

... Aquí comienza Acceso a UNED, programa de radio cultural y educativa especialmente para los alumnos del curso de mayores de 25 años. Esta noche física. Ofreceremos un tema de divulgación científica y de extensión cultural en el que participa el catedrático de la asignatura, Manuel García Velarde. Hablaremos de las transiciones de fase, nos referiremos a la materia inanimada y a las transiciones de la materia y a casos espectaculares que se han hecho en la historia de la humanidad. Como es, por ejemplo, el de los superfluidos.

o el de los superconductores. En El Control, Jesús Cediél, presentándoos el programa Arturo Manuel Fernández. Estamos de lunes a viernes de 11 a 11 y media de la noche, una hora menos en Canarias, en Radio Nacional de España, en Frecuencia Modulada, en Radio 3 y en Radio 4, en Cabra, Calahorra, Badajoz, Valencia, Ciudad Real, Ávila y Soria. En Onda Media, en Radio 5, en Barbastro y en las emisoras asociadas de Radio Reynosa y Radio Aragón de Calatayuz. En el programa de esta noche de física con el catedrático Manuel García Velarde, vamos a hablar de la física de la materia inanimada, fases de la materia y transiciones, casos espectaculares, superfluidos, superconductores, etc.

¡Suscríbete al canal! ¡Suscríbete al canal!

Y estas dos charlas son las transiciones de fase en la materia inanimada y en la materia viviente. Entendemos por materia inanimada las piedras, los metales, cualquier cosa que no sea un ser vivo. Quizá el límite esté en los virus, que son cristales, con una estructura, como puede tener de estructura un cristal de sal común, más complicada, pero estructura cristalina detectable por difracción de rayos X, y que cuando infecta se reproduce, y eso es ya lo que es parte del ser vivo. Pues bien, digamos hasta los virus inclusive, qué tipo de transiciones hay. Y vamos a intentar ver en la siguiente charla de la materia viviente cómo se parecen mucho esas transiciones. En el fondo no somos más que materia carbónica organizada, un poco más que la materia inanimada. Sin que haya ninguna connotación de carácter ideológico, es simplemente la actitud de quien hace, digamos, la física su profesión. Pues bien, no se puede decir que la materia viviente es la que más se ha convertido en un ser vivo. Nos encontramos con que en condiciones ordinarias vemos, por ejemplo, el agua en forma líquida.

La vemos también en forma sólida, como el hielo, y la vemos en forma de vapor. Y así hay tendencia a hablar de tres fases de la materia, sin precisar más. Ha habido en la historia de la física veces en las que se ha dicho una nueva fase, la cuarta fase de la materia, por ejemplo, los plasmas. Pues bien, yo creo que lo que hay que empezar diciendo es que la fase de la materia, para decir lo que son, hay que precisar en qué condiciones las estamos estudiando. Si una sustancia es homogénea en cualquiera de sus fases, dos variables son suficientes para poder explicarla. Y esas variables pueden ser presión y temperatura. Si la sustancia no es homogénea, necesitamos más de dos variables. Si cogemos dos variables, entonces presión y temperatura, por ejemplo, de ahí sacamos el resto de las magnitudes para describir esa sustancia, tales como un calor específico, una energía interna, un índice de refracción, una constante dieléctrica, etcétera, etcétera. Entonces tenemos lo que se llama una ecuación de estado, es decir, una relación entre el presidente y el presidente.

temperatura dando la tercera variable que depende de esas dos. Pues bien escogidas presión y temperatura yo me puedo encontrar con una sustancia en una de sus fases. Por ejemplo, a la presión de una atmósfera, y se nos olvida decir esto, y a la temperatura entre 0 y 100 grados tenemos el agua líquida. Por encima de 100 grados tenemos el agua a vapor, por debajo de 0 grados tenemos el agua sólida, pero a la presión de una atmósfera. Si yo cojo la temperatura de 20 grados y vario la presión, el agua la paso de vapor a sólido a través de líquido, porque si la comprimo mucho el agua a la temperatura de 20 grados, pues la hago sólida. Si consigo descomprimirla, rarificarla, pues acabaré haciendo la gas. Es decir, en principio las fases de la materia dependen de las magnitudes que yo estoy utilizando. Una misma sustancia varía. Así pues los plasmas no son la cuarta fase de la materia. Eso es una tontería.

