

La estructura del espectro del hierro

POR

M. A. CATALÁN



Publicado en *Anales de la Sociedad Española
de Física y Química*, t. XXII, p. 398

1924

LA ESTRUCTURA DEL ESPECTRO DEL HIERRO, por M. A. Catalán.

Six new multiplets formed with terms previously known are found in the spectrum of iron; ten new levels only partially classified which originate two sets of multiplets are also presented. Additional tables with the terms forming the multiplets of the second paper of Laporte and those now obtained and with the lines now classified are also given.

1. En dos trabajos recientemente publicados por nosotros (1) anunciábamos haber descubierto las intercombinaciones entre las series de quintetes del hierro y un nuevo sistema de septetes que habíamos predicho en otro trabajo anterior (2), asimismo advertíamos también que teníamos en preparación una detallada memoria que comprendería todos esos nuevos datos. Cuando esta memoria se hallaba dispuesta ya para ser publicada, ha aparecido un trabajo de Laporte (3) sobre el mismo asunto en el que da a conocer los septetes del hierro, algunos multipletes de intercombinación de septetes con quintetes, y algunos quintetes y tripletes nuevos. La coincidencia de los resultados obtenidos por Laporte ha sido tan exacta con los nuestros, que hemos creído inútil el hacer la publicación del trabajo tal como lo teníamos dispuesto y únicamente daremos cuenta, brevemente, de aquellos multipletes que no han sido considerados por Laporte.

2. En la región λ 2300 — 1980 Å se encuentran algunos multipletes. Piña (4) ha sido el primero que ha investigado esta región del espectro del hierro, y por ello sólo disponemos de las longitu-

(1) M. A. Catalán, *Nature.*, **113**, 889, 1924 y **114**, 192, 1924.

(2) M. A. Catalán. Estos ANALES, **21**, 464, 1923.

(3) O. Laporte, *Z. f. Phys.*, **26**, 1, 1924.

(4) S. Piña. Estos ANALES, **15**, 434, 1917.

des de ondas medidas por este autor, que no son de gran precisión, porque en el tiempo en que fueron hechas no se disponía de patrones interferenciales en esta zona del espectro. A continuación van descritos esos multipletes.

El término fundamental d^1 se combina con los términos $\bar{f}^2$ y X de Laporte y además con otros términos nuevos.

NÚM. 51 λ 2218.51 — 2258.62 I. A. 12 líneas.

12 lines.

	j	d^1								
		0	90.0	1	184.1	2	288.1	3	416.0	4
$\bar{f}^2$	0			cal.						
	184.6			44706.9						
	1	cal.		1		7				
	281.1	44531.0		44621.6		44805.1				
	2			7		cal.		cal.		
	377.8			44445.7		44629.8		44917.9		
	3					cal.		1		cal.
	372.5					44357.2		44646.4		45061.3
	4							cal.		2
								44261.0		44677.0

De las doce líneas posibles, solamente han sido observadas cinco, cuya longitudes de onda observadas y calculadas, damos a continuación para que puedan ser comparadas:

λ Obs. (Piña)	λ Calc.	λ Obs.-Calc.
2231.20	2231.19	+ 0.01
37.59	37.59	0.00
39.12	39.18	— 0.06
40.37	40.40	— 0.03
49.21	49.24	— 0.03

Las diferencias obs.-calc., son para todas las líneas, perfectamente admisibles dentro de los errores probables de las longitudes de onda dadas por Piña.

Esta combinación puede verse que es una excepción al principio de selección de Laporte (1), porque es una combinación entre un término «gestrichen» y otro «ungestrichen», de distinto valor azimutal.

El término X de Laporte, que aparece en el multiplete número 41, se combina con el término fundamental d^1 dando el siguiente multiplete:

NÚM. 52 λ 2084.20 — 2115.20 I. A. 9 líneas.

	j	d^1							
		0	90.0	1	184.1	2	288.1	3	416.0
X $p^4?$	1	47311.7		47400.5		47583.9			
	126.4								
	2			47275.5		47459.9		47746.1	
	196.9								
	3					47261.9		47548.9	47964.6

A continuación comparamos las longitudes de onda observadas y calculadas de las líneas de este multiplete:

λ Obs. (Piña)	λ Calc.	λ Obs.-Calc.
2084.20	2084.11	+ 0.09
93.7	93.68	0.0
2100.88	00.80	- 0.08
02.43	02.35	+ 0.08
06.37	06.40	- 0.03
09.01	08.96	- 0.05
12.97	12.97	0.00
14.59	14.60	- 0.01
15.20	15.17	+ 0.03

Las diferencias obs.-calc. no exceden de los errores probables de observación en esta región.

