

DISCURSO DE CONTESTACIÓN

POR EL

Ilmo. Sr. D. JUAN BARTOLOMÉ SANJOAQUÍN

Excmo. Sr. Presidente

Ilmas. Autoridades

Ilmas. Sras. y Srs. Académicos

Señoras y Señores

La Real Academia me ha encargado la Contestación al Discurso de Ingreso del Prof. Dr. Conrado Rillo, honor que he asumido con gusto por el largo y fructífero período en que hemos entrecruzado nuestras actividades científicas, y, en muchos casos, nuestras vivencias personales.

En el curso de Termodinámica de Sólidos que impartía en la Licenciatura de Ciencias Físicas de la Universidad de Zaragoza, en 1981, me tropecé con un alumno brillante, al que además le gustaba la Física Experimental. No es frecuente encontrar a alguien que participe con entusiasmo en trabajos de Laboratorio, por lo que, una vez superada la asignatura y obtenido su grado de Licenciado, le invité a participar en pequeños proyectos de diseño y montaje de equipos de medidas magnéticas, mientras cumplía con otros deberes. De hecho, la defensa de su Memoria de Licenciatura para optar al Grado de Licenciado en Ciencias (sección de Físicas), la realizó, en 1982, en presencia de su superior militar, el Teniente Coronel Jefe de la tropa del Centro Regional de Mando del Ejército de Tierra, Ilmo. Sr. D. Rafael López Duplá.

Debido a la precariedad económica de esos años, Conrado demostró una voluntad a prueba de contratiempos ya que, mientras comenzaba su Tesis Doctoral bajo mi dirección, participaba en la consecución de pequeños proyectos con la industria. Esta actividad extracurricular le permitió permanecer en el Laboratorio a la par que afianzar su ya proverbial capacidad de diseño y montaje de electrónica de medida y control. Obtenida su beca de investigación y contrato de Profesor Ayudante de la Universidad de Zaragoza, pudo dedicarse por completo a su tesis doctoral.

No menos importante en esos difíciles comienzos, fue su estancia en el *Laboratoire de Cristallographie* del C.N.R.S. en Grenoble, Francia, en la que participó en experimentos de magnetismo con el grupo del Dr. Fruchart. De esa colaboración devino una parte de su tesis doctoral “Magnetismo en Pnicturos y Perovskitas de Mn: Estudio experimental”, que realizó bajo mi dirección entre 1982 y 1986.

Conrado es políglota, habla y escribe en Francés e Inglés, lo que es frecuente, pero, además habla Holandés. Esto se debe a una estancia postdoctoral en la Universidad de Twente, Países Bajos, con el Dr. J. Flokstra, donde se familiarizó con el diseño y

uso de electrónicas avanzadas basadas en materiales superconductores, en particular con las técnicas de SQUID (siglas de *Superconducting Quantum Interference Device*). Esta estancia tendría una profunda influencia en sus trabajos posteriores de criogenia aplicada.

En 1987 obtuvo por oposición libre una plaza de Científico Titular del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) en el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón, centro Mixto con la Universidad de Zaragoza. En 1992 pasó a la escala de Investigador y en 2002 a la máxima categoría de Profesor de Investigación del CSIC.

Sus contribuciones científicas en este período de consolidación profesional son extensas y rupturistas. Coincidió en el tiempo con el descubrimiento de los materiales superconductores de alta temperatura crítica (1986). Nuestro laboratorio participó muy activamente en la síntesis y estudio experimental de estos novedosos y prometedores materiales. En esta nueva línea de investigación Conrado llevó el peso de los trabajos de medida de susceptibilidad magnética y de sistematización de resultados. Los conocimientos conseguidos por Conrado le permitieron liderar un Proyecto del Programa MIDAS, gestionado por el Profesor Félix Yndurain, a través de CICYT y de un consorcio del Ministerio de Industria y las compañías eléctricas OCIDE-REE-UNESA, y alcanzar con ello prestigio y renombre a nivel nacional e internacional.

De forma casi natural fue nombrado Responsable del recién creado Servicio de instrumentación científica (1984), posteriormente del Servicio de líquidos criogénicos (2002) y del de medidas físicas, dentro del Servicio General de Apoyo a la Investigación (SAI) – Universidad de Zaragoza. La eficacia y excelente servicio prestados le condujeron a aceptar ser Director de la División de caracterización física y química del SAI (2012).

