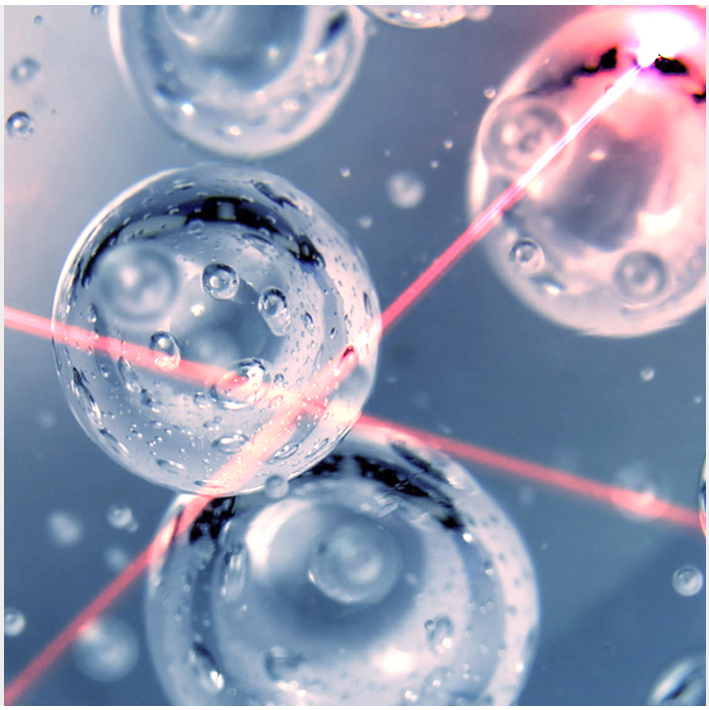
PINZAS ÓPTICAS, BURBUJAS Y MOTORES DE VAPOR

Posted on 14 septiembre, 2016 by Pedro Antonio Quinto Su



La luz láser puede utilizarse para atrapar y manipular objetos microscópicos debido a que posee energía y momento (masa x velocidad). Estas cantidades pueden transferirse cuando la luz se absorbe o al hacer que cambie de dirección...

Categories: Año internacional de la luz, Tecnología

Tag: Tecnología

La luz láser puede utilizarse para atrapar y manipular objetos microscópicos debido a que posee energía y momento (masa x velocidad). Estas cantidades pueden transferirse cuando la luz se absorbe o al hacer que cambie de dirección. Normalmente no percibimos los efectos que tiene la luz en el estado de movimiento de lo que nos rodea debido a que el momento que se transfiere es

muy pequeño como para que altere el de los objetos con los que interactuamos. Sin embargo, para objetos con dimensiones del orden de micras (10^{-6} metros) o menores, el efecto de la luz puede ser significativo. En general, su momento se encuentra en la dirección en la que se propaga, por lo que un apuntador láser puede utilizarse para empujar partículas microscópicas como motas de polvo u otros objetos microscópicos inmersos en un líquido.

Para atrapar y controlar pequeños objetos con luz láser basta con enfocarla. Este fenómeno se descubrió en 1970, cuando se observó que objetos microscópicos suspendidos en un líquido eran atraídos hacia el área donde la luz láser se enfocaba . A partir de entonces, se han desarrollado una gran variedad de técnicas ópticas para controlar y manipular desde objetos microscópicos hasta átomos. Sin embargo, el método más simple y más utilizado sigue siendo un láser enfocado. A esta técnica se le conoce comúnmente como pinzas ópticas .

Actualmente las pinzas ópticas son una de las técnicas de manipulación con luz más utilizadas en numerosas disciplinas de la ciencia debido a su fácil implementación y el hecho de que pueden utilizarse para atrapar y manipular sin necesidad de "tocar". Se han utilizado para atrapar células, medir propiedades mecánicas del DNA y en muchas otras aplicaciones. Comúnmente se atrapan microesferas con diámetros de 1 a 10 micras. Para darnos una idea del tamaño de las esferas, el ancho de un cabello humano es de alrededor de 100 micras, mientras que el diámetro de un glóbulo rojo en la sangre es de aproximadamente 8 micras.

