

... Y siguiendo con el programa de esta noche, llegamos a física. Está con nosotros el catedrático Manuel García Velarde y esta noche vamos a hablar de la luz, maravilla de la naturaleza y en la segunda parte de este programa, del láser y sus aplicaciones. ... ¿Por qué, profesor García Velarde, la luz es una maravilla de la naturaleza? Buenas noches, queridos oyentes, queridos alumnos. La luz es una más de las maravillas de la naturaleza.

tanto desde el punto de vista científico como desde el punto de vista puramente estético. Mucha gente habrá visto arcoíris, dobles arcoíris. Yo me he quedado muchas veces estaciado viendo un arcoíris, un arcoíris completo, viendo casi entero los 180 grados, es una maravilla. Yo creo que es en un escenario, digamos, en el campo, en unas montañas, es sencilla, plásticamente bonito. Por ejemplo, la luz coloreando como es debido, puede ser un objeto ya atractivo sobre una pintura, en el arte abstracto. La luz dando contenido a los colores, a cómo distribuimos los colores, da maravillas como pueden ser las pinturas tales como las meninas o los cuadros de Goya o de cualquier otro pintor. Así pues, la luz maravilla de la naturaleza por lo que es en sí, cuando nos llega sin ninguna preparación, y por lo que luego, a través de nuestra actividad mental, de nuestra cultura, podemos hacer de ella.

Aparte de este aspecto estético que se ha dicho, si descendemos al terreno puramente físico, ¿qué podemos decir de la luz? Vamos a intentar aclarar algunas cuestiones relativas a la luz y luego a maravilla de la naturaleza como aplicación, y ello nos llevará al láser. La utilidad que podemos hacer de la luz en muy diversos campos. Desde el punto de vista científico, ¿la luz qué es? La pregunta hoy no tiene sentido porque las cosas son como dice la gente, y nos cuesta mucho trabajo a los científicos entender lo que dice la gente sencilla, las cosas son según el color del cristal con el que las miramos. Es decir, las cosas no son lo que son, esa pregunta es de metafísica, sino según las observamos. La luz se nos presenta como rayo si cogemos una bombilla o un láser, apuntamos a una pared y le pedimos a un fumador que fume entre la fuente de luz y la pared. Veremos los rayos dibujados. Vemos los rayos dibujados cuando...

el sol, por ejemplo, a través de una ventana y hay polvo en la habitación. Es decir, la luz cuando incide sobre objetos relativamente grandes, ahora que haremos eso relativamente grande, porque no se puede decir grande o pequeño, sino en relación con algo, pues bien, cuando incide sobre las partículas que expele un fumador, sobre las motas de polvo que hay en una habitación, da lo que se llama una fuerte dispersión lateral, reflexión fortísima lateral. Por eso la vemos de lado. Un rayo nunca lo vemos de frente, lo vemos de lado. Pero si yo mando luz sobre un objeto muy pequeñito, muy pequeñito, ya veremos lo relativo de pequeñito, un glóbulo rojo, un experimento que Drácula podía hacer, pues no rebota, sino que bordea al objeto y da un fenómeno que se llama difracción. Si la luz fuese rayo, no es posible la difracción. Con un rayo solo hay reflexión.

o refracción, pero no hay difracción. Difractar solo puede difractar una onda. Una onda junto con otra onda, cuando se encuentran máximos con máximos, mínimos con mínimos, da intensidad máxima. Cuando se encuentra máximo con mínimo, da intensidad cero. Y eso es lo que da el fenómeno de las interferencias. Cuando hay una mancha de aceite sobre agua en una carretera, vemos el fenómeno de interferencia. Pues bien, la luz onda, la luz corpúsculo, cuente de fotones cuando pasan en un fenómeno como el efecto fotoeléctrico, ese abrir las puertas sin manos, en las puertas de los bancos y de algunos edificios públicos, la luz rayo no es más que según el momento en que aproximamos, según la sonda que enviamos. Enviamos una sonda más grande que lo que sería su propia longitud de onda, de la luz, y se comporta como rayo. Ellos no llevan el...