Son numerosas las publicaciones científicas sobre propiedades de materiales superconductores de alta temperatura crítica y de materiales magnéticos realizados con equipos criogénicos automatizados diseñados *ad hoc* por Conrado. El acento diferencial de sus trabajos en esta etapa fue el importante carácter tecnológico de sus originales aportaciones. Mencionamos un proyecto de transferencia sobre magnetismo industrial aplicado al apantallamiento de cables de señalización de trenes AVE. De especial impacto para el entorno tecnológico español fue el desarrollo y transferencia a un centro metrológico nacional (TPYCEA) de los patrones cuánticos eléctricos basados en el efecto Josephson y Hall cuánticos. Derivados de los conocimientos en criogenia obtenidos en su estancia en Twente, se enfrentó con éxito al diseño y test de criostatos e imanes superconductores para almacenamiento de energía en el Proyecto MIDAS y, más tarde, en un proyecto

de desarrollo de criostatos para el acelerador de partículas ubicado en el *Large Hadron Collider* (LHC) del CERN de Ginebra (Duro Felguera-CERN).

Desde el principio de su carrera científica ha sido el Helio líquido (HeL) una de las herramientas que ha manejado habitualmente. Su producción en Zaragoza estaba a cargo del Servicio de líquidos criogénicos. Pero, en 2004, coincidiendo con la renovación del edificio de Ciencias, el licuefactor Koch finalizó su vida útil. Se pasó a depender de la adquisición comercial de HeL, con el consiguiente aumento de coste y dificultad de previsión de su uso. Conrado, a la sazón Director del Servicio, se vio abocado a conseguir una solución de continuidad para el mantenimiento de la producción de HeL. Su respuesta a este reto consistió en el desarrollo de nuevas técnicas de recuperación, purificación y licuefacción de helio basadas en equipos modulares adaptables a la producción del HeL necesario, evitando la sobreproducción y las pérdidas consiguientes. Su éxito ha ido más allá del Servicio de criogenia, ya que estos equipos, debidamente patentados, se están implantando en hospitales y laboratorios de todo el mundo.

Si reducimos sus trabajos a meras cifras, ha participado en 95 proyectos, 6 patentes y 139 publicaciones. Ha sido director de 10 Tesis Doctorales.

Sus trabajos han sido reconocidos con varios premios: Segundo premio a la “Transferencia de conocimientos a la empresa”, del Consejo Social de la Universidad de Zaragoza, CREA y CEPYME (2009); Premio de “Física , Innovación y Tecnología” de la Real Sociedad Española de Física y por la Fundación BBVA (2015); Primer Premio al mejor resultado licenciado, Concurso *Elevator Pitch*, de la Universidad de Zaragoza (2015); Premio Aragón Investiga a Entidades (INMA), de la DGA (2021). Es de resaltar el Premio de Divulgación Científica al Proyecto “Helio para todos” en la III Edición Premios 3º Milenio, Heraldo de Aragón (2017).

A lo largo de esta enumeración de logros científicos y técnicos ha quedado probada su dedicación y capacidad organizativa. Ello nos lleva a glosar su reciente actuación como Director del ICMA (2020) primero, y, posteriormente del INMA (2021-2024). De hecho, bajo su dirección el ICMA se fusionó con el Instituto de Nanociencia de Aragón (INA) formando el Instituto de Nanociencia y Materiales de Aragón (INMA). Tras tres años de arduo trabajo de gestión, junto con su equipo de Dirección, consiguió que el INMA recibiera la acreditación Severo Ochoa a la excelencia científica, única en Aragón. Se puede decir que con este servicio a la comunidad científica Conrado ha culminado una carrera llena de hitos destacados y que le han hecho merecedor de su propuesta como Académico electo de la RACZ.

