

## Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Michelson

### Objetivos del experimento

- Montaje de un interferómetro de Michelson.
- Observación de las variaciones del patrón de interferencia al desplazar un espejo de interferómetro
- Determinación de la longitud de onda de la luz de láser a partir del camino de desplazamiento del espejo

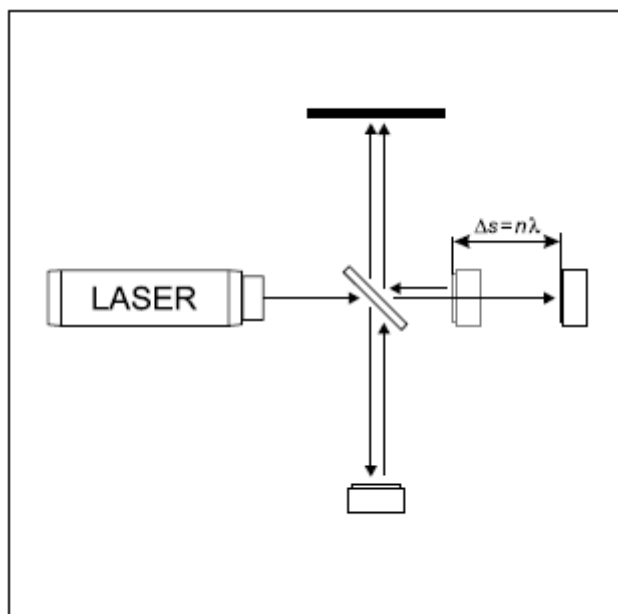
### Fundamentos

La interferometría es un método de medición muy preciso y de gran sensibilidad para determinar, por ejemplo, variaciones de longitud, espesor de capas, índices de refracción y longitudes de onda. El interferómetro de Michelson pertenece a la familia de los interferómetros de doble haz. Para este tipo de interferómetro, las mediciones interferométricas se basan en el siguiente principio:

El haz de luz coherente que proviene de una fuente única es dividido en dos partes por un dispositivo óptico. Los haces parciales pasan por caminos distintos, se reflejan y finalmente se juntan nuevamente y se interfieren. Debido a la interferencia de las ondas de luz se produce una figura de interferencia. Ahora bien, si varía la longitud del camino óptico (esto es, el producto del índice de refracción por el camino geométrico) para uno de estos haces parciales, entonces éste experimenta un corrimiento de fase en relación con el haz no perturbado.

Como resultado de esto varía la figura de interferencia, de la cual se puede averiguar la variación del índice de refracción o del camino geométrico, si se deja constante la otra magnitud. En caso de mantenerse constante el índice de refracción pueden determinarse los factores que diferencian el camino geométrico, por ejemplo, variaciones de longitud de materiales por acción del calor o influencia de campos magnéticos y eléctricos. Si lo que se mantiene constante es, por el contrario, el camino geométrico, pueden averiguarse índices de refracción o magnitudes y efectos que modifican el índice de refracción. Entre éstos se destacan, por ejemplo, las variaciones de presión, temperatura y densidad.

Para medir la longitud de onda de la luz de láser se corre, con ayuda de un brazo de ajuste fino, uno de los espejos planos una distancia bien precisa, con lo cual se modifica la longitud óptica del camino del haz parcial en cuestión. Durante este corrimiento, las franjas de interferencia cambian de lugar sobre la pantalla de observación. Para el análisis, se cuentan los máximos o los mínimos de intensidad que pasan por un punto de la pantalla de observación previamente determinado, mientras el espejo plano es desplazado.



## Equipo

1 banco de óptica láser.....	473 40
1 láser de He-Ne, polarización lineal .....	471 840
1 soporte de láser .....	473 41
5 pies ópticos .....	473 42
1 divisor de haz .....	p. ej. ..473 432
1 apoyo para divisor de haz.....	473 43
2 espejos planos con ajuste fino.....	473 46
1 lente esférica, $f = 2,7$ mm.....	473 47
1 brazo de ajuste fino.....	473 48
1 pantalla translúcida.....	441 53
1 base .....	300 11
1 escala de madera .....	311 03

## Consejos para la seguridad

El láser de He-Ne satisface las “Exigencias de seguridad técnica para material didáctico – Láser, DIN58126 parte 6” para láser de clase 2. Observando las indicaciones correspondientes en las instrucciones de uso se evita todo peligro al experimentar con láser de He-Ne.

