

P1.6.5

Interférence avec des ondes à la surface de l'eau

- P1.6.5.1
Interférence à deux faisceaux d'ondes à la surface de l'eau
- P1.6.5.2
Expérience de Lloyd avec des ondes à la surface de l'eau
- P1.6.5.3
Diffraction par une fente et un obstacle d'ondes à la surface de l'eau
- P1.6.5.4
Diffraction par des fentes multiples d'ondes à la surface de l'eau
- P1.6.5.5
Ondes stationnaires à la surface de l'eau devant une paroi de réflexion



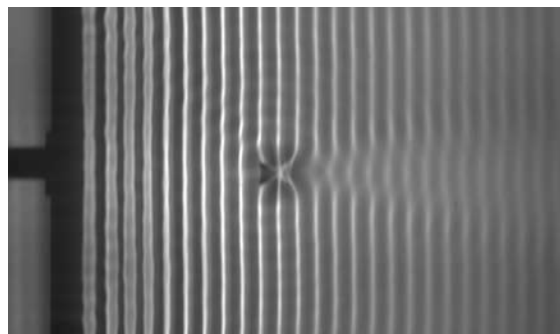
Interférence à deux faisceaux d'ondes à la surface de l'eau (P1.6.5.1)

No de cat.	Désignation	P1.6.5.1-4	P1.6.5.5
401 501	Cuve a ondes avec stroboscope	1	1
311 77	Mètre à ruban métallique, l = 2 m/78 pouces		1

Des expériences sur les interférences avec des ondes peuvent être facilement menées avec des ondes à la surface de l'eau puisque les objets de diffraction sont identifiables à l'oeil nu et que la propagation de l'onde diffractée peut elle aussi être suivie également à l'oeil nu.

Durant l'expérience P1.6.5.1, on compare l'interférence entre deux ondes circulaires cohérentes avec la diffraction d'ondes rectilignes par une fente double. Les deux dispositifs donnent les mêmes images d'interférences.

Au cours de l'expérience P1.6.5.2, on refait l'expérience de Lloyd sur la formation d'une interférence à deux faisceaux d'ondes à la surface de l'eau. Par réflexion sur un obstacle droit, une seconde source est



Diffraction par un petit obstacle d'ondes à la surface de l'eau (P1.6.5.3)

créée, cohérente par rapport à la première. Il en résulte une figure d'interférence qui correspond à celle produite avec deux excitateurs simples cohérents.

Pendant l'expérience P1.6.5.3, un front d'ondes rectiligne rencontre une fente ou des obstacles de différentes largeurs. Une fente dont la largeur est inférieure à la longueur d'onde agit comme excitateur ponctuel d'ondes circulaires. Si la largeur de la fente est nettement supérieure à la longueur d'onde, alors les ondes rectilignes la traversent pratiquement sans être perturbées. Des ondes circulaires plus faibles se propagent uniquement dans l'espace situé directement derrière l'arête. Une largeur de fente proche de la longueur d'onde occasionne un modèle de diffraction prononcé avec un maximum principal large et des maxima secondaires latéraux. Si les ondes rencontrent un obstacle, alors les deux arêtes de l'obstacle agissent comme des centres d'excitation d'ondes circulaires. Le modèle de diffraction produit dépend fortement de la largeur de l'obstacle.

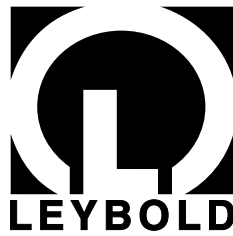
L'objet de l'expérience P1.6.5.4 est la diffraction par des fentes doubles, triples ou multiples d'ondes rectilignes à la surface de l'eau. L'écart entre les fentes est fixe. Il ressort que les maxima de diffraction sont de plus en plus prononcés au fur et à mesure que le nombre n de fentes augmente. En revanche, les angles pour lesquels on a les maxima de diffraction sont conservés.

L'expérience P1.6.5.5 montre la formation d'ondes stationnaires par réflexion d'ondes à la surface de l'eau sur une paroi parallèle à l'excitateur d'ondes. L'onde stationnaire montre pour des écarts constants des positions pour lesquelles les crêtes et les creux de l'onde émise et de l'onde réfléchie s'éliminent toujours réciproquement. Au milieu de deux noeuds de ce genre, l'oscillation est toujours maximale.

Physique

Chimie · Biologie

Technique



LEYBOLD DIDACTIC GMBH

7/97-kem-

Mode d'emploi Instrucciones de servicio

401 501

Cuve à ondes avec stroboscope motorisé Cubeta de ondas con motor-estroboscopio

La cuve à ondes avec stroboscope motorisé sert à la démonstration d'ondes à la surface de l'eau. Divers excitateurs d'ondes permettent de générer des ondes par transmission à la surface de l'eau des oscillations d'une membrane placée dans l'alimentation à la suite de variations de la pression atmosphérique. La fréquence d'excitation peut être réglée entre env. 10 Hz et 80 Hz. Il est en outre possible de générer un paquet d'ondes isolé.

Un éclairage par stroboscope est synchronisé avec le générateur de fréquence pour la membrane d'excitation en vue de la projection de l'image d'une onde stationnaire.

La possibilité de placer la cuve à ondes directement sur un rétroprojecteur permet la démonstration devant un grand public des images données par des ondes mobiles.

Exemples d'expériences:

- Fronts d'ondes circulaires et rectilignes
- Vitesse de propagation
- Réflexion
- Réfraction
- Effet Doppler
- Interférence à deux ondes
- Interférence par réfraction

1 Remarques de sécurité

Pour le transport, veiller à ce que le miroir amovible ⑩ ne tombe pas du cadre.

Une fois l'expérience réalisée, soigneusement essuyer la cuve, surtout le fond en verre, ainsi que tous les éléments qui sont entrés en contact avec l'eau.

Avant l'ajustage à l'horizontale avec l'élément de fixation en trois points ⑦,⑧ bien presser la cuve sur le cadre ① aux quatre coins.

Si la valeur de tension secteur indiquée sur la plaque signalétique (au dos de l'appareil) diffère de la valeur locale, renvoyer l'appareil à Leybold Didactic en vue de son adaptation.

La cubeta de ondas con motor-estroboscopio sirve para la demostración de ondas sobre una superficie de agua. Para generar las ondas se utilizan las oscilaciones de una membrana de un generador de frecuencia, a través de fluctuaciones de presión de aire, las cuales se transmiten a la superficie de agua por medio de varios tipos de excitadores. La frecuencia de excitación puede ser ajustada entre aprox. 10 Hz y 80 Hz. Además se puede generar un paquete de ondas individual.

Para representar la imagen de una onda estacionaria se ha sincronizado la iluminación de un estroboscopio con el generador de frecuencia para la membrana de excitación.

También es posible mostrar en grande las imágenes de ondas progresivas de la cubeta de ondas haciendo uso de un retroprojector.

Ejemplos de experimentos:

- Frentes de onda circulares y planas
- Velocidad de propagación
- Reflexión
- Refracción
- Efecto Doppler
- Interferencia entre dos rayos
- Interferencia por difracción

1 Instrucciones de seguridad

Durante el transporte tener cuidado de no dejar caer fuera del marco al espejo ⑩ que está adjunto y no está fijo.

Al término de los experimentos, secar cuidadosamente la cubeta de ondas, sobre todo el piso de vidrio de la misma, así como todos los componentes que han estado en contacto con agua.

Antes de realizar el ajuste horizontal con el apoyo de tres puntos ⑦,⑧, presionar la cubeta ③ en todas las esquinas sobre el marco ①.

En caso de que el valor rotulado en la placa de características para la tensión de conexión a la red (en el lado posterior del aparato) sea diferente al valor de la tensión local, enviar de regreso el aparato a Leybold Didactic para su reequipamiento.

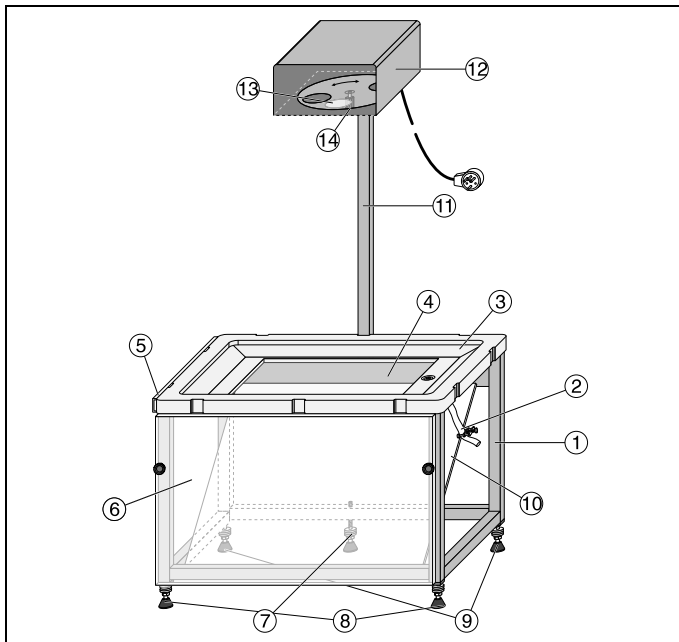


Fig. 1.1

2 Description, caractéristiques techniques, fournitures

Cuve à ondes (fig. 1.1)

- ① Cadre, 50 cm x 36 cm x 32 cm
- ② Tuyau d'écoulement avec pince pour tuyau
- ③ Cuve avec parois latérales inclinées pour la suppression de réflexions perturbatrices
- ④ Plaque en verre, 30 cm x 19 cm
- ⑤ Rail pour la fixation du support ⑩ pour excitateur d'ondes circulaires ⑩
- ⑥ Ecran d'observation en plexiglas, 50 cm x 30 cm
- ⑦ Pied avec vis de réglage pour élément de fixation en trois points
- ⑧ 2 pieds de nivelage avec vis de réglage pour élément de fixation en trois points
- ⑨ 2 pieds de stabilisation avec vis de réglage (pour la stabilisation du réglage à l'horizontale obtenu avec l'élément de fixation en trois points ⑦ et ⑧)
- ⑩ Miroir de projection, 48 cm x 33,5 cm

Stroboscope (fig. 1.1)

- ⑪ Mât avec 2 vis de fixation
- ⑫ Stroboscope avec ampoule à halogène (12 V/55 W) pour l'éclairage de la cuve à ondes et du disque stroboscopique, ainsi que moteur du stroboscope, câble à prise spéciale pour la connexion à une douille multiple ⑭
- ⑬ Disque stroboscopique orientable aussi manuellement.
- ⑭ Ouverture de sortie de la lumière avec lentille de condenseur
- ⑮ Vis moletée pour la rotation manuelle du disque stroboscopique afin d'obtenir une parfaite sortie de la lumière alors que le stroboscope est arrêté.

Alimentation (fig. 1.2)

- ⑮ Alimentation; 230 V c.a. ou 115 V c.a. (conformément à la plaque signalétique au dos de l'appareil), 50/60 Hz, cordon secteur inclus.
- ⑯ Interrupteur principal avec voyant de mise en service
- ⑰ Interrupteur du stroboscope
- ⑱ Bouton tournant pour le réglage de précision de la fréquence du stroboscope (pour l'adaptation à la fréquence d'excitation réglée avec le bouton tournant ⑲)
- ⑲ Bouton-poussoir pour l'excitation d'ondes isolées
- ⑳ Bouton tournant pour le réglage de l'amplitude de l'excitation des ondes

2 Descripción, datos técnicos y volumen de suministro

Cubeta de ondas (Fig. 1.1)

- ① Marco, 50 cm x 36 cm x 32 cm
- ② Manguera de desagüe con abrazadera de caucho
- ③ Cubeta, con paredes laterales de inclinación ascendente para suprimir reflexiones perturbadoras
- ④ Placa de vidrio, 30 cm x 19 cm
- ⑤ Raíl, para fijar el soporte ⑩ para el excitador de ondas circulares ⑩
- ⑥ Pantalla de observación de plexiglas, 50 cm x 30 cm
- ⑦ Pie con tornillos de ajuste para el apoyo de tres puntos
- ⑧ 2 pies de nivelación con tornillos de ajuste para el apoyo de tres puntos
- ⑨ 2 pies de estabilización con tornillos de ajuste (para la estabilización de la posición horizontal alcanzada con el apoyo de tres puntos ⑦ y ⑧)
- ⑩ Espejo desviador, 48 cm x 33,5 cm

Estroboscopia (Fig. 1.1)

- ⑪ Poste de soporte con 2 tornillos de sujeción
- ⑫ Estroboscopio con lámpara halógena (12V/55W) para iluminar la cubeta de ondas y el disco estroboscópico, así como el motor del estroboscopio, cable con conector especial para conectar al clavijero múltiple ⑭.
- El disco estroboscópico puede girarse manualmente.
- ⑬ Abertura de salida de luz con lente condensador
- ⑭ Tornillo moleteado para girar manualmente el disco estroboscópico, para conseguir una salida total de luz cuando el estroboscopio está desconectado.

Fuente de alimentación (Fig. 1.2)

- ⑮ Fuente de alimentación; 230 V c.a. ó 115 V c.a. (según la placa de características, en el lado posterior del aparato), 50/60 Hz, se incluye cable de conexión a la red.
- ⑯ Interruptor de la red con lámpara indicadora del servicio
- ⑰ Interruptor del estroboscopio
- ⑱ Botón giratorio para el ajuste fino de la frecuencia del estroboscopio (a ser adaptada a la frecuencia del excitador con el botón giratorio ⑲)
- ⑲ Botón de presión para la excitación individual de ondas
- ⑳ Botón giratorio para el ajuste de la amplitud de la excitación de ondas

- ① Bouton tournant pour le réglage de la fréquence de l'excitation des ondes (et fréquence du stroboscope)
- ② Tubulure de sortie d'air pour le flux d'air pulsant pour l'excitation des ondes via le tuyau ②⑧
- ③ Douille enfichable pour le cordon secteur; support pour les fusibles primaire et de rechange, valeur du fusible voir spécifications au dos du boîtier
- ④ Douille multiple pour le câble du stroboscope

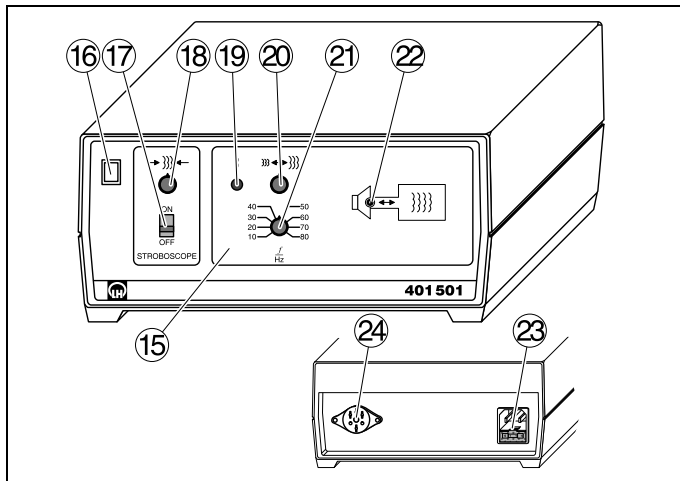


Fig. 1.2

- ① Botón giratorio para el ajuste de la frecuencia de la excitación de ondas (y la frecuencia del estroboscopio)
- ② Empalme de la salida de aire para corriente de aire pulsante para la excitación de ondas a través de la manguera ②⑧
- ③ Enchufe hembra para cable de conexión a la red; Alojamiento para el fusible primario y el de reemplazo. Véase las características de los fusibles en la parte posterior de la carcasa.
- ④ Clavijero múltiple para el cable del estroboscopio

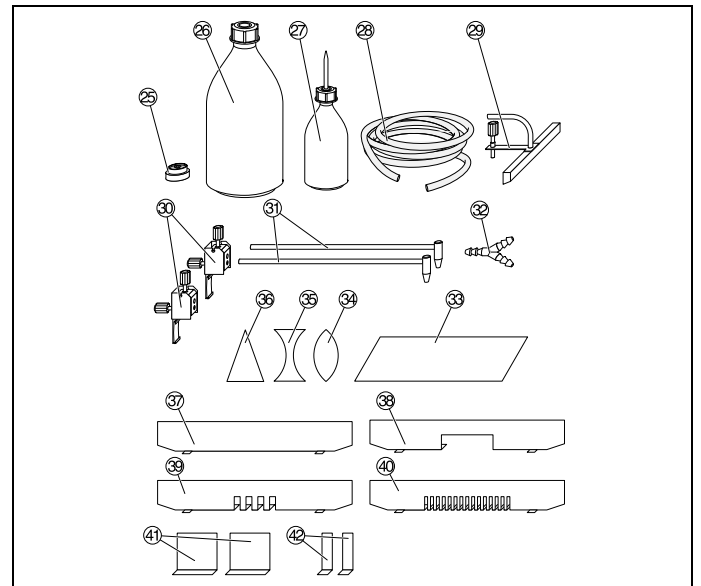


Fig. 1.3

Accessoires (fig. 1.3)

- ②⑤ Niveau à bulle d'air pour le positionnement à l'horizontale de la cuve à ondes
- ②⑥ Flacon en plastique à bouchon fileté, 1 l
- ②⑦ Flacon pour liquide vaisselle (pour réduire la tension de surface)
- ②⑧ Tuyau pour la transmission des variations de la pression atmosphérique
- ②⑨ Excitateur pour ondes rectilignes, largeur: 19 cm
- ③⑩ 2 supports pour excitateurs d'ondes circulaires, pour la fixation au rail ⑤
- ③① 2 excitateurs d'ondes circulaires
- ③② Raccord avec olive, en forme de Y; pour tuyau ②⑧ pour le raccordement de 2 excitateurs d'ondes circulaires

Corps de réfraction (fig. 1.3)

- ③③ Lame à faces parallèles en verre acrylique transparent
- ③④ Lentille biconvexe en plastique
- ③⑤ Lentille biconcave en plastique
- ③⑥ Prisme en plastique

Obstacles pour les expériences sur la réflexion et les interférences (fig. 1.3)

- ③⑦ Paroi de réflexion
- ③⑧ Obstacle à grande fente, largeur de la fente: 71 mm
- ③⑨ Obstacle à 4 fentes isolées, largeur des fentes: 7 mm, écartement des fentes: 14 mm
- ④① Obstacle à 15 fentes isolées, largeur des fentes: 4 mm, écartement des fentes: 8 mm
- ④② 2 tiroirs de recouvrement, largeur: 55 mm
- ④③ 2 tiroirs de recouvrement, largeur: 12 mm

Accesorio (Fig. 1.3)

- ②⑤ Nivel de burbuja para el alineamiento horizontal de la cubeta de ondas
- ②⑥ Botella de plástico con cierre roscado, 1 l
- ②⑦ Botella con detergente (para disminuir la tensión superficial)
- ②⑧ Manguera para transmitir las fluctuaciones de la presión de aire
- ②⑨ Excitador para las ondas planas, ancho: 19 cm
- ③⑩ 2 portadores para el excitador de ondas circulaires, para sujetar el rail ⑤
- ③① 2 excitadores de ondas circulaires
- ③② Pieza de empalme con oliva de caucho, en forma de Y; para manguera ②⑧ para la conexión de 2 excitadores de ondas circulaires.

Cuerpo de inmersión para los experimentos de refracción (Fig. 1.3)

- ③③ Placa plano paralela de vidrio acrílico transparente
- ③④ Lente biconvexa de material sintético
- ③⑤ Lente bicóncava de material sintético
- ③⑥ Prisma de material sintético

Obstáculos para los experimentos de reflexión y de interferencia (Fig. 1.3)

- ③⑦ Pared reflectora
- ③⑧ Obstáculo con ranura grande, ancho de la ranura: 71 mm
- ③⑨ Obstáculo con 4 ranuras individuales, ancho de ranura: 7 mm, distancia entre ranuras: 14 mm
- ④① Obstáculo con 15 ranuras individuales, ancho de ranura: 4 mm, distancia entre ranuras: 8 mm
- ④② 2 correderas recubridoras, ancho: 55 mm
- ④③ 2 correderas recubridoras, ancho: 12 mm

3 Utilisation

Si nécessaire, enlever les films protecteurs des corps ③...③⑥, des obstacles ③⑦...④② et de l'écran d'observation ⑥.

3.1 Montage (avant la première mise en service)

Cuve à ondes:

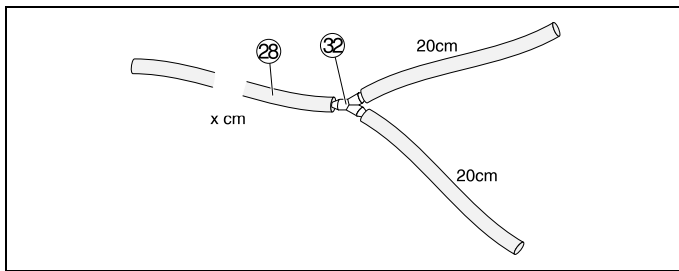
Placer le miroir de projection ⑩ entre les pieds; il ne faut pas fixer le miroir, simplement le poser!

Fixer l'écran d'observation ⑥ à l'aide des deux vis moletées sur la face avant du cadre (voir fig. 1).

Par le haut, poser la cuve à ondes ③ sur le cadre ① et y appuyer dessus aux quatre coins. (En cas d'utilisation d'un rétroprojecteur, mettre la cuve à ondes directement sur la surface de projection.)

Bien visser le mât ⑪ à l'arrière du cadre.

Visser le stroboscope ⑫ au mât.



Tuyau de transmission:

Préparer le tuyau de transmission ⑳: pour cela, conformément à la fig. 2, couper 2 morceaux de 20 cm de long. (Pour la connexion de 2 excitateurs d'ondes circulaires ③⑩ par le raccord ③②.)

