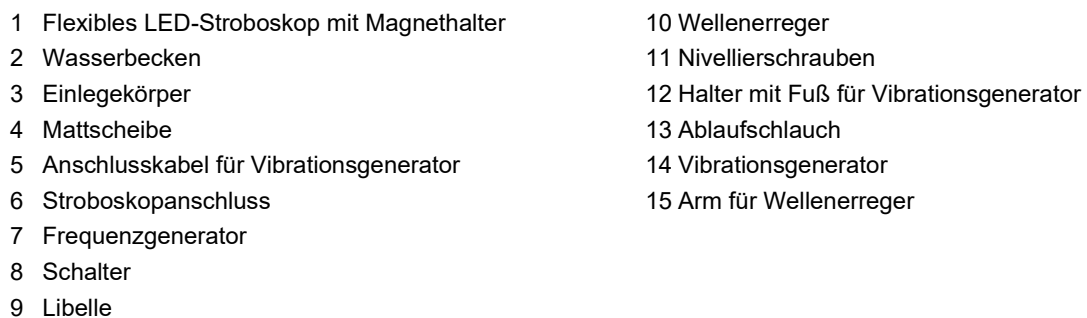


11/25 Alf/GH/UD



1. Sicherheitshinweise

Es besteht Bruchgefahr der Glasteile der Wellenwanne.

- Wellenwanne keinen mechanischen Belastungen aussetzen.

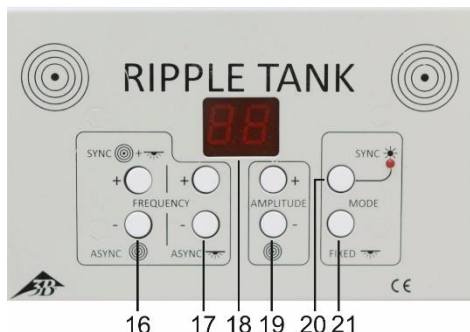
2. Lieferumfang

- 1 Wellenwanne mit Projektionsspiegel, Mattscheibe und Ablaufschlauch
- 1 Flexibles LED-Stroboskop mit Magnethalter
- 1 Frequenzgenerator
- 1 Steckernetzgerät 12 V DC
- 1 Schalter
- 1 Vibrationsgenerator
- 1 Halter mit Fuß für Vibrationsgenerator
- 2 Anschlusskabel für Vibrationsgenerator
- 1 Arm für Wellenerreger
- 1 Satz 4 Wellenerreger (ebene Wellen, Kreiswellen, zwei / vier interferierende Kreiswellen)
- 1 Satz 7 Einlegekörper (Prisma, Bikonvexlinse, Bikonkavlinse, drei lange / ein kurzer Quader)
- 1 Libelle
- 1 Aufbewahrungskoffer

3. Beschreibung

Die Wellenwanne dient der anschaulichen Demonstration grundlegender Phänomene der Wellenlehre wie die Erregung von ebenen Wellen und Kreiswellen, Brechung, Reflexion, Beugung und Interferenz anhand auf eine Mattscheibe projizierter Wasserwellen.

3.1 Bedienelemente Frequenzgenerator



- 16 Stellknöpfe zur Einstellung der Erregerfrequenz im synchronen Betrieb
17 Stellknöpfe zur Einstellung der Erregerfrequenz im asynchronen Betrieb
18 Frequenzanzeige
19 Stellknöpfe zur Einstellung der Erregeramplitude

Die Wellenwanne besteht aus einem Aluminiumrahmen, auf den ein flaches Becken mit Glasboden aufgesetzt ist. Im Glasboden befindet sich eine Öffnung mit Ablaufschlauch zum Ablassen des Wassers. Die horizontale Ausrichtung des Beckens erfolgt mit Hilfe einer Libelle über die vier höhenverstellbaren Füße unter der Wellenwanne. Durch lokale mechanische Schwingungen, deren Frequenz und Amplitude am Frequenzgenerator eingestellt werden, werden im Wasser ebene Wellen oder Kreiswellen erregt.

Eine LED-Lampe mit Magnethalter beleuchtet die Wanne von oben als Stroboskop mit synchroner oder asynchroner Frequenz. Im Rahmen befindet sich ein schräg gestellter Spiegel, über den die Wellen auf eine Mattscheibe projiziert werden. Der Anschluss des Stroboskops erfolgt über eine Dreipolbuchse an der linken Seite des Frequenzgenerators.

Am Frequenzgenerator lassen sich die Frequenz des Stroboskops sowie die Frequenz und die Amplitude der Wellenerregung getrennt einstellen. Die eingestellte Frequenz wird am Frequenzgenerator permanent angezeigt, die Amplitude temporär bei Änderung. Die Stromversorgung erfolgt über ein Steckernetzgerät.

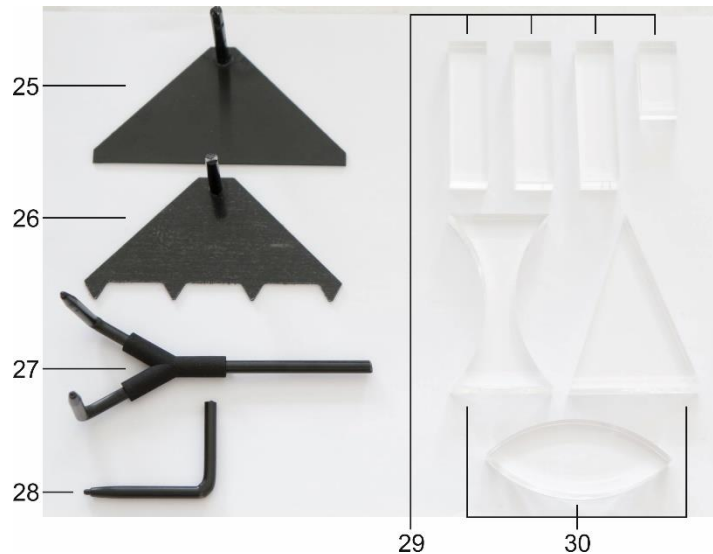
Die Wellenerregung erfolgt mit Hilfe eines Vibrationsgenerators. Ein Halter mit Fuß dient zur Aufnahme und Positionierung des Vibrationsgenerators. Im Tubus des Fußes befindet sich eine Schraubenfeder als Stoßdämpfer. Die Wellenerreger werden mechanisch über einen Arm angekoppelt. Die Stromversorgung erfolgt mit Hilfe zweier Anschlusskabel über den Frequenzgenerator. Zur Durchführung der Experimente stehen verschiedene Wellenerreger und Einlegekörper zur Verfügung.

An den Seiten der Wellenwanne befinden sich zwei Aussparungen zum Greifen für den Transport.



- 20 Umschalter synchroner / asynchroner Betrieb
21 Ein- / Ausschalter der Stroboskop-Beleuchtung
22 Anschlussbuchse für Stroboskop
23 Anschlussbuchse für Steckernetzteil
24 Anschlussbuchsen für Vibrationsgenerator

3.2 Zubehör



- 25 Erreger für ebene Wellen
 26 Erreger für vier interferierende Kreiswellen
 27 Erreger für zwei interferierende Kreiswellen
 28 Erreger für Kreiswellen

- 29 Einlegekörper drei lange, ein kurzer Quader
 30 Einlegekörper Prisma, Bikonkav- und Bikonvexlinse

4. Technische Daten

Abmessungen

Wanne:	ca. 400x300x330 mm ³
Wasserbecken (nutzbare Glasfläche):	ca. 360x260 mm ²
Mattscheibe:	ca. 395x320 mm ²
Projektionsspiegel:	ca. 420x395 mm ²

Stroboskopleuchte

Leuchtmittel:	LED 3W
Durchmesser:	34 mm
Maximale Blitzfrequenz:	60 Hz

Frequenzgenerator

Abmessungen:	ca. 170x110x50 mm ³
Frequenzbereich:	1 – 60 Hz, in 1 Hz Schritten einstellbar
Amplitudeneinstellung:	1 – 30%
Versorgungsspannung:	12 V DC/ 1A über Steckernetzgerät 100 – 240 V

Vibrationsgenerator

Abmessungen:	ca. 110x90x110 mm ³
Stromstärke:	max. 400 mA
Überlastschutz:	500-mA-Sicherung
Anschluss:	4-mm-Sicherheitsbuchsen

5. Bedienung

Zusätzlich empfohlen:

1 Becherglas, 800 ml, hohe Form	1025694
1 Spritzflasche 500 ml	1009812
Wasser	

- Die Wellenwanne mit der Mattscheibe nach vorne auf einer waagrechten Unterlage erschütterungsfrei aufstellen.
- Die vier höhenverstellbaren Füße unter der Wellenwanne so weit herausschrauben, dass man den Fuß des Halters für den Vibrationsgenerator unter die Wellenwanne schieben kann, ohne dass dieser die Wellenwanne berührt.
- Die Wellenwanne mit Hilfe von Libelle und höhenverstellbaren Füßen horizontal ausrichten.
- Den Ablaufschlauch so in der Klemmvorrichtung an der Wellenwanne anbringen, dass er senkrecht nach oben zeigt.
- Den Halter mit Fuß für Vibrationsgenerator rechts mittig unter die Wellenwanne schieben, so dass die spitze Seite des Fußes zur Wellenwanne zeigt. Ggf. den Halter im Fuß so drehen und fixieren, dass seine spitze Seite ebenfalls zur Wellenwanne zeigt.
- Den Halter mit Hilfe von Libelle und den beiden Nivellierschrauben am Fuß horizontal ausrichten

- Den Vibrationsgenerator mit dem Bedienfeld nach vorne auf dem Halter positionieren.
- Den Arm für Wellenerreger-Module mit Hilfe seines Magnetfußes auf die Spitze des Halters setzen und mit Hilfe der Rändelschraube am Stift des Vibrationsgenerators befestigen.
- Gewünschten Wellenerreger in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren.
- Verbindung zwischen Frequenzgenerator und Vibrationsgenerator über die beiden 4-mm-Sicherheitskabel herstellen.
- Das Stroboskop mit Hilfe des Magnethalters außen an der Wellenwanne befestigen und über das dreipolige Kabel an den Frequenzgenerator anschließen.
- Den Frequenzgenerator über den Schalter und das Steckernetzgerät an das Stromnetz anschließen.

Die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllen. Die Einlegekörper ragen dann über die Wasseroberfläche hinaus.

- Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Den Frequenzgenerator einschalten.

Beim Starten ist der synchrone Betrieb mit einer Frequenz von 30 Hz und einer Amplitude von 10% voreingestellt. Bei synchroner Erreger- und Stroboskopfrequenz können stehende Wellenbilder realisiert werden, bei asynchroner laufende.

- Das Stroboskop in Höhe und Position so ausrichten, dass die Wellenwanne vollständig ausgeleuchtet wird.
- Experiment durchführen. Ggf. Wassertiefe, Position der Wellenerreger sowie Frequenz und Amplitude der Schwingung anpassen, um die Darstellung der zu beobachtenden Phänomene zu optimieren.
- Nach Beendigung des Experiments Wellenwanne über den Ablaufschlauch in ein Becherglas entleeren.
- Das Gerät sorgfältig abtrocknen, um Kalkrückstände zu vermeiden.

6. Beispielexperimente

6.1 Wellenerregung

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Nacheinander die entsprechenden Wellenerreger bis zum Anschlag in den Arm stecken, mit Hilfe der Rändelschraube fixieren und so ebene Wellen, Kreiswellen oder interferierende Kreiswellen erzeugen (Fig. 1a – d). Die

Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters jeweils so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.

6.2 Brechung

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren.
- Die Bikonvexlinse, die Bikonkavlinse oder das Prisma mittig einige Zentimeter vor dem Wellenerreger in die Wellenwanne legen.
- Die Vorderkanten der Bikonkavlinse mit Hilfe zweier langer, hochkant gestellter Quader abschirmen (Fig. 2b), um unerwünschte Randeffekte wie Beugungs- und Interferenzerscheinungen zu minimieren.
- Das Prisma so drehen, dass die lange Seite, die dem Wellenerreger abgewandt ist, parallel zum Wellenerreger liegt (Fig. 2c).

Die zugewandte lange Seite schließt dann mit dem Wellenerreger einen Winkel von ca. 40° ein, der dem Spitzenwinkel des Prismas entspricht.

- Wasser nachfüllen, so dass der Einlegekörper vollständig mit Wasser bedeckt wird.
- Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.

Zur Beobachtung der Brechung darf der Einlegekörper nur knapp mit Wasser bedeckt sein.

- Den Frequenzgenerator einschalten und die Darstellung auf der Mattscheibe beobachten. Mit Hilfe z.B. einer Spritzflasche so viel Wasser aus der Wellenwanne entnehmen, bis hinter dem Einlegekörper die Brechung zu sehen ist. Bei mehrmaliger Entnahme die Spritzflasche zwischendurch in ein Becherglas entleeren. Eintauchtiefe des Wellenerregers und ggf. Frequenz und Amplitude anpassen, um die Darstellung zu optimieren.
- Das Experiment mit den anderen Einlegekörpern wiederholen.

Hinter der Bikonvexlinse entstehen konvergente Kreiswellen, die in einem Brennpunkt zusammenlaufen (Fig. 2a). Hinter der Bikonkavlinse entstehen divergente Kreiswellen, deren Ursprung in einem virtuellen Brennpunkt vor der Linse zu liegen scheint (Fig. 2b). Das Prisma leitet die ebenen Wellen um (Fig. 2c).

Oberhalb der Einlegekörper ist die Wassertiefe deutlich geringer als in der Umgebung der Einlegekörper. In solchen Bereichen geringer Wassertiefe laufen die Wellen langsamer, infolgedessen nimmt die Wellenlänge ab. Dementsprechend werden die Wellen beim Übergang vom tiefen in das flache Wasser gebrochen, vergleichbar mit dem Übergang von Lichtwellen von einem optisch dünneren in ein optisch dichteres Medium.

6.3 Reflexion

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Die Bikonvexlinse oder die Bikonkavlinse in die Wellenwanne legen und das Reflexionsmuster beobachten.

Bei der Reflexion von ebenen Wellen an gekrümmten Hindernissen wirkt die Bikonvexlinse wie ein Wölbspiegel (Fig. 3a), die Bikonkavlinse wie ein Hohlspiegel (Fig. 3b).

- Die drei langen Quader unter 45° vor den Wellenerreger legen, so dass ein gerades, lückenloses Hindernis entsteht.

Bei der Reflexion von ebenen Wellen wirkt das gerade Hindernis wie ein Planspiegel. Die reflektierten Wellen sind wieder eben. Die Wellenlänge ändert sich nicht. Es gilt Einfallswinkel = Ausfallswinkel (Fig. 3c).

- Das Experiment mit dem Erreger für Kreiswellen wiederholen. Dazu das gerade Hindernis näher an den Wellenerreger heranschieben.

Bei der Reflexion von Kreiswellen wirkt das gerade Hindernis wie ein Planspiegel. Die reflektierten Wellen sind wieder kreisförmig. Ihr Ursprung liegt in einem virtuellen Punkt hinter dem geraden Hindernis, spiegelsymmetrisch zum Punkt der Erregung (Fig. 3d).

6.4 Beugung

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.

- Mit Hilfe von zwei langen Quadern nacheinander einen Einfachspalt mit drei unterschiedlichen Spaltbreiten realisieren, 1) deutlich größer als die Wellenlänge, 2) etwas größer als die Wellenlänge und 3) kleiner als die Wellenlänge.

Im ersten Fall passieren die ebenen Wellen den Spalt unverändert. Ausgehend von den Kanten breiten sich Kreiswellen mit schwächerer Amplitude in den abgeschatteten Bereich aus (Fig. 4a). Im zweiten Fall interferieren die von den Kanten ausgehenden Kreiswellen. Es bilden sich Interferenzmaxima und -minima aus, die auf Hyperbeln liegen, mit Brennpunkten an den Kanten als Quellen der Wellenerregung (Fig. 4b). Im dritten Fall bilden sich Kreiswellen, der Spalt wirkt wie ein punktförmiger Erreger (Fig. 4c).

- Einen langen Quader als Hindernis in die Wellenwanne legen.

Die Kanten des Quaders wirken wie die Erreger von Kreiswellen, die sich auch in den abgeschatteten Bereich ausbreiten und hinter dem Quader interferieren (Fig. 4d).

6.5 Interferenz

- Sicherstellen, dass die Wellenwanne mit 5 mm Wasser befüllt ist.
- Nacheinander die Erreger für zwei und vier interferierende Kreiswellen in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe der Wellenerreger durch Verstellen der Höhe des Halters jeweils so wählen, dass die Unterkante der Wellenerreger die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Die Interferenzmuster beobachten.

Die Interferenzmaxima und -minima liegen auf Hyperbeln mit Brennpunkten in den Punkten der Wellenerregung (Fig. 1c, d).

- Den Erreger für ebene Wellen bis zum Anschlag in den Arm stecken und mit Hilfe der Rändelschraube fixieren. Die Eintauchtiefe des Wellenerregers durch Verstellen der Höhe des Halters so wählen, dass die Unterkante des Wellenerregers die Wasseroberfläche gerade berührt.
- Mit Hilfe von zwei langen und dem kurzen Quader einen Doppelspalt realisieren.
- Die Interferenzmuster beobachten.

Die Interferenzmuster hinter dem Doppelspalt gleichen denen des Wellenerregers für zwei interferierende Kreiswellen. Nach dem Huygensschen Prinzip entstehen zeitgleich an beiden Spalten kreisförmige Wellenfronten mit gleicher Frequenz und Amplitude (Fig. 5).

6.6 Bestimmung der Wellenlänge

Zur Bestimmung der Wellenlänge ist der Vergrößerungsfaktor b zu berücksichtigen.

Der Vergrößerungsfaktor b lässt sich berechnen, indem z.B. die Bikonkavlinse auf die Wellenwanne gelegt und deren Größe A ins Verhältnis zur Größe ihrer Abbildung auf dem Beobachtungsschirm A' gesetzt wird.

$$b = A'/A$$

Aus der auf dem Beobachtungsschirm gemessenen Wellenlänge λ' ergibt sich die tatsächliche Wellenlänge λ :

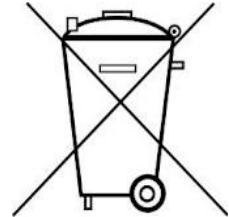
$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Aufbewahrung und Reinigung

- Wellenwanne staubfrei aufbewahren.
- Wellenwanne nach Gebrauch sorgfältig trocknen, um Kalkrückstände und Wasserflecken zu vermeiden.

8. Entsorgung

- Die Verpackung ist bei den örtlichen Recyclingstellen zu entsorgen.
- Sofern das Gerät selbst verschrottet werden soll, so gehört dieses nicht in den normalen Hausmüll. Es sind die lokalen Vorschriften zur Entsorgung von Elektroschrott einzuhalten.



Wellenerregung

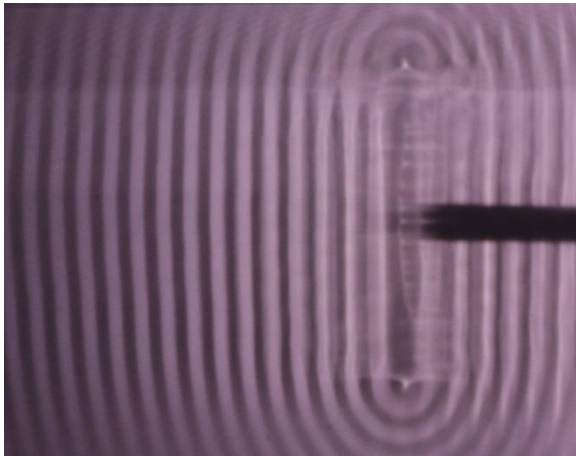


Fig. 1a: Erregung von ebenen Wellen

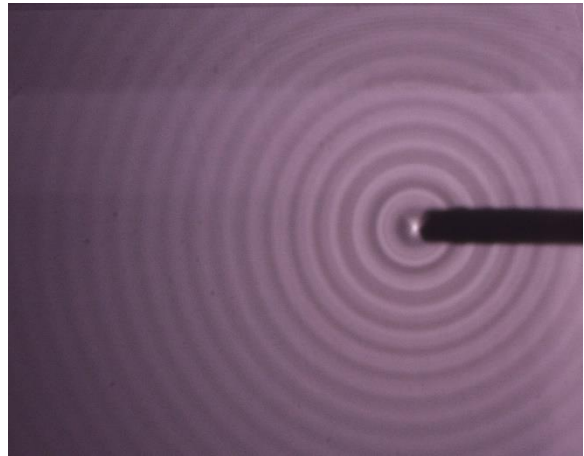


Fig. 1b: Erregung von Kreiswellen

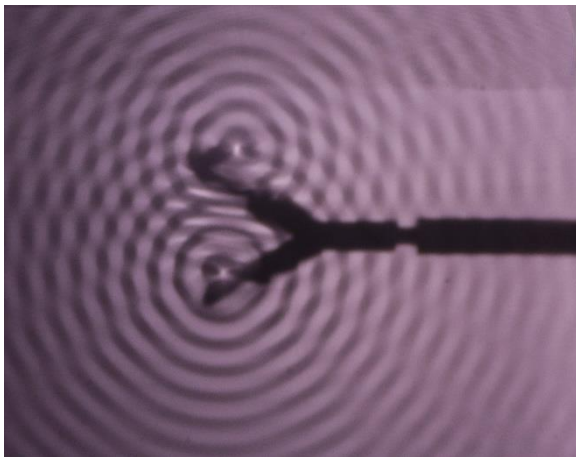


Fig. 1c: Erregung von zwei interferierenden Kreiswellen

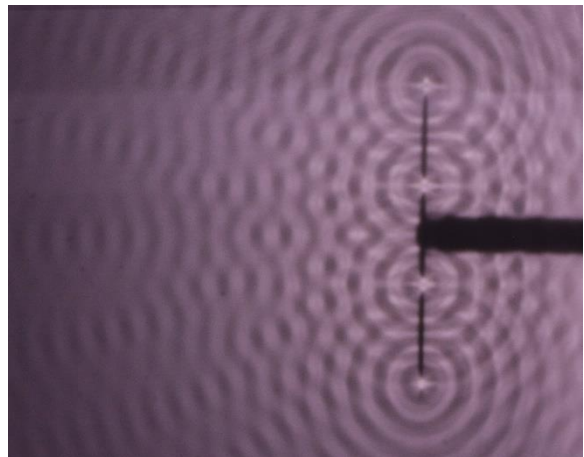


Fig. 1d: Erregung von vier interferierenden Kreiswellen

Brechung

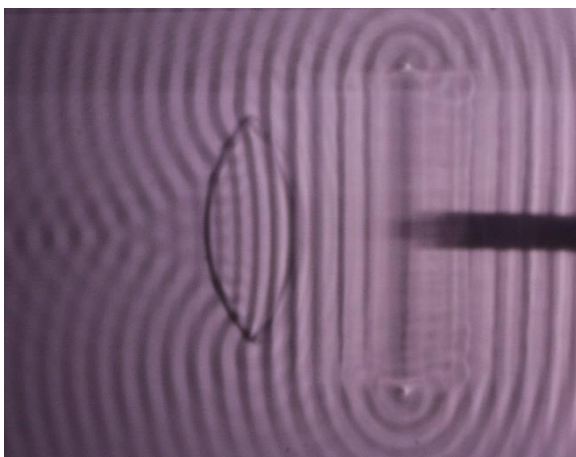


Fig. 2a: Brechung von ebenen Wellen an einer Bikonvexlinse

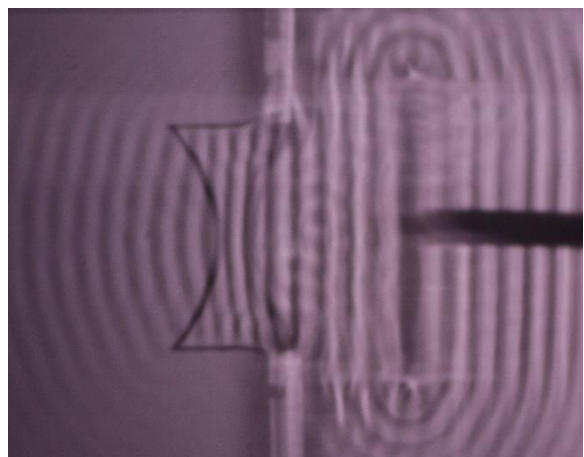


Fig. 2b: Brechung von ebenen Wellen an einer Bikonkavlinse. Die Vorderkanten der Linse sind mit Hilfe zweier langer, hochkant gestellter Quader abgeschirmt, um unerwünschte Randeefekte wie Beugungs- und Interferenzerscheinungen zu minimieren

