

Los Láseres y sus Potenciales Aplicaciones

Jorge Mauricio Paulin Fuentes¹, Jorge Mulia Rodríguez², Daniel Osorio González²

¹ División Académica de Ciencias Básicas, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México, Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1, Cunduacán, Tabasco, México. A.P. 24, C.P. 86690

² Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Col. Centro, C.P. 50000, Toluca, Estado de México, México

* mauriciopaulin@gmail.com

Resumen

En este artículo se presenta una breve pero concisa revisión sobre el estado actual de los láseres. Se inicia con una breve reseña histórica resaltando los principales acontecimientos que marcaron su nacimiento en los años sesenta. Se describen las características de las fuentes láser más potentes desarrolladas hasta ahora, así como una discusión sobre las principales aplicaciones.

Palabras claves: Láseres, Tecnología láser, Aplicaciones del láser.

Abstract

This article presents a brief but concise review on the current state of lasers. It begins with a brief historical overview highlighting the main events that marked its birth in the sixties. It describes the characteristics of the most powerful laser sources developed so far, as well as a discussion of the main applications.

Keywords: Lasers, Laser technology, Laser applications.

Recibido: 20 septiembre 2016. Aceptado: 07 noviembre 2016. Publicado: 31 diciembre 2016.

1. Introducción

Los láseres son dispositivos que amplifican o incrementan la intensidad de la luz para producir un haz altamente direccionado, y que tienen una frecuencia pura o longitud de onda, están basados en la emisión estimulada de la radiación electromagnética [1, 2]. El proceso natural fue identificado primeramente por Albert Einstein en 1917, quien sugirió la teoría de emisión estimulada de la luz [3]. Años más tarde basándose en esta teoría, se da lugar al desarrollo del láser. La palabra LASER es un acrónimo del inglés "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" [4]. Las investigaciones de T. Maiman en la generación de radiación coherente a través de la fotoexcitación del rubí, lo llevaron a ensamblar el primer LASER en 1960 [5].

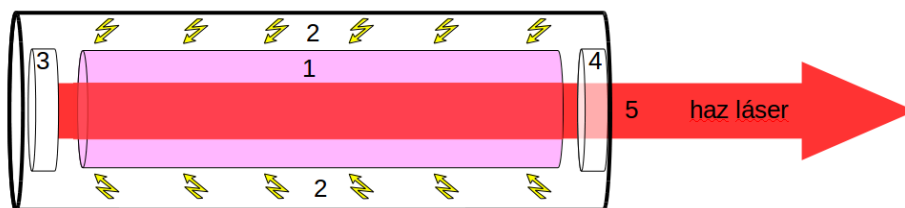


Figura 1. Componentes típicos de un láser: 1- Medio de amplificación, 2- Fuente de excitación, 3- Espejo 100% reflejante, 4- Espejo parcialmente transmisor (~ 95% reflejante), 5- Salida del haz láser.

2. Funcionamiento del láser

Un dispositivo láser típico consiste en un medio de amplificación o de ganancia, una fuente de excitación para suministrar energía de entrada al dispositivo, y una cavidad óptica o disposición de espejos para proporcionar realimentación óptica. Dentro de dicha cavidad óptica el haz de luz es reflejando hacia atrás y adelante a través del

medio de ganancia para su posterior amplificación, véase la Figura 1. Un haz láser se obtiene al permitir que en el dispositivo una pequeña porción de la luz escape pasando a través de un espejo parcialmente transmisor.

De forma más específica, el láser se produce cuando un haz de luz pasa a través de un medio dentro de la cavidad especialmente preparado para estimular los átomos, este material permite amplificar la luz por emisión estimulada. La energía se suministra al medio, a través de una corriente eléctrica, o luz a una longitud de onda diferente proporcionada por una lámpara de flash u otro láser. La luz emitida sale del dispositivo con una coherencia temporal alta que permite tener una longitud de onda (un color específico, dependiendo del láser que se utilice) en un espectro estrecho en exactamente la misma dirección y con poca divergencia o coherencia espacial, haciendo que el láser permanezca estrecho (colimado) a través de largas distancias. Dependiendo de la fuente de energía (fuente de poder), de la duración del pulso láser, o del objetivo de su fabricación, la potencia de los láseres van desde nanowatts (10^{-9} W) hasta mil trillones de watts (10^{21} W) para estos últimos los pulsos láser son extremadamente cortos, estamos hablando del orden de femtosegundos (10^{-15} s) y hasta attosegundos (10^{-18} s). Los láseres pueden producir longitudes de onda o frecuencias que van desde las micro-ondas (> 1 mm) pasando por el espectro infrarrojo (700 nm a 100 μ m), el visible (400 nm a 700 nm), el ultravioleta (10 nm a 400 nm) y hasta la región espectral de los rayos X blandos (< 10 nm) [1,6].

