lecture** (08 de Dezembro de 1986)]. Mais tarde, em 1986 (*Physical Review Letters* **56**, p. 930), Binnig, o físico norte-americano Calvin Forrest Quate (n.1923; KPN, 2016) e Gerber inventaram o **Microscópio de Força Atômica** [*Atomic Force Microscope* (AFM)], “objetivando de medir forças menores do que 1 μN entre a superfície da ponteira (*tip*) e a superfície da amostra”, conforme registraram naquele artigo.

A invenção desses microscópios (STM e AFM) permitiu que o mundo científico e tecnológico dispusesse de uma nova tecnologia para sondar as **escalas nanométricas** dos objetos. Note-se que essa tecnologia já havia recebido o nome de **Nano-Tecnologia**, cunhado pelo físico e engenheiro japonês Norio Taniguchi (1912-1999), por ocasião da *International Conference on Production Engineering*, ocorrida em Tokyo, Japão, em 1974, na qual afirmou (*Proceedings*, p. 18): - “*Nano-technology*” *mainly consists of the processing of separation, consolidation, and deformation of materials by one atom or one molecule.* (“Nano-Tecnologia` consiste principalmente de processamento de separação, consolidação e deformação dos materiais por um átomo ou uma molécula”). É interessante destacar que essa nova tecnologia foi iniciada graças à invenção da *Molecular Beam Epitaxy* (MBE), no final da década de 1960 e começo da década de 1970, pelos engenheiros eletrônicos norte-americanos John R. Arthur, Jr. (n.1931) e Alfred Yi Cho (n.1937) (de origem chinesa), trabalhando na *Bell Telephone Laboratories*, invenção essa que lhes permitiu desenvolver a **técnica de evaporação de alto-vácuo** e apresentada em 1975 (*Progress in Solid State Chemistry* **10**, p. 157).

A partir da década de 1980 foram descobertas **nanoestruturas** envolvendo, basicamente, folhas de carbono (C), como veremos a seguir. Antes, vejamos como se chegou a essas folhas. Teoricamente, esse novo e revolucionário material foi estudado na segunda metade da década de 1940 e na década de 1950. Com efeito, em 1947 (*Physical Review* **71**, p. 622), o físico canadense Philip Richard Wallace (1915-2006) estudou a estrutura de banda (vide verbete nesta série) da **grafita (grafite)**, que é um [mineral alótropo](#) do C e um bom condutor elétrico. Em 1962 (*Zeitschrift für Anorganische und Allgemeine Chemie* **316**, p. 119), o químico alemão Hanns-Peter Boehm (n.1928) (com a colaboração de A. Clauss, G. O. Fischer e U. Hofmann), obteve as **folhas de carbono**, denominando-as de **grafeno** (uma combinação de grafite com o sufixo eno).

Assim, naquela década de 1980, tivemos novas **nano-descobertas**. Com efeito, em 1984 (*Journal of the American Chemical Society* **106**, p. 3043), os químicos franceses Jean-Pierre Sauvage (n.1944;

PNQ, 2016), Christiane O. Dietrich-Buchecker e Jean Marc Kern conseguiram ligar duas moléculas em forma de anel para formar uma cadeia, chamada **catenano**. Por sua vez, em 1985 (*Nature* **318**, p. 162), os químicos, o inglês Harold Walter Kroto (n.1939; PNQ, 1996), e os norte-americanos James R. Heath, Sean C. O'Brien, Robert Floyd Curl Junior (n.1933; PNQ, 1996) e Richard Errett Smalley (n.1943; PNQ, 1996) anunciaram a descoberta de novos materiais, os **fulerenos**, formados por moléculas “ocas” de C e que consiste de uma superfície curva semelhante ao **grafeno**, mas que contém anéis pentagonais, além dos hexagonais característicos do **grafeno**. O exemplo mais conhecido desses materiais é o C₆₀ que contém 60 átomos de C em um arranjo semelhante a uma bola de futebol [hoje considerada como tendo a dimensão zero (0D) por ser “oca”]. Registre-se que, em 1989, os cientistas da empresa norte-americana *International Business Machines* (IBM) usaram um STM e manipularam 35 átomos individuais de xenônio (Xe) e os arranjaram em cristal resfriado de níquel (Ni) e escreveram a sigla IBM. Assim, pela primeira vez, átomos foram colocados em uma superfície plana.

