

Fig. 1 Emisor y receptor de luz (y zócalo 300 11)

Importante: ¡Por favor tenga en cuenta las informaciones de la pág. 6 acerca de la compatibilidad electromagnética!

El emisor y el receptor (476 30) sirven para determinar la velocidad de la luz de acuerdo con los procedimientos de modulación electrónica. Para ello basta un recorrido más corto de p. ej. 1,5 m en comparación con el método clásico de Foucault-Michelson, para conseguir una precisión más alta (aprox. $\pm 1\%$) Para determinar los índices de refracción se pone, en el recorrido de entre el emisor y el receptor, el cuerpo de vidrio acrílico (476 34) o el tubo provisto de dos ventanas lleno de un líquido transparente.

Bibliografía: Nuevas Hojas de Física para Escuelas Técnicas y Universidad, Volumen 1

1 Datos técnicos

1.1 Emisor y receptor (476 30)

1.1.1 Emisor de luz

| | |
|----------------------------|---|
| Emisor: | Diodo fotoluminiscente (rojo, 670 nm) con condensador antepuesto |
| Frecuencia de modulación: | 60,0 MHz \pm 5 kHz |
| Señal de referencia: | Transmisiones por medio de cable coaxial adaptado (BNC), de 6 m |
| Alimentación de corriente: | (por medio del cable arriba indicado), de la fuente de alimentación del receptor de luz |
| Dimensiones: | Caja de la lámpara: aprox. 60 mm ϕ , aprox. 110 mm de longitud (sin prolongación) Mango: 10 mm ϕ , 115 mm longitud |
| Peso: | 0,8 kg incluido el cable coaxial (6 m) |

1.1.2 Receptor y fuente de alimentación

| | |
|-------------------------|---|
| Elemento sensible: | Fotodiodo al silicio PIN |
| Mezclador: | Señal del receptor x Frecuencia auxiliar |
| Frecuencia auxiliar: | 59,9 MHz |
| Frecuencia diferencial: | 100 kHz \pm 10 kHz |
| Mezclador: | Señal de referencia x Frecuencia auxiliar |
| Relación de fases: | Regulable por medio de un botón giratorio desde 0 hasta casi 2π |
| Salidas: | 2 x aprox. 100 kHz por medio de casquillos BNC |
| Tensión de salida: | Canal de referencia aprox. 2 V _{pp} Canal de trabajo aprox. 2 V _{pp} con buena iluminación |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Relación de señal/ruido y parásitos: | 46 dB (0,5 % de lo que pasa por el canal de trabajo con una buena iluminación) |
| Resistencia de carga: | Mayor de 2 k Ω , las salidas son resistentes a los cortocircuitos |
| Tensiones de conexión: | 110/125/150/220 y 240 V, 50/60 Hz |
| Potencia de consumo: | 15 VA |
| Fusibles de seguridad: | para 220 V y 240 V: T 0,125 B (ET-Núm. 69 806) para 110/125/150 V: T 0,2 B (Et-Núm. 69 808) |
| Dimensiones: | 185 mm x 190 mm x 230 mm |
| Peso: | 3,5 kg |

1.2 Cuerpo de vidrio acrílico (476 34)

| | |
|-----------------------|--|
| Material: | Vidrio acrílico |
| Índice de refracción: | aprox. 1,5 |
| Dimensiones: | 70 mm de ϕ , 50 mm de largo Caras terminales pulidas |

1.3 Tubo con dos ventanas en sus extremos (476 35)

| | |
|--------------------|--|
| Longitud: | 1000 mm (incluidos los cristales) |
| Cristales: | 3 mm de espesor |
| Longitud interior: | 994 mm |
| Diámetro interior: | 72 mm |
| Diámetro exterior: | aprox. 76 mm, con dos clavijas de sujeción (12 mm de ϕ) para sujetar en el zócalo (300 11) o en el pie en V (por ej. 300 02) |
| Tubos de relleno: | 2, con olivetas de acoplamiento y llaves de paso |
| Cabida: | aprox. 4 lt. de agua |
| Peso: | vacío: 2,3 kg lleno: 6,3 kg |

2 Descripción

2.1 Emisor y receptor (476 30)

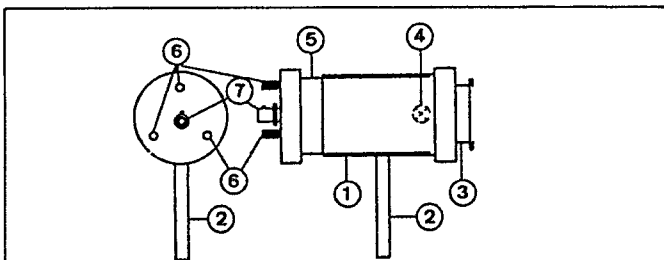
Suministro: Emisor

receptor y fuente de alimentación

Cable blindado BNC de 6 m aprox.

