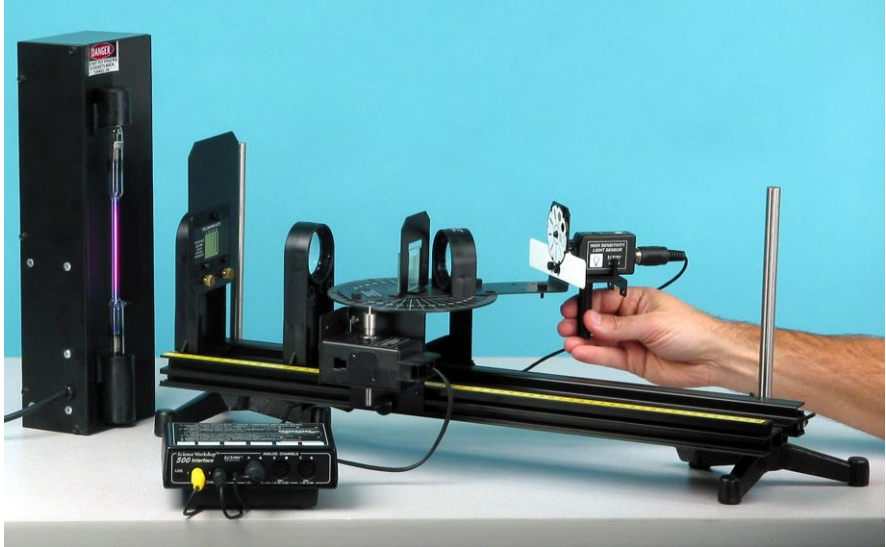




**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO**

**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICA**

**LABORATORIO DE FÍSICA Y QUÍMICA**



**GUIAS DE LABORATORIO DE FÍSICA MODERNA**

CALLAO – PERU

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
DERECHOS RESERVADOS, CALLAO 2013**

Prohibida la Reproducción total o parcial sin  
Autorización de los autores

## **PRESENTACION**

La presente publicación GUIAS DE LABORATORIO DE FISICA MODERNA se ha elaborado con el propósito de introducir a los estudiantes de la Escuela Profesional de Física de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática de la Universidad Nacional del Callao los conceptos más relevantes de ciertos campos de la Física que se han desarrollado a partir del año 1900, a través de un conjunto de experimentos relacionados a temas como interferencia, radiación térmica, electrones y cuantos, radiación electromagnética, espectros atómicos y núcleos.

La guía contiene los fundamentos teóricos necesarios para la comprensión de cada práctica por parte del alumno, además de, las instrucciones y la relación de equipos y accesorios necesarios para la realización de los experimentos.

La guía ha sido diseñada para ser utilizada como complemento en la realización de Experimentos de Física Moderna, que incluyen el uso del Software Data Studio, interfaces, sensores, y un conjunto de accesorios adicionales necesarios para la ejecución del trabajo experimental.

El presente trabajo es el resultado del esfuerzo desplegado durante 2 años por los profesores del Departamento Académico de Física de la Facultad de Ciencias Naturales y Matemática: en especial de los profesores Augusto Enrique Rueda Chumbes y Carlos Alberto Lévano Huamaccto, contando con la colaboración de la Secretaria del Laboratorio de Física y Química, señora Susana Rivas Huash, en la edición de los textos y del señor Ramón Pizango Pinto en la atención de los equipos de laboratorio y accesorios diversos que fueron requeridos.

Esta tarea no se hubiera concretado si no se hubiera contado con las sugerencias y el apoyo permanente del Jefe de Laboratorio de Física, Lic. Carlos Alberto Quiñones Monteverde.

## CONTENIDO

	<b>Páginas</b>
1. Experimento de Michelson Morley	5
2. Radiación de un Cuerpo Negro	15
3. Ley de Stefan Boltzmann para altas Temperaturas	23
4. Ley de Stefan Boltzmann para bajas temperaturas	30
5. Experimento de Millikan: Medida de la carga eléctrica del electrón	35
6. Determinación de la relación carga-masa del electrón	40
7. Efecto Fotoeléctrico	44
8. Espectros Atómicos: Determinación del espaciado de Red de difracción usando la fuente de Sodio como patrón y Determinación de la longitud de onda de las Fuentes de: He, H, Hg, Ar y Kr .	50
9. Espectros de Absorción (absorción de muestras sólidas y líquidas)	60
10. Contador del Geiger Muller	63
11. Estadística de conteo	67
12. Atenuación de la radiación gamma usando blindajes de Plomo	69

# LABORATORIO N° 1. EXPERIMENTO DE MICHELSON MORLEY

## I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante los conocimientos fundamentales para el uso del Interferómetro de Precisión de Michelson-Morley. En este experimento determinaremos la longitud de onda de la luz, el índice de refracción del aire y del vidrio usando el interferómetro de Michelson, utilizando un Láser de He-Ne y un conjunto de accesorios propios para la realización del experimento.

## II. FUNDAMENTO TEÓRICO

Cuando las ondas son coherentes, puede formarse un diagrama de interferencia formado por franjas oscuras y claras. Para producir un diagrama de interferencia constante, ambos trenes de ondas deben estar polarizados en un mismo plano. Los átomos de una fuente de luz ordinaria irradian luz de forma independiente, por lo que una fuente extensa de luz suele emitir radiación incoherente. Para obtener luz coherente de una fuente, se selecciona una parte reducida de la luz mediante un pequeño orificio o rendija. Si esta parte vuelve a separarse mediante una doble rendija o un doble espejo y se hace que ambas partes recorran trayectorias de longitud ligeramente diferente antes de combinarlas de nuevo, se produce un diagrama de interferencias.



*Courtesy Rausch & Horn*

Interferencias en superficies esféricas situadas sobre un soporte plano: reflexión en una lámina de aire. Se producen franjas brillantes y oscuras.

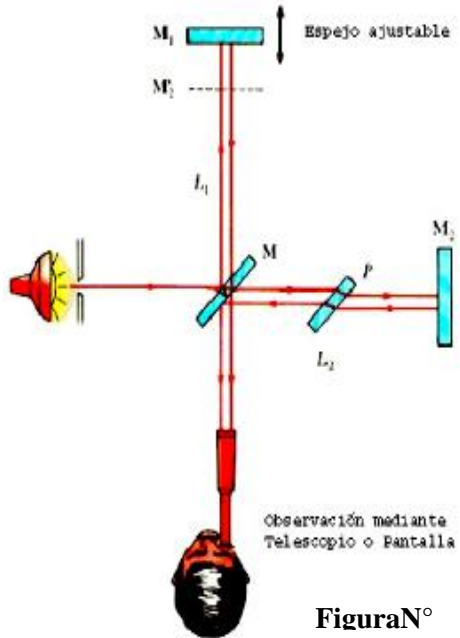
### II.1. INTERFERÓMETRO DE MICHELSON-MORLEY Y SUS VARIACIONES

Un haz de luz tiene un comportamiento de una onda oscilatoria compuesta de campo eléctrico y magnético. Si los dos brazos del interferómetro tienen la misma longitud y los dos espejos forman un ángulo recto, las imágenes debidas a los dos haces son iguales

El interferómetro de Michelson es un dispositivo en el cual se generan interferencias por división de amplitud. Consiste en dos espejos de primera superficie colocados en ángulo recto, y una lámina divisora de haz formando  $45^\circ$  con ambos espejos. El dispositivo se ilumina con una fuente de luz casi monocromática y si los dos brazos del interferómetro tienen distinta longitud, lo que se regula variando la posición de uno de los espejos, se genera una diferencia de camino óptico  $\Delta$  entre los haces que recorren cada uno de los brazos, tal como se observa en la Figura N° 1.

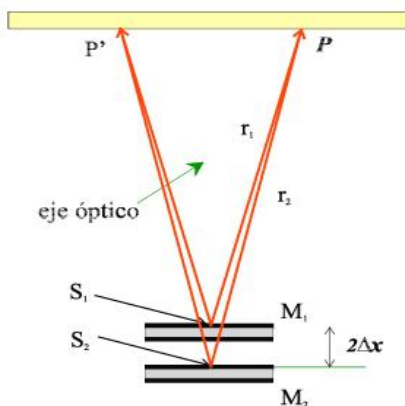
En el brazo del espejo  $M_2$  se introduce - para compensar el recorrido adicional del haz que va a  $M_1$  - un compensador, encontrándose en el recorrido del divisor de haz.

El mecanismo central es la observación de la superposición constructiva y destructiva de las ondas de luz para formar "franja de interferencia". En esta práctica se explorará la Interferencia en contexto: franjas gruesas en el interferómetro de Michelson, formadas por luz láser. A la salida del interferómetro, se aprecian los dos haces que surgen y se recogen en una pantalla del visor. Como lo muestra la Figura N° 2,



**Figura N°**

**Diagrama esquemático del Interferómetro de Michelson**



**Figura de interferencia con los espejos  $M_1$  y  $M_2$  perpendiculares**



**Figura N° 2**

El resultado de la superposición de ambos haces será un máximo de interferencia si  $\Delta = K\lambda$ , y será un mínimo de interferencia (oscuridad) si  $\Delta = (2k + 1)\lambda/2$ . Alejando progresivamente el espejo  $M_1$  pasaremos por diferentes máximos y mínimos de interferencia, al variar progresivamente el micrómetro.

Si consideramos una incidencia no normal sobre los espejos (la fuente emite rayos no paralelos al eje), entonces la diferencia de camino óptico se expresa en función del ángulo que formen los rayos incidentes con la horizontal.

Si variamos  $\theta$  de forma continua - permitiendo que la fuente emita en todas las direcciones - obtendremos, al recoger el conjunto de haces resultantes, círculos concéntricos alternantes claros y oscuros correspondientes a las posiciones angulares de máximos y mínimos de interferencia en función del ángulo  $\theta$ .

El círculo central, correspondiente a  $\theta = 0^\circ$ , será máximo, mínimo o intermedio entre ambos dependiendo de la diferencia de longitud entre los brazos del interferómetro. Su orden de interferencia  $k$  será el máximo de toda la configuración, ya que si aumentamos la diferencia de longitud entre los brazos del interferómetro decrece la diferencia de camino óptico, y por tanto el orden de interferencia.

Si una vez lograda la configuración de interferencia, disminuimos la diferencia de camino óptico entre los brazos moviendo uno de los espejos de forma que disminuya  $L_1 - L_2$ , entonces el orden de interferencia del círculo central también deberá disminuir progresivamente. Esto implica que los anillos que en la configuración inicial ocupaban posiciones de menor orden en la periferia, pasan progresivamente a ocupar posiciones centrales, y el efecto sobre la configuración es de una progresiva desaparición de anillos por el centro de la misma.

Si, por el contrario, aumentamos la diferencia de camino óptico entre los brazos, entonces deberá aumentar el orden de interferencia del círculo central, que era máximo en la configuración inicial, por lo que deberán surgir nuevos anillos por el centro y crear un desplazamiento de los anillos presentes hacia la periferia. Observando qué sucede en la configuración podemos deducir inmediatamente si está aumentando o decreciendo la diferencia de camino óptico en un interferómetro de Michelson. Además, sabemos que cada vez que surja o desaparezca un anillo por el centro estaremos variando el camino óptico en  $\lambda$ .

Si observamos el anillo central y controlamos cuándo pasa de máximo a mínimo, la diferencia inducida en camino óptico sería de  $\lambda/2$ , lo que implica que podemos medir desplazamientos del espejo móvil de hasta  $\lambda/4$ , lo que hace de este interferómetro un instrumento de gran sensibilidad para medir diferencias de longitud.

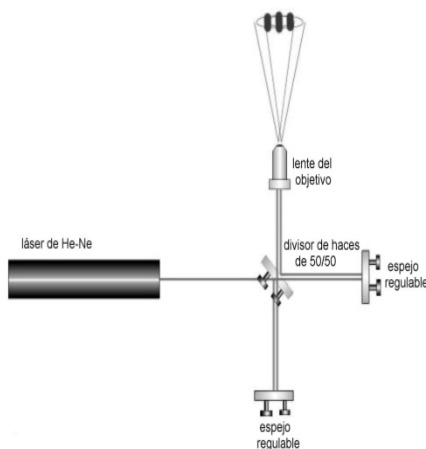
## II. 2 INTERFERÓMETRO DE MICHELSON DE LÁSER DE HE-NE

El interferómetro de Michelson, que se muestra en la Figura N° 3, funciona con una fuente láser de He-Ne ( $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ ), acoplada a un sensor de luz cuya función es medir la intensidad del láser emitido y su comportamiento ondulatorio.

En primer lugar debemos asegurarnos de que el láser está perfectamente alineado con la lámina divisora de haz, de forma que la luz llega a ésta a su misma altura y centrada. De no ser así, actuaremos con gran delicadeza sobre el soporte del láser colocado en el banco óptico alineándolo en la dirección central del espejo móvil

Una vez realizada esta operación si fuera necesaria, normalmente deberá observarse la configuración de interferencia sobre la pantalla. Si no ocurre así, es que los espejos no forman ángulo recto o bien no están formando  $45^\circ$  con la lámina divisora de haz.

También puede ocurrir que haya demasiada diferencia de camino óptico entre ambos, lo que ocasiona problemas de coherencia y disminuye la visibilidad de las franjas. Estos posibles problemas se solucionan accionando con extremo cuidado y delicadeza los tornillos del espejo móvil del interferómetro. Hay que tener en cuenta que un desplazamiento muy pequeño de los tornillos puede hacer que desaparezca completamente la configuración de interferencia, por lo que su manipulación requiere de calma y lentitud. Para tener una referencia de hacia dónde debemos mover los tornillos, observar sobre la pantalla los puntos luminosos correspondientes a las reflexiones en los espejos y la lámina divisora de haz, e intentar aproximarlos lo más posible y centrarlos con respecto a la lámina. Después, colocar el sensor de luz que nos permitirá medir el número de franjas por corrimiento micrométrico



**Figura N° 3:** Esquema del funcionamiento del láser de He-Ne

### Sugerencias

Todas las operaciones de puesta a punto del interferómetro son muy delicadas, por ello, se aconseja consultar al profesor antes de manipular cualquier control del interferómetro y verificar en primer lugar si podemos observar la configuración sin necesidad de realizar ajuste alguno.



### III MATERIALES

#### Equipo principal

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Una base del interferómetro de precisión de Michelson de 5 Kg.	OS-9255A	1
2	Espejo ajustable	OS-9258B	1
3	Espejo móvil	OS-9258B	1
4	Divisor de haz	OS-9258B	1
5	Compensador	OS-9258B	1
6	Juego de componentes huecas	OS-9258B	1
7	Visualizador	OS-9258B	1
8	Lente de 18 mm. de longitud focal	OS-9258B	1
9	Difusor	OS-9258B	1
10	Sensor de luz	CI-6504A	1
11	Láser de Helio- Neón	SE-9367	1
12	Soporte de láser		1
13	Software Data Studio		1

#### Equipo Adicional.

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Celda vacía	OS-8500	1
2	Juego de componente para lentes	OS-8501	1
3	Lente de 48 mm. de longitud focal	OS-8501	1
4	Placa de vidrio	OS-8501	1
5	Soporte giratorio con goniómetro para Medición de ángulos.		1
6	Una bomba de vacío con calibrador.	OS-88502	1

### IV PROCEDIMIENTO

1. Alinear el láser y el interferómetro en el modo Michelson, de manera que el patrón de interferencia sea visible en la pantalla de visualización.
2. Ajuste el micrómetro a una posición central tomando  $50 \mu m$  en esta posición, la relación entre la lectura del micrómetro y el movimiento del espejo es prácticamente lineal.

3. Ajustar la posición de la pantalla del visor a fin de que una de las marcas sobre la escala de milímetros esté alineada con una de las franjas en su patrón de interferencia, el cual le permitirá contar con mayor facilidad las franjas.
4. Rote la manija del micrómetro lentamente hasta contar las franjas cuando pasen por una marca referencial, cuente hasta que un número predeterminado de franjas halla pasado su marca. Cuento al menos 25 franjas.
5. Usando el sensor de luz y el adaptador especial con fibra óptica y mida el número de picos por movimiento micrométrico y determine el número de franjas que se obtienen y compárelo con el método anterior.
6. Registre la distancia  $dm$  que el espejo móvil se ha desplazado hacia el divisor del haz de acuerdo a sus lecturas de la manecilla del micrómetro. Recordar que cada división pequeña sobre la manecilla del micrómetro corresponde a  $1 \mu m$  ( $10^{-6} m$ ) del desplazamiento del espejo.
7. Registre en una tabla el número  $N$  de transiciones de franjas del cual cuente.
8. Determine la frecuencia usando ajuste de curva del gráfico amplitud de luz vs tiempo y luego usando la ecuación  $\frac{\omega}{k} = c$ , determine la velocidad de la luz.

