

Óptica Ondulatoria

Difracción

- Fichas de trabajo de los estudiantes
- Notas para los profesores

Por W. Brauers

Traducción de la 1º Edición en Alemán
Febrero de 1991



Tabla de contenidos

0.0 Prefacio	5
0.1 Planes	6
0.2 Equipamiento	8
0.3 Verificación de datos de los objetos de difracción	15
5.4.1. Difracción en objetos de difracción	19
Fundamentos	19
Aparatos para las instalaciones básicas	21
Instalación básica I (de Fraunhofer)	22
Instalación básica II (de Fresnel)	24
5.4.1.1 Difracción en el semiplano	27
5.4.1.2 Difracción en una ranura	29
5.4.1.3 Difracción en ranuras dobles	37
5.4.1.4 Difracción en ranuras múltiples	45
5.4.1.5 Difracción en rejillas	51
5.4.1.6 Condición de coherencia con luz de lámpara	57
5.4.2. Difracción en diafragmas complementarios (principio de Babinet)	61
5.4.2.1 Ranura y puentecillo	61
5.4.2.2 Agujeros y objetos	62
5.4.2.3 Rejillas cruzadas complementarias	62
5.4.3. Capacidad de resolución de instrumentos ópticos	67
Apéndice: Deducción de la función de difracción de rejillas	77
Aparatos	81
Sumario de los módulos STM de física	83



Prefacio

El tema de la “óptica ondulatoria” es tratado en los siguientes manuales de la serie “Science Teaching Modules” (Módulos de Capacitación Científica) (STM).

- Óptica ondulatoria, Difracción. 589 251
- Óptica ondulatoria, Interferencia. 589 261
de dos haces
- Óptica ondulatoria, Polarización. 589 271

Este manual de “Óptica ondulatoria, difracción” tiene como objetivo el instruir a los estudiantes a realizar experimentos independientes con los juegos de equipos OP1 y OP7 y algunos items adicionales (► Capítulo 0.1/0.2)

El principal objetivo de los experimentos de este manual es el reconocimiento del hecho que el objeto de difracción y el diagrama de difracción pueden asignarse claramente entre si.

Esto forma la base para la comprensión de la óptica basada en la física moderna como la holografía o la investigación de la estructura del microcosmos utilizando óptica ondulatoria.

Las descripciones de los experimentos consisten en fichas de trabajo de los estudiantes, las cuales pueden ser copiadas para el propio uso del establecimiento, acompañados por la información para el profesor.

Los objetivos del experimento se describen en la sección del profesor para cada tema.

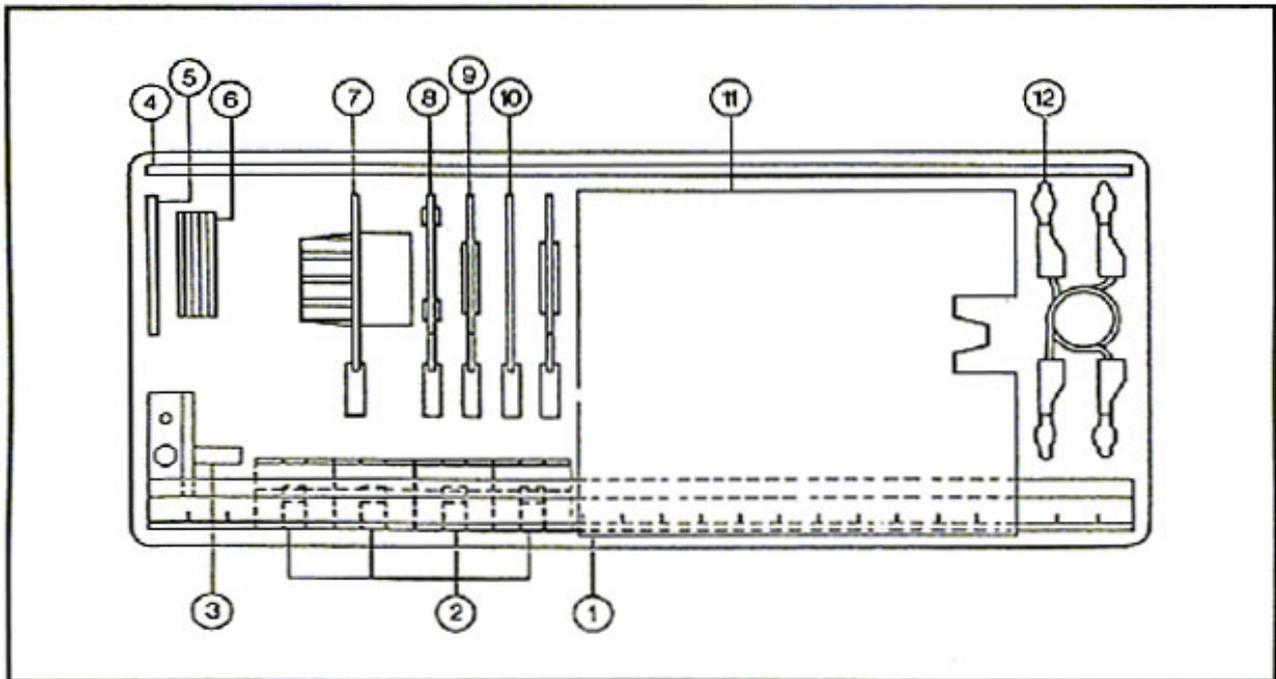
Usted podrá apreciar las líneas generales del material tratado si lee esta parte antes de comenzar.

Se sugieren dos instalaciones comprobadas para los experimentos de difracción ► 1.02/1.03.

El profesor puede decidir cual puede usarse 0.1



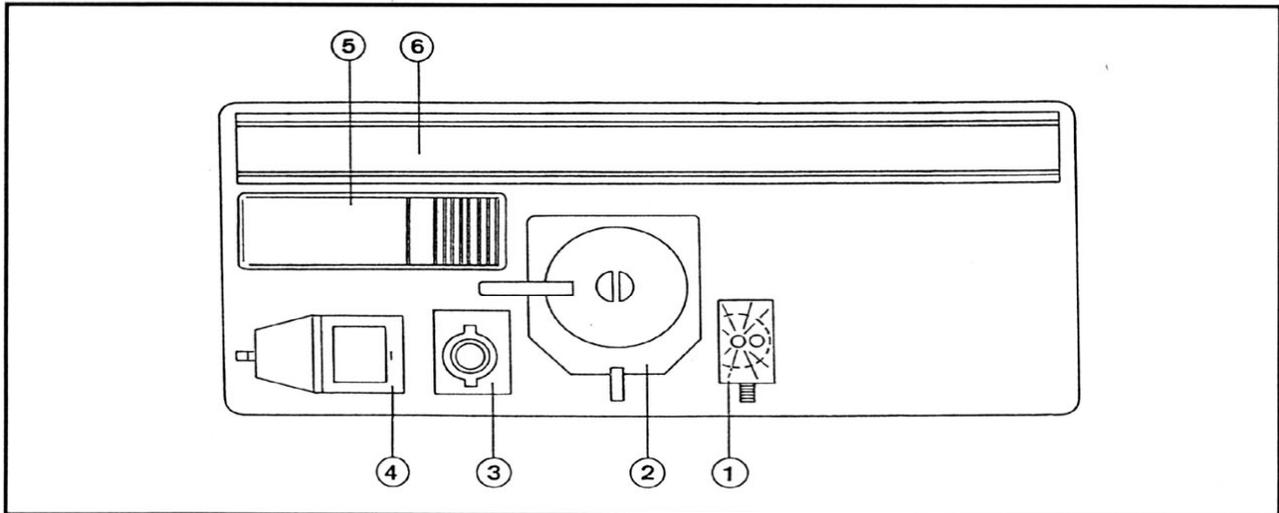
Planes



OP1

(1)	Raíl metálico de precisión de 0.5 m.	460 82
(2)	4 jinetillos con pinzas.	460 95
(3)	Portaplasas.	459 30
(4)	Escala metálica.	460 97
(5)	Espejo plano 50 x 75 mm.	459 38
(6)	Juego de 2 diafragmas con ranura.	461 62
	Juego de 4 diafragmas diferentes.	461 63
(7)	Lámpara tubular.	459 03
(8)	Soporte para diafragmas y diapositivas.	459 33
(9)	Lente B, f = 100 mm.	459 62
(10)	Pantalla traslúcida.	459 24
(11)	Mesa de óptica*.	(459 15)
(12)	Par de cables, 50 cm, rojo, azul.	501 45

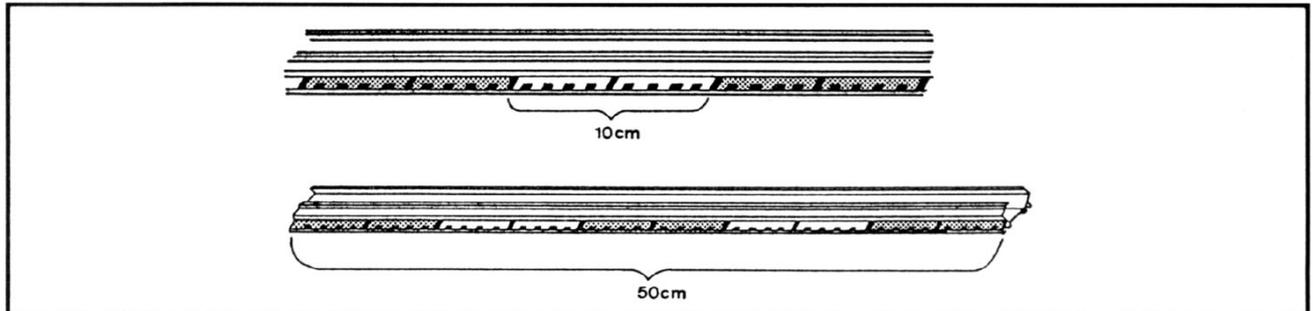
* La mesa óptica no es necesaria para los experimentos de este manual. OP7



OP7

(1) Jinetillos con pinza.	460 95
(2) Ranura regulable.	471 71
(3) Lupa	459 19
(4) Caja con espejos.	459 17
(5) Cajita para diapositivas	442 89
Diafragma con 3 ranuras simples.	469 91
Diafragma con 3 ranuras dobles.	469 84
Diafragma con 4 ranuras dobles.	469 85
Diafragma con 5 ranuras múltiples.	469 86
Diafragma con 3 rejillas.	469 87
Diafragma con 2 rejillas bidimensionales.	469 88
Diafragma con 3 pares de discos con agujeros.	469 89
Diafragma con ranura y puentecillo.	469 90
(6) Rail metálico de precisión de 0.5 m.	460 82

Equipamiento



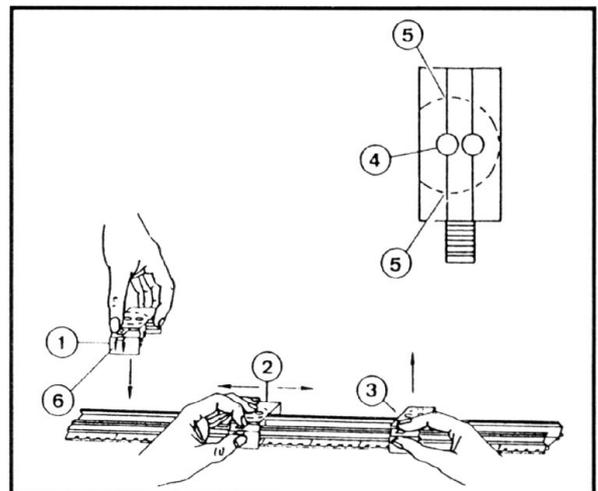
Tarea:

Sujetar los jinetillos con pinzas en los que se insertan diversos componentes ópticos, dependiendo del experimento. Escala dividida en bloques alternativos rojos y blancos de 10 cm. Cada bloque se subdivide en secciones en cm. Los números dados en las ilustraciones de armado se refieren a la escala.

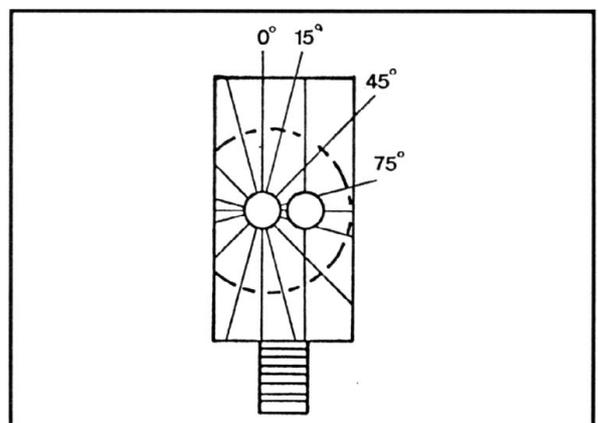
Jinetillos con pinzas

Usados para sostener los componentes ópticos individuales (por Ej. lentes, soportes para diafragmas, etc). Se coloca el jinetillo en el banco óptico y se lo fija mediante presión (1).

Al presionar juntamente las dos lengüetas, puede ser desplazado fácilmente a lo largo del banco óptico (2) o también puede ser extraído (3). Los componentes ópticos se introducen en la abertura izquierda (4) y se ajustan por medio de la ranura (5), es decir, se alinean. La información en cm de las ilustraciones se refiere a la flecha indicadora izquierda situada en la base del jinetillo con pinza (6).



Al presionar juntamente las dos lengüetas, el jinetillo puede ser desplazado fácilmente a lo largo del banco óptico. Esto significa que, al realizar ajustes, su mano no interrumpirá la trayectoria del rayo bajo observación. La abertura derecha del jinetillo también permite fijar un soporte para diafragmas y diapositivas que se introducirán detrás de la lente sujeta en la abertura izquierda. Mas aún, componentes tales como una pantalla traslúcida y un espejo pueden ajustarse en la abertura izquierda bajo ángulos de 15, 45 y 75 con respecto al eje óptico.

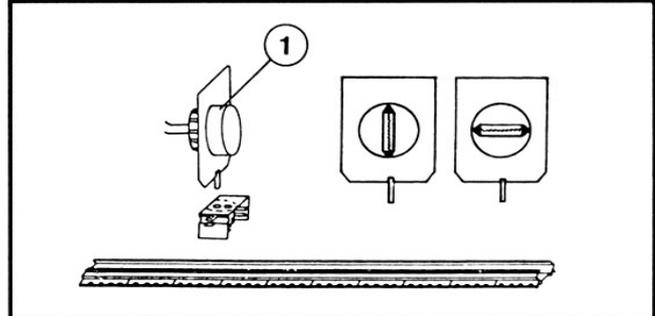




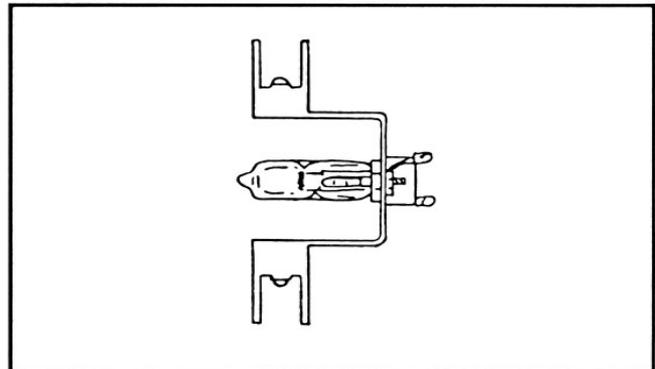
Lámpara tubular

Se inserta la varilla del bastidor de la lámpara en la abertura izquierda del jinetillo. El tubo de la lámpara (1) puede girarse, pudiéndose así ajustar el filamento de la lámpara en posición vertical u horizontal.

Máxima tensión de trabajo de la lámpara: 12 V

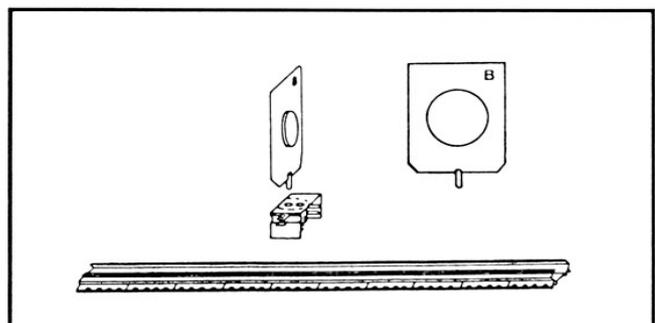


*Repuesto de lámpara halógena para la lámpara tubular**



Lentes

Se introducen las varillas de las lentes en la abertura izquierda del jinetillo. El punto central de la lente estará de este modo marcado en el raíl por la flecha izquierda. La letra de identificación de la lente, por ejemplo "B", debe estar en el lado opuesto a la lámpara.

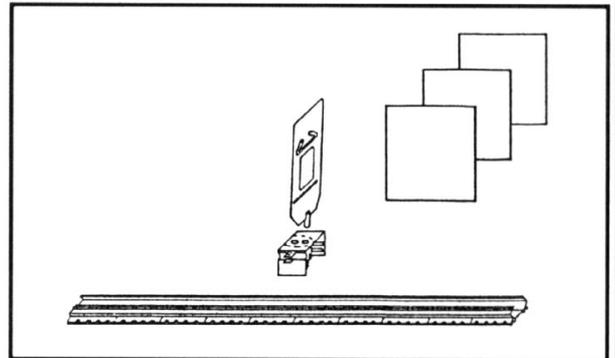


Identificación de la lente	Distancia focal f mm	Incluido en el juego
A	+ 50	OP4
B	+ 100	OP1
H	+ 300	OP4
D	+ 500	-



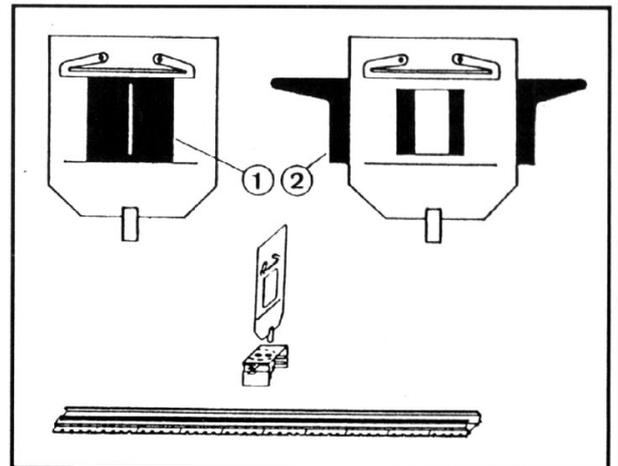
Filtros

Los filtros se mueven en la trayectoria del haz con la ayuda del soporte para diafragmas y diapositivas. Dependiendo de los requerimientos, pueden ser empujados a ambos lados del soporte.

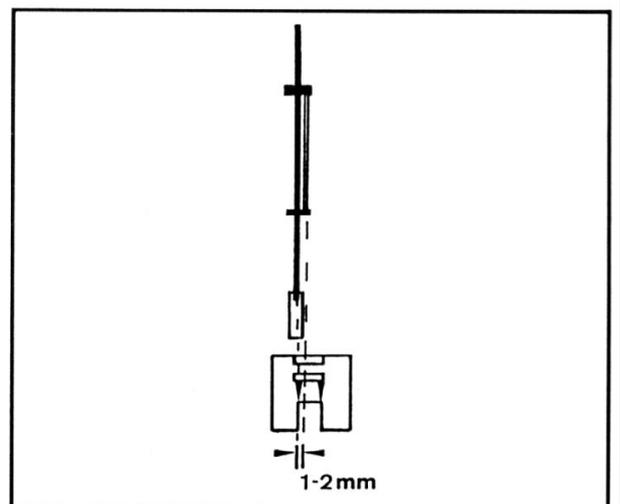


Soporte para diafragmas y diapositivas

Se inserta la varilla del soporte del diafragma en el jinetillo con pinza. El punto central del diafragma queda indicado por la flecha derecha. Se empuja el diafragma (1) (en el marco de la diapositiva) hacia el lado del soporte opuesto a la lámpara bajo la presilla. El otro lado se utiliza para acomodar la corredera (2) con la que puede taparse una parte de la abertura del diafragma.



La posición de la flecha indicadora del jinetillo y la posición del objeto (diafragma) introducido en el jinetillo del diafragma difieren ligeramente entre sí. La flecha indicadora da la posición del marco. Los diafragmas y las diapositivas pueden encontrarse 1 o 2 mm detrás del marco, ya que están asegurados al lado del soporte opuesto a la lámpara. De todas maneras, esta diferencia puede en la mayoría de los casos ser despreciada teniendo en cuenta la precisión requerida para estos experimentos.