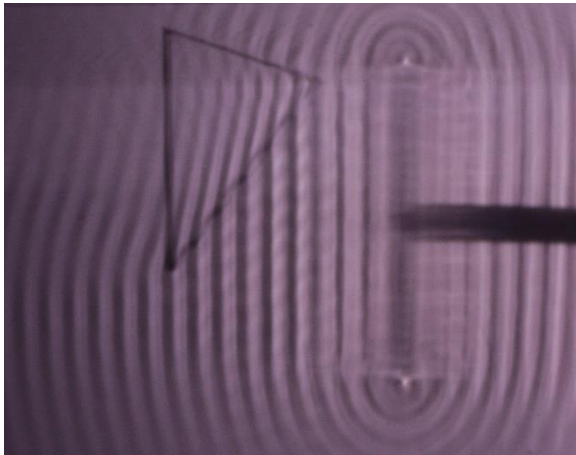


Fig. 2c: Brechung von ebenen Wellen an einem Prisma

Reflexion

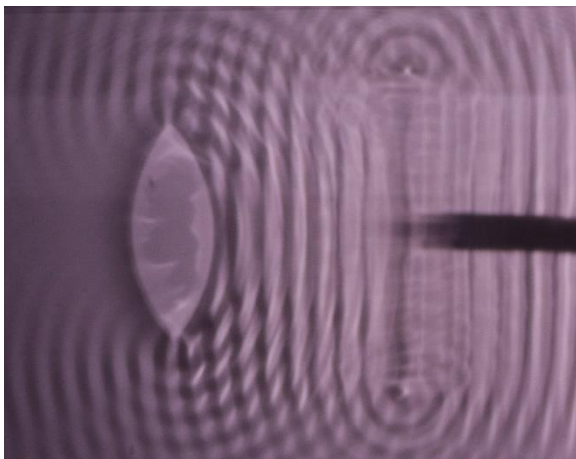


Fig. 3a: Reflexion von ebenen Wellen an einer Bikonvexlinse

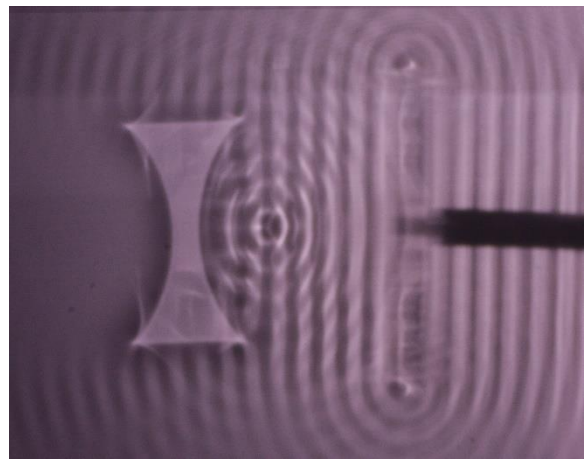


Fig. 3b: Reflexion von ebenen Wellen an einer Bikonkavlinse

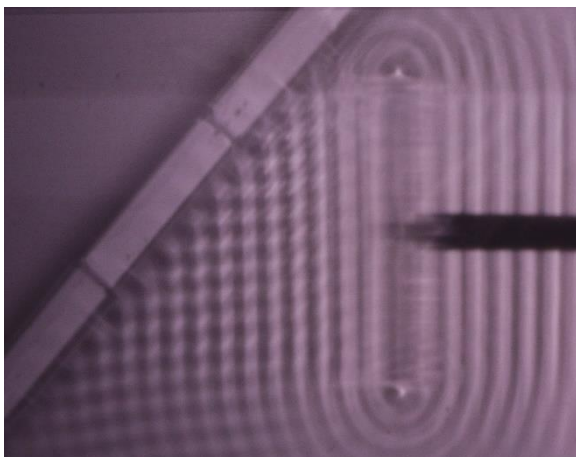


Fig. 3c: Reflexion von ebenen Wellen an einem geraden Hindernis

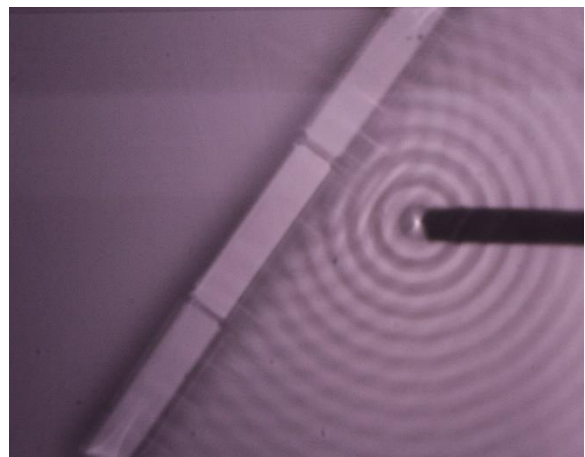


Fig. 3d: Reflexion von Kreiswellen an einem geraden Hindernis

Beugung

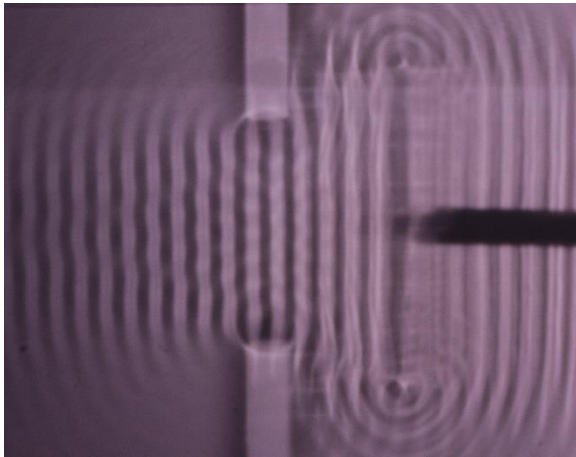


Fig. 4a: Beugung von ebenen Wellen an einem Spalt mit einer Breite deutlich größer als die Wellenlänge

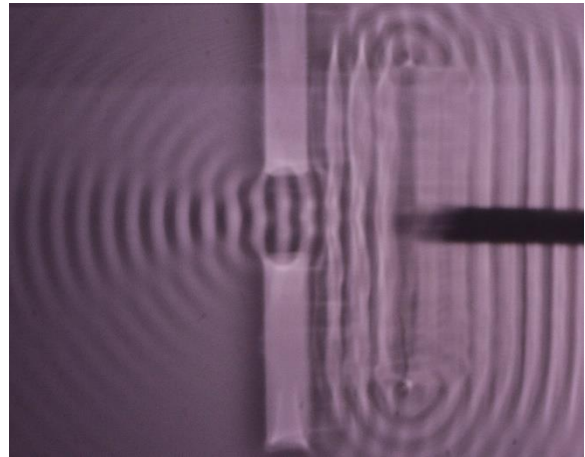


Fig. 4b: Beugung von ebenen Wellen an einem Spalt mit einer Breite etwas größer als die Wellenlänge

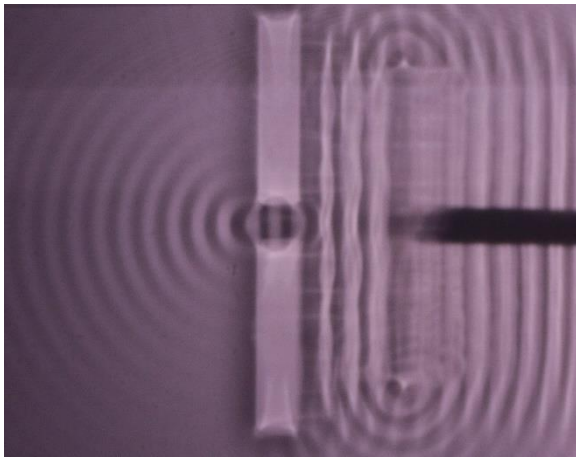


Fig. 4c: Beugung von ebenen Wellen an einem Spalt mit einer Breite kleiner als die Wellenlänge

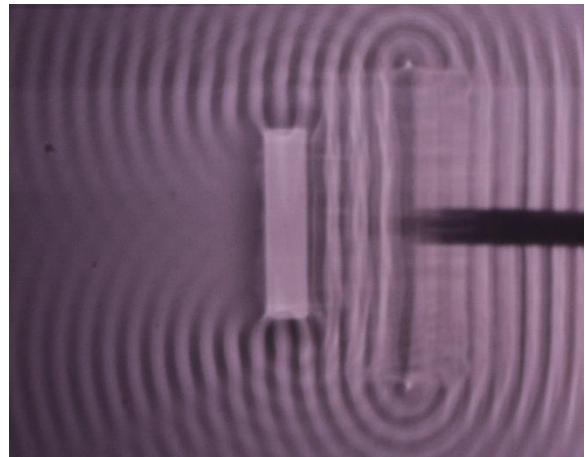


Fig. 4d: Beugung von ebenen Wellen an den Kanten eines Quaders

Interferenz

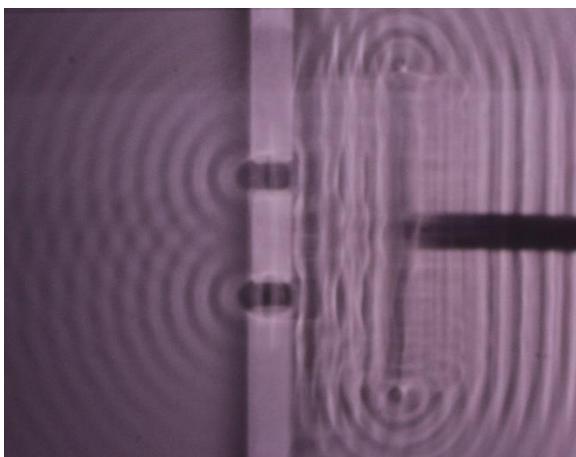


Fig. 5: Interferenz am Doppelspalt

Ripple Tank 1026082

User Manual

11/25 Alf/GH/UD



- 1 Flexible LED stroboscope with magnetic holder
- 2 Water basin
- 3 Immersion bodies
- 4 Observation screen
- 5 Connection cables for vibration generator
- 6 Stroboscope connection
- 7 Frequency generator
- 8 On/Off Switch
- 9 Spirit level

- 10 Wave excitors
- 11 Leveling screws
- 12 Holder with base for vibration generator
- 13 Drain hose
- 14 Vibration generator
- 15 Connecting arm for wave excitors

1. Safety instructions

The glass components of the ripple tank can be broken if they are not handled properly.

- Do not subject the ripple tank to excessive mechanical forces.

2. Equipment supplied

- 1 Ripple tank with projection mirror, observation screen, and drain hose
- 1 Flexible LED stroboscope with magnetic holder
- 1 Frequency generator
- 1 Plug-in power supply unit, 12 V DC
- 1 On/Off Switch
- 1 Vibration generator
- 1 Holder with base for vibration generator
- 2 Connection cables for vibration generator
- 1 Connecting arm for wave excitors
- 1 Set of 4 wave excitors (plane waves, circular waves, two / four interfering circular waves)
- 1 Set of 7 immersion bodies (prism, biconvex lens, biconcave lens, three long cuboids / one short cuboid)
- 1 Spirit level
- 1 Storage case

3. Description

The ripple tank is used to clearly demonstrate fundamental wave phenomena such as the generation of plane and circular waves, refraction,

reflection, diffraction, and interference, visualized through water waves projected onto an observation screen.

The ripple tank consists of an aluminium frame with a shallow basin featuring a glass bottom. The glass bottom includes an opening with a drain hose for emptying the water. The basin is leveled using a spirit level and four height-adjustable feet at the bottom of the ripple tank. Plane or circular waves are generated in the water through localized mechanical oscillations, with their frequency and amplitude set on the frequency generator.

An LED lamp with a magnetic holder illuminates the tank from above, functioning as a stroboscope with either synchronous or asynchronous frequency. The frame contains an angled mirror that projects the waves onto an observation screen. The stroboscope is connected via a three-pin socket on the left side of the frequency generator.

The frequency generator allows separate adjustment of the stroboscope frequency and the frequency and amplitude of wave generation. The set frequency is displayed continuously on the frequency generator, while the amplitude is shown temporarily when changed. Power is supplied via a plug-in power supply unit.

Wave generation is performed using a vibration generator. A holder with a base is used to mount and position the vibration generator. Inside the base's tube is a coil spring that acts as a shock absorber. The wave excitors are mechanically coupled via a connecting arm. Power is supplied through two connection cables via the frequency generator. Various wave excitors and immersion bodies are available for conducting experiments.

There are two side cutouts on the ripple tank for easy handling and transport.

3.1 Operating elements – frequency generator

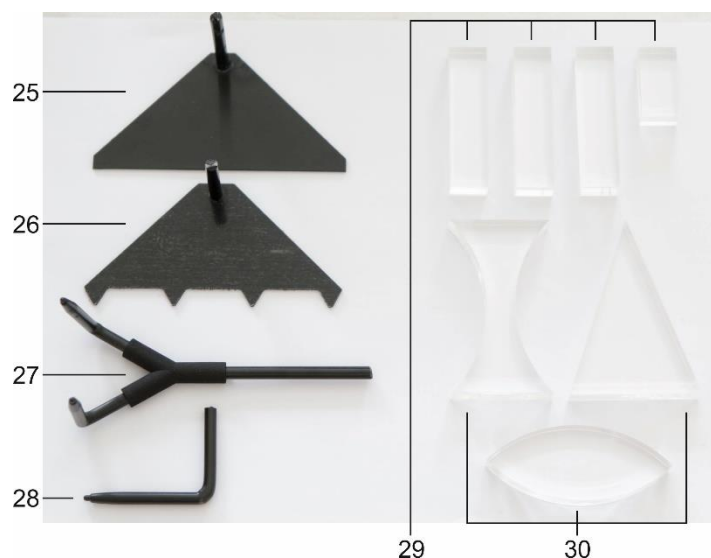


- 16 Knobs for adjusting vibrator frequency in synchronous mode
- 17 Knobs for adjusting vibrator frequency in asynchronous mode
- 18 Frequency display
- 19 Knobs for adjusting vibrator amplitude



- 20 Switch for synchronous / asynchronous operation
- 21 On/off switch for strobe illumination
- 22 Connection socket for stroboscope
- 23 Connecting socket for plug-in power supply
- 24 Connection sockets for vibration generator

3.2 Accessories



- 25 Exciter for plane waves
 26 Exciter for four interfering circular waves
 27 Exciter for two interfering circular waves
 28 Exciter for circular waves

- 29 Immersion bodies three long cuboids, one short cuboid
 30 Immersion bodies prism, biconcave and biconvex lens

4. Technical data

Dimensions

Tank:	approx. 400x300x330 mm ³
Water basin (usable glass surface):	approx. 360x260 mm ²
Observation screen:	approx. 395x320 mm ²
Projection mirror:	approx. 420x395 mm ²

Stroboscope lamp

Light source:	LED 3 W
Diameter:	34 mm
Maximum frequency:	60 Hz

Frequency generator

Dimensions:	approx. 170x110x50 mm ³
Frequency range:	1 – 60 Hz, adjustable in 1 Hz steps
Amplitude adjustment:	1 – 30%
Power supply voltage:	12 V DC / 1 A output 100 – 240 V input

Vibration Generator

Dimensions:	approx. 110x90x110 mm ³
Current:	max. 400 mA
Overload protection:	500-mA-fuse
Connection:	4 mm safety sockets

5. Operation

Additionally recommended:

1 Beaker, 800 ml, tall-form	1025694
1 Wash bottle, 500 ml	1009812
Water	

- Place the ripple tank with the observation screen facing forward on a level, vibration-free surface.
- Unscrew the four height-adjustable feet at the bottom of the ripple tank so far that you can slide the holder with base for the vibration generator underneath the ripple tank without touching it.
- Use the spirit level and the height-adjustable feet to align the ripple tank horizontally.
- Attach the drain hose in the clamp on the ripple tank so that it points straight upward.
- Slide the holder with base for the vibration generator under the center right side of the ripple tank, with the pointed end of the base facing the tank. If necessary, rotate and secure the holder in the base so that its pointed end also faces the tank.
- Use the spirit level and the two leveling screws on the base to align the holder horizontally.
- Place the vibration generator on the holder with its control panel facing forward.

- Attach the connecting arm for wave exciters onto the tip of the holder using its magnetic base and secure it to the pin of the vibration generator using the knurled screw.
- Insert the desired wave exciter into the arm and secure it with the knurled screw.
- Connect the frequency generator and vibration generator using the two 4 mm safety cables.
- Mount the stroboscope on the outside of the ripple tank using the magnetic holder and connect it to the frequency generator using the three-pin cable.
- Connect the frequency generator to the power supply using the On/Off Switch and the plug-in power adapter.
- Fill the ripple tank with 5 mm of water.

The immersion bodies will then extend above the water surface.

- Adjust the immersion depth of the wave exciter by setting the height of the holder so that the bottom edge of the wave exciter just touches the water surface.
- Switch on the frequency generator.

At startup, the system is preset to synchronous operation with a frequency of 30 Hz and an amplitude of 10%. With synchronous frequencies of the wave generator and stroboscope, standing wave patterns can be visualized; with asynchronous settings, traveling waves appear.

- Adjust the height and position of the stroboscope so that the ripple tank is fully illuminated.
- Conduct the experiment. Adjust water depth, wave exciter position, frequency, and amplitude as needed to optimize the visualization of the observed phenomena.
- After completing the experiment, empty the ripple tank into a beaker using the drain hose.
- Carefully dry the device to prevent limescale buildup.

6. Example Experiments

6.1 Wave Generation

- Ensure that the ripple tank is filled with 5 mm of water.
- Insert the appropriate wave exciter one after the other into the arm until fully seated, secure them using the knurled screw, and generate plane waves, circular waves, or interfering circular waves accordingly (Fig. 1a – d). Adjust the immersion depth of each wave exciter by setting the height of the holder so that the bottom edge of the wave exciter just touches the water surface.

6.2 Refraction

- Ensure that the ripple tank is filled with 5 mm of water.
- Insert the exciter for plane waves into the arm until fully seated and secure it with the knurled screw.
- Place the biconvex lens, biconcave lens, or the prism in the center of the ripple tank, a few centimeters in front of the wave exciter.
- Shield the front edges of the biconcave lens using two long cuboids placed upright (Fig. 2b) to minimize unwanted edge effects such as diffraction and interference phenomena.
- Rotate the prism so that its long side, which faces away from the wave exciter, is parallel to the wave exciter (Fig. 2c).

The long side facing the wave exciter should then form an angle of approximately 40° with it, corresponding to the prism's apex angle.

- Add water so that the immersion body is completely covered.
- Adjust the immersion depth of the wave exciter by setting the height of the holder so that the bottom edge of the wave exciter just touches the water surface.

To observe refraction, the immersion body should be only just covered with water.

- Switch on the frequency generator and observe the display on the observation screen. Use e.g. a wash bottle to remove water from the ripple tank until refraction becomes visible behind the immersion body. Adjust the immersion depth of the wave exciter and if necessary, the frequency and amplitude to optimize the display.
- Repeat the experiment with the other immersion bodies.

Behind the biconvex lens, converging circular waves form, focusing on a point (Fig. 2a). Behind the biconcave lens, diverging circular waves appear to originate from a virtual focal point in front of the lens (Fig. 2b). The prism deflects the plane waves (Fig. 2c).

Above the immersion bodies, the water depth is significantly shallower than in the surrounding area. In these shallow regions, wave speed decreases, resulting in a shorter wavelength. Consequently, as waves transition from deeper to shallower water, they refract, similar to light waves passing from an optically less dense to a more optically dense medium.

6.3 Reflection

- Ensure that the ripple tank is filled with 5 mm of water.
- Insert the exciter for plane waves into the arm until fully seated and secure it with the knurled screw. Adjust the immersion depth by setting the height of the holder so that the bottom edge of the wave exciter just touches the water surface.
- Place the biconvex lens or the biconcave lens into the ripple tank and observe the reflection pattern.

When plane waves reflect off curved obstacles, the biconvex lens acts like a convex mirror (Fig. 3a), while the biconcave lens behaves like a concave mirror (Fig. 3b).

- Place the three long cuboids at a 45° angle in front of the wave exciter to form a straight, continuous obstacle.

When plane waves reflect off a straight obstacle, it behaves like a flat mirror. The reflected waves remain plane, and the wavelength does not change. The law of reflection applies: angle of incidence = angle of reflection (Fig. 3c).

- Repeat the experiment using the exciter for circular waves. Move the straight obstacle closer to the wave generator for this experiment.

When circular waves reflect off a straight obstacle, it acts like a flat mirror. The reflected waves remain circular, with their origin appearing at a virtual point behind the straight obstacle, mirror-symmetric to the point of excitation (Fig. 3d).

