CONDENSADOS DE LUZ LIQUIDA

Humberto Michinel Alvarez

Área de Óptica. Universidade de Vigo.

1. INTRODUCCIÓN

Fue Albert Einstein quien en su "annus mirabilis" 1905 propuso por primera vez la idea de que la luz era un gas de partículas, hoy conocidas como fotones. Calculó la entropía de dicho gas y propuso que la radiación electromagnética existía en forma de paquetes discretos de energía hoy conocidos como fotones.

Si tenemos en cuenta que los gases se pueden licuar, de la idea de Eintein surgen dos preguntas sencillas: ¿Es posible licuar un gas de fotones? y ¿Cómo hacerlo? La respuesta no es trivial dado que las propiedades de las partículas de luz son diferentes de las de la materia ordinaria.

En primer lugar, los fotones no tienen masa en reposo, por lo que, en el vacío, se propagan a la velocidad de la luz c. Además, también en el vacío, no interactúan entre si, por lo que no ejercen fuerzas tipo Van der Vaals como los gases. Por ello nadie se había planteado la posibilidad de licuar el gas de luz.

Sin embargo, existen materiales ópticos en los que su índice de refracción es tal que puede crear fuerzas aparentes entre los fotones. Dichos materiales se denominan materiales ópticos no lineales y en ellos el índice de refracción depende de la intensidad de la luz en la forma $n = n(I)$. El caso más simple es el de los materiales denominados

"tipo Kerr", que presentan el denominado efecto Kerr, o dependencia lineal del íncide de refracción con la intensidad en la forma: $n = n_0 + n_2 I$, siendo n_0 el índice lineal (1.5 en vidrios de silicio) y n_2 el índice no lineal. En estos materiales un haz láser será autoenfocado debido a que la luz se propaga hacia las zonas de índice más elevado. Dado que un haz láser presenta más intensidad en el centro de su spot que en los bordes, el índice de refracción será mayor en el centro por lo que la luz se dirigirá hacia ahí. Resulta entonces que un haz de luz láser intenso, al propagarse en un material no lineal, sufre lo que se denomina colapso (fenómeno análogo al proceso por el que una estrella masiva acaba generando un agujero negro).

Si no existe ningún mecanismo que haga disminuir el índice con la intensidad, el colapso provoca el autoenfoque de la luz a un punto y el consiguiente quemado del material óptico. No obstante, existen mecanismos de saturación que conllevan índices de la forma $n = n_0 + n_2 I - n_4 I^2$. En este caso, para intensidades relativamente bajas n aumenta, disminuyendo para intensidades altas. De este modo se consigue que se detenga el proceso de colapso y el haz de luz adquiere un estado estacionario.

Las propiedades de la luz láser en este estado estacionario se pueden simular numéricamente y tienen grandes similitudes con las de los líquidos cuánticos. Presenta tensión superficial y pueden formarse remolinos que permanecen eternamente ya que no existe disipación.

La creación de materiales con las propiedades anteriores que no presenten absorción y para luz de baja intensidad (láseres de mW) puede conseguirse con técnicas de

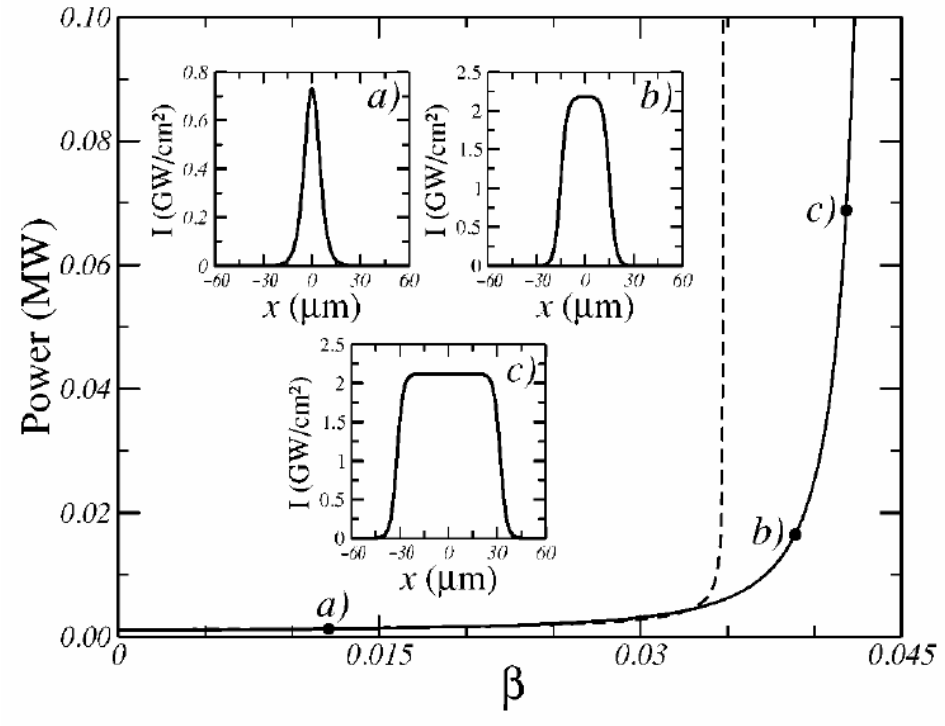
interferencia cuántica coherente denominadas "transparencia inducida electromagnéticamente".