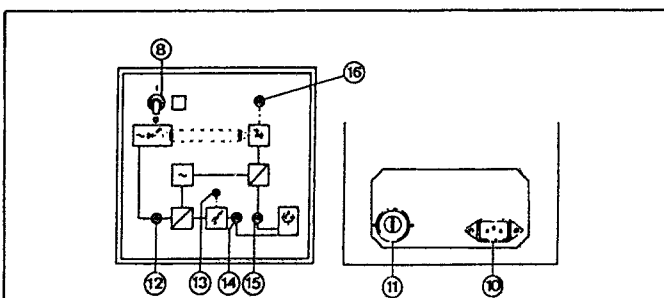
Cable blindado BNC de 1,5 m aprox.

2.1.1 Emisor de luz (fig. 2)



- ① Caja de lámpara (camisa)
- ② Mango de sujeción
- ③ Condensador
- ④ Diodo luminiscente incorporado en el manguito ⑤
- ⑤ Manguito desplazable con emisor y diodo luminiscente
- ⑥ Tornillos moleteados para el ajuste
- ⑦ Casquillo BNC (con banderola verde sobre la brida) para la conexión del cable coaxial adaptado (aprox. 6 m) a la fuente de alimentación del receptor

2.1.2 Receptor y fuente de alimentación (fig. 3)



- ⑧ Interruptor
- ⑨ Lámpara de control de red
- ⑩ Casquillo de enchufe para el cable de conexión a red (comprendido en el suministro)
- ⑪ Selector de tensión y porta-fusibles
- ⑫ Entrada (BNC) para la señal de referencia del emisor y al mismo tiempo salida el emisor.
- ⑬ Desplazador de fases
- ⑭ Salida (BNC) canal de referencia (100 kHz) para la conexión al osciloscopio. Esta señal sirve para el impulso disparador. Con un osciloscopio de 2 canales, la señal puede mostrarse también en la pantalla
- ⑮ Salida (BNC) canal de trabajo (100 kHz) para la conexión al osciloscopio
- ⑯ Entrada para la señal óptica; detrás (aprox. 13 mm) se encuentra el fotodiodo y el preamplificador

2.3 Cuerpo de vidrio acrílico (fig. 4)

- ⑰ Superficie de base plana (por ej. para colocarla sobre una mesita de prismas, núm. del cat. 460 25)
- ⑱ Caras terminales pulidas, distancia 50 mm

2.4 Tubo con dos ventanas en sus extremos (fig. 5)

- ⑲ Tubo
- ⑳ Tubo de relleno y de salida con llave de paso y oliveta
- ㉑ Tubo de aireación con llave de bloqueo
- ㉒ Ventana terminal
- ㉓ Clavijas de sujeción para sujetar en zócalos (300 11) o en pies en V (300 02)

Al suministrar el tubo, puede todavía encontrarse en el mismo algo de agua (residuos del ensayo de impermeabilidad).

3 Forma de funcionar

El emisor (diodo luminiscente emisor de la luz roja modulada a 60 MHz) y el receptor (fotodiodo, amplificador, mezclador y fuente de alimentación) se encuentran colocados en dos cajas separadas que se encuentran unidas únicamente con un cable coaxial de unos 6 m de longitud. El emisor es alimentado por medio de éste con corriente de la fuente de alimentación del receptor y, al mismo tiempo, permite el regreso de una señal de referencia sincrónica de la señal emisora.

Para determinar la velocidad de la luz a base de la relación existente entre la distancia recorrida por la luz y el tiempo necesario para superar este recorrido, el emisor y el receptor se colocan uno frente al otro, a una distancia pequeña y luego a una mayor. Para la regulación del camino óptico véase el punto 4.2.