El efecto Zeeman de una de las líneas del multiplete 41 ($\bar{p}X$) y la relación de las separaciones del término X , hacen probable según

(1) O Laporte, *Z. f. Phys*, **23**, 135, 1924.

Laporte, que $X = p^4$. Nuestro multiplete 52, bastante intenso, confirma esa suposición.

Walters (1) dice que cierto número de separaciones **176,8:200,4** en la región λ 3300 no parecen mostrar combinaciones con otros niveles. Laporte (2) también dice que en la región λ 3300 existen una porción de combinaciones de niveles desconocidos con el término $\bar{p}$ y ha logrado formar con algunas de esas combinaciones dos multipletes, número 41: $\bar{p}X$ y número 42: $\bar{p}Z$ y además encontrar en otra región del espectro la intercombinación número 43: $\bar{F}^1 Z$.

Nosotros, por nuestra parte, hemos encontrado algunos pares y tripletes con las separaciones **176,200** pero no nos ha sido posible el hallar los multipletes que deben formar. Por ello hemos reunido, en dos tablas, todos los datos que les conciernen. En la primer tabla damos los datos que se refieren a las combinaciones con el término $\bar{p}$:

NÚM. 53

j	$\bar{p}$					Términos.
	1	2	3			
2	30311.45	200.38	30511.83	176.76	30688.59	$a = 48237.8$
1	29249.83	200.38	29450.21		—	$b = 47177.2$
2	29208.65	200.42	29409.07	176.80	29585.87	$c = 47136.1$
3	—		29290.16	176.83	29466.99	$m = 47017.1$
1	28974.50	200.23	29174.73		—	$e = 46901.7$
1? 2?	28961.12	200.37	29161.49	?	29338.92 ⁽³⁾	$n = 46888.5$
1	28841.15	200.36	29041.51		—	$q = 46768.5$
3	—		29017.98	176.82	29194.80	$h = 46745.0$
2	28799.7	200.3	29000.08	176.80	29176.88 ⁽⁴⁾	$i = 46727.1$
1	28763.36	200.29	28963.65		—	$k = 46690.6$

(1) F. M. Walters Jr. *Jour. Op. Soc. Amer.*, **8**, 245, 1924.

(2) O. Laporte, *Z. f. Phys.*, **26**, 11, 1924.

(3) Probablemente doble según King.

(4) Esta línea entra también en el multiplete núm. 25, formando la combinación $\bar{f}^1_2 - \bar{F}^1_3$. King dice que es doble con la componente violeta débil.

Las combinaciones de algunos de estos términos con el término d^1 van reseñadas en la siguiente tabla:

NÚM. 54

j	d^1								Términos.
	0	90.0	1	184.1	2	288.1	3	415.9	4
2	—	47350.5			47534.6		47822		
2	—	46245.6			46430.0		46718.9		$a = 48237.8$
3	—	—			46312.7 (1)		46599.6		$c = 47136.1$
1	45922.1	46011.3			46197.3		—	47015.5	$m = 47017.1$
2? 3?	—	45998.4			46183.0		46471.9	46887.6	$e = 46901.7$
2	—	45837.9			—		46312.7 (1)	—	$n = 46888.5$
1	45712.4	45804			45988		—	—	$i = 46727.1$
								—	$k = 46690.6$

En la tabla que sigue comparamos las longitudes de onda observadas con las calculadas para las combinaciones $d^1 a$, $d^2 c$,

