



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo

www.bassalo.com.br

Laser Infravermelho e Laser de Raios-X.

Em verbete desta série vimos que, em 16 de maio de 1960, o físico norte-americano Theodore Harold Maiman (1927-2007) construiu o primeiro **laser** (light amplification by stimulated emission of radiation) usando um cristal róseo de rubi [Al_2O_3 com 0,05% (em peso) de óxido de cromo (Cr_2O_3)], porém envolvendo três níveis de energia do mesmo íon de cromo (Cr^{+++}) usado na construção do **maser** (microwave amplification by stimulated emission of radiation), em 1953, pelos físicos norte-americanos Charles Hard Townes (n.1915; PNF, 1964), James P. Gordon e Herbert J. Zeiger.

Logo depois da construção do primeiro **laser óptico**, em 1960, como vimos acima, os físicos norte-americanos Ali Javan (n.1926) (de origem iraniana), William Ralph Bennett Junior (1930-2008) e Donald Richard Herriot (1928-2007) construíram, em 1961 (*Physical Review Letters* **6**, p. 106), o primeiro **laser infravermelho** ou **laser hélio-néon** (He-Ne) com $\lambda = 1,153 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{m}$). Um segundo **laser infravermelho** ou **laser de dióxido de carbono** (CO_2) foi construído, em 1964, nos *Laboratórios Bell*, em New Jersey (USA), pelo engenheiro elétrico norte-americano Chandra Kumar Naranbhai Patel (n.1938) (de origem indiana) (*Physical Review A* **136**, p. 1187) e Patel, W. L. Faust e R. A. McFarlane (*Bulletin of the American Physical Society* **9**, p. 500), ao estudarem as transições entre os níveis vibracionais e rotacionais da molécula de CO_2 correspondente a $\lambda = 10,6 \mu\text{m}$. Ainda em 1964 foram construídos **lasers** na região do **infravermelho longínquo** ($\lambda = 30\text{-}1000 \mu\text{m}$). Assim, Patel, Faust, McFarlane e C. G. B. Garrett (*Applied Physics Letters* **4**, p. 18) construíram **lasers de néon** (Ne), com $\lambda = 57,3 \mu\text{m}$; $68 \mu\text{m}$; $85 \mu\text{m}$ e $133 \mu\text{m}$. Por sua vez, W. B. Bridges (*Applied Physics Letters* **4**, p. 128) usou íons de argônio (Ar) e construiu o **laser de argônio** (Ar), com $\lambda = 488 \mu\text{m}$; e H. A. Gebbie, N. W. B. Stone e F. D. Findlay (*Nature* **202**, p. 685) construíram o **laser de ácido cianídrico** (HCN), com $\lambda = 331 \mu\text{m}$. Em 1965 (*Physical Review Letters* **14**, p. 352), J. V. V. Kasper e G. C. Pimentel usaram moléculas do gás de ácido clorídrico (HCl) e construíram o que ficou conhecido como o primeiro **laser químico** ou **laser de ácido clorídrico** (HCl), com $\lambda = 3,7 \mu\text{m}$. Em 1970 (*Soviet Physics – JETP Letters* **12**, p. 329), os físicos russos Nikolai Gennadievich Basov (1922-2001; PNF, 1964), V. A. Daniychev, Yu. M. Popov e D. D. Khodkevich usaram moléculas de xenônio (Xe_2) para construírem o **laser de xenônio** (Xe_2), com comprimento de onda $\lambda = 176 \mu\text{m}$

O desenvolvimento do **laser infravermelho** e do **laser infravermelho longínquo** despertou muitos interesses industriais, principalmente o da indústria armamentista, já que o mundo vivia a *Guerra Fria* (1949-1989) que foi, basicamente, uma competição de armamentos tecnológicos entre os Estados Unidos e a então União Soviética. É oportuno lembrar que a União Soviética lançou o primeiro satélite artificial, o **Sputnik**, em 04 de outubro de 1957, e os Estados Unidos colocaram os primeiros dois homens na Lua, em 20 de julho de 1969 (vide verbetes nesta série). Portanto, na área do desenvolvimento de **lasers**, a luta continuava entre essas duas superpotências no sentido de obter **lasers** mais potentes. Assim, em 1976 (*Soviet Journal of Quantum Electronics* **6**, p. 82), os físicos russos A. Zherikhin, K. Koshelev e Vladilen S. Letokhov descreveram um mecanismo de como construir um **laser de raios-X**. Contudo, a construção desse tipo de **laser** só aconteceu na primeira metade da década de 1980. Com efeito, em 1981 (*Aviation Week and Space Technology*, p. 25), o jornalista norte-americano Clarence A. Robinson Junior escreveu um artigo no qual analisou o projeto do *Lawrence Livermore National Laboratory* (LLNL), na Califórnia, para a construção do **laser de raios-X**. Apesar dessa iniciativa norte-americana para a construção desse tipo de **laser** mais potente, o primeiro destes

foi construído, ainda em 1981 (*Optics Communications* **37**, p. 442), por D. Jacoby, G. J. Pert, S. A. Ramsden, L. D. Shorrock e G. T. Tallents, da *Universidade de Hull*, na Inglaterra, ao vaporizarem finas fibras de carbono (C) com intensos pulsos de **laser infravermelho** e, desse modo, foi obtido o primeiro **laser de raios-X**, com $\lambda = 18,2 \text{ nm}$ ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) em um plasma de C altamente ionizado. Logo depois, em 1983 (*Soviet Journal of Quantum Electronics* **13**, p. 1511), os físicos russos A. V. Vinogradov e V. Shlyaptsev apresentaram uma descrição refinada do mecanismo (emissão espontânea amplificada da transição dos seguintes níveis de energia: $2p^5_3p \rightarrow 2p^5_3s$) de um **laser de raios-X**, mecanismo esse que já havia sido descrito, em 1976, por seus compatriotas: Zherikhin, Koshelev e Letokhov, como descrevemos acima.