3. Aplicaciones del láser

Desde los primeros años el desarrollo de los láseres ha crecido en forma exponencial, dando lugar a una gran variedad de tipos de láseres mejorados y especializados, además, cada vez hay un mayor interés en la investigación y en la industria, de tal forma que actualmente hay una gran cantidad de aplicaciones de los láseres. Entre estas aplicaciones tenemos el tratamiento de superficies, limpieza de materiales, la obtención de propiedades termodinámicas de gases, líquidos o sólidos [6,7,8], para estudios en fluorescencia y bioluminiscencia [9,10], se utilizan en los más modernos sistemas de comunicación, para hacer cortes en materiales, como apuntadores, en medicina para cirugía láser y tratamientos de la piel, constituyen los componentes principales en aparatos comunes, tales como impresoras láser, escáneres de códigos de barras, en reproductores de discos compactos entre otras [1]. Los láseres pueden inducir plasmas, los cuales tienen grandes aplicaciones potenciales en muchas áreas, entre ellas cabe mencionar que hay un gran interés en ignición de gases de combustión [10,11], aceleradores de partículas y propulsión láser [12]. Surgen además nuevas ramas y técnicas para la investigación: espectroscopia de rompimiento inducida por láser, fusión de confinamiento inercial con láser, ablación láser, deposición por pulsos láser, trampas ópticas, etcétera [2, 6, 7, 8].

Haciendo uso de láseres pulsados se ha demostrado métodos de videografía de alta resolución temporal, entre ellos, la evolución espacial y temporal de la expansión de un plasma inducido por láser y su onda de choque han sido estudiadas con la técnica de fotografía de sombras utilizando un láser verde de 30 ps, con un retardo de tiempo variable en el intervalo de 300 ps a 30 ns [13,14].

También se ha presentado un método de la propagación de la luz con una resolución temporal de 200 femtosegundos [15] y otro para visualizar el movimiento intramolecular con una resolución temporal y espacial de 30 fs y 0.3 \AA [16], a través de la interferencia de rayos X en la escala femtosegundos a partir de yodo molecular excitado por pulsos láser. Estos dos últimos métodos son ampliamente aplicables para estudiar una multitud de procesos dinámicos en física, química y biología en una amplia gama de escalas de tiempo, en los que se podría visualizar el movimiento interno en moléculas, el movimiento vibratorio coherente y de dispersión, la disociación y desfase rotacional. La tecnología de láser de attosegundos puede aumentar aún más las velocidades de video por varios órdenes de magnitud.

4. Tecnologías recientes de láseres de alta potencia

Entre algunos de los proyectos que involucran los láseres más grandes del mundo tenemos el de la National Ignition Facility (NIF) en Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California EEUU, este es el láser más grande

del mundo, con un costo mayor a 3.5 mil millones dólares americanos ($U\$ 3.5 \times 10^9$), cubre una extensión aproximada de dos campos de fútbol ($70,000 \text{ m}^2$), el láser cuenta con 8,000 unidades ópticas de hasta 1 m de diámetro y 30,000 piezas ópticas más pequeños, que junto con otros componentes se encuentran contenidos en aproximadamente 6000 módulos. Entre sus desafíos experimentales a 50 años del láser (2010) Mike Dunne describe cómo lograr la ignición de fusión con el mayor láser del mundo y que dos años más tarde (2012) la National Ignition Facility hace historia con un record de 500 billones de watts ($5 \times 10^{14} \text{ W}$) por disparo a 1.85 mega Joules (1.85 MJ o $1.85 \times 10^9 \text{ W}$) de energía con una potencia combinada de 500 terawatts (500 TW o $5 \times 10^{12} \text{ W}$) con sus 192 haces láser que convergen a una cámara de vacío de 10 m de diámetro, esto es aproximadamente 40 veces más energía que el consumo promedio del mundo entero, unas cuantas veces mayor que la potencia de toda la luz solar que cae sobre la tierra en un instante. Según esto allanaría el camino para hacer los experimentos de ignición con blancos conteniendo deuterio y tritio. Los resultados recientes de NIF son parte del esfuerzo sistemático para dominar la fusión nuclear controlada, y sin duda representan un hito, del mismo calibre que los alcanzados anteriormente en confinamiento magnético en JET y en JT-60.

