

LA DISCONTINUIDAD EN EL ESPECTRO CONTINUO

DE LOS RAYOS RÖNTGEN

POR LOS DOCTORES

FEDERICO VIERHELLER

Profesor suplente de Trabajos Prácticos en Física

Y

JOSE L. MOLINARI

Encargado de Rayos X de lo Clínica Ginecológica de la Facultad de Ciencias Médicas
de la Universidad de Buenos Aires

ABSTRACT

THE DISCONTINUITY IN THE « CONTINUOUS SPECTRA » OF X RAYS. — By studying photometries, repeated several times, the following facts are proved:

1.º — That the « continuous spectre » contains a considerable number of lines. The structure disappears at the points corresponding to the characteristic radiation and begins again after these points. From this fact is possible to suppose that the continuous spectre really exists and that the lines found respond to a cause as yet unknown.

2.º — The absence of structure in the field of the characteristic radiation shows that the lines given in the tables are originated by the radiations emerging from the anticathode.

3.º — We attribute the existence of the structure to phenomenons that take place in the fine slit of the spectrograph.

1. — Generalidades

La determinación exacta de la calidad de los rayos, se efectúa mediante mediciones de tensión frecuentemente repetidas. En este trabajo se trata sólo de la medición de la longitud de onda más corta que permite determinar la tensión máxima que reina en los electrodos del tubo, a base de la ley de Planck-Einstein: $e.V = h.v$.

En la mayoría de los casos se usan espectrógrafos de Seemann, los cuales llevan consigo una escala dividida en unidades Angström. Revelada la película, se pone de manera tal sobre la escala, de modo que las líneas de la serie K del material del anticátodo, en primer orden, queden cubiertas por las líneas correspondientes marcadas en la escala, y se observa luego el número de unidades Angstrom que corresponden al límite del ennegrecimiento. Como este límite nunca resulta muy nítido la observación no es exacta. En muchos institutos emplean por esta razón la fotometría del espectro entero hasta las líneas características de la serie K en primer orden. Una curva que muestra la relación entre los valores relativos o absolutos del ennegrecimiento y las distancias correspondientes del punto cero, permite determinar la terminación del ennegrecimiento con una exactitud menor del 1 por ciento.

Observando estos fotogramas se comprueba la existencia de una serie de irregularidades en el « espectro continuo ». Estas permiten sospechar que el espectro tiene cierta estructura o bien que está cubierto por otro, aun no conocido, lo que podría ser interpretado como una estructura en el « espectro continuo ».

En el presente trabajo nos ocupamos de enunciar previamente los hechos que resultan de los fotogramas. Primeramente haremos una reseña de la literatura existente acerca de este punto.

H. Seemann ⁽¹⁾ demostró, en el año 1914, que el espectro continuo del platino está compuesto por una gran cantidad de líneas. Mostró en una figura de su trabajo, que en la región de la radiación L de dicho elemento y también en la de los rayos más penetrantes, la existencia de cierta cantidad de líneas, las que pueden ser aumentadas según su opinión mejorando el dispositivo de experimentación. De la descripción de las fotografías resulta que fueron obtenidas con una tensión que corresponde a una chispa de 3 a 10 cm, (chispómetro en paralelo al tubo). Si se acepta la longitud mayor de 10 cms, resulta una tensión de 62 kV más o menos.

Según Siegbahn se necesitan para la excitación de la radiación característica K del tungsteno 69,3 y para la del platino 78,1 kV. Se puede aceptar seguramente que Seemann usó para la determinación de la tensión un espinterómetro a puntas, porque resulta de la fotografía de la tabla 12 del trabajo mencionado, que la radiación característica K aun no existía. Se debe aceptar con seguridad que se encuentran en el haz de rayos todas estas radiaciones características K, emitidas por las substancias que forman el vidrio de la ven-

tana de Lindemann del tubo. Seemann menciona los elementos con sus respectivos pesos atómicos. El mayor número de orden pertenece al calcio con $Z = 20$; la menor longitud de onda del calcio es, más o menos, 3 U.Å. y tiene un ángulo de reflexión en primer orden de 32° más o menos. Como la figura corresponde a ángulos de reflexión de 5° a 17° , ninguno de los elementos que contiene el vidrio de Lindemann tendrá una influencia sobre el espectro de líneas, dado por Seemann. Este autor da como causa para la existencia de la estructura dentro del espectro continuo (en el terreno de la radiación L del platino), la buena calidad del cristal usado y el diafragma finísimo de su espectrógrafo.

