

ESTRUCTURA DEL ESPECTRO DEL HIERRO

M. A. CATALÁN



Publicado en los «Anales de la Sociedad Española de Física y Química»,
tomo XXVIII, página 1239, año 1930.

ESTRUCTURA DEL ESPECTRO DEL HIERRO

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

SUMMARY:

This paper resumes all work published on atomic structure of iron up to date and gives new advances in this field.

More than 2350 lines are reported as classified in the spectrum of the neutral atom of iron. These lines are given in 304 levels.

The most intense lines are originated by addition of a valence electron to the atomic rest in one of both spark configurations $3d^6 4s$ and $3d^7$. Lines produced by a double jump are also frequently intense.

El espectro del hierro ha sido muy estudiado por haber servido de patrón para la determinación de longitudes de onda de todos los demás espectros y por ser el espectro del elemento que figura con mayor intensidad en el espectro solar, lo que hace ser su conocimiento muy necesario para fines astronómicos.

La bibliografía del hierro es extensísima; aquí no mencionaremos más trabajos que los que se relacionan estrechamente con este estudio y se refieren a los siguientes puntos:

1. *Valores de las longitudes de onda.*—La medida precisa de las longitudes de onda de un espectro presenta grandes dificultades porque las líneas sufren pequeños desplazamientos por la acción de la presión, campo eléctrico, etc., y estos desplazamientos no son iguales para todas las líneas. Unas cuantas rayas del espectro del hierro fueron medidas, hace años, con relación a la raya roja del cadmio, patrón primario de longitudes de onda y, adoptadas como patrones secundarios, sirvieron para la medida de muchos espectros.

Algunos de estos patrones se ha encontrado después que estaban afectados de fuertes efectos de polo, por lo que los valores de sus longitudes de onda tenían errores que hacía necesaria su revisión.

En 1928 se ha reunido la comisión de longitudes de onda de la «Union Astronomique Internationale», y en vista de las medidas concordantes de los últimos años que se han ido publicando, especialmente las hechas desde 1925 en laboratorios de varios países, las cuales comprueban y extienden las observaciones precedentes, ha adoptado (1) como patrones secundarios de longitudes de onda ciertas líneas del hierro que, medidas en determinadas condiciones, se hallan libres de efecto de polo.

Todas esas líneas, y además las que el Comité revisó pero sin decidirse a adoptarlas como patrones definitivos, han sido incorporadas a nuestro trabajo, ya que se trata de medidas de la mayor precisión. También hemos adoptado las longitudes de onda de unas cuantas líneas que no han podido ser todavía medidas sin librarse de un pequeño efecto de polo que conservan aun en las condiciones en que se midieron las otras líneas, pero cuyas longitudes de onda han sido determinadas por el Comité con gran exactitud, mediante un cálculo apoyado en las otras líneas, bien medidas, y en los datos que se poseen ya de la estructura del espectro del hierro.

Para el resto de las líneas hemos adoptado los valores de Burns (2), por ser muy completos. En las zonas extremas usamos: las medidas de Meggers y Kiess (2) para el extremo rojo; las de Randall y Barker (2) para el infrarrojo, y en el ultravioleta extremo las de Piña (2), suplementadas por algunas de Schumacher (2). Las longitudes de onda de esta zona extrema ultravioleta son poco exactas porque los observadores no disponían de buenos patrones para la medida.

Además de todas las líneas que figuran en esos trabajos citados, hemos incluido las siguientes: unas pocas líneas medidas por King (3) en el espectro del hierro en arco obtenido con fuertes intensidades de corriente, otras cuantas que Moore y Russell (4) han calculado a partir de los datos de estructura y que figuran en el espectro solar y, finalmente, muchas que figuran en las tablas del espectro del sol (5) revisado recientemente atribuidas al hie-

(1) *Transactions Inst. Astron. u.*, **3**, 1929.

(2) Kayser y Konen, *Spektroskopie*, **6**.

(3) *Astroph. J.*, **62**, 238, 1925.

(4) *Astroph. J.*, **68**, 151, 1928.

(5) *Carnegie Inst. Publication*, núm. 396, 1928

ro, aunque no se han publicado en ninguna parte como líneas del arco del hierro. Se trata de líneas que los que han revisado el espectro solar, al hacer la comparación del arco del hierro con el sol, han encontrado, sin duda, que no habían sido medidas en el espectro de arco del hierro por su pequeña intensidad.

Por nuestra parte hemos hecho fotografías del espectro de arco del hierro en variadas condiciones de intensidad del arco y fotografiando las diferentes partes de la llama del arco para separar las líneas de las diversas clases de temperatura. Las placas obtenidas han cubierto desde 2100 I. A. hasta 7000 I. A. Los aparatos empleados han sido un gran espectroscopio de óptica de cuarzo y una red cóncava de los pies de foco, montada unas veces según Rowland y otras según Eagle. Las placas originales han sido ampliadas convenientemente, y tanto sobre las ampliaciones como sobre los clichés, se ha estudiado detenidamente el espectro.

2. *Intensidades.*—La determinación de la intensidad es de gran importancia para la clasificación de las líneas en multipletes; desgraciadamente la mayor parte de las determinaciones de que se dispone son puramente visuales (1). Las determinaciones que más importantes han sido para nosotros fueron las de King (2) a diferentes temperaturas. A estas intensidades añadiremos las de Burns, completadas con las de otros autores, para poder hacer comparaciones, especialmente en los casos dudosos. En las regiones extremas hemos adoptado las intensidades de los autores cuyas longitudes de onda hemos usado.

En muchos casos dudosos hemos hecho observaciones visuales comparativas y también hemos usado las determinaciones de nuestro microfotómetro.

3. *Influencia de la temperatura.*—King ha hecho estudios del efecto de la temperatura sobre las líneas del espectro del hierro y ha agrupado éstas en 4 clases que adoptamos.

4. *Influencia de la presión.*—La presión hace variar ligeramente la longitud de onda de las líneas y también su aspecto. Han hecho observaciones sobre el efecto de presión en las líneas del

(1) Hay hechas con todo cuidado, con diferentes métodos, las de unas pocas líneas de algunos multipletes por varios autores.

(2) *Astroph. J.*, **37**, 239, 1913 y **56**, 318, 1922.

hierro, entre otros, Gale y Adams (1), St. John y Ware (2), Catalán (3) y últimamente Babcock (4). Estos autores han clasificado las líneas en cuatro grupos, *a*, *b*, *d* y *e*.

5. *Absorción*.—Para la clasificación de las líneas de un espectro es de un gran valor la selección de las líneas que en las condiciones ordinarias del arco se convierten en líneas de absorción en lugar de líneas de emisión. Son las llamadas líneas invertidas, inversión que suelen marcar los observadores con una *R* a continuación del número que da la intensidad, si la inversión es total y con *r* si la inversión es parcial. Aun de más interés que las observaciones de absorción en arco son las hechas a temperatura baja, como por ejemplo, las de Gieseler y Grotrian (5) y las en chispa bajo el agua, como las de Meggers y Walters (6) y las de Sur (7), porque seleccionan las líneas que provienen niveles más estables del átomo. Estos trabajos de absorción son los que sirven de punto de partida para el estudio de la estructura de un espectro, ya que de un número grandísimo de líneas, seleccionan unas pocas que darán la clave de organización de todo el espectro en cuestión.

Para suplementar las observaciones de absorción publicadas, hemos hecho fotografías con mayores excitaciones que las del arco ordinario, en las cuales se ha obtenido la inversión de algunas líneas, que por pertenecer a niveles del átomo más alejado no aparecían invertidas en el arco ordinario.

6. *Efecto Zeeman*.—Las líneas de un espectro se descomponen por la acción de un campo magnético relativamente intenso.

Las medidas más modernas del efecto Zeeman del hierro, son de Balcoclz (8).

7. *Estructura del espectro*.—La estructura del espectro del hierro comenzó a ser estudiada a raíz del descubrimiento de los multipletes en 1922.

Desde esta fecha se han ido publicando trabajos por diferentes

(1) *Astroph. J.*, **37**, 391, 1913.

(2) *Astroph. J.*, **46**, 131, 1917.

(3) *Nature*, **43**, 889, 1924 y **44**, 192, 1924.

(4) *Astroph. J.*, **67**, 240, 1928.

(5) *Zs. f. Phys.*, **22**, 245, 1924.

(6) *Sc. Pap. Bur. Stand.*, núm. 551, 1927.

(7) *Phil. Mag.*, **1**, 433, 1926.

(8) No se han publicado; conocemos el manuscrito por una copia que el Profesor Sommerfeld, de Munich, ha puesto a nuestra disposición.

autores, que han ido marcando progresos constantes en el conocimiento de la estructura de este espectro tan complejo. La bibliografía completa de los trabajos que se refieren de modo particular al hierro, figura en orden histórico en esta página. Todo el valioso material disperso en los trabajos de tantos autores, ha ido siendo, después de revisado y ordenado, incorporado a nuestro trabajo según ha ido apareciendo. A causa del progreso constante de la teoría, hemos tenido que modificar repetidas veces la notación para que pudiera expresar claramente todos los resultados alcanzados de orden teórico y experimental. La cantidad tan grande de material que ha habido que manejar por una parte, y por otra la necesidad de unificar las variadas notaciones empleadas por los diversos autores, ha hecho que la labor de avance en la interpretación haya sido muy lenta.

La bibliografía de los trabajos teóricos que se relacionan con la estructura del espectro del hierro, pero que no añaden material nuevo, se irá dando a conocer según vaya haciendo falta.

BIBLIOGRAFÍA SOBRE LA ESTRUCTURA DEL HIERRO

- F. M. Walters, *Journ. Washington*, **13**, 243, 1923.
 M. A. Catalán, *An. Soc. Esp.*, **21**, 464, 1923.
 S. Goudsmit, *Amsterd. Akad. Wetenschappen*, 107, 1924.
 H. Gieseler y W. Grotrian, *Zs. f. Phys.*, **22**, 245, 1924.
 E. von Angerer y G. Joos, *Naturw.*, **12**, 140, 1924 y *An. Phys.*, **74**, 743, 1924.
 O. Laporte, *Zs. f. Phys.*, **23**, 135, 1924.
 H. Gieseler y W. Grotrian, *Zs. f. Phys.*, **25**, 165, 1924.
 F. M. Walters, *Journ. Op. Soc. Amer.*, **8**, 245, 1924.
 M. A. Catalán, *Nature.*, **113**, 889, 1924 y **114**, 192, 1924.
 O. Laporte, *Zs. f. Phys.*, **26**, 1, 1924.
 M. A. Catalán, *An. Soc. Esp.*, **22**, 398, 1924.
 W. F. Meggers, *Astroph. J.*, **60**, 60, 1924.
 W. Grotrian, *Naturw.*, 1925.
 N. K. Sur, *Phil. Mag.*, **1**, 433, 1926.
 O. Laporte, *Nature.*, **117**, 721, 1926.
 O. Laporte, *Proc. Nat. Acad.*, **12**, 496, 1926.
 H. N. Russell, *Astroph. J.*, **64**, 194, 1926.
 W. F. Meggers y F. M. Walters, *Sc. Papers Bureau of Stand*, número 551, 1927.
 H. N. Russell, *Astroph. J.*, **66**, 1, 1927 y **66**, 233, 1927.
 C. E. Moore y H. N. Russell, *Astroph. J.*, **68**, 151, 1928.
Revision of Rowland's Table, Carnegie Institution of Washington núm. 396, 1928.

ANÁLISIS DEL ESPECTRO

No podríamos dar reglas generales para analizar un espectro tan complejo como el del hierro, pero quizás sea de interés describir alguno de los métodos que hemos empleado. El orden en que los vamos a describir es el orden natural en que deberían ser aplicados, pero ha de entenderse que en la práctica no se han usado siempre en ese orden, sino que se han ido logrando avances parciales en la interpretación de ciertos grupos de líneas a las cuales se les ha aplicado estos procedimientos en el orden natural, se ha alcanzado algún resultado nuevo y se ha vuelto a retroceder aplicando de nuevo los métodos a otros grupos de líneas y así sucesivamente. Como dice Russell en su magistral análisis del espectro del titanio (1), el trabajo de interpretación de un espectro requiere mucho tiempo; cuando ya no se consigue avanzar en ningún sentido debe abandonarse temporalmente el trabajo y es seguro que al reanudarlo al cabo de un cierto tiempo se lograrán progresos en muchos puntos que antes resistieron a ser interpretados. Por lo que se refiere a nuestro trabajo, podemos decir que el análisis que hoy presentamos ha sido la obra de seis años de esfuerzos, no continuos, sino interrumpidos de tiempo en tiempo, para dedicarnos a la interpretación de otros elementos. Durante el tiempo transcurrido desde el comienzo de este trabajo hasta la fecha, se han ido publicando trabajos que por las constantes aportaciones que han hecho, tanto a la parte teórica como a la experimental, han ido facilitando los métodos sucesivos de ataque. Los fundamentales han sido los de Walters y los de Laporte antes citados.

1. *Lista de líneas.*—Antes de comenzar el análisis de un espectro debe prepararse una lista completa de los números de onda calculados a partir de las longitudes de onda. Las tablas de Kayser facilitan esa tarea engorrosa, pero aun así, el cálculo de los números de onda de las 3200 líneas del hierro costó muchos días de trabajo casi mecánico puede decirse. En la lista de las líneas deben figurar todos los datos que se posean acerca de la absorción, intensidad, carácter en arco, efectos de presión, tem-

(1) *Astroph. J.*, **66**, 347, 1927.

peratura y campo magnético. Esta tabla es la que denominamos en nuestro trabajo Tabla general.

2. *Esquema de niveles.*—Para comenzar el análisis se eligen de entre las líneas de absorción aquéllas que son más fuertemente absorbidas en proporción a su intensidad en arco; pertenecen en general a las clases I, II y III. Se deja de lado por el momento las que King señala como de clase polar *CP*, porque es dudoso si son de chispa o de arco.

Los números de onda de las líneas seleccionadas se disponen en una columna a la izquierda y en fila, encima y a la derecha de ellas se vuelven a escribir ordenadas de mayor a menor. Se calculan entonces todas las diferencias posibles entre las líneas, escribiendo estas diferencias como indica el cuadro adjunto, deteniéndose al hacer el cálculo cuando las diferencias excedan de los valores esperados para separaciones. En el caso del hierro nos detenemos en 600. De este modo hemos formado un cuadro de pequeñas diferencias. En él se buscan las diferencias que son iguales y se subrayan. Así, en el fragmento de cuadro que presentamos se ven repetirse por tres veces cada una de las diferencias 415,5, 288,1 y 184,0. Si el cuadro adjunto no fuera un fragmento, veríamos repetirse estas diferencias otras muchas veces entre las demás líneas de absorción, lo cual indica que no son coincidencias numéricas, sino verdaderas diferencias.