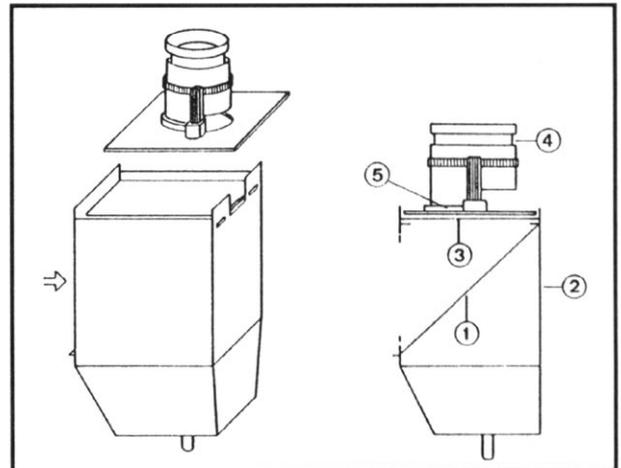




Caja con espejos

La caja con espejos permite observar las imágenes proyectadas de baja intensidad luminosa en ambientes escasamente oscurecidos. (1): espejo, inclinado 45°, desplaza al plano de proyección (2) a (3) (en una posición de observación mas favorable). Las imágenes reales en el plano (3) se observan con la ayuda de una lupa (4). Cuando se ajusta el foco en (3), la escala en la lupa (4) puede leerse claramente.

Distancia de graduación de la escala: 0.1 mm



Diafragmas

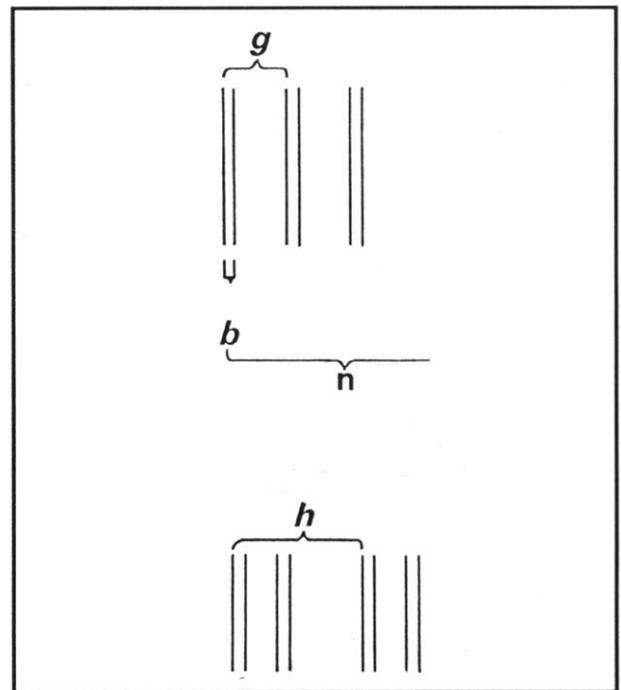
Definiciones y abreviaciones para diafragmas de ranuras.

- n: Número de ranuras
- b: Ancho de una ranura
- g: Distancia entre ranuras contiguas

= significa distancia de la ranura

||| /cm: Número de líneas por cm (estándar en la rejilla de surcos)
Si g se mide en centímetros, este valor es 1/g.

h: Distancia entre un grupo de ranuras.

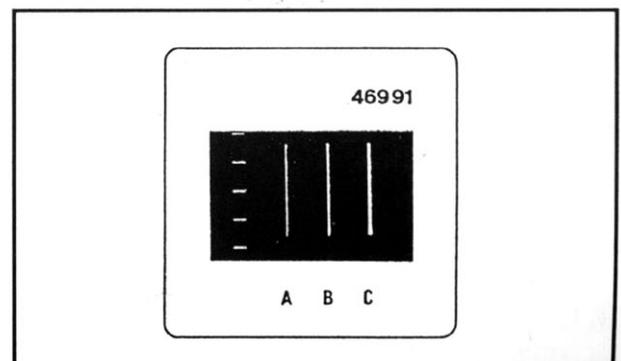


Diafragma con 3 ranuras simples

A : b = 0.12 mm

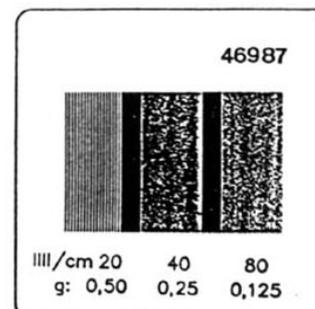
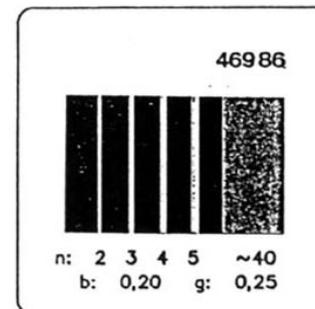
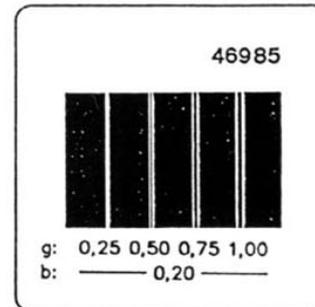
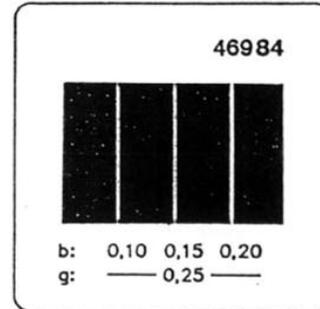
B : b = 0.24 mm

C : b = 0.48 mm





Nombre	n	$\frac{b}{\text{mm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	$\frac{h}{\text{mm}}$
Diagrama con 3 ranuras dobles	2	0,20	0,25	9
		0,15 0,10		
Diafragma con 4 ranuras dobles	2	0,20	0,25	7
		0,50		
		0,75 1,00		
Diafragma con 5 ranuras múltiples	2	0,20	0,25	5
	3			
	4			
	5			
	~ 40			
Diafragma con 3 rejillas	20	0,30	0,50	13
	40	0,15	0,25	
	80	0,075	0,125	





Diafragma con 2 rejillas bidimensionales

Dos rejillas bidimensionales complementarias

$$\text{con } \frac{1}{g} = \frac{40}{\text{cm}}$$

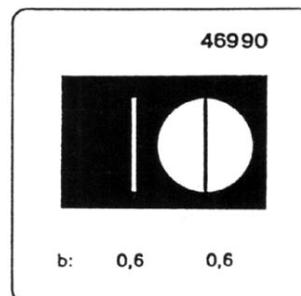
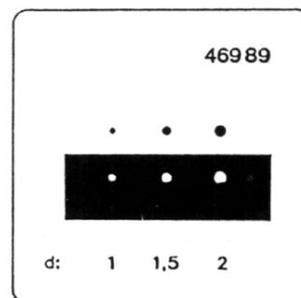
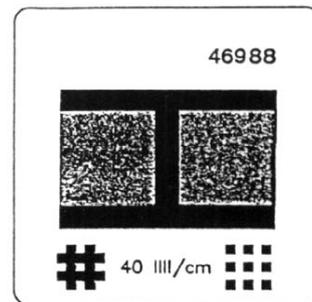
Diafragma con 3 pares de discos con agujeros de diferente diámetro.

El objeto y el orificio tienen el mismo diámetro de a pares:

$$d = 1 \text{ mm}; 1.5 \text{ mm}; 2 \text{ mm}$$

Diafragma con ranura y puentecillo. Ranura y puentecillo del mismo ancho.

$$b = 0.6 \text{ mm}$$





Verificación de datos de los objetos de difracción

Tarea

Verificar datos como los números de ranuras, la distancia entre las ranuras, anchos de las ranuras y constantes de rejilla con la ayuda del proyector.

Aparatos

- 1 Raíl metálico de precisión; 1 m ó
- 2 Bancos ópticos; 0.5 m
- 5 Jinetillos con pinzas
- 1 Lámpara tubular
- 1 Lente A, $f = 5$ cm
- 1 Lente B, $f = 10$ cm
- 1 Soporte para diafragmas y diapositivas
- 1 Filtro del rojo
- 1 Caja con espejos
- 1 Lupa
- 1 Fuente de alimentación de 6 V
- 1 Par de cables, 50 cm

Objetos de difracción:

- 1 Diafragma con 3 ranuras simples
- 1 Diafragma con 3 ranuras dobles
- 1 Diafragma con 4 ranuras dobles
- 1 Diafragma con 5 ranuras múltiples
- 1 Diafragma con 3 rejillas
- 1 Diafragma con 2 rejillas bidimensionales
- 1 Diafragma con 3 pares de discos con agujeros
- 1 Diafragma con ranura y puentecillo

Instalación

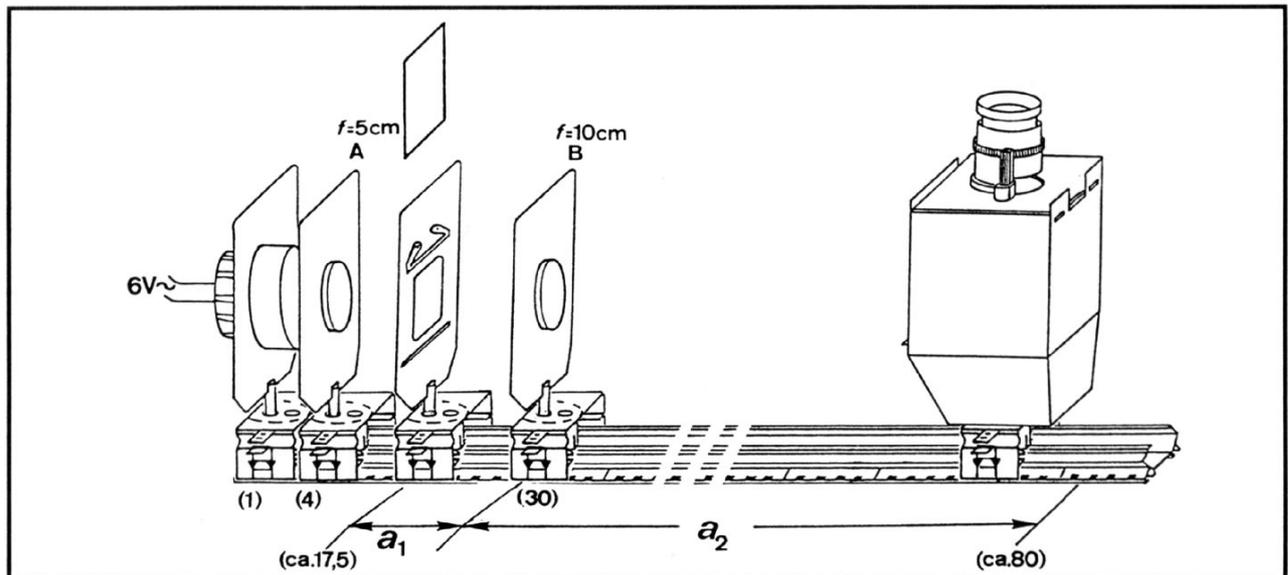


Fig.1: Instalación del experimento para proyectar objetos de difracción.

Los números entre paréntesis dan las posiciones de los componentes ópticos sobre el banco óptico.

Asegure los elementos ópticos al banco como se muestra en el diagrama.

Oriente verticalmente el filamento de la lámpara tubular.

Coloque el filtro del rojo en el soporte para diafragmas y diapositivas.



Método

Tarea 1:

Observar los objetos de difracción con la ayuda de una lupa.

Tarea 2:

Construir un proyector de diapositivas con factor de amplificación $K = 4$.

Medir las imágenes reales de los objetos de difracción aumentados en 4x con la ayuda de una lupa.

Utilice las siguientes ecuaciones:

► Fig. 2

$a_1 = f + \frac{f}{K} \quad (I)$ $a_2 = f + K \cdot f \quad (II)$
--

f = Distancia focal

a_1 = Distancia del objeto

a_2 = Distancia de la imagen

K = Factor de amplificación (acá 4)

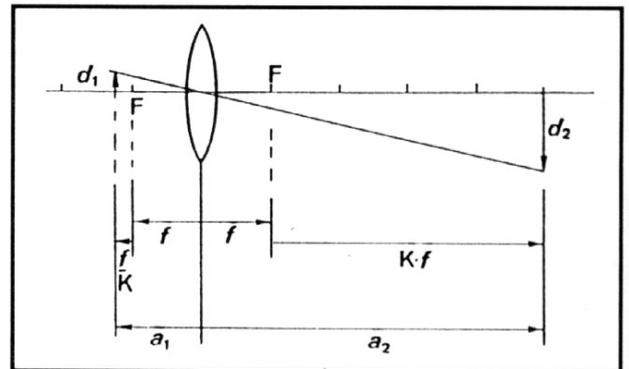


Fig.2: Formación de la imagen con la ayuda de una lente.

d_1 :Tamaño del objeto

a_1 : Distancia del objeto

d_2 : Tamaño de la imagen

a_2 : Distancia de la imagen

Factor de amplificación:

$$K = \frac{d_2}{d_1} = \frac{a_2}{a_1}$$

Muestre que estas ecuaciones representen simplemente otra manera de expresar la ya sabida formula de la lente

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2}$$

Determine f formando una imagen de un objeto alejado.

Calcule a_1 y a_2

- Inserte el soporte para diafragmas y diapositivas en la distancia a_1 a la izquierda de la lente B.
- Fije la caja con espejos en la distancia a_2 a la derecha de la lente B.

Utilizando el proyector de diapositivas, aumente los objetos de difracción que se muestran en la instalación del equipamiento, luego observe y mídalos en la caja con espejos bajo la lupa.

Verificación de datos de los objetos de difracción

Objetivos

Poder medir los objetos de difracción con la ayuda de un proyector autoensamblado.

Nota importante:

Los objetos de difracción son fabricados con tanta precisión que los datos impresos en ellos pueden aceptarse sin dudar.

Las mediciones efectuadas acá deben usarse meramente para corroborar datos y no para correcciones.

Aparatos

1 Rail metálico de precisión; 1 m460 81
ó	
2 Raíles metálicos de precisión; 0.5 m460 82
1 Lámpara tubular	459 03
1 Lente A, $f = 5$ cm	459 60
1 Lente B, $f = 10$ cm	459 62
1 Soporte para diafragmas y diapositivas	459 33
1 Filtro, rojo de	467 95
1 Caja con espejos	459 17
1 Lupa	459 19
1 Fuente de alimentación de 6 V de CA, ej. fuente de alimentación de baja tensión de 3 A	522 16
o	
Transformador de 6 V de CA/12 V de CA.	562 73
1 Par de cables, 50 cm ej.	501 451

Objetos de difracción:

1 Diafragma con 3 ranuras simples469 91
1 Diafragma con 3 ranuras dobles469 84
1 Diafragma con 4 ranuras dobles.	469 85
1 Diafragma con 5 ranuras múltiples.469 86
1 Diafragma con 3 rejillas469 87
1 Diafragma con 2 rejillas bidimensionales.	469 88
1 Diafragma con 3 pares de discos con agujeros.	469 89
1 Diafragma con ranura y puentecillo.469 90

Método

Tarea 1:

Con la ayuda de la lupa, es posible reconocer características de los objetos de difracción, que ya son demasiado pequeños para la observación directa.

En principio, los objetos de difracción deben observarse con precisión antes de todos los experimento de difracción.



Tarea 2:

Las designaciones a_1 para la distancia del objeto y a_2 para la distancia de la imagen fueron seleccionadas en lugar de g y b con el fin de evitar confusión con los datos de los objetos de difracción (g = distancia de la ranura; b = ancho de la ranura).

Pruebe que las ecuaciones (I) y (II) correspondan a la conocida formula de la lente:

$$\frac{1}{a_1} = \frac{1}{f(1 + \frac{1}{K})}$$

$$\frac{1}{a_2} = \frac{1}{f(1 + K)}$$

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} = \frac{1}{f} \left[\underbrace{\frac{1}{1 + \frac{1}{K}} + \frac{1}{1 + K}}_1 \right]$$

Si se forma una imagen de un objeto muy distante, el recíproco de la distancia de la imagen a_1 puede establecerse como igual a 0.

Así, $f = a_2$, es decir que la distancia focal es la misma que la distancia de la imagen.

La distancia focal f es la misma que la distancia entre B – pantalla (pared posterior de la caja con espejos).

Ejemplo de medición:

$$f = 10.2 \text{ cm}$$

Cálculos:

Factor de amplificación: $K = 4$ (se estipula)

Distancia del objeto: $a_1 = 10.2 \text{ cm} \left(1 + \frac{1}{4} \right) = 12.75 \text{ cm}$

Distancia de la imagen: $a_2 = 10.2 \text{ cm} (1 + 4) = 51.0 \text{ cm}$

Números de posición ► Fig.1:

Soporte para diafragmas y diapositivas: (17.25)

Caja con espejos: (81.0)

Divida por 4 las longitudes medidas con la lupa.

Nota:

Cálculo simple frente a la clase:

Ubique el objeto de difracción y la regla transparente en un proyector con espejos.

Determine la escala de aumento de la proyección. Además, mida la unidad de longitud en la proyección y los tamaños de interés del objeto de difracción.



Difracción en objetos de difracción

Fundamentos

Se dice que dos (o más) ondas, diferencia de fase que permanece constante en cada punto del campo ondulatorio por un largo período de tiempo, son coherentes.

Las ondas de luz con esta propiedad se emiten con un láser.

Sin embargo, una fuente luminosa normal también emite luz coherente si esta luz se limita a los alrededores inmediatos del eje óptico. (mas afuera de la fuente de luz).

(Investigaciones adicionales: Experimento ► 1.6)

Los obstáculos simples son irradiados con luz coherente en los siguientes experimentos. Las desviaciones de la propagación en línea recta de la luz que pueden verse acá se conocen como difracción.

Los diafragmas de la colección que permiten que este comportamiento suceda claramente son conocidos también como objetos de difracción.

Cuando investigamos el fenómeno de difracción, se diferencian dos tipos de configuraciones experimentales.

I) *Difracción de Fraunhofer*

Acá se investigan los frentes de ondas paralelos delante y detrás del objeto de difracción.

Esto corresponde a una fuente luminosa localizada a una distancia infinita del objeto de difracción en un lado, y una pantalla de observación a una distancia infinita del otro lado. En lugar de ir hacia el infinito con la fuente de luz y la ranura, las lentes convergentes se ubican en la trayectoria del haz delante y detrás del objeto de difracción.

Esto produce el efecto de alinear paralelamente la luz que sale de la ranura iluminada. Como resultado, la ranura se reubica, en efecto, en el infinito.

Por otro lado, la luz paralela proveniente del objeto de difracción se combina en el plano focal con la ayuda de una lente convergente.

Ahora puede realizarse allí la observación en lugar de hacerlo en el infinito.

II) *Difracción de Fresnel*

Acá la fuente luminosa en un lado y la pantalla de observación en el otro están a una distancia finita del objeto de difracción.

Puesto que las distancias aumentan, las imágenes de difracción de Fresnel se asemejan cada vez más a las imágenes de difracción de Fraunhofer. En contraste con la difracción de Fresnel, los cálculos de las imágenes de difracción para los objetos de difracción conocidos, son simples para la difracción de Fraunhofer.



El método de observación de Fraunhofer es utilizado como base para todas las evaluaciones cuantitativas de los experimentos aquí descritos.

La instalación básica I que se describe a continuación es utilizada para la comprensión práctica.

La instalación básica II proporciona una alternativa.

Establece menos demandas en el ancho de la ranura, ofrece una amplia gama angular para la observación y es particularmente fácil de ajustar.

Por otro lado, es necesario aceptar que a pesar de la considerable longitud del sistema, sólo la luz aproximadamente paralela penetra el objeto de difracción.

Esto lleva a errores sistemáticos cuando se evalúan las imágenes de difracción utilizando el método de Fraunhofer.

Mientras mayor sea la distancia entre la ranura y el objeto de difracción, menores serán los errores.

**Aparatos para las instalaciones básicas**

Instalación		Designación del aparato
I Número	II Número	
1	–	Raíl metálico de precisión, 1m
– (1)	2	Raíl metálico de precisión, 0.5 m
5 (6)	5 (6)	Jinetillos con pinzas
1	1	Lámpara Tubular
1	1	Ranura regulable
1	1	Par de filtros rojo, azul
–	1	Lente A, $f = 5$ cm
1	1	Lente H, $f = 30$ cm
1	–	Lente D, $f = 50$ cm
1 (2)	1 (2)	Soporte para diafragmas y diapositivas
1	1	Caja con espejos
1	1	Lupa
1	1	Fuente de tensión de 12 V
2	2	Cables de experimentación , 50 cm

Acerca de los números entre paréntesis:

El número mayor sólo es necesario si usted no desea utilizar cinta adhesiva para sostener el filtro de color.

Lo siguiente también es necesario para la instalación del telescopio en forma separada en la instalación básica I:

1 Raíl metálico de precisión, 0.5 m



Instalación básica I

Iluminada directamente, haga mas estrecha la ranura en el punto focal de la lente D. La luz emitida desde la ranura es paralela detrás de la lente.

