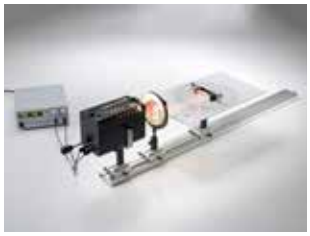
P5 ÓPTICA



P5.1 ÓPTICA GEOMÉTRICA 145

P5.2 DISPERSIÓN, TEORÍA DEL COLOR 149

P5.3 ÓPTICA ONDULATORIA 153

P5.4 POLARIZACIÓN 164

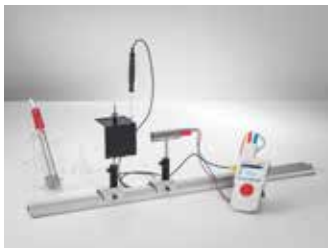
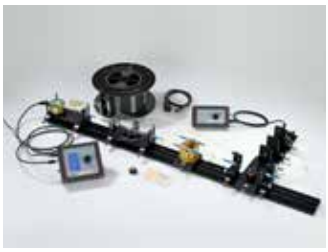
P5.5 INTENSIDAD DE LA LUZ 170

P5.6 VELOCIDAD DE LA LUZ 173

P5.7 ESPECTRÓMETROS 177

P5.8 FOTÓNICA 180

P5 ÓPTICA

P5.1 ÓPTICA GEOMÉTRICA
P5.1.1 Reflexión y refracción 145
P5.1.2 Ley de proyección de imágenes 146
P5.1.3 Distorsión de imágenes 147
P5.1.4 Instrumentos ópticos 148

P5.2 DISPERSIÓN, TEORÍA DEL COLOR
P5.2.1 Índice de refracción y dispersión 149
P5.2.3 Mezcla de colores 150
P5.2.4 Espectros de absorción 151
P5.2.5 Espectros de reflexión 152

P5.3 ÓPTICA ONDULATORIA
P5.3.1 Difracción 153-155
P5.3.2 Interferencia entre dos rayos 156
P5.3.3 Anillos de Newton 157
P5.3.4 Interferómetro de Michelson 158-159
P5.3.5 Otros tipos de interferómetros 160-161
P5.3.6 Holografía de reflexión con luz blanca 162
P5.3.7 Holograma de transmisión 163

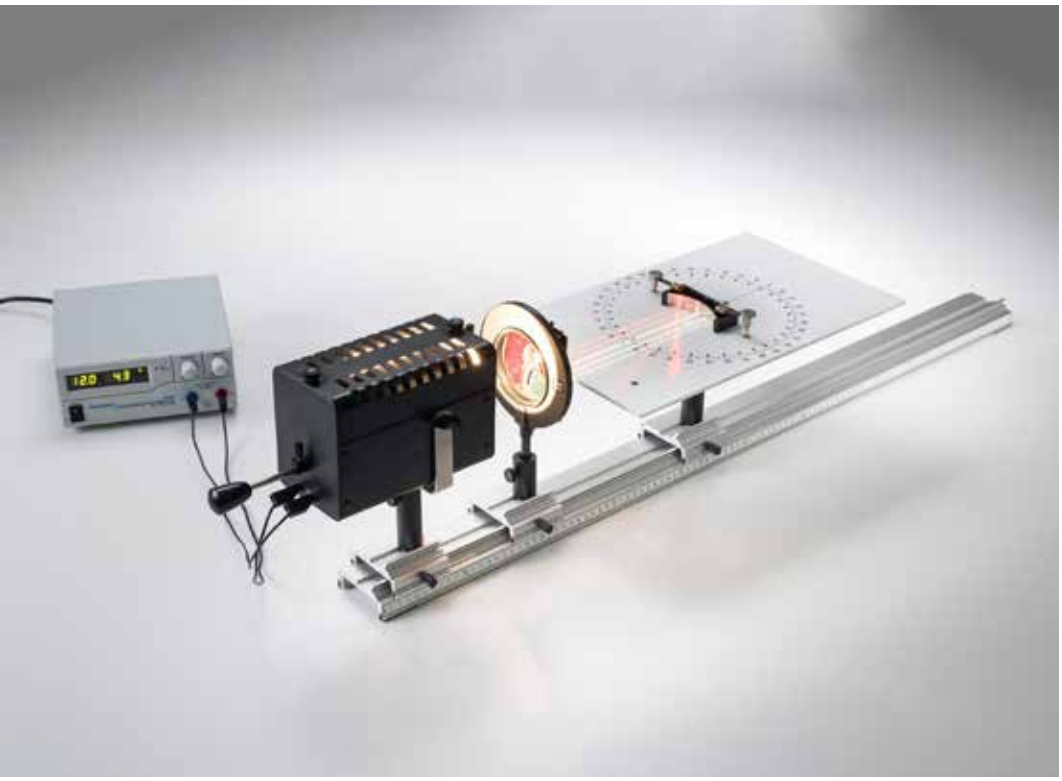
P5.4 POLARIZACIÓN
P5.4.1 Experimentos básicos 164
P5.4.2 Birrefringencia 165
P5.4.3 Actividad óptica, polarimetría 166
P5.4.4 Efecto Kerr 167
P5.4.5 Efecto Pockels 168
P5.4.6 Efecto Faraday 169

P5.5 INTENSIDAD DE LA LUZ
P5.5.1 Magnitudes luminotécnicas y métodos de medición 170
P5.5.2 Ley de la radiación 171-172

P5.6 VELOCIDAD DE LA LUZ
P5.6.1 Medición según Foucault y Michelson 173
P5.6.2 Medición con pulsos cortos de luz 174
P5.6.3 Medición con una señal luminosa periódica 175-176

P5.7 ESPECTRÓMETROS
P5.7.1 Espectrómetro de prisma 177
P5.7.2 Espectrómetro de rejilla 178-179

P5.8 FOTÓNICA
P5.8.3 Aplicaciones ópticas 180
P5.8.5 Aplicaciones técnicas 181-183
P5.8.6 Láser de estado sólido 184-185
P5.8.7 Fibra óptica 186-187
P5.8.8 Aplicaciones técnicas 188-189



Reflexión de la luz en espejos planos y curvados (P5.1.1.1)

REFLEXIÓN Y REFRACCIÓN

P5.1.1.1
Reflexión de la luz en espejos planos y curvados

P5.1.1.2
Refracción de la luz en superficies planas y estudio de recorridos de rayos en prismas y lentes

N° de cat.	Descripción	P5.1.1.1–2
463 52	Disco óptico con accesorios	1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1
450 681	Lámpara de halógeno 12 V/50 W, G6,35	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
463 51	Diafragma con 5 ranuras	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2
460 3112	Abrazadera tipo jinete de 75/65	1
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2

Para describir la propagación de la luz frecuentemente es suficiente especificar el recorrido del haz de luz. Como ejemplo de ello aquí se estudia los recorridos de la luz en espejos, en lentes y en prismas utilizando formas seccionadas.

En el experimento P5.1.1.1 se observa la formación de la imagen especular obtenida por reflexión en un espejo plano y se muestra la reversibilidad del recorrido del rayo. Experimentalmente se verifica la ley de la reflexión

$$\alpha = \beta$$

α: ángulo de incidencia, β: ángulo de refexión

Otros temas de experimentos son: la reflexión de un haz de rayos paralelo al eje en el foco de un espejo cóncavo, la existencia de un foco virtual en la reflexión en un espejo convexo, la relación entre foco y radio de curvatura del espejo curvo y, por último, la formación de imágenes reales y virtuales en la reflexión en un espejo curvo.

El experimento P5.1.1.2 trata acerca del cambio de dirección de la luz cuando ésta pasa a otro medio. Cuantitativamente se confirma la ley de refracción encontrada por W. Snellius:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

α: ángulo de incidencia, β: ángulo de refracción,

n_1: índice del medio 1 (aquí aire),

n_2: índice del medio 2 (aquí vidrio)

Adicionalmente, se estudia la reflexión total cuando la luz pasa de un medio ópticamente más denso a un medio menos denso, la reunificación de un haz de luz paralelo al eje en un foco de una lente condensadora, la existencia de un foco virtual al pasar un haz paralelo al eje por una lente divergente, la formación de imágenes reales y virtuales en la proyección con lentes y el recorrido de los rayos a través de un prisma.

LEY DE PROYECCIÓN DE IMÁGENES

P5.1.2.1
Determinación de la distancia focal en lentes convergentes y en lentes divergentes con luz paralela al eje

P5.1.2.2
Determinación de la distancia focal en lentes convergentes por autocolimación

P5.1.2.3
Determinación de la distancia focal en lentes condensadoras según el método de Bessel

P5.1.2.4
Verificación de la ley de proyección de imágenes con una lente condensadora

Verificación de la ley de proyección de imágenes con una lente condensadora (P5.1.2.4)

N° de cat.	Descripción	P5.1.2.1	P5.1.2.2	P5.1.2.3–4
450 60	Carcasa de lámpara	1	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1	1
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1		1
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1		1
460 04	Lente en montura f = +200 mm	1		
460 06	Lente en montura f = -100 mm	1		
441 53	Pantalla traslúcida	1		1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	2
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	1	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm		1	
460 09	Lente en montura f = +300 mm		1	
461 66	Diapositivas objeto de proyección, par		1	1
460 28	Espejo plano con rótula		1	

La distancia focal de lentes se determina mediante diferentes métodos. El fundamento para la evaluación en cada uno de ellos son las leyes de proyección de imágenes.

En el experimento P5.1.2.1 se coloca una pantalla de observación en paralelo al eje óptico, de tal manera que se pueda seguir en la pantalla el recorrido de los rayos de un haz de luz paralelo a leje, después de pasar por una lente convergente o por una lente divergente. La distancia focal se mide directamente como la distancia entre el foco y la lente.

En la autocolimación, en el experimento P5.1.2.2 se refleja un haz de luz paralelo al eje en un espejo detrás de la lente, de tal manera que la imagen del objeto se encuentra directamente al lado del objeto mismo. La distancia d entre objeto y lente se varía hasta que la imagen y objeto tengan exactamente el mismo tamaño. Entonces para la distancia focal se cumple:

$$f = d$$

En el método de Bessel, en el experimento P5.1.2.3 se ensamblan el objeto y la pantalla de observación a una distancia total fija s. Entre ambos se debe encontrar dos posiciones de lentes x_1 y x_2, bajo los cuales el objeto sea proyectado nítidamente sobre la pantalla de observación. De las leyes de proyección de imágenes se obtiene la distancia focal:

$$f = \frac{1}{4} \cdot \left(s - \frac{(x_1 - x_2)^2}{s} \right)$$

En el experimento P5.1.2.4 se mide directamente el tamaño del objeto G, el ancho del objeto g, el tamaño de la imagen B y el ancho de la imagen b para una lente condensadora y se verifica las leyes de las imágenes. La distancia focal se calcula utilizando la fórmula:

$$f = \frac{g \cdot b}{g + b}$$

Aberración esférica en la imagen de lentes (P5.1.3.1)

DISTORSIÓN DE IMÁGENES

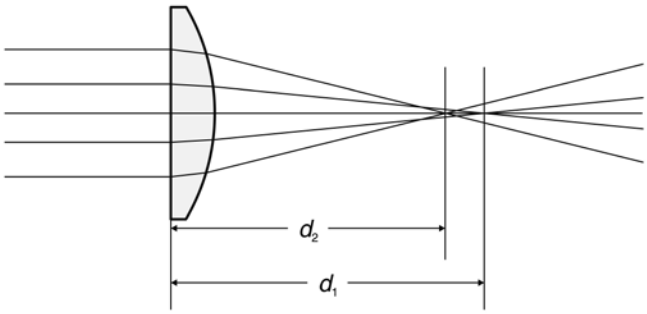
P5.1.3.1
Aberración esférica en la imagen de lentes

P5.1.3.2
Astigmatismo y aberración de curvatura en la imagen de lentes

P5.1.3.3
Distorsión en barrilete y en corsé en la imagen de lentes y coma

P5.1.3.4
Aberración cromática en la imagen de lentes

N° de cat.	Descripción	P5.1.3.1	P5.1.3.2	P5.1.3.3	P5.1.3.4
450 60	Carcasa de lámpara	1	1	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1	1	1
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1	1	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1	1	1
461 61	Diafragma para estudio de aberración esférica, par	1			
461 66	Diapositivas objeto de proyección, par	1	1	1	
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1	1	1	1
460 26	Diafragma de iris	1	1		1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	2	2
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	2	2	2
460 02	Lente en montura f = +50 mm			1	
467 95	Juego de filtros de colores primarios				1



Distancias de corte de rayos cercanos y rayos lejanos al eje (P5.1.3.1)

En los experimentos P5.1.3.1 y P5.1.3.2 se observa la falta de nitidez en imágenes. En un trayecto de rayos paralelo al eje, los rayos más cercanos al eje tiene una distancia de corte diferente que los rayos alejados del eje. Este efecto denominado «aberración esférica» se presenta particularmente en lentes con curvaturas muy pronunciadas. El astigmatismo y la aberración de curvatura se observan en proyecciones de objetos extensos con haces de luz estrechos. En realidad, el plano focal es una superficie curvada. Esto se observa en la imagen, en la pantalla de observación, que se hace menos nítida hacia los bordes cuando el centro es visto con nitidez. El astigmatismo es la observación que un haz de luz estrecho y limitado no forma una imagen puntual, sino más bien dos líneas de imagen perpendiculares entre sí con una distancia finita en la dirección del eje.

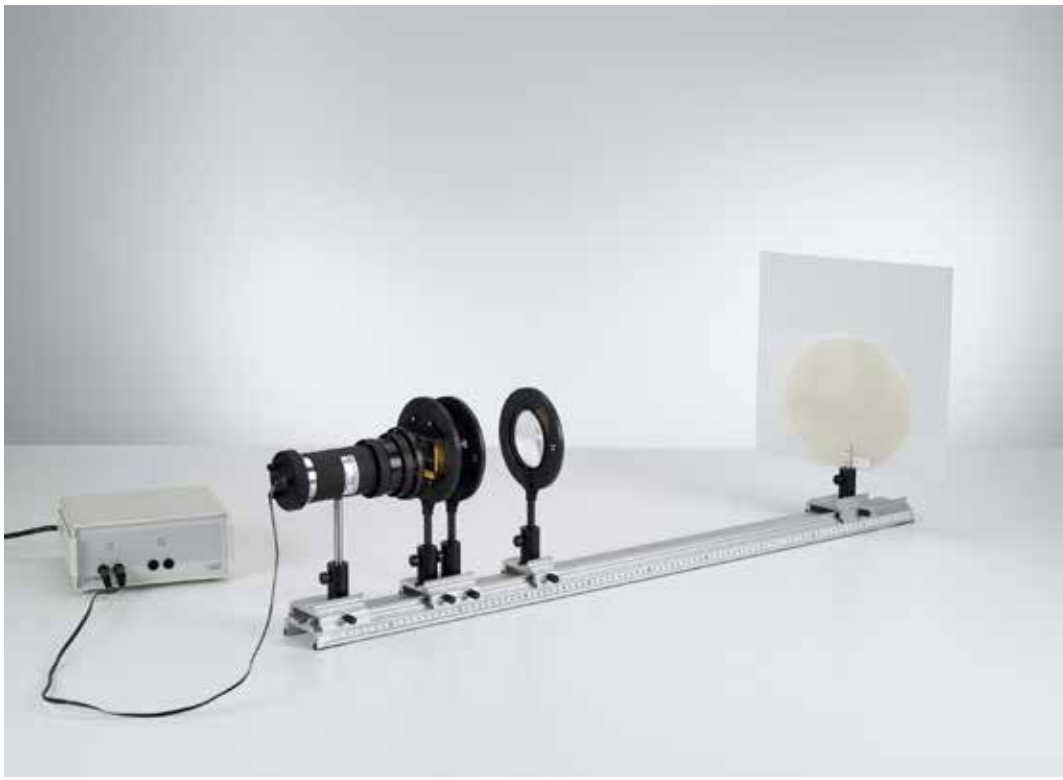
El objetivo del experimento P5.1.3.3 son las distorsiones en la escala de la fotografía. A través de un diafragma de abertura situado delante o detrás de la lente proyectora se producen defectos en la proyección. Al diafragmar gradualmente por delante de la lente se produce una distorsión de forma de barrilete, esto es una reducción del tamaño de la proyección al aumentar el tamaño del objeto. Al diafragmar gradualmente detrás de la lente se produce una distorsión de forma de corsé. La Coma de una imagen es la distorsión unilateral de una imagen en la forma de cola de cometa, cuando la proyección se hace con un haz de luz que atraviesa la lente concierta inclinación.

En el experimento P5.1.3.4 se estudia la aberración cromática. Estas son causadas por variación del índice de refracción con la longitud de onda y que por esta razón no se pueden evitar si no se trabaja con luz monocromática.

INSTRUMENTOS ÓPTICOS

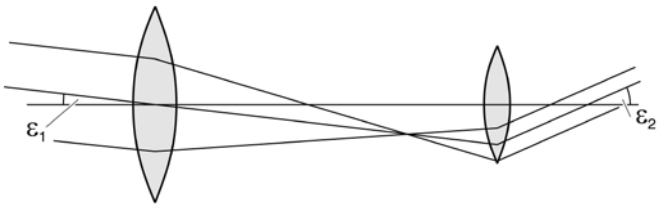
P5.1.4.1
Lupa y microscopio

P5.1.4.2
Telescopio de Kepler y telescopio de Galileo



Lupa y microscopio (P5.1.4.1)

N° de cat.	Descripción	P5.1.4.1	P5.1.4.2
450 60	Carcasa de lámpara	1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1	
521 210	Transformador 6/12 V	1	
460 22	Soporte con muelles	1	
311 091	Regla de vidrio graduada 50 mm	1	
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1	1
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1	
460 04	Lente en montura f = +200 mm	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	4	2
441 53	Pantalla traslúcida	1	
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	
460 05	Lente en montura f = +500 mm		1
460 06	Lente en montura f = -100 mm		1
311 22	Regla vertical, l = 1 m		1
300 11	Zócalo		1



Trayecto de los rayos en el telescopio de Kepler (P5.1.4.2)

En estos experimentosse presentan la lupa, el microscopio y el telescopio como instrumentos ópticos cuya función principal es ampliar el ángulo visual. Sobre un banco óptico se ilustra la construcción de estos instrumentos. Para el análisis cuantitativo se hace uso de la definición del aumento:

$$V = \frac{\tan\psi}{\tan\varphi}$$

ψ: ángulo visual con instrumento

φ: ángulo visual sin instrumento

En el experimento P5.1.4.1 se observan objetos pequeños a cortas distancias. Primero se utiliza una lupa como lente condensadora y después se monta un microscopio en su diseño más simple con dos lentes convergentes. La primera lente, el objetivo, genera una imagen intermedia real, aumentada e inversa. La segunda lente, el ocular, se implementa como lupa para observar la imagen intermedia. El aumento total del microscopio viene dado entonces por:

$$V_M = V_{ob} \cdot V_{oc}$$

V_{ob}: tamaño de la imagen del objetivo

V_{oc}: aumento del ocular

En esta expresión V_{oc} corresponde al aumento de la lupa

$$V_{oc} = \frac{s_0}{f_{oc}}$$

s_0: distancia visual clara

f_{oc}: distancia focal del ocular

El objetivo del experimento P5.1.4.2 es la observación de objetos alejados con un telescopio. El objetivo y el ocular de un telescopio están dispuestos de tal manera que el foco posterior del objetivo coincide con el foco delantero del ocular. Se hace la diferencia entre un telescopio de Galileo, en el cual una lente divergente sirve de ocular y forma una imagen derecha, y el telescopio de Kepler que forma una imagen inversa, debido a que en este caso se utiliza una lente condensadora como ocular. En ambos casos el aumento total está dado por la expresión

$$V_T = \frac{f_{ob}}{|f_{ok}|}$$

f_{ob}: distancia focal del objetivo

f_{ok}: distancia focal del ocular

Determinación del índice de refracción y de la dispersión en líquidos (P5.2.1.2)

ÍNDICE DE REFRACCIÓN Y DISPERSIÓN

P5.2.1.1
Determinación del índice de refracción y determinación de la dispersión en vidrio Flint y en vidrio sin plomo

P5.2.1.2
Determinación del índice de refracción y de la dispersión en líquidos

N° de cat.	Descripción	P5.2.1.1	P5.2.1.2
465 22	Prisma de vidrio Crown	1	
465 32	Prisma de vidrio Flint	1	
460 25	Mesa de prisma con soporte	1	1
460 22	Soporte con muelles	1	1
450 60	Carcasa de lámpara	1	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1	1
521 210	Transformador 6/12 V	1	1
468 03	Filtro monocromático, rojo	1	1
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso	1	1
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	3	3
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
465 52	Prisma Hueco		1
665 002	Embudo, vidrio, 35 mm Ø		1
675 2100	Tolueno, 250 ml		1
675 0410	Aceite de trementina, rectificar, 250 ml		1
675 4760	Ester etilico del ácido cinámico, 100 ml		1

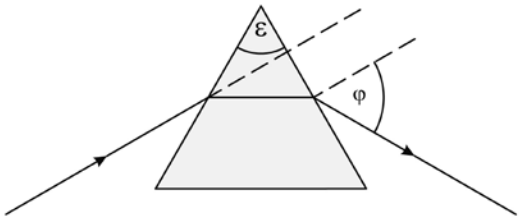
La dispersión es el fenómeno en el que el índice de refracción n es diferente para luz de diferentes colores. Frecuentemente se le llama dispersión a la magnitud $dn/d\lambda$, es decir, al cociente entre el índice de refracción dn y la variación de la longitud de onda $d\lambda$.