6.4 Diffraction

- Ensure that the ripple tank is filled with 5 mm of water.
- Insert the exciter for plane waves into the arm until fully seated and secure it with the knurled screw. Adjust the immersion depth by setting the height of the holder so that the bottom edge of the wave exciter just touches the water surface.
- Using two long cuboids, sequentially create a single slit with three different slit widths: 1) significantly wider than the wavelength, 2) slightly wider than the wavelength and 3) smaller than the wavelength.

In the first case, the plane waves pass through the slit mostly unchanged. Circular waves with weaker amplitude spread into the shadowed region from the edges (Fig. 4a). In the second case, circular waves originating from the slit edges interfere with each other. This produces interference maxima and minima arranged along hyperbolas, with the slit edges acting as sources of

wave excitation (Fig. 4b). In the third case, circular waves form and the slit behaves like a point source (Fig. 4c).

- Place a long cuboid in the ripple tank as an obstacle.

The edges of the cuboid act as sources of circular waves that also spread into the shadowed region and interfere behind the cuboid (Fig. 4d).

6.5 Interference

- Ensure that the ripple tank is filled with 5 mm of water.
- Insert the exciters for two and four interfering circular waves into the arm one after the other and secure them with the knurled screw. Adjust the immersion depth of the wave exciters by setting the height of the holder so that the bottom edges of the exciters just touch the water surface.
- Observe the interference patterns.

The interference maxima and minima are located along hyperbolas, with focal points at the positions of wave excitation (Fig. 1c, d).

- Insert the exciter for plane waves into the arm until fully seated and secure it with the knurled screw. Adjust the immersion depth by setting the height of the holder so that the bottom edge of the wave exciter just touches the water surface.
- Use two long cuboids and the short cuboid to create a double slit.
- Observe the interference patterns.

The interference patterns behind the double slit resemble those produced by the exciter for two interfering circular waves. According to Huygens' principle, circular wavefronts with identical frequency and amplitude are generated simultaneously at both slits (Fig. 5).

6.6 Determining the Wavelength

To determine the wavelength, the magnification factor b must be considered.

The magnification factor b can be calculated, for example, by placing the biconcave lens in the ripple tank and comparing its actual size A to the size of its image A' on the observation screen:

$$b = A'/A$$

The actual wavelength λ is then determined from the wavelength λ' measured on the observation screen:

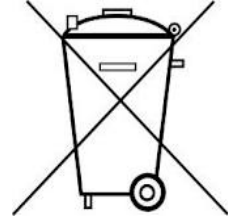
$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Storage and maintenance

- Store the ripple tank in a dust-free place.
- Thoroughly dry the ripple tank after use to prevent it developing water stains and lime scale deposits.

8. Disposal

- The packaging should be disposed of at local recycling points.
- Should you need to dispose of the equipment itself, never throw it away in normal domestic waste. Local regulations for the disposal of electrical equipment will apply.



Appendix: Illustrations of the sample experiments

Wave generation

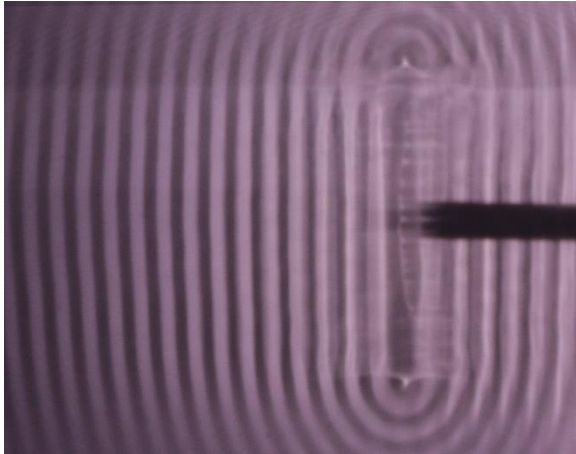


Fig. 1a: Generation of plane waves

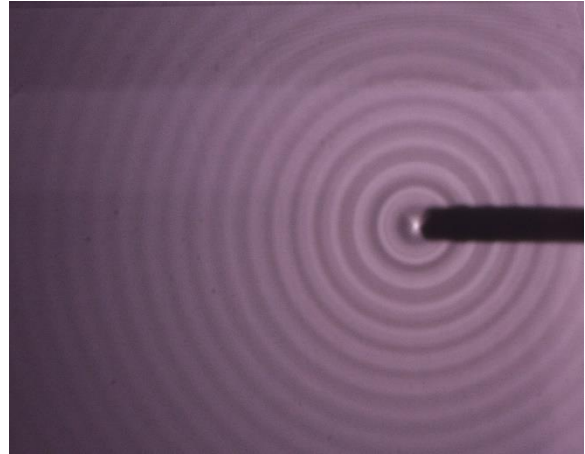


Fig. 1b: Generation of circular waves

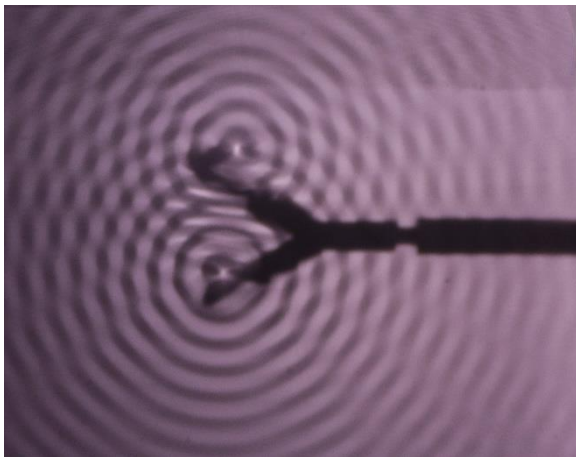


Fig. 1c: Generation of two interfering circular waves

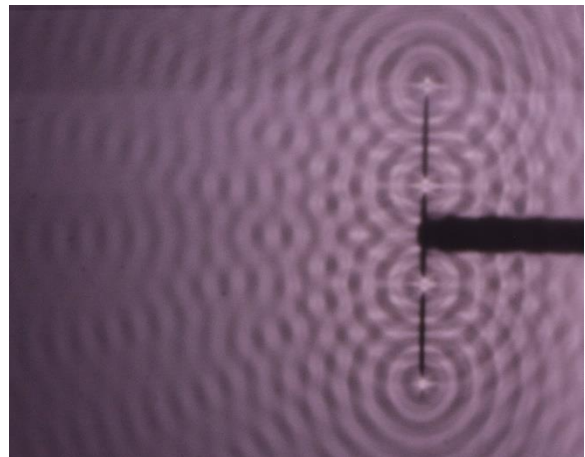


Fig. 1d: Generation of four interfering circular waves

Refraction

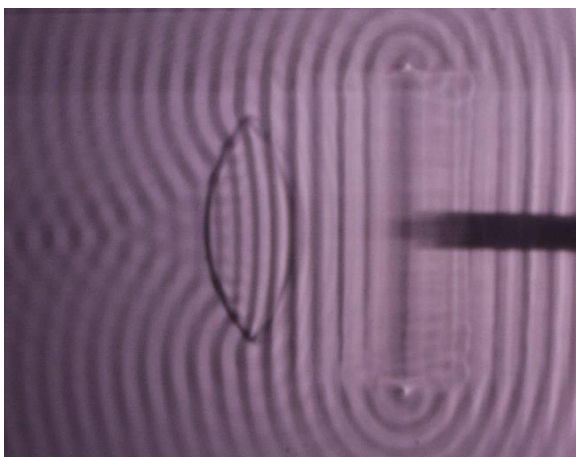


Fig. 2a: Refraction of plane waves at a biconvex lens

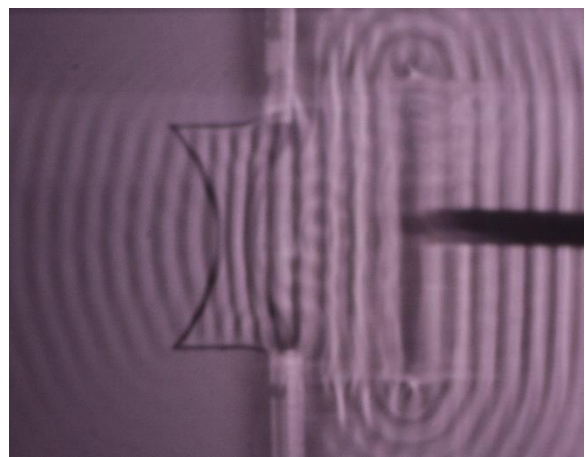


Fig. 2b: Refraction of plane waves at a biconcave lens. The front edges of the lens are shielded by two long cuboids placed upright to minimize unwanted edge effects such as diffraction and interference phenomena

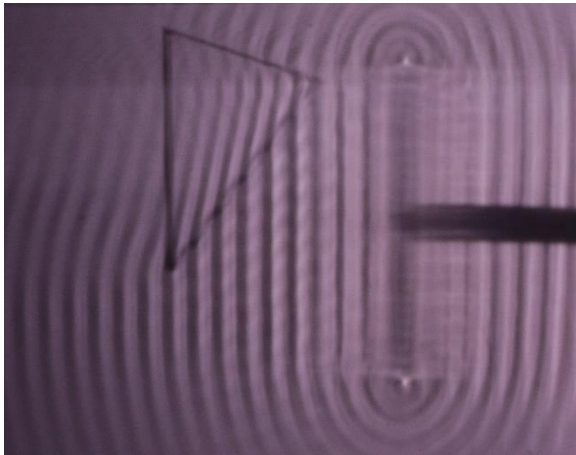


Fig. 2c: Refraction of plane waves at a prism

Reflection

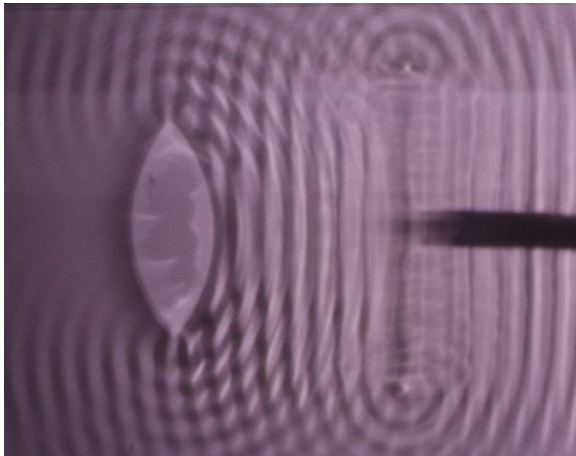


Fig. 3a: Reflection of plane waves at a biconvex lens

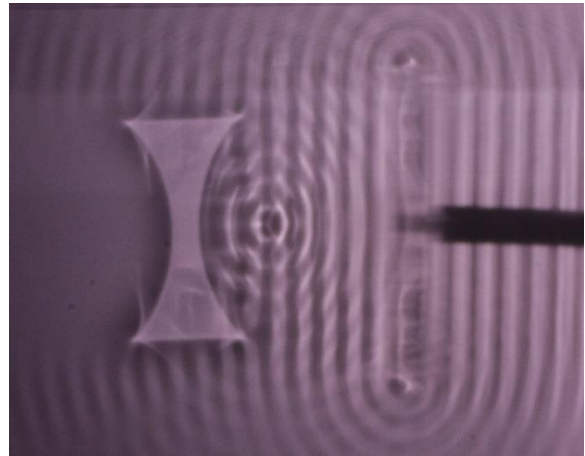


Fig. 3b: Reflection of plane waves at a biconcave lens

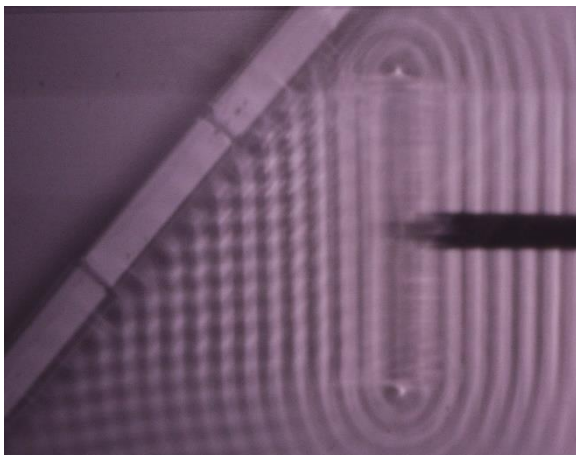


Fig. 3c: Reflection of plane waves at a straight obstacle

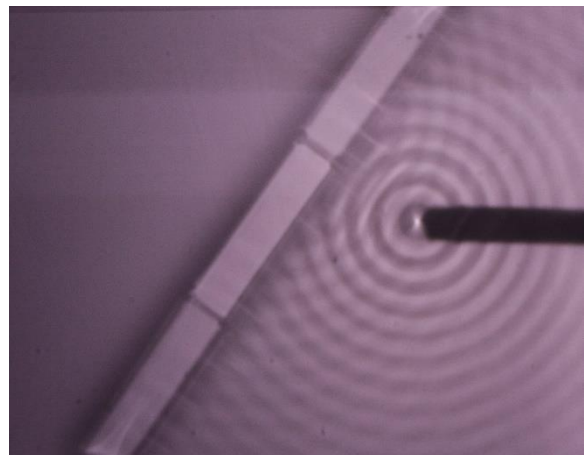


Fig. 3d: Reflection of circular waves at a straight obstacle

Diffraction

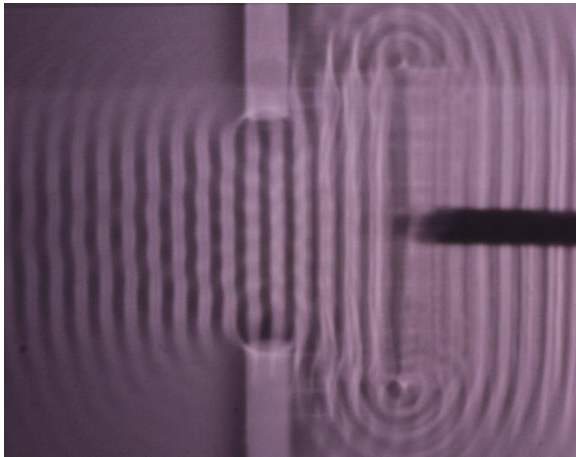


Fig. 4a: Diffraction of plane waves at a slit with a width significantly greater than the wavelength

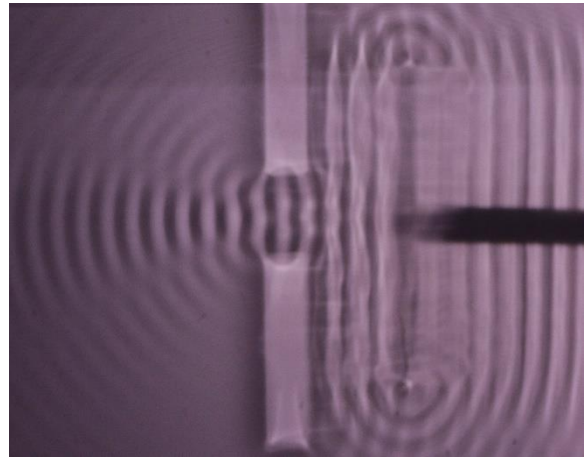


Fig. 4b: Diffraction of plane waves at a slit with a width slightly greater than the wavelength

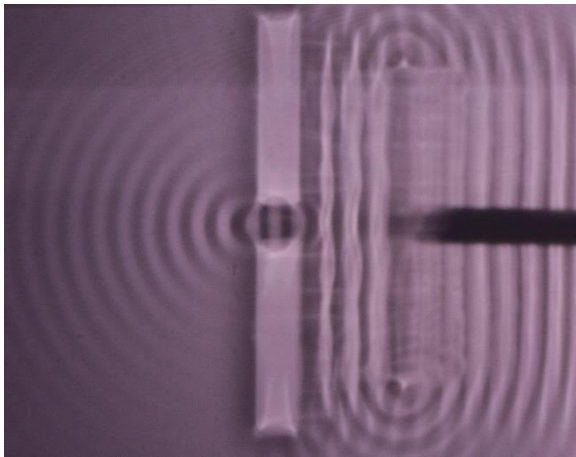


Fig. 4c: Diffraction of plane waves at a slit with a width smaller than the wavelength

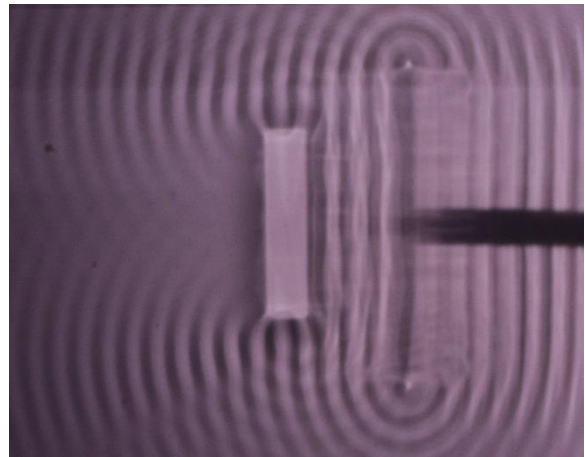


Fig. 4d: Diffraction of plane waves at the edges of a cuboid

Interference

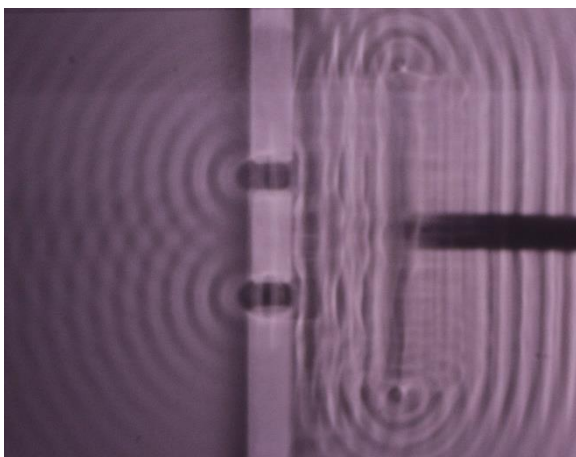


Fig. 5: Interference at the double slit

Tanque de ondas 1026082

Manual de usuario

11/25 Alf/GH/UD



- 1 Estroboscopio LED flexible con soporte magnético
- 2 Recipiente para agua
- 3 Cuerpos de inmersión
- 4 Pantalla de observación
- 5 Cables de conexión para generador de vibraciones
- 6 Conexión del estroboscopio
- 7 Generador de frecuencia

- 8 Interruptor de encendido/apagado
- 9 Nivel de burbuja
- 10 Excitadores de ondas
- 11 Tornillos de nivelación
- 12 Soporte con base para generador de vibraciones
- 13 Manguera de drenaje
- 14 Generador de vibraciones
- 15 Brazo de conexión para excitadores de ondas

1. Instrucciones de seguridad

Los componentes de vidrio del tanque de ondas pueden romperse si no se manipulan correctamente.

- No someta el tanque de ondas a fuerzas mecánicas excesivas.

2. Equipo suministrado

- 1 Tanque ondulado con espejo de proyección, pantalla de observación y manguera de drenaje
- 1 Estroboscopio LED flexible con soporte magnético
- 1 Generador de frecuencia
- 1 Fuente de alimentación enchufable, 12 V CC
- 1 Interruptor de encendido/apagado
- 1 Generador de vibraciones
- 1 Soporte con base para generador de vibraciones
- 2 Cables de conexión para generador de vibraciones
- 1 Brazo de conexión para excitadores de ondas
- 1 Juego de 4 excitadores de ondas (ondas planas, ondas circulares, dos/cuatro ondas circulares interferentes)
- 1 Juego de 7 cuerpos de inmersión (prisma, lente biconvexa, lente bicóncava, tres cuboides largos/un cuboide corto)
- 1 Nivel de burbuja
- 1 Estuche de almacenamiento

3. Descripción

El tanque de ondas se utiliza para demostrar claramente fenómenos ondulatorios fundamentales, como la generación de ondas planas y circulares, la refracción, la reflexión, la difracción y la interferencia, visualizados a través de ondas de agua proyectadas en una pantalla de observación.

El tanque de ondas está compuesto por un marco de aluminio con una cubeta poco profunda con fondo de cristal. El fondo de cristal incluye una abertura con una manguera de drenaje para vaciar el agua. La cubeta se nivela utilizando un nivel de burbuja y cuatro patas ajustables en altura situadas en la parte inferior del tanque de ondas. Las ondas planas o circulares se generan en el agua mediante oscilaciones mecánicas localizadas, cuya frecuencia y amplitud se ajustan en el generador de frecuencia.

Una lámpara LED con soporte magnético ilumina el tanque desde arriba, funcionando como un estroboscopio con frecuencia síncrona o asíncrona. El marco contiene un espejo angular que proyecta las ondas sobre una pantalla de observación. El estroboscopio se conecta a través de una toma de tres clavijas situada en el lado izquierdo del generador de frecuencia.

El generador de frecuencia permite ajustar por separado la frecuencia del estroboscopio y la frecuencia y amplitud de la generación de ondas. La frecuencia ajustada se muestra continuamente en el generador de frecuencia, mientras que la amplitud se muestra temporalmente cuando se cambia. La alimentación se suministra a través de una fuente de alimentación enchufable.

La generación de ondas se realiza mediante un generador de vibraciones. Se utiliza un soporte con una base para montar y colocar el generador de vibraciones. Dentro del tubo de la base hay un muelle helicoidal que actúa como amortiguador. Los excitadores de ondas están acoplados mecánicamente mediante un brazo de conexión. La alimentación se suministra a través de dos cables de conexión mediante el generador de frecuencia. Hay disponibles varios excitadores de ondas y cuerpos de inmersión para realizar experimentos.

El tanque de ondas tiene dos muescas laterales para facilitar su manejo y transporte.