λ Obs. (Piña)	λ Calc.	λ Obs.-Calc.	λ Obs. (Piña)	λ Calc.	λ Obs.-Calc.
2090.4	2090.38	0.0	2161.69	2161.58	+ 0.11
2103.06	2103.06	0.00	63.95	63.94	+ 0.01
11.24	11.24	0.00	64.61	64.55	+ 0.06
26.28	26.22	+ 0.06	72.70	72.60	+ 0.10
32.08	32.04	+ 0.04	73.31	73.22	+ 0.09
39.78	39.74	+ 0.04	73.8	73.87	— 0.1
45.26	45.20	+ 0.06	76.92	76.85	+ 0.07
51.16	51.13	+ 0.03	80.92	80.87	+ 0.05
53.10	53.01	+ 0.09	82.5	80.60	— 0.1
58.60	58.56	+ 0.04	86.90	86.90	0.00
	58.63	— 0.03			

El término $\bar{F}^1$ de tripletes se combina con el p^3 de quintetes originando el siguiente multiplete:

(1) Esta línea entra dos veces.

NÚM. 55

 λ 3271.59 — 3335.51 I. A.

6 líneas.

		$\overline{F}^1$				
j		2	407.62	3	584.62	4
p^3	1	cal. 30110.47				
	219.25	cal. 29891.22		¹ 30298.83		
	2					
	327.03	cal. 29564.18		¹ 29971.81		² 30556.46

Este multiplete está prohibido por el principio de selección de Bohr. Nótese la débil intensidad de sus líneas, tres de las cuales no han podido ser obtenidas.

Todavía encontramos algunos multipletes de intercombinación entre términos quintetes y de sextetes. Todos ellos son muy débiles y solamente han sido observados incompletamente. Uno de los multipletes es el número 56, $\bar{d}^1 \delta$ del cual han sido fotografiadas solamente las tres líneas que la teoría prevé más intensas. Los otros multipletes son: el número 57, πd^2 , del que han sido observadas cuatro líneas y el número 58, φd^2 , del que se han observado también otras cuatro. Todas estas líneas figuran en la tabla de las líneas clasificadas al fin de este trabajo.

Existe una línea en las tablas de Burns λ 5956.700 (3) o sea ν 16783.18 cm^{-1} que corresponde con el valor calculado 16783.17 cm^{-1} para la línea de intercombinación $\bar{f}^1_5 \pi_4$ prohibida por el principio de selección de Bohr. El efecto de temperatura de esta línea no ha sido observado por King y por consiguiente no puede servir de auxilio para decidir si se trata de una simple coincidencia numérica, o por el contrario, esta línea representa dicha combinación prohibida.

Por último, en la región λ 2800 mezcladas con las líneas del multiplete número 47 de Laporte se halla un par de líneas que muestra las separaciones del término $\bar{f}^1$, 351.2, etc. Estas dos líneas originan un término $l = 43109.0$ con valor de $j = 4$ o 3 que no ha sido posible clasificar.

TABLA I

Notación.	Magnitud.	SEPARACIONES			
$\overline{p_3}$	17550.2		176.8		
$\overline{p_2}$	727.0		200.4		
$\overline{p_1}$	927.4				
$\overline{\delta_5}$	19350.9		211.6		
$\overline{\delta_4}$	562.5		194.6		
$\overline{\delta_3}$	757.1		155.5		
$\overline{\delta_2}$	912.6		107.1		
$\overline{\delta_1}$	20019.7				
φ_6	22650.4		195.5		
φ_5	845.9		150.8		
φ_4	996.7		114.2		
φ_3	23110.9		81.6		
φ_2	192.5		52.4		
φ_1	244.9		25.5		
φ_0	270.4				
π_4	711.4		469.4		
π_3	24180.8		361.1		
π_2	506.9				
F_4^0	31307.3				
D_3^0	322.6		497.8	363.7	
D_2^0	686.3				
F_2^0	805.1			251.1	
F_2^0	937.4		328.9		
D_1^0	32134.0				
s_2	40895.0				
p_3^3	41532.0				
δ_5	815.8		327.0		
$\overline{p_2^3}$	859.8				
$\overline{g_5^2?}$	911.9		219.2		
$\overline{g_4^2?}$	023.0			347.5	111.1
P_1^3	079.0				
?	109.0	?			
$\overline{g_3^2?}$	137.5				114.5
$\overline{\delta_4}$	163.3				
$\overline{g_2^2?}$	210.1			271.3	72.6