Con todas las diferencias se forma un cuadro que llamaremos Esquema I, del siguiente modo: Se escriben las que forman la diferencia 415,9 en dos columnas, en sentido creciente de números de onda hacia abajo y cuidando siempre de escribir en cada par de valores la mayor ν a la izquierda. Al ir a escribir análogamente la diferencia 288,0, observaremos que está ligada a la 415,9 varias veces, por la menor ν del par de líneas que forman la 415,9; se escribe, pues, la 288,0 a la derecha de la 415,9 como indica el Esquema I adjunto. Cosa análoga sucede con la 184,5 respecto de la 288,0; la escribiremos, por consiguiente, a la derecha de ésta. La diferencia 90,0 que en este fragmento de cuadro aparece solamente una vez, reaparece otras muchas veces en el resto del cuadro de líneas de absorción y ligada frecuentemente a la 184,1; debe, pues, escribirse a la derecha de ésta.

Debemos advertir que hemos elegido para la presentación en

beneficio de la claridad la parte del Esquema I de menor complicación. En general, esta parte es la formada por las líneas más ultravioletas porque suelen proceder de las combinaciones de un solo término, el fundamental del espectro, y por hallarse sin mezclar con líneas de otros términos la interpretación de las diferencias halladas suele ser más fácil.

En el Esquema I vemos que cada número de onda puede formarse por la diferencia de dos valores, uno común a todas las de cada fila y otro a todas las de cada columna. Todas las líneas de la columna primera tienen, en efecto, un nivel común que llamaremos M ; las de la segunda, un nivel N ; las de la tercera, O , y así sucesivamente. Análogamente, todas las líneas de la fila primera tienen de común un nivel M' ; las de la segunda, N' Al nivel de la columna situada más a la izquierda del esquema le fijaremos un valor arbitrario, lo mejor el valor cero. A partir de él podremos calcular los valores de los niveles N , O añadiendo sucesivamente las diferencias 415,9, 288,0..... Como cada línea es la diferencia entre dos niveles, uno de la columna y otro de la fila, podremos, con los valores de M , N , O y las ν de las líneas, calcular los valores de los niveles de las filas M' , N' De este modo tendremos ya la clave de la estructura del espectro del hierro.

Vamos ahora a extender este Esquema I, para ello, en la tabla general podemos ir buscando con facilidad qué pares de líneas presentan una de esas cuatro separaciones, veremos que hay muchos. Todos estarán formados por líneas de clases bajas de temperatura y presión. Si salieran también algunos con líneas de alta temperatura y fuerte efecto de presión, serán probablemente debidos a coincidencias numéricas, por lo que se les dejará de lado. Es posible que algunos de los otros lo sean también, lo cual no se comprobará hasta más adelante. Incorporaremos a nuestro Esquema I, los pares hallados; de este modo se extenderá verticalmente y obtendremos muchos nuevos niveles del tipo primado.

Para extender el esquema en sentido horizontal, buscaremos en el espectro pares de líneas con las separaciones que tienen los niveles primados entre sí; no solamente las sucesivas de M' a N' de N' a O' , etc., sino también todas las demás como entre M' y O' , M' y P' De este modo, obtendremos nuevos niveles sin pri-

ESQUEMA I

	M	415.98	N	288.04	O	184.05	P	50.07	Q	...
M'	39625.63	415.94	39209.82							
344.05	344.09		344.00							
N'	39969.72	416.05	39553.82	288.11	39265.71					
261.46			261.43		261.49					
O'			39815.25	288.05	39527.20	184.00	39343.20			
26.03										
P'	40257.21									
147.26										
Q'										
189.88					39700.43	183.97	39516.46	90.12	39426.34	
R'	40594.35	415.94	40178.41							
247.60	247.66		247.55							
S'	40842.01	416.05	40425.96	288.05	40137.91					
176.02			175.98		176.04					
T'			40601.94	287.99	40313.95	184.16	40129.79			
112.62					112.58		112.66			
U'					40426.53	184.08	40242.45	90.03	40152.42	
⋮										

Parte del esquema I.

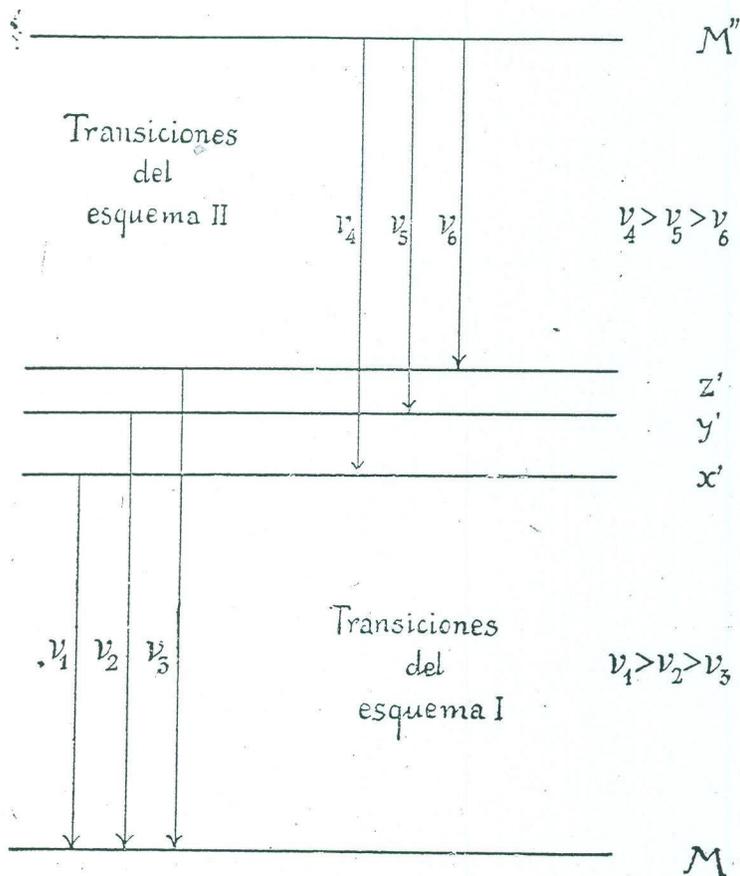
↖ crecientes <	S	<	T	↘ crecientes >
V'	25779.07		25521.35	
^	294.46		294.46	
W'	26073.53		25815.80	
^	527.18		527.18	
X'	26600.71		26342.98	
^	218.45		218.45	
Y'	26819.16		26561.43	
^	64.42		64.43	
Z'	27883.58		27625.86	

Parte del esquema II.

↖ crecientes <	M''	<	N''	↘ crecientes >
V'	14248.38		14529.51	
^	294.44		294.46	
W'	13953.95		14235.05	
^	527.18		527.18	
X'	13426.76		13707.87	
^	218.51		218.44	
Y'	13208.25		13489.43	
^	64.35		64.43	
Z'	12143.90		12425.00	

mar; pero al ir a incorporarlos al Esquema I nos encontraremos en la imposibilidad de poner en él algunas de las diferencias halladas, si hemos de conservar la regla de que las ν crezcan hacia abajo verticalmente. Así, por ejemplo, las diferencias 294,4, 527,1 218,4 y 64,4, que en los niveles S y T hacen crecer las ν de arriba a abajo de la tabla, como sucedía en el Esquema I, hacen, por el contrario, disminuir de arriba a abajo las ν en los niveles M'' , N'' . Estos dos niveles y todos sus análogos que primamos dos veces, no pueden ser incluidos en el Esquema I. Con ellos formaremos un segundo cuadro que llamaremos Esquema II.

El por qué este conjunto de diferencias de los términos primados hacen crecer las ν en sentido contrario en el Esquema I que en el II queda perfectamente aclarado al calcular los valores numéricos de los términos del Esquema II, es decir, de los doblemente primados, pues veremos que así como los sin primar eran menores que los primados, los doblemente primados son, en cambio, mayores que los simplemente primados. La figura siguiente da clara idea de



esto. En ella cada línea horizontal representa un nivel cuya situa-

ción medida verticalmente indica su valor numérico. Las ν de las líneas son representadas por las distancias verticales que separan los niveles. Comparando las longitudes de las líneas ν_1 , ν_2 y ν_3 formadas entre un nivel sin primar M y los tres primados X' , Y' y Z' tomados en ese orden, vemos que $\nu_1 < \nu_2 < \nu_3$. Por el contrario, si los tres niveles primados forman líneas espectrales con un doblemente primado tal como M'' y se toman en el mismo orden X' , Y' y Z' , veremos que las longitudes crecen en sentido contrario a como antes, pues $\nu_4 > \nu_5 > \nu_6$.

Las líneas del Esquema II veremos que pertenecen, en su mayor parte, a clases elevadas de presión y de temperatura, a diferencia de las del Esquema I, que lo hacen a clases bajas. Esta consideración es de gran importancia al hacer el análisis del espectro porque nos evita el peligro de confundir los niveles sin primar de los dobles primados y al contrario, lo que nos llevaría a tomar un Esquema por el otro, resultando entonces que los niveles más próximos al átomo, los no primados, serían convertidos en los más alejados y viceversa. Nótese que empezando a formar el Esquema I con la lista de las líneas de absorción no cabe caer en este error.

El Esquema II podrá ser extendido vertical y horizontalmente de modo análogo a como se hizo con el Esquema I.

Analizando de este modo el espectro llegamos a tener dos grandes esquemas formados por tres grupos de niveles: A , no primados; B , primados simplemente; C , primados doblemente. Los A se combinan con los B , y los B con los C , pero la experiencia demuestra que los A no se combinan con los C .

3. *Interpretación de los Esquemas I y II.*—Sobre cada línea en los esquemas debe ponerse su intensidad, clase de temperatura y clase de presión. Debe anotarse también muy especialmente las líneas a las que falta la componente paralela cero en el efecto Zeeman. Todo ello ha de facilitar mucho la labor de interpretación.

En los Esquemas I y II, como puede verse en el fragmento que publicamos, hay muchos huecos a los que no corresponden líneas reales, es decir, que no todas las líneas aritméticamente son posibles para formarse por combinación de dos niveles, son líneas efectivas. Ello es debido por una parte al principio de selección de los cuantos internos, y por otra a que la intensidad de algunas

líneas será muy pequeña lo que las hará difícilmente observables. Un examen atento nos permitirá fijar los valores j de los diferentes niveles.

La observación detenida del número de componentes Zeeman de las líneas mejor resueltas ayudará también a fijar los valores absolutos de j .

Una vez que se conocen los cuantos internos de los niveles es posible extender con facilidad los Esquemas I y II encontrando nuevos niveles porque ahora sabemos cuáles son las diferencias más probables.

A continuación vamos a dar en una tabla todos los niveles del hierro neutro tal como hemos logrado completarlos hasta la fecha. En esta tabla se han agrupados los niveles en tres grupos, de acuerdo con sus combinaciones. Los del grupo A se combinan con los del B formando el Esquema I; los del B se combinan con los del C dando el Esquema II. No se ha obtenido combinaciones, de acuerdo con lo que teóricamente ha de esperarse por el principio de selección de los cuantos azimutales, entre los niveles del grupo A y los del C .

En cada grupo se han ordenado los niveles de menor a mayor, contando sus valores a partir del menor nivel obtenido, que naturalmente pertenece al grupo A , al cual se ha asignado el valor cero. Cada nivel va nombrado por medio de un número seguido de la letra del grupo a que pertenece. Así el nivel 23051.68 del grupo B se nombra 31 A . En aquellos niveles cuya interpretación conocemos ya por lo que diremos más adelante, sigue en la tabla, a la derecha del número de orden, la designación que expresa su significación empleando la notación explicada anteriormente. Nótese que primamos los niveles B para distinguirlos de los otros, y que aunque los C no los distinguimos de los A por primas, los diferenciamos con letras griegas minúsculas colocadas delante de las mayúsculas, que a la vez que separan los varios términos de una misma clase, los diferencian también de los del grupo A que van designados con letras latinas minúsculas. Ejemplos: a^5F ; a^5F' y a^5F pertenecen respectivamente a los grupos A , B y C .

Con objeto de hacer más fácil la comparación de las designaciones adoptadas por nosotros con las usadas por otros autores en trabajos anteriores, hemos puesto en la primera columna de la tabla

de niveles las designaciones de Walters (1) o de Moore y Russell (2).

Algunos niveles han podido ser calculados con mayor precisión que otros porque derivan de líneas medidas con precisión por Babcock (2).

TABLA DE NIVELES

GRUPO A.

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
A	0.000	1 A	a 5D_4
A	415.930	2 A	a 5D_3
A	703.999	3 A	a 5D_2
A	888.129	4 A	a 5D_1
A	978.067	5 A	a 5D_0
B	6928.284	6 A	a 5F_5
B	7376.772	7 A	a 5F_4
B	7728.066	8 A	a 5F_3
B	7985.792	9 A	a 5F_2
B	8154.723	10 A	a 5F_1
C	11976.259	11 A	a 3F_4
C	12560.947	12 A	a 3F_3
C	12968.562	13 A	a 3F_2
D	17550.204	14 A	a 5P_3
D	17727.018	15 A	a 5P_2
D	17927.410	16 A	a 5P_1
D'	18378.22	17 A	a 3P_2
v	19390.20	18 A	a 3H_6
D'	19552.47	19 A	a 3P_1
v	19621.07	20 A	a 3H_5
v	19788.31	21 A	a 3H_4
D'	20037.84	22 A	a 3P_0
c	20641.18	23 A	b 3F_4
c	20874.54	24 A	b 3F_3
c	21039.04	25 A	b 3F_2
V'	21715.78	26 A	a 3G_5
V'	21999.18	27 A	a 3G_4
V'	22249.55	28 A	a 3G_3
e	22838.31	29 A	b 3P_2
e	22946.78	30 A	b 3P_1
e	23051.68	31 A	b 3P_0
h	23783.63	32 A	b 3G_5
h	24118.80	33 A	b 3G_4
	24335.804	3 M	
h	24338.78	34 A	b 3G_3
	24574.690	2 M	
	24772.060	4 M	

(1) La lista de los niveles de Walters con las designaciones puede verse mejor en Meggers, *Astroph. J.*, **60**, 60, 1924.

(2) *Astroph. J.*, **68**, 151, 1928.