En contraposición con este trabajo existe una observación de E. Wagner (²), quien, por su parte, defiende la existencia del espectro continuo negando que posea, estructura. Opina que la existencia de la discontinuidad en el espectro de Seemann debe ser causada por fallas en el cristal por una parte y, por otra, al método del cristal en reposo usado por Seemann. En la réplica de Wagner, se encuentran espectros obtenidos con el método de Bragg. Estas fotografías muestran indudablemente una nitidez excelente de las líneas y el « espectro continuo » enseña un ennegrecimiento también continuo. La fotografía de las líneas con el cristal en reposo hecho por Wagner no es satisfactoria, y muestra que la calidad del cristal usado es inferior a la del cristal empleado por Seemann.

Mirando bien el espectro obtenido con el cristal giratorio, de modo que sean anulados los efectos de una mala superficie del cristal, se tiene la impresión de la existencia de débiles líneas verticales. El terreno investigado en el trabajo de Wagner corresponde también a la serie L y sus alrededores.

Seemann (³) contesta en la misma revista la observación de Wagner, y culpa del resultado obtenido al cristal empleado.

Queda en pie la cuestión si estas líneas que indicó Seemann existen en realidad, o si deben por el contrario ser atribuidas a defectos en el dispositivo de experimentación. Si existen, hay que buscar entonces una razón para su existencia, y se puede preguntar si el « espectro continuo » tiene una estructura, o si está cubierto por otro cuya existencia es todavía desconocida. En el primer caso se debe referir el espectro a fenómenos intra-atómicos entre los diferentes niveles de energía; y en el segundo queda la explicación actual del « espectro continuo », teniendo que ser buscada la causa para las nuevas líneas superpuestas a este espectro.

Definitivamente queda por investigar hasta qué grado las líneas nuevas coinciden con las líneas de series ya conocidas, y hasta qué grado corresponden a líneas permitidas por la teoría de Sommerfeld, pero no encontradas aun experimentalmente. Es decir, hay que buscar la relación entre estas líneas del « espectro continuo » y las líneas de series y de chispa de primera y de segunda clase.

Uno de nosotros (6) publicó en esta misma revista los resultados de un trabajo experimental. Aquí nos limitamos a comunicar, más adelante, algunos de los resultados obtenidos.

1. — Dispositivo de experimentación

Para las fotografías hemos usado un espectrógrafo de Seemann con un cristal bastante bueno. La figura 2, es un espectrograma obtenido teniendo el cristal en reposo; muestra claramente la nitidez de las líneas. Menos clara es la parte del « espectro continuo » que corresponde más o menos a la parte media del espectro entero. A sim-