**OBSERVACIÓN:** Usando el tornillo micrométrico que regula la variación de distancia  $\Delta x$ , realice un ajuste fino y observe cómo, al variar la distancia, las zonas iluminadas van ocupando las posiciones de las oscuras y viceversa.

### ➤ Primera actividad (Medida de la longitud de onda del láser de He-Ne)

Se emplea como fuente de luz un láser de He-Ne. A la salida del láser se ha colocado un conjunto de difusores para expandir el haz y atenuar su intensidad, consiguiendo a la vez una fuente de luz extensa. Cuando se utilice el láser manténgase también la placa difusora del interferómetro para aumentar la seguridad y observar mejor las franjas.

Para la medida de  $\lambda$  se aprovechará que la distancia  $x$  necesaria para que aparezcan o desaparezcan por el centro del patrón de interferencia un número de anillos  $M$  viene dada por la expresión.

$$\lambda = \frac{2x}{M} \quad (1)$$

El procedimiento consiste en fijar el número de anillos  $M$  que se van a contar. Se mueve muy lentamente el tornillo micrométrico que desplaza el espejo móvil observando un diagrama de interferencia, hasta contar un número  $M$  de anillos que aparecen o desaparecen por el centro del patrón de interferencia, anotando el desplazamiento  $x$  de dicho tornillo.

Para fijar el número de anillos que se van a contar, deben tenerse en cuenta dos consideraciones: a)  $M$  debe ser tal que el error de  $\lambda$  no supere el 10%; y b) para obtener una mejor medida es conveniente que el recorrido del tornillo micrométrico corresponda a un número entero de divisiones de su escala. Por lo tanto, partiendo de un valor aproximado de  $\lambda$ , se hará una primera estimación de  $M$  de forma que el error sea mínimo, luego ajuste este valor provisional de  $M$  de modo que se comience y se acabe en una división exacta del tornillo. Háganse al menos veinte medidas.

Usando el sensor de luz y el adaptador especial con fibra óptica mida el número de picos por movimiento micrométrico y determine el número de franjas y la amplitud de la onda formada de las interferencias constructivas y destructivas.

### ➤ Segunda actividad (determinación del índice de refracción del vidrio)

Si entre el separador del haz  $M_s$  y uno de los espejos colocamos una muestra plana de vidrio, de espesor  $d$  e índice de refracción  $n$ ; al variar el ángulo que forma la normal a la muestra de vidrio y el rayo que la atraviesa, las franjas de interferencia se moverán específicamente. Si se rota la muestra desde un ángulo  $\theta_1$  a otro  $\theta_2$  observaremos que por el centro de la imagen de interferencia pasarán  $N$  franjas brillantes. Así tenemos que:

$$N = \frac{2\Delta x}{\lambda} = \frac{2n}{\lambda} \left( \frac{d}{\cos \theta_1} - \frac{d}{\cos \theta_2} \right) \quad (2)$$

Por lo tanto, usando un vidrio montado sobre un goniómetro y contando el número de franjas  $N$  en función del ángulo que rota la muestra podemos determinar el índice de refracción  $n$ . Partiendo de  $\theta_1 = 0^\circ$  realizamos un gráfico de  $N$  en función de

$\left(1 - \frac{1}{\cos \theta_2}\right)$ . A partir de la pendiente de este gráfico determinamos el valor de  $n$  y su incertidumbre.

### ➤ Tercera actividad (Determinación del índice de refracción del aire)

Partimos de la cámara de aire totalmente llena. Para llenarla se acciona la palanca de entrada de aire de la bomba de vacío y se espera hasta que la lectura del manómetro se estabilice en valores de presión atmosférica normal.

Se va entonces produciendo gradualmente el vacío accionado poco a poco la palanca de vacío de la bomba, de forma que podemos controlar la lectura de presión atmosférica en el momento en el que van surgiendo o desapareciendo un número determinado de anillos brillantes por el centro del patrón de interferencia. Por ejemplo, puede tomarse lecturas de presión cuando surjan o desaparezcan 1, 2, 3, 4, 5 y 6 anillos. La variación de camino óptico se puede expresar en función de la variación del número de anillos de la siguiente forma:

$$2l\Delta n = \Delta p\lambda \quad (3)$$

donde  $l$  es la longitud de la cámara (12 mm. de espesor). Podemos calcular  $\Delta n$  para cada una de las medidas de presión atmosférica tomadas y representar  $\Delta n$  en

función de la presión atmosférica .Realizando el correspondiente ajuste por el método de los mínimos cuadrados .obtenga la pendiente de la relación entre la presión y la variación del índice de refracción del aire.



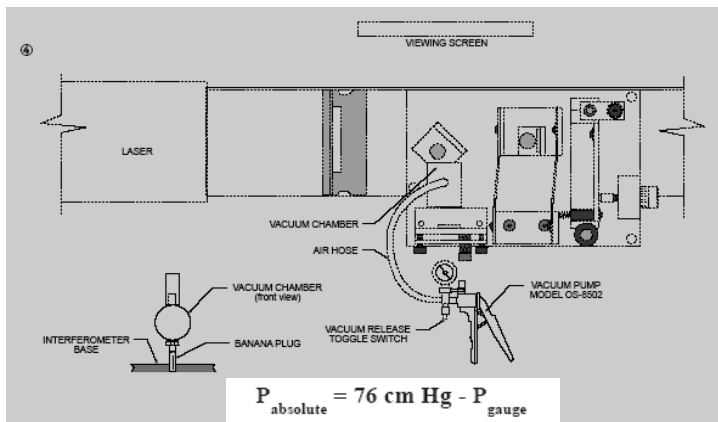
Esquema de los distintos componentes en el modo Michelson, se muestra además una celda de vacío para medir el índice de refracción del aire.

**Tabla de datos correspondientes a las mediciones efectuadas para el cálculo del índice de refracción**

variación angular $\theta$	n

Use la siguiente fórmula para la determinación

$$N = \frac{2nd}{\lambda} \left(1 - \frac{1}{\cos \theta}\right)$$



Representación del arreglo experimental del interferómetro de Michelson

## V CUESTIONARIO

1. ¿Por qué al mover el espejo de un lado a otro se aprecian muchas transiciones de franjas en vez de una? Detalle.
2. ¿Por qué es conveniente tomar varias medidas y promediar los resultados?
3. ¿El interferómetro de precisión nos brindó una buena aproximación para el cálculo del índice de Refracción del vidrio y el aire? Comente.
4. ¿Nuestra experiencia con una fuente de luz láser nos brindó la posibilidad de observar una de las características del interferómetro de Michelson que lo hacen muy útil como espectrómetro? Comente.
5. Hacer un esquema y explicar en detalle el principio de operación y uso de los interferómetros: Fabry-Perot y Twyman-Green.
6. Detalle las características de funcionamiento del láser He-Ne
7. ¿Puede utilizarse el mismo esquema del interferómetro de Michelson para determinar la longitud de onda del sodio y el mercurio?

8. ¿Cómo podemos realizar las calibraciones micrométricas en el interferómetro de Michelson-Morley?
9. Cuando se está midiendo el movimiento del espejo usando el micrómetro, ¿qué factores limitan la exactitud de la medida?
10. ¿Cuál es la principal función del compensador?
11. ¿Explique las relaciones entre coherencia temporal y coherencia espacial y que rol juega en nuestro experimento?
12. ¿Con el experimento de Michelson podemos calcular la velocidad de la luz? Explique cómo.
13. Defina sucintamente: coherencia, ondas coherentes, radiación, incoherente, interferencia.

## LAB N° 2 RADIACIÓN DE UN CUERPO NEGRO

### I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante los conocimientos fundamentales para la comprobación experimental de la radiación de un Cuerpo Negro usando el equipo de espectrometría y determinar las curvas de energía vs longitud de onda para distintas temperaturas.

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible la:

1. Determinación de la longitud de onda variando ángulos
2. Determinación de la temperatura del filamento de la lámpara
3. Determinación de la temperatura de la fuente de luz como un cuerpo negro

### II FUNDAMENTO TEÓRICO

Consideramos una cavidad cuyas paredes están a una cierta temperatura. Los átomos que componen las paredes están emitiendo radiación electromagnética y al mismo tiempo adsorben la radiación emitida por otros átomos de las paredes. El campo de radiación electromagnética ocupa toda la cavidad. Cuando la radiación encerrada dentro de la cavidad alcanza el equilibrio con los átomos en la unidad de tiempo es igual a lo que absorbe. En consecuencia, cuando la radiación dentro de la cavidad está en equilibrio con las paredes, la densidad de energía del campo electromagnético es constante. Los experimentos han mostrado que en el equilibrio, la radiación electromagnética encerrada tiene una distribución de energía bien definida; es decir, a cada frecuencia le corresponde una densidad de energía que depende solamente de la temperatura de las paredes y es independiente de su material.

La densidad de energía correspondiente a la radiación con frecuencia entre  $\nu$  y  $\nu + d\nu$ , donde  $E(\nu)$  es la densidad de energía por intervalo unitario de frecuencias, denominada energía monocromática.

Si se abre un pequeño agujero en una de las paredes de la cavidad, parte de la radiación escapa y se puede analizar. El agujero se ve muy brillante cuando la temperatura es muy alta y la intensidad de la radiación de equilibrio dentro de la cavidad es alta, pero se ve completamente negro a temperaturas bajas cuando la intensidad de la radiación de equilibrio es despreciable en la región visible del espectro. Es por esta razón que denominaron a la radiación cuerpo negro.

Planck obtuvo para la densidad de energía de la radiación de un cuerpo negro la expresión:

$$E(\nu) = \frac{8\pi h\nu^3}{c^3} \frac{1}{e^{h\nu/KT} - 1} \quad (1)$$

donde  $k$  es la constante de Boltzmann. Donde esta expresión concuerda con los valores experimentales de  $E(\nu)$  a muy diversas temperaturas, ha sido aceptada como la expresión correcta para la radiación de un cuerpo negro. Se denomina Ley de Radiación de Planck.

### III. RADIACION DE UN CUERPO NEGRO USANDO EL EQUIPO DE ESPECTROMETRIA

El prisma de  $60^\circ$  es montado en el goniómetro de manera perpendicular al soporte donde incide la luz. La Figura N° 1 muestra el esquema de un prisma y la longitud de camino y la Figura N° 2 muestra el esquema del prisma de  $60^\circ$ .

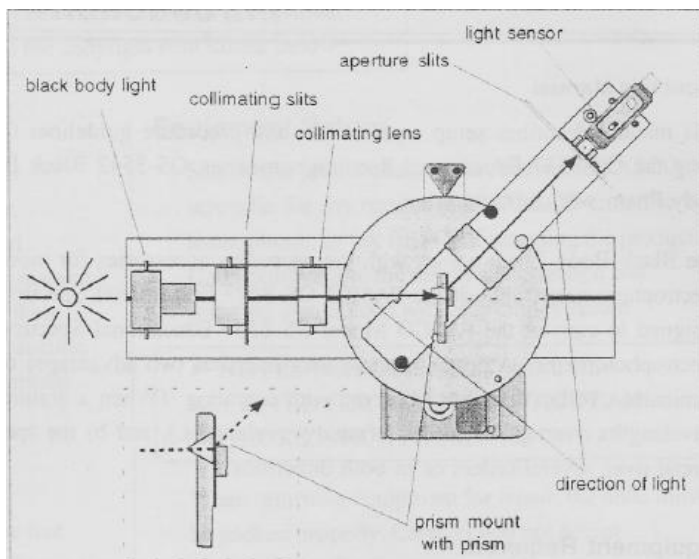


fig. N° 1 Recorrido de la luz a través de un prisma espectrofotométrico

Representación del índice de refracción en función al corrimiento angular

$$n = \sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \text{Sen} \theta + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}} \quad (2)$$

La ecuación de Cauchy esta dado por la relación entre la longitud de onda y el índice de refracción:

$$n(\lambda) = \frac{A}{\lambda^2} + B \quad (3)$$



Donde A y B dependen del tipo de vidrio.

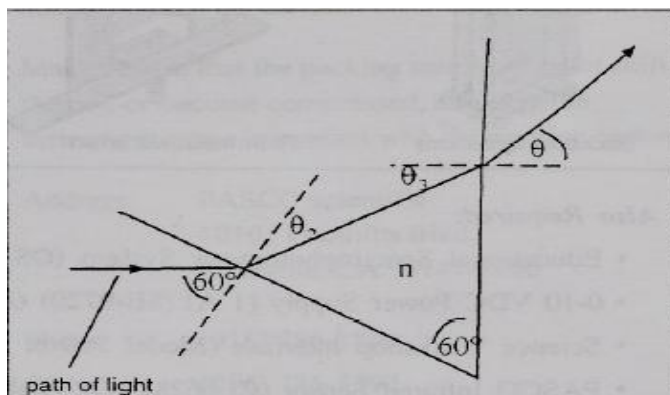


Fig. N° 2 Esquema del Prisma

La Tabla 1 muestra los valores para el uso del prisma.

Indice de Refracción	Longitud de onda ( nm )
1.682	2325.4
1.687	1970.1
1.694	1529.6
1.702	1060
1.703	1014
1.709	852.1
1.717	706.5
1.721	656.3
1.722	643
1.723	632.8
1.728	589.3
1.734	546.1
1.746	486.1
1.762	435.8
1.776	404.7

Para un valor predeterminado del prisma usaremos  $A = 13,9$  y  $B = 1,689$  con la longitud de onda dada por:

$$\lambda = \sqrt{\frac{A}{n - B}} \quad (4)$$

Reemplazando valores en la ecuación tenemos:

$$\lambda = \frac{13,9}{\sqrt{\left(\frac{2}{\sqrt{3}} \text{Sen } \theta + \frac{1}{2}\right)^2 + \frac{3}{4}} - 1,689} \quad (5)$$

#### IV MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	<input type="checkbox"/> Interfase Science Workshop 750	CI-7650	1
2	<input type="checkbox"/> Software Data Studio		1
3	<input type="checkbox"/> Espectrofotómetro	OS-8539	1
4	<input type="checkbox"/> Kit de espectrometría	EX9920	1
5	<input type="checkbox"/> Sensor de movimiento rotacional	CI-6538	1
6	<input type="checkbox"/> Sensor de luz	CI-6504	1
7	<input type="checkbox"/> Sensor infrarrojo	CI-6628	1
8	<input type="checkbox"/> Filtro infrarrojo		1
9	<input type="checkbox"/> Base pequeña con soporte de varillas		1
10	<input type="checkbox"/> Riel óptico	OS-8541	1
11	<input type="checkbox"/> Prisma de 60°	OS-8544	1
12	<input type="checkbox"/> Soporte de prisma		1
13	<input type="checkbox"/> Fuente de luz para el cuerpo negro	SE-8509	1
14	<input type="checkbox"/> Sensor de voltaje	CI-6503	1
15	<input type="checkbox"/> Amplificador de potencia	CI-6552A	1
16	<input type="checkbox"/> Cables tipo banana (rojo y negro)	SE-9751	1

#### V.:PROCEDIMIENTO

1. Monte el equipo de espectrometría, utilizando el goniómetro y el sensor de movimiento rotacional colocando la punta del piñón en el eje giratorio del goniómetro
2. Coloque el prisma de 60° en el soporte especial en la parte central del goniómetro e instale el lente focal en la marca predeterminada del goniómetro.

3. Monte las rejillas colimadoras y colóquelas en la tercera apertura.
4. Instale el lente colimador.
5. Ajuste la fuente de luz en el riel óptico.
6. Monte el sensor de luz y coloque el disco colimador en la tercera apertura.
7. Conecte los terminales de la fuente de luz del cuerpo negro al amplificador de potencia.
8. Ajuste el sensor de movimiento rotacional en 1440 vueltas.
9. Use el sensor de luz en ganancia 1x y a baja sensibilidad.
10. Instale el sensor de voltaje con una recomendación de inicio de 5 voltios y 50 Hz en el generador de funciones.
11. Varíe el voltaje dentro de un rango de 5 a 10 voltios.
12. Cambie la temperatura de la lámpara variando el voltaje aplicado a ella, la temperatura se calcula variando el voltaje y la corriente, según:

$$T(K) = 300 + ((\text{voltaje} / \text{corriente}) / 0.84 - 1) / 0.0045$$

13. Para cada temperatura determine el pico máximo ( $\lambda_{\text{max}}$ ) de la longitud de onda.
14. Prepare las graficas de Intensidad Luminosa vs Longitud de onda, Intensidad Luminosa vs Posición Angular, Voltaje vs Tiempo y Temperatura vs Tiempo.

