

**DISCURSO DE CONTESTACIÓN**

**POR EL**

**Ilmo. Sr. D. Miguel Ángel REBOLLEDO SANZ**

Excelentísimo Señor Presidente,

Excelentísimos e Ilustrísimos señoras y señores Académicos,

Señoras y señores:

Es para mí un honor y una tremenda satisfacción dar la bienvenida a la Academia al Profesor D. Pablo Javier Alonso Gascón, tanto por su brillante curriculum como porque es un entrañable amigo, con el que he compartido muchos buenos momentos desde su llegada, en Enero de 1975, al Departamento de Física Fundamental, que estaba dirigido por nuestro Excepcional Maestro el Profesor D. Justiniano Casas Peláez.

El Profesor Alonso nació en Zaragoza en 1952. Llegado el momento, decidió cursar simultáneamente las Licenciaturas de Ciencias Físicas y de Ciencias Matemáticas en la Universidad de Zaragoza. Finalizó en Junio de 1974 y obtuvo en ambas Premio Extraordinario de Licenciatura. Obtuvo también el Premio Nacional Fin de Carrera en Ciencias Físicas, el Premio Fin de Carrera que otorgaba la Caja de Ahorros de Zaragoza Aragón y Rioja y el Premio Cerbuna que otorgaba el Ayuntamiento de Zaragoza.

En 1975 ingresó en el Grupo de Espectroscopia de Sólidos, dirigido por el Profesor D. Rafael Alcalá Aranda, y comenzó su trabajo en la línea de investigación sobre defectos en sólidos para su aplicación en luminiscencia y láseres. Como resultado de su estudio, bajo la dirección del Profesor Alcalá, sobre las propiedades ópticas del fluoruro de calcio dopado con cobalto y la influencia de la radiación X sobre dichas propiedades, presentó en 1978 su Tesis Doctoral, obteniendo la calificación de sobresaliente cum laude. Posteriormente obtuvo el Premio Extraordinario de Doctorado y el Premio Nacional de Tesis Doctorales en Ciencias Físicas, otorgado por la Fundación Cañada-Blanch.

En 1981 llevó a cabo una estancia de nueve meses en el Departamento de Física de la Universidad del Estado de Oklahoma, en USA, para aprender las técnicas de espectroscopia de EPR. Esa estancia sería complementada, en años posteriores, con otras en la Universidad de Paderborn, en Alemania, para trabajar en técnicas de EPR y ENDOR.

A la vuelta a Zaragoza de su estancia en la Universidad de Oklahoma, el Prof. Alonso inició sus trabajos sobre EPR en la Universidad de Zaragoza, técnica en la que ha seguido trabajando hasta este momento. Fruto de su trabajo han sido los más de veinte proyectos de investigación en los que ha participado (siendo Investigador Principal en seis de ellos), las tres Tesis Doctorales que ha dirigido, los más de ciento veinte trabajos publicados en revistas científicas internacionales y en libros de prestigio y sus numerosas contribuciones a congresos científicos nacionales e internacionales.

Sus abundantes méritos lo han llevado a ser Colaborador Contratado del C.S.I.C. desde 1978 hasta 1981, Colaborador Científico desde 1981 hasta 1986, Investigador Científico desde 1986 hasta 1991 y Profesor de Investigación desde 1991. Desde 1985 ha desempeñado su labor científica en el Instituto de Ciencia de Materiales de Aragón (I.C.M.A.), de cuya gestión también se ha ocupado, siendo Vice-Director desde 1985 hasta 1987 y desde 1995 hasta 1998, y Director desde 1998 hasta este momento.

Casi toda su vida científica ha estado dedicada a la espectroscopia de resonancia paramagnética electrónica, que se deriva de las técnicas de espectroscopia atómica que surgieron a raíz del descubrimiento llevado a cabo por Zeeman en 1896. Al observar las líneas espectrales de una llama de sodio, encontró un desdoblamiento de éstas cuando introducía un campo magnético elevado producido por un electroimán.

Lorentz logró explicar el fenómeno mediante un tratamiento clásico, ya que los campos magnéticos utilizados eran suficientemente altos como para que la estructura fina del átomo, y por ello el espín del electrón, pudiesen ser ignorados. Además predijo las polarizaciones de las componentes espectrales que aparecían al introducir el campo magnético. Estas predicciones fueron verificadas posteriormente por Zeeman por medio de prismas de Nicol utilizados como analizadores. Pero fue la aplicación de este efecto a niveles atómicos de estructura fina (en la que interviene el espín del electrón) y de estructura hiperfina (en la que además interviene el momento angular nuclear) la que resultó realmente útil, al permitir el desarrollo de técnicas espectroscópicas de alta resolución. La descripción en estos casos de lo que había llegado a llamarse efecto Zeeman, así como de los efectos de interacción luz-materia a los que podía dar lugar, se pudo llevar a cabo mediante modelos cuánticos.

