



MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT

Lugar de los hechos: un laboratorio de la empresa *Hughes Aircraft Company* en la ciudad de Culver, California. Allí, el 16 de mayo de 1960 el físico estadounidense Theodore Maiman hace destellar una lámpara espiralada de descarga gaseosa que, en su interior, lleva un cristal de rubí en forma de barra cuyos extremos están espejados (**Fig. B**). En su interior, este destello desencadena el primer pulso láser del mundo. Muy pronto, con un láser de rubí optimizado, Maiman pudo realizar una demostración con intensos rayos

En su época, los pioneros del láser también fueron objeto de muchas bromas. El físico estadounidense Charles Townes relata cómo sus colegas se burlaban de él; decían que el láser era una idea maravillosa, aunque al mismo tiempo una solución que todavía no había encontrado su problema. A pesar de ello, en 1964 Townes recibió el Premio Nobel de Física junto con los rusos Nicolai Basov y Aleksandr Mikhailovich Prokhorov. A los tres se los considera padres del principio del láser. Actualmente, los láseres son una

Lámpara mágica del reino cuántico

Cómo el láser se convierte en una tecnología de uso diario

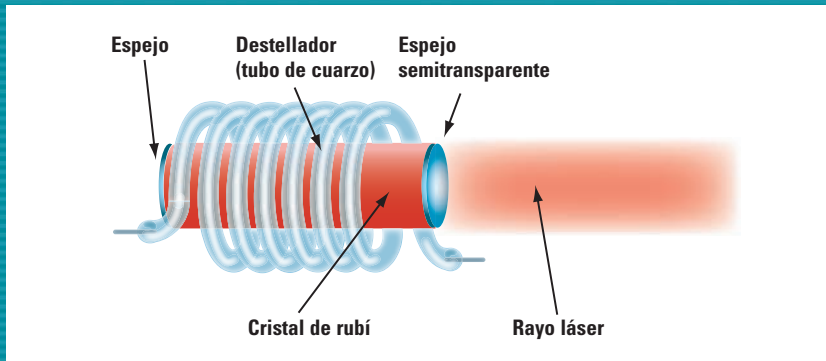
láser de color rojo a un grupo de atónitos representantes de la prensa. Los periodistas también escucharon por primera vez de boca del científico la palabra "láser", creada con las iniciales de su denominación en inglés: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (en español: "amplificación de la luz mediante emisión estimulada de radiación"). Al poco tiempo, la nueva palabra estuvo en boca de todos, porque sonaba cuanto menos tan *cool* como la otra palabra de moda: astronauta.

de las principales "tecnologías clave". Alimentan las redes de fibra óptica aplicadas a telecomunicaciones y le dan alas a la Internet de banda ancha. Sin el láser sería imposible descargar pesados archivos de música, juegos o video. Los diodos láser leen y graban los discos en equipos de CD y DVD. Los escáner láser leen los rótulos que llevan los precios en las cajas registradoras de los supermercados y la policía mide la velocidad a la que circulan los automóviles con pistolas láser. Los potentes láseres gaseosos cortan

A

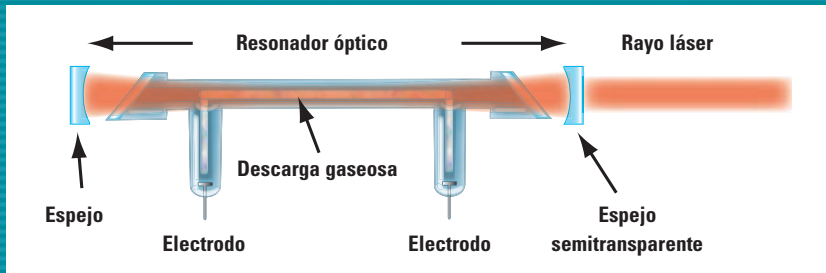
▼ Con destellos de láser ultracortos, los físicos investigan el comportamiento de los electrones en átomos o en moléculas.