3.2 Préparation du dispositif expérimental

Installer la cuve à ondes de façon à ce qu'elle soit à l'abri des vibrations.

IMPORTANT: Pour les expériences sur la réfraction par les corps, il est nécessaire que la cuve à ondes soit bien à l'horizontale:

Poser le niveau à bulle ⑤ sur la plaque en verre ④ et mettre la cuve à ondes bien à l'horizontale à l'aide des deux pieds de nivelage ⑧. Le pied de l'élément de fixation en trois points ⑦ reste fixe. Ne pas toucher les deux pieds de stabilisation ⑨ pendant l'orientation de la table; ce n'est qu'à la fin qu'il faudra les sortir prudemment en les faisant tourner jusqu'à ce qu'ils touchent la table sans pour autant modifier la position horizontale de la cuve.

Fermer le tuyau d'écoulement ② avec la pince pour tuyau.

Mettre de l'eau dans la cuve.

Niveau d'eau:

- pour les expériences sur la réfraction: env. 1 mm au-dessus des corps
- pour les autres expériences: env. 5 mm

Réduire la tension de surface de l'eau avec une goutte de liquide vaisselle afin de minimiser toute réflexion gênante.

Enficher le tuyau de transmission ⑳ sur la tubulure de sortie d'air ⑫.

Raccorder le câble du stroboscope ⑫ à la douille ⑫④. Mettre l'alimentation en route avec l'interrupteur principal ⑫⑥.

Si besoin est, tourner le disque stroboscopique avec la vis moletée ⑫④ pour qu'il soit hors de la marche des rayons.

3 Operación

En caso necesario retirar las láminas de protección de los cuerpos de inmersión ③...③⑥, obstáculos ③⑦...④② y la pantalla de observación ⑥.

3.1 Montaje (antes de la primera puesta en servicio)

Cubeta de ondas:

Colocar el espejo de proyección ⑩ entre los pies; ¡el espejo no deberá ser fijado sino simplemente colocarlo allí!

Fijar la pantalla de observación ⑥ con ayuda de ambos tornillos moleteados en el lado anterior del marco (véase la Fig. 1).

Colocar la cubeta de ondas ③ desde arriba en el marco ① y presionarla en todas las 4 esquinas (si emplea un retroproyector colocar la cubeta de ondas directamente sobre la superficie de proyección).

Atornillar fijamente el poste de soporte ⑪ al lado posterior del marco.

Atornillar fijamente el estroboscopio ⑫ al poste de soporte.

Fig. 2

Manguera de transmisión:

Preparar la manguera de transmisión ⑳: para tal fin, cortar 2 piezas de 20 cm de longitud según la Fig. 2 (para la conexión de 2 excitadores de ondas circulares ③⑩ a través de la pieza de empalme ③②).

3.2 Preparación del arreglo experimental

Colar la cubeta de ondas en un lugar libre de sacudidas.

IMPORTANTE: En los experimentos de refracción en los cuerpos de inmersión es necesario realizar una cuidadosa alineación horizontal de la cubeta de ondas:

Colocar el nivel de burbuja ⑤ sobre la placa de vidrio ④ y alinear horizontalmente la cubeta de ondas con ayuda de ambos pies de nivelación ⑧. Allí, el pie para el apoyo de tres puntos ⑦ debe permanecer fijo. Ambos pies de estabilización ⑨ no deben tocar la mesa durante la alineación; finalmente, girarlos cuidadosamente hasta que toquen la placa de la mesa, sin dañar la alineación horizontal de la cubeta.

Cerrar la manguera de desagüe ② con la abrazadera de caucho.

Llenar la cubeta con agua.

Nivel del agua:

- en los experimentos de refracción: aprox. 1 mm sobre los cuerpos de inmersión
- en los experimentos restantes: aprox. 5 mm

Reducir la tensión superficial del agua con una gota de detergente para minimizar las reflexiones perturbadoras.

Conectar la manguera de transmisión ⑳ al empalme de la salida de aire ⑫.

Conectar el cable del estroboscopio ⑫ al clavijero ⑫④. Encender la fuente de alimentación a través del interruptor de red ⑫⑥.

En caso necesario girar el disco estroboscópico mediante el tornillo moletado ⑫④ fuera del recorrido del rayo.

3.3 Excitation des ondes

Important:

Il faut à chaque fois consciencieusement choisir la profondeur d'immersion de l'excitateur (ou des excitateurs) dans la surface de l'eau, la fréquence et l'amplitude d'excitation des ondes ainsi que la profondeur d'eau. Le changement de ses paramètres permet souvent d'améliorer la représentation des phénomènes à observer. En cas de changement de la fréquence d'excitation, il se peut qu'il soit nécessaire de procéder à un ajustage de l'amplitude. La variation de l'amplitude permet la mise au point de diverses zones de l'image d'onde (aspect important pour des expériences sur la diffraction et sur la réflexion).

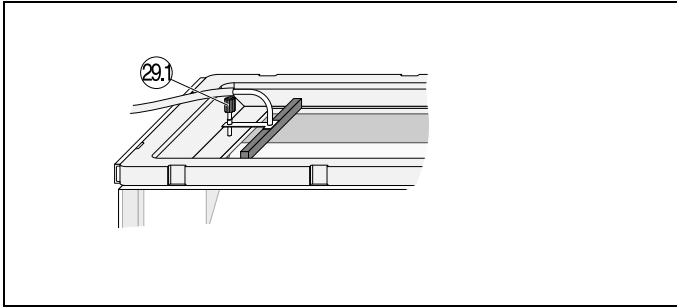


Fig. 3

3.3.1 Préparation: Ondes rectilignes

Enficher le tuyau de transmission (28) sur le raccord de l'excitateur pour ondes rectilignes (29) et mettre celui-ci dans la cuve à ondes. Régler la vis (29.1) de façon à ce que le bord inférieur de l'excitateur touche à peine la surface de l'eau (voir fig. 3).

Si les fronts d'ondes semblent perturbés, arroser le côté du front d'un peu de liquide vaisselle.

3.3.2 Préparation: Ondes circulaires

Caler le support (30) sur le rail (5) et fixer l'excitateur d'ondes circulaires (31) avec la vis moletée (30.1). Pour finir, enficher le tuyau de transmission (28).

Pour une excitation double, utiliser le raccord en forme de Y et les deux petits morceaux de tuyau (env. 20 cm) (voir fig. 2).

Régler la vis (30.2) de telle sorte que le bord inférieur de l'excitateur touche à peine la surface de l'eau (voir fig. 3).

3.3.3 Génération des ondes

Sélectionner l'amplitude et la fréquence par les boutons tournants (20) et (21). Eventuellement régler l'excitateur d'ondes rectilignes avec la vis (29.1), ou l'excitateur d'ondes circulaires avec la vis (30.2) jusqu'à ce que l'image obtenue de l'onde soit bien nette.

Remarque: Dans une plage de fréquences basses, les ondes sont faciles à observer aussi bien avec que sans stroboscope. Pour des fréquences d'excitation assez élevées, il est recommandé pour l'observation de se servir du stroboscope.

Pour la génération d'un paquet d'ondes court (onde isolée), réduire l'amplitude avec le bouton de réglage (19) et activer le bouton-poussoir pour l'excitation d'ondes isolées (19).

3.4 Fonctionnement du stroboscope

Mettre le stroboscope en route avec l'interrupteur (17). Après un bref temps de démarrage (quelques secondes), il se forme sur l'écran d'observation l'image d'une onde stationnaire ou à déplacement lent. A l'aide du bouton tournant (18), éventuellement procéder à l'ajustage de précision de la

3.3 Excitación de las ondas

Importante:

Cada uno de los siguientes parámetros deben ser seleccionados cuidadosamente: profundidad de inmersión del excitador en la superficie del agua, frecuencia y amplitud de la excitación de ondas, así como la profundidad del agua. Frecuentemente mediante la variación de las mismas se puede mejorar la representación de los fenómenos que se observan. Cuando se varía la frecuencia de excitación tal vez sea necesario modificar nuevamente la amplitud. Al variar la amplitud es posible ajustar de forma nítida diferentes zonas de formación de ondas (muy importante en los experimentos de difracción y reflexión).

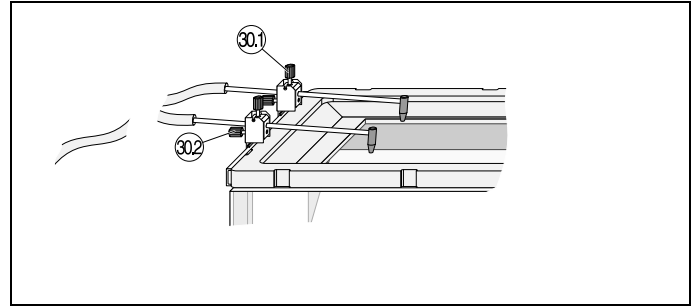


Fig. 4

3.3.1 Preparación: ondas planas

Empalmar la manguera de transmisión (28) a la conexión del excitador para ondas planas (29) y colocarlo en la cubeta de ondas. Ajustar el tornillo (29.1) de tal manera que el borde inferior del excitador toque apenas la superficie de agua (véase la Fig. 3).

Si los frentes de onda muestran perturbaciones, humedecer el lado frontal del excitador con un poco de detergente.

3.3.2 Preparación: ondas circulares

Aprisionar el portador (30) al rail (5) y fijar el excitador de ondas circulares (31) con el tornillo moletado (30.1). Finalmente, empalmar la manguera de transmisión (28).

Para una excitación doble, emplear la pieza de empalme en forma de "Y" y ambas piezas de caucho cortas (aprox. 20 cm) (véase la Fig. 2).

Ajuste el tornillo (30.2) de tal manera que el borde inferior del excitador toque apenas la superficie de agua (véase la Fig. 3).

3.3.3 Generación de ondas

Seleccionar la amplitud y la frecuencia mediante los botones giratorios (20) y (21). En caso dado, ajustar el excitador con el tornillo (29.1) para las ondas planas, o con el tornillo (30.2) para las ondas circulares, hasta que se nítida la imagen de las ondas.

Nota: las ondas pueden ser observadas muy bien en el rango de frecuencia inferior, con o sin el estroboscopio. Se recomienda emplear el estroboscopio para el caso de más altas frecuencias de excitación.

Para generar un paquete de ondas corto (ondas individuales), disminuir la amplitud con el botón de ajuste (19) y pulsar el botón de presión para la excitación de ondas individuales (19).

3.4 Operación del estroboscopio

Encender el estroboscopio con el interruptor (17). Luego de un corto tiempo de puesta en marcha (algunos segundos) sobre la pantalla de observación se forma una imagen de onda estacionaria o la de una onda progresiva lenta. En caso necesario efectuar el ajuste fino de la sincronización de la

synchronisation de la fréquence de l'excitateur et de celle du stroboscope.

Une fois le stroboscope hors circuit, mettre si nécessaire le disque stroboscopique hors de la marche des rayons à l'aide de la vis moletée ⑭.

3.5 Détermination de la longueur d'onde

Pour la détermination de la valeur effective de la longueur d'onde λ , il faut tenir compte de l'échelle de représentation $\beta' \approx 1,65$ qui apparaît sur l'écran par la projection des ondes de surface. C'est à partir de la longueur d'onde λ' mesurée sur l'écran que l'on obtient la longueur d'onde λ effective sous forme de $\lambda = \lambda'/\beta'$.

L'échelle de représentation doit être définie pour la cuve à ondes utilisée. Il faut comparer une taille y spécifiée de l'objet sur la plaque en verre avec la taille y' de l'image sur l'écran ($\beta' = y'/y$).

3.6 Mesures à prendre après l'expérimentation

Laisser s'écouler l'eau de la cuve par le biais du tuyau ②.

Bien essuyer la cuve, tout particulièrement le fond en verre ④ ainsi que tous les éléments qui sont entrés en contact avec l'eau afin d'éviter les dépôts de calcaire.

Lors du transport, veiller à ce que le miroir ⑩ amovible ne tombe pas du cadre.

4 Changement de fusible

Valeur du fusible voir spécifications au dos du boîtier

Enlever la cartouche ① (avec la douille pour le fusible primaire ②) et le fusible de réserve ③).

Remplacer le fusible défectueux ② par un fusible neuf ③ dont on aura préalablement vérifié l'ampérage.

Mettre le fusible de réserve ③ et réinsérer la douille ①.

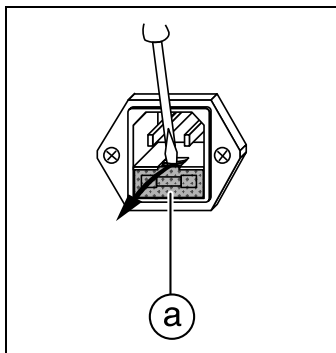


Fig. 5.1

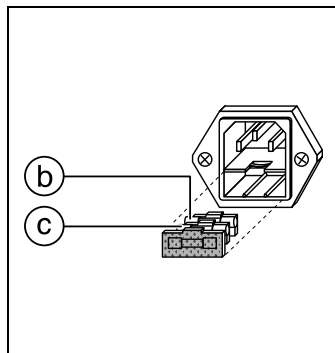


Fig. 5.2

frecuencia del excitador y del estroboscopio con el botón giratorio ⑱.

Después de desconectar el estroboscopio, girar el disco estroboscópico fuera del rayo mediante el tornillo moletado ⑭.

3.5 Determinación de longitudes de onda

Para determinar el tamaño real de la longitud de onda λ hay que considerar la escala de la imagen $\beta' \approx 1,65$ que surge de la proyección de las ondas superficiales sobre la pantalla de observación. De la longitud de onda λ' medida sobre la pantalla se obtiene la longitud de onda real λ por medio de $\lambda = \lambda'/\beta'$.

La escala de la imagen debe ser determinada para la cubeta de ondas que se está utilizando. Allí se debe comparar el tamaño de un objeto dado " y " sobre la placa de vidrio con el tamaño de la imagen obtenido sobre la pantalla " y' " ($\beta' = y'/y$).

3.6 Medidas a tomar luego de realizar los experimentos

Evacuar el agua de la cubeta mediante la manguera ②.

Secar cuidadosamente la cubeta, en particular el piso de vidrio ④, así como todas los componentes que han estado en contacto con agua para evitar dejar restos conteniendo cal.

Durante el transporte tener cuidado de no dejar caer fuera del marco al espejo ⑩ que está adjunto y no está fijo.

4 Reemplazo de los fusibles

Véase las características de los fusibles en la parte posterior de la carcasa.

Desalojar el inserto ① (con el portafusibles para el fusible primario ②) y fusible de reserva ③).

Reemplazar el fusible dañado ② por el nuevo y observar que los valores de los fusibles sean los correctos ③.

Insertar el fusible de reserva ③ y alojar nuevamente el inserto ①.

Excitation d'ondes à la surface de l'eau circulaires et rectilignes

Objectifs expérimentaux

- Excitation d'ondes à la surface de l'eau circulaires avec l'excitateur d'ondes circulaires
- Excitation d'ondes à la surface de l'eau rectilignes avec l'excitateur d'ondes rectilignes
- Observation des mouvements de l'eau dans une onde et comparaison avec la propagation des ondes
- Mesure de la longueur d'onde λ d'une onde à la surface de l'eau pour différentes fréquences d'excitation f et calcul de la vitesse d'ondes v
- Mesure de la vitesse de propagation v_{gr} d'un paquet d'ondes

Principes de base

Les relations générales valables pour les ondes peuvent être démontrées aisément dans le cas des ondes à la surface de l'eau, puisque celles-ci sont observables à l'œil nu et quasiment bi-dimensionnelles. Les termes de base concernant la propagation des ondes comme front d'ondes, direction de propagation, paquet d'ondes, énergie de transport, vitesse des ondes, vitesse

de propagation, ondes rectilignes (ondes planes), et ondes circulaires peuvent ainsi être introduits de manière pratique.

Les ondes à la surface de l'eau sont produites dans une cuve à ondes remplie d'eau, dont le fond est composé d'une plaque en verre. Les vibrations d'une membrane dans l'appareil d'alimentation sont transmises à la surface de l'eau par changements de pression atmosphérique, au moyen d'excitateurs d'ondes.

Si l'on éclaire la cuve à ondes avec une lampe ponctuelle, les crêtes d'ondes qui se comportent comme des lentilles convergentes produisent des lignes claires sur l'écran, les creux d'ondes qui se comportent comme des lentilles divergentes produisent des lignes sombres. Un éclairage stroboscopique est synchronisé avec le générateur de fréquence de la membrane d'excitation pour la représentation d'une image fixe.

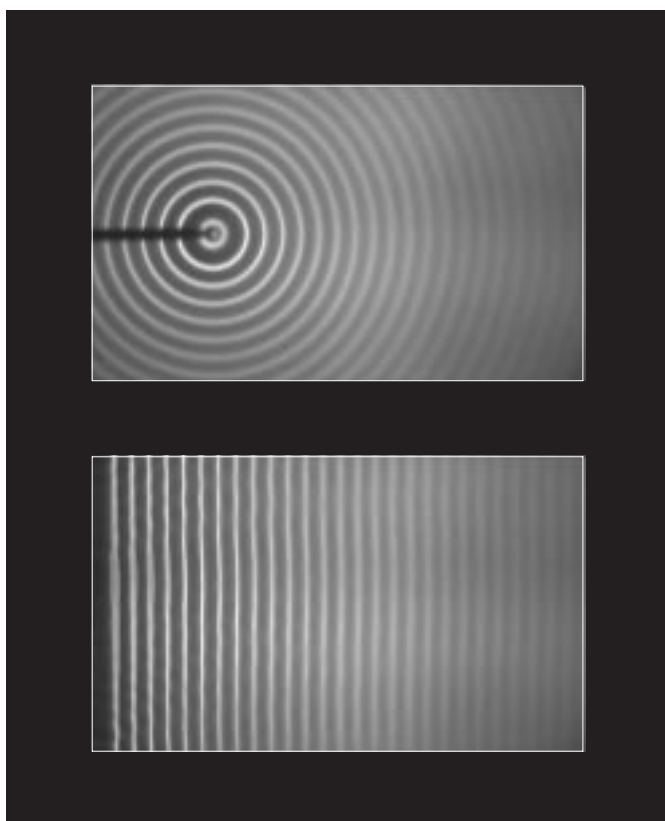


Fig. 1 Propagation des ondes à la surface de l'eau (photos)
En haut: ondes circulaires
En bas: ondes rectilignes

Matériel

- 1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501
- 1 chronomètre par ex 313 031
- 1 règle par ex 311 77

en complément:

Liquide vaisselle, boules de polystyrène (diam. 1 mm env.)
ou copeaux de papier

Montage

Le montage expérimental est représenté en fig. 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se référer au mode d'emploi de la cuve à ondes.

Réalisation

a) Production d'ondes circulaires :

- relier un exciteur d'ondes circulaires, voir fig. 3.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton **(e)** et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- éventuellement faire varier la profondeur d'immersion à l'aide de la vis de réglage **(h1)**.
- brancher le stroboscope avec l'interrupteur **(a)** pour observer les ondes stationnaires. Après un bref temps de démarrage, éventuellement refaire le réglage fin de la synchronisation de la fréquence de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton **(b)** jusqu'à obtention d'une image d'onde stationnaire.
- régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz et observer les images d'ondes. Refaire le réglage de la synchronisation et de l'amplitude si nécessaire.

b) Production d'ondes rectilignes :

- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes selon la fig. 4
- régler la fréquence à 20 Hz et augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes)
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à onde soit totalement éclairée.
- brancher le stroboscope pour observer les ondes stationnaires. Après un bref temps de démarrage, éventuellement refaire le réglage fin de la synchronisation de la fréquence de l'excitateur et du stroboscope, jusqu'à obtention d'une image d'ondes stationnaires.
- régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz et observer les images d'ondes. Refaire le réglage de la synchronisation et de l'amplitude si nécessaire.

c) Observation du mouvement de l'eau dans une onde et comparaison avec la propagation des ondes :

- débrancher le stroboscope, sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons si nécessaire.
- pour différentes fréquences d'excitation; introduire quelques boules de polystyrène ou copeaux de papier, puis observer leur position et la comparer à la propagation des ondes.

d) Mesure de la longueur d'onde λ pour différentes fréquences d'excitation f et calcul de la vitesse d'ondes v :

- brancher le stroboscope et produire une image d'ondes fixe par synchronisation.
- mesurer l'écart entre deux fronts d'ondes sur l'écran **(g)**. Tenir compte de l'échelle d'affichage pour déterminer la longueur d'onde réelle (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz et mesurer les longueurs d'onde comme indiqué en haut.
- calculer les vitesses d'ondes ($v = \lambda \cdot f$) correspondantes à la longueur d'onde mesurée et à la fréquence choisie.

e) Mesure de la vitesse de propagation v_{gr} d'un paquet d'ondes:

- pour mesurer la vitesse de propagation v_{gr} , placer un tiroir de recouvrement, en tant que marquage, sur la plaque de verre à 20 cm de l'excitateur.
- si nécessaire, sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, tourner le bouton d'amplitude **(d)** entièrement vers la gauche. Veiller à ce que l'excitateur d'ondes soit en contact avec l'eau sur toute sa longueur et que les fronts d'ondes produits soient visibles sur le marquage.
- pour l'excitation d'une onde unique **(c)**, activer simultanément le chronomètre et le bouton.
- mesurer le temps t que met le paquet d'ondes pour parcourir la distance s . Calculer la vitesse de propagation.

Exemple de mesure et exploitation

Deux photographies avec exemples de mesure sont représentées en Fig. 1.

