

Miguel Catalán, una obra, un ejemplo

Alberto Galindo Tixaire*

1. Excusatio non petita

No conocí al Profesor D. Miguel Catalán. Oí hablar de él por primera vez en 1952 al Profesor D. Juan Cabrera, quien en sus clases de física en la vieja Facultad de Ciencias de Zaragoza encomiaba los descubrimientos del aragonés. De este modo se expresaba D. Juan en el segundo volumen de su obra "Introducción a la Física Teórica", p. 523:

A pesar del gran número de líneas que así se interpretaban, todavía quedaba mucho por desentrañar en la mayoría de los espectros y hoy podemos decir que el camino para su estudio está perfectamente trazado, habiendo sido el guía en este laberinto el Prof. M. A. Catalán, de la Universidad de Madrid, que en un trabajo publicado en 1922 sobre el espectro del manganeso, dió la clave al poner de manifiesto unos grupos de rayas con multiplicidad superior a tres, que denominó multipletes... Por este camino se ha podido ir interpretando los más intrincados espectros de líneas y con ello se ha realizado un gran avance en el conocimiento de la zona cortical de los átomos.

En aquellos años no se enseñaba la mecánica cuántica en la Universidad, y por tanto no entendíamos bien qué era aquello de los multipletes. No podía sospechar entonces que en mi vida profesional iba a encontrarme con la figura de Miguel Catalán en varias ocasiones.

Otros colegas, que conocieron a Catalán, podrían haber escrito con más autoridad que yo sobre el hombre o el compañero. Sólo puedo aportar un conocimiento tal vez más especial de su obra



Figura 1. Miguel Catalán en el laboratorio.

científica, por haberme adentrado en ella con cierta curiosidad.

En todo caso, me limitaré a unas cuantas pinceladas, tanto por razones de espacio, como de conocimientos. Abusaré sin recato de mi artículo en la revista *Arbor*, escrito el año en que se celebraba el centenario del nacimiento de Miguel Catalán¹. Para abarcar plenamente a nuestro personaje, hay una referencia obligada: el libro *Miguel Catalán. Su obra y su mundo* de José Manuel Sánchez Ron (Fundación Ramón Menéndez Pidal, CSIC, Madrid, 1994), obra ésta sobre la que escribí una crítica para la revista *SABER/Leer*². También recomiendo la monografía Miguel A. Catalán³, de su colaborador directo Francisco R. Rico y Rodríguez, y el ensayo *Miguel Catalán*⁴, escrito por su hijo Diego Catalán, por ser, ambos, testimonios valiosos de primera mano. Finalmente, es interesante también el artículo *Blas Cabrera y Miguel Catalán, dos vidas paralelas*⁵, de José Aguilar Peris.

2. El profesor

Miguel Antonio Catalán Sañudo (1894-1957) nació en Zaragoza. Brillante alumno de Ciencias Químicas, fue, por su obra, el mejor físico español de la primera mitad del siglo XX. Así escribía Carlos Sánchez del Río en un ensayo:

Catalán era un hombre de muy agradecido trato. No era físico, sino químico, y, a pesar de ello, su descubrimiento de los multipletes en los espectros atómicos me parece la contribución más importante a la física de cuantas se realizaron por españoles en el primer tercio de este siglo⁶.

Antes de trasladarse a Madrid en enero de 1915 para iniciar sus estudios de doctorado, Catalán tuvo sus experiencias como químico en el ámbito industrial en la fábrica Cementos Portland S.A. de Quinto, al lado de Zaragoza. En Madrid acudió al Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para la Ampliación de Estudios, que dirigía el Prof. D. Blas Cabrera, con el fin de iniciarse en la investigación. Lo hizo bajo la batuta del espectroscopista Prof. D. Ángel del Campo. Su primer trabajo fue *Espectro del magnesio*⁷. A este mismo elemento dedicó su tesis doctoral, defendida en 1917, con el título *Electroquímica del magnesio. Nuevas líneas en su espectro y en el de la plata*. En ella Catalán presenta con rigor el estado del arte en ese tema y de su cosecha añade 12 nuevas líneas al espectro conocido del magnesio, en cuatro triplete que encajan en las series secundarias primera y segunda, y diez nuevas líneas al espectro de la plata, probando en éste la existencia de la serie principal. Su introducción a esta memoria es todo un cántico a la modestia:

Cualquier estudio, por pequeño que sea, aunque a primera vista parezca de interés mediocre, creemos debe ser publicado para que otro investigador, de más inteligencia o de más suerte,... Por eso yo que he laborado con gran constancia, durante algún tiempo, presento aquí el modesto fruto de mi trabajo, en la seguridad de que él, en sí, no significa nada...

*Dedico estas notas a la memoria del recientemente fallecido Prof. José Campos Gutiérrez, Catedrático de Física Atómica Experimental, y eminente investigador en espectroscopía de átomos y núcleos. Entusiasta admirador de Catalán, de quien tuvo ocasión de escuchar alguna conferencia, escribía así de él en su ponencia para el Congreso Internacional "100 Years of Quantum Theory" celebrado en Madrid en el mes de Noviembre del año 2000: *Hoy, frecuentemente, encontramos datos originales que no han sido todavía mejorados. Como ejemplo, diremos que en 1954 junto con Shenstone y Rohelich publicó un artículo paradigmático sobre series isoelectrónicas, que es una pieza maestra en el hallazgo de relaciones en sistemas complejos, y que ha dado lugar a uno de los temas actuales de investigación de más interés en esta disciplina. Por tanto, su obra repleta de logros es una referencia obligada en la historia de la mecánica cuántica y también en la crónica de la búsqueda de las leyes profundas de la naturaleza mediante la experimentación y el análisis en un constante compromiso con el trabajo y la honestidad.*

¹Miguel A. Catalán: *Aragonés internacional*, ARBOR CL 590, 9-40 (1995).

²Huellas en la Historia, Revista SABER/Leer 90, 1-2 (1997).

³Colección de Monografías "Aula de Cultura Científica" 16, 1983, Fundación Marcelino Botín.

⁴Boletín Informativo 172, Fundación Juan March, Agosto-Septiembre 1987.

⁵El Magnetón, Artículos de Historia de la Ciencia Española, Año 1, nº 3, 2000.

⁶C. Sánchez del Río, *La aportación española a la Física*. (El legado español al siglo XXI. Colegio Libre de Eméritos 1990.) Recogido en *Escritos Varios*, pág. 281-292. Libro Homenaje de la Universidad Complutense de Madrid, Editorial Complutense 1995.

⁷An. Soc. Esp. Fís. y Quím. 14, 584 (1916).

Evocaré a Miguel Catalán comentando el alcance e impacto de su contribución científica. No entraré en Miguel como un hombre bueno, amante de la Naturaleza y del deporte, como un español comprometido con el desarrollo de nuestra ciencia, como un liberal que sufrió persecución por sus ideas en esos aciagos años de nuestra postguerra, como un profesor que disfrutaba no sólo enseñando en la Universidad sino también acercando la ciencia a los jóvenes estudiantes de bachillerato.