Notación.	Magnitud.	SEPARACIONES	
δ_3	434.6	—	
δ_2	633.5	—	198.9
δ_1	764.0	—	130.5
k_1	46690.6		
i_2	727.1		
h_3	745.0		
q_1	768.5		
n	888.5		
e_1	901.7		
$\overline{f_3^2}$	47005.4	—	
m_3	017.1		
Z_3	092.7		
c_2	136.1		
b_1	177.2	372.5	104.3
Z_2	197.0	—	
$\overline{Z_1}$	292.0	—	75.0
$\overline{f_4^2}$	377.9	—	
$\overline{f_3^2}$	755.6	377.7	
X_3	966.5		
$\overline{f_2^2}$	48036.6	281.0	
X_2	163.4		196.9
$\overline{f_1^2}$	221.3	184.7	
a_1	237.8		126.4
X_1	289.8	—	

TABLA II

Número...	λ aire.	ν vac.	Intensi- dad (King y Piña).	Clase de tempe- ratura (King).	Notación.	Número...	λ aire.	ν vac.	Intensi- dad (King y Piña).	Clase de tempe- ratura (King).	Notación.
52	2084.20	47964.6	4	—	$d^1_4 - p^4_3?$	54	2161.69	46245.6	4	—	$d^1_1 - c_2$
54	90.4	822	3	—	$d^1_3 - a_2$	54	63.95	197.3	3	—	$d^1_2 - e_1$
52	93.7	746	4	—	$d^1_3 - p^4_2?$	54	64.61	183.0	3	—	$d^1_2 - n$
52	2100.88	583.9	4	—	$d^1_2 - p^4_1?$	54	72.70	011.3	4	—	$d^1_1 - e_1$
52	02.43	548.9	4	—	$d^1_3 - p^4_3?$	54	73.31	45998.4	3	—	$d^1_1 - n$
54	03.06	534.6	3	—	$d^1_2 - a_2$	54	73.8	988	2	—	$d^1_2 - k_1$
52	06.37	459.9	4	—	$d^1_2 - p^4_2?$	54	76.92	922.1	4	—	$d^1_0 - e_1$
52	09.01	400.5	4	—	$d^1_1 - p^4_1?$	54	80.92	837.9	3	—	$d^1_1 - i_2$
54	11.24	350.5	1	—	$d^1_1 - a_2$	54	82.5	804.0	1	—	$d^1_1 - k_1$
52	12.97	311.7	1	—	$d^1_0 - p^4_1?$	54	86.90	712.4	3	—	$d^1_0 - k_1$
52	14.59	275.5	4	—	$d^1_1 - p^4_2?$	51	2231.20	805.1	7	—	$d^1_2 - f^2_1$
52	15.20	261.9	4	—	$d^1_2 - p^4_3?$	51	37.59	677.0	2	—	$d^1_4 - f^2_4$
54	26.28	015.5	1	—	$d^1_4 - m_3$	51	39.12	645.3	1	—	$d^1_3 - f^2_3$
54	32.08	46887.6	4	—	$d^1_4 - n$	51	40.37	620.9	1	—	$d^1_1 - f^2_1$
54	39.78	718.9	5	—	$d^1_3 - c_2$	51	49.21	445.7	7	—	$d^1_1 - f^2_2$
54	45.26	599.6	4	—	$d^1_3 - m_3$	—	2797.777	35732.15	15	III	$f^1_4 - l$
54	51.16	471.9	4	—	$d^1_3 - n$	—	2825.556	380.87	20	II	$f^1_3 - l$
54	53.10	430.0	4	—	$d^1_2 - c_2$	53	3257.603	30688.59	8	IV	$p_3 - a_2$
54	58.60	312.7	3	—	$d^1_3 - i_2$	55	71.693	546.43	2	—	$F^1_4 - p^3_2$
54					$d^1_2 - m_3$	53	76.477	511.83	4	IV	$p_2 - a_2$