### ➤ INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

Para alinear y equilibrar las diferentes componentes del espectrofotómetro existen diversos tornillos. No deben tocarse cuando el aparato está ajustado. Normalmente el aparato debe estar alineado. Si no es así, consulte con el Profesor del Laboratorio antes de intentar alinearlos tu mismo.

#### • Calibración del sensor de movimiento rotacional.-

Determinar la longitud de onda desde un prisma espectrométrico requiere de una medida exacta del ángulo. La calibración del sensor de movimiento rotacional determina el radio del disco. El radio del pin es aproximadamente (60:1)

## VI ACTIVIDADES

### ➤ Primera Actividad.- Determinación de la longitud de onda variando el voltaje

En el Data Studio la ecuación para la determinación de la longitud de onda es determinada por la definición en la calculadora de la longitud de onda, según:

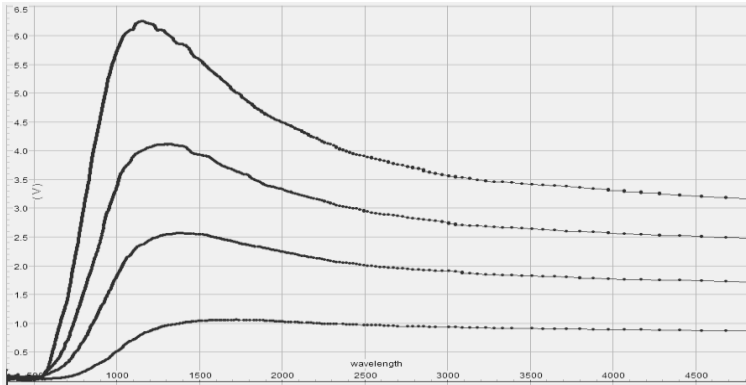
$$\text{Longitud de onda} = (3 * 10^3) / A + B * n + C * n^2 + D * n^3 + E * n^4 + F * n^5 + G * n^6 + H * n^7 + I * n^8)^5$$

$$n = \text{filtro}(1.679,10,((1.1547 * \text{sen}((\text{inicial} - \text{filtro}(0,20,\text{angulo}))/\text{radio} + 0.5))^2 + 0.75)^{0.5})$$

$$\text{angulo inicial} = 72.40$$

$$\text{radio} = 59.50$$

$$\text{Calculo teorico} = A 6e - 29/(((x * 1e - 9)^5) * (\exp(1.989e - 25/(1.38e - 32 * x * T) - 1)))$$



Grafica N° 1 longitud de onda Vs. Voltaje aplicado

➤ **Segunda Actividad.- Determinación de la temperatura de la fuente de luz como un cuerpo negro.**

La temperatura de la lámpara caliente puede ser calculada a partir de una resistencia desconocida a temperatura ambiente. La resistencia de la lámpara viene dada por:

$$R = R_0(1 - \alpha_0(T - T_0)) \tag{6}$$

Donde  $\alpha_0$  es el coeficiente térmico a temperatura ambiente. El filamento de la lámpara de tungsteno tiene un valor de  $\alpha_0 = 4.5 \times 10^{-3} / ^\circ K$

La solución de la ecuación (15) para alta temperatura es dada por:

$$T = T_0 + \frac{\frac{R_0}{R} - 1}{\alpha_0} \tag{7}$$

La lámpara tiene aproximadamente una resistencia de  $0.84\Omega$  a temperatura ambiente. Determinamos la resistencia de la lámpara, midiendo la caída de voltaje a través de la lámpara y la corriente que la atraviesa, usando la ley de Ohm:  $V = IR$ .

La corriente es determinada desde la salida del amplificador de potencia, La ecuación final para la temperatura ( $^{\circ}K$ ) de la lámpara es dada por:

$$T = 300^{\circ}k + \frac{\frac{v/I}{0.84} - 1}{4.5 \times 10^{-3} k} \quad (8)$$

➤ **Tercera Actividad.- Determinación de la temperatura de la lámpara.**

En el Data Studio la temperatura de la bombilla de la fuente de luz de un cuerpo negro puede ser visualizada usando la calculadora. La visualización de la ecuación para la temperatura es dada por:

$$T(K) = 300 + ((\text{voltaje} / \text{corriente}) / 0.84 - 1) / 0.0045$$

- Voltaje: Es el voltaje a través de la bombilla
- Corriente: Es la corriente que pasa a través de la bombilla.
- 0.84 es el valor de la resistencia de la bombilla a temperatura ambiente
- 0.0045 es el coeficiente térmico.

**Tabla N° 1 TEMPERATURA DEL CUERPO NEGRO**

Espectro de Color	Grado	$\theta(\text{radianes})$	$n$	$\lambda$
Rojo	58	1.01		
Amarillo	59	1.03		
Verde	60	1.05		
Azul	61	1.06		
Violeta	62	1.08		

Compruebe a partir del ángulo inicial:  $76,8\text{grados}(1,33\text{rad})$  la siguiente tabla:

corrida de datos	Tiempo	Voltaje	$\Delta V$	$Temp(^{\circ}K)$	$\Delta T$	$\lambda$	(radianes)
1		1	1		---		
		2	1				
		3	1				
		4	1				
		5	1				
		6	1				

## Tabla N° 2 DATOS ESPECTRALES

### VII CUESTIONARIO

1. ¿La intensidad de luz está relacionada con la temperatura del filamento de la lámpara, esto es  $I \propto T^4$  ?
2. ¿Cuál es el rol principal del prisma espectrofotométrico?
3. Si reemplazamos la lámpara de cuerpo negro por otra, ¿cambiará la intensidad luminosa del cuerpo incandescente? O es que sólo depende de su temperatura.
4. ¿Cuál es el rango de operación del sensor de luz y cuál es su principal ventaja frente al sensor de luz infrarroja? Detalle.
5. ¿El ángulo de la onda está directamente relacionada con el comportamiento de la refracción?
6. Use la ley de desplazamiento de Wien y determine  $\lambda_{\max} T = 2898 \mu\text{m.K}$  y calcule  $\lambda_{\max}$ .
7. ¿El cambio de la temperatura de la lámpara afecta a la longitud de onda o a la intensidad luminosa?
8. ¿Qué sucedería si retiras los lentes colimadores?
9. ¿Cómo se relacionan el ángulo de luz, la longitud de onda y la intensidad?
10. Reemplace el sensor de luz infrarroja por el sensor de alta sensibilidad. ¿Qué diferencia encuentra en sus graficas?

## LAB N° 3 LEY DE STEFAN- BOLTZMANN PARA ALTAS TEMPERATURAS

### I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante los conocimientos fundamentales para la comprobación experimental de la ley de Stefan-Boltzmann para la radiación de un cuerpo negro utilizando una lámpara de Stefan-Boltzmann y un sensor de radiación térmica.

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible:

1. La comprobación experimental de la ley de Stefan-Boltzmann.
2. El cálculo de la dependencia de la 4<sup>ta</sup> potencia.
3. El cálculo de las temperaturas emitidas por la lámpara.

### II. FUNDAMENTO TEÓRICO

Se denomina cuerpo negro al sistema que es capaz de absorber toda la radiación que le llega. Debido a esta propiedad se puede inferir que, independientemente de su composición, todos los cuerpos negros emiten con la misma distribución espectral cuando se encuentran a la misma temperatura T. Si consideramos la excitancia espectral  $R_{\lambda_{cn}}$  de un cuerpo negro a una temperatura T (energía radiante emitida por unidad de tiempo, unidad de área y unidad de longitud de onda) se comprueba experimentalmente que ésta viene dada por la ley de Planck.

$$R_{\lambda_{cn}}(\lambda, T) d\lambda = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5} \frac{1}{\exp(hc / \lambda kT) - 1} d\lambda \quad (1)$$

Siendo:

- h la constante de Planck  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ Js}$
- c la velocidad de la luz  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
- k la constante de Boltzmann  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ Jk}^{-1}$

La obtención de esta ley tuvo gran importancia en los comienzos de la física cuántica, puesto que supuso la introducción del concepto cuanto de energía.

A partir de la ley de Planck se pueden deducir una serie de consecuencias que vienen a coincidir con las leyes empíricas experimentalmente probadas. De ellas las más conocidas son:

- 1) Se comprueba que la longitud de onda  $\lambda_{m\acute{a}x}$  para la que se obtiene un máximo de emisión que viene dada por la ley de desplazamiento de Wien.
- 2) Integrando la ley de Planck para todas las longitudes de ondas se obtiene la ley de Stefan-Boltzmann.

$$R_{cn}(T) = \sigma T^4 \quad (2)$$

Según la cual la excitancia radiante de un cuerpo negro es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta, donde:

$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W / (m}^2 \text{ K}^4 \text{)}$  representa la constante de Stefan-Boltzmann

Tenemos que la proporcionalidad entre la Radincia total con la cuarta potencia de la temperatura se mantiene aún cuando para un cuerpo “gris” de emisividad constante e inferior a la unidad.

Para verificar la validez de esta ley, se mide la radiación emitida por el filamento de la lámpara para la cual representa un buen cuerpo gris.

Para una distancia fija entre el filamento y la termopila, la potencia que llega al detector es proporcional a la radiancia:  $P \approx R(T)$ .

Puesto que la fuerza electromotriz de salida de la termopila es proporcional a la potencia incidente, se sigue que:  $V_{ter} \approx T^4$  para cuando la termopila se encuentra a una temperatura de  $0^\circ \text{ K}$ . Puesto que el detector se encuentra a la temperatura ambiente  $T_{amb}$ , también radia de acuerdo a la ley de  $T^4$ , por lo que la Fem en los bordes del detector resulta:  $V_{ter} \approx (T^4 - T_{amb}^4)$

Para los valores utilizados podemos despreciar la temperatura ambiente puesto que es muy inferior a la del filamento. Entonces se puede escribir:

$$\text{Ln}V_{ter} = 4 \text{Ln}T + \text{cte} \quad (3)$$

De acuerdo con la ley de Stefan-Boltzmann, la energía emitida por un cuerpo negro en la unidad de área durante una unidad de tiempo es proporcional a la cuarta potencia de la temperatura absoluta. Esta ley también es válida para el “cuerpo gris” cuya superficie muestra un coeficiente de absorción inferior a uno y es independiente de la longitud de onda. En el experimento, el “cuerpo gris” está representado por el filamento incandescente de la lámpara, en nuestro caso utilizaremos un filamento de tungsteno.

La temperatura emitida por la lámpara se calcula de la siguiente manera:



$$T_{em} = \frac{R - R_{referen}}{\alpha R_{referen}} + T_{referen} \quad (4)$$

$$\alpha = 4,5 \times 10^{-3} K^{-1} \quad (5)$$

Donde:

$R_{referencia}$  : Resistencia del filamento de la lámpara antes de empezar el experimento

$T_{referencia}$  : Temperatura ambiente

### III. MATERIALES

N°	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Sensor de radiación	TD-8553	1
2	Ohmmímetro	SE-9786A	1
3	Voltímetro	SE-9786A	1
4	Fuente de voltaje (0 – 20 V)	SF-9584A	1
5	Lámpara de Stefan Boltzmann	TD-8555	1

Especificación de los materiales

Sensor de Radiación

- Rango de Temperatura:  $-65^{\circ}$  a  $85^{\circ}C$
- Potencia de incidencia máxima:  $0.1 \text{ Watts/cm}^2$
- Respuesta espectral: 6 a 30 micrómetros
- Salida de la señal: Lineal desde  $10^{-6}$  a  $10^{-1} \text{ watts/cm}^2$

Lámpara de Stefan Boltzmann

- Utiliza conectores de tipo banana
- Entradas de voltaje menores a 13V
- Con un mínimo de 2 amperios de entrada y un máximo de 3 amperios.

### IV. PROCEDIMIENTO

1. Montar el equipo como se muestra en la figura (1).
2. Tener en cuenta que la lámpara de Stefan-Boltzmann y el sensor deben estar ubicados frente a frente (para que el sensor capte todas las radiaciones) y separados 6 cm. aproximadamente (tomar la medida a partir del centro del foco de la lámpara hasta la parte inicial del sensor).

3. Medir la resistencia de la lámpara (antes de empezar el experimento).
4. Medir la temperatura ambiente.
5. Empezar con el experimento.
6. Inicialmente, se aplica una tensión de 1V AC a la lámpara y se rota la termopila que está ubicada a 6 cm. de la lámpara hasta que la lectura a la salida del detector sea máxima. El eje del filamento cilíndrico debe estar perpendicular al eje del banco óptico. Antes de tomar las lecturas, se debe llevar la indicación a cero, para lo cual es necesario retirar la lámpara del montaje y luego ajustar la salida del amplificador hasta obtener una lectura nula. Luego de reponer la lámpara, se pueden tomar las lecturas después de haber alcanzado el equilibrio, esto toma alrededor de un minuto.
7. Colocar los valores obtenidos en la tabla.

### Recomendaciones

- Se debe evitar que cualquier otra señal infrarroja alcance el sensor a fin de evitar la distorsión de las medidas.
- No se debe de superar los 13 V en la lámpara, aunque la fuente puede suministrar más. La sobre tensión acortaría sensiblemente la vida de la lámpara.

## V. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL



**Figura1:** Configuración Experimental para la comprobación de la ley de Stefan – Boltzmann

- (Primera actividad: Toma de datos a temperatura ambiente)

$$T_{\text{ambiente}} = \text{_____}^{\circ}\text{K}$$

$$R_{\text{referencia}} = \text{_____} \text{K}\Omega$$

➤ (Segunda actividad: toma de datos de voltaje y amperaje y cálculo de la temperatura)

V	V (REAL)	I (A)	RAD (MV)	R (V/I)	T (K)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

Procedimiento para el cálculo del exponente n:

$$R(T) = KT^n \quad (6)$$

TABLA DE EQUIVALENCIAS ENTRE RESISTENCIA Y TEMPERATURA

Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)	Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)	Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)	Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)	Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)	Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)	Therm. Res. (Ω)	Temp. (°C)
207,850	10	66,356	34	24,415	58	10,110	82	4,615.1	106	2,281.0	130		
197,560	11	63,480	35	23,483	59	9,767.2	83	4,475.0	107	2,218.3	131		
187,840	12	60,743	36	22,590	60	9,437.7	84	4,339.7	108	2,157.6	132		
178,650	13	58,138	37	21,736	61	9,120.8	85	4,209.1	109	2,098.7	133		
169,950	14	55,658	38	20,919	62	8,816.0	86	4,082.9	110	2,041.7	134		
161,730	15	53,297	39	20,136	63	8,522.7	87	3,961.1	111	1,986.4	135		
153,950	16	51,048	40	19,386	64	8,240.6	88	3,843.4	112	1,932.8	136		
146,580	17	48,905	41	18,668	65	7,969.1	89	3,729.7	113	1,880.9	137		
139,610	18	46,863	42	17,980	66	7,707.7	90	3,619.8	114	1,830.5	138		
133,000	19	44,917	43	17,321	67	7,456.2	91	3,513.6	115	1,781.7	139		
126,740	20	43,062	44	16,689	68	7,214.0	92	3,411.0	116	1,734.3	140		
120,810	21	41,292	45	16,083	69	6,980.6	93	3,311.8	117	1,688.4	141		
115,190	22	39,605	46	15,502	70	6,755.9	94	3,215.8	118	1,643.9	142		
109,850	23	37,995	47	14,945	71	6,539.4	95	3,123.0	119	1,600.6	143		
104,800	24	36,458	48	14,410	72	6,330.8	96	3,033.3	120	1,558.7	144		
100,000	25	34,991	49	13,897	73	6,129.8	97	2,946.5	121	1,518.0	145		
95,447	26	33,591	50	13,405	74	5,936.1	98	2,862.5	122	1,478.6	146		
91,126	27	32,253	51	12,932	75	5,749.3	99	2,781.3	123	1,440.2	147		
87,022	28	30,976	52	12,479	76	5,569.3	100	2,702.7	124	1,403.0	148		
83,124	29	29,756	53	12,043	77	5,395.6	101	2,626.6	125	1,366.9	149		
79,422	30	28,590	54	11,625	78	5,228.1	102	2,553.0	126	1,331.9	150		
75,903	31	27,475	55	11,223	79	5,066.6	103	2,481.7	127				
72,560	32	26,409	56	10,837	80	4,910.7	104	2,412.6	128				
69,380	33	25,390	57	10,467	81	4,760.3	105	2,345.8	129				

## VI. CUESTIONARIO

1. Grafique en papel logarítmico  $R = R(T)$  y mida el valor de la pendiente y observa la dependencia a la cuarta potencia.
2. ¿Del experimento se logra comprobar la dependencia a la cuarta potencia? Exprese su porcentaje de error.
3. ¿La Ley de Stefan Boltzmann es perfectamente cierta sólo para la radiación ideal del cuerpo negro?
4. ¿Un cuerpo negro es cualquier objeto que absorbe toda la radiación que incide sobre él?
5. ¿Es el filamento de la Lámpara un verdadero cuerpo negro?
6. ¿Qué fuente de radiación térmica, aparte del filamento de la lámpara, podría haber influenciado en tus medidas?
7. ¿Qué efecto esperarías de estas fuentes en sus resultados?
8. ¿La temperatura ambiente es casi despreciable para el experimento? Detalla por qué.
9. ¿Qué nos representa el voltaje real y por qué es necesario tomarlo en cuenta?
10. ¿Podría tomarse como emisión luminosa, aparte de la cuba de radiación térmica, otro equipo experimental? Comente.
11. Defina que es una termopila y explique los tipos de termopilas existentes para la realización experimental.
12. ¿Qué relación existe entre Rad. vs.  $T$ ? ¿Existe una interrelación entre los rangos de medición?