Regentó Catalán la Cátedra de la Fundación “Conde Cartagena” de la Real Academia de Ciencias entre 1932 y 1934, año este último en que accedió por oposición a la recién creada Cátedra de Estructura Atómico-Molecular y Espectrografía de la Universidad Central. Desempeñó este puesto hasta su inesperado fallecimiento en 1957, con un triste y largo paréntesis de 10 años de separación impuesto por la dictadura franquista entre 1936 y 1946.

La muerte impidió que Miguel Catalán tomara posesión como académico numerario de la Real Academia de Ciencias, puesto para el que había sido elegido el 30 de marzo de 1955 a propuesta de los académicos José María Otero Navascués y Emilio Jimeno Gil, quienes la justifican con estas lacónicas pero elocuentes palabras:

Los méritos científicos del Prof. Catalán, singularmente en el estudio de los espectros atómicos, son tan relevantes y su personalidad tan universalmente conocida que creemos huelga una relación particularizada de sus trabajos y publicaciones.

En el discurso que estaba preparando Catalán para la ocasión asoma una vena poética contrapunto a su pasión por los fríos números:

Vivimos en un mundo integrado por los más diversos materiales. ... Qué rica variedad en el color que encontramos, desde las amapolas rojas hasta el brillante azul del cielo; en la ligereza, desde el denso plomo hasta los sutiles aromas de las flores;...

Me lo imagino contemplando, mochila a la espalda, la hermosa visión abrieffa de las llanadas cerealistas a uno y otro lado de la sierra de Alcubierre, salpicadas de ababoles bajo el firmamento azul y un sol eternamente alto.

3. El científico

La pasión de Miguel por la espectroscopía aflora en estas líneas de su curso de doctorado en 1946:

Hacia la mitad del siglo XIX... Bunsen y Kirchhoff descubrieron el espectroscopio. Era como un ojo maravilloso que apuntando a los astros permitía ver su composición. Lo descubrieron fundándose en la antigua descomposición de la luz que había llevado a cabo Newton... Entonces los químicos, armados del espectroscopio, volvieron a analizar los compuestos en los que fracasó el análisis y de esta forma volvieron a aumentar la lista ya crecida. Pero lo más interesante fue que, al analizar los astros, vieron que ni uno sólo de sus elementos dejaba de estar en la tierra. Ni en el sol, ni en las estrellas, ni en las nebulosas, había un sólo elemento que no estuviera en la tierra. Descubrieron así la unidad de todo el universo.

En ese mismo curso hace hincapié en su interés por los espectros como fuente de información sobre la estructura atómica y no como método de análisis químico:

... en vez de mirar los espectros como cantidad de materia, me obsesionaron como indicadores de los átomos. Estudié el por qué de las líneas.

Comentemos qué son los multipletes de Catalán, ese hallazgo fundamental de la espectroscopía atómica.

A. Los espectros atómicos

Los espectros de luz han proporcionado información valiosa sobre la estructura interna de los átomos⁸. M. Mascart⁹ fue el primero en señalar la existencia de relaciones aritméticas interesantes entre las líneas de un espectro.

G. Johnstone Stoney¹⁰ se dio cuenta de que las longitudes de onda de las líneas H_α , H_β , H_γ , H_δ del hidrógeno

$$\lambda_\alpha = 6563.93, \quad \lambda_\beta = 4862.11,$$

$$\lambda_\gamma = 4341.32, \quad \lambda_\delta = 4102.37$$

satisfacen $\lambda_\alpha/\lambda_\beta = 1.35002$, $\lambda_\alpha/\lambda_\delta = 1.60003$, por lo que en excelente aproximación $1/\lambda_\alpha : 1/\lambda_\beta : 1/\lambda_\delta = 20 : 27 : 32$. Este hallazgo le llevó a concluir que las líneas H_α , H_β y H_δ son los armónicos número 20, 27 y 32 de una vibración fundamental correspondiente a $\lambda_0 = 0.0131277$ mm.

Algunos años más tarde, un maestro de escuela en Basilea, Johann Jakob Balmer, obsesionado con las proporciones numéricas en las catódes medicinales y en el templo de Jerusalén, con las cifras de la bestia, y con el número de escalones de las pirámides, condensaba en una bella fórmula¹¹ todas las líneas de una serie espectral del hidrógeno. Se cuenta que su amigo el físico Hagenbach, para sacarle del aburrimiento en que estaba sumido Balmer por carecer de problemas numéricos interesantes, le suministró la lista de las famosas cuatro líneas del hidrógeno. Ni corto ni perezoso, Balmer enseguida vió que¹²

$$\lambda_\alpha : \lambda_\beta : \lambda_\gamma : \lambda_\delta = 9/5 : 16/12 : 25/21 : 36/32.$$

Las proporciones anteriores (con el cambio de notación $\alpha \mapsto 1$, $\beta \mapsto 2$, etc.) son casos especiales de la fórmula propuesta por Balmer

$$\lambda_{m-2} \propto m^2/(m^2 - 4), \quad m \geq 3$$



Figura 2. Espectro del hidrógeno, con sus series históricas diferenciadas en color.

⁸Del excelente libro de M. Jammer, *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, McGraw-Hill, New York 1966, hemos extraído abundante información.

⁹M. Mascart, *Sur les spectres ultraviolets*, Comptes Rendues **69**, 337-338 (1868).

¹⁰G. Johnstone Stoney, *On the cause of the interrupted spectra of gases*, Philosophical Magazine **41**, 291-296 (1871). Veintitrés años después introdujo Stoney en la física el nombre de electrón.

¹¹J. J. Balmer, *Notiz über die Spectrallinien der Wasserstoffs*, Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel **7**, 548-560 (1885).

¹²El desarrollo en fracción continua de $\lambda_\alpha/\lambda_\gamma$ conduce a los siguientes aproximantes racionales: 2, 3/2, 62/41, 127/84, 189/125, 316/209,... Tomando 189/125, y los resultados de Stoney, se obtiene lo anterior.

que aplicada a $m = 7$ llevó a Balmer a predecir una quinta línea $\lambda_5 = \lambda_\infty \times 49/45 = 3969.65 \text{ \AA}$, con $\lambda_\infty = 3645.6 \text{ \AA}$. Enterado de que esa línea y otras nuevas (hasta un total de 12) ya eran conocidas, publicó un segundo trabajo¹³ en el que con su fórmula daba cuenta de las mismas.

En la Fig. 2 puede verse esta parte del espectro del hidrógeno, con sus series históricas¹⁴.

El descubrimiento de Balmer impulsó la atención científica sobre los espectros atómicos. En 1890 Rydberg¹⁵ señaló que él había estado usando una fórmula análoga a la de Balmer antes de que éste la publicara, y enunció un principio según el cual todas las series espectrales son de la forma

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_\infty - R / (m - \Delta)^2, \quad \bar{\nu} := \nu / c$$

donde R es la famosa constante de Rydberg,¹⁶ la misma aproximadamente para todos los elementos y todas las series espectrales; $\bar{\nu}_\infty$ (límite de la serie) y Δ (corrección de Rydberg o defecto cuántico) son constantes para cada serie. La combinación $R/(m - \Delta)^2$ se llama término espectral. Para el hidrógeno, la fórmula de Balmer es el caso particular $R = 4\bar{\nu}_\infty = 4/\lambda_\infty = 109722. \text{ cm}^{-1}$, $\Delta = 0$.