2. MODELO FÍSICO.

En aproximación paraxial, la dinámica de un haz de luz linealmente polarizado en un material cuyo índice de refracción depende de la intensidad de la luz del modo $n = n_0 + n_2 I - n4_2 I^2$ viene dada por una ecuacion de la forma:

$$2ikn_0\frac{\partial\Psi}{\partial z}+\nabla_\perp^2\Psi+2k^2n_0(n_2|\Psi|^2-n_4|\Psi|^4)\Psi=0,$$

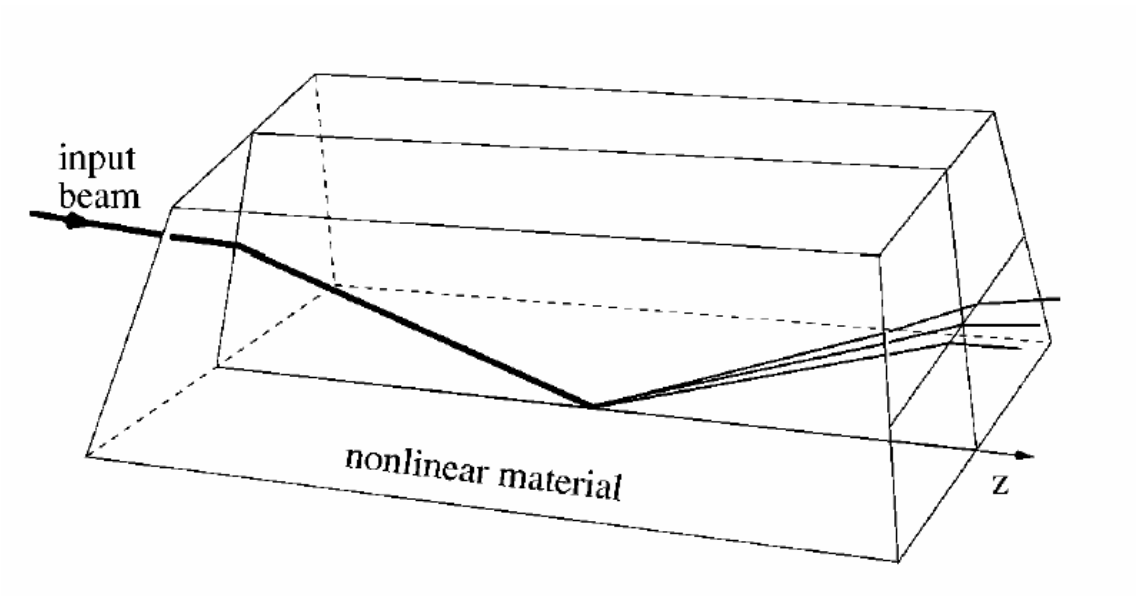
Siendo k el número de onda, Ψ la envolvente del campo y ▽ el operador laplaciano transversal. Dicha ecuacion admite soluciones estacionarias de la forma que se indica en la siguiente figura:



Como puede observarse, variando la constante de propagación, β, se obtienen soluciones estacionarias para distintos valores de la potencia P. La característica más remarcable de estas soluciones es que para valores altos de P la forma de dichas soluciones es la de una distribución aproximadamente constante que decae bruscamente a una cierta distancia. Esa es la forma que se esperaría en el caso de tener un líquido en el que la densidad permanece constante dentro del mismo y decae bruscamente en la frontera. En el caso de haces de baja potencia, la forma de los estados estacionarios es próxima a la de una nube, que es lo esperable para la luz en estado gaseoso.