En realidad los plasmas no son más que una fase fluida en la que he subido tanto la temperatura, por ejemplo, millones de grados, variando la presión o a presión ambiente, de modo que toda esa materia se hace gas. Por encima de una cierta temperatura, que se llama temperatura crítica, que es la temperatura que hay al final de lo que se llama la curva de coexistencia de gas y líquido, que es la curva de presión de vapor, no se puede distinguir entre un gas y un líquido. No es posible. Entonces, por encima de ese punto, si yo subo mucho más la temperatura, y fijo la presión, lo que pasa con ese fluido es que empieza a romperse. Esa rotura da lugar a lo que se llama la ionización. Se separan los electrones, se hacen iones positivos y electrones, y entonces un gas totalmente ionizado se llama plasma. El gas de un tubo de neón, de estos que tenemos para iluminarnos, es parcialmente un plasma. Se dice parcialmente porque

no está totalmente ionizado, a lo mejor, está parcialmente ionizado. Pues bien, el plasma no es más que subir mucho la temperatura, digamos, fijándonos...

la presión. Al mismo tiempo, si bajo mucho, mucho la temperatura y bajo eventualmente la presión, puedo conseguir que toda la materia condense. De hecho, toda la materia debe condensar en principio debido a lo que se llama el tercer principio de la termodinámica o teorema de Ness, debe condensar en el cero absoluto. Hay, sin embargo, casos anómalos como el helio 4, el helio 3. El helio 3 es un gas de Fermi, el helio 4 es un gas de Bose, un fluido de Bose. Pues bien, el helio 4 a bajas temperaturas no condensa como el resto de la materia inanimada. Es pues una sustancia anómala en ese sentido. Para que condense tenemos realmente que subir la presión brutalmente. Pues bien, el helio tiene esa propiedad anómala de seguir fluido hasta el final, a las presiones bajas y temperaturas muy bajas. Y hay una transición de ese fluido a una situación anómala que se llama superfluido, donde, deja de tener viscosidad, donde ya no hay fricción...

O sea, no hay calentamiento al fluir, que es lo que le ocurre a los fluidos normales. Cuando ese fluido es un gas de electrones en un metal, entonces se le llama superconductor. Este año pasado los superconductores han sido muy mencionados porque el premio Nobel de Física se dio por lo que se llamó, en busca de encuentro de superconductores, prácticamente casi a temperatura ambiente, por dos colegas de los laboratorios de IBM en Zúrich, uno de ellos, su nombre es Müller. Tuvimos ocasión en esta radio, en esta emisora de la UNED, de hablar de la superconductividad durante varios días el año pasado. Entonces, cuando fijamos dos condiciones experimentales, dos variables, normalmente las variables que se suelen manejar son la presión y la temperatura, los estados de la materia son tres, sólido, líquido y gaseoso, la temperatura,

Las fases de la materia son, pues, cuando yo me muevo en presión y temperatura, por ejemplo, ¿qué le pasa a una sustancia? Tenemos, pues, sólido, tenemos, pues, líquido, tenemos, pues, gases, gases ionizados, si yo varío la temperatura a una presión determinada con el agua. O sea que entonces seguimos admitiendo un poco la visión tradicional, ¿no?, de que solamente hay tres estados, ¿no?, sólido, líquido y gaseoso, y estos gaseosos ionizados, que son los plasmas, no se debe de considerar un cuarto estado. En realidad he entendido una trampa, porque eso es lo que quiero desmitificar y romper. Por ejemplo, si yo cojo una sustancia y la llevo cerca del punto que se llama de coexistencia entre tres fases, del punto triple, una sustancia en la que su fase sólida, líquida y gaseosa coexisten, y resulta que la observo ópticamente y tiene propiedades que son de sólido, birefringencia, por ejemplo, doble refracción, que se dice, en ese momento, ¿qué es esa sustancia?