3.1 Elementos de funcionamiento: generador de frecuencia

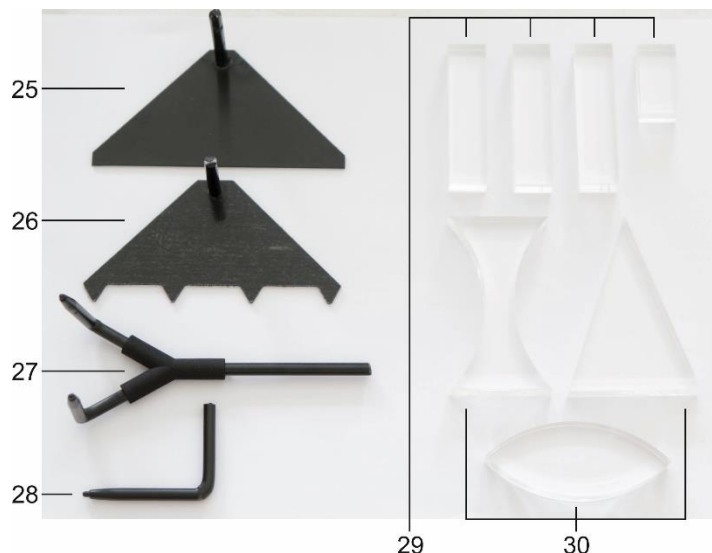


- 16 Perillas para ajustar la frecuencia del vibrador en modo síncrono
- 17 Perillas para ajustar la frecuencia del vibrador en modo asíncrono
- 18 Pantalla de frecuencia
- 19 Perillas para ajustar la amplitud del vibrador
- 20 Interruptor para funcionamiento síncrono/asíncrono



- 21 Interruptor de encendido/apagado para iluminación estroboscópica
- 22 Toma de conexión para estroboscopio
- 23 Toma de conexión para fuente de alimentación enchufable
- 24 Conectores para generador de vibraciones

3.2 Accesorios



- 25 Excitador para ondas planas
- 26 Excitador para cuatro ondas circulares interferentes
- 27 Excitador para dos ondas circulares interferentes
- 28 Excitador para ondas circulares

- 29 Cuerpos de inmersión: tres cubos largos y un cubo corto
- 30 Cuerpos de inmersión: prisma, lente bicóncava y lente biconvexa

4. Datos técnicos

Dimensiones

- Depósito: aprox. 400 x 300 x 330 mm³
- Depósito de agua (super-aprox. 360 x 260 mm² fície útil de cristal):
- Pantalla de observación: aprox. 395 x 320 mm²
- Espejo de proyección: aprox. 420 x 395 mm²

Lámpara estroboscópica

- Fuente de luz: LED 3 W
- Diámetro: 34 mm
- Frecuencia máxima: 60 Hz

Generador de frecuencia

- Dimensiones: aprox. 170 x 110 x 50 mm³

Rango de frecuencia: 1 – 60 Hz, ajustable en pasos de 1 Hz
 Ajuste de amplitud: 1 – 30 %
 Tensión de alimentación: 12 V CC / 1 A de salida 100 – 240 V de entrada

Generador de vibraciones

Dimensiones: aprox. 110 x 90 x 110 mm³
 Corriente: máx. 400 mA
 Protección contra sobrecargas: fusible de 500 mA
 Conexión: Tomas de seguridad de 4 mm

5. Funcionamiento

Recomendación adicional:

1 Vaso de precipitados, 800 ml, forma alta	1025694
1 Bote pulverizador 500 ml	1009812
Agua	

- Coloque el tanque de ondas con la pantalla de observación hacia delante sobre una superficie nivelada y libre de vibraciones.
- Desatornille las cuatro patas regulables en altura de la parte inferior del tanque ondulado hasta que pueda deslizar el soporte con la base para el generador de vibraciones debajo del tanque ondulado sin tocarlo.
- Utilice el nivel de burbuja y las patas regulables en altura para alinear el tanque ondulado en posición horizontal.
- Fije la manguera de drenaje en la abrazadera del tanque de ondas de manera que quede apuntando hacia arriba.
- Deslice el soporte con la base para el generador de vibraciones debajo de la parte central derecha del tanque de ondas, con el extremo puntiagudo de la base mirando hacia el tanque. Si es necesario, gire y fije el soporte en la base de modo que su extremo puntiagudo también mire hacia el tanque.
- Utilice el nivel de burbuja y los dos tornillos de nivelación de la base para alinear el soporte horizontalmente.
- Coloque el generador de vibraciones en el soporte con el panel de control mirando hacia delante.
- Fije el brazo de conexión para los excitadores de ondas en la punta del soporte utilizando su base magnética y fíjelo al pasador del generador de vibraciones con el tornillo moleteado.

- Inserte el excitador de ondas deseado en el brazo y fíjelo con el tornillo moleteado.
- Conecte el generador de frecuencia y el generador de vibraciones utilizando los dos cables de seguridad de 4 mm.
- Monte el estroboscopio en el exterior del tanque de ondas utilizando el soporte magnético y conéctelo al generador de frecuencia utilizando el cable de tres clavijas.
- Conecte el generador de frecuencia a la fuente de alimentación utilizando el interruptor de encendido/apagado y el adaptador de corriente enchufable.
- Llene el tanque de ondas con 5 mm de agua.

Los cuerpos de inmersión se extenderán entonces por encima de la superficie del agua.

- Ajuste la profundidad de inmersión del excitador de ondas regulando la altura del soporte de modo que el borde inferior del excitador de ondas toque ligeramente la superficie del agua.
- Encienda el generador de frecuencia.

Al arrancar, el sistema está preajustado para funcionar de forma síncrona con una frecuencia de 30 Hz y una amplitud del 10 %. Con frecuencias síncronas del generador de ondas y el estroboscopio, se pueden visualizar patrones de ondas estacionarias; con ajustes asíncronos, aparecen ondas viajeras.

- Ajuste la altura y la posición del estroboscopio de modo que el tanque de ondas esté completamente iluminado.
- Realice el experimento. Ajuste la profundidad del agua, la posición del excitador de ondas, la frecuencia y la amplitud según sea necesario para optimizar la visualización de los fenómenos observados.
- Una vez finalizado el experimento, vacíe el tanque de ondas en un vaso de precipitados utilizando la manguera de drenaje.
- Seque cuidadosamente el dispositivo para evitar la acumulación de cal.

6. Ejemplos de experimentos

6.1 Generación de ondas

- Asegúrese de que el tanque de ondas esté lleno con 5 mm de agua.
- Inserte los excitadores de ondas adecuados uno tras otro en el brazo hasta que queden completamente asentados, fíjelos con el tornillo moleteado y genere ondas planas, ondas circulares u ondas circulares interferentes según corresponda (Fig. 1a - d). Ajuste la profundidad de inmersión de cada excitador de ondas fijando la altura del soporte de modo que el borde inferior del excitador de ondas toque ligeramente la superficie del agua.

6.2 Refracción

- Asegúrese de que el tanque de ondas esté lleno con 5 mm de agua.
- Inserte el excitador de ondas planas en el brazo hasta que quede completamente asentado y fíjelo con el tornillo moleteado.
- Coloque la lente biconvexa, la lente biconcava o el prisma en el centro del tanque de ondas, unos centímetros delante del excitador de ondas.
- Proteja los bordes frontales de la lente biconcava con dos cubos largos colocados en posición vertical (fig. 2b) para minimizar los efectos indeseados en los bordes, como los fenómenos de difracción e interferencia.
- Gire el prisma de modo que su lado largo, que mira en dirección opuesta al excitador de ondas, quede paralelo al excitador de ondas (fig. 2c).

El lado largo que mira hacia el excitador de ondas debe formar entonces un ángulo de aproximadamente 40° con él, correspondiente al ángulo del vértice del prisma.

- Añada agua hasta que el cuerpo de inmersión quede completamente cubierto.
- Ajuste la profundidad de inmersión del excitador de ondas fijando la altura del soporte de modo que el borde inferior del excitador de ondas toque ligeramente la superficie del agua.

Para observar la refracción, el cuerpo de inmersión solo debe estar cubierto por el agua.

- Encienda el generador de frecuencia y observe la pantalla de observación. Utilice, por ejemplo, una botella de lavado para eliminar el agua del tanque de ondas hasta que la refracción sea visible detrás del cuerpo de inmersión. Ajuste la profundidad de inmersión del excitador de ondas y, si es necesario, la frecuencia y la amplitud para optimizar la visualización.

- Repita el experimento con los otros cuerpos de inmersión.

Detrás de la lente biconvexa se forman ondas circulares convergentes que se enfocan en un punto (fig. 2a). Detrás de la lente biconcava, las ondas circulares divergentes parecen originarse en un punto focal virtual situado delante de la lente (fig. 2b). El prisma desvía las ondas planas (fig. 2c).

Por encima de los cuerpos sumergidos, la profundidad del agua es significativamente menor que en la zona circundante. En estas regiones poco profundas, la velocidad de las olas disminuye, lo que da lugar a una longitud de onda más corta. En consecuencia, a medida que las olas pasan de aguas más profundas a aguas menos profundas, se refractan, de forma similar a las ondas de luz que pasan de un medio ópticamente menos denso a otro más denso.

6.3 Reflexión

- Asegúrese de que el tanque de ondas esté lleno con 5 mm de agua.
- Inserte el excitador de ondas planas en el brazo hasta que quede completamente asentado y fíjelo con el tornillo moleteado. Ajuste la profundidad de inmersión fijando la altura del soporte de manera que el borde inferior del excitador de ondas toque ligeramente la superficie del agua.
- Coloque la lente biconvexa o la lente biconcava en el tanque de ondas y observe el patrón de reflexión.

Cuando las ondas planas se reflejan en obstáculos curvos, la lente biconvexa actúa como un espejo convexo (fig. 3a), mientras que la lente biconcava se comporta como un espejo cóncavo (fig. 3b).

- Coloque los tres cuboides largos en un ángulo de 45° delante del excitador de ondas para formar un obstáculo recto y continuo.

Cuando las ondas planas se reflejan en un obstáculo recto, este se comporta como un espejo plano. Las ondas reflejadas siguen siendo planas y la longitud de onda no cambia. Se aplica la ley de la reflexión: ángulo de incidencia = ángulo de reflexión (fig. 3c).

- Repita el experimento utilizando el excitador para ondas circulares. Acerque el obstáculo recto al generador de ondas para este experimento.

Cuando las ondas circulares se reflejan en un obstáculo recto, este actúa como un espejo plano. Las ondas reflejadas siguen siendo circulares, y su origen aparece en un punto virtual detrás del obstáculo recto, simétrico al punto de excitación (fig. 3d).

6.4 Difracción

- Asegúrese de que el tanque de ondas esté lleno con 5 mm de agua.
- Inserte el excitador para ondas planas en el brazo hasta que quede completamente asentado y fíjelo con el tornillo moleteado. Ajuste la profundidad de inmersión fijando la altura del soporte de modo que el borde inferior del excitador de ondas toque ligeramente la superficie del agua.
- Utilizando dos cubos largos, cree secuencialmente una única rendija con tres anchuras diferentes: 1) significativamente más ancha que la longitud de onda, 2) ligeramente más ancha que la longitud de onda y 3) más pequeña que la longitud de onda.

En el primer caso, las ondas planas pasan a través de la rendija prácticamente sin cambios. Las ondas circulares con una amplitud más débil se propagan hacia la región sombreada desde los bordes (fig. 4a). En el segundo caso, las ondas circulares que se originan en los bordes de la rendija interfieren entre sí. Esto produce máximos y mínimos de interferencia dispuestos a lo largo de hipérbolas, con los bordes de la rendija actuando como fuentes de excitación de ondas (fig. 4b). En el tercer caso, se forman ondas circulares y la rendija se comporta como una fuente puntual (fig. 4c).

- Coloque un cuboide largo en el tanque de ondas como obstáculo.

Los bordes del cuboide actúan como fuentes de ondas circulares que también se propagan hacia la región sombreada e interfieren detrás del cuboide (fig. 4d).

6.5 Interferencia

- Asegúrese de que el tanque de ondas esté lleno con 5 mm de agua.
- Inserte los excitadores para dos y cuatro ondas circulares interferentes en el brazo uno tras otro y fíjelos con el tornillo moleteado. Ajuste la profundidad de inmersión de los excitadores de ondas regulando la altura del soporte de modo que los bordes inferiores de los excitadores apenas toquen la superficie del agua.
- Observe los patrones de interferencia.

Los máximos y mínimos de interferencia se encuentran a lo largo de hipérbolas, con puntos focales en las posiciones de excitación de las ondas (Fig. 1c, d).

- Inserte el excitador para ondas planas en el brazo hasta que quede completamente asentado y fíjelo con el tornillo moleteado. Ajuste la profundidad de inmersión regulando la altura del soporte de modo que el borde inferior del excitador de ondas toque ligeramente la superficie del agua.
- Utilice dos cubos largos y el cubo corto para crear una doble rendija.
- Observe los patrones de interferencia.

Los patrones de interferencia detrás de la doble rendija se asemejan a los producidos por el excitador para dos ondas circulares interferentes. Según el principio de Huygens, se generan simultáneamente en ambas rendijas frentes de onda circulares con frecuencia y amplitud idénticas (fig. 5).

6.6 Determinación de la longitud de onda

Para determinar la longitud de onda, se debe tener en cuenta el factor de aumento b .

El factor de aumento b se puede calcular, por ejemplo, colocando la lente biconcava en el tanque de ondas y comparando su tamaño real A con el tamaño de su imagen A' en la pantalla de observación:

$$b = A'/A$$

A continuación, se determina la longitud de onda real λ a partir de la longitud de onda λ' medida en la pantalla de observación:

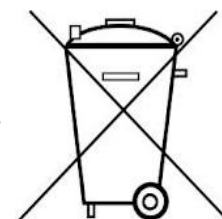
$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Almacenamiento y mantenimiento

- Guarde el tanque de ondas en un lugar libre de polvo.
- Seque bien el tanque de ondas después de su uso para evitar que se formen manchas de agua y depósitos de cal.

8. Eliminación

- El embalaje debe desecharse en los puntos de reciclaje locales.
- Si necesita desechar el equipo, nunca lo tire a la basura doméstica normal. Se aplicarán las normativas locales para la eliminación de equipos eléctricos.



Generación de ondas

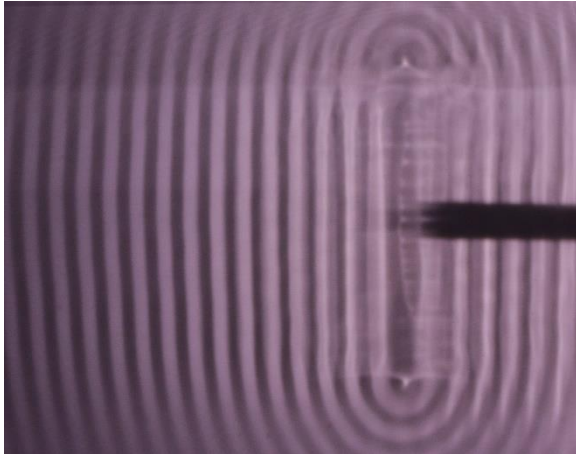


Fig. 1a: Generación de ondas planas

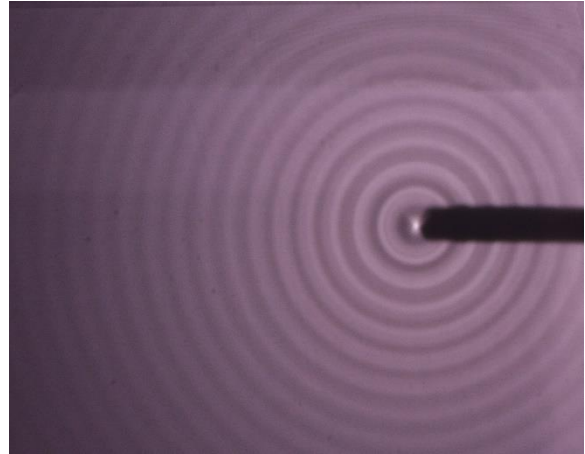


Fig. 1b: Generación de ondas circulares

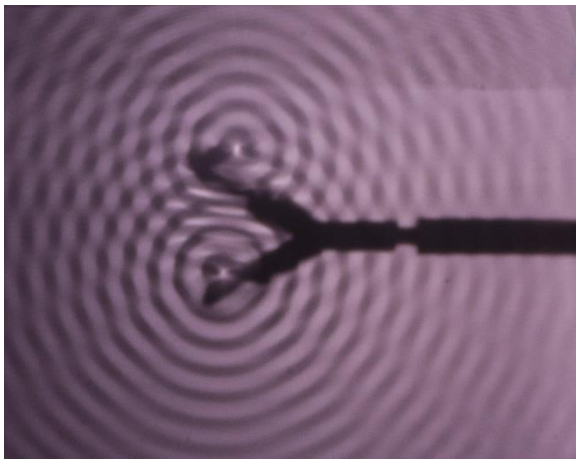


Fig. 1c: Generación de dos ondas circulares interferentes

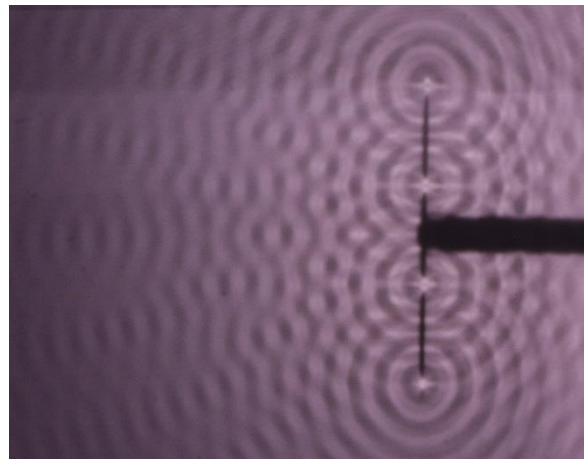


Fig. 1d: Generación de cuatro ondas circulares interferentes

Refracción

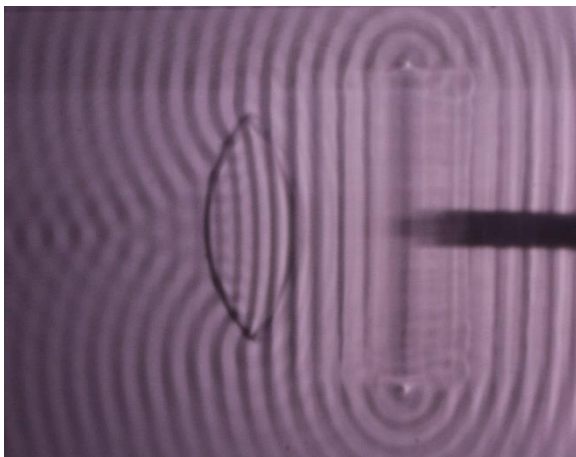


Fig. 2a: Refracción de ondas planas en una lente biconvexa



Fig. 2b: Refracción de ondas planas en una lente bicóncava. Los bordes frontales de la lente están protegidos por dos cubos largos colocados en posición vertical para minimizar los efectos indeseados en los bordes, como los fenómenos de difracción e interferencia.

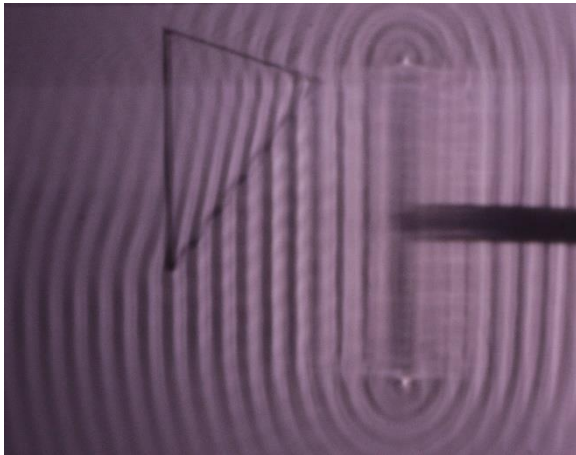


Fig. 2c: Refracción de ondas planas en un prisma.

Reflexión

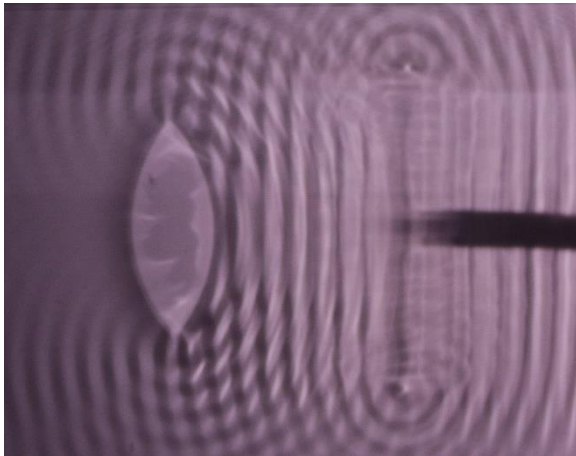


Fig. 3a: Reflexión de ondas planas en una lente bi-convexa.

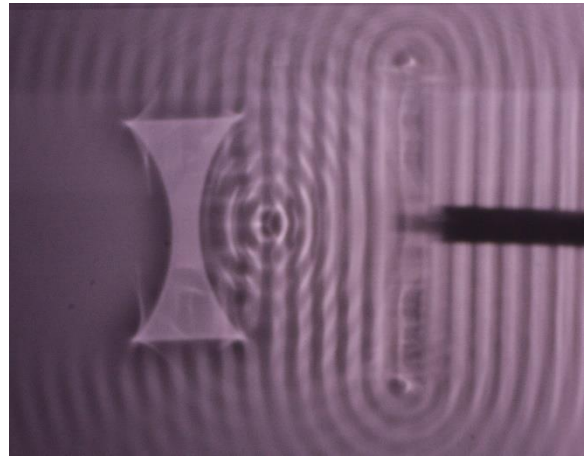


Fig. 3b: Reflexión de ondas planas en una lente bicóncava.

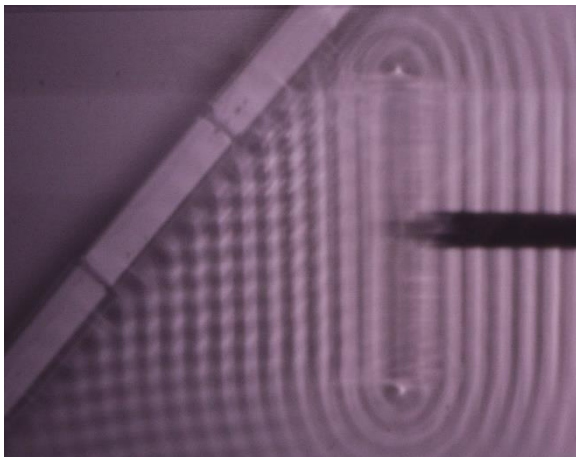


Fig. 3c: Reflexión de ondas planas en un obstáculo recto.