## LAB N° 4 LEY DE STEFAN- BOLTZMANN PARA BAJAS TEMPERATURAS

### I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante los conocimientos fundamentales para la comprobación experimental de la Ley de Stefan-Boltzmann para la radiación de un cuerpo negro utilizando una cubeta de radiación térmica. Así, es posible mostrar que la ley experimental a bajas temperaturas es válida. Tendremos presente que la temperatura ambiente  $T_0$  no será ignorada.

### II. FUNDAMENTO TEÓRICO

En este experimento se estudiará la ley de Stefan-Boltzmann a muy bajas temperaturas usando la cubeta de radiación térmica. A esas bajas temperaturas la temperatura ambiente no puede ser ignorada.

Si el detector en el sensor de radiación opera a la temperatura del cero absoluto, se producirá un voltaje directamente proporcional a la intensidad de la radiación que incide. Sin embargo, el detector no está a la temperatura del cero absoluto así que también está irradiando energía térmica. Según la ley de Stefan-Boltzmann, irradia energía térmica a una razón:

$$R_{\text{det}} = sT_{\text{det}}^4 \quad (1)$$

El voltaje producido por el sensor es proporcional a la radiación incidente en el detector menos la radiación emitida. Luego:

$$R_{\text{net}} = R_{\text{rad}} - R_{\text{det}} = s(T^4 - T_{\text{det}}^4) \quad (2)$$

Si se protege el sensor de radiación del cubo de radiación cuando no se está midiendo, en ese momento  $T_{\text{det}}$  estará muy cerca de la temperatura ambiente.

La ley de Stefan-Boltzmann se puede verificar a bajas temperaturas usando la cubeta de radiación térmica (TD-8554A) y el sensor de radiación térmica (TD-8553)

Con la cubeta de radiación térmica, los estudiantes controlan la temperatura (hasta 120° C) y observan el paso de la radiación a través de cuatro superficies diferentes: negra, blanca, y dos de aluminio.

Con el sensor de radiación, los estudiantes pueden investigar la radiación de diversas superficies a una sola temperatura; la radiación de una sola superficie a diversas temperaturas (ley de Stefan-Boltzmann) y las características absorbentes y reflexivas de la radiación emitida.

### III. MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Ohmiómetro	SE-9786A	1
2	Voltímetro	SE-9786A	1
3	Cubeta de radiación térmica	TD-8554A	1
4	Sensor de radiación térmica	TD-8553	1
5	Un reflector		1

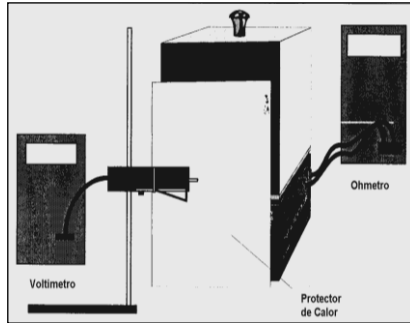


Figura Nº 1 Cubeta de Radiación Térmica

### IV. PROCEDIMIENTO

1. Con la cubeta de radiación térmica apagada medimos la resistencia “ $R_m$ ” del termistor a temperatura ambiente.
2. Colocamos el protector de calor entre el sensor y el cubo con el lado reflectante del protector frente al cubo.
3. Encendemos la cubeta de radiación y la fijamos en 10 V.
4. Incrementamos la temperatura dentro del rango de 12 a 15 °C y variamos el selector de la cubeta al punto mínimo de modo que la temperatura esté cambiando lentamente. Lea y anote 12 datos de ohmios y rad. La lectura se efectuará en milivoltios.

## V. CONFIGURACIÓN EXPERIMENTAL



**Figura N° 2.- Representación de los equipos a utilizar**

- Primera Actividad (medir la temperatura y la resistencia de referencia)

$$T_{\text{referencia}} = \text{_____} \text{ K}$$

$$R_{\text{referencia}} = \text{_____} \text{ k}\Omega$$

Las variaciones se efectuarán entre un rango de temperaturas de 12 a 15°C hasta llegar al máximo valor.

### Tabla de Datos Experimentales

Resistencia (kΩ)	Rad. (mV)	T °C	T (k)	$T_k^4$	$T_k - T_{\text{ref}}$	$T_k^4 - T_{\text{ref}}^4$



Use la tabla de la cubeta de Radiación Térmica para determinar el valor de la temperatura  $T_c$  correspondiente a cada una de las medidas de resistencia del termistor. Para cada valor de  $T_c$  determine la temperatura  $T_k$  correspondiente al valor en grados Kelvin, según: ( $^{\circ}K = ^{\circ}C + 273^{\circ}$ )

- Determinar la Temperatura ambiente  $T_m$
  - Calcular  $T_k^4$  para cada valor de  $T_k$  y almacenar los valores en tabla.
  - Calcular  $T_k^4 - T_{amb}^4$  para cada valor de  $T_k$  y almacenar sus resultados en tabla.
  - En una hoja de papel milimetrado construya el gráfico Rad. vs.  $T_k^4 - T_{amb}^4$
- Segunda Actividad (Examinar la radiación emitida por un objeto a través de su superficie usando la cubeta de radiación térmica)

**Tabla N° 1** Ajuste de Potencia 5

Resistencia del Thermistor	$K\Omega$
Temperatura	$^{\circ}C$
Superficie	Lectura del sensor en ( $mV$ )
Negro	
Blanco	
Aluminio opaco	
Aluminio pulido	

**Tabla N° 2** Ajuste de Potencia 6

Resistencia del Thermistor	$K\Omega$
Temperatura	$^{\circ}C$
Superficie	Lectura del sensor en ( $mV$ )
Negro	
Blanco	
Aluminio opaco	
Aluminio pulido	

**Tabla N° 3** Ajuste de Potencia 7

Resistencia del Thermistor	$K\Omega$
Temperatura	$^{\circ}C$
Superficie	Lectura del sensor en ( $mV$ )
Negro	
Blanco	
Aluminio opaco	
Aluminio pulido	

**Tabla N° 4** Ajuste de Potencia 8

Resistencia del Thermistor	$K\Omega$
Temperatura	$^{\circ}C$
Superficie	Lectura del sensor en ( $mV$ )
Negro	
Blanco	
Aluminio opaco	
Aluminio pulido	

## VI. CUESTIONARIO

1. ¿Los resultados obtenidos para altas y bajas temperaturas guardan similitud? Explique de acuerdo a sus resultados.
2. ¿Cuál es el valor encontrado para la constante de Boltzmann y el porcentaje de error respecto al valor teórico aceptado?
3. A menudo se dice que los colores oscuros son buenos emisores y absorbentes de radiación, mientras que los colores muy claros son malos emisores y absorben radiación (especialmente térmica) ¿Cómo lo explicarías?
4. Calcule el valor de  $T_k$  para las diversas temperaturas a las que se ha trabajado y compararlo con los diferentes niveles energéticos atómicos y moleculares.
5. Comenta tus resultados a bajas temperaturas en la proximidad al ambiente.
6. Colocar en una lista las superficies de la Cubeta de Radiación Térmica en el orden de la cantidad de radiación emitida por ellas. ¿Es la distribución independiente de la temperatura?

# LABORATORIO N° 5 EXPERIMENTO DE MILLIKAN: MEDIDA DE LA CARGA ELECTRICA DEL ELECTRON

## I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante el conocimiento fundamental para comprobar que la carga eléctrica se presenta en múltiplos enteros de una carga fundamental, y medir el valor de esta carga que corresponde a la del electrón.

## III. FUNDAMENTO TEÓRICO

A fines del siglo XIX se conocía con buena precisión la relación carga/masa del electrón. Estas mediciones se realizaron en tubos de rayos catódicos, desviando la dirección de las cargas por medio de campos eléctricos o magnéticos. En 1913 Robert Millikan reportó el valor medido por él para la carga del electrón.

El método utilizado por Millikan consistió en introducir pequeñas gotas de aceite en una cámara vacía. Las gotas de aceite al descender hacia el condensador adquieren carga eléctrica por medio de una muestra radioactiva (emisor beta) localizada en la parte superior de la cámara. Cuando las gotas de aceite llegan al condensador, estas caerían debido a su propio peso. Sin embargo, se puede aplicar una diferencia de potencial entre las placas del condensador para mover las gotas hacia abajo y hacia arriba. Si medimos la velocidad de bajada y subida de las gotas de aceite podremos calcular la carga neta de la gota examinada.

Cuando una gota de aceite de radio  $r$  cae, la fuerza de resistencia debido a la fricción con el aire está dada por:

$$F_{fr} = 6\pi\eta v_f r \quad (1)$$

Donde  $\eta$  es la viscosidad del aceite usado y  $v_f$  es la velocidad de la gota.

Para una gota de carga  $q$  que se mueve con velocidad constante hacia abajo, debido a la aplicación de una diferencia de potencial  $V$  entre las placas del condensador, de la resultante de fuerzas, obtenemos lo siguiente:

$$mg + \frac{qV}{d} = 6\pi\eta v_f r \quad (2)$$

Donde  $v_f$  es la velocidad de bajada de la gota y  $d$  la separación entre las placas.

Cuando la gota sube tenemos:

$$-mg + \frac{qV}{d} = 6\pi\eta v_r r \quad (3)$$

Donde  $v_r$  es la velocidad de subida de la misma gota.

Si restamos las dos ecuaciones anteriores, obtenemos:

$$2mg = 6\pi\eta(v_f - v_r)r \quad (4)$$

Si asumimos que la gota es aproximadamente esférica. Su masa vendría dada por:

$$m = \frac{4}{3}\rho\pi r^3 \quad (5)$$

Donde  $\rho$  es la densidad de la gota y  $r$  su radio.

Reemplazando (5) en (4) obtenemos el radio  $r$  de la gota en términos de las velocidades y de las otras constantes,

$$r = \frac{3}{2}\sqrt{\frac{\eta}{\rho g}}(v_f - v_r) \quad (6)$$

Si sumamos las ecuaciones (2) y (3) obtendremos:

$$2q\frac{V}{d} = 6\pi\eta(v_f + v_r)r \quad (7)$$

Sustituyendo el valor de  $r$  obtenido en (6) en (7), tenemos:

$$q = \frac{a}{V}(v_f + v_r)\sqrt{(v_f - v_r)} \quad (8)$$

Donde la constante  $a$  es:

$$a = \frac{9\pi}{4}\sqrt{\frac{\eta^3 d^2}{\rho g}} \quad (9)$$

La ley de Stokes no se cumple cuando la velocidad de caída de las gotas es menor a  $0.1\text{cm/s}$ . Como la velocidad de la gota de aceite usada en el experimento está en el rango de  $0.01$  a  $0.001\text{cm/s}$ , debe introducirse un factor de corrección.

La viscosidad efectiva resultante es:

$$\eta_{\text{eff}} = \eta\left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}}\right) \quad (10)$$

Donde  $b$  es una constante y  $p$  es la presión atmosférica.

Reemplazando (10) en (9) tenemos:

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \left(\frac{9\eta v_f}{2g\rho}\right)} - \frac{b}{2p} \quad (11)$$

Sustituyendo:

$$m = \frac{4}{3}\pi\left(\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho}} - \frac{b}{2p}\right)^3\left(\frac{v_f + v_r}{Ev_f}\right) \quad (12)$$

Finalmente:

$$q = \frac{4}{3}\pi\rho g\left(\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho}} - \frac{b}{2p}\right)^3\left(\frac{v_f + v_r}{Ev_f}\right) \quad (13)$$

Donde:



- $q$  = Carga en coulombs, carga de la gota suspendida
- $\eta$  = Densidad del aire =  $1.81 \times 10^{-5}$  Ns/m<sup>2</sup>
- $d$  = Separación de las placas en el condensador
- $\rho$  = Densidad del aceite 886 kg/m<sup>3</sup>
- $g$  = Aceleración de gravedad = 9,8 m/s<sup>2</sup>
- $b$  = Constante =  $8.20 \times 10^{-3}$  Pa.m
- $p$  = Presión barométrica en pascales =  $10^5$  Pascales
- $r$  = Radio de la gota de aceite en mts.
- $v_f$  = Velocidad de caída
- $v_r$  = Velocidad de subida

### III MATERIALES

- Aparato de Millikan
- Multitester digital básico
- Fuente de Poder de alto voltaje
- Una base de varilla enrroscable
- Varilla de 45 cm. de longitud
- Cable con terminal tipo banana (rojo)
- Cable con terminal tipo banana (negro)
- Placas paralelas
- Cronómetro mecánico
- Bomba de aceite
- Aceite



Figura N° 1 Configuración de Experimento

### IV PROCEDIMIENTO

- Conecte la fuente y aumente gradualmente el potencial aplicado a las gotas hasta 100 V.
- Rocíe unas pocas gotas por el orificio de la cámara de ionización teniendo cuidado de no saturarla.
- Active la fuente de partículas alfa  $Th232$  de actividad  $0.008 \mu Ci$  y vida media de  $1.41 \times 10^{10}$  años, para polarizar la gota de aceite.
- Ilumine las gotas.
- Enfoque el telescopio hasta que vea claramente algunas gotas. Al invertir la polaridad de las placas verá que éstas cambian su sentido de movimiento.

- Seleccione una gota, ponga los relojes en cero y empiece a seguirla en su recorrido de ascenso y descenso. Debido a que el telescopio invierte la imagen, la gota que ve subir está bajando y viceversa. Anote el tiempo de subida y bajada entre la región graduada.

➤ **Primera actividad** (Medida de la carga fundamental del electrón)

En el siguiente análisis debe suponerse que la carga de cualquier gota es  $n$  veces la carga del electrón, donde  $n$  es un número entero positivo.

- Si la distancia que recorre la gota hacia arriba o hacia abajo es de 1.0 mm, calcule la velocidad de subida y bajada de cada gota.
- Con el uso del atomizador rocíe gotitas de aceite en la placa superior del condensador y simultáneamente anote la resistencia - después interpolar para calcular la temperatura - y el voltaje que marcan los voltímetros.
- Mover la palanca de ionización a la posición OFF no permitiendo el flujo de partículas alfa de la fuente de Torio 232.
- Teniendo el patrón reticular en el fondo anote la distancia recorrida por la gota y el intervalo de tiempo transcurrido por la gota en estudio.
- Con los tiempos y espacios recorridos por la gota en la experiencia, hallar la velocidad de la gotita.
- Encender el amplificador de voltaje y aplicar una diferencia de potencial entre (0-500V) y una intensidad de corriente mínima.
- Tomando en consideración la polaridad que está usando, ya sea (+) ó (-), comenzará a visualizar la caída de la gota de aceite, para la cual se tomará el tiempo en que caerá al desplazarse por la separación reticular, con una velocidad de caída y luego medimos el tiempo cuando llega a la parte inferior de la placa del condensador.
- Repita el mismo paso ahora cambiando la polaridad del control, entonces la gota tendrá una velocidad de subida para la cual medirá el tiempo de subida. Para determinar las velocidades de subida y de caída.

$$d' = V_f t \rightarrow V_f = \frac{d'}{t} \quad (14)$$

- Con los datos adquiridos en la experiencia hallar la carga de la gota de aceite y compararlo con su valor teórico ( $e = 1,6 \times 10^{-19} C$ ).