es decir, que consideran la luz como onda, es quizá la aproximación o el modelo más útil. Hoy en día. Pero quizá por este comportamiento extraño, desde el punto de vista del observador, que tiene la luz en cuanto a su trayectoria, comparada a lo mejor con el sonido, que parece que puede no ser siempre rectilínea, como en esos fenómenos de reflexión y refracción, esto no sorprendió a los científicos precisamente hace años, cuando se pusieron a investigar la luz, por su comportamiento tan extraño, y entonces se dieron teorías de lo más variadas sobre lo que podía ser la luz, como esa corpuscular, la luz eran corpúsculos, hasta llegar hoy a una interpretación de que la luz se puede hacer onda. ¿Cómo ha sido la historia de las investigaciones sobre la luz y las teorías sobre lo que la luz es? La historia ha sido complicada y envenenada. Ha habido muchas polémicas. No hemos entendido lo que es la luz hasta... Los trabajos fundamentales de un científico...

británico que se llamó clerc maxwell hasta entonces las cosas no estaban claras desde marches ya empezaron a estarlo por ejemplo no es fácil ver la diferencia entre sonido y luz los dos son ondas ahora bien algunos experimentos permiten poner de manifiesto que no son lo mismo porque hay dos tipos de

ondas hay la onda que llamamos longitudinal es decir que se propaga en la dirección de perturbación ella misma el sonido es eso el sonido es yo emito una vibración con mi laringe que perturba al aire varía la presión y la densidad del aire en torno a mi boca y esa variación de presión se propaga a lo largo del aire llega al micro y perturba a otra membranita en el micro la dirección de propagación es la dirección de la propia perturbación avanzan como empujándose unas gentes con otras en una fila sin embargo la luz no es tal tipo de onda la luz se parece mucho más

a las ondas que yo formo en el agua cuando tiro una piedra. Vibra transversa a la dirección de propagación. Eso hace que ya pueda haber un experimento que permita ver la diferencia, el experimento que se llama depolarización. Si yo mando una señal que se propaga en la misma dirección que la propia perturbación es, no hay más que esa dirección. Si yo en cambio tengo algo que se propaga en una dirección perpendicular a la perturbación, entonces hay al menos dos direcciones distintas, la dirección de propagación y su perpendicular. Pero esa perpendicular puede ser cualquiera de los 360 grados, es decir, infinitas direcciones que dan todos los puntos de un círculo, de una circunferencia. Cuando la luz, perturbación transversa de un campo eléctrico y otro campo eléctrico, y otro campo magnético perpendicular a ese campo eléctrico, es tal que el campo eléctrico sólo vibra en un plano

es decir, en una línea, diríamos, perpendicular a la línea de propagación, se habla de polarización en ese plano o polarización rectilínea. Si ese plano va girando ordenadamente, por ejemplo, a derechas o a izquierdas, dando lo que sería un círculo, hablaríamos de polarización circular a derechas, polarización circular a izquierdas. Hay sustancias que envían a la luz que no esté polarizada de ese modo, obligan a la luz a polarizarse de ese modo. Se llaman sustancias ópticamente activas, con poder rotatorio. Si el plano de vibración de ese campo eléctrico no es uno que gire ordenadamente a derechas o a izquierdas, sino a la derecha, a izquierda, a derecha, a izquierda, a derecha, a derecha, a izquierda, aleatoriamente, no es que la luz no esté polarizada, pero se dice que no está polarizada por degeneración del lenguaje, está polarizada aleatoriamente. Esa propia polarización permite distinguir claramente la luz del sonido. Pero más aún,