GRUPO B

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
E	19350.895	1 B	a ${}^7D'_5$
E	19562.460	2 B	a ${}^7D'_4$
E	19757.044	3 B	a ${}^7D'_3$
E	19912.506	4 B	a ${}^7D'_2$
E	20019.646	5 B	a ${}^7D'_1$
V	22650.422	6 B	a ${}^7F'_6$
V	22845.878	7 B	a ${}^7F'_5$
V	22996.684	8 B	a ${}^7F'_4$
V	23110.945	9 B	a ${}^7F'_3$
V	23192.501	10 B	a ${}^7F'_2$
V	23244.845	11 B	a ${}^7F'_1$
V	23270.389	12 B	a ${}^7F'_0$
W	23711.467	13 B	a ${}^7P'_4$
W	24180.877	14 B	a ${}^7P'_3$
W	24506.925	15 B	a ${}^7P'_2$
F	25900.001	16 B	a ${}^5D'_4$
F	26140.188	17 B	a ${}^5D'_3$
F	26339.706	18 B	a ${}^5D'_2$
F	26479.391	19 B	a ${}^5D'_1$
F	26550.492	20 B	a ${}^5D'_0$
G	26874.560	21 B	a ${}^5F'_5$
G	27166.836	22 B	a ${}^5F'_4$
G	27394.697	23 B	a ${}^5F'_3$
G	27559.591	24 B	a ${}^5F'_2$
G	27666.358	25 B	a ${}^5F'_1$
O	29056.339	26 B	a ${}^5P'_3$
O	29469.027	27 B	a ${}^5P'_2$
O	29732.745	28 B	a ${}^5P'_1$
I	31307.264	29 B	a ${}^3F'_4$
Z	31322.640	30 B	a ${}^3D'_3$
Z	31686.369	31 B	a ${}^3D'_2$
I	31805.090	32 B	a ${}^3F'_3$
Z	31937.337	33 B	a ${}^3D'_1$
I	32134.006	34 B	a ${}^3F'_2$
J	33095.961	35 B	b ${}^5D'_4$
J	33507.138	36 B	b ${}^5D'_3$
K	33695.418	37 B	b ${}^5F'_5$
J	33801.592	38 B	b ${}^5D'_2$
K'	33946.96	39 B	a ${}^3P'_2$
J	34017.124	40 B	b ${}^5D'_1$
K	34039.537	41 B	b ${}^5F'_4$
J	34121.624	42 B	b ${}^5D'_0$
K	34328.774	43 B	b ${}^5F'_3$
K'	34362.89	44 B	a ${}^3P'_1$
K'	34547.231	45 B	b ${}^5F'_2$
K'	34555.66	46 B	a ${}^3P'_0$
K	34692.172	47 B	b ${}^5F'_1$
L	34782.446	48 B	a ${}^5G'_5$
L	34843.976	49 B	a ${}^5G'_6$

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
L	35257.342	50 B	a $^5G'_4$
M	35379.235	51 B	a $^3G'_5$
L	35611.646	52 B	a $^5G'_3$
M	35767.584	53 B	a $^3G'_4$
L	35856.422	54 B	a $^5G'_2$
M	36079.385	55 B	a $^3G'_3$
N	36686.202	56 B	b $^3F'_4$
O	36767.002	57 B	b $^5P'_3$
O	37157.596	58 B	b $^5P'_2$
N	37162.765	59 B	b $^3F'_3$
O	37409.580	60 B	b $^5P'_1$
N	37521.180	61 B	b $^3F'_2$
P	38175.379	62 B	b $^5D'_3$
P	38678.061	63 B	b $^3D'_2$
P	38995.760	64 B	b $^3D'_1$
Q	39625.826	65 B	c $^5D'_4$
Q	39969.880	66 B	c $^5D'_3$
Q	40231.372	67 B	c $^5D'_2$
R	40257.290	68 B	c $^5F'_5$
Q	40404.544	69 B	c $^5D'_1$
Q	40491.310	70 B	c $^5D'_0$
R	40594.383	71 B	c $^5F'_4$
R	40842.145	72 B	c $^5F'_3$
Y	40895.024	73 B	a $^5S'_2$
R	41018.028	74 B	c $^5F'_2$
R	41130.648	75 B	c $^5F'_1$
X'	42532.76	76 B	c $^5P'_3$
X''	42784.35	77 B	b $^5G'_6$
X'	42859.82	78 B	c $^5P'_2$
X''	42911.91	79 B	b $^5G'_5$
	42991.67	80 B	
X''	43023.02	81 B	b $^5G'_4$
X'	43079.05	82 B	c $^5P'_1$
	43109.	83 B	
X''	43137.54	84 B	b $^5G'_3$
X''	43210.01	85 B	b $^5G'_2$
S	43499.546	86 B	d $^5D'_4$
	43600.38	87 B	
S	43922.716	88 B	d $^5D'_3$
	44022.49	89 B	
	44166.26	90 B	
S	44183.674	91 B	d $^5D'_2$
	44243.64	92 B	
	44285.52	45 R	
	44290.02	93 B	
S	44411.12	94 B	d $^5D'_1$
	44415.01	95 B	
S	44458.88	96 B	d $^5D'_0$
	44511.888 ±	55 R	
	45551.26	97 B	
	44664.12	51 R	
	44760.66	98 B	

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
	45024.02	99 B	
	45220.67	100 B	c ³ D' ₃
	45281.86	101 B	c ³ D' ₂
k	45294.85	102 B	b ³ G' ₅
k	45428.44	103 B	b ³ G' ₄
	45551.79	104 B	c ³ D' ₁
k	45563.00	105 B	b ³ G' ₃
t	45608.31	106 B	c ⁵ G' ₆
t	45726.04	107 B	c ⁵ G' ₅
t	45833.13	108 B	c ⁵ G' ₄
t	45913.50	109 B	c ⁵ G' ₃
t	45964.84	110 B	c ⁵ G' ₂
a	46137.10	111 B	d ⁵ P' ₃
a	46313.60	112 B	d ⁵ P' ₂
a	46410.42	113 B	d ⁵ P' ₁
	46600.86	114 B	
	46646.26	115 B	
	46690.	116 B	
ax ₄	46720.84	117 B	
m	46727.10	118 B	b ³ P' ₂
bx ₃	46745.01	119 B	
	46768.55	120 B	
cx ₂	46888.53	121 B	
dx ₄	46889.12	122 B	c ³ F' ₄
m	46901.80	123 B	b ³ P' ₁
u'	46982.36	124 B	a ³ H' ₆
u'	47008.41	125 B	a ³ H' ₅
o	47017.19	126 B	d ³ D' ₃
ex ₃	47092.71	127 B	c ³ F' ₃
u'	47106.53	128 B	a ³ H' ₄
	47115.13	129 B	
o	47136.08	130 B	d ³ D' ₂
m	47171.54	131 B	b ³ P' ₀
fx ₁ ?	47177.24	132 B	
gx ₂	47197.03	133 B	c ³ F' ₂
	47272.02	134 B	
	47419.69	135 B	d ³ D' ₁
	47452.72	136 B	
j	47555.53	137 B	a ³ S' ₁
	47693.30	138 B	
	47812.18	139 B	
	47818.18	140 B	
	47834.60	141 B	
	47930.03	142 B	
u''	47966.53	143 B	e ⁵ P' ₃
	47976.60	44 R	
u''	48163.42	144 B	e ⁵ P' ₂
	48231.26	43 R	
	48238.87	145 B	
u''	48289.78	146 B	e ⁵ P' ₁
	48304.58	147 B	
	48361.92	42 R	

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
	48475.76	148 B	
	48516.16	149 B	
	48702.542	40 R	
	49108.98	150 B	
	49135.10	151 B	
	49198.40	39 R	
	49242.66	152 B	
	49242.92	153 B	
	49297.57	36 R	
h x ₆	49434.20	154 B	
i x ₅	49460.95	155 B	
	49604.476 ±	31 R	
	49627.92	156 B	
	49710.64	30 R	
j x ₄	49727.04	157 B	
k x ₃	49850.65	158 B	
	50186.973	56 R	
	50586.97	159 B	
	50719.94	160 B	
	51068.72	161 B	
	52512.44	57 R	
	53328.84	162 B	
	53983.28	163 B	
	54237.38	164 B	
	54301.31	165 B	
	55907.21	166 B	

GRUPO C

Simbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
X	42815.849	1 C	α^7D_5
X	43163.324	2 C	α^7D_4
X	43434.632	3 C	α^7D_3
X	43633.532	4 C	α^7D_2
X	43763.976	5 C	α^7D_1
T	44677.008	6 C	α^5D_4
T	45061.329	7 C	α^5D_3
T	45333.874	8 C	α^5D_2
T	45509.152	9 C	α^5D_1
T	45595.077	10 C	α^5D_0
U	47005.498	11 C	α^5F_5
U	47377.955	12 C	α^5F_3
U	47755.526	13 C	α^5F_3
f	47960.89	14 C	α^3F_4
U	48036.658	15 C	α^5F_2
U	48221.317	16 C	α^5F_1
f	48531.82	17 C	α^3F_3
f	48928.33	18 C	α^3F_2
a y ₆	50342.20	19 C	
b y ₅	50377.94	20 C	
c y _{5.4}	50423.12	21 C	
d y ₅	50475.27	22 C	
	50522.89	23 C	
e y ₃	50534.26	24 C	
	50539.29?	25 C	
	50611.36	26 C	
f y _{3.2}	50638.75	27 C	
	50651.74?	28 C	
	50657.28	30 W	
	50698.58	29 C	
g y ₅	50703.72	30 C	
h y ₅	50802.68	31 C	
	50808.03	32 C	
i y ₄	50833.45	33 C	
j y ₃	50861.37	34 C	
	50861.80	35 C	
	50880.06	36 C	
k y ₂	50884.31	37 C	
	50967.86	38 C	
	50979.46	39 C	
	50980.97	40 C	
l y ₂	50998.64	41 C	
m y ₁	51048.05	42 C	
n y ₂	51070.77	43 C	
o y ₁	51091.70	44 C	
	51103.21	45 C	
p y ₃	51148.86	46 C	
	51148.95	17 W	
q y _{4.3}	51192.32	47 C	
r y ₂	51208.05	48 C	
	51218.96	49 C	

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
	51228.52	50 C	
q	51294.19	51 C	α^3D_3
$s y_{3,2}$	51329.11	52 C	
	51331.08	53 C	
$t y_3$	51334.93	54 C	
T'	51350.491	55 C	β^5D_4
	51370.10	56 C	
	51423.51	57 C	
	51460.572	42 W	
	51461.60	58 C	
	51539.712 \pm	41 W	
	51570.18	59 C	
	51604.00	60 C	
	21704.93	61 C	
q	51739.86	62 C	α^3D_2
	51754.53	57 W	
T'	51770.572	63 C	β^5D_3
	51837.19	64 C	
	51837.40	3 W	
	52019.70	65 C	
q	52039.85	66 C	α^3D_1
T'	52049.860	67 C	β^5D_2
T'	52214.322	68 C	β^5D_1
T'	52257.374	69 C	β^5D_0
	52620.27	70 C	
	53061.20	71 C	
	53155.15	72 C	
	53160.51	73 C	
$u y_6$	53169.23	74 C	
L'	53275.45	75 C	β^5F_5
L'	53281.70	76 C	β^5F_4
	53393.62	77 C	
$v y_5$	53414.50	78 C	
$w y_4$	53417.04	79 C	
	53545.79	80 C	
	53568.75	81 C	
$x y_3$	53617.62	82 C	
L'	53718.79	83 C	β^5F_3
p	53739.48	84 C	α^3G_3
g	53747.45	85 C	β^3D_3
$y y_4$	53769.00	86 C	
	53830.91	87 C	
	53925.26	88 C	
	53966.64	89 C	
p	54066.61	90 C	α^3G_4
g	54066.80	91 C	β^3D_2
	54087.713	51 W	
$z y_3$	54161.19	92 C	
L'	54228.52	93 C	β^5F_2
	54257.562	64 W	
$a' y_2$	54375.60	94 C	
p	54379.42	95 C	α^3G_3

Símbolo antiguo.	Valor.	Nivel número.	Designación actual.
g	54386.10	96 C	β^3D_1
	54449.35	97 C	
L'	54482.08	98 C	β^5F_1
	54555.46	99 C	
i	54683.37	100 C	γ^3D_3
	54721.39	101 C	
	54879.77	102 C	c^3P_2
i	55124.97	103 C	γ^3D_2
	55376.117		c^3P_1
i	5537.878	104 C	γ^3D_1

5. *Agrupación de los niveles en términos.*—En la tabla de niveles se advierte que los primeros del grupo *A* están formando los conjuntos bien separados uno de otro, de cinco niveles cada uno. Los valores de *j* que les corresponden son los apropiados para constituir dos términos de tipos *D* y *F* de quintetes respectivamente, los cuales representaremos por a^5D y a^5F . A estos dos términos se deben la mayor parte de las líneas de absorción, clases e temperatura I y II y presión *a*. A continuación en la tabla sigue un grupo de tres niveles cuyos valores *j* son apropiados para formar un término *F* de tripletes que designaremos por a^3F . Este término origina un grupo de líneas intensas en la región violeta, que aunque son absorbidas en el espectro de chispa bajo el agua, lo hacen con menor intensidad que las que proceden de a^5D y a^5F . En el arco da lugar este término a muchas líneas *R*, de clases II, III y presión *a* y *b*.

Siguen en la tabla después tres niveles cuyos valores *j* indican que pertenecen a un término 5P o 3D . El estudio de las intensidades de las líneas a que dan lugar demuestra que debe ser un término de quintetes y no de tripletes. Debe ser, pues, a^5P . Las líneas a que da lugar no son ya fácilmente reversibles, de clases I, III y IV y grupos *a* y *b*.

Una vez fijados estos cuatro términos del grupo *A* de niveles, podremos fijar con ellos los del grupo *B*. Para lograr esto nos fijaremos en la intensidad de las líneas de los multipletes a que dan lugar y también usaremos el criterio de proporcionalidad de las separaciones entre los diferentes niveles de un término con sus valores *j* (Reglas de Landé).

El estudio detenido de los efectos Zeeman de las líneas que forman los multipletes originados por esos cuatro términos con los niveles del grupo *B*, ayudó, como demostró Laporte, muy especialmente en este espectro del hierro a la agrupación de los niveles *B* en términos. Desde el nivel 76 *B* en adelante la agrupación ofrece dificultades excepcionales porque fallan tanto las reglas de intensidad como la de la proporcionalidad de las separaciones. También fallan para estos niveles las reglas de las separaciones de las componentes Zeeman; indudablemente muchos de estos términos tienen valores anormales del factor *g* de Zeeman. En el grupo *C* de niveles también tenemos dos grupos de cinco niveles cada uno. Por sus valores de *j* y la intensidad de sus combinaciones, no cabe duda de que se trata de un término de septetes α^7D y otro de quintetes α^5D . Siguen a estos dos términos ocho niveles, cinco de quintetes y tres de tripletes; aunque mezclados se separan fácilmente en dos términos α^5F y α^3F .

