



CURIOSIDADES DA FÍSICA

José Maria Filardo Bassalo
www.bassalo.com.br



Maser, Laser e os Prêmios Nobel de Física (PNF) de 1964 e de 1966.

O PNF de 1964 foi atribuído aos físicos, o norte-americano Charles Hard Townes (n.1915) e os russos Nikolai Gennadievich Basov (1922-2001) e Aleksandr Mikhailovich Prokhorov (1916-2002) por seus trabalhos sobre a **eletrônica quântica** e que resultaram na construção do **maser** (microwave amplification by stimulated emission of radiation) (“amplificação de micro-ondas estimulada por emissão de radiação”) e do **laser** (light amplification by stimulated emission of radiation) (“amplificação de luz estimulada por emissão de radiação”). O PNF de 1966 foi concedido ao físico franco-alemão Alfred Kastler (1902-1984) por haver descoberto novas técnicas ópticas para estudar a ressonância de **ondas hertezianas** (vide verbete nesta série) em átomos.

A ideia teórica da possibilidade de **emissão estimulada**, base desses dois dispositivos eletrônicos foi proposta pelo físico germano-suíço-norte-americano Albert Einstein (1879-1955; PNF, 1921), em trabalhos realizados em 1916 (*Verhandlungen der Deutschen Physikalische Gesellschaft* **18**, p. 318; *Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft zu Zürich* **16**, p. 47) e 1917 (*Physikalische Zeitschrift* **18**, p. 121) nos quais tratou a radiação eletromagnética sob o ponto de vista mecânico estatístico. Com efeito, nesses trabalhos ele examinou um corpo negro (vide verbete nesta série) em equilíbrio contendo, além da radiação, átomos simples com apenas dois níveis de energia (E_n , E_m), sendo que a passagem de um nível para o outro seria por intermédio da **emissão** ($m \rightarrow n$) ou da **absorção** ($n \rightarrow m$) de um **quantum** de luz de frequência dada por: $\nu = |E_m - E_n|/h$, onde h é a **constante de Planck**.

Além do mais, considerou ainda Einstein que o átomo e a radiação se mantinham em equilíbrio estatístico, quando o número de átomos que passa de um nível para o outro permanece o mesmo. Desse modo, ele obteve relações importantes entre as probabilidades de **emissão** e de **absorção** de radiação de densidade $\rho(\nu, T)$, ocasião em que introduziu as famosas constantes A_{mn} e B_{mn} (B_{nm}), sendo A_{mn} relativa à **emissão espontânea**, B_{nm} relacionada com a **absorção** e B_{mn} com a **emissão** de radiação, sendo que estas duas últimas são radiações **estimuladas**. Usando essas definições e considerando que:

$$B_{mn} = B_{nm} ; A_{mn} = (8 \pi h \nu^3 / c^3) B_{mn} ,$$

Einstein demonstrou a hoje conhecida **equação de Planck** (1900)-**Einstein** (1916/1917):

$$\rho(\nu, T) = (A_{mn}/B_{nm}) / [\exp (h \nu/kT) - 1],$$

com k sendo a **constante de Boltzmann**. Este era um resultado teórico em busca de uma aplicação prática, que somente aconteceu na década de 1950. [Abraham Pais, **‘Subtle is the Lord... The Science and the Life of Albert Einstein** (Oxford University Press, 1983)]. Vejamos como essa aplicação aconteceu.

Em 1949 (*Comptes Rendus de l’Academie des Sciences de Paris* **229**, p. 1213), o físico francês Jean Brossel (1918-2003) e Kastler desenvolveram uma técnica, mais tarde conhecida como **bombeamento óptico** (“inversão de população”). Basicamente, essa técnica é assim descrita. Quando um grupo de átomos é iluminado com um feixe de radiação eletromagnética de determinado comprimento de onda (herteziana ou visível), alguns desses átomos absorvem os **quanta** correspondentes, e irão do estado de energia fundamental (ou de outro estado próximo) para um dos estados mais energéticos. Como o tempo médio (vida média) desses estados excitados é em torno de 10^{-7} s, eles então voltam ao estado fundamental emitindo radiação fluorescente. Em 1950 (*Journal de Physique et le Radium* **12**, p. 255), Kastler divulgou novos detalhes da técnica que havia desenvolvido em 1949, com a participação de Brossel. Com essa técnica, Kastler conseguiu mover átomos de seu estado fundamental para estados excitados. Em 1951 (*Physical Review* **81**, p. 279), os físicos norte-americanos Edward Mills Purcell (1912-1997; PNF, 1952) e Robert Vivian Pound (n.1919) demonstraram a **emissão estimulada einsteiniana** assim como a “inversão de população”. Registre-se que, em 1952 (*Journal de Physique* **13**, p. 668), Brossel, Kastler e J. M. Winter, em 1953 (*Comptes Rendus de l’Academie des Sciences de Paris* **237**, p. 984) e em 1954 (*Journal de Physique* **15**, p. 6), Brossel, Bernard Cagnac e Kastler conseguiram obter transições (saltos) quânticas múltiplas (curvas de ressonância) do átomo de sódio (Na) usando a técnica do **bombeamento óptico**.