La lente H combina nuevamente haces paralelos en un punto en el plano focal. El objeto de difracción a ser investigado se posiciona entre D y H. (Método de Fraunhofer)

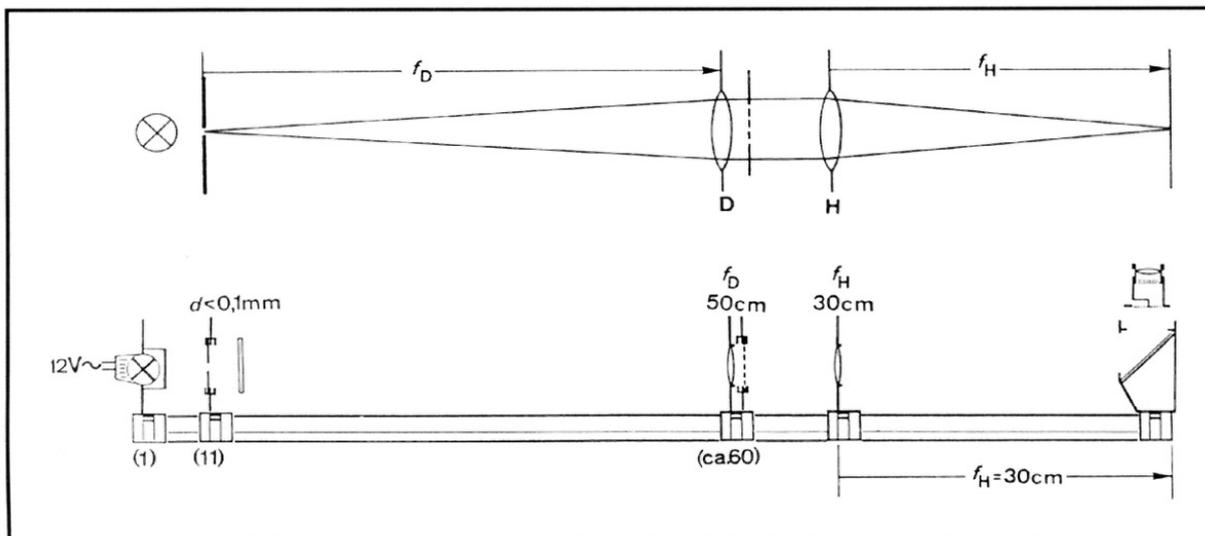


Fig. 1

Ajuste de la instalación I

1. Construcción de un telescopio astronómico (Kepler)

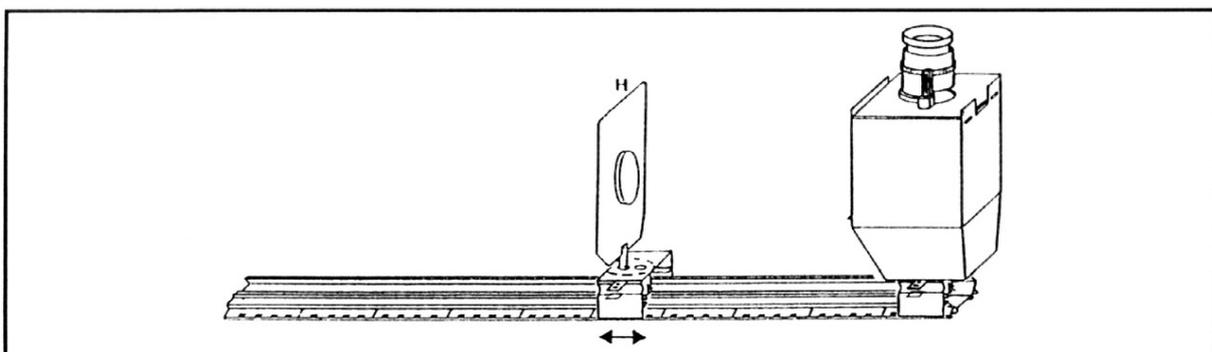


Fig. 2

- 1.1 Mire dentro de la lupa. Gire el anillo de ajuste hasta que la escala esté en foco. No vuelva a cambiar la posición
- 1.2 Fije la caja con espejos con la lupa al extremo del raíl metálico (longitud 1m). Coloque la lente H a treinta centímetros.



1.3 Dirija el telescopio resultante a objetos lejanos (horizonte)

Traiga la imagen en foco moviendo la lente H.

Mida con precisión milimétrica y note la distancia a entre el centro de la lente y la pared posterior de la caja con espejos utilizando el raíl metálico con escala.

2. Formación de una imagen de la ranura

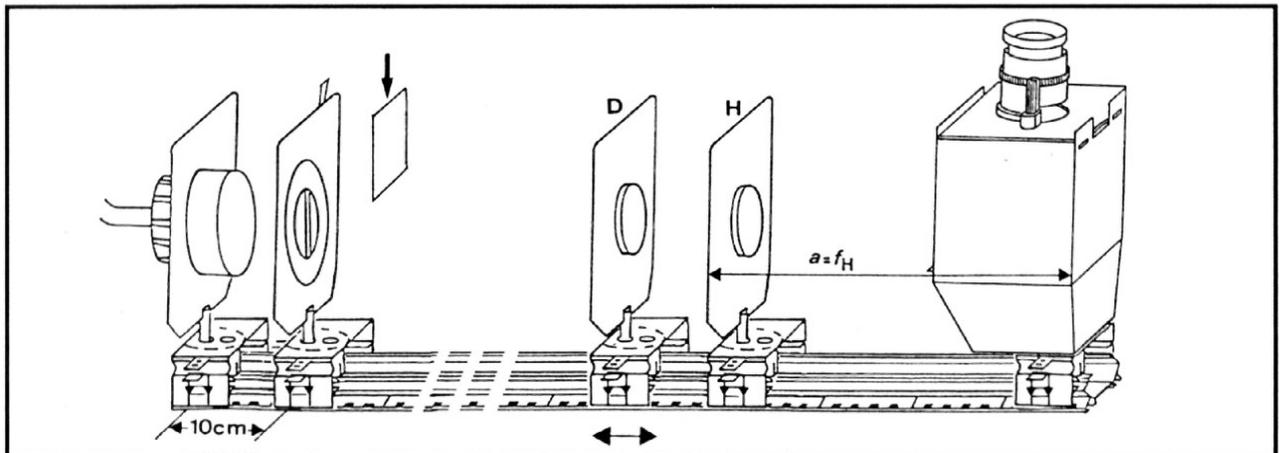


Fig. 3

2.1 Asegure la cubierta de la lámpara, la ranura (con un ancho menor de 0.1 mm, es decir ranura regulable) y la lente D con el soporte del diafragma al raíl metálico como se muestra en la Fig.3

2.2 Alinee el filamento incandescente de la lámpara paralelo a la ranura.

► Fig.4

izquierda: lámpara de halógeno

derecha: lámpara tubular

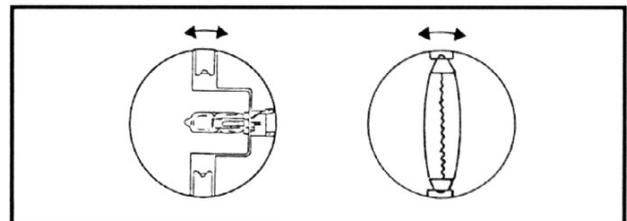


Fig. 4

2.3 Mueva la lente D de manera que la ranura se muestre en foco.

3. Use luz monocromática. Traiga el filtro de color dentro de la trayectoria del haz inmediatamente detrás de la ranura.



Instalación básica II

Iluminación intensiva de la ranura con la ayuda de la lente convergente A (colimador).

La lente H, a una distancia mayor, forma una imagen de la ranura.

El objeto de difracción a ser investigado se posiciona inmediatamente delante de la lente H.
(Método de observación de Fresnel)

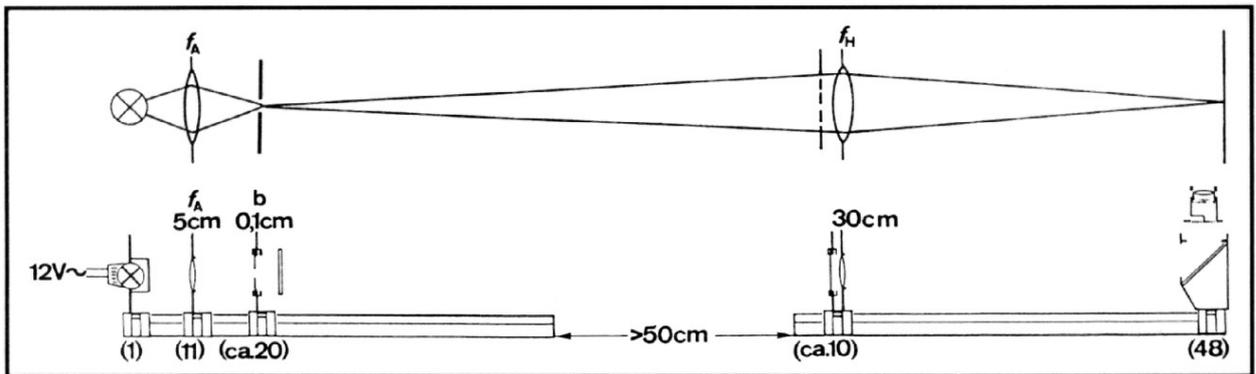


Fig. 1

Ajuste de la instalación II

1. Construcción de un colimador (▶ Fig.1, parte izquierda)

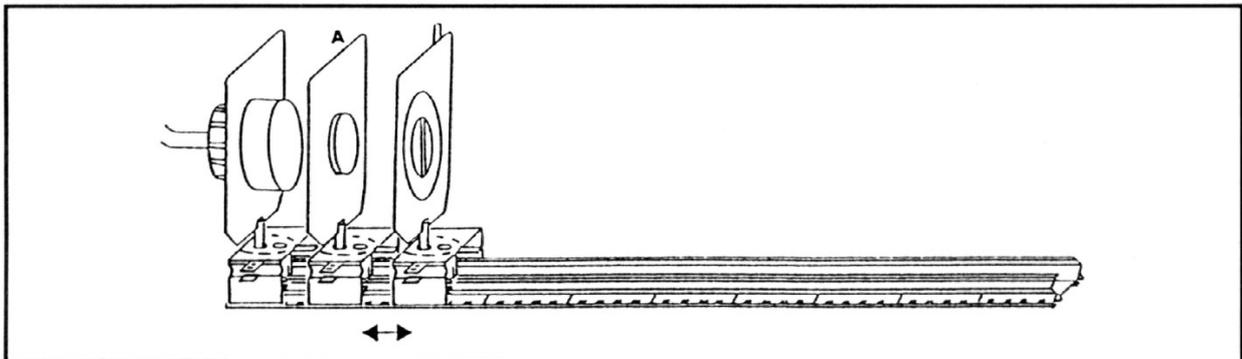


Fig. 2

- 1.1 Asegure la cubierta de la lámpara, la lente convergente A y la ranura (con un ancho aprox. de 0.1 mm, por ej. ranura regulable) al raíl metálico de 50 cm.
- 1.2 Alinee en forma paralela a la ranura el filamento incandescente de la lámpara.

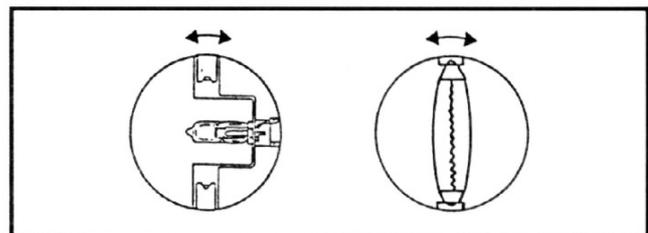


Fig. 4

- 1.3 Mueva la ranura de manera que se produzca una imagen del filamento en el plano de la ranura.



2. Construcción de un telescopio astronómico (Kepler) ▶ Fig.1, parte derecha

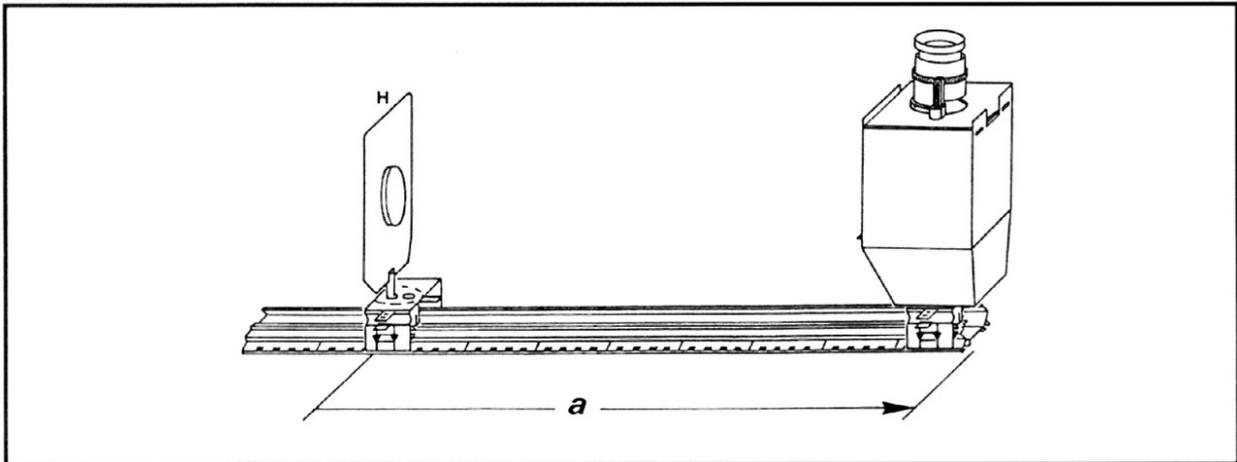


Fig. 3

- 2.1 Mire por la lupa. Ajuste el anillo regulable hasta que la escala esté en foco.
No ajuste la posición nuevamente.
- 2.2 Fije la caja con espejos con la lupa al extremo de un raíl metálico de 50 cm de longitud.
Ubique la lente H y un soporte de diafragmas a aproximadamente 40 cm.
3. Formación de una imagen de la ranura
Seleccione una distancia de por lo menos 50 cm entre los dos raíles metálicos.
Apunte a la ranura con el telescopio y forme una imagen nítida de ella moviendo la lente H.
4. Trabajo con luz monocromática.
Posicione el filtro del rojo en la trayectoria del haz inmediatamente detrás de la ranura.



Ficha de trabajo para los estudiantes

Difracción en el semiplano

Tarea Observar con precisión y describir los contornos de la sombra en el borde de un semiplano.

Aparatos

- 1 Banco óptico, 1 m ó
- 2 Raíles metálicos de precisión, 0.5 m
- 4 Jinetillos con pinzas
- 1 Lámpara tubular
- 1 Ranura regulable
- 1 Soporte para diafragmas y diapositivas
- 1 Caja con espejos
- 1 Lupa
- 1 Fuente de alimentación de 12 V
- 1 Par de cables

Instalación

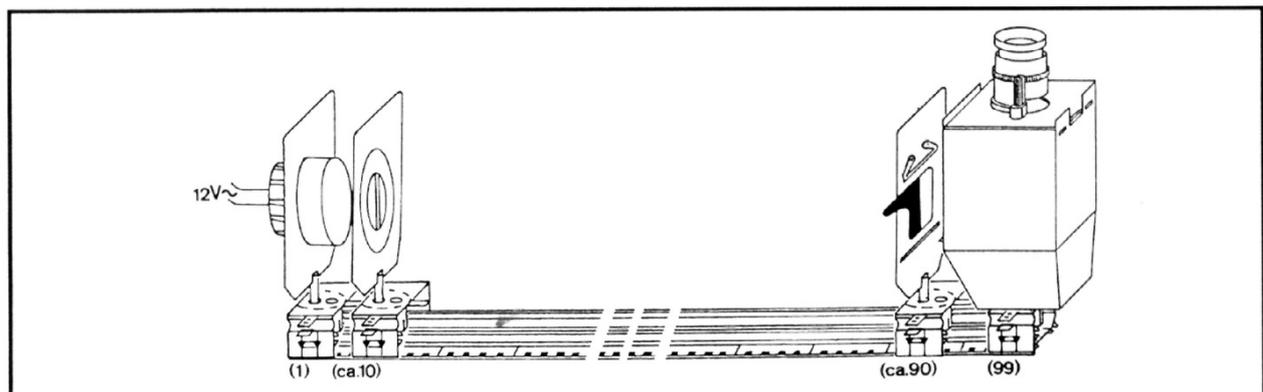


Fig. 1

Ajuste la ranura regulable a un ancho de aproximadamente 0.1 mm

Alinee el filamento de la lámpara verticalmente.

Mueva la corredera en el soporte para diafragmas y diapositivas de manera tal que se pueda ver el borde en el medio de la caja con espejos.

Método

Observe y describa con precisión en la caja con espejos los contornos de la sombra en el borde de la corredera.

Resultados de las observaciones



Información para el profesor

Difracción en el semiplano

Objetivos Ser capaz de observar y describir correctamente los contornos de la sombra.
Reconocer que la luz parece desviarse alrededor del contorno de la sombra y que la modulación del brillo observado sugiere el modelo conceptual de una onda.

Aparatos

- 1 Banco óptico, 1 m 460 81
ó
- 2 Raíles metálicos de precisión, 0.5 m 460 82
- 4 Jinetillos con pinzas 460 95
- 1 Lámpara tubular. 459 03
- 1 Ranura regulable. 471 71
- 1 Soporte para diafragmas y diapositivas. 459 33
- 1 Caja con espejos. 459 17
- 1 Lupa 459 19
- 1 Fuente de alimentación de 12 V. 562 73
o. 522 16
- 1 Par de cables, 50 cm, por ejemplo rojo, azul. . . 501 451

Resultados

Puede observarse un sistema de franjas en el borde del semiplano. El espaciamiento de las franjas se vuelve mas pequeñas al alejarse de la sombra. Esto se entiende si usted recuerda que la luz tiene un carácter ondulatorio.



Fig. 2: Sombras en el borde de un semiplano (sección del negativo fotográfico aumentado 20x)

Notas

Una investigación precisa muestra que la estructura de las franjas que pueden verse está situada fuera del área de sombra geométrica . El área de la sombra misma está libre de cualquier estructura de franja. Al tratar la difracción en un semiplano resulta matemáticamente en el espiral Cornu.



Ficha de trabajo para los estudiantes 1

Difracción en una ranura

Tarea

- Observar y describir con precisión las imágenes de difracción de una ranura
- Investigar las imágenes de difracción en función del ancho de la ranura
- Determinar la longitud de onda de la luz monocromática, roja.

Aparatos

Ver instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03) también:
1 Diafragma con 3 ranuras simples.

Instalación

Instalación básica I o II ▶ 1.02 o 1.03
Utilice el soporte para diafragmas con correderas como objeto de difracción.

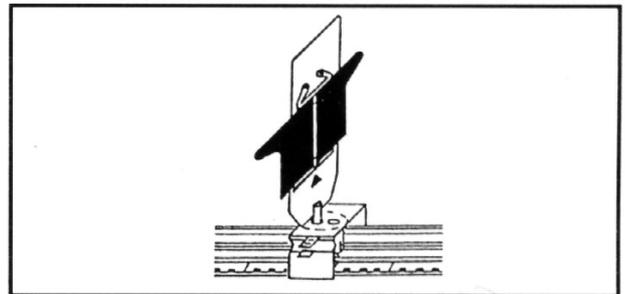


Fig. 1 Ranura regulable con dos correderas del soporte para diafragmas y diapositivas

Ubicación:

En la instalación I entre las lentes H y D

En la instalación II delante de la lente H

Método

Experimento 1

Imágenes de difracción en una ranura regulable.

Difracción con luz blanca.

Ajuste diferentes anchos de la ranura con las correderas en el soporte para diafragmas.

Observe las imágenes de difracción en la caja con espejos.

Experimento 2

Imágenes de difracción en una ranura regulable.

Iluminación con luz filtrada.

Sostenga el filtro del rojo en la trayectoria óptica (▶ instalación básica) y proceda como en el experimento 1.