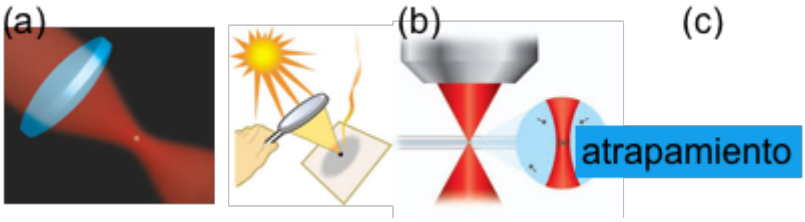


Figura 1. (a) Luz láser enfocada por un lente. (b) Luz del sol enfocada por el lente de la lupa. (c) pinza óptica, luz láser enfocada por objetivo de microscopio en una muestra de agua con micropartículas.

Para la implementación de las pinzas ópticas se utiliza un lente para enfocar la luz láser (Figura 1a), similar a lo que se hace cuando se usa una lupa para enfocar la luz del sol (Figura 1b). En el caso de las pinzas ópticas, el lente es en general un objetivo de microscopio que enfoca la luz dentro de un líquido que contiene los objetos que se van a atrapar (Figura 1c).

Las partículas microscópicas pueden ser atraídas hacia el lugar donde se enfoca la luz láser cuando éstas poseen un índice de refracción mayor al del líquido o del medio en el cual se encuentran inmersas, es decir, la velocidad de propagación de la luz debe de ser menor en el material de la partícula que en el líquido. Esto quiere decir que hay un cambio de velocidad cuando la luz pasa del líquido a propagarse dentro del objeto. De esta forma, cuando los rayos de luz pasan a través de los

objetos (asumiendo que no la absorben e ignorando reflexiones), salen en una dirección distinta, es decir, los objetos actúan como lentes microscópicos que desvían la luz. Este cambio de dirección tiene asociado un cambio en el momento de la luz (Figura 2), lo que genera una fuerza de reacción en la micropartícula (microesfera) en el sentido opuesto que la empuja hacia la región donde la luz se enfoca.

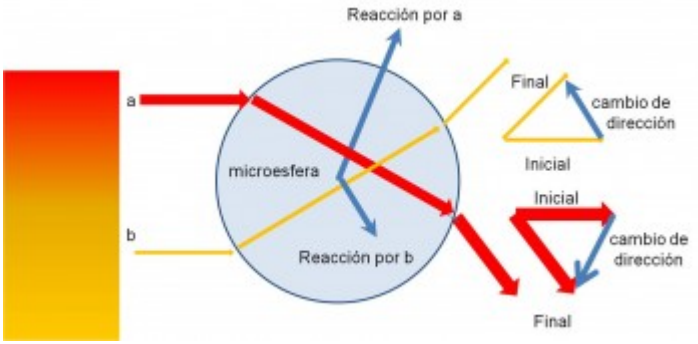


Figura 2. Microesfera atraída hacia la región donde la luz se enfoca (rojo)

La Figura 2 muestra una microesfera cerca de una región donde el láser se enfoca, esto quiere decir que hay más luz donde se enfoca (rojo) que en la periferia (amarillo). Se consideran dos rayos de luz que pasan a través de la microesfera, el primero cercano al foco se dibuja con flechas gruesas, lo que indica la mayor cantidad de luz, mientras que el segundo (más lejos del foco) se dibuja con flechas delgadas. El cambio de dirección de esos dos rayos de luz (cambio de momento) es simplemente la flecha que conecta, la que incide (horizontal), con la que sale (juntándolas en su origen). Ésta va a ser la dirección del cambio de momento en la luz, por lo que el cambio de momento en el objeto o dirección de la fuerza en la microesfera tiene la dirección opuesta. Debido a que la contribución de los rayos cerca del foco (a) es mayor que los de la periferia (b), la fuerza de reacción resultante apunta hacia donde se tiene una mayor concentración de rayos de luz. Esto tiene como resultado que los objetos son atraídos hacia la región donde la luz se enfoca. Sin embargo, al contrario de lo que comúnmente observamos, con una lupa concentrando la luz del sol en algún objeto que se calienta porque absorbe la luz, en general las microesferas no se calientan porque son transparentes a la luz del láser.