Para propagar el sonido se necesita un medio material, y esto fue realmente importante en el estudio de la luz. Solo hasta un experimento que se debe a dos científicos americanos, Michelson y Morley, se descartó que la luz precisase de soporte material. El último soporte material, hoy nos parece folclórico, para la transmisión de la luz se le llamó éter. Pues bien, en un experimento de interferometría se puede poner de manifiesto, por la propiedad de interferencia de las ondas, que la luz se puede propagar en ausencia de medio. Es decir, si yo cojo un reloj y lo meto en una campana neumática, una campana de vidrio, por ejemplo, para ver cómo funciona, y extraigo todo el aire que puedo extraer, hago el vacío, al principio yo estaba oyendo ese reloj y lo dejo de oír. Sin embargo, la luz... La luz se puede propagar en el vacío. Es más, la velocidad de la luz en el vacío son 300...

mil kilómetros por segundo y es una cota superior a todas las velocidades alcanzables, hasta el punto de que si nosotros, materia vulgar y corriente, pudiésemos ir acelerándonos y acercándonos a 300 mil kilómetros por segundo, nos haríamos luz. Tardó mucho la comunidad científica en dejar la versión corpúsculo, en dejar la versión rayo, en aferrarse a la versión electromagnética ondulatoria, pero no es la última palabra, ni lo es hoy, ni lo será en el futuro. Es quizá la versión más completa dentro del mundo clásico, sin entrar en lo que es la mecánica cuántica. ¿La luz es entonces una forma de energía? ¿Por qué en eso que se llamó erróneamente en el pasado éter, en el espacio, la luz no se ve? ¿Y por qué cuando llega, por ejemplo, a la atmósfera sí se ve? No, no, la luz es energía, por definición. Pero no es que no se viera en el éter, es que se pretendía que para la transmisión se pretendía...

Precisaba siempre de un sustrato material. Y a ese sustrato material, que no se había llegado a identificar, se le llamó éter, pero se pudo poner de manifiesto de que no, no precisamos ese sustrato material, de que la luz se propaga aún en ausencia de todo tipo de materia. Así como el sonido precisa el sustrato material, si no hay material que se perturbe, no hay densidad de un gas, de un sólido, de un líquido, que pueda variar, no hay propagación de sonido. Así pues, es una forma de transmisión de la energía sin soporte. La luz se lleva a ella misma, diríamos, frente al sonido que lo tiene que llevar un material. Y eso nos costó mucho tiempo. De ahí vienen numerosísimas de sus aplicaciones, particularmente con el láser. Pero al mismo tiempo quiero señalar que lo que estamos diciendo de la luz, y tú y yo lo estamos diciendo de la luz que vemos, se aplica a toda la luz. Y toda la luz va desde longitudes de onda de kilómetros o más, como es. El tipo de longitud de onda en los metros...

los kilómetros que utiliza la aviación para comunicarse los aviadores, los pilotos con las bases, con los aeropuertos, hasta los rayos gamma, los rayos cósmicos, que son de 100 millonésimas de centímetro de

longitud de onda. Lo que vemos de luz es ridículo. Es muy poquito. Es entre 4.000 y 7.000 Armstrong entre lo que sería el violeta y el rojo. Muy poquito. El Armstrong es la 100 millonésima de centímetro. Todo lo que no vemos, más corto que el visible por el violeta, se le llama ultravioleta, rayos X, rayos gamma, rayos cósmicos. Todo lo que no vemos por encima del rojo se le llama infrarrojo, todo el calor. Si nosotros nos quedásemos desnudos en cuero, en una habitación, nos podríamos ver con unas gafas de infrarrojo. No nos veríamos a ojos desnudos. Nos calentamos con luz. Los radiadores dan luz, pero la dan en infrarrojo, que es la que calienta. Los hornos de micro. Las ondas son de luz. Lo que pasa es que están en los milímetros, los centímetros.