Para poder determinar exactamente con un osciloscopio de uso corriente en escuelas el breve tiempo de aprox. $2 \cdot 10^{-11}$ s para un corto recorrido de, por ej., solamente 10 cm (resolución de tiempo hasta 10^{-8} s/mm), en la caja del receptor se lleva a cabo una dilatación del tiempo, correspondiente a un factor de aprox. 600, gracias a un dispositivo que se encuentra en la caja del receptor y que actúa sobre las señales emitida y recibida.

Mezclando (por multiplicación) una señal de 59,9 MHz (ω_2) con las señales de 60 MHz (ω_1) del emisor y del receptor (fig. 6) se obtiene cada vez una señal de baja frecuencia de aprox. 100 kHz (diferencia de frecuencias: $\omega_1 - \omega_2$) en la cual la información de fase es la misma que la contenida en la señal emitida-recibida, como consecuencia del teorema de adición:

$$2 \cos \alpha \cos \beta = \cos (\alpha + \beta) + \cos (\alpha - \beta)$$

Si se elige la modulación del emisor, por ej. proporcional al $\cos \omega_1 t$, se deduce para la modulación de la señal del receptor que es proporcional al $\cos (\omega_1 t - \varphi)$ con un desplazamiento de fases φ debido a un recorrido mas o menos largo. Después de mezclar estas dos señales con ω_2 , es decir,

$$\begin{aligned} & \text{a base del } \cos \omega_1 t \cdot \cos \omega_2 t \text{ y} \\ & \cos (\omega_1 t - \varphi) \cdot \cos \omega_2 t, \end{aligned}$$

y después de separar las componentes de alta frecuencia ($\omega_1 + \omega_2$) mediante un filtro adecuado, se obtienen dos señales de baja frecuencia ($\omega_1 - \omega_2$) proporcionales a

$$\cos (\omega_1 - \omega_2) t \text{ y } \cos [(\omega_1 - \omega_2) t - \varphi]$$

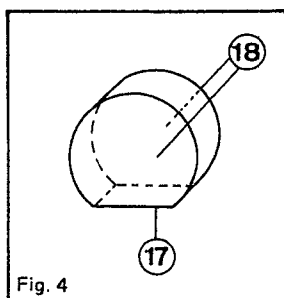


Fig. 4

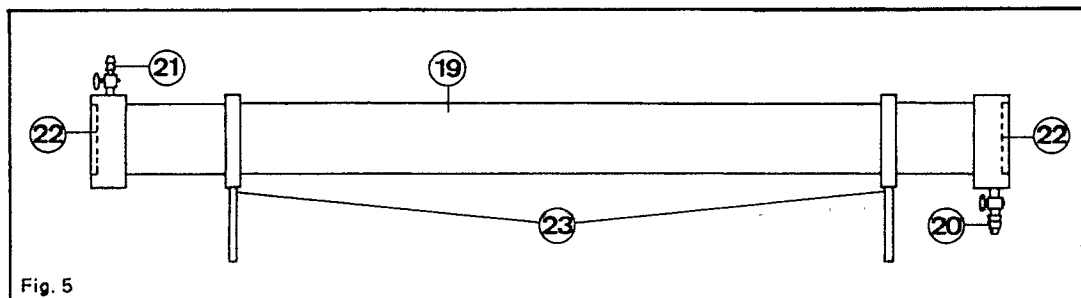


Fig. 5

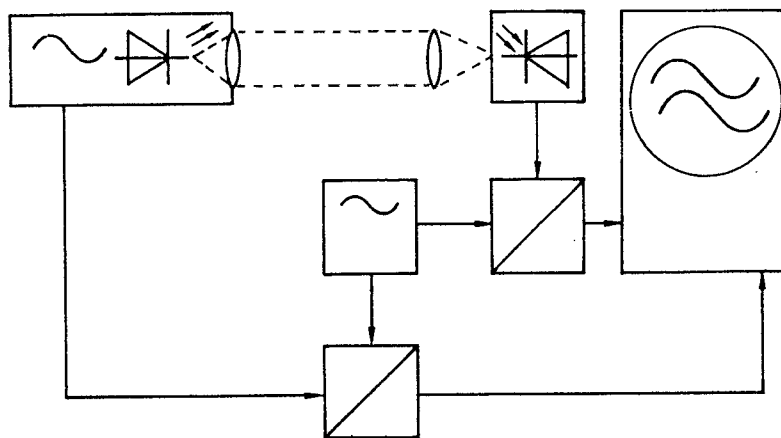


Fig. 6 Esquema de conexiones en bloque

De aquí se deduce que el desplazamiento de fases φ ha permanecido invariable en la mezcla. De todos modos, este desplazamiento de fases corresponde ahora a otro tiempo que en la frecuencia de modulación original de 60 MHz. Este tiempo se ha visto multiplicado por el factor $\omega_1/(\omega_1 - \omega_2)$.