Los espectros de los alcalinos son bastante más complejos que el del hidrógeno (Fig. 3). Estudiados por Liveing y Dewar en 1879,¹⁸ habían identificado estos autores tres series de líneas dobles, la serie principal (dobletes $^2S_{1/2} \rightarrow ^2P_{1/2,3/2}$, en notación moderna), una primera serie subordinada o serie difusa (tripletes¹⁹ $^2P_{1/2,3/2} \rightarrow ^2D_{3/2,5/2}$), y una segunda serie subordinada o serie neta (dobletes $^2P_{1/2,3/2} \rightarrow ^2S_{1/2}$).

Rydberg consiguió condensar estas series del Na mediante su principio antes

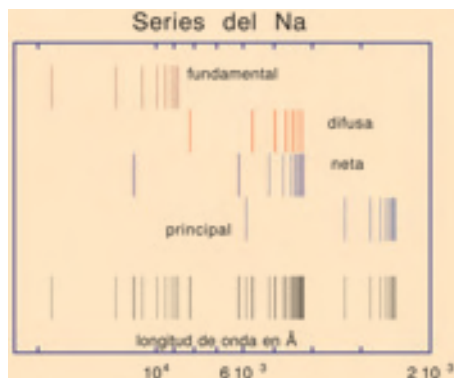


Figura 3. Series espectrales del Na, separadas (en color), y superpuestas (en negro).

citado. En 1896, y de forma independiente, Rydberg²⁰ y Schuster²¹ observaron que los límites de dichas series no eran sino términos espectrales de otras series²².

Ya en el siglo XX, Bergmann²³ halló una cuarta serie en estos espectros de los alcalinos, conocida como serie fundamental.

Los defectos cuánticos de los distintos términos miden la desviación (que resulta depender muy poco de n) con respecto a la fórmula del hidrógeno para idéntico número cuántico n . La razón de estas correcciones hay que buscarla en el hecho de que el electrón óptico responsable del espectro se mueve en un campo eléctrico que no es exactamente coulombiano. Por eso tales defectos cuánticos tienden a aumentar en módulo con la excentricidad y disminuyen al subir de nivel.

Todo esto parecía sugerir muy seriamente que las frecuencias espectrales eran siempre diferencia de dos términos espectrales, en cuyo interior aparecía un cierto entero. Así lo había sospechado Rydberg²⁴.



Figura 4. Niels Bohr (derecha) y Arnold Sommerfeld (izquierda).

Años después Ritz²⁵ lo enunciaba como su principio de combinación. Tal hecho era incompatible con la física clásica, que sólo aceptaba, como frecuencias posibles en la emisión de radiación por los electrones atómicos, combinaciones enteras de ciertas frecuencias fundamentales.

B. El modelo de Bohr-Sommerfeld

Entre los años 1913 y 1925, el modelo atómico de Bohr-Sommerfeld dominó la escena científica.

Según Bohr,²⁶ los electrones de un átomo hidrogenoide de carga Ze ocupan unas órbitas circulares especiales, caracterizadas por que en ellas el momento angular del electrón es múltiplo entero de una unidad de acción, la famosa constante reducida $\hbar := h/2\pi$ de Planck:

$$L_n = n\hbar, \quad n \in \{1, 2, 3, \dots\}.$$

Los radios de estas órbitas están por ello discretizados, y en consecuencia también las energías del electrón en esas órbitas:

$$a_n = n^2 a_B, \quad a_B := \hbar / \mu_e (Z\alpha c),$$

$$E_n = E_B / n^2, \quad E_B := -\frac{1}{2} \mu_e (Z\alpha c)^2,$$

¹³J. Balmer, *Zweite Notiz über die Spectrallinien der Wasserstoffs*, Verhandlungen der Naturforschenden Gesellschaft in Basel **7**, 750-752 (1885); Wiedemannsche Annalen der Physik **25**, 80-87 (1885).

¹⁴Muchas de las líneas son en realidad conjuntos de varias. Por ejemplo, la primera línea de Balmer es un quinteto fino.

¹⁵J. R. Rydberg, *Recherches sur la constitution des spectres d'émission des éléments chimiques*, Kungliga Vetenskaps Akademiens Handlingar **23**, n° 11, 155 pp. (1890).

¹⁶Rydberg la denotaba por N , siendo Sommerfeld quien adoptó el símbolo R . Catalán siguió la notación de Rydberg.

¹⁷El valor correcto de R para el hidrógeno es $R_H = 109677.58 \text{ cm}^{-1}$.

¹⁸G. D. Liveing, J. Dewar, *On the spectra of sodium and potassium*, Proceedings of the Royal Society of London (A) **29**, 398-402 (1879); *The spectrum of magnesium*, Proceedings of the Royal Society of London (A) **32**, 189-203 (1881).

¹⁹Dos de las líneas de estos tripletes están muy pegadas, y por eso tienen apariencia de doblete, "doblete con satélite".

²⁰J. R. Rydberg, *Die neuen Grundstoffe der Cleveitgases*, Wiedemannsche Annalen der Physik **58**, 674-679 (1896).

²¹A. Schuster, *On a new law connecting the periods of molecular vibrations*, Nature **55**, 200-201 (1897). Trabajo escrito en 1896.

²²Ver, por ejemplo, la referencia en la nota a pié de página # 1.

²³A. Bergmann, *Beiträge zur Kenntnis der ultraroten Emissionsspektren der Alkalien*. Tesis, Jena (1907). Algunas de las líneas de esta serie ya eran conocidas (F. A. Saunders, *Some additions to the arc spectra of the alkali metals*, Astrophysical Journal **20**, 189-201 (1904)).

²⁴J. R. Rydberg, *La distribution des raies spectrales*, en *Rapports présentés au Congrès International de Physique*, Vol. 2, 200-204, Gauthier-Villars, Paris, 1900.

²⁵W. Ritz, *Über ein neues Gesetz der Serienspektren*, Physikalische Zeitschrift **9**, 521-529 (1908); *On a new law of series spectra*, Astrophysical Journal **28**, 237-243 (1908).

²⁶N. Bohr, *On the constitution of atoms and molecules*, Philosophical Magazine **26**, 1-25, 476-502, 857-875 (1913).

donde μ_e es la masa reducida del electrón con respecto al núcleo atómico.

En la génesis de este modelo atómico actuó de fuente de inspiración la fórmula de Balmer, que permaneció más de un cuarto de siglo sin que nadie supiera explicarla. Las líneas espectrales se producen al pasar el electrón de una órbita n_i a otra n_f y su frecuencia (despreciando el retroceso) es

$$\lambda_{n_i n_f}^{-1} = \bar{\nu}_{n_i n_f} = (|E_B|/hc)(n_f^{-2} - n_i^{-2})$$

que es la fórmula de Balmer para el hidrógeno con un valor teórico concreto para R_H , en excelente acuerdo con su valor espectroscópico experimental:

$$R_H = \mu_e (\alpha c)^2 / 2\hbar c = 109677.58 \text{ cm}^{-1}$$

Tal éxito llevó a Einstein a expresar en 1913 su admiración por este trabajo de Bohr:

*Sehr merkwürdig, da muß etwas dahinter sein; ich glaube nicht, daß die Rydbergkonstante durch Zufall in absoluten Werten ausgedrückt richtig herauskommt*²⁷.