En el experimento P5.2.1.1 se determina el ángulo ϑ de la desviación mínima para un prisma de vidrio Flint y para uno de vidrio sin plomo con el mismo ángulo de refracción ε. De aquí se obtiene el índice de refracción del material del prisma según

$$n = \frac{\sin\frac{1}{2}(\varepsilon + \varphi)}{\sin\frac{1}{2}\varepsilon}$$

La medición se lleva a cabo con diferentes longitudes de onda para poder determinar cuantitativamente la dispersión.

En el experimento P5.2.1.2 se estudia la dispersión de líquidos en un montaje experimental similar. En un prisma hueco se llena tolueno, aguarrás, ácido cinámico éster etil, alcohol y agua. Finalmente se observan las grandes diferencias entre los índices de refracción y en la dispersión.



Trayecto de los rayos en un prisma (P5.2.1.1)

MEZCLA DE COLORES

P5.2.3.2
Demostración de la mezcla aditiva de colores

P5.2.3.3
Demostración de la mezcla substractiva de colores

Demostración de la mezcla aditiva de colores (P5.2.3.2)

N° de cat.	Descripción	P5.2.3.2	P5.2.3.3
459 098	Lámpara Triple LED	1	
459 095	Adaptador de alimentación USB 5V CC (clavijero A)	1	1
459 096	Cable USB (A-ST - Mini-B St)	1	1
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1
460 22	Soporte con muelles	1	1
688 045	Diafragmas deslizantes, juego de 6	1	
467 95	Juego de filtros de colores primarios	1	1
467 96	Juego de filtros de colores secundarios	1	1
467 97	Filtro de colores triple	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	2	3
460 313	Jinetillo óptico con columna de presión	1	1
459 094	Lámpara LED		1
460 02	Lente en montura f = +50 mm		1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm		1

El reconocimiento de colores del ojo humano se determina mediante tres tipos de receptores cónicos de luz en la retina. La comparación de los diferentes colores (rangos de longitud de onda) del espectro visible, usando la sensibilidad de los diferentes tipos de receptores cónicos, revela la división de la luz en colores primarios: rojo, verde y azul. Las combinaciones de dos diferentes colores primarios resultan en los colores secundarios: cian, magenta y amarillo. Esto significa que los colores secundarios filtran solo el tercer color primario. La combinación de todos los colores primarios resulta en el color blanco.

En el experimento P5.2.3.2 se colocan varios filtros de color (rojo, verde, azul) uno al lado del otro frente a una lámpara con 3 fuentes de luz y en la imagen en una pantalla la superposición de estos colores primarios muestra una mezcla de colores aditiva.

En el experimento P5.2.3.3 se muestra la mezcla de colores sustractivos colocando filtros de color (amarillo, magenta, cian) que se superponen parcialmente en el haz de luz de una lámpara.

Demostración de la mezcla aditiva de colores (P5.2.3.2)

ESPECTROS DE ABSORCIÓN

P5.2.4.3
Espectros de absorción en muestras de vidrios de colores - Registro y evaluación con un espectrómetro espectral

P5.2.4.4
Espectros de absorción y de fluorescencia de líquidos coloreados - Registro y evaluación con un espectrofotómetro

P5.2.4.5
Espectros de absorción de fibras óptica de PMMA - Registro y evaluación con un espectrofotómetro

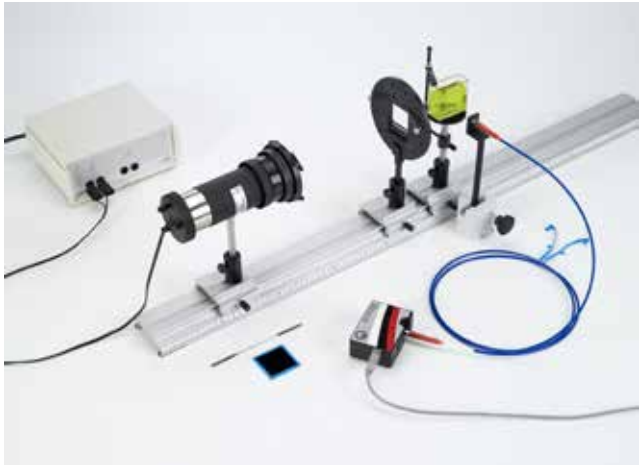
N° de cat.	Descripción	P5.2.4.3	P5.2.4.4	P5.2.4.5
467 96	Juego de filtros de colores secundarios	1		
468 01	Filtro monocromático, rojo oscuro	1		
468 09	Filtro monocromático, azul verde	1		
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1	1	
460 22	Soporte con muelles	1	1	
450 60	Carcasa de lámpara	1	1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1	1	
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1	1	
521 210	Transformador 6/12 V	1	1	
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1	1	1
460 251	Portafibraóptica	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	3	4	
477 14	Cubeta de vidrio especular, 50 x 50 x 20		1	
460 25	Mesa de prisma con soporte		1	
300 11	Zócalo		1	2
300 40	Varilla de soporte, 10 cm, 12 mm Ø		1	
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD		1	
604 5672	Microespátula doble, acero, 150 mm		1	
672 0110	Fluorescein		1	
451 17	Portalámparas E 27, Enchufes de tipo C de 2,5 Amperios			1
505 302	Bombilla halógena 230 V / 46 W, E27			1
579 44	Guía de luz de fibra óptica, 2 piezas			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1	1

La impresión que se tiene de los colores de vidrios o de líquidos al observarlos al trasluz es generada por la componente transmitida de los colores espectrales.

En el experimento P5.2.4.3 la luz proveniente de una bombilla incandescente que atraviesa varias piezas de vidrio de colores se mide a través de un espectrómetro y se compara con el espectro continuo de la luz proveniente de la bombilla. El espectro original continuo (de colores espectrales) desaparece. Lo que queda es una banda con los componentes de color del filtro. Se calculan el coeficiente de transmisión y la densidad óptica de las piezas de vidrio de color.

En el experimento P5.2.4.4, la luz proveniente de una bombilla incandescente que atraviesa un líquido de color se mide a través de un espectrómetro. La fluorescencia de un líquido de color es medida en ángulo recto. Un filtro azul se implementa para separar claramente la fluorescencia y la dispersión de la luz. Los espectros tanto de absorción como de fluorescencia son comparados con el espectro continuo de la luz proveniente de la bombilla.

En el experimento P5.2.4.5, la luz que atraviesa una fibra ópticase mide con un espectrómetro compacto. Los matices de alto orden de las oscilaciones moleculares crean rangos espectrales de alta absorción, dejando rangos de alta transmisión entre medio llamadas „ventanas ópticas".



Espectros de absorción et de fluorescencia de líquidos coloreados (P5.2.4.4)

ESPECTROS DE REFLEXIÓN

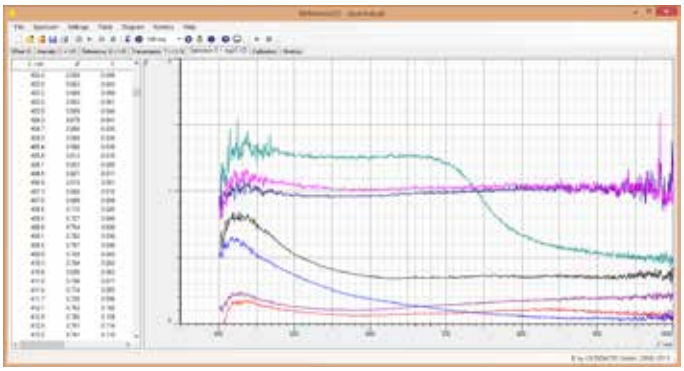
P5.2.5.1
Espectros de reflexión de materiales diferentes - Registro y evaluación con un espectrofotómetro

Espectros de reflexión de materiales diferentes - Registro y evaluación con un espectrofotómetro (P5.2.5.1)

N° de cat.	Descripción	P5.2.5.1
567 06	Conductores/aislantes, juego de 6	1
460 22	Soporte con muelles	1
450 60	Carcasa de lámpara	1
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2	1
460 20	Condensador asférico con porta diafragma	1
521 210	Transformador 6/12 V	1
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1
460 251	Portafibraóptica	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	3
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

Los colores que percibimos de objetos opacos son inducidos por la componente reflejada de los colores espectrales.

En el experimento P5.2.5.1, la luz proveniente de una bombilla incandescente, reflejada por diferentes materiales se mide usando un espectrómetro. En comparación con la reflexión de una hoja de papel blanco (luz dispersa), se puede calcular el coeficiente de reflexión.



Reflectividad de distintos materiales contra una longitud de onda (P5.2.5.1)

Difracción en una rendija doble y en rendija múltiple (P5.3.1.2)

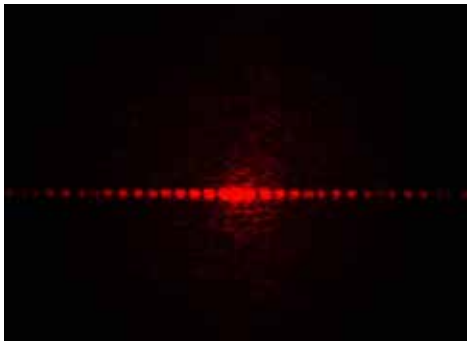
DIFRACCIÓN

P5.3.1.1
Difracción en una rendija, en un poste y en un diafragma de agujero de forma circular

P5.3.1.2
Difracción en una rendija doble y en rendija múltiple

P5.3.1.3
Difracción en una rejilla unidimensional y en una rejilla bidimensional

N° de cat.	Descripción	P5.3.1.1	P5.3.1.2	P5.3.1.3
469 91	Diafragma con 3 ranuras simples	1		
469 96	Diafragma con 3 agujeros de difracción	1		
469 97	Diafragma con 3 puentecillos de difracci	1		
460 22	Soporte con muelles	1	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1	1
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	1	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	4	4	4
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1
300 11	Zócalo	1	1	1
469 84	Diafragma con 3 ranuras dobles		1	
469 85	Diafragma con 4 ranuras dobles		1	
469 86	Diafragma con 5 ranuras múltiples		1	
469 87	Diafragma con 3 rejillas			1
469 88	Diafragma con 2 rejillas bidimensionales			1



Patrón de interferencia de experimento P5.3.1.2 en la pantalla (P5.3.1.2)

Para medir las intensidades de difracción se utiliza un sensor Lux que se puede desplazar sobre un jinetillo óptico en dirección perpendicular al eje óptico y cuya posición lateral se mide con un sensor de giro.

La coherencia es la propiedad de las ondas que permite a éstas revelar diagramas de interferencia estacionarios. La coherencia espacial de una fuente de luz puede ser examinada en el interferómetro de doble abertura de Young. La fuente de luz ilumina una abertura doble con la anchura de abertura *b* y la distancia *g*. Si las haces parciales emitidas por la fuente de luz son coherentes antes de atravesar las dos aberturas, un diagrama de interferencia es observado detrás de la abertura doble. La condición de iluminación coherente de la abertura doble es

$$\Delta s = a \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{L}(g+b) < \frac{\lambda}{2}$$

En el experimento P5.3.1.1 se estudia los mínimos de intensidad de la difracción en una rendija. Para una rendija de ancho *b* sus ángulos ϑ_k respecto al eje óptico están dados por

$$\sin\varphi_k = k \cdot \frac{\lambda}{b} \left(k = 1;\ 2;\ 3; \ldots\right)$$

λ: longitud de onda de la luz

Un resultado similar se obtiene de la difracción en un puentecillo según el teorema de Babinet. En la difracción en un diafragma de abertura de forma circular con radio *r* se observan anillos de difracción concéntricos, cuyos mínimos de intensidad se encuentran bajo los ángulos ϑ_k vienen descritos por

$$\sin\varphi_k = k \cdot \frac{\lambda}{r} \quad \left(k = 0{,}610;\ 1{,}116;\ 1{,}619; \ldots\right)$$

En el experimento P5.3.1.2 se observa la difracción en una rendija doble. Los máximos de intensidad se forman por interferencia constructiva de las ondas elementales de la primera rendija con las ondas elementales de la segunda rendija y cuyos ángulos ϑ_n vienen descritos por

$$\sin\varphi_n = n \cdot \frac{\lambda}{d} \quad \left(n = 0;\ 1;\ 2; \ldots\right)$$

para una distancia *d* desde el centro de una rendija al centro de la otra. La intensidad de diferentes máximos no es constante, debido a la influencia de la difracción en una rendija individual. En la difracción en más de dos rendijas con la misma distancia entre rendijas *d* la posición de los máximos de interferencia permanecen constante. Para un ancho de rendija fijo *b*, entre cada dos máximos se encuentra adicionalmente *N-2* máximos secundarios, cuya intensidad decrece cuando el número de rendijas *N* aumenta.

DIFRACCIÓN

P5.3.1.4
Difracción en una rendija simple - Registro y evaluación con CASSY

P5.3.1.5
Difracción en una rendija doble y en una rendija múltiple - Registro y evaluación con CASSY

Difracción en una rendija simple - Registro y evaluación con CASSY (P5.3.1.4)

N° de cat.	Descripción	P5.3.1.4	P5.3.1.5
460 14	Rendija variable	1	
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
460 22	Soporte con muelles	1	2
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1	1
460 33	Banco óptico con perfil normal, 2 m	1	1
460 374	Jinetillo 90/50	4	4
460 383	Jinetillo de corredera 90/50	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 444	Sensor Lux M	1	1
524 082	Sensor de giro S	1	1
301 07	Mordaza de mesa, sencilla	1	1
309 48	Sedal	1	1
342 63	Pesa 50 g	1	1
469 84	Diafragma con 3 ranuras dobles		1
469 85	Diafragma con 4 ranuras dobles		1
469 86	Diafragma con 5 ranuras múltiples		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1

La coherencia es la propiedad de las ondas que permite a éstas revelar diagramas de interferencia estacionarios. La coherencia espacial de una fuente de luz puede ser examinada en el interferómetro de doble abertura de Young. La fuente de luz ilumina una abertura doble con la anchura de abertura *b* y la distancia *g*. Si las haces parciales emitidas por la fuente de luz son coherentes antes de atravesar las dos aberturas, un diagrama de interferencia es observado detrás de la abertura doble. La condición de iluminación coherente de la abertura doble es

$$\Delta s = a \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{L}(g+b) < \frac{\lambda}{2}$$

En el experimento P5.3.1.4 se estudia la difracción en una rendija de ancho variable. Los datos registrados para la intensidad *I* son comparados con el resultado obtenido del cálculo de un modelo para un ángulo de difracción ϑ pequeño, en el que el ancho de rendija *b* es considerado como parámetro:

$$I : \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda}\varphi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda}\varphi} \right)^2 \quad \text{con } \varphi = \frac{s}{L}$$

λ: longitud de onda de la luz

s: desplazamiento lateral del fotoelemento

L: distancia entre cuerpo de difracción y fotoelemento

En el experimento P5.3.1.5 se observa la difracción en rendijas múltiples. En el cálculo de un modelo para fines de comparación se consideran como parámetros al ancho de rendija *b* y la distancia *d* entre rendijas.

$$I : \left(\frac{\sin\left(\frac{\pi b}{\lambda}\varphi\right)}{\frac{\pi b}{\lambda}\varphi} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin\left(\frac{N\pi d}{\lambda}\varphi\right)}{\sin\left(\frac{\pi d}{\lambda}\varphi\right)} \right)^2$$

N: número de rendijas iluminadas

Estudio de la coherencia espacial de una fuente luminosa extendida (P5.3.1.9)

DIFRACCIÓN

P5.3.1.9
Estudio de la coherencia espacial de una fuente luminosa extendida

N° de cat.	Descripción	P5.3.1.9
451 062	Lámpara espectral Hg 100	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 370	Jinetillo 60/34	2
460 373	Jinetillo 60/50	1
460 374	Jinetillo 90/50	3
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso	1
460 22	Soporte con muelles	2
688 045	Diafragmas deslizantes, juego de 6	1
460 14	Rendija variable	1
469 85	Diafragma con 4 ranuras dobles	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1
460 135	Ocular graticulado	1

Para medir las intensidades de difracción se utiliza un sensor Lux que se puede desplazar sobre un jinetillo óptico en dirección perpendicular al eje óptico y cuya posición lateral se mide con un sensor de giro.

$$\Delta s = a \cdot \sin\alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{a}{L}(g+b) < \frac{\lambda}{2}$$

El experimento P5.3.1.9 analiza la condición de coherencia espacial. La fuente de luz consiste en una abertura simple de ancho variable, iluminada por una lámpara espectral de mercurio. En combinación con un filtro, esto resulta en una fuente de luz monocromática con anchura variable *a*. Aberturas dobles con diferentes distancias *g* entre aberturas (pero con la anchura de abertura *b* constante) son iluminadas a una distancia *L*. Para cada distancia *g*, la anchura *a* de la abertura simple (ajustable) es determinada en el momento que el diagrama de interferencia desaparece, esto es, después de pasar por la abertura doble. En este caso, la condición de coherencia ya no es válida.