En su carrera científica hay un hito que ha estado casi constantemente presente. La utilización de bajas temperaturas y su obtención mediante líquidos refrigerantes, y en concreto, el Helio Líquido (HeL). Se puede decir que el éxito de sus licuefactores se debe a su extraordinaria comprensión del excepcional diagrama de fases de este gas. El candidato nos ha hecho una exposición exhaustiva de las propiedades del gas He y de sus fases líquidas. Diríase que no hay más que añadir a tan detallado y ameno discurso. Sin embargo el He sigue dando sorpresas. Me voy a referir a la propuesta de que existe una fase de la materia denominada Supersólido en el ^4He . Este nuevo paradigma ha propiciado su investigación en ^4He , ^3He , otros elementos y materiales. Nos centraremos casi exclusivamente en el isótopo más abundante del Helio, ^4He .

Al enfriarlo a presión atmosférica, el ^4He pasa al estado líquido normal a 4,12 K, obedeciendo al comportamiento de un líquido con viscosidad, esto es, cuando fluye por un conducto se disipa energía por rozamiento con sus paredes, y, entre sus átomos. Si bajamos la presión el ^4HeL sufre una transición de fase al estado Superfluido a 2,176 K, esto es, fluye sin fricción. Nuestros alumnos de Termodinámica y Física Estadística saben bien que esto se debe al carácter bosónico del ^4He , que da lugar a la condensación de Bose-Einstein en dicha transición. Ésta es totalmente debida a un efecto cuántico: el líquido se condensa en un único estado de momento lineal y pasa a tener coherencia mecano-cuántica a escalas de longitud macroscópicas. Nuestros alumnos no solo conocen el fenómeno teóricamente. Muchos han visto directamente como el Helio superfluido asciende por las paredes del contenedor hasta que se evapora, deja de tener burbujas y solo se distingue su superficie por el cambio del índice de refracción. Sorprendentemente el líquido permanece en este estado hasta las más bajas temperaturas obtenibles, y, de hecho, si se alcanzara el cero absoluto seguiría siendo líquido. Esta afirmación es cierta, salvo que apliquemos presión: a partir de 25 atm y por debajo de 2,5 K el ^4HeL solidifica y cristaliza en el sistema hexagonal compacto (H.C.P.).

Sin embargo [Andreev y Lifschitz, 1969](#), predijeron la posibilidad de que en el ^4He sólido hubiera defectos tales que se pudieran distinguir dos fases, la fase sólida, en la que los átomos se encuentran en posiciones fijas, y que dan lugar a un objeto macroscópico con la rigidez del sólido, y una fase de átomos o defectos sueltos, que pudieran fluir en el seno del sólido sin fricción, o sea, en fase superfluida. Por tanto, no sería sólido ni líquido, sería una nueva fase de la Naturaleza, el “Supersólido” con la propiedad de la “Supersolidez”. Al año siguiente se discutió el concepto de Supersólido en el seno del ^4He en términos de parámetros de orden fuera de la diagonal, aunque argumentando que su existencia era

poco probable en el ^4He sólido y si sería posible en capa delgada (Matsura y Tsuneto, 1970).

Esta predicción necesitaba una comprobación experimental. Legget, 1970, propuso varios experimentos de rotación de líquidos cuánticos para comprobar la existencia de fase superfluida en un sólido. Tras múltiples intentos experimentales de detectar dicha coexistencia, en 2004 Kim y Chan, 2004a, 2004b, informaron que tenían evidencia de la existencia de fase supersólida en ^4He . Su experimento consistía en la introducción de He en el interior de un volante de torsión puesto en resonancia con un oscilador. El volante contiene un vidrio poroso, Vycor. Una vez enfriado a $T = 1,2$ K y solidificado el He a una presión de $P = 62$ atm, se observa que, por debajo de una temperatura crítica $T_c = 175$ mK, se produce una reducción en el periodo de oscilación al disminuir el momento de inercia I del volante ($t = \sqrt{I/G}$), donde G es el factor de rotación elástica del eje del rotor. Los autores proponen que por debajo de dicha temperatura una fracción de Helio queda disociada del sólido y puede moverse en su interior en régimen superfluido, sin fricción. Por lo tanto, su momento de inercia I se reduce y disminuye el periodo. Dicha fracción fue estimada entre 5 y 25 en 10^3 átomos de Helio. (Fig. 1, en rojo) Se había detectado experimentalmente una nueva propiedad en la naturaleza, que se denominó “Supersolidez”.

