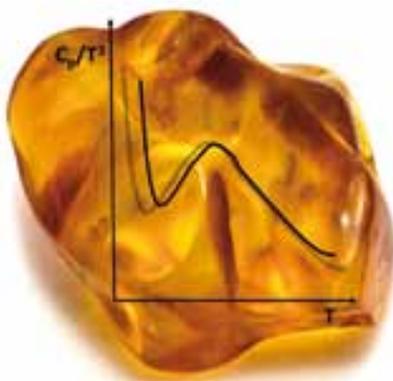


viscosa, han podido quedar fosilizados desde hace millones de años. El ámbar acaba ahora de despertar el interés de los físicos como posible modelo para estudiar las controvertidas propiedades de los vidrios y demás sólidos no cristalinos. En un reciente trabajo (doi: 10.1103/PhysRevLett.112.165901), un equipo liderado por Miguel A. Ramos, de la Universidad Autónoma de Madrid, ha estudiado muestras de ámbar de El Soplao (Cantabria), que tienen más de 110 millones de años de antigüedad, identificándolas como sólidos en estado vítreo que han sufrido un proceso de envejecimiento y la consecuente estabilización termodinámica involucrando escalas de tiempo muy superiores a las habitualmente accesibles en los laboratorios.

El trabajo consiste en observar las diferencias que hay entre las propiedades físicas —particularmente, el calor específico  $C_p$  medido a bajas temperaturas y alrededor de la temperatura para la transición vítrea, aproximadamente 150°C— de ese ámbar envejecido y las que tienen las mismas muestras a medida que se les va borrando su historia térmica. Este borrado se hace mediante procesos de calentamiento que permiten llegar finalmente a un vidrio completamente rejuvenecido después de haber hecho pasar al ámbar por el estado líquido.

El principal resultado ha sido que las dos propiedades más importantes, omnipresentes en los sólidos vítreos a bajas temperaturas —esto es, la presencia de “tuneleo” de dos niveles y un máximo en la función  $C_p/T^3$  que se conoce como “pico bosónico”— persisten esencialmente sin cambios a lo largo del proceso, de modo que ha de concluirse que se trata de propiedades *intrínsecas* de los vidrios, contrariamente a lo que se ha venido creyendo en los últimos cuarenta años. Las medidas muestran un modesto aumento en la altura del pico con el gradual rejuvenecimiento, aparentemente correlacionado con un aumento del coeficiente de Debye de las constantes elásticas. Todavía más llamativo es que la densidad de sistemas de dos niveles —familiar “anomalía” de los sólidos no cristalinos a muy bajas temperaturas— es exactamente la misma en el ámbar virgen original, que está muy estabilizado termodinámicamente, que en las muestras rejuvenecidas y, por extensión, en los vidrios convencionales. El ámbar



se nos muestra así como un modelo que en el futuro podría esclarecer otros rompecabezas en la física del estado vítreo, hoy todavía mucho más misteriosa que la correspondiente al estado cristalino.

## A VUELTAS CON EL ENTRELAZAMIENTO CUÁNTICO

El *entrelazamiento*, término acuñado por Schrödinger, objeto de estudio por Einstein y otros en el siglo pasado, es una propiedad fascinante del mundo cuántico: las partículas entrelazadas dejan de tener individualidad, aun cuando estén bien separadas espacialmente, pues funcionan como una función de onda única. Por ejemplo, cada una de las partículas en una pareja entrelazada en estado de espín nulo se ve obligada a responder inmediatamente a un cambio de espín hecho en la otra, con implicaciones en cómo se produce ese transporte de información lo que, aparte de un evidente interés fundamental puede tener aplicación práctica en computación.

Un problema consiste en llegar a conocer el estado cuántico de estos sistemas, de donde podría seguirse toda la información relevante, tal como la existencia o no de entrelazamiento y cuántas partículas del total están entrelazadas. Puesto que el número de grados de libertad crece exponen-

cialmente con el número de partículas, harían falta muchísimas medidas para tener toda la información. De hecho, la mayor *tomografía* completa que ha podido hacerse hasta la fecha se refiere a un estado de 8 partículas. La solución puede consistir en desarrollar técnicas que, aun sin conocer el estado completo, permitan llegar a cuantificar el entrelazamiento en el caso de sistemas con miles o millones de átomos. Pero este objetivo es difícil pues, en una tal nube de átomos, sólo son directamente medibles las magnitudes referidas al conjunto, como el momento angular total. Una reciente colaboración teórico-experimental entre Giuseppe Vitagliano y Géza Tóth de la UPV/EHU y otros investigadores de Alemania y Dinamarca (doi: 10.1103/PhysRevLett.112.155304) ha abordado este problema.

El experimento esencialmente consiste en crear un “estado de Dicke” de muchos átomos (figura adjunta). Se trata de un estado muy entrelazado —familiar en óptica cuántica, donde fue introducido para describir la emisión de luz por nubes de átomos— que, siendo simétrico bajo intercambio de partículas, facilita la caracterización del entrelazamiento. Los investigadores demuestran, con una seguridad de 2 desviaciones estándar, que el estado resultante tiene grupos de, al menos, 28 partículas entrelazadas, algo nunca conseguido en experimentos anteriores. Disponer de estados con muchas partículas entrelazadas abre la posibilidad de materializar expectativas teóricas de aplicación a la mejora de la precisión en metrología cuántica y a la realización de nuevos procesos informáticos relacionados con la tele-transportación.