INTERFERENCIA ENTRE DOS RAYOS

P5.3.2.1
Interferencia en un espejo de Fresnel con un láser de He-Ne

P5.3.2.2
Experimento de Lloyd con un láser de He-Ne

P5.3.2.3
Interferencia en un biprisma de Fresnel con un láser de He-Ne

Interferencia en un espejo de Fresnel con un láser de He-Ne (P5.3.2.1)

N° de cat.	Descripción	P5.3.2.1-2	P5.3.2.3
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
471 05	Espejo de Fresnel sobre vástago	1	
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	1
460 04	Lente en montura f = +200 mm	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	3	3
460 373	Jinetillo 60/50	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
300 11	Zócalo	1	1
311 53	Calibradores vernier	1	1
311 78	Cinta métrica 2 m/1 mm	1	1
471 09	Biprisma de Fresnel		1
460 25	Mesa de prisma con soporte		1

Para generar dos fuentes luminosas coherentes se ejecutan tres experimentos descritos en la bibliografía: En los experimentos se determina la longitud de onda λ de la luz implementada *d* partir de la distancia *a* entre bandas de interferencia y de la distancia *a* de las fuentes luminosas (virtuales).Para una distancia *L* suficiente grande entre las fuentes luminosas (virtuales) y la pantalla de proyección se cumple que

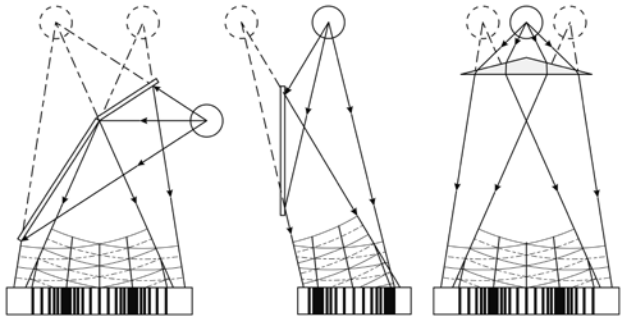
$$\lambda = a \cdot \frac{d}{L}$$

La determinación del parámetro *a* depende de cada montaje experimental.

En 1821 *A. Fresnel* consiguió generar, por reflexión de una fuente luminosa en dos espejos inclinados, un par de fuentes virtuales muy cercanas que interfieren entre si debido a su coherencia - P5.3.2.1.

En 1839 *H. Lloyd* demostró que por reflexión en un espejo se puede generar una segunda fuente luminosa virtual que es coherente a la primera. El observó interferencias entre la luz directa y la luz reflejada - P5.3.2.2.

La generación de fuentes de luz coherentes también puede ser realizada mediante el biprisma diseñado por *A. Fresnel* en 1826 (P5.3.2.3.). Por refracción en ambos prismas mitades se generan dos imágenes virtuales que se encuentran más cerca cuanto más pequeño es el ángulo del prisma.



Espejo de Fresnel - espejo de Lloyd - biprisma (P5.3.2.1-3)

Anillos de Newton con luz blanca transmitida y reflejada (P5.3.3.2)

ANILLOS DE NEWTON

P5.3.3.1
Anillos de Newton con luz monocromática transmitida

P5.3.3.2
Anillos de Newton con luz blanca transmitida y reflejada

N° de cat.	Descripción	P5.3.3.1	P5.3.3.2
471 111	Disco de vidrio para demostrar los anillos de Newton	1	1
460 03	Lente en montura f = +100 mm	2	
460 26	Diafragma de iris	1	
460 22	Soporte con muelles	1	
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	6	5
451 111	Lámpara espectral Na	1	
451 062	Lámpara espectral Hg 100	1	
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1	
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1	
468 30	Filtro de luz, amarillo	1	
468 31	Filtro de luz, verde	1	
468 32	Filtro de luz, azul	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	
300 11	Zócalo	1	
460 04	Lente en montura f = +200 mm		2
460 373	Jinetillo 60/50		1
460 380	Prolongación		1
471 88	Divisor de haces		2
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1

Para producir los anillos de Newton se utiliza un montaje experimental en el cual una lente convexa levemente curvada toca una placa de vidrio plana, formándose una cuña de aire con una superficie curvada separadora. Al iluminarla perpendicularmente con luz paralela incidente se observan, tanto en la reflexión como en la transmisión, anillos de interferencia concéntricos (los anillos de Newton) alrededor del punto de contacto de ambas superficies de vidrio. La diferencia de recorrido entre ambos rayos parciales que interfieren depende predominantemente del espesor d de la cuña, el cual depende a su vez de la distancia r al punto de contacto entre superficies en una relación no lineal:

$$d = \frac{r^2}{2R}$$

R: radio de curvatura de la lente convexa

En el experimento P5.3.3.1 se estudia en transmisión los anillos de Newton utilizando luz monocromática. En el caso de que la longitud de onda λ, sea conocida es posible determinar el radio de curvatura R a partir de los radios r_n de los anillos de interferencia. La condición para la interferencia constructiva viene dada por:

$$d = n \cdot \frac{\lambda}{2} \quad \text{con} \quad n = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots$$

De aquí se obtiene para los radios de los anillos de interferencia claros:

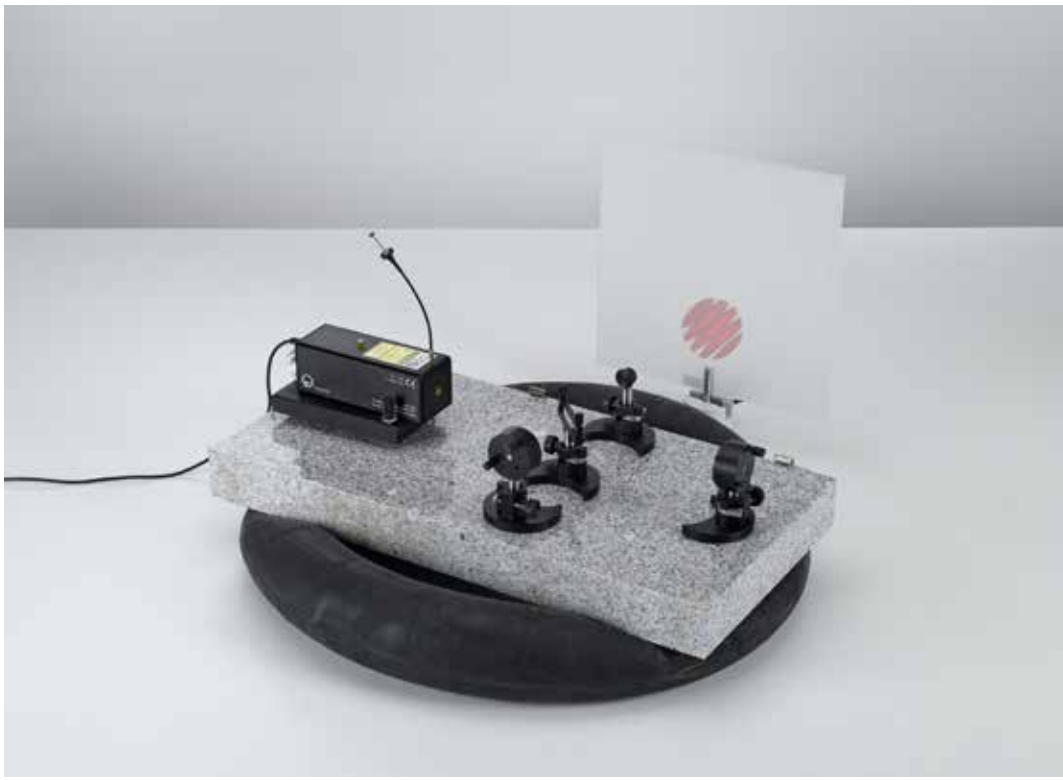
$$r_n^2 = n \cdot R \cdot \lambda \quad \text{con} \quad n = 0,\ 1,\ 2,\ \ldots$$

En el experimento P5.3.3.2 se hace un estudio de los anillos de Newton tanto en la reflexión como en transmisión. Como en cada reflexión en las superficies de vidrio los rayos parciales en la cuña de aire experimentan un salto de fase en $\lambda/2$, las condiciones de interferencia para la reflexión y transmisión son complementarias. Los radios r_n de los anillos claros calculados anteriormente en transmisión son exactamente los radios de los anillos oscuros en la reflexión. En particular, el centro de los anillos de Newton es claro en la transmisión, mientras que en la reflexión es oscuro. Como sólo se emplea luz blanca los anillos de interferencia están rodeados por bordes de colores.

INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

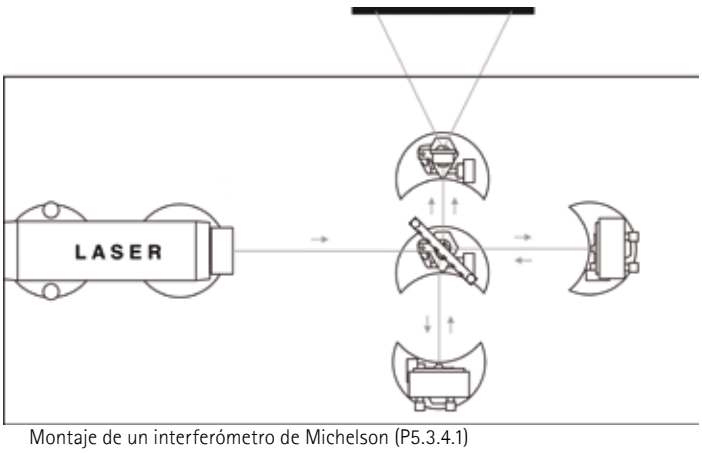
P5.3.4.1
Montaje de un interferómetro de Michelson sobre la placa base para óptica con láser

P5.3.4.2
Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Michelson



Montaje de un interferómetro de Michelson sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.4.1)

N° de cat.	Descripción	P5.3.4.1	P5.3.4.2
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
473 411	Portaláser	1	1
473 421	Pie óptico	4	5
473 432	Divisor de haz 50%	1	1
473 431	Soporte para divisor de haz	1	1
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2	2
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
300 11	Zócalo	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	1
473 48	Mecanismo de ajuste micrométrico		1



Montaje de un interferómetro de Michelson (P5.3.4.1)

Un interferómetro de Michelson trabaja de la siguiente manera: un rayo de luz coherente es descompuesto en dos rayos mediante un elemento óptico. Los rayos parciales recorren diferentes caminos, se reflejan en si mismos y son juntados nuevamente. Como ambos rayos tienen una relación de fase fija, la superposición de los mismos puede generar un patrón de difracción. Si se cambia la longitud del camino óptico de uno de los rayos, entonces la relación de fase cambia y también el patrón de interferencia. A partir de la variación del patrón de interferencia, y para un índice de refracción constante, se pueden determinar diferencias de los caminos geométricos. Si el camino geométrico permanece constante, entonces se pueden estudiar las variaciones del índice de refracción, causadas por ej. por fluctuaciones de presión, temperatura o densidad.

La coherencia temporal puede ser investigada mediante un interferómetro de tipo Michelson. La diferencia de tiempo máxima Δt en la que la interferencia se puede observar, se denomina el tiempo de coherencia. La longitud de coherencia se define como la distancia Δs_C que recorre la luz en el tiempo de coherencia. Las típicas longitudes de coherencia son algunas micras en fuentes de luz incandescentes, algunos milímetros en fuentes de luz espectrales y muchos metros en láseres. Además, el tiempo de coherencia Δt_C depende de la anchura espectral $\Delta\nu$ o $\Delta\lambda$ de la fuente de luz:

$$\Delta\nu = \frac{1}{\Delta t_C} \quad \text{o} \quad \Delta\lambda = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta t_C}$$

En el experimento P5.3.4.1 se monta el interferómetro de Michelson sobre la placa base para óptica láser, dotada con un aislamiento contra vibraciones. El montaje es extremadamente apropiado para detectar vibraciones mecánicas y remolinos de aire.

En el experimento P5.3.4.2 se determina la longitud de onda de un rayo láser de He-Ne a partir de la variación del patrón de interferencia al desplazar uno de los espejos del interferómetro y a partir del recorrido desplazado Δs del espejo. Durante ese desplazamiento las bandas de interferencia migran sobre la pantalla de observación. Para la evaluación se cuenta los máximos de intensidad, o los mínimos de intensidad, que pasan por un punto fijo sobre la pantalla, mientras que el espejo plano es desplazado. Para la longitud de onda λ se cumple la ecuación de primer grado:

$$\lambda = 2 \cdot \frac{\Delta s}{Z}$$

Z: número de los máximos o mínimos de intensidad contados

Determinación de la coherencia temporal y la anchura de líneas espectrales con un interferómetro de Michelson (P5.3.4.4)

INTERFERÓMETRO DE MICHELSON

P5.3.4.3
Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Michelson - Montaje sobre el banco óptico

P5.3.4.4
Determinación de la coherencia temporal y la anchura de líneas espectrales con un interferómetro de Michelson

P5.3.4.5
Estudio de la ampliación de líneas en función de la presión con un interferómetro de Michelson

P5.3.4.6
Determinación de la disociación líneal de dos líneas espectrales con un interferómetro de Michelson

N° de cat.	Descripción	P5.3.4.3	P5.3.4.4	P5.3.4.5	P5.3.4.6
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1			
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1	1	1
460 373	Jinetillo 60/50	1	1	1	1
460 374	Jinetillo 90/50	5	7	7	7
471 88	Divisor de haces	1	1	1	1
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2	2	2	2
460 380	Prolongación	1	1	1	1
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1			
473 48	Mecanismo de ajuste micrométrico	1	1	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1	1
300 11	Zócalo	1	1	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1			
451 062	Lámpara espectral Hg 100		1	1	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales		1	1	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja		1	1	1
460 26	Diafragma de iris		2	2	2
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso		1	1	
460 22	Soporte con muelles		1	1	1
451 15	Lámpara de mercurio de alta presión			1	
451 19	Portalámparas E27,enchufe múltiple			1	
468 30	Filtro de luz, amarillo				1

La coherencia temporal puede ser investigada mediante un interferómetro de tipo Michelson. La diferencia de tiempo máxima Δt en la que la interferencia se puede observar, se denomina el tiempo de coherencia. La longitud de coherencia se define como la distancia Δs_C que recorre la luz en el tiempo de coherencia. Las típicas longitudes de coherencia son algunas micras en fuentes de luz incandescentes, algunos milímetros en fuentes de luz espectrales y muchos metros en láseres. Además, el tiempo de coherencia Δt_C depende de la anchura espectral $\Delta\nu$ o $\Delta\lambda$ de la fuente de luz:

$$\Delta\nu = \frac{1}{\Delta t_C} \quad \text{o} \quad \Delta\lambda = \frac{1}{c} \cdot \frac{\lambda_0^2}{\Delta t_C}$$

En el experimento P5.3.4.3 el interferómetro de tipo Michelson se instala en el banco óptico. Se determina la longitud de onda de un laser de He-Ne a partir del cambio del diagrama de interferencia, al mover un espejo interferométrico y crear así un cambio de posición Δs del mismo espejo.

En el experimento P5.3.4.4 se determina la longitud de onda λ de una línea espectral verde de Hg proveniente de una lámpara espectral de mercurio. Para medir la longitud de coherencia, las posiciones del espejo plano movible son registradas cuando el diagrama de interferencia es apenas visto. A partir de la diferencia de longitud de trayectoria, se determinan la longitud de coherencia Δs_C, el tiempo de coherencia Δt_C y la anchura de línea $\Delta\nu$.

En el experimento P5.3.4.5, se determinan y comparan las longitudes de coherencia y las anchuras espectrales de la línea espectral verde, tanto de una lámpara espectral de Hg como de una lámpara de mercurio a alta presión. La alta presión en la lámpara de mercurio conduce a un ensanchamiento significativo de la línea espectral, que se manifiesta en una longitud de coherencia más corta.

En el experimento P5.3.4.6, la longitud de onda promedio λ y la separación de línea $\Delta\lambda$ del doblete de la línea amarilla son determinadas. Considerando dos longitudes de onda próximas λ_1 y λ_2, la superposición coherente de dos haces conduce al siguiente efecto: El contraste entre anillos brillantes y oscuros del diagrama de interferencia es grande para cierta diferencia de longitud de trayectoria, mientras que el diagrama de interferencia desaparece completamente para todas las demás diferencias de longitud de trayectoria.

OTROS TIPOS DE INTERFERÓMETROS

P5.3.5.1
Montaje de un interferómetro de Mach-Zehnder sobre la placa base para óptica con láser

P5.3.5.2
Medición del índice de refracción del aire con un interferómetro de Mach-Zehnder

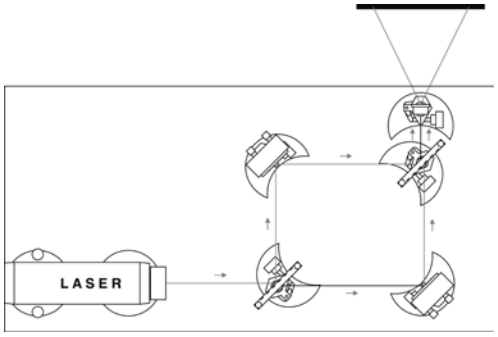
Medición del índice de refracción del aire con un interferómetro de Mach-Zehnder (P5.3.5.2)

N° de cat.	Descripción	P5.3.5.1	P5.3.5.2
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
473 411	Portaláser	1	1
473 421	Pie óptico	5	6
473 431	Soporte para divisor de haz	2	2
473 432	Divisor de haz 50%	2	2
473 461	Espejo plano de ajuste fino	2	2
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	1	1
441 53	Pantalla traslúcida	1	1
300 11	Zócalo	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	1
473 485	Camara de vacio		1
375 58	Bomba manual de vacío		1
667 186	Tubo de goma para vacío, 8 mm Ø		1
604 520	Empalme para manguera PP, 4 - 8 / 8 - 12		1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño		1
666 555	Pinza universal 0...80 mm		1

Un interferómetro de Mach-Zehnder trabaja del siguiente modo: un rayo de luz coherente se descompone en dos a través de un elemento óptico. Los rayos parciales son desviados por un espejo y luego son reunidos otra vez. Como ambos rayos parciales tienen una relación de fase fija, entonces por superposición se forma un patrón de interferencia. Si varía la longitud del camino óptico de uno de los rayos, entonces la relación de fase cambia y con ello también el patrón de interferencia. A partir de la variación del patrón de interferencia se pueden obtener conclusiones acerca de la variación de la longitud del camino óptico. Como los rayos parciales no se reflejan en si mismos, sino que recorren diferentes caminos, los experimentos son más claros y didácticos que con el interferómetro de Michelson, aunque es dificultoso de ajustar.

En el experimento P5.3.5.1 se monta el interferómetro de Mach-Zehnder sobre la placa base para óptica Láser con aislamiento contra vibraciones.

En el experimento P5.3.5.2 se determina el índice de refracción del aire. A tal fin, en el trayecto de uno de los rayos parciales del interferómetro de Mach-Zehnder se coloca una cámara evacuable. Al evacuar lentamente la cámara se varía la longitud del camino óptico del rayo parcial en cuestión.



Montaje de un interferómetro de Mach-Zehnder sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.5.1)

Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Fabry-Perot (P5.3.5.3)

OTROS TIPOS DE INTERFERÓMETROS

P5.3.5.3
Determinación de la longitud de onda de un láser de He-Ne con un interferómetro de Fabry-Perot

N° de cat.	Descripción	P5.3.5.3
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portaláser	1
473 421	Pie óptico	5
473 432	Divisor de haz 50%	2
473 431	Soporte para divisor de haz	2
473 461	Espejo plano de ajuste fino	1
473 48	Mecanismo de ajuste micrométrico	1
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	1
441 53	Pantalla traslúcida	1
300 11	Zócalo	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1

Además de los interferómetros de Michelson y Mach-Zender, se pueden utilizar más geometrías para dividir un haz de luz en dos partes y dejar que se superpongan después. Uno de uso práctico particular es el interferómetro de Fabry-Perot.