Para determinar exactamente esta dilatación de tiempo (aquí aprox. 600), se puede medir la frecuencia diferencial con un contador digital (p. ej. 575 40)

A base de la comparación de fases de las dos señales de baja frecuencia obtenidas por mezcla sobre un osciloscopio, se obtiene su desplazamiento de tiempo y, a base de ésta, por división por el factor de la dilatación de tiempo se obtiene la variación de la duración real del recorrido de la luz (de su modulación) entre el emisor y el receptor.

Las indicaciones de experimentación pueden verse en la parte 5.

4 Servicio y ajuste

4.1 Generalidades

Verificar el selector de tensión (Ⓜ) en el dorso del receptor; junto a la marca blanca (Ⓢ) tiene que encontrarse el valor de la tensión alterna de red local (véase también parte 4.4 intercambio del fusible).

Fijar el emisor de luz (fig. 2) en el zócalo (300 11) o en el jinetillo sobre el banco óptico (p. ej. en 301 01 sobre 460 43). Conectar el casquillo BNC (7) del emisor por medio del cable coaxial blindado de 6 m que se suministra también al casquillo BNC (2) del receptor (fig. 3).

Unir el casquillo BNC (4) del receptor por medio de un cable coaxial de 1,5 m de longitud, por ej., con el canal I de un osciloscopio de dos canales (por ej. 575 27). Efectuar el impulso disparador en este canal con todos los experimentos. Si no se tiene ningún osciloscopio de dos canales, unir el casquillo (4) con la entrada disparadora externa del osciloscopio (por ej. 575 17). Unir el casquillo BNC (5) del receptor con el canal II del osciloscopio de dos canales o, de forma correspondiente, para el osciloscopio monocanal con el canal Y.

Conectar el receptor a la red y accionar el interruptor principal (9). La lámpara de control en el receptor y el diodo luminiscente (4) del emisor se iluminan.

Conectar igualmente el osciloscopio (por ej. 575 27) a la red y conmutarlo. En la pantalla del osciloscopio bicanal aparece en el canal I una oscilación de aprox. $2 V_{pp}$ y aprox. 100 kHz (señal de referencia).

4.2 Ajuste

Para el ajuste y la realización ulterior de otros experimentos se necesitan adicionalmente los siguientes aparatos:

| | |
|---|---------------|
| 1 lente, $f = 150$ mm | 460 08 |
| 1 zócalo. | 300 11 |
| o bien | |
| 1 jinetillo para banco óptico | p. ej. 301 01 |

Para el ajuste de distancias > 3 m:

| | |
|--|--------|
| 1 caja de lámpara para 450 51 | 450 60 |
| 1 bombilla | 450 51 |
| 1 transformador, por ej. 6 V/12 V, 30 VA | 562 73 |

4.2.1 Ajuste de distancias cercanas, hasta aprox. 3 m

El ajuste puede realizarse en una sala sin oscurecer.

Colocar el emisor (fig. 2) en el zócalo (300 11) a la distancia deseada o en el jinetillo (460 80) sobre el banco óptico (460 75). La entrada del fotodiodo, la lente y el emisor tienen que encontrarse a la misma altura y en una línea.

Para facilitar un ajuste previo, suspender un trozo de papel sobre la entrada (6). Accionar el condensador para colocar tan paralelo como sea posible el haz rojo del diodo luminiscente del emisor y focalizarlo (enfocarlo) sobre la entrada (6) con ayuda de la lente $f = 150$ mm.

Mover la lente unos 13 mm hacia la entrada debido a que el fotodiodo de recepción se encuentra aprox. 13 mm detrás de la entrada (6). Quitar el papel. Sobre la pantalla del osciloscopio (575 27) aparece en el canal II (eventualmente todavía con amplitudes muy pequeñas) una señal sinusoidal de igualmente 100 kHz.