Dicho resultado provocó una avalancha de trabajos en que se reprodujo y refinó el experimento, buscando, y, encontrando una mayor precisión en los datos. Los mismos autores de 2004, utilizando un rotor de torsión sin Vycor, midieron la variación del periodo de resonancia en un rango de presión hasta 66 atm. De hecho publicaron un diagrama de fases en el que se incluye la nueva fase de He Supersólido (Kim y Chan, 2004b). No obstante, se propusieron interpretaciones alternativas a la disminución crítica del periodo de oscilación por debajo de 200 mK, por ejemplo, debido a la solidificación a vidrio de ^4He de una pequeña componente de líquido. Este mecanismo puede ocurrir debido al congelamiento de defectos topológicos, por ejemplo, fronteras de grano o dislocaciones (Nussinov *et al.*, 2007). Por otra parte, en una serie de experimentos semejantes en los que se modificaron las condiciones iniciales se observó la presencia de fenómenos de histéresis (Choi *et al.*, 2010), achacándolos a efectos de anclaje de excitaciones tales como dislocaciones en el He sólido o estados de vórtices. Hubo también un importante esfuerzo teórico para interpretar el fenómeno de coexistencia de fase sólida y superfluida, apuntando a la importancia de las dislocaciones para acoger fracciones de fase superfluida, u otros efectos como el aumento de la temperatura crítica del módulo de cizallamiento del He sólido (Balibar, 2008).