Desse modo, nascera a **nanotecnologia**, imediatamente seguida pela primeira síntetização do **fulereno**, em 1990 (*Nature* **347**, p. 354), pelos físicos, o alemão Wolfgang Kratschmer (n.1942), o grego Konstantinos Fostiropoulos (n.1930) e os norte-americanos Lowell D. Lamb (1911-2001) e Donald R. Huffman (n.1935). Destaque-se que aquela síntetização permitiu a fabricação dos **nanotubos** [hoje considerados como de dimensão um (1D), por ter a forma de um “fio”] e cujos primeiros exemplares foram construídos pelo físico e inventor japonês Sumio Iijima (n.1939; KPN, 2008), em 1991 (*Nature* **354**, p. 56), ao observar aspectos tubulares nas imagens da fuligem de **fulereno** em um ME. Esses **nanotubos** têm a forma helicoidal, cujo diâmetro varia entre (1-3) nm e o comprimento é de 1.000 nm (cerca de 100.000 vezes mais fino do que um fio de cabelo). A continuidade da **nanotecnologia** aconteceu logo em 1991 (*Tetrahedron Letters* **32**, p. 6235), quando o químico escocês Sir James Fraser Stoddart (n.1942; PNQ, 2016) e seus colaboradores (P. R. Ashton, M. Groguz, A. M. Z. Slawin e D. J. Williams) desenvolveram um **rotaxano**: um anel molecular inserido em um eixo molecular mais fino, podendo mover-se ao longo desse eixo. Ainda em 1991, o engenheiro norte-

americano Kim Eric Drexler (n.1955) tornou-se o primeiro *Doutor em Nanotecnologia* ao defender, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), em Boston, Estados Unidos, sua Tese intitulada **Molecular Machinery and Manufacturing With Applications to Computation**, orientada pelo cientista cognitivo norte-americano Marvin Lee Minsky (1927-2016), um dos pioneiros da Inteligência Artificial.

Ressalte-se que os **fulerenos** e os **nanotubos** foram objeto de pesquisa por parte da física-química norte-americana Mildred Spievak Dresselhaus (n.1930; KPN, 2012) ao realizar uma série de artigos e livros (com importantes contribuições), desde a década de 1990 e até hoje, escritos com a colaboração de vários cientistas (principalmente com seu marido, o físico-químico norte-americano Gene Dresselhaus) do mundo inteiro, principalmente com brasileiros da *Universidade Federal de Minas Gerais*, como se pode ver no site: en.wikipedia.org/Mildred_Dresselhaus. Em decorrência desse seu grandioso trabalho envolvendo **nanoestruturas** contendo o C, ela ficou conhecida como a **Rainha da Ciência do Carbono**.

No final da década de 1990, em 1999 [*Nature* **401** (6749), p. 152], o químico neerlandês Bernard (“Ben”) Lucas Feringa (n.1951; PNQ, 2016) e sua equipe (Nagatoshi Koumura, Robert W. J. Zijlstra, Richard A. van Delden e Nobuyuki Harada) desenvolveram o primeiro **motor molecular**, ao fazerem a lâmina de um **rotor molecular** girar continuamente no mesmo sentido usando um feixe de luz.

A previsão teórica do **grafeno** registrada acima deu ensejo a “corrida de ouro” em busca de seu isolamento. Uma primeira tentativa foi realizada, em 2002 (*Advances in Physics* **51**, p. 1), pelo casal Dresselhaus ao usar a técnica da esfoliação química. Para isso, um pedaço de grafite (3D) foi primeiro intercalado de modo que planos de **grafeno** (2D) eram separados por camadas de átomos e moléculas. Contudo, essa técnica resultou apenas em formar um novo material tridimensional (3D), o mesmo acontecendo com outras técnicas que formavam apenas uma espécie de “lodo” gráfitico. Como a técnica de esfoliação química falhou em conseguir uma superfície bidimensional da **grafita**, na Inglaterra, os físicos, o russo-inglês Sir Konstantin Sergeevich Novoselov (n.1974; PNF, 2010) e o russo-holandês-inglês Sir Andre Konstantinov Geim (n.1958;