Son las ondas de radio, normales y corrientes, hacia los centímetros, incluso más allá de los metros, y esa luz que no vemos, lo que hace es que rompe enlaces moleculares que calientan in situ al pollo. Luego con luz infrarroja lo calentamos en una determinada región, con luz milimétrica, centimétrica en otra región, y con luz ultravioleta o violeta lo doramos. Pues la que es la misma energía, simplemente que cambia la longitud de onda. Exactamente. Y la luz que es perceptible por el ojo humano es minoritaria comparada con todas las luces que hay. Y las diferencias entre colores, por ejemplo, que ve el ojo humano, también están medidas dentro de esas pequeñas longitudes de onda. Claro, es la longitud de onda más larga está hacia el rojo, la más corta está hacia el violeta. Los siete colores que conocemos son los colores que ya descubrió Newton. Las longitudes de onda tienen su origen en mecanismos de producción distintos. Por ejemplo, las ondas de radio. Los centímetros, los metros se generan cogiendo una corriente eléctrica.

y haciéndola vibrar. Oscilando a alta frecuencia, una corriente eléctrica, se genera la onda de radio normal. El infrarrojo se hace tocando a lo que llamaríamos los electrones más externos de los átomos. Conforme vamos metiéndonos en esa imagen que se debe a Boris Sommerfeld, que no hay por qué tomarla como real, pero útil a la hora de explicar las cosas, conforme nos vamos metiendo más y más en las capas electrónicas, hacia capas electrónicas más profundas, hacia el núcleo, vamos sacando longitudes de onda cada vez más cortas. Cada vez fuera del visible más cortas, más peligrosas desde el punto de vista genético, por ejemplo. Los cambios energéticos ya en la estructura más íntima hacia el núcleo ya nos llevan hacia los rayos gamma y hacia los rayos cósmicos. Los rayos gamma, precisamente, son rayos que provienen de perturbaciones en núcleos atómicos. Así pues, el origen da a una longitud distinta. Y la utilización proviene también, precisamente, de que conozcamos esa longitud. Es decir, si yo quiero actuar sobre niveles...

energéticos que me dan luz en el milímetro, debo actuar con luz del milímetro. Por eso, para cocer un pollo en el microondas, magnífico, pero no lo doren, no lo podrán dorar. Porque es otro tipo de longitud. Pero cuando hablabas del tema de los colores, es simplemente una curiosidad. ¿Por qué hay esa especie de situación, por lo menos en lo que se ha visto en la investigación espacial, que parece que en las naves espaciales o la investigación espacial, que no hay tanta diferencia de colores como se aprecia, por ejemplo, aquí en la Tierra? Bueno, eso se debe a las moléculas que absorben el vapor de agua, el dióxido de carbono, anidocarbónico, cantidad de sustancias absorben los colores. De hecho, por coger una anécdota, supóngase una persona que no tenga ningunos estudios y diga, me quiero hacer un cañón, porque vamos a hablar de un poco la guerra de las galaxias, yo quiero hacerme un cañón para cargarme aviones con un láser potentísimo. Y va y se lo compra o se lo construye en el color ultravioleta. Pues bien, un aviador que no tiene ningún tipo de tecnología, que vaya unos 10 kilos.

de altura se ríe se ríe porque resulta que el ultravioleta se apantalla inmediatamente por las capas bajas de la atmósfera y no atraviesa prácticamente gracias a eso no estamos todo el día quemados y si no que se lo digan a los que van al primer día a la playa que se exponen al poco de ultravioleta que llega y enseguida se queman es decir que lo que pasa es que en la atmósfera hay cantidad de sustancias sobre todo piénsese en una atmósfera como la de madrid yo recuerdo cuando era estudiante hace ya unos cuantos años desgraciadamente cuando yo era estudiante pues madrid una ciudad soleada azul bonita en el sentido de un cielo azulito claro hoy madrid una ciudad turbia es el londres de los años 50 así como en investigación en otros dominios vamos 20 o 30 años de retraso como mínimo con respecto a gran breaña pues en la contaminación estamos de por los años 40 50 de gran breaña de londres en particular hoy yo recuerdo a ver está en londres los años 60 hoy madrid se parece mucho a lo que quedaba todavía en los años 60 pero lo

