

Vida científica

EFEMÉRIDES

1960, NACE EL LÁSER DE RUBÍ

El 16 de mayo de 1960 nació el primer láser (**L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation). Se trataba de un láser de rubí, que se puso en funcionamiento en los laboratorios de la Hughes Aircraft Company, en Malibu, California, y cuyo autor fue el ingeniero norteamericano THEODORE H. MAIMAN (1927-2007). El 6 de agosto del mismo año Maiman publicó una breve nota en *Nature* [1] en la que daba cuenta de la generación de radiación monocromática de 694,3 nm obtenida en un cristal de rubí (corindón con impurezas de cromo) por emisión estimulada.

Este mecanismo de interacción de la radiación con la materia había sido predicho por ALBERT EINSTEIN en 1916 (*Mitteilungen der Physikalischen Gesellschaft Zürich*, No. 18) y su pronóstico fue verificado por RUDOLF LADENBERG en 1928. Sin embargo, no es hasta mediados del siglo pasado que se intentó aplicar el mecanismo para la amplificación de la radiación en los rangos visible e infrarrojo del espectro. ARTHUR L. SCHAWLOW y CHARLES TOWNES propusieron en 1958 la utilización de vapores alcalinos como medios activos para la generación de radiación altamente monocromática mediante emisión estimulada [2]. Sin embargo, fue Maiman el primero que consiguió, mediante una técnica de bombeo óptico, in-



Fotografía de Theodore H. Maiman (1927-2007) y su láser de rubí.

vertir la población entre un estado metaestable y el estado fundamental del ion cromo y producir emisión estimulada.

Su prototipo ha sido mostrado por primera vez en Europa por su viuda, Kathleen Maiman, que asistió al quincuagésimo aniversario que se celebró en la sede de la UNESCO en París el 22 y 23 de junio de 2010 (ver fotografía en portada). A pesar de sus 50 años de vida, el dispositivo funcionó perfectamente.

A continuación explicamos más detalladamente el láser de Maiman¹.

FUNCIONAMIENTO DE UN LÁSER DE RUBÍ

Consiste en una barra cilíndrica de cristal de rubí, de 1 cm de larga y unos 3 mm de sección, con sus extremos pulidos formando dos planos paralelos perpendiculares al eje. Uno de ellos está totalmente plateado y el otro sólo parcialmente, constituyendo una cavidad resonante (Figura 1).

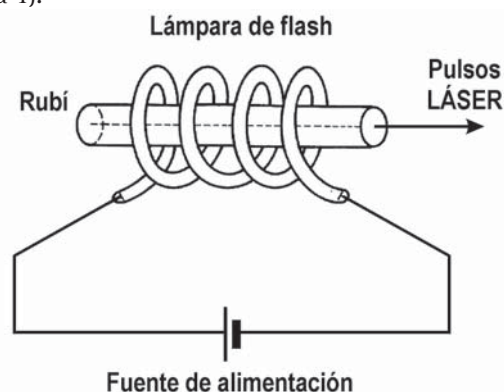


Figura 1. Esquema de un láser de rubí.

La barra está rodeada por una lámpara de flash helicoidal, que se utiliza para el bombeo. El medio láser es un cristal de corindón (Al_2O_3) que contiene impurezas del ion Cr^{+++} . Este ion sustituye en la red cristalina al ion Al^{+++} en la proporción 5 iones de Cr^{+++} por cada 10000 de Al^{+++} . Esto equivale a tener $1,6 \times 10^{19}$ iones Cr^{+++} por cada cm^3 . Los niveles energéticos del ion Cr^{+++} , responsables de la emisión láser, están indicados en la Figura 2. El ion Cr^{+++}

¹ Para comprender mejor los términos que aparecen en esta efemérides, se aconseja leer Los fundamentos físicos del láser en el apartado “Colaboraciones en Física” en esta misma sección de 100cias@uned.

absorbe la luz visible en dos anchas bandas, una en la zona azul y otra en la verde, que corresponden a transiciones del estado fundamental (4A_2) a estados excitados (4F_1 y 4F_2). Con la lámpara de flash se proporcionan las radiaciones azul y verde para que el ion Cr^{+++} pase a los estados excitados 4F_1 y 4F_2 (los intervalos de tiempo durante los cuales se produce la excitación son del orden del milisegundo). Los iones excitados se relajan rápidamente de manera no radiativa a un estado metaestable, 2E , en el que permanecen varios milisegundos antes de desexcitarse y pasar al estado fundamental 4A_2 .