PIgNF, 2000; PNF, 2010) e seus colaboradores (inclusive a esposa de Geim: Irina V. Grigorieva) começaram a desenvolver uma nova técnica, relativamente simples, constituída de fitas adesivas, do tipo “lagartixa” (*gecko tape*). Note-se que, há muitos séculos, filósofos e cientistas tentaram entender o mecanismo de adesão, nas paredes, dos pés das lagartixas formados de pelos ceratinados. Embora um desses pelos exerça apenas uma diminuta força em torno de 10^{-7} N (newtons), em consequência da **força de van der Waals** (ver verbete nesta série), porém, milhões desses pelos produzem uma adesão da ordem 10 N/cm², suficiente para as lagartixas manterem-se e mesmo escalarem grandes edifícios. Tendo em vista esse fato, em 2003 (*Nature Materials* **2**, p. 461), Geim, Grigorieva, Novoselov, S. V. Dubonos, A. A. Zhukov e S. Yu. Shapoval fabricaram microfita biomiméticas (densos arranjos de pilares flexíveis de plástico) que faziam o papel dos pés das lagartixas. A fabricação dessas fitas adesivas levou Geim e seu grupo de pesquisa a, finalmente, isolar o **grafeno**. Com efeito, em 2004 (*Science* **306**, p. 666), Novoselov, Geim, S. V. Morozov, D. Jiang, Yuanbo Zhang, Dubonos, Grigorieva e A. A. Firsov realizaram uma experiência na qual esfoliaram a **grafita(e)** com um tipo de fita adesiva (*durex?*) e conseguiram formar flocos formados de algumas camadas da **grafita(e)**, que então foram depositados sobre uma bolacha (*wafer*) de silício (Si), cuidadosamente escolhida com determinada espessura (315 nm) de óxido de silício (SiO₂). Ao examinarem alguns desses flocos com um MC, observaram que os mesmos eram identificados como planos isolados de carbono e que se comportavam como um material 2D. Estava, finalmente, isolado o **grafeno**. Note-se que o isolamento de cristais atômicos bidimensionais foi confirmado, em 2005 (*Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **102**, p. 10451), por Novoselov, D. Jiang, F. Schedin, T. J. Booth, V. V. Khotkevich, Morozov e Geim e que o **grafeno** foi isolado, em 2006, por A. C. Ferrari, J. C. Meyer, V. Scardaci, C. Casiraghi, M. Lazzeri, F. Mauri, S. Piscanec, D. Jiang, Novoselov, S. Roth e Geim (*Physical Review Letters* **97**, p. 187401) e A. Gupta, G. Chen, P. Joshi, S. Tadigadapa e P. C. Eklund (*Nano Letters* **6**, p. 2667), usando a **microscopia Raman** (vide verbete nesta série). [Sir Andre Konstantinov Geim, **Random Walk to Graphene, Nobel Lecture** (08/12/2010); Sir Konstantin Sergeevich Novoselov, **Graphene: Materials**

in the Flatland, *Nobel Lecture* (08/12/2010); e Andrea Latgé, **O Admirável Mundo Novo do Carbono**, *Ciência Hoje* **47**, p. 14 (2010)].

Ainda sobre as **nanoestruturas**, é interessante fazer o registro de duas descobertas: 1) Em 30 de abril de 2010 [*Cell* **141**, p. 472 (*online*)], os físicos chineses Xing Zhang, Lei Jin, Qin Fang, Wong H. Hui e Z. Hong Zhou, usando um **microscópio crio-eletrônico** [ME operado em baixas temperaturas sendo as imagens dos elétrons captadas como uma **câmara digital** (ver verbete nesta série)] da *University of California* (UC), conseguiram observar, pela primeira vez, um **vírus não-envelopado** que, não possuindo a membrana (rica em lipídios) envolvente dos **vírus envelopados** (da gripe e HIV, por exemplo, que usam tal membrana para se fundir e infectar a célula), utilizam uma proteína para se fundir com a célula a ser infectada. Registre-se que o **vírus** é uma partícula infectante intramuscular e que pode conter o DeoxyriboNucleic Acid [DNA \approx (2 – 12) nm] ou o RiboNucleic Acid (RNA \approx 3, 3 nm); e 2) Em 2011 (*Nature Nanotechnology* **6**, p. 147), B. Radisavijavic, A. Radenovic, J. Brivio, V. Giacometti e Andras Kis, descobriram uma nova **nanoestrutura** - a **molibdenita** (dissulfeto de molibdênio – MoS₂).