Muchos años después, en sus notas autobiográficas, Einstein confiesa que esta proeza bohriana

*...erschien mir wie ein Wunder -und erscheint mir auch heute noch als ein Wunder. Dies ist höchste Musikalität auf dem Gebiete des Gedankens*²⁸.

Sommerfeld extendió el modelo de Bohr a sistemas multiperiodicos (*Was dem ψ recht ist, ist dem r billig!*). Desde antaño (Michelson 1891, 1892)²⁹ se sabía que las líneas de Balmer no eran simples, aunque era tan pequeña la falta que no suponía un grave problema para el modelo bohriano. Sommerfeld, sin embargo, pensaba que este modelo no tenía en cuenta propiamente la naturaleza bidimensional de las órbitas atómicas, que



Figura 5. Arnold Sommerfeld (1868-1951)

requería considerar pares de números cuánticos. Y así es, como por analogía, llegó a imponer sus célebres condiciones de cuantificación para sistemas multiperiodicos,³⁰ unas condiciones que dice *no demostradas y que quizás no puedan serlo*³¹. Se le habían adelantado por unas semanas Wilson³² e Ishiwara³³.

Según estas ideas, las órbitas del electrón en los átomos más sencillos, los hidrogenoides, resultaban ser ahora elipses con semiejes y energía discretizados:

$$a_n = n^2 a_B, \quad b_{m\psi} = m n_\psi a_B, \quad E_n = E_B / n^2.$$

Los números cuánticos n (principal) y n_ψ (azimutal) varían de modo que $1 \leq n_\psi \leq n$.

Quedó Sommerfeld decepcionado al comprobar que los niveles del hidrógeno, a pesar de obtenerse mediante dos reglas de cuantización, seguían dependiendo de un sólo número cuántico $n := n_r + n_\psi$, donde n_r es el número cuántico radial. Y pasar a tres dimensiones no arreglaba nada; de los tres números cuánticos (n_r, n_ψ, m) que entonces intervienen, el tercero de ellos, m , llamado magnético, no influye en la energía, y los otros dos se combinan como antes.

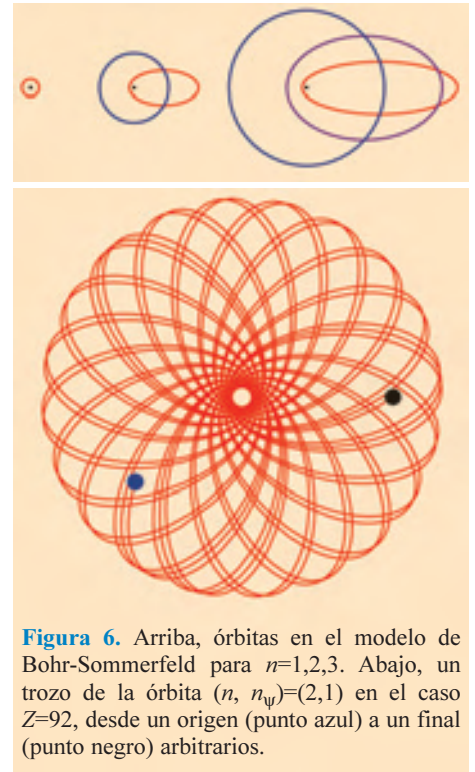


Figura 6. Arriba, órbitas en el modelo de Bohr-Sommerfeld para $n=1,2,3$. Abajo, un trozo de la órbita $(n, n_\psi)=(2,1)$ en el caso $Z=92$, desde un origen (punto azul) a un final (punto negro) arbitrarios.

Pero al aplicar la dinámica relativista se produce el milagro³⁴, pues entonces

$$E_{m\psi} = \alpha^{-2} \left[\left\{ 1 + (Z\alpha)^2 \left(n - n_\psi + \sqrt{n^2 - (Z\alpha)^2} \right)^2 \right\}^{-1/2} - 1 \right] = -\frac{1}{2} Z^2 \frac{1}{n^2} \left[1 + \frac{(Z\alpha)^2}{n} \left(\frac{1}{n_\psi} - \frac{3}{4n} \right) + O((Z\alpha)^4) \right],$$

en unidades “atómicas” $\mu_e = \hbar = e = 1$. Aquí tenemos, en particular, la estructura fina del hidrógeno y la explicación del hallazgo citado de Michelson.

Las órbitas ligadas pasan a ser multiperiodicas, a saber, elipses en precesión (ver Fig. 6), cuyo pericentro avanza en $\Delta\psi = 2\pi(\gamma^{-1} - 1)$ rad/revolución, con $\gamma := (1 - (Z\alpha/n_\psi)^2)^{1/2}$.

La separación fina crece con Z ; por eso Paschen³⁵ la distinguió enseguida en el espectro del HeII, lo que supuso una

²⁷Ver M. Jammer, *loc. cit.* p. 86. Traducción: “¡Muy interesante! Algo tiene que haber detrás. No creo que sea meramente fortuita la deducción del valor absoluto de la constante de Rydberg”.

²⁸A. Einstein, *Autobiographisches*, en “Albert Einstein: Philosopher-Scientist”, Ed. P. A. Schilpp, Vol. I, p. 46, Harper Torchbooks 1959. Traducción: “... me pareció un milagro, y todavía sigue pareciéndome hoy. Es la musicalidad suprema en la esfera del pensamiento”.

²⁹A. A. Michelson, *On the application of interference-methods to spectroscopic measurements*, Philosophical Magazine **31**, 338-346 (1891); **34**, 280-299 (1892).

³⁰A. Sommerfeld, *Zur Theorie der Balmerischen Serie*, Münchener Berichte **1915**, 425-458; *Die Feinstruktur der wasserstoff- und wasserstoffähnlichen Linien*, Münchener Berichte **1915**, 459-500; *Zur Quantentheorie der Spektrallinien*, Annalen der Physik **51**, 1-94, 125-167 (1916).

³¹Lo cierto es que no pueden demostrarse en el esquema de la física clásica, pero sí lo son a través de la aproximación semiclásica o WKB dentro del formalismo cuántico ondulatorio nacido en 1926.

³²W. Wilson, *The quantum theory of radiation and line spectra*, Philosophical Magazine **29**, 795-802 (1915).

³³J. Ishiwara, *Die universelle Bedeutung der Wirkungsquantums*, Tokyo Sugaku Buturiggakawi Kizi **8**, 106-116 (1915).

³⁴A. Sommerfeld, *Zur Quantentheorie der Spektrallinien*, Annalen der Physik **51**, 44-94 (1916).

³⁵F. Paschen, *Bohr's Helium Linien*, Annalen der Physik **50**, 901-940 (1916).

confirmación del modelo de Bohr-Sommerfeld³⁶.

No todas las transiciones entre subniveles m_ψ son posibles; una regla de selección las limita: $|\Delta n_\psi| = 1$.