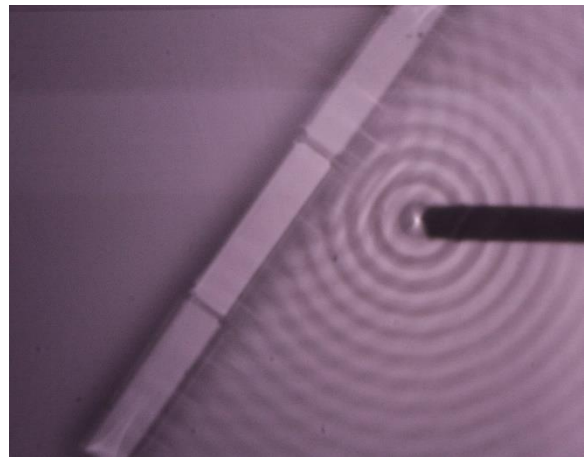


Fig. 3d: Reflexión de ondas circulares en un obstáculo recto

Difracción

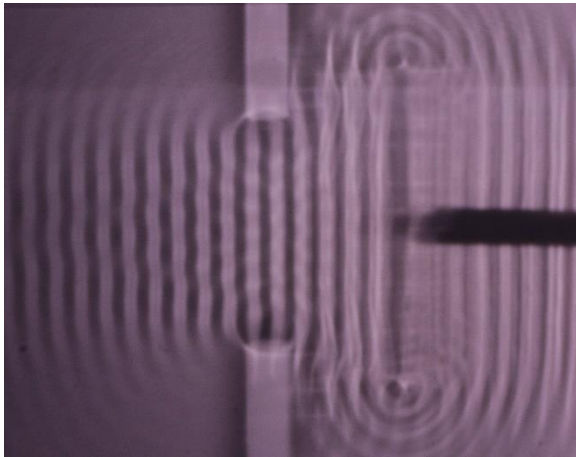


Fig. 4a: Difracción de ondas planas en una rendija con una anchura significativamente mayor que la longitud de onda

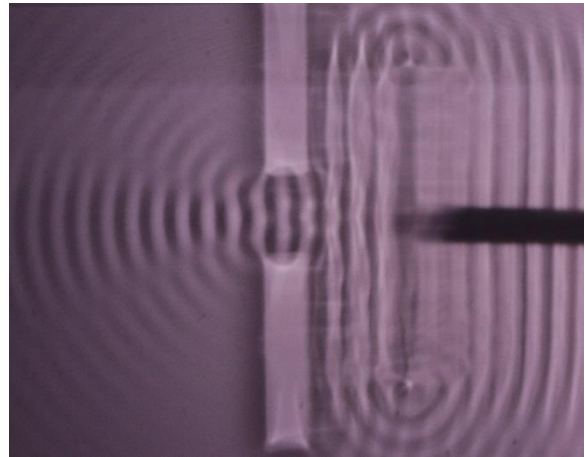


Fig. 4b: Difracción de ondas planas en una rendija con una anchura ligeramente mayor que la longitud de onda

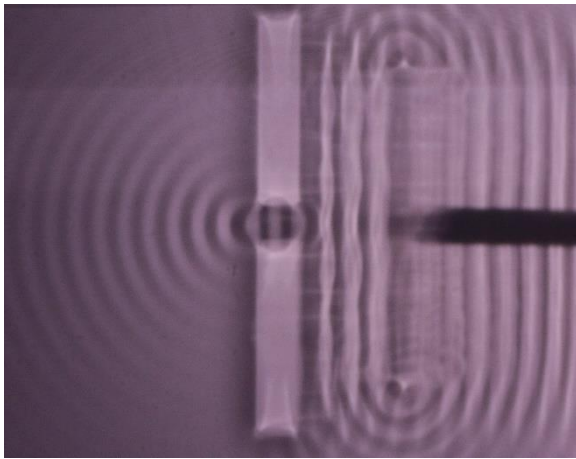


Fig. 4c: Difracción de ondas planas en una rendija con una anchura menor que la longitud de onda

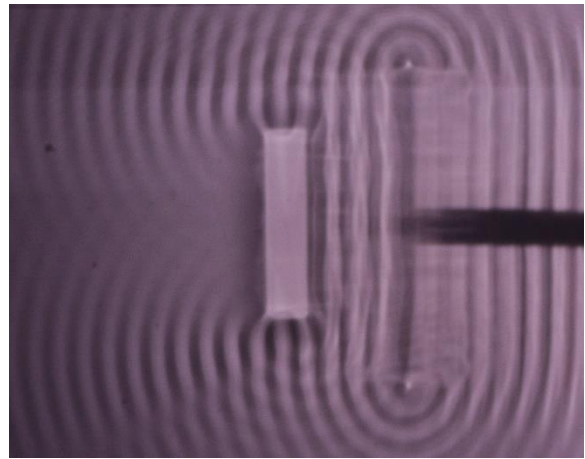


Fig. 4d: Difracción de ondas planas en los bordes de un cuboide

Interferencia

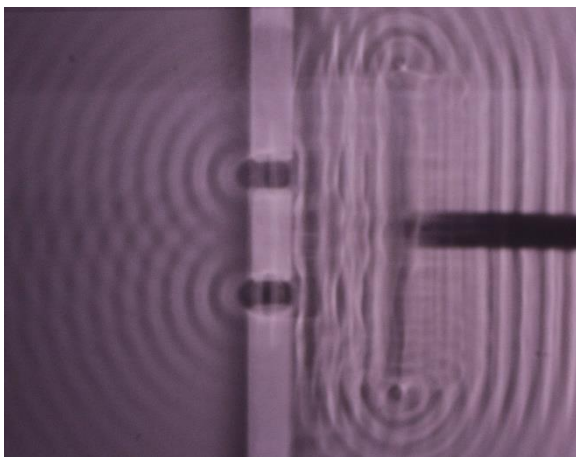


Fig. 5: Interferencia en la doble rendija

Bac à ondulations 1026082

Manuel d'utilisation

11/25 Alf/GH/UD



- 1 Stroboscope LED flexible avec support magnétique
- 2 Bassin d'eau
- 3 Corps d'immersion
- 4 Écran d'observation
- 5 Câbles de connexion pour générateur de vibrations
- 6 Connexion stroboscopique
- 7 Générateur de fréquence

- 8 Interrupteur marche/arrêt
- 9 Niveau à bulle
- 10 Excitateurs d'ondes
- 11 Vis de mise à niveau
- 12 Support avec base pour générateur de vibrations
- 13 Tuyau de vidange
- 14 Générateur de vibrations
- 15 Bras de connexion pour excitateurs d'ondes

1. Consignes de sécurité

Les composants en verre du réservoir à ondulations peuvent se briser s'ils ne sont pas manipulés correctement.

- Ne soumettez pas le réservoir à ondulations à des forces mécaniques excessives.

2. Équipement fourni

- 1 Réservoir à ondulations avec miroir de projection, écran d'observation et tuyau de vidange
- 1 Stroboscope LED flexible avec support magnétique
- 1 Générateur de fréquences
- 1 Bloc d'alimentation enfichable, 12 V CC
- 1 Interrupteur marche/arrêt
- 1 Générateur de vibrations
- 1 Support avec base pour générateur de vibrations
- 2 Câbles de connexion pour générateur de vibrations
- 1 Bras de connexion pour excitateurs d'ondes
- 1 Jeu de 4 excitateurs d'ondes (ondes planes, ondes circulaires, deux/quatre ondes circulaires interférentes)
- 1 Jeu de 7 corps d'immersion (prisme, lentille biconvexe, lentille biconcave, trois parallélépipèdes longs / un parallélépipède court)
- 1 Niveau à bulle
- 1 Boîte de rangement

3. Description

Le réservoir à ondulations sert à démontrer clairement les phénomènes fondamentaux liés aux ondes, tels que la génération d'ondes planes et circulaires, la réflexion, la réfraction, la diffraction et l'interférence, visualisés à travers les ondes aquatiques projetées sur un écran d'observation.

Le réservoir à ondulations est constitué d'un cadre en aluminium avec un bassin peu profond doté d'un fond en verre. Le fond en verre comprend une ouverture avec un tuyau d'évacuation pour vider l'eau. Le bassin est mis à niveau à l'aide d'un niveau à bulle et de quatre pieds réglables en hauteur situés au fond du réservoir à ondulations. Des ondes planes ou circulaires sont générées dans l'eau par des oscillations mécaniques localisées, dont la fréquence et l'amplitude sont réglées sur le générateur de fréquences.

Une lampe LED avec un support magnétique éclaire le réservoir par le haut, fonctionnant comme un stroboscope avec une fréquence synchrone ou asynchrone. Le cadre contient un miroir incliné qui projette les vagues sur un écran d'observation. Le stroboscope est connecté via une prise à trois broches située sur le côté gauche du générateur de fréquence.

Le générateur de fréquence permet de régler séparément la fréquence du stroboscope et la fréquence et l'amplitude de la génération des vagues. La fréquence réglée s'affiche en continu sur le générateur de fréquence, tandis que l'amplitude s'affiche temporairement lorsqu'elle est modifiée. L'alimentation est fournie par un bloc d'alimentation enfichable.

La génération d'ondes est réalisée à l'aide d'un générateur de vibrations. Un support avec une base est utilisé pour monter et positionner le générateur de vibrations. À l'intérieur du tube de la base se trouve un ressort hélicoïdal qui sert d'amortisseur. Les excitateurs d'ondes sont couplés mécaniquement via un bras de connexion. L'alimentation est fournie par deux câbles de connexion via le générateur de fréquence. Divers excitateurs d'ondes et corps d'immersion sont disponibles pour mener des expériences.

Le réservoir à ondulations comporte deux découpes latérales pour faciliter la manipulation et le transport.

3.1 Éléments de commande – générateur de fréquence

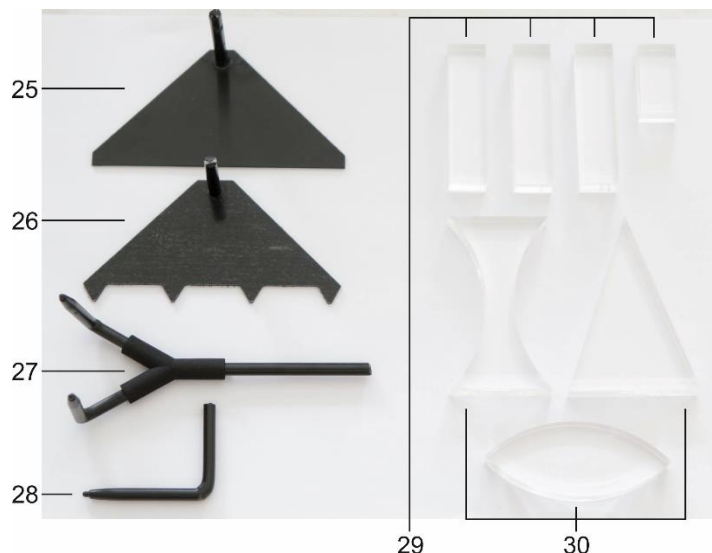


- 16 Boutons pour régler la fréquence du vibreur en mode synchrone
 17 Boutons pour régler la fréquence du vibreur en mode asynchrone
 18 Affichage de la fréquence
 19 Boutons pour régler l'amplitude du vibreur
 20 Commutateur pour fonctionnement synchrone/asynchrone



- 21 Interrupteur marche/arrêt pour l'éclairage stroboscopique
 22 Prise de connexion pour stroboscope
 23 Prise de raccordement pour alimentation enfichable
 24 Prises de connexion pour générateur de vibrations

3.2 Accessoires



- 25 Excitateur pour ondes planes
 26 Excitateur pour quatre ondes circulaires interférentes
 27 Excitateur pour deux ondes circulaires interférentes
 28 Excitateur pour ondes circulaires

- 29 Corps d'immersion : trois cubes longs, un cube court
 30 Corps d'immersion : prisme, lentille biconcave et lentille biconvexe

4. Données techniques

Dimensions

- Réservoir : env. 400 x 300 x 330 mm³
 Bac à eau (surface vitrée env. 360 x 260 mm² utilisable) :
 Écran d'observation : env. 395 x 320 mm²
 Miroir de projection : env. 420 x 395 mm²

Lampe stroboscopique

- Source lumineuse : LED 3 W
 Diamètre : 34 mm
 Fréquence maximale : 60 Hz

Générateur de fréquence

- Dimensions : env. 170 x 110 x 50 mm³

Plage de fréquences : 1 à 60 Hz, réglable par paliers de 1 Hz

Réglage de l'amplitude : 1 à 30 %

Tension d'alimentation : 12 V CC / 1 A en sortie 100 – 240 V en entrée

Générateur de vibrations

Dimensions : env. 110 x 90 x 110 mm³

Courant : max. 400 mA

Protection contre les surcharges : fusible 500 mA

Connexion : prises de sécurité 4 mm

5. Fonctionnement

Recommandé en complément :

1 Bécher, 800 ml, forme haute 1025694

1 Pissette 500 ml 1009812

Eau

- Placez le réservoir à ondulations avec l'écran d'observation tourné vers l'avant sur une surface plane et exempte de vibrations.
- Dévissez les quatre pieds réglables en hauteur situés au bas du réservoir à ondulations jusqu'à ce que vous puissiez glisser le support avec la base du générateur de vibrations sous le réservoir à ondulations sans le toucher.
- Utilisez le niveau à bulle et les pieds réglables en hauteur pour aligner le réservoir à ondulations horizontalement.
- Fixez le tuyau de vidange dans le collier de serrage du réservoir à ondulations de manière à ce qu'il soit orienté vers le haut.
- Glissez le support avec la base pour le générateur de vibrations sous le côté droit central du réservoir à ondulations, l'extrémité pointue de la base étant tournée vers le réservoir. Si nécessaire, tournez et fixez le support dans la base de manière à ce que son extrémité pointue soit également tournée vers le réservoir.
- Utilisez le niveau à bulle et les deux vis de mise à niveau sur la base pour aligner le support horizontalement.
- Placez le générateur de vibrations sur le support, son panneau de commande tourné vers l'avant.
- Fixez le bras de connexion pour les excitateurs d'ondes à l'extrémité du support à l'aide de sa base magnétique et fixez-le à la

broche du générateur de vibrations à l'aide de la vis moletée.

- Insérez l'excitateur d'ondes souhaité dans le bras et fixez-le à l'aide de la vis moletée.
- Connectez le générateur de fréquences et le générateur de vibrations à l'aide des deux câbles de sécurité de 4 mm.
- Montez le stroboscope à l'extérieur du réservoir à ondulations à l'aide du support magnétique et connectez-le au générateur de fréquence à l'aide du câble à trois broches.
- Connectez le générateur de fréquence à l'alimentation électrique à l'aide de l'interrupteur marche/arrêt et de l'adaptateur secteur enfichable.
- Remplissez le réservoir à ondulations avec 5 mm d'eau.

Les corps immergés dépasseront alors de la surface de l'eau.

- Réglez la profondeur d'immersion de l'excitateur d'ondes en ajustant la hauteur du support de manière à ce que le bord inférieur de l'excitateur d'ondes touche juste la surface de l'eau.
- Allumez le générateur de fréquences.

Au démarrage, le système est préréglé pour un fonctionnement synchrone avec une fréquence de 30 Hz et une amplitude de 10 %. Avec des fréquences synchrones du générateur d'ondes et du stroboscope, des motifs d'ondes stationnaires peuvent être visualisés ; avec des réglages asynchrones, des ondes progressives apparaissent.

- Réglez la hauteur et la position du stroboscope de manière à ce que le réservoir à ondulations soit entièrement éclairé.
- Réalisez l'expérience. Ajustez la profondeur de l'eau, la position de l'excitateur d'ondes, la fréquence et l'amplitude selon les besoins afin d'optimiser la visualisation des phénomènes observés.
- Une fois l'expérience terminée, videz le réservoir à ondulations dans un bécher à l'aide du tuyau de vidange.
- Séchez soigneusement l'appareil pour éviter l'accumulation de calcaire.

6. Exemples d'expériences

6.1 Génération d'ondes

- Assurez-vous que le réservoir à ondulations est rempli de 5 mm d'eau.
- Insérez les excitateurs d'ondes appropriés les uns après les autres dans le bras jusqu'à ce qu'ils soient complètement en place, fixez-les à l'aide de la vis moletée et générez des ondes planes, des ondes circulaires ou des ondes circulaires interférentes en conséquence (Fig. 1a – d). Réglez la profondeur d'immersion de chaque excitateur d'ondes en ajustant la hauteur du support de manière à ce que le bord inférieur de l'excitateur d'ondes touche juste la surface de l'eau.

6.2 Réfraction

- Assurez-vous que le réservoir à ondulations est rempli de 5 mm d'eau.
- Insérez l'excitateur d'ondes planes dans le bras jusqu'à ce qu'il soit complètement en place et fixez-le à l'aide de la vis moletée.
- Placez la lentille biconvexe, la lentille biconcave ou le prisme au centre du réservoir à ondulations, à quelques centimètres devant l'excitateur d'ondes.
- Protégez les bords avant de la lentille biconcave à l'aide de deux longs parallélépipèdes placés à la verticale (Fig. 2b) afin de minimiser les effets indésirables tels que les phénomènes de diffraction et d'interférence.
- Faites pivoter le prisme de manière à ce que son côté long, qui est opposé à l'excitateur d'ondes, soit parallèle à celui-ci (Fig. 2c).

Le côté long face à l'excitateur d'ondes doit alors former un angle d'environ 40° avec celui-ci, correspondant à l'angle au sommet du prisme.

- Ajoutez de l'eau de manière à recouvrir complètement le corps d'immersion.
- Ajustez la profondeur d'immersion de l'excitateur d'ondes en réglant la hauteur du support de manière à ce que le bord inférieur de l'excitateur d'ondes touche juste la surface de l'eau.

Pour observer la réfraction, le corps immergé doit être juste recouvert d'eau.

- Allumez le générateur de fréquences et observez l'affichage sur l'écran d'observation. Utilisez par exemple une bouteille à lavage pour retirer l'eau du bac à ondulations jusqu'à ce que la réfraction devienne visible derrière le corps immergé. Réglez la profondeur d'immersion du générateur d'ondes et, si nécessaire, la fréquence et l'amplitude pour optimiser l'affichage.

- Répétez l'expérience avec les autres corps immergés.

Derrière la lentille biconvexe, des ondes circulaires convergentes se forment et se concentrent en un point (fig. 2a). Derrière la lentille biconcave, des ondes circulaires divergentes semblent provenir d'un point focal virtuel situé devant la lentille (fig. 2b). Le prisme dévie les ondes planes (fig. 2c).

Au-dessus des corps immergés, la profondeur de l'eau est nettement moins importante que dans les zones environnantes. Dans ces zones peu profondes, la vitesse des vagues diminue, ce qui se traduit par une longueur d'onde plus courte. Par conséquent, lorsque les vagues passent d'une eau profonde à une eau moins profonde, elles se réfractent, à l'instar des ondes lumineuses qui passent d'un milieu optiquement moins dense à un milieu optiquement plus dense.

6.3 Réflexion

- Assurez-vous que le réservoir à ondulations est rempli de 5 mm d'eau.
- Insérez l'excitateur d'ondes planes dans le bras jusqu'à ce qu'il soit complètement en place et fixez-le à l'aide de la vis moletée. Réglez la profondeur d'immersion en ajustant la hauteur du support de manière à ce que le bord inférieur de l'excitateur d'ondes touche juste la surface de l'eau.
- Placez la lentille biconvexe ou la lentille biconcave dans le réservoir à ondulations et observez le motif de réflexion.

Lorsque les ondes planes se réfléchissent sur des obstacles courbes, la lentille biconvexe agit comme un miroir convexe (fig. 3a), tandis que la lentille biconcave se comporte comme un miroir concave (fig. 3b).

- Placez les trois longs parallélépipèdes à un angle de 45° devant l'excitateur d'ondes afin de former un obstacle droit et continu.

Lorsque des ondes planes se réfléchissent sur un obstacle droit, celui-ci se comporte comme un miroir plat. Les ondes réfléchies restent planes et la longueur d'onde ne change pas. La loi de la réflexion s'applique : angle d'incidence = angle de réflexion (Fig. 3c).

- Répétez l'expérience en utilisant l'excitateur pour les ondes circulaires. Pour cette expérience, rapprochez l'obstacle droit du générateur d'ondes.

Lorsque des ondes circulaires se réfléchissent sur un obstacle droit, celui-ci agit comme un miroir plat. Les ondes réfléchies restent circulaires, leur origine apparaissant en un point virtuel situé derrière l'obstacle droit, symétrique par rapport au point d'excitation (Fig. 3d).

6.4 Diffraction

- Assurez-vous que le bassin à ondulations est rempli de 5 mm d'eau.
- Insérez l'excitateur pour ondes planes dans le bras jusqu'à ce qu'il soit complètement en place et fixez-le à l'aide de la vis moletée. Réglez la profondeur d'immersion en ajustant la hauteur du support de manière à ce que le bord inférieur de l'excitateur d'ondes touche juste la surface de l'eau.
- À l'aide de deux longs parallélépipèdes, créez séquentiellement une fente unique avec trois largeurs différentes : 1) nettement plus large que la longueur d'onde, 2) légèrement plus large que la longueur d'onde et 3) plus petite que la longueur d'onde.

Dans le premier cas, les ondes planes traversent la fente sans subir de modification notable. Des ondes circulaires d'amplitude plus faible se propagent dans la zone d'ombre à partir des bords (fig. 4a). Dans le deuxième cas, les ondes circulaires provenant des bords de la fente interfèrent entre elles. Cela produit des maxima et des minima d'interférence disposés le long d'hyperboles, les bords de la fente agissant comme des sources d'excitation des ondes (fig. 4b). Dans le troisième cas, des ondes circulaires se forment et la fente se comporte comme une source ponctuelle (fig. 4c).

- Placez un long parallélépipède dans le bac à ondulations comme obstacle.

Les bords du parallélépipède rectangulaire agissent comme des sources d'ondes circulaires qui se propagent également dans la zone d'ombre et interfèrent derrière le parallélépipède (Fig. 4d).

6.5 Interférence

- Assurez-vous que le bac à ondulations est rempli de 5 mm d'eau.
- Insérez les excitateurs pour deux et quatre ondes circulaires interférentes dans le bras l'un après l'autre et fixez-les à l'aide de la vis moletée. Réglez la profondeur d'immersion des excitateurs d'ondes en ajustant la hauteur du support de manière à ce que les bords inférieurs des excitateurs touchent juste la surface de l'eau.
- Observez les motifs d'interférence.

Les maxima et minima d'interférence sont situés le long d'hyperboles, avec des points focaux aux positions d'excitation des ondes (fig. 1c, d).

- Insérez l'excitateur pour ondes planes dans le bras jusqu'à ce qu'il soit complètement en place et fixez-le à l'aide de la vis moletée. Réglez la profondeur d'immersion en ajustant la

hauteur du support de manière à ce que le bord inférieur de l'excitateur d'ondes touche juste la surface de l'eau.

- Utilisez deux cubes longs et le cube court pour créer une double fente.
- Observez les motifs d'interférence.

Les motifs d'interférence derrière la double fente ressemblent à ceux produits par l'excitateur pour deux ondes circulaires interférentes. Selon le principe de Huygens, des fronts d'onde circulaires de fréquence et d'amplitude identiques sont générés simultanément au niveau des deux fentes (Fig. 5).

6.6 Détermination de la longueur d'onde

Pour déterminer la longueur d'onde, il faut tenir compte du facteur d'agrandissement b .