## V CUESTIONARIO

- Como resultado final para la carga de un electrón, determine el promedio de los valores obtenidos.
- Calcule el error en su medida de la carga del electrón para cada gota, teniendo en cuenta que el error en la medida de las distancias es de  $\pm 0.1$  mm. El error en la medida de los tiempos es de  $\pm 0.01$  segundos, y el

error en el valor de  $a$  es 10% . Finalmente, combine en cuadratura errores obtenidos para encontrar la incertidumbre en la carga promedio.

3. Compare el valor hallado por usted con el valor medido y aceptado de  $e = 1,602 \pm 0,000.00049 \times 10^{-19} C$
4. ¿Cuál es la función principal de la fuente radiactiva  ${}^{th} - 232$  ?

# LABORATORIO N° 6 DETERMINACIÓN DE LA RELACIÓN CARGA-MASA DEL ELECTRÓN

## I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante el conocimiento fundamental para la comprobación experimental de la relación carga-masa del electrón.

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible:

1. Conseguir un valor aproximado para la relación entre la carga  $q$  de un electrón y su masa  $m$ .
2. Verificar el comportamiento de una partícula cargada bajo el efecto de un campo eléctrico aplicado.
3. Verificar el comportamiento de una partícula cargada bajo el efecto de un campo magnético aplicado.

## II. FUNDAMENTO TEORICO

Cuando una partícula con carga  $q$ , inicialmente en reposo, es acelerada mediante una diferencia de potencial  $\phi$ , ésta adquiere una cierta energía cinética de tal forma que:

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\phi \quad (1)$$

donde  $m$  es la masa de la partícula y  $v$ , la rapidez que adquiere.

Si la partícula es sometida a la acción de un campo magnético uniforme de magnitud  $B$ , ella experimentará la fuerza de Lorentz:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} \quad (2)$$

Luego, si la partícula se mueve perpendicularmente al campo magnético, la fuerza que experimentará será ortogonal a su velocidad pero no afectará la magnitud de la misma de tal forma que la partícula cargada se moverá bajo la influencia de una fuerza cuya magnitud es constante, pues  $\vec{B}$  es uniforme, y que siempre es perpendicular a su velocidad, por tanto describirá una trayectoria circular.

La fuerza ejercida sobre la partícula por el campo magnético corresponderá a la fuerza

centrípeta, esto es: 
$$\frac{mv^2}{R} = Bqv \quad (\text{Pues } \vec{v} \perp \vec{B}) \quad (3)$$

donde  $R$  es el radio de la trayectoria circular descrita por la partícula.

Reemplazando  $v^2$  en (1): 
$$\frac{q}{m} = \frac{2\phi}{B^2(R + 0,00254)^2} \quad (4)$$

Luego la relación entre la carga y la masa de una partícula puede establecerse si se conocen la diferencia de potencial que la acelera, la magnitud del campo magnético aplicado y el radio de la trayectoria descrita.



En la experiencia a realizarse en el presente laboratorio se empleará un tubo en el cual los electrones emitidos por el cátodo - gracias a un voltaje aplicado a éste - son acelerados por la diferencia de potencial aplicada entre el cátodo y el ánodo. Ellos se mueven radialmente hacia afuera en forma de un haz similar a un abanico, alcanzando aproximadamente su máxima velocidad cuando emergen de la parte posterior de la capa negra de metal que cubre el centro del tubo. Su velocidad es aproximadamente constante durante el resto del trayecto hasta el ánodo.

El ánodo está cubierto con un material fluorescente que emite luz cuando los electrones lo golpean. Puesto que su forma es cónica, podemos ver la trayectoria que siguen los electrones cuando se mueven hacia afuera, alejándose del cátodo. Cuando miramos directamente de arriba hacia abajo, el ánodo cónico corta el haz de electrones diagonalmente, mostrando la posición de estos a distancias diferentes del cátodo.

Para desviar el haz de electrones de su trayectoria rectilínea se aplicará un campo magnético uniforme y perpendicular a la velocidad de los mismos. Esto se consigue insertando el tubo en el centro de un solenoide lo suficientemente largo como para considerar que el campo magnético que este genera es uniforme en la región en que se encuentra el tubo. Dicho campo tendrá una magnitud  $B$ , expresado en Teslas en el SI, dada por:

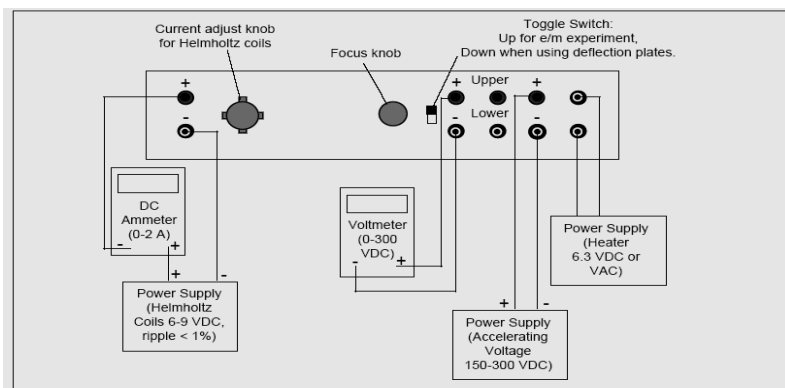
$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \mu_o I \frac{N}{R} \quad (5)$$

Donde  $I$  es la corriente que circula por la bobina,  $N$  es el número de vueltas de la misma y  $R$  radio de las espiras. Además:  $\mu_o = 4\pi \times 10^{-7} \text{ N s}^2/\text{C}^2$ .

Este campo magnético causará que el haz de electrones con forma de abanico y de bordes rectos que se tenía, se curve en proporción a la intensidad del campo aplicado, es decir, al valor de la corriente en el circuito de la bobina.

## II. MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Una fuente de poder de alto y bajo voltaje	SF-9585A	1
2	Una fuente de poder de 6V y de 100V – 150V - 200V.	SE-8587	1
3	Un amperímetro (multímetro).	SE-9786A	1
4	Un solenoide de 540 vueltas.	SE-9625	1
5	Equipo para determinar la relación carga-masa del electrón.	SE-9638	1
6	Dos varillas de madera de radios conocidos.		1
7	Una regla.		1
8	Cables para las conexiones.		1



**FIG. N° 1 CONFIGURACION EXPERIMENTAL**

## PRECAUSIONES

1. Use el amperímetro en la escala de 20 Amperios solamente.
2. No permita bajo ninguna circunstancia que la corriente en el circuito de la bobina exceda los 3 Amperios.
3. Sólo encienda la fuente de alta y baja potencia durante las mediciones. No la deje funcionando si no está realizando mediciones.
4. De encenderse la luz que indica SOBRECARGA en la fuente de alta y baja, apague ésta inmediatamente y avise al profesor del curso.

## IV PROCEDIMIENTO

1. Conecte el tubo a la fuente de 6V y 100V - 150V - 200V como se indica a continuación: los terminales verde y amarillo - que corresponden al cátodo - a la salida de 6V AC, y los terminales rojo (+) y negro (-) - que corresponden a la diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo - a la salida variable de 100V - 150V - 200V.
2. Inserte el tubo en el centro de la bobina y conecte ésta a la fuente de alta, a la salida continua de amplitud variable de la misma. Conecte en serie, en dicho circuito, el amperímetro (escala de 20A) y la resistencia variable.
3. Para una posición del selector de 100V - 150V - 200V y algún valor de la resistencia, haga coincidir la curvatura de la trayectoria de los electrones con el borde de una de las varillas suministradas. **TENGA CUIDADO DE QUE EL VALOR DE LA CORRIENTE SE MANTENGA MENOR QUE 3 AMPERIOS.** Usando las relaciones (3) y (2), determine los valores de  $B$  y  $q/m$ , respectivamente. Anote sus resultados en la Tabla (mida un promedio de 5 veces).

- Para otra posición del selector de 100V - 150V - 200V y otro valor de resistencia, haga coincidir la curvatura de la trayectoria de los electrones con el borde de la misma varilla del paso 3. Anote sus resultados en la Tabla.
- Repita los pasos 3 y 4 para la otra varilla suministrada.

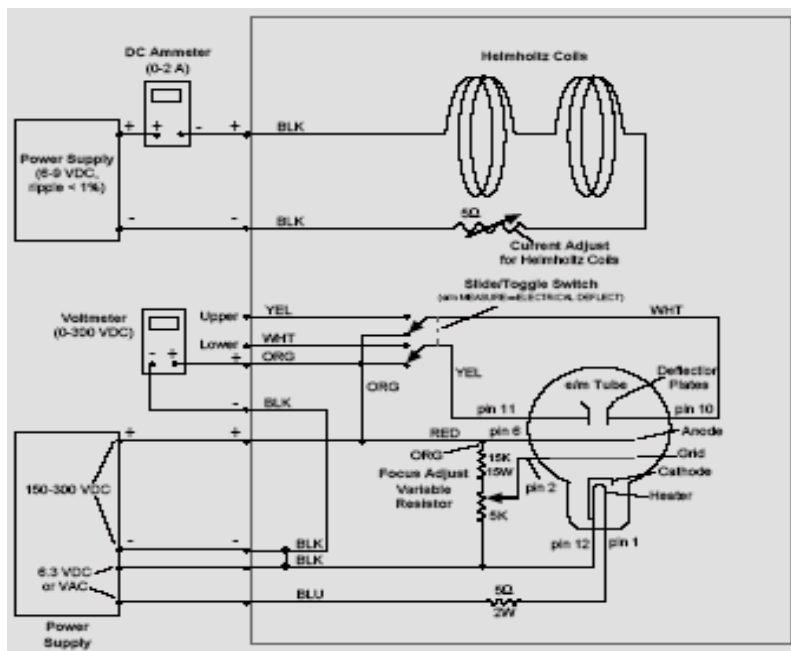


FIG. N° 2 DIAGRAMA DE CONECCION DEL EQUIPO  $e/m$

## V. CUESTIONARIO

- Demuestre que la magnitud del campo magnético al interior de un solenoide como el que se describe en la guía, coincide con el valor que en ella se indica.
- Explique el efecto del campo magnético de la tierra en el resultado de este experimento. ¿Sería posible utilizar únicamente el campo magnético de la tierra para desviar el haz? ¿Qué tamaño de tubo sería necesario?
- Calcule el error porcentual de la relación  $e/m$  del electrón, sabiendo que su valor teórico es 1,7589 Coulombs/kg.
- Suponga que el tubo que se menciona en la experiencia es capaz de producir protones, en lugar de electrones. ¿Qué diferencias se observarían al realizar la experiencia descrita en la guía? ¿Sería más fácil o difícil lograrlo?
- ¿Afectan los átomos de Helio en la velocidad de los electrones. Explique?

## LABORATORIO N° 7 EFECTO FOTOELECTRICO

### I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante el conocimiento fundamental para la comprobación experimental del efecto Fotoeléctrico, comparación del modelo ondulatorio de la luz vs. el modelo cuántico.

Mediante el desarrollo de esta experiencia es posible determinar la:

1. Constante de Planck  $h$
2. Dependencia del potencial de frenado respecto de la intensidad de la radiación incidente.

### II FUNDAMENTO TEORICO

La emisión de electrones en un material alcalino por acción de la luz se denomina Efecto Fotoeléctrico. Por la explicación teórica de este fenómeno Albert Einstein recibió el premio Nóbel en 1921 y por su contribución experimental Robert Millikan lo obtuvo en 1923. En 1905, expuso una explicación que relaciona la forma como depende la emisión fotoeléctrica de la frecuencia de radiación. Einstein sugirió que los electrones libres en interacción con radiación electromagnética se comportan en la forma propuesta por Max Plank para los osciladores atómicos en relación con la radiación de cuerpo negro, según la cual, cada oscilador puede absorber o emitir una cantidad de energía discreta, o cuanto de energía, posteriormente llamado Fotón. La ecuación que proporciona la energía de un cuanto es

$$E = h\nu \quad (1)$$

donde  $E$  es la energía absorbida o emitida en cada proceso,  $h$  es una constante de proporcionalidad ( $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ ) y  $\nu$  es la frecuencia de radiación electromagnética.

Por consiguiente  $\nu = \frac{c}{\lambda}$ , donde  $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ , es la velocidad de la radiación

incidente y  $\lambda$  la longitud de onda correspondiente.

Para Einstein cuando un fotón incide sobre una superficie metálica alcalina puede transmitir energía suficiente a un electrón para que supere la barrera de energía potencial de la superficie y se libere del metal. La energía del Fotón  $h\nu$  debe ser mayor o igual a la función de trabajo  $w_0$ , la cual es la mínima energía que necesita un

electrón para poder escapar del metal, es decir  $h\nu \geq w_0$ ; este caso,  $\nu_0 = \frac{w_0}{h}$  es

llamada frecuencia umbral. Esta frecuencia mínima es incompatible con la teoría ondulatoria, pues cualquiera que sea la frecuencia de radiación siempre ha de ser posible una emisión electrónica con una iluminación suficientemente intensa.

Según la teoría clásica tenemos:  $h\nu = w_0 + \frac{1}{2}mv_{\max}^2$  (2)

donde  $\frac{1}{2}mv_{\max}^2$  es la energía cinética del electrón desprendido del metal.

La Energía de los electrones emitidos aumenta linealmente con la frecuencia, pero es independiente de la intensidad de la luz.

Para efectos experimentales se emplea una fotocelda que se compone de una placa fotoemisiva llamado cátodo y un ánodo colector de carga. Cuando el cátodo se expone a la luz de frecuencia  $\nu$ , mayor que la frecuencia umbral  $\nu_0$ , se produce una corriente en el circuito de la fotocelda que puede ser anulada parcial o totalmente por un potencial de frenado  $V_0$  aplicado al ánodo, tal que:

$$eV_0 = \frac{1}{2}mv_{\max}^2 \quad (3)$$

De tal forma que cuando la corriente se hace igual a cero en el circuito de la fotocelda, la ecuación se transforma en la expresión:

$$h\nu = w_0 + eV_0 \quad (4)$$

## II.1 El equipo $\frac{h}{e}$ de Pasco

En el equipo Pasco los fotones emitidos por una lámpara de mercurio se pasan por una rejilla de difracción para separar la luz emitida por la lámpara en sus diferentes colores. Estos fotones inciden sobre el cátodo de un tubo de vacío. Parte de la energía cinética recibida por cada electrón se emplea para escapar del cátodo  $w_0$ , quedando éste con

una energía cinética cuyo máximo es  $E_{k\max} = \frac{1}{2}mv_{\max}^2$ . Aplicando una diferencia de

potencial entre el ánodo y el cátodo, se puede determinar el potencial necesario para detener todos los electrones y por lo tanto, se mide el máximo de su energía cinética. En este equipo el potencial de frenado se mide directamente con un voltímetro digital.

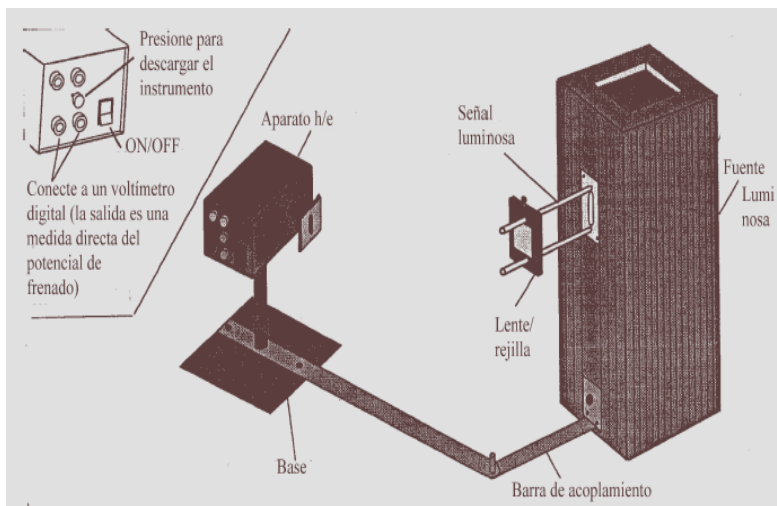


Fig. N° 1 El equipo Pasco h/e

### III MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Equipo Pasco <i>h/e</i>	AP-9370A	1
2	Filtro de transmisión (dado en porcentajes)		1
3	Filtro de color amarillo		1
4	Filtro de color verde		1
5	Fuente de Mercurio	OS-9286A	1
6	Lente y rejilla		1
7	Multímetro Digital	SE-9786A	1
8	Cable con terminal tipo banana	SE-9751	1

### PRECAUCIONES

Encender y esperar a que la radiación observada sea intensa aproximadamente por 20 minutos.