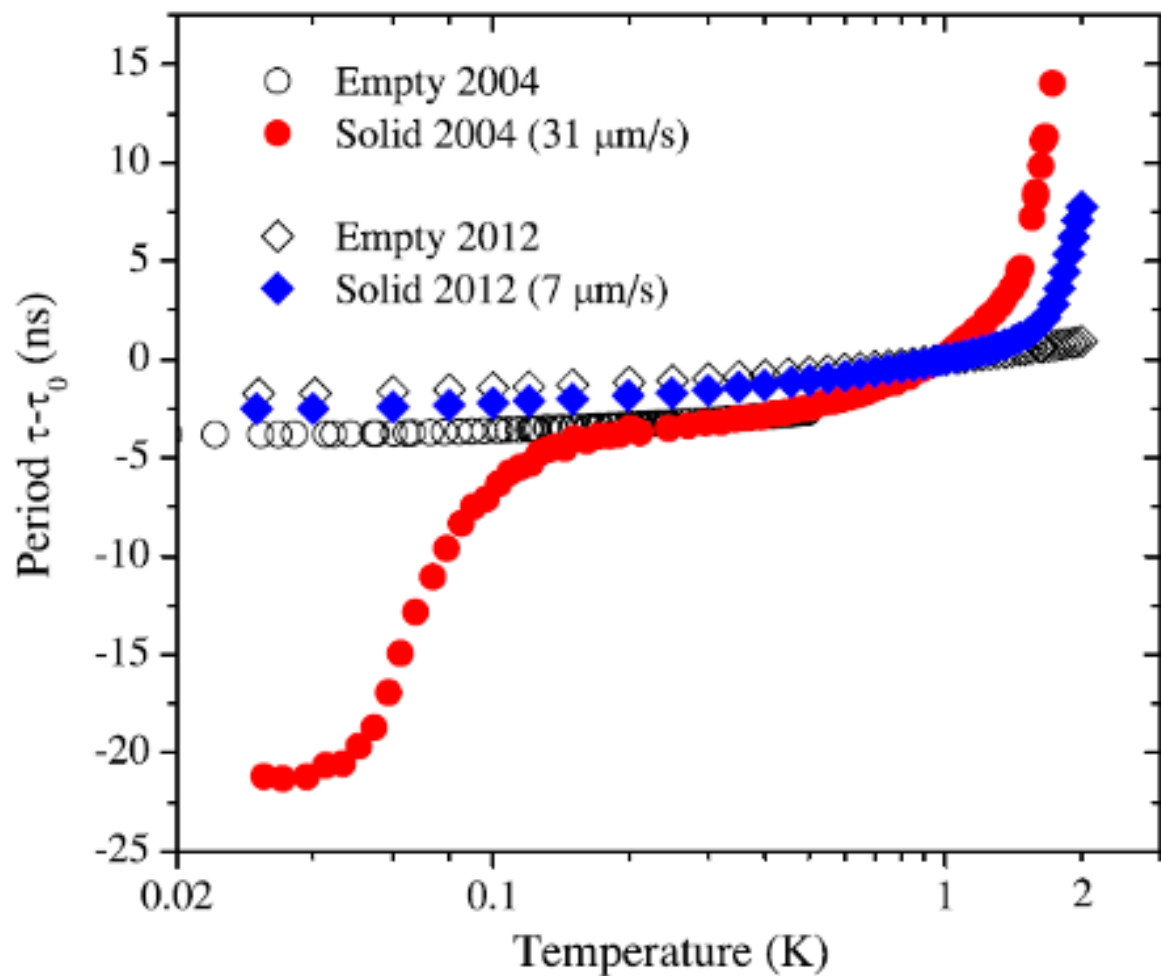


Figura 1: Periodo de resonancia en función de la temperatura del ^4He en vidrio Vycor, para diferentes amplitudes, o velocidades del borde del volante. La disminución del periodo se considera una evidencia de la transición a fase supersólida por debajo de 175 milikevin. Se comparan los resultados “positivos” de Kim y Chan, 2004a (círculos rojos), con los “negativos” de (Kim *et al.*, 2012) (rombos azules). El periodo resonante del volante de torsión de ambos experimentos se representa por círculos y rombos vacíos, respectivamente. *Reprinted Figure with permission from Kim et al. Phys. Rev. Lett. 109, 155301 (2012), Copyright 2025 by the American Physical Society.*

Es muy aleccionador que en 2012 se publicara un nuevo experimento diseñado para evitar cualquier efecto secundario artificioso en los resultados debido a la presencia de Helio sólido en la célula de torsión (Kim *et al.*, 2012), por ejemplo, el mecanismo mencionado en el párrafo anterior de aumento de rigidez del módulo de cizallamiento en el Helio sólido espúreo. Sorprendentemente, en su resultado, no apareció ninguna anomalía, y, en consecuencia, reconocieron la ausencia de cualquier efecto asignable a la existencia de la fase supersólida (Kim *et al.*, 2012) (Fig. 1, azul).

¿Es este el triste final del sueño de una noche de verano? En absoluto, la fase Supersólida ha sido buscada en un variado conjunto de materiales. Lo cierto es que este desilusionante resultado experimental ha hecho evolucionar la formulación de la “Super-

solidez”. Ha provocado, a su vez, una intensa búsqueda de este estado hipotético en otros sistemas distintos del ^4He .

Del Supersólido, consistente en la existencia simultanea de cristalización de un sistema de partículas, con el flujo sin disipación del mismo tipo de átomos que forman dicho sistema, se pasa al concepto general de que dicha fase precisa de la ruptura de dos simetrías continuas. Estas son la invariancia de la fase de la función de ondas que describe el estado superfluido, y, la invariancia continua traslacional que da lugar a la cristalización (Léonard *et al.*, 2017).

De estos trabajos resulta interesante mencionar la comprobación experimental de la existencia de tal estado supersólido en sistemas de gases dipolares cuánticos de ^{166}Er y ^{164}Dy ultrafríos. En ellos puede coexistir una modulación de densidad espontánea y una coherencia de fase global (Chomaz *et al.*, 2019). Este estado aparece entre las fases del “condensado de Bose-Einstein (B.E.)” y del “conjunto de gotitas (*droplets*) aislantes”. En una región paramétrica de control del sistema de átomos superfríos, contenidos en una trampa óptica elongada sometida a un campo magnético, se encuentra coexistencia de las dos fases. Se basa en el modo blando denominado rotón del condensado B.E., por un lado, y en la estabilización producida por fluctuaciones cuánticas por el otro. Sin embargo, esta coexistencia es temporal; mientras en el sistema ^{166}Er la fase supersólida se mantiene solamente algunas décimas de milisegundo, en el ^{164}Dy se pueden observar modulaciones de densidad durante más de 150 milisegundos.