- No mirar de frente el haz directo ni el reflejado.
- Evitar pasar el límite de enceguecimiento (o sea, ningún observador debe sentir que se enceguece).

## Montaje

*Indicación: Los componentes ópticos con superficies dañadas o sucias pueden ocasionar perturbaciones en el patrón de interferencia.*

*Manipular con sumo cuidado el espejo plano, el divisor de haz y la lente esférica, conservarlos libres de polvo y no tocar directamente con las manos.*

La disposición del interferómetro de Michelson sobre el banco de óptica láser se representa en la figura 1. Para el montaje se siguen los pasos siguientes:

### Banco de óptica láser y láser:

- Inflar la cámara de aire.
- Ubicar el banco de óptica láser **(a)** junto con la cámara de aire de forma horizontal y estable sobre la mesa de experimentación.
- Montar el láser sobre el soporte de láser y ubicarlo en la margen izquierda del banco.
- Conectar y encender el láser.
- Aflojar las tuercas de seguridad de los tres tornillos de ajuste del soporte de láser.
- Ajustar la altura y la inclinación del láser con ayuda de los tornillos de ajuste de forma que su haz se desplace horizontalmente a 75 mm aproximadamente sobre el banco (de modo que entonces queda margen para un ajuste fino). Volver a medir con la escala de madera.
- Apretar nuevamente las tuercas de seguridad.

### Divisor de haz:

*El haz parcial reflejado y el transmitido deben tener intensidades similares: Al usar el divisor de haz variable (473 435) procurar que el haz de láser impacte aproximadamente en el medio de éste.*

- Primero controlar si el divisor de haz **(b)** refleja la luz de láser horizontalmente. Para ello, ubicar el divisor junto con el pie óptico en el extremo del banco de óptica láser y en el paso del haz, y reflejar la luz al lado de la abertura de salida del láser.
- Corregir eventualmente, con ayuda de los dos tornillos del mango, el ángulo de inclinación del divisor de haz, y así, la marcha del haz.
- A continuación, interponer el divisor de haz en el paso del haz a un ángulo de 45°, tal como muestra la figura 1, dirigiendo la capa parcialmente translúcida del divisor hacia el láser.

### Espejos planos y brazo de ajuste fino:

*Indicaciones:*

*El ajuste es más sencillo en ambientes levemente oscurecidos. Junto con los haces principales aparecen, mediante múltiples reflexiones, otros haces, los llamados haces parciales parasitarios, de menor intensidad. Estos haces parciales son luego extinguidos por el apoyo de lente, y es por eso que no tienen influencia en el ajuste posterior.*

*La calidad del haz de láser se ve perjudicada si los haces parciales reflejados en los espejos planos vuelven incidiendo exactamente en la abertura de salida del láser.*

- Sujetar el espejo plano **(c)** lateralmente en el brazo de ajuste fino **(f)** y, a continuación, asegurar éste al pie óptico.