En el experimento P5.3.5.3, los espejos de la placa base del láser están dispuestos para configurar un interferómetro de Fabry-Perot con dos espejos paralelos en línea. El primer espejo semitransparente divide el haz de luz, mientras que el segundo espejo completamente reflectante refleja la luz de nuevo para superponerse con el primer haz reflejado. Mover el segundo espejo cambiará la longitud del resonador, lo que cambiará el patrón de interferencia y permitirá la medición de la longitud de onda del láser.

HOLOGRAFÍA DE REFLEXIÓN CON LUZ BLANCA

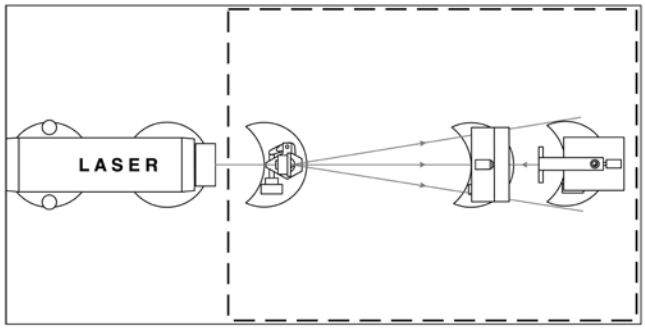
P5.3.6.1
Elaboración de hologramas de reflexión con luz blanca sobre la placa base para óptica con láser

Elaboración de hologramas de reflexión con luz blanca sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.6.1)

N° de cat.	Descripción	P5.3.6.1
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portaláser	1
473 421	Pie óptico	3
473 441	Soporte de película	1
473 451	Soporte de objeto	1
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1
663 615	Caja de distribución	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1
649 11	Juego de 6 cubetas 1x1 RE	1
661 234	Frasco de gollete ancho PE, 1000 ml	3
667 016	Tijera, 200 mm de largo	1
473 448	Pilícula para holografía, 3000 líneas/mm	1
473 446	Accesorios para el cuarto oscuro	1
473 444	Sustancias químicas para fotografía	1
671 8910	Nitrato de hierro(III)-9-hidrato, 250 g	1
672 4910	Bromuro potásico, 100 g	1

Al crear hologramas de reflexión de luz blanca, un rayo láser ampliado atraviesa una película e ilumina un objeto colocado detrás de la película. La luz se refleja desde la superficie del objeto hacia la película, donde se superpone con las ondas de luz del rayo láser original. La película consiste en una emulsión fotosensible de suficiente espesor. La interferencia crea ondas estacionarias dentro de la película, es decir, una serie de numerosos nodos y antinodos a una distancia de $\lambda/4$ de separación. La película está expuesta en los planos de los antinodos pero no en los nodos. Se forman capas semitransparentes de plata metálica en las áreas expuestas.

En el experimento P5.3.6.1 se registran hologramas de reflexión con luz blanca. Para que la vista del experimentador no sea expuesta innecesariamente al peligro se ha implementado un láser de Clase 2 de protección. Mediante diferentes tratamientos fotoquímicos de la película expuesta se pueden elaborar hologramas de amplitud y hologramas de fase.



Montaje del experimento para hologramas por reflexión de luz blanca (P5.3.6.1)

Elaboración de hologramas de transmisión sobre la placa base para óptica con láser (P5.3.7.1)

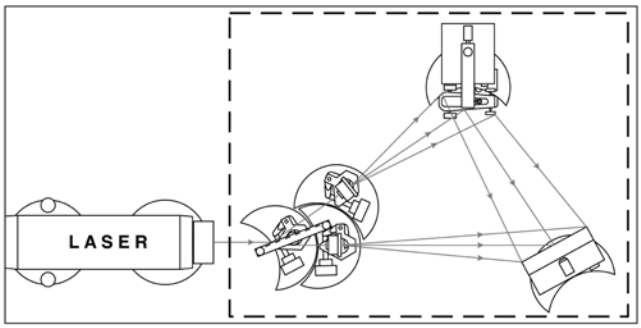
HOLOGRAMA DE TRANSMISIÓN

P5.3.7.1
Elaboración de hologramas de transmisión sobre la placa base para óptica con láser

N° de cat.	Descripción	P5.3.7.1
473 40	Placa de base para la óptica con láser	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
473 411	Portaláser	1
473 421	Pie óptico	5
473 432	Divisor de haz 50%	1
473 431	Soporte para divisor de haz	1
473 441	Soporte de película	1
473 451	Soporte de objeto	1
473 471	Lente esférica f= 2,7 mm	2
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1
663 615	Caja de distribución	1
313 27	Cronómetro manual, 60s/0,2s	1
649 11	Juego de 6 cubetas 1x1 RE	1
661 234	Frasco de gollete ancho PE, 1000 ml	3
667 016	Tijera, 200 mm de largo	1
473 448	Pilícula para holografía, 3000 líneas/mm	1
473 446	Accesorios para el cuarto oscuro	1
473 444	Sustancias químicas para fotografía	1
671 8910	Nitrato de hierro(III)-9-hidrato, 250 g	1
672 4910	Bromuro potásico, 100 g	1

Para elaborar hologramas de transmisión un rayo láser se divide en dos rayos, uno denominado rayo del objeto y el otro, rayo de referencia, que se ensanchan. El rayo del objeto ilumina un objeto reflejándose en él. Sobre una película la luz reflejada se sobrepone al rayo de referencia coherente. Sobre ella las ondas de luz de ambos rayos parciales interfieren. En la película queda fijado un patrón de interferencia irregular, que exteriormente no tiene ningún parecido con el objeto registrado. En la reconstrucción del holograma se hace difractar un rayo de luz en un holograma de amplitudes. Este rayo hace las veces de rayo de referencia siendo las ondas difractadas prácticamente idénticas con las ondas del objeto originalmente difractadas. En la reconstrucción del holograma de fases se utiliza el desplazamiento de fase de las ondas de referencia. El observador podrá observar en ambos casos una imagen tridimensional del objeto.

En el experimento P5.3.7.1 se elaboran hologramas de transmisión y posteriormente se realiza la reconstrucción. Para que la vista del experimentador no sea expuesta innecesariamente al peligro se ha implementado un láser de Clase 2 de protección. Mediante diferentes tratamientos fotoquímicos de la película expuesta se pueden elaborar hologramas de amplitud y hologramas de fase.



Montaje del experimento para producir hologramas de transmisión (P5.3.7.1)

EXPERIMENTOS BÁSICOS

P5.4.1.1
Polarización de la luz por reflexión en una placa de vidrio

P5.4.1.2
Ley de Fresnel de la reflexión

P5.4.1.3
Polarización de la luz por dispersión en una emulsión

P5.4.1.4
Ley de Malus

Ley de Fresnel de la reflexión (P5.4.1.2)

N° de cat.	Descripción	P5.4.1.1	P5.4.1.2	P5.4.1.3	P5.4.1.4
477 33	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 102,5 mm	1	1	1	
460 25	Mesa de prisma con soporte	1	1	1	
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1	1		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1	1		1
450 66	Deslizador de imágenes	1	1		1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1		1
460 26	Diafragma de iris	1	1	1	1
472 401	Filtro de polarizacion	2	2	2	2
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1		1
441 53	Pantalla traslúcida	1			
460 317	Banco óptico, S1 pérfil, 0,5 m	2	2		
460 3151	Manguito giratorio con escala	1	1		
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	1	1	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	4	6	5	5
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1		1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2	2		2
460 08	Lente en montura f = +150 mm		1		
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1		1
460 21	Soporte para elemento enchufable		1		1
531 183	Multimetro Digital 3340		1		1
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1		1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1		1
450 60	Carcasa de lámpara			1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2			1	
460 20	Condensador asférico con porta diafragma			1	
521 210	Transformador 6/12 V			1	
460 04	Lente en montura f = +200 mm			1	
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m			1	1

La polarización de la luz es una prueba importante de la naturaleza transversal de las ondas luminosas. La luz natural no está polarizada. Está compuesta de trenes de ondas independientes entre sí, desordenados, y en donde cada uno posee una determinada polarización. La selección de los trenes de ondas con una determinada polarización se denomina polarización de la luz.

En el experimento P5.4.1.1 se refleja luz no polarizada en una superficie de vidrio. En la observación con un analizador se comprueba que la luz reflejada cuando menos está polarizada parcialmente. La polarización es máxima cuando la reflexión tiene lugar bajo el ángulo de Brewster α_p. De la relación

$$\tan\alpha_p = n$$

se obtiene el índice de refracción n del vidrio.

Una observación más exacta nos conduce a las leyes de la reflexión, que establecen la relación entre las amplitudes reflejadas e incidentes para diferentes direcciones de polarización. Las leyes se verifican cuantitativamente en el experimento P5.4.1.2.

En el experimento P5.4.1.3 se muestra que la luz no polarizada, también se polariza por dispersión en una emulsión, por ejemplo en leche diluida, o se muestra que la luz polarizada no se dispersa homogéneamente en todas las direcciones.

El objetivo del experimento P5.4.1.4 es la ley de Malus: Si la luz polarizada incide sobre un analizador, entonces la intensidad de la luz transmitida sigue la relación:

$$I = I_0 \cdot \cos^2 \varphi$$

I_0: intensidad de la luz incidente

φ: ángulo entre la dirección de polarización y el analizador

Placa de cuarto de onda y de media onda (P5.4.2.2)

BIRREFRINGENCIA

P5.4.2.1
Birrefringencia y polarización en calcita

P5.4.2.2
Placa de cuarto de onda y de media onda

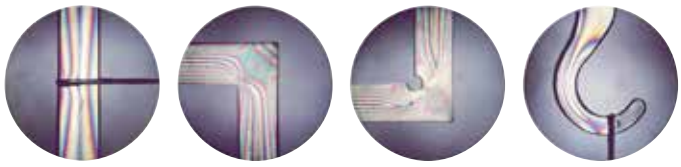
P5.4.2.3
Fotoelasticidad: Estudio de la distribución de esfuerzos en cuerpos bajo carga mecánica

N° de cat.	Descripción	P5.4.2.1	P5.4.2.2	P5.4.2.3
472 02	Cristal de espato calizo	1		
460 25	Mesa de prisma con soporte	1		1
460 26	Diafragma de iris	1		1
472 401	Filtro de polarizacion	1	2	2
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1		
460 06	Lente en montura f = -100 mm	1		
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	1
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	5	5	8
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1	1	1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1	1	1
450 66	Deslizador de imágenes	1	1	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1	1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2	2	2
472 601	Placa de cuarto de onda, 140 nm		2	2
472 59	Placa de mitad de onda		1	
468 30	Filtro de luz, amarillo		1	
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1	
460 21	Soporte para elemento enchufable		1	
531 183	Multimetro Digital 3340		1	
500 621	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, rojo		1	
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		1	
471 95	Juego de modelos fotoelásticos			1
460 08	Lente en montura f = +150 mm			2
300 11	Zócalo			1

En el experimento P5.4.2.1 se estudia la birrefringencia de la calcita. Se observa que los rayos parciales que surgen en el cristal están linealmente polarizados, en donde las dos direcciones de polarización son perpendiculares entre sí.

En el experimento P5.4.2.2 se estudia las propiedades de las placas of $\lambda/4$ y $\lambda/2$, las cuales se explican mediante su birrefringencia. Se muestra que la denominación de las placas está relacionada con la diferencia de recorrido entre los rayos parciales ordinarios y extraordinarios al pasar a través de las placas.

En el experimento P5.4.2.3 se determina el tamaño y dirección de las tensiones mecánicas de modelos de plástico transparentes. El material plástico se vuelve ópticamente birrefringente bajo la acción de esfuerzos mecánicos. De aquí que sea posible visualizar las tensiones en el modelo con métodos ópticos de polarización. Los modelos de plástico son iluminados, por ejemplo, en un montaje compuesto de un polarizador y un analizador. Por la doble refracción en el plástico bajo esfuerzo, la luz se polariza elípticamente. Por esta razón los lugares bajo esfuerzo son notorios y pueden ser vistos como zonas más claras en el campo visual. En otro montaje, los modelos de plástico son iluminados con luz circularmente polarizada y observados con un sistema combinado compuesto de una placa de cuarto de onda y un analizador. Aquí también los lugares bajo esfuerzo pueden ser reconocidos por la claridad del campo visual.



Fotoelasticidad: Investigando la distribucion del elongamiento en cuerpos sujetos a tension mecanica (P5.4.2.3)

ACTIVIDAD ÓPTICA, POLARIMETRÍA

P5.4.3.1
Rotación del plano de polarización mediante cuarzo

P5.4.3.2
Rotación del plano de polarización mediante soluciones de azúcar

P5.4.3.3
Montaje de un polarímetro de penumbra con elementos discretos

P5.4.3.4
Determinación de la concentración en soluciones de azúcar con un polarímetro común

Rotación del plano de polarización mediante soluciones de azúcar (P5.4.3.2)

N° de cat.	Descripción	P5.4.3.1	P5.4.3.2	P5.4.3.3	P5.4.3.4
472 621	Cuarzo, paralelo	1			
472 641	Cuarzo, diestro	1			
472 651	Cuarzo, zurdo	1			
460 22	Soporte con muelles	1		1	
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1	1	1	
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1	1	1	
450 66	Deslizador de imágenes	1	1	1	
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1	1	1	
468 30	Filtro de luz, amarillo	1		1	
472 401	Filtro de polarizacion	2	2	2	
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1	1	1	
441 53	Pantalla traslúcida	1	1	1	
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	2	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35	4	4	5	
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1	1	1	
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2	2	2	
477 33	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 102,5 mm		1		
460 25	Mesa de prisma con soporte		1	1	
468 03	Filtro monocromático, rojo		1		
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso		1		
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta		1		
666 963	Cuchara con espatula		1	1	1
674 6050	D(+)-sacarosa, 100 g		1	1	1
688 107	Láminas polarizadoras de 38 mm Ø, juego de 2			1	
688 109	Juego de 100 portaobjetos cubreobjetos 5 x 5 cm			1	
477 31	Cubeta de vidrio óptico 40 x 20 x 104 mm			1	
657 591	Polarimetro				1
664 111	Vaso, 100 ml, forma alta				1
OHC R221	Balanza compacta CR221, 220 g : 0,1 g				1

Como actividad óptica se denomina la capacidad de algunas sustancias de girar el plano de polarización de luz linealmente polarizada al pasar por la sustancia. En los denominados polarímetros se mide el ángulo de giro.

En el experimento P5.4.3.1 se estudia la actividad óptica de cristales en especial del cuarzo. Según la dirección de corte referida al eje óptico, el cuarzo es dextrógiro o levógiro. El ángulo de giro depende fuertemente de la longitud de onda de la luz, por esta razón se utiliza un filtro de color amarillo.

En el experimento P5.4.3.2 se estudia la actividad óptica de una solución de azúcar. Los ángulos de giro d; de soluciones ópticamente activas son proporcionales a la concentración c de la solución en una distancia de cubeta dada.

$$\alpha = [\alpha] \cdot c \cdot d$$

$[\alpha]$: capacidad de giro de la solución ópticamente activa

En el experimento P5.4.3.3 se monta un polarímetro de penumbra con elementos discretos. Componentes esenciales del montaje son polarizador y analizador; entre ellos se coloca la sustancia ópticamente activa. La mitad del campo visual está cubierta con una lámina de polarización adicional, cuya dirección de polarización está girada levemente respecto a la otra mitad. De esta forma se facilita la medición del ángulo de giro.

En el experimento P5.4.3.4 se miden las concentraciones de soluciones de azúcar mediante un polarímetro de uso corriente y se compara con los valores obtenidos mediante pesadas.

Determinación de la concentración en soluciones de azúcar con un polarímetro común (P5.4.3.4)

Estudio del efecto Kerr en nitrobenzol (P5.4.4.1)

EFECTO KERR

P5.4.4.1
Estudio del efecto Kerr en nitrobenzol

N° de cat.	Descripción	P5.4.4.1
473 31	Célula de Kerr	1
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1
450 66	Deslizador de imágenes	1
468 03	Filtro monocromático, rojo	1
468 05	Filtro monocromático, amarillo	1
468 07	Filtro monocromático, amarillo verdoso	1
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1
472 401	Filtro de polarizacion	2
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1
460 25	Mesa de prisma con soporte	1
441 53	Pantalla traslúcida	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 373	Jinetillo 60/50	6
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1
501 051	Cable para altas tensiones, 1,5 m	2
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2

J. Kerr descubrió en 1875 que los campos eléctricos en sustancias isotrópicas producen birrefringencia. La birrefringencia aumenta con el cuadrado del campo eléctrico. Por razones de simetría, el eje óptico de la birrefringencia se encuentra en la dirección del campo. El índice de refracción normal de la sustancia cambia a n_e en la dirección de oscilación paralela al campo aplicado y a n_o en la dirección de oscilación perpendicular al campo. Experimentalmente se comprueba que

$$n_e - n_o = K \cdot \lambda \cdot E^2$$

K: constante de Kerr

λ: longitud de onda de la luz utilizada

E: campo eléctrico

En el experimento P5.4.4.1 se verifica el efecto Kerr en nitrobenzol, ya que en este caso la constante de Kerr es particularmente grande. El líquido se llena en un pequeño recipiente de vidrio, en el que se ha construido un condensador de placas apropiado. El montaje se encuentra entre dos filtros de polarización cruzados perpendiculares entre sí, y es iluminado con un haz de luz linealmente polarizado. El campo visual está oscuro si no se aplica el campo eléctrico. Cuando se aplica el campo eléctrico el campo visual se esclarece, debido a que el haz de luz al pasar por el líquido birrefringente se polariza elípticamente.

EFECTO POCKELS

P5.4.5.1
Demostración del efecto Pockels en un trayecto conoscópico de un rayo

P5.4.5.2
Efecto Pockels: Transmisión de información

Demostración del efecto Pockels en un trayecto conoscópico de un rayo (P5.4.5.1)

N° de cat.	Descripción	P5.4.5.1	P5.4.5.2
472 90	Célula de Pockels	1	1
521 70	Fuente de alimentación de alta tensión,	1	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	1
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1	
472 401	Filtro de polarizacion	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 370	Jinetillo 60/34	5	4
441 53	Pantalla traslúcida	1	
300 11	Zócalo	1	1
500 604	Cables de seguridad para experimentación, 10 cm, negros	1	
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	3
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	3
522 621	Generador de funciones S 12		1
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1
460 21	Soporte para elemento enchufable		1
532 20	Amplificador de c.c./c.a. 30 W		1
587 08	Altavoz de banda ancha		1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6		1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul		2

La aparición de birrefringengencia o el cambio de la birrefringencia ya existente en un campo eléctrico lineal con la intensidad de campo eléctrico se denomina efecto Pockel. Este es un fenómeno cercano al efecto Kerr. A causa de su dependencia lineal respecto a la intensidad de campo eléctrico y por razones de simetría, el efecto Pockel solo puede presentarse en cristales sin centro de inversión.