Esta señal de trabajo, cuya amplitud y fase son proporcionales respectivamente a la amplitud y a la fase de la señal luminosa transmitida del emisor al receptor debe ser observada en el curso de los ajustes sucesivos.

Mover muy ligeramente la lente hasta que la amplitud de la señal de trabajo en el osciloscopio alcance un máximo. Buscar igualmente mediante los tornillos moleteados (6) la posición óptima del diodo luminiscente en el emisor, de forma que la amplitud en el osciloscopio continúe aumentando. Con un buen ajuste se alcanza una señal de aprox. $2 V_{pp}$.

4.2.2 Ajuste de distancias > 3 m

Colocar la lente $f = 150$ mm (460 08) en el zócalo (300 11) aprox. 150 mm delante de la entrada (6) para la señal óptica.

Reemplazar el manguito graduable ⑤ del emisor por la pieza correspondiente de la caja de lámpara 450 51 (450 60) con la bombilla atornillada (450 51). Por medio de la lámpara de más potencia tiene lugar un ajuste previo de la altura y de la dirección (reproducir nítidamente un haz sobre la entrada cubierta (!) del fotodiodo). Reemplazar la lámpara por el manguito graduable ③ del emisor y realizar un ajuste de precisión por medio de los tornillos moleteados ⑥. Al efectuar esto observar la pantalla del osciloscopio y regular la amplitud máxima.

4.3 Limitación debida a interferencias

Las interferencias han quedado limitadas al máximo gracias a las medidas constructivas (emisor y receptor convenientemente separados y blindados en dos cajas separadas) y a las medidas electrónicas (por ej. la señal de referencia transmitida por el cable del emisor al receptor no tiene más que 30 MHz). Normalmente se obtiene un valor típico de aprox. 0,2 % (máx. 0,5 %) de la señal de trabajo bien regulada. Para los experimentos descritos en el punto 5, el error debido a las interferencias no tiene, sin embargo, ningún significado. Si hay que aumentar, de todos modos, la exactitud aumentando la diferencia de recorrido (por ej. 5 m ó 10 m) se tiene entonces una cierta limitación originada por las interferencias que impiden el aumento de la precisión.

4.4 Intercambio del fusible del receptor

Antes de intercambiar el fusible desconectar el aparato de la red

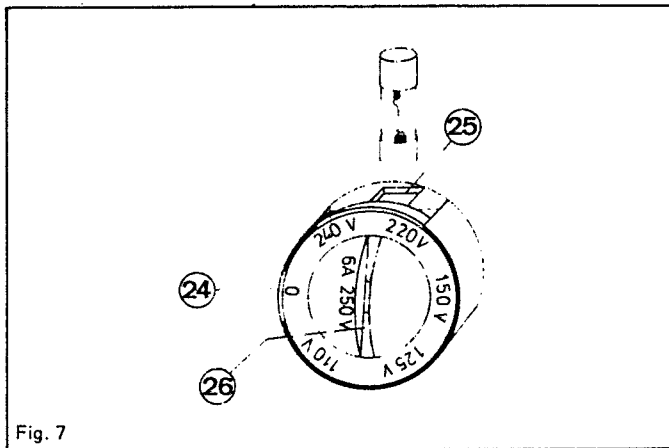


Fig. 7

Para intercambiar el fusible primario introducir una moneda en la ranura ② del selector de tensión y del portafusibles ① y girar hasta que el "0" se encuentre como se indica en la fig. 7 junto a la marca blanca ③; en esta posición el fusible cargado por un resorte es expulsado por la abertura ⑤ y se recoge con la mano; introducir a continuación en la abertura un fusible nuevo y con un objeto puntiagudo (bolígrafo o destornillador) girando al mismo tiempo la moneda en la ranura ② presionar hacia abajo hasta que el fusible se encuentre en su lugar.

Regular el selector de tensión de tal modo que el valor indicado sobre el mismo para la tensión alterna local de la red se encuentre junto a la marca blanca ③.

5 Indicaciones para los experimentos

5.1 Experimento preliminar (fig. 8)

Colocar el emisor por ej. en el jinetillo (460 80) sobre el banco óptico (460 75). Escoger la base de tiempo del osciloscopio (575 26) de 1 μ s/cm.