Después de los dos últimos términos queda un espacio grande sin ningún otro hasta 50342.20 en que comienzan un conjunto de niveles aún no bien agrupados en términos, pero que por formar combinaciones muy intensas con los tres términos del grupo *B*: α^7F' , α^7D' y α^7F' y combinaciones más débiles con α^5F' , α^5D' y α^5F' , se ve claramente que pertenecen al sistema de septetes. Un poco más adelante comienzan a mezclarse con los niveles de septetes los de quintetes y aún más adelante los de tripletes, se mezclan con los de quintetes. Ligeramente espaciados de éstos se encuentran un conjunto de niveles de quintetes que se mezclan después con tripletes. Muchos de ellos han sido ya clasificados en términos como puede verse en la tabla, pero para otros muchos no ha podido determinarse todavía a qué clase de término pertenecen. Todos estos términos del grupo *C* originan líneas de clases IV y V, fuertemente difusas. Son de grupos de presión α y para los últimos términos de grupo *C*.

Con objeto de poder asegurarse de la clasificación de niveles en términos; hemos reunido en una tabla todos los valores de efecto Zeeman de las líneas del espectro del hierro observadas por Babcock (1), y los comparamos con los valores que se calculan por medio de la fórmula de Landé.

(1) Manuscrito antes citados.

Los valores de Babcock han sido calculados por nosotros en fracciones de la separación normal, para que puedan ser comparados con los valores que dá la fórmula de Landé. Todas las combinaciones de un mismo tipo de términos, por ejemplo $D-F$, sea D mayor que F , o al contrario, sea cualquiera el grupo a que pertenezcan los términos, se reúnen en la tabla bajo el mismo epígrafe, puesto que todas estas combinaciones han de presentar el mismo efecto Zeemann.

En muchos casos las componentes Zeeman no aparecen completamente resueltas, bien sea por las distancias tan pequeñas que separan unas de otras o por que tratándose de líneas débiles solamente las componentes más intensas se hacen visibles. La experiencia ha demostrado, cómo Russell ha probado en el caso del espectro del titanio, que la medida de la mezcla o blenda corresponde con la posición del centro de gravedad de la masa no resuelta, y viene a estar a un cuarto de la distancia que hay de la componente más fuerte a la más débil, del lado de la más fuerte. Para facilitar la comparación en todos los casos de blendas, hemos incluido en nuestras tablas los valores de las blendas calculados por esa regla. Puede verse que en general concuerdan bien las blendas calculadas con las observadas, pero que en las líneas débiles o en la próximas al límite de resolución, como ha indicado Russell, la blenda observada está más próxima a la componente más fuerte que lo que indica la regla anteriormente expuesta.

En las tablas de efecto Zeeman hemos marcado, con un asterisco las líneas que están dos veces o más clasificadas o que se sospecha que son dobles.

En la mayor parte de las líneas concuerdan muy bien los valores observados con los calculados. Algunas líneas muestran efectos francamente discordantes; la mayor parte deben ser líneas dobles. Algunas pocas líneas muestran efectos bastante buenos, pero con pequeñas desviaciones; son debidas a que los valores del factor g de alguno de sus términos difiere algo de los valores calculados por la teoría de Landé.

EFECTO ZEEMAN DEL HIERRO

I.—TRIPLETES

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^3S_1 - {}^3P_0$	4079.8	(0)	1.900	(0)	2.00		
	4245.2	(0)	1.893				
${}^3S_1 - {}^3P_1$	4062.4	(0.400)	1.478	(0.50)	1.50		
			1.918		2.00		
${}^3S_1 - {}^3P_2$	4044.6	(0)	1.107	(0.00)	1.00	(0 ω)	1.25 ω
	4207.1	(?)	1.173	(0.50)	1.50		
					2.00		
${}^3P_1 - {}^3P_0$	6663.4	(0)	1.492	(0)	1.50		
${}^3P_1 - {}^3P_2$	3678.8	(0)	1.413	(0)	1.50		
	4154.5	(0)	1.446				
${}^3P_2 - {}^3P_2$	6254.2	(0)	1.423				
	6421.3	(0)	1.450	(0)	1.50		
${}^3P_0 - {}^3D_1$	3918.3	(0)	0.550	(0)	0.50		
	4443.1	(0)	0.563				
${}^3P_1 - {}^3D_1$	5717.8	(?)	0.642				
	6270.2	(?)	0.403				
${}^3P_1 - {}^3D_1$	4422.5	(0.916)	0.567	(1.00)	0.50		
	5655.5	(?)	1.510		1.50		
			1.082				
${}^3P_1 - {}^3D_2$	*4132.9	(0)	1.023 c?	(0.00)	0.83	(0 ω)	1.00 ω
	4476.02	(0)	0.987	(0.33)	1.17		
		(0.269)			1.50		
${}^3P_1 - {}^3D_2$	*5227.1	(0)	0.993				
	5753.1	(?)	1.122				
${}^3P_2 - {}^3D_1$	5987.0	(?)	0.917				
	6355.0	(?)	0.784				
${}^3P_2 - {}^3D_1$	4066.9	(0.670)	?	(0)	0.50	(0)	2.00 ω
				(1.00)	1.50		
					2.50		
${}^3P_2 - {}^3D_2$	4114.4	(0.550)	1.182	(0.33)	0.83	(0.59 ω)	1.33 ω
	4454.3	(0.594)	1.550	(0.67)	1.17		
${}^3P_2 - {}^3D_3$	4924.7	(?)	1.318		1.50		
	3724.3	(0)	1.510		1.83		
${}^3P_2 - {}^3D_3$	4134.6	(0)	1.206	(0)	1.00	(0 ω)	1.17 ω
	5049.8	(0)	1.156	.....	1.17		
${}^3D_1 - {}^3D_1$	5984.8	(0)	1.105	0.33	....	
	4973.1	(0)	1.256		1.67		
${}^3D_1 - {}^3D_2$	*6102.1	(?)	0.541	(0)	0.50		
	2540.9	(?)	0.877				
${}^3D_1 - {}^3D_2$	4717.5	(0)	1.522	(0)	0.50	(0)	1.50 ω
		(?)	1.500	0.67	1.17		
					1.83		
${}^3D_2 - {}^3D_2$	4985.2	(?)	1.120	(0)	1.17		
	6078.4	(0)	0.908				
	6496.4	(?)	0.973				

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^3D_2 - {}^3D_3$	2545.9	(0)	1.530	(0)	1.00	(0 ω)	1.50 ω
	6290.9	(?)	1.545	..... (0.33)	1.16 1.67		
${}^3D_3 - {}^3D_3$	*5763.0	(0)	1.202	(0)	1.33		
	6055.9	(?)	0.690				
	6419.9	(0)	1.298				
	3068.1	(0)	0.704	(0)	0.50	(0 ω)	0.75 ω
	3841.0	(0)	0.736	(0.17)	0.67		
${}^3D_1 - {}^3F_2$	4078.3	(0)	0.720		0.83		
	5022.2	(?)	0.618				
	5270.3	(0)	0.776				
	5567.4	(0)	0.667				
	5883.8	(0)	0.682				
	6545.2	(0)	0.807		0.17	(0.88 ω)	0.92 ω
	3888.5	(0.512) (1.008)	0.189 0.676	(0.50) (1.00)	0.67 1.17		
${}^3D_2 - {}^3F_2$			1.172		1.67		
			1.700				
	4123.7	(?)	1.057				
	5341.0	(0.512) (0.992)	0.667				
${}^3D_2 - {}^3F_3$			1.151				
			1.686				
	3055.2	(0)	0.938	(0)	0.92	(0)	1.00 ω
	3806.6	(0)	1.042	(0.08)	1.00		
	3827.8	(0)	1.00	(1.17)	.....	
	3997.3	(0)	1.072		1.25		
	4095.9	(0)	0.916				
	5014.9	(0)	0.990				
	*5227.1	(0)	0.993				
	5565.7	(0)	1.094				
	5914.1	(0)	1.093				
	5934.6	(0)	0.947				
	3966.0	(0)	0	(0)	0		
${}^3D_3 - {}^3F_2$		(0.665) (1.312)	0.648 1.342	(0.667) (1.333)	0.667 1.333		
			1.972		2.000		
			2.590		2.667		
	*5446.9	corresponde a la combinación ${}^5D_2 - {}^5F_2$					
3902.9	4 comp?	8 comp?	(0.25)	0.58	(0.62 ω)	1.21 ω	
${}^3D_3 - {}^3F_3$	4369.7?	(0)	1.027	0.50	.....	
	5328.5	(?)	1.354	0.75	1.08		
	5705.9	0	1.192		1.33		
${}^3D_4 - {}^3F_4$					.....	
					1.83		
	3007.1	(?)	1.015	(0.00)	1.00	(0)	1.12 ω
	3815.8	(0)	0.486	(0.08)	1.08		
	5001.8	(0)	1.052	.....	.....
	5167.4	(0)	1.135	(0.25)	1.50		
5554.8	(?)	1.168					
5701.5	(0)	1.084					

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^3D_4 - {}^3F_4$	5859.6	(0)	1.225				
	6008.5	(0)	1.162				
${}^3F_2 - {}^3F_2$	4071.7	(0)	0.665	(0)	0.67		
	5216.2	(0)	0.661				
	6065.4	(0)	0.670				
	4005.2	(0)	0.239	(0)	0.25	(0 ω)	1.50 ω
		(0.424)	0.667	(0.42)	0.67		
		(0.853)	1.077	(0.83)	1.08		
${}^3F_2 - {}^3F_3$			1.490		1.50		
			1.932		1.92		
	4132.0	(0)	0.269				
		(0.444)	0.666				
		(0.896)	1.080				
			1.532				
${}^3F_3 - {}^3F_3$			1.975				
	5107.6	(0)	1.675				
	5307.3	(0)	1.722				
	4063.6	(0)	1.062	(0)	1.08		
	5194.9	(0)	1.078				
	5976.8	(?)	0.783				
	6137.7	(0)	1.046				
	3969.2	(?)	1.562	(0)	0.75	(0 ω)	1.50 ω
			(0.17)	.....		
			.....	1.58			
			(0.50)	1.75			
${}^3F_3 - {}^3F_4$	4143.8	(0)	1.487				
	*4239.8	(0)	1.188				
	5041.7	(0)	1.482				
	5332.9	(?)	0				
			1.525				
	6188.0	(?)	1.510				
	6322.6	(0)	1.552				
	4045.8	(0)	1.250	(0)	1.25		
${}^3F_4 - {}^3F_4$	5171.6	(0)	1.245				
	6003.0	(0)	1.235				
	6024.0	(0)	1.065				
	6230.7	(0)	1.192				
	4325.7	(0)	0.928	(0)	0.58	(0 ω)	0.83 ω
${}^3F_2 - {}^3G_3$	5930.1	(0)	1.000	(0.08)	.....	
				(0.17)	0.83		
					0.92		
${}^3F_3 - {}^3G_3$	4250.7	(0.273)	0.213	(0.33)	0.08		
		(0.614)	0.491	(0.67)	0.42		
		(0.920)	0.807	(1 00)	0.75		
			1.080		1.08		
			1.432		1.42		
${}^3F_3 - {}^3G_4$			1.688		1.75		
	4307.9	(0)	1.152	(0)	0.95	(0)	1.00
	6592.9	(0)	0.982	.....	0.98		
				(0.10)	.....	
					1.15		

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^3F_4 - {}^3G_3$	4147.6	(0.448)		(0)	- 0.25		
		(0.897)		(0.50)	+ 0.25		
		(1.348)	2.62	(1.00)	....	
				(1.50)	2.75		
				(0.20)	0.45	(0.65 ω)	1.15 ω
${}^3F_4 - {}^3G_4$	4202.0	(0.529)	1.197	(0.20)	0.45	(0.65 ω)	1.15 ω
					
				(0.80)	1.05		
					1.25		
						
${}^3F_4 - {}^3G_5$	$\left\{ \begin{array}{l} 3000.4 \\ 4271.7 \\ 5862.3 \end{array} \right.$	(0)	1.102	(0)	1.00	(0)	1.10
		(0)	1.278	....	1.05		
		(0)	1.228	0.20	....	
${}^3G_3 - {}^3G_3$	$\left\{ \begin{array}{l} 4710.2 \\ 5462.9 \end{array} \right.$	(0)	0.750	(0)	0.75		
		(?)	0.802				
${}^3G_3 - {}^3G_4$	*4239.8	(0)	1.188	(0)	0.15	(0 ω)	1.50 ω
					
				(0.90)	1.65		
${}^3G_4 - {}^3G_4$	$\left\{ \begin{array}{l} 4691.4 \\ 5463.2 \end{array} \right.$	(?)	1.050	(0)	1.05		
		(0)	1.138				
		(?)	1.402	0	0.60	(0 ω)	1.50 ω
${}^3G_4 - {}^3G_5$	*4721.0			....	....
				(0.60)	1.65		
					1.80		
${}^3G_5 - {}^3G_5$	$\left\{ \begin{array}{l} 4239.8 \\ 4647.4 \\ *5445.0 \end{array} \right.$	(0)	1.188	(0)	1.20		
		(?)	1.190				
		(0)	1.234				
${}^3G_3 - {}^3H_4$	$\left\{ \begin{array}{l} 4021.8 \\ 6136.6 \end{array} \right.$	(0)	1.182	(0)	0.65	(0)	0.87
		(0)	0.823	....	....
${}^3G_4 - {}^3H_4$	3981.7	(0.632)	0.917	0.25	....	(0.75 ω)	0.92 ω
				....	0.80		
				1.00	1.05		
${}^3G_4 - {}^3H_5$	6191.5	(0)	0.844	(0)	0.97	(0)	1.00
				....	0.98		
				0.07	....	
${}^3G_5 - {}^3H_4$	3937.3	(0)	1.484	(0)	0.00	(0 ω)	?
					
