

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMAN

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y TECNOLOGIA

INSTITUTO DE FISICA

- 1984 -

TRABAJO DE SEMINARIO

LA ESPECTROSCOPIA DEL Xe ENTRE LOS AÑOS 1898 Y 1983

REALIZADO POR

TERESITA DEL VALLE HEREDIA

*Deseo agradecer a la Lic. Leonor C. de Cudmani, y por su intermedio al Instituto de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología de UNT, el haberme brindado la oportunidad de realizar mi Trabajo de Seminario en La Plata.*

*Asimismo, a los integrantes del Centro de Investigaciones Ópticas (CIOp) – en especial a los Doctores Mario Garavaglia, Mario Gallardo y Jorge Reyna Almandos – el haber hecho posible esta oportunidad, ofreciéndome en forma desinteresada, todo el apoyo moral y material para llevar a cabo esta tarea.*

1.1. En 1898 Sir Williams Ramsay y Dr. Travers descubrieron los nuevos gases Ne , Kr y Xe . Inmediatamente después de su descubrimiento se hicieron mediciones de las líneas de sus espectros de emisión por medio de un espectrógrafo de prisma. En vista del hecho de que se estaba construyendo un aparato con red de difracción, no aparecieron inmediatamente los resultados pues el autor de esas medidas, Baly, quería que fueran de mayor precisión que las obtenidas mediante un aparato de prisma.

Desde el comienzo de estos trabajos, se publicaron tres series de estas medidas: una por Runge de algunas líneas del espectro de Kr ; dos realizadas por Liveing y Dewar de las líneas en el espectro visible, y de los constituyentes pesados del aire atmosférico, respectivamente.

Todas estas líneas se encuentran en la zona visible del espectro, y extendidas solamente a una corta distancia dentro del UV . Las mediciones de Liveing y Dewar están dadas a la unidad de Angstrom.

Las publicaciones de estas tablas de longitudes de onda enfatizaron en Baly aún más los deseos de hacer mediciones con el mayor grado de precisión posible, por el valor de las tablas en sí, más que por el propósito de un simple trabajo cualitativo.

Es difícil prorratear la precisión, pero juzgando por los valores obtenidos para algunas líneas comunes al espec-

tro, el error más probable se estima en  $\pm 0.5 \text{ \AA}^{\circ}$ .

Los especímenes de los gases usados no eran espectroscópicamente puros: el Ne contenía restos de He, mientras que el Kr y el Xe contenían restos de Ar; las líneas espectrales más importantes de esas impurezas se encontraron generalmente en las fotografías y se midieron en la zona esperada.

Este trabajo llevó largo tiempo, el factor decisivo para este hecho fue la larga exposición necesaria para obtener las líneas más débiles y las de corto tiempo de vida.

El gas se confinaba en un tubo, los cuales no resistían la larga acción continua de la descarga eléctrica, por lo que requerían un llenado frecuente.

1.2. Se trabajó con un espectrógrafo con red cóncava de Rowland, con una distancia focal de 10 pies, con 14438 líneas por pie; las medidas se hicieron en segundo y tercer orden de difracción, excepto algunas líneas en la región roja, que se midieron en primer orden de difracción.

Los espectros se fotografiaron en placas Lumiere. Para las regiones azul, verde y roja se emplearon las series extra-rápida, e isocromáticas A y B respectivamente. Se emplearon estas placas pues dan una definición extrema por su grano fino.

En todos los casos los gases se iluminaron por el pasaje de una descarga eléctrica a través de ellos, bajo la condición de presión reducida y se emplearon diversas formas de tubos de vacío, todos los cuales consistían esencialmente de un tubo capilar terminado en ventanas de cuarzo.

Los resultados más satisfactorios se obtuvieron cuando se hicieron tubos de descarga con electrodos internos, bajo la acción de una descarga eléctrica entre los electrodos en las condiciones de presión reducida.

Con esta disposición experimental, se calentaban mucho los electrodos, a tal punto que podían llegar a fundirse, aún el aluminio más fuerte. Se utilizó Al N°12 BWG. Se ideó una forma de construir los electrodos que tuviera mayor duración en esta nueva condición de trabajo. Se toma un alambre de aluminio muy fuerte, se le hace un agujerito en un extremo dentro del cual se fija un alambre de platino. Se fabrica un tubo capilar de vidrio con diámetro interno lo suficientemente grande como para contener el alambre de aluminio. El vidrio se enfundó sobre el aluminio y se cortó a una longitud conveniente y el electrodo terminado y sellado se introdujo dentro del tubo de vacío.

Debido a que los electrodos producen emanaciones de hidrógeno que enmascaran los espectros, se lava el tubo por continuas evacuaciones, y con una cantidad del gas a excitar. Esto provee un buen espectro con poca contaminación de hidrógeno.