¿Basta con n , n_ψ para explicar los espectros (en ausencia de direcciones especiales, como las marcadas por los campos magnéticos externos, y que requieren la consideración del número cuántico magnético m)? Se sabía ya entonces que los átomos alcalinos presentaban en su espectro dos series de dobletes, una serie principal, con separaciones (en frecuencia) entre los elementos de cada doblete decrecientes al aumentar n , y una serie neta, cuyos dobletes presentan separación constante. Aparte, sus espectros tienen también las series difusa y fundamental de tripletes “con aspecto de dobletes”. A través de los niveles o términos espectrales la explicación sería inmediata si se acepta que haya una serie neta (ns o $n, n_\psi = 1$), de niveles singlete, y tres series, principal (np o $n, n_\psi = 2$), difusa (nd o $n, n_\psi = 3$) y fundamental (nf o $n, n_\psi = 4$), de niveles doblete. Y así resulta ser.

Del mismo modo se vió que los niveles de los átomos alcalino-térreos en que sólo se excita uno de los dos electrones de valencia, eran todos singletes o tripletes. Las series espectrales entre términos singlete constan de singletes; entre términos tripletes, la principal y neta son líneas tripletes, y la difusa y fundamental están formadas por sextetes (con aspecto generalmente de triplete). La regla $\Delta S = 0$ se viola claramente y aparecen algunas líneas de transición entre términos singlete y triplete.

C. Sobre el número cuántico interno

Dados dos términos de multiplicidades g_1 y g_2 , uno esperaría en principio

colectivos de $g_1 g_2$ líneas; el hecho de que muchas de tales líneas no existan sugiere la acción de una nueva regla de selección, independiente de la ya mencionada $|\Delta n_\psi| = 1$. A tal fin, Sommerfeld³⁷ introduce un nuevo número cuántico j (notación sugerida por Bohr), que llama interno, y que asigna a cada término, de modo que éste queda caracterizado por n , n_ψ , j .³⁸ El análisis de las series difusas le lleva a postular la regla de selección $\Delta j = 0, \pm 1$, que Landé completaría prohibiendo la transición $j = 0 \rightarrow j = 0$.

Hoy sabemos que se debe al spin (momento magnético intrínseco del electrón) la aparición del número cuántico buscado. Pero históricamente le precedieron otras ideas. Como origen de los niveles doblete y triplete Roschdestwensky³⁹ había sugerido ya en 1919 un efecto Zeeman interno. De forma independiente, Landé⁴⁰ y Sommerfeld⁴¹ proponen la hipótesis de un “corazón magnético”, según la cual el corazón formado por el núcleo y los electrones internos posee un momento angular $\mathbf{R}$ (por *Rumpf* = tronco) y un momento magnético asociado, que produce un campo magnético que actúa sobre los electrones ópticos desdoblado los niveles por efecto Zeeman. El momento angular $\mathbf{K}$ (de módulo l)⁴² del electrón óptico precede alrededor de $\mathbf{R}$ (de módulo s), y entre ambos producen el momento angular total $\mathbf{J} = \mathbf{R} + \mathbf{K}$ del átomo, cuyo módulo sería j , el número cuántico interno. Ahora bien, había problemas teóricos: los valores j debían ir entre $|l-s|$ y $l+s$, variando de unidad en unidad, y por tanto las multiplicidades de los términos debían ser $2s+1$ si $s \leq l$, y $2l+1$ en caso contrario. Por tanto todos los niveles de los alcalinos, salvo los ns , exigían, por ser dobles, $s = 1/2$ (algo no encajable en la teoría), y por otro lado, la simplicidad de los ns

obliga a que $l = n_\psi - 1$ (también incomprensible dentro del modelo de Bohr).

Como es sabido, el experimento de Stern-Gerlach⁴³ vino en apoyo de estas asignaciones.



Figura 7. Miguel Catalán. Sello conmemorativo en su centenario

Relegando las divergencias teóricas, la asignación del nuevo número cuántico permitió explicar muchos hechos espectroscópicos. Pero también aquí había problemas. Por ejemplo, los términos singlete y triplete de los alcalino-térreos debían corresponder a estados distintos del corazón atómico, a saber, $s = 0$ para los primeros, y $s = 1$ para los segundos; pero entonces las energías internas también deberían diferir, en contradicción con la observación experimental de que las diferencias de energías singlete-triplete tienden a cero al crecer n . A la solución final contribuyeron Uhlenbeck y Goudsmit⁴⁴ en 1925, con su introducción en escena del spin del electrón. En esta nueva concepción (que aún a principios de 1926 Pauli tachaba de *Irrlehre* = herejía⁴⁵, pero que luego incorporaría⁴⁶ a la mecánica cuántica), el momento angular $\mathbf{R}$ se desliga del corazón inerte y se aposenta sobre el propio electrón activo.

El trabajo fundamental de Catalán⁴⁷ de marzo de 1922, que discutimos a continuación, reveló la existencia de térmi-

³⁶Sustituyendo $n_\psi \rightarrow j + 1/2$ en esta expresión de Sommerfeld para los niveles finos resulta la fórmula exacta a que conduce la ecuación de Dirac para átomos hidrogenoides. La interpretación es, no obstante, muy distinta.

³⁷A. Sommerfeld, *Allgemeine spektroskopische Gesetze, insbesondere ein magnetooptischer Zerlegungssatz*, Annalen der Physik **63**, 221-263 (1920).

³⁸Atención: este j de Sommerfeld será, en realidad, $j+1/2$, siendo este último j el momento angular total del nivel.

³⁹D. Roschdestwensky, *Das innere Magnetfeld des Atoms erzeugt die Dublette und Triplette der Spektralserien*, Kniga Verlag, Berlin 1922.

⁴⁰A. Landé, *Über den anomalen Zeemaneffekt*, Zeitschrift für Physik **5**, 231-241 (1921); **7**, 398-345 (1921); *Termstruktur und Zeemaneffekt der Multipletts*, Zeitschrift für Physik **15**, 189-205 (1923); **19**, 112-123 (1923).

⁴¹A. Sommerfeld, *Über die Deutung verwickelter Spektren (Mangan, Chrom, usw.) nach der Methode der inneren Quantenzahlen*, Annalen der Physik **70**, 32-62 (1923); *Zur Theorie der Multipletts und ihrer Zeemaneffekte*, Annalen der Physik **75**, 209-227 (1924).

⁴²Como es habitual, medimos los momentos angulares en unidades de $\hbar$.

⁴³O. Stern, W. Gerlach, *Der experimentelle Nachweis des magnetischen Moments des Silberatoms*, Zeitschrift für Physik **8**, 110-111 (1922); *Der experimentelle Nachweis der Richtungsquantelung im Magnetfeld*, Zeitschrift für Physik **9**, 349-355 (1922).

⁴⁴G.E. Uhlenbeck, S. Goudsmit, *Ersetzung der Hypothese vom unmechanischen Zwang durch eine Forderung bezüglich des inneren Verhaltens jedes einzelnen Elektrons*, Die Naturwissenschaften **13**, 953-954 (1925).

⁴⁵Ver M. Jammer, *loc. cit.* pág. 152.

⁴⁶W. Pauli, *Zur Quantenmechanik der magnetischen Elektrons*, Zeitschrift für Physik **43**, 601-623 (1927).