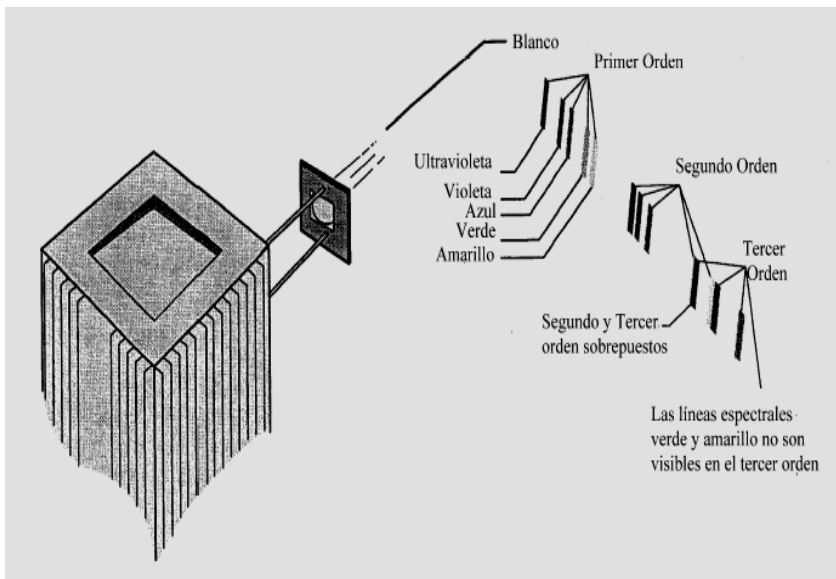
### IV PROCEDIMIENTO

#### ➤ Parte A Cálculo de: $h, V_0, v_0$

1. Encienda la fuente de mercurio accionando el interruptor y no la apague hasta finalizar el experimento.

2. Espere que la lámpara se caliente durante un minuto para empezar a tomar medidas.
3. Observe los espectros que se forman e identifique el espectro del primer orden (el más brillante).
4. Para medir el potencial de frenado  $V_0$  enfoque cada color del espectro exactamente en la ranura de la pantalla reflexiva blanca. Para conseguir esto, rote la barra de la base de apoyo hasta lograrlo.
5. Gire el cilindro negro que esta detrás de la pantalla blanca hasta que pueda ver la pantalla del fotodiodo
6. Para los colores amarillo y verde ponga en la pantalla reflexiva el filtro correspondiente antes de tomar la medida.
7. Gire el aparato  $h/e$  sobre la barra vertical hasta lograr que el color seleccionado quede centrado sobre los agujeros del fotodiodo.
8. Ponga el cilindro en su posición inicial.
9. Ponga en funcionamiento el aparato  $h/e$ .
10. Conecte el voltímetro digital.
11. Presione el botón de descarga y cerciórese que el voltímetro marque cero voltios. Libérela y espere aproximadamente 30 segundos para tomar el valor del potencial de frenado de cada color.
12. Tome cinco medidas del potencial para cada color.

COLOR DE LA LUZ	$\lambda(nm)$	Potencial de Frenado
Amarillo	578.0	
Verde	546.074	
Azul	435.835	
Violeta	404.656	
Ultravioleta	365.483	



**Fig. N° 2 Espectro** de emision del Mercurio

- **Parte B:** Dependencia del potencial de frenado  $V_0$  con respecto a la intensidad luminosa.
1. Medir el potencial de frenado para el color amarillo, con cada porcentaje del filtro de transmisión .No olvide antes el filtro de color amarillo. Tome 5 medidas en cada caso.
  2. Repita el paso anterior para el color verde con su respectivo filtro.

**Tabla N° 1**

COLOR N° 1	NOMBRE	COLOR AMARILLO
% DE TRANSMISION	POTENCIAL DE FRENADO	APROX. EL CARGO DE TIEMPO
100		
80		
60		
40		
20		



**Tabla N° 2**

<b>COLOR N° 1</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>COLOR VERDE</b>
% DE TRANSMISION	POTENCIAL DE FRENADO	APROX. EL CARGO DE TIEMPO
100		
80		
60		
40		
20		

## V. CUESTIONARIO

1. Con los datos obtenidos elabore las tablas necesarias
2. Grafique el potencial de frenado en función de la frecuencia de cada color. Utilice los datos de la tabla del espectro del mercurio (Hg.)
3. Encuentre la ecuación de la gráfica obtenida. Compárela con la ecuación (4) y determine de allí la constante de Planck  $h$ . Recuerde que el valor de la carga del electrón es  $1.60 \times 10^{-19} \text{ C}$ .
4. Compare el valor obtenido para  $h$  con el valor teórico.
5. De su gráfico determine la frecuencia umbral o de corte  $\nu_0$  y la función de trabajo  $w_0$  de la fotocelda. ¿Qué significado físico tiene  $\nu_0$  y  $w_0$ ?
6. Para el color amarillo grafique el potencial de frenado en función de la intensidad luminosa, representada por el filtro de transmisión. En el mismo gráfico haga lo propio para el color verde.
7. Analizando el gráfico anterior, ¿depende el potencial de frenado de la intensidad luminosa? Explique.
8. Discuta si sus resultados están mejor sustentados por un modelo Cuántico de la luz o por un modelo ondulatorio.
9. Consulte aplicaciones de las fotoceldas.

## LABORATORIO N° 8 ESPECTROS ATÓMICOS

### I. OBJETIVOS:

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante el uso del espectrofotómetro para la observación y medida de las longitudes de onda de los espectros visibles correspondientes a los elementos (Hidrógeno, Helio, Mercurio, Argon y Kriptón) y determinar el espaciado de la red de difracción usando la fuente de Sodio (Na) como patrón

### II. FUNDAMENTO TEORICO

Un átomo o molécula puede adsorber o emitir radiación electromagnética sólo de frecuencia bien definida, debido a que los electrones dentro del átomo se encuentran en estados energéticos llamados estacionarios. La existencia de estos estados estacionarios impiden que el electrón sea capaz de variar su energía continuamente, dando lugar a lo que se conoce como cuantización de la energía.

Así, la única posibilidad para que el electrón aumente su energía ocurre cuando efectúa 'saltos' entre niveles permitidos, emitiendo o absorbiendo en ese proceso una cantidad discreta de energía. Esta cantidad se puede cuantificar a través de la siguiente fórmula que relaciona la energía  $E$  de un estado estacionario con la de otro cualesquiera  $E'$ :

$$E' = E \pm h\nu \quad (1)$$

donde  $h\nu$  se define como el cuanto de energía,  $h$  es la constante de Planck y  $\nu$  es la frecuencia de la radiación.

La ecuación (1) se obtiene aplicando los siguientes postulados de Niels Bohr (1913):

- Un sistema atómico puede existir en estados estacionarios o cuantizados cada uno de los cuales tiene una energía definida. Las transiciones de un estado estacionario a otro están acompañadas por una ganancia o pérdida de una cantidad de energía igual a la diferencia de energía entre dos estados: La energía ganada o perdida aparece como un cuanto de radiación electromagnética.
- Un cuanto de radiación tiene una frecuencia  $\nu$  igual a su energía dividida por una constante de Planck.

$$\nu = \frac{E' - E}{h} \quad (2)$$

Con el fin de obtener resultados específicos, Bohr propuso que en el caso del Hidrógeno, los estados estacionarios correspondían a orbitas circulares del electrón alrededor del núcleo y que el momento angular  $L$  de este electrón debía ser un múltiplo entero de

$h = \frac{h}{2\pi}$ . Al unir estas ideas es posible calcular la energía de los

estados estacionarios del electrón por medio de la siguiente ecuación:

$$E = \frac{Rhc}{n^2} \quad (3)$$

donde:  $R$  es la constante de Rydberg,  $c$  es la velocidad de la Luz,  $e$  es la carga del electrón y  $n$  es un número entero positivo que anota el nivel energético.

En consecuencia la ecuación (2) se puede expresar:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right) \quad (4)$$

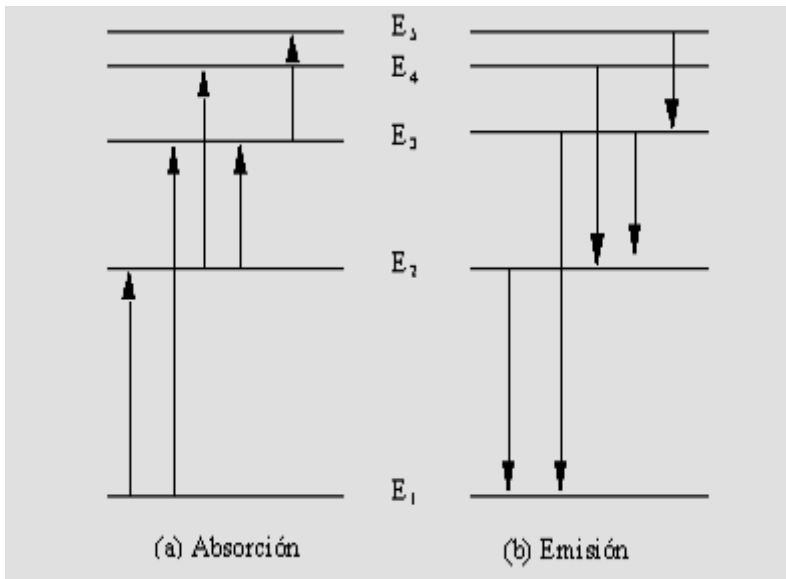
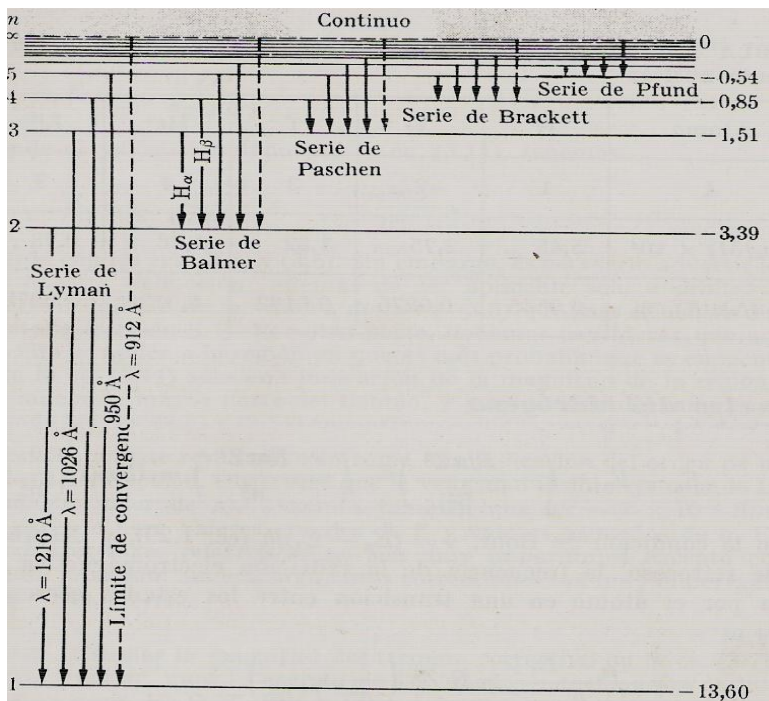


Fig. N° 2 Transiciones entre los estados estacionarios de un átomo, una molécula o un núcleo. La separación entre los niveles de energía y las transiciones dependen de la naturaleza del sistema.

En donde  $n$  denota el estado energético inicial y  $m$  el final para el caso de emisión. La anterior ecuación en su forma empírica recibió el nombre de ecuación de Balmer quien catalogó las líneas espectrales del hidrógeno. En este caso  $n=2$  y  $m=3, 4$  y  $5$ , para rojo, verde azul y violeta respectivamente.



Esquema de transiciones en el espectro de Hidrogeno.

Serie de Lyman:  $n_1=1, n_2=2, 3, 4, \dots$

Serie de Balmer:  $n_1=1, n_2=3, 4, \dots$

Serie de Paschen:  $n_1=1, n_2=4, 5, \dots$

Serie de Brackett:  $n_1=1, n_2=5, 6, \dots$

Serie de Pfund:  $n_1=1, n_2=6, 7, \dots$

La serie de Balmer principalmente se encuentra en la región visible, se observa fácilmente con un espectroscopio común. La serie de Lyman cae en la región ultravioleta y las otras en el infrarrojo. Las transiciones indicadas corresponden al espectro de emisión; las transiciones inversas tienen lugar en el espectro de absorción.

## II.1 TRANSICIONES ATOMICAS

La espectroscopia se encarga de medir la radiación emitida o absorbida en las transiciones entre estados de diferente energía. El espectrofotómetro se utiliza para separar y medir la diferencia de longitudes de onda emitidas por una fuente luminosa en la zona visible del espectro electromagnético, basándose en el hecho de que diferentes longitudes de onda son desviadas en distintos ángulos por una red de

difracción. Mediante el espectrofotómetro se puede estudiar la parte visible del espectro de emisión de un gas - que pueden ser moléculas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ) o monoatómicos (generalmente un gas noble o un vapor metálico) - descomponiendo la luz emitida en la desexcitaciones de los átomos en una lámpara de descarga. La observación y medición de los espectros de emisión en el rango visible (espectroscopia óptica) proporciona información sobre los niveles de energía  $h\nu$  de los fotones, que corresponde a las longitudes de onda ( $\lambda = c/\nu$ ), correspondiente a las diferencias de energía entre los estados estacionarios de los átomos.

Si los gases están formados por moléculas, los espectros obtenidos corresponden a los niveles moleculares. Utilizaremos gases nobles y vapores de metales en la presente experiencia.

### III. MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	CODIGO	CANTIDAD
1	Interfase Science Workshop 750	CI-7650	1
2	Data Studio		1
3	Sistema Espectrofotómetro	OS-8539	1
4	Kit de espectrometría	EX9920	1
5	Sensor de Movimiento Rotacional	CI-6538	1
6	Banco Óptico	OS-8541	1
7	Sensor de Luz	CI-6504A	1
8	Base pequeña con soporte de varillas	SE-9451	1
9	Fuente de luz de Sodio de baja presión	OS-9287A	1
10	Fuente de luz de vapor de Mercurio	OS-9286A	1
11	Tubo espectral de supresor de poder	SE-9460	1
12	Tubo espectral de Hidrogeno	SE-9461	1
13	Tubo espectral de Helio	SE-9462	1
14	Tubo espectral de Argon y Kriptón	SE-9463	1

### ➤ INSTRUCCIONES DE SEGURIDAD

#### Sistema de Espectrofotómetro.-

Para alinear y equilibrar los diferentes componentes del espectrofotómetro existen diversos tornillos. No deben tocarse cuando el aparato esta ajustado. Normalmente el aparato debe estar alineado. Si no es así, consulte con el profesor antes de intentar alinearlo tu mismo.

#### Red de Difracción.-

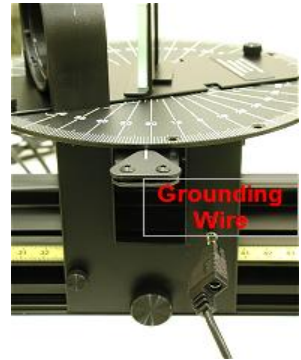
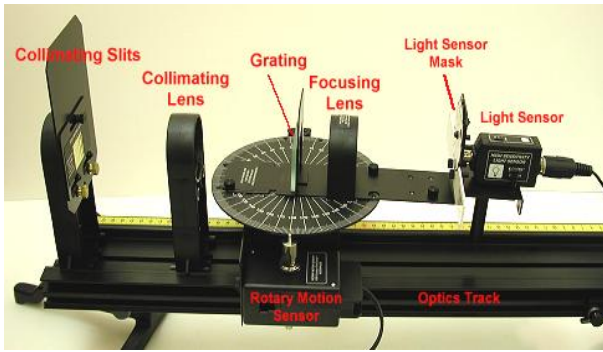
- No debe tocar la red de difracción con los dedos.

- La posición de la red en la plataforma del espectrofotómetro no debe ser variada una vez que el aparato está alineado.

**Fuente de alimentación para las Lámparas espectrales.-**

**Lámparas espectrales de Hidrogeno, Helio, Sodio, Mercurio, Argon y Kriptón.**

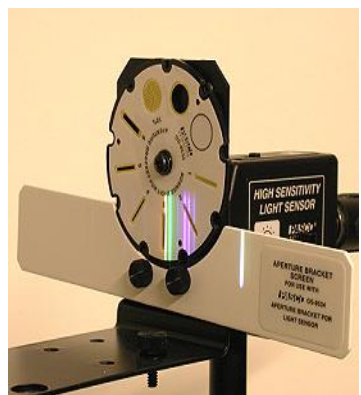
- Las Lámparas espectrales deben estar guardadas en sus cajas cuando no están montadas sobre la mesa de trabajo.
- Extrae e inserte con sumo cuidado las lámparas en la montura correspondiente a cada lámpara espectral; no rompa, ni dañe las monturas de las lámparas espectrales.
- Espere a que las lámpara estén frías antes de extraerlas del zócalo y no las toque directamente con los dedos, use un trozo de papel.
- No mire directamente a la luz emitida por las lámparas.