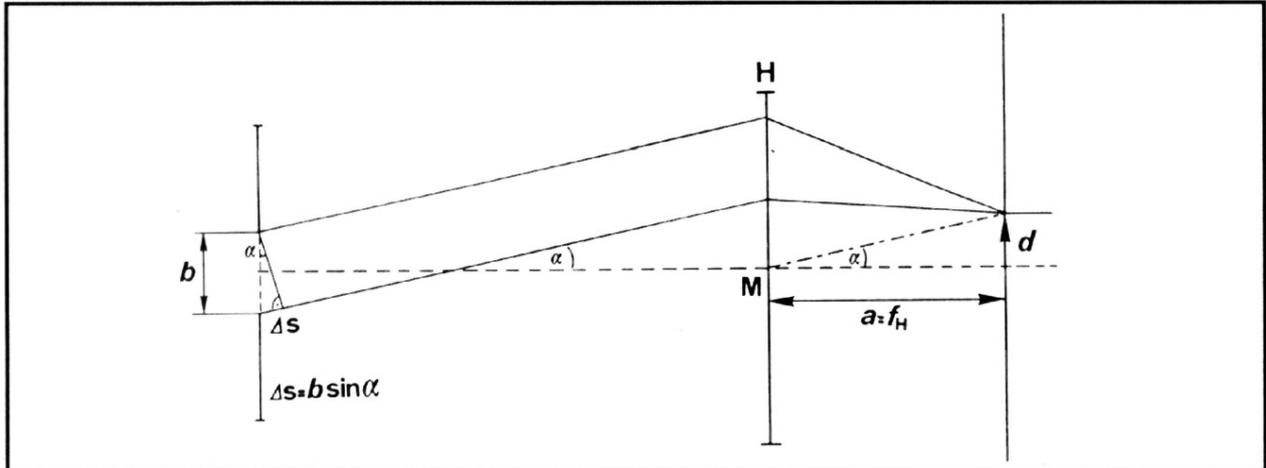


Fig. 2: izquierda:

Diagrama para deducir la fórmula para los mínimos de la imagen de difracción

b : ancho de la ranura; a = distancia, lente H – pantalla

En la instalación básica I:

a : f_H = distancia focal de la lente H

d : distancia: máximo principal – 1° mínimo

α : ángulo en el que se observa la imagen de difracción (Fraunhofer)

Observaciones y explicaciones

Experimento 3

Determinación de la longitud de onda de la luz del filtro rojo.

Inserte el diafragma con 3 ranuras simples en el soporte para diafragmas para que haga de objeto de difracción.

Lleve el filtro del rojo a la trayectoria del haz (► instalación básica)

Lleve las ranuras A, B y C dentro de la trayectoria del haz exactamente en este orden (► flecha en el centro del soporte para diafragmas)

Utilizando las dos correderas del soporte para diafragmas y diapositivas, cubra la ranura de la diapositiva en cada caso.

En cada ranura, lea la distancia $2d$ entre las primeras dos franjas de interferencia (1° mínimo) a la derecha e izquierda del máximo central (la parte mas clara de la figura de interferencia) bajo la lupa.

► Tabla.



Ficha de trabajo para los estudiantes 3

Tabla

Distancia pantalla – lente H: $f_H = a =$		
Ranura	Ancho b	Distancia de los dos primeros mínimos: 2d
A		
B		
C		

Evaluación

Determine la longitud de onda de la luz del filtro rojo.
Deduzca la formula para los mínimos de la imagen de difracción en la ranura:

$$K \cdot \lambda = \frac{b}{a} \cdot d$$

$$K = 1, 2, 3, \dots$$

λ : Longitud de onda

b : Ancho de la ranura

a : Distancia lente – pantalla



Difracción en una ranura

Objetivos

Reconocer que la imagen de difracción de la ranura va mas allá del área de la sombra geométrica

- cuando la ranura es mas angosta y
- cuando la longitud de onda de la luz es mayor

Ser capaz de determinar la longitud de onda de la luz monocromática.

Aparatos

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)

también:

1 Diafragma con 3 ranuras simples

Instalación

Nota

Si aplica la instalación básica II, también se puede usar la ranura regulable en lugar de las dos correderas.

En tal caso, la ranura con el ancho $b = 0.1$ mm del objeto de difracción "diafragma con 3 ranuras simples" cumple la función de ranura de colimador.

Método

Experimento 1

Se observa un sistema de franjas con bordes de colores como la imagen de difracción de la ranura.

El espaciado de las franjas aumenta en tamaño cuando disminuye el ancho b de la ranura.

Experimento 2

Los bordes de colores desaparecen cuando se utiliza un filtro monocromático rojo.

Puede observarse un máximo de intensidad (orden 0) en el centro (en el eje óptico) y hacia la derecha e izquierda de estos máximos de intensidad (1° , 2° , 3°orden).

Los máximos de intensidad están separados por franjas oscuras equidistantes (mínimos de intensidad de 1° , 2° , 3° ...orden).

**Experimento 3**

Tabla

Ejemplo de medición

Espaciamiento: Pantalla – lente: $f_H = a = 302$ mm		
Ranura	Ancho b	Espaciamiento de los dos primeros mínimos $2d$
A	0.12 mm	2.9 mm
B	0.24 mm	1.5 mm
C	0.48 mm	0.8 mm

Evaluación

Deducción de la fórmula para los mínimos de la imagen de difracción en la ranura:

► Fig. 2

Los mínimos se producen cuando la diferencia de trayectoria óptica de la onda elemental en el borde de la ranura (ancho b) es un número entero múltiplo de la longitud de onda λ :

$$K \cdot \lambda = b \sin \alpha; K = 1, 2, 3, \dots \quad (I)$$

Razón:

Para cada onda elemental en una mitad de la ranura hay una onda elemental en la otra mitad de la ranura

con la diferencia de trayectoria óptica $\frac{\lambda}{2}$.La lente H de formación de imágenes combina en el plano focal la luz paralela con un ángulo α .

Como puede observarse en la Fig. 2 (con leyenda) se aplica lo siguiente:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d}{a} \quad (II)$$

De (I) y (II) sigue que

$K \cdot \lambda = \frac{b}{a} \cdot d$	(III)
---	-------

$$k = 1, 2, 3, \dots$$



Determinación de la longitud de onda de la luz roja

Lo siguiente se obtiene sobre la base de (III) para

$$\text{Slit A} : \lambda = \frac{0,12 \text{ mm}}{302 \text{ mm}} \cdot \frac{2,9 \text{ mm}}{2} \approx 5,8 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{Slit B} : \lambda = \frac{0,24 \text{ mm}}{302 \text{ mm}} \cdot \frac{1,5 \text{ mm}}{2} \approx 6,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

$$\text{Slit C} : \lambda = \frac{0,48 \text{ mm}}{302 \text{ mm}} \cdot \frac{0,8 \text{ mm}}{2} \approx 6,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$$

Resultados

Resulta aprox. 600 nm para la longitud de onda λ de la luz roja.

Para evaluación adicional de los experimentos 1 y 2:

De acuerdo a la ecuación (III), d es proporcional a α , es decir que la luz con diferentes longitudes de onda resulta en diferentes imágenes de difracción, por ejemplo dos máximos secundarios y dos mínimos secundarios diferentes. Esto explica la crominancia de las imágenes de difracción con luz blanca en contraste con la luz monocromática.

Notas

- La ranura simple no es particularmente apropiada para determinar con precisión la longitud de onda, puesto que d solo puede determinarse en forma aproximada. Los experimentos con ranuras múltiples dan mejores resultados.
- Los mínimos de la imagen de difracción de ranura simple son equidistantes. En lo que se refiere a los máximos, esto se aplica sólo de manera aproximada.

La función de difracción de la ranura (► apéndice) es:

$$\frac{I_1(\alpha)}{I_0(0)} = \frac{\sin^2 x}{x^2} \text{ mit } x = b \frac{\pi}{\lambda} \sin \alpha$$

Diferenciando y poniendo a cero queda

$$x_k = \text{tg } x_k$$

como una condición para los extremos de orden K ($K = 0, 1, 2, 3, \dots$).

$x_k = K \cdot \pi$ da exactamente las posiciones de los mínimos.



Las posiciones de los máximos pueden determinarse a partir de la ecuación

$$(K + zk) \pi = \text{tg} (k + zk) \pi ; \quad K = 0, 1, 2, 3,$$

....

$$Z_1 \approx 0.4303$$

$$Z_2 \approx 0.4590$$

$$Z_3 \approx 0.4709$$

...

$$Z_{00} = 0.5000$$

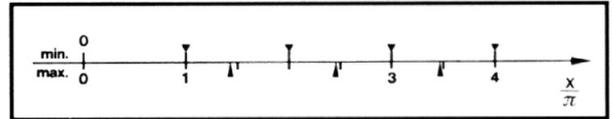


Fig.3: Difracción en la ranura simple. Posición de los mínimos (▼) y máximos (▲)

Puede verse lo siguiente:

Los máximos de orden menor son desplazados al máximo principal de orden 0.

Mientras mas grande es el número de orden, mejor es la posición de los máximos secundarios en el centro entre dos mínimos secundarios.



Difracción en ranuras dobles

- Tarea** Investigar las imágenes de difracción de ranuras dobles cambiando los siguientes parámetros:
1. Anchos de la ranura con un espaciamiento constante
 2. Espaciamiento entre ranuras con ancho de ranura constante

+Aparatos

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)
también:
1 Diafragma con 3 ranuras dobles
1 Diafragma con 4 ranuras dobles

Instalación

Instalación básica I o II ▶ 1.02 o 1.03

Observe con la ayuda de una lupa los objetos de difracción antes de realizar los experimentos.

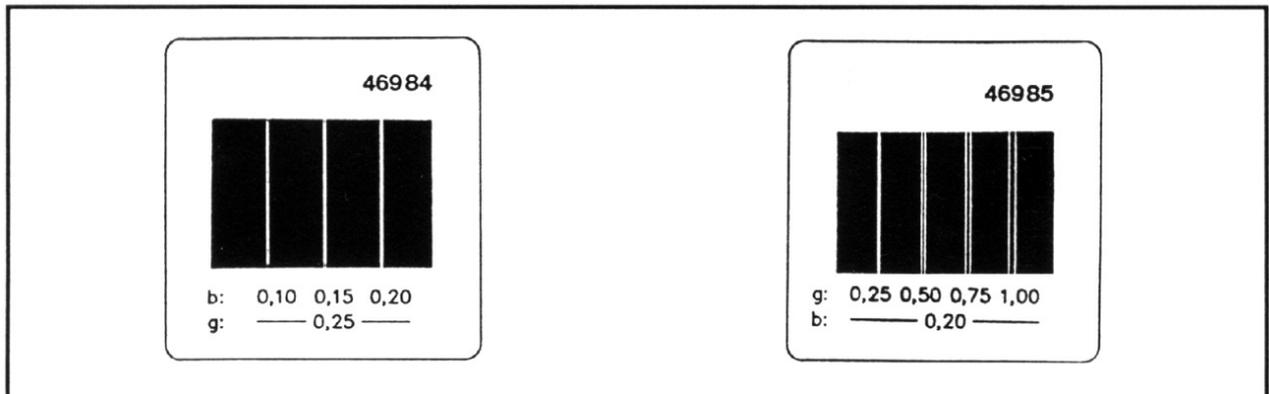


Fig. 1: izquierda: diafragma con 3 ranuras dobles
Derecha: diafragma con 4 ranuras dobles
 b = ancho de la ranura en mm
 g = espaciamiento entre ranuras en mm

Método

Experimento 1

Inserte el objeto de difracción "diafragma con 3 ranuras dobles" en el soporte para diafragmas y diapositivas.

▶ Fig.1, izquierda

Deslice las ranuras dobles con $b = 0.10$ mm, 0.15 mm y 0.20 mm uno después del otro en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

▶ Observe la flecha en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

Cubra las ranuras de interés con las dos correderas. Observe con precisión las imágenes de difracción bajo la lupa en la caja con espejos.

- ¿Como se expresa la constancia del espaciamiento entre ranuras g en las imágenes de difracción?
- ¿Cómo afecta un cambio en el ancho de ranura b ?



Experimento 2

Inserte el objeto de difracción “diafragma con 4 ranuras dobles” en el soporte para diafragmas y diapositivas.

► Fig.1, derecha

Deslice las 4 ranuras dobles con $g = 0.25 \text{ mm}$, 0.50 mm , 0.75 mm y $1,00 \text{ mm}$ uno después del otro en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

► Observe la flecha en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

Observe con precisión las imágenes de difracción bajo la lupa en la caja con espejos.

- ¿Como se expresa la constancia del ancho b de la ranura en las imágenes de difracción?
- Qué efecto tiene un cambio en el espaciamiento entre ranuras g ?

Evaluación

¿Como dependen las distancias de los mínimos de difracción de la ranura doble en b y g ?

Dar una formula en cada caso para los mínimos determinados por b ó g .

Compare las distancias $d(b)$ de los mínimos determinados por b con las distancias $d(g)$ de los mínimos determinados por g .

¿Qué valor tiene el siguiente cociente?

$$\frac{d(b)}{d(g)}$$

$$\frac{d(g)}{d(b)}$$

¿Cuáles imágenes de difracción de ranura doble investigadas son similares ?

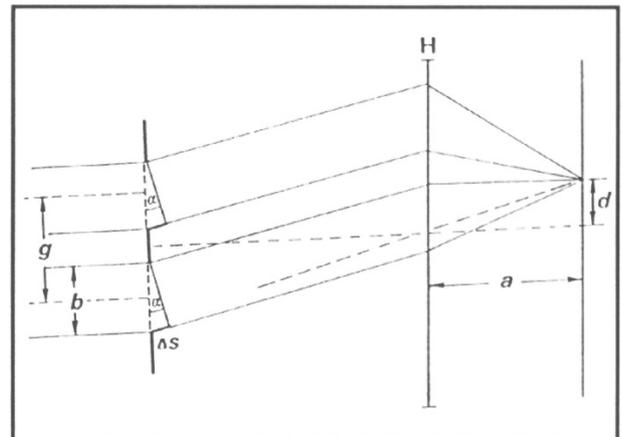


Fig. 2: Diagrama para deducir las relaciones para la formación de los mínimos de difracción con la ranura doble

- b : ancho de la ranura;
- g : espaciamiento entre ranuras
- a : distancia lente H – plano de la imagen
- d : distancia del mínimo investigado al máximo principal, es decir al eje óptico.

Los rayos paralelos en el lado izquierdo de la lente se combinan en el otro lado en un punto del plano focal. Este punto se encuentra con la ayuda del rayo medio (mostrado aquí con líneas punteadas) que pasa a través de la lente sin refractarse.



Difracción en ranuras dobles

Objetivos

Reconocer que:

1. la estructura gruesa de la imagen de difracción es determinada por el ancho de la ranura.
2. la estructura fina de la imagen de difracción es influenciada por el espaciamiento entre ranuras g
3. las imágenes de difracción se vuelven parecidas cuando la relación del espaciamiento entre ranuras g con el ancho b de la ranura es constante.

Aparatos

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)

también:

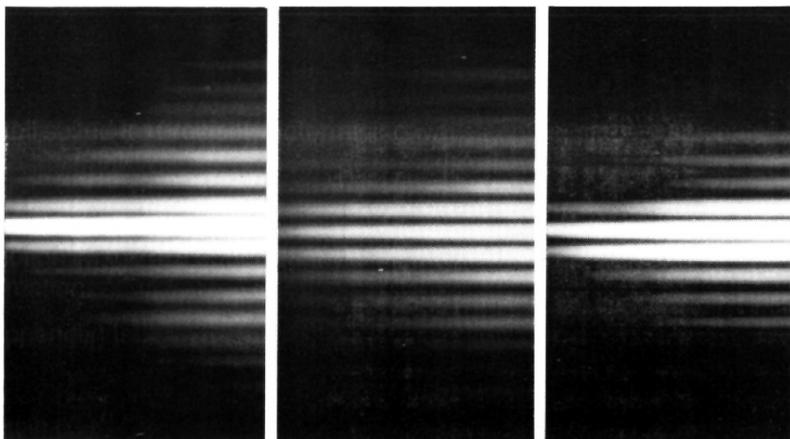
1 Diafragma con 3 ranuras dobles 469 84

1 Diafragma con 4 ranuras dobles 469 85

Experimento 1

Observación ▶ Fig.3

- La constancia del espaciamiento entre ranuras g se expresa en las imágenes de difracción en la constancia de la estructura fina.
La distancia mas pequeña entre mínimos equidistantes no cambia. Por el otro lado, la distancia de los mínimos equidistantes menos enfocados que están mas alejados entre si, varía.



$\frac{b}{\text{mm}}$	0,10	0,15	0,20
$\frac{g}{\text{mm}}$	0,25	0,25	0,25
$\frac{2g}{b}$	5	3,3	2,5

Fig. 3: Imágenes de difracción de ranuras dobles fotografiadas

Ancho b de la ranura variable

Espaciamiento entre ranuras g constante



Experimento 2

Observación ▶ Fig.4

- La constancia del ancho b de la ranura se expresa en las imágenes de difracción con la constancia de la estructura gruesa. La distancia entre los mínimos menos enfocados no cambia. Sin embargo, la distancia entre los mínimos equidistantes mejor definidos si cambia.

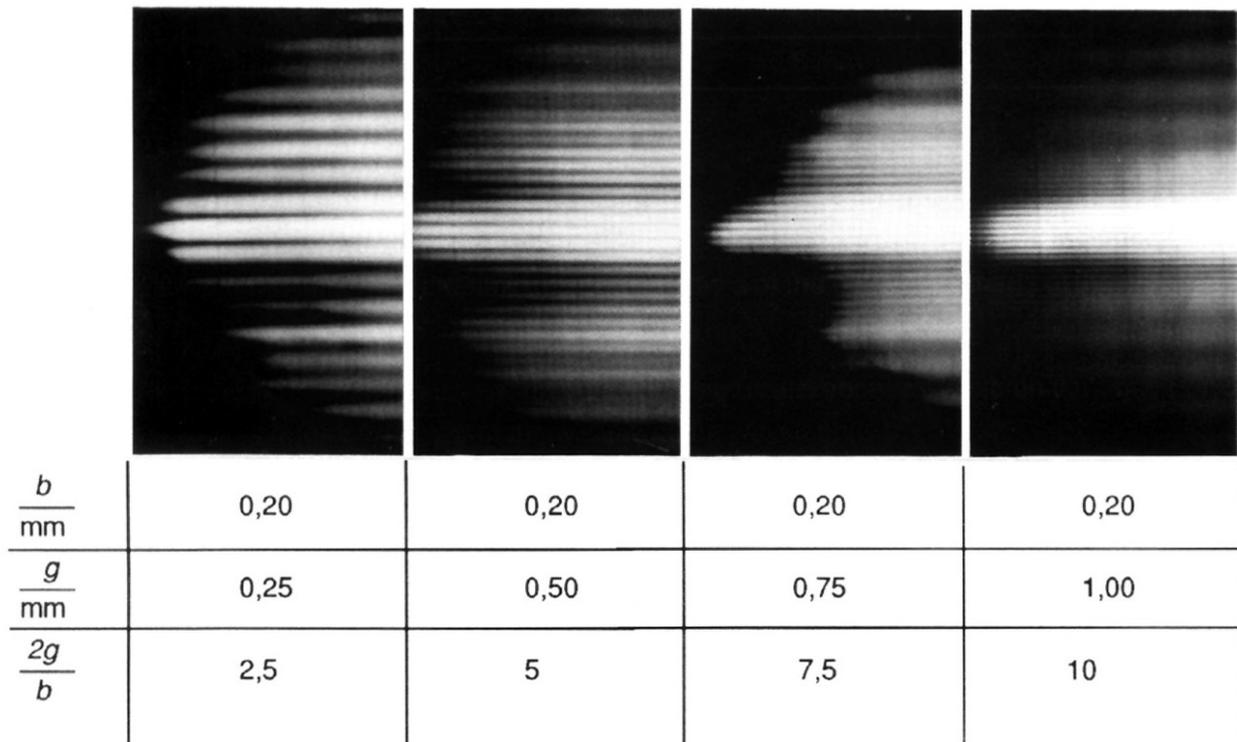


Fig. 4 Imágenes de difracción de ranuras dobles fotografiadas
Ancho b de la ranura constante
Espaciamiento entre ranuras g variable



Evaluación

► Fig. 2

- a) La difracción en la ranura simple produce un mínimo de difracción del orden k cuando se aplica lo siguiente:

$$\Delta_s = b \sin\alpha = K \cdot \lambda; \quad K = 1, 2, 3, \dots$$

y

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_k(b)}{a}$$

Debido a que $\sin\alpha \approx \operatorname{tg}\alpha$

$$d_k(b) = K \cdot a \cdot \lambda \cdot \frac{1}{2}$$

$$K = 1, 2, 3, \dots \quad (I)$$

Una segunda ranura paralela no cambia este mínimo de ninguna manera.

- b) La difracción en dos ranuras resulta en un mínimo de difracción del orden K cuando se aplica lo siguiente:

$$\Delta_s = g \sin\alpha = K \cdot \frac{\lambda}{2}$$

Nota

Para cada onda elemental en una ranura, hay otra onda elemental en la otra ranura – en la distancia g – con la misma distancia de trayectoria óptica Δ_s

Si esta diferencia de trayectoria óptica es exactamente $\frac{\lambda}{2}$, las ondas elementales perturbadoras de ambas ranuras se compensan mutuamente en pares.