Según la teoría cuántica, cada uno de los electrones de un átomo posee un momento angular orbital y un espín. Las interacciones órbita-órbita, espín-espín y espín-órbita hacen que

aparezcan los niveles de estructura fina. Cada uno de estos niveles está caracterizado por un valor  $J$  del momento angular cortical, que se obtiene al sumar los momentos angulares orbitales y espinoriales de los diferentes electrones. Al someter a los átomos a un campo magnético externo, cada nivel fino se desdobra en  $2J+1$  subniveles magnéticos, cada uno de los cuales viene caracterizado por un valor  $M$  diferente de la proyección del momento angular cortical sobre la dirección del campo magnético. Los valores de  $M$  varían entre  $+J$  y  $-J$  con espaciado unidad.

Si el campo magnético no es excesivamente fuerte los subniveles magnéticos de un nivel fino están equiespaciados y sus energías varían linealmente con el campo magnético y son proporcionales al momento magnético correspondiente a ese nivel. Por lo tanto se pueden medir los momentos magnéticos provocando transiciones de absorción entre subniveles magnéticos del mismo o diferente nivel fino. Las transiciones posibles vienen reguladas por la conservación del momento angular y de su proyección sobre la dirección del campo magnético. Como el fotón posee momento angular unidad, cuyas proyecciones sobre el campo magnético pueden tomar los valores  $+1, 0, -1$ , resulta que solamente están permitidas aquellas transiciones con un cambio de  $M$  igual a  $+1, 0, -1$ . Las transiciones con cambio de  $M$  igual a  $+1$  ó  $-1$  pueden llevarse a cabo por separado si se excitan los átomos con radiación circularmente polarizada dextrógira o levógira, respectivamente, propagándose en la dirección del campo magnético externo. Estas dos transiciones pueden excitarse simultáneamente mediante radiación linealmente polarizada con vector de polarización perpendicular al campo magnético externo. Utilizando radiación linealmente polarizada con vector de polarización paralelo al campo magnético externo, se excita las transiciones sin cambio de  $M$ .

Teniendo en cuenta que la radiación electromagnética correspondiente a los rangos espectrales infrarrojo próximo, visible o ultravioleta próximo podría generarse, polarizarse y manipularse sin dificultad, podría parecer la más apropiada para producir las transiciones de absorción entre subniveles magnéticos. Estas transiciones deberían llevarse a cabo entre subniveles de dos niveles finos diferentes (uno en el estado fundamental y otro en un estado excitado) ya que las diferencias de energías entre subniveles de un mismo nivel fino son muy pequeñas y corresponden a fotones de radiofrecuencia o microondas. Excitando transiciones desde dos subniveles magnéticos del estado fundamental hasta uno del excitado se podría determinar el momento magnético del estado fundamental. Análogamente, excitando transiciones desde un subnivel del estado fundamental hasta dos del estado excitado se podría determinar el momento magnético del estado excitado. Naturalmente la radiación empleada

debería ser suficientemente monocromática como para que la variación de la energía de sus fotones, debida a la policromaticidad, fuese pequeña frente a las diferencias de energías entre subniveles magnéticos contiguos. De lo contrario las medidas de momentos magnéticos serían imprecisas.

Esto significa que, en la mayor parte de los casos, era preciso recurrir a fuentes con monocromaticidad como la que tienen los láseres monomodo actuales. Pero además el efecto Doppler originado por el movimiento errático de los átomos de una muestra gaseosa, hace que la frecuencia de los fotones absorbidos por los átomos difiera de la de los fotones emitidos por la fuente, siendo esta diferencia proporcional a la proyección de la velocidad del átomo sobre la dirección de propagación del fotón. La variedad de velocidades de los átomos origina una variedad de efectos Doppler, que produce un ensanchamiento aparente de la radiación excitadora, lo que impide la medida precisa de los momentos magnéticos. Una solución a este problema era utilizar haces atómicos bien direccionados y excitar las transiciones ópticas de absorción en la dirección perpendicular al haz de átomos, para así eliminar el efecto Doppler de primer orden. Si ahora recordamos que en la primera mitad del siglo XX, cuando ya se disponía de modelos cuánticos del efecto Zeeman, no existía el láser y además era tremendamente costoso utilizar instalaciones con haces atómicos, se comprende fácilmente que no resultase apropiado el uso de radiación óptica para la medida de momentos magnéticos.