© Foto: Thorsten Naeser



El primer láser de rubí.

Un láser gaseoso consiste en un "tubo fluorescente" modificado en el cual la descarga de gas bombea el medio láser.



→ chapa en la industria y ayudan a moldear, doblar, templar o recubrir materiales. En medicina miden la circulación sanguínea, hacen incisiones hemostáticas como escalpelos ópticos o reparan ojos afectados por alguna ametropía. En la atmósfera, los láseres detectan gases perjudiciales para el medio ambiente. En los grandes barcos o aviones, los sistemas láser anulares han sustituido a la brújula giroscópica. Con los láseres anulares, los geofísicos también miden las mínimas variaciones de la rotación terrestre.

UNA IDEA DESLUMBRANTE

El láser desempeña un papel central para las investigaciones en ciencias básicas. Con los equipos láser más potentes del mundo, los físicos observan el interior más profundo de la materia e, incluso, fusionan núcleos atómicos. Con una luz láser más débil frenan el azaroso movimiento térmico de los átomos. De este modo enfrían los átomos a una temperatura cercana al cero absoluto y realizan fascinantes experimentos cuánticos con ellos. Los rayos láser de pulsos ultracortos también pueden dilucidar cómo los átomos y las moléculas interactúan durante las reacciones químicas (Fig. A).

El origen de la fuerza del láser es pura física cuántica. "Se me encendió una luz

maravillosa sobre la absorción y emisión de radiaciones, [es] todo muy cuántico", le escribía entusiasmado Albert Einstein en 1916 a su amigo Emile Besso. En ese entonces, Einstein estableció los fundamentos teóricos del láser, aunque sin sospechar su invención. Con el postulado del **fotofecto**, en 1905 ya había demostrado que la luz y la materia sólo pueden intercambiar su energía en paquetes fijos. Al intercambiar energía con materia, la luz se comporta del mismo modo que las partículas: estos cuantos de energía se denominan **fonones**. Por lo demás, la luz suele tener el carácter de una onda. Esta **dualidad onda-partícula** caracteriza a todos los objetos del mundo cuántico.

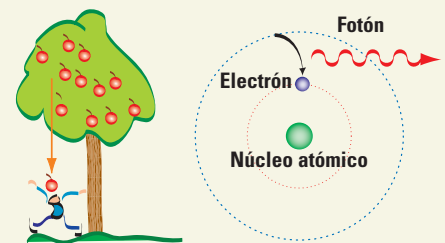
También los átomos únicamente pueden recibir (absorber) o entregar (emitir) luz en "porciones de energía". En 1913 el físico danés Niels Bohr desarrolló un modelo atómico,

con el que explicó por primera vez este comportamiento: los electrones vuelan sobre órbitas fijas en torno al núcleo atómico. Cuando la luz incide sobre el átomo, un electrón puede absorber un fotón y saltar a una órbita superior gracias a su energía o, a la inversa, también puede caer a una órbita inferior. En tal caso vuelve a emitir como fotón la energía que libera: el átomo se ilumina.