**Fig. N° 1** Procedimiento de instalación y toma de las muestras



**Fig. N° 2** Escaneo del Espectro



**Fig. N° 3** Medida del Espectro

#### IV. PROCEDIMIENTO

1. Coloque en la montura, con sumo cuidado, la lámpara espectral y seleccione la fuente de alimentación, que obviamente debe estar apagada, la tensión adecuada para la lámpara utilizando el interruptor para tal efecto.
2. Una vez encendida la lámpara, compruebe que se ve correctamente enfocada la imagen, no dispersada, de la rendija - el colimador y la mascarilla del sensor de luz deben estar correctamente alineados - y mida la posición angular sobre la escala. A partir de esta posición angular buscar las líneas difractadas a ambos lados del ángulo de desviación (el primero que has registrado) midiendo la posición angular de todos las que se encuentren.
3. Repita el proceso varias veces para la misma lámpara. Con los ángulos de difracción de cada línea calcular el valor medio de su longitud de onda difractada  $n$  de la línea medida.
4. Una vez calculada las longitudes de onda de las rayas que se han podido medir, calcular los niveles de energía correspondientes a estas líneas de emisión.
5. Busque en la bibliografía un esquema de los niveles de energía del átomo que estás estudiando, Dibújelo tratando de identificar entre que niveles se realizaron las transiciones cuyas líneas espectrales has medido.
6. Realice la experiencia para las lámparas de: **Hidrogeno, Helio, Sodio, Mercurio, Argon y Kriptón.**

- **Primera actividad** (Determinación del espaciado de red usando la Fuente de Na)
- a. Determinaremos el espaciado de red usando una lámpara de sodio (Na) determinando la separación  $d$ , entre las líneas en la rejilla de difracción. Las líneas amarillas del espectro de sodio tienen una longitud de onda conocida:  $589.6 \text{ nm}$  y  $589.0 \text{ nm}$ ; asumiremos la longitud de onda promedio para el experimento:  $589.3 \text{ nm}$ .

Características para el cálculo del espaciado de red.

características en el espectro de sodio	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 10
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	bajo
apertura del colimador	Nº 3
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 2

- b. Ajuste el tamaño del espectrómetro hacia el centro de la fuente de Sodio; inicie la toma de datos de un lado hacia el máximo central, y mueva lentamente hasta cruzar el máximo hacia el primer lado máximo.
- c. Use la herramienta inteligente y mida el ángulo desde el máximo central hacia el primer lado máximo ( $m = 1$ ).

- d. Use la longitud de onda promedio de la línea de sodio  $589.3 \text{ nm}$  y calcule el espaciamiento de red el cual será usado en el resto del experimento.

$$d \sin(\theta) = k\lambda \quad \text{Considerando } k = 1$$

➤ **Segunda actividad** (Determinación de la longitud de onda del Espectro de Helio)

- a. Reemplace la lámpara de sodio, por la de Helio, ajuste el tamaño del espectrómetro en la dirección central del tubo de Helio.

Especificaciones en la medida del espectro de Helio	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 100
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	Bajo
apertura del colimador	Nº 4
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 4

- b. Inicie la toma de datos del lado del máximo central y mueva lentamente desde el máximo central hacia los diferentes colores del primer lado máximo ( $m = 1$ ).
- c. En el grafico obtenido etiquete cada pico con el color correspondiente a su longitud de onda teóricamente aceptada.
- d. Use la herramienta inteligente y mida el ángulo desde el máximo central hacia el primer lado máximo ( $m = 1$ ) para el menor de los dos colores diferentes.
- e. Use estos ángulos para determinar la longitud de onda de estos colores, use la rejilla de la red de difracción para determinar las líneas espectrales del Helio.

➤ **Tercera actividad** (Determinación de la longitud de onda del Espectro de Hidrógeno)

- a. Cambie el tubo espectral de Helio por el de Hidrógeno, cambie la sensibilidad del sensor de luz a alta, (ir a calibración del sensor de luz y seleccionar alta sensibilidad).

Especificaciones en la medida del espectro de Hidrogeno	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 100
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	Alto
apertura del colimador	Nº 3
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 2

- b. Al cambiar el tubo de Helio por el de Hidrógeno, espere que enfríe el tubo de Helio y retírelo de preferencia con un papel y luego ajuste al tamaño del espectrómetro hacia el centro del tubo de hidrógeno. Inicie la toma de



datos desde el máximo central y mueva lentamente el equipo desde el máximo central hacia todos los diferentes colores del primer lado máximo. ( $m = 1$ ).

c. Repita los pasos c, d, y e de la experiencia anterior.

➤ **Cuarta actividad** (Determinación de la longitud de onda del espectro de Mercurio)

Advertencia: No mire directamente la lámpara de Mercurio.

a. Cambie el tubo espectral de Hidrógeno por la lámpara de Mercurio, ajuste al tamaño del espectrómetro hacia la altura del centro de la fuente de Mercurio.

Especificaciones en la medida del espectro de Mercurio	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 1
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	Bajo
apertura del colimador	Nº 1
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 1

b. Inicie la toma de datos desde el máximo central y mueva lentamente el equipo desde el Máximo central hacia todos los diferentes colores del primer lado máximo.

c. Repita los pasos c, d, y e de la segunda actividad.

➤ **Quinta actividad** (Determinación del Doblete de Mercurio)

a. Cambie el switch de ganancia del sensor de luz por 100x, inicie la toma de datos desde el máximo central hacia todos los diferentes colores del primer lado máximo ( $m = 1$ ) y continúe tomando datos muy lentamente a través de las líneas de segundo orden ( $m = 2$ ).

Especificaciones en la medida del espectro de Mercurio	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 100
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	Bajo
apertura del colimador	Nº 1
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 1

b. Usando la herramienta inteligente mida el ángulo desde el máximo central hacia cada uno de las líneas naranjas de segundo orden, aumente la resolución de las líneas naranja y almacene estos ángulos. Calcule la longitud de onda de la casilla del doblete.

c. Busque los valores aceptados para la longitud de onda del doblete y encuentre el porcentaje de diferencia entre los encontrados.

➤ **Sexta actividad** (Determinación de la longitud de onda del Argón y Kriptón)

- a. Cambie la fuente de Mercurio por la lámpara de Argón y Kriptón respectivamente por ensayo, cambie el switch de ganancia del sensor de luz y ajústelo al tamaño del espectrómetro hacia la altura del centro de la fuente.

Especificaciones en la medida del espectro de Argón	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 10
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	Alto
apertura del colimador	Nº 2
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 3

Especificaciones en la medida del espectro de Kriptón	
Switch de ganancia del sensor de luz	x 1
Propiedades de sensibilidad del Sensor de Luz	Bajo
apertura del colimador	Nº 2
apertura de la mascara del sensor de luz	Nº 2

- b. Inicie la toma de datos desde el máximo central y mueva lentamente el equipo desde el Máximo central hacia todos los diferentes colores del primer lado máximo.
- c. Repita los pasos c, d, y e de la segunda actividad.

**Tabla de Datos:** Correspondiente a la lámpara de Mercurio. Compare sus resultados con los valores establecidos usando la sensibilidad del sensor en alta y ganancia 100.x

Color	$\theta_1$	$\theta_2$	$\Delta\theta$	$\theta' = \Delta\theta/2$	$\lambda = d\text{Sen}(\theta')$	$\lambda_{Real}$
Amarillo						579.0 nm
Verde						546.1 nm
Verde-Azul						491.6 nm
azul						435.8 nm
Violeta						407.8 nm

## V. CUESTIONARIO

1. Considerando la ecuación 4 es posible encontrar el valor de la constante de Rydberg R y así demostrar que la teoría de Bohr es válida para el átomo de Hidrógeno. Con tal fin construya una gráfica lineal con sus datos experimentales de  $\frac{1}{\lambda}$  en función de  $(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2})$  a partir de la cual se puede obtener un valor de R.

2. Determine la primera energía de excitación y la energía de ionización del hidrógeno.
3. Obtenga el porcentaje de error entre el valor que obtuvo de R y el valor que se encuentra en los libros.
4. Elabore un cuadro referente a las longitudes de onda encontrada en cada una de las actividades anteriores.
5. Compare las representaciones obtenidas entre el Mercurio y su doblete y explique a que debe dicho efecto.
6. Explique como podemos medir la separación  $\Delta\lambda$  entre las líneas espectrales próximas (doblete del Mercurio).
7. Explique las diferencias entre medir la longitud de onda del sodio con el espectrómetro y con el interferómetro de Michelson.
8. Compare la longitud de onda del Argón y del Kriptón con los valores de las longitudes de onda aceptados en tablas.

## LAB N° 9 ESPECTROS DE ABSORCION

### I OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante el uso del espectrofotómetro para determinar la longitud de onda de absorción de colores para muestras líquidas y sólidas (cristales).

### II FUNDAMENTO TEORICO

Una de las importantes aplicaciones de la espectrometría es la identificación de sustancias mediante los espectros de absorción; por ejemplo, es posible identificar la cantidad de sodio ( $Na$ ) disuelto en un líquido, debido a que el sodio tiene un único espectro de absorción

Una fuente incandescente, como un filamento de metal sólido, produce un espectro continuo de longitudes de onda. La sustancia se sitúa en el recorrido del, espectro continuo de luz incandescente, los colores individuales son absorbidos como una banda de líneas oscuras y son determinados usando el espectro de absorción.

### III MATERIALES

- Interfase Science Workshop 750
- Data Studio
- Sistema Espectrofotómetro
- Kit de espectrometría
- Sensor de Movimiento Rotacional
- Banco Óptico
- Sensor de Luz de alta sensibilidad
- Red de difracción de 600 líneas por milímetro
- Base pequeña con soporte de varillas
- Fuente de luz incandescente
- Muestras de Líquido
- Muestras sólidas

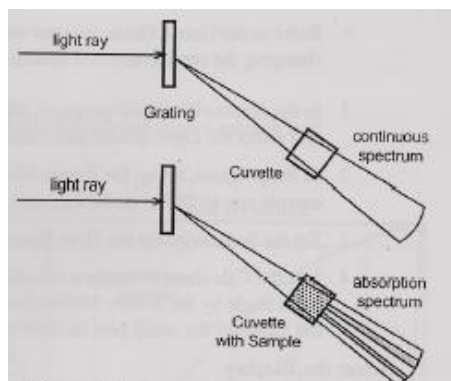


Figura N° 1 Espectros continuos y de absorción

### IV PROCEDIMIENTO

En esta actividad el sensor de luz mide primero la intensidad relativa del espectro continuo de una fuente luminosa producida por una lámpara incandescente, luego medimos la intensidad relativa de los colores adsorbidos por el espectro producido cuando la fuente incandescente pasa a través de la muestra líquida o a través del cristal.

El sensor de movimiento rotacional mide el ángulo  $\theta$  en cada parte del espectro continuo y luego el espectro de absorción.

Utilizando el Data Studio, visualiza la Intensidad Luminosa vs la variación angular; utilizando la herramienta de análisis de datos encontrar el ángulo para la banda de línea oscura del espectro de absorción y luego determine la longitud de onda  $\lambda$ .

### ➤ **INSTALACION DEL EQUIPO**

- Instale el equipo básico de espectrometría.
  - Utilice el sensor de movimiento rotacional tomando en consideración la relación 1:60; relación del número de vueltas del piñón y del goniómetro.
  - Instale el sensor de luz (CI-6604) en alta sensibilidad. y ganancia 10x.
  - Utilice la lámpara de luz incandescente con los soportes especiales
  - Soporte especial para uso de la lámpara incandescente
  - Utilice las muestras líquidas en porta vidrio especial
  - Utilice las muestras sólidas (Cristales)
- ❖ Relación entre la longitud de onda de la radiación absorbida y el color observado cuando se emplea luz blanca.

**Tabla N° 1**

<b>Color del objeto con luz blanca</b>	<b>Longitud de onda absorbida</b>	<b>Color de la luz absorbida</b>
Verde amarillo	380 - 435 nm.	Violeta
Amarillo	435 - 480 nm.	Azul
Naranja	480 - 490 nm.	Azul Verdoso
Rojo	490 - 500 nm.	Verde Azulado
Púrpura	500 - 560 nm.	Verde
Violeta	560 - 580 nm.	Verde Amarillo
Azul	580 - 595 nm.	Amarillo
Azul Verdoso	595 - 650 nm.	Naranja
Verde Azulado	650 - 800 nm.	Rojo

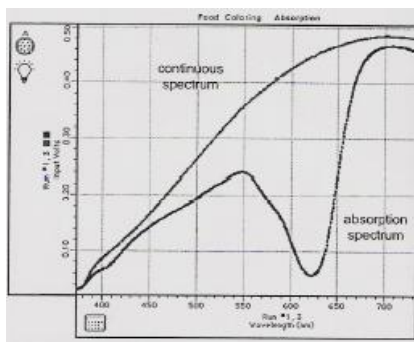
### **PRIMERA ACTIVIDAD (DETERMINACION DEL ESPECTRO DE ABSORCION DE UNA MUESTRA LIQUIDA)**

- Utilice una muestra líquida diluida y colóquela detrás de la montura del sensor de luz de modo que el sensor logre la mayor absorbancia por parte de la muestra.
- Mueva lentamente el plato giratorio desde las líneas de emisión de la fuente hasta pasar por la línea del máximo central donde se encuentra la muestra.
- Analice el espectro de absorbancia con las gráficas del espectro continuo y el espectro de absorción.

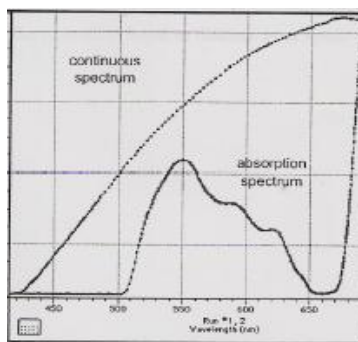
- Haga una diferencia entre ellos usando la calculadora del Data Studio y calcule la línea espectral absorbida.
- Repítalo con otras muestras.

## SEGUNDA ACTIVIDAD (DETERMINACION DEL ESPECTRO DE ABSORCION PARA UNA MUESTRA SÓLIDA USANDO UN CRISTAL)

- Utilice una muestra sólida (cristal) y colóquelo delante de la montura del sensor de luz de modo que el sensor logre la mayor absorbancia por parte de la muestra.
- Mueva lentamente el plato giratorio desde las líneas de emisión de la fuente hasta pasar por la línea del máximo central donde se encuentra la muestra.
- Analice el espectro de absorbancia con las gráficas del espectro continuo y el espectro de absorción.
- Haga una diferencia entre ellos usando la calculadora del Data Studio y calcule la línea espectral absorbida.
- Repítalo con otras muestras.



**Figura N° 2** Espectro de absorción de Una muestra líquida



**Figura N° 3** Espectro de Absorción de una muestra sólida

## V CUESTIONARIO

1. Compare con tablas teóricas el espectro de la muestra utilizada y note que longitud de onda del espectro fue absorbida en la muestra para cada una de las dos actividades, represéntelo en un cuadro.
2. Calcule el porcentaje de error del espectro absorbido con los datos de tablas teóricas.
3. De las diferentes muestras, compare cuál de ellas posee mayor número de líneas absorbidas.
4. ¿Qué nos representa la lámpara incandescente dentro del experimento?
5. ¿Qué podríamos observar si cambiamos la red de difracción de 600 líneas por la de 300 líneas? Explique los cambios.

## LAB N° 10 CONTADOR DE GEIGER MULLER

### I OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante los conocimientos fundamentales para la utilización del detector Geiger-Muller y la determinación de la curva de decaimiento Radiactivo de las fuentes de Sr-90, Co-60 y Po-210. Estudiar las características más significativas.

### II FUNDAMENTO TEORICO

#### II.1 LA RADIOACTIVIDAD NATURAL:

Los núcleos de los átomos de ciertas sustancias son inestables. Emiten espontáneamente radiación y pasan a convertirse en sustancias diferentes. La radiación emitida en el proceso de la desintegración natural se clasifica en tres tipos diferentes: rayos  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\gamma$  a los que hay que añadirle los productos de fisión.