Por eso, cuando la tecnología de radiofrecuencias y de microondas alcanzaron un buen nivel de desarrollo (al final de la segunda guerra mundial) se puso en marcha la otra alternativa que hemos citado anteriormente, consistente en producir transiciones entre los subniveles magnéticos del mismo nivel fino, mediante absorción de radiofrecuencias o microondas. Dada la falta de población de los estados excitados en los átomos en equilibrio térmico, la medida de momentos magnéticos quedaba limitada, en principio, al estado fundamental, pero desaparecían los problemas que presentaba el rango óptico. Por una parte la necesidad de monocromaticidad en las ondas que excitan las transiciones no era un problema, ya que se podían generar radiofrecuencias y microondas suficientemente monocromáticas. Por otra parte, al ser el efecto Doppler de primer orden proporcional a la frecuencia de los fotones absorbidos, el ensanchamiento Doppler de la transición de absorción era despreciable en el rango de radiofrecuencias y microondas. Nació de esta manera la espectroscopia de resonancia magnética, que posteriormente permitió la medida de momentos magnéticos de estados excitados, al combinarse con absorciones ópticas que permitían poblar el nivel que se deseaba estudiar.

Un paso más hacia el progreso se dio al aplicar las técnicas de resonancia magnética a los niveles de estructura hiperfina, que se explican cuánticamente por la interacción entre el momento angular cortical de un átomo y el momento angular de su núcleo. Esta interacción desdobra cada nivel fino en niveles hiperfinos, cada uno de los cuales viene caracterizado por un valor  $F$  del momento angular total del átomo, obtenido como suma del cortical y del nuclear. Análogamente a lo que ocurre con los niveles finos, cada nivel hiperfino se desdobra en  $2F+1$  subniveles magnéticos hiperfinos, cuando los átomos son sometidos a un campo magnético externo. Mediante radiofrecuencias o microondas podían producirse transiciones entre los subniveles de un nivel hiperfino. Pero dada la proximidad que existe entre niveles hiperfinos contiguos, podían también producirse transiciones mediante microondas entre subniveles de estos niveles. De esta manera no solamente servía la resonancia magnética para medir el momento magnético cortical sino que, a través de la interacción entre la corteza y el núcleo, se obtenía también información sobre este último entre la que se encontraba el momento angular nuclear. Con esto el terreno estaba preparado para dar el siguiente salto: aplicar la resonancia magnética a la detección de los fenómenos de interacción entre un átomo y sus vecinos, en muestras líquidas y sólidas. Ahí nacía la espectroscopia de resonancia paramagnética electrónica, conocida como EPR.

Pero naturalmente quedaban en el camino muchos problemas, cuya solución ha contribuido al progreso de la EPR, hasta conseguir una técnica de alta sensibilidad y alta resolución, con abundantes aplicaciones en Física, Química, Biología y Medicina. Pero esta historia nos la ha contado ya el Profesor Alonso en su magnífico y exhaustivo discurso. Él mismo ha contribuido notablemente a ese progreso mediante sus numerosos trabajos de investigación, en los que ha abordado múltiples problemas mediante la técnica de EPR. Por citar algunos, ha trabajado en centros asociados a impurezas de diferentes cristales iónicos, en impurezas paramagnéticas de vidrios, en los efectos de radiaciones ionizantes o del calentamiento en diferentes atmósferas, en transiciones de fases estructurales, en mesofases de metalógenos paramagnéticos, en compuestos organometálicos paramagnéticos, en problemas de interés en Bioquímica, etc., siendo algunos de sus trabajos pioneros a nivel nacional o internacional.

Pero por encima de todo eso ha sido el motor del desarrollo de la EPR en Zaragoza y ha sabido prestar ayuda en todos aquellos lugares en los que la EPR era necesaria. Se pueden poner como ejemplo su colaboración con el Departamento de Nuevos Materiales Orgánicos del

I.C.M.A., con los Departamentos de Química Inorgánica y de Bioquímica y Biología Molecular y Celular de nuestra Universidad y con la Estación Experimental de Aula Dei del C.S.I.C.

Por todo ello creo que la Academia de Ciencias de Zaragoza puede felicitarse por el ingreso de un científico notable, que sabe acompañar la calidad científica con la calidad humana. Amigo Pablo bienvenido a esta Academia.

Muchas gracias.