Tableau1: longueur d'onde λ et vitesse d'onde v d'ondes à la surface de l'eau en fonction de la fréquence d'excitation f

f Hz	λ cm	v cm · s ⁻¹
10	2,1	21
20	1,1	22
30	0,8	24
40	0,6	24
50	0,4	20
60	0,4	24
70	0,3	21
80	0,3	24

Tableau2: vitesse de propagation d'un paquet d'ondes

s cm	t s	v_{gr} cm · s ⁻¹
20	1	20

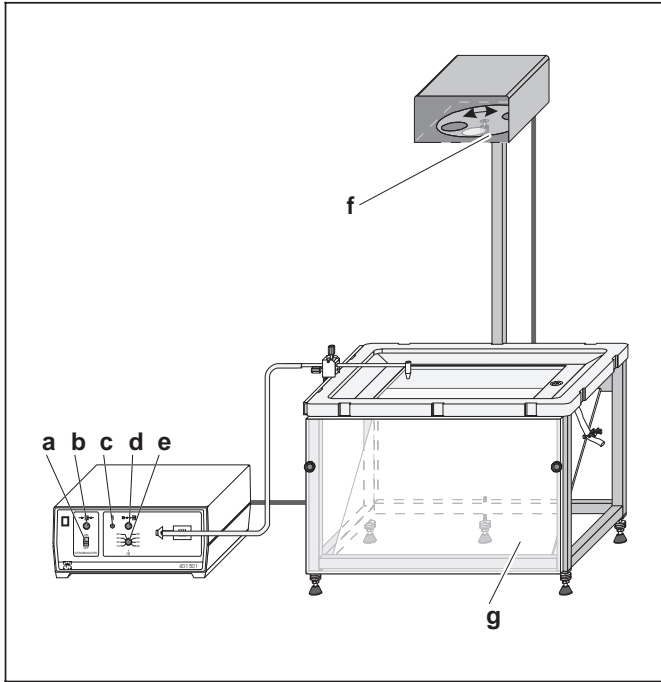


Fig. 2 Montage expérimental (pour l'excitation d'ondes circulaires)
a interrupteur du stroboscope
b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
g écran d'observation

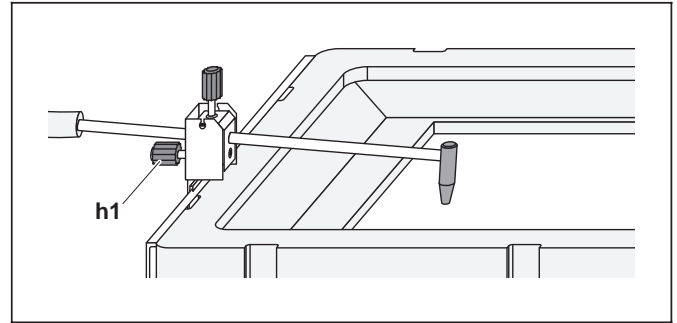


Fig. 3 Raccord d'un excitateur d'ondes circulaires
h1 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

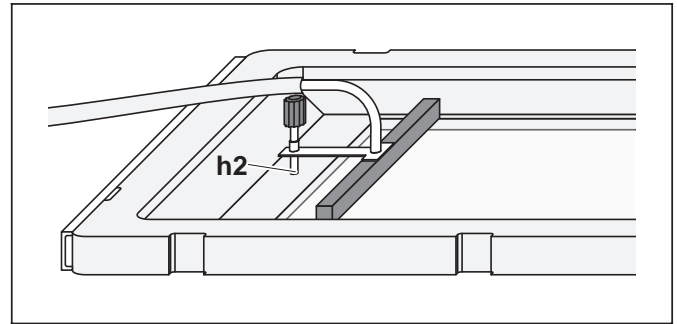


Fig. 4 Raccord d'un excitateur d'ondes rectilignes
h2 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Résultats

Les ondes générées par un excitateur ponctuel se propagent de manière radiale avec les fronts d'ondes circulaires.

Les ondes générées par un excitateur rectiligne se propagent de manière rectiligne avec les fronts d'onde rectilignes, perpendiculaires à la direction de propagation.

L'amortissement entraîne une diminution continue de l'amplitude. Le contraste de l'image d'onde diminue lorsque la distance à l'excitateur augmente.

La propagation d'onde n'est pas un phénomène où de l'eau est transportée, mais est soumise à des oscillations. C'est l'énergie d'oscillation qui est transportée.

Pour des fréquences comprises entre 10 et 80 Hz, la longueur d'onde diminue lorsque la fréquence augmente.

La vitesse de propagation v_{gr} d'un paquet d'ondes est conforme à la vitesse d'onde calculée à partir de la fréquence et de la longueur d'onde, selon la précision des mesures.

Information complémentaire

Pour les ondes à la surface de l'eau, la force de répulsion agissant sur une particule d'eau en oscillation (meilleur pouvoir rotatif) est déterminée par l'accélération de la pesanteur et par la tension superficielle. La vitesse de phase v (ou vitesse d'onde) dépend de la longueur d'onde λ :

$$v = \sqrt{g \cdot \frac{\lambda}{2\pi} + \frac{\sigma}{\rho} \cdot \frac{2\pi}{\lambda}} \tag{I}.$$

(g : accélération de la pesanteur, σ : tension superficielle, ρ : densité)

Pour $\lambda > 1,7$ cm, l'accélération de la pesanteur est prépondérante, on parle d'ondes de gravité. La vitesse d'onde augmente avec la longueur d'onde. Pour $\lambda < 1,7$ cm, la tension superficielle est prépondérante, on parle d'ondes de capillarité. La vitesse d'onde diminue lorsque la longueur d'onde augmente.

En raison de la dispersion décrite, la vitesse de phase v et la vitesse de propagation v_{gr} sont différentes. La dispersion du domaine étudié ($\lambda = 1,7$ cm) est toutefois si faible, que l'on peut considérer que la vitesse de phase et la vitesse de propagation sont égales.

L'équation (I) ne donne des résultats exacts que pour une profondeur d'eau suffisante. Dans de l'eau peu profonde de profondeur h , la vitesse d'onde des ondes de gravité est donnée par la relation

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi} \cdot \tanh\left(\frac{2\pi h}{\lambda}\right)} \tag{II}.$$

Principe d'Huygens appliqué aux ondes à la surface de l'eau

Objectifs expérimentaux

- observation de la propagation des ondes à la surface de l'eau derrière une arête (changement de la direction de propagation)
- observation de la propagation des ondes à la surface de l'eau derrière une fente étroite (apparition d'ondes circulaires)
- observation de la propagation des ondes à la surface de l'eau derrière une grille (superposition d'ondes circulaires pour former une onde rectiligne)

Principes de base

Les considérations suivantes sur la propagation des ondes remontent à *Christiaan Huygens*.

Premièrement: chaque point d'un front d'ondes peut être considéré comme le point de départ d'une onde élémentaire, qui se propage avec la même vitesse et longueur d'onde que l'onde initiale.

Deuxièmement: l'enveloppe de toutes les ondes élémentaires est le nouveau front d'onde.

Pour vérifier le principe d'Huygens on produit des fronts d'onde rectilignes dans la cuve à onde remplie d'eau, ces fronts d'onde rencontrent successivement un obstacle droit avec une arête, une fente étroite et une grille. Derrière l'arête on observe un changement de la direction de propagation, derrière la fente étroite il y a apparition d'ondes circulaires, et derrière la grille, les ondes circulaires se superposent et forment une onde rectiligne.

La combinaison du principe d'Huygens avec le principe d'interférence, remontant à A. Fresnel, destinée à mettre en évidence le diffraction des ondes à la surface de l'eau lorsqu'elles rencontrent une fente ou un réseau, est expliquée par les essais „interférence avec les ondes à la surface de l'eau".

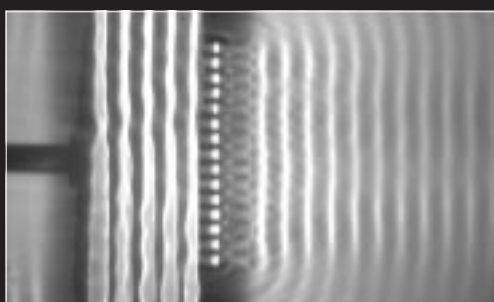
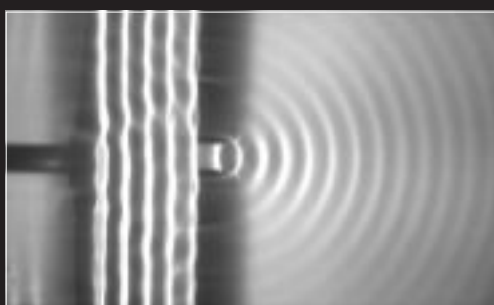
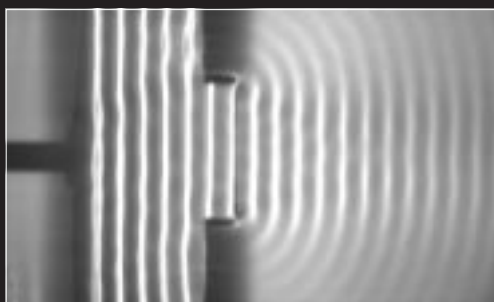


Fig. 1 Principe d'Huygens appliqué aux ondes à la surface de l'eau (photos)
En haut: diffraction d'ondes rectilignes sur des arêtes
Au milieu: apparition d'ondes circulaires derrière une fente étroite
En bas: superposition d'ondes circulaires pour former une onde rectiligne

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401501

en complément:

Liquide vaisselle

Montage

Le montage expérimental est représenté en Fig. 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se référer à le mode d'emploi de la cuve à ondes.
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes; voir Fig.3.

Réalisation**a) Propagation d'ondes derrière une arête:**

- placer l'obstacle à grande fente (voir Fig. 4 en haut) au milieu de la cuve à ondes, directement sous la lampe. Placer l'excitateur d'ondes à environ 10 cm, parallèlement à l'obstacle.
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (**f**), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à onde soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton (**e**) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (**d**), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- éventuellement faire varier la profondeur d'immersion à l'aide de la vis de réglage (**h1**).
- observer l'image d'onde derrière l'obstacle.
- brancher le stroboscope avec l'interrupteur (**a**) pour observer les ondes stationnaires. Après un temps de démarrage, éventuellement refaire le réglage fin de la synchronisation de la fréquence de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton (**b**) jusqu'à obtention d'une image d'ondes stationnaires.

b) Propagation des ondes derrière une fente étroite:

- Placer l'obstacle à grande fente au milieu de la cuve à ondes, directement sous la lampe. Réduire la grande fente avec les deux tiroirs de recouvrement de manière à obtenir un écartement inférieur à la longueur d'onde (voir Fig. 4 au milieu). Placer l'excitateur d'ondes à environ 10 cm, parallèlement à l'obstacle.
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz et augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion si nécessaire.

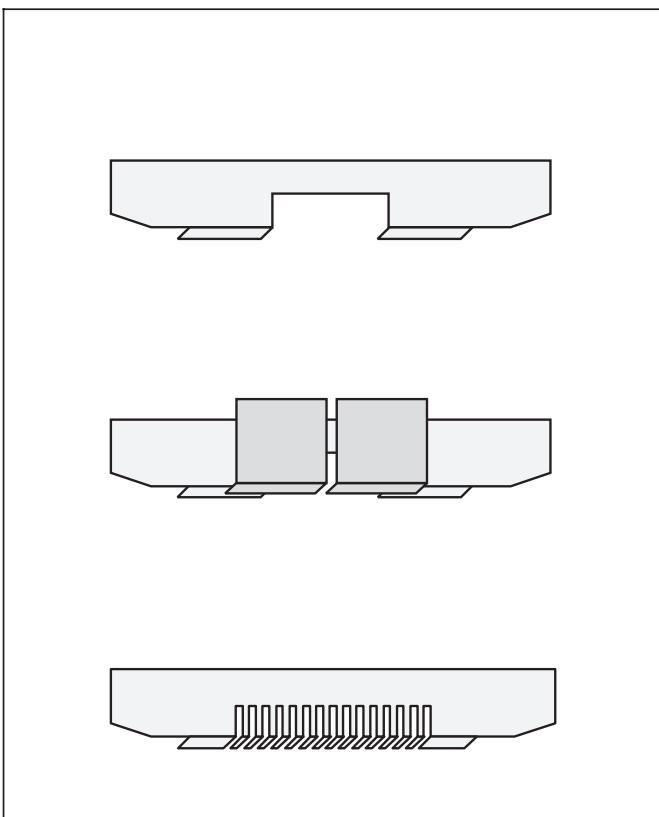
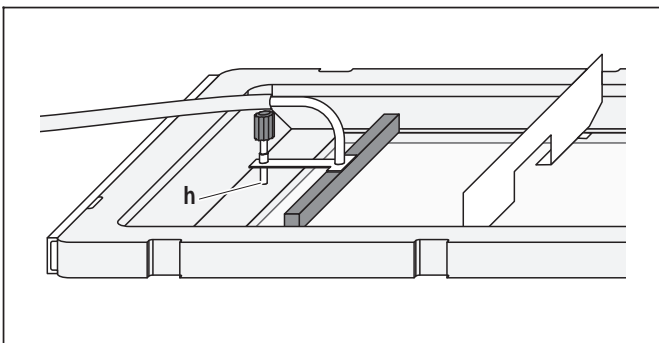
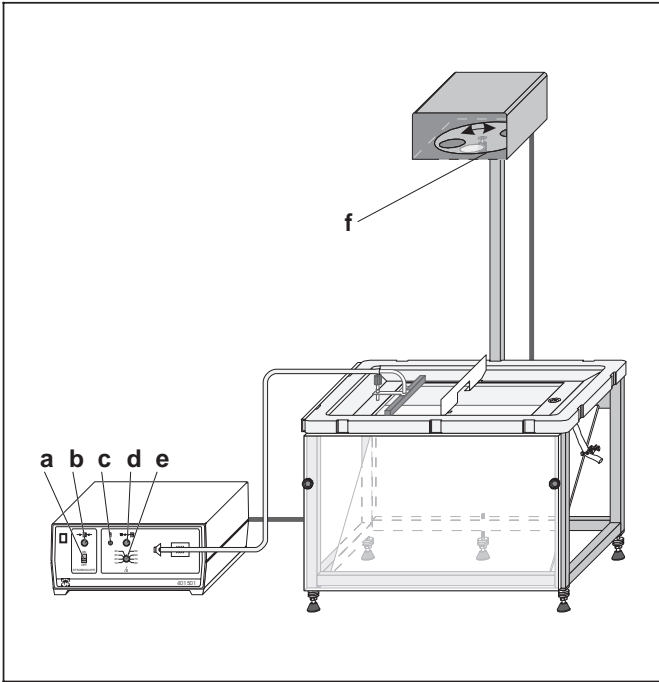
- observer l'image d'ondes derrière l'obstacle.
- changer la fréquence, régler l'amplitude si nécessaire et observer l'image d'onde derrière l'obstacle.
- utiliser un stroboscope pour l'observation d'ondes stationnaires.

c) Propagation d'ondes derrière une grille:

- placer l'obstacle à 15 fentes uniques au milieu de la cuve à ondes, directement sous la lampe (voir Fig.4 en bas). Placer l'excitateur d'ondes à environ 10 cm, parallèlement à l'obstacle.
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à onde soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz et augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes)
- changer la profondeur d'immersion si nécessaire.
- observer l'image d'ondes derrière l'obstacle.
- changer la fréquence, régler l'amplitude si nécessaire et observer l'image d'ondes derrière l'obstacle.
- utiliser un stroboscope pour l'observation d'ondes stationnaires.

d) Propagation d'un paquet d'ondes derrière les obstacles:

- placer un des obstacles comme décrit plus haut.
- si nécessaire, sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, tourner le bouton d'amplitude entièrement vers la gauche. Veiller à ce que l'excitateur d'ondes soit en contact avec l'eau sur toute sa longueur.
- actionner le bouton d'excitation d'onde unique (**c**).
- observer le paquet d'ondes derrière l'obstacle.



Exemple de mesure

La figure 1 représente 3 photographies d'exemples de mesure.

Résultats

a) Propagation d'ondes sur une arête:

Les ondes ne se propagent pas uniquement dans la direction initiale derrière l'obstacle. Elles font un arc et s'introduisent dans les „ombres“ des obstacles, comme des ondes circulaires (diffraction des ondes sur une arête).

Il semble que les arêtes soient des excitateurs ponctuels pour les ondes circulaires.

Les ondes sont nettement plus faibles dans les zones d'ombre que dans la région de propagation rectiligne. Les ondes longues présentent une diffraction aux arêtes supérieure à celle des ondes courtes.

b) Propagation d'ondes derrière une fente étroite:

Les ondes ne se propagent pas uniquement dans la direction initiale derrière l'obstacle. Elles se propagent sous forme d'ondes semi-circulaires dans toutes les directions (diffraction des ondes sur une fente).

Plus la fente est étroite par rapport à la longueur d'onde, plus la diffraction est visible.

Il semble que la fente soit un excitateur ponctuel pour les ondes circulaires.

Etant donné qu'il est possible de placer la fente à tout endroit de l'onde se déplaçant vers l'obstacle, on considère chaque point du porteur d'onde comme point de départ d'une nouvelle onde (onde élémentaire), selon le premier principe d'Huygens.

c) Propagation d'une onde derrière une grille:

Chaque fente de la grille produit une onde circulaire. Elles peuvent être considérées comme des ondes élémentaires. Les ondes circulaires se pénètrent et se superposent mutuellement. De nouveaux fronts d'ondes apparaissent. Selon le deuxième principe d'Huygens, on peut considérer le nouveau front d'onde comme l'enveloppe des ondes élémentaires.

Fig. 2 Montage expérimental pour le principe d'Huygens

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)

Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes

- h vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Fig. 4 Obstacles (vu du côté de l'excitateur)

- En haut: grande fente
- Au milieu: petite fente
- En bas: grille

Propagation des ondes à la surface de l'eau dans deux profondeurs d'eau diffé- rentes

Objectifs expérimentaux

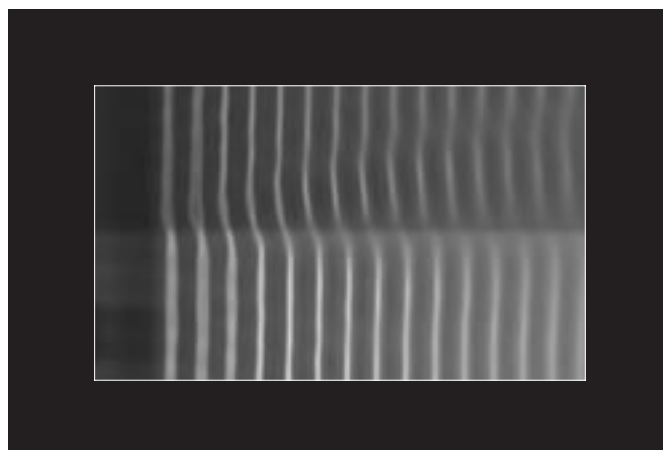
- Observation de la propagation des ondes à la surface de l'eau dans deux profondeurs différentes
- Comparaison des longueurs d'ondes et des vitesses des ondes à la surface de l'eau, en fonction de la fréquence, pour deux profondeurs d'eau différentes

Principes de base

Pour l'observation de la propagation des ondes à la surface de l'eau dans deux profondeurs différentes, on place une plaque à faces planes et parallèles dans la cuve à ondes remplie d'eau, dans le sens de la longueur. Des régions à deux profondeurs différentes apparaissent, dans lesquelles il est possible de déterminer la vitesse des ondes à la surface de l'eau rectilignes.

Tant que la profondeur d'eau ne dépasse pas la longueur d'onde, la vitesse d'onde augmente avec la profondeur. Ceci est d'autant plus le cas, si la profondeur est faible. Les régions avec des profondeurs différentes représentent ainsi des milieux de „densité optique“ différente, si l'on compare avec des expériences d'optique. Le milieu de densité optiquement supérieure est représenté par la région de profondeur inférieure, le milieu de densité optiquement inférieure est représenté par la région de profondeur supérieure.

Fig. 1 Propagation des ondes à la surface de l'eau dans deux profondeurs d'eau différentes (photo)



Matériel

- 1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401501
 - 1 règle par ex 31177
- en complément:*
- Liquide vaisselle

Montage

Le montage expérimental est représenté par la Fig. 2

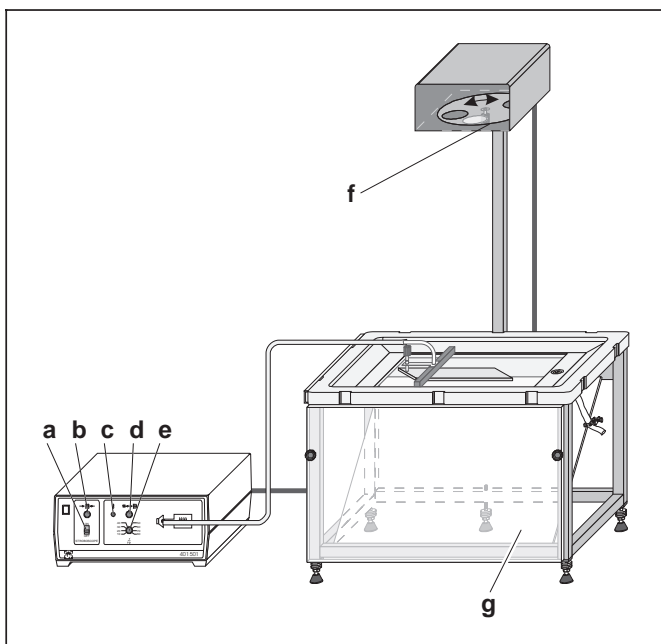
- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes. Utiliser le niveau à bulles et vérifier que la plaque de verre soit horizontale. Ne pas encore remplir d'eau.
- placer la plaque en verre acrylique à faces planes et parallèles au milieu de la cuve à ondes, dans le sens de la longueur (voir Fig. 3).
- remplir la cuve avec précaution, jusqu'à ce que la plaque soit recouverte de 2 à 3 mm d'eau.
- brancher l'excitateur à ondes rectilignes et le poser sur la plaque à faces planes et parallèles (voir Fig. 3).
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (f), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton (e) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (d), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).