Le facteur d'agrandissement b peut être calculé, par exemple, en plaçant la lentille biconcave dans le bac à ondulations et en comparant sa taille réelle A à la taille de son image A' sur l'écran d'observation :

$$b = A'/A$$

La longueur d'onde réelle λ est alors déterminée à partir de la longueur d'onde λ' mesurée sur l'écran d'observation :

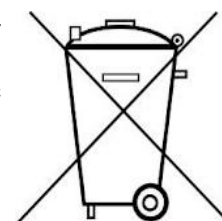
$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Stockage et entretien

- Stockez le bac à ondulations dans un endroit exempt de poussière.
- Séchez soigneusement le réservoir à ondulations après utilisation afin d'éviter la formation de taches d'eau et de dépôts calcaires.

8. Élimination

- L'emballage doit être éliminé dans les points de recyclage locaux.
- Si vous devez éliminer l'équipement lui-même, ne le jetez jamais avec les déchets ménagers normaux. Les réglementations locales relatives à l'élimination des équipements électriques s'appliquent.



Génération d'ondes

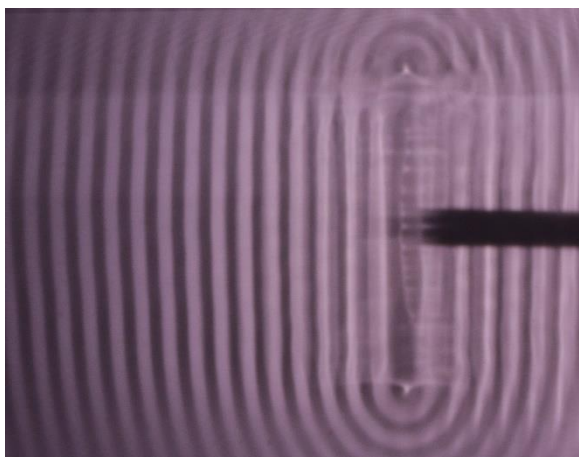


Fig. 1a : Génération d'ondes planes

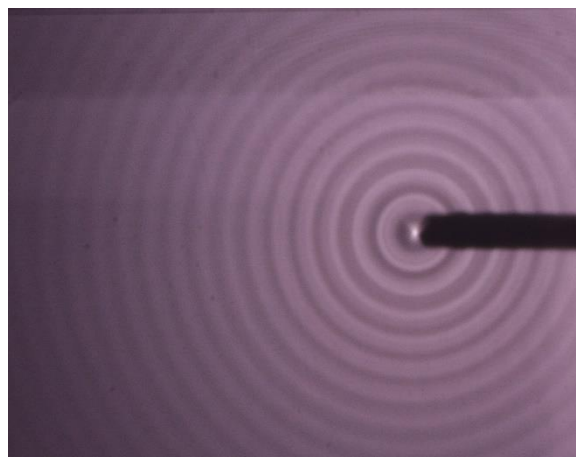


Fig. 1b : Génération d'ondes circulaires

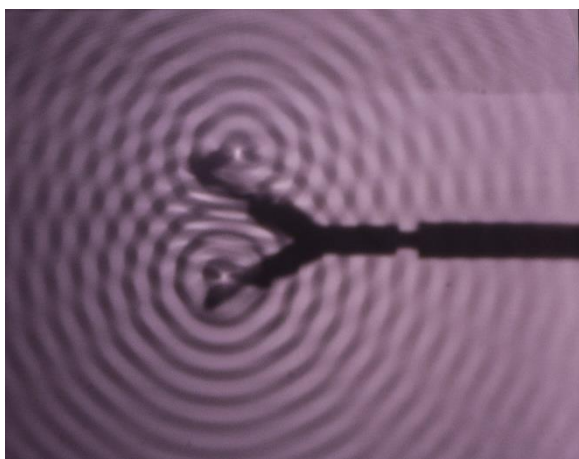


Fig. 1c : Génération de deux ondes circulaires interférentes

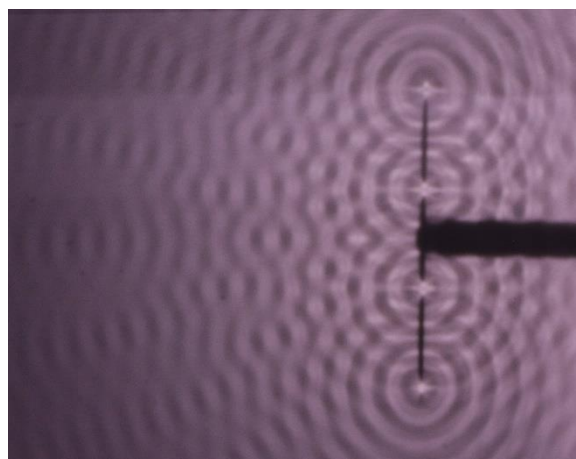


Fig. 1d : Génération de quatre ondes circulaires interférentes

Réfraction

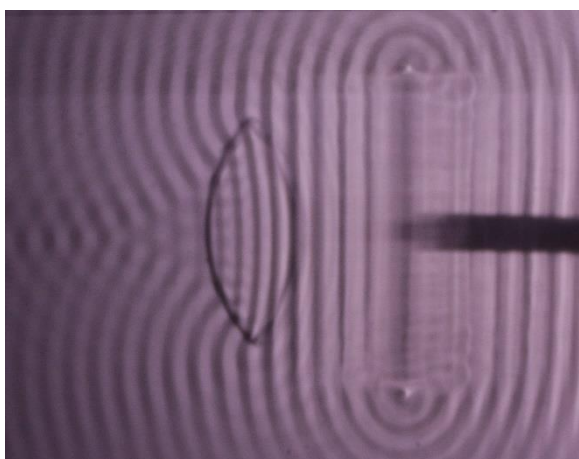


Fig. 2a : Réfraction d'ondes planes au niveau d'une lentille biconvexe

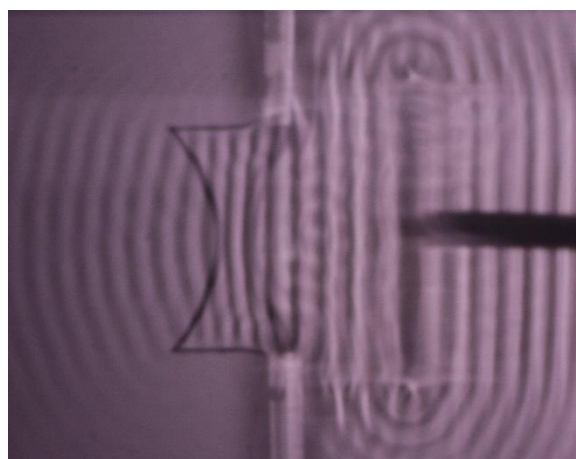


Fig. 2b : Réfraction d'ondes planes au niveau d'une lentille biconcave. Les bords avant de la lentille sont protégés par deux longs parallélépipèdes placés à la verticale afin de minimiser les effets indésirables tels que les phénomènes de diffraction et d'interférence.

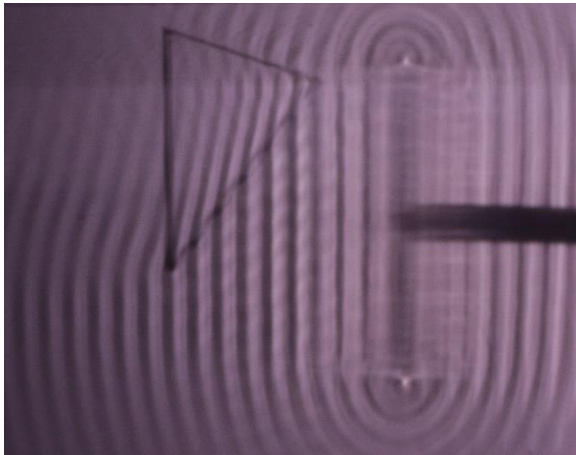


Fig. 2c : Réfraction des ondes planes au niveau d'un prisme

Réflexion

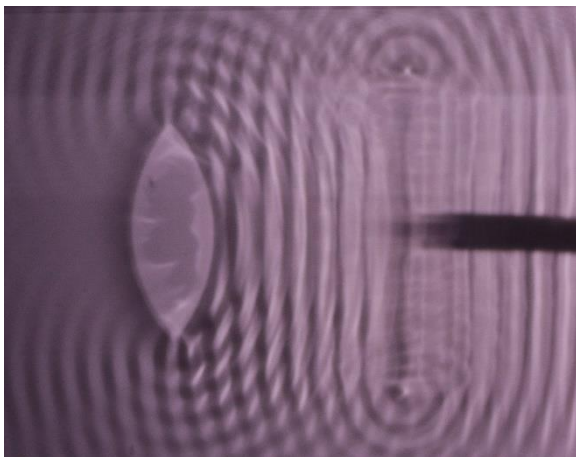


Fig. 3a : Réflexion d'ondes planes sur une lentille bi-convexe

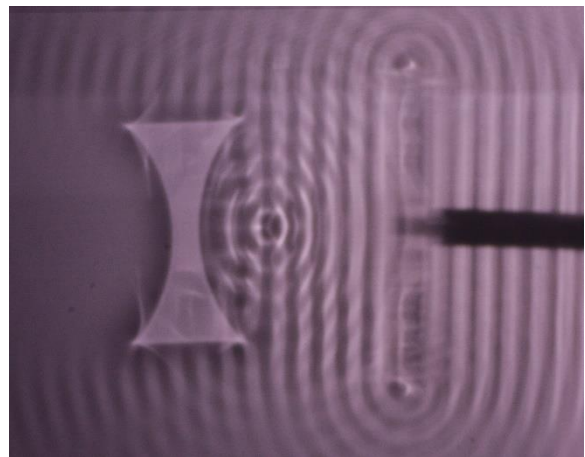


Fig. 3b : Réflexion d'ondes planes sur une lentille bi-concave

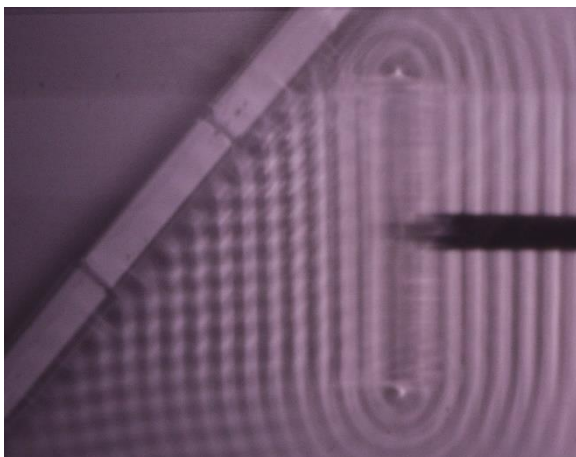


Fig. 3c : Réflexion d'ondes planes sur un obstacle droit

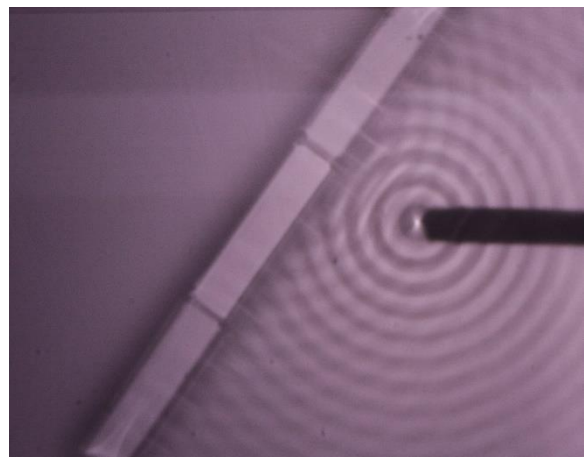


Fig. 3d : Réflexion d'ondes circulaires sur un obstacle droit

Diffraction

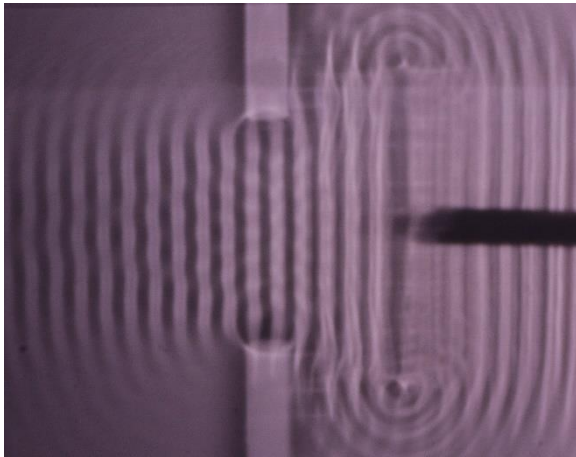


Fig. 4a : Diffraction d'ondes planes au niveau d'une fente dont la largeur est nettement supérieure à la longueur d'onde

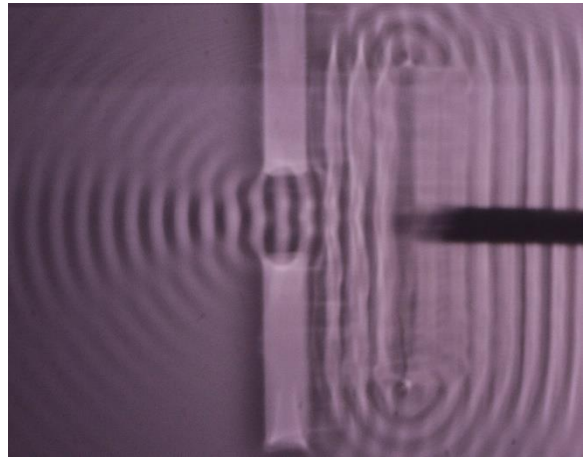


Fig. 4b : Diffraction d'ondes planes au niveau d'une fente dont la largeur est légèrement supérieure à la longueur d'onde

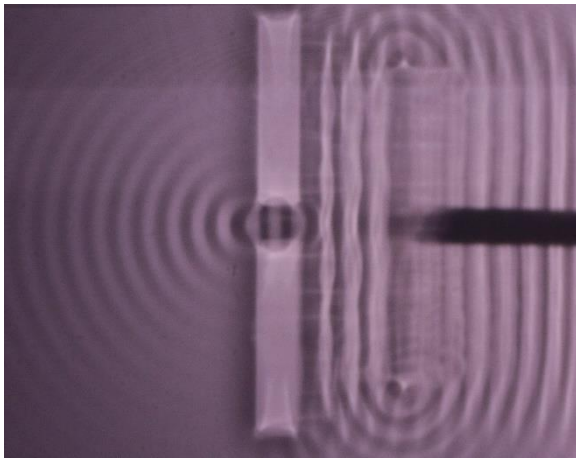


Fig. 4c : Diffraction d'ondes planes sur une fente dont la largeur est inférieure à la longueur d'onde

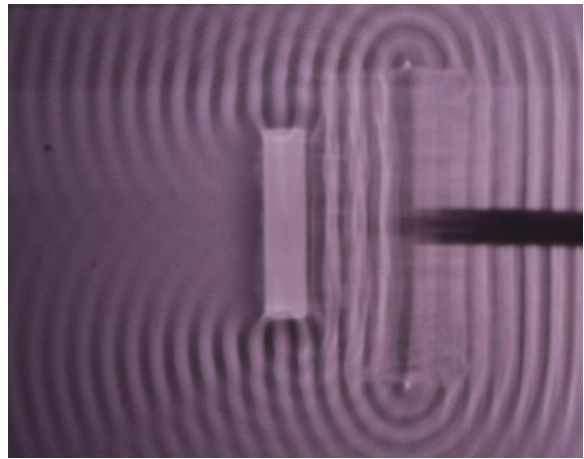


Fig. 4d : Diffraction d'ondes planes aux bords d'un parallélépipède rectangle

Interférence

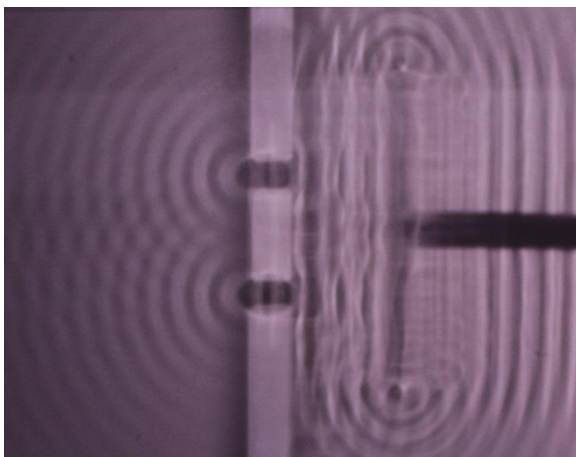


Fig. 5 : Interférence au niveau d'une double fente

Vasca per onde 1026082

Manuale d'uso

11/25 Alf/GH/UD



- 1 Stroboscopio LED flessibile con supporto magnetico
- 2 Bacino d'acqua
- 3 Corpi di immersione
- 4 Schermo di osservazione
- 5 Cavi di collegamento per generatore di vibrazioni
- 6 Collegamento stroboscopio
- 7 Generatore di frequenza
- 8 Interruttore On/Off

- 9 Livella a bolla
- 10 Eccitatori d'onda
- 11 Viti di livellamento
- 12 Supporto con base per generatore di vibrazioni
- 13 Tubo di scarico
- 14 Generatore di vibrazioni
- 15 Braccio di collegamento per eccitatori d'onda

1. Istruzioni di sicurezza

I componenti in vetro della vasca per onde possono rompersi se non vengono maneggiati correttamente.

- Non sottoporre la vasca per onde a forze meccaniche eccessive.

2. Dotazione

- 1 Vasca per onde con specchio di proiezione, schermo di osservazione e tubo di scarico
- 1 Stroboscopio LED flessibile con supporto magnetico
- 1 Generatore di frequenza
- 1 Alimentatore plug-in, 12 V CC
- 1 Interruttore On/Off
- 1 Generatore di vibrazioni
- 1 Supporto con base per generatore di vibrazioni
- 2 Cavi di collegamento per generatore di vibrazioni
- 1 Braccio di collegamento per eccitatori d'onda
- 1 Set di 4 eccitatori d'onda (onde piane, onde circolari, due/quattro onde circolari interferenti)
- 1 Set di 7 corpi di immersione (prisma, lente biconvessa, lente biconcava, tre parallelepipedi lunghi / un parallelepipedo corto)
- 1 Livella a bolla
- 1 Custodia

3. Descrizione

La vasca ondulatoria viene utilizzata per dimostrare chiaramente i fenomeni ondulatori fondamentali, quali la generazione di onde piane e circolari, la rifrazione, la riflessione, la diffrazione e l'interferenza, visualizzati attraverso le onde d'acqua proiettate su uno schermo di osservazione.

La vasca per onde è costituita da un telaio in alluminio con una vasca poco profonda dotata di fondo in vetro. Il fondo in vetro presenta un'apertura con un tubo di scarico per svuotare l'acqua. La vasca viene livellata utilizzando una livella a bolla e quattro piedini regolabili in altezza situati nella parte inferiore della vasca. Le onde piane o circolari vengono generate nell'acqua attraverso oscillazioni meccaniche localizzate, con frequenza e ampiezza impostate sul generatore di frequenza.

Una lampada a LED con supporto magnetico illumina la vasca dall'alto, funzionando come uno stroboscopio con frequenza sincrona o asincrona. Il telaio contiene uno specchio angolato che proietta le onde su uno schermo di osservazione. Lo stroboscopio è collegato tramite una presa a tre poli sul lato sinistro del generatore di frequenza.

Il generatore di frequenza consente la regolazione separata della frequenza dello stroboscopio e della frequenza e dell'ampiezza della generazione delle onde. La frequenza impostata viene visualizzata continuamente sul generatore di frequenza, mentre l'ampiezza viene visualizzata temporaneamente quando viene modificata. L'alimentazione è fornita tramite un alimentatore a spina.

La generazione delle onde viene eseguita utilizzando un generatore di vibrazioni. Per montare e posizionare il generatore di vibrazioni viene utilizzato un supporto con una base. All'interno del tubo della base è presente una molla elicoidale che funge da ammortizzatore. Gli eccitatori di onde sono accoppiati meccanicamente tramite un braccio di collegamento. L'alimentazione viene fornita tramite due cavi di collegamento attraverso il generatore di frequenza. Per condurre gli esperimenti sono disponibili vari eccitatori di onde e corpi di immersione.

Il serbatoio ondulatorio presenta due aperture laterali che ne facilitano la manipolazione e il trasporto.

3.1 Elementi operativi – generatore di frequenza

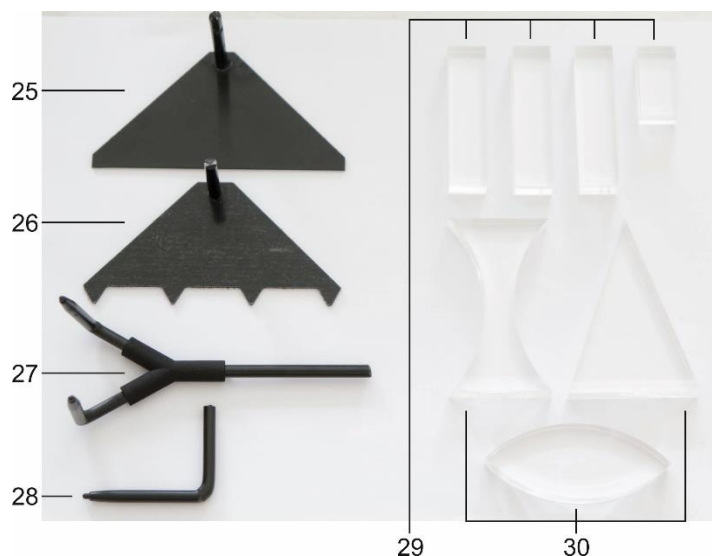


- 16 Manopole per la regolazione della frequenza del vibratore in modalità sincrona
- 17 Manopole per la regolazione della frequenza del vibratore in modalità asincrona
- 18 Display della frequenza
- 19 Manopole per la regolazione dell'ampiezza del vibratore



- 20 Interruttore per funzionamento sincrono/asincrono
- 21 Interruttore on/off per illuminazione stroboscopica
- 22 Presa di collegamento per stroboscopio
- 23 Presa di collegamento per alimentatore a spina
- 24 Prese di collegamento per generatore di vibrazioni

3.2 Accessori



- 25 Eccitatore per onde piane
- 26 Eccitatore per quattro onde circolari interferenti
- 27 Eccitatore per due onde circolari interferenti
- 28 Eccitatore per onde circolari

- 29 Corpi di immersione tre parallelepipedi lunghi, un parallelepipedo corto
- 30 Corpi di immersione prisma, lente biconcava e biconvessa

4. Dati tecnici

Dimensioni

Serbatoio:	circa 400x300x330 mm ³
Vasca dell'acqua (superficie utile in vetro):	circa 360x260 mm ²
Schermo di osservazione:	circa 395x320 mm ²
Specchio di proiezione:	circa 420x395 mm ²

Lampada stroboscopica

Sorgente luminosa:	LED 3 W
Diametro:	34 mm
Frequenza massima:	60 Hz

Generatore di frequenza

Dimensioni:	circa 170x110x50 mm ³
Intervallo di frequenza:	1 – 60 Hz, regolabile con incrementi di 1 Hz

Regolazione dell'ampiezza:	1 – 30%
Tensione di alimentazione:	12 V CC / 1 A in uscita 100 – 240 V in ingresso

Generatore di vibrazioni

Dimensioni:	circa 110x90x110 mm ³
Corrente:	max. 400 mA
Protezione da sovraccarico:	fusibile da 500 mA
Collegamento:	Prese di sicurezza da 4 mm

5. Funzionamento

Ulteriori raccomandazioni:

1 Becher, 800 ml, forma alta	1025694
1 Spruzzetta 500 ml	1009812
Acqua	

- Posizionare il serbatoio ondulatorio con lo schermo di osservazione rivolto in avanti su una superficie piana e priva di vibrazioni.
- Svitare i quattro piedini regolabili in altezza nella parte inferiore del serbatoio ondulatorio fino a poter far scorrere il supporto con la base per il generatore di vibrazioni sotto il serbatoio ondulatorio senza toccarlo.
- Utilizzare la livella a bolla e i piedini regolabili in altezza per allineare il serbatoio ondulatorio in orizzontale.
- Fissare il tubo di scarico nel morsetto sul serbatoio ondulatorio in modo che sia rivolto verso l'alto.
- Far scorrere il supporto con base per il generatore di vibrazioni sotto il lato destro centrale del serbatoio ondulatorio, con l'estremità appuntita della base rivolta verso il serbatoio. Se necessario, ruotare e fissare il supporto nella base in modo che anche la sua estremità appuntita sia rivolta verso il serbatoio.
- Utilizzare la livella a bolla e le due viti di livellamento sulla base per allineare il supporto in orizzontale.
- Posizionare il generatore di vibrazioni sul supporto con il pannello di controllo rivolto in avanti.
- Fissare il braccio di collegamento per gli eccitatori d'onda sulla punta del supporto utilizzando la sua base magnetica e fissarlo al perno del generatore di vibrazioni utilizzando la vite zigrinata.
- Inserire l'eccitatore d'onda desiderato nel braccio e fissarlo con la vite zigrinata.