¿Es un sólido o es un fluido? Es un líquido. Está en la zona que debería ser líquido, de acuerdo con ese diagrama en el que habría tres fases coexistiendo, pero sin embargo tiene propiedades ópticas de sólido. Curiosamente esas sustancias, si yo las miro mecánicamente, vería que fluyen, son pues líquidos. Pues bien, en la zona próxima al punto triple hay materiales que tienen una fase que se llama fase mesofase cristal líquido. Es el conjunto de los materiales que utilizamos en los relojes digitales, esos que ahora valen muy baratitos. Estas sustancias son muy cerca del punto triple, ópticamente sólidos cristalinos, mecánicamente fluidos. Así pues, no solamente yo tengo que definir dos variables en una sustancia homogénea, para hablar de sus fases. Sino además, cómo voy a observarla. Y las cosas son, y lo dice la gente, y a los científicos nos cuesta mucho trabajo entender lo que dice la gente.

el vulgo, las cosas son según el color del cristal con el que se mira. Es decir, ¿qué es esta sustancia? ¿En qué fase está? Tengo que decir cómo la miro. Si la miro ópticamente, vaya a lo mejor ocurre que la veo sólido cristalino. Si la miro mecánicamente, vaya a lo mejor ocurre que la veo fluido. Pues bien, si yo observo mecánicamente y ópticamente una sustancia normal, veré generalmente a la presión de una atmósfera y variación de temperatura razonable en un rango en el que estamos habituados en nuestra vida corriente, la veré en las tres fases tradicionales de la materia. Por eso es por lo que siempre se habla de tres fases. Pero en realidad, cuando yo varío presión y temperatura o actúo con otras variables, por ejemplo, en una zona en la que actúe con un campo externo, un campo magnético, en una materia, en un trozo de materia que sea susceptible de reaccionar al campo magnético, en la zona sólida encontraré, por ejemplo, lo que se llama un cambio de para y mangú. Un aferro y mangú. Es decir, yo cojo un trocito de...

hierro. Lo cojo ya en aquella región de presión y temperatura donde es sólido. Una cerámica de esas que venden en los supermercados y que me sirve para pegar las cosas en las cocinas para acordarme de lo que tengo que comprar al día siguiente. Pues bien, si eso lo caliento hasta la temperatura de mil grados o un poco más de mil grados a la presión de una atmósfera, a la presión ordinaria, en la cocina, con un

calentador, un infernillo de butano, observaré que deja de tener las propiedades magnéticas. Lo dejo enfriar y vuelve a recuperar las propiedades magnéticas. Tenemos pues que dentro de la fase sólida un material puede ser imán o dejar de serlo. De hecho, estos imanes de cerámica se han utilizado para datar ánforas, porque las ánforas son material cerámico que se cuece y después de cocido se enfría. Y esta cerámica, que tiene magnetita, tiene la propiedad de atrapar el campo geomagnético del momento en que se enfría. Y eso ha permitido la datación de ánforas y de otros materiales que han sido utilizados.

han sufrido este proceso de cocción y enfriamiento. Si miráramos, por ejemplo, el problema desde el punto de vista de la estructura íntima de la materia, la composición molecular o química, no hay cambios porque, por ejemplo, en el caso del agua tan típico, se supone que sigue habiendo H_2O , esté en el estado líquido, sólido o gaseoso, y que la cuestión, cuando ya se pasa a un gas ionizado, pues cambia toda la cuestión eléctrica de los átomos. ¿Hay cambios en estas transiciones en la estructura íntima de la materia de los cuerpos? En algunos cambios de fase hay auténticos cambios en la estructura, en otros no. En otros lo que hay es un cambio de función. Por ejemplo, en esto que hemos hablado del cambio de paramán a ferroimán, la materia sigue siendo exactamente la misma. Lo que pasa es que, debido a las interacciones que hay entre primeros vecinos, diríamos, de átomos, en primera aproximación, si suponemos que los átomos están sobre una red cristalina, debido a cambios en esa interacción y a cambio de...