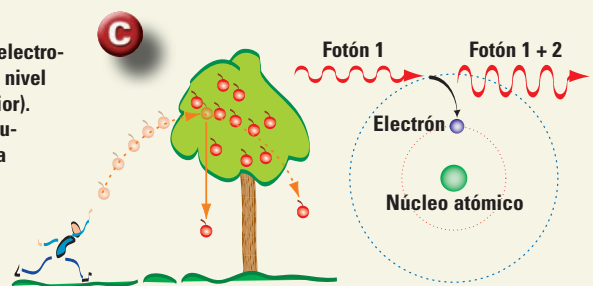
ELECTRONES SALTARINES

Lo decisivo del **modelo atómico de Bohr** era la "cuantificación" de las órbitas de los electrones. Éstas constituyen una escalera de energía con peldaños fijos, entre los que no hay órbitas. Los electrones sólo pueden ascender y descender por esta escalera dando saltos cuánticos. Para ello la energía de los cuantos de luz absorbidos o emitidos debe adecuarse a la distancia entre los peldaños. La energía de un fotón se expresa por su longitud de onda o su frecuencia, vale decir, por su color. Cada tipo de átomo cuenta con su propia escalera de energía, cuyos saltos cuánticos corresponden a luces de colores característicos. Si bien la física cuántica actual emplea modelos atómicos más modernos, estos presentan estados cuánticos con energía fija igual que el primer modelo de Bohr.

Cuando una fuente de luz "clásica" como el sol o una lámpara incandescente ilumina, produce un "puré óptico" de muchas frecuencias de luz, direcciones y polarizaciones (los físicos llaman polarización a la dirección de oscilación del campo lumínico). Diferentes tipos de átomos con distintas transiciones cuánticas emiten fotones de múltiples fre-



Emisión espontánea



Emisión inducida

▶ En la **emisión espontánea**, los electrones caen de forma imprevisible al nivel energético inferior (imagen superior). Los láseres utilizan una **emisión inducida** en la que un fotón 1 que pasa volando, "derriba" puntualmente el electrón de un átomo, cayendo este al nivel energético inferior. El fotón 2 liberado oscila al mismo ritmo que el fotón 1 (imagen inferior).

→ los fotones que pasan encontrarán suficientes electrones para derribarlos.

Cuanto más corta deba ser la longitud de onda de la luz que emite el láser, a más exigencias estará su construcción, porque a medida que se reduce la longitud de onda, se incrementa la energía de los fotones y, por ende, también el salto cuántico en la transición láser. Cuanto más alto el peldaño superior en comparación con el inferior, tanto más sensible es la reacción de los electrones a la emisión espontánea que la sabotea. Más electrones caerán fuera del sincronismo con el campo luminoso y menos en el ritmo de la emisión inducida. Por eso, los primeros láseres iluminaban en el margen espectral rojo o infrarrojo de onda larga. Cuando el japonés Shuji Nakamura presentó en 1995 el primer diodo láser de color azul, fue una sensación. Más corta aún es la longitud de onda del láser de rayos X en cuyo desarrollo continúan trabajando los físicos (<http://xfelinfo.desy.de/de/projekt/2/index.html>).

También existen láseres que rompen con todas las reglas tradicionales. No irradian haces de luz de onda larga en colores puros, sino que producen pulsos extremadamente cortos que sólo destellan durante unos pocos femtosegundos o inclusive attosegundos. Un femtosegundo es la milmillonésima parte de un segundo y un attosegundo sólo es una milésima parte de este lapso inimaginablemente breve. Actualmente, el récord de 250 attosegundos para el pulso más breve lo sustenta un equipo de Ferenc Krausz del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica con sede en Garching. Con estos brevísimos relámpagos, Krausz quiere reflejar el comportamiento de los electrones en los átomos o en las moléculas (**Fig. A**). Este sería un paso importante para comprender las reacciones químicas.

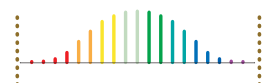
UNA REGLA DE LUZ PURA

Otro láser de pulso corto que cobró notoriedad fue desarrollado por Theodor W. Hänsch junto con sus colaboradores Thomas Udem y Ronald Holtzwarth, también del Instituto Max Planck de Óptica Cuántica. Este láser emite un sinnúmero de pulsos breves de luz consecutivos que nosotros percibimos como luz blanca de radiación continua, pero que es radicalmente diferente de la luz igualmente blanca de la lámpara incandescente. Su espectro consiste en cientos de miles de líneas de color separadas, extremadamente delgadas (**Fig. E**). Ellas subdividen el espectro visible desde el rojo oscuro hasta el violeta en

