

DISCURSO DE CONTESTACION

por el

EXCMO. SR. D. JUSTINIANO CASAS PELÁEZ  
Presidente de la Academia

*Excelentísimos e Ilustrísimos Sres.,*

*Señoras y Señores:*

Para un profesor sumamente vocacional como el que les habla, probablemente no existen mayores motivos de alegría, si excluimos los familiares, que ver cómo sus discípulos van quemando etapas a lo largo de la vida, cómo se abren paso con éxito por el largo y duro camino que conduce al ágil dominio de una parcela de la ciencia y cómo viven la aventura intelectual con acrisolada honestidad y dedicación.

Pues bien, uno de tantos de los que me siento verdaderamente orgulloso es el profesor Dr. Eusebio Bernabeu, brillante alumno de la Sección de Físicas de nuestra Universidad y que, pese a su juventud, presenta ya una bien definida ejecutoria científica y un árbol curricular lleno de abundantes y maduros frutos.

Hoy me cabe el placer y el honor de presentarlo a la Academia de Ciencias de Zaragoza, y si tuviera que hacer una semblanza de él en pocas palabras, diría simplemente que es un hombre con cualidades extremadas en cuanto a inteligente, curioso, imaginativo, eficaz e incansable.

No es corriente que personas tan jóvenes como el Prof. Bernabeu accedan a los puestos de numerarios en las academias, sin embargo, la de Zaragoza ha tomado la decisión, al menos en su Sección de Física, de comprometer a las jóvenes y ya consagradas figuras de nuestro entorno científico, pensando que ellas, con la capacidad multidimensional que corresponde a su juventud, podrán hacer un esfuerzo prestando una parte de su actividad a estas indigentes y beneméritas instituciones, para darles de algún modo un significado actual a su existencia.

El Prof. Bernabeu nació en Logroño en el año 1944, iniciando sus estudios para la licenciatura en ciencias físicas en nuestra Facultad en el año 1961, para finalizarla en 1966 con un brillante expediente y premio extraordinario.

El final de su licenciatura coincide con la época en que programábamos la expansión del desarrollo de la Óptica en la Sección de Físicas de la Universidad de Zaragoza, en la que quedaba pendiente de poner en marcha con urgencia



una importante parcela: la óptica cuántica. Por aquella época ya, la óptica de las lentes se consideraba como una ciencia terminada y se veía con claridad que la revitalización de la óptica estaba precisamente en la óptica cuántica y en el uso de las nuevas fuentes de luz coherente. Una facultad como la de Zaragoza que aspiraba a ser la primera en la Óptica en España, no podía perder la ocasión ni el tren como lo perdió la óptica a primeros de siglo al desentenderse de la cuantificación de la radiación.

Entre las personas no comprometidas ya en otras tareas, pensé que el joven Bernabeu, recién escudillado de su brillante licenciatura y con vivos deseos de dedicar su vida a la aventura intelectual, era la persona adecuada para asumir tan elevada responsabilidad.

A tal efecto, fué enviado para completar su formación a la Escuela Normal Superior de París durante los años 1967 y 1968, para trabajar en el equipo del que, en el último de los años citados, recibiría el Premio Nobel de Física por sus trabajos sobre bombeo óptico; me refiero al Prof. Alfred Kastler.

Mucho nos costó que Bernabeu fuera admitido directamente desde una licenciatura cursada en España para realizar trabajo de investigación en la Sancta Sanctorum de la ciencia francesa, como ha sido considerada la École Normale Supérieure. Después de muchos forcejeos, y no sin grandes reticencias, por fin se avinieron a que el aspirante español se incorporara al centro, comenzando sus trabajos en el Laboratorio del Reloj Atómico bajo la inmediata dirección del Dr. Maurice Ardití, gran autoridad en electrónica cuántica, sobre todo en sus aspectos experimentales.

Bernabeu, como es su norma, no perdió el tiempo, y a los dos años regresó a España preparado y dispuesto para iniciar la marcha por su cuenta, comenzando por presentar en 1969 su tesis doctoral que es galardonada con la máxima calificación y el premio extraordinario del doctorado.