- Collegare il generatore di frequenza e il generatore di vibrazioni utilizzando i due cavi di sicurezza da 4 mm.
- Montare lo stroboscopio sulla parte esterna della vasca a increspature utilizzando il supporto magnetico e collegarlo al generatore di frequenza utilizzando il cavo a tre pin.
- Collegare il generatore di frequenza all'alimentatore utilizzando l'interruttore On/Off e l'adattatore di alimentazione a spina.
- Riempire il serbatoio ondulatorio con 5 mm di acqua.

I corpi di immersione si estenderanno quindi sopra la superficie dell'acqua.

- Regolare la profondità di immersione dell'eccitatore d'onda impostando l'altezza del supporto in modo che il bordo inferiore dell'eccitatore d'onda tocchi appena la superficie dell'acqua.
- Accendere il generatore di frequenza.

All'avvio, il sistema è preimpostato per il funzionamento sincrono con una frequenza di 30 Hz e un'ampiezza del 10%. Con frequenze sincrone del generatore d'onda e dello stroboscopio, è possibile visualizzare modelli di onde stazionarie; con impostazioni asincrone, compaiono onde progressive.

- Regolare l'altezza e la posizione dello stroboscopio in modo che la vasca a increspature sia completamente illuminata.
- Eseguire l'esperimento. Regolare la profondità dell'acqua, la posizione dell'agitatore d'onda, la frequenza e l'ampiezza secondo necessità per ottimizzare la visualizzazione dei fenomeni osservati.
- Al termine dell'esperimento, svuotare la vasca per onde in un becher utilizzando il tubo di scarico.
- Asciugare accuratamente il dispositivo per evitare l'accumulo di calcare.

6. Esempi di esperimenti

6.1 Generazione delle onde

- Assicurarsi che la vasca ondulatoria sia riempita con 5 mm di acqua.
- Inserire uno dopo l'altro gli opportuni generatori di onde nel braccio fino a quando non sono completamente inseriti, fissarli con la vite zigrinata e generare onde piane, onde circolari o onde circolari interferenti a seconda delle necessità (Fig. 1a – d). Regolare la profondità di immersione di ciascun generatore di onde impostando l'altezza del supporto in modo che il bordo inferiore del generatore di onde tocchi appena la superficie dell'acqua.

6.2 Rifrazione

- Assicurarsi che la vasca per onde sia riempita con 5 mm di acqua.
- Inserire l'eccitatore per onde piane nel braccio fino a quando non è completamente inserito e fissarlo con la vite zigrinata.
- Posizionare la lente biconvessa, la lente biconcava o il prisma al centro della vasca a increspature, a pochi centimetri davanti all'eccitatore d'onda.
- Schermare i bordi anteriori della lente biconcava utilizzando due lunghi parallelepipedi posizionati in verticale (Fig. 2b) per ridurre al minimo gli effetti indesiderati sui bordi, come i fenomeni di diffrazione e interferenza.
- Ruotare il prisma in modo che il suo lato lungo, rivolto nella direzione opposta all'eccitatore d'onda, sia parallelo all'eccitatore d'onda (Fig. 2c).

Il lato lungo rivolto verso l'eccitatore d'onda dovrebbe quindi formare un angolo di circa 40° con esso, corrispondente all'angolo al vertice del prisma.

- Aggiungere acqua in modo che il corpo di immersione sia completamente coperto.
- Regolare la profondità di immersione dell'eccitatore d'onda impostando l'altezza del supporto in modo che il bordo inferiore dell'eccitatore d'onda tocchi appena la superficie dell'acqua.

Per osservare la rifrazione, il corpo immerso deve essere appena coperto dall'acqua.

- Accendere il generatore di frequenza e osservare il display sullo schermo di osservazione. Utilizzare ad esempio una bottiglia di lavaggio per rimuovere l'acqua dalla vasca a increspature fino a quando la rifrazione diventa visibile dietro il corpo immerso. Regolare la profondità di immersione dell'eccitatore d'onda e, se necessario, la frequenza e l'ampiezza per ottimizzare la visualizzazione.
- Ripetere l'esperimento con gli altri corpi immersi.

Dietro la lente biconvessa si formano onde circolari convergenti che si concentrano su un punto (Fig. 2a). Dietro la lente biconcava, le onde circolari divergenti sembrano provenire da un punto focale virtuale davanti alla lente (Fig. 2b). Il prisma devia le onde piane (Fig. 2c). Sopra i corpi immersi, la profondità dell'acqua è significativamente inferiore rispetto all'area circostante. In queste regioni poco profonde, la velocità delle onde diminuisce, determinando una lunghezza d'onda più corta. Di conseguenza, quando le onde passano da acque più profonde a acque meno profonde, si rifrangono, in modo simile alle onde luminose che passano da un mezzo otticamente meno denso a uno otticamente più denso.

6.3 Riflessione

- Assicurarsi che la vasca per onde sia riempita con 5 mm di acqua.
- Inserire l'eccitatore per onde piane nel braccio fino a quando non è completamente inserito e fissarlo con la vite zigrinata. Regolare la profondità di immersione impostando l'altezza del supporto in modo che il bordo inferiore dell'eccitatore d'onda tocchi appena la superficie dell'acqua.
- Posizionare la lente biconvessa o la lente biconcava nella vasca a increspature e osservare il modello di riflessione.

Quando le onde piane si riflettono su ostacoli curvi, la lente biconvessa agisce come uno specchio convesso (Fig. 3a), mentre la lente biconcava si comporta come uno specchio concavo (Fig. 3b).

- Posizionare i tre parallelepipedi lunghi con un angolo di 45° davanti all'agitatore d'onda per formare un ostacolo rettilineo e continuo.

Quando le onde piane si riflettono su un ostacolo rettilineo, questo si comporta come uno specchio piano. Le onde riflesse rimangono piane e la lunghezza d'onda non cambia. Si applica la legge della riflessione: angolo di incidenza = angolo di riflessione (Fig. 3c).

- Ripetere l'esperimento utilizzando l'eccitatore per onde circolari. Per questo esperimento, avvicinare l'ostacolo rettilineo al generatore di onde.

Quando le onde circolari si riflettono su un ostacolo rettilineo, esso agisce come uno specchio piano. Le onde riflesse rimangono circolari, con il loro punto di origine che appare in un punto virtuale dietro l'ostacolo rettilineo, simmetrico rispetto al punto di eccitazione (Fig. 3d).

6.4 Diffrazione

- Assicurarsi che la vasca a increspature sia riempita con 5 mm di acqua.
- Inserire l'eccitatore per onde piane nel braccio fino a quando non è completamente inserito e fissarlo con la vite zigrinata. Regolare la profondità di immersione impostando l'altezza del supporto in modo che il bordo inferiore dell'eccitatore d'onda tocchi appena la superficie dell'acqua.
- Utilizzando due parallelepipedi lunghi, creare in sequenza una singola fenditura con tre diverse larghezze: 1) significativamente più ampia della lunghezza d'onda, 2) leggermente più ampia della lunghezza d'onda e 3) più piccola della lunghezza d'onda.

Nel primo caso, le onde piane attraversano la fessura quasi senza subire variazioni. Onde circolari con ampiezza più debole si diffondono nella regione in ombra dai bordi (Fig. 4a). Nel secondo caso, le onde circolari originate dai bordi della fessura interferiscono tra loro. Ciò produce massimi e minimi di interferenza disposti lungo iperboli, con i bordi della fessura che fungono da sorgenti di eccitazione delle onde (Fig. 4b). Nel terzo caso, si formano onde circolari e la fessura si comporta come una sorgente puntiforme (Fig. 4c).

- Posizionare un lungo parallelepipedo nella vasca a increspature come ostacolo.

I bordi del parallelepipedo fungono da sorgenti di onde circolari che si propagano anche nella regione in ombra e interferiscono dietro il parallelepipedo (Fig. 4d).

6.5 Interferenza

- Assicurarsi che la vasca a increspature sia riempita con 5 mm di acqua.
- Inserire uno dopo l'altro nel braccio gli eccitatori per due e quattro onde circolari interferenti e fissarli con la vite zigrinata. Regolare la profondità di immersione degli eccitatori d'onda impostando l'altezza del supporto in modo che i bordi inferiori degli eccitatori tocchino appena la superficie dell'acqua.
- Osservare i modelli di interferenza.

I massimi e i minimi di interferenza si trovano lungo le iperboli, con i punti focali nelle posizioni di eccitazione delle onde (Fig. 1c, d).

- Inserire l'eccitatore per onde piane nel braccio fino a quando non è completamente inserito e fissarlo con la vite zigrinata. Regolare la profondità di immersione impostando l'altezza del supporto in modo che il bordo inferiore dell'eccitatore d'onda tocchi appena la superficie dell'acqua.
- Utilizzare due parallelepipedi lunghi e il parallelepipedo corto per creare una doppia fenditura.
- Osservare i modelli di interferenza.

I modelli di interferenza dietro la doppia fenditura assomigliano a quelli prodotti dall'eccitatore per due onde circolari interferenti. Secondo il principio di Huygens, i fronti d'onda circolari con frequenza e ampiezza identiche vengono generati simultaneamente in entrambe le fenditure (Fig. 5).

6.6 Determinazione della lunghezza d'onda

Per determinare la lunghezza d'onda, è necessario considerare il fattore di ingrandimento b .

Il fattore di ingrandimento b può essere calcolato, ad esempio, posizionando la lente biconcava nella vasca a increspature e confrontando la sua dimensione reale A con la dimensione della sua immagine A' sullo schermo di osservazione:

$$b = A'/A$$

La lunghezza d'onda effettiva λ viene quindi determinata dalla lunghezza d'onda λ' misurata sullo schermo di osservazione:

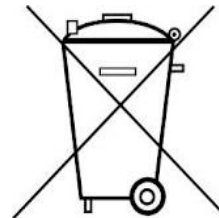
$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Conservazione e manutenzione

- Conservare la vasca a increspature in un luogo privo di polvere.
- Asciugare accuratamente il serbatoio ondulato dopo l'uso per evitare la formazione di macchie d'acqua e depositi di calcare.

8. Smaltimento

- L'imballaggio deve essere smaltito presso i centri di riciclaggio locali.
- Se è necessario smaltire l'apparecchiatura stessa, non gettarla mai nei normali rifiuti domestici. Si applicano le normative locali per lo smaltimento delle apparecchiature elettriche.



Generazione di onde

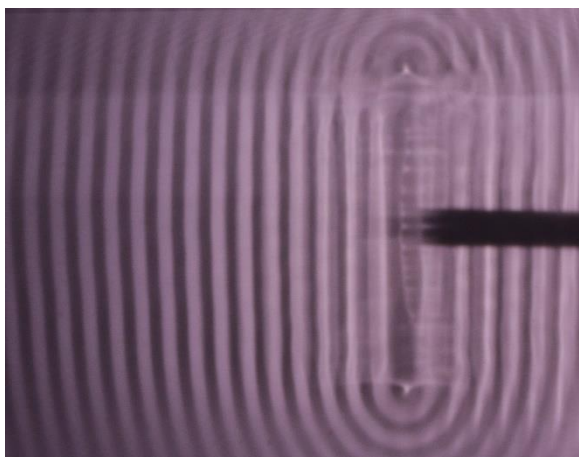


Fig. 1a: Generazione di onde piane

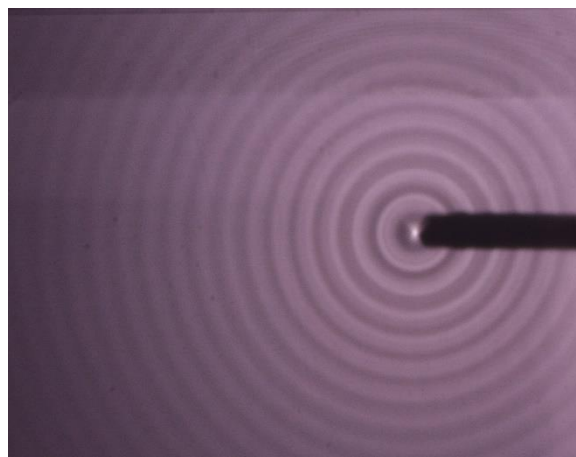


Fig. 1b: Generazione di onde circolari

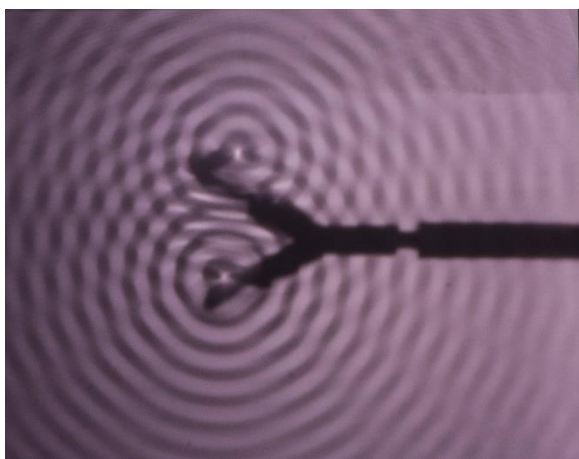


Fig. 1c: Generazione di due onde circolari interferenti

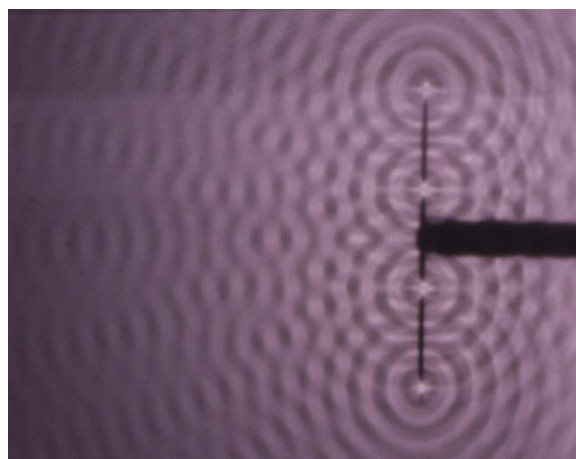


Fig. 1d: Generazione di quattro onde circolari interferenti

Rifrazione

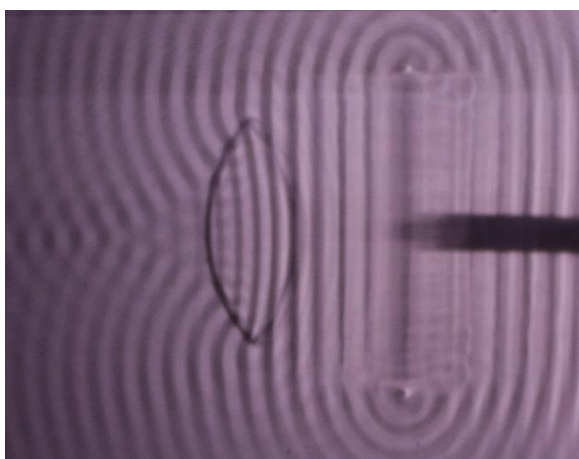


Fig. 2a: Rifrazione delle onde piane su una lente biconvessa

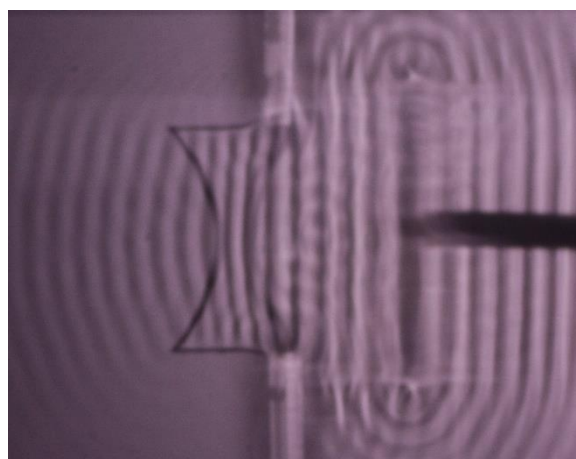


Fig. 2b: Rifrazione delle onde piane su una lente biconcava. I bordi anteriori della lente sono protetti da due lunghi parallelepipedi posizionati verticalmente per ridurre al minimo gli effetti indesiderati sui bordi, quali fenomeni di diffrazione e interferenza.

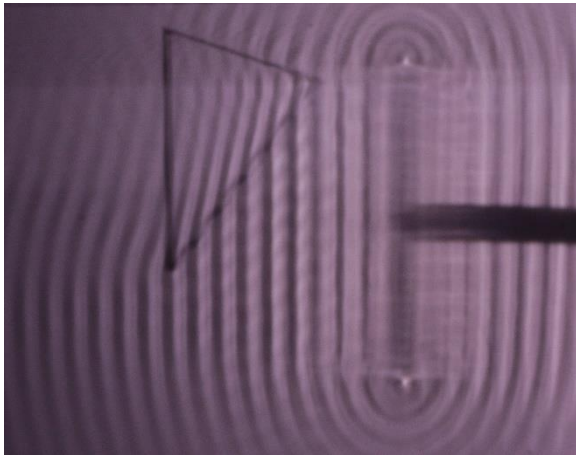


Fig. 2c: Rifrazione delle onde piane su un prisma

Riflessione

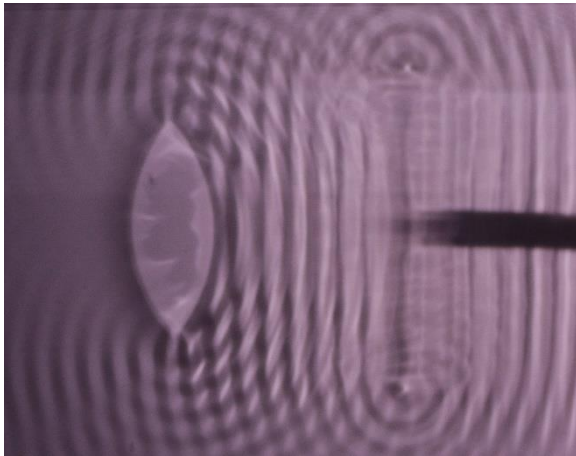


Fig. 3a: Riflessione delle onde piane su una lente biconvessa

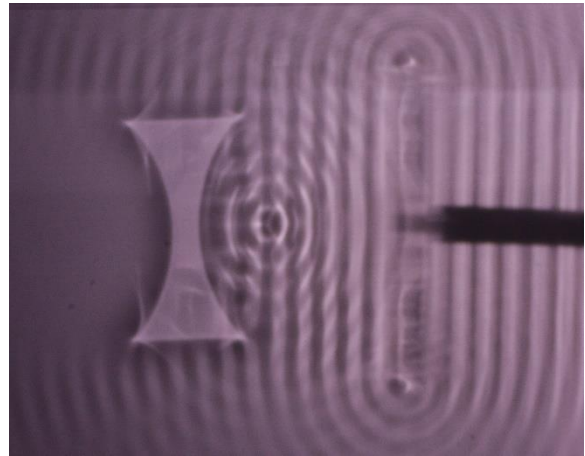


Fig. 3b: Riflessione delle onde piane su una lente biconcava

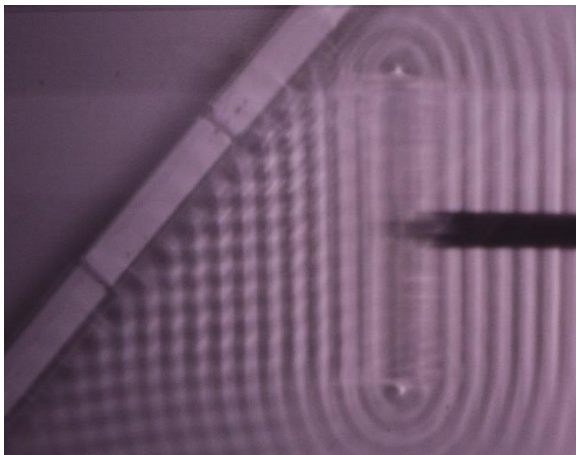


Fig. 3c: Riflessione di onde piane su un ostacolo rettilineo

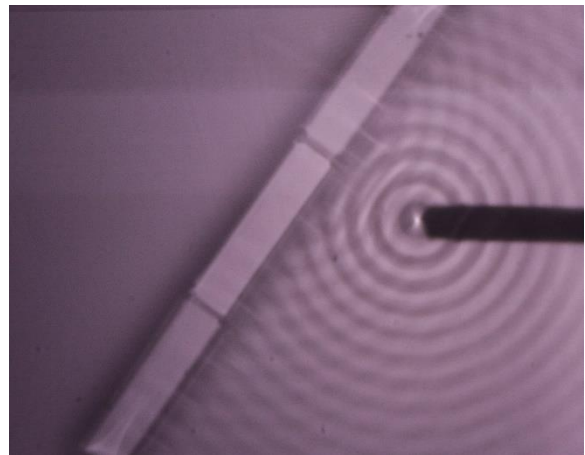


Fig. 3d: Riflessione di onde circolari su un ostacolo rettilineo

Diffrazione

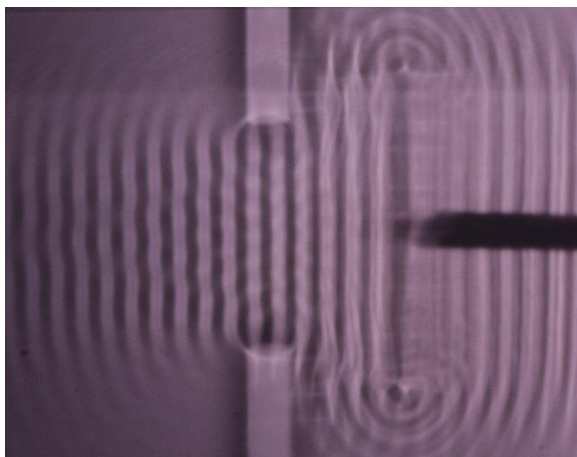


Fig. 4a: Diffrazione di onde piane su una fenditura con larghezza significativamente maggiore della lunghezza d'onda