Con un desplazamiento continuo del emisor se obtiene un desplazamiento continuo de la señal óptica (lo que mejor se observa es un punto de amplitud nula). La velocidad de la luz es, pues, limitada, y la duración de recorrido proporcional a la longitud del recorrido.

5.2 Velocidad de la luz medida a partir de pequeñas diferencias de recorrido

Montaje según la fig. 8.

Con un recorrido (Δs) de 0,1 m se alcanza un desplazamiento en el osciloscopio (1 μ s/cm) de 2 mm. Es un valor difícil de observar. Para aumentar la exactitud, hay que escoger otra base de tiempo en el osciloscopio, por ej. 0,1 μ s/cm.

Reforzar algo la impulsión de la señal de trabajo (cuando es demasiado plana), por ej. 0,1 V/cm.

Ahora el desplazamiento sobre el osciloscopio para $\Delta s = 0,1$ m llega a aprox. 20 mm, y de aquí se deduce que

$$\Delta t = 0,2 \mu\text{s}/600$$

y para la velocidad de la luz (± 5 %)

$$c = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{0,1 \text{ m} \cdot 600}{0,2 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

El factor de aprox. 600 resulta de la relación de ambas frecuencias de 60 MHz y 100 kHz (véase parte 3) y tiene que determinarse exactamente midiendo las dos frecuencias en caso de que el resultado tenga que determinarse con una exactitud mayor de ± 5 %.

5.3 Velocidad de la luz medida a partir de grandes diferencias de recorrido

por ej. $\Delta s = \lambda_M/2$ (media longitud de la onda de modulación)

Para este fin hay que colocar de nuevo el emisor por ej. en el zócalo (300 11). Montar el emisor aprox. 3 m delante del receptor (ajuste parte 4.2.2). Escoger la base de tiempo del osciloscopio, por ej. 0,5 μ s/cm, es decir, de modo a tener media oscilación (100 kHz) en la pantalla.

Con la máxima distancia, regular la fase (desfasador ⑥) de tal forma que las fases de la señal de referencia y la señal de trabajo se encuentren desplazadas en 180° (fig. 9a). A continuación colocar el emisor en la proximidad del receptor y desplazar el tiempo necesario hasta que las dos señales sean de fases iguales (fig. 9b).

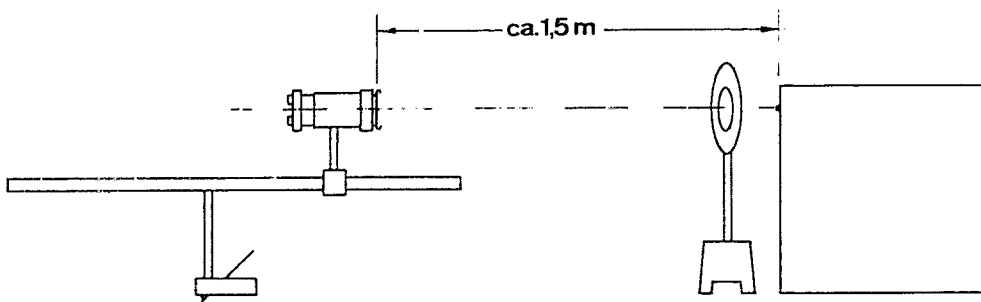


Fig. 8

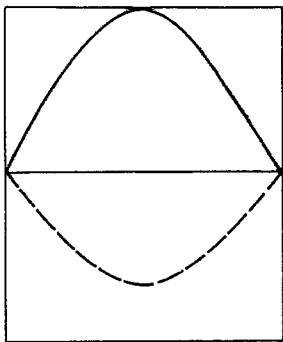


Fig. 9a

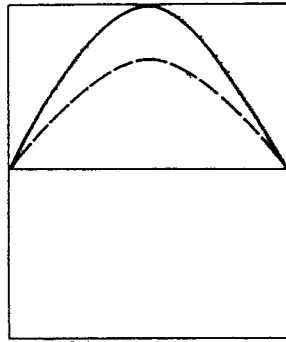


Fig. 9b

Como diferencia de recorrido resulta aprox. $2,50 \text{ m} \pm 0,03 \text{ m}$. De aquí resulta:

$$c = \lambda_M \cdot f_M = 2 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot 60 \cdot 10^6 \text{ Hz} \\ = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} \pm 1 \%$$

Este error puede reducirse todavía más si

$$\Delta s = \lambda_M \text{ (aprox. } 5 \text{ m)}$$

Pero no puede mejorarse la precisión a voluntad (véase parte 4.4).

