

En sintonía con la luz

Físicos usan láser para sincronizar osciladores microscópicos que funcionan como los péndulos de los relojes

PUBLICADO EN FEBRERO DE 2013

Al colgar en una misma tabla de madera dos relojes de péndulo, uno junto al otro, el famoso científico holandés Christiaan Huygens reparó, en 1665, que los mismos tendían rápidamente a marcar al unísono, aunque sus péndulos, inicialmente, se balancearan asincrónicamente. Este experimento hoy mismo sorprende (busque *synchronization* en el sitio *web* de YouTube y observará varias demostraciones curiosas de ese fenómeno), si bien ya no hay misterio alguno al respecto de cómo ocurre la sincronización espontánea de los relojes. Actualmente, los físicos logran calcular muy bien cómo interactúan los relojes mediante las vibraciones mecánicas intercambiadas a través de la tabla que acaban por forzar que ambos oscilen de la misma manera.

Casi 350 años después, el experimento de Huygens acaba de ser reproducido en el mundo microscópico, utilizando, en lugar de los péndulos, dos osciladores tallados en un microchip de silicio. Cada oscilador tiene 40 milésimas de milímetro de diámetro, o 40 mil nanómetros. Son tan pequeños y flexibles que vibran balanceados por la tenue fuerza aportada por la luz de un haz de láser con una potencia mil veces menor que la de un puntero de láser común. Y lo que es más sorprendente, la propia luz intercambiada entre los osciladores cumple el rol de la placa de madera, sincronizando sus vibraciones.

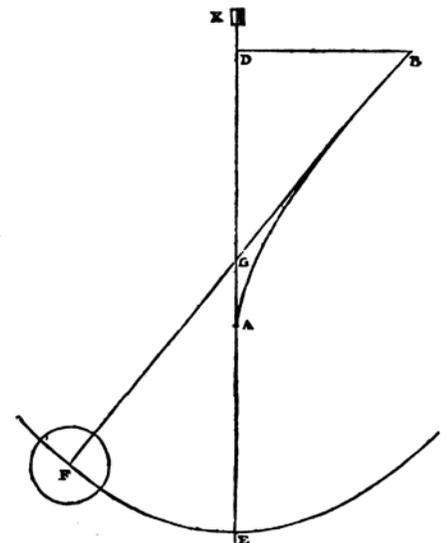
Esa hazaña forma parte del trabajo de un equipo de investigadores de la

Universidad Cornell, Estados Unidos, liderado por la física estadounidense Michal Lipson, que contó con la participación del brasileño Gustavo Wiederhecker, quien desde 2011 es profesor en el Instituto de Física de la Universidad de Campinas (Unicamp). Otros grupos ya habían construido microosciladores sincronizados por pequeñas conexiones mecánicas. “Fuimos los primeros en mostrar que es posible inducir sincronismo utilizando tan sólo luz”, dice Wiederhecker. “Teníamos una idea de lo que podría hacerse, pero no era obvio que fuera posible”.

Más que una mera curiosidad, la demostración presentada como artículo de tapa en la revista *Physical Review Letters* del 5 de diciembre pasado sugiere que los denominados microosciladores optomecánicos pueden formar la base de una nueva tecnología portátil para medir el tiempo con extrema precisión, necesaria para que las computadoras, los celulares y los sistemas de navegación funcionen correctamente.

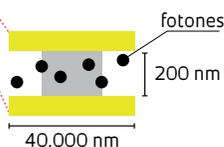
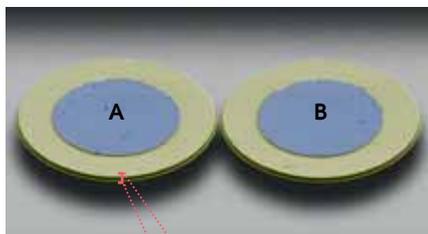
En general, esos dispositivos portátiles utilizan como relojes internos la vibración regular de pequeños cristales de cuarzo, impulsados y sincronizados mediante señales eléctricas. Su precisión es buena, pero la industria microelectrónica siempre está buscando alternativas, puesto que los cristales deben fabricarse en forma separada de los microchips de silicio para después soldarse en ellos, lo que eleva el costo de producción. En tanto, los microosciladores desarrollados

Dibujo extraído del libro *Horologium oscillatorum*, de 1673, en el que Christiaan Huygens describe el movimiento pendular, también observado en los bordes de los osciladores microscópicos

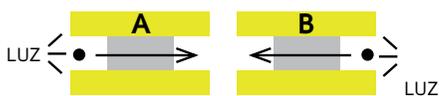


Intercambio láser

Livianos y flexibles, los discos microscópicos de silicio vibran debido a la fuerza ejercida por la luz

