

C E S E D E N

EL LASER AL SERVICIO DE LA DEFENSA NACIONAL

De la Revista "Forces Aériennes
Françaises" enero de 1.971).
(Traducido por el TCol. de Avia
ción DEM don Ramón Salto Pérez)



Mayo, 1971

BOLETIN DE INFORMACION NUM. 55 - IX

INTRODUCCION

La aparición de los LASERS (sigla de Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) (1), en 1958, parece que ha constituido un acontecimiento de importancia en la evolución de las ciencias y de las técnicas. Aunque aún no disponemos de la perspectiva suficiente para poder formar un juicio objetivo, el volumen de las publicaciones especializadas, que se han consagrado a este tema, no deja lugar a dudas. Es natural que un fenómeno que se encuentra colocado en el punto de contacto de tres disciplinas tan importantes como la óptica, la física de los sólidos y la electrónica, y cuya explicación dimana de la mecánica cuántica, impresione profundamente el pensamiento de los investigadores y los ingenieros.

El origen de la teoría de este fenómeno hay que fijarlo en 1917, cuando A. Einstein facilitó la explicación de un nuevo mecanismo físico: la emisión estimulada. Hacia 1950, la evolución de la radio-electricidad por una parte, y de la óptica por la otra, iban a desembocar en una fecunda confrontación de estas dos disciplinas en el campo de la espectroscopia. Las ondas hertzianas alcanzaban unos pocos milímetros de longitud de onda, mientras que del análisis espectroscópico clásico, de las formas visibles, se pasaba al infra-rojo, alcanzándose también, los milímetros de longitud de onda. Con esto se consiguieron dos ventajas; la de acostumbrar a los investigadores a la analogía profunda entre las hiperfrecuencias y las ondas visibles o infra-rojas y la de preparar el terreno para investigaciones posteriores en las que se estudiarán, en un amplio campo de frecuencias, las diferencias energéticas que caracterizan a los cuerpos.

En esta misma época, el físico francés KASTLER, mostró la posibilidad de invertir las poblaciones de los niveles energéticos, lo cual constituye, como veremos mas adelante, la condición necesaria para que pueda producirse la "emisión estimulada"

En 1958, después de que el MASER (Microwave...) de gas amoníaco hubo oscilado en hiperfrecuencias, AL SCHAWLOW y Ch.TOWNES

(1) N.del T.- En inglés en el original.

expusieron la teoría del maser óptico, o laser, proponiendo la introducción de la cavidad de hiperfrecuencias de los masers, del interferómetro de "Perrot y Fabry". Se tardó hasta 1960, para producir, por vez primera, en una experiencia de Th. MAIMAN, una onda coherente visible, con la ayuda de un rubí sintético.

En el período de evolución en que nos encontramos, es difícil prever el desarrollo que podrá tener este descubrimiento; in tentaremos, no obstante, después de haber descrito los principios de estas nuevas fuentes ópticas coherentes, y de pasar revista a los lasers que existen en la actualidad, imaginar, a partir de las utilizaciones presentes y de las que están proyectadas, las que podrían aplicarse al campo militar.

* * *

FUNCIONAMIENTO

Examinaremos sucesivamente los principios básicos que permitan comprender de forma sumaria el funcionamiento del laser, y después una operación paralela, sin la cual el laser no podría funcionar: el "penduleo".

Principios de funcionamiento:

La emisión estimulada, que es la base del efecto LASER, tiene su origen en un sistema cuantificado donde se distinguen, por lo menos, dos niveles de energía E_0 y E_1 . La absorción, por este sistema, de un fotón de frecuencia f , se caracteriza por el paso de la energía E_0 a la energía E_1 y el acrecentamiento de energía potencial tiene por valor $E_1 - E_0 = h.f$.

La mayoría de las partículas que componen el sistema, se encuentran, cuando existe equilibrio termodinámico, en el nivel de energía más bajo E_0 . Diremos que el sistema está excitado, si, por un medio cualquiera, llevamos más partículas a la energía superior E_1 que las que permanecen en la energía E_0 .

Un sistema así es metaestable y la llegada de un fotón exterior de frecuencia $(f = \frac{E_1 - E_0}{h})$ va a desencadenar, por reacción en cadena, la recaída de las partículas a la energía inferior y va a liberar tantos "cuantos h.f." como partículas existen en el origen de esta emisión estimulada o inducida. Hay también una amplificación del fotón incidente.

Se podría crear, gracias a un circuito de reacción, una desexcitación en cascada, que volvería a llevar al sistema al estado estable por la emisión brutal en frecuencia f de toda la energía acumulada en el estado excitado.

Es necesario, como en el caso de un oscilador clásico, adjuntar un circuito resonante, en la frecuencia f , lo cual conduce, en el caso de las hiperfrecuencias utilizadas aquí, a realizar una cavidad resonante, cuya frecuencia f es uno de los modos (o sea, una frecuencia tal que no se amortigüe a causa de la combinación de todas las señales reflejadas en las paredes).

Si no existe esta desexcitación provocada, el almacenaje de energía no dura mucho tiempo (3 milisegundos en el caso del rubí) y se termina por la re-emisión, en una dirección cualquie-

ra, de un fotón con la misma energía que el primero; es lo que se llama emisión "espontánea" o "fluorescencia".

Obtenemos así, gracias al fenómeno de emisión "estimulada", debida a la desexcitación en cadena en un medio "circuitado" de las partículas excitadas por la absorción de fotones librados por el sistema del "penduleo", una luz mucho más monocromática que todas las obtenidas anteriormente por otros medios.

El penduleo:

Hemos dicho que las poblaciones estaban invertidas, lo cual quiere decir que hemos llenado el nivel excitado 1, a expensas del nivel fundamental 0. Ahora bien, la obtención de esta inversión es, en la práctica, muy difícil y de ella depende, en general, la posibilidad de realizar la emisión estimulada. Existen diferentes procedimientos que van a permitir poblar el nivel excitado E_1 . Todos ellos tienen en común que, para llegar a un resultado habrá que utilizar, por lo menos, tres niveles de energía del cuerpo elegido.

Los diferentes valores de energía del átomo, corresponden a órbitas descritas por los electrones, que estén más o menos alejadas del núcleo. Estos niveles de energía caracterizan el átomo considerado. Un estudio completo nos hubiera permitido constatar que, si consideramos dos niveles de energía E_i y E_j y enviamos sobre este cuerpo una radiación de frecuencia f_{ij} tal que:

$$h \cdot f_{ij} = E_i - E_j$$

existen las mismas probabilidades de que los átomos en el estado E_j pasen al estado E_i por absorción o, recíprocamente, que de estado E_i pasen al estado E_j por emisión estimulada.

Esto implica que si deseamos la amplificación de una señal f incidente, con una ganancia constante, la transición $E_i \rightarrow E_j$ deberá ser en sentido único, o sea en el único sentido de "desexcitación".

Para ello se acude a cuerpos que tengan, aparte del nivel fundamental, varios otros niveles excitados; hará falta, además, que la duración de la vida de las emisiones espontáneas entre dichos niveles tenga valores diferentes. En el caso del laser de tres niveles, el penduleo se hace en la frecuencia correspondiente a la transición entre los niveles extremos; una fluorescencia muy rápida hace recaer los átomos en el nivel de energía intermedio; la emisión estimulada se producirá entre este nivel y el fundamental.