Si aucune onde rectiligne n'apparaît clairement sur la plaque à faces planes et parallèle:

- régler la profondeur d'immersion de l'excitateur à l'aide de la vis de réglage (h).
- verser un peu d'eau dans la cuve à ondes.

Si les longueurs d'ondes sur et à côté de la plaque à faces planes et parallèles ne se différencient pas suffisamment:

- laisser s'écouler un peu d'eau.



Réalisation

- pour la comparaison quantitative des longueurs d'ondes, brancher le stroboscope avec l'interrupteur (a), après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton (b), jusqu'à obtention d'une image d'ondes nette.
- mesurer les longueurs d'onde dans les deux régions. Mesurer également l'écart entre 5-10 fronts d'ondes sur l'écran (g). Tenir compte de l'échelle d'affichage pour la détermination de la longueur d'onde.
- comparer la vitesse de propagation et les longueurs d'ondes dans les deux régions de la cuve à ondes.
- régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 40 Hz et mesurer les longueurs d'onde comme en haut.

Exemple de mesure

La Fig. 1 montre une photographie d'un exemple de mesure pour la fréquence d'excitation $f = 20$ Hz.

Tab. 1: comparaison de la longueur d'onde λ et de la vitesse d'onde v dans la région 1 (profondeur 3 mm) et la région 2 (profondeur 7 mm) pour différentes fréquences d'excitation f .

f Hz	λ_1 cm	v_1 cm·s ⁻¹	λ_2 cm	v_2 cm·s ⁻¹
10	1,6	16	2,2	22
20	1,4	28	1,6	32
30	0,83	25	0,87	26
40	0,66	26	0,68	27

Résultats

Le bord de la plaque à faces planes et parallèles représente une frontière entre les zones de profondeurs différentes, dans lesquelles la vitesse de propagation et la longueur d'onde sont différentes. Les ondes sont plus lentes dans l'eau peu profonde et la longueur d'onde diminue.

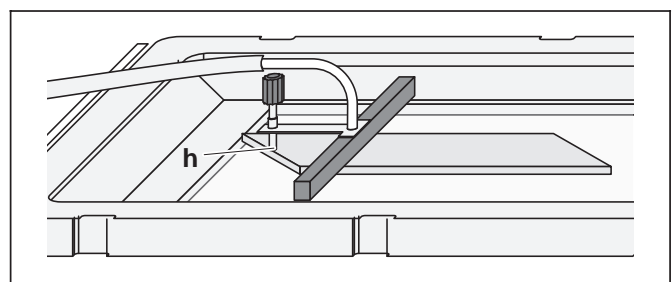
Sous la lumière, l'eau peu profonde correspond au milieu optiquement plus dense, un corps en verre par exemple. L'eau profonde correspond au milieu optiquement moins dense, l'air par exemple.

Pour l'eau, l'effet diminue lorsque la fréquence augmente, et disparaît au-delà de 40 Hz.

Fig. 2 Montage expérimental pour la propagation d'ondes à la surface de l'eau dans deux profondeurs différentes

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
- g écran d'observation

Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et disposition de la plaque à faces planes et parallèles en verre acrylique



Réfraction des ondes à la surface de l'eau

Objectifs expérimentaux

- observation du changement de la direction de propagation d'ondes à la surface de l'eau rectilignes lors du passage d'une zone à une autre de profondeur différente (au corps à faces planes et parallèles)
- comparaison du changement des directions de propagation et des longueurs d'ondes des ondes à la surface de l'eau lors du passage d'une zone à une autre de profondeur différente, et confirmation de la loi de réfraction
- observation de la réfraction des ondes à la surface de l'eau sur un prisme (lignes de séparation rectilignes)
- observation de la réfraction des ondes à la surface de l'eau sur une lentille biconvexe (lignes de séparation courbes)
- observation de la réfraction des ondes à la surface de l'eau sur une lentille biconcave (lignes de séparation courbes)

Principes de base

Tant que la profondeur de l'eau n'est pas beaucoup plus grande que la longueur d'onde, la vitesse d'onde augmente avec la profondeur. La direction de propagation des ondes rectilignes change avec la vitesse d'onde lors du passage d'une zone à une autre de profondeur différente. On parle de réfraction; d'où la loi de réfraction (voir Fig. 7)

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

(α : angle d'incidence, β : angle de réfraction, λ_1 : longueur d'onde dans la région 1, λ_2 : longueur d'onde dans la région 2)

Pour l'observation on place une plaque à faces planes et parallèles dans la cuve à ondes remplie d'eau. Il y a apparition de régions de profondeurs différentes et donc de vitesses d'onde différentes.

La construction d'un prisme de déviation, d'une lentille biconvexe de focalisation, ou d'une lentille biconcave pour la divergence de faisceaux d'ondes, sont les applications pratiques de la réfraction.

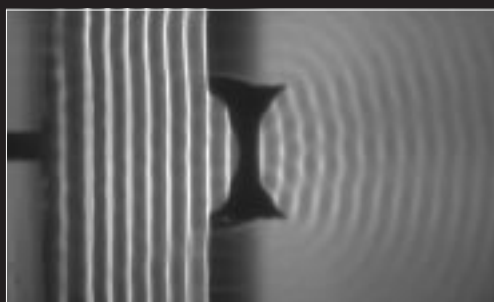
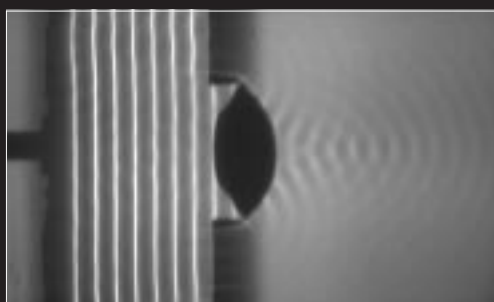
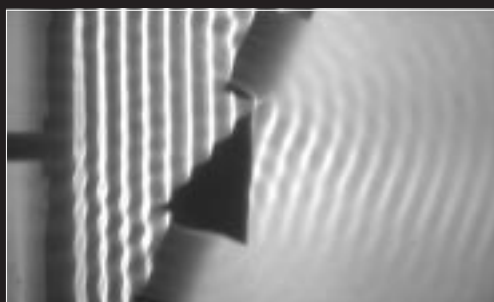


Fig. 1 Réfraction des ondes à la surface de l'eau (photos)
En haut: réfraction des ondes à la surface de l'eau sur un prisme
Au milieu: marche des rayons convergente derrière une lentille biconvexe
En bas: marche des rayons divergente derrière une lentille biconcave

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501

en complément:

Liquide vaisselle,
feuilles transparentes, feutres pour transparents,
ruban adhésif, règle, rapporteur

Montage

Le montage expérimental est représenté en Fig. 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer à la notice d'utilisation de la cuve à ondes. Utiliser le niveau à bulles et vérifier que la plaque de verre soit horizontale. Ne pas encore remplir d'eau.
- placer la plaque en verre acrylique à faces planes et parallèles dans la cuve à ondes (voir Fig. 3). Remplir d'eau avec précaution jusqu'à 1 mm au dessus de la plaque.
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes et le placer devant la plaque à faces planes et parallèles (voir Fig. 3).
- fixer une feuille transparente avec le ruban adhésif sur l'écran **(g)**.

Réalisation**a) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur les arêtes de la plaque à faces planes et parallèles:**

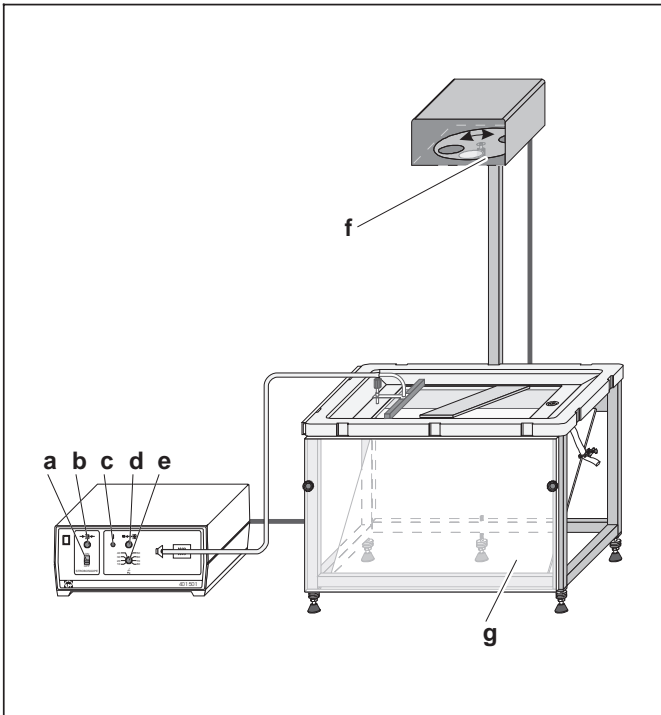
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton **(e)** et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- régler la profondeur d'immersion de l'excitateur avec la vis de réglage **(h)** si nécessaire.
- changer la profondeur de l'eau, s'il n'y a pas d'ondes nettes sur la plaque à faces planes et parallèles.
- comparer les directions de propagation (longueurs d'ondes) devant et sur la plaque à faces planes et parallèles.
- pour la comparaison quantitative des longueurs d'ondes et des directions de propagation, brancher le stroboscope avec l'interrupteur **(a)**, après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et

du stroboscope avec le bouton **(b)**, jusqu'à obtention d'une image d'ondes nette.

- marquer les arêtes de la plaque à faces planes et parallèles, la direction de propagation des ondes à la surface de l'eau devant et sur la plaque, et l'écart des fronts d'ondes sur la feuille transparente.
- représenter l'axe d'incidence et mesurer les angles d'incidence et de réfraction.
- mesurer les longueurs d'onde dans les deux régions. Mesurer également l'écart entre 2 fronts d'ondes sur l'écran **(g)**. Tenir compte de l'échelle d'affichage pour la détermination de la longueur d'onde (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- comparer les angles d'incidence et de réfraction avec les longueurs d'onde correspondantes (voir tableau 1)
- régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 30 Hz. Mesurer les directions de propagation et les longueurs d'ondes comme plus haut, et les comparer.
- faire varier la direction de l'onde incidente en changeant la position de la plaque à faces planes et parallèles ou de l'excitateur d'ondes. Mesurer les directions de propagation et les longueurs d'onde comme plus haut, et les comparer.
- augmenter l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à ce que les ondes soient visibles derrière la plaque. Comparer la direction de l'onde réfractée deux fois avec la direction de l'onde initiale.
- refaire l'essai avec un paquet d'ondes. Eventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons. tourner le bouton d'amplitude **(d)** entièrement à gauche et actionner le bouton d'excitation d'onde unique **(c)**.

b) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau sur un prisme:

- sortir la plaque à faces planes et parallèles et placer le prisme au milieu de la cuve à ondes (voir Fig. 4). Placer l'obstacle à grande fente sur le prisme. Couvrir le côté court du prisme avec le tiroir de recouvrement large. Fixer une feuille transparente sur l'écran **(g)**.
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler une fréquence de 20 Hz environ, augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à ce que les ondes soient nettement visibles derrière la lentille. Corriger le niveau d'eau si nécessaire.
- comparer les directions de propagation devant et derrière la lentille.
- produire une image d'onde stationnaire avec le stroboscope.
- régler différentes fréquences d'excitation entre 10 et 80 Hz. Adapter l'amplitude d'excitation si nécessaire. Comparer les directions de propagation comme plus haut.
- refaire l'essai avec un paquet d'ondes.
- observer la réfraction des ondes à la surface de l'eau pour différentes profondeurs. Ajouter de l'eau, régler une fréquence d'excitation de 20 Hz environ et réduire doucement la profondeur en évacuant de l'eau. Observer l'image d'ondes.
- remplacer la lentille biconvexe par la lentille biconcave et refaire l'expérience décrite plus haut.



- c) Brechung von Wasserwellen an einer Bikonvexlinse und einer Bikonkavlinse:**
- Prisma herausnehmen, Hindernis mit großem Spalt in die Mitte der Wellenwanne legen und Bikonvexlinse aus Kunststoff in den Spalt legen.
 - Ggf. Stroboskopscheibe aus dem Strahlengang drehen, so daß die Glasscheibe im Boden der Wellenwanne vollständig ausgeleuchtet ist.
 - Eine Frequenz von ca. 20 Hz einstellen die Amplitude der Erregung vorsichtig erhöhen, bis die Wellen hinter der Linse deutlich sichtbar sind. Evtl. Wasserstand korrigieren.
 - Ausbreitungsrichtungen vor und hinter der Linse miteinander vergleichen.
 - Mit Stroboskop stehendes Wellenbild erzeugen.
 - Verschiedene Erregerfrequenzen zwischen 10 Hz und 80 Hz einstellen. Wenn nötig Erregeramplitude anpassen. Ausbreitungsrichtungen wie oben vergleichen.
 - Versuch mit einem Wellenpaket wiederholen.
 - Brechung der Wasserwellen bei verschiedenen Wassertiefen beobachten. Wasser hinzu gießen, eine Erregerfrequenz von ca. 20 Hz einstellen und durch Ablassen des Wassers Wassertiefe vorsichtig verringern. Wellenbild beobachten.
 - Bikonvexlinse durch die Bikonkavlinse ersetzen und obige Versuchsschritte wiederholen.

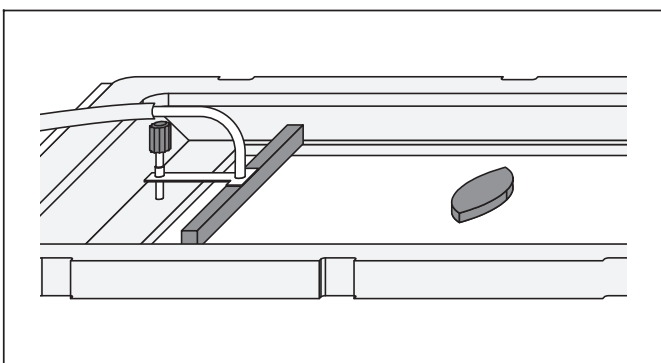
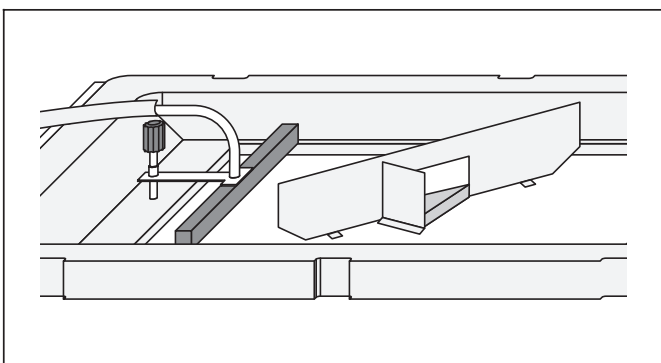
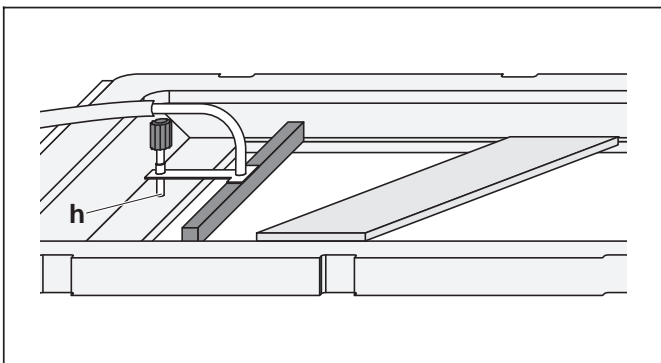


Fig. 2 Montage expérimental pour la réfraction d'ondes à la surface de l'eau

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
- g écran d'observation

Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et disposition de la plaque à faces planes et parallèles en verre acrylique

Fig. 4 Disposition du prisme et de l'excitateur d'ondes rectilignes

Fig. 5 Disposition de la lentille et de l'excitateur d'ondes rectilignes

Exemple de mesure

a) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur les arêtes d'une plaque à faces planes et parallèles:

Tab. 1: résultats de mesures de la réfraction d'ondes à la surface de l'eau

α	β	$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$	$\frac{\lambda_1}{\text{cm}}$	$\frac{\lambda_2}{\text{cm}}$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$
28°	15°	1,8	2,1	1,2	1,8
28°	18°	1,5	1,5	1,0	1,5
28°	24°	1,2	0,8	0,7	1,1

La Fig. 6 est une photo d'un exemple de mesure. La Fig. 7 montre le résultat schématisé.

b) Réfraction d'ondes rectilignes sur un prisme et des lentilles:

Réfraction d'ondes rectilignes sur un prisme et des lentilles:

Résultats

a) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur les arêtes d'une plaque à faces planes et parallèles:

Le bord de la plaque à faces planes et parallèles représente une frontière entre les zones de profondeurs différentes, dans lesquelles la vitesse de propagation et la longueur d'onde changent. Les ondes sont plus lentes dans l'eau peu profonde et la longueur d'onde diminue.

La direction de propagation change lors du passage de l'eau profonde à l'eau peu profonde, et les ondes planes sont réfractées lors du passage vers l'axe d'incidence (passage du milieu peu dense vers le milieu plus dense).

La loi de réfraction s'applique:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{\lambda_1 \cdot f}{\lambda_2 \cdot f} = \frac{v_1}{v_2}$$

α : angle d'incidence

β : angle de réfraction

f : fréquence d'excitation

λ_1, λ_2 : longueurs d'onde dans les régions 1 et 2

v_1, v_2 : vitesses dans les régions 1 et 2

La réfraction dépend de la fréquence d'excitation. Pour des fréquences d'excitation supérieures, l'onde est moins réfractée.

Lors du passage dans l'eau plus profonde, les ondes sont réfractées et s'écartent de l'axe perpendiculaire. Les directions de propagation devant et derrière la plaque à faces planes et parallèles sont les mêmes. Les valeurs des angles de réfraction des deux réfractations sont identiques.

b) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un prisme:

La direction des ondes est influencée par la forme des corps. Les plaques à faces planes et parallèles provoquent un déplacement parallèle et les prismes dirigent les ondes dans une direction qui s'écarte de l'angle de réfraction.

Les fronts d'ondes derrière le prisme peuvent être perturbés par diffraction aux arêtes des prismes et par les interférences qui en découlent.

c) Réfraction d'ondes à la surface de l'eau sur les lentilles:

Les ondes sont réfractées au passage des lentilles.

Après avoir été réfractés par la lentille biconvexe, les rayons de direction, perpendiculaires aux fronts d'ondes, passent par un point (foyer). La distance entre le foyer et le centre de la lentille (distance focale) augmente lorsque la fréquence d'excitation et la profondeur augmentent.

Les rayons de direction sont écartés lors de la réfraction par la lentille biconcave, de telle sorte qu'ils semblent provenir d'un point devant la lentille.

Lorsque la fréquence d'excitation et la profondeur augmentent, les rayons de direction se rapprochent de l'ajustage initial.

Les ondes sont réfractées lorsqu'elles pénètrent et quittent la zone au-dessus des lentilles. La réfraction lors de l'entrée dans la zone n'est pas à prendre en compte.

Fig. 6 Réfraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur une plaque à faces planes et parallèles (photo)

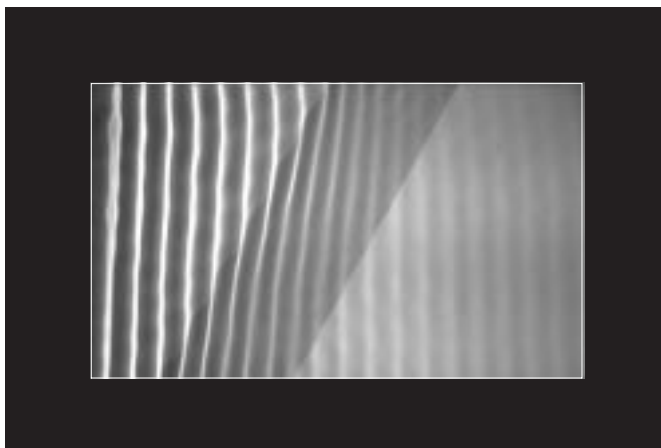


Fig. 7 Représentation de la réfraction sur une frontière plane

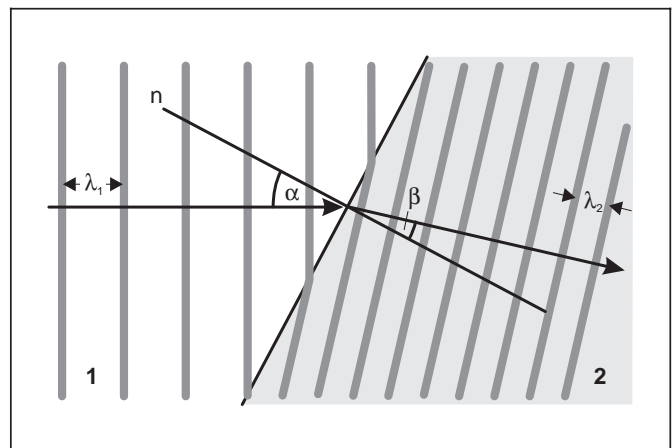
n : axe d'incidence

α : angle d'incidence (ici 28°)

β : angle de réfraction (ici 15°)

λ_1 : longueur d'onde dans la région 1 (ici 2,1 cm)

λ_2 : longueur d'onde dans la région 2 (ici 1,2 cm)



Effet *Doppler* sur les ondes à la surface de l'eau

Objectif expérimental

- Etude de la propagation d'ondes circulaires avec excitateur mobile et observateur fixe

Principes de base

Pour des ondes qui se propagent dans un milieu porteur d'onde, l'effet Doppler se manifeste si l'excitateur d'ondes se déplace ou si l'observateur se déplace par rapport au milieu. Si l'excitateur d'ondes se déplace, la longueur d'onde du milieu change. Si l'observateur se déplace, la vitesse d'ondes changera pour lui.