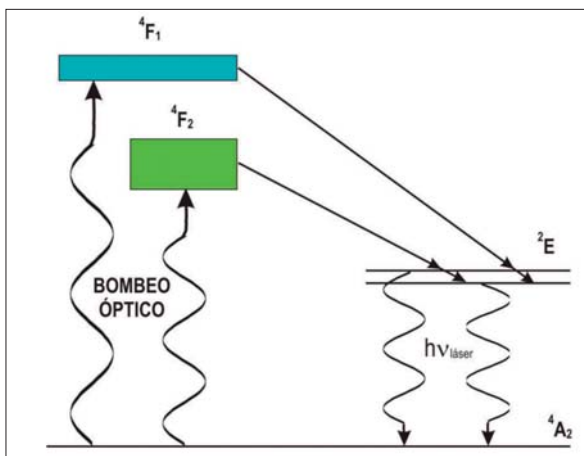


Figura 2. Niveles energéticos del ion Cr^{+++} que intervienen en la línea de emisión del láser de rubí.

Si la luz de la lámpara de flash es suficientemente intensa, se consigue que más del 50% de los iones Cr^{+++} sean bombeados a los niveles 4F_1 y 4F_2 . Por relajación, prácticamente todos decaen al estado 2E , consiguiéndose así *inversión de población* entre dicho estado y el fundamental². Todo este proceso para conseguir la inversión de población se conoce como **bombeo óptico**. Entre los niveles 2E y 4A_2 se desencadena el proceso de emisión estimulada, obteniéndose la radiación roja característica del láser de rubí. El estado 2E es un doblete, R_1 y R_2 , y desde ambos subniveles se dan las condiciones para la emisión láser. Maiman obtuvo los picos de emisión en las siguientes longitudes de onda:

- $\lambda_1 = 694,3 \text{ nm}$ para la transición $R_1 \rightarrow {}^4A_2$, y
- $\lambda_2 = 692,9 \text{ nm}$ para la transición $R_2 \rightarrow {}^4A_2$.

Esto significa que la anchura de banda de la emisión láser que obtuvo (a temperatura ambiente) era superior a 1 nm, lo que suponía que la monocromaticidad de su láser era inferior a la de una lámpara de vapor de sodio (recuérdese que la separación entre las longitudes

² Maiman denomina en su artículo a la “inversión de población” temperaturas negativas.

de onda de las líneas del doblete amarillo del sodio es de 0,6 nm). El propio Maiman comenta en su artículo que si por métodos interferométricos pudiera seleccionarse una sola de las longitudes de onda emitidas, la monocromaticidad de su láser sería mucho mayor (ver de nuevo Ref. [1]).

Veinte años después se logró aislar la transición ($R_1 \rightarrow {}^4A_2$, $\lambda_1 = 694,3 \text{ nm}$), que algunos autores denominan línea R_1 [3], cuyo perfil puede verse en la Figura 3. Aparecen dos picos pronunciados debido a que el estado 4A_2 es también un doblete cuya separación entre subniveles es de 11,6 GHz, lo que equivale a una separación entre líneas de 0,0186 nm. Las transiciones de R_1 a los dos subniveles de 4A_2 dan lugar a una línea espectral cuya anchura es setenta veces menor que la que obtuvo Maiman hace ahora 50 años.

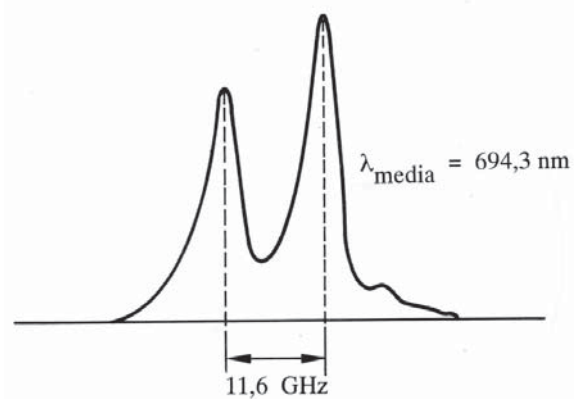


Figura 3. Perfil de la línea de emisión del láser de rubí.

Como el bombeo (óptico) se produce de manera pulsante, las condiciones de inversión de población sólo se mantienen durante el corto intervalo de tiempo que dura el pulso y, como consecuencia, la emisión del láser de rubí es también pulsante. La duración del pulso es de $0,2 \times 10^{-3} \text{ s}$.

Éste es un láser de potencia con el que se puede obtener entre 50 mJ y 500 mJ por pulso, es decir, su potencia varía entre 0,25 kW/pulso y 2,5 kW/pulso.

Para fijar las ideas, tal y como se indica en el artículo *Los fundamentos físicos del láser*, los elementos característicos del láser de rubí son:

- El **medio activo**, que es un sólido: una barra cilíndrica de corindón con impurezas de ión Cr^{+++} .
- El sistema de **bombeo**, óptico en este caso porque se hace a través de una potente lámpara de flash, es un sistema de tres niveles: el nivel fundamental 4A_2 , los niveles excitados 4F_1 y 4F_2 de tiempo de vida muy corto, y el nivel metaestable 2E en el

que se produce la inversión de población respecto al estado fundamental y desencadena la emisión láser por emisión estimulada.