Pueden distinguirse los penduleos siguientes:

a). El penduleo óptico: la energía de péndulo se proporciona por una lámpara flash de muy alta potencia que ilumina todos los átomos del cuerpo elegido.

b). El penduleo por excitación electrónica: los gases que tratamos de excitar están a baja presión para que no exista ensanchamiento de las franjas de los niveles de energía, por interacciones entre los átomos vecinos. Si se les somete a un campo eléctrico lo suficientemente fuerte, estos átomos quedan ionizados y los electrones que se liberan por esta causa, adquieren energía cinética. Al chocar con los átomos, se libera una parte de esta energía eléctrica en provecho de la excitación de los átomos. La energía que se puede suministrar por este procedimiento, (centenares de electrones-voltios) es muy superior a la que se podría proporcionar a un átomo por iluminación; un fotón de luz violeta, posee, en efecto, una energía de 3CV. Pueden también mencionarse las colisiones de los átomos con partículas de gran energía como, por ejemplo, las partículas que provienen de los cuerpos radiactivos.

c). El penduleo por transferencia de excitación: en algunos casos es más fácil y más rentable el llevar el átomo activo al estado E_1 suministrándole la energía necesaria, gracias al choque con otro átomo. El átomo que proporciona la energía puede, él mismo, haber sido excitado por unos de los métodos precedentes. El laser Helio-neón constituye la aplicación más extendida; el neón, en su transición emite la radiación laser, el helio provoca la inversión de la población del neón por transferencia de excitación; el penduleo del helio es una excitación electrónica.

d). El penduleo químico: las reacciones químicas, dentro de la medida en que puede preverse y controlarse su desarrollo, permiten suministrar energía a un átomo o una molécula. En el estado actual de nuestros conocimientos, solo algunas reacciones parecen disponer de un flujo de átomos excitados suficiente para mantener la oscilación; ya veremos que el porvenir de los laser de gran potencia se basa en este tipo de penduleo. El más extendido utiliza la reacción:



y mantiene durante 10 a 20 microsegundos una oscilación de 10 Watos a 3,8 micrones de longitud de onda.

REALIZACIONES PRACTICAS

La prospección de cuerpos que poseen una franja Δf , muy fina, conduce a la investigación de átomos dispersos, a falta de los cuales las interacciones ensanchan sus niveles de energía. Se acudirá entonces a los gases de baja presión, como ya dijimos, o a cuerpos diluidos en el seno de un medio tapón, que será de preferencia un cristal, que pueda recibir los átomos activos en -- sustitución de sus propios átomos. Así ocurre con las tierras raras ionizadas. Es importante, naturalmente, que el medio tapón sea muy transparente a las frecuencias del laser y del péndulo.

Entre los lasers existentes podríamos citar:

a). Los lasers de sólidos: uno de los materiales más utilizados para los lasers y los masers es el rubí, que es un corindón que contiene trazas de cromo y que cristaliza en el sistema trigonal. En un laser, se presenta bajo la forma de un pequeño bastoncillo de 4 cm. de largo y de 0,5 cm. de diámetro y que está rodeado por un tubo flash cuya iluminación constituye la radiación de péndulo. En esta iluminación se encontrarán, efectivamente, las frecuencias necesarias para los lasers de 6.943 angströms. Una cavidad óptica, formada por dos espejos colocados a ambos lados del rubí y en el eje del mismo, permitirá a toda radiación que se origine en cualquier punto del cristal, que:

- se amplifique a través de éste,
- se refleje en uno de los espejos,
- regrese al cristal y se amplifique de nuevo en éste,
- se refleje de nuevo,
- se amplifique nuevamente, y así sucesivamente.

Como ya vimos, esta cavidad óptica resonante es un interferómetro de Perrot y Fabry donde sólo pueden subsistir las longitudes de ondas que corresponden a un sistema de ondas estacionarias entre los dos espejos, uno de los cuales es parcialmente -- transparente (1%) para permitir que la radiación salga del generador.

Para conseguir un laser disparado, se añade a este sistema, un espejo escamoteable o un obturador electrónico del tipo "célula de Kerr", a fin de cerrar el circuito de reacción, en el momento oportuno en el que la inversión de las poblaciones es más acentuada, y obtener así una impulsión gigante y muy nítida.

En vez del rubí se utiliza el neodime (Nd^{3+}) o el disprosio (Dy^{2+}) que son iones de tierras raras incorporados bajo forma de óxido con una concentración del 3 al 6% a un cristal de silicato o de borato, o bien como substitutos en las redes cristalinas, tales como la fluorina CaF_2 , el tungstato de calcio WO_4Ca , o el granate de itrio y de aluminio $\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$ más conocido bajo el nombre de YAG.

Si estos lasers, esencialmente, funcionan por impulsos, también funcionan en régimen continuo; va uno a tropezar entonces con los dos obstáculos siguientes, que fijan el umbral "tecnológico", a partir del cual no se puede aumentar la potencia de emisión.

- El flujo luminoso del penduleo no puede exceder las posibilidades de las lámparas de emisión continua.
- La conductividad térmica, relativamente débil del material amplificador, evacúa difícilmente la energía suministrada por el penduleo. Existe una temperatura de equilibrio que no hay que sobrepasar, bajo pena de deformaciones, y como consecuencia, ensanchamiento de la franja de fluorescencia y por último del cese de la oscilación.

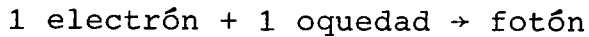
b). Los lasers de gas: la concepción del circuito de reacción es idéntica a la de los lasers de sólidos, pero el cristal de rubí lo substituye un medio amplificador gaseoso. El sistema más corriente utiliza una mezcla de helio y de neón y el penduleo por transferencia de excitación. La emisión se hace en 1,15 micrones de longitud de onda.

La homogeneidad del medio gaseoso permite excelentes características en cuanto a estabilidad, finura de las franjas y directividad del haz. La ionización que se efectúa por una descarga eléctrica, permite igualmente un funcionamiento continuo, pero con potencias de salida relativamente débiles. Una prospección sistemática de gran número de materiales gaseosos, ha permitido obtener la oscilación laser en un gran número de transiciones. Una de ellas, conseguida con el argon ionizado, presenta el gran interés de estar situada hacia los 0,5 micrones, longitud de onda para la cual se dispone de detectores muy sensibles - (mientras que la mayoría de las transiciones lasers están en el infra-rojo).

c). Los lasers de líquidos: suscitan un gran interés práctico, a causa de la posibilidad de hacer circular el líquido, y refrigerarlo, por tanto, fácilmente. Están compuestos por quelatos (iones metálicos situados en el centro de un edificio molecular muy complejo), disueltos en una mezcla de alcohol etílico y

metálico. Si la densidad de energía que se extrae es importante, la absorción de la luz de penduleo es, desafortunadamente, tan fuerte, que hay que limitar las dimensiones transversales de la cavidad, lo cual reduce considerablemente el volumen.

d). Lasers de semi-conductores: los portadores inyectados por la corriente que atraviesa la conexión de un diodo, de arseniuro de galio (GaAs) o de antimoniuro de indium (InSb), polarizados en sentido directo, producen una luz de recombinación con un rendimiento excelente:



Si el diodo está refrigerado y si la densidad de la corriente inyectada alcanza el valor considerable de 10^4 A/cm^2 , el efecto laser puede producirse. La potencia disponible permanece en general muy débil y, sin embargo, el rendimiento es bastante bueno; pero, sobre todo, este tipo de lasers puede ser fácil y directamente modulado por la corriente eléctrica inyectada.

e). Lasers moleculares: estos lasers son análogos a los precedentes, pero la transición amplificadora tiene lugar entre los niveles de vibración-rotación de la molécula y no entre los niveles excitados de un átomo. El más corrientemente utilizado es el laser de CO_2 que funciona a $10,6\mu$ de longitud de onda, valor poco absorbido por la atmósfera.

Conviene terminar este resumen tecnológico, fijando los órdenes de magnitud de las características y de los precios de los lasers comercializados, antes de pasar a ver sus utilidades eventuales.

Lasers de impulsos:

Material	Longitud de onda μ	Energía emitida J	Cadencia	Precio en F.
Rubís, YAG	0,6943 y 1,06	1,5 3	10/seg.- 10/seg.-	47.000 120.000
Cristal + Neodimio	1,06	3 a 450 30 a 1.000 10.000 (labo.)	10/min. 10/min.	140.000

Lasers continuos:

Material	Long. de onda μ	Potencia W	Precio en F.
Helio Neón	0,6328	$2 \cdot 10^{-3}$	3.600
		$70 \cdot 10^{-3}$	26.500
CO ₂	10,59	800 $100 \cdot 10^3$	63.000

este último laser de laboratorio fué puesto a punto por AVCO y Pratt and Whitney; utiliza un penduleo químico (cianógeno y oxígeno); mediante el consumo de una libra de material por segundo; el penduleo suministra una energía de 2 Megajulios (que suponen una potencia de 2 MW); el rendimiento es del 5% de la potencia emitida de 100 kw y la energía de 100.000 Julios.