				1.60	2.40		
${}^3G_5 - {}^3H_5$	$\left\{ \begin{array}{l} 4367.5 \\ 6344.1 \end{array} \right.$	(0)	1.092	0.17	....	(0.66 ω)	1.11 ω
		C	C	....	1.03		
				0.83	1.20		
${}^3G_5 - {}^3H_6$	$\left\{ \begin{array}{l} 3859.2 \\ 3956.6 \\ 4309.3 \\ 6252.5 \end{array} \right.$	(0)	1.088	(0)	1.00	(0.0)	1.08
		(0)	1.194	....	1.03		
		(0)	1.242 ?	0.17	....	
		(0)	0.876		1.33		

2.—TRIPLETES-QUINTETES

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
$^3P_0 - ^5P_1$	3418.5	(0)	2.480	(0)	2.50		
$^3P_1 - ^5P_1$	3417.8	(1.076)	1.413	(1.00)	1.50		
	3450.3	(0.897)	1.610		2.50		
			2.450				
$^3P_2 - ^5P_2$	3947.5	(0.490)	1.600	(0.33) (0.67)	1.17 1.50 1.83 2.17	(0.57 ω)	1.67 ω
$^3P_0 - ^5D_1$	2969.3	(0)	1.535	(0)	1.50		
$^3P_1 - ^5D_2$	4834.5	(?)	1.430	(0)	1.50		
$^3P_2 - ^5D_1$	3024.0	(0)	1.489	(0)	1.50		
	3007.2	(0)	1.480	(0)	1.50		
	4574.7	(0)	1.462				
$^3P_2 - ^5D_2$	4683.5	(0)	1.459				
	5522.4	(?)	1.975				
	2981.4	(0)	1.535	(0)	1.50		
$^3P_2 - ^5D_3$	4741.5	(?)	1.442				
	4542.7	(?)	1.071	(0) (1.33)	— 0.17 + 1.17 2.50	(0)	?
$^5P_2 - ^3D_2$	3399.3	(0.567)	0.598	(0.66)	0.51	(1.16 ω)	1.50 ω
		(1.208)	1.175	(1.33)	1.17		
			1.827		1.83		
			2.430		2.49		
$^5P_2 - ^3D_3$	3413.1	(0)	0.379	(0)	0.34	(0 ω)	0.84 ω
		(0.472)	0.867	(0.50)	0.83		
		(0.978)		(1.00)	....	
$^5P_3 - ^3D_2$	3379.0	(0)	?	(0)	0.66	(0 ω)	2.17 ω
		(0.461)		(0.50)	....	
		(0.915)		(1.00)	2.16		
					2.67		
$^5P_3 - ^3D_3$	3392.6	(0.908)	?	(0.34)	....	(0.83 ω)	1.50 ω
				(0.67)	1.33		
				(1.00)	1.67		
						
$^3P_0 - ^5F_1$	3786.6	(0)	0	(0)	0		
$^3P_1 - ^5F_1$	3814.5	(1.472)	0	(1.50)	0		
			1.503		1.50		
$^3P_1 - ^5F_2$	3790.0	(0)	0.499	(0)	0.50		
		(0.488)	0.995	(0.50)	1.00		
			1.473		1.50		
$^3P_2 - ^5F_2$	3850.8	(0.488)	0.490	(0.50)	0.50		
		(1.000)	1.008	(1.00)	1.00		
			1.525		1.50		
			2.001		2.00		
$^3P_2 - ^5F_3$	3812.9	3 comp?	6 comp?	3 comp.	5 comp.		
$^5P_2 - ^3F_3$	4064.4	(0)	0.652	(0)	— 0.42	(0)	?
				.....	+ 0.33		
				(1.50)	.....	2.58	

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>
$^3D_1 - ^5D_0$	2629.6	(0)	0.983	(0)	0.50		
	4933.3	(?)	1.108				
$^3D_1 - ^5D_1$	4930.3	(0)	0.960	(1.00)	0.50		
$^3D_2 - ^5D_2$	4909.3	(?)	2.350	(0.33)	....	(0.59 ω)	1.34 ω
				(0.67)	1.17		
					1.50		
$^3D_3 - ^5D_3$	3234.6	(0.458)	?	0.17	....	(0.43 ω)	1.41 ω
				....	1.33		
				0.51	1.50		
$^3D_3 - ^5F_3$	5148.2	(?)	1.231	0.08	....	(0.21 ω)	1.29 ω
				0.17	1.25		
				0.25	1.33		
$^3D_3 - ^5F_4$	3761.0	(0)	?	(0)	1.30	(0)	1.37
					
				(0.607)	1.392	....	....
$^5D_1 - ^3F_2$	4174.9	(0)	1.315	(0.05)	1.38		
				....	1.40		
				(?)		
$^5D_2 - ^3F_3$	6226.7	(0.243)	1.620	(0)	-0.17	(0 ω)	?
				....	0.67		
				(?)	0.516		
$^5D_3 - ^3F_3$	3199.5	(?)	0.516	0.83	0.67		
				....	1.50		
				(?)	1.030		
$^5D_3 - ^3F_4$	4978.6	(?)	0.610	(0)	0.25	(0 ω)	0.67 ω
				....	0.67		
				....	0.83		
$^5D_3 - ^3F_3$	2742.0	(?)	0.610	....	1.92		
					
				(1.186)	1.167	(0.42)	....	(1.04 $\omega$)	1.29 $\omega$
$^5D_3 - ^3F_4$	4772.8	(?)	1.316	....	1.08		
				....	1.50		
				(1.25)	....	
$^5D_4 - ^3F_4$	*4294.1	(0.503)	1.190	(0)	0.50	(0 ω)	0.87 ω
				....	0.75		
				(?)	0.857	....	....
$^3F_2 - ^5F_2$	4581.5	(?)	0.857	(0.75)	....	
				....	2.00		
					
$^3F_3 - ^5F_2$	3171.3	(0)	1.275	(0.25)	....	(0.81 ω)	1.38 ω
				....	1.25		
				(0.874)	?	....	....
$^3F_3 - ^5F_3$	3193.2	(?)	1.045	(0.75)	1.50		
					
				(?)	1.260	(1.00)
$^3F_3 - ^5F_3$	4733.5	(?)	1.260	(0.08)	....	(0.15)	1.04
				....	1.00		
				(?)	1.025	(0.17)	1.08
$^3F_3 - ^5F_2$	4632.9	(?)	1.025	....	....
					
				(?)	1.392	(0)	0.33	(0 $\omega$)	1.34 $\omega$
$^3F_3 - ^5F_3$	4547.0	(?)	1.392	(0.33)	....	
				....	1.33		
				(0.67)	1.67		
$^3F_3 - ^5F_3$	4592.6	(?)	1.145	(0.17)	....	(0.42 ω)	1.16 ω
				....	1.08		
				(0.34)	1.25		
				(0.51)	....	

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^3F_3 - {}^5F_4$	4654.5?	(?)	1.670	(0)	0.55	(0 ω)	1.65 ω
					
				(0.80)	1.88		
					2.15		
${}^3F_4 - {}^5F_3$	3452.2	(0)	1.245	(0)	1.25		
${}^3F_4 - {}^5F_4$	*4177.5	(0.333)	1.287	(0.10)	.....	(0.30 ω)	1.30 ω
				.....	1.25		
				(0.40)	1.35		
${}^3F_4 - {}^5F_5$	{ 4100.7	(?)	1.772	(0)	0.80	(0 ω)	1.70 ω
	{ 4602.9	(?)	1.726	.....	.....
				(0.60)	1.85		
					2.00		
${}^3F_2 - {}^5G_3$	4415.1	(0)	1.215	(0)	0.41	(0 ω)	1.17 ω
					
				(0.50)	1.16		
					1.42		
${}^3F_3 - {}^5G_3$	4337.0	(0.534)	0.982	(0.16)	.....	(0.42 ω)	1.00 ω
				(0.34)	0.92		
				(0.50)	1.08		
${}^3F_3 - {}^5G_4$	4404.7	(0)	1.142	(0)	0.95	(0 ω)	1.21 ω
					
				(0.20)	1.28		
					1.30		
${}^3F_4 - {}^5G_3$	*6678.0	(0)	1.073	(0)	0.25	(0.25 ω)	1.75 ω
					
				(1.00)	1.92		
					2.25		
${}^3F_4 - {}^5G_4$	*4294.1	(0.503)	1.190	(0.10)	.....	(0.33 ω)	1.20 ω
				.....	1.15		
				(0.40)	1.25		
${}^3F_4 - {}^5G_5$	4383.5	(0)	1.185	(0)	1.20	(0 ω)	1.30 ω
					
				(0.07)	1.32		
					1.33		
${}^5F_2 - {}^3G_3$	3558.5	(0.358)	0.484	(0)	0.25	(0 ω)	0.50 ω
				.....	0.50		
				(0.50)	.....	
					1.25		
${}^5F_3 - {}^3G_4$	3565.3	(0.409)	0.916	(0)	0.45	(0 ω)	0.75 ω
				.....	0.65		
				(0.60)	.....	
					1.65		
${}^5F_4 - {}^3G_3$	3483.0	(0.650)	?	(0)	-0.45	(0 ω)	?
				.....	+0.15		
				(1.80)	.....	
					2.55		
					3.15		

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>
$^5F_4 - ^3G_4$	3521.3	(0.874)	0.966	0.30 1.20	..... 1.05 1.35	(0.98 ω)	1.20 ω
$^5F_4 - ^3G_5$	{ 3570.1 5074.6	(0.322) (?)	1.105 1.047	(0) 0.60	0.60 0.75	(0 ω)	0.90 ω
$^5F_5 - ^3G_5$	3513.8	(0.627)	1.322	(0.20) (0.80) (1.00)	..... 1.20 1.40	(0.80 ω)	1.30 ω
$^5G_3 - ^3H_4$	6318.0	(0)	0.672	(0) (0.35)	0.45 0.57	(0 ω)	0.63 ω
$^5G_4 - ^3H_5$	6393.6	(0)	0.840	(0) (0.48)	0.55 0.67	(0 ω)	0.79 ω
$^5G_5 - ^3H_5$	6593.8	(?)	0.963	(0.24) (1.18)	..... 1.03 1.27	(0.71 ω)	1.10 ω
$^5G_5 - ^3H_6$	{ *4250.1 6494.9	5 comp? (0)	10 comp? 1.008	6 comp. (0) (0.50)	11 comp. 0.67 0.77 1.67	(0 ω)	1.30 ω

3.—QUINTETES

$^5S_2 - ^5P_1$	4352.7	(0) (0.512)	1.442 2.005	(0) (0.50)	1.50 2.00 2.50		
$^5S_2 - ^5P_2$	4315.0	(0.336)	1.922	(0.16) (0.33)	1.67 1.83 2.00 2.17	(0.29 ω)	1.91 ω
$^5S_2 - ^5P_3$	4282.4	(0) (0.303) (0.648)	1.042 1.372 1.710 2.003	(0) (0.33) (0.67)	1.00 1.33 1.67 2.00		
$^5P_1 - ^5P_1$	{ 3292.5 4485.6 5131.4 3306.3 3485.3	(0.282) (?) (0) (0) (0)	? 2.512 2.432 1.003 ?	(0)	2.33 2.50		
$^5P_1 - ^5P_2$	{ 4009.7	(0) (0.627) (0.687)	1.182 1.847 2.502	(0.67)	1.17 1.83 2.50	(0 ω)	1.50 ω

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^5P_2 - {}^5P_2$	3977.7	(0)	1.810	(0)	1.83		
	*5142.5	(?)	1.176				
	5145.1	(?)	1.890				
	3265.6	(0)	1.585	(0)	1.33	(0 ω)	1.50 ω
	3305.9	(0)	1.475	.....	1.50		
${}^5P_2 - {}^5P_3$	3949.9	(0)	1.442	(0.33)	.....	
	4728.5	(0)	1.462		2.00		
	5098.7	(0)	1.472				
	5250.6	(0)	1.470				
	3286.7	(0)	1.657	(0)	1.67		
${}^5P_3 - {}^5P_3$	3497.1	(0)	1.812				
	4001.6	(0)	1.670				
	4638.0	(0)	1.660				
	5202.3	(0)	1.660				
	2744.0	(0)	2.59	(0)	2.50		
${}^5P_1 - {}^5D_0$	3476.7	(0)	2.50				
	4430.6	(0)	2.50				
	6173.3	(0)	2.42				
	6302.5	(0)	2.50				
	3465.8	(0.980)	1.515	(1.00)	1.50		
${}^5P_1 - {}^5D_1$			2.510		2.50		
	3774.8	(1.202)	1.262				
			2.508				
	4447.7	(1.002)	1.478				
			2.500				
${}^5P_1 - {}^5D_2$	6213.4	(?)	2.032				
			2.262				
	6336.8	(0.973)	1.395				
			2.368				
	3443.8	(0)	0.496	(0)	0.50		
${}^5P_1 - {}^5D_2$		(0.984)	1.494	(1.00)	1.50		
			2.468		2.50		
	3807.5	(0)	0.588				
		(0.960)	1.550				
			2.480				
${}^5P_2 - {}^5D_1$	6297.8	(?)	0.520				
			1.328				
	6408.0	(0)	0.490				
		(0.952)	0.996				
			2.337				
${}^5P_2 - {}^5D_1$	2756.3?	(?)	2.122	(0)	1.50	(0 ω)	2.00 ω
	3497.8	(0)	1.847	(0.33)	1.83		
		(0.365)	2.130		2.16		
	6232.6	(?)	1.888				
	3475.4	(0.341)	1.200	(0.33)	1.17	(0.59 ω)	1.67 ω
${}^5P_2 - {}^5D_2$		(0.674)	1.490	(0.67)	1.50		
			1.895		1.83		
			2.208		2.16		
	*4427.3	(0)	1.486				
	4442.3	(0.386)	1.686				
${}^5P_2 - {}^5D_2$		(0.653)					
	6219.2	compleja					
	6301.5	(0.634)	1.640				

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
$^5P_2 - ^5D_3$	3440.9	(0)	1.450	(0)	0.83	(0 ω)	1.17 ω
	4494.5	(0.281)	0.878	.....	.....
		(0.572)		(0.67)	2.16		
	6335.3	compleja					
$^5P_3 - ^5D_2$	6411.6	(0?)	0.938				
	3526.0	(0)	1.865	(0)	1.33	(0 ω)	1.83 ω
	3753.6	(0)	1.800	.....	.....
	6141.7	(?)	1.718	(0.33)	1.83		
$^5P_3 - ^5D_3$					2.00		
	2373.6	(0.576)	1.481	(0.17)	1.17	(0.42 ω)	1.58 ω
	2750.1	(0.495)	1.725	.....	.....
	3490.5	(0.457)	1.588	(0.50)	1.50		
	4459.1	(0.443)	1.588		1.67		
	6246.3	(0.437)	1.496		.....	
	6265.1	(?)	1.485		2.00		
2719.4	(?)	0.717	(0)	1.00	(0 ω)	1.25 ω	
$^5P_3 - ^5D_4$			1.810	.....	1.17		
	3440.6	(0)	1.348	0.50	.....	
	3852.5	compleja			2.00		
	4484.2	(?)	1.195				
	4528.6	(0)	1.225				
$^5P_2 - ^5F_2$	6400.0	compleja					
	6430.8	(0)	1.090				
	3426.9	(?)	0.354	0.83	0.17		
			0.694	1.66	1.00		
$^5P_2 - ^5F_3$			1.043		1.83		
					2.67		
	3396.9	(0.584)	?	(0)	0.09	(0 ω)	0.60 ω
$^5P_3 - ^5F_4$		(1.134)		.....	0.67		
				(1.16)	.....	
	2843.6	compleja		(0)	0.40	(0 ω)	0.87 ω
$^5D_0 - ^5D_1$				.....	0.72		
				(0.95)	.....	
					2.30		
	2535.6	(0)	1.502	(0)	1.50		
	3008.1	(0)	1.500				
	3025.8	(0)	1.510				
	3895.6	(0)	1.500				
	3920.2	(0)	1.492				
*5229.8	(0)	1.505					
$^5D_1 - ^5D_1$	5480.8	(0)	0				
			1.413				
	*5525.5	(?)	1.245				
	3017.6	(0)	1.480	(0)	1.50		
	3906.4	(0)	1.500				
5253.4	(0)	1.454					