Si bien los ejemplos anteriores de supersólidos son interesantes *per se*, nos alejan de nuestro tema sobre el Helio. La búsqueda de supersólido en ^4He se ha trasladado a sistemas de átomos de He adsorbidos sobre superficies de soporte. Se puede formar una monocapa por adsorción sobre un soporte y, subsiguientemente, bicapas y multicapas al aumentar la presión de gas en la cámara, a muy baja temperatura.

Los resultados más recientes sobre este tipo de experimentos sobre ^4He corresponden a los obtenidos mediante un oscilador de torsión doble rígido a dos frecuencias, en el que se obvian los problemas que habían surgido en la interpretación de los resultados del oscilador de torsión simple (Choi *et al.*, 2021). Centrándose en la evolución de la película de ^4He adsorbida sobre Grafoil (grafito flexible), comprueban, en primer lugar, la formación de una primera capa monoatómica, que sufre varias transiciones de fase commensuradas e incommensuradas a causa de las interacciones del ^4He con el sustrato. Por encima de una determinada presión de vapor se genera una segunda capa en la que las interacciones dominantes son del tipo He – He. Cuando se forma esta segunda capa de ^4He ,

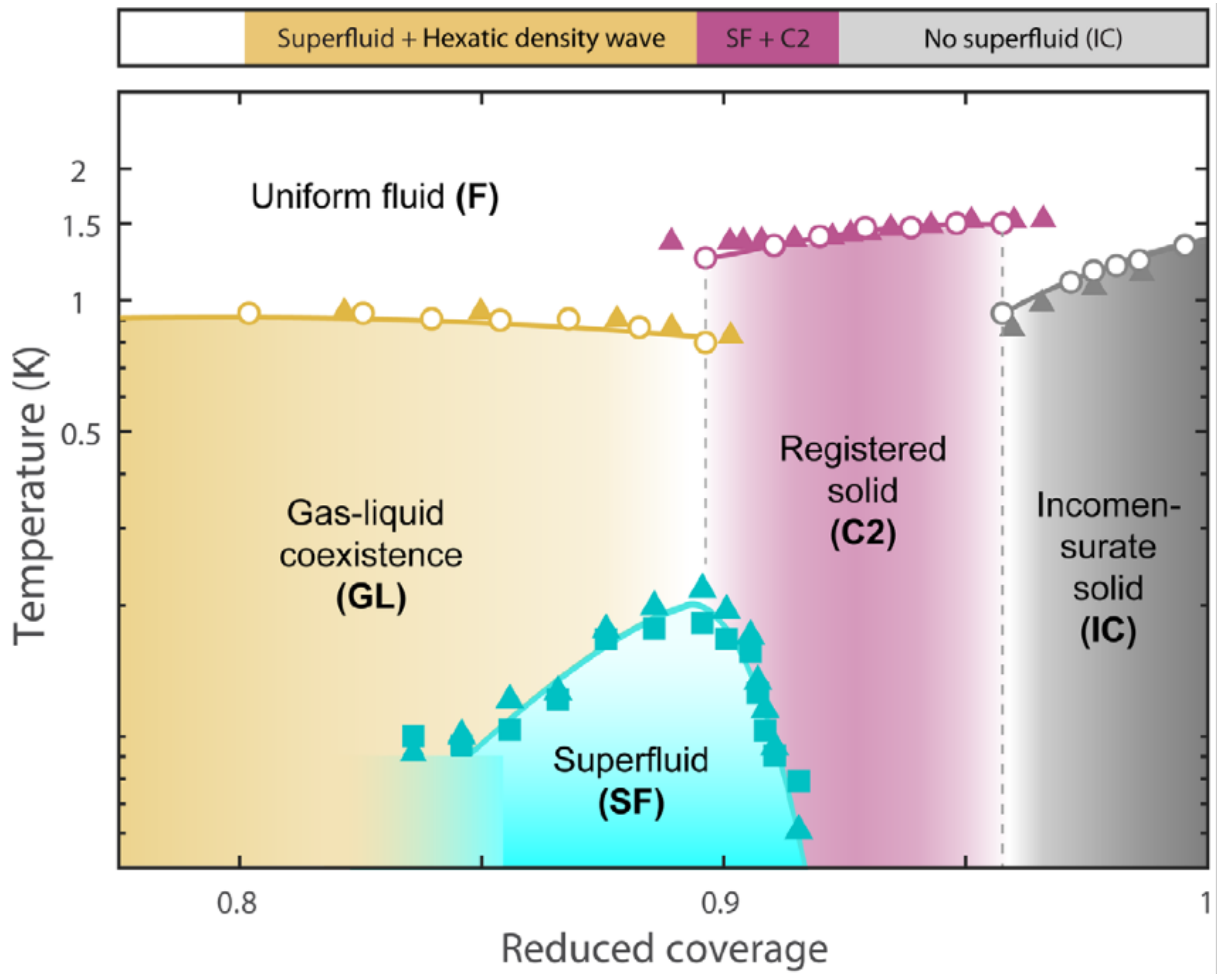


Figura 2: Diagrama de fases de la segunda capa de una película de ^4He adsorbida sobre un sustrato de Grafoil. Las temperaturas críticas obtenidas mediante un oscilador torsional rígido se representan en color azul. Las demás temperaturas críticas se han obtenido de medidas de calor específico. Se representan frente al parámetro de recubrimiento relativo a la saturación de la segunda capa (Choi *et al.*, 2021). En la parte superior se representa la predicción teórica calculada mediante DMC (Gordillo y Boronot, 2020). Reprinted Figure with permission from Choi *et al.* *Phys. Rev. Lett.* 127, 135301 (2021), Copyright 2025 by the American Physical Society.

en el oscilador se detectan variaciones del periodo de oscilación asociadas a la aparición de fase superfluida. Estas variaciones son independientes de la frecuencia y del posible contenido de impurezas de ^3He (en ppb). Se interpretan como evidencia de la aparición de fase superfluida en la segunda capa de ^4He . Los autores combinan sus resultados con las transiciones detectadas mediante medidas de calor específico para proponer el diagrama de fases de la Fig. 2. Por inspección de la figura, se observa una región del diagrama de fases en que, a baja concentración, la fase superfluida coexiste con una fase gas-líquido, y, a concentración superior, con una fase sólida-registrada, esto es, conmensurada de tipo C2. Los autores proponen que esta segunda línea de coexistencia implica la presencia de fase “Supersólida”.