En el experimento P5.4.5.1 se verifica el efecto Pockel en un cristal de LiNb situado en el trayecto conoscópico de los rayos. El cristal es iluminado con un haz de luz linealmente polarizada, divergente y la luz transmitida se observa detrás de un analizador cruzado. El eje óptico del cristal birrefractante, todavía sin campo eléctrico, se encuentra en paralelo a la superficie de entrada y de salida. Por esta razón el patrón de interferencia que se forma está compuesto de dos familias de hipéresferas, girada en 90° entre sí.

En el experimento P5.4.5.2 se demuestra la aplicación del efecto Pockel para la transmisión de señales con frecuencia de audio. A la tensión continua aplicada en el cristal de la celda de Pockel se le sobrepone la señal de salida de un generador de funciones, cuya amplitud es de unos voltios. La intensidad de la luz transmitida a través de la celda de Pockel se mide con una celda solar. La intensidad de la luz está modulada con la frecuencia sobrepuesta. La señal recibida se hace pasar por un amplificador y de allí a un altavoz para que pueda ser escuchada.

Efecto Faraday: Determinación de la constante de Verdet para vidrio Flint en función de la longitud de onda (P5.4.6.1)

EFECTO FARADAY

P5.4.6.1
Efecto Faraday: Determinación de la constante de Verdet para vidrio Flint en función de la longitud de onda

N° de cat.	Descripción	P5.4.6.1
560 482	Cubo de vidrio flint con soporte	1
460 381	Jinetillo con rosca	1
562 11	Núcleo en forma de U con yugo	1
560 31	Par de zapatos polares perforados	1
562 13	Bobina de 250 espiras	2
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1
450 66	Deslizador de imágenes	1
468 05	Filtro monocromático, amarillo	1
468 09	Filtro monocromático, azul verde	1
468 11	Filtro monocromático, azul con violeta	1
468 13	Filtro monocromático, violeta	1
460 02	Lente en montura f = +50 mm	1
472 401	Filtro de polarizacion	2
441 53	Pantalla traslúcida	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1
460 373	Jinetillo 60/50	5
521 551	Fuente de alimentación de corriente alterna / corriente continua 0 ... 24 V / 0 ... 10 A	1
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1
524 0381	Sonda B multiuso S	1
501 11	Cable de extensión, 15 polos	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1
500 98	Casquillos adaptador de protección, negro, juego de 6	1
500 622	Cable de seguridad para experimentación 50 cm, azul	1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1

Las sustancias transparentes isotrópicas son ópticamente activas en un campo magnético; es decir, el plano de polarización de la luz polarizada gira al pasar por la sustancia. Con este efecto se encontró *M. Faraday* en 1845 al buscar un enlace entre fenómenos magnéticos y ópticos. El ángulo de giro del plano de polarización es proporcional a la longitud *s* irradiada y al campo magnético B.

$$\Delta\varphi = V \cdot B \cdot s$$

La constante de proporcionalidad *V* se le denomina constante de Verdet. Esta depende de la longitud de onda λ de la luz y de la dispersión.

$$V = \frac{e}{2mc^2} \cdot \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Para el vidrio de Flint, la siguiente ecuación se cumple con cierta aproximación:

$$\frac{dn}{d\lambda} = \frac{1{,}8 \cdot 10^{-14}\,\mathrm{m}^2}{\lambda^3}$$

En el experimento P5.4.6.1 se calibra un campo magnético con un sonda campo magnético en función de la intensidad de corriente que pasa por los electroimanes y luego se estudia el efecto Faraday en un vidrio Flint. Para mejorar la precisión en la medición se mide cada vez el doble del ángulo de giro al cambiar la polaridad del campo magnético. Con esta experiencia se confirma la proporcionalidad entre ángulo de giro y el campo magnético, y la reducción de la constante de Verdet con la longitud de onda λ.

MAGNITUDES LUMINOTÉCNICAS Y MÉTODOS DE MEDICIÓN

P5.5.1.1
Determinación de la intensidad de radiación y la intensidad lumínica de una lámpara halógena

P5.5.1.2
Determinación de la intensidad lumínica en función de la distancia a la fuente luminosa - Medición con Mobile-CASSY

P5.5.1.3
Verificación de la ley de radiación de Lambert

Determinación de la intensidad lumínica en función de la distancia a la fuente luminosa - Medición con Mobile-CASSY (P5.5.1.2)

N° de cat.	Descripción	P5.5.1.1	P5.5.1.2	P5.5.1.3
450 641	Lámpara de halógeno, 12 V, 50/100W	1		1
450 63	Bombilla para lámpara de halógeno, 12 V/	1		1
450 66	Deslizador de imágenes	1		
468 03	Filtro monocromático, rojo	1		
726 890	Fuente de alimentación de gran amperaje de CC 1...32 V/0...20 A	1		1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1	1	1
524 0401	Sensor de µV S	1		1
524 444	Sensor Lux M	1	1	
460 03	Lente en montura f = +100 mm	1		1
460 22	Soporte con muelles	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1	1	1
460 3112	Abrazadera tipo jinete de 75/65	1		1
500 624	Cables de seguridad para experimentación 50 cm, negros	2		2
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1		1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1		1
450 60	Carcasa de lámpara		1	
450 511	Bombillas, 6 V/30 W, E14, juego de 2		1	
521 210	Transformador 6/12 V		1	
460 312	Jinetillo óptico con mordaza 45/35		1	2
450 681	Lámpara de halógeno 12 V/50 W, G6,35			1
460 26	Diafragma de iris			1
460 317	Banco óptico, S1 pérfil, 0,5 m			2
460 3151	Manguito giratorio con escala			1

Existen dos grupos de parámetros físicos para caracterizar la luminosidad de fuentes de luz: parámetros físicos de irradiación que describen mediante instrumentos de medición la irradiación de energía, y los parámetros lumínicos que describen la luminosidad percibida subjetivamente y que consideran la sensibilidad espectral del ojo humano.

Al primer grupo pertenece la intensidad de irradiación E_e, que indica la potencia irradiada Φ_e por unidad de superficie. Su unidad es el vatio por metro cuadrado. La unidad luminotécnica correspondiente es la intensidad luminosa E, es decir, el flujo de luz entregado por unidad de superficie &Phi. Su unidad es el Lumen por metro cuadrado, abreviado, Lux.

En el experimento P5.5.1.1 se mide la intensidad de irradiación con la termopila de Moll y la intensidad luminosa con el medidor de luz. El fotoelemento del medidor de luz ha sido adaptado a la sensibilidad espectral $V(\lambda)$ del ojo humano. Como fuente luminosa sirve una lámpara halógena. Del espectro de esta última se absorbe la mayor parte de la luz visible con un filtro de color y la componente infrarroja de la irradiación con un filtro térmico.

En el experimento P5.5.1.2 se verifica que la intensidad luminosa depende del cuadrado de la distancia entre la fuente puntual de luz y la superficie iluminada.

El objetivo del experimento P5.5.1.3 es la distribución angular de la radiación reflejada por una superficie reflectora difusa, por ejemplo un papel mate blanco. El observador parece ver que la superficie tiene la misma claridad en todas las direcciones; sin embargo, la superficie aparente varía con el coseno del ángulo de observación. La dependencia de la intensidad de irradiación se describe mediante la ley de radiación de Lambert:

$$E_e(\phi) = E_e(0) \cdot \cos\phi$$

Confirmación de la ley de Stefan-Boltzmann midiendo la intensidad de la radiación de un „cuerpo negro" en función de su temperatura (P5.5.2.1)

LEY DE LA RADIACIÓN

P5.5.2.1
Confirmación de la ley de Stefan-Boltzmann midiendo la intensidad de la radiación de un „cuerpo negro" en función de su temperatura

P5.5.2.2
Confirmación de la ley de Stefan-Boltzmann midiendo la intensidad de la radiación de un „cuerpo negro" en función de su temperatura - Registro y evaluación con CASSY

P5.5.2.3
Verificación de la ley de la radiación con el cubo de radiación de Leslie

N° de cat.	Descripción	P5.5.2.1	P5.5.2.2	P5.5.2.3
555 81	Horno eléctrico tubular, 230 V	1	1	
389 43	Accesorio para cuerpo negro	1	1	
502 061	Caja de conexión de seguridad	1	1	
555 84	Soporte para el horno eléctrico tubular	1	1	1
524 005W2	Mobile-CASSY 2 wifi	1		1
529 676	Sensor de temperatura de NiCr-Ni 1,5 mm	1	1	1
524 0401	Sensor de µV S	1	1	1
460 310	Banco óptico, perfil S1, 1 m	1	1	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	2	2	
460 3113	Abrazadera tipo jinete de 105/65	2	2	2
460 380	Prolongación	1	1	
666 555	Pinza universal 0...80 mm	1	1	
500 641	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, rojo	1	1	1
500 642	Cable de seguridad para experimentación, 100 cm, azul	1	1	1
388 181	Bomba de inmersion	1*	1*	
521 231	Fuente de alimentación de tensión extrabaja 3/6/9/12 V	1*	1*	
667 194	Tubo de silicona 7 mm Ø, 1 m	1*	1*	
604 3131	Cisterna de gollete ancho 10 l	1*	1*	
524 013	Sensor-CASSY 2		1	
524 220	CASSY Lab 2		1	
524 0673	Adaptador NiCr-Ni S, Tipo K		1	
389 261	Cubo de Leslie con agitador			1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD			1
303 25	Calefactor de inmersión			1
664 117	Vaso, 1000 ml, forma alta			1
665 009	Embudo PP 75 mm Ø			1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1	

* se requiere adicionalmente

La potencia irradiada total M_B de un cuerpo negro aumenta proporcionalmente con la cuarta potencia de su temperatura absoluta T (Ley de Stefan-Boltzmann):

$$M_B = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{W\ m^{-2}\ K^{-4}}$: constante de Stefan-Boltzmann

Para todos los otros cuerpos la potencia irradiada M es menor que la del cuerpo negro. Esta depende de las propiedades de la superficie del cuerpo. La siguiente relación se denomina grado de emisión del cuerpo

$$\varepsilon = \frac{M}{M_B}$$

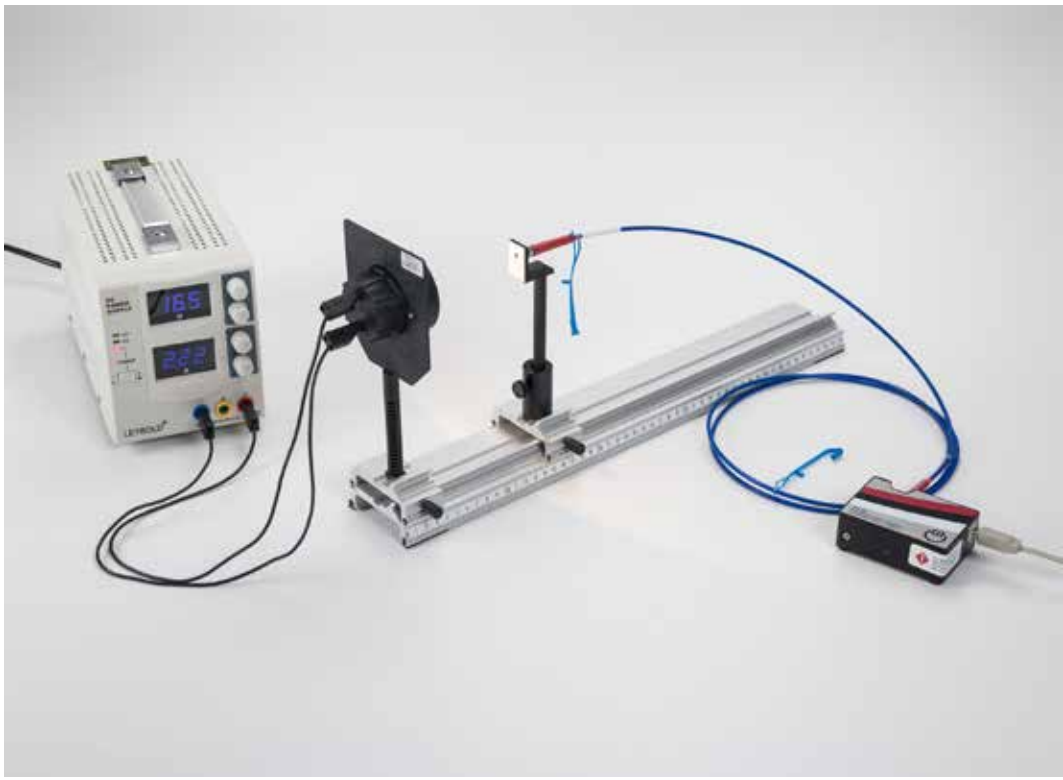
M: potencia irradiada del cuerpo

En los experimentos P5.5.2.1 y P5.5.2.2 se utiliza un horno tubular concilindro de latón pavonado como «cuerpo negro». El cilindro de latón es calentado a la temperatura deseada entre 300 y 750 K. Para medir la temperatura se utiliza un termoelemento. Delante del horno se coloca un diafragma que es refrigerado con agua cuando es necesario, y de tal forma que sólo se mide la irradiación térmica del cilindro de latón pavonado. La medición se lleva a cabo con una pila termoeléctrica de Moll, cuya tensión de salida es una medida de la potencia irradiada M. La termopila puede ser conectada a Mobile-CASSY o a la interfaz CASSY a través al sensor de µV S /de la unidad. En el primer caso la medición se realiza puntualmente de forma manual y en el segundo caso la medición y evaluación se realiza con asistencia del ordenador. El objetivo de la evaluación es la verificación de la ley de Stefan-Boltzmann.

En el experimento P5.5.2.3 se utiliza el cubo de irradiación de Lesli. Este cubo tiene cuatro superficies laterales diferentes (mate metálico, brillante metálico, laqueado blanco y negro laqueado) y puede ser llenado con agua caliente desde dentro hasta temperaturas de 100 °C. Aquí se mide la irradiación térmica emanada por las superficies del cubo en función de la temperatura en descenso. El objetivo de la evaluación es la comparación del grado de emisión de las superficies del cubo.

LEY DE LA RADIACIÓN

P5.5.2.4
La ley de desplazamiento de Wien - registro espectral de radiación integral de cuerpo negro



La ley de desplazamiento de Wien - registro espectral de radiación integral de cuerpo negro (P5.5.2.4)

N° de cat.	Descripción	P5.5.2.4
467 251	Espectrómetro compacto USB, Física	1
460 251	Portafibraóptica	1
459 032	Lámpara de halogeno 12 V/20 W	1
521 546	Fuente de alimentación de CC 0...16 V/0...5 A	1
460 317	Banco óptico, S1 pérfil, 0,5 m	1
460 311	Jinetillo óptico con mordaza 45/65	1
460 313	Jinetillo óptico con columna de presión	1
501 451	Par de cables 50 cm, negro	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1

La potencia irradiada total M_B de un cuerpo negro aumenta proporcionalmente con la cuarta potencia de su temperatura absoluta T (Ley de Stefan-Boltzmann):

$$M_B = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8}\ \mathrm{W\ m^{-2}\ K^{-4}}$: constante de Stefan-Boltzmann

Para todos los otros cuerpos la potencia irradiada M es menor que la del cuerpo negro. Esta depende de las propiedades de la superficie del cuerpo. La siguiente relación se denomina grado de emisión del cuerpo

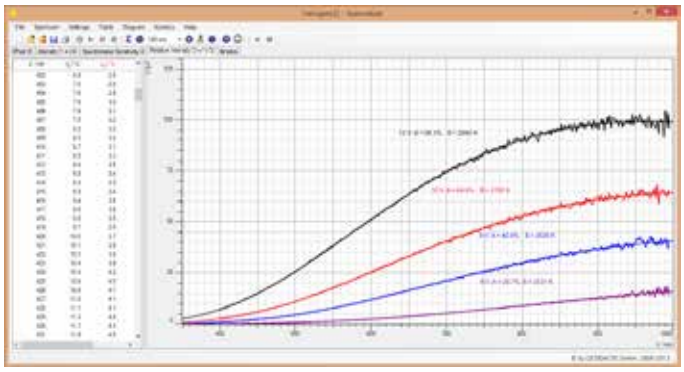
$$\varepsilon = \frac{M}{M_B}$$

M: potencia irradiada del cuerpo

En el experimento P5.5.2.4, una lámpara incandescente, calentada por un flujo de corriente a través de un conductor eléctrico, resplandece. El espectro emitido es continuo y se puede describir mediante la formula de radiación de Planck. El valor máximo de la radiación se desplaza hacia longitudes de onda mas cortas con el incremento de la temperatura T siguiendo la ley del desplazamiento de Wien $\lambda_{max} = 2.9 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{m{\cdot}K\ /\ T}$

Al mismo tiempo, el valor máximo de la radiación se incrementa. A temperaturas alcanzadas por lámparas incandescentes normales, es decir entre 2300 y 2900 K, la intensidad máxima de la radiación se ubica en el rango espectral infrarrojo. Lámparas halógenas operan a una temperatura ligeramente más alta, alrededor de 3000 K.

Este experimento mide el espectro luminoso de una lámpara en función a diferentes niveles de potencia. La especificación de la temperatura de color a 12 V de voltaje nominal, permite la obtención de la sensibilidad del espectrómetro en función a la longitud de onda. De esta manera, permite también una visualización correcta del transcurso de la intensidad espectral. A continuación, una tensión es aplicada a la lámpara halógena y luego reducida en escalas. La temperatura de color de la lámpara en función a la tensión es determinada mediante una función de ajuste adecuada.



Emisión espectral de una bombilla de luz a diferentes temperaturas (P5.5.2.4)

MEDICIÓN SEGÚN FOUCAULT Y MICHELSON

P5.6.1.1
Determinación de la velocidad de la luz con el método del espejo giratorio de Foucault y Michelson - Medición del desplazamiento de la imagen en función de la velocidad de rotación del espejo

Determinación de la velocidad de la luz con el método del espejo giratorio de Foucault y Michelson - Medición del desplazamiento de la imagen en función de la velocidad de rotación del espejo (P5.6.1.1)

N° de cat.	Descripción	P5.6.1.1
476 40	Espejo giratorio con motor de 230 V	1
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1
463 20	Espejo óptico	1
460 12	Lente en montura f = +5 m	1
471 88	Divisor de haces	1
460 22	Soporte con muelles	1
311 091	Regla de vidrio graduada 50 mm	1
521 40	Transformador variable de 0 a 250 V	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1
559 921	Detector de semiconductor	1
501 02	Cable BNC, 1 m	1
501 10	Unión recta, BNC	1
300 41	Varilla de soporte, 25 cm, 12 mm Ø	1
300 42	Varilla de soporte, 47 cm, 12 mm Ø	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	4
300 11	Zócalo	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	2
301 09	Mordaza doble S	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1

La medición de la velocidad de la luz según el método del espejo giratorio se basa en el método propuesto por *L. Foucault* en1850 que *A. A. Michelson* optimizó en 1878: En la modificación propuesta aquí se utiliza un láser como fuente de luz. El rayo láser es desviado hacia un espejo final, situado al lado del láser, mediante un espejo giratorio. El espejo final refleja la luz de tal manera que retorna por el mismo camino cuando el espejo giratorio está en reposo. Una parte de la luz que retorna es reflejada hacia una escala mediante un divisor de rayos. Una lente proyecta la imagen de la fuente de luz sobre el espejo final y la imagen de la fuente de luz sobre la escala. El rayo principal entre lente y espejo final corre en paralelo al eje de la lente, ya que el espejo giratorio se encuentra en el foco de la lente.