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^5D_1 - {}^5D_2$	2518.1	(0)	1.528	(0)	1.50		
	2540.9	(0)	1.522				
	3000.9	(0)	1.515				
	3037.3	(0)	1.492				
	3878.5	(0)	1.490				
	3927.9	(0)	1.488				
	5215.1	(0)	1.515				
	5302.3	(0)	1.500				
	5543.9	(?)	1.043				
	2529.1	(?)	1.446	(0)	1.50		
${}^5D_2 - {}^5D_2$	3020.4	(?)	1.487				
	3899.7	(0)	1.475				
	5263.3	(0)	1.500				
	2510.8	(0)	1.519	(0)	1.50		
	2545.9	(0)	1.530				
	2994.4	(0)	1.572				
	3047.6	(0)	1.500				
${}^5D_2 - {}^5D_3$	3856.3	(0)	1.492				
	3930.3	(0)	1.478				
	5208.6	(0)	1.508				
	5339.9	(0)	1.492				
	5391.4	(?)	1.448				
	5563.6	(0)	1.470				
	3021.0	(0)	1.495	(0)	1.50		
	3886.2	(0)	1.500				
${}^5D_3 - {}^5D_3$	5283.6	(0)	1.485				
	5473.9	(0)	1.475				
	2983.5	(0)	1.580	(0)	1.50		
	3059.0	(0)	1.508				
	3824.4	(0)	1.508				
${}^5D_3 - {}^5D_4$	3922.9	(0)	1.480				
	5217.4	(0)	1.506				
	5353.3	(0)	1.500				
	5393.1	(0)	1.496				
	2522.8	(0)	1.187	(0)	1.50		
	3020.6	(0)	1.632				
${}^5D_4 - {}^5D_4$	3859.9	(0)	1.505				
	5324.1	(0)	1.500				
	*5476.5	(0)	1.520				
	2489.7	(0)	1.358	(0)	0		
${}^5D_0 - {}^5F_1$	3091.5	(0)	0				
	3849.9	(0)	0				
	5434.5	(0)	0				
	5576.1	(0)	0				

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>
${}^5D_1 - {}^5F_1$	2484.1?	(0)	1.305	(1.50)	0		
	2957.3	(1.518)	0		1.50		
			1.521				
	3733.3	(1.473)	0				
			1.500				
	3865.5	(1.483)	0				
			1.500				
	4598.1	(?)	0				
			1.342				
	5455.6	(1.500)	0				
			1.510				
	5602.9	(1.530)	1.492				
	2744.5	(?)	0.820	(0)	0.50	(0 ω)	0.75 ω
	3083.7	(0)	0.474	(0.50)	1.00		
	(0.563)	0.977		1.50			
3748.2	(0)	0.500					
	(0.528)	1.000					
		1.480					
${}^5D_1 - {}^5F_2$	3840.4	(0)	0.492				
		(0.517)	0.997				
			1.482				
	4637.5	(?)	0.546				
	5405.7	(0)	0.487				
		(0.490)	0.994				
			1.492				
	5569.6	(0)	0.487				
		(0.444)	1.000				
			1.420				
${}^5D_2 - {}^5F_1$	2941.3	(?)	0	(0)	(0)		
			1.472	(1.50)	1.50		
			2.980		3.00		
	3116.6	(0)	1.467				
			2.927				
	5497.5	(0)	0				
		(1.488)	1.493				
			2.997				
	2761.7	(0.525)	0.558	(0.50)	0.50	(0.87 ω)	1.25 ω
			1.690	(1.00)	1.00		
${}^5D_2 - {}^5F_2$	3100.3	(0.472)	0.460		1.50		
		(1.050)	0.977		2.00		
			1.453				
	3722.5	(0.478)	0.498				
		(0.994)	0.996				
			1.498				
			1.996				
	3872.5	(0.494)	0.520				
		(1.000)	1.006				
			1.486				
		1.976					
*5446.9	(0.507)	0.494					
	(1.002)	0.994					
		1.486					
		1.986					
5624.5	(0.878)	1.240					

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^5D_2 - {}^5F_3$	2490.6	(0)	1.152	(0)	0.75	(0 ω)	1.00 ω
	3075.7	(0)	0.947	(0.25)	1.00		
				(0.50)	.....	
	3745.5	3 comp?	6 comp?		1.75		
	3834.2	compleja		3 comp.	5 comp.		
	4668.1	(?)	1.212				
	5371.4	5 comp?	10 comp?				
	5572.8	(0)	0.874				
	2929.0	(?)	2.258	(0)	1.00	(0 ω)	2.13 ω
				(0.50)	1.50		
			(1.00)	2.00			
				2.50			
${}^5D_3 - {}^5F_2$	**3125.6	(0)	1.278				
			2.508				
	3683.0	(0)	0.990				
		(0.488)	1.482				
		(1.002)	1.990				
			2.509				
	3917.1	(0)	(?)				
		(0.470)					
		(0.932)					
	*5446.9	corresponde a la combinación ${}^5D_2 - {}^5F_2$					
5506.7	(0)	1.512					
	(0.487)	1.988					
	(0.998)	2.482					
3100.6	(0.670)	1.368	0.25	0.75	(0.62 ω)	1.37 ω	
			0.50	.....		
			0.75	1.25			
				1.50			
						
				2.00			
${}^5D_3 - {}^5F_3$	3705.5	(0.444)	1.365				
		(0.709)					
	3878.0	(0.702)	1.353				
	4625.0	(?)	1.362				
	5429.7	(0.750)	1.345				
	5658.8	(0.666)	1.312				
	(1.907)						
2488.1	(?)	1.480	(0)	0.90	(0 ω)	1.12 ω	
2735.4	(0)	1.150	.....	1.05			
3067.2	(0)	1.100	(0.45)	.....		
				1.80			
${}^5D_3 - {}^5F_4$	3825.8	3 comp?	6 comp?	4 comp.	7 comp.		
	4707.2	(?)	0.957				
	*5328.0	(0)	1.043				
			1.425				
	*5586.7	(0)	1.073				
5638.2	(0)	1.052					
${}^5D_4 - {}^5F_3$	2447.1	(0)	1.025	(0)	0.75	(0 ω)	1.88 ω
	2912.1	(0)	2.000	(0.25)	.....	
	3134.1	(0)	2.001	.....	2.00		
	5501.4	(?)	2.100	0.75	2.25		

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^5D_4 - {}^5F_4$	2767.5	(?)	1.060	(0.15)	0.90	0.49 ω	1.42 ω
	2936.9	(0.520)	1.448	....	....
	3099.9	(?)	1.335	(0.45)	1.35		
			1.845	(0.60)	1.50		
	3679.9	4 comp?	8 comp?		....	
	3887.0	(0.517)	(?)		1.95		
	4952.6	(?)	1.042	4 comp.	8 comp.		
	5397.1	(0.528)	1.694				
	5709.3	(0.542)	1.425				
	2733.5	(0)	1.218	(0)	1.00	0 ω	1.20 ω
	2966.9	(1.282)	0.857	(0.10)	1.10		
			1.628	....	....
			(0.40)	1.80			
			5 comp.	9 comp.			
${}^5D_4 - {}^5F_5$	3057.4	(0)	1.218				
	3719.4	(0.412)	1.260				
	3820.4	3 comp?	6 comp.				
	4084.5	(0)	1.192				
	4736.7	(?)	1.175				
	5269.5	(0)	1.217				
	5615.6	(?)	1.153				
	2840.4	(?)	1.315	0.58	....	1.45 ω	1.31 ω
			1.17	0.92			
			1.75	1.50			
					
			(0)	0			
${}^5F_1 - {}^5F_1$	3761.1	(0)	0	(0)	0		
	4863.6	(0)	0				
	5123.7	(0)	0				
	3016.2	(?)	0	(0)	0	(0 ω)	1.50 ω
			1.001	(1.00)	1.00		
			1.948		2.00		
	*3042.0	(0)	0.535				
		(1.008)	1.492		3 comp?		
	3743.3	(0)	0				
		(0.990)	0.998				
			2.000				
	3787.8	(0)	0				
	(0.928)	0.992					
		1.975					
${}^5F_1 - {}^5F_2$	4158.8	(0)	0				
		(1.026)	0.985				
			1.981				
	4217.5	(0)	0				
		(0.862)	0.854				
			1.794				
	4907.7	(?)	0				
			2.212				
	5079.7	(?)	0				
			0.917				
		1.962					
5159.9		5 comp?					

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^5F_2 - {}^5F_2$	3026.4	(0)	0.988	(0)	1.00		
	3763.7	(0)	0.984				
	4882.1	(?)	0.982				
	5107.4	(?)	1.003				
	3042.6	(0)	1.162	(0)	0.75	(0 ω)	1.50 ω
	3727.6	(0)	1.700	0.25	...		
${}^5F_2 - {}^5F_3$		(0.414)		0.50	1.50		
	3795.0		compleja		1.75		
	4843.1	(?)	1.628				
	4950.1	(?)	1.478				
	5041.0	(0)	1.560				
	5150.8	(0)	1.622				
${}^5F_3 - {}^5F_3$	3018.9	(0)	1.246	(0)	1.25		
	3758.2	(0)	1.235				
	4910.0	(?)	1.250				
	5083.3	(?)	1.244				
	2987.2	(0)	1.472	(0)	1.05	(0 ω)	1.50 ω
${}^5F_3 - {}^5F_4$	3041.7	(0)	1.555	0.10	...		
	3709.2	(0)	1.495	.....	1.55		
	4855.6	(?)	1.532	0.30	1.65		
	4994.1	(?)	1.535				
	5142.9	(?)	0				
${}^5F_4 - {}^5F_4$			1.486				
	3009.5	(0)	1.352	(0)	1.35		
	3749.4	(0)	1.334				
	4946.4	(?)	1.341				
	5051.6	(?)	1.325				
	2969.4	(0)	1.462	(0)	1.20	(0 ω)	1.50 ω
${}^5F_4 - {}^5F_5$	3040.4	(0)	1.496	(0.05)	..		
	3687.4	(0)	1.500	.....	1.55		
	3798.5	(0)	1.487	(0.20)	1.60		
	4875.8	(?)	1.520				
	4939.6	(?)	1.388				
	5039.2	(0)	1.478				
${}^5F_5 - {}^5F_5$	5127.3	(0)	1.502				
	2999.5	(0)	1.382	(0)	1.40		
	3734.8	(0)	1.388				
	4966.1	(?)	1.392				
	5012.0	(0)	1.400				
${}^5F_1 - {}^5G_2$	2851.7	(?)	0.557	(0)	0	(0 ω)	1.50 ω
	3608.8	(?)	0	(0.33)	0.33		
			0.332		0.67		
			0.695				
	5367.4	(0)	0.935				
${}^5F_2 - {}^5G_2$	2838.1	(?)	0.327	(0.67)	— 0.33		
			0.967	(1.33)	0.33		
					1.00		
					1.67		
${}^5F_2 - {}^5G_2$	3586.9	(0.643)	0.331				
		(1.332)	0.995				
			1.642				
			2.230				

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>
${}^5F_2 - {}^5G_3$	2843.9	(0)	0.790	(0)	0.75	(0)	0.83 ω
	3618.7	(0)	0.813	(0.08)	0.83		
	5369.9	(0)	1.041	(0.17)	....	
${}^5F_3 - {}^5G_2$	3554.1	(0)	?	(0)	0.58		
		(0.844)		(0.92)	....	
				(1.83)	2.17		
${}^5F_3 - {}^5G_3$	2823.2	(?)	0.952	(0.33)	....	(0.83 ω)	1.08 ω
				(0.67)	0.92		
				(1.00)	1.25		
						
${}^5F_3 - {}^5G_4$	3585.3	(0.722)	0.514				
		(1.132)	0.872				
			1.243				
			1.590				
${}^5F_3 - {}^5G_4$	2832.4	(?)	0.528	(0)	0.85	(0)	1.01 ω
		3 comp?	6 comp?	(0.10)	0.95		
		(0)	1.113		....	
${}^5F_4 - {}^5G_4$	5415.2				1.45		
		(?)	1.193	(0.20)	....	(0.65 ω)	1.25 ω
		(0.994)	?	....	1.15		
		(?)	1.388	(0.60)	1.35		
${}^5F_4 - {}^5G_5$	5546.5			(0)	0.93	(0 ω)	1.10 ω
			0.823	....	1.02		
		3 comp?	6 comp?	....	....
		(0)	1.120	(0.33)	1.60		
${}^5F_5 - {}^5G_5$	2813.2	(?)	0.823	(0)	0.93	(0 ω)	1.10 ω
		3 comp?	6 comp?	....	1.02		
		(0)	1.120	(0.33)	....	
${}^5F_5 - {}^5G_5$	3647.8				1.60		
		(?)	1.227	(0.13)	....	
		(0.810)	?	....	1.27	(0.53 ω)	1.33 ω
				(0.53)	1.40		
${}^5F_5 - {}^5G_6$	3589.1			(0.67)	....	
		(0)	1.140	(0)	1.00	(0 ω)	1.17 ω
		(0)	1.227	(0.07)	1.07		
		(0)	1.102	....	....
${}^5F_5 - {}^5G_6$	5424.0	(0)	1.144	(0.33)	1.67		
						
						
						
4.—QUINTETES-SEPTETES							
${}^5P_3 - {}^7D_4$	3219.8	(0)	1.575	(0)	1.60	(0)	1.62 ω
				(0.02)	1.62		
${}^7P_4 - {}^5D_4$	4768.4	(?)	0.670	(0.05)	1.70		
				0.25	....	(0.75 ω)	1.62 ω
				....	1.50		
				0.75	1.75		
${}^5D_3 - {}^7D_3$	5168.9	(0?)	1.142	1.00	....	
				0.25	....	(0.63 ω)	1.62 ω
				....	1.50		
				0.75	1.75		