Este es el proceso que debe llevarse a cabo cada vez que se hace cambio de gas.

Cuando se observa el espectro de estos gases, todos consisten de líneas brillantes muy bien definidas similares a las del Ar y He . El más sorprendente es el espectro del He , el cual consiste de líneas muy brillantes en las regiones naranja y roja; el color de la descarga eléctrica a través del tubo es de un hermoso color naranja.

Cuando se colocan en el circuito un Leyden-jar y un spark-gap, no se nota cambio ni en la apariencia ni en el espectro de descarga. Por otro lado, el Xe y Kr se asemejan al Ar en el sentido en que ambas poseen dos espectros, uno que se obtiene cuando pasa una descarga directa y otra cuando se coloca un Leyden-jar y un spark-gap en el circuito.

El espectro debido al Leyden-jar y spark-gap en el circuito es mucho más complejo que el primer espectro. Cuando pasa una descarga a través del Kr , y en el circuito no se usa un Leyden-jar, el espectro consiste de unas pocas líneas, de las cuales las más importantes son líneas amarillas, verdes y un grupo azul. La descarga jar y la descarga spark presentan un color celeste claro y el espectro contiene un considerable número de líneas preferentemente en el azul. La descarga simple a través del Xe no es muy brillante y es de color azulino, y está caracterizado por ciertas líneas brillantes verdes las cuales determinan el

color de la descarga.

El tiempo de exposición necesario para fotografiar el segundo espectro de Xe fue de 2 a 3 horas , las líneas del primer espectro son tan débiles que fueron necesarias exposiciones de 20 a 24 horas .

Las longitudes de onda de las líneas se calcularon interpolando entre las líneas del espectro de arco de Fe .

Aún cuando se había especificado que las líneas aparecían brillantes y definidas, se puede ver de las tablas que ciertas líneas están marcadas como difusas, lo cual en primera instancia aparece como contradictorio. La explicación se encuentra en el hecho de que la claridad del espectro y la definición de las líneas depende en gran parte de la presión del gas del tubo de vacío. Si la presión se reduce lentamente, las líneas comienzan a aparecer sobre un fondo más o menos continuo, y gradualmente aumentan su brillo, finalmente se tornan bien definidas sobre un fondo negro.

No todas las líneas del espectro aparecen definidas al mismo tiempo, muchas de ellas se vuelven más nítidas cuando se disminuye la presión, a costa de la iluminación.

En las tablas que hizo Runge, como aún no conocía de la existencia del Xe , ciertas líneas de este espectro se encuentran en la lista del Kr .

Bajo el segundo espectro del Kr se encuentran también ciertas líneas que son visibles en el segundo espectro del Ar ( ó espectro azul ); y desaparecen del espectro del Ar después de que el gas ha sido fraccionado por aire líquido. En vista del descubrimiento de estos nuevos gases en la atmósfera, Baly hizo una comparación con un espectroscopio de prisma de vidrio de considerable dispersión, entre el espectro azul del Ar atmosférico ordinario, y el mismo gas después de haber sido fraccionado por aire líquido. Ambos espectros fueron completamente medidos. Con las líneas que se midieron se fabricó la Tabla I. En la Tabla II se dan las longitudes de onda de las líneas que se sacaron del espectro del Ar por proceso de fraccionamiento. Tres de estas líneas a  $\lambda = 4488.14$  ,  $4199.97$  y  $4047.38 \overset{\circ}{\text{Å}}$  no han sido mencionadas anteriormente.

Además de las 16 líneas de la Tabla II, aparentemente tres pertenecen al Kr , pero el origen de las otras no puede ser rastreado; ellas se presentan en el Ar sin fraccionar, y desaparecen por el fraccionamiento.

Es curioso que sólo tres de las líneas más débiles del Kr sean visibles en el espectro del Ar ; se ha hecho una cuidadosa búsqueda para las líneas más fuertes, pero no se han detectado rastros de ellas.

El primer espectro, o espectro rojo del Ar se ha investigado de modo similar, pero no se han encontrado diferen-

cias, ni se observaron líneas nuevas además de las conocidas.

Un hecho adicional en conexión con el segundo espectro de Kr ó Xe , se encuentra en la existencia de líneas de débil intensidad común a los dos espectros. Ya que estas líneas son igualmente débiles en ambos espectros, es imposible decir si ellas se deban a alguna impureza común ( Tabla III ) .

En definitiva, en este trabajo se midieron más líneas que las que se habían medido hasta el momento. Las intensidades relativas de las líneas son aproximadamente las mismas en las dos series medidas, pero por supuesto el valor medio general de la intensidad en las mediciones de Liveing y Dewar, por ejemplo es más débil [1].

2.1. En 1924 L. Bloch, E. Bloch y G. Dejardin aplicaron a los casos del Ar , Kr y Xe los métodos de análisis de espectros de centelleo.