Análogo a a), sigue que:

$$d_k(g) = K \cdot a \cdot \lambda \cdot \frac{1}{2g}$$

$$K = 1, 2, 3, \dots \quad (III)$$

Resultados

- La proporcionalidad entre $d_k(b)$ y K o $d_k(g)$ y K puede expresarse en palabras de la siguiente manera: Las distancias de los mínimos de intensidad determinados por b y g son equidistantes.
- Las distancias de los mínimos determinados por g son siempre menores que aquellos causados por b .

► Fig. 3/4



- La relación entre las distancias de los mínimos determinados por b ó g es:

$$\frac{d(b)}{d(g)} = \frac{2g}{b} \quad (\text{III})$$

es decir

Las imágenes de difracción de las ranuras dobles son similares en su estructura si la relación del espaciado de la ranura g con el ancho b de la ranura es la misma.

Dos de los diafragmas de ranuras dobles investigadas producen la misma imagen de difracción, a saber (3) y (4) en la Fig. 3 y Fig. 4.

Dos de los diafragmas de ranuras dobles investigadas producen imágenes de difracción similares, a saber (1) y (5) en la Fig. 3 y Fig. 4.

Notas

Los experimentos de ranura doble juegan un rol importante en física cuántica.

Muestran que las partículas se mueven como si estuvieran guiadas por ondas perturbadoras.

En el caso de las ondas electromagnéticas (por ejemplo luz) el cuadrado de la amplitud del campo eléctrico es decisivo para la intensidad. En el caso de partículas de materia, el cuadrado de la amplitud de las ondas materiales es decisivo para la localización (ondas de probabilidad).



Difracción en ranuras múltiples

- Tareas**
- Observar la difracción en ranuras dobles, triples, cuádruples y quíntuples y en una rejilla
 - Investigar el número de mínimos secundarios y máximos secundarios en función del número de ranuras n .

Aparatos

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)
también:
1 Diafragma con 5 ranuras múltiples

Instalación

- ▶ Instalación básica I o II ▶ 1.02 o 1.03

Observe las ranuras múltiples individuales bajo la lupa antes de realizar el experimento. Para ello, retire la lupa de la caja con espejos.

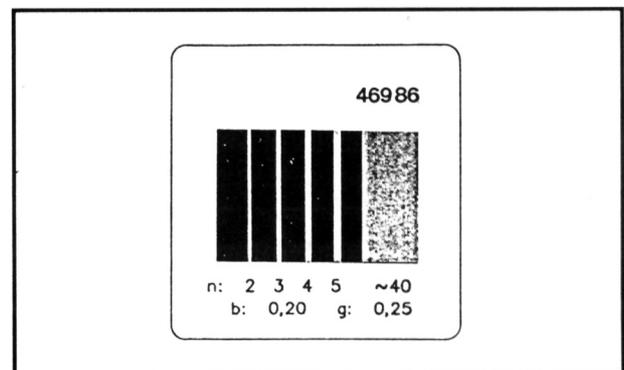


Fig.1: Diafragma con 5 ranuras múltiples

Método

Inserte el “diafragma con 5 ranuras múltiples” en el soporte para diafragmas y diapositivas.

Deslice el diafragma con 1, 2, 3, 4 y 5 ranuras y finalmente la rejilla en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

- ▶ Observe la flecha en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

Tape las ranuras de interés en cada caso utilizando las dos correderas.

Observe con precisión las imágenes de difracción con la lupa en la caja con espejos.

Primero observe las imágenes de difracción en la luz blanca de la fuente luminosa.

Luego, lleve el filtro del rojo en la trayectoria del haz.



Observaciones y evaluaciones

1. En el caso de difracción en ranuras múltiples, se producen mínimos secundarios y máximos secundarios además de los mínimos y los máximos principales.

1.1 De que manera depende el numero de mínimos secundarios en la cantidad de ranuras?

1.2 De que manera depende el numero de máximos secundarios en la cantidad de ranuras n ?

1.3 Que puede decirse sobre la intensidad de los máximos principales en función del número de ranuras n ?

1.4 Qué efecto tiene el numero de ranuras n en la intensidad de los máximos secundarios?

2. De una razón para las observaciones.

Una precondition es el hecho que la intensidad luminosa I es proporcional al cuadrado de la amplitud de onda E de la intensidad del campo eléctrico:

$$I \sim E^2$$



Difracción en ranuras múltiples

Objetivos

Reconocer que en la ranura de n partes,

- Se producen mínimos secundarios $n-1$ y máximos secundarios $n-2$
- La intensidad de los máximos secundarios decrece con el numero de ranuras n

Comprender que con la rejilla óptica los resultados son

- Los máximos secundarios ya no son perceptibles
- Los máximos principales se vuelven muy claros

Aparatos

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)

también:

1 Diafragma con 5 ranuras múltiples 469 86

Método

Observaciones ▶ Fig.2

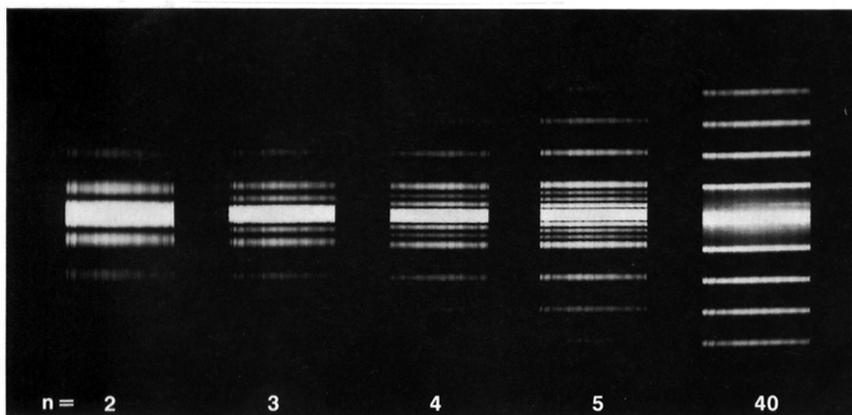


Fig. 2: Fotos de las imágenes de difracción de ranuras múltiples
 n = numero de ranuras



Evaluaciones

1. La ranura de n partes muestra lo siguiente en la imagen de difracción
 - 1.1 los mínimos secundarios n-1
 - 1.2 los máximos secundarios n-2
 - 1.3 la intensidad de los máximos principales aumentando con n
 - 1.4 la intensidad de los máximos secundarios influenciados en menor grado por n
2. Razones para las observaciones
 - 2.1 Con una ranura de n partes, se produce un 1° mínimo principal cuando las ondas elementales de las ranuras próximas muestran una diferencia de trayectoria óptica de $\frac{\lambda}{2}$.

Sin embargo, las ondas elementales se cancelan entre si para un ángulo de difracción mas pequeño cuando se aplica lo siguiente a una diferencia de trayectoria óptica de las ondas elementales de las ranuras próximas:

$$\Delta s = K \cdot \frac{\lambda}{n} ; \quad K = 1, 2, 3, \dots \quad (I)$$

Las ondas elementales emitidas desde las ranuras individuales son entonces desfasadas entre si por un ángulo de igual tamaño.

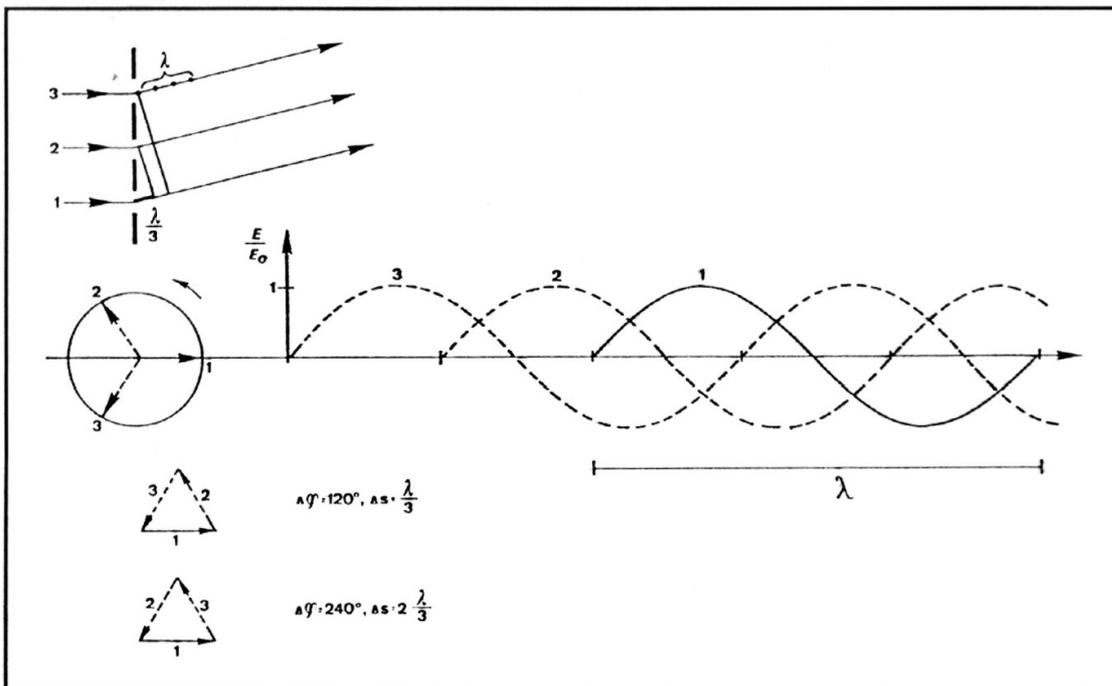


Fig.3: Máximos secundarios con el ejemplo de una ranura triple



Máximos secundarios con el ejemplo de una ranura triple

En el caso de $n = 3$, el ángulo de fase puede ser

$$120^\circ \text{ (correspondiente a } 1 \cdot \frac{\lambda}{3} \text{) ó}$$

$$240^\circ \text{ (correspondiente a } 2 \cdot \frac{\lambda}{3} \text{).}$$

Estos son $n-1 = 2$ mínimos secundarios.

La Fig. 3 muestra los diagramas de flechas correspondientes a estos dos mínimos secundarios. Además, la Fig.2 muestra el diagrama de la configuración de difracción y las representaciones asociadas en coordenadas polares y en coordenadas cartesianas para el 1° mínimo secundario.

Analogía:

Corriente alterna trifásica

Ejemplo adicional:

Mínimos secundarios de la ranura de 5 partes

► Fig.4

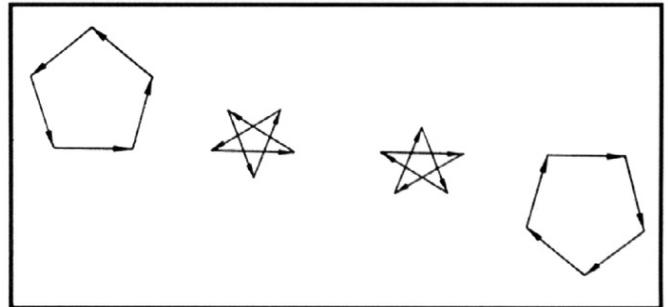


Fig.4: Diagramas de flechas para los 4 mínimos secundarios en la ranura de 5 partes.
El desplazamiento de fase entre los vectores pertenecientes a las ranuras próximas son múltiplos de 72° de acuerdo a (1), a saber 72° , 144° , 216° y 288° .

2.2 El número de máximos secundarios circundado por los mínimos secundarios $n-1$ es mas chico en 1:

El numero de los máximos secundarios es $n-2$.

2.3 La amplitud de la intensidad del campo eléctrico es incrementado por un factor de n cuando se superponen las ondas elementales de ranuras idénticas n .

Puesto que la intensidad I_n aumenta con el cuadrado de la amplitud, la intensidad de los máximos es n^2 veces mas grande con la ranura de n partes



2.4 Como muestra la observación, los máximos secundarios residen aproximadamente en el centro entre dos mínimos secundarios.

Ejemplo: $n = 3$

En este caso, los mínimos secundarios surgen para los desplazamientos de fases de 120° y 240° . El desplazamiento de fase de 180° situado en el medio llevaría por lo tanto a máximos secundarios.

Si agregamos 3 vectores con un corrimiento de fase de 180° , dos de esos tres vectores suman 0° .

La suma es igual a la longitud de un vector individual, es decir la misma que la intensidad de la luz de una ranura en la dirección sin difracción.

Para comparar:

La intensidad de la luz del primer máximo principal es 9 veces mas grande ▶ 2.3.



Difracción en rejillas

Tarea

- Observar el fenómeno de difracción en las rejillas
- Investigar la influencia de constantes de rejillas (numero de líneas en rejilla por cm) en la imagen de difracción
- Determinar la longitud de onda de la luz monocromática, roja
- Determinar la gama de longitud de onda de la luz visible.

Aparatos

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)
también:
1 Diafragma con 3 rejillas

Instalación

- ▶ Instalación básica I o II ▶ 1.02 o 1.03

Observe las rejillas individuales bajo la lupa antes de realizar el experimento.
Para ello, retire la lupa de la caja con espejos.

Método

Inserte el “diafragma con 3 rejillas” en el soporte para diafragmas y diapositivas.

Deslice las rejillas con $g = 0.50$ mm, 0.25 mm y 0.125 mm en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas una por una.

- ▶ Observe la flecha en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

Utilizando ambas correderas del soporte, bloquee todas las partes en ambos lados de la rejilla bajo estudio.

Observe con precisión las imágenes de difracción bajo la lupa en la caja con espejos.

Experimento inicial cualitativo

Observe las imágenes de difracción de la rejilla en la luz blanca (sin filtrar) de la instalación del experimento.
Que se observa?

Experimento 1

Influencia de las constantes de rejillas (número de líneas por cm en la rejilla) en la imagen de difracción.
Lleve el filtro del rojo a la trayectoria del haz.
Determine el espaciamiento g de los máximos de difracción con la ayuda de la lupa.

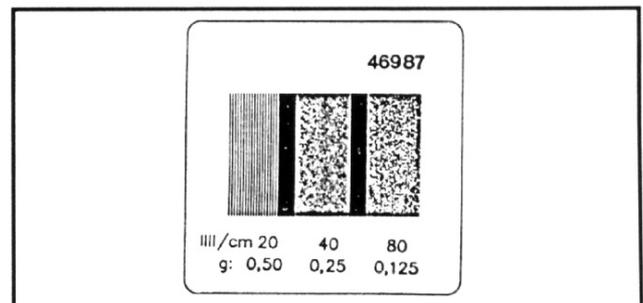


Fig. 1: Diafragma con 3 rejillas



► Tabla

Tabla

$\frac{n}{\text{cm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	d
20	0.50	
40	0.25	
80	0.125	

Experimento 2

Influencia de la longitud de onda en la imagen de difracción.

Trabaje sin filtro en la instalación del experimento.

Utilice la rejilla con el mayor número de líneas (80|||/cm; $g = 0.125 \text{ mm}$).

- Mida la distancia d_r de los bordes rojos del espectro de difracción de la rejilla.
 $d_r =$
- Mida la distancia d_b de los bordes azules del espectro de difracción de la rejilla.
 $d_b =$

Evaluación*Experimento 1*

- 1.1 De qué manera d depende del número de líneas en la rejilla?
- 1.2 De qué parámetros depende d ?
Deduzca una ecuación
- 1.3 Determine la longitud de onda λ_r de la luz del filtro del rojo.
2. Determine la longitud de onda límite de la luz visible λ_r y λ_b con la ayuda de valores de medición d_r y d_b

Qué gama de frecuencia corresponde a la gama de la longitud de onda de la luz visible?

Se aplica lo siguiente $f \cdot \lambda = c$

$$c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

(velocidad de la luz)



Difracción en rejillas

Objetivos

- Reconocer que las rejillas son ranuras múltiples.
- Saber que las rejillas con una constante de rejilla alta (numero de líneas por cm en la rejilla) son muy adecuadas para determinar con exactitud longitudes de onda.
- Ser capaz de determinar la gama de la longitud de onda de la luz visible.
- Ser capaz de determinar las longitudes de onda de la luz con un instrumento espectroscópico de rejilla.

Instalación

Instalación básica I ▶ 1.02 (o II ▶ 1.03)

También:

1 Diafragma con 3 rejillas. 469 87

Experimento preliminar cualitativo

En luz blanca las rejillas muestran espectros de difracción en ambos lados de un máximo principal blanco. Las distancias entre los espectros individuales aumentan con el numero de líneas de la rejilla. Los colores – partiendo del máximo principal – son:

azul, verde, amarillo, naranja, rojo.

Mediciones y evaluaciones

Experimento 1

Influencia de las constantes de rejillas (número de líneas por cm en la rejilla) en la imagen de difracción.

▶ Tabla

Ejemplo de medición

$\frac{n}{\text{cm}}$	$\frac{g}{\text{mm}}$	$\frac{d}{\text{mm}}$
20	0.50	0.037
40	0.25	0.075
80	0.125	0.150



- 1.1 La distancia d de los máximos de la imagen de difracción de la rejilla es proporcional al número de líneas en la rejilla.
El producto $g \cdot d$ es constante

- 1.2 Deducción de la función $d(a, g, \lambda)$.

Las ondas elementales desviadas en la dirección α da lugar al surgimiento de una amplitud del máximo local como resultado de la interferencia, si se aplica lo siguiente a la diferencia de trayectoria óptica de las ondas elementales de las ranuras próximas.

$$\Delta_s = K \cdot \lambda = g \sin \alpha; K = 1, 2, 3, \dots \quad (I)$$

Por otro lado

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{d_k}{a} \quad (II)$$

$\sin \alpha$ y $\operatorname{tg} \alpha$ difieren solo ligeramente cuando α es pequeña.
De (I) y (II) sigue por lo tanto que:

$$k \cdot \lambda = \frac{g}{a} \cdot d_k$$

ó

$$d = \frac{d_k}{k} = \frac{a}{g} \cdot \lambda \quad (III)$$

d = distancia de los máximos equidistantes en la imagen de difracción de la rejilla.

- 1.3 Determinación de la longitud de onda λ del filtro de luz rojo

De acuerdo a (III)

$$\lambda = \frac{g}{a} \cdot d \quad (IV)$$

Ejemplo de medición

► Tabla

$$g = 0.125 \text{ mm}$$

$$d = 1.50 \text{ mm}$$

$$a = 302 \text{ mm (distancia focal de la lente H)} \quad \text{► Instalación básica I}$$

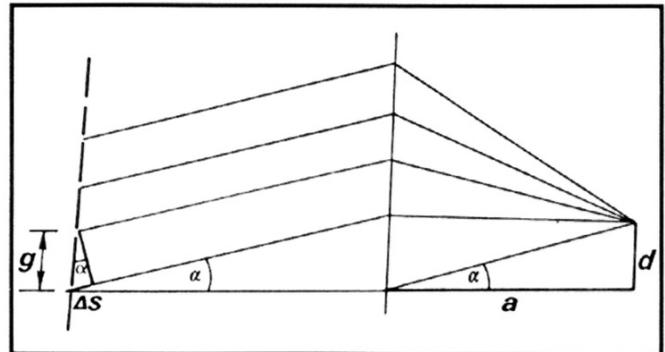


Fig. 2: Diagrama para deducir la fórmula de difracción de la rejilla despreciando el ancho de la ranura.



Sigue por lo $g = 0.50 \text{ mm } (20 \frac{\text{||||}}{\text{cm}})$ de onda de la luz de filtro $g = 0.25 \text{ mm } (40 \frac{\text{||||}}{\text{cm}})$

$$\lambda_R = \frac{0,1}{3(g = 0.125 \text{ mm } (80 \frac{\text{||||}}{\text{cm}}))} \cdot 1$$

$$= 6,21 \cdot 10^4 \text{ nm}$$

$$\lambda_R = 621 \cdot \text{nm}$$

Experimento 2

Ejemplo de medición

$$g = 0.125 \text{ mm}, \quad a = 302 \text{ mm}$$

$$d_r = 1.7 \text{ mm}$$

$$d_b = 1.0 \text{ mm}$$

2. Límite de las longitudes de onda de la luz visible

De acuerdo a (IV),

$$\lambda_r = \frac{g}{a} \cdot d_r \approx 700 \text{ nm}$$

$$\lambda_b = \frac{g}{a} \cdot d_b \approx 410 \text{ nm}$$

Gama de frecuencia de la luz visible:

$$f_r = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{4,1 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 7,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

$$f_b = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}}{7,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}} = 4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$$

Notas

- Puede verse que en el caso de la rejilla, el rojo es el mas desviado, a diferencia de con el prisma.
- Cuando se investiga de mas cerca un violeta menos fácil de percibir, al que se puede asignar una longitud de onda máxima de 400 nm aprox., es visible en el espectro de la rejilla al lado del azul.