Los continentes se ríen cuando vienen a Madrid. ¿Qué es lo que pasa? Que llega la luz y ya ni siquiera vemos la directa. Vemos una luz amarillenta que proviene de lo que se llama la dispersión múltiple a lo largo de todas esas partículas de contaminación. Así pues, si nos vamos a un satélite tenemos el cielo limpio, diríamos, y los colores se presentan de otra manera. Pues pasando a la segunda parte, que es lo

del láser, las aplicaciones del láser, si no queda nada más pendiente que podamos decir sobre la luz, pues vamos a ver, el láser me imagino que es un tipo de luz, y vamos a ver qué es lo que puede hacer, qué aplicaciones puede tener. Por supuesto que queda mucho que decir de la luz, lo que pasa es que vamos a quedarnos solo a la media horita que tenemos. Ya tuvimos una serie sobre láser y aplicaciones en Revista de Física los martes, en el primer trimestre, pero hoy vamos a centrarnos en la aplicación de láser.

en decir un mínimo de cosas para atraer el interés de la audiencia. El láser tiene su interés porque es la domesticación de la luz. La aparición del primer láser yo creo que es del calibre de haber inventado la rueda, el cuchillo o el control del fuego. Parece mentira porque el primer láser que se hizo era aparentemente ridículo. Pues bien, en 1964 la comunidad científica reconoció los trabajos de domesticación de la luz hechos por numerosos científicos y particularmente por un científico americano, Tone, que en aquellos momentos era catedrático de la Universidad de Colombia, en Nueva York, y dos científicos soviéticos, Vazov y Prohorov, del Instituto Lebedev en Moscú, dándoles el premio Nobel por sus trabajos en la domesticación de la luz, en hacer la teoría de lo que es un láser. En 1964, el Instituto Lebedev, en el que se ha convertido en el primer láser de la humanidad, se ha convertido en el primer láser de la humanidad. En 1964, el Instituto Lebedev, en el que se ha convertido en el primer láser de la humanidad, En 1981 se le dio al cuñado de Tone, Arthur Showlow, hoy catedrático en la Universidad de Stanford, hoy Tone es el catedrático...

en la Universidad de California, a ver qué ley, y a Nicholas Blumbergen, de la Universidad de Harvard, también por trabajos debidos a la domesticación de la luz. Pero bien, eso no fue más que el final de todo un proceso que ya viene desde Einstein a primeros de siglo. Otro hito importante fue el primer láser que se construye, en mayo de 1960, en unos laboratorios en Malibú, California, por un científico americano que se llama Theodore Maiman. El aparatito de Osteo Maiman fue una fuente de luz un poco especial, más bien ridícula aparentemente, y que a mi entender supone una revolución en el desarrollo de la humanidad. Era un cristalito sintético de rubí. El rubí es el zafiro, óxido de aluminio. Cuando se quitan unas cuantas partes de aluminio, unas partes por mil, y se las sustituye por hierro y titanio, se pone de color azul, es el zafiro azul. Cuando se las sustituye por cromo, se hace rosado pálido, y es el rubí. Pues bien, se le ocurrió a Maiman seguir unas ideas que, como digo, inició antes. El rubí es el zafiro, óxido de aluminio.

que fue perturbar al rubí, perturbar al cromo, para que por excitación y excitación encima de excitación, lloviese sobre mojado y el cromo emitiese su respuesta a esa excitación como un color especial, una luz especial. Esa luz especial tiene la propiedad de coherencia superior a la luz de una bombilla ordinaria, porque era de un color determinado y con todas las onditas que se emitían en fase, máximos con máximos, mínimos con mínimos, porque cabría pensar que si vemos un láser por fuera, un tubo que emite luz de un solo color, como en muchas discotecas, pues podríamos coger una bombilla, la metemos en una caja, la pintamos de un color y ya tenemos el láser. No es posible, no es posible porque la bombilla emite, no ya en todos los colores, sino todas las ondas posibles y con el desmadre que se quiera, entre unidades. Una onda y otra, aunque sea del mismo color. Así pues, el láser supone una fuente...

controlando, domesticando esa onda de la que hemos hablado antes. O sea que es, digamos, una luz muy concentrada y compacta, por decir así. Se puede hacer tan compacta como quiera, paquetitos inmensos de energía en duraciones de cien millonésimas, mil millonésimas de segundos. ¿Y entonces cuáles pueden ser las aplicaciones de este chorro de energía puntual que es un láser? Muchísimas, vamos a ver a dos niveles. Por un lado, llamaríamos a lo mismo. En marzo de 1983, el presidente Reagan anunció lo que se ha llamado la Guerra de las Galaxias, la iniciativa de la guerra de las galaxias. La defensa estratégica en una conferencia de televisión.