En la mayoría de los artículos americanos o rusos se da fe de que la Compagnie Générale d'Electricité, en su filial LASER: "Compagnie Industrielle de LASers" (CILAS) se encuentra en el pelotón de cabeza de la investigación de los lasers ópticos de gran energía y gran potencia. Los dirigentes de esta compañía, a la vista de los resultados ya obtenidos, creen posible la realización en 1973 de lasers moleculares de excitación eléctrica o química, que suministren energías del orden del megajulio en un tiempo aproximado de un segundo. Estos materiales constituirán entonces, como ya veremos, armas temibles.

UTILIZACIONES

La emisión laser se caracteriza por tres propiedades que nos incitan a utilizar estos generadores de ondas luminosas en múltiples aplicaciones.

En primer lugar la coherencia espacial. El espejo semi-transparente "emisor" de un laser puede ser considerado como una superficie en la que todas las vibraciones están en fase. La radiación, por tanto, es similar a la que se ocasiona en un diafragma golpeado por una onda plana. El ángulo de apertura del haz laser viene dado por la fórmula que se encuentra en toda evaluación de una antena superficial:

$$\theta_D = \frac{1,22 \lambda}{D}$$

en la que D es la dimensión de la intersección de la superficie emisora con el plano considerado y λ es la longitud de onda de la radiación emitida. Si $\lambda = 0,8$ micron y $D = 1$ centímetro, $\theta_D = 10^{-4}$ Radianes lo cual corresponde a una señal de 10 cm. de diámetro a 1 km. de distancia. Este orden de magnitud es el que ocasiona la gran ventaja de las ondas ópticas sobre las ondas centimétricas; para obtener una divergencia de la misma magnitud haría falta, en efecto, con una radiación radar de 8 cm. de longitud de onda, una superficie emisora cuyo diámetro sería 10^5 veces superior, o sea del orden del kilómetro;

A continuación la coherencia temporal que es la propiedad de la emisión de tener muy poca anchura de franja en el análisis espectrográfico; la luz que se produce es casi monocromática.

Por último la potencia; la potencia que se concentra en el haz laser es enorme y puede alcanzar densidades de 10^{10} W/cm. Hay dos motivos para ello, la extrema directividad del haz que concentra, como acabamos de ver, en una pequeña zona del espacio, la energía disponible, y en los lasers de impulsos, la brutalidad de dichos impulsos que acumulan energías medias, aunque ya importantes, en períodos de tiempo de algunos nanosegundos.

Por otra parte, es mucho mejor hablar de la energía contenida en cada impulso, que expresar las características de un laser de impulsos, por su potencia instantánea. Por el contrario, en un laser continuo es preferible definirlo por su potencia de emisión, que es una potencia media. Es lo que nosotros hemos hecho en los cuadros que nos dan una idea de los lasers existentes en la actualidad.

Se puede cifrar en 1 a 5 julios por segundo la densidad de potencia emitida por 1 cm^3 de material laser, según que el rendimiento sea más o menos bueno. Esto implica el que el laser de varios Megajulios, de que habla la CILAS, tenga un volumen activo del gas, del orden del metro cúbico.

Aplicaciones:

Como todo nuevo principio físico, el laser ha encontrado casi inmediatamente un gran número de aplicaciones, tanto en el campo científico, como en el técnico. Vamos a intentar pasar revista a las diferentes aplicaciones posibles y analizaremos más en detalle, algunas de ellas, muy principalmente las que interesen al campo militar. El ordenamiento de estas aplicaciones no tiene nada de rígido, y la elección que nosotros hemos hecho se basa en su agrupación en seis grandes categorías que son: las transformaciones ópticas, la iluminación, la localización, las telecomunicaciones, y los "instrumentos" de poca y de gran potencia.

A).- TRANSFORMACIONES OPTICAS

Las transformaciones ópticas engloban dos utilizaciones de iluminadores laser, la primera restituye una imagen tridimensional a partir de una placa fotográfica plana, la segunda permite proyectar en una gran pantalla una imagen de televisión o radar.

A-1. Holografía.

La holografía es un método gracias al cual se forman imágenes en dos tiempos. En un primer tiempo que se llama grabación, se envía sobre una placa fotográfica, ondas luminosas transmitidas o difundidas por el objeto estudiado, al mismo tiempo que otras ondas, que llegan directamente de la fuente que se utiliza para iluminar el objeto. Debido al hecho de que el haz es monocromático, la placa graba las interferencias entre estos dos grupos de ondas. En un segundo tiempo, que se llama reconstrucción, la placa fotográfica, después de revelada, es iluminada por un haz de luz coherente y reconstituye las ondas que la impresionaron precedentemente. La placa que se obtiene en el transcurso de la grabación, no se parece en nada al objeto, pero contiene suficientes datos del mismo, para poder conseguir imágenes. Este tipo de placa fotográfica se llama holograma, que significa "grabación total".

La restitución del relieve constituye, evidentemente, la propiedad más espectacular del procedimiento holográfico. Se ha podido, en especial, conseguir instantáneas microscópicas en tres dimensiones, mientras que el microscopio no permite la observación más que en un plano cada vez.

- El cliché, en sí mismo es ilegible; si hubiera que almacenar informaciones más o menos secretas, este procedimiento constituye un cifrado del que habría que conocer la clave, o sea, el montaje de reconstrucción, para poder tener acceso a la información grabada de esta forma.

- Por otra parte, esta información está menos expuesta a degradaciones accidentales, que en el caso de la fotografía ordinaria. Si poniéndonos en el peor de los casos se rompiera un holograma en varios pedazos, cada pedazo recuperado permitiría restituir la imagen completa. Sin embargo, cada fragmento no contiene toda la información del cliché entero, ya que a cada punto del cliché corresponde un solo aspecto particular del objeto.

Ya hay en curso investigaciones en el campo de la televisión en relieve y, en un próximo futuro, veremos, a no dudar, su realización. Indudablemente, este medio será un excelente transductor de restitución en la aplicación siguiente:

- Holografía de una zona de terreno. Pueden utilizarse dos métodos:

1. Disponiendo de un haz de referencia se ilumina toda la zona de terreno con la cual se impresiona el holograma. Desdichadamente, la diversidad de los planos del relieve en la naturaleza hace delicado el problema del haz de referencia puesto que, de un punto a otro puede haber grandes diferencias de distancias, que supongan longitudes de coherencia bastante importantes.

2. Si se divide la zona que se va a investigar en porciones más reducidas, se disminuirá el número de planos de relieve simultáneos, será posible concentrar más energía y se harán grabaciones sucesivas por deslizamiento de la placa fotográfica. Se podría, sobre todo, hacer hologramas, a partir de un avión de reconocimiento, en cuyo caso, las zonas serían las bandas de terreno perpendiculares al eje del avión.

Estos hologramas harán aparecer los presuntos relieves que una fotografía clásica podría no desvelar, a causa del enmascaramiento. Estos hologramas pueden ser analizados y transmitidos a distancia por un medio radioeléctrico, con lo que se facilitaría, en forma inmediata, una visión en relieve de la zona de terreno iluminada, a los Estados Mayores encargados de la conducción de las operaciones.