5.4 Velocidad de la luz en el agua

Sujetar el tubo (476 35) en dos zócalos (300 11). Conectar un tubo flexible a la oliveta inferior, dejar subir el agua lentamente, llenándolo sin encerrar burbujas (es también válido para la parte 5.5.3).

Colocar el emisor en el zócalo (300 11) a unos 30 cm delante del receptor. Seleccionar en el osciloscopio la base de tiempo a $0,5 \mu\text{s}/\text{cm}$ y la amplificación del canal de trabajo a $0,1 \text{ V}$.

Provocar el impulso del osciloscopio de tal forma que la señal de trabajo corte la línea de reposo a aprox. 1 cm del borde izquierdo de la pantalla. Desplazar a continuación exactamente el emisor por el equivalente al valor $\Delta s = 1 \text{ m}$ y en este espacio que se ha creado colocar el tubo lleno de agua (476 35).

El desplazamiento que tiene lugar en el osciloscopio es de aprox. 54 mm . De aquí se deduce:

$$\Delta t = 2,7 \mu\text{s}/600$$

Para la velocidad de la luz en el agua, resulta:

$$c_w = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{1 \text{ m} \cdot 600}{2,7 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 2,22 \cdot 10^8 \text{ m/s} \pm 2 \%$$

Tomado en sentido estricto la luz atraviesa únicamente 994 mm de agua y 6 mm de vidrio (índice de refracción 1,6). Este error es, de todos modos, inferior a $0,2 \%$ y puede despreciarse.

La amplitud de la señal y óptica disminuye al introducir el tubo lleno de agua en el camino óptico (de la luz) en aprox. un 50% . Si la amplitud disminuye todavía más fuertemente, la causa puede ser los aditivos que se encuentran en el agua del grifo. En este caso hay que emplear agua destilada (es válido también para la parte 5.5.3).

Una vez terminado el experimento hay que vaciar de nuevo por completo el tubo.

5.5 Determinación del índice de refracción

En este experimento la distancia entre emisor y receptor permanece constante y solamente una parte del espacio intermedio, inicialmente lleno de aire, es reemplazado por otro medio, por ejemplo, por un cuerpo de vidrio acrílico (476 34), por una cubeta de caras paralelas (por ej. 477 03) llena de agua, gasolina o benceno, o por el tubo (467 35) de 1 m de longitud, lleno por ej. de agua. Se mide el aumento del tiempo de recorrido Δt .

Si $t_1 = \frac{d}{c}$ es la duración del recorrido de la luz en el aire o en el vacío del espesor d

y $t_2 = \frac{d}{c_M}$ la duración del recorrido de la luz en el medio del espesor d

para el aumento del tiempo de recorrido se deduce:

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

y de aquí se deduce para el índice de refracción $n = \frac{c}{c_n} = 1 + \frac{c}{d} \Delta t$

5.5.1 Determinación del índice de refracción en el cuerpo de vidrio acrílico del espesor $d = 0,05 \text{ m}$

Sujetar el cuerpo de vidrio acrílico (476 34) sobre la mesita de prismas (460 25) en el zócalo (300 11).

Escoger la base de tiempo del osciloscopio de $0,1 \mu\text{s}/\text{cm}$ y amplificar ligeramente el impulso de la señal de trabajo (en caso de que sea demasiado plana).

Colocar el cuerpo de vidrio acrílico en el camino de rayos. El desplazamiento de la señal óptica en el osciloscopio llega a aprox. $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$. De aquí se deduce:

$$\Delta t = 0,05 \mu\text{s}/600$$

$$n = 1 + \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{0,05 \text{ m}} \cdot \frac{0,05 \cdot 10^{-6} \text{ s}}{600} = 1,5 \pm 3 \%$$

5.5.2 Determinación del índice de refracción del agua, de la gasolina o del benceno

El montaje se efectúa como en el punto 5.5.1, sujetando únicamente la cubeta (477 03) en el lugar del cuerpo de vidrio acrílico sobre la mesita de prismas (460 25). La cubeta tiene una medida interior de $0,05 \text{ m}$ y el espesor doble de la pared es de $0,005 \text{ m}$, con lo que

$$d = 0,055 \text{ m}$$

Llenar la cubeta con agua y colocarla en el camino de rayos.