En un trabajo teórico ([Gordillo y Boronot, 2020](#)) de simulación de estas fases mediante cálculo Monte Carlo difuso a temperatura cero, se ha predicho la existencia a baja concentración de: una fase superflúida y de onda de densidad hexática, una intermedia en la que la fase superflúida persiste combinada con fase sólida-registrada, y, una tercera inconmensurada con ausencia de superfluidez. Este trabajo apoya en lo esencial el resultado experimental mencionado previamente de existencia de la fase “Supersólida”, de coexistencia de superfluidez y orden posicional.

Se han propuesto otras superficies sobre las que depositar ^4He . Mencionamos la más reciente; sobre un soporte de biphenyleno, en la que la distribución de átomos de carbono es distinta de la del grafito. En un trabajo publicado en 2023 ([Ahn y Kwon, 2023](#)) se simulan las fases estables a baja temperatura de la segunda capa mediante cálculo de Monte Carlo con integral de trayectoria (“*path-integral Monte Carlo simulation*”). Se predice la presencia de una fase conmensurada estable, con vacantes móviles, que daría lugar a una respuesta superflúida a bajas temperaturas. En resumen, se ha predicho la presencia de “Supersólido” también en la segunda capa de ^4He sobre superficie de biphenyleno.

El estudio del He como líquido o sólido cuántico ha aportado el paradigma de la Física del estado Supersólido. Si bien su presencia ha sido comprobada en Helio bidimensional, su interés ha ido mas allá. En 2024 se ha extrapolado este comportamiento de supersólido a una red triangular magnética frustrada ([Xiang *et al.*, 2024](#)).

También se ha observado en una plataforma semiconductora fotónica. Se utilizó un sistema de condensado Bose-Einstein de polaritones. Estos son quasipartículas formadas por fotones acoplados a excitaciones que se forman en una guía de ondas, que dan lugar a un condensado en el punto de ensilladura de la dispersión. Se produce emisión de pares de polaritones acoplados a estados adyacentes, tal que se preserva su energía y momento, con lo que aparece una modulación en su densidad que es característica del estado supersólido. Este estado es distinto a las propuestas anteriores en que es un sistema fuera del equilibrio ([Trypogeorgos *et al.*, 2025](#)).