⁴⁷M.A. Catalán, *Series and other regularities in the spectrum of manganese*, Philosophical Transactions of the Royal Society of London **223**, 127-173 (1923).

nos espectrales de multiplicidad superior a tres (incluso septetes); los conjuntos de líneas espectrales entre términos o niveles más complejos fueron bautizados por Catalán con el nombre técnico de multipletes. Este *terminus technicus* (como dice Jammer) se ha quedado en la física para siempre, y hoy se usa tanto en la física atómica, como en la nuclear o de partículas. El hallazgo de Catalán produjo gran revuelo en los círculos especializados de espectroscopistas, astrofísicos, y físicos teóricos, y la búsqueda general de multipletes en los espectros atómicos llegó a ser rutina en los protocolos de laboratorio.

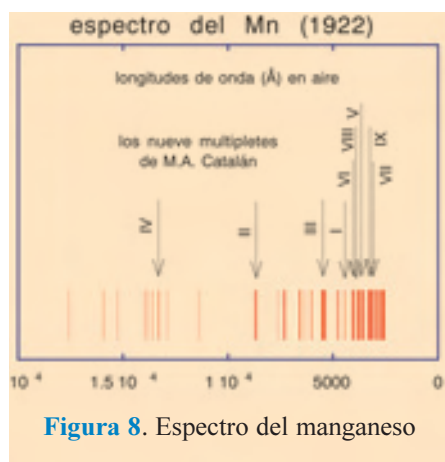


Figura 8. Espectro del manganeso

Ese mismo año, en junio, Bohr comentaba los resultados de Catalán en sus conferencias *Theory of Atomic Structure* desarrolladas en Gotinga, frente a alumnos como Heisenberg y Pauli. Incluso antes de enviar a publicar su manuscrito, Catalán se lo dejó a Sommerfeld durante la visita de éste a Madrid a finales de febrero y principio de marzo de 1922. Su impresión fue fantástica; había estado aplicando sus ideas del número cuántico interno con los pocos datos experimentales que se tenían de los alcalinos y alcalino-térreos, y los resultados de Catalán le brindaban campo amplio para comprobar sus principios. Así comenzó entre ambos una estrecha relación que duró siempre. Al cabo de unos meses, en agosto de 1922, Sommerfeld envía a publicar su trabajo ya mencionado⁴⁸, en el que demuestra cómo los multipletes de Catalán encajan perfectamente y apoyan su método basado en los *inneren Quantenzahlen*.

D. Los multipletes de Catalán

El trabajo de Catalán que acabamos de citar, fue presentado en febrero-marzo de 1922 y publicado el 20 de julio de ese año. En la introducción, justifica el autor esta investigación diciendo: *It seemed possible that the careful study of a spectrum rich in lines would lead to the discovery of new or more general laws*, para advertir de inmediato y lacónicamente que: *The results obtained have exceeded expectations*.

Dicho trabajo fue realizado en el Royal College of Science, de Londres, germen del actual Imperial College of Science and Technology, a donde había ido Catalán para aprender de un afamado espectroscopista, Alfred Fowler, F.R.S.⁴⁹ Catalán se entregó absolutamente a su trabajo en Inglaterra, desde la obtención de espectros, hasta su análisis teórico, haciendo números y más números, como escribía en una carta a su director Ángel del Campo, fechada el 9 de marzo de 1921. No cabe duda de que sobre Catalán ejercían una intensa fascinación los números y sus relaciones. Años más tarde (curso de doctorado sobre *Estructura del átomo*, 1946) recordaría además cómo le daban las tantas de la madrugada en el laboratorio:

Cogí las placas y me puse a fotografiar... Revelé la fotografía y serían las cinco de la mañana cuando lo acabé. ... No acertaba a hacer los números, tan excitado estaba. Poco después hice el cálculo y salió lo que buscaba; vi que aquello era la interpretación del espectro y todo quedó aclarado.

El propio Fowler fue quien el 22 de febrero de 1922 presentó en la Royal Society el manuscrito del trabajo citado de Catalán para su publicación, procediendo a su lectura el 23 de marzo. En este trabajo analiza Catalán, entre otras cosas, el espectro entonces conocido del MnI, con 169 líneas, en el intervalo $\lambda \in (2576, 17607)$ (ver Fig. 8).

El Mn tiene como llenado de capas ("pisos" en denominación de Catalán) $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^5 4s^2$. La proximidad entre los niveles 3d y 4s es responsable de la anomalía que supone colocar electrones en el nivel 4 antes de terminarse de llenar la subcapa 3d.

El interés por el espectro del manganeso se remonta a 1845; las primeras regularidades (cinco tripletes con dife-

rencias de 173 y 129 cm^{-1}) en el mismo fueron detectadas por Kayser y Runge⁵⁰ en 1894, que los distribuyeron en dos series, tres en la serie difusa y dos en la serie neta.

Catalán identificó tres tripletes más de la neta (en realidad, uno, porque los otros son de asignación incorrecta), otro triplete de la difusa, y señaló en ésta la estructura detallada en nueve líneas de su primer triplete (en claro contraste con los sextetes que aparecen en los alcalino-térreos).

En notación moderna, la serie neta hoy conocida contiene tres tripletes (4754.05, 4783.43, 4823.53), (3148.18, 3161.05, 3178.50), (2648.80, 2657.90, 2670.24), que corresponden a las transiciones

$$z {}^8\text{P}^{\circ}_{5/2,7/2,9/2} \rightarrow (e,f,g) {}^8\text{S}_{7/2}.$$

La serie difusa hoy conocida contiene cuatro tripletes ((3531.84, 3532.00, 3532.11), (3547.79, 3548.02, 3548.18), (3569.49, 3569.80, 3570.03)), (2914.60, 2925.58, 2940.33, 2940.48), (2703.92, 2713.32, 2726.13), (2603.49, 2612.23, 2624.47), que corresponden a las transiciones

$$z {}^8\text{P}^{\circ}_{5/2,7/2,9/2} \rightarrow (e,f,g,h) {}^8\text{D}_{3/2,5/2,7/2,9/2,11/2}$$

y que en realidad son nonetes. (Solamente se ven bien las 9 líneas en el primero; en el segundo se ven cuatro, y en los dos restantes, tres.)

De su análisis sobre la serie principal (${}^8\text{S}_{7/2} \rightarrow {}^8\text{P}^{\circ}_{5/2,7/2,9/2}$) únicamente la línea 15263 ha subsistido [junto con la 15217.9 responden a la transición $e {}^8\text{S}_{7/2} \rightarrow y {}^8\text{P}^{\circ}_{5/2,7/2,9/2}$].

De la serie fundamental

$${}^8\text{D}_{3/2,5/2,7/2,9/2,11/2} \rightarrow {}^8\text{F}^{\circ}_{1/2,3/2,5/2,7/2,9/2,11/2,13/2}$$

Catalán identificó las dos únicas líneas conocidas 15964.9, 11378.8, ambas en el infrarrojo, correspondientes a las transiciones

$$e {}^8\text{D}_{11/2} \rightarrow z {}^8\text{F}^{\circ}, e {}^8\text{D}_{11/2} \rightarrow y {}^8\text{F}^{\circ}_{13/2},$$

respectivamente.