La fuerza que la luz puede ejercer con la técnica de pinzas ópticas es extremadamente pequeña, del orden de pico Newtons. Un Newton es la fuerza que la gravedad ejerce en un objeto de aproximadamente 100 gramos (por ejemplo: una manzana pequeña). La fuerza que ejerce la pinza óptica es 12 órdenes de magnitud menor, es decir, para que esa fuerza sea comparable a 1 Newton debería multiplicarse por un factor de 1,000,000,000,000.

Una de las limitaciones de las pinzas ópticas es que no se pueden ejercer fuerzas mucho mayores

Una de las limitaciones de las pinzas ópticas es que no se pueden ejercer fuerzas mucho mayores, o

fuerzas impulsivas aplicadas en una escala de tiempo corta. Es aquí donde surge la idea de un motor de vapor a partir de una pinza óptica. El objetivo es poder generar fuerzas mucho mayores en una pinza óptica por medio de explosiones microscópicas, de manera que la microesfera fuera desplazada por micro explosiones y por las fuerzas de la pinza óptica. Esto es similar a un pistón en el motor de un automóvil, sólo que en este caso la microesfera sería el pistón desplazado por explosiones y por fuerzas ópticas dentro del "cono de luz" del láser enfocado.

Una forma de generar explosiones en agua es utilizar el fenómeno de supercalentamiento, por medio del cual se puede calentar el líquido a temperaturas que superan el punto de ebullición (100 C al nivel del mar). Bajo algunas condiciones que dependen de la rapidez con la que se calienta el líquido y de la cantidad de impurezas en el mismo, es posible calentarlo más allá de su punto de ebullición manteniéndolo en estado líquido. Este es un estado inestable que al perturbarse regresa a un estado de equilibrio mediante una explosión de vapor.

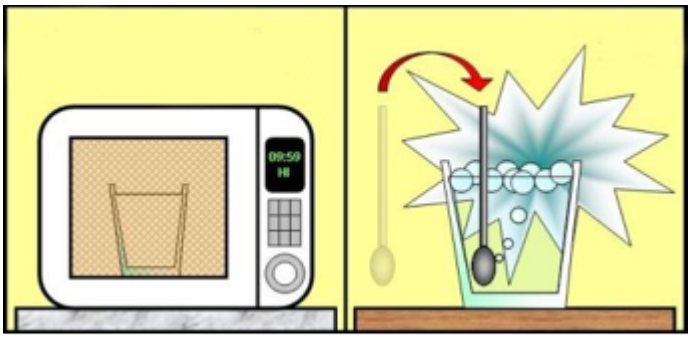


Figura 3. Supercalentamiento del agua

Actualmente es relativamente fácil supercalentar agua, sólo se necesita agua destilada y calentarla en un recipiente con paredes lisas en un horno de micro-ondas (Esto puede ser extremadamente peligroso, no lo intente).

La Figura 3 ilustra este tipo de experimentos. A veces, si el agua no explota dentro del horno, se puede retirar el recipiente con agua supercaliente y hacerla explotar al perturbarla.

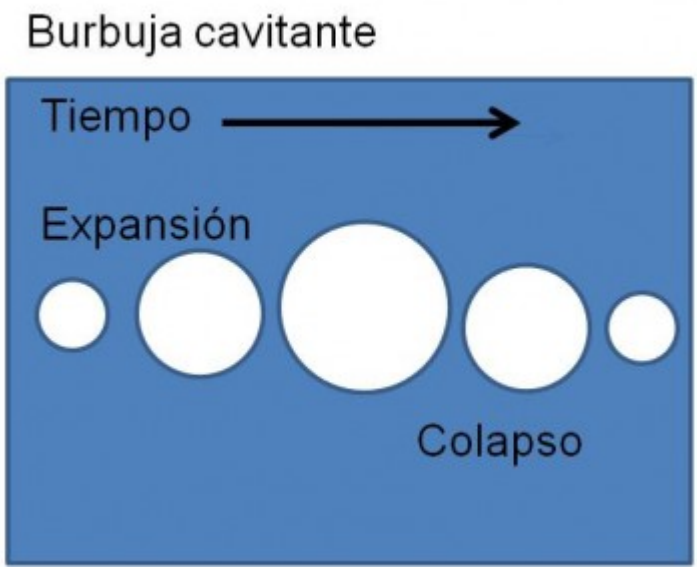


Figura 4. Expansión y colapso de explosión de vapor microscópica.