temperatura yo puedo conseguir que funcione de otra manera por eso podemos hablar de transiciones en funcionamiento más que en estructura por supuesto que puede haber transiciones de estructura por ejemplo el azufre siendo sólido tiene dos fases cristalinas sólidas distintas donde la estructura la red cristalina es distinta en un caso y en otro es decir puede efectivamente haber cambios de estructura pero puede mantenerse la estructura de ver cambio de función en ese sentido podemos hablar de transición de fase cuando al medir una magnitud que es una respuesta las cosas que medimos son en realidad respuesta yo lanzo una sonda y veo cómo reacciona el material pues bien esa reacción puede ser una reacción que me permita detectar cambio de estructura o cambio de función en el caso del paraferro imán es más bien cambio de función en el caso del agua hay cambio de estructura a nivel líquido sólido efectivamente si yo cojo un agua líquida y bajo su temperatura la presión de una atmósfera y me encuentro por debajo de cero grados que es un sólido cristalino a cambio de la estructura tenemos el h

son, lo que pasa es que tenemos en un caso, digamos, las moléculas sueltas jugando desordenadamente en función de la temperatura que tienen, que cuando la temperatura baja se van empaquetando y ese empaquetamiento da lo que se llama la red cristalina. A no confundir un cristal con un cristal de ventana. Un cristal de ventana no tiene estructura cristalina, es un plástico mucho más que un cristal. Si yo hago difracción de rayos X de un cristal de ventana no veo nada, veo más bien una fase fluida. Si yo hago difracción de rayos X de un cristal de sal común veo una red cristalina muy bien. Sí, bueno, igual pasa con el hielo, ¿no? Cuando cristalizas que se forma una red cristalina. Y tiene muchísimas fases el hielo. El agua es precisamente uno de los líquidos que más usamos y menos entendemos. Más complejo es en sus fases sólidas. ¡Gracias por ver el video!

Y podríamos hablar más del tema de los superfluidos y de los superconductores, porque yo creo que es interesante. ¿Eso puede tener aplicaciones de tipo práctico a nivel técnico? Cuando se hacen estudios científicos no se mira si van a tener o no aplicaciones, pero obviamente cada parcela de conocimiento que abrimos y desarrollamos acaba incidiendo en la tecnología. Los superconductores se espera que sean realmente útiles y nos resuelvan mucho el problema energético, aparte de numerosas otras cosas. Los superfluidos y los superconductores, que se estudian bajo las mismas características científicas, pues tienen ya aplicaciones en numerosos dominios. Pero otro tipo de transición que quiero mencionar, análoga a lo que es la superfluidez y la superconductividad, que son transiciones de carácter cooperativo, y ahora vamos a ver las dos transiciones que existen en un momento, las que mejor entendemos, es el caso de la superfluidez.

de un láser. Un láser es una bombilla que experimenta una transición de funcionamiento. De nuevo, no hay cambio en la estructura. Tenemos ahí algo que excitamos, un hilo o un gas que emite luz. Un gas de neón y helio que emite luz, pero que de pronto, en vez de hacerlo de manera aleatoria, arbitraria, desordenada, lo hace de manera organizada. Una vez más vemos que no hay cambio de estructura, sino cambio de función. Pues bien, estos cambios de fase, transiciones en los que hay cambio de función, en los que se pasa de un comportamiento generalmente desordenado a un comportamiento ordenado cooperativo, son lo que se llaman las transiciones de segundo orden, en la jerga de los inventores de la disciplina del siglo pasado. Se habla también de transiciones de primer orden, aquellas en las que no hay efecto cooperativo. Vamos a verlo con el caso del agua. Si yo cojo un trozo de hielo y lo empiezo a

calentar a la presión de una atmósfera, se va a fundar y se va a ir fundiendo poco a poco. Si yo cojo un trozo de imán y lo empiezo a calentar

y lo caliento hasta la temperatura en que deja de ser imán, que se llama la temperatura de Curie, deja de ser imán en bloque. Si yo cojo un trozo de imán y lo corto en trozos, todos los trocitos de imán son imanes. Tenemos pues que el imán, en su transición a la temperatura de Curie, al enfriarse por debajo de mil grados, en el caso del hierro, se hace de golpe entero un imán. La transición es cooperativa porque todos los átomos, en bloque, deciden actuar simultáneamente, organizadamente. En cambio, el hielo, si yo cojo agua y la enfrió a la presión de una atmósfera, se va solidificando poco a poco. Y si no, no hay más que observar en los congeladores de los frigoríficos que hay en casa, que cuando queremos hacer cubitos de hielo, si muy rápidamente vemos qué ha pasado con el agua que hemos puesto, se ha hecho sólida en la parte exterior, pero sigue líquida en el interior. Podemos romper un cubito de hielo y sacar el líquido que todavía no ha solidificado. Así pues, las transiciones de fase convienen distinguirlas entre dos clases. Las transiciones que llamamos de carácter no cooperativo...