L'effet Doppler, qui se manifeste avec excitateur mobile et observateur fixe, peut être observé à l'aide d'un excitateur d'ondes circulaires, dont le support est déplacé sur un rail, le long de la cuve à ondes.

Un observateur fixe B1, vers lequel l'excitateur d'ondes se dirige avec une vitesse v , mesure une longueur d'onde diminuée λ_1 . On a :

$$\lambda_1 = \lambda - \frac{u}{f} = \lambda \cdot \left(1 - \frac{u}{v}\right) \quad (I)$$

(v : vitesse de propagation de l'onde)

Un observateur fixe B2, qui voit s'éloigner l'excitateur d'ondes, mesure une longueur d'onde agrandie λ_2 . On a :

$$\lambda_2 = \lambda + \frac{u}{f} = \lambda \cdot \left(1 + \frac{u}{v}\right) \quad (II)$$

Si la vitesse u de l'excitateur est égale à la vitesse de propagation v des ondes, l'observateur B1 constate que tous les fronts d'ondes arrivent simultanément. Si u est supérieure à la vitesse de propagation v , l'excitateur précède les fronts d'ondes. Les fronts d'ondes ont une enveloppe commune, l'excitateur se trouve à la pointe de cette enveloppe. En trois dimensions, l'enveloppe est appelée cône de *Mach*. L'angle d'ouverture du cône diminue lorsque la vitesse u d'excitation augmente.

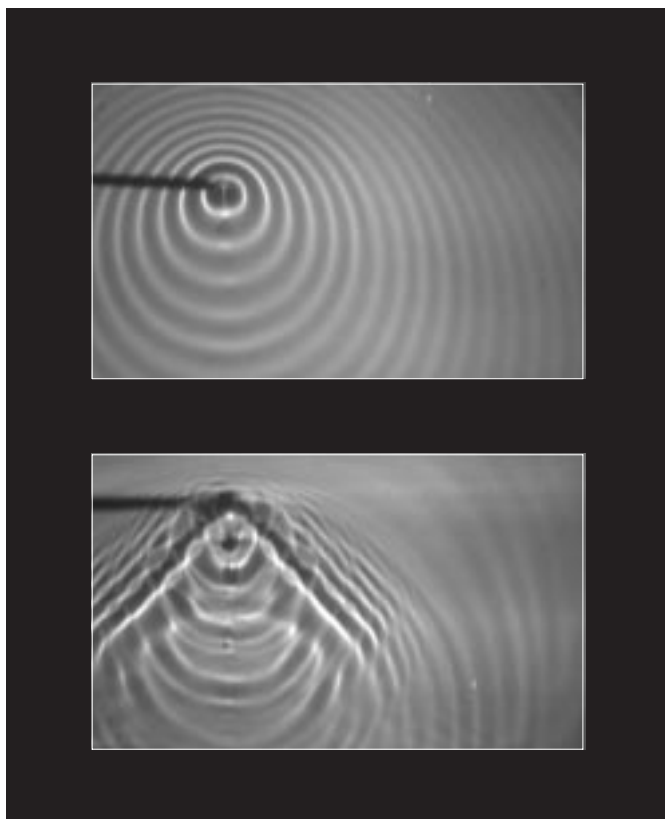


Fig. 1 Effet *Doppler* sur les ondes circulaires dans l'eau (photos)
En haut: vitesse d'excitation $u <$ vitesse d'ondes v
En bas: vitesse d'excitation $u >$ vitesse d'ondes v

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401501
en complément:
 Liquide vaisselle

Montage

Le montage expérimental est représenté par la figure 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes.
- brancher un excitateur d'ondes circulaires à une extrémité du rail (Fig. 3)

Réalisation

a) Effet Doppler avec $u < v$:

- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (**f**), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton (**e**) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (**d**), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (**h**) si nécessaire.
- déplacer l'excitateur régulièrement à la main le long du rail. Tenir compte de l'arête de l'écran.
- observer les longueurs d'ondes devant, derrière et perpendiculairement à la direction du mouvement.
- refaire l'essai avec le stroboscope. Brancher le stroboscope avec l'interrupteur (**a**), après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton (**b**) si nécessaire, jusqu'à obtention d'une image d'onde nette.

b) Effet Doppler avec $u > v$:

- déplacer le support de l'excitateur unique le long du rail (**i**), augmenter simultanément la vitesse u de l'excitateur, jusqu'à apparition du cône de Mach.

Exemple de mesure

La Fig. 1 représente deux photographies d'exemples de mesure.

Résultats

a) Effet Doppler avec $u < v$:

Pour l'observateur fixe, les ondes ne se déplacent plus de manière concentrique du fait du mouvement de l'excitateur. Les ondes sont comprimées devant l'excitateur, et écartées derrière. Un observateur constate une onde réduite devant l'excitateur, et une onde agrandie derrière (voir Fig. 4)

b) Effet Doppler avec $u > v$:

Si la vitesse de l'excitateur dépasse la vitesse de propagation, l'excitateur précède les fronts d'ondes. Les fronts d'ondes ont une enveloppe commune, l'excitateur se trouve à la pointe de cette enveloppe (voir Fig. 4). L'angle d'ouverture de l'enveloppe diminue lorsque la vitesse d'excitation augmente.

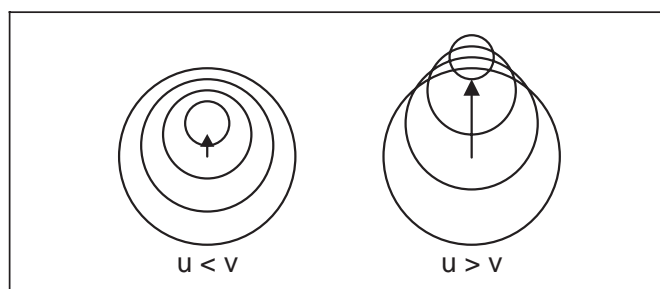
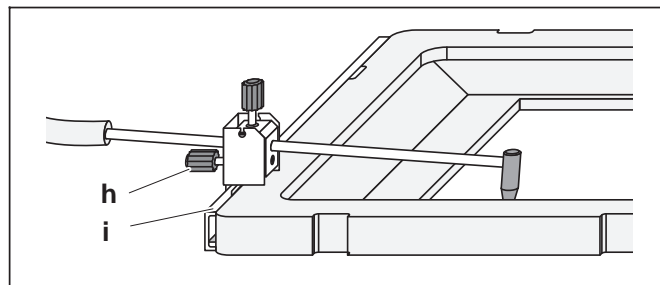
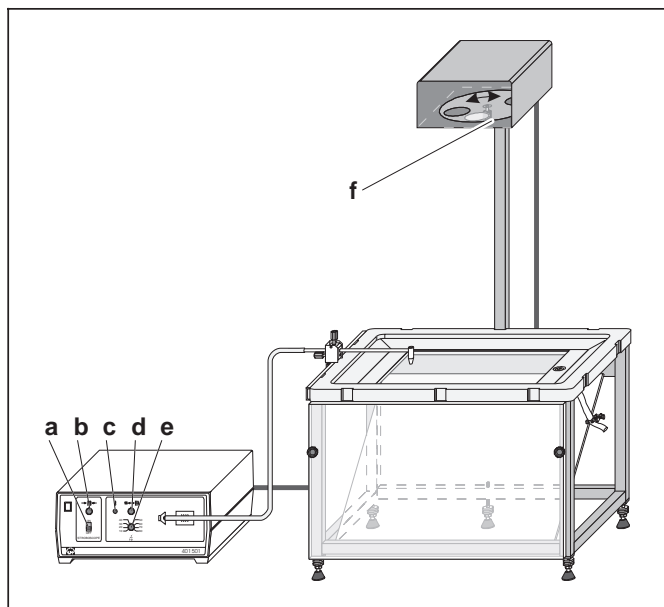
Fig. 2 Montage expérimental pour l'effet Doppler

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)

Fig. 3 Branchement de l'excitateur unique

- h vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)
- i rail pour la fixation de l'excitateur à ondes circulaires

Fig. 4 Schéma pour l'effet Doppler pour différentes vitesses u de l'excitateur d'ondes



Réflexion d'ondes à la surface de l'eau sur un obstacle rectiligne

Objectifs expérimentaux

- Etude de la réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un obstacle rectiligne
- Comparaison des directions des fronts d'ondes incidents et réfléchis et confirmation de la loi de réflexion (angle incident = angle de réflexion)
- Etude de la réflexion d'ondes à la surface de l'eau circulaires sur un obstacle rectiligne

Principes de base

Les ondes à la surface de l'eau sont réfléchies sur des obstacles. Conformément au principe d'Huygens, les ondes réfléchies peuvent être captées en tant qu'enveloppe des ondes élémentaires, formées au niveau de l'obstacle. La réflexion sur un obstacle rectiligne correspond à la réflexion sur un miroir plan en optique.

Pour l'observation de la réflexion, on produit tout d'abord des ondes rectilignes dans la cuve à ondes remplie d'eau. Une paroi de réflexion se trouve dans la cuve à ondes, les fronts d'ondes

et la paroi ne sont pas parallèles. Les rayons d'ondes obéissent à la loi de réflexion: angle incident = angle de réflexion.

Lorsque la paroi de réflexion est placée parallèlement aux fronts d'ondes rectilignes, des ondes stationnaires sont produites. Elles sont étudiées plus précisément dans l'essai „ondes stationnaires devant une paroi de réflexion“ faisant partie du thème „interférence avec des ondes à la surface de l'eau“.

La réflexion d'ondes circulaires donne naissance à de nouvelles ondes circulaires; chaque rayon d'onde radial est réfléchi sur la paroi de réflexion selon la loi de réflexion. Le centre des ondes circulaires réfléchies se trouve dans le „point de réflexion“ de l'excitateur.

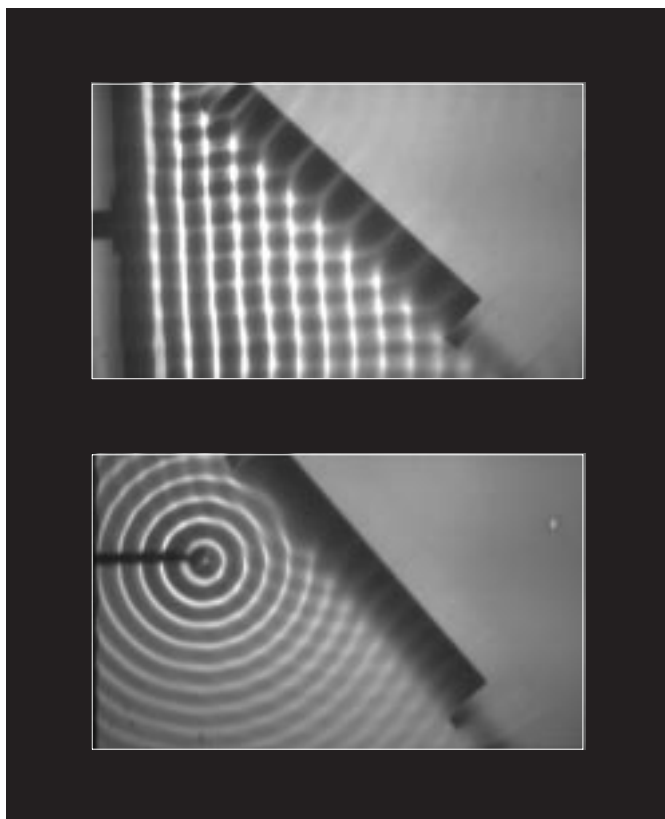


Fig. 1 Réflexion d'ondes à la surface de l'eau sur un obstacle rectiligne (photos)
En haut: ondes rectilignes
En bas: ondes circulaires

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401501

en complément:

Liquide vaisselle,
feuilles transparentes, feutres pour transparents, ruban
adhésif, règle, rapporteur

Montage

Le montage expérimental est représenté en Fig. 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes. Utiliser le niveau à bulles et vérifier que la plaque de verre soit horizontale.
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes comme en Fig. 3 et placer la paroi de réflexion au milieu de la cuve à ondes, de manière à former un angle de 45° avec l'excitateur.
- fixer une feuille transparente sur l'écran **(g)** avec du ruban adhésif.

Réalisation**a) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes :**

- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton **(e)** et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage **(h1)** si nécessaire.
- comparer les directions de propagation et les longueurs d'onde des fronts d'ondes incidents et réfléchis.
- refaire l'essai avec différentes fréquences d'excitation entre 10 et 30 Hz.
- pour la comparaison quantitative des longueurs d'onde et des directions de propagation, brancher le stroboscope avec l'interrupteur **(a)**, après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton **(b)**, jusqu'à obtention d'une image d'onde nette.
- représenter la paroi de réflexion, les directions de propagation et l'écart des fronts d'ondes sur la feuille transparente.
- représenter l'axe d'incidence et mesurer les angles d'incidence et de déflexion.
- mesurer les longueurs d'ondes dans les deux régions et les comparer.
- faire varier la direction des ondes incidentes en tournant la paroi de réflexion, mesurer les angles d'incidence et de déflexion à chaque fois.
- refaire l'essai avec différentes fréquences d'excitation entre 10 et 60 Hz, procéder à un réglage fin si nécessaire.
- refaire l'essai avec un paquet d'ondes. Eventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons. tourner le bouton d'amplitude **(d)** entièrement à gauche et actionner le bouton d'excitation d'onde unique **(c)**.

b) Réflexion d'ondes circulaires :

- brancher l'excitateur unique comme en Fig. 4, de telle manière que la pointe de l'excitateur se trouve à environ 4 cm de la paroi de réflexion.
- régler l'amplitude pour que les fronts d'ondes soient nettement visibles. Changer la profondeur d'immersion de l'excitateur avec la vis de réglage **(h2)** si nécessaire.
- comparer les directions de propagation et les longueurs d'ondes des fronts d'ondes incidents et réfléchis.
- faire l'essai avec différentes fréquences d'excitation entre 10 et 30 Hz.
- produire des ondes stationnaires avec le stroboscope. Régler des fréquences d'excitation entre 10 et 60 Hz.
- refaire l'essai avec un paquet d'ondes.

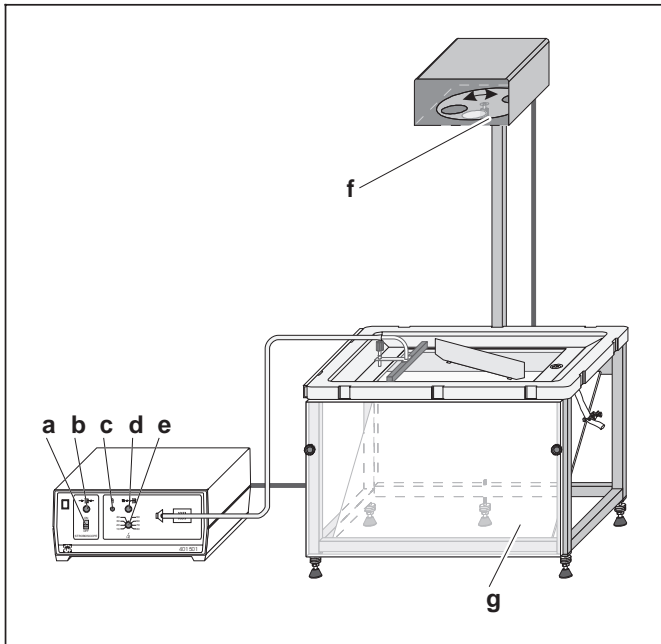


Fig. 2 Montage expérimental pour la réflexion d'ondes à la surface de l'eau sur un obstacle rectiligne

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
- g écran d'observation

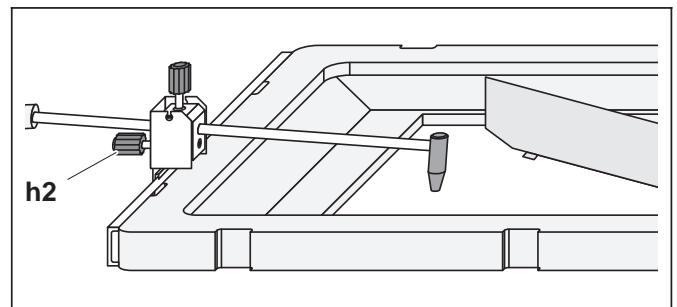
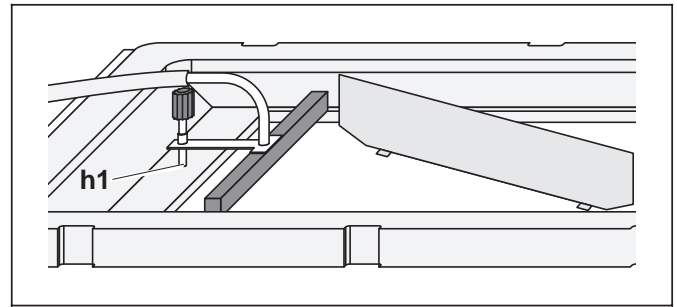


Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et disposition de la paroi de réflexion

- h1 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Fig. 4 Branchement de l'excitateur unique et disposition de la paroi de réflexion

- h2 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

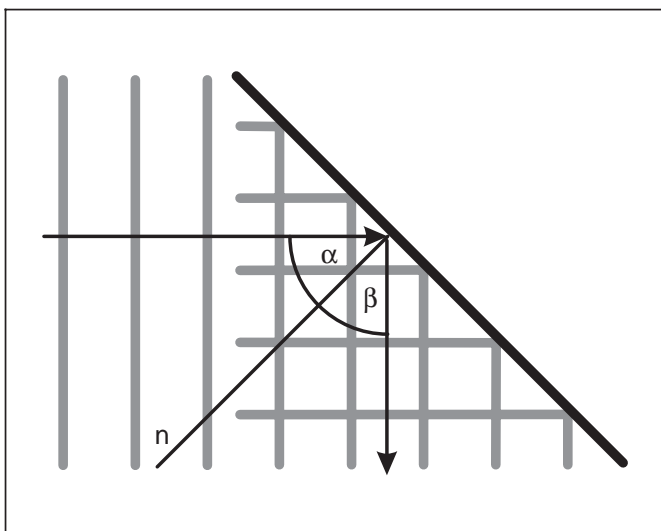


Fig. 5 Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un obstacle rectiligne (représentation sur une feuille transparente)

- n: axe incident
- α : angle incident, ici: 45°
- β : angle de réflexion, ici: 45°

Exemple de mesure

a) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes

La première photographie de la Fig. 1 montre la réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un obstacle rectiligne.

b) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau circulaires

La deuxième photographie de la Fig. 1 montre la réflexion d'ondes à la surface de l'eau circulaires sur un obstacle rectiligne.

Résultats

a) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes

Les ondes rectilignes sont réfléchies par la paroi de réflexion. Les ondes réfléchies sont rectilignes à nouveau. La longueur d'onde ne change pas.

L'angle formé par l'onde incidente et l'axe incident est égal à l'angle formé par l'onde réfléchie et l'axe incident. (voir Fig. 5)

Angle incident α = angle de réflexion β

b) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau circulaires

Les ondes circulaires sont réfléchies par la paroi de réflexion. Les ondes réfléchies sont circulaires à nouveau. Le centre des ondes circulaires réfléchies se trouve dans le „point de réflexion“ de l'excitateur.

Réflexion d'ondes à la surface de l'eau sur des obstacles courbes

Objectifs expérimentaux

- Etude de la réflexion d'ondes rectilignes sur un obstacle convexe (miroir convexe)
- Etude de la réflexion d'ondes rectilignes sur un obstacle concave (miroir concave)

Principes de base

Les ondes à la surface de l'eau sont réfléchies par des obstacles. Après la réflexion d'ondes rectilignes sur des obstacles courbes, les rayons d'ondes initialement parallèles sont divergents ou convergents selon le bombement de l'obstacle. Chaque rayon d'onde est réfléchi sur un tronçon plan de l'obstacle selon la loi de réflexion (angle incident = angle de réflexion).

Comme en optique, les obstacles courbes sont appelés miroir convexe ou miroir concave. Lors de la réflexion sur ces miroirs, on observe comme en optique la focalisation sur un foyer, à

savoir la divergence à partir du foyer. La distance focale est égale au demi rayon de courbure du miroir.

Des fronts d'ondes rectilignes sont produits dans la cuve à ondes remplie d'eau pour l'observation de la réflexion des ondes à la surface de l'eau. Les corps d'immersion dépassant de l'eau ayant soit la section d'une lentille biconvexe en tant que miroir convexe, soit la section d'une lentille biconcave en tant que miroir concave servent de réflecteurs.