Pues bien, ello se debe a que si yo puedo hacer paquetes de energía, paquetes de materia, que los hago marchar a 300.000 kilómetros por segundo, son paquetes de energía, pues bien puedo tener un proyectil. Pero es que resulta que es el proyectil más rápido. Siete veces, siete vueltas y media da la Tierra ese proyectil en un segundo. Paquetes, perdón, vamos a precisar esto, paquetes de materia a 300.000 kilómetros por segundo... Son paquetes de luz. Eso suponiendo cierta la teoría de Einstein y enlazando con algo que dijiste antes, vamos al tema de la luz, que hemos hablado en la primera parte del programa, que si nosotros fuéramos capaces de ir a la velocidad de la luz, nos transformaríamos en luz, a 300.000 kilómetros por segundo. Es decir, tú tienes dos posibilidades de verte como luz. Una, en cueros emitiendo rayos infrarrojos. Dos, te pones una camisa... Una camisa de esa fluorescente, ojo.

...te vas a una discoteca y sales con toda esa gloria que da el color. Pues bien, la otra posibilidad es, acelérate, ...acelérate en algún mecanismo que te lleve a 300.000 T.C. Serás una bola de luz. Pero ¿la materia está o simplemente una bola de luz? Una bola de luz. El actitud de la teoría de Einstein se transforma en energía. Podríamos decir que si las cosas fueran reversibles, recuperamos al individuo, lo cual no es posible por los fenómenos biológicos. Pero quiero decir que condensar la energía bajando las velocidades pequeñas, ...se da la materia. Eso es la célebre fórmula, ella es la MC cuadrada. Pues bien, ahí tenemos el proyectil. Por tanto, aplicación a lo bestia. Sirve pues para cortar piezas de metal, para hacer uso como bisturí. Un bisturí con ácido carbónico se puede conseguir. La ventaja que tiene es que no hay hemorragia. Corta vaporizando los líquidos, sublimando los sólidos. Así pues, aplicaciones por cantidad de energía que yo puedo controlar. Pero aplicaciones por colorido. Por ejemplo...

Si yo mando luz verde sobre un conjunto de células, puedo parar el proceso respiratorio. Puedo bloquear un proceso cancerígeno usando color adecuado. Hemos dicho antes que el color actuaba según niveles energéticos de los átomos o las moléculas, tanto para su emisión como para su acción. Por tanto, la luz se puede utilizar como bisturí para cortar y se usa ya. Se han soldado cientos de miles de retinas con bisturíes, diríamos, láser. Pero siempre tiene que haber visión directa sobre el objeto que se trata. Bueno, lo que se hace es que te pones unas gafas y esas gafas suelen ser, o una portadora, te pones luz visible inocua, milivática, que no sirve para nada más que para iluminar, y al lado de esa luz visible pones otra, que puede ser invisible generalmente, en el infrarrojo donde ya mandas vatios o kilovatios. Con unos cuantos vatios ya haces soldaduras de retinas. Cortas trajes como hace el corte inglés. Pero, por ejemplo... ¿Y las vacas?