Tan pronto como el espejo giratorio gira con una alta frecuencia ν, se observa un desplazamiento Δx de la imagen sobre la escala en el tiempo

$$\Delta t = \frac{2a}{c}$$

que requiere la luz para ir y venir desde el espejo giratorio al espejo final, el espejo gira el ángulo

$$\Delta\alpha = 2\pi v \cdot \Delta t$$

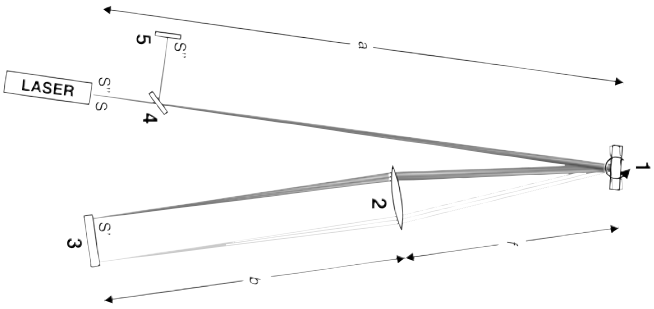
El desplazamiento de la imagen es entonces

$$\Delta x = 2\Delta\alpha \cdot a$$

La velocidad de la luz se obtiene de:

$$c = 8\pi \cdot a^2 \cdot \frac{v}{\Delta x}$$

Para determinar la velocidad de la luz, en el experimento P5.6.1.1 se mide el desplazamiento de la imagen en función del número de revoluciones del espejo.



MEDICIÓN CON PULSOS CORTOS DE LUZ

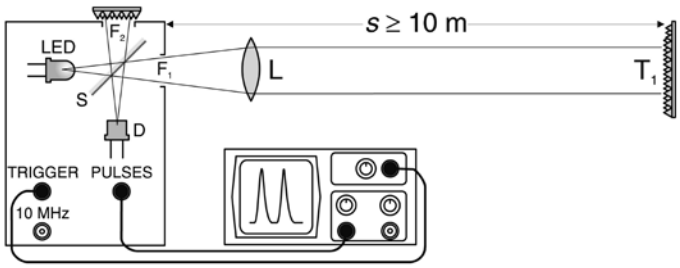
P5.6.2.1
Determinación de la velocidad de la luz en el aire a partir del espacio y el tiempo recorridos por un pulso corto de luz

Determinación de la velocidad de la luz en el aire a partir del espacio y el tiempo recorridos por un pulso corto de luz (P5.6.2.1)

N° de cat.	Descripción	P5.6.2.1
476 50	Unidad para medicion velocidad de la luz (VLM)	1
460 10	Lente en montura f = +200 mm	1
460 335	Banco óptico con perfil normal, 0,5 m	1
460 374	Jinetillo 90/50	2
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1
501 02	Cable BNC, 1 m	3
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1
300 01	Base de trípode en forma de V, grande	1
300 44	Varilla de soporte, 100 cm, 12 mm Ø	1
301 01	Mordaza múltiple LEYBOLD	1

El instrumento de medición de la velocidad de la luz envía pulsos de luz de unos 20 ns de duración, los cuales se convierten en pulsos de tensión después de recorrer de ida y de vuelta una distancia de medición conocida para su observación en un osciloscopio.

En el experimento P5.6.2.1 se varía una sola vez el camino recorrido por los pulsos de luz y con el osciloscopio se mide la variación del tiempo de recorrido. La velocidad de la luz se calcula como el cociente entre la variación del recorrido y la variación del tiempo de recorrido. Como alternativa se determina el tiempo total de recorrido de los pulsos de luz utilizando un pulso de referencia absoluto. La velocidad de la luz es en este caso el cociente de la distancia recorrida y el tiempo de recorrido. Para calibrar la medición del tiempo se puede representar en el osciloscopio, de manera simultánea con el pulso de medición, una señal de un oscilador controlado con cuarzo. La medición del tiempo es independiente de la base de tiempo del osciloscopio.



Esquema del principio de medición de la velocidad de la luz con pulsos cortos de luz (P5.6.2.1)

Determinación de la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación (P5.6.3.2)

MEDICIÓN CON UNA SEÑAL LUMINOSA PERIÓDICA

P5.6.3.1
Determinación de la velocidad de la luz con una señal luminosa periódica en una distancia de medición corta

P5.6.3.2
Determinación de la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación

N° de cat.	Descripción	P5.6.3.1	P5.6.3.2
476 301	Emisor y receptor de luz	1	1
575 302	Osciloscopio de 30 MHz, digital, PT1265	1	1
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1	1
300 11	Zócalo	2	4
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	1
476 35	Tubo con 2 ventanas terminales		1
476 34	Cuerpo de vidrio acrílico		1*
477 32	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 52,5 mm		1*
460 25	Mesa de prisma con soporte		1*
671 9720	Etanol - solvente, 1 l		1*
672 1210	Glicerina, 99%, 250 ml		1*

* se requiere adicionalmente

Medición de la velocidad de la luz en el vidrio acrílico (P5.6.3.2)

En la determinación de la velocidad de la luz con una señal modulada electrónicamente el emisor de luz es un diodo luminoso, cuya intensidad está pulsada con 60 MHz. El receptor es un fotodiodo que convierte la señal de luz en una tensión alterna de 60 MHz. Mediante un cable de conexión se transmite al receptor una señal de referencia sin cronizada a la señal del emisor, que al inicio de una medición es sobrepuesta a la señal receptora. Por último el receptor es desplazado a una distancia Δs, de tal manera que la señal receptora experimenta un desplazamiento de fase en el tiempo de recorrido adicional Δt de la señal de luz.

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot f_1 \cdot \Delta t \quad \text{con } f_1 = 60 \text{ MHz}$$

Alternativamente también se puede colocar un medio óptico denso en el trayecto de los rayos. Aparentemente, el tiempo a medir puede ser aumentado con una treta electrónico: la señal receptora y la señal de referencia son mezcladas cada una con una señal de 59.9 MHz (multiplicada) y recorren un filtro de frecuencia que sólo deja pasar la componente de más baja frecuencia, la frecuencia de la diferencia $f_1 - f_2 = 0.1$ MHz. El desplazamiento de fase en la mezcla permanece sin cambiar; sin embargo, este desplazamiento corresponde a un tiempo de medición mayor $\Delta t'$ en el factor

$$\frac{f_1}{f_1 - f_2} = 600$$

Los medidores de distancia (distanciómetros) modernos utilizan en sus mediciones un haz de luz láser modulado periódicamente. Estos determinan la fase entre el rayo láser emitido y el rayo reflejado modulado y obtienen, con la frecuencia de modulación conocida, el tiempo transcurrido t de la luz para el camino recorrido hasta el reflector y de retorno. Los distanciómetros calculan después la distancia tomando la velocidad de la luz como parámetro conocido.

En el experimento P5.6.3.1 se mide el aparemte tiempo de recorrido $\Delta t'$ en función de la distancia de medición Δs y se calcula la velocidad de la luz en el aire según

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t'} \cdot \frac{f_1}{f_1 - f_2}$$

En el experimento P5.6.3.2 se determina la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación. Como accesorio se dispone de un tubo para llenar con agua, de 1 m de largo con dos ventanas en los extremos, una caja de vidrio de 5 cm de ancho para otros líquidos y un cuerpo de vidrio acrílico de 5 cm de ancho.

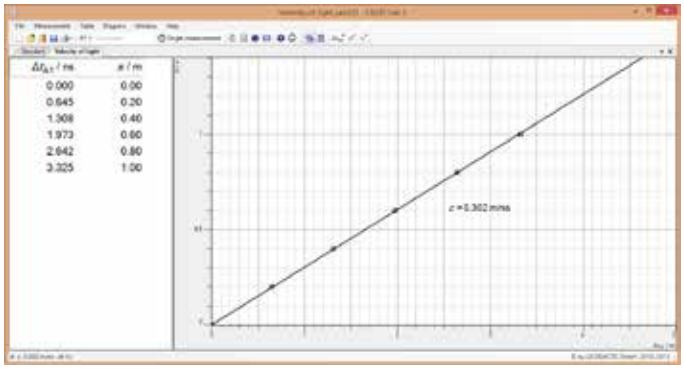
MEDICIÓN CON UNA SEÑAL LUMINOSA PERIÓDICA

P5.6.3.3
Determinación de la velocidad de la luz con una señal luminosa periódica en una distancia de medición corta - Medición con sensor de movimiento con láser S y CASSY

P5.6.3.4
Determinación de la velocidad de la luz en diferentes medios de propagación - Medición con sensor de movimiento con láser S y CASSY

Determinación de la velocidad de la luz con una señal luminosa periódica en una distancia de medición corta - Medición con sensor de movimiento con láser S y CASSY (P5.6.3.3)

N° de cat.	Descripción	P5.6.3.3	P5.6.3.4
524 013	Sensor-CASSY 2	1	1
524 220	CASSY Lab 2	1	1
524 073	Sensor de movimiento con láser S	1	1
337 116	Topes amortiguadores, par	1	1
311 02	Regla de metal, l = 1 m	1	
477 32	Cubeta de vidrio óptico 45 x 12,5 x 52,5 mm		1
476 34	Cuerpo de vidrio acrílico		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)	1	1



Tiempos de tránsito de la luz a diferentes distancias (P5.6.3.3)

En la determinación de la velocidad de la luz con una señal modulada electrónicamente el emisor de luz es un diodo luminoso, cuya intensidad está pulsada con 60 MHz. El receptor es un fotodiodo que convierte la señal de luz en una tensión alterna de 60 MHz. Mediante un cable de conexión se transmite al receptor una señal de referencia sin cronizada a la señal del emisor, que al inicio de una medición es sobrepuesta a la señal receptora. Por último el receptor es desplazado a una distancia Δs, de tal manera que la señal receptora experimenta un desplazamiento de fase en el tiempo de recorrido adicional Δt de la señal de luz.

$$\Delta\varphi = 2\pi \cdot f_1 \cdot \Delta t \quad \text{con } f_1 = 60 \text{ MHz}$$

Alternativamente también se puede colocar un medio óptico denso en el trayecto de los rayos. Aparentemente, el tiempo a medir puede ser aumentado con una treta electrónico: la señal receptora y la señal de referencia son mezcladas cada una con una señal de 59.9 MHz (multiplicada) y recorren un filtro de frecuencia que sólo deja pasar la componente de más baja frecuencia, la frecuencia de la diferencia $f_1 - f_2 = 0.1$ MHz. El desplazamiento de fase en la mezcla permanece sin cambiar; sin embargo, este desplazamiento corresponde a un tiempo de medición mayor $\Delta t'$ en el factor

$$\frac{f_1}{f_1 - f_2} = 600$$

Los medidores de distancia (distanciómetros) modernos utilizan en sus mediciones un haz de luz láser modulado periódicamente. Estos determinan la fase entre el rayo láser emitido y el rayo reflejado modulado y obtienen, con la frecuencia de modulación conocida, el tiempo transcurrido t de la luz para el camino recorrido hasta el reflector y de retorno. Los distanciómetros calculan después la distancia tomando la velocidad de la luz como parámetro conocido.

En el experimento P5.6.3.3 se utiliza el sensor de movimiento Láser S como medidor del tiempo transcurrido, porque puede entregar directamente el tiempo transcurrido t. Se verifica la proporcionalidad entre distancia recorrida y el tiempo transcurrido de la luz y luego se calcula la velocidad de la luz.

En el experimento P 5.6.3.4 se colocan agua y plexiglás de espesor d en la trayectoria del rayo y se mide el aumento del tiempo transcurrido Δt. Con el valor de la velocidad de la luz c en el aire obtenido en el experimento P5.6.3.3 anterior se puede determinar la velocidad de la luz c_M en la materia:

$$c_M = 2d\left(\frac{2d}{c} + \Delta t\right) = \frac{1}{\frac{1}{c} + \frac{\Delta t}{2d}}$$

Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de prisma (P5.7.1.1)

ESPECTRÓMETRO DE PRISMA

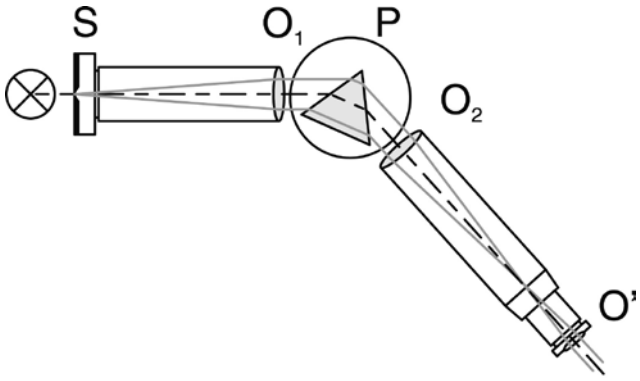
P5.7.1.1
Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de prisma

N° de cat.	Descripción	P5.7.1.1
467 231	Espectrómetro con goniómetro	1
451 031	Lámpara espectral He	1
451 041	Lámpara espectral Cd	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
451 011	Lámpara espectral Ne	1*
451 071	Lámpara espectral Hg-Cd	1*
451 081	Lámpara espectral Tl	1*
451 111	Lámpara espectral Na	1*

* se requiere adicionalmente

Para el montaje de un espectrómetro de prisma se monta un prisma de vidrio Flint en la mesita para prisma de un goniómetro. La luz proveniente de la fuente de luz a estudiar incide divergente sobre un colimador y al salir incide sobre el prisma como un haz de rayos paralelos. En el prisma se aprovecha la dependencia de la longitud de onda respecto al índice de refracción del vidrio del prisma. La luz al despistarse, se experimenta una desviación diferente en cada longitud de onda. Se observan los rayos desviados con un telescopio ajustado al infinito, fijo a uno de los brazos pivotantes y cuya posición se puede determinar exactamente en minutos de ángulo. La dependencia del índice de refracción de la longitud de onda no es lineal, por esta razón se debe calibrar el espectrómetro. Para la calibración se utiliza, por ejemplo, una lámpara espectral de He cuyas líneas espectrales son conocidas y están distribuidas en todo el rango visible.

En el experimento P5.7.1.1 se observan las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos excitados. Para identificar otras líneas espectrales «desconocidas» se deben medir los ángulos de desviación respectivos para luego convertir los en longitudes de onda a partir de la curva de calibración. *Nota:* Como alternativa al espectrómetro de prisma también se puede utilizar el goniómetro para montar un espectrómetro de rejilla (véase P 5.7.2.1).



Trayecto de los rayos en un espectrómetro de prisma (P5.7.1.1)

ESPECTRÓMETRO DE REJILLA

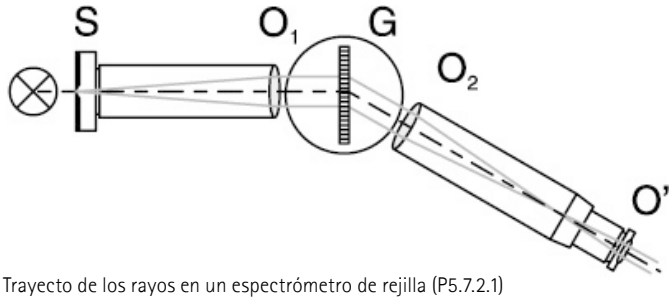
P5.7.2.1
Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de rejilla

Medición de las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos con un espectrómetro de rejilla (P5.7.2.1)

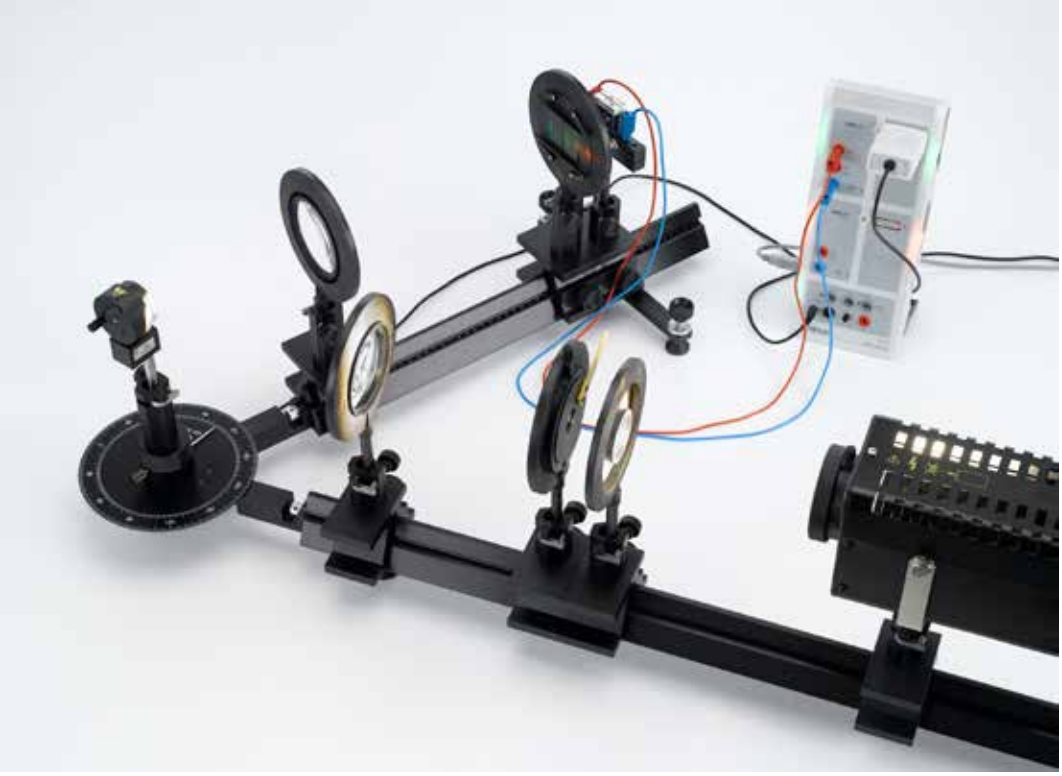
N° de cat.	Descripción	P5.7.2.1
467 231	Espectrómetro con goniómetro	1
471 23	Retícula 6000/cm (Rowland)	1
451 031	Lámpara espectral He	1
451 111	Lámpara espectral Na	1
451 16	Carcasa para lámparas espectrales	1
451 30	Bobina universal de reactancia en caja	1
300 02	Base de trípode en forma de V, pequeño	1
451 011	Lámpara espectral Ne	1*
451 041	Lámpara espectral Cd	1*
451 071	Lámpara espectral Hg-Cd	1*
451 081	Lámpara espectral Tl	1*

* se requiere adicionalmente

En el experimento P5.7.2.1 se observan las líneas espectrales de gases nobles y vapores metálicos excitados. Para identificar otras líneas espectrales «desconocidas» se debe medir los ángulos de desviación respectivos para luego convertirlos en longitudes de onda a partir de la curva de calibración. La resolución del espectrómetro de rejilla es suficiente para determinar la distancia entre las líneas D amarillas del sodiol $\lambda(D_1) - \lambda(D_2) = 0{,}60$ nm con una precisión de 0,10 nm. No obstante, la alta capacidad de resolución de este espectrómetro está vinculada a una pérdida de intensidad, ya que una gran parte de la radiación se pierde en el orden cero no difractado y el resto se distribuye en varios órdenes a ambos lados del orden cero.