- La **cavidad resonante**, que permite la amplificación, es un interferómetro Fabry-Perot constituido por el propio cristal con sus dos caras laterales espejadas, una totalmente y la otra, parcialmente.

LA GUERRA DE LAS PATENTES

En el caso de los láseres, como en otros muchos, hubo lo que se ha denominado la *guerra de las patentes*, que duró nada más y nada menos que 30 años [4]. Se inició en 1957, cuando Charles Townes, profesor en la Universidad de Columbia, realizó el primer **máser**, con el que produjo emisión estimulada de la radiación en el dominio de las microondas (**Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation**). Posteriormente, trabajando junto con Schawlow, que se había trasladado a los laboratorios de la Bell Telephone, propuso extender la aplicación del principio del máser al dominio visible (de aquí el nombre de **optical maser** que recibieron los primeros láseres). A continuación entró en escena Gordon Gould, un estudiante de postgrado en la Universidad de Columbia. Se interesó por el tema y le propuso a su director de tesis, el profesor Kusch, trabajar en él. Kusch rechazó el proyecto y Gould decidió emprenderlo por su cuenta. Mientras Schawlow y Townes estudiaban el problema cuidadosamente para publicar sus conclusiones en una revista científica, Gould escribió sus ideas basadas, como él mismo reconoce, en el máser y en las ideas de Townes, y se las llevó a un notario con objeto de poder solicitar una patente, lo que hizo el 6 de abril de 1959, cuatro meses después de la publicación de Schawlow y Townes en *Physical Review* (ver de nuevo Ref. [2]). Durante la década de los 60 el tema estuvo en los tribunales. Desde fuera, no había ninguna duda. Townes había ganado el Premio Nobel de Física en 1964 por el desarrollo del máser y del láser. En 1981, fue Schawlow el galardonado con el Premio Nobel por haber sido pionero en el desarrollo de la espectroscopía láser. Ambos eran muy respetados por la comunidad científica internacional. Gould abandonó la universidad sin haber logrado doctorarse y se fue con sus ideas a una empresa pequeña neoyorkina, que supo aprovecharlas ofreciendo al Pentágono la posibilidad de emplear los láseres con fines militares, consiguiendo así una financiación muy elevada a sus proyectos de investigación.

El que Maiman hubiera sido el primero en materializar un láser no tuvo la repercusión científica que podría esperarse. La primera revista a la que envió su trabajo, *Physical Review Letters*, rechazó su informe porque consideraba que los avances en la física de los máseres ópticos ya no tenían tanta urgencia en publicarse. Tras este fracaso, decidió enviar su informe a la prestigiosa revista inglesa *Nature*, menos especializada, pero de gran difusión. El breve artículo, del que ya hemos hecho mención al principio de esta efemérides, permitió hacer réplicas en diferentes laboratorios, mejorando la monocromaticidad del primer láser de rubí.

Townes obtuvo la patente del máser, que cubría toda amplificación por emisión estimulada, cualquiera que fuera la zona del espectro. Junto con Schawlow compartió una patente básica sobre los láseres que emiten luz en la zona visible e infrarroja del espectro. Maiman obtuvo la patente por el láser de rubí.

Gould se involucró en cinco costosas y prolongadas acciones judiciales. Perdió tres pero ganó dos, gracias a las cuales pudo obtener dos patentes. Muchas son las vicisitudes por las que han pasado todos estos personajes para obtener las patentes de la parte de la tarta que según ellos les correspondía. Muchas son también las empresas creadas e involucradas en los intereses de estas patentes (*Spectra Physics*,...). Y muchas también las anécdotas que se han sucedido a lo largo de los años, como por ejemplo el hecho de que se detectase amplificación láser en la atmósfera de Marte por científicos de la NASA paralizó la concesión de algunas patentes, pues si la amplificación láser era un fenómeno natural no se podía patentar (es como si alguien quisiera patentar el estornudo).

BIBLIOGRAFÍA

- [1] *Stimulated Optical Radiation in Ruby*. T.H. Maiman. *Nature*, 187, No. 4736, pp. 493-494 (1960).
- [2] A. L. Schawlow & C.H. Townes. *Physical Review*, 112, p. 1940 (1958).
- [3] *Lasers*. Anthony E. Siegman. Chapter 1, p. 11. University Science Books, Mill Valley, California, USA (1986). ISBN: 0-19-855713-2.
- [4] *El rayo láser*. Jeff Hecht y Dock Teresa. Ed. Argos Vergara, S.A., Barcelona (1982). ISBN: 84-7178-553-6.

Carmen Carreras Béjar y Manuel Yuste Llandres
Dpto. de Física de los Materiales