Esos métodos consisten esencialmente en el empleo de la descarga oscilante dentro de un tubo sin electrodos y en el estudio sistemático de la evolución de las líneas cuando aumenta el potencial de descarga. Las líneas de arco aparecen primero como líneas largas y las de centelleo como líneas cortas; cuando las líneas de centelleo de primer orden se vuelven largas, las líneas de orden superior aparecen sucesivamente como líneas

cortas.

Se conoce que el Ar , Kr y Xe poseen tres espectros de órdenes sucesivos que hasta el momento han sido confundidos con el nombre de espectros azules de estos elementos.

Se hicieron medidas en el espectro de Xe entre  $7119.5 \text{ \AA}$  hasta  $2299.4 \text{ \AA}$  . Hasta el momento los espectroscopistas hablaban de espectros rojos como los vinculados a los espectros de arco, y azules a los de centelleo. Sin embargo, esta opinión no puede considerarse todavía clásica por cuanto los investigadores contemporáneos del Ar ( Nizen, Paschen y Gődzen ) han establecido sus fórmulas sin preocuparse de saber a cuál de las dos clases de espectros pertenecen las líneas que esas fórmulas representan. Sin embargo parece haber acuerdo en que los espectros rojo y azul no pueden ser producidos por centros de la misma especie.

El espectro azul, al que todos los espectroscopistas consideraron una entidad bien definida, es en realidad una mezcla de tres espectros, por lo menos, que corresponden a grados de excitación creciente, y a los que es natural considerar como espectros de centelleo de orden superior. Los espectros azules del Ar , Kr y Xe contienen por lo tanto tres espectros a los que se denominaron en forma provisoria:  $E_1$  ,  $E_2$  y  $E_3$  .

Es imposible a su vez afirmar rigurosamente que tales espectros,  $E_1$  ,  $E_2$  y  $E_3$  , no sean a su vez complejos,

formados por espectros de excitación vecinos difíciles de separar por los métodos conocidos. Tampoco es seguro que alguno de ellos no sea un espectro de segunda especie correspondiente a la extracción de un electrón diferente del normal.

De todos modos, estos tres espectros han sido suficientemente bien separados como para que su existencia esté fuera de duda.

2.2. El método utilizado para la producción y separación de los espectros de centelleo de orden superior se basa esencialmente en el empleo de la descarga oscilante en un tubo sin electrodos. La primera observación luminosa que se produjo en un tubo de gas rarificado se debe a J. J. Thomson, cuando se rodea el tubo con un arrollamiento de algunas espiras, recorridas por la descarga de alta tensión de un banco de condensadores.

La experiencia se llevó a cabo con un tubo cilíndrico de 10 cm de largo y de 1.5 mm de diámetro, envuelto por 11 ó 12 espiras de alambre grueso de Cobre. Los tubos estaban cerrados en los extremos por vidrios planos soldados. En general se usaron tubos y cerramientos de cuarzo transparente; a veces, tubos pyrex. Los tubos pyrex permiten fotografiar el espectro hasta el límite de transparencia de ese material (  $3100 \text{ \AA}$  ). Con tubos de Silicio de buena calidad se registró el UV completo

hasta el límite de sensibilidad de los espectrógrafos de cuarzo.

La luminosidad anular que se excitó en el tubo por una descarga oscilante fuertemente condensada, presentó características muy diferentes según la presión del gas y la potencia descargada. El aspecto del anillo luminoso varió considerablemente con estos dos factores, y su brillo, ancho y color se modificó profundamente, lo mismo ocurrió con la estructura del espectro. A presiones altas, se observó para Ar , que el espectro rojo predominaba para ceder poco a poco al azul cuando aumentaba la rarefacción. Luego, dejando la presión constante, y actuando principalmente sobre el potencial de excitación, un crecimiento con los demás factores constantes provocó la aparición progresiva de las líneas de centelleo, chispa y arco, y de órdenes superiores después de las de primer orden. Para controlar estas hipótesis, bastaba con proyectar de la manera más exacta posible, por medio de una lente acromática, el anillo luminoso sobre la rendija del espectrógrafo. Entonces las regiones de campo intenso ( regiones exteriores del anillo ) se proyectaban en la parte más baja de la rendija, mientras que la parte central ( campo más débil ) se proyectaba al centro. Por consiguiente en los espectros obtenidos las líneas aparecieron primero como líneas cortas arriba y abajo de la imagen para transformarse poco a poco en líneas largas que ocupaban toda la altura del campo.

Las primeras líneas que se alargaron fueron las

de arco, que cuando el potencial se elevó, se engrosaron en el centro y se adelgazaron en los extremos. Las líneas  $E_1$  aparecieron como cortas cuando las de arco eran ya largas, y tendían a seguir la misma evolución que aquéllas. Las  $E_1$  estaban en pleno desarrollo ó ya declinando cuando las  $E_2$  y casi en seguida las  $E_3$  aparecían poco a poco como líneas cortas.