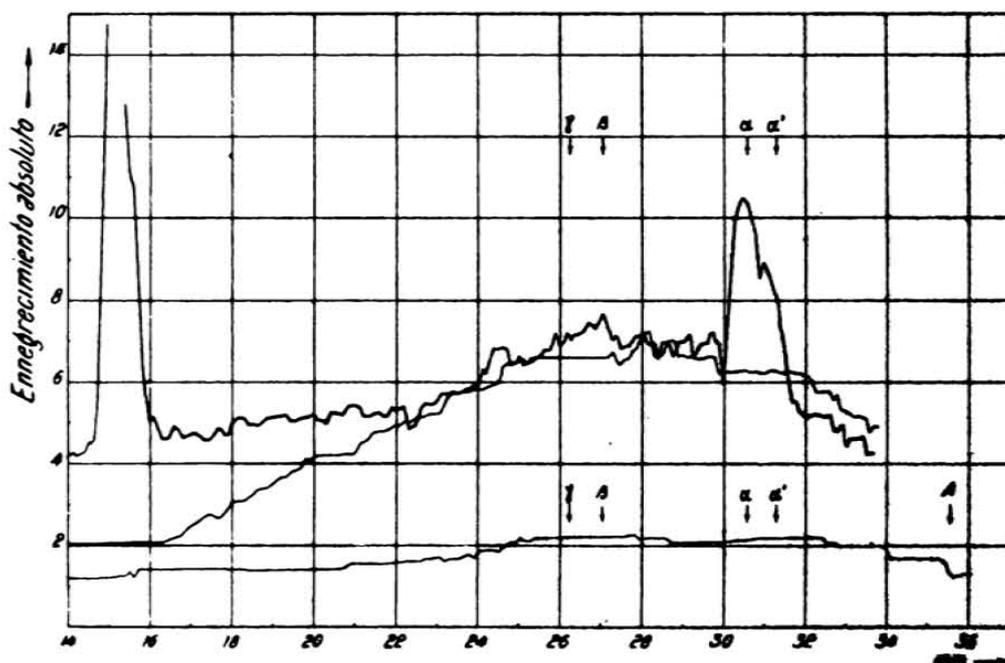


Fig. 1.

ple vista no se puede observar ninguna estructura en el espectro entero de la fig. 3, por las muy pequeñas diferencias del ennegrecimiento. Los fotogramas usados para los resultados de este trabajo, fueron sacados con el cristal giratorio.

Hemos trabajado, a propósito, en una región, en la cual no se observan las radiaciones características. El espectrógrafo empleado, que se usa en general solamente para la determinación de radiaciones de terapia, mide un terreno desde el punto cero hasta el punto de la absorción característica de la plata, más o menos. Por lo tanto, la tensión usada tenía que ser tan baja, que la radiación característica K del material del anticátodo aun no existía.

El tubo empleado era uno de diagnóstico de Müller, que fué accionado con varias tensiones y con una corriente secundaria constante de 4 m.A. con anticátodo de Wolfram y refrigerado a agua. Las tensiones necesarias fueron tomadas de un aparato a rectificador mecánico de la Standard X Ray, Chicago. La curva de tensión es sinusoidal.

Las películas con doble emulsión fueron puestas entre pantallas reforzadoras para disminuir el tiempo de exposición y no hubo ninguna disminución en la nitidez de la fotografía, como lo demostraba una comparación con radiografías obtenidas sin pantallas reforzadoras. El tiempo de exposición era en las dos fotografías, cuyo recortado del ennegrecimiento muestran las dos curvas inferiores de la figura 1, de dos horas cada una. La punta del espectrógrafo estaba a 6 cms de distancia del vidrio del tubo y a 11 cms más o menos, del foco. Las tensiones usadas eran 55, y 43,7 k.V. Estas tensiones fueron tomadas de una tabla obtenida espectrográficamente y fueron confirmadas nuevamente por las mismas fotografías, tomando como punto de referencia el borde de la absorción de la plata en la placa fotográfica. Este borde muestra una estructura bien clara. Por esta razón era necesario comparar esta parte del espectro con fotogramas obtenidos con tensiones más altas; en éstos se encuentran las líneas de las radiaciones características K del tungsteno con sus longitudes de onda ya conocidas. A base de las constantes del dispositivo de experimentación se calcula el punto donde aparece la componente α más dura en una distancia de 15,3 mm del punto cero. Sobre la determinación de este último nos referiremos en otro trabajo, que contendrá también más detalles sobre el método fotométrico. El fotograma superior de la figura 1, corresponde a una tensión de 131 k.V. La película fué irradiada 1 hora sin pantallas reforzadoras. Después de la revelación fueron medidas las películas con un fotómetro de Hartmann en unidades absolutas del ennegrecimiento. Los resultados se dan en las curvas de la figura 1.

3. — Resultados

Se ve claramente en la figura que existe una estructura en el recorrido del espectro. Hacemos notar que muchos puntos sobre los que



Fig. 2.

no había seguridad absoluta, fueron fotometrados repetidas veces. Los valores dados, representan un término-medio.