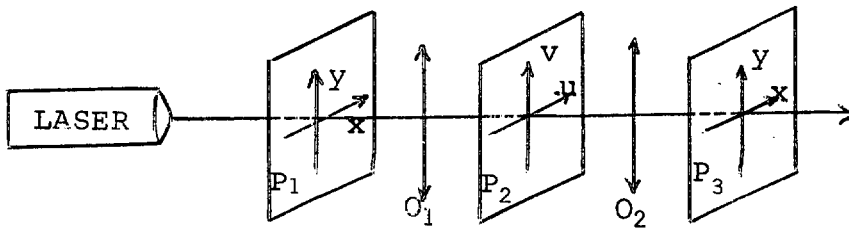
Para poder realizar estas impresiones, hay que eliminar el decalaje Doppler, para evitar la incoherencia temporal. Esto puede hacerse por medio de grabaciones verticales, o bien con la ayuda de fuentes o medios oblicuos multimodos.

El problema de las vibraciones (imágenes borrosas al restituir) tiene, también que ser eliminado. Hace falta que el desplazamiento sea inferior a la semi-longitud de onda, durante la toma de la imagen. Un laboratorio francés ha llegado a tomar vistas en 10 picosegundos, lo cual corresponde, en el caso de un avión volando a 2 de Mach, a 60 angströms de desplazamiento longitudinal (que viene a ser la centésima de la longitud de onda del amarillo).

- Para la detección de las formas submarinas puede utilizarse una extensión de la holografía al campo acústico. En efecto, las ondas acústicas, como la luz, pueden producir interferencias en un plano que podría ser la superficie del agua.

- El hecho de que se obtiene la transformación espacial de Fourier, de un objeto, con la ayuda de un holograma, nos va a permitir el "reconocimiento de formas" haciendo uso de la correlación óptica.

Se coloca el filtro holográfico adaptado a la forma a detectar, en el plano P_2 que es el plano focal común a los objetivos O_1 y O_2 . En el plano P_1 se coloca una fotografía transparente que contiene las señales, entre las cuales puede encontrarse la que buscamos.



Si la señal está presente, su presencia viene marcada por un punto luminoso en el plano focal P_3 , con las mismas coordenadas (x, y) que las de la señal buscada en el plano P_1 .

Este sistema se utiliza, ya, para la confrontación de las huellas digitales. Cabe pensar que este sistema podría rendir -- magníficos servicios en descriptografía, para encontrar las repeticiones de letras y cifras de un texto. El análisis de las fotografías aéreas, por este método, podría permitir el que aparecieran detallas que el análisis clásico no permite discernir. En este sentido, se han efectuado ya experiencias que han dado buenos resultados.

A-2. Proyección sobre una gran pantalla, de imágenes oscilográficas.

Ya existen proyectores de imágenes oscilográficas sobre -- gran pantalla, que utilizan tubos de gran brillantez y una óptica del tipo objetivo de proyector de películas. Pero, por un lado, la ampliación es limitada y por otra parte, la duración de -- los tubos sobrevoltados es muy corta.

Si se utiliza la señal video, que actúe sobre el Wehnel de la pantalla radar o de televisión, para modular la intensidad luminosa de salida de un emisor laser, se puede, añadiéndole un -- sistema clásico de espejos giratorios de barrido de línea e imagen, obtener la imagen de este receptor sobre una pantalla que -- puede ser inmensa. Si suponemos una distancia proyector-pantalla de 6 metros, obtendríamos una imagen proyectada de 2,5 metros de lado. La banda video que va de 0 a 10 MHz, impone una modulación

que da lugar a fenómenos electro-ópticos. Elegiremos un dispositivo de efecto Pockels, que volveremos a encontrar en las aplicaciones para las telecomunicaciones. Con un cristal de fosfato monopotásico (KDP) se obtiene una modulación de amplitud con un nivel de modulación del 100%, gracias a una tensión de 4.000 voltios. Dentro de poco, se espera poder utilizar cristales de $Sr_2 Ba Nb_6 O_{18}$ en los cuales, serán suficientes 50 voltios de tensión. Como la modulación luminosa varía sinusoidalmente, en función de la tensión aplicada, es esencial, a fin de evitar el mal rendimiento de las partes claras, que el amplificador esté precedido por un circuito no lineal, que corrija la curva de respuesta sinusoidal de la célula.

- Hitachi ha presentado, en la exposición de Osaka, una de estas pantallas, de 3,9 x 3 metros, iluminada por tres lasers -- continuos de 8 Watios (Criptón rojo y Argones azul y verde) que, por tricromía aditiva, reproducen una emisión de televisión en colores.

- Bell estudia, igualmente, una pantalla iluminada por un mosaico de diodos, que emiten del verde al rojo, por variación de intensidad del emisor dopado.

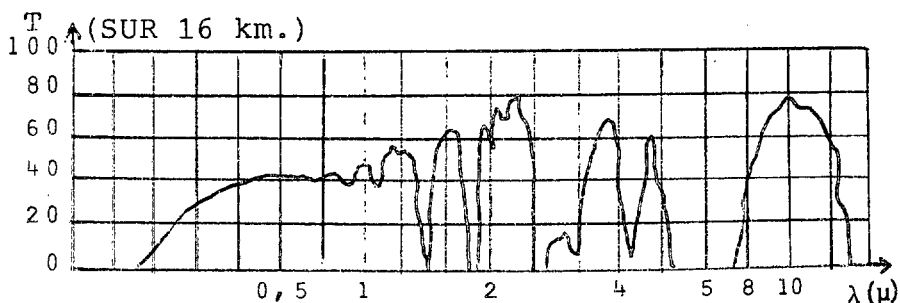
- Se puede también realizar la proyección de los parámetros de vuelo sobre una pantalla, a bordo de un avión; podría conseguirse, incluso, la proyección holográfica, con mal tiempo, de lo que hubiera visto el piloto, en caso de hacer buen tiempo, en la aproximación, el aterrizaje, o el despegue de un avión.

B). ILUMINACION

Las propiedades de coherencia temporal y espacial, nos van a permitir utilizar la "iluminación" laser para efectuar la visualización de ciertas zonas de terreno, para guiar bombas, misiles, o aviones, para permitir el reconocimiento de amigos y enemigos y, por último, como arma para maniobras e instrumento para poner trampas.

Conviene empezar viendo cómo se propaga la energía "luminosa" en la atmósfera: la disminución de la potencia está sometida a numerosos parámetros. Depende de la longitud de onda, e inmediatamente después, en el caso de absorción (por los componentes menores de la atmósfera tales como el vapor de agua, CO_2 , $Co...$ cuyos átomos entran en vibración o giros), de la masa volumétrica del componente, de la presión, de la temperatura, y en el caso de difusión en nieblas o brumas, del número de partículas por unidad de volumen y de la dimensión de las partículas. La figura muestra, para caracterizar la disminución de potencia, la variación del factor de transmisión T, en función de su longitud de -

onda sobre una distancia de 16 km. en atmósfera standard.



Podemos observar que la longitud de onda de 10,59 μ (Co₂) - es particularmente favorable, así como 1,06 μ (YAG).

Los medios de detección utilizan fotodiodos o fotomultiplicadores. Tanto si se trata de los más sencillos como de los más elaborados, encontramos siempre sistemas que se basan en técnicas ampliamente difundidas y cuyos principios ya fueron descubiertos.

B-1. Visualización.

¿Puede el laser aportar simplificación y mayor facilidad de funcionamiento de los sistemas que permitan ver ciertas zonas de terreno? Ya hemos hablado de los procedimientos holográficos de fotografía y televisión de la región que vamos a estudiar.

- Los vehículos terrestres van, en la actualidad, dotados de equipos de infra-rojos y sus tripulantes van provistos de unos lentes especiales que les permitan los desplazamientos nocturnos, con todas las luces apagadas. El alcance, de algunas decenas de metros, no permite ver más allá de los peligros inmediatos del itinerario que se sigue. Si equipamos a las unidades de reconocimiento que trabajen en las avanzadillas de un frente, con un emisor laser que irradie en las proximidades del infra-rojo, como el YAG, o el vidrio dopado con neodimio, podremos obtener una visión nocturna que no se limite a nuestras cercanías inmediatas. El mando manual del emisor laser puede permitir ver puntos especiales e incluso señalar objetivos que deban ser tratados por un escalón superior.