Puede verse que el estudio sistemático de las imágenes espectrales obtenidas a potencial creciente permiten seguir la evolución de las líneas y por lo tanto situarlas de acuerdo con esta evolución en el tipo espectral que les corresponde. De hecho, salvo algunas líneas débiles ó de muy alta excitación, el análisis cuyo principio se acaba de explicar, resulta muy regular.

Este análisis se verificó no sólo con los gases nobles, sino también con la mayor parte de los gases comunes. Se puede reconocer como antecedente el viejo método de Lockyer fundado igualmente sobre la distinción entre las líneas cortas y largas, pero no llegaba más que a la separación del espectro de arco propiamente dicho y del espectro de centelleo del espectro en bloque. En este trabajo, los autores se sirvieron de un criterio semejante al de Lockyer para distinguir en el espectro de centelleo los diversos constituyentes que en él se encontraban mezclados.

El trabajo se llevó a cabo con gases extremada-

mente puros. Comprobaron que 19 líneas de las de Baly correspondientes a los espectros azules del Kr y Xe son propias del Kr .

Las 11 líneas entre 4247 y 4501 Å que se reportaron como líneas del espectro rojo, no estaban presentes en este trabajo como líneas de arco en el Xe y ausentes en el Kr .

Se observó una degradación del gas bajo la acción de la descarga por la descarga misma y por la temperatura.

Las placas utilizadas para fotografiar los espectros fueron: en el visible, Panchromatic Ilford utilizando un espectrógrafo Hilger; para el UV se utilizaron prismas con uno y dos prismas de cuarzo, y un espectrógrafo de prisma curvo de Fery .

Como espectro de comparación se utilizó Fe , y los errores de medición en el UV fueron  $\Delta\lambda = 0.1 \text{ \AA}$  y en el visible  $\Delta\lambda = 1 \text{ \AA}$  por la poca dispersión [2] .

3.1. En 1936, J. C. Boyce logra hacer una revisión y extensión de los trabajos previos sobre el espectro de Xe aumentando la dispersión y el poder resolvente, y trabajando en UV extremo . Logra clasificar líneas de XeI , XeII y XeIII en el rango de 2000 a 600 Å . No encontró ninguna línea nue-

va para el XeI , pero la precisión de las mediciones fue considerablemente mejor. Clasificó 128 líneas para XeIII con la ayuda de C. J. Humphreys.

La investigación del espectro de Xe en UV se llevó a cabo usando un espectrógrafo de vacío de incidencia normal.

3.2. Las exposiciones se hicieron con descargas sin electrodos en diferentes presiones totales de una mezcla de Ne-Xe. Las líneas debidas a las distintas etapas de ionización pudieron ser notadas ( distinguidas ) por la variación de la intensidad con la presión.

Como este tipo de descarga no favorecía la excitación del primer espectro, sólo se pudieron observar unas muy pocas de éste.

Se mantuvo el mismo potencial de ionización en 12.078 V .

Se clasificaron 20 líneas de XeII, las que pudieron identificarse con alguna precisión. No hubo razones para alterar el valor del potencial de ionización del XeII : 21.1 V dado por Humphreys, De Bruin y Megers.

Los grupos principales de líneas de XeIII se

localizaron por analogía con los grupos de NeIII , ArIII y KrIII . Se encontró que el término del estado fundamental, P , es parcialmente invertido como en TeI y I II .

Se localizaron todos los términos fundamentales del XeIII.[3].El potencial de ionización del XeIII es de 32.0 V.

4.1. Por su parte, C. J. Humphreys en el mismo año logró clasificar alrededor de 300 líneas de XeIII . Estas mediciones fueron las que completaron los datos de Boyce.

El tercer espectro, o espectro de XeIII es característico del Xe doblemente ionizado, y se obtuvo operando un tubo Geissler.

Las mediciones del espectro de chispa del Xe se extendieron desde 2200 Å hasta 8900 Å . La mayoría de las líneas de XeIII se encontraban en la región del UV , se clasificaron además 300 líneas como pertenecientes a 84 niveles de energía.

4.2. El espectro se obtuvo de un tubo Geissler operado con transformadores a-c en un circuito que contenía condensadores y spark-gap. Excepto para la región más alejada que

2575 Å en el UV , el espectro completo fue observado con una red de Rowland de 20000 líneas/pulgada . La lista completa contiene alrededor de 2000 líneas . Probablemente el 75% pertenece al segundo espectro. Se seleccionaron de ellas 300 líneas, las cuales pueden pertenecer a XeIII o a espectros más altos.

La base de la selección fue la supresión parcial o completa de las líneas que se originaron en iones de etapa más altas que la primera cuando hay poca inductancia en el circuito. La mayoría de las líneas intensas de XeIII clasificadas y no clasificadas se encontraron en la región de 3500 a 4000 Å .