Concluindo este verbete, observemos que o trabalho com **nanoestruturas** – a **nanotecnologia (nanofabricação/matéria controlada)** - ainda está em processo laboratorial, pois é feito usando microscópios (ME, STM e AFM). Ela se constituirá em uma **Nova Revolução Industrial** que permitirá, fundamentalmente, construir a matéria de “baixo para cima”, montando átomo por átomo em 3D, eliminando a necessidade de remover material indesejado, como hoje acontece, por exemplo, usando a **litografia** na indústria eletrônica. Além disso, ela também será bastante importante em outras indústrias, tais como: Medicina (Biologia), Computação, Engenharia dos Materiais (Impressão 3D, com a **estereolitografia**), Geração de Energia etc., mudando o rumo da Economia Mundial, conforme destacam os cientistas Stephen Jesse, Albina Y. Borisevich, Jason D. Fowlkes, Andrew R. Lupini, Philip D. Rack, Raymond R. Unocic, Bobby G. Sumpter, Sergei V. Kalinin, Alex Belianinov e Olga S. Ovchinnikova, no artigo **Directing Matter: Toward Atomic-Scale 3D**

Nanofabrication [ACS (*American Chemical Society*) *Nano Letters* **10**, p. 5600 (May 16, 2016)].

Antes de colocar o ponto final neste verbete, destaquemos três trabalhos relevantes sobre o tema da **nanotecnologia**. O primeiro deles trata de uma homenagem prestada a Feynman por sua previsão visionária (em 1959) dessa revolucionária tecnologia das primeiras décadas do século 20. Com efeito, uma equipe de físicos da *Technische Universiteit Delft* (“Universidade Técnica de Delft”), na Holanda, composta de Floris E. Kalff, M. P. Rebergen, E. Fahrenfort, J. Girovsky, R. Toskovic, J. L. Lado, F. Fernández-Rossier e A. F. Otte codificaram, em uma área de 100 nm de largura, uma parte do texto: **A Kilobyte Rewritable Atomic Memory**, publicado na revista *Nature Nanotechnology* [Letter (July 18, 2016)]. Registre-se que 1 kilobyte (= 8.000 bits) sendo que cada bit é representado pela posição de um único átomo de cloro (Cl). (*Inovações Tecnológicas*, 19/07/2016).

O segundo trabalho diz respeito a uma notável descoberta realizada recentemente (agosto de 2016) e que trata do seguinte. Conforme vimos neste verbete, os **microscópios ópticos** (MS/MC) apresentam o seguinte intervalo de limite de aplicabilidade [(200 – 3.000) nm] para a observação de **bactérias**. Em vista disso, pesquisas foram realizadas no sentido de obter tipos especiais de lentes (*superlentes*) para melhorar esse poder de resolução daqueles **microscópios**, usando para isso **nanogotas** de diversos materiais. Contudo, os cientistas James Norman Monks, Bing Yan e Zengbo Wang [*School of Electronic, Bangor University* (United Kingdom)] em parceria com Nicholas Hawkins e Fritz Vollrath [*Department of Zoology, University of Oxford* (United Kingdom)], usaram um pedaço cilíndrico de um fio de seda (*silk*) de uma aranha (*spider*) natural (*Nephila edults*) como uma *superlente* de um MO e conseguiram um aumento adicional de 2 a 3 vezes de seu aumento natural, transformando-o em um **nanoscópio**. De posse desse resultado, prepararam o texto intitulado **Spider Silk: Mother Nature’s Bio-Superlens** e publicado em *ACS Nano Letters* **6b02641** (August 17, 2016).