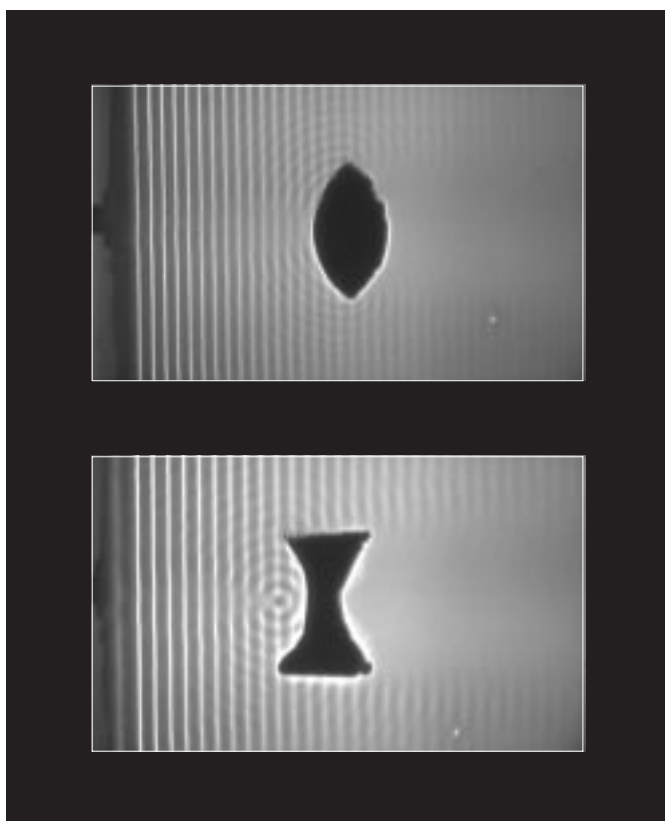


Fig. 1 Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un obstacle courbe (photos)
En haut: réflexion sur un miroir concave
En bas: réflexion sur un miroir convexe

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501

en complément:

Liquide vaisselle,
feuilles transparentes, feutres pour transparents, ruban
adhésif

Montage

Le montage expérimental est représenté en Fig. 2

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes.
- placer la lentille biconvexe en plastique au milieu de la cuve à ondes et remplir d'eau sans recouvrir la lentille (niveau d'eau 5 mm)
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes comme indiqué en Fig. 3 à environ 15 cm de la lentille, parallèlement à une des faces convexes.
- fixer une feuille transparente sur l'écran **(g)** avec du ruban adhésif.

Réalisation**a) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un miroir convexe:**

- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20-30 Hz avec le bouton **(e)** et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton **(d)**, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage **(h1)** si nécessaire.
- observer la forme des fronts d'ondes reflétés.
- brancher le stroboscope avec l'interrupteur **(a)**, après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton **(b)**, jusqu'à obtention d'une image d'ondes nette.
- représenter la forme des ondes incidentes et réfléchies sur la feuille transparente.
- refaire l'essai avec un paquet d'ondes. Eventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, tourner le bouton d'amplitude **(d)** entièrement à gauche et actionner le bouton d'excitation d'onde unique **(c)**.

b) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un miroir concave:

- remplacer la lentille biconvexe par la lentille biconcave. Une face concave doit être „parallèle“ à l'excitateur.
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée **(f)**, de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- produire des ondes rectilignes avec l'excitateur, régler la fréquence à 20-30 Hz et augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion de l'excitateur avec la vis de réglage **(h)** si nécessaire.
- observer la forme des fronts d'ondes réfléchis.
- produire une image d'onde stationnaire avec le stroboscope.
- représenter la forme des ondes incidentes et réfléchies sur la feuille transparente. Marquer le point vers lequel les ondes réfléchies se dirigent de manière curviligne.
- refaire l'essai avec un paquet d'ondes.

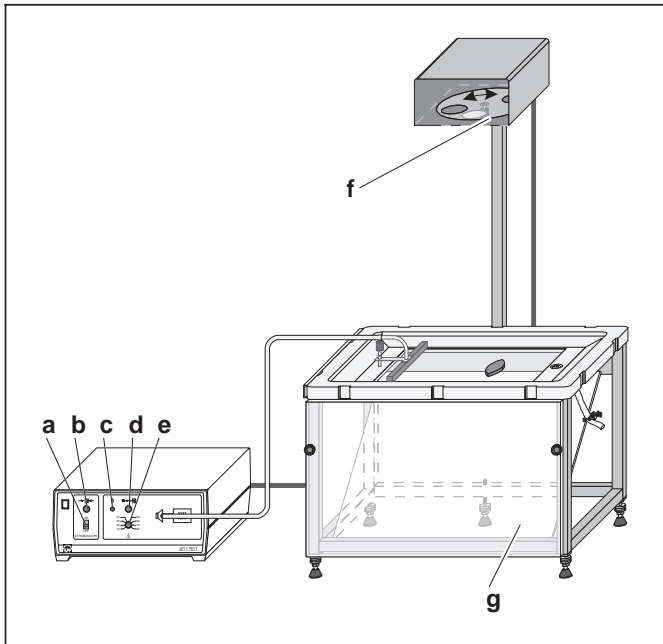


Fig. 2 Montage expérimental pour l'excitation d'ondes à la surface de l'eau circulaires

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
- g écran d'observation

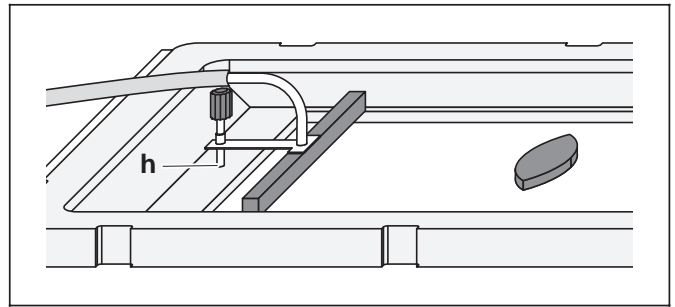


Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et disposition de la lentille convexe en tant que miroir convexe
h1 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

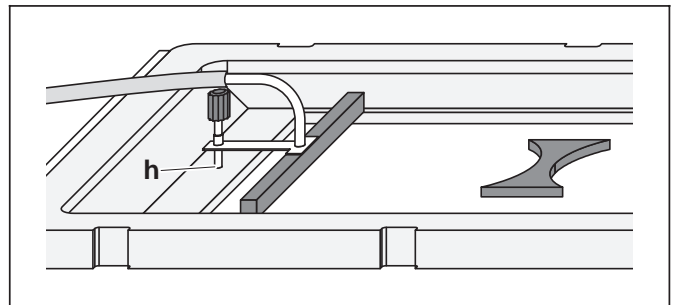


Fig. 4 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et disposition de la lentille concave en tant que miroir concave
h2 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Exemple de mesure

Deux photos d'exemples de mesure sont représentées en Fig 1.

Résultats

a) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un miroir convexe:

Les ondes incidentes sont réfléchies en ondes circulaires sur le miroir convexe. Les ondes circulaires réfléchies semblent provenir d'un excitateur ponctuel (foyer) derrière le miroir convexe (voir Fig. 1)

b) Réflexion d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur un miroir concave:

Les ondes incidentes sont réfléchies en ondes circulaires sur le miroir concave, elles se rejoignent en un point; le foyer (voir Fig. 1)

Dans les deux cas, la courbure au niveau du miroir des fronts d'ondes réfléchis est supérieure à la courbure du miroir même.

Interférence à double faisceau d'ondes à la surface de l'eau

Objectifs expérimentaux

- Etude de l'interférence par double excitation d'ondes circulaires en fonction de l'écart des deux excitateurs et de la longueur d'onde
- Etude de l'interférence d'ondes derrière une fente double.
- Comparaison des images d'interférence

Principes de base

La superposition d'ondes circulaires cohérentes à l'endroit de jonction s'appelle interférence; les ondes peuvent être amplifiées à certains endroits, diminuées voire éliminées à d'autres.

L'interférence à un point dépend du déplacement des ondes circulaires interférentes l'une par rapport à l'autre, ou plus exactement de la différence de marche des deux ondes à cet endroit.

Pour une différence de marche,

$$\Delta s = n \cdot \lambda \quad \text{avec } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (\text{I}),$$

les déviations des ondes uniques sont additionnées, c'est à dire qu'il y a amplification maximale.

Pour une différence de marche ,

$$\Delta s = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \lambda \quad \text{avec } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (\text{II}),$$

les déviations sont soustraites, c'est à dire que les deux ondes s'éliminent complètement à amplitudes égales.

Les points de différence de marche égales se trouvent sur des hyperboles (Fig. 2) dont les centres d'excitation sont les foyers. Leur position peut être décrite par les angles α (Fig. 3), formés par l'axe médian et les centres d'excitation.

Pour la valeur maximale;

$$\sin \alpha = n \cdot \frac{\lambda}{d} \quad \text{avec } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (\text{III}),$$

pour la valeur minimale;

$$\sin \alpha = \left(n + \frac{1}{2}\right) \cdot \frac{\lambda}{d} \quad \text{avec } n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (\text{IV})$$

(d : écart de l'excitateur, λ : longueur d'onde)

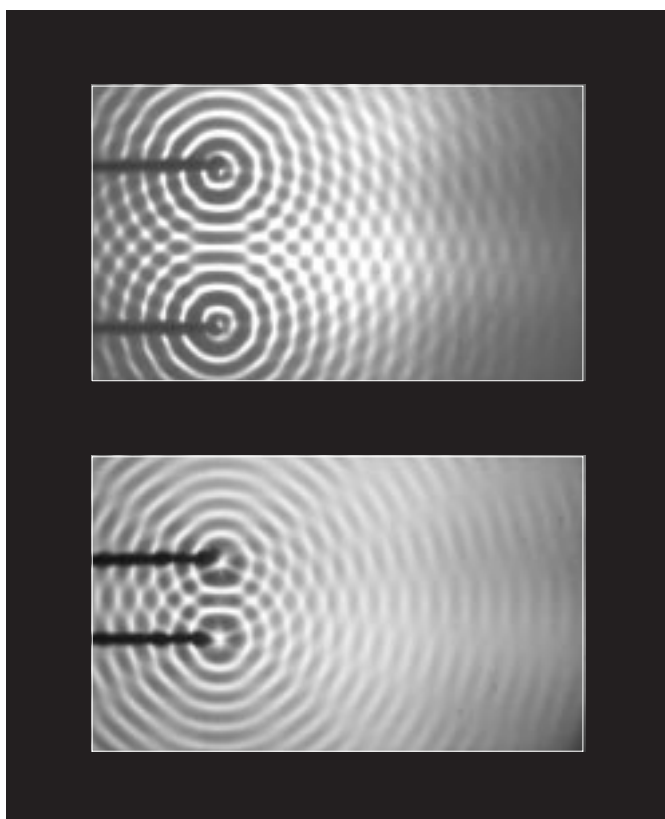


Fig. 1 Interférence de deux ondes circulaires cohérentes (photos)
En haut: écart de l'excitateur ponctuel = 8 cm
En bas: écart de l'excitateur ponctuel = 4,2 cm

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501

en complément:

Liquide vaisselle,
feuilles transparentes, feutres pour transparents, ruban adhésif, règle, rapporteur

Les ondes circulaires cohérentes sont produites dans la cuve à ondes au moyen d'excitateurs d'ondes circulaires par exemple, reliés à la membrane de l'appareil d'alimentation, les ondes circulaires produites ont la même amplitude et la même fréquence. La réflexion d'ondes à la surface de l'eau circulaires sur un obstacle rectiligne conduit au même résultat. Le reflet du centre d'excitation forme le deuxième centre d'excitation.

Si des fronts d'ondes rectilignes rencontrent un obstacle avec deux fentes étroites, des ondes circulaires cohérentes se forment également derrière les fentes. L'excitation double et les fentes doubles produisent les mêmes images d'interférence.

Montage

Le montage expérimental est représenté en fig. 4.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes.
- monter deux excitateurs d'ondes circulaires à double excitation à 8 cm l'un de l'autre (voir fig. 8).
- préparer l'excitateur d'ondes rectilignes, l'obstacle à 4 fentes simples et le tiroir de recouvrement.
- fixer une feuille transparente sur l'écran (g) avec du ruban adhésif.

Réalisation

a) Interférence à double faisceau par double excitation :

- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (f), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 25 Hz environ avec le bouton (e) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (d), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (h1) si nécessaire.
- observer la position et la valeur des maximums et minimums d'interférence.
- représenter la position des centres d'excitation et les hyperboles d'interférence sur la feuille transparente.
- mesurer la longueur d'onde λ , la distance de l'excitateur d , et déterminer les directions α , pour lesquelles les minimums d'interférence apparaissent. Tenir compte de l'échelle d'affichage pour déterminer la longueur d'onde réelle (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- réduire la distance de l'excitateur à 4,2 cm et refaire les essais.
- comparer les deux images d'interférence.
- régler des fréquences de 10 à 40 Hz par paliers de 5 Hz. Observer à chaque fois la longueur d'onde, la position et le nombre des hyperboles d'interférence. Représenter quelques images d'interférence sur d'autres feuilles transparentes pour l'évaluation quantitative. Comparer les images d'interférence.

Indication: les changements de position des hyperboles d'interférence peuvent être observés aisément en diminuant ou en augmentant constamment la fréquence.

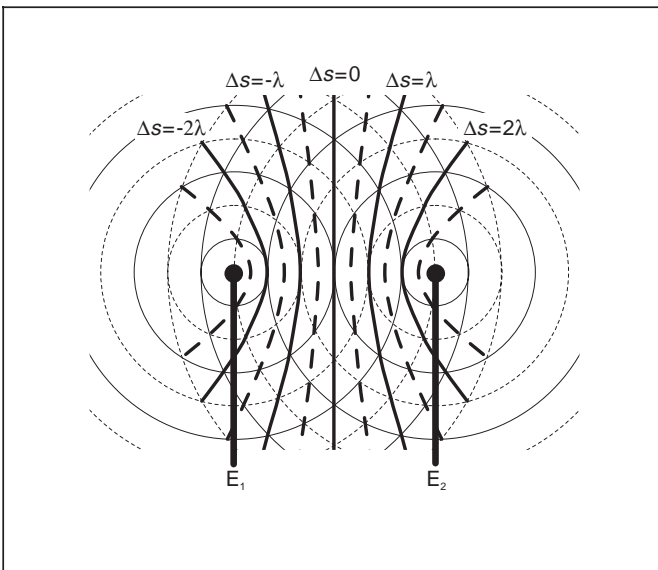
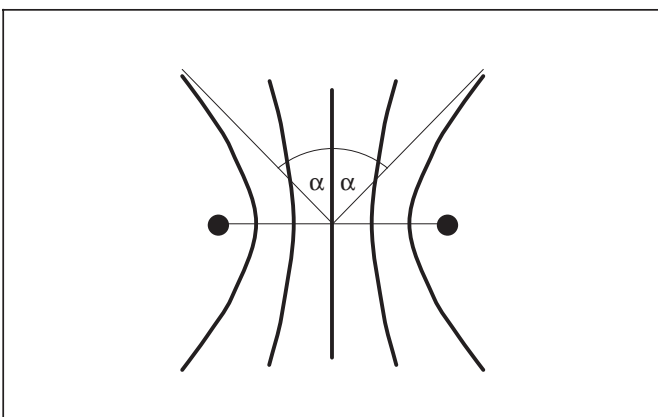


Fig. 2 Représentation schématique de l'interférence de deux ondes circulaires cohérentes
E₁, E₂: excitateurs d'ondes circulaires

Fig. 3 Direction α des hyperboles d'interférence



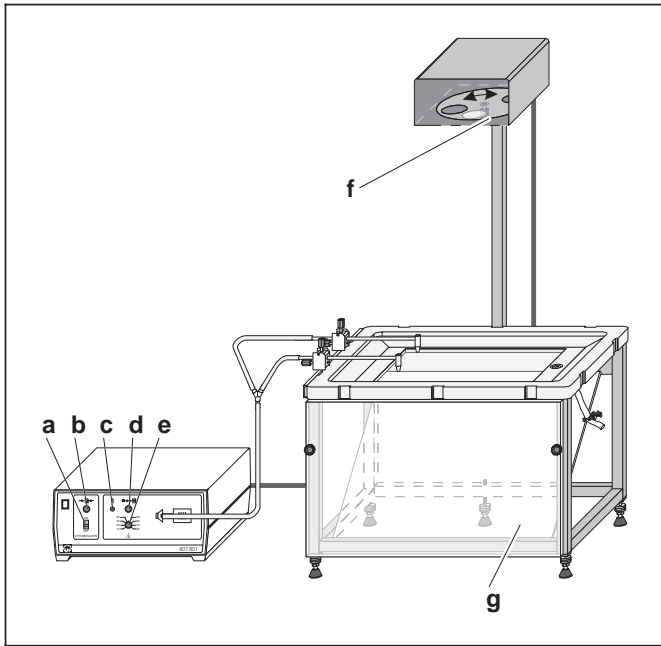


Fig. 4 Montage expérimental pour l'interférence à double faisceau
a interrupteur du stroboscope
b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
g écran d'observation

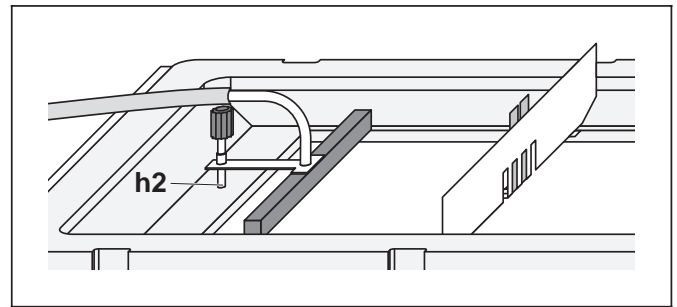
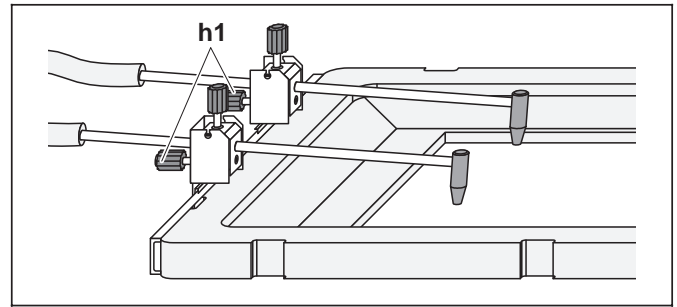


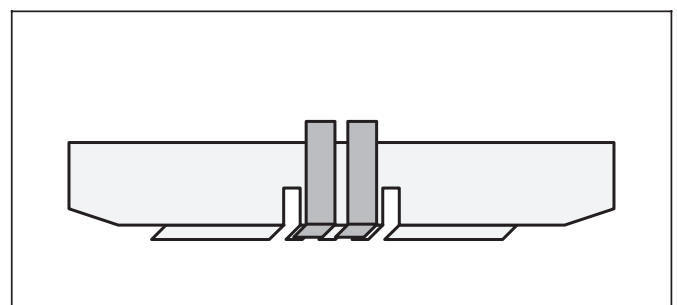
Fig. 5 Branchement de l'excitateur double
h1 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Fig. 6 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes et montage d'essai pour l'interférence à double faisceau derrière une fente double
h2 vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

b) Interférence à double faisceau sur la fente double :

- sortir l'excitateur d'ondes circulaires et placer l'obstacle à 4 fentes simples au milieu de la cuve à ondes, exactement sous la lampe.
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes comme indiqué en Fig. 6 et le placer parallèlement à 5 cm de l'obstacle.
- recouvrir les deux fentes intérieures avec les tiroirs de recouvrement fins, comme indiqué en fig. 7 (écart de centre à centre: 4,2 cm).
- régler la fréquence à 25 Hz et augmenter doucement l'amplitude d'excitation, jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (**h2**) si nécessaire.
- observer la position et la valeur des maximums et minimums d'interférence.
- représenter la position des fentes et les hyperboles d'interférence sur la feuille transparente.
- mesurer la longueur d'onde λ , l'écart de centre à centre entre les fentes d et déterminer les directions α , pour lesquelles les minimums d'interférence apparaissent.
- comparer l'image d'interférence avec celle de l'excitateur double (distance 4,2 cm, $f = 25$ Hz).
- faire varier l'écart entre les fentes d en recouvrant la deuxième et la quatrième fente (fentes extérieures) comme indiqué en Fig. 7 et refaire les essais.
- comparer les modèles d'interférence des deux images d'interférence.
- régler des fréquences de 10 à 40 Hz par paliers de 5 Hz. Observer à chaque fois la longueur d'onde, la position et le nombre des hyperboles d'interférence. Représenter quelques images d'interférence sur d'autres feuilles transparentes pour l'évaluation quantitative. Comparer les images d'interférence.

Fig. 7 Fente double avec 4,2 cm d'écart de centre à centre



Exemple de mesure

Deux photos avec des exemples de mesure pour l'interférence à double faisceau sont représentées en fig. 1.

Tableau 1: directions α des 3 premières hyperboles d'interférence pour des minimums d'interférence avec $\lambda = 1,1$ cm et différents écarts d'excitateurs d

$\frac{d}{\text{cm}}$	Expérience			Formule (III)		
	α_1	α_2	α_3	α_1	α_2	α_3
8,0	5°	12°	22°	3,9°	11,9°	20,1°
4,2	7°	22°	39°	7,5°	23,1°	40,9°

La Fig. 8 représente deux photos d'exemples de mesure d'interférence par excitation double et d'interférence derrière une fente double.

Résultats

a) Interférence à double faisceau derrière une fente double :

Les ondes circulaires produites par l'excitateur double se superposent aux endroits où elles se rencontrent. Les régions sans mouvements d'ondes sont caractérisés par l'effacement (minimums).