El desplazamiento de la señal óptica en el osciloscopio es de aprox. $4 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ (con $0,1 \mu\text{s}/\text{cm}$) de donde se deduce:

$$\Delta t = 0,04 \mu\text{s}/600$$

$$n_w = 1,36 \pm 3 \%$$

Llenar la cubeta con gasolina o benceno y colocarla en el camino de rayos.

¡Atención! El benceno es venenoso. La concentración del vapor de benceno en el lugar de trabajo tiene que ser nula. Los alumnos deben abstenerse de hacer experimentos con el mismo.

El desplazamiento de la señal de trabajo en el osciloscopio es de aprox. $5,5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$, deduciéndose de aquí:

$$\Delta t = 0,055 \mu\text{s}/600$$

$$n_B = 1,5 \pm 3 \%$$

En este experimento, sobre todo con la cubeta llena de agua, puede tenerse en cuenta la influencia de las paredes del vidrio (índice de refracción 1,6). Como índice de refracción del agua se obtiene entonces

$$n_w = 1,34 \pm 3 \%$$

5.5.3 Determinación del índice de refracción del agua en el tubo con 2 ventanas en los extremos (476 35), $d = 1$ m

Para la manipulación y el llenado del tubo véase el punto 5.4. Escoger la base de tiempo del osciloscopio de $0,1 \mu\text{s}/\text{m}$ y el impulso de la señal óptica (en caso de que sea demasiado plana) se amplifica algo.

Colocar el tubo entre el emisor y el receptor.

El desplazamiento de la señal óptica en el osciloscopio es de $68 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$, de donde se deduce:

$$\Delta t = 0,68 \mu\text{s}/600$$

$$n_w = 1,34 \pm 1 \%$$

5.6 Errores de medición (resumen)

Medición de distancias: Error ± 1 mm, es decir, con recorridos de 1 m por ej. $\pm 0,1 \%$. Este error puede despreciarse también con distancias más pequeñas, ya que en la medición del tiempo no pueden evitarse errores más grandes.

Desplazamiento de la señal de trabajo en el osciloscopio:

Error ± 1 mm, es decir, que con una base de tiempo de $0,1 \mu\text{s}/\text{cm}$ tiene lugar un error de tiempo de aprox. $\pm 0,01 \mu\text{s}/600$.

Base de tiempo del osciloscopio: En la mayoría de los casos un error de $\pm 5 \%$. Con una buena calibración (véase punto 4.3) puede alcanzarse una precisión de $\pm 0,5 \%$.

Factor de dilatación del tiempo: En la mayoría de los casos un error del 5% . Este factor puede no obstante determinarse más exactamente por medición de la frecuencia diferencial de aprox. 100 kHz , (contador digital 575 40), y de la frecuencia de modulación de 60 MHz , por breve tiempo $\pm 0,5 \%$.

Interferencias electromagnéticas entre el emisor y el receptor: Error \pm de $0,5 \%$ de la señal de trabajo bien regulada.

Nota:

Si procedente de sus experiencias pueden ofrecernos sugerencias en calidad de complementos a nuestras Instrucciones de Servicio, les rogamos no dejen de comunicárnoslas.

Informaciones para la compatibilidad electromagnética (EMC)

El montaje experimental para la determinación de la velocidad de la luz sobrepasa los valores límites de la clase A (Grupo 2 de la norma EN55011).

Se pueden presentar interferencias en los aparatos electrónicos que se encuentren en el área de influencia EMC, es decir, dentro del ambiente de experimentación. Fuera del ambiente de experimentación se pueden presentar radiointerferencias a distancias de unos 100 m. En este caso se puede exigir del operario que tome las medidas necesarias y que se responsabilice de ello.

Medidas a tomar:

- Conectar el aparato a la red Ⓢ sólo después que el montaje experimental esté completamente listo.
- Poner en funcionamiento el equipo sólo el tiempo que se requiere para llevar a cabo el experimento.

No se permite operar el equipo sin la presencia de algún docente o fuera del ambiente de experimentación (laboratorio) de la escuela o de otra institución educativa.