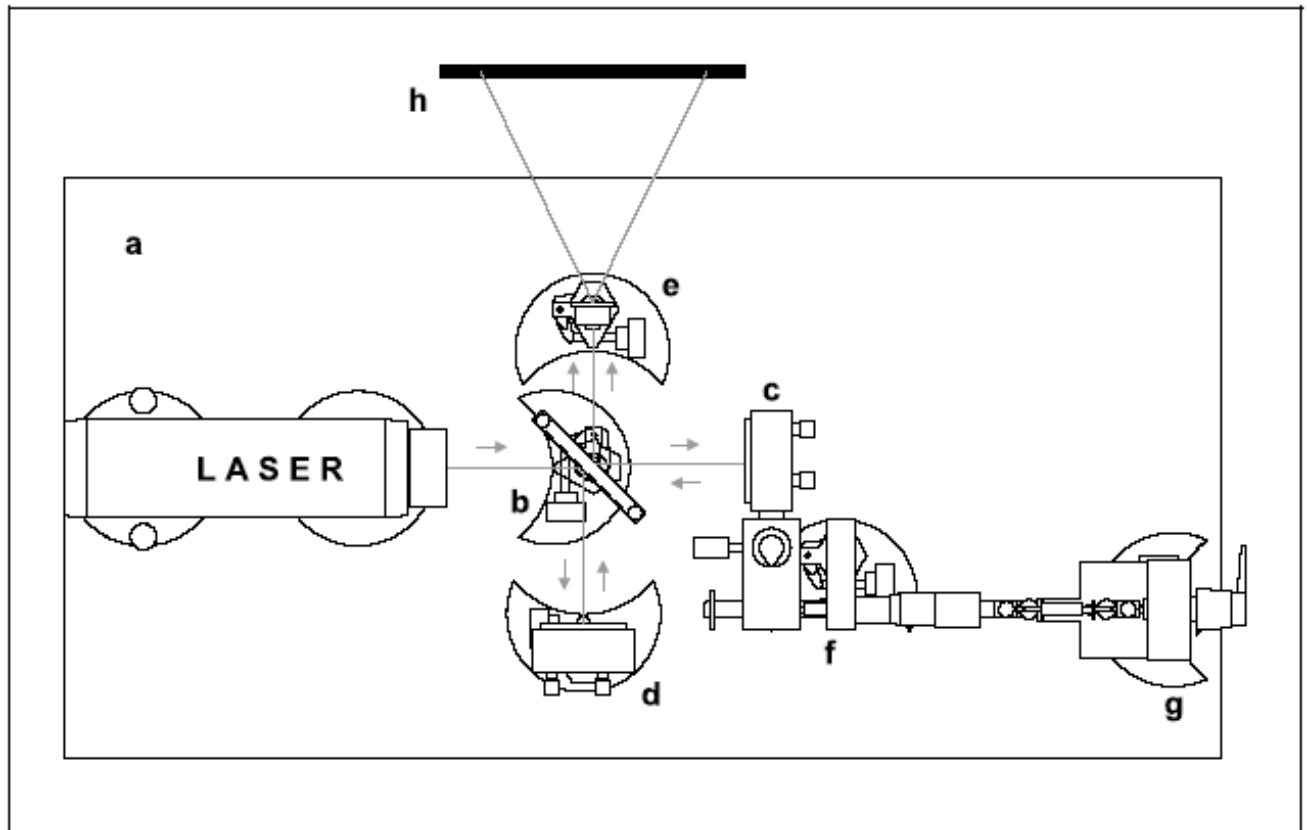


Fig. 1: Montaje del interferómetro de Michelson en el banco de óptica láser con el brazo de ajuste fino para un espejo plano, visto desde arriba

**a** banco de óptica láser  
**b** divisor de haz  
**c, d** espejos planos de ajuste fino  
**e** lente esférica  
**f** brazo de ajuste fino  
**g** engranajes reductores del brazo de ajuste fino  
**h** pantalla translúcida

- Ubicar el pie óptico debajo del brazo de ajuste fino, según muestra la figura 1, para asegurar la estabilidad.
- Ubicar la combinación de espejo plano (**c**) y brazo de ajuste fino (**f**) en el banco de óptica láser (**a**) de forma tal que el haz de láser incida en el centro del espejo plano, cuidando que el plano del espejo permanezca lo más perpendicular posible a la dirección de desplazamiento, a fin de que, aunque se desplace el espejo, el haz sea reflejado siempre en el mismo lugar.
- Disponer el espejo girando el pie óptico sobre el banco y mediante los tornillos de ajuste de la cara trasera de forma tal que el haz casi sea reflejado en sí mismo y vuelva a incidir, tras la transmisión por el divisor de haz, apenas por sobre la abertura de salida del láser.
- Ubicar la mesa de engranajes con un pie óptico detrás del brazo de ajuste fino.
- Asegurar los engranajes reductores del brazo de ajuste fino (**g**) a la mesa de engranajes con la banda magnética.
- Asegurar con cuidado el acople de doble articulación cruzada a la cabeza de rótula del tornillo micrométrico del brazo de ajuste fino (**f**).
- Desplazar el pie óptico de los engranajes reductores y ajustar la altura de la mesa de engranajes de forma que las varillas del acople no estén totalmente extendidas ni hundidas; de lo contrario, puede verse luego falseada la medición por el desplazamiento del brazo de ajuste fino.
- Mantener lo más pequeño posible el ángulo entre los distintos miembros del acople articulado (nunca mayor a  $45^\circ$ ).
- Controlar la disposición del espejo plano (**c**) y, de ser necesario, volver a ajustar.
- Asegurar la pantalla translúcida (**h**) en la base y, según muestra la figura 1, ubicar detrás del banco de óptica láser de manera que el haz de láser pueda incidir en el medio de dicha pantalla.
- Ubicar el espejo plano (**d**), según la figura 1, atravesando el haz parcial reflejado por el divisor de haz (**b**), eligiendo una distancia al divisor similar a la del espejo plano (**c**).
- Disponer el espejo plano girando el pie óptico sobre el banco y graduar los tornillos de ajuste de manera que también este haz parcial casi llegue a ser reflejado en sí mismo y se encuentre, luego de ser transmitido por el divisor de haz, con el primer haz parcial.
- Superponer por completo sobre la pantalla cada uno de los haces más intensos de ambos grupos de reflejos ajustando los espejos planos (**c**) y (**d**) con ayuda de los tornillos de ajuste de los espejos.