Número...	λ aire.	ν vac.	Intensi- dad (King).	Clase de tempera- tura (King).	Notación.	Número...	λ aire.	ν vac.	Intensi- dad (King).	Clase de tempera- tura (King).	Notación.
53	3298.137	30311.45	6	IV	$\overline{p_1} - a_2$	53	3450.334	28974.50	10	IV	$\overline{p_1} - e_1$
55	99.511	298.83	1	—	$\overline{F_2^1} - p_2^3$	53	51.618	963.65	2	IV	$\overline{p_2} - k_1$
55	3355.517	29971.81	1	—	$\overline{F_3^1} - p_3^3$	53	51.920	961.12	10	IV	$\overline{p_1} - n$
53	79.024	585.87	6	IV	$\overline{p_3} - c_2$	53	66.279	841.15	1	—	$\overline{p_1} - q_1$
53	92.658	466.99	15	III	$\overline{p_3} - m_3$	53	71.27	799.7	5	IV	$\overline{p_1} - i_2$
53	94.590	450.21	5	IV	$\overline{p_2} - b_1$	53	75.653	763.36	6	IV	$\overline{p_1} - k_1$
53	99.339	409.07	15	III	$\overline{p_2} - c_2$	58	4495.386	22238.81	1	—	$\varphi_0 - d_1^2$
53	3407.468 (1)	338.92	20	III	$\overline{p_3} - n$	58	4525.875	089.00	1	—	$\varphi_1 - d_2^2$
53	13.140	290.16	15	III	$\overline{p_2} - m_3$	58	54.467	21950.34	1	—	$\varphi_3 - d_3^2$
53	17.847	249.83	12	III	$\overline{p_1} - b_1$	58	79.344	831.19	1	—	$\varphi_5 - d_4^2$
53	22.665	208.65	7	IV	$\overline{p_1} - c_2$	57	4726.165	152.91	1	—	$\pi_3 - d_2^2$
53	24.290	194.80	10	III	$\overline{p_3} - h_3$	57	68.397	20965.56	1	—	$\pi_4 - d_4^2$
53	26.393 (2)	176.88	5	III A	$\overline{p_3} - i_2$	57	87.84	880.4	1	—	$\pi_3 - d_3^2$
53	26.646	174.73	5	IV	$\overline{p_2} - e_1$	57	87.84	826.9	1	—	$\pi_2 - d_2^2$
53	28.200	161.49	8	III	$\overline{p_2} - n$	56	5780.621	17294.40	2	—	$\overline{d_3^1} - \delta_3$
53	42.364	041.51	5	IV	$\overline{p_2} - q_1$	56	80.83	293.77	1	—	$\overline{d_2^1} - \delta_2$
53	45.155	017.98	20	III	$\overline{p_2} - h_3$	56	91.044	263.27	2	—	$\overline{d_4^1} - \delta_4$
53	47.283	000.08	8	IV	$\overline{p_2} - i_2$	—	5956.700	16783.18	3	—	$\overline{f_4^1} - \pi_4$

(1) Probablemente doble según King.

(2) Doble según King (componente violeta la más débil); coincide con $\overline{F_2^1} - F_3^1$ (Núm. 25 de Laporte).

En el primer trabajo de Laporte sobre el espectro del hierro, da una tabla con los valores de los términos tomados a partir del término de mayor valor numérico. Con estos valores pueden calcularse las combinaciones que todos esos términos originan. En su segundo trabajo, Laporte omite el dar la correspondiente tabla, y como nosotros pensamos que es de manifiesta utilidad a todos aquellos que se hallan trabajando en la resolución de la estructura del espectro del hierro, la hemos calculado por nuestra cuenta, y le hemos añadido los términos que resultan de los multipletes que damos a conocer en el presente trabajo.

Finalmente, en la tabla II hemos reunido todos los datos que conciernen a las líneas espectrales que forman los multipletes que figuran en el presente trabajo. En la confección de esta tabla hemos seguido las normas que Laporte ha empleado en las otras tablas del hierro, para que así sea más fácil el poder emplear ambas tablas simultáneamente.

Para terminar séanos permitido el dar las gracias más expresivas a los Profesores Cabrera y del Campo por los muchos consejos con que nos han ayudado.

Madrid.—Laboratorio de Investigaciones Físicas.—Septiembre 1924.