A idéia de amplificar uma radiação usando as transições rotacionais moleculares, conhecida com o **princípio do gerador molecular**, foi sendo paulatinamente desenvolvida por Townes, em 1951 (*Journal of Applied Physics* **22**, p. 1365), e pelos físicos, o norte-americano Joseph Weber (1919-2000), em 1953 (*Institute of Electrical and Electronic Engineers: Transactions on Electron Devices* **3**, p. 1), Basov e Prokhorov, em 1954 (*Zhurnal Eksperimental'noi i Teoretiskoi Fiziki* **27**, p.431). Contudo, essa idéia só foi transformada em um dispositivo prático, ainda em 1954 (*Physical Review* **95**, p. 282), quando Townes e os físicos norte-americanos James P. Gordon e Herbert J. Zeiger anunciaram que haviam construído o primeiro **maser** usando um gás de amônia (NH₃). Aliás, registre-se que o nome **maser** só foi usado por esses físicos em 1955 (*Physical Review* **99**, p. 1264). Contudo, esse dispositivo funcionava intermitentemente, pois dispunha de apenas dois **níveis de energia**, n_1 e n_2 , com $n_2 > n_1$. Assim, os elétrons do nível mais alto (n_2) são estimulados e caem para o nível mais baixo (n_1). Desse modo, a **emissão estimulada** só recomeçava quando havia um novo bombeamento de elétrons de $n_1 \rightarrow n_2$.

Para contornar a limitação indicada acima, o físico norte-americano Nicolas Bloembergen (n.1920; PNF, 1981) apresentou, em 1956 (*Physical Review* **104**, p. 324), a idéia para a construção de um **maser**, usando três níveis de energia de íons paramagnéticos inseridos (dopados) em um cristal, idéia essa que ficou conhecida como **maser de três níveis**. Neste tipo de **maser**, um **bombeamento óptico** permite que a população de elétrons do nível 3 (n_3) se mantenha substancialmente igual à do nível 1 (n_1). Dessa forma, a emissão de **micro-ondas estimuladas** pode ocorrer de dois modos desde que, respectivamente, tenhamos $n_3 > n_1$ ou $n_2 > n_1$. Registre-se que esse tipo de **maser** foi construído no *Bell Telephone Laboratories* (BTL), usando um cristal de rubi (Al₂O₃) com impurezas do metal paramagnético cromo (Cr³⁺), em 1958.

Muito embora o físico norte-americano Gordon Gould (1920-2005) haja, em 1957, sugerido o **laser** (light amplification by stimulated emission of radiation) (“amplificação de luz estimulada por emissão de radiação”), a idéia de construção de um **laser** (nome cunhado por ele), nas regiões de radiação infravermelha e visível (óptico), foi apresentada, em 1958 (*Physical Review* **112**, p. 1940), por Townes e pelo físico norte-americano Arthur Leonard Schawlow (1921-1999; PNF, 1981). Note-se que, nesse mesmo ano de 1958, eles solicitaram a patente, a qual, no entanto, só lhes foi concedida em 1960 (*US Patent No.2.292.922*). Ainda em 1958 (*Zhurnal Eksperimental'noi i Teoretiskoi Fiziki* **34**, p. 1658), Prokhorov discutiu a possibilidade de amplificar uma radiação de comprimento de onda (λ) menor do que 1 mm, usando as transições rotacionais da NH₃. [Charles Hard Townes and Arthur Leonard Schawlow, **Microwave Spectroscopy** (Mc-Graw Hill Book Company, 1955); Charles Hard Townes; Nikolai Gennadievich Basov; Aleksandr Mikhailovich Prokhorov, **Nobel Lectures** (11 de dezembro de 1964); Arthur Kastler, **Nobel Lectures** (12 de dezembro de 1966); Nicolas Bloembergen e Arthur Leonard Schawlow, **Nobel Lectures** (08 de dezembro de 1981)].

Em 16 de maio de 1960, o físico norte-americano Theodore Harold Maiman (1927-2007) construiu o primeiro **laser óptico** usando um cristal róseo de rubi [Al₂O₃ com 0,05% (em peso) de óxido de cromo (Cr₂O₃)], porém envolvendo três níveis de energia do mesmo íon de cromo (Cr⁺⁺⁺) usado na construção do **maser**. Observe-se que os três níveis do Cr utilizados por Maiman foram: 1) duas bandas do ⁴F (⁴F₁ e ⁴F₂); 2) o estado metaestável ²E; 3) o estado fundamental. Como essas bandas são largas, eram puderam ser populadas (por **bombeamento óptico**) usando “flashes” de lâmpadas de xenônio (Xe). É interessante registrar que a revista norte-americana *Physical Review* rejeitou o trabalho de Maiman sobre a invenção do **laser** (anunciada no *New York Times* de 07 de julho de 1960), o qual só foi publicado em agosto de 1960, pelas revistas inglesas *Nature* **187**, p. 493 (06 de agosto) e *British Communication Electronics* **1**, p. 674. Registre-se que, em 1961, a *Physical Review* **123** publicou dois trabalhos (p. 1145; 1151) de Maiman e de seus colaboradores R. H. Hoskins, I. J. D'Haenens, C. K. Asawa e V. Evtuhov, nos quais descreveram a construção do primeiro **laser**.



ANTERIOR

SEGUINTE