La gama de luz visible se extiende desde el violeta al rojo en la longitud de onda de 400 nm a 800 nm (en el vacío)

Una gama de frecuencia de $3,75 \cdot 10^{14} \text{ Hz to } 7,5 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$ corresponde a esto

- En materiales transparentes (Ej., vidrio, agua) la longitud de onda de la luz cambia con su velocidad de propagación.

En contraste, la frecuencia permanece constante.

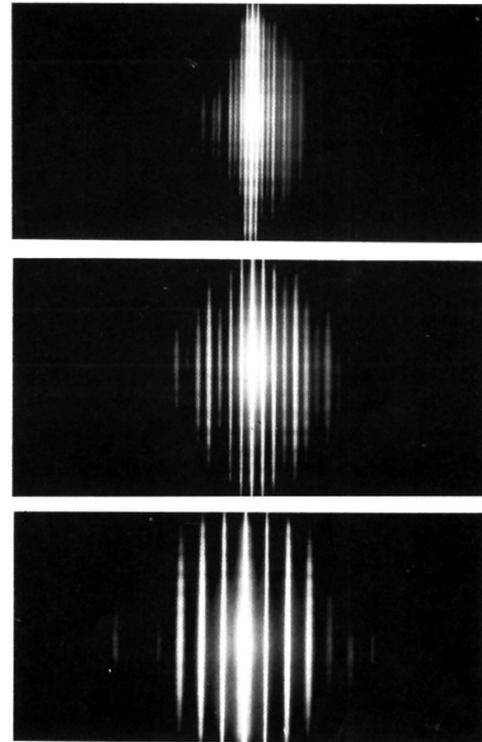


Fig. 3: Difracción en rejilla

arriba
centro
abajo



- Historia:

Las rejillas de difracción óptica con surcos fueron producidas por primera vez por J. Fraunhofer (1821) utilizando los diamantes de una máquina de rayado para grabar surcos paralelos en placas de vidrio.

Experimentos adicionales

Difracción con incidencia de luz oblicua

Si la luz pasa a través de ranuras múltiples o rejillas en un ángulo, los máximos de difracción se apartan.

Sobre la instalación ► Fig.3

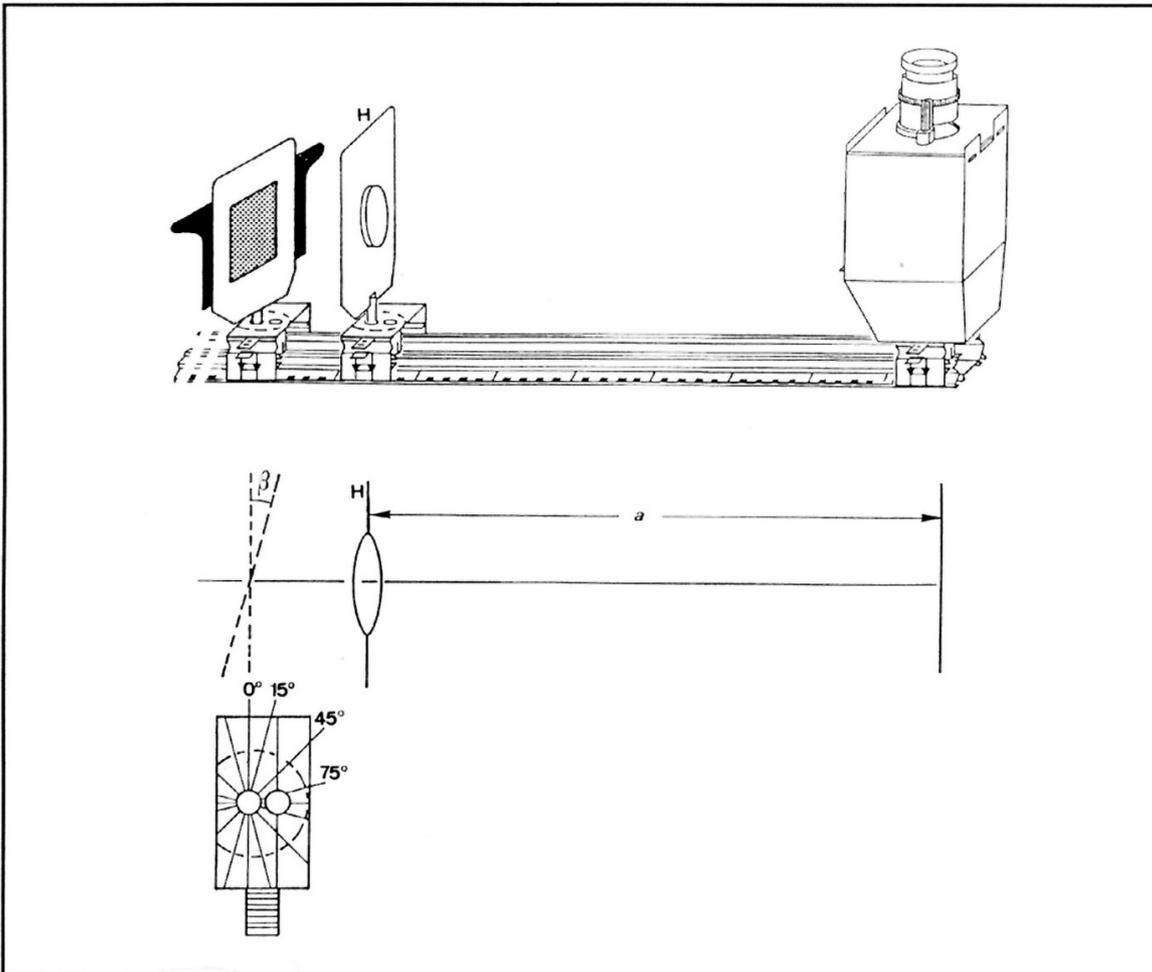


Fig.3: Transiluminación angular de los objetos de difracción

Vista seccional de la instalación básica I o II

El soporte para diafragmas y diapositivas está unido a su propio jinetillo sin tener en cuenta la instalación básica utilizada. Esto hace posible rotar el objeto de difracción por el ángulo



Condición de coherencia con luz de lámpara

Tarea Investigar bajo que condiciones la luz de lámpara puede considerarse coherente, es decir que es útil para los experimentos de interferencia.

Aparatos

Instalación básica I o II (▶ 1.02 o 1.03)
1 Diafragma con 5 ranuras múltiples
1 Lente B, $f = 10$ cm
1 Filtro del rojo
1 Filtro azul

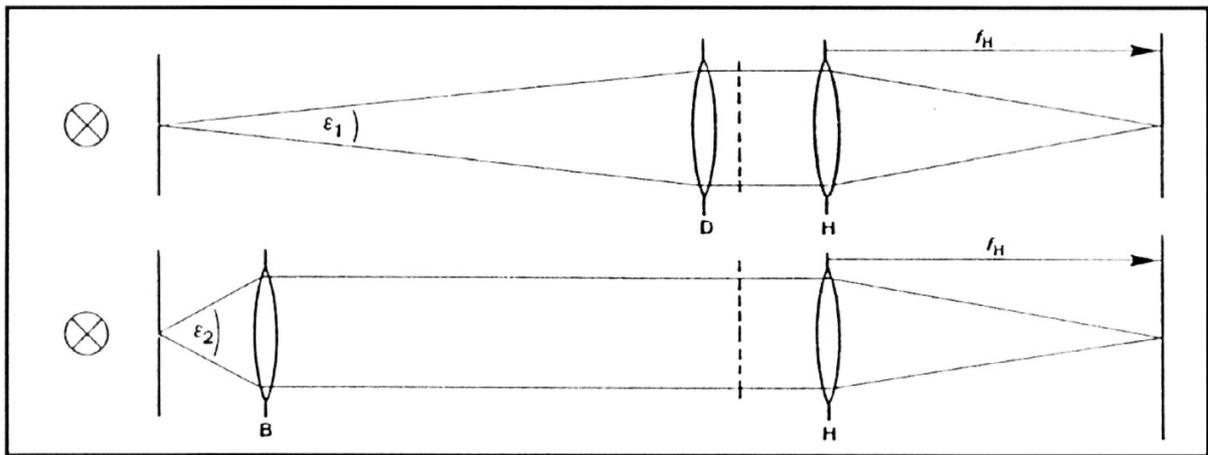


Fig.1: Arriba: diagrama de instalación básica (▶ 1.02)
Abajo: diagrama de instalación con lente B en lugar de D
Ampliación del ángulo de apertura. ϵ_2 en lugar de ϵ_1 .

Instalación

▶ Instalación básica I o II ▶ 1.02 o 1.03

Método

Inserte el “diafragma con 5 ranuras múltiples” en el soporte para diafragmas y diapositivas. Empuje la ranura quintuple al centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

▶ Observe la flecha en el centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

Utilizando las dos correderas, tape las partes del diafragma hacia la derecha y hacia la izquierda de la ranura quintuple.

Experimento 1

Lleve el filtro del rojo a la trayectoria del haz. Ajuste la ranura regulable de manera tal que los 3 máximos secundarios de la imagen de difracción puedan aun verse.

¿Que efecto tiene el ancho de la ranura?

Luego, cambie el filtro rojo por uno azul.



Experimento 2

Mueva el filtro del rojo dentro de la trayectoria del haz. Seleccione el ancho de la ranura de manera que puedan reconocerse claramente los tres máximos secundarios de la imagen de difracción.

Luego reemplace la lente D por la lente B ($f = 10$ cm).

Retire el soporte para diafragmas y diapositivas de la instalación.

Mueva la lente B de manera que se forme una imagen nítida de la ranura.

(la ranura en el plano focal de la lente B).

Inserte el soporte para diafragmas y diapositivas entre las lentes B y H.

Finalmente, varíe el ancho de la ranura en esta instalación también.

Observaciones y evaluaciones

¿Qué influencia tiene

- el ancho de la ranura
- el ángulo de apertura y
- la longitud de onda de la luz

en cuanto al cumplimiento de las condiciones para la luz de lámpara coherente?



Condición de coherencia con luz de lámpara

Objetivos Reconocer y ser capaz de mostrar en los experimentos cualitativos que

- La luz de lámpara puede mirarse como coherente si se estrecha suficientemente a través de una ranura
- La luz de onda larga (roja) cumple mas fácilmente la condición de coherencia que la luz de onda corta (azul) cuando el ancho de la ranura es el mismo.

Aparatos

Instalación básica I (▶ 1.02)

1 Diafragma con 5 ranuras múltiples.	469 86
1 Lente B, f = 10 cm	459 62
1 Filtro del rojo, ej de.	467 95
1 Filtro azul, ej de	467 95

Observaciones y evaluaciones

Experimento 1

- Los máximos secundarios se vuelven mas claramente visibles cuando la luz se estrecha. Mientras los máximos secundarios aparecen nítidos en la luz del filtro del rojo, están aún muy borrosos o incluso no pueden verse en la luz del filtro azul. La luz de onda larga por lo tanto cumple las condiciones de coherencia mas fácilmente que la luz de onda corta.

Experimento 2

Cuanto mayor sea la distancia entre la ranura y la lente de formación de imágenes, menor será el ángulo de apertura bajo el cual se ilumina el objeto de difracción.

Los conos de luz emitidos desde la ranura muestran un mejor comportamiento de coherencia cuanto menor sea el ángulo de apertura.

Resultados

Los experimentos confirman cualitativamente la condición de coherencia deducida en los libros de textos de colegios.

$$I \cdot \varepsilon < \frac{\lambda}{2}$$

| = Expansión de la fuente luminosa

ε = Ángulo de abertura

λ = Longitud de onda de la luz



Difracción en diafragmas complementarios (Principio de Babinet)

- Tarea** Investigar las imágenes de difracción de los siguientes diafragmas complementarios:
1. Ranura y puentecillo
 2. Agujero y objeto
 3. Rejillas bidimensionales complementarias

Aparatos

- 1 Raíl metálico de precisión, 0.5 m
 - 3 Jinetillos con pinzas
 - 1 Lámpara tubular
 - 1 Lente A, $f = 5$ cm
 - 1 Ranura regulable
 - 1 Fuente de tensión de CA de 12 V
 - 2 Cables de experimentación, 50 cm
 - 1 Diafragma con 2 rejillas bidimensionales
 - 1 Diafragma con 3 pares de agujeros
 - 1 Diafragma con ranura y puentecillo
- también:
- 1 Alambre, 0.5 mm \varnothing

Instalación para experimentos 1 y 2

Instalación básica I o II (▶ 1.02/1.03)

Posición del filamento de la lámpara: Paralela a la ranura en el experimento 1

En ángulos rectos a la ranura en el experimento 2 (da fuente de luz puntiforme)

Ancho de la ranura: $b \approx 0.1$ mm

Método

Experimento 1: ranura y puentecillo

Coloque el diagrama con ranura y el puentecillo en el soporte para diapositivas y mire las imágenes de difracción.

Sostenga un alambre en la trayectoria del haz en lugar del diafragma con ranura y puentecillo.

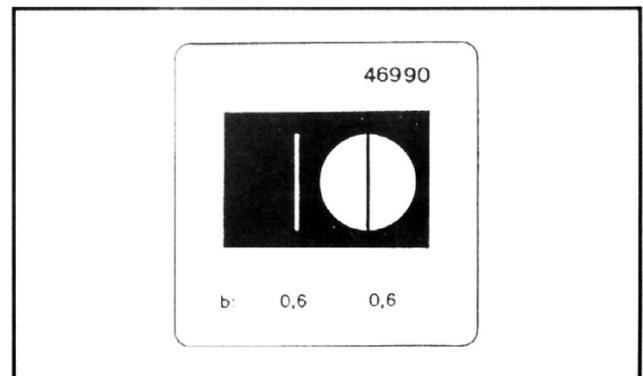


Fig.1: Diafragma con ranura y puentecillo



Experimento 2: Agujeros y objetos

Filamento de la lámpara en ángulos rectos a la ranura.

Deslice el diafragma con agujeros y objetos en el soporte para diafragmas y observe las imágenes de difracción.

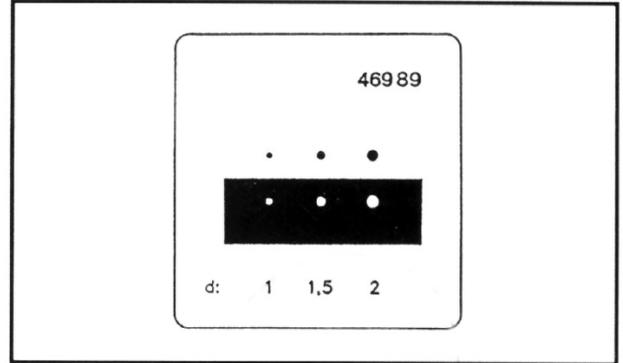


Fig. 2: Diafragma con 3 pares de discos con agujeros de diferente diámetro

Experimento 3: Rejillas bidimensionales complementarias

Instalación 2

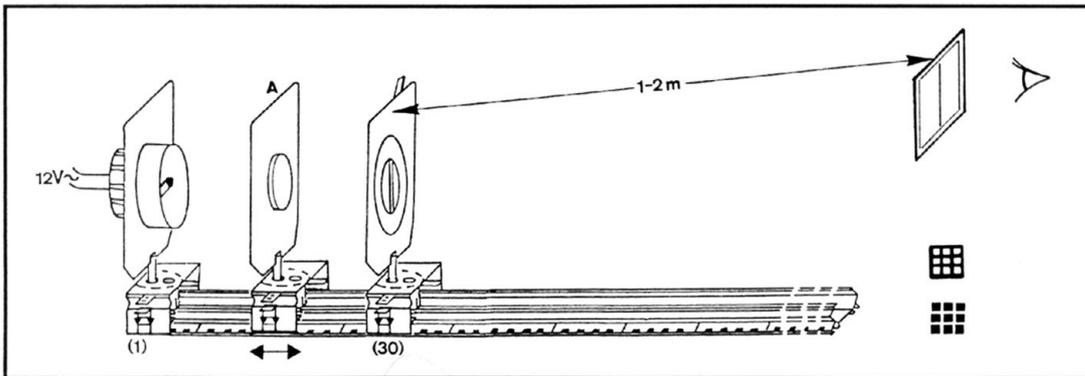


Fig. 3: Instalación del experimento para investigar las imágenes de difracción de las rejillas bidimensionales complementarias.

Alinear el filamento de la lámpara en los ángulos rectos a la ranura (fuente luminosa puntiforme)

Ancho de la ranura: b 0.1 mm

Método

Experimento 3

Desde una distancia de por lo menos 1 m, mire la ranura iluminada alternativamente a través de ambos diafragmas cruzados.

Observaciones



Información para el profesor 1

Difracción en diafragmas complementarios (Principio de Babinet)

Objetivos Mostrar y comprender que

- Los cuerpos complementarios en la luz paralela y coherente muestran las mismas imágenes de difracción.
- La imagen de difracción de un disco tiene un máximo de intensidad en el centro (punto de Poisson).

Aparatos

1 Rail metálico de precisión, 0.5 m.	460 82	1 Par de cables para experimentación, 50 cm	ej.	502 451
3 Jinetillos con pinza	460 95	1 Diafragma con 2 rejillas bidimensionales		469 88
1 Lámpara tubular	459 03	1 Diafragma con 3 pares de discos con agujeros de diferente diámetro		469 89
1 Lente A, $f = 5$ cm	459 60	1 Diafragma con ranura y puentecillo también		469 90
1 Ranura regulable	471 71	1 Alambre, 0.5 mm	ej.	550 44
1 Fuente de voltaje de 12 V CA	ej. 562 73			

Instalación

Se recomienda llevar a cabo los experimentos 1 y 2 con las instalaciones básicas I y II. En el experimento 2, alinear el filamento de la lámpara en los ángulos rectos a la ranura.

Resultados del experimento

Experimento 1: Ranura y puentecillo

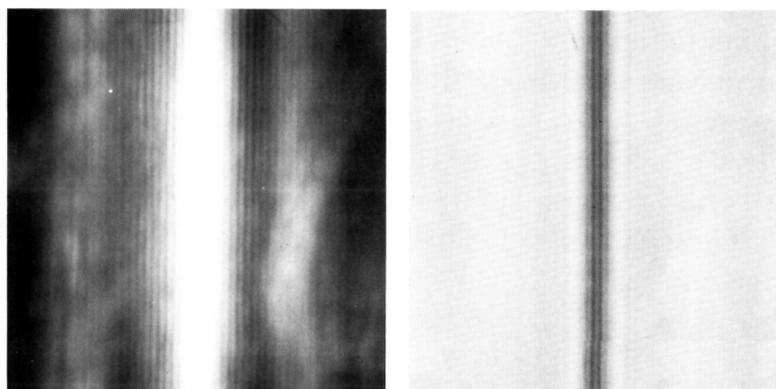


Fig. 4: fotografías de las imágenes de difracción del “diafragma con ranura y puentecillo”

Las franjas de difracción surgen para los objetos de difracción complementarios, ranura y alambre. Si dejamos de lado el par de franjas angostas en el máximo principal del diafragma de alambre, las figuras de difracción, particularmente las distancias entre franjas, concuerdan para la ranura y el puentecillo.



Experimento 2: Agujeros y objetos

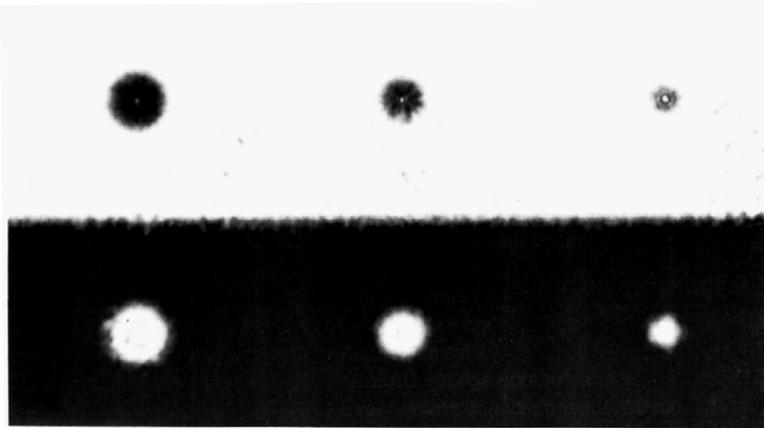


Fig. 5: Fotografías de las imágenes de difracción del "diafragma con 3 pares de discos con agujeros"

Los anillos de difracción atribuibles a los agujeros y objetos del mismo diámetro son iguales debido al principio de Babinet.

Sin embargo, esto se aplica solamente si los objetos se iluminan con luz paralela (difracción de Fraunhofer). Cuando se ilumina con luz divergente (difracción de Fresnel), pueden observarse diferencias típicas entre el agujero y el objeto en los diagramas de difracción.

En el caso de los objetos, la mayor parte de la interferencia proviene de rayos marginales con la misma trayectoria que siempre provoca un aumento en la intensidad, el punto de Poisson, en el centro de la sombra geométrica.