#### Lente esférica:

- Para ensanchar el haz de láser, ubicar la lente esférica (**e**) (con una menor abertura de entrada de haz del apoyo de lente mirando al divisor) entre el divisor de haz y la pantalla.
- Ubicar la lente esférica lateralmente y arriba, de manera que pueda ser atravesada axialmente por ambos haces parciales.

**Ajuste fino:**

En caso de que no pueda aún reconocerse ningún patrón de franjas sobre la pantalla translúcida:

- variar levemente el paso del haz con ayuda del divisor de haz o de los espejos, volviendo eventualmente a ajustar la lente.

El ancho y la distancia de las franjas de interferencia son tanto mayores cuanto mejor se asegure el paralelismo de ambos rayos parciales entre el divisor de haz y la pantalla.

- dar al patrón de interferencia un formato cómodo de observar variando levemente la disposición de los espejos y del divisor de haz.

En caso de que con el ajuste fino no se obtengan resultados:

- ajustar nuevamente el emplazamiento del interferómetro desde el comienzo.

*El patrón de interferencia es notoriamente más claro y, por ende, más sencillo de observar, si la potencia de salida del láser se cambia a 1 mW. Dado que esto puede provocar pequeñas variaciones en el paso del haz, deberá eventualmente volverse a ajustar la posición de la lente esférica o la marcha del haz.*

**Realización**

Durante el experimento:

- evitar vibraciones mecánicas del banco de óptica láser (por ejemplo, no mover la mesa).
- evitar el paso de corrientes de aire en el montaje, las que pueden originarse, por ejemplo, por soplos.
- marcar un lugar sobre la pantalla translúcida (**h**) donde se puedan contar las franjas de interferencia que pasan.
- ajustar lentamente y de manera regular el botón de los engranajes posando levemente el dedo en la palanca de los engranajes reductores (**g**) (dar eventualmente varias vueltas) hasta que se empiecen a mover las franjas de interferencia.
- a continuación, dar con el botón de los engranajes al menos otra vuelta completa.
- seguir girando el botón de los engranajes y, al mismo tiempo, contar las franjas de interferencia que pasan por la marca y las vueltas de los engranajes reductores.

*Indicación: Si el espejo plano no se mueve de manera continua y, con él, tampoco el patrón de interferencia, entonces deberá lubricarse el manguito de deslizamiento del brazo de ajuste fino.*

**Ejemplo de medición**

Tabla 1: Cantidad  $Z$  de máximos de intensidad en función de la cantidad de vueltas  $N$  de los engranajes reductores.

$N$	$Z$
1	$16 \pm 1$
2	$32 \pm 1$

**Análisis y resultado**

La cantidad  $N$  de vueltas de los engranajes reductores, el desplazamiento total  $\Delta s$  del espejo plano, la longitud de onda  $\lambda$  de la luz láser y la cantidad  $Z$  de los máximos de intensidad contados se relacionan de la siguiente manera:

$$Z \cdot \lambda = 2 \Delta s \quad \text{con} \quad \Delta s = 5 \mu\text{m} \cdot N \quad (\text{I})$$

En esta ecuación aparece el factor 2 ya que el camino geométrico varía en  $\Delta s$  tanto para el haz que llega como para el haz reflejado.

Para  $\lambda$  vale, entonces, la ecuación

$$\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta s}{Z} \quad (\text{II})$$

Tabla 2: Desplazamiento  $\Delta s$  del espejo plano y resultado para la longitud de onda  $\lambda$ .

$\frac{\Delta s}{\mu\text{m}}$	$\frac{\lambda}{\text{nm}}$
5	$625 \pm 39$
10	$625 \pm 20$

La tabla 2 contiene el resultado para la longitud de onda  $\lambda$ . Éste coincide, dentro de los márgenes de error, con el valor de tablas  $\lambda = 632,8 \text{ nm}$  para la luz de láser de He-Ne. La precisión en la medición de  $\lambda$  es tanto mayor cuanto mayor es el desplazamiento total  $\Delta s$ .