Después de haber ejercido en nuestra cátedra de Óptica los cargos de profesor ayudante y profesor adjunto, en el año 1971 obtiene por oposición la agregaduría de Óptica de la Facultad de Ciencias de Santander, reincorporándose a Zaragoza a los pocos meses para estabilizarse definitivamente en nuestra Facultad, donde ha desarrollado una ardua, constante y fructífera tarea, que comenzó, arrancando de cero, por constituir en torno suyo un grupo de trabajo que siempre se distinguió por su inquietud y vitalidad, y que inició su marcha empezando por diseñar y construir las propias instalaciones que usarían en sus tareas de investigación. Nuestros escasos medios, rara vez permiten comprar el material científico necesario, siendo preciso dedicar diariamente muchas horas a la universidad para hacer de profesor, fontanero, científico, mecánico o montador.

En este corto lapso de tiempo, el profesor Bernabeu ha dirigido una docena de tesis de licenciatura y otras tantas tesis doctorales, contando con más de medio centenar de publicaciones en revistas nacionales y sobre todo en las revistas extranjeras de la mayor solvencia científica.

Varios de sus discípulos aragoneses han alcanzado ya puestos de elevada responsabilidad en la docencia universitaria y en la investigación y siguen en su dedicación paralelas trayectorias a la de su maestro.

El Dr. Bernabeu ha participado en numerosos congresos científicos nacionales y extranjeros, habiendo presentado en unión de sus colaboradores más de sesenta comunicaciones científicas y actuando en varios de ellos como conferenciante invitado.

Entre los méritos del Dr. Bernabeu quisiera destacar uno que considero de suma importancia: la creación por él, en la Universidad de Zaragoza, de la Escuela Internacional de Óptica Cuántica, que tiene su sede en las instalaciones de nuestra universidad en Jaca, y que responde a una estrecha colaboración entre la Cátedra de Óptica de nuestra Facultad y el Comité Español de Espectroscopia.

El Prof. Bernabeu es el organizador y director de esta escuela de verano, que iniciando su marcha en el año 1978 ha celebrado ya con creciente éxito los cursos correspondientes a 1978 y 1979 y tiene preparado el de 1981 sobre metrología cuántica y sistemas de detección.

En esta escuela participan, junto a los españoles, tanto alumnos como profesores extranjeros, lo que nos mantiene en contacto con el exterior y lleva importante información del nivel científico de nuestra Facultad de Ciencias fuera de nuestras fronteras.

El Prof. Bernabeu, que es miembro de la European Physical Society y de European Group for Atomic Spectroscopy (EGAS), mantiene con su grupo activa colaboración con centros científicos extranjeros como la Escuela Normal Superior y el Laboratorio del Reloj Atómico de París; con la División de Física de la Universidad de Marburg en Alemania; el Instituto de Física de la Universidad de Pisa, en Italia; el Laboratorio Nacional de Metrología de El Japón, en Tokyo; el Departamento de Física de la Universidad de Ontario, en Canadá, etc.

Finalmente, para concluir este apartado, debo decir que gracias a su prestigio científico, ha sido elegido chairman de la 15ª Conferencia Internacional del EGAS, que se celebrará en la Universidad de Zaragoza en el año 1983, lo que dará cumplido realce a nuestro primer centro docente.

En relación con nuestra Academia de Ciencias, el Dr. Bernabeu ha sido, con su grupo de trabajo, asiduo colaborador de su Revista a la que ha dado altura científica con sus interesantes artículos; pero, además, en ayuda que debo agradecer personalmente como editor, él se ha encargado personalmente desde hace algunos años de todas las tareas de edición, sufriendo como cosa suya la falta de medios que tradicionalmente nos ha afligido.

Con todos estos datos, creo haber dejado bien claro lo que significa el Dr. Bernabeu en la Física en España y fuera de España, lo que significa para la Academia, y con ello la razón por la cual, en su día, nuestra Corporación lo designó académico electo, que es la misma razón por la cual siento un gran placer personal al apadrinarlo en el día de su ingreso.

Es obligado para el padrino, en estas circunstancias, comentar el discurso del recipiendario, que, como hemos visto sitúa el problema de la espectroscopia óptica en sus justos términos en el estado actual de su desarrollo, a la vez que hace prospectiva de futuro, dándonos cuenta también de la importante contribución personal a los progresos en diversas vías de desenvolvimiento.