En el caso de los agujeros, ambas interferencias, la destructiva y la constructiva, pueden producirse en el centro de la imagen geométrica debido a la diferencia de trayectoria óptica entre el rayo central y los rayos marginales.

Cuando la distancia entre el agujero y la pantalla se reduce en forma constante, el centro aparece alternativamente claro u oscuro.

Experimento 3: Rejillas bidimensionales complementarias

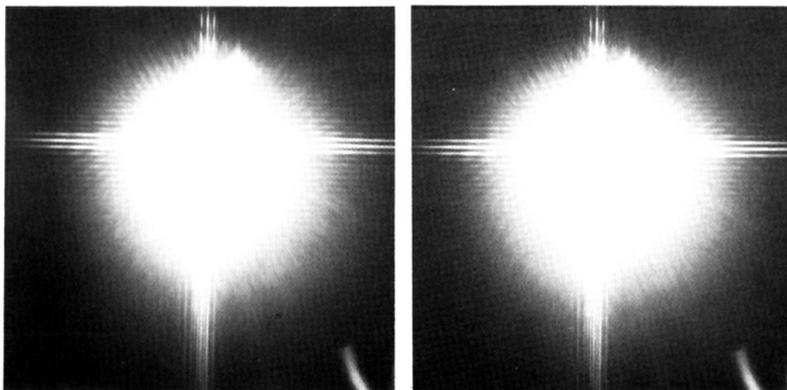


Fig. 6: Fotografías de las imágenes de difracción del "diafragma con 2 rejillas bidimensionales".



Observación

Las imágenes de difracción de ambas rejillas bidimensionales son las mismas en todos los detalles.
Los modelos de puntos dispuestos en forma de cruces pueden verse en ambos casos.

Explicación de la uniformidad de las imágenes de difracción de los obstáculos de difracción complementarios.

Se deben imaginar ambos obstáculos complementarios como si estuvieran superpuestos. Las estructuras típicas de difracción desaparecen cuando pasa la luz, un fenómeno causado por cada uno de los dos obstáculos. Las correspondientes amplitudes de ondas del campo eléctrico se eliminan mutuamente. Esto sólo es posible si los signos de las amplitudes son iguales y opuestos en todos los puntos de la imagen de difracción observados previamente. Sin embargo, ya que la intensidad de la luz es igual al cuadrado de la amplitud de onda, los obstáculos complementarios producen por lo tanto las mismas imágenes de difracción.

Notas

- El hecho que los obstáculos complementarios producen el mismo modelo de difracción fue descubierto por J. Babinet (1794 – 1872) y se conoce como el teorema de Babinet.
- Con el fin de evitar una diferencia en el brillo de las imágenes de difracción, las rejillas fueron diseñadas de manera tal que se permita el paso del 50% de la luz incidente en ambos casos.
- Las rejillas bidimensionales forman una transición desde la rejilla con surcos a la red tridimensional donde los elementos de la rejilla se forman a partir de los átomos alineados regularmente o de los iones de los cristales; las redes cristalinas aptas para los rayos x de difracción (Registros de Laue).
- Las imágenes de difracción de la rejilla pueden también verse cuando miramos a través de un tejido, por ejemplo la funda de una paraguas o una cortina fina en una lámpara lejana, en dirección a un farol de alumbrado.



Capacidad de resolución de instrumentos ópticos

Tarea Investigar bajo que condiciones pueden formarse imágenes de dos objetos (puntos incidentes) distinguibles entre si a través de un instrumento óptico (ojo, cámara fotográfica, telescopio, microscopio)

Aparatos

- 1 Raíl metálico de precisión, 1 m (ó 0.5 m)
- 4 Jinetillos con pinzas
- 1 Lámpara tubular
- 1 Pantalla translúcida
- 1 Soporte para diafragmas y diapositivas
- 1 Caja con espejos
- 1 Lupa
- 1 Diafragma con 4 ranuras dobles
- 1 Diafragma con 3 ranuras simples
- 1 Fuente de tensión de 12 V de CA
- 1 Par de cables, 50 cm
ej, rojo, azul



Nota

Si usted utiliza anteojos, realice los experimentos solo cuando los lleva puestos.

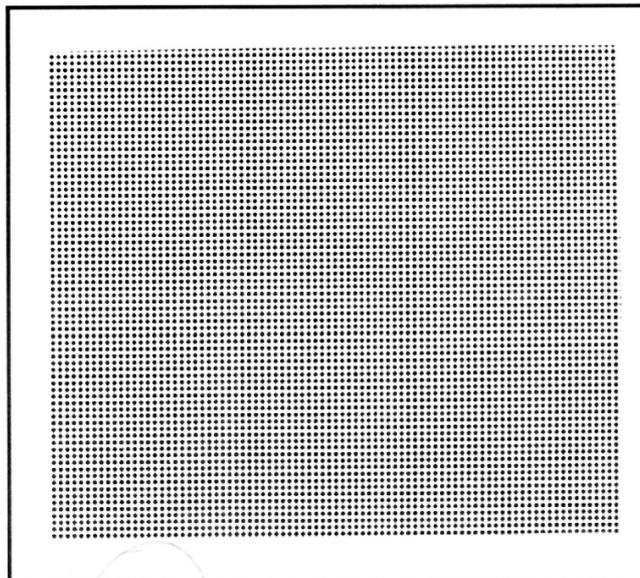


Fig. 1: Rejilla de puntos para investigar la capacidad de resolución del ojo

Experimento 1

Dependencia de la capacidad de resolución del ojo en el ángulo visual

Mire a la rejilla de puntos de la Fig.1.

¿Desde aproximadamente que distancia s_{\min} ya no puede distinguir los puntos individuales a simple vista?

Determine la distancia g de los puntos en la rejilla utilizando la lupa.

Experimento 2

Influencia de la capacidad de resolución del ojo con diafragmas de ranuras

Mire la rejilla de puntos a través de las ranuras individuales del "diafragma con 3 ranuras simples".

Cambie la distancia entre la ranura y la rejilla de puntos de manera que los puntos individuales ya no puedan discernirse.



Experimento 3

Dependencia de la capacidad de resolución en la longitud de onda de la luz.

► Fig.2

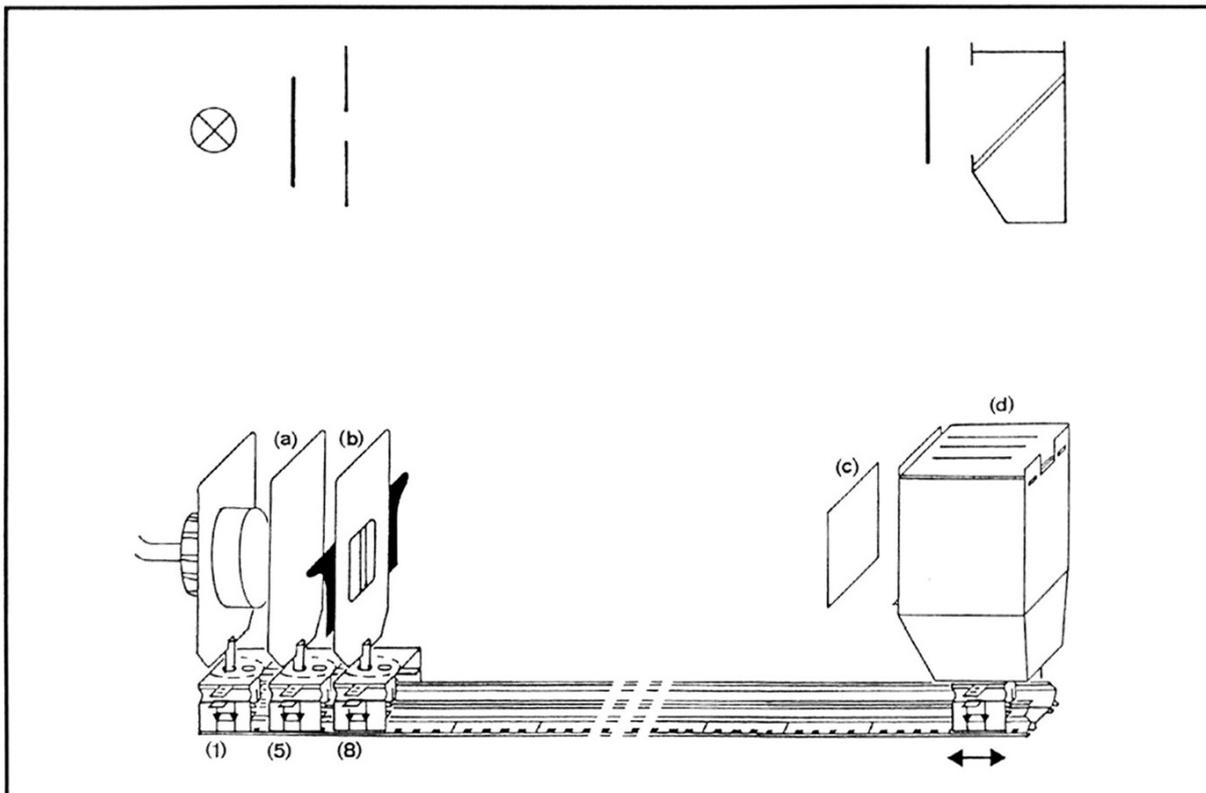


Fig. 2: Instalación del experimento para investigar la capacidad de resolución

- (a) Pantalla translúcida
- (b) Diafragma con 4 ranuras dobles
- (c) Filtro de color
- (d) Diafragma con 3 ranuras simples

Los números entre paréntesis son los marcadores de posición de los elementos insertados, medidos en cm.

Instalación

La pantalla translúcida (a) sirve como un fondo para la iluminación uniforme de las ranuras dobles (b).

Traiga la ranura doble con $g = 0.75 \text{ mm}$ al centro del soporte para diafragmas y diapositivas.

► Flecha

Cubra la otra ranura doble con la ayuda de la corredera del diafragma.

Ubique el diafragma con 3 ranuras simples en la caja con espejos de manera tal que las ranuras señalen en la dirección del raíl metálico (d).



Método

Mire a través de la ranura simple del centro. Sostenga el filtro del rojo en la trayectoria del haz.

Mueva la caja con espejos.

¿A partir de que distancia s_o de la caja con espejos a la ranura doble dejan de percibirse en forma separada las dos ranuras?

Luego, utilice el filtro azul en lugar del filtro rojo.

Repita el experimento

Experimento 4

Determinación de la distancia límite s_o para la capacidad de resolución bajo diversas condiciones marginales.

Repita el experimento con otras combinaciones de ranuras, como se muestra en la tabla.

Determine la distancia a que caracteriza el límite de resolución para el filtro del rojo y la luz de filtro azul en cada caso.

Tabla

Ranura doble $\frac{g}{\text{mm}}$	Ranura simple $\frac{b}{\text{mm}}$	Ancho del objeto		$\frac{g \cdot b}{s_o} \cdot \text{mm}^{-1}$	
		$\frac{s_o(\text{rojo})}{\text{mm}}$	$\frac{s_o(\text{azul})}{\text{mm}}$	rojo	azul
1.00	0.12 0.24				
0.75	0.12 0.24				
0.50	0.12 0.24 0.36				

Evaluaciones

1. Utilizando los valores s_o y g determinados en el experimento 1, averigüe el ángulo visual α_o en el límite de resolución del ojo.



2. Muestre como los siguientes valores influyen cualitativamente la capacidad de resolución:

- a) la distancia s del objeto desde la lente de formación de la imagen (ojo)
- b) el ancho b del diafragma
- c) la longitud de onda λ de la luz

3. Deduzca la desigualdad que debe cumplirse (cuando se utilizan los diafragmas de ranura) para que dos objetos estén ópticamente resueltos. El criterio de Rayleigh debe usarse como base acá.

De acuerdo a esto, dos objetos pueden separarse con seguridad si el máximo de orden 0 del diagrama de difracción del primer objeto y el primer mínimo del diagrama de difracción del segundo objeto están superpuestos.

Expresa la desigualdad encontrada para la capacidad de resolución en la siguiente forma:

$$f(\alpha, b) \geq \lambda$$

Expresa α en función de g y s

► Fig. 3, inscripción

4. Calcule e ingrese

$$\frac{g \cdot b}{s_0}$$

para los valores de la tabla encontrados experimentalmente mediante observaciones subjetivas.

Interprete los resultados.



Capacidad de resolución de instrumentos ópticos

Objetivos Reconocer que

- La capacidad de resolución limitada de los instrumentos ópticos se atribuye al fenómeno de difracción.
- El diámetro de la lente es igualmente importante que el aumento con respecto a la calidad de un instrumento óptico.
- La capacidad de resolución mejora con el incremento del diámetro de la lente y con la disminución de la longitud de onda de la luz utilizada (filtro azul).

Aparatos

1 Raíl metálico de precisión, 1 m.	460 81	1 Lupa	459 19
o 0.5 m.	460 82	1 Diafragma con 4 ranuras dobles.	469 85
4 Jinetillos con pinzas	460 95	1 Diafragma con 3 ranuras simples	469 91
1 Lámpara tubular	459 03	1 Fuente de tensión de CA de 12V	ej 562 73
1 Pantalla translúcida.	459 24	o	522 16
1 Soporte para diafragmas y diapositivas. ...	459 33	1 Par de cables, 50 cm,	
1 Caja con espejos	459 17	ej. rojo, azul	501 451

Observaciones y mediciones

Experimento 1

Los puntos individuales de la rejilla ya no pueden percibirse desde aprox. $s_0 = 2$ m

(la figura varía con el diámetro, dependiendo de la incidencia de la luz).

La rejilla aparece con un gris uniforme.

La distancia entre los puntos: $g = 0.86$ mm

Experimento 2

Cuando miramos a través de una ranura, la capacidad de resolución empeora a medida que la ranura se vuelve mas angosta.

La capacidad de resolución se deteriora solamente en los ángulos rectos a la ranura (debido a la distancia de la ranura).

Las filas de puntos se juntan en líneas en los ángulos rectos a la ranura.

Puede producirse nuevamente una resolución reduciendo la distancia.

Experimento 3

Resultados de los experimentos:

Cuando miramos a través de la ranura simple de ancho $b = 0.24$ mm, las ranuras dobles distanciadas en $g = 0.75$ mm ya no se perciben en forma separada en la luz del filtro del rojo desde una distancia de alrededor de $s_0 = 360$ mm.

Ambas ranuras pueden verse claramente otra vez cuando el filtro del rojo es reemplazado por uno azul.



Experimento 4, tabla

Ejemplo de medición:

$\frac{g}{\text{mm}}$	Ranura simple $\frac{b}{\text{mm}}$	Ancho del objeto		$\frac{g \cdot b}{s_o} \cdot \text{mm}^{-1}$	
		$\frac{s_o(\text{rojo})}{\text{mm}}$	$\frac{s_o(\text{azul})}{\text{mm}}$	rojo	azul
1.00	0.12	300	325	$4.0 \cdot 10^{-4}$	$3.7 \cdot 10^{-4}$
	0.24	530	575	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-4}$
0.75	0.12	200	240	$4.5 \cdot 10^{-4}$	$3.8 \cdot 10^{-4}$
	0.24	360	450	$5.0 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$
0.50	0.12	130	155	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$4.6 \cdot 10^{-4}$
	0.24	250	300	$4.8 \cdot 10^{-4}$	$4.0 \cdot 10^{-4}$
	0.36	390	430	$4.6 \cdot 10^{-4}$	$4.2 \cdot 10^{-4}$
Valor medio:				$4.6 \cdot 10^{-4}$	$4.1 \cdot 10^{-4}$

Evaluaciones

1. El ángulo visual α_o en el límite de resolución del ojo es muy pequeña. Por lo tanto es posible plantear lo siguiente:

$$\alpha_o = \frac{g}{s_o}$$

g = Distancia entre los puntos

s_o = Distancia máxima para la resolución del ojo

Ejemplo de medición:

$$\alpha_o = \frac{0.86\text{mm}}{2000\text{mm}} = 4.3 \cdot 10^{-4}$$

2. La capacidad de resolución mejora
 - a) cuando la distancia s del objeto desde la lente de formación de imágenes (ojo) decrece.
 - b) cuando el ancho b del diafragma aumenta.
 - c) cuando la longitud de onda de la luz (luz azul en lugar de luz roja) decrece.



3. Deducción de la desigualdad para la capacidad de resolución cuando se utiliza un diafragma de ranura.

► Fig. 3

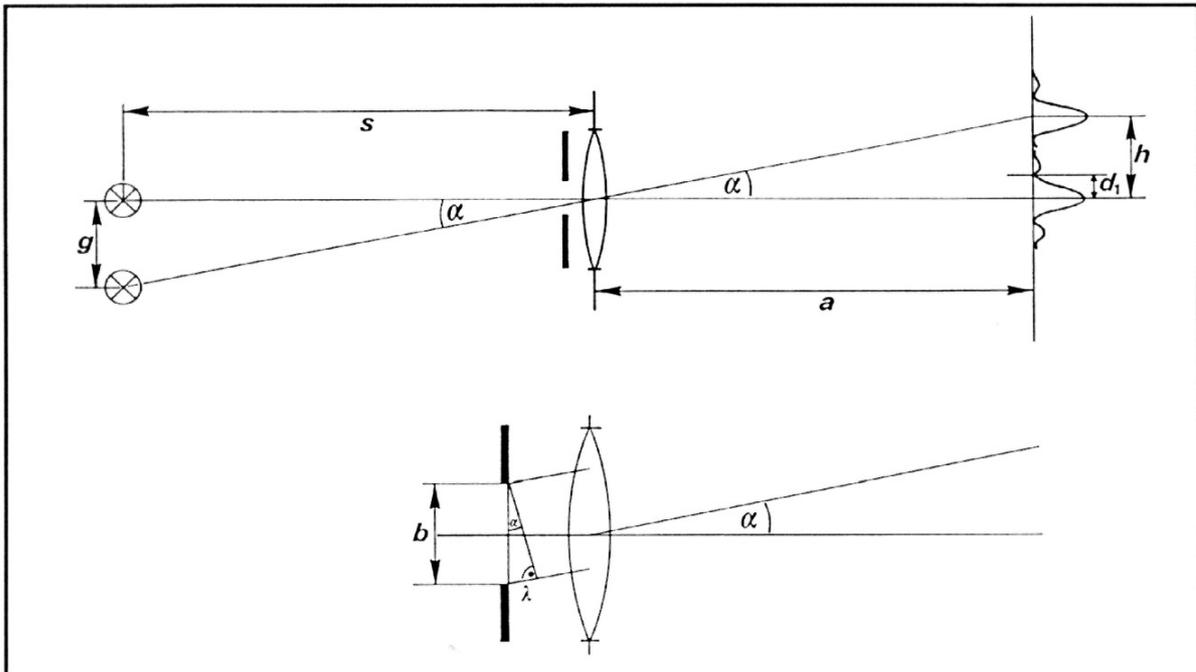


Fig. 3 Diagramas para deducir la desigualdad que muestra si dos objetos se resuelven ópticamente. Arriba:

g = Distancia entre dos objetos (ejemplo: ranura iluminada)

S = Ángulo de apertura

= Ángulo bajo el cual los objetos o sus imágenes aparecen desde la lente de formación de imagen (con el ojo: ángulo visual)

a = Distancia de la imagen

h = Distancia de las imágenes (imágenes de difracción de la ranura) de los dos objetos

d_1 = Distancia del primer mínimo al máximo de orden 0 de la imagen de difracción de la ranura.

Abajo: Vista seccional del diagrama de arriba

b = Ancho de la ranura

λ = Longitud de onda

El primer mínimo de la imagen de difracción de la ranura se produce bajo el ángulo α cuando la diferencia de trayectoria óptica es λ .

De acuerdo a la Fig. 3, se aplica lo siguiente a α pequeño.

$$\alpha = \frac{\lambda}{s} = \frac{d_1}{a} \quad (I)$$

Se aplica lo siguiente al 1° mínimo de la imagen de difracción de la ranura:

$$\alpha = \frac{g}{b} = \frac{h}{a} \quad (II)$$

Las imágenes de difracción se resuelven de acuerdo al criterio de Rayleigh cuando se aplica lo siguiente:

$$h \geq d_1 \quad (III)$$



De acuerdo a (I) $h = a \cdot \alpha$

De acuerdo a (II) $d_1 = a \cdot \frac{\lambda}{b}$

Sustituyendo en (III) sigue que:

$$\alpha \geq \frac{\lambda}{b}$$

ó

$$\alpha \cdot b \geq \lambda \quad (\text{IV})$$

con

$$\alpha = \frac{g}{s_0} \quad (\text{II})$$

El signo de igual se aplica en (IV) en el límite s_0 de la capacidad de resolución.

$$\boxed{\frac{g \cdot b}{s_0} = \lambda} \quad (\text{V})$$

4. De acuerdo a $\frac{g \cdot b}{s_0}$ (V), el valor da la longitud de onda de la luz utilizada.

La única pregunta aquí es como puede determinarse s_0 con exactitud.

