

QUANTUM PASCAL: Propuestas límite y fundamentación cuántica

Eusebio Bernabeu¹, Sergio Moltó², M^a Ana Sáenz-Nuño³, Tomás Belenguer^{1,4}, M^a Carmen García-Izquierdo², M^a Nieves Medina² y Dolores del Campo².

¹Universidad Complutense de Madrid.

²Centro Español de Metrología, Área de Masa y Magnitudes Mecánicas.

³Instituto de Investigación Tecnológica, Escuela Técnica Superior de Ingeniería-ICAI- Universidad Pontificia Comillas

⁴Laboratorio de Investigación Espacial –LINES-, INTA

¹Avda. Séneca, 2. Ciudad Universitaria 28040 Madrid

²Calle Alfar, 2. 28760 Tres Cantos, Madrid

³Calle de Sta. Cruz de Marcenado, 26. 28015 Madrid

⁴Carretera Aljavir, km, 4. 28850 Torrejón de Ardoz, Madrid

El proyecto 18SIB04 Quantum Pascal EMPIR tiene como objetivo el desarrollo de un patrón de presión primario con soporte cuántico para la realización de la magnitud con mejor incertidumbre que los métodos actuales. El proyecto Quantum Pascal utiliza un interferómetro Fabry-Perot como refractómetro interferencial dual para la medida del índice de refracción de un gas a diferentes presiones y mediante las relaciones formales de Lorentz-Lorenz y de Clausius-Mossotti se establece la relación entre el índice de refracción del gas y la presión. Para minimizar la dependencia de la temperatura en el proceso de medición, Quantum Pascal requiere un control de temperatura de ± 1 mK en 25 °C.

Esta ponencia da cuenta de las aportaciones novedosas que contribuyen a propuestas límite en distintos aspectos constitutivos del interferómetro Fabry-Perot dual y que se concretan en:

1. Elección de una configuración óptica confocal de las cavidades Fabry-Perot con un diseño de espejos esféricos y de las lentes Colimadora/Colectora que minimizan la aberración esférica por acción conjunta de la segunda superficie base de los espejos y el formateado asférico de las lentes plano-convexas pre-escogidas. Dentro de la elección de confocalidad se han considerado dos opciones: 1.1 *Confocal real* y 1.2 *Confocal virtual* –formado por un espejo esférico y uno plano, que ofrece una imagen virtual del esférico-. La adopción de un formato estructural de simetría cilíndrica para el conformado cavitario se manifiesta más estable mecánicamente, con menores cambios dimensionales bajo presión y temperatura, así como un más sencillo y eficaz acoplo con los elementos de estabilización y control térmico. Análisis que se han llevado a cabo con ayuda de las herramientas Solidworks y Solid Edge.

Las ventajas mencionadas en 1. se ven reforzadas por la elección de los materiales estructurales elegidos: la cerámica NEXCERA CD-107 “Cordierite” de KHC para los dos espaciadores y vidrio cerámico ClearCeram CCZ-Regular de Ohara Glasser para los espejos. Creemos es la mejor selección de materiales utilizada hasta ahora.

2. Para la estabilización térmica a ± 1 mK en 25 C se ha optado por tres recintos secuenciales estabilizados térmicamente con termo-resistencias “eached foil” que actúan sobre el medio envolvente: cilindro de Cobre electrolítico para la etapa de estabilización más fina y sobre recintos prismáticos cuadrados en Aluminio 2030 para las otras dos etapas.

También se ha optado por incluir un ecualizador térmico para la toma de gases con dos recintos secuenciales de estabilización: el más fino es un recinto cilíndrico de Cobre electrolítico y el otro es un prisma cuadrado en Aluminio 2030.

Las termo-resistencias están integradas en espuma de silicona y asistidas por reguladores térmicos que actúan en bucle con sensores Pt-100. Además, se ha recurrido en diversas partes de la instalación a aislamientos térmicos de célula cerrada "Armacell". El dimensionado de las estructuras conductoras y de los aislantes térmicos se ha optimizado mediante el cálculo por simulación numérica de transferencia de calor por elementos finitos tanto para la camisa de cobre que envuelve la cavidad Fabry-Perot dual como para el ecualizador de gases, con el fin de obtener el espesor óptimo. Para la estimación de las potencias calefactoras se ha utilizado la herramienta Energy 2D.

La medición de temperaturas viene dada por 4 termómetros de resistencia de platino patrón de tipo cápsula -C-TRPP-, que han sido construidas para el CEM bajo requerimiento específico. Su disposición es un C-TRPP en cada entrada/salida de gases/vacío en las dos cavidades Fabry-Perot y los otros dos en posiciones próxima a las anteriores, pero embebidos en cada uno de los dos cilindros de cobre que envuelven a cada una de las dos cavidades Fabry-Perot.

3. La opto-mecánica presenta soluciones no comerciales que, a nuestro entender, aseguran una mayor simplicidad, mejor fijación mecánica y mayor estabilidad a tiempos largos. Basados en este diseño propio hemos optado por ofrecer una arriesgada solución que para la opción 1.2 de configuración "confocal virtual" que eleva al 100 % nominal la reflectividad del espejo plano y a 99,8 % la del espejo esférico. Ello obliga a que la entrada/salida de las cavidades deba hacerse por la misma puerta, lo que pretendemos resolver por el uso de un sistema de discriminación direccional basado en luz polarizada circular de muy alto grado de polarización circular.

En otro marco contributivo original realizamos un análisis conceptual sobre el carácter cuántico de la fundamentación del Quantum Pascal, haciendo gravitar ésta sobre la interconexión índice de refracción-presión a través de las formulaciones de Lorentz-Lorenz y de Clausius-Mossotti, así como su dependencia con los modelos atómico/moleculares y sus interacciones en procesos colectivos de orden cooperativo. Estas acciones cooperativas vienen condicionadas por los aspectos estéricos de cada gas, por la presión, e incluso por la geometría del recinto cavitario, en nuestro caso cilíndrica.

Finalmente, se presenta un esquema del proceso de medición para el refractómetro interferencial Fabry-Perot dual basado en un sistema que actúa sobre la variación controlada de la corriente estabilizada de alimentación de un láser diodo monomodo 633 nm, en trazabilidad directa con el efecto Josephson, y la emisión espectral láser con trazabilidad con los patrones de longitud/tiempo a través del peine de frecuencias CEM. El proceso de medida utilizado facilita – además- una determinación directa de la constante de Planck.

La ponencia muestra, para cada una de las aportaciones presentadas, sus fases constructivas y las características alcanzadas o previsibles del dispositivo final, así como a planteamientos que pueden dotar al sistema refractométrico Fabry-Perot dual CEM de características más extremas y de manejo más simplificado en un horizonte próximo. Desde el punto de vista conceptual se centra dónde radica su carácter cuántico y, por tanto, de dónde cabe esperar contribuciones probatorias determinantes para futuros experimentos paradigmáticos.