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
$^5D_1 - ^7F_0$	** 4466.5	(0)	1.218	(0)	1.50		
$^5D_2 - ^7F_1$	4435.1	(?)	1.462	(0)	1.50		
$^5D_2 - ^7F_3$	4461.6	(0)	1.507	(0)	1.50		
$^5D_3 - ^7F_4$	*4427.3	(0)	1.488	(0)	1.50		
$^5D_4 - ^7F_3$	*4325.7	(0)	0.928	(0)	1.50		
$^5D_4 - ^7F_5$	4375.9	(0)	1.502	(0)	1.50		
$^5F_4 - ^7G_5$	4154.8	(0)	1.425	(0)	1.30	(0)	1.39 ω
				(0.02)	.....	
				(0.03)	1.40		
				.....	1.43		
				(0.05)	.....	
$^5F_5 - ^7G_6$	4149.3	(0)	1.437	(0)	1.38	(0)	1.42 ω
				(0.005)	.....	
				(0.01)	1.42		
				.....	1.43		
				(0.02)	.....	
5.—SEPTETES							
$^7P_2 - ^7D_1$	5191.4	(0)	1.672	(0)	1.57		
		(0.650)	2.318	(0.67)	2.33		
			2.918		3.00		
$^7P_2 - ^7D_2$	5226.8	(?)	2.042	(0.33)	.....	(0.59 ω)	2.16 ω
				(0.67)	2.00		
					2.33		
					
$^7P_2 - ^7D_3$	5281.8	(0)	0.546	(0)	0.58		
		(0.580)	1.170	(0.58)	1.17		
		(1.146)	1.723	(1.17)	1.75		
		(1.800)	.....	.....	.....
$^7P_3 - ^7D_2$	5139.2	(?)	1.942	(0)	1.74	(0 ω)	2.00 ω
				(0.08)	1.84		
				(0.17)	.....	
					2.08		
$^7P_3 - ^7D_3$	5192.3	(0.447)	1.840	(0.17)	.....	(0.41 ω)	1.83 ω
				(0.33)	1.75		
				(0.49)	1.92		
					
$^7P_3 - ^7D_4$	5266.5	(0?)	1.002	(0)	0.86	(0 ω)	1.06 ω
				(0.27)	1.12		
					
$^7P_4 - ^7D_3$	5068.7	(0)	1.735	(0)	1.75		
$^7P_4 - ^7D_4$	4216.1	(0.887)	1.672	0.10	.....	(0.30 ω)	1.70 ω
	5139.4	(?)	1.618	.....	1.65		
				0.30	1.75		
				0.40	.....	
$^7P_4 - ^7D_5$	5232.9	(0?)	1.180	(0)	1.00	(0 ω)	1.30 ω
				(0.15)	1.15		
					
$^7D_1 - ^7D_1$	4210.3	(0)	1.487	(0.60)	2.20		
				(0)	3.00		
			3.100				

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>	<i>p</i>	<i>n</i>
${}^7D_1 - {}^7D_2$	4191.4	(0)	0.996	(0)	1.00		
	4233.6	(1.000)	2.005	(1.00)	2.00		
			2.978		3.00		
${}^7D_2 - {}^7D_3$	4187.0	(0)	1.006				
	*4250.1	(1.008)	2.003				
			2.998				
		(0?)	1.338	(0)	1.25	(0 ω)	1.50 ω
		compleja.		.....	1.50		
				(0.50)	.....	
					2.25		
${}^7D_3 - {}^7D_3$	4222.2	(0)	1.760	(0)	1.75		
${}^7D_3 - {}^7D_4$	4187.8	(0)	1.472	(0)	1.35	(0 ω)	1.50 ω
	4271.1	(0)	1.435	.....	1.45		
				(0.30)	.....	
					1.95		
${}^7D_4 - {}^7D_4$	4235.9	(0)	1.677	(0)	1.65		
${}^7D_4 - {}^7D_5$	4198.3	(0)	1.508	(0)	1.40	(0 ω)	1.50 ω
	4299.2	(0)	1.508	(0.05)	1.45		
					
				(0.20)	1.80		
${}^7D_5 - {}^7D_5$	4260.4	(0)	1.625	(0)	1.60		
${}^7D_1 - {}^7F_0$	4878.0	(0)	2.990	(0)	3.00		
${}^7D_1 - {}^7F_1$	4872.1	(1.508)	0.738	(1.50)	1.50		
			1.422		3.00		
${}^7D_1 - {}^7F_2$	4859.7	(?)	0	(0)	0		
			1.452	(1.50)	1.50		
			2.950		3.00		
${}^7D_2 - {}^7F_1$	4903.3	(?)	2.290	(0)	1.50	(0 ω)	2.37 ω
				(0.50)	2.00		
					2.50		
${}^7D_2 - {}^7F_2$	4890.7	(?)	1.666	(0.50)	.....	(0.88 ω)	1.75 ω
				(1.00)	1.50		
					2.00		
${}^7D_3 - {}^7F_2$	4938.8	(?)	2.032	(0)	1.25	(0 ω)	2.00 ω
				(0.25)	.....	
				(0.50)	2.00		
					2.25		
${}^7D_3 - {}^7F_3$	4919.0	(0.687)	1.636	(0.25)	.....	(0.63 ω)	1.62 ω
				(0.50)	1.50		
				(0.75)	1.75		
${}^7D_3 - {}^7F_4$	4891.5	(?)	1.300	(0)	0.75	(0 ω)	1.07 ω
				.....	1.00		
				(0.75)	.....	
					2.25		
${}^7D_4 - {}^7F_3$	*4985.5	(0)	0	(0)	1.20	(0 ω)	1.87 ω
			1.988	.....	.....
				(0.45)	1.95		
					2.10		

Combinación.	λ	Observado.		Teórico.		Blenda.	
		p	n	p	n	p	n
${}^7D_4 - {}^7F_5$	3244.1	(0)	1.232	(0)	0.90	(0 ω)	1.20 ω
	4920.5	(0)	1.162	..... (0.90)	1.05 2.10		
${}^7D_5 - {}^7F_5$	3222.0	(0.354)	1.538	(0.10)	.....	(0.40 ω)	1.55 ω
	5006.1	(0.487)	1.560	..... (0.40) (0.50)	1.50 1.60		
${}^7D_5 - {}^7F_6$	3225.7	(0)	1.160	(0)	1.00	(0 ω)	1.25 ω
	4957.6	(0)	1.175	(0.10)	1.10		
${}^7D_4 - {}^7G_5$	3157.0	(0.460)	0.514	..... (0.50)	2.00	(0 ω)	0.80 ω
				(0)	0.23		
${}^7F_6 - {}^7F_6$	3610.1	(0)	1.464	..... (0)	1.50	(0 ω)	1.00 ω
				${}^7F_3 - {}^7G_4$	3542.0			(0)	1.044	(0)	0.70
${}^7F_4 - {}^7G_4$	3527.7	(0.473)	1.271	..... (0.60)	0.90	(0.65 ω)	1.40 ω
				(0)	1.090			(0)	0.83
${}^7F_5 - {}^7G_6$	3554.9	(0)	1.152	..... (0.55)	1.90	(0 ω)	1.12 ω
				(0)	1.044			(0)	0.93
				..... (0.10)	1.02		
				..... (0.48)	1.68		

7. *Relaciones entre los términos y las configuraciones electrónicas.*—Para relacionar ahora los términos hallados con la estructura atómica, se hace preciso agrupar los términos que deben corresponder a cada configuración electrónica. Debemos advertir que, así como en la busca de niveles el irlos agrupando en términos facilitaba el encuentro de nuevos niveles, aquí la agrupación de los términos en configuraciones, según se van obteniendo, facilita también el encuentro de nuevos términos. El camino que en la práctica se suele recorrer consiste en clasificar primeramente los términos que se encuentren en el primer análisis determinando así las configuraciones presentes, y después, con los datos que éstas

nos suministrarán, proseguir la búsqueda de los términos esperados en cada configuración.

En el hierro son esperadas dos configuraciones como más probables; la primera procedente de $3d^6 4s$ y la segunda de $3d^7$.

Los términos que se esperan más importantes de esas configuraciones se han reunido en la adjunta tabla. Así, los términos que hemos obtenido, podrán confrontarse con éstos y se verá si efectivamente las configuraciones supuestas en el hierro son las que forman el espectro. En la primera columna de la tabla damos el grupo A , B o C a que pertenecen los términos. En la segunda las configuraciones electrónicas. En la tercera los límites del espectro de chispa a que corresponden los términos del hierro neutro que están en la cuarta columna. En la quinta columna figuran los términos observados.

El término fundamental del hierro, de acuerdo con Laporte, es indudablemente el a^5D . Lo demuestra su posición en el Esquema de Niveles, y también el que origina las líneas más fuertemente absorbidas a baja temperatura. Este término es el 5D esperado como fundamental teóricamente. Los otros dos términos a^5F y a^3F que siguen en orden de magnitud a a^5D son los esperados con límite a^4F de chispa. El siguiente término a^5P es, sin duda, el derivado de a^4P ; su compañero 3P debemos buscarlo unas 5000 unidades más allá; debe ser, pues, b^3P y no a^3P . El conjunto de términos a^3H , a^3G , b^3F y a^3P deben pertenecer a la configuración $3d^6 4s$ por su situación en el Esquema de Niveles, pero no es seguro; el b^3G , que está un poco más bajo que ellos, es posible que pertenezca a la $3d^7$, pero hasta que no se encuentren los términos compañeros que faltan para poder comparar las intensidades de los multipletes a que dan lugar, con los que dan los términos a^3H , a^3G , b^3F y a^3P no podrá decidirse este punto con seguridad.

Del grupo B de términos es fácil ver por la intensidad de los multipletes que origina (véase la tablas general de multipletes) que las dos primeras triadas FDP de septetes y quintetes pertenecen a la configuración $3d^6 4s$, y las otras dos que siguen de quintetes y tripletes son también de la misma configuración. Las dos triadas GFD que existen, una de quintetes y otra de tripletes, por las intensidades de los multipletes a que dan lugar y por los valores

8.—TÉRMINOS DEL FeI.

Grupo	Configuración electrónica.	Límite FeII.	Términos teóricos.	Términos observados.
A	3d ⁶ 4s ²	a ⁶ D ⁺ a ⁴ D ⁺ 4H ⁺ 2H ⁺ 4G ⁺ 2G ⁺ 4F ⁺ 2F ⁺ 4D ⁺ 2D ⁺ 4P ⁺ 2P ⁺	5D 3H 3G 3F 3D 3P	a ⁵ D a ³ H? a ³ G? a ³ F? ... a ³ P?
	4s 3d ⁷ 4s	a ⁴ F ⁺ a ⁴ P ⁺ 2H ⁺ 2G ⁺ 2F ⁺ 2D ⁺ 2P ⁺ 2D ⁺	5F 3F 5P 3P 3H 1H 3G 1G 3F 1F 3D 1D 3P 1P 3D 1D	a ⁵ F ; a ³ F a ⁵ P ; b ³ P ... ; ... b ³ G? ; ; ; ; ; ...
B	3d ⁶ 4s 4p	a ⁶ D ⁺ a ⁴ D ⁺ 4H ⁺ 4G ⁺ 4F ⁺ 4D ⁺ 4P ⁺	7F' 7D' 7P' ; 5F' 5D' 5P' 5F' 5D' 5P' ; 3F' 3D' 3P' 5I' 5H' 5G' ; 3I' 3H' 3G' 5H' 5G' 5F' ; 3H' 3G' 3F' 5G' 5F' 5D' ; 3G' 3F' 3D' 5F' 5D' 5P' ; 3F' 3D' 3P' 5D' 5P' 5S' ; 3D' 3P' 3S'	a ⁷ F' a ⁷ D' a ⁷ P' ; a ⁵ F' a ⁵ D' a ⁵ F c ⁵ F' c ⁵ D' b ⁵ P' ; b ³ F' b ³ D' a ³ F
	4p 3d ⁷ 4p	4F ⁺ 4P ⁺ 4H ⁺ 4G ⁺ 4F ⁺ 4D ⁺ 4P ⁺ 4D ⁺	5G' 5F' 5D' ; 3G' 3F' 3D' 5D' 5P' 5S' ; 3D' 3P' 3S' 5I' 5H' 5G' ; 3I' 3H' 3G' 5H' 5G' 5F' ; 3H' 3G' 3F' 5G' 5F' 5D' ; 3G' 3F' 3D' 5F' 5D' 5P' ; 3F' 3D' 3P' 5D' 5P' 5S' ; 3D' 3P' 3S' 5F' 5D' 5P' ; 3F' 3D' 3P'	a ⁵ G' b ⁵ F' b ⁵ D' ; a ³ G' a ³ F' a ³ D d ⁵ D' c ⁵ P' a ⁵ S' ; d ³ D' b ³ P' a ³ S
C	5s 3d ⁶ 4s 5s	a ⁶ D ⁺ a ⁴ D ⁺	7D ; 5D 5D ; 3D	α ⁷ D ; α ⁵ D β ⁵ D ; α ³ D
	3d ⁷ 5s	a ⁴ F ⁺ a ⁴ P ⁺	5F ; 3F 5P ; 3P	α ⁵ F α ³ F Niveles encontrados pero aún no agrupados en términos.
5d	3d ⁶ 4s 4d	a ⁶ D ⁺ a ⁴ D ⁺	7G 7F 7D 7P 7S 5G 5F 5D 5P 5S 5G 5F 5D 5P 5S 3G 3F 3D 3P 3S	La mayor parte de los niveles encontrados entre 50342 y 52000 aún no definitivamente agrupados en términos.
	3d ⁷ 4d	a ⁴ F ⁺ a ⁴ P ⁺	5H 5G 5F 5D 5P 3H 3G 3F 3D 3P 5F 5D 5P 3F 3D 3P	La mayor parte de los niveles encontrados entre 53000 y 55378 aún no definitivamente agrupados en términos.

de sus términos comparados con los de los demás elementos de la fila del hierro, según Russell (1), deben pertenecer a la configuración azul. Lo mismo sucede con los términos a^5S , d^5P , c^5D y los a^3S , b^3P , d^3D que son de la configuración azul. Mezclados con estos últimos existen unos cuantos términos que no es posible atribuir con seguridad a ninguna de las dos configuraciones.