En este trabajo no publicaremos las tablas de fotometría que son muy voluminosas; pues las medidas se han hecho en décimos y en algunas partes en vigésimos de milímetro. En el trabajo ya indicado (6) se publican correspondientes tablas.

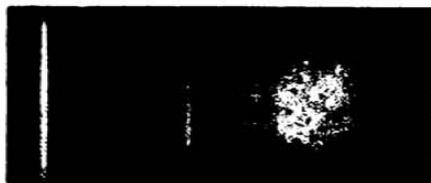


Fig. 3.

En la figura 3 reproducimos un espectro que corresponde a 90 Kv. en el tubo. Es imposible distinguir a simple vista las finas diferencias en el ennegrecimiento, perdiéndose con un aumento la nitidez y el contraste. Las irregularidades que se encuentran siempre en los mismos puntos en el curso de la curva de ennegrecimiento, son según nuestra opinión, tan convincentes, que nos hacen decir que existe verdaderamente una estructura en el « espectro continuo » o que éste espectro está cubierto por una gran cantidad de líneas de origen desconocido. Sin explicar en este trabajo el origen de esta formación de estructura, mencionamos solamente los hechos que se pueden sacar de la figura 1. Las curvas fotométricas representan la película original entre 14 y 34 mm. Estos límites corresponden a ángulos de reflexión de $1^{\circ} 56'42''$ y de $4^{\circ} 43'41''$ respectivamente, que equivalen

a 0,191 y 0,4639 U.Å. La línea α' en primer orden se encuentra en una distancia de 15,3 cms desde el punto cero y la línea α del mismo orden en 15,7 cms. Las dos líneas deben absorberse en el espectro sacado con 131 K.v. El espectro que corresponde a 55 K.v. no muestra ninguna estructura en estos puntos del primer orden, que fueron fotometrados varias veces como lo hemos expresado. En la curva inferior que corresponde a una tensión máxima de sólo 43,7 K.v., muestra en 15,5 cms un claro aumento de la intensidad que aparece también, en fotometrías repetidas. Inmediatamente detrás de esta elevación, aumenta el velo de la película y este mayor grado de ennegrecimiento se observa también en el mismo sitio de la curva mediana. Entre 16,3 y 16,4 cms de la curva mediana se observa el límite del ennegrecimiento. Desde aquí se puede comparar la curva con la superior. Esta última muestra en 16,6 cms y 17,1 cms puntos máximos de ennegrecimiento que corresponden a la misma estructura en la curva mediana, en la cual recién en 18 cms se observa nuevamente un punto máximo. Todos los puntos correspondientes de un ennegrecimiento mayor son representados más abajo en una tabla.

Inmediatamente detrás de 18 cms de la curva superior aparece un aumento pronunciado que se confirma débilmente en el velo de la curva inferior. Este punto no aparece tan claramente en la curva mediana, lo que puede ser explicado por el rápido aumento de la intensidad del « espectro continuo ». Puntos correspondientes de importancia se observan recién en 19,7 cms aunque se observa antes en las dos curvas superiores una similitud apreciable. Aquí aparece en la curva inferior un pequeño aumento del ennegrecimiento, varias veces determinado, del valor absoluto 1,38 a 1,40. También la curva mediana presenta en el mismo punto un aumento del ennegrecimiento y en la curva superior aparece un débil máximo, también en 19,7 cms. Luego no se observa nada de importancia en las dos curvas inferiores hasta 20,7 cms, donde se encuentra el límite del ennegrecimiento de la curva inferior.

Como se observan hasta aquí en el terreno del espectro continuo irregularidades en las tres curvas, éstas deben ser atribuidas a otras causas tales como las que rijen para la génesis del espectro característico o del espectro continuo según las explicaciones que se dan actualmente. Nos ocuparemos de este fenómeno más tarde y seguiremos por ahora con las tres curvas.

Recién a los 22 centímetros empieza una estructura débil en el espectro más inferior. En los mismos sitios de las otras dos curvas

se observan también puntos máximos. Damos en la tabla 1 los puntos observados hasta aquí, expresados en centímetros en su distancia del punto cero.