O terceiro trabalho (*Advances Sciences* **2**, e1601240, 02/September/2016), deve-se aos pesquisadores Gerald J. Brady, Austin J.

Way, Nathaniel S. Safron, Harold T. Evensen, Padma Gopalan e Michael S. Arnold (*Department of Materials Science and Engineering, University of Wisconsin-Madison*) e Harold T. Evensen (*Department of Engineering Physics, University of Wisconsin-Platteville*), e no qual informaram que haviam construído o primeiro **transistor orgânico**, composto de **nanotubos de carbono**, que alcançaram 1,9 vezes a corrente dos **transistores de silício**. (*Inovações Tecnológicas*, 04/10/2016).

Agora sim, vejamos o ponto final. Certamente a consagração da **nanotecnologia** se deu com a indicação dos *Prêmios Nobel de Química e de Física*, de 2016, para pesquisadores que trabalharam na evolução dessa Tecnologia. Com efeito, o PNQ/2016 foi dividido por Sauvage (**catenano**), Stoddart (**rotaxano**) e Feringa (**motor molecular**) - *pela concepção e fabricação de máquinas moleculares* -, segundo o Comitê Nobel (CN). Lembrar que as **máquinas moleculares** são construídas com materiais bidimensionais (p.ex.: **grafeno**) e que, tais máquinas provavelmente serão utilizadas na miniaturização e no desenvolvimento de [materiais metamórficos](#) (*exóticos*), sensores e sistemas de armazenamento de energia, além dos esperados [nanorrobôs](#), que possam entrar no corpo humano para aplicar medicamentos e tratar doenças. Por sua vez, o PNF/2016 foi concedido aos físicos ingleses (radicados nos Estados Unidos) Frederick Duncan Michael Haldane (n.1951), David James Thouless (n.1934) e John Michael Kosterlitz (n.1942) (de origem escocesa) - *por descobertas teóricas das transições de fase topológicas e fases topológicas da matéria* -, ainda segundo o CN. Note-se que a Topologia é uma extensão da Geometria e que permite estudar transições de fase de materiais bidimensionais [p. ex.: deformar, por intermédio de uma transição de fase, um quadrado em um círculo ou um tubo (que é uma superfície cilíndrica) em um toróide (superfície toroidal)]. Os três Nobelistas, desenvolveram trabalhos nos quais elaboraram descrições matemáticas que mostraram a possibilidade de que os materiais bidimensionais poderiam passar por mudanças de fase, que são descritas pelas mudanças bruscas e discretas previstas pelo jeito estranho com que a Topologia descreve a matéria. Em outras palavras, eles previram novas formas de matéria desconhecidas até então. Observe-se que estas *matérias exóticas* (p. ex.: **nanoestruturas**) vêm sendo observadas experimentalmente (como vimos neste verbete) graças ao roteiro que suas pesquisas traçaram. (*Inovações Tecnológicas*, 05 e 06/10/2016).

Registremos alguns dos trabalhos desses Nobelistas e realizados nas décadas de 1970 e 1980. Assim, em 1973 (*Journal of Physics C: Solid State* **6**, p. 1181) e, em 1978 (*Progress in Low Temperature* **7**, p. 373), Kosterlitz e Thouless discutiram uma ideia sobre um novo tipo de ordenamento de spins nos materiais ferroelétricos, denominado de **ordem de longo alcance topológico**, relacionado com a presença de vórtices. Desse modo, demonstraram que existem estados metaestáveis correspondendo a vórtices que são estreitamente ligados em pares [característica da Física 2D (bidimensional), que é importante no estudo das **nanoestruturas**] quando abaixo da **temperatura Curie** [temperatura acima da qual uma substância ferromagnética se comporta como paramagnética (ver verbete nesta série)], enquanto acima da mesma eles se encontram livres. Por sua vez, Haldane também investigou a Física 2D como, por exemplo, em 1983 (*Physical Review Letters* **51**, p. 605) e, em 1988 (*Physical Review Letters* **61**, p. 2015), quando tratou do **Efeito Hall Quântico: Inteiro e Fracionário** (ver verbete nesta série).



[ANTERIOR](#)

[SEGUINTE](#)