É interessante relatar que no Governo (1981-1989) do ator e político norte-americano Ronald Wilson Reagan (1911-2004) foi criado o projeto *Strategic Defense Initiative*, conhecido como *Star Wars* (“Guerra nas Estrelas”), que era um sistema de defesa com mísseis. Assim, o LLNL, para dar suporte a esse projeto bélico de Reagan (lembrar que ele foi Governador da Califórnia entre 1967 e 1975) deu prosseguimento ao desenvolvimento do **laser de raios-X** e, para isso, foi importante entender como medir a secção de choque e comprimentos de onda de íons altamente carregados. Surgiu, assim, no LLNL, o programa *Electron Beam Ion Trap* (“Prisão de Íons de um Feixe de Elétrons”) (EBIT), cujos resultados formaram a base do **laser de raios-X**. Em 1984, por ocasião de uma reunião entre pesquisadores do LLNL e da *Universidade de Princeton* (UP), eles anunciaram que possuíam *novos* laboratórios para produzir **laser de raios-X** (o do LLNL ficou conhecido como **NOVA LASER**). Os primeiros resultados desses desse projeto foram apresentados logo em 1985. Com efeito, D. L. Matthews, P. L. Hagelstein, M. D. Rosen, M. J. Eckhardt, N. M. Ceglio, A. U. Hazi, H. Medicki, B. J. MacGowan, J. E. Trebes, B. L. Whitten, E. M. Campbell, C. W. Hatcher, A. M. Hawryluk, R. L. Kauffman, L. D. Pleasance, G. Rombach, J. Scofield, G. Stone e T. A. Weaver (*Physical Review Letters* **54**, p. 110), do LLNL, produziram o **laser de raios-X** ($\lambda = 20,6 \text{ nm} = 206 \text{ \AA}$ e $\lambda = 20,9 \text{ nm} = 209 \text{ \AA}$, sendo $1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}$) dirigindo pulsos de 260 ps ($1 \text{ ps} = 10^{-12} \text{ s}$) de dois feixes de **laser** de alta potência, emitidos pelo **NOVA**, em um filme de selênio (Se) de 75 nm de espessura. Por sua vez, S. Suckewer, C. H. Skinner, H. Milchberg, C. Keane e D. Voorhees (*Physical Review Letters* **55**, p. 1753), da UP, geraram o **laser de raios-X** ($\lambda = 18,2 \text{ nm}$) vaporizando finas fibras de C presas em um campo magnético solenoidal de 90 kG.

Ora, como os russos já haviam descrito o mecanismo da produção de **laser de raios-X** desde 1976, como destacamos acima, em 1987, os russos construíram esse tipo de **laser** em decorrência de explosões nucleares, com potências de 20 kJ e 100 kJ e, com respectivos comprimentos de onda de 39 \AA e 28 \AA , segundo escreveu o especialista em **laser de raios-X**, o físico norte-americano Joseph Nielsen (n.1955), em artigo escrito em 2008 (*Canadian Journal of Physics* **86**, p. 19). Observe-se que esses **lasers** foram descritos, em 1997 (*Laser and Particle Beams* **15**, p. 3), pelos físicos russos E. N. Avrorin, V. A. Lykov, P. A. Loboda e V. Yu. Politov. Para maiores detalhes sobre **lasers de raios-X** ver o citado artigo de Nielsen e o artigo, também de 2008 (*Optics & Photonics News* **19**, p. 26), de Jeff Hecht: **The History of the X-Ray Laser**.

No término deste verbete, é interessante ressaltar que, em setembro de 2011 (*Physical Review Letters* **107**, 144801), I. A. Vartanyants, A. Singer, A. P. Mancuso, O. M. Yefanov, A. Sakdinawat, Y. Liu, E. Bang, G. J. Williams, G. Cadenazzi, B. Abbey, H. Sinn, D. Attwood, K. A. Nugent, E. Weckert, T. Wang, D. Zhu, B. Wu, C. Graves, A. Scherz, J. J. Turner, W. F. Schlotter, M. Messerschmidt, J. Lüning, Y. Acremann, P. Heimann, D. C. Mancini, V. Joshi, J. Krzywinski, R. Soufli, M. Fernandez-Perea, S. Hau-Riege, A. G. Peele, Y. Feng, O. Krupin, S. Moeller e W. Wurth construíram o **laser de raios-X** mais puro do mundo, de $\lambda = 150 \text{ nm}$, com uma coerência de 0,55 fs. Desse feixe coerente de **fótons-X**, 78% estavam no modo dominante em comparação com menos de 1% em uma fonte de **luz síncrotron de raios-X** decorrentes da aceleração de um elétron livre. Esse **laser de raios-X** foi produzido no *Linac Coherent Light Source* [“Fonte de Luz Coerente do Acelerador Linear (Linac)”], da *Universidade de Stanford*.



ANTERIOR

SEGUINTE