La espectroscopia, con la variedad de problemas que le conciernen y las relaciones interdisciplinarias que le afectan, constituye, sin duda, uno de los más fascinantes capítulos de la ciencia natural, que comienza con la crucial

experiencia de Newton de la descomposición de la luz por medio de un prisma, lo que más tarde conduce a Balmer a dar una sistemática de las líneas del espectro del átomo de hidrógeno, y a Ridberg la fórmula de la estructura.

A Bohr le sugiere la idea de la cuantificación de los sistemas materiales, y a Pauli el principio de exclusión que lleva su nombre y que representa, en esencia, el principio sobre el que se basa toda la construcción de la naturaleza.

El Dr. Bernabeu nos describe puntualmente cómo evolucionan los sistemas dispersores de mayor rendimiento, cómo evoluciona la instrumentación hacia una mejor función instrumental, y cómo evolucionan las teorías hasta las espectros copias por transformadas de Fourier y Hadamard.

Pero quisiera yo parar mientes en algo muy importante que él cita y que constituye un aspecto en el que la espectroscopia óptica juega un papel de primer orden: me refiero a la metrología en lo que respecta a la determinación de las constantes fundamentales de la física, así como a los patrones de medida, pues a la precisión de su conocimiento se subordinan todos los progresos de la física y de la tecnología, y sin la exactitud hasta ahora alcanzada hubiera sido imposible describir la materia y la radiación con la precisión con que ahora puede hacerse gracias a los avances de la espectroscopia.

La metrología constituye un problema de honda y constante preocupación para la física, ya que muchas ciencias y tecnologías de alta precisión necesitan exactísimos patrones de tiempo para sincronizar distantes observaciones del mismo evento, como sucede en Astrofísica, o ensamblar sistemas que se realizan por colaboración entre diversos países, lo cual sería imposible sin un patrón de longitud fiable y reproducible.

Hasta ahora, las más afinadas definiciones prácticas de los patrones de longitud y de tiempo están referidos respectivamente a la longitud en el vacío de la línea espectral del  $^{86}\text{Kr}$  correspondiente a la transición  $2p_{10} - 5d_5$ , a la temperatura del  $\text{N}_2$  líquido, y a la frecuencia de la transición 0-0 del estado fundamental del cesio.

Ahora bien, la propia naturaleza de los sistemas escogidos y los actuales métodos experimentales consiguen una precisión que para el metro patrón referido al  $^{86}\text{Kr}$  y determinado por métodos interferométricos se cifra en  $10^{-8}$ , mientras que el patrón de frecuencia mejora notablemente alcanzándose una precisión de  $10^{-12}$ .

Recientemente se ha intentado la mejora de estos límites utilizando láseres altamente estabilizados mediante técnicas espectroscópicas sin efecto Doppler y, en concreto, la de absorción saturada, lo que ha permitido utilizar las radiaciones de láseres de He-Ne y  $\text{CO}_2$  con una estabilidad de  $10^{-14}$  en tiempos de 1 seg., si bien para intervalos de 1 hora es sólo de  $10^{-10}$ , lo que hace que estos láseres estabilizados sólo puedan utilizarse como buenos patrones secundarios de longitud.

Sin embargo, conseguir un patrón primario de longitud más estable y preciso que el obtenido por medio del  $^{86}\text{Kr}$ , es un problema acuciante en el cual la Óptica juega su papel en exclusividad.

Entre las tentativas, se propugna por unos referir el patrón de longitud a la velocidad de la luz en el vacío que hasta ahora ha mostrado su constancia

independiente de todas las circunstancias que se presenten en su producción como son el movimiento o reposo de las fuentes, la existencia de campos eléctricos, magnéticos o gravitatorios, variaciones de temperatura, etc, lo que no ocurre con otras propiedades de la radiación emitida por las fuentes de luz. El metro se definiría como una fracción de la distancia recorrida por la luz en 1 seg. toda vez que el segundo se determina con notable precisión, sin embargo, el método falla porque las actuales determinaciones de la velocidad de la luz no llegan a la precisión de  $10^{-10}$ .