La nitidez de la emisión laser nos va a permitir, en lugar de utilizar la técnica clásica de la cámara (de película o T.V.)

emitir un haz que efectúe un barrido tradicional, cuyo eco será recibido por un fotomultiplicador o un fotodiodo. La utilización de una longitud de onda infra-roja, además de ser invisible durante el día, con lo cual asegura una cierta discreción, se propaga muy bien en la atmósfera y permite al sistema funcionar durante la noche. La señal video, puede, solamente ser explotada sobre el lugar, sino ser transmitida por vía hertziana, y registrada en un magnetoscopio. Este sistema ofrece grandes posibilidades al reconocimiento aéreo, ya que el barrido longitudinal lo realiza el desplazamiento del avión y la deflexión transversal se obtiene con espejos giratorios. Los americanos, en el cuadro de sus investigaciones, consagran un gran lugar a estos sistemas que denominan cámaras "line-scan".

- En la actualidad se hayan en curso ensayos para la visualización de los fondos submarinos, emitiendo una radiación laser en verde, bien barriendo el campo y recibiendo el eco, punto por punto, bien abriendo haz para registrar instantáneamente la totalidad de la imagen.

- Se puede, por último, imaginar una pintura fluorescente que se daría a los objetos que se trata de visualizar (obstáculos, bordes de las pistas etc...) y que iluminada por un haz laser daría una brillantez extraordinaria, incluso con mal tiempo.

B-2. Guiado.

En el campo del guiado de bombas y misiles, disponemos de dos sistemas que han sido probados en Vietnam (un 70% de impactos en el blanco en varios miles de lanzamientos) y que están ahora siendo estudiados en Francia.

- Guiado por haz: lo primero que se le viene a uno a la imaginación es aprovechar la finura del haz laser para señalar un objetivo y acoplar un misil en el haz de referencia, emitido por el ingenio atacante. El misil, al cabo de algunos metros de trayectoria, se acopla en el haz y se mantiene en esa posición. Es el principio utilizado en el sistema de armas ACRA construido por el APX. La detección a bordo del misil, se efectúa, por detrás de éste, por medio de cuatro detectores distribuidos de forma que estén en cuadro y comparando dos a dos, las informaciones que suministran estos detectores. Un sistema de acoplamiento busca la igualdad de la intensidad luminosa y coloca el misil en el centro del haz laser.

- Guiado semi-activo: el segundo sistema consiste en no utilizar el haz de emisión laser, sino la luz reflejada por el propio blanco, al ser iluminado por el laser. Dos sistemas franceses (MATRA y GCE) y numerosos mandos americanos utilizan este procedimiento. En el MAGILAS, el emisor laser es transportado --

por un hombre o un vehículo y el eco lo recibe un avión o misil. En el MILASOL, el emisor equipa al vehículo terrestre o aéreo, - portador de los misiles. La luz difundida por el blanco es recogida por el detector, medidor de distancia, similar al precedente que iba situado en la parte delantera del avión, del misil, o de la bomba. Este dispositivo medidor de distancia, permite lanzamientos paracaidistas y aterrizajes nocturnos de helicópteros, en terrenos no balizados.

B-3. Reconocimiento.

Parece útil el poseer un sistema que permita a un elemento, que se encuentre en un haz laser, el poder hacerse reconocer por sus amigos. Pueden utilizarse dos técnicas:

- Sistemas pasivos, que utilizan, o bien una absorción característica de la frecuencia utilizada, o, por el contrario, un refuerzo de dicha señal.

- Una pintura, o la disposición de capas dieléctricas que posean una gran absorción, en la frecuencia laser utilizada, parece ser el procedimiento más simple de identificación. Resulta, sin embargo, difícil, conservar intacta esta frágil capa, en ambiente de combate. Las capas dieléctricas se pueden emplear, además, para el enmascaramiento, cara a los lasers enemigos.

- La disposición geométrica de catafotos, permite, igualmente, reconocer a un amigo. Este sistema presenta el inconveniente grave de ser fácilmente detectado y utilizado por el enemigo.

- Sistemas activos: Se utiliza una señal laser modulada según un código; el vehículo o avión amigo está equipado con un sistema de detección todo azimut. La señal detectada sirve, entonces, para poner en funcionamiento un cifrado de la información enviada por la radio de a bordo: el cifrado se realiza de forma que no embrolle la red en la cual trabaja. Este sistema impediría el hacer fuego, cuando el blanco tocado por el haz laser es un amigo.

B-4. Armas para ejercicios.

Como ya lo han sugerido varios militares, una manera eficaz de efectuar el entrenamiento, tanto con armas individuales - como colectivas, consistiría en tener previstas armas para los ejercicios, que utilizarán como principio activo, el haz laser - de poca potencia, sin peligro alguno para las personas iluminadas, lo cual se traduciría en no tener que utilizar municiones y disminuirían considerablemente los gastos de los ejercicios. Suponiendo que, a los hombres que participen en una maniobra, se -

les pueda dotar de armas provistas de lasers (que no hay que confundir con el fusil o las armas laser) y que, además, lleven en lo alto del casco o sobre un hombro, un detector que señale la llegada de un haz laser, y si las armas de grueso calibre con que van equipados los carros, los cañones, la DCA y los aviones, están también dotadas de sistemas lasers, la maniobra resultaría de lo más atrayente, ya que reflejaría lo más fielmente posible, la realidad: los hombres aprenderían a no malgastar las municiones, pues los tiros serían contados; no habría discusiones para saber quien tiró primero, ya que un sistema bloquearía el arma del tirador que hubiera sido "tocado". habría grandes problemas tecnológicos, pero las enseñanzas que se podrían sacar de este tipo de maniobras serían de la mayor importancia para los Estados Mayores.

Se pueden utilizar también los haces laser para poner trampas en un camino de paso; la invisibilidad del haz infra-rojo hace que la trampa sea de lo más eficaz; disponiendo con astucia varios detectores, puede incluso llegar a saberse que es lo que atraviesa el haz (altura y longitud); la visualización se hará cuando se corta el haz.

Conviene terminar esta serie de aplicaciones exponiendo -- los peligros que presentan los lasers. Aparte de los efectos secundarios que son debidos a sus condiciones de funcionamiento -- (altas tensiones, rayos X, emisión, por los flash de rayos ultra violetas), el peligro esencial estriba en la quemadura de la retina que puede conducir a la ceguera. El fusil laser anti-personal, hace uso de esta propiedad. Es evidente que los efectos biológicos de un rayo laser van a depender directamente de la energía y del tiempo de exposición. Se han efectuado estudios, con los cuales se han llegado a los resultados siguientes, cuando el ojo está en la oscuridad completa, o sea, con la pupila completamente dilatada:

- a). Laser disparado, 6943 A°, 30 ns $\rightarrow 10^{-8}$ J/cm² sin sobrepasar al nivel del ojo.
- b). Laser liberado, 6943 A°, 200us $\rightarrow 10^{-7}$ J/cm².
- c). Laser continuo en espectro visible $\rightarrow 10^{-5}$ W/cm².

si la pupila está cerrada (ojo a la luz del día) hay que multiplicar esas cifras por 5. El ojo transmite las radiaciones cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 0,2 y 1,4 μ y entre 1,6 y 1,8 μ solamente.

C).- LOCALIZACION.

Uno de los campos más importantes de aplicación del laser, ha sido la localización de objetos y la medida de sus distancias a puntos determinados. Es este aspecto el que le ha valido al laser recibir, su financiación más importante, especialmente por parte de las fuerzas armadas americanas y francesas. Se hayan en curso de definición, de homologación o de realización en Francia: un telémetro aeroportado para el Jaguar marino, un telémetro acoplado a un anteojo giroestabilizado para los helicópteros del - Alat, un telémetro y un anteojo-telémetro para carro y, por último, un conjunto en provecho de la artillería.