En la actualidad hay una frenética búsqueda de sistemas físicos en que pueda aparecer la “Supersolidez”, enunciada como el estado de la materia en que hay rotura de simetría simultánea: la invariancia de traslación, que causa la estructura cristalina, y de la invariancia de fase, debida al acoplo de fase de las funciones de onda de monopartículas, característica de la superfluidez.

He querido ilustrar, con este ejemplo, la evolución de la Ciencia Física mediante el diálogo teórico-experimental, tan grato al Dr. Rillo. Esto es, cómo el experimento es el

testigo final de las teorías, y, a la vez, es sugerente de nuevos conceptos. Desde que le conocí como alumno Conrado ha sido un destacado experimentalista. He sido testigo de sus iniciativas, siempre arriesgadas, pero con frutos tangibles en proyectos y patentes, *rara avis* en nuestro entorno. Pero también le he podido conocer como excelente persona, siempre acompañado de sus queridas Sophie, Carlota y Selenia. Es muy amigo de sus amigos, en la Universidad, en el CSIC y en todos los entornos dentro y fuera de la Ciencia. Me precio de contarme entre ellos.

Con esta respuesta al ameno y documentado discurso con el que Conrado nos ha regalado, en nombre de todos sus miembros y en el mío propio, le doy la bienvenida a la Real Academia de Zaragoza, con la certeza de que su pertenencia será fructífera.

Muchas gracias.

Zaragoza 7 de Mayo de 2025

Referencias

- J. Ahn y Y. Kwon. Vacancy-induced supersolidity of the second ^4He layer on a biphenylene carbon sheet. *Phys. Rev. B* 107 (2023) 094510
- A.F. Andreev y I.M. Lifschitz. Quantum theory of defects in crystals. *Sov. Phys. JETP* 29,6 (1969) 1107
- S, Balibar. How could a solid be superfluid? *Physics* 1 (2008) 16
- H. Choi, S. Kwon, D.Y. Kim and E. Kim. Observation of hidden phases in supersolid ^4He . *Nature. Phys.* 6 (2010) 424
- J. Choi, A.A. Zadorozhko, J. Choi, and E. Kim. Spatially Modulated Superfluid State in Two-Dimensional ^4He Films. *Phys. Rev. Lett.* 127 (2021) 135301
- M.C. Gordillo y J. Boronat. Superfluid and Supersolid Phases of ^4He on the Second Layer of Graphite. *Phys. Rev. Lett.* 124 (2020) 205301
- L. Chomaz *et al.* Long-Lived and Transient Supersolid Behaviors in Dipolar Quantum Gases. *Phys. Rev. X* 9 (2019) 021012
- E. Kim and M.H.W. Chan. Probable observation of a supersolid helium phase. *Lett. Nature* 427 (2004a) 225
- E. Kim and M.H.W. Chan. Observation of superflow in solid He. *Science* 365 (2004b) 1941
- Duk Y. Kim and M.H.W. Chan. Absence of Supersolidity in Solid Helium in Porous Vycor Glass. *Phys. Rev. Lett.* 109 (2012) 155301

- A.J. Legget. Can a solid be superfluid. *Phys. Rev. Lett.* 25 (1970) 1543
- J. Léonard, A. Morales, Ph. Zupancic, T. Esslinger & T. Donner. Supersolid formation in a quantum gas breaking a continuous translational symmetry. *Nature* 87 (2017) 543
- H. Matsura and T. Tsuneto. Off-diagonal long range order in solids. *Suppl. Progr. Theor. Phys.* 46 (1970) 411.
- Z. Nussinov *et al.* Origin of the decrease in the torsional-oscillator period of solid ^4He . *Phys. Rev. B.* 76 (2007) 014530
- D. Trypogeorgos *et al.* Emerging supersolidity in photonic-crystal polariton condensates. *Nature*, on-line March (2025)
- J. Xiang *et al.* Giant magnetocaloric effect in spin supersolid candidate $\text{Na}_2\text{BaCo}(\text{PO}_4)_2$. *Nature*, 625 (2024) 271