En el grupo *C* de niveles aparece en cabeza un término a^7D seguido de cerca por otro α^5D ; se trata de los dos términos esperados con límite a^6D^+ . A continuación siguen dos términos α^5F y α^3F seguramente de la configuración $3d^7$ y que deben proceder de a^4F^+ de chispa. Mezclados con un gran número de niveles que siguen a continuación se encuentran dos términos β^5D y α^3D que originan multipletes intensos con las triadas $3d^64s$, por lo que deben ser los esperados 5D y 3D procedentes de $^4D^+$ de chispa. Los cuatro términos *D* de este grupo son los procedentes de $^5D^{++}$ del ión divalente FeIII, al que se han añadido dos electrones $4s$ y $5s$. Cuando estos dos electrones se añaden en el mismo subpiso $4s$, de los cuatro términos sólo queda por el principio de Pauli el término α^5D , que es el fundamental en el espectro del FeI.

Los niveles que se encuentran mezclados con los últimos términos β^5D y α^3D , son de la configuración $3d^64s$: septetes, quintetes y tripletes. Se trata indudablemente de las pentadas esperadas del electrón $4d$ en la configuración $3d^64s$. Los otros niveles que se han encontrado debajo de esos son, por la intensidad de los multipletes que producen, de la configuración $3d^7$. Se han identificado entre ellos términos de quintetes y de tripletes; son de las pentadas del electrón $4d$ en la configuración $3d^7$.

Para poder darse cuenta de la situación de los diferentes términos y de sus combinaciones, hemos dibujado un esquema (figura 2). En una escala vertical se han tomado las posiciones medias de cada conjunto de términos que proceden del mismo electrón, separando las dos configuraciones del resto atómico. El esquema se ha dibujado indicando por flechas las combinaciones principales (se han omitido las intercombinaciones entre las dos configuraciones). Por este esquema nos damos cuenta de la relación que

(1) *Astroph. J.*, **66**, 1, 1927; y **66**, 233, 1927.

existe entre dos espectros, uno sencillo, como podría ser el de un alcalino, y otro complejo, como el del hierro. Cada flecha de

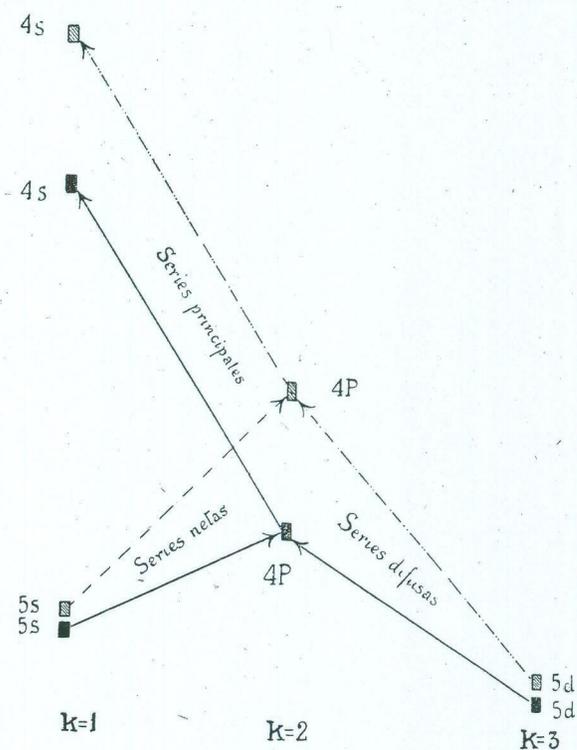


Fig. 2.

nuestro esquema que indica en el hierro varios cientos de líneas; constituiría en el alcalino una sola línea.

V.—SERIES Y POTENCIAL DE IONIZACIÓN DEL HIERRO NEUTRO

Los términos de las configuraciones $3d^6 4s^2$ y $3d^6 4s 5s$ forman dos miembros consecutivos de una serie. Lo mismo sucede con los $3d^7 4s$ y $3d^7 5s$. Como en estas series no disponemos más que de dos miembros consecutivos, podremos aplicar únicamente la fórmula aproximada de Rydberg. Con ella determinaremos los límites de las series que son como sabemos los términos

de chispa de que proceden los de arco (1). Véase el esquema que sigue.

En el cuadro que sigue a continuación, damos, debajo del encabezamiento 4 s y 5 s, los valores de los términos originados por esos electrones, y debajo del encabezamiento Rydberg, los límites calculados por esa fórmula.

Configuración.	4 s	5 s	Rydberg.	Errores por ciento.	Valores corregidos.	Límites de chispa.	Límite a^6D^+
$3d^64s$	0	44677	65523	2,9	63600	$a^6D=0$	63600
	0	51351	73587	3,3	71200	$a^4D=7955$	63200
$3d^7$	6928	47005	66808	2,7	65200	$a^4F=1872$	63300
	11976	47961	66743	2,5	65400	$a^4F=1872$	63500

Valor medio del límite $a^5D^+ = 63400$

Russell (2) ha probado que los límites aproximados que da la fórmula de Rydberg pueden ser corregidos, porque los errores son claramente función de la longitud de las series, de acuerdo con la fórmula

$$\text{error por ciento} = 4.5 \times 10^{-5} (\text{longitud de la serie}).$$

Los errores calculados por esta fórmula para esas cuatro series del hierro son 2,9 por 100, 3,3 por 100, 2,7 por 100 y 2,5 por 100, respectivamente. Restando, pues, esos tantos por cientos a los valores Rydberg encontrados, tendremos los valores corregidos.

Los límites de chispa nos son conocidos por el análisis del espectro del FeII de Russell, y figuran en la columna siete. Restando a los valores corregidos, sus límites de chispa, obtenemos cuatro valores independientes del término fundamental del espectro, que naturalmente, es el valor desde el cual se cuentan los términos de chispa; esto es, a^6D^+ . La media de esos valores es 63400.

Los valores de los términos de chispa que hemos usado como límite contados desde ese término $a^6D^+ = 63400$, se obtendrá sumando sus valores a 63400

$$\begin{aligned} a^6D^+ &= 0 + 63400 = 63400 \\ a^4D^+ &= 7955 + 63400 = 71355 \\ a^4F^+ &= 1873 + 63400 = 65272 \\ a^4P^+ &= 1347 + 63400 = 76874 \end{aligned}$$

(1) Laporte, *Proc. Nat. Acad.*, **12**, 496, 1926.

(2) *Astroph. J.* **66**, 233, 1927.

A partir de estos valores, podríamos ahora calcular los valores verdaderos de los términos del FeI, ya que los que figuran en la tabla de términos no son los verdaderos, sino los que resultan de contar los términos desde el más profundo de todos ellos tomado como cero. También podríamos calcular los denominadores Rydberg que corresponderían a esos términos del hierro I. Nótese que solamente podremos hacer este cálculo para los términos cuya configuración nos es conocida porque necesitamos saber el valor del límite o término de chispa que origina cada término. Para nuestro objeto de comparar unos términos con otros, nos bastará hacer el cálculo solamente en el nivel del mayor valor cuántico en cada término.

Para hacer ese cálculo, se resta cada término de su correspondiente límite de chispa. Por ejemplo: el término 36767, b^3P_2 restándole del valor de su límite 71355, resulta 34588 para el valor verdadero de b^3P_2 .

En dos tablas hemos reunido los valores de los términos y los de los denominadores Rydberg que les corresponden. En la primera, los de aquéllos que forman serie; en la segunda, los de los que no conocemos más que un miembro de la serie. En la columna del electrón $4d$ hemos colocado varios términos como dudosos; son niveles cuya clasificación ya está hecha, pero los términos a que pertenecen no están completados, y por ello no son definitivos.

En la tabla de la series, y en el Esquema, notaremos que el término a^5D entra dos veces a formar series con valores diferentes. Ello es debido a que por entrar en juego el principio de Pauli, como dijimos antes, de los dos electrones $4s$ resulta un sólo término, y en cambio de un $4s$ y un $5s$ se obtienen cuatro términos, dos que pertenecen al límite a^6D^+ de chispa, y otros al a^4D . Cuando ese término a^5D tiene como límite a^6D^+ , debe tener naturalmente el valor 63400, pero cuando su límite es a^4D^+ , será su valor el de este término: 71355.

Hemos calculado los defectos cuánticos, o sea las diferencias entre los números cuánticos de las órbitas y los valores de los denominadores Rydberg y los hemos reunido en una tabla. En ella los números que figuran entre paréntesis, indican el número de términos que se han empleado para hallar los valores medios. En la tabla puede verse que los defectos cuánticos son próximamente

DENOMINADORES DE LOS TÉRMINOS QUE FORMAN SERIES

LÍMITE	Electrón 4 s			Electrón 5 s		
	Término.	Valor.	Denominador.	Término.	Valor.	Denominador.
a ⁶ D ⁺ 63400	a ⁵ D	63400	1.31	α ⁷ D	20584	2.31
				α ⁵ D	19123	2.39
a ⁴ D ⁺ 71355	a ⁵ D	71355	1.24	β ⁵ D	20005	2.34
				β ³ D	17608	2.50
a ⁴ F 65272	a ⁵ F	58344	1.37	α ⁵ F	18267	2.45
	a ³ F	53296	1.43	α ³ F	17311	2.52

DENOMINADORES DE LOS OTROS TÉRMINOS

LÍMITE	Electrón 4 s			Electrón 4 p			Electrón 4 d		
	Término.	Valor.	Denominador.	Término.	Valor.	Denominador.	Término.	Valor.	Denominador.
a ⁶ D ⁺ 63400				a ⁷ F'	40750	1.65	α ⁷ G?	12748	2.93
				a ⁷ D'	44050	1.58	α ⁷ F?	13058	2.90
				a ⁷ P'	39686	1.66	β ⁷ D?	12777	2.91
				a ⁵ F'	36526	1.73			
				a ⁵ D'	37500	1.71			
				a ⁵ P'	34344	1.79			
a ⁴ D ⁺ 71355				c ⁵ F'	31098	1.87			
				c ⁵ D'	31730	1.86			
				b ⁵ P'	34588	1.78			
				a ³ F'	40048	1.65			
				a ³ D'	40033	1.65			
				a ³ P'	38609	1.68			
a ⁴ F ⁺ 65272				a ⁵ G'	30428	1.90			
				b ⁵ F'	31577	1.86			
				b ⁵ D'	32174	1.85			
				a ³ G'	29893	1.94	⁵ G?	12103	3.01
				b ³ F'	28586	1.96	⁵ F?	12297	2.99
a ⁴ P ⁺ 76874				b ³ D'	27097	2.05			
				d ⁵ D'	33375	1.81			
				c ⁵ P'	34342	1.79			
				a ⁵ S'	35979	1.75			
	a ⁵ P	59124	1.36	d ³ D'	29857	1.92			
	b ³ P	53823	1.43	b ³ P'	30147	1.91			
				a ³ S'	29319	1.93			

iguales para todos los términos producidos por un electrón de la misma clase: s , p , d .

Análogamente a lo que sucede en el titanio (1), cuyos datos se conocen con precisión, la adición de un electrón en la configuración que ya tiene un electrón s , se hace con más firmeza que cuando no lo hay, puesto que los defectos cuánticos vemos que son mayores para la primera configuración que para la segunda, en la que queda el electrón s aislado. Con esto se confirma una vez más, la regla de que un electrón queda más ligado cuando se coloca en un grupo de electrones análogos a él.

Los defectos cuánticos son mayores para el electrón $4s$ en 0,11 que para $5s$ y también análogamente a lo que sucede en el titanio, los defectos cuánticos disminuyen de $4s$ a $4p$ y $4d$. Puesto que los valores del efecto cuántico son expresión de la falta de aislamiento de la atracción que sobre el núcleo ejercen los electrones exteriores, se deduce que el aislamiento es mínimo para órbitas s y máximo para las d , de acuerdo con lo esperado teóricamente.

Como vemos, las series en el espectro del hierro son muy rudimentarias. No debe extrañarnos ya que en lugar de los pocos términos que tenemos en los espectros sencillos, uno por cada posición del electrón radiante, encontramos en el hierro un conjunto de términos por cada una de esas posiciones.

DEFECTOS CUÁNTICOS

Electrón adicionado.	Configuraciones del FeII			
	$3d^64s$		$3d^7$	
4s	2.72	(2)	2.60	(4)
5s	2.61	(4)	2.48	(2)
4p	2.32	(12)	2.12	(12)
4d	1.09	(3)	1.00	(2)

La energía ha de repartirse, pues, entre muchas posiciones relativamente próximas a la posición fundamental y los electrones de valencia no tendrán probabilidades de alejarse lo suficiente para dar origen a los términos altos de las series.

(1) Russell, *Astroph.*, **66**, 466, 1927.

El potencial principal de ionización del hierro corresponde al proceso de separación de un electrón 4 s de la configuración $3d^6 4s^2$ ya que ésta es la que da origen al término fundamental. Hemos visto por el espectro que el tránsito del electrón que se añade a la configuración $3d^6 4s$ de chispa produce un término límite ${}^6D^+ = 63400$ cms. Por consiguiente, podremos escribir:

$$3d^6 4s^2 + 63400 \text{ cms}^{-1} = 3d^6 4s + 4s$$

que indica el proceso de ionización. Expresando 63400 cms^{-1} en volts. obtendremos el valor 7,83 volts. para el potencial de ionización del FeI.

La tabla general que a continuación sigue, incluye todas las longitudes de onda del hierro que se conocen en los espectros de arco terrestres, y las que figuran en las tablas del sol atribuidas al hierro. Hemos dejado sin poner en las tablas, sin embargo, las líneas de longitud de onda inferior a 2400 \AA que no hayan sido clasificadas en multipletes, porque no sabemos si pertenecen al espectro de arco o son del espectro de chispa. Aun así, es posible que algunas de las pocas situadas en la región ultravioleta, que figuran en nuestras tablas sin clasificar, son realmente líneas de chispa. También han sido suprimidas unas pocas líneas de Burns, que creemos son de impurezas.

En la segunda columna figuran: las intensidades de King en horno, a la izquierda; las intensidades en absorción de Meggers, Walters y las de Burns; y a la derecha, las intensidades en el sol. Los paréntesis en el sol, indican que la línea aparece mezclada con otra, o que se atribuye a varios elementos. Cuando tiene una interrogación delante de la intensidad, es que es dudoso, si es una línea del hierro.

En la columna tercera se incluyen los datos referentes a la clase de temperatura y de presión. En la cuarta los números de onda; en la quinta, la clasificación con los términos que producen las líneas, y en la siguiente, los números de estos términos. En las últimas columnas, los valores del efecto Zeeman de cada línea, divididos, según costumbre en dos columnas, una con las componentes paralelas, y otra con las perpendiculares al campo.