Se hizo una comparación con las líneas de Xe que proporcionaron Bloch, Bloch y Dejardin, quienes, como se mencionó anteriormente, observaron una distribución radial de iones en un tubo de descarga sin electrodos.

La comparación de los dos métodos indicaba generalmente una coincidencia satisfactoria, casi perfecta en el caso del segundo espectro de los gases raros. Las líneas que Bloch, Bloch y Dejardin indicaron como pertenecientes al cuarto espectro, sin embargo, parecía más probable que se originaran en estados de más altas energías del tercer espectro [4] .

5.1. La descripción de los espectros de Xe excitado en los tubos de descarga condensada Geissler, se mejoraron y se ex-

tendieron hasta incluir aproximadamente 2600 líneas en un rango desde  $2200 \text{ \AA}$  hasta  $10200 \text{ \AA}$  en longitud de onda, en un trabajo de Humphreys de 1939. El uso de los métodos empleados en la investigación de espectros análogos, es decir, de notar los cambios de intensidad que acompañan la variación de inductancia en el circuito eléctrico condujo a la selección de líneas que pertenecen al XeII característico de los átomos de Xe una vez ionizados.

En esta publicación se clasificaron 633 líneas como transiciones entre 103 niveles de energía.

Revisando una publicación del año 1931 sobre el XeII, en la cual se reportaron 30 niveles de energía, se descartaron 10 de ellos, a los restantes se los retuvo con algunos cambios en la asignación.

En la publicación de 1939 incorporó esa revisión y además proporcionó una descripción consistente de longitudes de onda, números de onda e intensidades de alrededor 1200 líneas. Se las clasificó también por su forma.

El autor responsabilizó a los adelantos en la sensibilización fotográfica, el haber podido obtener tanta información.

5.2. Se trabajó con tubos Geissler operados por transformadores a-c , como fuentes exclusivas para la producción de espectros del Xe . La radiación se obtuvo por los extremos de la fuente.

Todas las mediciones de longitudes de onda mayores que  $2575 \text{ \AA}$  se basaron en mediciones con redes.

Nuevamente, el método para distinguir las especies iónicas, fue el cambio de intensidad que acompaña la introducción de inductancia en el circuito de descarga: la inductancia suprime o atenúa algunas líneas altas de chispa, o en general aquellas que requieren grandes cantidades de energía de excitación.

El comportamiento de una descarga sin electrodos se usa para diferenciar las distintas etapas de ionización, el criterio esencial es el efecto de la presión y del voltaje aplicado, sobre las intensidades relativas de las líneas, y la distribución espacial de los iones en el tubo indicado por la longitud de las líneas espectrales.

El principio de combinación se mantuvo como una ley física exacta. Las diferencias entre los valores calculados y los observados, se tradujeron como representativos de los errores de observación. Este estudio indicó que en el caso de las líneas nítidas, las mediciones son lo suficientemente precisas como para permitir la retención de siete cifras en los valores finales

de las longitudes de onda, lo cual se hizo sin problemas a menos que se encontrara una dificultad cuando se hacía una clasificación de líneas sin ambigüedad.

El XeII contiene una preponderancia de líneas que son asimétricas o difusas ( hazy ). Obviamente, esas no pudieron medirse con una precisión comparable con la del grupo recién discutido. Se creía sin embargo, que debido a la gran cantidad de observaciones, las longitudes de onda se conocen con suficiente precisión para permitir encontrar regularidades observables [5] .

6.1. En 1970 C. J. Humphreys, publicó un trabajo sobre determinaciones interferométricas de longitudes de onda del XeII . El segundo espectro de Xe se excitó mediante una técnica desarrollada especialmente para producir líneas de suficiente homogeneidad y encontrar órdenes de interferencia de hasta algunas centenas de miles sin llegar al límite.

Se estableció la longitud de onda de 108 líneas y se midieron los patrones de otras 9 líneas adicionales. El rango espectral observado fue desde  $3800 \text{ \AA}$  hasta  $6500 \text{ \AA}$  .

6.2. La fuente utilizada para este trabajo fue la descarga sin electrodos excitada con microondas.

Estos son tubos de sílica fundida con ventanas sopladas para aplicaciones en los extremos. Se adosó un bulbo esférico, de unos 20 ml de capacidad para proveer una reserva del gas, y con esto producir una larga vida a la descarga, y mantener esencialmente constante la presión.

El bulbo se roció con un chorro de Nitrógeno líquido como para mantener condiciones muy bajas de presión y extremadamente críticas.

Cuando se disminuía el flujo del chorro, tal que la temperatura, y en consecuencia la presión aumentaban, la descarga cambiaba a una condición tal que sólo mostraba el primer espectro.