dentro del cuerpo lo podrían por supuesto llevar a los con un tubo como haciendo uso de lo que se llama una fibra óptica una guía de luz en virtud de la propiedad de reflexión selectiva si tú mandas luz de un medio más denso de mayor índice de refracción a uno menos denso hay un momento en que no hay refracción sino reflexión total coges un tubo metro grupo del tubo y la lleva y cura una úlcera en el duodeno curas lo que quieras curar llevando la luz donde quiera de hecho las comunicaciones entre las islas canarias se hace con fibras ópticas se están comiendo los tiburones dichos de paso así pues utilización diríamos por cantidad de energía utilización por colorido esas dos son las posibilidades de la utilización del láser que supone una fuente de luz domesticada en base a principios de la mecánica cuántica ya lo que se llama la excitación sobre excitación es decir a un átomo excitarlo invertirla

situación de su población llevándolo del estado en que estaría tranquilo al estado excitado y luego atizándolo de nuevo. Esa idea descubierta por Einstein, desarrollada luego por los científicos Toms, Prohorov, Ivasov y muchos otros más, es lo que da al láser la definición de fuente de luz domesticada. En el terreno militar y bélico, efectivamente, ¿cómo se puede utilizar? ¿Qué tipo de armas se pueden hacer con el láser? Hay dos posibilidades. Una posibilidad, la hemos dicho, proyectil. La otra posibilidad es telemetría. Es simple, es un sistema de telemetría.

Simplemente guiar un misil convencional, pero guiarlo ya con la propia luz. En ese sentido, la ventaja que tiene un láser es que la intensidad que se emite al final del tubo, o al final del emisor de la luz, permanece inalterable a lo largo de su recorrido, frente a la emisión de una bombilla tradicional esférica, cuya intensidad decae como el inverso del cuadrado de la distancia. Así pues, toda la telemetría, bueno, las carreteras que se hacían en España, se hacían de torre de iglesia a torre de iglesia en cada pueblo. Eso se ha acabado. Ya podemos hacerlo con un láser y ya se van a ir perdiendo esos telolitos que vemos, esos aparatos que vemos en las carreteras. Se puede hacer, por ejemplo, la medida, como se ha hecho, de la distancia de la Tierra a la Luna con errores centimétricos. Se puede saber cuánto se está separando Europa de América, unos centímetros por año, o África juntándose a Europa, digamos España o Europa, unos centímetros por año, precisamente usando... ..

el hecho de encontrar bien el láser. O sea, que da para la medición física un margen de error pequeñísimo. Bueno, en principio, idealmente, de la orden de magnitud de la dimensión que estás utilizando como unidad, que es su propia longitud de onda. Pero déjame que te señale cómo podríamos entender esto del láser, porque es un ejemplo muy fácil. Tú te coges un lápiz de grafito, y el grafito es carbono, en estructura tridimensional. Te coges un diamante, carbono, en estructura tridimensional. Luego el grafito y el diamante son lo mismo. Amigo, un lápiz te cuesta 20 duros. Bueno, antes costaba una peseta, era 20 duros. Pero un diamante no son 20 duros. ¿Cuál es la diferencia? Pues bien, la diferencia es el funcionamiento cooperativo o no de esa estructura, de los átomos de esa estructura. El funcionamiento de un conjunto de individuos, es en una barca remando cada uno a su aire.

es el desmadre, la bombilla, el grafito, el funcionamiento con un conjunto de individuos magníficamente

organizados, remando todos como es debido, es el funcionamiento en fase, es el láser. El diamante es la estructura tridimensional con ligaduras tridimensionales en las tridimensiones todas iguales, fuertes, mientras que en el grafito, lo fuerte en las estructuras solo está por planos, y entre planos las ligaduras son muy débiles, hay un desmadre, diríamos, entre los planos, por decirlo de manera jocosa, y así cuando pintamos, cuando dibujamos, nos dejamos láminas, mientras que con el diamante rayas. Es pues la organización de los átomos lo que diferencia al láser de una bombilla tradicional como al grafito o al diamante de un grafito. El estudio de esa organización es el estudio de lo que se llama la estructura tridimensional. ¿Qué es lo que se llama la estructura tridimensional? Es el estudio de lo que se llama la estructura tridimensional. Se llama los fenómenos cooperativos en física, y el láser es un ejemplo tipo...

de fenómeno cooperativo en física, donde el total es más que la suma de las partes. La Universidad de Madrid La Universidad de Madrid

El próximo programa de esta asignatura hablaremos de los fluidos. Buenas noches.