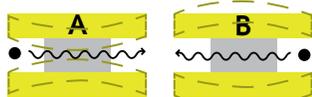


1 REPOSO



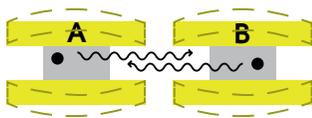
Un haz continuo de luz láser incide en los discos de modo tal que la luz con una longitud de onda específica penetra en el espacio entre ellos

2 OSCILACIÓN



La luz presiona sobre la superficie de los discos, fuerza un aumento del espacio y escapa. De ese modo, los discos vibran y emiten pulsos lumínicos

3 SINCRONÍA



La luz emitida por el par de discos de la izquierda ingresa por el espacio entre el par de discos de la derecha, y viceversa, sincronizando sus vibraciones

por el equipo de Lipson, contruidos con nitrato de silicio, podrían manufacturarse junto con el resto de la estructura interna de los microchips, sin costo adicional. “Cualquier fábrica en el mundo sería capaz de ejecutar el proyecto”, sostiene Wiederhecker.

La investigación comenzó en 2008, cuando, interesado en investigar cómo podría utilizarse la luz para impulsar las partes de un mecanismo microscópico en un chip de silicio, Wiederhecker inició su posdoctorado en Cornell, bajo la supervisión de Lipson. Para 2009, el físico brasileño firmaba como primer autor un artículo en la revista *Nature*, revelando, por vez primera, que era posible fabricar una microestructura que vibrase regularmente al ser activada por la energía lumínica en una longitud de onda específica. En 2011 el equipo registró la patente de un filtro basado en ese dispositivo, capaz de discriminar señales lumínicas de telecomunicaciones enviadas por fibra óptica en varias longitudes de onda.

PULSOS SINCRÓNICOS

En el trabajo más reciente, los investigadores desarrollaron osciladores dobles. Cada uno de ellos está formado por un par de discos superpuestos, separados por 0,2 millonésimas de milímetro –200 nanómetros– (vea la infografía). Los discos vibran cuando un haz de luz láser con intensidad constante envía continuamente una luz con la longitud de onda adecuada para entrar en el espacio existente entre los discos. Cuando eso ocurre, las partículas de luz se mueven alrededor del borde de los discos y ejercen presión contra sus paredes, haciéndolas separarse. Con la expansión del espacio existente entre los discos, la luz escapa y los bordes de los discos regresan a su posición original. Entonces la luz proveniente del láser ingresa en el espacio y el ciclo recomienza. El resultado es un par de discos que oscilan con una frecuencia constante que emite una señal lumínica que pulsa en la misma frecuencia.

Los físicos descubrieron que, dispuestos uno al lado de otro, dos de esos osci-

ladores podrían, en ciertas condiciones, interactuar por medio de esos pulsos de luz. Con la frecuencia vibratoria correcta, el destello emitido por un oscilador puede acabar ingresando en el espacio existente entre los discos del oscilador vecino. “Ese destello luminoso obliga al par de discos de la derecha a vibrar en la frecuencia del par de discos de la izquierda y viceversa”, explica Wiederhecker. “Eventualmente, ellos se unifican y vibran en sincronía, en una misma frecuencia intermedia”.

Wiederhecker construyó la primera versión del par de microosciladores en 2010. Luego, el físico Mian Zhang, del grupo de Lipson, desarrolló una técnica para conectar y desconectar la interacción entre osciladores, también mediante un haz de láser.

En opinión de Paulo Nussenzveig, experto en óptica cuántica de la Universidad de São Paulo, la ventaja de la sincronización por la luz reside en que permitiría la interacción entre una red de microosciladores tan distantes unos de otros como se desee, por medio de fibra óptica. “Aprecio mucho la calidad y la creatividad de ese trabajo”, dice.

Con un proyecto Joven Investigador de la FAPESP recientemente aprobado, Wiederhecker espera que su laboratorio de la Unicamp cuente con las condiciones para, el año próximo, realizar éstos y otros experimentos con dispositivos optomecánicos. Junto con el físico Thiago Alegre, su colega en la Unicamp, están interesados fundamentalmente en investigar lo que sucede cuando se enfría a los osciladores a temperaturas cercanas al cero absoluto (-273,16 grados Celsius) y las extrañas leyes de la mecánica cuántica pasan a controlar su dinámica. “¿Qué significa sincronizar objetos en el mundo cuántico?”, inquiera Wiederhecker. “Eso es algo que recién comenzamos a explorar”. ■

Igor Zolnerkevic

Artículo científico

ZHANG, M. et al. Synchronization of micromechanical oscillators using light. *Physical Review Letters*. v. 109, p. 233.906-10. 5 dic. 2012.