TABLA 1

Curva sup.	15,5	16,6	17,1	18,0	19,7	20,7	21,0	21,5	21,9	22,0	131 kV
Curva med.	—	16,6	17,0	18,0	19,7	20,7	21,0	21,5	21,9	22,0	55 kV
Curva inf.	15,5	—	—	—	19,7	20,7	—	—	—	22,0	43,7 kV

De estos sitios coincidentes se puede decir con certeza, que se encuentran en la parte del primer orden del espectro, porque aparecen en los dos espectros superiores, sacados con diferentes tensiones. Pero existen también algunos de estos puntos en el espectro más inferior fuera del espectro continuo, y por esta razón podemos aceptar que la causa de estos puntos tiene que ser diferente de la del espectro continuo. *Pensamos en fenómenos originados en el diafragma fino, sobre los cuales hablamos en otra ocasión* (7).

Siguiendo el recorrido de la curva encontramos otros máximos en 22,2, 22,7, 23,9, 23,5, 23,7 y 24 centímetros en los tres fotogramas. La tabla siguiente da estos puntos máximos hasta una distancia de 25 cms del punto cero.

TABLA 2

Curva sup.	22,2	22,7	23,0	23,5	23,7	24,0	24,6	24,8	25,0	131 kV
Curva med.	22,2	22,7	23,0	23,5	23,7	24,0	24,6	24,8	25,0	55 kV
Curva inf.	22,2	22,7	23,0	23,5	23,7	24,0	24,6	24,8	25,0	43,7 kV

Inmediatamente después de 25 cms comienza una región que está desprovista de estructura.

Midiendo los fotogramas no se sabe exactamente en que parte del espectro se efectúa la medición. La película se coloca en un punto cualquiera de la tabla microscópica móvil, de manera que el punto cero verdadero del fotograma se puede determinar recién cuando está terminada toda la fotometría. Se usan para este fin las líneas características, o en el caso que éstas no existan todavía, se usa el borde de absorción característica de la plata en la película. *Grande fué nuestra sorpresa al encontrar en el dibujo definitivo que justamente los puntos en donde debían aparecer, usando mayor tensión, las líneas características, estaban desprovistos de estructura. Este fenómeno no*

puede ser explicado por una casualidad. A base del mismo creemos en la existencia de la estructura mencionada. No existe ninguna razón para aceptar que esta estructura pueda relacionarse con fallas de la película con ciertas condiciones en el dispositivo de experimentación; porque no sería luego explicable que justamente en los puntos de las líneas características, sobre todo en segundo orden, no aparezcan estas fallas. Además nos da el resultado de estas mediciones una garantía para la exactitud de nuestras mediciones en general.

Esta falta de estructura comienza en 25,3 cms y termina en las dos curvas superiores en 27,2 cms; se extiende entonces sobre un terreno de 15,0 U X más o menos. La curva inferior muestra el terreno correspondiente hasta 27,7 cms; pero ya en 27 cms se observa un pequeño aumento del ennegrecimiento varias veces confirmado de 2,18 a 2,19. El límite de absorción K del tungsteno en segundo orden se encuentra a $2 \times 0,187$ U.Å. o sea en 26 cms. Al mínimum bien visible de 25,2 cms donde empieza la zona sin estructura corresponden $2 \times 0,1719$ U.Å.

Entre el nivel mencionado y la serie K_{α} se encuentra otro terreno que muestra una clara estructura. La tabla siguiente da estos puntos máximos en centímetros. En la figura se observa claramente la coincidencia de estas irregularidades sobre todo en las dos curvas superiores, de las cuales la más superior contiene ya las líneas características.