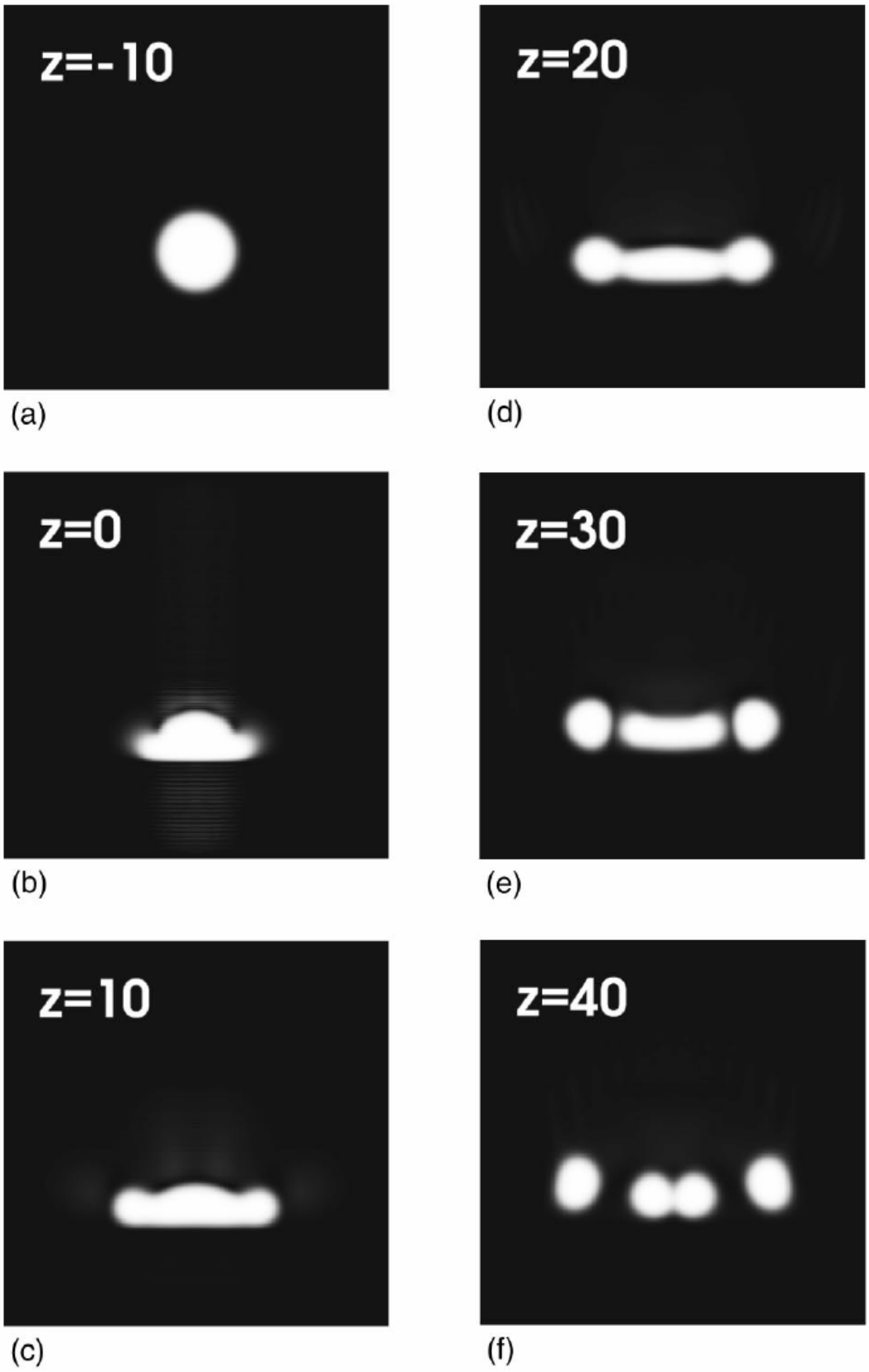
3. TENSIÓN SUPERFICIAL DE LA LUZ.

Una de las propiedades características de los líquidos es la existencia de tensión superficial. En el caso de la luz, ésta puede ponerse de manifiesto en un "experimento metal" de reflexión total interna, tal y como se muestra en la figura:



El resultado de esta interacción se puede simular por ordenador utilizando métodos numéricos conocidos como el método de Fourier de paso dividido (split-step Fourier). Lo que sería esperable en el caso de que la luz se comportas como un líquido sería la

formación de pequeñas "gotas de luz" tal y como se muestra en la siguiente serie de secciones transversales del haz:



Las imágenes corresponden a distancias z en micras tomadas respecto al punto de colisión. Puede apreciarse un comportamiento totalmente análogo al que tendría lugar en el caso de una gota que cae sobre una superficie plana.

4. CONCLUSIONES

Las propiedades de la luz laser en materiales que presentan una cierta dependencia del índice de refracción con la intensidad son análogas en cuanto a la existencia de tensión superficial a las de líquidos usuales.

La potencia necesaria para demostrar experimentalmente este efecto se encuentra en el rango de los láseres de Nd:Yag pulsados que se usan habitualmente en óptica no lineal. Encontrar materiales con una dependencia adecuada del índice de refracción y baja absorción en ciertas longitudes de onda es el reto pendiente para conseguir la demostración expermental de estos fenómenos.