En el 2014 la NIF obtiene una ganancia de energía mayor que la que se invierte, si bien los resultados son alentadores, dista mucho de tener fusión nuclear controlada para la generación de energía a gran escala. La ganancia reportada se basa en la energía depositada por los rayos X en el combustible, pero está muy lejos de acercarse a 1 en base a la energía del láser, y mucho más lejos si se toma como base la energía tomada de la red [17,18,19].

Tenemos también el láser TRIDENT en los Alamos National Laboratory, en los Alamos, New México, EEUU, es un láser de pulsos cortos de 200 trillones de watts por centímetro cuadrado ($2 \times 10^{20} \text{ W/cm}^2$), lo que equivale a centrar toda la luz que viene del sol a la tierra en la punta de un lápiz, dicho sistema láser desarrollado para la investigación de la física de altas de energías y las interacciones fundamentales de la radiación con la materia; en 2012 logran un récord mundial de un haz de neutrones de 10^{18} neutrones con energías del orden de 50 MeV [20]. Por otra parte el Consorcio del Centro de Láseres Pulsados CLPU construcción en el Parque Científico Villamayor de la Universidad de Salamanca España, es una instalación Nacional especializada en pulsos láser de (30) fs con niveles de potencia pico que alcanzarán ordenes de Giga, Tera y Petawatts y servirá incluso para la aceleración de electrones en el régimen de lambda cúbico, investigación llevada a cabo en parte por el investigador Mexicano Camilo Ruíz M. [21,22]. Otros aceleradores para producir pulsos láser de rayos X son el LCLS en *Stanford* es el primer láser de rayos X de electrones libres, produce pulsos de rayos X de más de mil millones de veces más brillantes que los sincrotrones más potentes [23] y por otra parte, el XFEL Europeo, este centro de investigación producirá haces láser de rayos X a una tasa de 27 000 disparos por segundo, cada uno tan corto e intenso que los investigadores podrán tomar fotografías de estructuras y procesos a nivel atómico [24].

Finalmente, Laser Megajoule (LMJ) un centro de investigación de € 3 000 000 000 completado a finales del 2014 pasado cerca de la costa atlántica de Francia, similar o casi idéntico al laboratorio de fusión láser de la National Ignition Facility (NIF) en California. Sin embargo, algunas diferencias fundamentales en el diseño pueden dar a LMJ mejores oportunidades de alcanzar mayor eficiencia en la energía de fusión que en NIF [25].

La página del proyecto (LMJ), con una amplia colección de fotos: <http://www-lmj.cea.fr/index-en.htm> (página visitada el 8/VI/2017).

5. Conclusiones

Por lo expuesto, el campo de las fuentes de luz láser, a pesar de los notables avances y desarrollo en un sin fin de campos del conocimiento, su desarrollo es aún muy prometedor, debido, principalmente, a las potenciales demandas tanto a nivel de investigación fundamental, como a las aplicaciones inmediatas en ingeniería y ciencias médicas.

6. Agradecimientos

A la División Académica de Ciencias Básicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, a través del Proyecto PFI 20140048, así como al Posgrado en Ciencias de la Universidad Autónoma del Estado de México, y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, CONACYT.