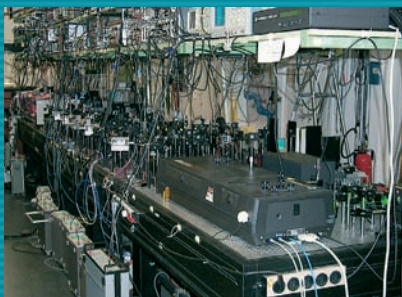
E

▶ El peine de frecuencias subdivide el espectro visible de la luz en muchas líneas de color, alineadas en forma precisa unas junto a otras. Aquí sólo se han trazado unas pocas líneas, aunque en realidad son cientos de miles.

Peine de frecuencias:



Espectro de luz:



▶ El primer prototipo del peine de frecuencias en el Instituto Max Planck de Óptica Cuántica en Garching.



▶ La empresa MenloSystems fundada a partir del Instituto, hoy fabrica peines de frecuencia del tamaño de una caja de zapatos.

una "escala" precisa. Puesto que estas líneas se agrupan como los dientes de un peine ultra fino, este equipo láser se denomina **peine de frecuencias ópticas**. Por fin, esta lámpara mágica diseñada en Garching resolvió un gran problema de la física. Hasta su invención no había un equipo que en la práctica fuera capaz de medir la frecuencia de la luz - es decir, su color - en forma directa y precisa. En principio, la medición de frecuencia consiste sencillamente en contar las oscilaciones en un intervalo de tiempo fijo. ¡Pero un espectro visible oscila casi mil billones de veces por segundo! Debido a que es demasiada velocidad para cualquier sistema electrónico, los físicos tuvieron que valerse de un atajo práctico: con interferómetros midieron la longitud de onda en lugar de medir la frecuencia de la luz. En teoría, ambas magnitudes están relacionadas, pero lamentablemente la medición de la longitud de onda siempre es menos precisa que la de la frecuencia.

La clave para resolver este problema provino de una propiedad especial de las líneas espectrales del peine de frecuencias: dos líneas contiguas sólo presentan una pequeña diferencia de frecuencia. Su superposición arroja una interferencia de oscilación relativamente lenta de "tan sólo" algunos cientos de millones de oscilaciones por segundo. Funciona como en el caso de dos tonos musicales prácticamente idénticos que se superponen para obtener un sonido común que se incrementa y decrece lentamente. Mediante un truco, los físicos de Garching acoplan estas interferencias ópticas para

obtener un "engranaje" de luz que reduce las veloces oscilaciones lumínicas a oscilaciones de microondas mucho más lentas, de modo que un sistema electrónico las puede contar. El peine de frecuencias ópticas permite medir la frecuencia de cada tono de luz. Y tiene una sensacional precisión, es unas cinco magnitudes más preciso que las mejores mediciones de longitud de onda. También provee los "equipos de relojería" para los nuevos relojes ópticos en los que están trabajando muchos grupos de investigadores. Estos relojes poseen un tic-tac cien mil veces más rápido que los actuales relojes atómicos de cesio, permitiendo así una medición del tiempo mucho más exacta, y por ende, por ejemplo, una navegación satelital mucho más precisa.

Theodor Hänsch recibió el Premio Nobel de Física en 2005 junto con los dos estadounidenses Roy Glauber y John Hall. El láser ya ha iluminado el camino de muchos físicos hacia el máximo galardón.

PIE DE IMPRENTA

Sociedad Max-Planck, Departamento de Información y Relaciones Públicas, Hofgartenstraße 8, 80539 München / e-mail: presse@gv.mpg.de

Redacción: Dra. Christina Beck

Texto: Roland Wengenmayr

Traducción: Astrid Wenzel

Diseño: www.haak-nakat.de

La versión en español se hizo con el apoyo del DAAD y con fondos del Ministerio de Relaciones Exteriores de Alemania.

DAAD Deutscher Akademischer Austausch Dienst
Servicio Alemán de Intercambio Académico



SIEMENS