Si el chorro era muy grande, la descarga se volvía blanca y brillante; y cuando se fotografió se observó que consistía de un espectro de banda de complejidad extrema y de origen desconocido [6] .

7.1. Meses después, también en 1970, Eliseo Gallego Lluesma et al [7] publican un artículo acerca de líneas láser de

Xe sin identificar, en el caul se reportó la observación de 11 líneas espectrales desconocidas que explican la aparición de las correspondientes líneas láser.

Desde 1964 muchos investigadores habían reportado líneas láser atribuibles al Xe que habían resistido todo intento de clasificación. Algunas de esas líneas, muy intensas, se observaron en oscilaciones láser CW. Parecía que sugían de átomos de Xe altamente ionizados. Por lo caul la mayoría de estas líneas se habían reportado como observadas en operación láser por otros investigadores.

7.2. Todos los espectros fueron producidos por Xe espectroscópicamente puro, confinado en un tubo pyrex de 2.5 mm de diámetro interno, terminado en ventanas de cuarzo en ángulo de Brewster. El tubo tenía dos electrodos fríos de Tungsteno a 80 cm de distancia uno del otro. La presión del gas se mantuvo, dentro de un rango estrecho, en 10 mtorr, que era el rango más apropiado para la emisión láser.

La excitación e ionización del Xe estaba acompañada por la descarga a través del tubo, de un capacitor de 1 nF cargado hasta 40 kV. Se obtuvieron picos de corriente de 500 A y 1  $\mu$ s de duración.

Se fotografiaron los espectros espontáneos y láser en la configuración habitual, esto es, por los extremos. Para obtener las líneas láser se empleó un sistema de espejos, los cuales se quitaron para la obtención del espectro espontáneo.

Como patrón de referencia se usó el espectro de  $\text{Th}^{232}$ .

Se estima que las determinaciones de las longitudes de onda se dan con una precisión de  $\pm 0.03 \text{ \AA}$ .

En la región espectral investigada se observó un espectro de Xe muy denso. Se registraron algunos cientos de líneas de XeII y XeIII junto con las desconocidas.

Cuando se reemplazó por un tubo de 104 cm de distancia entre electrodos, y 5 mm de diámetro interior, la densidad de las líneas disminuyó marcadamente y sólo aparecían las líneas de XeII y XeIII conocidas.

La diferencia observada se debe, probablemente, a un cambio en la densidad de corriente.

8.1. En 1973, Mario Gallardo et al [8] intentaron relacionar los datos de la emisión estimulada del Xe con la espontánea.

8.2. Nuevamente la fuente de luz empleada fue un tubo como el anteriormente descrito.

La excitación e ionización del Xe estaba acompañada por una descarga a través del tubo, de un banco de capacitores cargados a 40 kV . La capacidad se varió desde 0.13 nF a 4.0 nF.

El espectro de Xe se fotografió entre  $2400 \text{ \AA}$  y  $8700 \text{ \AA}$  , 1° y 3° orden de difracción. El comportamiento de las líneas espectrales se analizó cuidadosamente cambiando la energía de ionización y manteniendo la presión constante. El color de la descarga fue siempre azulino.

La energía impartida al tubo se cambió por la variación de la capacidad o voltaje aplicado. Este experimento mostró que las líneas bien establecidas de XeI , XeII y XeIII se comportaban de diferente manera; al aumentar la energía de excitación, disminuía la intensidad de las líneas de XeI , mientras que la intensidad de las de XeII aumentaba suavemente en el rango de energías analizado, desde  $C = 0.13 \text{ nF}$  y  $V = 20 \text{ kV}$  hasta  $C = 4 \text{ nF}$  y  $V = 40 \text{ kV}$  . La intensidad de las líneas de XeIII aumentó marcadamente con el aumento de la energía de excitación desde su aparición a  $C = 0.5 \text{ nF}$  y  $V = 20 \text{ kV}$  .

Todas las líneas láser de Xe sin clasificar, excepto una, se clasificaron por el uso de este hecho.

22 líneas sin clasificar se comportaron de di-

ferentes formas desde XeI , XeII y XeIII . Ellas aparecían en  $C = 1 \text{ nF}$  y  $V = 40 \text{ kV}$  y aumentaron sus intensidades rápidamente con la energía de excitación. Por lo tanto estas líneas se asignaron al XeIV . Este fue un resultado de gran profundidad espectroscópica.

4 líneas , que se comportaban en forma intermedia entre la evolución del XeIII y XeIV fueron asignadas con las dos alternativas, esto es, al espectro de XeIII-IV .

Las líneas en  $\lambda = 4647.40 \text{ \AA}$  y  $4659.40 \text{ \AA}$  , atribuidas al CIII , se volvieron a medir en  $\lambda = 4647.43 \text{ \AA}$  y  $4650.25 \text{ \AA}$  y se las identificó como XeIV y XeIII-IV respectivamente.