7. Referencias

- [1] "Fundamentals of Photonics", Editores: Arthur Guenther, Leno S. Pedrotti y Chandrasekhar Roychoudhuri, (Modulo 5 de 10) "Lasers", William T. Silfvast, Project STEP (Scientific and Technological Education in Photonics) por The University of Connecticut and COD.
- [2] "Laser beams: theory, properties and applications" Editores: Maxim Thys and Eugene Desmet, Nova Science Publishers, Inc., 2011.
- [3] Albert Einstein, "Zur Quantentheorie der Strahlung (On the Quantum Theory of Radiation)", *Physika Zeitschrift*, 18, 121, 1917.
- [4] Gould, R. Gordon (1959). "The LASER, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation". In Franken, P.A. and Sands, R.H. (Eds.). *The Ann Arbor Conference on Optical Pumping*, the University of Michigan, 15 June through 18 June 1959. p. 128.
- [5] Theodore H. Maiman, "Stimulated Optical Radiation in Ruby", *Nature*, 187, 493, 1960.
- [6] Jagdish P. Singh y Surya N. Thakur "Laser-Induced Breakdown Spectroscopy", Elsevier 2007.
- [7] David A. Cremers y Leon J. Radziemski "Handbook of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy" John Wiley & Sons Ltd, 2006.
- [8] Leon J. Radziemski y David A. Cremers "Laser Induced Plasmas and Applications" (New York: M Dekker), 1989.
- [9] David W. Piston, George H. Patterson and Jennifer Lippincott Schwartz, Nathan S. Claxton and Michael W. Davidson "Introduction to Fluorescent Proteins"
<http://www.microscopyu.com/print/articles/livecellimaging/fpintro-print.html> (página visitada el 21/I/2014).
- [10] "Topics in Fluorescence Spectroscopy" Volume 5 Nonlinear and Two-Photon-Induced Fluorescence, Editado por Joseph R. Lakowicz, Kluwer Academic Publishers
New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2002.
- [11] Graham-Rowe D y Won R 2008 *Nat. Photonics* 2 515
- [12] Graham-Rowe D 2008 *Nature* 454 810
- [13] P. Gregorčić, J. Možina, "High-speed two-frame shadowgraphy for velocity measurements of laser-induced plasma and shock-wave evolution", *Opt. Lett.* Vol. 36, no. 15 pp. 2782-2784, Aug. 2011.
- [14] Gregorčić P, Diaci J and Možina J, "Two-dimensional measurements of laser-induced breakdown in air by high-speed two-frame shadowgraphy", *Appl. Phys. A* Vol. 112 no. 49-55, 2013.
- [15] Andreas Ehn, Joakim Bood, Zheming Li, Edouard Berrocal, Marcus Aldén, y Elias Kristensson, "FRAME: femtosecond videography for atomic and molecular dynamics", *Light: Science & Applications*, accepted article preview, 15 March 2017. doi:10.1038/lsa2017.45
- [16] J. M. Glowina, A. Natan, J. P. Cryan, R. Hartsock, M. Kozina, M. P. Minitti, S. Nelson, J. Robinson, T. Sato, T. van Driel, G. Welch, C. Weninger, D. Zhu, y P. H. Bucksbaum, "Self-referenced coherent diffraction x-ray movie of Angstrom- and femtosecond-scale atomic motion", *Phys. Rev. Lett.* Vol. 117, Iss. 15, pp. 153003-1 - 153003-5, Oct. 2016. DOI:<https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.117.153003>
- [17] Fusion's bright new dawn, physicsworld.com, pags 1-7, Apr 30, 2010. <http://physicsworld.com/cws/article/print/2010/apr/30/fusions-bright-new-dawn> (página visitada el 8/VI/2017).
- [18] Michael Banks, "NIF future faces uncertainty", *Physics World*, Vol. 26, no. 02, p. 9, 2013. <http://stacks.iop.org/2058-7058/26/i=02/a=13> (página visitada el 8/VI/2017).
- [19] R. E. Olson, R. J. Leeper, J. L. Kline, A. B. Zylstra, S. A. Yi, J. Biener, T. Braun, B. J. Koziolowski, J. D. Sater, P. A. Bradley, R. R. Peterson, B. M. Haines, L. Yin, L. F. Berzak Hopkins, N. B. Meezan, C. Walters, M. M. Biener, C. Kong, J. W. Crippen, G. A. Kyrala, R. C. Shah, H. W. Herrmann, D. C. Wilson, A. V. Hamza, A. Nikroo, y S. H. Batha, "First Liquid



Layer Inertial Confinement Fusion Implosions at the National Ignition Facility", PRL, Vol. 117, pp. 245001-1 - 245001-5, Dec. 2016. DOI: 10.1103/PhysRevLett.117.245001

[20] World record neutron beam at Los Alamos National Laboratory, July 11, 2012

<https://phys.org/news/2012-07-world-neutron-los-alamos-national.html> (página visitada el 8/VI/2017).

[21] <http://www.clpu.es/> (página visitada el 8/VI/2017).

[22] <http://www.dicyt.com/viewNews.php?newsId=24183> (página visitada el 8/VI/2017).

[23] <https://chk.tbe.taleo.net/chk01/ats/careers/requisition.jsp?org=SLAC&cws=1&rid=2694> (página visitada el 8/VI/2017).

[24] Milestone on way to switching on world's largest superconducting linear accelerator, Phys.org, 19 April 2017

<https://phys.org/news/2017-04-milestone-world-largest-superconducting-linear.html>

[25] Daniel Clery, "Laser fusion, with a difference", Science Vol. 347 no. 6218 pp. 111-112, Jan 2015.

DOI:10.1126/science.347.6218.111