Como muestra el ejemplo de medición, al menos la gama de longitud de onda puede determinarse usando este método simple.

Además, también queda claro que s_0 es siempre mayor para la luz azul que para la roja.

Esto significa que de acuerdo a (V), se confirma que la longitud de onda de la luz azul es menor que la de la luz roja.

Notas

- La pregunta de cuan lejos las imágenes de difracción de dos objetos deben estar de manera que estén resueltas, no puede responderse claramente.
En la distancia de la imagen de difracción mínima demandada por lord Rayleigh (1842 – 1919), hay una clara inclinación entre los máximos de orden 0 de las imágenes de difracción.
- La desigualdad (IV) para la capacidad de resolución se aplica a los diafragmas de ranuras.
Los diafragmas de estenope, los cuales son mas importantes en la práctica, muestran como una imagen de difracción, un disco de difracción central cuyo nombre se debe a Airy (1801 –1892) que está rodeado por anillos oscuros y claros.
El calculo de la distribución de la intensidad llevada a cabo por Airy en 1835 lleva a las funciones de Bessel.
Con un diafragma de ancho b , el ángulo bajo el cual se produce el 1° mínimo, es dado por la diferencia de trayectoria óptica
 $b \cdot \sin\alpha_1 = \lambda$



En lugar de esta ecuación, se aplica lo siguiente con un diafragma de estenope de diámetro b .

$$b \cdot \sin \alpha_1 = 1,22 \lambda$$

Correspondientemente, utilizando el criterio de resolución de Rayleigh como base, se aplica lo siguiente como *una desigualdad para la capacidad de resolución cuando se utiliza un diafragma de estenope*:

$$\alpha \cdot b \geq 1,22\lambda$$

La capacidad de resolución de un instrumento óptico mejora, mientras mas aumenta en tamaño el ángulo visual, mayor será el diámetro de la lente y mas pequeño la longitud de onda de la luz.

- Lo siguiente se aplica al ángulo visual en el limite de la capacidad de resolución:

$$\alpha_0 = \frac{1,22\lambda}{b}$$

Para una longitud de onda promedio de 600 nm y un diámetro de pupila promedio de 3 mm, obtenemos por ejemplo,

$$\alpha_0 \approx 2,4 \cdot 10^{-4} \text{ (en radianes)}$$

El ángulo visual determinado fisiológicamente (por la distancia de los bastoncillos en la fóvea central) bajo el cual dos objetos pueden percibirse separadamente, es aprox. un minuto, es decir

$$\alpha_0 \approx \frac{2\pi}{360 \cdot 60} \approx 2,9 \cdot 10^{-4}$$

Este es un ejemplo de adaptación óptima de naturaleza viviente a condiciones físicas.

El valor para la capacidad de resolución del ojo fue conocido empíricamente gracias a Hooke en 1674.

La teoría ondulatoria de Huygen fue publicada en 1678.

Apéndice - Deducción de la función de difracción de rejillas

Difracción en la ranura múltiple con observación de Fraunhofer

La luz paralela de intensidad I_0 cae verticalmente sobre una ranura.

La intensidad $I_1(\alpha)$ de la luz emitida bajo el ángulo α debe darse cuantitativamente

► Fig. 1.

La intensidad de la luz en cualquier punto deseado atrás de la ranura puede determinarse con la ayuda del principio de Fresnel y Huygens.

Así es posible interpretar cada punto del campo ondulatorio como el punto de arranque de una onda elemental.

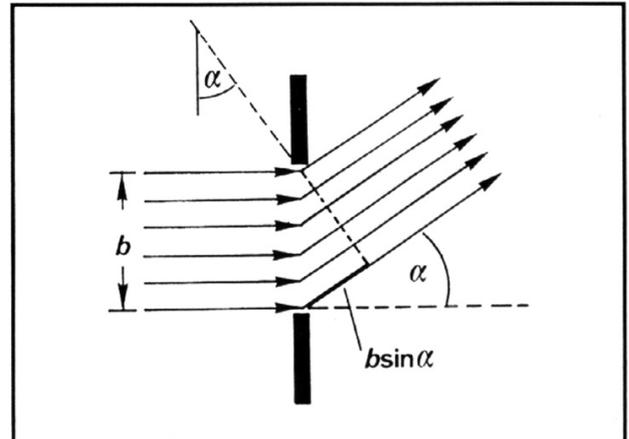


Fig. 1: Difracción en la ranura de ancho b . Superposición de ondas elementales en la dirección de la difracción α .

La Fig.1 muestra 6 de estos tipos de emisores de ondas elementales dentro de la ranura.

Con una ranura simple, uno tendría que imaginarse el número m de emisores como si fueran muy grandes. (transición del límite $m \rightarrow \infty$).

Dentro de la ranura, todos los emisores vibran en fase.

Las ondas próximas son desfasadas por φ en dirección de α .

La diferencia de fase entre los emisores en el borde del frente de la onda que emergen bajo el ángulo α es $m \cdot \varphi$ ($m = 6$ en la Fig.1)

La diferencia de trayectoria óptica es

$b \cdot \sin \alpha$; $b =$ ancho de la ranura

$b \cdot \sin \alpha$ se comporta con respecto a la longitud de onda λ de la misma manera que $m \cdot \varphi$ al ángulo de una vuelta 2π :

$$\frac{b \cdot \sin \alpha}{\lambda} = \frac{m \cdot \varphi}{2\pi} \quad (I)$$

Determinación de la amplitud $E_1(\alpha)$ de la intensidad del campo eléctrico

La amplitud de la intensidad del campo eléctrico que puede verse en dirección de α es el resultado de una suma de ondas elementales m de la misma amplitud E con un desfase constante φ con respecto al próximo φ en cada caso.

Sin defasaje, la amplitud de m ondas elementales de amplitud E es

$$E_{1(0)} = m \cdot E \quad (II)$$

m = número entero

Las amplitudes de las ondas elementales deben sumarse vectorialmente (diagrama vectorial) con el fin de obtener las amplitudes $E_1(\alpha)$.

La Fig. 2 muestra la suma de 6 vectores, todos del mismo tamaño, pero rotados entre sí alrededor del ángulo de fase φ .

Los extremos de los vectores se encuentran en un arco circular.

Cuando m es grande, la longitud del arco circular es igual a $E_{1(0)} = m \cdot E$ (► II)

Como muestra la Fig. 2, el vector suma $E_1(\alpha)$ es la secante del citado arco circular.

El ángulo correspondiente es $m \cdot \varphi$.

Si se mide el ángulo $m \cdot \varphi$ en medición radian y se establece $m \cdot \varphi = 2x$, puede leerse lo siguiente de la Fig. 2:

$$\frac{E_1(\alpha)}{E_{1(0)}} = \frac{\sin x}{x} \text{ mit } x = \frac{m \cdot \varphi}{2} = b \frac{\pi}{\lambda} \sin \alpha$$

La intensidad de la luz I es proporcional al cuadrado de la amplitud de la intensidad del campo eléctrico. Esto significa que lo siguiente se obtiene como

Función de difracción de la ranura

$$\frac{I_1(\alpha)}{I_1(0)} = \frac{\sin^2 x}{x^2} \text{ mit } x = b \frac{\pi}{\lambda} \sin \alpha$$

$I_1(\alpha)$ = Intensidad de la luz de una ranura en dirección α
 $I_1(0)$ = Intensidad de la luz de una ranura en dirección $\alpha = 0$ (dirección no difractada)
 α = Ángulo en el cual fueron determinadas las intensidades de la luz.
 b = Ancho de la ranura
 λ = Longitud de onda de la luz difractada.

(IV)

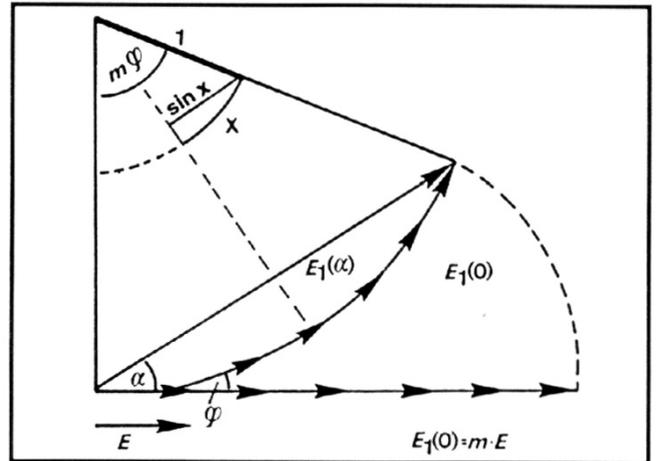


Fig. 2: Adición de m (acá 6) ondas elementales en la dirección de la difracción α .



Difracción en una ranura múltiple con observación de Fraunhofer

La luz paralela de intensidad $I_{n(\alpha)}$ cae verticalmente en n con ranuras con el espaciamento g entre ranuras.

Se observa la intensidad $I_{n(\alpha)}$ difractada en la dirección del ángulo α .

Cálculo:

Dos ondas elementales contiguas tienen una diferencia de trayectoria óptica

$$g \cdot \sin \alpha$$

y una diferencia de fase ϕ

Lo siguiente se aplica análogamente a (I)

$$\frac{g \sin \alpha}{\lambda} = \frac{\phi}{2\pi} \quad (V)$$

$E_1(\alpha)$ es la amplitud de la intensidad del campo eléctrico de cada ranura individual en dirección de α .

$E_n(\alpha)$ es la amplitud de la intensidad del campo eléctrico de n ranuras en dirección de α . Puesto que las ondas emitidas en dirección de α desde las ranuras individuales son desfasadas, es necesario la suma vectorial con el fin de obtener $E_n(\alpha)$

La diferencia de fase de ranura a ranura es ϕ en cada caso. Con n ranuras, la diferencia de fase entre las ranuras externas es $n \cdot \phi$.

Como muestra la Fig.4, los vectores amplitud se ubican con sus extremos en un arco circular.

$$\frac{E_n(\alpha)}{E_1(\alpha)} = \frac{\sin n \frac{\phi}{2}}{\sin \frac{\phi}{2}} \quad (VI)$$

Lo siguiente se aplica a las intensidades de la luz

$$\frac{I_n(\alpha)}{I_1(\alpha)} = \left(\frac{E_n(\alpha)}{E_1(\alpha)} \right)^2 = \frac{\sin^2 n \frac{\phi}{2}}{\sin^2 \frac{\phi}{2}} \quad (VII)$$

$$\frac{\phi}{2} = g \frac{\pi}{\lambda} \sin \alpha \quad (\triangleright V)$$

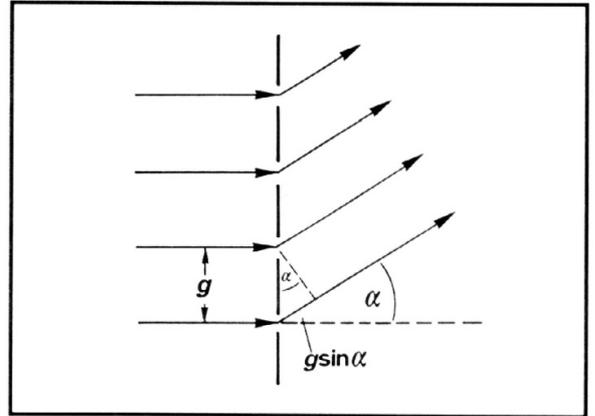


Fig. 3: Difracción en la rejilla con el espaciamento entre ranuras g . Superposición de ondas elementales en la dirección de las ondas elementales α .

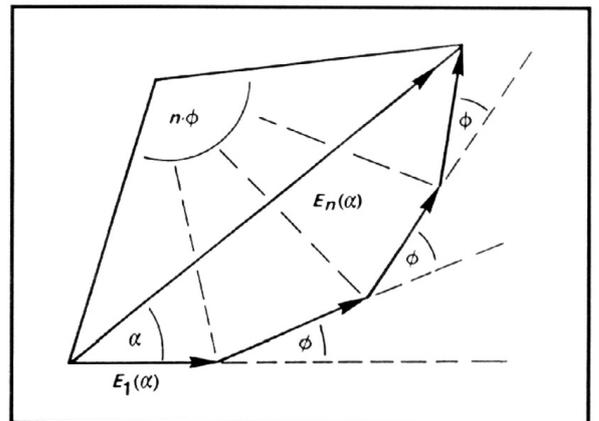


Fig.4: Suma de las ondas elementales n (acá 4) desde n ranuras en dirección de las ondas elementales α .



Si multiplica

$$\frac{I_n(\alpha)}{I_1(\alpha)} \text{ por } \frac{I_1(\alpha)}{I_1(0)} \quad (\text{de IV}),$$

se obtiene la completa *función de difracción de la rejilla*

$$\frac{I_n(\alpha)}{I_{1(0)}} = \frac{\sin^2 bz}{(bz)^2} \cdot \frac{\sin^2 ng \cdot z}{\sin^2 g \cdot z}$$

$$\text{con } z = \frac{\pi}{\lambda} \sin \alpha$$

$I_n(\alpha)$	= Intensidad de la luz de n ranuras en dirección de α	
$I_1(0)$	= Intensidad de la luz de una ranura individual en dirección $\alpha = 0$	(VIII)
α	= Ángulo en el cual se determinan las intensidades de la luz.	
n	= número de ranuras	
b	= Ancho de la ranura	
g	= Espaciamiento entre ranuras	
λ	= Longitud de onda de la luz difractada.	

En (VIII), $I_n(\alpha)$ se refiere a la intensidad de la luz de una ranura para $\alpha = 0$.

Si se refiere en cambio a la intensidad de la luz de n ranuras en dirección α , se obtiene, debido a

$$(E_n(0))^2 = (nE_1(0))^2,$$

la relación

$$I_n(0) = n^2 I_1(0) \quad (\text{IX})$$

y

$$\frac{I_n(\alpha)}{I_n(0)} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{I_n(\alpha)}{I_1(0)} \quad (\text{X})$$

$I_n(0)$: Intensidad de la luz de n ranuras en dirección $\alpha = 0$

La función de difracción de la rejilla (▶ VIII) consiste en dos factores.

El 1° factor describe la difracción de la ranura individual. El 2° factor describe la función de interferencia de la rejilla. El 2° factor varía más rápidamente que el primero.

Mientras menor sea $n \cdot g$ con respecto a b , más se aplica esto.

La función de difracción de la ranura lentamente variable (en función de α) modula las amplitudes de la función de interferencia rápidamente variable como una envolvente.

Nro. max.	Nombre del aparato	Nro. de Cat.	Aparatos requeridos											Cantidad de juegos de aparatos								
			Instalacion básica		Experi-mento		Aparatos requeridos en el experimento además de I ó II						Expe-ri-mento	Cantidad de juegos de aparatos								
			I	II	0.3	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1-2.3		3	Op 1	Op 3	Op 4	Op 7	Op 8			
2	Railes metálicos de precisión, 0.5 m	406 82	(1)	2	2	2											1	1	-	-	1	-
1	Raíl metálico de precisión, 1 m	460 81	1	-	(1)	(1)											(1)	-	-	-	-	-
1	Pantalla traslúcida	459 24	-	-	-												1	1	-	-	-	-
6	Jinetillos con pinza	460 95	5-6	5-6	5	4											4	4	-	-	1	1
1	Lámpara tubular 12 V/18 W	459 03	1	1	1	1												1	1			
1	<i>recomendado</i> Rto. para lámpara de halógeno 12 V/20 W	459 04	(1)	(1)	(1)	(1)												(1)	-	-	-	-
1	<i>alternativamente</i> Lámpara de halogeno 12 V/20 W	459 01	(1)	(1)	(1)	(1)												(1)	-	-	-	-
1	Ranura regulable	471 71	1	1	-	1												-	-	-	-	1
1	Filtro, rojo, azul de	467 95	1	1	1	-												-	-	1	-	-
2	Soportes para diafragmas y diap.	459 33	1-2	1-2	1	1											1	1	-	-	-	-
1	Lente A, f = 5 cm	459 60	-	1	1												1	-	-	-	-	-
1	Lente B, f = 10 cm	459 62	-	-	1												1	1	-	-	-	-
1	Lente H, f = 30 cm	459 64	1	1	-	-											-	-	1	-	-	-
1	Lente F, f = 50 cm	459 65	1	-	-	-											-	-	-	-	-	-
1	Espejo	459 17	1	1	1	1											1	-	-	-	1	
1	<i>recomendado</i> Espejo, frente plateado, con imán	459 21	(1)	(1)													(1)	-	-	-	-	
1	Lupa	459 19	1	1	1	1											1	-	-	-	1	
1	Par de cables, 50 cm, ej. rojo, azul	501 451	1	1	1	1											1	1	-	-	-	-
1	Fuente de voltaje 12 V CA/20 W ej. transformador de 6 V CA/12 V CA	562 73	1	1	1	1											1	-	-	-	-	-
	Fuente de aliment. de baja tension, 3 A	522 16	(1)	(1)	(1)	(1)											(1)	-	-	-	-	-



Cant. máx.	Nombre del aparato	Nro. de Cat.	Aparatos requeridos											Cantidad de juegos de aparatos					
			Instalación básica		Expe- rimento		Aparatos requeridos en el experimento además de I ó II						Ex- peri- mento	Cantidad de juegos de aparatos					
			I	II	0.3	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1-2.3	3	Op 1	Op 3	Op 4	Op 7	Op 8	
1	Diafragma con 3 ranuras simples	469 91			1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
1	Diafragma con 3 ranuras dobles	469 84			1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	
1	Diafragma con 4 ranuras dobles	469 85			1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	
1	Diafragma con 5 ranuras múltiples	469 86			1	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	1	
1	Diafragma con 3 rejillas	469 87			1	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	1	
1	Diafragma con 2 rejillas bidimensionales	469 88			1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	
1	Diafragma con 3 pares de discos	469 89			1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	
1	Diafragma con ranura y puentecillo	469 90			1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	1	
1	Alambre, 0.5 mm	550 44			-	-	-	-	-	-	-	-	10 cm	-	-	-	-	-	
	<i>recomendado</i>																		
1	Recipiente para diafragmas y filtros																		
1	Cajita para diapositivas	442 89													-	-	-	-	1

Resumen de los Módulos de Física STM

Área temática	Manuales de experimentación		Juego de equipos del experimento Número de catálogo y abreviación
	Grupo de tópicos	Cantidad de experimentos	
Mecánica			
Propiedades de la materia	37	589001	ME 1 (588 50) + ME 2 (588 51)
Fuerzas	41	589011	ME 1 (588 50) + ME 3 (588 52) + ME 4 (588 53)
Máquinas simples	38	589021	ME 1 (588 50) + ME 4 (588 53) + ME 5 (588 54)
Fluidos	30	589031	ME 1 (588 50) + ME 2 (588 51) + ME 6 (588 55)
Movimiento lineal	26	589041	ME 7 (588 56)
Oscilaciones	52	589071	ME 1 (588 50) + ME 8 (588 72)
Ondas	14	589081	
Calor			
Expansión y propagación del calor	26	589051	CA 1 (588 57) + CA 2 (588 58)
Energía calórica y estados de la materia	25	589061	CA 1 (588 57) + CA 3 (588 59)
Magnetismo • Electricidad • Electrónica			
Magnetismo	22	589111	MAG 1 (588 60)
Circuitos eléctricos simples	47	589121	EL 1 (588 61) + EL 2 (588 62)
Electromagnetismo e Inducción	43	589131	EL 1 (588 61) + EL 3 (588 63)
Electroquímica	20	589141	EL 1 (588 61) + EL 4 (588 64)
Electroestática 1: Cargas y fuerzas	59	589161	ESA 1 (588 73)
Electroestática 2: Cargas y campos	40	589171	ESA 1 (588 73) + ESA 2 (588 74)
Electrónica básica	48	589151	EL 1 (588 61) + EL 5 (588 65)
Óptica geométrica			
Propagación y Reflexión de la luz	46	589201	OP 1 (588 66) + OP 2 (588 67)
Refracción y Lentes	49	589211	OP 1 (588 66) + OP 3 (588 68)
Instrumentos ópticos	39	589221	OP 1 (588 66) + OP 4 (588 69)
Experimentos con la fuente de rayos luminosos	40	589231	OP 5 (588 70)
Óptica ondulatoria			
Difracción	24	589251	OP 1 (588 66) + OP 7 (588 75)
Interferencia	10	589261	OP 1 (588 66) + OP 7 (588 75)
Polarización	30	589271	OP 1 (588 66) + OP 8 (588 76)
Física nuclear			
Radioactividad	Ca. 32	589501	RAD 1 (588 77)
Informática / Tecnología digital			
Operaciones lógicas básicas	15	571171	P 1 (571 011)
Circuitos de combinación y de secuencia	20	571171	P 1 (571 011) + P 2 (571 022)