Trayecto de los rayos en un espectrómetro de rejilla (P5.7.2.1)



Investigación del espectro de una lámpara de Xenon mediante la rejilla holográfica (P5.7.2.5)

ESPECTRÓMETRO DE REJILLA

P5.7.2.4
Determinación de la constante de retículo de la rejilla holográfica con un láser de He-Ne

P5.7.2.5
Investigación del espectro de una lámpara de Xenon mediante la rejilla holográfica

N° de cat.	Descripción	P5.7.2.4	P5.7.2.5
471 830	Láser de He-Ne, linealmente polarizado	1	
460 01	Lente en montura f = +5 mm	1	
460 08	Lente en montura f = +150 mm	1	1
460 09	Lente en montura f = +300 mm	1	1
471 27	Rejilla holográfica en montura	1	1
441 531	Pantalla	1	1
460 335	Banco óptico con perfil normal, 0,5 m	1	1
460 32	Banco óptico con perfil normal, 1 m	1	1
460 341	Bisagra con escala	1	1
460 374	Jinetillo 90/50	5	6
450 80	Lámpara de Xenón		1
450 83	Unidad de alimentación para lámpara de xenón		1
460 02	Lente en montura f = +50 mm		1
460 14	Rendija variable		1
460 21	Soporte para elemento enchufable		1
460 22	Soporte con muelles		1
461 62	Juego de 2 diafragmas con rendijas		1
578 62	Elemento fotoeléctrico STE 2/19		1
524 013	Sensor-CASSY 2		1
524 220	CASSY Lab 2		1
524 082	Sensor de giro S		1
460 382	Jinetillo inclinable 90/50		1
501 25	Cable de experimentación, 50 cm, rojo		1
501 26	Cable de experimentación, 50 cm, azul		1
501 46	Par de cables 100 cm, rojo/azul		1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows XP/Vista/7/8/10 (x86 o x64)		1

Para construir un espectrómetro de rejilla en lugar del prisma se monta una copia de una rejilla de Rowland sobre la mesa de prisma de un goniómetro. El trayecto de los rayos en el espectrómetro de rejilla es análogo en gran parte a un espectrómetro de prisma (véase P 5.7.1.1). Aunque aquí la desviación de los rayos de luz a través de la rejilla es proporcional a la longitud de onda

n: orden de difracción
g: constante de rejilla
λ: longitud de onda
$\Delta\alpha$: ángulo de desviación de las lineas espectrales en el ene

de tal manera que las longitudes de onda de las líneas espectrales observadas se pueden calcular directamente de los ángulos de desviación medidos.

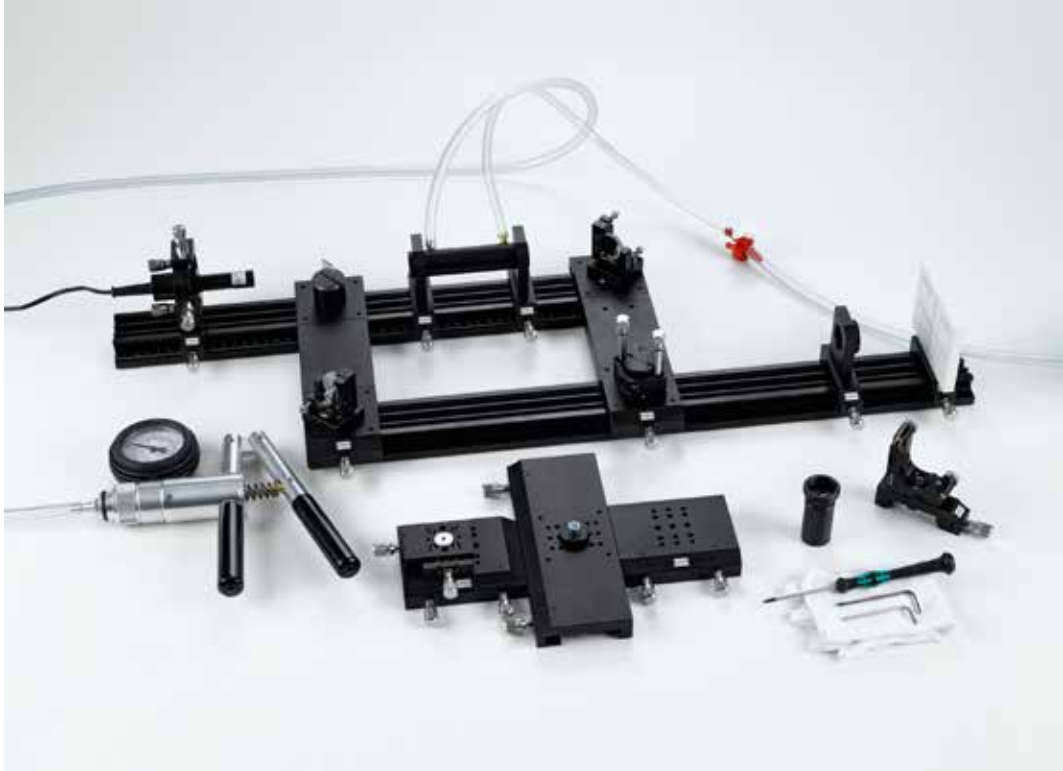
Para implementar un espectrómetro de rejilla con alta resolución y alta eficiencia, se instala una rejilla holográfica de reflexión con 24000 líneas/cm. La pérdida de intensidad es baja comparada con una rejilla de transmisión.

En el experimento P5.7.2.4 se determina la constante proveniente de la reflexión holográfica de la rejilla en función a diferentes valores del ángulo de incidencia. La fuente de luz implementada es un láser de He-Ne con una longitud de onda λ = 632.8 nm. El valor más preciso se obtiene en el caso específico cuando el ángulo de incidencia y el ángulo de difracción son los mismos, caso conocido también como condición de Littrow.

En el experimento P5.7.2.5 se investiga el espectro de una lámpara de xenón. Se registra el diagrama de difracción detrás de la rejilla holográfica al cambiar la posición de una pantalla o una celda fotoeléctrica. El ángulo de difracción correspondiente es obtenido a través de la escala circular del conector en riel, o medido por un sensor de movimiento rotatorio. Se demuestra que el espectro de la lámpara que aparece de color blanco para el ojo humano, está compuesto de una variedad de diferentes líneas espectrales.

APLICACIONES ÓPTICAS

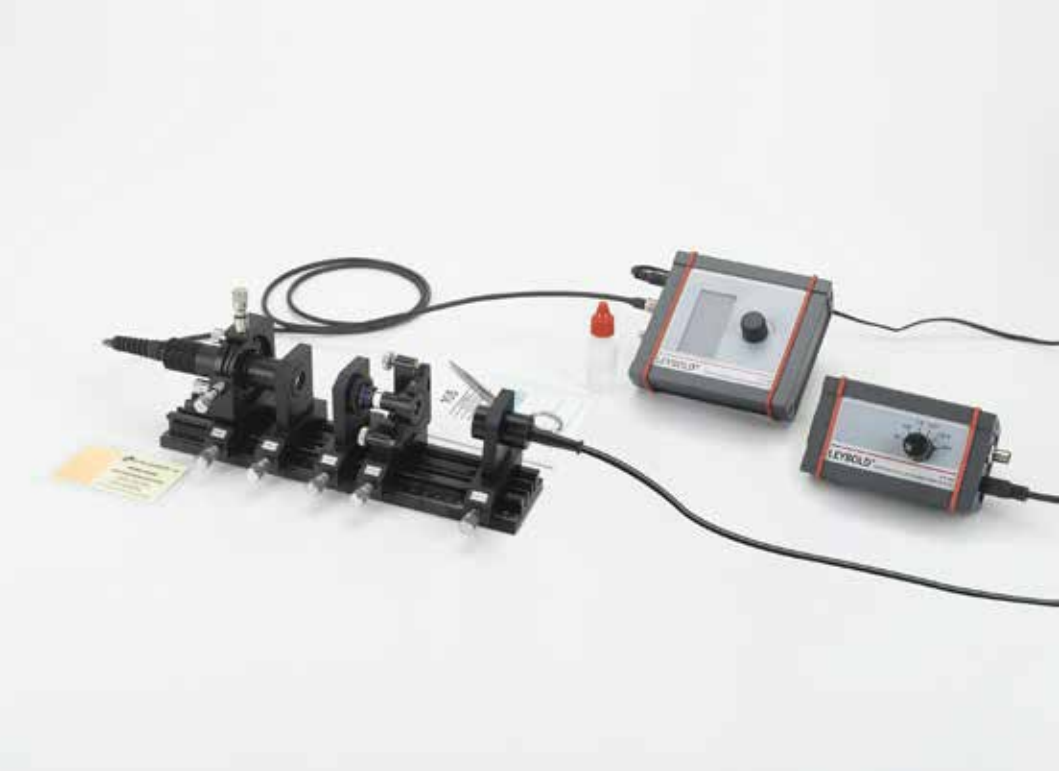
P5.8.3.1
Interferómetro óptico



Interferómetro óptico (P5.8.3.1)

N° de cat.	Descripción	P5.8.3.1
474 5220	Lentes bicóncavas f=-10 mm, soporte C25	1
474 5264	Expansor de haz 2.7x	1
474 169	Ensamblaje de cubeta de gas	1
474 171	Unidad combinadora de haz Mach-Zehnder	1
474 174	Unidad divisora de haz Mach-Zehnder	1
474 5457	Pantalla con piloto	1
474 5418	Módulo láser de diodo de 532 nm	1
474 5441	Riel perfilado de 300 mm	2
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 5449	Junta angular, travesaño	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	3
474 2112	Soporte de ajuste, 4 ejes, con ángulo de parada	1
474 213	Soporte de ajuste de 1 pulgada, izquierdo	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7210	LIT: Interferómetro Óptico	1

Mientras que el interferómetro de Michelson se usa principalmente para determinar el movimiento de un objeto en movimiento es una escala nanométrica, el interferómento de Mach-Zehnder investiga objetos transparentes y es particularmente útil para estudiar dinámica de gases o líquidos. Como el Mach-Zehnder es un interferómetro unidireccional es especialmente útil para mediciones donde las muestras tienen que ser atravesadas una sola vez o en una sola dirección. Dentro del cuadro del experimento P5.8.3.1 se realizará tanto el interferómetro de Michelson como el Mach-Zehnder. El primero demuestra el principio de generación de patrones de interferencia y el uso del conteo de franjas en metrología. El segundo usa el patrón de interferencia para visualizar los cambios del índice de refracción como resultado de los cambios en propiedades físicas de los gases, como presión o composición.



APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.5.3
Emisión y absorción / Bombeo óptico

Emisión y absorción / Bombeo óptico (P5.8.5.3)

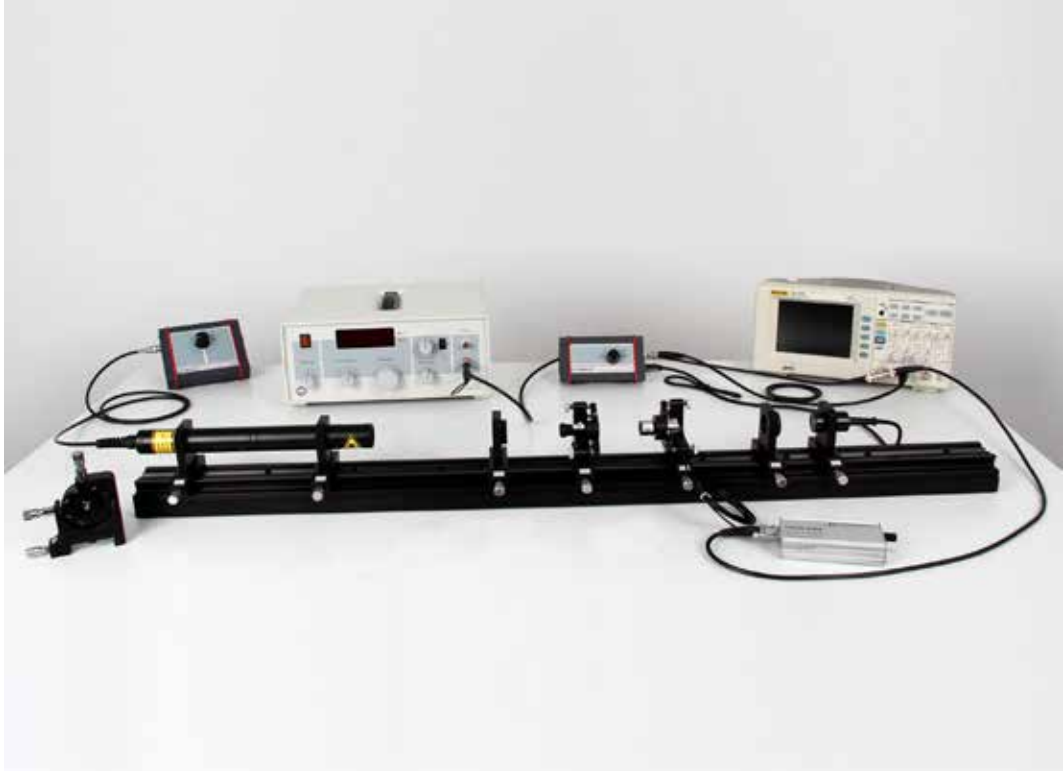
N° de cat.	Descripción	P5.8.5.3
474 1032	Óptica de colimación en el portador, asférico	1
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	1
474 5310	Cristal en soporte Nd: YAG 1064 nm	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 137	Filtro espacial con iris ajustable	1
474 5453	Un objetivo de pelo cruzado en un soporte C25	1
468 74	Filtro para luz infrarroja	1
474 107	Soporte de placa de filtro	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
531 183	Multimetro Digital 3340	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 1021	Cabezal de diodo láser monomodo con ajuste	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1
474 7102	LIT: Emisión y absorción / Bombeo óptico	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1*
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1*
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1*
474 6111	Gafas de protección para láser de 808 nm y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.5.3 introduce tanto el bombeo óptico como la emisión y la absorción. Debido al proceso de bombeo se genera una emisión espontánea y estimulada. La emisión se mide y analiza temporalmente y de forma espectroscópica. El ajuste de la longitud de onda de emisión del láser de diodo de la bomba debido a la temperatura permite el registro del espectro de absorción. A partir de la desintegración oportuna de la luz de fluorescencia, se mide la vida útil del estado excitado y se calcula el coeficiente de Einstein para la emisión estimulada.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.5.4
Resonador Fabry Perot -
Analizador de modos de Fabry Perot

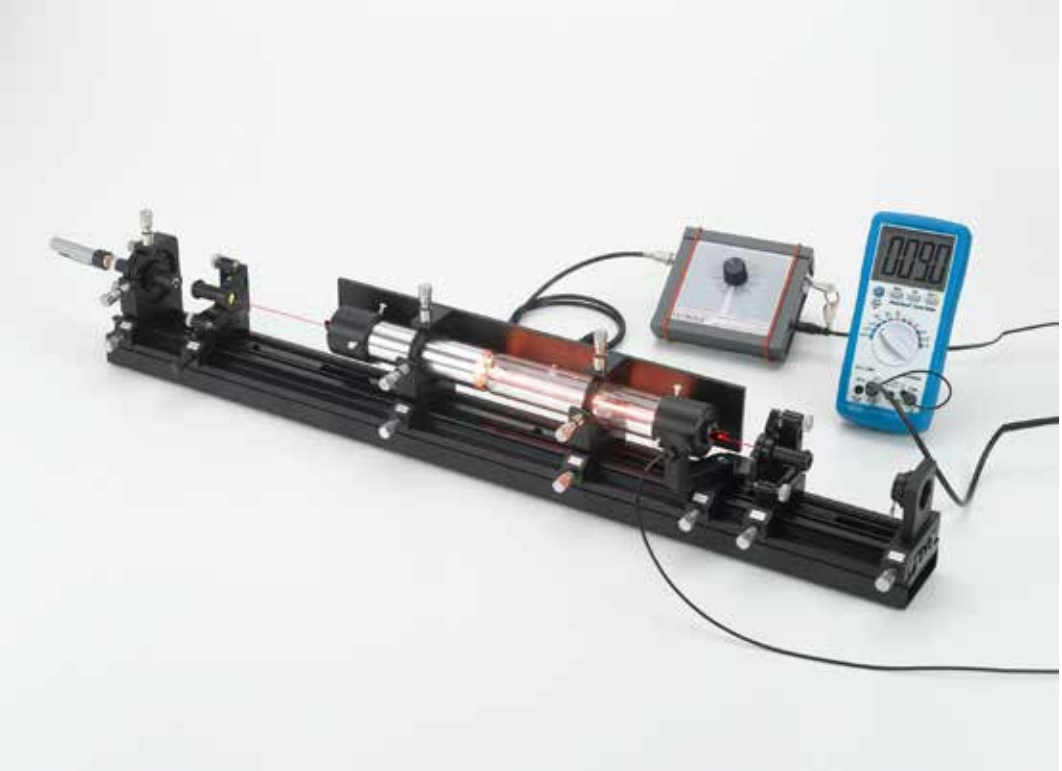


Resonador Fabry Perot - Analizador de modos de Fabry Perot (P5.8.5.4)

N° de cat.	Descripción	P5.8.5.4
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	1
474 1404	Lente f = 150 mm, montura y placa C25	1
474 140	Lente expansor de haz, soporte de ajuste	1
474 5213	Acromático f=20 mm, soporte C25	1
474 5234	Espejo láser, plano, montura M16	1
474 5235	Espejo láser, R = 75 mm, soporte de M16	1
474 5236	Espejo láser, R = 100 mm, soporte de M16	1
474 5237	Espejo láser, plano, montura M12	1
474 5238	Espejo láser, R = 75 mm, soporte de M12	1
474 5239	Espejo láser, R = 100 mm, soporte de M12	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 317	Controlador de actuador piezoeléctrico	1
474 139	Elemento piezoeléctrico con soporte de ajuste	1
522 561	Generador de funciones P	1
501 02	Cable BNC, 1 m	2
501 091	Unión en T, BNC	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
474 303	Suministro de alto voltaje de láser He-Ne, ajustable	1
474 5421	Láser piloto de He-Ne Ø 30 mm	1
474 5445	Riel perfilado de 1000 mm	1
474 210	Placa de montaje Ø 30 mm, soporte 20 mm	2
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7103	LIT: Resonador de Fabry Perot	1
471 828	Gafas de protección para el láser de He-Ne	2*

* se requiere adicionalmente (S)

Un resonador de Fabry Perot está formado por dos espejos alineados paralelos entre sí. La cavidad resultante cambia de transparencia cuando la distancia de los espejos cambia en un múltiplo de la mitad de la longitud de onda. El escaneo de la longitud de la cavidad crea un espectrómetro de alta resolución. El experimento P5.8.5.4 muestra un Fabry Perot de escaneo de cuadro abierto. Como escáner se utiliza un elemento piezoeléctrico y como sonda un láser de helio neón de dos modos. El espectro de modo del láser de helio neón se muestra en un osciloscopio y se miden y analizan los parámetros característicos como la delicadeza, el rango espectral libre, la resolución y el contraste. Se utilizan componentes adicionales para la expansión del haz para investigar el efecto de la delicadeza técnica. Se utilizan espejos adicionales para mostrar la diferencia entre un plano y una disposición confocal de Fabry Perot.