Las líneas espontáneas correspondientes a aquellas reportadas en emisión estimulada, aparecieron más anchas en su centro que en sus extremos. Este comportamiento era independiente de la intensidad de la línea y del grado de ionización.

9.1. En 1974, Tagliaferri et al [9] utilizaron el mismo tubo láser gaseoso, nuevamente como fuente de luz. Este produjo un espectro extremadamente rico en líneas.

El espectro se fotografió en un rango de  $2700\text{-}6900 \text{ \AA}$  con un tubo de diámetro interno de  $3 \text{ mm}$  . Variando la

capacidad del banco de condensadores y la tensión aplicada al mismo, se estudió el comportamiento de la intensidad de las líneas espectrales. Se observaron cambios sustanciales en las intensidades que permitieron la asignación iónica a los espectros de XeI, XeII y XeIII de la mayoría de las líneas espectrales.

9.2. La capacidad se varió desde 0.13 nF a 4.0 nF y la tensión de descarga desde 20 kV hasta 40 kV. Se observó que la intensidad de las líneas del XeI decrece al aumentar la energía de la descarga, mientras que la del XeII aumenta muy poco o se mantiene constante en todo el rango de energías. En cambio la intensidad de las líneas del XeIII aumenta considerablemente desde que aparecen en  $C = 0.5 \text{ nF}$   $V = 20 \text{ kV}$ . Junto a estas líneas se detectaron otras, cuyo comportamiento las distingue claramente de aquéllas. En efecto, aparecen a partir de  $C = 1.5 \text{ nF}$   $V = 40 \text{ kV}$  y aumentan notablemente de intensidad con la energía de excitación. Estas líneas se asignaron al XeIV. De esta especie iónica se conocen líneas clasificadas en la zona VUV desde  $558 \text{ \AA}$  hasta  $1250 \text{ \AA}$  y las líneas que Bloch et al [2] le atribuyeron entre  $2200 \text{ \AA}$  y  $7100 \text{ \AA}$ .

Los resultados de estas experiencias están en completo desacuerdo con los de estos últimos en lo que se refiere a las longitudes de onda y asignación iónica de las líneas espec-

trales que, por su comportamiento no han podido ser asignadas a ningún espectro, aunque seguramente pertenecen a XeIII ó XeIV . Posiblemente al aumentar la descarga pueda observarse la diferente saturación de intensidad en las líneas del XeIII y XeIV tal como se observó en las líneas de XeI y en consecuencia, se pueda realizar una identificación con mayor precisión.

Estos resultados dieron lugar a la publicación de una tabla de longitudes de onda del Xe , editada por la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires ( CIC ), en el año 1975 [13] .

10.1. En 1979, Mario Gallardo et al [10] , revisando los resultados obtenidos hasta ese momento por el grupo de trabajo, publican un trabajo relacionado con la estructura del sistema de niveles  $5s^2 5p^3 ( ^4S )n1$  del XeIII . En un rango desde  $6730 \text{ \AA}$  hasta  $2470 \text{ \AA}$  clasificaron aproximadamente 80 líneas como combinaciones entre niveles dentro del sistema  $( ^4S )n1$  . Casi la mitad de esas líneas no habían sido clasificadas previamente, y otras se reclasificaron. Como resultado de este trabajo se conocen los niveles:  $5s^2 5p^3 ( ^4S )6s , 7s , 6p , 5d , 6d , 4f$  .

10.2. Usando el mismo esquema experimental, se obtuvie-

ron espectrogramas en  $1^\circ$  y  $3^\circ$  orden de difracción. Se usó como espectro de referencia el espectro de  $\text{Th}^{232}$ . Los errores de medición de las longitudes de onda fueron de  $\pm 0.03 \text{ \AA}$  para el  $1^\circ$  orden de difracción, y  $\pm 0.01 \text{ \AA}$  para el  $3^\circ$  orden de difracción.

11.1. En 1982, J. Reyna Alamandos et al [11], realizaron el estudio de 626 líneas espectrales. De ellas, 50 se asignaron al espectro de XeII, 103 al XeIII y 222 al XeIV. 30 líneas asignadas anteriormente al XeII fueron reasignadas como pertenecientes al XeIII. 94, asignadas con cierta duda al XeII-III y 84 al XeIII-IV. Además se clasificaron 43 líneas del XeII.

Se estudió el espectro en el rango desde  $2000 \text{ \AA}$  hasta  $6900 \text{ \AA}$ .

Como resultado del análisis espectral se revisaron y extendieron los niveles anteriores, y se clasificaron líneas como combinaciones entre niveles del sistema ( $^4S$ )nl

11.2. La fuente espectral usada fue la misma que se usó en los trabajos anteriores.

En la zona restante se utilizó un espectrógrafo

En la zona de longitudes de ondas cortas se utilizó un espectrógrafo de vacío Jarrel-Ash . El espectro se fotografió en 1° orden de difracción, y con una dispersión recíproca de  $2.8 \text{ \AA} / \text{mm}$  .