Les minimums et maximums se trouvent sur des hyperboles avec les centres d'excitation comme foyer. Les relations concernant la position des hyperboles énoncées dans la partie „Bases“ sont confirmées expérimentalement:

Les modèles d'interférence sont caractérisés par l'écart des excitateurs et la longueur d'onde. Lorsque l'écart de l'excitateur augmente (diminution de la longueur d'onde), le nombre d'hyperboles augmente.

b) Interférence à double faisceau sur la fente double :

Les images d'interférence apparaissant derrière la fente double sont semblables à celles de l'excitateur double. D'après le

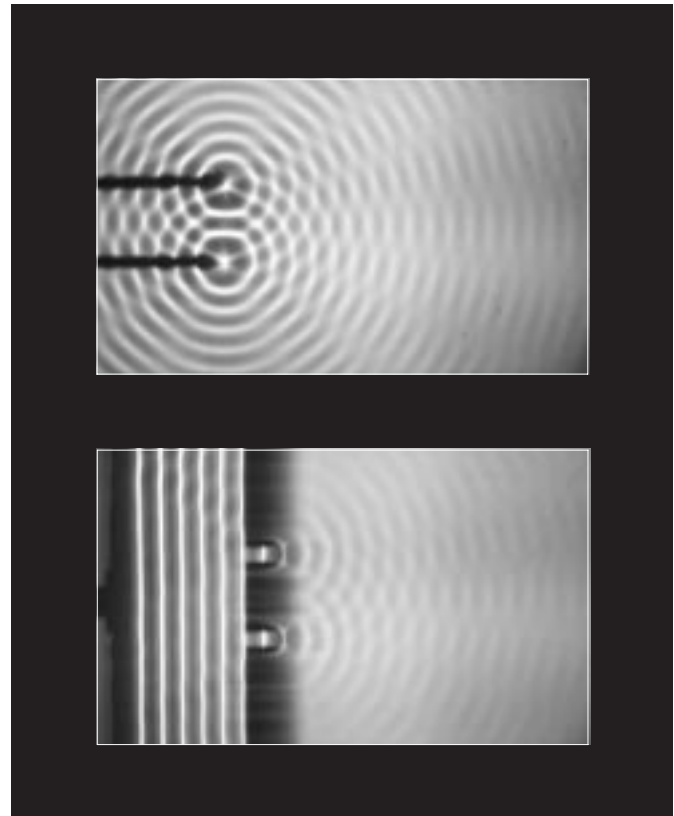


Fig. 8 Interférence à double faisceau d'ondes à la surface de l'eau (photos)
 En haut: excitation double
 En bas: diffraction sur la fente double

principe d'Huygens, deux nouvelles ondes circulaires de fréquences et amplitudes égales (ondes circulaires cohérentes) apparaissent simultanément aux deux fentes. La structure d'interférence est identique à celle de l'excitateur double.

Le modèle d'interférence est caractérisé par la distance de centre à centre entre les fentes et la longueur d'onde. Lorsque la distance de centre à centre augmente (diminution de la longueur d'onde), le nombre d'hyperboles augmente.

Essai de Lloyd sur les ondes à la surface de l'eau

Objectifs expérimentaux

- Etude de l'interférence d'ondes à la surface de l'eau circulaires avec les ondes réfléchies sur une paroi rectiligne
- Comparaison de l'image d'interférence avec l'interférence à double faisceau

Principes de base

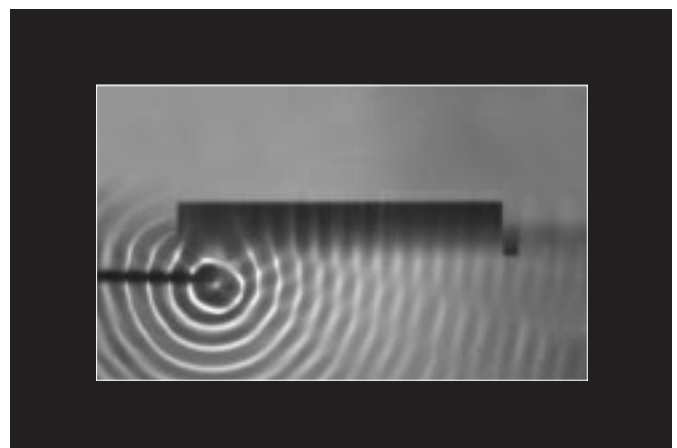
Lloyd décrit un essai d'interférence en 1837, dans lequel une deuxième onde était produite par réflexion, à partir d'une première source de lumière cohérente.

Il projeta un faisceau de lumière rasant sur un miroir et orienta la lumière réfléchie de manière à se superposer avec la lumière directe.

Cet essai peut également être réalisé avec des ondes à la surface de l'eau, en plaçant un excitateur unique devant une paroi de réflexion, à distance adéquate. Il se forme une image d'interférence qui correspond à celle de l'interférence à double faisceau avec deux excitateurs uniques cohérents (voir „interférence à double faisceau d'ondes à la surface de l'eau“ (P1.6.5.1)).

Cette correspondance se manifeste d'autant plus lorsque on place un deuxième excitateur unique au point de réflexion du premier excitateur.

Fig. 1 Interférence d'une onde à la surface de l'eau circulaire avec une onde réfléchie sur une paroi rectiligne (photo)



Geräte

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur 401 501

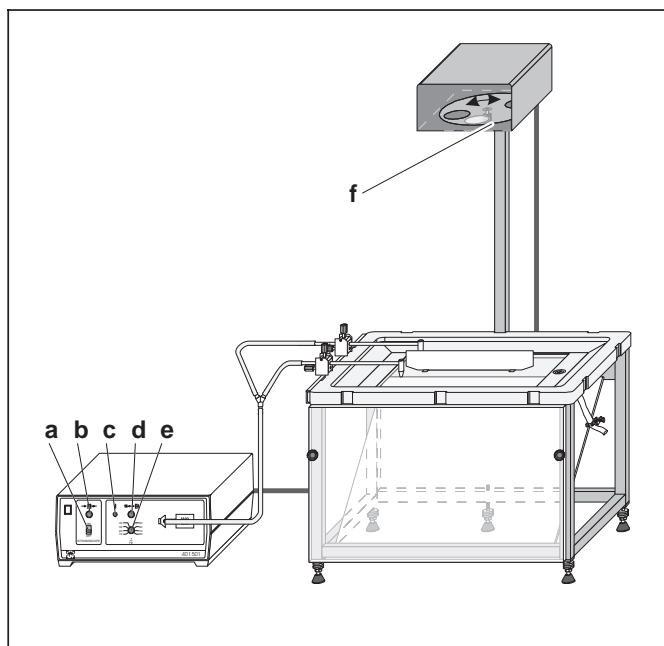
Montage

Le montage d'essai est représenté en fig. 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes.
- monter deux excitateurs d'ondes circulaires à double excitation à 8 cm l'un de l'autre (voir fig. 8).
- sortir un des deux excitateurs d'ondes circulaires de l'eau à l'aide de la vis de réglage (**h**).
- monter la paroi de réflexion dans le sens de la longueur au milieu de la cuve à ondes.

Réalisation

- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (**f**), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 25 Hz environ avec le bouton (**e**) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (**d**), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (**h**) si nécessaire.



- observer la position et la valeur des maximums et minimums d'interférence.
- replonger le deuxième excitateur d'ondes dans l'eau au point de réflexion du premier centre d'excitation et observer l'image d'interférence sur les deux faces de la paroi de réflexion.
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (**h**) si nécessaire, jusqu'à ce que les images d'interférence sur les deux faces de la paroi de réflexion soient semblables.
- déplacer la paroi de réflexion doucement dans le sens de la longueur et la sortir de la cuve à ondes. Observer les variations de l'image d'interférence.

Indication: les changements de position des hyperboles d'interférence peuvent être observés aisément en diminuant ou en augmentant constamment la fréquence.

Exemple de mesure

La fig. 1 représente une photographie d'exemple de mesure.

Résultats

L'image d'interférence issue de la superposition des ondes circulaires avec les ondes réfléchies sur une paroi rectiligne correspond à la moitié de l'image d'interférence d'un excitateur double.

Si l'on place des excitateurs des deux côtés de la paroi de réflexion rectiligne, l'image d'interférence correspond à celle de l'excitateur double, bien que les ondes circulaires des deux excitateurs ne peuvent pas s'influencer mutuellement.

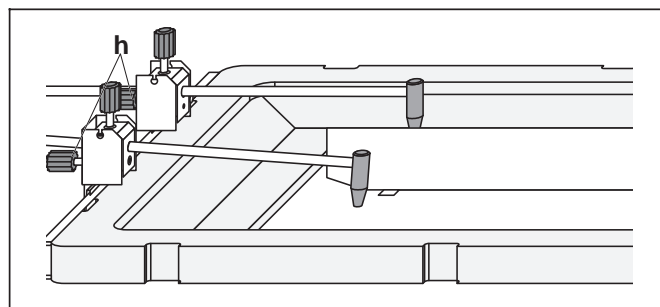
Les minimums et maximums de l'image d'interférence se trouvent sur des hyperboles comme pour l'interférence à deux faisceaux, avec le centre d'excitation et le point de réflexion comme foyers.

Fig. 2 Montage expérimental pour l'essai de Lloyd

- a** interrupteur du stroboscope
- b** bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c** bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d** bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e** bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f** vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)

Fig. 3 Branchement de l'excitateur double et positionnement de la paroi de réflexion

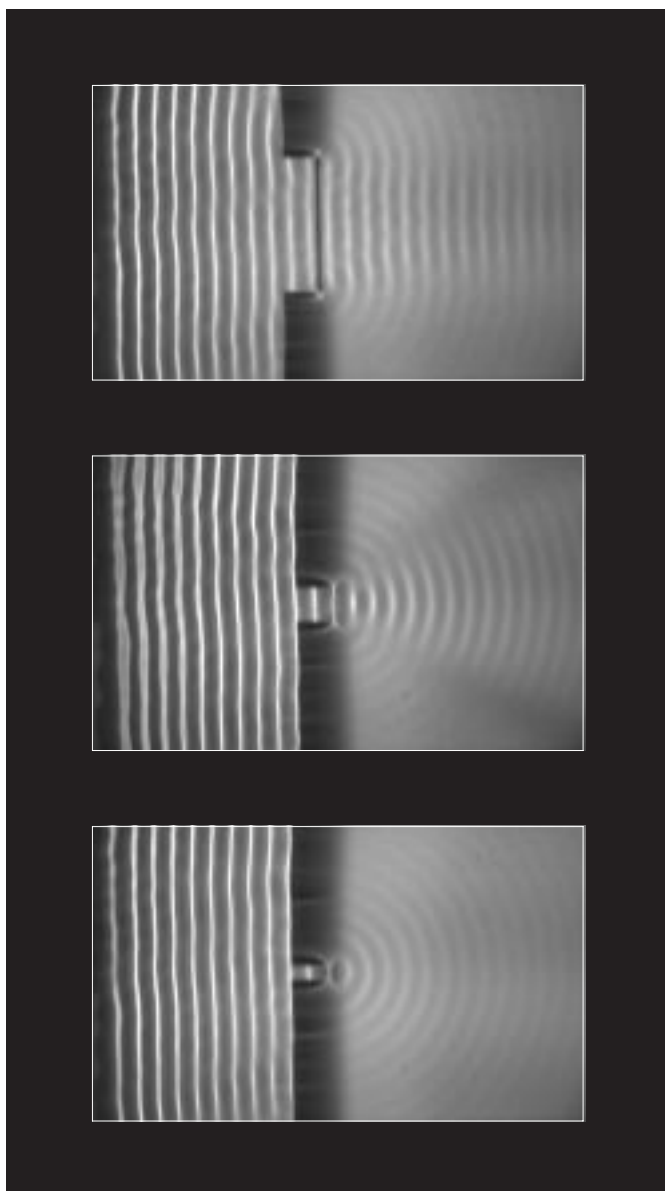
- h** vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)



Diffraction des ondes à la surface de l'eau sur une fente et un obstacle

Objectifs expérimentaux

- Etude de la diffraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur des fentes de largeurs différentes
- Etude de la diffraction d'ondes à la surface de l'eau rectilignes sur des obstacles de largeurs différentes



Principes de base

Les ondes ne se propagent pas uniquement dans la direction initiale derrière un obstacle ou une fente. On observe le phénomène de diffraction, déjà décrit dans l'essai „Principe d'Huygens appliqué aux ondes à la surface de l'eau“ (P1.6.4.2): chaque point du plan de la fente ainsi que les arêtes de la fente ou de l'obstacle se comportent comme des centres d'excitation ponctuels d'ondes circulaires; les ondes élémentaires d'Huygens, qui se superposent mutuellement. Les amplitudes sont amplifiées à certains endroits (apparition de maximums) et diminuées voire éliminées à d'autres (apparition de minimums). L'interférence à un endroit dépend du déphasage des ondes interférentes qui le caractérise (voir „interférence à double faisceau des ondes à la surface de l'eau“ (P1.6.5.1)).

Pour la représentation des phénomènes de diffraction et d'interférence sur une fente ou derrière un obstacle, on produit des fronts d'ondes rectilignes dans la cuve à ondes remplie d'eau, qui rencontrent successivement des fentes et des obstacles rectilignes.

Des fentes de largeurs différentes peuvent être réalisées avec un obstacle à fente large et deux tiroirs de recouvrement. Des ondes circulaires se forment derrière une fente étroite (largeur inférieure à la longueur d'onde). Si la largeur de la fente est légèrement supérieure à la longueur d'onde, des minimums se forment de part et d'autre du maximum principal. Si la largeur de la fente est nettement supérieure à la longueur d'onde, les ondes rectilignes traversent les arêtes des fentes sans subir de modification. Dans cette région les ondes élémentaires n'ont

Fig. 1 Diffraction d'ondes à la surface de l'eau sur des fentes de largeur différentes (photos)
En haut: largeur de fente nettement supérieure à la longueur d'onde
Au milieu: largeur de fente légèrement supérieure à la longueur d'onde
En bas: largeur de fente inférieure à la longueur d'onde

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501

en complément:

Liquide vaisselle

pas de différence de phases. Dans les zones d'ombres des arêtes les ondes circulaires recouvrent les ondes plus faibles.

Des obstacles de largeur différentes peuvent être réalisés avec les tiroirs de recouvrement. Lorsque des ondes rectilignes rencontrent un obstacle, les arêtes de l'obstacle se comportent comme les centres d'excitation des excitateurs doubles. La structure d'interférence déjà rencontrée avec l'excitateur double, se forme derrière l'obstacle (voir „interférence à double faisceau d'ondes à la surface de l'eau“ P1.6.5.1)

Montage

La Fig. 2 représente le montage expérimental.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes.

Réalisation**a) Propagation d'ondes rectilignes derrière des fentes de largeur différentes:**

- placer l'obstacle à grande fente au milieu de la cuve à ondes, directement sous la lampe.
- brancher l'excitateur à ondes rectilignes comme indiqué en Fig. 3 et le monter parallèlement à 5 cm de l'obstacle.
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (**f**), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 25 Hz environ avec le bouton (**e**) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (**d**), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (**h**) si nécessaire.
- observer l'image d'onde derrière la fente.
- mesurer la longueur d'onde λ . Tenir compte de l'échelle d'affichage pour déterminer la longueur d'onde réelle (voir notice de la cuve à ondes).
- réduire l'ouverture de la grande fente avec les deux tiroirs de recouvrement de manière à ce qu'elle soit légèrement supérieure à la longueur d'onde λ (voir fig. 4 au milieu).
- observer l'image d'onde derrière la fente.
- refaire l'essai avec les fréquences suivantes; 10, 15, 20, et 30 Hz.
- réduire l'ouverture de la grande fente avec les deux tiroirs de recouvrement de manière à ce qu'elle soit inférieure à la longueur d'onde λ (voir fig. 4 en bas).

- régler la fréquence à 25 Hz, changer l'amplitude si nécessaire.
- observer à nouveau l'image d'onde derrière la fente.

b) Propagation d'ondes rectilignes derrière des obstacles de largeur différentes:

- sortir l'obstacle à grande fente de la cuve à ondes, placer les deux tiroirs de recouvrement larges parallèlement à l'excitateur d'ondes au milieu de la cuve, directement sous la lampe (voir fig. 5).
- observer l'image d'onde derrière la fente.
- régler la fréquence à 10, 15 et 20 Hz, changer l'amplitude si nécessaire, et observer les images d'onde derrière la fente.
- pousser les deux tiroirs de recouvrement larges l'un contre l'autre pour réduire l'obstacle et refaire les essais (voir fig. 5 au milieu).
- monter ensuite les deux tiroirs de recouvrement étroits (voir fig. 5 en bas).

Exemple de mesure**a) Propagation d'ondes rectilignes derrière des fentes de largeur différentes:**

La fig. 1 représente 3 photographies d'exemples de mesure.

b) Propagation d'ondes rectilignes derrière des obstacles de largeur différentes:

La fig. 6 représente 3 photographies d'exemples de mesure.

Résultats**a) Propagation d'ondes rectilignes derrière des fentes de largeur différentes:**

Les phénomènes de diffraction étudiés dans la partie „Bases“ sont confirmés expérimentalement:

Si la largeur de la fente est nettement supérieure à la longueur d'onde, les ondes rectilignes traversent les arêtes des fentes sans subir de modification. Dans les zones d'ombres des arêtes, les ondes circulaires recouvrent les ondes plus faibles. Les minimums et maximums ne sont pas distinguables.

Si la largeur de la fente est légèrement supérieure à la longueur d'onde, des minimums et des maximums latéraux se forment de part et d'autre du maximum principal. Les modèles d'interférence dépendent de la longueur d'onde. Les fronts d'onde des maximums voisins sont translatés d'une demi longueur d'onde.

Si la fente est plus petite que la longueur d'onde, elle se comporte comme un excitateur ponctuel d'ondes circulaires.

b) Propagation d'ondes rectilignes derrière des obstacles de largeur différentes:

Les ondes ne se propagent pas uniquement dans la direction initiale derrière l'obstacle. Elles font un arc et s'introduisent dans les „ombres“ des obstacles, comme des ondes circulaires.

Les images d'interférence formées derrière l'obstacle ressemblent à celles d'un excitateur double. Les deux arêtes forment les centres d'excitation.

Les modèles d'interférence sont déterminés par la largeur de l'obstacle, respectivement par la longueur d'onde. Lorsque la largeur augmente (diminution de la longueur d'onde), le nombre d'hyperboles d'interférence augmente.

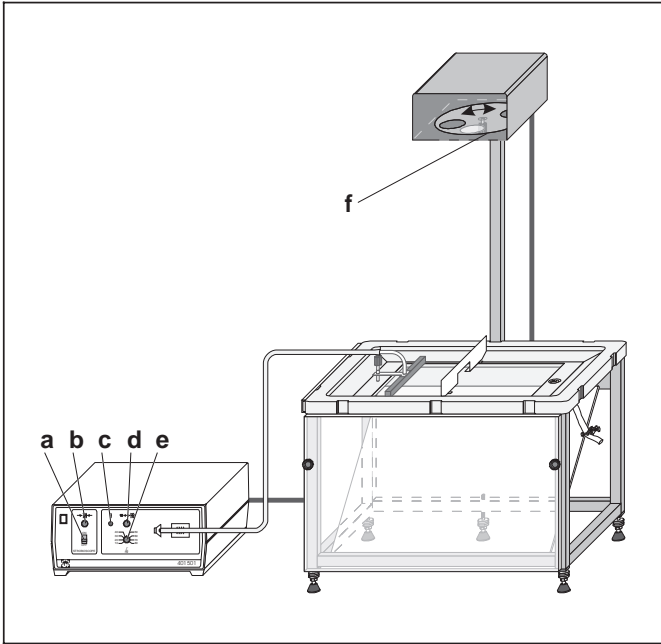


Fig. 2 Montage expérimental pour l'interférence d'ondes à la surface de l'eau
a interrupteur du stroboscope
b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)

Fig. 3 Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes
h vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