La probabilidad de emisión espontánea determina la vida media del núcleo radiactivo, y por lo tanto su actividad. Hay elementos radiactivos presentes en la naturaleza como residuos de la génesis del Sistema Solar o procedentes de impactos de meteoritos, y otros producidos artificialmente en los reactores nucleares o en las bombas. El fenómeno de la desintegración radiactiva es puramente aleatorio. Es imposible predecir cuando se va a emitir un núcleo individual. Se denomina período de semi-desintegración al tiempo durante el cual se desintegra la mitad de los núcleos de una muestra dada. La probabilidad de que un núcleo emita es independiente de lo que hayan echo los demás, así que nos encontramos frente a un fenómeno caracterizado por una distribución estadística binomial: cuando la población de núcleos activos puede considerarse muy grande y constante durante el tiempo de observación, las mediciones se describen bien mediante la estadística de Poisson, que se deduce de la binomial en el caso limite de un número elevado de núcleos.

Cada elemento radiactivo se caracteriza por un espectro de emisión y cada uno de sus modos de desintegración por su período de semi-desintegración. Estos períodos pueden ser de millones de años o de fracciones de segundos.

- **Rayos  $\alpha$**  : Son núcleos de átomos de helio, constituidos por dos protones y dos neutrones, su carga es positiva e igual a dos veces la carga del electrón. Interaccionan con el campo coulombiano de los núcleos y de los electrones (ionización de los átomos). Tienen poco poder de penetración en la materia por que ceden mucha energía en sus colisiones con los núcleos. Las partículas  $\alpha$  emitidas por fuentes radiactivas naturales son detenidas por láminas de aluminio de un espesor de centésimas de milímetros o por unos pocos centímetros de aire. Son desviados por los campos eléctricos y magnéticos.
- **Rayos  $\beta$**  : Son electrones producidos en la desintegración  $\beta$  de los núcleos, interaccionan tanto con los núcleos como con los electrones y son desviados por los

- campos eléctricos y magnéticos. Son usualmente más energéticos que las partículas  $\alpha$  y su poder de penetración en la materia es mucho mayor: hacen falta varios milímetros de plomo para detenerlos.
- **Rayos  $\gamma$** : Son fotones producidos en la desintegración o desexcitación  $\gamma$  de los núcleos. Al igual que los fotones mucho menos energéticos que componen la luz visible, son partículas sin masa y sin cargas que no se desvían por campos eléctricos ni magnéticos, usualmente su energía es elevada, pudiendo aniquilarse por creaciones de pares (para energías superiores a 0.511 MeV), dispersarse por Efecto Compton con poca probabilidad y poca pérdida de energía o ceder su energía totalmente a un electrón fuertemente ligado a una capa interna e ionizar un átomo. Su poder de penetración en la materia puede ser mucho mayor que el de las partículas altamente ionizantes como los rayos  $\alpha$  y  $\beta$ . Se requieren varios centímetros de hierro o plomo para absorberla completamente.

## II. 2 CONTADOR GEIGER-MULLER

El contador Geiger-Muller detecta la radiactividad por medio de la recolección de los electrones y los iones positivos que se producen al ionizarse los átomos de un gas que es atravesado por la radiación. Consiste en un recipiente usualmente cilíndrico de paredes conductoras y lleno de un gas a baja presión, que suele ser un gas noble como el Argón, con ciertos gases añadidos para mejorar sus características. Un extremo del cilindro está cerrado con una fina ventana de mica por lo que penetra la radiación, que provoca la ionización de los átomos del gas, separándolos en el par electrón-Ion positivo. A lo largo del eje del cilindro hay un hilo conductor, se establece una diferencia de potencial entre el hilo central y las paredes del cilindro, lo que provoca un campo eléctrico radial que conduce a los electrones hacia el hilo (ánodo) y a los iones positivos hacia las paredes (cátodo). El campo en las proximidades del ánodo crece en un factor  $1/r$ . Esto provoca una fuertísima aceleración de los electrones, que producen nuevas ionizaciones en avalancha y generan un impulso detectable en el hilo anódico.

Cada partícula que penetra en el detector provoca, una avalancha en el ánodo que se amplifica y se registra en un contador digital. También suele requerirse que genere una señal auditiva en un altavoz. La diferencia de potencial entre el ánodo y el cátodo debe ser suficientemente alta (del orden de 600 a 1000 V) para que el impulso producido sea independiente de la ionización inicial.

Debido a la acumulación de electrones alrededor del hilo y de los iones positivos en su desplazamiento hacia el cátodo, el detector tarda un cierto tiempo (Tiempo muerto) en restablecer la configuración original del campo eléctrico. Durante este tiempo no puede detectar otras partículas incidentes. El tiempo muerto puede ser del orden de varios cientos de microsegundos y es uno de los principales inconvenientes de este detector; sin embargo, el contador Geiger-Muller se utiliza ampliamente como detector y monitor de la radioactividad debido a que no necesita calibración y es sencillo de operarlo.



En la detección de partículas cargadas altamente ionizantes un contador Geiger-Muller suele tener una eficiencia (número de partículas detectadas dividido por el número de partículas que llegaron al detector) mayor del 90% para radiación  $\gamma$  sin embargo, la eficiencia puede ser solamente del uno o dos por ciento, por que la probabilidad de que el fotón interactúe en el volumen activo del detector es muy baja.

### III MATERIALES

- Contador Geiger Muller modelo SN 7927A, sensible para radiaciones alfa, beta y gamma. Tasa de cuentas a 0.1 mg y/h: 320 cuentas/s, Diámetro de la ventana: 25 mm. Umbral del Plateau: 450 V. Longitud del Plateau: 250 V. Pendiente del Plateau: 0.02 % V. Tiempo muerto: 150 $\mu$ s. Rango de la tasa de dosis: 0.01- 30 mg y/h.
- Sensor Beta Gamma modelo SN 7928  
Rango de cuentas: 0-420,000 Cuentas por minuto  
Detección de cuentas: Señal de audio, Led de identificación.  
Espesor de la ventana : 50 mg/cm<sup>2</sup>
- Conjunto de fuentes radiactivas: Po-210, Sr-90, Co-60. con  $T_{1/2} = 138$  días para el Polonio,  $T_{1/2} = 28,6$  años para el Estroncio, y  $T_{1/2} = 5,27$  años para la fuente de Cobalto.



Fig. N° 1 Tubo de Geiger Muller y el sensor Beta Gamma.

### IV PROCEDIMIENTO

- Monte el experimento indicando la ventana del tubo de Geiger muller perpendicular a la muestra.
- Sitúe la fuente radiactiva Co-60 a una distancia inicial de 1cm. Registre una cuenta durante un intervalo de 20 segundos. Luego retírelo por un breve instante.
- Utilice dentro del procedimiento tiempo de parada de 20 segundos.

- Cada pico registrado tome nota del total para luego ingresarlo por datos por teclado.
- Luego registre cuentas a una distancia de 2 cm. Utilizando el procedimiento anterior, así sucesivamente hasta llegar a 10 cm. Regístrelo en una tabla y grafique cuentas en 20 seg. Vs. Distancia.
- Determinése las constantes A y B de la ecuación  $y = \frac{A}{x} + B$  donde B= representa la radiación de fondo.
- Aplique un ajuste de ley inversa al cuadrado.
- Repita la operación para las otras muestras.

**PRECAUCIÓN:** No tocar la ventana del tubo de Geiger Muller es muy sensible.



**Fig. N° 2** las pastillas radiactivas a usar

## V CUESTIONARIO

1. ¿Cómo determinamos la radiación de fondo?
2. Determine la actividad final de cada una de las muestras
3. describa la cadena radiactiva de la cual proceden cada una de las muestras indicando los núcleos padre e hijo
4. Los rayos Beta sufren deflexión por presencia de campo magnético como lo apreciaría UD. En el experimento explíquelo.
5. Describa todos los tipos de detectores usados en Física Nuclear.

# LABORATORIO N° 11 ESTADÍSTICA DE CONTEO

## I OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de brindar al estudiante las aplicaciones referentes al Detector de Geiger Muller, y comprobar que desde un punto de vista estadístico, se obtiene la misma desviación estándar de un conjunto de N medidas usando la estadística de Poisson y la distribución Binomial.

## II FUNDAMENTO TEORICO

En los fenómenos radiactivos no se puede predecir la desintegración de un núcleo determinado. Se puede calcular el tiempo que tardará en desintegrarse un número elevado de núcleos de una muestra. El fenómeno es de naturaleza aleatoria, lo cual implica que distintas mediciones efectuadas en idénticas condiciones experimentales arrojarán diferentes resultados. Por ejemplo: si contamos la cantidad de núcleos desintegrados durante intervalos de cinco minutos no obtendremos idénticas medidas en todos los casos, si no una distribución estadística conocida como distribución de Poisson. Si el número N, de señales detectadas en los intervalos de cinco minutos es muy alto la distribución de Poisson se aproxima a una distribución de Gauss con  $\sigma = \sqrt{N}$ .

Estimamos la incertidumbre estadística absoluta de una medida única, N como  $\xi_a = \sqrt{N}$ . Por lo tanto la incertidumbre estadística relativa es la raíz cuadrada del

número de cuentas divididas por el propio número de cuentas  $\xi_r = \frac{1}{\sqrt{N}}$ , la única forma

de reducir esta incertidumbre estadística consiste en aumentar N, ya sea reduciendo la distancia de la fuente al contador o aumentando el tiempo de medida.

## III MATERIALES

- Contador Geiger Muller modelo Sn-7927A, sensible a radiaciones alfa, beta y gamma, tasa de cuentas a 0.1 mg y/h: 320 cuentas/s. Diámetro de la ventana: 25 mm. Umbral del Plateau: 450 V. Longitud del Plateau: 250 V. Pendiente del Plateau: 0.02 % V. Tiempo muerto: 150 $\mu$ s. Rango de la tasa de dosis: 0.01- 30 mg y/h.
- Conjunto de fuentes radiactivas: Po-210, Sr-90, Co-60



**Fig. N° 1 Tubo de Geiger Muller y el sensor Beta Gamma.**

#### IV PROCEDIMIENTO

- Colocar una fuente radiactiva frente al detector y no alterar su ubicación durante la experiencia. La distancia fuente detector debe ser tal que la tasa de conteo sea lo suficientemente alta para tener una buena estadística.
- Con una fuente cualquiera, efectuar 20 medidas (G) de  $t_G = 0,5 \text{ min}$  Sin mover la fuente, efectúe medidas de 10 minutos.
- Halle el valor medio y sus desviaciones estándar indicando en una tabla.
- Efectúe un total de 100 eventos y anotar los resultados en sus respectivas Tablas.

#### V CUESTIONARIO

1. ¿Bajo qué condiciones la distribución Gaussiana o de Poisson pueden ser aplicadas correctamente a nuestros datos?
2. Calcule la desviación estándar y grafique según el tipo de distribución a usar.

3. Determine  $x_e$  y  $\sigma$  a partir de  $x_e = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$  y  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - x_e)^2}{N}}$ .

Elabore una curva de distribución por medio de un histograma. Para ello ubicar el menor y mayor valor del conteo obtenido y divida el intervalo comprendido entre estos valores entre un determinado número de pequeños subintervalos (10 o 15). Contar cuantos de los 100 eventos yacen en cada subintervalo y elaborar la grafica  
Numero de eventos vs subint ervalos

# LABORATORIO N° 12 ATENUACIÓN DE LA RADIACIÓN GAMMA USANDO BLINDAJES DE PLOMO

## I. OBJETIVOS

Esta sesión tiene la finalidad de proporcionar al estudiante los conocimientos fundamentales para el estudio de materiales de frenado de la radiación y la reducción de penetración de acuerdo al espesor del material y al tipo de material a usar.

## II FUNDAMENTO TEORICO

El poder de penetración de la radiación a través de un material depende el tipo de radiación, de su energía y de la propia naturaleza del material, las radiaciones  $\alpha$  son menos penetrantes que las  $\beta$  y éstas a su vez menos penetrantes que las  $\gamma$ . A mas grosor, densidad y peso atómico de un cierto material, mayor capacidad tendrá para detener cualquier tipo de radiación. El estudio de la atenuación de la radiación a su paso a través de distintas capas de materia de diferente grosor se puede utilizar para poner en manifiesto la emisión de los tres tipos de radiación para la muestra (o muestras) de material radiactivo.

Las partículas  $\alpha$  son absorbidas por una hoja de papel; para absorber las radiaciones  $\beta$  hace falta mas espesor de papel, o bien, laminas metálicas; la radiación  $\gamma$ , sin embargo, es capaz de atravesarla.

Cuando un haz de fotones monoenergéticos atraviesa un material, estos no pierden progresivamente su energía como lo hacen las partículas  $\beta$ , si no que en cada proceso de interacción con el medio (por efecto fotoeléctrico, Compton o producción de pares) se elimina un fotón del haz, por lo que cada proceso de interacción puede caracterizarse por una probabilidad de que se produzca éste por unidad de recorrido en el absorbente y podemos definir un coeficiente de atenuación lineal  $\mu$ , de tal manera que cuando  $I_{0\gamma}$  fotones, (de igual energía) inciden perpendicularmente en un absorbente delgado de espesor  $x$ , su intensidad  $I_\gamma$  después de atravesar dicho espesor viene dado por:

$$I_\gamma = I_{0\gamma} e^{-\mu x} \quad (1)$$

## III MATERIALES

- Contador Geiger-Muller modelo Sn-7927A, sensible a radiaciones alfa, beta y gamma. Tasa de cuentas a 0.1 mg y/h: 320 cuentas/s. Diámetro de la ventana: 25 mm. Umbral del Plateau: 450 V, Longitud del Plateau: 250 V.

Pendiente del Plateau: 0.02 % V. Tiempo muerto: 150 $\mu$ s. Rango de la tasa de dosis: 0.01- 30 mg y/h.

- Conjunto de fuentes radiactivas: Po-210, Sr-90, Co-60, Cesio 137.



**Fig. N° 1 Tubo de Geiger Muller y el sensor Beta Gamma.**

#### **IV PROCEDIMIENTO**

La práctica puede realizarse con una fuente de Cesio 137 que emite fotones de 0,662 Mev, y partículas  $\beta$  que dan lugar a dos espectros, cuya energía máxima es 1.176 MeV y otra energía máxima, (1.176-0,662) MeV= 0.514 MeV (93.5%) Por tanto el Geiger registrará las  $\beta$  y las  $\gamma$  sin distinción, por lo que la curva de transmisión será una mezcla de ambas, hay que hacer notar que aunque estemos detectando  $\beta$  de dos espectros distintos, uno de ellos es mas intenso que el otro, y que el menos intenso es el que tiene su energía máxima mayor. Por ser una radiación mucho más penetrante que la  $\beta$  a partir de cierto espesor de absorbente  $x = R$  el rango o alcance de las  $\beta$ , no pasarán partículas  $\beta$  y si los fotones, esto se traduce en que a partir de R, en la curva de transmisión se debe sólo a fotones (y fondo).

- **Primera actividad** (Atenuación de las partículas gamma en plomo)
  - a. Estimar el espesor de plomo necesario para que no lleguen electrones al detector.
  - b. Poner el contador en funcionamiento al potencial de trabajo.
  - c. Se coloca el absorbente de Pb estimando en el punto 1 y tan cerca del detector como sea posible para evitar efecto de scattering.
  - d. Se coloca la fuente de Cs-137
  - e. Se efectúa la medida G.

- f. Se repite el proceso con una serie de absorbentes de Pb de espesor variable obteniendo valores experimentales de G, para distintos valores de x, (hasta llegar al menos a 1.5 cm.)
- g. Se calcula la tasa de cuentas corregida por tiempo muerto g.
- h. Se tiene la tasa de cuentas netas  $r = g - b$ .
- i. Se repite el proceso para distintos espesores de Pb, ponerse varios absorbentes juntos para obtener mas valores de espesor si fuera necesario.
- j. Anote los datos en una tabla.

## V CUESTIONARIO

1. Represente gráficamente r frente al espesor x.
2. Usando los valores teóricos de  $\mu$  para 662 KeV y deduciendo del gráfico valores adecuados de  $I_{0\gamma}$  y B, reproducir la curva de atenuación de los  $\gamma$  a la expresión,  $I_{0\gamma}e^{-\mu x} + B$ ; también puede efectuarse un ajuste de los datos experimentales a esta expresión y deducir los tres parámetros que mejor ajustan.
3. Represente las curvas teóricas de B,  $I_{\gamma}$  y  $I_{0\gamma}e^{-\mu x} + B$  sobre los datos experimentales.