En la zona restante se utilizó un espectrógrafo marca Shimadzu , montaje Ebert, y se fotografió es espectro en 3° orden de difracción con una dispersión recíproca de  $1.5 \text{ \AA} / \text{mm}$ .

Para la asignación iónica se siguió el mismo procedimiento antes descrito, de la variación de la capacidad , observando el comportamiento de las intensidades de las líneas.

Esta investigación produjo la publicación de una Tabla de longitudes de onda [14] editada por el CIOp en 1981.

12.1. Siempre en la misma línea de la clasificación de los iones del Xe , en 1983 G. Bertucelli et al [12] , publican un trabajo en el cual se encuentran 123 líneas clasificadas entre  $2100 \text{ \AA}$  y  $6750 \text{ \AA}$  .

Esas clasificaciones completaron algunos de los espacios vacíos que habían quedado de los trabajos anteriores, tanto en asignaciones iónicas como en niveles de energía.

12.2. Los espectrogramas se obtuvieron usando  $\text{Th}^{232}$  como espectro de referencia. Se midieron las líneas en  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  y  $3^\circ$  orden de difracción con errores de  $\pm 0.05 \text{ \AA}$ ,  $\pm 0.03 \text{ \AA}$  y  $\pm 0.01 \text{ \AA}$  respectivamente.

Una comparación entre las líneas medidas por Humphreys y las determinadas en este trabajo, revelan corrimientos que son diferentes para distintas transiciones.

13. En la actualidad, en el CIOp se está trabajando sobre los niveles de energía del  $\text{XeIII}$  y  $\text{XeIV}$ . Esto produjo suficiente material, que en este momento se está preparando, para su publicación.

## REFERENCIAS

- [1] E. E. C. BALY - The spectra of Neon, Krypton and Xenon - Phil. Trans.; A 202,183 (1903)
- [2] L. BLOCH, E. BLOCH, G. DEJARDIN - Spectres d'étincelle d'ordre supérieur de l'argon, du crypton et du xénon - Ann. de Physique; II,461 (1924)
- [3] J. C. BOYCE - The spectra of Xenon in the extreme ultraviolet - Phys. Rev.; 49,730 (1936)
- [4] C. J. HUMPHREYS - Third spectrum of xenon - J. of Res. of the Nat. Bur. of Stand.; 16,639 (1936)
- [5] C. J. HUMPHREYS - Second spectrum of xenon - J. of Res. of the Nat. Bur. of Stand.; 22,19 (1939)
- [6] C. J. HUMPHREYS and E. PAUL, Jr - Interferometric wavelength determinations in the second spectrum of  $^{136}\text{Xe}$  - J. Opt. Soc. Am.; 60,1454 (1970)
- [7] E. GALLEGO LLUESMA, M. GALLARDO, M. GARAVAGLIA, A. A. TAGLIAFERRI - About unidentified ionized Xe laser lines - IEEE J. of Quantum Electronics; QE-6,745 (1970)
- [8] M. GALLARDO, E. GALLEGO LLUESMA, A. A. TAGLIAFERRI, C. A. MASSONE, M. GARAVAGLIA - Ionic assignment of unidentified xenon laser lines - J. Opt. Soc. Am.; 63,362 (1973)
- [9] A. A. TAGLIAFERRI, E. GALLEGO LLUESMA, M. GARAVAGLIA, M. GA-

- LLARDO, C. A. MASSONE - XeI, XeII and XeIII spectral lines assignment - *Optica Pura y Aplicada*; 7,89 (1974)
- [10] M. GALLARDO, C. A. MASSONE, A. A. TAGLIAFERRI, M. GARAVAGLIA W. PERSSON -  $5s^2 5p^3 ({}^4S)n1$  levels of XeIII - *Optica Pura y Aplicada*; 19,538 (1979)
- [11] J. G. REYNA ALMANDOS, M. GALLARDO, M. GARAVAGLIA - New spectroscopic results in XeII, XeIII and XeIV - *Optica Pura y Aplicada*; 15,1 (1982)
- [12] G. BERTUCCELLI, J. G. REYNA ALMANDOS, O. DI ROCCO, M. GALLARDO - *Optica Pura y Aplicada*; 16,163 (1983)
- [13] A. A. TAGLIAFERRI, E. GALLEGO LLUESMA, M. GARAVAGLIA, M. GALLARDO, C. A. MASSONE - Informe 19 - CIC (1975)
- [14] M. GALLARDO, J. G. REYNA ALMANDOS - Xenon lines in the range from 2000 Å to 7000 Å - Centro de Investigaciones Opticas (1981)