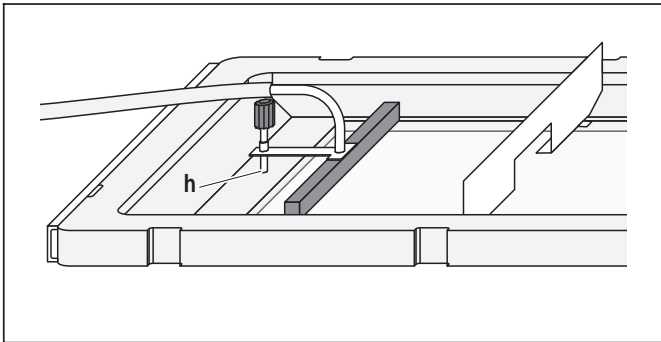
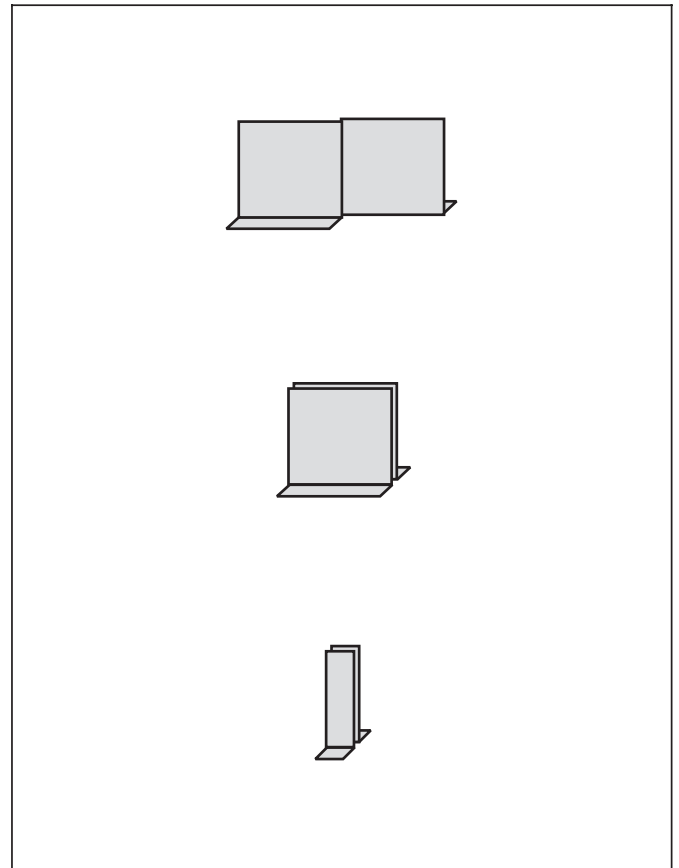
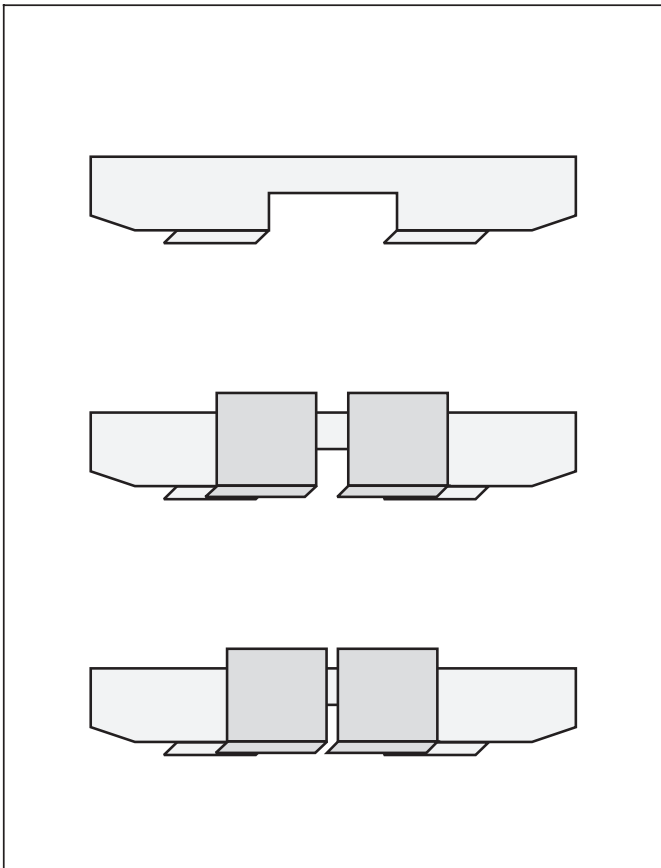


Fig. 4 Fentes de largeurs différentes, vues du côté de l'excitateur
 En haut: largeur nettement supérieure à la longueur d'onde
 Au milieu: largeur légèrement supérieure à la longueur d'onde
 En bas: largeur inférieure à la longueur d'onde

Fig. 5 Obstacles de largeurs différentes
 En haut: grande largeur
 Au milieu: largeur moyenne
 En bas: petite largeur



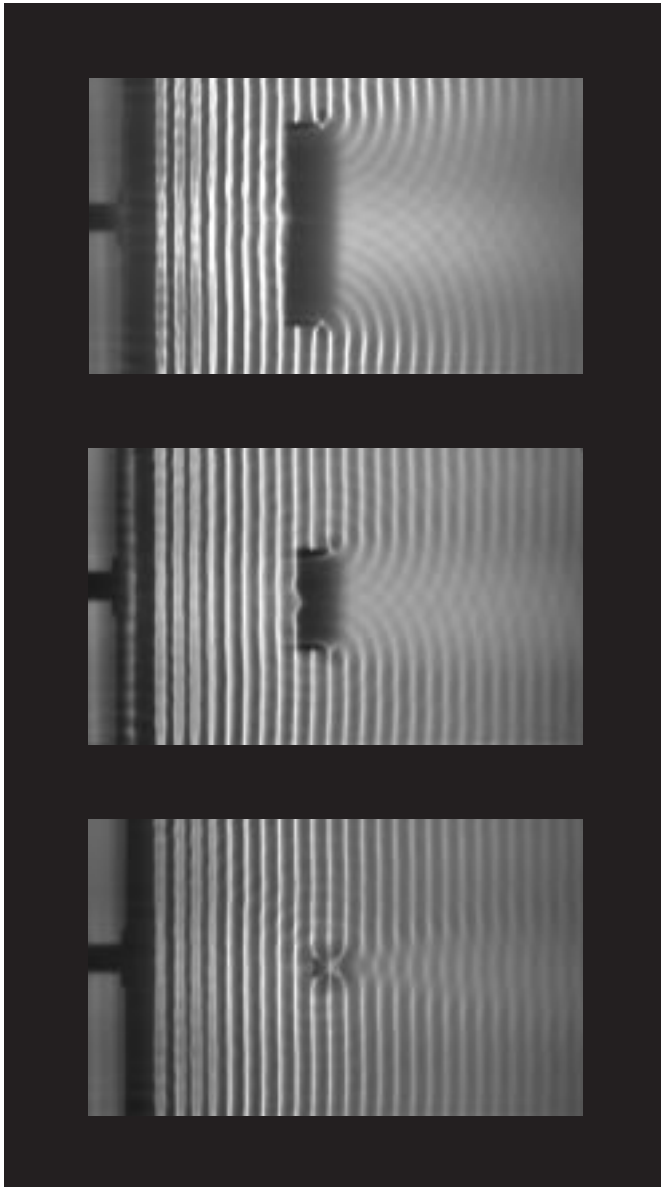


Fig. 6 Diffraction d'ondes à la surface de l'eau sur des obstacles de largeurs différentes (photos)
En haut: obstacle large
Au milieu: obstacle moyen
En bas: petit obstacle

Diffraction des ondes à la surface de l'eau sur une fente multiple

Objectifs expérimentaux

- observation de l'interférence d'ondes à la surface de l'eau sur des fentes doubles, triples et quadruples
- comparaison des images d'interférence

Principes de base

Lorsque des ondes à la surface de l'eau rectilignes rencontrent un obstacle avec deux fentes étroites, des ondes circulaires cohérentes se forment derrière les fentes. La superposition des ondes circulaires donne naissance à des structures d'interférence avec des minimums et maximums nets, dont la position dépend de l'écart de la fente et de la longueur d'onde. L'image d'interférence est comparable avec "l'interférence à double faisceau des ondes à la surface de l'eau" (P1.6.5.1).

La cuve à ondes permet de comparer les structures d'interférence de fentes doubles, triples et quadruples. La structure d'interférence change avec l'augmentation du nombre de fentes n . Les angles caractéristiques des maximums ne changent pas, mais les maximums deviennent plus nets. Par ailleurs, de plus en plus de maximums latéraux apparaissent ($n-2$), leur intensité diminue avec n croissant.

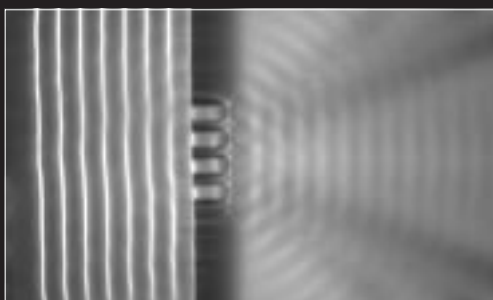
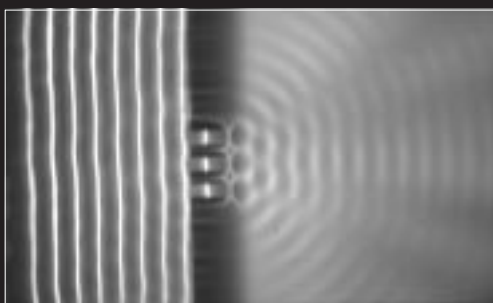
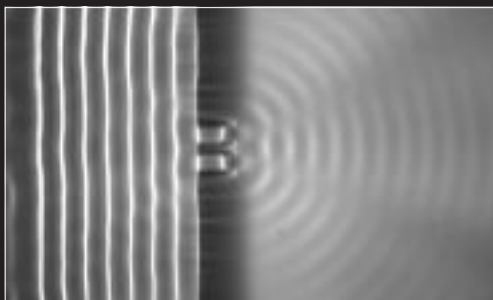


Fig. 1 Diffraction d'ondes à la surface de l'eau sur une fente multiple (photos)

En haut: diffraction sur une fente double

Au milieu: diffraction sur une fente triple

En bas: diffraction sur une fente quadruple

Matériel

1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur. 401 501
en complément:
 Liquide vaisselle

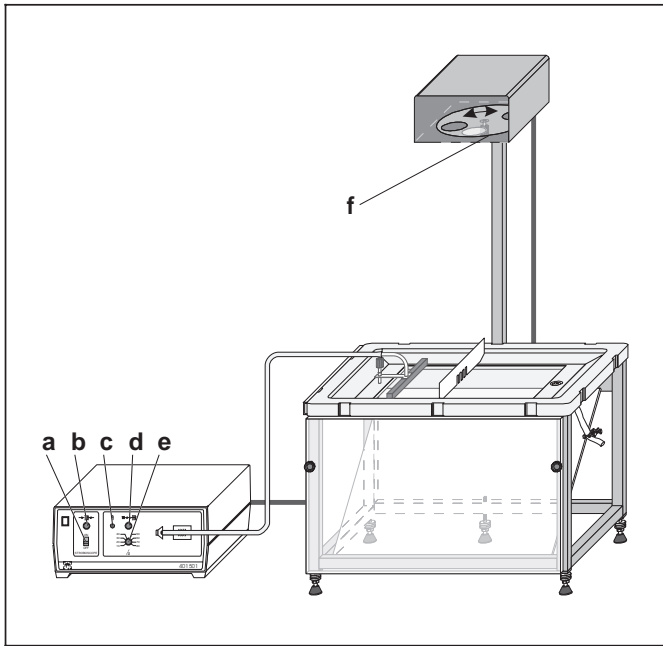
Montage

Le montage expérimental est représenté en fig. 2.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer au mode d'emploi de la cuve à ondes.
- placer l'obstacle à 4 fentes simples au milieu de la cuve à ondes, exactement sous la lampe.
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes comme indiqué en fig 3 et le monter parallèlement à 5 cm de l'obstacle.

Réalisation

- recouvrir les deux fentes extérieures à l'aide des deux tiroirs de recouvrement fins (voir Fig. 4 en haut)
- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (**f**), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 25 Hz environ avec le bouton (**e**) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (**d**), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion avec la vis de réglage (**h**) si nécessaire.
- observer la position et la valeur des maximums et minimums d'interférence.
- porter le nombre des fentes à 3 en retirant le deuxième tiroir de recouvrement.
- observer la position et la valeur des maximums et minimums d'interférence.
- porter le nombre des fentes à 4 en retirant le deuxième tiroir de recouvrement.
- observer la position et la valeur des maximums et minimums d'interférence.
- refaire l'essai avec différentes fréquences.



Exemple de mesure

La fig. 1 représente 3 photographies d'exemples de mesure.

Réalisation

Les ondes curvilignes se superposent à l'endroit où elles se rencontrent derrière la fente double. Il se forme une image d'onde avec des minimums et maximums d'interférence nets. Si l'on ajoute une ou deux fentes à distance égale des autres, des bandes d'interférence plus faibles, appelées maximums latéraux, apparaissent entre les maximums. Le nombre et la direction des maximums principaux ne changent pas. Leur largeur diminue toutefois, c'est à dire qu'ils sont délimités plus fortement. Un maximum latéral apparaît à la fente triple et deux maximums latéraux apparaissent à la fente quadruple.

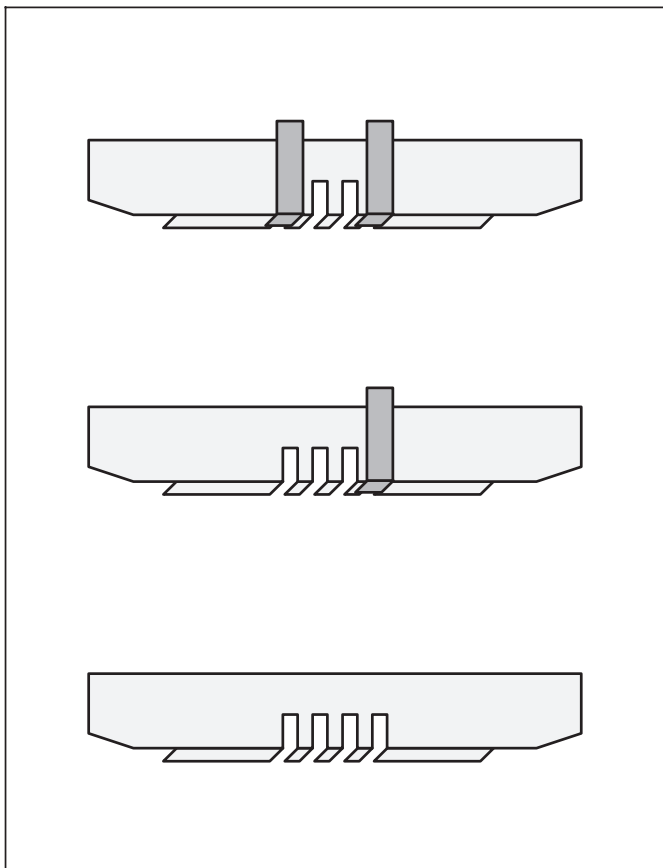
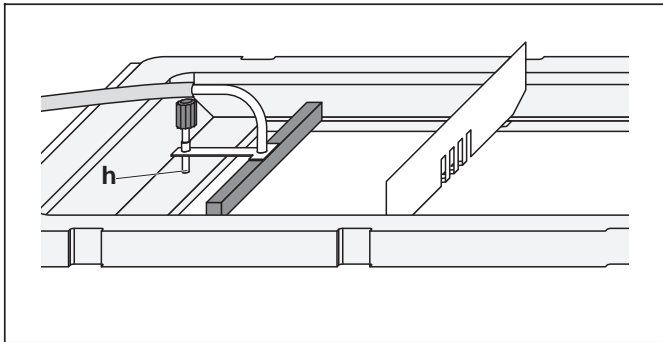


Fig. 2 Montage expérimental pour l'interférence sur la fente multiple d'ondes à la surface de l'eau

- a interrupteur du stroboscope
- b bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e bouton (réglage de la fréquence de l'excitation d'ondes)
- f vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)

Fig. 3 Branchement et positionnement de l'excitateur d'ondes rectilignes

- h vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

Fig. 4 Fente multiple vue du côté de l'excitateur

- En haut: fente double
- Au milieu: fente triple
- En bas: fente quadruple

Ondes à la surface de l'eau stationnaires devant une paroi de réflexion

Objectifs expérimentaux

- Production d'ondes stationnaires devant une paroi de réflexion
- Comparaison de l'écart de deux noeuds d'oscillation ou ventres d'oscillation voisins avec la longueur d'onde

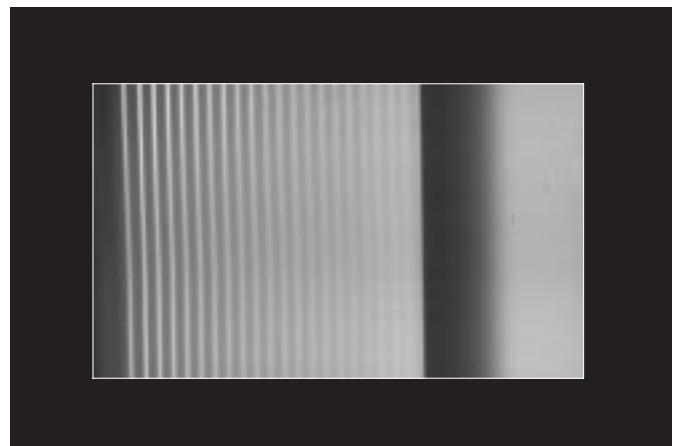
Principes de base

Si des ondes à la surface de l'eau de mêmes amplitudes et fréquences mais de direction de propagation opposées se rencontrent, elles interfèrent pour former une onde stationnaire, qui ne se propage dans aucune direction. Une onde stationnaire est produite dans la cuve à ondes lorsque des ondes à la surface de l'eau rectilignes sont reflétées sur une paroi parallèle à l'excitateur.

A des espaces réguliers, l'onde stationnaire présente des points, où les crêtes et creux d'ondes uniques s'éliminent mutuellement. Ces points sont appelés noeuds. On peut observer deux noeuds au sein d'une période d'oscillation d'onde stationnaire, l'onde stationnaire oscille en opposition de phase devant et derrière le noeud. La déviation est maximale au milieu, entre les deux noeuds, ces points sont appelés ventres.

Bien que les deux ondes uniques soient des ondes continues, les positions des noeuds et ventres de l'onde stationnaire formée ne changent pas.

Fig. 1 Ondes stationnaires devant une paroi de réflexion (photo)



Matériel

- 1 cuve à ondes avec stroboscope à moteur . 401 501
- 1 règle par ex. 311 77
- en complément:*
- Liquide vaisselle

Montage

La fig. 2 représente le montage expérimental.

- monter la cuve à ondes sur une surface stable; se conformer à la notice de la cuve à ondes.
- brancher l'excitateur d'ondes rectilignes comme indiqué en fig. 3 et préparer la paroi de réflexion.

Réalisation

- éventuellement sortir le disque stroboscopique de la marche des rayons, à l'aide de la vis moletée (**f**), de manière à ce que la plaque de verre au fond de la cuve à ondes soit totalement éclairée.
- régler la fréquence à 20 Hz avec le bouton (**e**) et augmenter doucement l'amplitude d'excitation avec le bouton (**d**), jusqu'à apparition de fronts d'ondes nets (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes).
- changer la profondeur d'immersion de l'excitateur avec la vis de réglage (**h1**) si nécessaire.
- brancher le stroboscope avec l'interrupteur (**a**) pour déterminer la longueur d'onde, après un bref temps de démarrage régler la synchronisation des fréquences de l'excitateur et du stroboscope avec le bouton (**b**), jusqu'à obtention d'une image d'onde nette.
- mesurer la distance λ entre deux fronts d'ondes sur l'écran (**g**). Tenir compte de l'échelle d'affichage (voir le mode d'emploi de la cuve à ondes)

- débrancher le stroboscope et placer la paroi de réflexion parallèlement à l'excitateur, dans la partie droite de la cuve à ondes.
- observer l'image d'onde.
- mesurer l'écart d entre deux noeuds devant la paroi de réflexion sur l'écran (tenir compte de l'échelle d'affichage) et le comparer avec la longueur d'onde.
- refaire l'essai avec différentes fréquences d'excitation entre 10-60 Hz, procéder à un réglage fin si nécessaire. Choisir l'écart le plus grand possible entre l'excitateur et la paroi de réflexion pour les basses fréquences, prendre un écart faible pour les hautes fréquences.

Exemple de mesure

La fig. 1 représente une photographie d'un exemple de mesure.

Tab. 1: longueur d'onde λ et écart du noeud d des ondes stationnaires en fonction de la fréquence d'excitation f

f Hz	λ cm	d cm
10	2,1	1,1
20	1,1	0,6
30	0,8	0,4
40	0,6	0,3
50	0,4	0,2
60	0,4	0,2

Résultats

Les ondes à la surface de l'eau rectilignes et leurs ondes réfléchies sur une paroi rectiligne interfèrent devant la paroi de réflexion pour former une onde stationnaire. Les positions des noeuds et ventres d'oscillation ne changent pas.

L'écart entre deux noeuds voisins est égal à une demi longueur d'onde.

Les ondes stationnaires peuvent ainsi être utilisées pour mesurer des longueurs d'ondes.

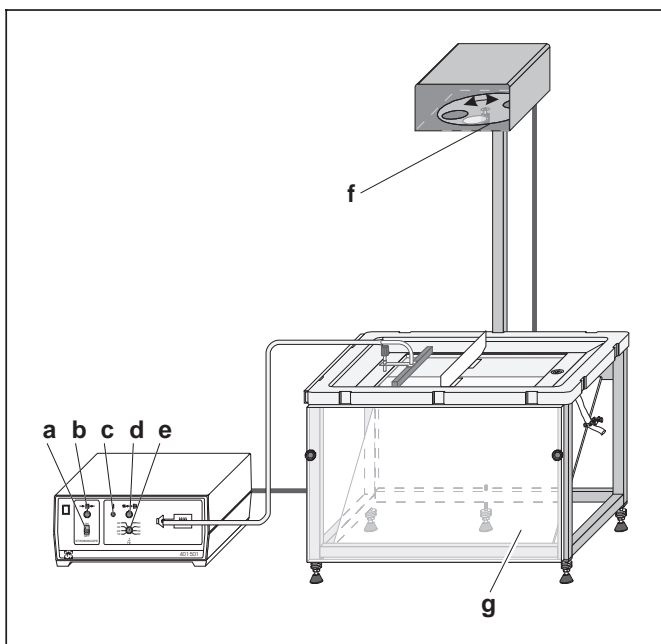


Fig. 2 Montage expérimental pour la production d'ondes à la surface de l'eau stationnaires

- a** interrupteur du stroboscope
- b** bouton (réglage fin de la fréquence du stroboscope)
- c** bouton poussoir (excitation d'ondes uniques)
- d** bouton (réglage de l'amplitude de l'excitation d'ondes)
- e** bouton (réglage de la fréquence de l'amplitude d'ondes)
- f** vis moletée (rotation manuelle du disque stroboscopique)
- g** écran d'observation

Fig. 3. Branchement de l'excitateur d'ondes rectilignes

- h** vis de réglage (réglage de la profondeur d'immersion)