Luego identificó las líneas de intercombinación 5432.56, 5394.68, que corresponden, respectivamente, a las transiciones $a {}^6\text{S}_{5/2} \rightarrow z {}^8\text{P}^{\circ}_{5/2}$, $a {}^6\text{S}_{5/2} \rightarrow z {}^8\text{P}^{\circ}_{7/2}$, de la serie $a {}^6\text{S}_{5/2} \rightarrow {}^8\text{P}^{\circ}_{5/2,7/2,9/2}$.

Aparte de las series (principal, neta, difusa y fundamental) de tripletes (none-tes en la difusa) mencionadas, similares a las que aparecen en los espectros de los

⁴⁸A.S., Annalen der Physik **70**, 32-62 (1923).

⁴⁹Responsable, entre otras cosas, de la primera medida precisa de la constante de Rydberg, y del cociente m_e/m_p .

⁵⁰H. Kayser, C. Runge, *Über die Spektren von Zinn, Blei, Arsen, Antimon und Wismuth*, Wiedemannsche Annalen der Physik **52**, 93-113 (1894).

alcalinos, Catalán señaló en el Mn otras seis series (dos principales, dos netas y dos difusas) de tripletes estrechos, análogos a las series de singletes en los alcalino-térreos. En realidad, se trata sólo de tres series (una principal y dos netas).

La nueva serie principal es la $a\ ^6S_{5/2} \rightarrow ^6P^o_{3/2,5/2,7/2}$. Se conocen actualmente nueve tripletes de la misma, de los que Catalán pudo ver los dos primeros ($a\ ^6S \rightarrow y\ ^6P^o$, $a\ ^6S \rightarrow z\ ^6P^o$); por cierto, que uno lo colocó en lo que llamó serie principal 1S-mP y el otro en la serie principal paralela 1S-(mP+C). Le llamó poderosamente la atención (como manifestó en su carta a Ángel del Campo en la que le informa de las primicias de este trabajo) el hecho de que $C = y\ ^6P^o_{7/2} - z\ ^6P^o_{7/2} = 10967.72\text{ cm}^{-1}$, valor que le recordaba ostensiblemente a $R_H/10 = 10967.76\text{ cm}^{-1}$. ¿Casualidad, o algo más, se pregunta? Muy posiblemente lo primero, pues más que R_H debiera aparecer $R_{Mn} = 109736.2\text{ cm}^{-1}$, y aunque hubiera resultado C ser igual a $R_{Mn}/10$, tampoco cabría esperar una explicación, dada la complejidad del Mn y de la maraña de sus niveles.

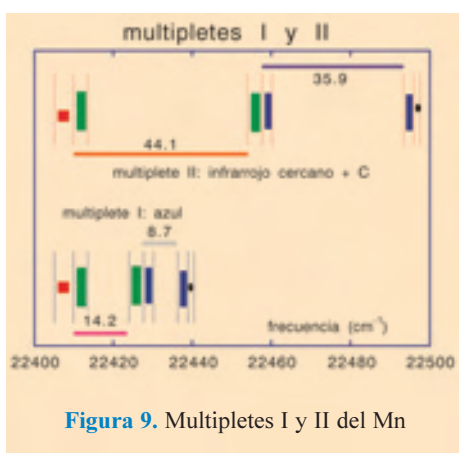


Figura 9. Multipletes I y II del Mn

Una nueva serie neta es la $y\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow ^6S_{5/2}$ (1P-mS en notación de Catalán). Se conocen tres tripletes de la misma, de los que Catalán colocó los dos extremos ($y\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow e\ ^6S_{5/2}$, $y\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow g\ ^6S_{5/2}$) en esta serie, pero relegó erróneamente el triplete central $y\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow f\ ^6S_{5/2}$ a una presunta nueva serie difusa 1P-mD. “Paralela” a esta serie neta de tripletes estrechos hay otra nueva serie neta, la $z\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow ^6S_{5/2}$ [(1P+C)–mS según Catalán], con cuatro tripletes, de los que Catalán se topó con los tres primeros, colocando el primero y tercero ($z\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow e\ ^6S_{5/2}$, $z\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow g\$

$^6S_{5/2}$) en esta serie, y desplazando el tercero ($z\ ^6P^o_{3/2,5/2,7/2} \rightarrow f\ ^6S_{5/2}$) a una hipotética serie difusa (1P+C)–mD.

Aparte de todas estas regularidades ordinarias y esperadas, Catalán observó la existencia de conjuntos de líneas espectrales, cuyas similares características y reacciones análogas a los cambios de temperatura sugerían un origen común. En la zona azul aparece un nonete de líneas muy intensas. Son las líneas de la parte baja de la Fig. 9, y corresponden a la transición

$$(I, 9) : z\ ^6P^o_{\{3,5,7\}/2} \rightarrow e\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2}$$

donde con (I, 9) indicamos que es el multiplete I y que consta de 9 líneas. Las franjas señaladas marcan diferencias de frecuencia iguales, y la repetición de dos de ellas (3.53, 2.51) sugiere un término común. Las cuatro diferencias (4.78, 3.55, 2.54, 1.49) aparecen también en otro nonete singular, en el infrarrojo cercano, correspondiente a la transición

$$(II, 9) : y\ ^6P^o_{\{3,5,7\}/2} \rightarrow e\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2}$$

y desplazado en C respecto del anterior. Las intensidades relativas de las nueve líneas son similares en cada uno de estos dos grupos. Para denotar estas estructuras, Catalán propone el nombre de multipletes. Por lo dicho, los multipletes I y II deben compartir un término espectral.

No termina aquí la sorpresa. Fijémonos en las diferencias señaladas con rayas horizontales; son, en el multiplete I, 14.20 y 8.73, y en el multiplete II, 44.12 y 35.87. Pues bien, hay otros dos complejos de líneas, un nonete en el amarillo, correspondiente a la transición

$$(III, 9) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} \rightarrow y\ ^6P^o_{\{3,5,7\}/2}$$

y un sextete en el infrarrojo, parte observada del nonete correspondiente a la transición

$$(IV, 9 (6)) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} \rightarrow z\ ^6P^o_{\{3,5,7\}/2}$$

separados por tanto en C , en los que aparecen estas diferencias mencionadas, en buena aproximación, y otras nuevas que comparten entre sí (ver Fig. 10).

Todo esto asegura la consistencia física y matemática del concepto de multiplete de Catalán. En su trabajo, presentó nueve multipletes para el MnI, así como multipletes en el MnII y Cr.

Por completitud, incluimos los restantes multipletes del Mn:⁵¹

$$\begin{aligned} (V, 9) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} &\rightarrow x\ ^6P^o_{\{3,5,7\}/2}, \\ (VI, 14) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} &\rightarrow z\ ^6D^o_{\{1,3,5,7,9\}/2}, \\ (VII, 9) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} &\rightarrow v\ ^6P^o_{\{3,5,7\}/2}, \\ (VIII, 14) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} &\rightarrow z\ ^6F^o_{\{1,3,5,7,9,11\}/2}, \\ (IX, 14) : a\ ^6D_{\{1,3,5,7,9\}/2} &\rightarrow y\ ^6F^o_{\{1,3,5,7,9,11\}/2}. \end{aligned}$$

No cabe duda de que Catalán veía relaciones numéricas donde nadie las sospechaba; guiado de un fino instinto físico y de un enorme tesón, dió con la clave para interpretar los espectros atómicos. Manejó 169 líneas, procedentes de 70 niveles. Hoy se conocen más de dos millares de líneas y unos cuatrocientos niveles⁵².