En lo que concierne a las aplicaciones civiles, en nuestro país, se pueden citar como ejemplos la telemetría espacial, compuesta por tres emisores y dos estaciones de tratamiento de la - información, instaladas en Saint-Michel-de-Provence, que permite la localización de satélites. Gracias a este método, se puede decir que después del primer éxito que consiguió el equipo del observatorio de Haute-Provence en enero de 1965, han sido observados numerosos pasos de satélites, varios de los cuales han permitido un gran número de medidas consecutivas de distancia (hasta 120 medidas en un solo paso del GEOS). Así pudieron ser estudiadas las órbitas de los dos primeros satélites Beacon y la del -- primer satélite GEOS.

Muchas de estas observaciones consiguieron alcances de cerca de los 3.000 km. A partir de estas medidas, es posible calcular los arcos de órbita sobre las que fueron hechas, con una precisión de alrededor de 1,50 m. a una distancia de alrededor de - 20 grados geocéntricos (o sea, con una precisión 10 veces más -- grande que la que se consigue por otros métodos).

Este grado de precisión es absolutamente indispensable para el conocimiento preciso de la posición de los satélites de radionavegación. En efecto, es muy probable que, en un futuro próximo, se puedan utilizar para todos los desplazamientos de los - vehículos de las tres armas, un sistema único de navegación "interarmas", incluso "europeo", a base de satélites estacionarios o de desfile. Este sistema tendría un precio relativamente elevado, en el momento de su lanzamiento, pero tendría la gran ventaja de reemplazar a todos los sistemas de navegación existentes, - excepto el que mide la altitud de una aeronave, para el cual se podría utilizar una sonda altimétrica basada en el laser infrarrojo. Si este sistema se hiciera realidad, habría que conocer, - con precisión, en cada momento, la posición de los nueve satélites que lo compondrían.

Como en el caso de los radares, es aconsejable que en los LIDAR (Light Detection and Ranging) o telémetros lasers, la po-

tencia emitida tenga un valor de pico bastante elevado. Los impulsos deben, por tanto, ser bastante breves. Por añadidura, la precisión en la medida de la distancia, exige que el tiempo de subida del impulso sea lo más corto posible. Estos dos resultados se obtienen utilizando un laser disparado. Actualmente se utilizan como moduladores, prismas que giran a una velocidad del orden de las 18.000 revoluciones por minuto, que ejercen su acción modulando la sobretensión de la cavidad laser (de donde les viene el nombre de "Q. switch" que ha adoptado la literatura técnica americana).

El haz emitido se concentra, a continuación, por medio de una óptica afocal, que le dirige hacia el objetivo.

La luz difundida por el objeto telemetrado, es recogida, en el telémetro, por un objetivo que la concentra sobre un receptor, que puede ser un fotomultiplicador o un diodo, según la longitud de onda utilizada (6943 Å para el rubí y $1,06\mu$ para el neodimio, como ya hemos visto).

La medida de las distancias la proporciona un contador que recibe los impulsos de un reloj, transmitidos por una puerta, que se abre por medio de un fotodiodo, que se acciona al interceptar una pequeña parte de la luz emitida por el laser. La señal que proporciona el receptor, hace que se vuelva a cerrar la puerta. El resultado que da el contador, viene generalmente representado en indicadores luminosos; en un próximo futuro se utilizarán indicadores de cristales líquidos.

La medida de los ángulos se hará marcando las orientaciones en demora y en ángulo de situación, de los sistemas ópticos. A título de ejemplo se puede citar el telémetro "jaguar" aeroportado TA 101 cuyo alcance es superior a 10 km. y su precisión es de ± 5 metros. Su peso es de 30 kilos; su alimentación está prevista en 24 V corriente continua, con un consumo de potencia de 75 W en régimen permanente, al cual hay que añadir 500 J por impulso. La longitud de onda es de $1,06\mu$, la duración del impulso de $30 \cdot 10^{-9}$ s y la energía nominal de 0,3 J lo que supone una potencia de pico de 10 megawattios; la cadencia máxima es de 6 golpes por minuto.

Como en el caso del radar, se han realizado telémetros lasers de ondas continuas para efectuar medidas muy precisas (± 30 mm. a 500 m.) y conservado la frecuencia Doppler para la eliminación de ecos fijos en caso de ciertas aplicaciones.

El campo de utilización de los sistemas de localización es muy vasto; además de los usos ya citados nombraremos los siguientes:

- El encuentro espacial, puesto a punto por HAC y RCA.
- El radar de navegación a baja altitud, de corto alcance.
- El altímetro de baja cota, para un misil que navegue a una altitud constante entre 0 y 100 m.
- El trayectógrafo, que nos marca en tiempo real, sobre una mesa, las evoluciones de un helicóptero o de un avión equipado con un reflector. Las informaciones que proporciona son las tres coordenadas cartesianas del blanco, con respecto a una referencia que se conserva en el bloque emisión-recepción.

- El telémetro Doppler permite detectar las vibraciones, bien directamente sobre la superficie que vibra (como en el caso de un vehículo blindado) bien por retrodifusión en las ondas de choque de un misil o de un avión. Efectivamente, el poseer un dispositivo que permita detectar a distancia las vibraciones, constituiría una ayuda considerable para la vigilancia de la zona de combates; el sistema Lidar se montaría sobre una plataforma preparada para obtener un barrido eficaz en demora y elevación, de la zona a vigilar.

- Se pueden utilizar, con una gran precisión y con buena seguridad de provocar la explosión, los diodos laser, en plan de "espoleta de proximidad", en las ojivas de los proyectiles, bombas o misiles.

D).- TELECOMUNICACIONES.

Resulta atrayente el empleo de un haz laser para las telecomunicaciones, por dos razones principales:

a).- La alta frecuencia de las radiaciones luminosas (10^{14} a 10^{15} Hz) permite obtener unas anchuras de bandas tales que, teóricamente podrían ser transmitidos simultáneamente hasta 100 millones de programas de televisión.

b).- La directividad del haz es extrema y la ganancia de antena es, por tanto, grande y equivale a la que se obtiene en hiperfrecuencias con una antena de 300 metros de diámetro por lo menos.

Sin embargo, un análisis más profundo, nos revela importantes restricciones, que han sido confirmadas en los numerosos ensayos que se han efectuado, tanto en Europa, como al otro lado del Atlántico.

Aparte de los propios lasers, los elementos más críticos - de los sistemas de transmisión son los moduladores de la luz, que utilizan tensiones elevadas y pequeñas bandas de paso. Las modulaciones empleadas son la modulación de amplitud y la modulación por impulsos codificados (MIC). Se pueden obtener, bien accionando directamente sobre el generador laser, (modulación interna), bien interponiendo en el trayecto de la luz un dispositivo cuyas propiedades de transferencia varían con la señal que se transmite (modulación externa). Los moduladores que se utilizan son de dos clases y sirven, tanto el uno como el otro, para la modulación interna o externa, con la misma eficacia. Por un lado tenemos la célula de Kerr, constituida por un medio activo, generalmente de nitrobenzeno, colocado entre dos placas metálicas conductoras. Cuando no existe tensión aplicada entre estas dos placas, el medio activo es isótropo. Cuando se aplica una diferencia de potencial se hace aparecer una anisotropía. Por otro lado tenemos la célula de efecto Pockels, de la que ya hemos hablado en la proyección sobre una gran pantalla, y que se manifiesta -- por un efecto electro-óptico en un cristal.

En estas dos células, la anisotropía en cuestión es la rotación del plano de polarización de la luz polarizada rectilíneamente. Basta, entonces, con hacer pasar esta onda luminosa a través de un polarizador (cristal polaroíd) para que una luz más o menos intensa salga de este modulador. La banda más ancha que ha ya podido transmitirse en modulación continua, constituyó una -- vía para la televisión en color (SECAM 625 líneas) con una calidad comparable a la de los haces hertzianos centimétricos. Por modulación interna de un laser helio-neón ha sido posible obtener en el CNET una serie de impulsos muy finos de gran cadencia de repetición (120 millones por segundo). A partir de esta fuente se puede llegar a un multiplex para gran número de canales -- MIC sobre una misma portadora laser (10.000 en el caso presente).