TABLA 3

Curva sup.	27,3	27,6	27,8	28,0	28,25	28,6	29,0	29,65	131 kV
Curva med.	27,3	27,6	27,8	28,0	28,25	28,6	29,0	29,65	55 kV
Curva inf.	—	—	27,8	—	—	28,6	—	—	43,7 kV

Luego comienza la región de la radiación K_{α} del tungsteno. En 30,9 cms se encuentra en las dos curvas superiores un punto de intensidad mínima que se puede hacer bien visible a simple vista, aumentando moderadamente la fotografía del espectro. A la izquierda y a la derecha de este punto, existe una zona con estructura bien nítida, la cual se encuentra también débilmente en la curva mediana. Las dos líneas α debían encontrarse en una distancia de 31,3 y de 30,6 cms desde el punto cero. Además de estas líneas se observan otros puntos máximos intensos que demuestran que la serie no consiste solamente en dos líneas; debemos esperar otra línea α en 31,6 cms proveniente del nivel L más interior y aparte de esta línea debemos

calcular con líneas de segundo orden (líneas de chispas) Es interesante demostrar que tampoco en la región de la radiación α existe la estructura encontrada en las otras partes del espectro continuo. Inmediatamente después de la serie α , más o menos en 32 cms comienza nuevamente la estructura. Llama la atención que en la región de la radiación α se encuentra algo de estructura en la curva mediana. ¿Debía resultar la tensión de excitación de la radiación α inferior a la indicada por Siegbahn? Si se comparan los grupos de líneas características en el fotograma superior en relación a su diferencia en el ennegrecimiento, se podría deducir, que *las dos* existen también en el espectro mediano; solamente el grupo más penetrante no aparece todavía por su intensidad muy inferior a la del grupo α , que es apenas visible. Sea como sea, uno tiene la seguridad que en los sitios del segundo orden de la radiación característica del tungsteno no existe la estructura bien definida que se encuentra en el resto del espectro continuo. Las diferencias en el ennegrecimiento en estas partes se acercan tanto a las irregularidades en la capa sensible de la placa, que la existencia de la estructura en el segundo orden de la serie K es dudosa. Creemos además poder establecer de estos fenómenos, que el espectro continuo existe verdaderamente, y que está tapado solamente por líneas de origen desconocido (6). El espectro continuo existe en su forma más pura justamente en los puntos en los cuales deben aparecer las líneas características si la tensión es suficientemente alta.

Inmediatamente después de la radiación característica comienza nuevamente la estructura, y en la tabla 4 damos la última parte del espectro observado, expresando los sitios de la intensidad máxima en centímetros

TABLA 4

Curva sup.	32,5	32,7	32,9	33,3	131 kV
Curva med.	32,5	32,7	32,9	33,3	55 kV
Curva inf.	32,5	32,7	—	—	43,7 kV

4. — Conclusiones

Por el estudio de fotometrías, varias veces repetidas, se demuestra:
 1° — Que el espectro continuo contiene una gran cantidad de líneas. La estructura desaparece en los puntos que corresponden a la radiación característica y empieza nuevamente después de estos pun-

tos. Este hecho hace presumir que el espectro continuo existe verdaderamente y que las líneas encontradas obedecen a una causa aun desconocida.

2.º — La ausencia de estructura en el campo de la radiación característica demuestra que las líneas dadas en las tablas provienen de las radiaciones que salen del anticátodo.

3.º — Atribuimos la existencia de la estructura a fenómenos que se producen en el diafragma fino del espectrógrafo. A este respecto nos referimos a una publicación anterior (7).

BIBLIOGRAFIA

- (1) H. SEEMANN, *Physikalische Zeitschrift*, 15, 1914.
- (2) E. WAGNER, *Physikalische Zeitschrift*, 16, 1916.
- (3) H. SEEMANN, *Physikalische Zeitschrift*, 16, 1915.
- (4) J. LAUB, *Physikalische Zeitschrift*, 15, 1914.
- (5) M. SIEGBAHN, *Spektroskopie der Rontgenstrahlen*, 1924, pág. 230.
- (6) F. VIERHELLER, *Contribución al Estudio de las Ciencias*, La Plata, 1931.
- (7) F. VIERHELLER y JOSÉ LUÍS MOLINARI, *Revista de Medicina Física*, 1, 1931.

Instituto de Física. La Plata. 30 de Septiembre de 1931.

FEDERICO VIERHELLER y JOSÉ L. MOLINARI