Todo esto hace que, muy recientemente, haya ido tomando cuerpo la idea de conseguir que los láseres estabilizados con elevada pureza espectral y fácil reproductibilidad pudiesen referirse al patrón de frecuencia obteniéndose así un único patrón utilizable a la vez para tiempo y longitud. En tal caso, la longitud de onda de la luz de un láser se conocería con la precisión obtenida en la medida de su frecuencia, que hoy alcanza la impresionante exactitud de  $10^{-12}$ .

Pero esto plantea nuevos problemas: El reloj atómico patrón está referido a una frecuencia de 9.192,631.770 Hz en el dominio de las microondas e interesa referenciar a él una emisión laser en el dominio del visible o del infrarrojo de corta longitud de onda, donde las aplicaciones metrológicas gozan de una mayor exactitud y manejabilidad.

Para resolver este problema se ha recurrido a diversos métodos de síntesis de frecuencias que emplean dispositivos multiplicadores electrónicos u ópticos no lineales como los diodos Schottky, diodos de vacío MIM, uniones Josephson o cristales ópticos no lineales; sin embargo, estos métodos presentan una gran complejidad, pareciendo más sencillo y elegante el método recientemente propuesto por Arditi basado en el light-shift ya resaltado por el Dr. Bernabeu en su disertación.

En este dispositivo la estabilización de la frecuencia de un láser sintonizable, que puede ser de GaAs o de colorantes, se realizaría utilizando la dependencia que sobre la frecuencia de la transición "0-0" del estado fundamental de los átomos de cesio (sistema patrón de frecuencia) ejercen las variaciones de frecuencia de la radiación óptica cuasi resonante del láser.

Cabe esperar también que los progresos en la espectroscopia láser y el desarrollo de sistemas de atrapamiento de átomos neutros habrán de incidir notablemente en la precisión de futuros dispositivos para la realización de patrones simultáneos de tiempo y longitud. De cualquier modo, el problema sigue en pie y parece, según los datos que tenemos en estos momentos, que la solución se busca a través de sofisticadas experiencias espectroscópicas.

Por lo que respecta a la determinación de constantes importantes en la física, la espectroscopia ha jugado papel preponderante en algunas de ellas, como son la constante de Planck, o la constante de estructura fina a partir de la medida por bombeo óptico de la transición del intervalo hiperfino del estado fundamental del átomo de hidrógeno, lo que ha dado lugar a la realización del másers de hidrógeno. La medida de dicho intervalo representa la medida más precisa hasta ahora obtenida en la naturaleza, con 13 dígitos fiables.

Esto, junto a otras determinaciones espectroscópicas como la anomalía del momento magnético del electrón, por métodos de bombeo óptico y la de estructu-

ras hiperfinas de átomos exóticos, como el muonio, por cruzamiento de niveles, conforman un importante conjunto de test para el asentamiento teórico de la electrodinámica cuántica.

La investigación de estados atómicos muy próximos al nivel de ionización por espectroscopia de dos fotones, batidos cuánticos y métodos de doble resonancia, constituyen un interesante campo de trabajo con incidencia metrológica, pues permiten la determinación de la constante de Rydberg con nueve dígitos fiables, y presentan una gran ventaja, al estar el electrón cortical tan alejado del núcleo, para el ajuste teoría experiencia.

En conclusión, la espectroscopia óptica, en sus diversos campos, juega hoy un importante papel en la metrología cuántica y ésta, a su vez, no sólo implica la posibilidad de obtener unos patrones primarios cada vez más precisos, sino que las determinaciones más fiables de constantes fundamentales y magnitudes importantes constituyen un poderoso acicate para el desarrollo de nuevas teorías sobre la estructura de la materia y su interacción con la radiación.

Como se ve, el campo en el que centra sus actividades el Dr. Bernabeu, es de un interés extraordinario, no sólo por su valor en la edificación de la Física como ciencia, sino también por la ayuda que puede prestar a otras ciencias y también a la tecnología.

Bienvenido sea a nuestra Academia el Prof. D. Eusebio Bernabeu Martínez, al que me honro en participar, como Presidente, la más calurosa acogida en nombre de todos los miembros de la Corporación.