que son el caso del agua-hielo y las transiciones de carácter cooperativo, el caso de los imanes, de los superfluidos, de los superconductores y del láser. Ya vemos cómo efectivamente, cuando vayamos a hablar de transiciones en sistemas biológicos, las cosas se van a parecer bastante. El funcionamiento biológico no es más que, ya comentaremos sobre ello más adelante, una transición de carácter cooperativo. Repito, pues, transiciones en las que en la respuesta vemos que el comportamiento de un átomo es el mismo que de los demás, que hay una conexión entre todos los átomos, y transiciones en las que al intentar observar el comportamiento del sistema, puedo ver el comportamiento de un átomo distinto al comportamiento de un átomo que está un poquito más alejado. Un poquito más alejado de una experiencia de óptica es más allá de 5000 Armstrong, el Armstrong es la cienmillonésima de centímetro. Mandamos luz blanca y vemos por un sitio que ya está la transición efectuada y por otro no. Si eso ocurre, hablamos de una transición no cooperativa. Una transición cooperativa, por ejemplo, es cuando yo mezclo agua con agua.

anís y se hace una paloma. Se ve blanqueado el líquido. Pues bien, ese líquido blanqueado no hace sino mostrar enormes fluctuaciones de densidad sobre grandes distancias en ese líquido que es el agua con el anís, que se llama la paloma. Esta transición de fase es una transición cooperativa. Cualquiera que haga con agua y anís una paloma no tiene más que meter ese cacharro donde ha hecho, no un vaso, el cacharro donde ha hecho la paloma sobre un butano, calentarla y se volverá transparente. Lo deja enfriar y volverá a ponerse otra vez translúcido, blanco. Ese carácter lechoso no es más que la manifestación de que colectivamente el sistema está con ganas de hacerse una cosa u otra y no puede. En ese caso la transición no es por cambio de temperatura, sino por cambio de concentración. Si yo pongo mucho agua y poquito anís, no hago la paloma. Si pongo mucho anís y poquito agua, tampoco hago la paloma. Tengo que variar la concentración del anís y poner concentración. Si yo pongo convenientemente anís en el agua, fracción de anís en el agua, para que

que efectivamente pueda tener esa transición a la situación que llamo paloma, y que es una situación de inestabilidad de una sola fase, porque intenta ser algo distinto de lo que era en el agua y de lo que era el anís, separadamente. La Paz

O sea, un poco la conclusión es que no existe una teoría única sobre las transiciones, ¿no? Que depende del tipo de materia que sea. O sea, una teoría general de las transiciones en física no existe. Depende de la sustancia que consideremos. No, justamente esa es la segunda trampa que te pongo. Lo que hay son muchas transiciones de fase y curiosamente hemos sido capaces de hacer teoría única cualesquiera que sean los sistemas. La teoría que describe los superfluidos se lleva a los superconductores, se lleva al láser, esencialmente. Todos los fenómenos de carácter cooperativo se describen bajo la misma estructura teórica. Todas las transiciones de carácter no cooperativo bajo la misma estructura teórica. Esa es la potencia de la teoría física. O sea, que en esas dos clases se resumen todas. Pues muy bien, pues se nos han aclarado muchas cosas sobre este tema. Gracias al catedrático Manuel García Velarde. Esperamos que a los alumnos también les haya interesado mucho lo que hemos hablado en el programa de esta noche y les emplazamos para el próximo... ..el próximo programa.

de esta asignatura. Buenas noches. Buenas noches a todos. Buenas noches.

Derecho, el informativo semanal de la UNED y nociones jurídicas básicas en el curso de acceso. Esto ha sido todo en la UNED. Muchas gracias por habernos acompañado y hasta mañana. La UNED

iSuscríbete al canal!