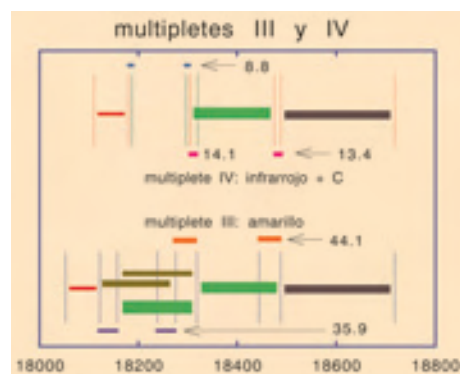


Figura 10. Multipletes III y IV del Mn. Las tres líneas en verde del IV fueron calculadas, no observadas, por Catalán

E. Repercusión internacional de los multipletes de Catalán

Ya hemos mencionado antes las primeras citas positivas de Bohr, y el entusiasmo de Sommerfeld ante este extraordinario trabajo de Catalán, que conoció antes de su publicación, y que le afianzó en su teoría sobre los números cuánticos internos.

Alfred Fowler, su supervisor en Londres, tampoco tardó en advertir la importancia del hallazgo de Catalán, y nunca le escatimó alabanzas. En sus escritos autobiográficos, no publicados, decía de Catalán que era *un hombre brillante que realizó un descubrimiento de importancia fundamental para el análisis de los espectros*. Y en su alocución como presidente de la Sección de Ciencias Físicas y Matemáticas en el Congreso de la British Association for the Advancement of Sciences, celebrado en Oxford en 1926, hacía notar:

⁵¹Del multiplete VI, se han observado 13 líneas. El multiplete VIII consta de 14 líneas, y no de las 15 consideradas por Catalán. De las 14 líneas del multiplete IX, Catalán identificó 13.

⁵²M.A. Catalán, W.F. Meggers, O. García-Riquelme, *The first spectrum of Manganese, MnI*. J. of Research of the National Bureau of Standards-A. Physics and Chemistry, **68A**, 9-59 (1964). S. Bashkin, J. O. Stoner, jr, *Atomic Energy Levels and Grottrian diagrams*, Vol. IV, 2-60, North-Holland, Amsterdam 1982.

No se consiguió una clave para la estructura de átomos complejos hasta las investigaciones que en 1922 realizó Catalán... Fue este descubrimiento el que abrió el camino para el análisis de los espectros complejos en general. Ha sido continuado con extraordinario éxito por el propio Catalán, por Walters, Laporte, Meggers, Sommerfeld y otros, y se han obtenido los primeros rasgos de la estructura de muchos espectros tan complicados como el hierro.

Otro famoso espectroscopista, William Meggers, escribía en 1958, recordando a Catalán:

Con anterioridad a 1921 los términos espectrales derivados del análisis de espectros atómicos relativamente sencillos consistían únicamente de niveles simples, dobles y triples. Catalán atacó valientemente los espectros más complejos del manganeso y del cromo, y felizmente encontró términos que contenían 5, 6 ó 7 niveles que se combinaban para producir grupos de 9 a 15 líneas espectrales, para los cuales acuñó el término "multiplete". El descubrimiento de Catalán de términos espectrales de gran multiplicidad fue una clave correcta a la interpretación de los espectros complejos; pronto fue adoptada por muchos espectroscopistas, produciéndose una avalancha de

multipletes. Esto inspiró el desarrollo de la interpretación cuántica de los espectros atómicos y trajo la edad de oro de la espectroscopía en 1926 cuando se hizo posible explicar teóricamente todas las radiaciones discretas en términos de energías y números cuánticos asociados con electrones de átomos e iones.

Astrofísicos, como H. N. Russell y F. A. Saunders, de Princeton, se interesaron de inmediato. En carta a Fowler (18 enero 1922), escribía Russell:

Una carta que acabo de recibir del Dr. Saha contiene alguna información extremadamente interesante acerca del trabajo de Mr. Catalán sobre el espectro del manganeso. ...Sería extraordinariamente útil para nosotros el saber más acerca de los resultados de Mr. Catalán; cuanto más mejor.

Como decía, en su diario en 1925, A. Trowbridge, ex-profesor de Princeton y director para Europa de la sección de Ciencias Físicas y Biológicas del International Education Board:

Catalán es un joven que parece muy inteligente, y que ha impresionado a Sommerfeld inmensamente con su peculiar habilidad para advertir (casi intuitivamente) oscuras relaciones entre líneas especiales de los espectrogramas de los elementos. ... según el Prof. Sommerfeld,

es seguro que realizará grandes descubrimientos de gran importancia.

Finalmente, Sommerfeld, en su libro *Three Lectures on Atomic Physics*, 1926, escribía:

Nuestro conocimiento de los espectros complejos ha experimentado un rápido progreso durante los últimos años. ... El impulso principal de este desarrollo lo dio un artículo de Mr. M. A. Catalán, que trabajó durante los años 1920 y 1921 en el laboratorio del profesor Fowler.

La obra de Miguel Catalán, por el conocimiento proporcionado de los átomos a través de sus espectros, y muy en especial del átomo de Fe, ha tenido también aplicaciones directas a la astrofísica. Por eso la Unión Astronómica Internacional dió su nombre a uno de los cráteres de la parte oculta de la Luna: el situado en las coordenadas 45.7°S y 87.3°O, de unos 25 km de diámetro. Es un simbólico reconocimiento de la sociedad científica internacional al impacto que en la astrofísica supuso la singular aportación de este ilustre aragonés.

Alberto Galindo Tixaire

*está en el Dpto. de Física Teórica.
Facultad de Ciencias Físicas.
Univ. Complutense. Madrid*

CONGRESOS

Programa "Ciencia Viva", actividades curso 2003/2004, promovido por el Departamento de Educación y Cultura del Gobierno de Aragón y Caja Inmaculada. Para más información consultar la Página Web: www.cienciaviva.net

11th International Congress of the International Radiation Protection Association. 23-28 Mayo de 2004, Madrid. Para más información consultar pág. Web. www.irpall.com

IX Congreso Nacional de Propiedades Mecánicas de Sólidos (PMS2004), que tendrá lugar entre los días 22 y 25 de junio de 2004 en la localidad onubense de Fuente-heridos. Para más información, sírvanse consultar la página web: <http://www.us.es/cnpms2004/home.html>

European Conference on organised Films, ECOF 2004 to held in Valladolid, Spain on 22-25 (Thursday-Sunday) July, 2004. Department of Condenser Matter

of Physics, University of Valladolid. Further information contact with: souto@fmc.uva.es

Para anuncios en esta sección:

fax: 91-543 38 79

email: rsef@fis.ucm.es

WEB: <http://www.ucm.es/info/rsef>