Los desmoduladores son tubos fotomultiplicadores y no presentan ningún problema de limitación de la banda de paso.

La estrechez del haz viene limitada por las irregularidades de la atmósfera y la precisión de las realizaciones mecánicas; por ello, parece ser que la ganancia de antena no puede sobrepasar 150 dB. Pero esta finura es, sin embargo, suficiente para plantear arduos problemas de adquisición.

La propagación del haz en la atmósfera es también muy crítica, ya que los días lluviosos o con bruma será prohibitivo el tiempo en el cual el debilitamiento del enlace es superior al valor medio. Este debilitamiento que, en la banda de 1,7 tiene un valor medio de 0,5 dB/km. con mal tiempo puede alcanzar los 10 - dB/km. al reducirse la visibilidad.

Al ser la atmósfera uno de los obstáculos principales que se oponen a la propagación del haz laser, no tiene nada de extraño que se haya acudido a él para aplicaciones espaciales. Este tipo de enlace lo utilizan los Estados Unidos en los enlaces Satélite-Satélite, y se encuentra en proyecto para los enlaces Satélite-Tierra, que pueden ser interesantes en el momento de la re-entrada en la atmósfera de una cápsula espacial, cuando el plasma que se forma en su parte delantera impide toda comunicación en hiperfrecuencias. El tipo de modulación (MIC) será probablemente utilizado con una potencia de 10 W y una potencia media de 100 m W; en cuanto al receptor, tendría por antena un espejo de unos 80 cm. de diámetro.

Para los enlaces punto a punto, han tenido lugar pruebas satisfactorias de propagación guiada, sobre distancias de algunos centenares de metros, con fibras de cristal y sobre distancias de algunos kilómetros, con un tubo rectilíneo en el que el haz, en lugar de reflejarse contra las paredes, se mantiene en una trayectoria sensiblemente axial, por medio de lentes acopladas a intervalos regulares.

Un campo de aplicaciones posibles está constituido por la realización de circuitos digitales en los calculadores, que podrían ser, a la vez, ópticos y electrónicos. Los lasers de semiconductores están particularmente bien adaptados para estos proyectos que no precisan de grandes potencias, pero que exigen la miniaturización y la facilidad de modulación. La ventaja de un sistema así, sería, sobre todo, que aseguraría el enlace entre dos elementos por vía óptica, eliminando totalmente el acoplamiento indeseable que, mayor o menor, existe siempre en los dispositivos electrónicos. Los calculadores que se piensa en desarrollar a partir de estos elementos ópticos, podrán ser de concepción más sencilla, más pequeños y más rápidos, gracias a comunicaciones más breves y más fáciles.

A causa de la gran discreción de este sistema, se puede pensar en enlaces secretos entre vehículos o aeronaves, así como en el mando a distancia de misiles, cuando existen dificultades para el enlace por radio, debido a las grandes perturbaciones del ambiente. En conclusión el empleo del laser en este campo parece limitado, aunque se hayan hecho numerosos estudios y realizaciones.

E).- INSTRUMENTOS DE POCA POTENCIA.

En este campo, las aplicaciones son muy numerosas. Tres ramas de actividades van a retener principalmente nuestra atención.

E-1. Espectroscopia.

Si se ilumina un cuerpo con ayuda de un pincel de luz monocromática, se comprueba que la luz difundida en ángulo recto a los rayos incidentes, tiene, además de la frecuencia incidente ν , un conjunto de franjas laterales, dispuestas por parejas, a una parte y otra de la franja ν . Este fenómeno descubierto por Raman en 1924, permite caracterizar el cuerpo difusor, ya que las franjas suplementarias corresponden a frecuencias propias de la vibración y rotación de su estructura molecular.

Existe un segundo efecto que lleva el nombre de Brillouin y que presenta grandes analogías con los fenómenos Raman. Se diferencia en que las desigualdades $\pm \Delta\nu$, entre la franja excitadora y las franjas satélites que aparecen, a causa de la difusión, no son iguales, como en el caso anterior, a las frecuencias propias de la vibración o de la rotación de las moléculas del cuerpo difusor, sino a las frecuencias de las vibraciones colectivas de estas moléculas, en el seno del medio.

El análisis espectral permite, por tanto, obtener informaciones sobre la disposición física de los átomos en las moléculas, la intensidad y el sentido de las fuerzas con que se influyen, etc.. Estos datos son tanto más preciosos, cuanto que, bien a menudo, completan los que proporciona la espectroscopia de absorción.

Como aplicación militar, se podría conseguir la detección e identificación de los gases de combate, sin necesidad de conseguir una muestra y proceder a su análisis químico. Bastará con que el emisor proporcione una fuente luminosa que irradie una banda de paso susceptible de englobar las longitudes de onda de absorción de los agresivos químicos conocidos; la comparación con una referencia, permitiría definir rápidamente, con grandes probabilidades, la presencia de un gas tóxico. Gracias al laser Co_2 podríamos detectar la mayoría de los gases de combate actuales (soman, tabún, sarin, etc.) actuando con pequeñas dosis, ya que todos ellos tienen una franja de absorción cercana a los 10 micrones.

E-2. Alineación.

Nos encontramos aquí con una utilización muy parecida a las que ya hemos visto en el guiado. El eje de propagación de un haz laser puede servir de referencia para realizar una alineación óptica a distancias, hasta de varios kilómetros. La operación puede ser manual, al recibir la señal del haz sobre una pantalla, o automática, por recepción con células fotoeléctricas; en este último caso, puede lograrse una gran precisión. El campo de

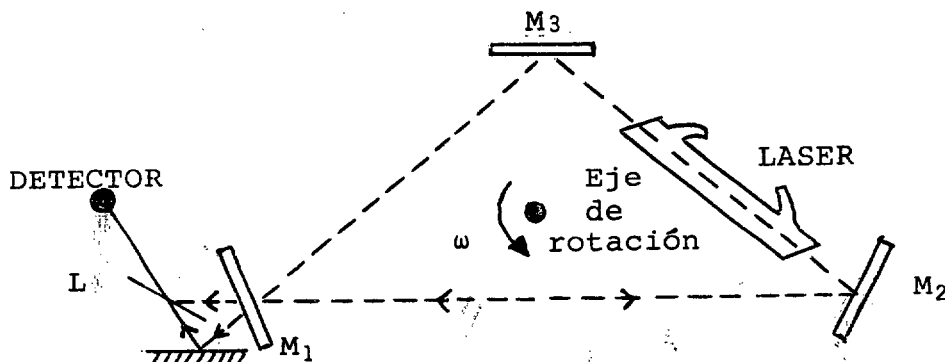
aplicación de la alineación es extraordinariamente variado:

- Metrología, mecánica de precisión.
- Ingeniería y topografía; perforación de túneles, nivelación de carreteras y de pistas de aterrizaje, colocación de rieles y de postes, especialmente el riel experimental del aerotren.
- CEA: alineación de los elementos amplificadores de la -- aceleración lineal.
- Aeronáutica: Referencia "eje del avión", por el trazado de curvas de desviación magnética, y de radio-navegación, así como los diagramas de radiación de las antenas.

E-3. Giróscopos.

Se realiza un anillo luminoso en un plato móvil. En el ejemplo que vamos a describir, disponemos de un triángulo equilátero, en uno de cuyos lados colocamos un laser que emite por sus dos extremidades.

La condición de oscilación es, como en el caso de la cavidad paralelepípeda, que la onda que haya descrito un giro, regrese en fase consigo misma, de forma que no pueda asumir más que valores determinados. Cuando la cavidad está en reposo, las ondas que viajan en los dos sentidos, recorren las mismas distancias, y sus frecuencias permitidas son iguales. Por el contrario, cuando la cavidad experimenta un movimiento de rotación ω , las distancias recorridas por las dos ondas no son ya las mismas, sino que una de ellas debe alcanzar a la cavidad en rotación, mientras que la otra es alcanzada por ella. Esta diferencia da origen a un desfase, Δv , entre sus frecuencias, proporcional a ω . En el momento actual, las dificultades tecnológicas impiden todavía medir las velocidades inferiores a una décima de grado por hora,



pero los numerosos trabajos que se llevan a cabo en este campo, conducirán a rápidos progresos.