Dentro del líquido, si sólo un volumen pequeño se supercalienta, la explosión resulta en una burbuja de vapor que se expande con gran rapidez (Figura 4). La burbuja se expande contra la presión hidrostática del líquido (1 atmósfera) hasta que utiliza toda su energía y la expansión cesa. En ese momento la presión del líquido que rodea a la burbuja es mucho mayor a la del vapor en el interior, por lo que la burbuja colapsa violentamente y desaparece. Todo esto puede ocurrir en una escala de tiempo de microsegundos (10^{-6} segundos).

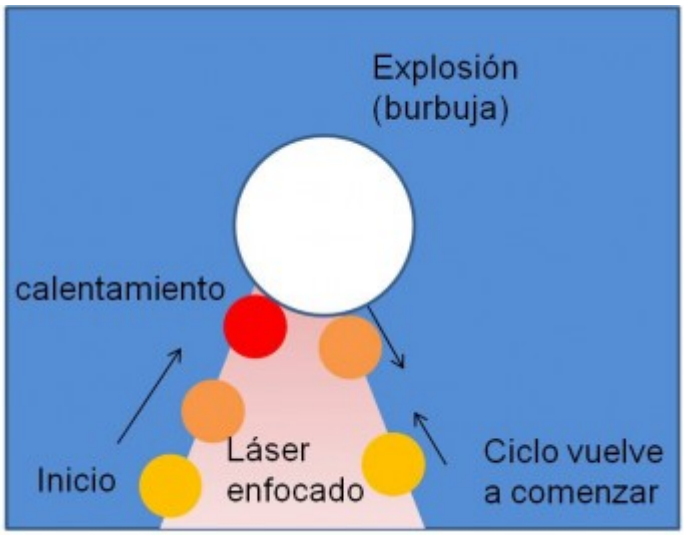


Figura 5. Motor microscópico de vapor en una pinza óptica

El motor microscópico de vapor utiliza una pinza óptica y microesferas (1 y 3 micras de diámetro) que son parcialmente opacas a

la luz del láser (al contrario de las que se utilizan en las pinzas ópticas tradicionales). Por esta razón, estas microesferas absorben luz en pequeñas cantidades, increment

ando su temperatura y la del agua que las rodea. Parte de la luz se sigue transmitiendo y sigue teniendo el efecto de atraer a las esferas hacia el foco. De este modo, al acercarse al punto

de mayor intensidad, donde la luz se enfoca, la microesfera supercalienta el líquido provocando una pequeña explosión de vapor que la empuja lejos del foco a una región dond

e la temperatura es mucho menor, y donde el láser vuelve a atraer la hacia el foco (Figura 5). Así que ésta comienza a acercarse de nuevo al lugar más intenso, se vuelve a calentar y

se repite el proceso.

El movimiento periódico de la microesfera, junto con la generación de explosiones de vapor, producen flujo de líquido en la periferia, por lo que este motor podría utilizarse para bombear líquido a escala microscópica utilizando luz. Las burbujas o explosiones se han utilizado para destruir y permeabilizar temporalmente la membrana de células. También se ha mostrado que es posible deformar células como glóbulos rojos y nanotubos de carbono para estudiar sus propiedades mecánicas. C^2

Referencias:

Ashkin, A. (1970). *Acceleration and Trapping of Particles by Radiation Pressure*. Phys. Rev. Lett. 24 (4): 156–159.

Ashkin A, Dziedzic JM, Bjorkholm JE, Chu S (1986). *Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric particles.* Opt. Lett. 11 (5): 288–290.

Quinto-Su, P.A., *A microscopic steam engine implemented in an optical tweezer*, Nature Communications, 5, 6889 (2014).