Láser de helio-neón (P5.8.5.5)

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.5.5
Láser de helio-neón

N° de cat.	Descripción	P5.8.5.5
474 5242	Espejo láser VIS 700, montura M16	1
474 5243	Espejo láser VIS 700, montura M16	1
474 5244	Espejo láser VIS 1000, montura M16	1
474 5246	Espejo láser, plano, montura M16	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 114	Soporte de ajuste de espejo láser, diestro	1
474 141	Etalón monomodo, soporte de ajuste	1
474 137	Filtro espacial con iris ajustable	1
474 1082	Módulo G (PIN de silicio) de fotodetector en brazo giratorio	1
531 183	Multimetro Digital 3340	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
501 10	Unión recta, BNC	1
474 303	Suministro de alto voltaje de láser He-Ne, ajustable	1
474 127	Tubo láser principal con ajuste XY	1
474 5422	Láser piloto de 532 nm (rayo verde)	1
474 5445	Riel perfilado de 1000 mm	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7104	LIT: Láser de He-Ne	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1*
471 828	Gafas de protección para el láser de He-Ne	2*

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.5.5 realiza un láser de helio neón a partir de piezas básicas. La cavidad del marco abierto permite la variación de parámetros para medir el perfil del haz para diferentes configuraciones y distancias del espejo de la cavidad. El tubo láser está equipado con una ventana de Brewster en ambos lados que permite el estudio de polarización y pérdidas. Opcionalmente, un prisma de Littrow selecciona otras longitudes de onda que la línea láser principal a 632 nm, especialmente la línea naranja a 611 nm. La sintonización de línea adicional se demuestra por medio del sintonizador birrefringente opcional. Este elemento puede demostrar 4 líneas diferentes. Se utiliza un etalón para obtener el funcionamiento monomodo del láser Helium Neon.

LÁSER DE ESTADO SÓLIDO

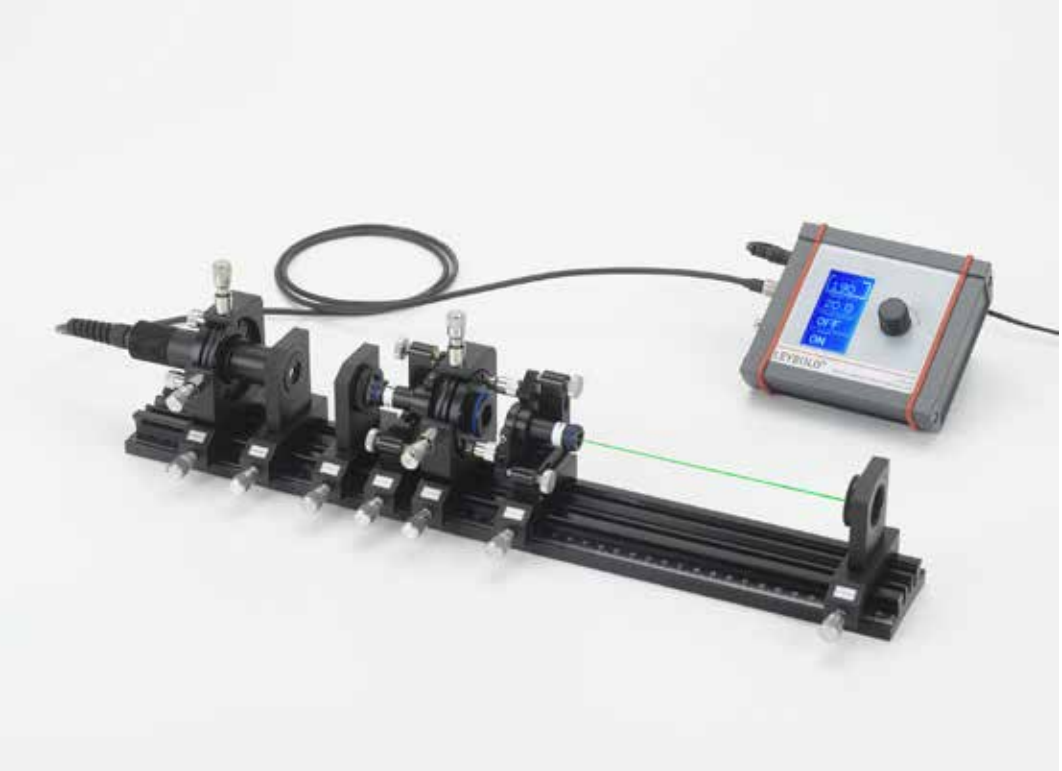
P5.8.6.1
Láser de diodo

Láser de diodo (P5.8.6.1)

N° de cat.	Descripción	P5.8.6.1
474 5266	Lente cilíndrica colimadora f = 20 mm	1
474 5267	Lente cilíndrica colimadora f = 80 mm	1
474 1032	Óptica de colimación en el portador, asférico	1
474 5310	Cristal en soporte Nd: YAG 1064 nm	1
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1
474 112	Analizador de polaridad	1
474 5453	Un objetivo de pelo cruzado en un soporte C25	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
531 183	Multimetro Digital 3340	1
575 24	Cable de medición BNC/enchufe de 4 mm	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 1012	Cabezal láser de diodo, soporte giratorio de dos ejes	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	2
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1
474 7105	LIT: Láser Diodo	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1*
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1*
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1*
474 6111	Gafas de protección para láser de 808 nm y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

El objetivo del experimento P5.8.6.1 es el estudio de las propiedades de un diodo láser, es decir, los parámetros característicos como la potencia de salida y la longitud de onda en función de la temperatura. En un siguiente paso se mide la distribución espacial de la intensidad. El haz más o menos elíptico se forma mediante dos lentes cilíndricas en un haz casi circular.



Doblaje de frecuencia, 1064 nm -> 532 nm (P5.8.6.3)

LÁSER DE ESTADO SÓLIDO

P5.8.6.2
Láser de diodo bombeado láser Nd:YAG

P5.8.6.3
Doblaje de frecuencia,
1064 nm -> 532 nm

P5.8.6.4
Doblaje de frecuencia,
1320 nm -> 660 nm

N° de cat.	Descripción	P5.8.6.2	P5.8.6.3	P5.8.6.4
474 1032	Óptica de colimación en el portador, asférico	1	1	1
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	1	1	1
474 5310	Cristal en soporte Nd: YAG 1064 nm	1	1	
474 5311	Espejo láser en soporte SHG 100	1	1	
474 113	Soporte de ajuste de espejo láser, zurdo	1	1	1
474 114	Soporte de ajuste de espejo láser, diestro	1	1	1
474 5453	Un objetivo de pelo cruzado en un soporte C25	1	1	1
474 107	Soporte de placa de filtro	1	1	1
468 74	Filtro para luz infrarroja	1	1	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1	1	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1	1	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1	1	
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1	1	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1	1	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1	1	1
474 302	Controlador para diodo láser	1	1	1
474 102	Cabezal láser de diodo con soporte de ajuste	1	1	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1	1	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1	1	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1	1	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1	1	1
474 7106	LIT: Láser de estado sólido bombeado por diodos	1	1	1
474 6111	Gafas de protección para láser de 808 nm y 1064 nm	2*	2*	2*
474 109	Cristal KTP con soporte de ajuste, color verde		1	
468 77	Filtro de luz verde		1	
474 137	Filtro espacial con iris ajustable		1*	1*
474 1094	Cristal KTP con soporte de ajuste, color rojo			1
474 5240	Nd: Varilla de YAG de 1.3 µm en soporte de espejo			1
474 5241	Espejo SHG 1.3 µm			1

N° de cat.	Descripción	P5.8.6.2	P5.8.6.3	P5.8.6.4
474 5290	Filtro de barrera infrarrojo KG5			1
474 1081	Módulo G InGaAs de fotodetector			1

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.6.2 construye un láser de Nd: YAG bombeado por diodos y molido. Primero se caracteriza la bomba de diodo láser. Luego, el proceso de bombeo óptico y la fluorescencia espontánea emitida se analizan espectral y temporalmente mediante modulación y cambiando la longitud de onda del láser de bombeo que conduce a los coeficientes de Einstein. En un tercer paso, la operación del láser se inicia agregando el segundo espejo de cavidad. El umbral y la eficiencia del láser se determinan y modulando el diodo láser de la bomba se demuestra el llamado efecto de picos. Al cambiar la longitud de la cavidad láser se verifica el criterio de estabilidad.

El experimento P5.8.6.3 mejora la configuración básica del láser Nd: YAG bombeado por diodos (P5.8.6.2) mediante un módulo de cristal KTP colocado en la cavidad del láser que conduce a una salida visible verde duplicada (532 nm) de frecuencia. Al agregar el iris ajustable opcional, la estructura del modo transversal se puede controlar para varias estructuras TEM hasta TEM00.

El Experimento P5.8.6.4 es una variación del P5.8.6.3, pero usando espejos con diferentes revestimientos y KTP de corte diferente, el láser Nd: YAG opera a 1320 nm y la luz visible duplicada en frecuencia es roja a una longitud de onda de 660 nm.

FIBRA ÓPTICA

P5.8.7.1
Fibra laser

Fibra laser (P5.8.7.1)

N° de cat.	Descripción	P5.8.7.1
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	1
474 5308	Filtro de paso de banda de 1.5 µm en C25	1
474 190	WDM Acoplador de fusión 980/1550 nm	1
474 191	Fibra colimadora con conector ST, zurdo	1
474 192	Fibra colimadora con conector ST, diestro	1
474 194	Acoplador ST en C25 montado	1
474 1898	Módulo de fibra dopada con erbio de 8 m	1
474 246	Módulo de acoplamiento de salida	1
474 5293	Fibra SM de 100 m en tambor con conector ST	1
474 5296	Cable de conexión de fibra ST / ST de 0.25 m de longitud	3
474 5297	Cable de conexión de fibra ST / ST de 1 m de longitud	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 108	Fotodetector PIN de silicio	1
474 1084	Fotodetector InGaAs	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 5426	Módulo láser de diodo, conector de fibra ST	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 5444	Riel perfilado de 1000 mm	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7110	LIT: Fibra Láser	1
474 189	Módulo de fibra dopada con erbio de 2 m	1*
474 1894	Módulo de fibra dopada con erbio de 4 m	1*
474 1896	Módulo de fibra dopada con erbio de 16 m	1*

N° de cat.	Descripción	P5.8.7.1
474 5278	Moda suelta pasiva 1,5 µm	1*
474 5279	Aislador óptico 1,5 µm	1*
474 6111	Gafas de seguridad láser 808 y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

En el experimento P5.8.7.1, se utiliza una fibra dopada con erbio como material activo. Conectado a una bomba láser, se analiza la fluorescencia de la fibra de erbio. Antes de estudiar la operación del láser a 1,5 µm, se mide la vida útil del estado de salida. Para formar un anillo láser se utiliza un WDM para acoplar la luz de la bomba a la fibra y cerrar la estructura del anillo láser. El anillo se abre donde una placa de vidrio delgada acopla una pequeña fracción de los modos láser en sentido horario (cw) y antihorario (ccw) hacia un detector.

Fibra óptica de vidrio (P5.8.7.3)

FIBRA ÓPTICA

P5.8.7.3
Fibra óptica de vidrio

N° de cat.	Descripción	P5.8.7.3
474 1036	Óptica de colimación en el portador	1
474 151	Óptica de acoplamiento, soporte de ajuste XY	1
474 152	Soporte de fibra con mesa deslizante	1
474 154	Soporte de fibra en plato giratorio	1
474 5227	Fibra óptica de plástico de 1000 mm, multimodo	1
474 6420	Cortadora y rompedora de fibra óptica	1
474 6421	Separador de cubierta de plástico ajustable	1
474 4025	Pantalla de convertidor de infrarrojos de 800 a 1400 nm	1
474 306	Caja de acondicionamiento de señal fotodetector	1
474 216	Fotodetector PIN de silicio para unidad giratoria, placa de montaje C25	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1
474 302	Controlador para diodo láser	1
474 1022	Cabezal de diodo láser monomodo con soporte de ajuste	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	1
474 7119	LIT: Fibra óptica de vidrio	1
474 5226	Fibra óptica monomodo 1000 m	1*
474 5295	Fibra multimodo 5000 m	1*
474 6111	Gafas de seguridad láser 808 y 1064 nm	2*

* se requiere adicionalmente

El experimento P5.8.7.3 introduce la fibra óptica de vidrio. En este experimento, el láser de diodo mismo se caracterizará con respecto a su potencia de salida en función de su temperatura y corriente de inyección. La distribución espacial de la intensidad se mide mediante la etapa de rotación proporcionada.

Cortar y preparar la fibra es parte de la formación práctica. La luz del láser de diodo se acopla a la fibra mediante objetivos de microscopio ajustables. La eficiencia del acoplamiento se monitorea con el fotodetector que detecta la luz que sale al final de la fibra.

Se mide la distribución de intensidad de la luz que emerge al final de la fibra y se determina la apertura numérica.

Modulando la diodo láser por medio del dispositivo controlado por microprocesador provisto se medirá el tiempo de vuelo dentro de la fibra. A partir de los resultados, se calcula la longitud de la fibra o la velocidad de la luz.

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.8.4
Anemómetro láser Doppler

Anemómetro láser Doppler (P5.8.8.4)

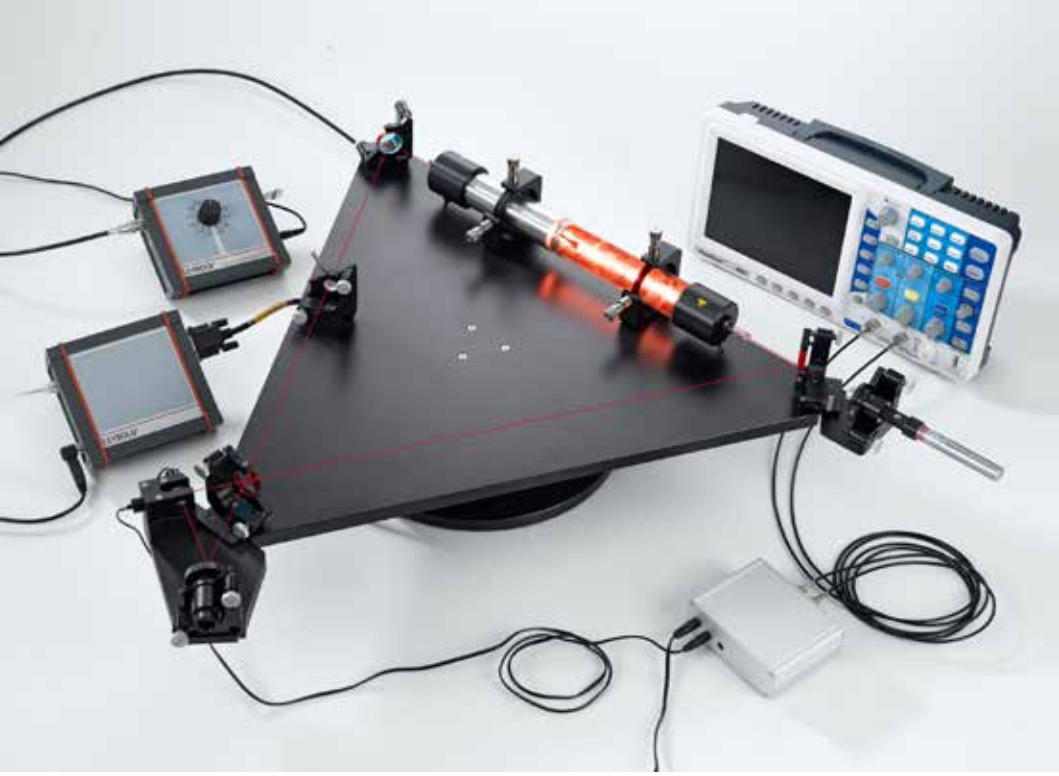
N° de cat.	Descripción	P5.8.8.4
474 104	Óptica de enfoque, f = 60 mm	2
474 107	Soporte de placa de filtro	1
474 187	Unidad divisora de haz LDA	1
474 1876	Desviación y enfoque de haz LDA	1
474 188	Sembradora de partículas ultrasónica	1
474 315	Nebulizar de párticulas ultrasónico	1
474 194	Acoplador ST en C25 montado	1
474 5350	Latiguillo ST-ST de 600 µm	1
474 3314	Módulo fotodetector 400-1100 nm	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 06	Cable de alta frecuencia, BNC-BNC, 1,5 m	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	1
474 128	Módulo de diodo láser	1
474 5442	Riel perfilado de 500 mm	1
474 209	Placa de montaje C25 con soporte 20 mm	1
474 251	Caja de transporte y almacenamiento # 01	2
474 7115	LIT: Anemómetro láser Doppler	1
471 828	Gafas de protección para el láser de He-Ne	2*

* se requiere adicionalmente

La anemometría del láser Doppler es un método de medición óptica sin contacto para obtener la velocidad de un flujo (líquido, gas). En el experimento P5.8.8.4 se ensambla un anemómetro láser Doppler. Entre otras cosas, este método se utiliza para calibrar sensores de flujo. Un rayo láser se divide en dos partes. Enfocados de nuevo a un punto, los rayos láser crean un patrón de interferencia. Las partículas en el flujo de fluido se mueven a través de las zonas brillantes y oscuras del patrón y la luz dispersa se modula de acuerdo con la velocidad de la partícula.

Alternativamente, la misma configuración se puede explicar en términos de luz desplazada Doppler.

En este experimento, las gotas de agua dentro de una corriente de aire se utilizan como partículas de dispersión. Las gotas de agua son demasiado pequeñas para adherirse a las superficies cercanas y mojarlas. Simplemente se evaporarán o rebotarán debido a la tensión superficial.



Giroscopio láser HeNe (P5.8.8.5)

APLICACIONES TÉCNICAS

P5.8.8.5
Giroscopio láser HeNe

N° de cat.	Descripción	P5.8.8.5
474 159	Placa base de giroscopio	1
474 160	Unidad de rotación	1
474 330	Controlador de motor paso a paso, 1 eje, USB	1
474 407	Unidad detectora de franjas	1
474 308	Preamplificador de fotodetector	1
474 311	Contador ascendente y descendente de franjas	1
474 346	Fuente de alimentación enchufable 12 V - 2.5 A	1
474 5464	Osciloscopio, doble canal, digital	1
501 061	Cable de alta frecuencia, BNC-Mini BNC, 1,5 m	4
728 950	Aislador de puerto USB	1
474 303	Suministro de alto voltaje de láser He-Ne, ajustable	1
474 5423	Láser de alineación de 532 nm	1
474 122	Conjunto de limpieza para óptica	1
671 9700	Etanol, absoluto, 250 ml	1
474 7116	LIT: Giroscopio láser de He-Ne	1
	Adicionalmente se requiere: PC con Windows a partir de la versión 7	1

El experimento P5.8.8.5 muestra los conceptos básicos de un giroscopio láser. Los giroscopios láser se utilizan, por ejemplo, en aviones para apoyar la navegación. Se configura un láser de anillo He/Ne de modo mono de tres espejos; el uso de un láser piloto verde es fácil de ajustar. Ambos rayos de luz CW y CCW se acoplan desde el resonador y se alimentan a un interferómetro, creando patrones de interferencia.

Al girar este láser, la longitud de la cavidad CW y CCW ya no es igual debido a la relatividad especial, y la mezcla de ambos rayos de luz generar una frecuencia de batido en el rango de kHz. De esta manera se puede medir la rotación absoluta del láser.

Este no es un interferómetro de Sagnac, tener el medio láser dentro del sistema en movimiento crea una configuración mucho más sensible con frecuencia de batido en lugar del cambio de fase de un interferómetro Sagnac rotatorio.

P6.2.7.4

Medición de desdoblamiento Zeeman de la línea roja del cadmio en función del campo magnético - espectroscopía con un etalómetro de Fabry-Perot

Para más información sobre este experimento, vaya a la página 206.