E-4. Medida de las vibraciones.

La coherencia espacial, con ayuda del método de Poggendorf y la coherencia temporal, gracias al interferómetro de Michelson, permiten la realización de aparatos que, acoplados a calculadores digitales, dan, con una enorme precisión, la amplitud y la frecuencia de las pequeñas vibraciones. Este nuevo equipo permitirá reglar y controlar las mesas vibrantes, evaluar las vibraciones de las maquetas en los túneles aerodinámicos, estudiar las respuestas transitorias de un sistema mecánico sometido a un choque, medir las tensiones mecánicas y el espesor de las capas delgadas.

No se puede terminar este breve inventario sin hablar de la posibilidad de telemandos selectivos que permitan la coherencia temporal del emisor; citaremos, como ejemplo, el mando a distancia de las corrientes eléctricas de alta tensión, en condiciones muy precisas de tiempo.

F). INSTRUMENTOS DE GRAN POTENCIA

Una onda luminosa es una onda electromagnética, o sea, un conjunto de campo eléctrico y campo magnético. Cuando el campo eléctrico E alcanza valores muy elevados, puede llegar a arrancar, de la influencia del núcleo, los electrones más exteriores de los átomos que le están sometidos. Esta ionización va acompañada por una absorción importante de luz laser; en efecto, los electrones que fueron arrancados terminan por combinarse con iones positivos y elevan la temperatura del medio. Pierde, por tanto, en todos los casos, energía el haz inicial y como consecuencia se calienta el medio. Puede haber vaporización en la zona ionizada. Estas destrucciones, convenientemente controladas pueden permitir la fabricación de ciertos materiales. Como los dieléctricos son malos conductores del calor, es más fácil localizar el punto en el que tiene lugar la ionización. Para los metales será preciso utilizar mayores potencias durante períodos de tiempo más breves. Vamos a examinar rápidamente los aplicaciones de este fenómeno.

F-1. Aplicaciones civiles.

En primer lugar en medicina: Como bisturí eléctrico, para cauterización de la retina en los casos de "desprendimiento de retina", para la destrucción selectiva de algunas células irradiadas (cáncer o caries dentales).

En la industria: Este conjunto de propiedades de los lasers de gran potencia está particularmente indicado para la fabricación, la soldadura, el tratamiento térmico de materiales refractarios difíciles de trabajar, o piezas de muy pequeñas dimensiones, como, por ejemplo, los micro-circuitos eléctricos.

En la informática: Actualmente se encuentra en estudio una memoria óptico-magnética; un potente haz laser irradiando en el ultravioleta que cambia, gracias a una elevación de temperatura de 3°, el 75% de la coercitividad de ciertas substancias magnéticas. La información queda así registrada y la lectura se hace con ayuda de un laser mucho menos potente, incluso con un haz de luz ordinaria. La substancia magnética es un granate de gadolinio y de hierro, transparente, cuya coercitividad afecta más o menos el plano de polarización de la luz que lo atraviesa.

F-2. Aplicaciones militares.

Las altas temperaturas obtenidas por estos procedimientos, han permitido obtener, ya, en un laboratorio, la fusión del deuterio. Puede, por tanto, esperarse que este sistema valga como disparador de la bomba de hidrógeno.

Vamos, ahora, a dedicar nuestra atención al sistema de armas laser, que los novelistas bautizaron con el nombre del rayo de la muerte. Hemos examinado ya el fusil anti-personal. Vamos ahora -como aviadores- a preocuparnos de los sistemas contra aviones. Se pueden prever dos tipos de armas:

a). Un arma que deteriore o ciegue los sistemas de guiado de los autodireccionales ópticos, infra-rojos y de hiperfrecuencias. Es necesario, para ello, disponer de lasers ópticos de gran energía. Los laboratorios franceses poseen, en la actualidad, lasers que utilizan como medio activo el cristal dopado con neodimio que proporciona 1 kJ, en 1 milisegundo, lo cual sería suficiente para la realización de este tipo de arma.

b). Un arma que destruya el vehículo en que va la bomba; para ello se admite que es necesario disponer de una energía superior a los 3 MJ librados en 1 segundo. La CILAS piensa llegar dentro de poco a este resultado, gracias a lasers moleculares. Los americanos consagraron a este proyecto, 8 millones de dólares en 1970 y piensan tener un sistema de armas operativo para dentro de diez años. Con una energía así, que equivale a la de un coche de dos toneladas, rodando a 160 km/h., se podrían fundir alrededor de 3 kgs. de materia. En la troposfera, su alcance sería de 7 km. siempre que fueran resueltos los siguientes problemas periféricos:

- El guiado del haz, con la precisión necesaria, tras detec

tar al objetivo a una distancia de 15 km. por lo menos.

- El enfoque de la energía al lugar preciso, lo cual implica que se disponga de una telemetría continua que nos -- proporcione la distancia al objetivo.
- El almacenaje de la energía, que puede ser químico, como ya lo hemos visto, o mecánico, en volantes de inercia -- del orden de una tonelada de peso, en el caso de excitación eléctrica.

Los ensayos franceses y americanos son prometedores; pero la puesta a punto de un sistema de armas así sería muy onerosa -- en precio, en peso, en volumen y en complejidad tecnológica.

Se puede prever una red de defensa en tierra, de este tipo, contra aviones o ingenios que se acerquen a baja altitud, o bien, estaciones satélites de anti-misiles balísticos, mandados a distancia. Esto no es ninguna fantasía, ni una historia de ciencia-ficción, sino una realidad de mañana, que los americanos y los rusos se esfuerzan en realizar.

CONCLUSIONES

El panorama de todas estas aplicaciones nos hace ver que -- el laser se ha introducido un poco en todas las disciplinas. Ha progresado muy deprisa; en sus comienzos, la imaginación sobrepasó a la ciencia y a la técnica. Luego, por reacción, se habló de él mucho menos. Ahora entra en una tercera fase, en el curso de la cual, las esperanzas que ha suscitado, se están convirtiendo en realidades, con la única salvedad de que estas esperanzas exigen muchos esfuerzos, tiempo y dinero, especialmente en el campo militar.

Las aplicaciones militares del laser en los Estados Unidos, han tenido un campo de experimentación ideal en Vietnam y las informaciones de que disponemos nos permiten decir que han sido ampliamente explotadas, con mucho éxito, las dos grandes categorías de utilización siguientes: la telemetría y la iluminación -- de objetos bajo sus dos aspectos de: guiado de bombas y misiles y ayuda a la visión nocturna. Se puede calcular que, hasta el -- día de la fecha, los americanos han consagrado 100 millones de -- dólares a las investigaciones militares (simplemente en el año -- de 1969: 2 millones para los telémetros, 1 millón para los iluminadores y 24 millones para los autodireccionales).

Los artículos de Sobolev y Sokovikov, completados con un informe de V.P. Tychinski, sobre los lasers de gas de alta energía, demuestran, -y las observaciones americanas lo confirman- que los rusos poseen, actualmente, los conocimientos físicos, químicos y tecnológicos que les permiten fabricar ingenios lasers de alta energía, similares a los de los Estados Unidos.

* * *
* *
*

BIBLIOGRAFIA

- Los lasers: Ronald BROWN, Larousse (Colección Técnicos de hoy).
- Los lasers: (Principios, realizaciones, aplicaciones). - A. ORSZAC, Mason.
- Lasers : G. CORRIER. Escuela Nacional Superior de Aeronáutica.
- Boletines "Telecom". Mayo y abril de 1967.
- Aviation Week: 12 enero 1970; 19 enero 1970; 9 marzo 1970
- Onda eléctrica: núm. 492 - 474.
- Air et Cosmos: 24 enero 1970.
- Boletín de la Unión de Físicos: junio 1969.

* * *