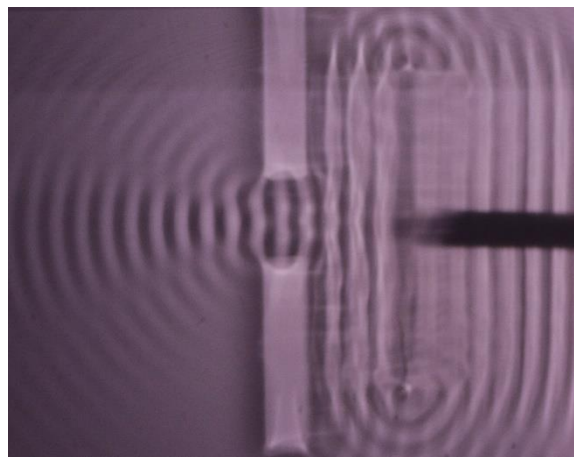


Fig. 4b: Diffrazione di onde piane su una fenditura con larghezza leggermente superiore alla lunghezza d'onda

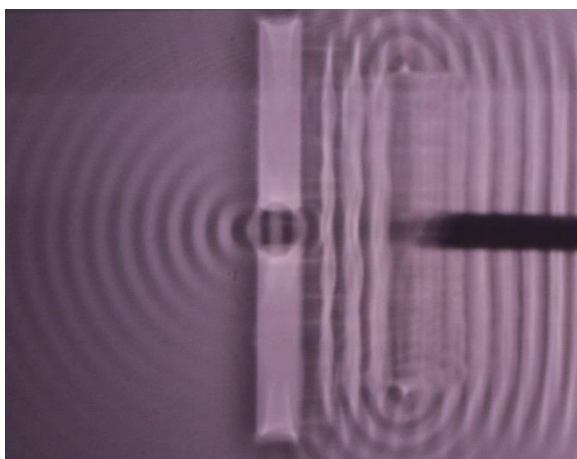


Fig. 4c: Diffrazione di onde piane su una fenditura con larghezza inferiore alla lunghezza d'onda

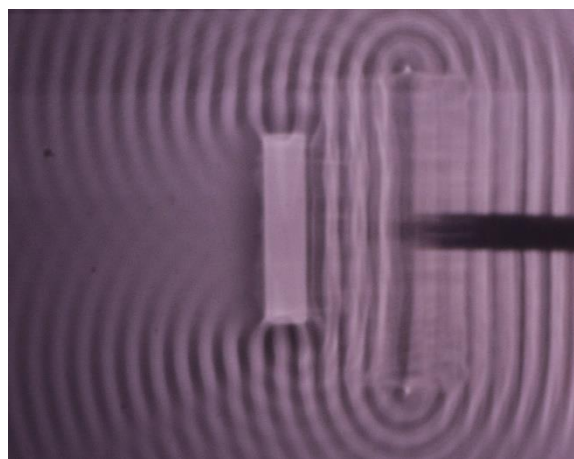


Fig. 4d: Diffrazione di onde piane ai bordi di un parallelepipedo

Interferenza

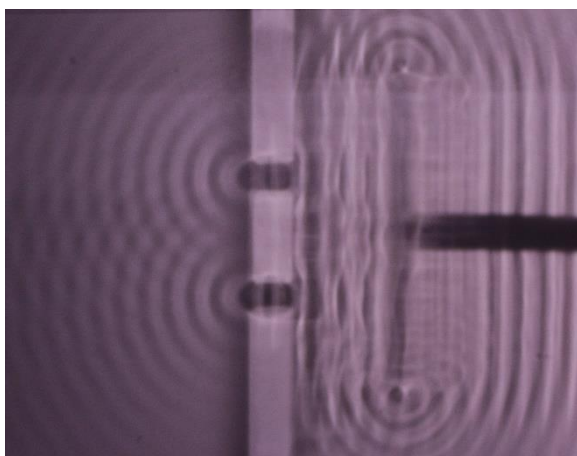


Fig. 5: Interferenza alla doppia fenditura

Tanque de ondas 1026082

Manual do usuário

11/25 Alf/GH/UD



- 1 Estroboscópio LED flexível com suporte magnético
- 2 Bacia de água
- 3 Corpos de imersão
- 4 Tela de observação
- 5 Cabos de conexão para gerador de vibração
- 6 Conexão do estroboscópio
- 7 Gerador de frequência
- 8 Interruptor liga/desliga

- 9 Nível de bolha
- 10 Excitadores de ondas
- 11 Parafusos de nivelamento
- 12 Suporte com base para gerador de vibração
- 13 Mangueira de drenagem
- 14 Gerador de vibração
- 15 Braço de conexão para excitadores de ondas

1. Instruções de segurança

Os componentes de vidro do tanque de ondulação podem quebrar se não forem manuseados corretamente.

- Não submeta o tanque de ondulação a forças mecânicas excessivas.

2. Equipamento fornecido

- 1 Tanque ondulado com espelho de projeção, tela de observação e mangueira de drenagem
- 1 Estroboscópio LED flexível com suporte magnético
- 1 Gerador de frequência
- 1 Fonte de alimentação plug-in, 12 V CC
- 1 Interruptor liga/desliga
- 1 Gerador de vibração
- 1 Suporte com base para gerador de vibração
- 2 Cabos de conexão para gerador de vibração
- 1 Braço de conexão para excitadores de ondas
- 1 Conjunto de 4 excitadores de ondas (ondas planas, ondas circulares, duas/quatro ondas circulares interferentes)
- 1 Conjunto de 7 corpos de imersão (prisma, lente biconvexa, lente bicôncava, três cubóides longos/um cubóide curto)
- 1 Nível de bolha
- 1 Estojo de armazenamento

3. Descrição

O tanque de ondulação é utilizado para demonstrar claramente fenômenos ondulatórios fundamentais, tais como a geração de ondas planas e circulares, refração, reflexão, difração e interferência, visualizados através de ondas de água projetadas num ecrã de observação.

O tanque de ondulação consiste em uma estrutura de alumínio com uma bacia rasa com fundo de vidro. O fundo de vidro inclui uma abertura com uma mangueira de drenagem para esvaziar a água. A bacia é nivelada usando um nível de bolha e quatro pés ajustáveis em altura na parte inferior do tanque de ondulação. Ondas planas ou circulares são geradas na água por meio de oscilações mecânicas localizadas, com sua frequência e amplitude definidas no gerador de frequência.

Uma lâmpada LED com um suporte magnético ilumina o tanque por cima, funcionando como um estroboscópio com frequência síncrona ou assíncrona. A estrutura contém um espelho

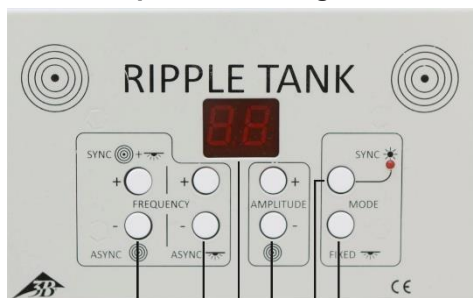
angular que projeta as ondas em uma tela de observação. O estroboscópio é conectado por meio de um soquete de três pinos no lado esquerdo do gerador de frequência.

O gerador de frequência permite o ajuste separado da frequência do estroboscópio e da frequência e amplitude da geração de ondas. A frequência definida é exibida continuamente no gerador de frequência, enquanto a amplitude é mostrada temporariamente quando alterada. A alimentação é fornecida por meio de uma fonte de alimentação plugável.

A geração de ondas é realizada usando um gerador de vibração. Um suporte com uma base é usado para montar e posicionar o gerador de vibração. Dentro do tubo da base há uma mola helicoidal que atua como um amortecedor. Os excitadores de ondas são acoplados mecanicamente por meio de um braço de conexão. A alimentação é fornecida por meio de dois cabos de conexão através do gerador de frequência. Vários excitadores de ondas e corpos de imersão estão disponíveis para a realização de experimentos.

Existem dois recortes laterais no tanque de ondulação para facilitar o manuseio e o transporte.

3.1 Elementos operacionais – gerador de frequência

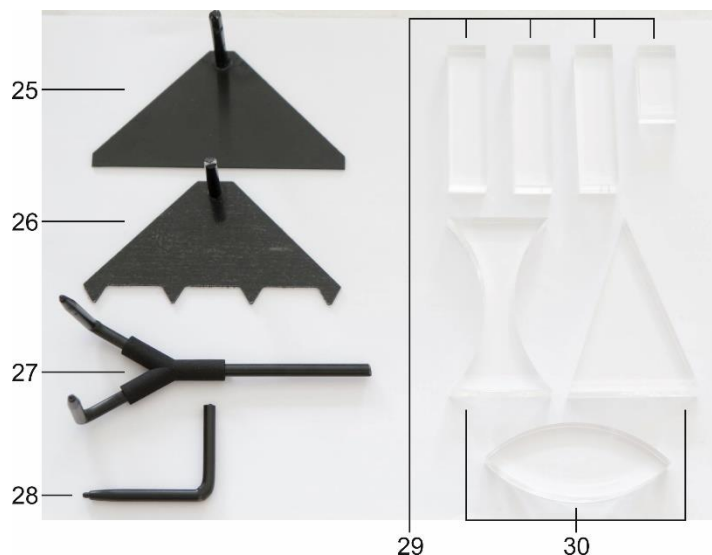


- 16 Botões para ajustar a frequência do vibrador no modo síncrono
 17 Botões para ajustar a frequência do vibrador no modo assíncrono
 18 Visor de frequência
 19 Botões para ajustar a amplitude do vibrador
 20 Interruptor para operação síncrona/assíncrona



- 21 Interruptor liga/desliga para iluminação estroboscópica
 22 Tomada de conexão para estroboscópio
 23 Tomada de conexão para fonte de alimentação plug-in
 24 Tomadas de conexão para gerador de vibração

3.2 Acessórios



- 25 Excitador para ondas planas
 26 Excitador para quatro ondas circulares interferentes
 27 Excitador para duas ondas circulares interferentes
 28 Excitador para ondas circulares

- 29 Corpos de imersão três cubóides longos, um cubóide curto
 30 Corpos de imersão: prisma, lente bicôncava e biconvexa

4. Dados técnicos

Dimensões

Tanque:	aprox. 400 x 300 x 330 mm ³
Bacia de água (superfície útil de vidro):	aprox. 360 x 260 mm ²
Tela de observação:	aprox. 395 x 320 mm ²
Espelho de projeção:	aprox. 420 x 395 mm ²

Lâmpada estroboscópica

Fonte de luz:	LED 3 W
Diâmetro:	34 mm
Frequência máxima:	60 Hz

Gerador de frequência

Dimensões:	aprox. 170 x 110 x 50 mm ³
------------	---------------------------------------

Faixa de frequência: 1 – 60 Hz, ajustável em incrementos de 1 Hz

Ajuste de amplitude: 1 – 30%

Tensão de alimentação: 12 V CC / 1 A de saída 100 – 240 V de entrada

Gerador de vibração

Dimensões: aprox. 110 x 90 x 110 mm³

Corrente: máx. 400 mA

Proteção contra sobre-carga: fusível de 500 mA

Conexão: Tomadas de segurança de 4 mm

5. Operação

Recomendado adicionalmente:

1 Béquer, 800 ml, forma alta	1025694
1 Pisseta 500 ml	1009812
Água	

- Coloque o tanque de ondulação com a tela de observação voltada para a frente sobre uma superfície nivelada e sem vibrações.
- Desaparafuse os quatro pés ajustáveis em altura na parte inferior do tanque ondulado até que você possa deslizar o suporte com base para o gerador de vibração por baixo do tanque ondulado sem tocá-lo.
- Utilize o nível de bolha e os pés ajustáveis para nivelar horizontalmente o tanque de ondulação.
- Prenda a mangueira de drenagem na braçadeira do tanque ondulado de forma que ela fique apontada diretamente para cima.
- Deslize o suporte com base para o gerador de vibração sob o lado direito central do tanque de ondulação, com a extremidade pontiaguda da base voltada para o tanque. Se necessário, gire e prenda o suporte na base de forma que sua extremidade pontiaguda também fique voltada para o tanque.
- Use o nível de bolha e os dois parafusos de nivelamento na base para alinhar o suporte horizontalmente.
- Coloque o gerador de vibração no suporte com o painel de controle voltado para a frente.
- Prenda o braço de conexão para excitadores de ondas na ponta do suporte usando sua base magnética e fixe-o ao pino do gerador de vibração usando o parafuso serrilhado.

- Insira o excitador de ondas desejado no braço e fixe-o com o parafuso serrilhado.
- Conecte o gerador de frequência e o gerador de vibração usando os dois cabos de segurança de 4 mm.
- Monte o estroboscópio na parte externa do tanque de ondulação usando o suporte magnético e conecte-o ao gerador de frequência usando o cabo de três pinos.
- Conecte o gerador de frequência à fonte de alimentação usando o interruptor liga/desliga e o adaptador de alimentação plugável.
- Encha o tanque de ondulação com 5 mm de água.

Os corpos de imersão se estenderão acima da superfície da água.

- Ajuste a profundidade de imersão do excitador de ondas definindo a altura do suporte de modo que a borda inferior do excitador de ondas toque levemente a superfície da água.
- Ligue o gerador de frequência.

Na inicialização, o sistema é pré-configurado para operação síncrona com uma frequência de 30 Hz e uma amplitude de 10%. Com frequências síncronas do gerador de ondas e do estroboscópio, padrões de ondas estacionárias podem ser visualizados; com configurações assíncronas, ondas viajantes aparecem.

- Ajuste a altura e a posição do estroboscópio de modo que o tanque de ondulação fique totalmente iluminado.
- Realize o experimento. Ajuste a profundidade da água, a posição do excitador de ondas, a frequência e a amplitude conforme necessário para otimizar a visualização dos fenômenos observados.
- Após concluir o experimento, esvazie o tanque de ondulação em um copo usando a mangueira de drenagem.
- Seque cuidadosamente o dispositivo para evitar o acúmulo de calcário.

6. Exemplos de experiências

6.1 Geração de ondas

- Certifique-se de que o tanque de ondulação esteja cheio com 5 mm de água.
- Insira os excitadores de ondas apropriados, um após o outro, no braço até que estejam totalmente encaixados, fixe-os com o parafuso serrilhado e gere ondas planas, ondas circulares ou ondas circulares interferentes, conforme necessário (Fig. 1a – d). Ajuste a profundidade de imersão de cada excitador de ondas, definindo a altura do suporte de forma que a borda inferior do excitador de ondas toque levemente a superfície da água.

6.2 Refração

- Certifique-se de que o tanque de ondulação esteja cheio com 5 mm de água.
- Insira o excitador de ondas planas no braço até que esteja totalmente encaixado e fixe-o com o parafuso serrilhado.
- Coloque a lente biconvexa, a lente bicôncava ou o prisma no centro do tanque de ondulação, alguns centímetros à frente do excitador de ondas.
- Proteja as bordas frontais da lente bicôncava usando dois cubóides longos colocados na vertical (Fig. 2b) para minimizar efeitos indesejados nas bordas, como difração e fenômenos de interferência.
- Gire o prisma de modo que seu lado longo, que fica voltado para longe do excitador de ondas, fique paralelo ao excitador de ondas (Fig. 2c).

O lado longo voltado para o excitador de ondas deve então formar um ângulo de aproximadamente 40° com ele, correspondendo ao ângulo do vértice do prisma.

- Adicione água para que o corpo de imersão fique completamente coberto.
- Ajuste a profundidade de imersão do excitador de ondas definindo a altura do suporte de modo que a borda inferior do excitador de ondas toque levemente a superfície da água.

Para observar a refração, o corpo de imersão deve estar apenas coberto com água.

- Ligue o gerador de frequência e observe o visor na tela de observação. Use, por exemplo, um borrifador para remover a água do tanque de ondulação até que a refração se torne visível atrás do corpo de imersão. Ajuste a profundidade de imersão do excitador de ondas e, se necessário, a frequência e a amplitude para otimizar a exibição.

- Repita o experimento com os outros corpos de imersão.

Atrás da lente biconvexa, formam-se ondas circulares convergentes, focando-se num ponto (Fig. 2a). Atrás da lente bicôncava, as ondas circulares divergentes parecem ter origem num ponto focal virtual à frente da lente (Fig. 2b). O prisma desvia as ondas planas (Fig. 2c).

Acima dos corpos de imersão, a profundidade da água é significativamente menor do que na área circundante. Nessas regiões rasas, a velocidade das ondas diminui, resultando em um comprimento de onda mais curto. Consequentemente, à medida que as ondas transitam de águas mais profundas para águas mais rasas, elas se refratam, semelhante às ondas de luz que passam de um meio opticamente menos denso para um meio opticamente mais denso.

6.3 Reflexão

- Certifique-se de que o tanque de ondulação esteja cheio com 5 mm de água.
- Insira o excitador de ondas planas no braço até que esteja totalmente encaixado e fixe-o com o parafuso serrilhado. Ajuste a profundidade de imersão definindo a altura do suporte de modo que a borda inferior do excitador de ondas toque levemente a superfície da água.
- Coloque a lente biconvexa ou a lente bicôncava no tanque de ondulação e observe o padrão de reflexão.

Quando as ondas planas refletem em obstáculos curvos, a lente biconvexa age como um espelho convexo (Fig. 3a), enquanto a lente bicôncava se comporta como um espelho côncavo (Fig. 3b).

- Coloque os três cubóides longos em um ângulo de 45° na frente do excitador de ondas para formar um obstáculo reto e contínuo.

Quando as ondas planas refletem em um obstáculo reto, ele se comporta como um espelho plano. As ondas refletidas permanecem planas e o comprimento de onda não muda. A lei da reflexão se aplica: ângulo de incidência = ângulo de reflexão (Fig. 3c).

- Repita o experimento usando o excitador para ondas circulares. Aproxime o obstáculo reto do gerador de ondas para este experimento.

Quando ondas circulares refletem em um obstáculo reto, ele age como um espelho plano. As ondas refletidas permanecem circulares, com sua origem aparecendo em um ponto virtual atrás do obstáculo reto, simétrico ao ponto de excitação (Fig. 3d).

6.4 Difração

- Certifique-se de que o tanque de ondulação esteja cheio com 5 mm de água.
- Insira o excitador para ondas planas no braço até que esteja totalmente encaixado e prenda-o com o parafuso serrilhado. Ajuste a profundidade de imersão definindo a altura do suporte de modo que a borda inferior do excitador de ondas toque levemente a superfície da água.
- Usando dois cubóides longos, crie sequencialmente uma única fenda com três larguras diferentes: 1) significativamente mais larga que o comprimento de onda, 2) ligeiramente mais larga que o comprimento de onda e 3) menor que o comprimento de onda.

No primeiro caso, as ondas planas passam pela fenda praticamente inalteradas. Ondas circulares com amplitude mais fraca se espalham pela região sombreada a partir das bordas (Fig. 4a). No segundo caso, as ondas circulares originárias das bordas da fenda interferem umas com as outras. Isso produz máximos e mínimos de interferência dispostos ao longo de hipérboles, com as bordas da fenda atuando como fontes de excitação de ondas (Fig. 4b). No terceiro caso, ondas circulares se formam e a fenda se comporta como uma fonte pontual (Fig. 4c).

- Coloque um cuboide longo no tanque de ondulação como um obstáculo.

As bordas do paralelepípedo atuam como fontes de ondas circulares que também se espalham pela região sombreada e interferem atrás do paralelepípedo (Fig. 4d).

6.5 Interferência

- Certifique-se de que o tanque de ondulação esteja cheio com 5 mm de água.
- Insira os excitadores para duas e quatro ondas circulares interferentes no braço, um após o outro, e fixe-os com o parafuso serrilhado. Ajuste a profundidade de imersão dos excitadores de ondas, definindo a altura do suporte de forma que as bordas inferiores dos excitadores toquem levemente a superfície da água.
- Observe os padrões de interferência.

Os máximos e mínimos de interferência estão localizados ao longo de hipérboles, com pontos focais nas posições de excitação das ondas (Fig. 1c, d).

- Insira o excitador para ondas planas no braço até que esteja totalmente encaixado e fixe-o com o parafuso serrilhado. Ajuste a profundidade de imersão definindo a altura do suporte de modo que a borda inferior do

excitador de ondas toque levemente a superfície da água.

- Use dois cubóides longos e o cubóide curto para criar uma fenda dupla.
- Observe os padrões de interferência.

Os padrões de interferência atrás da fenda dupla se assemelham aos produzidos pelo excitador para duas ondas circulares interferentes. De acordo com o princípio de Huygens, frentes de onda circulares com frequência e amplitude idênticas são geradas simultaneamente em ambas as fendas (Fig. 5).

6.6 Determinação do comprimento de onda

Para determinar o comprimento de onda, o fator de ampliação b deve ser considerado.

O fator de ampliação b pode ser calculado, por exemplo, colocando a lente bicôncava no tanque de ondulação e comparando seu tamanho real A com o tamanho de sua imagem A' na tela de observação:

$$b = A'/A$$

O comprimento de onda real λ é então determinado a partir do comprimento de onda λ' medido na tela de observação:

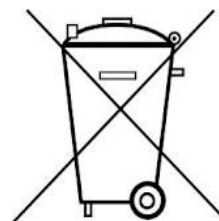
$$\lambda = \lambda'/b$$

7. Armazenamento e manutenção

- Armazene o tanque de ondulação em um local livre de poeira.
- Seque bem o tanque ondulado após o uso para evitar o aparecimento de manchas de água e depósitos de calcário.

8. Descarte

- A embalagem deve ser descartada em pontos de reciclagem locais.
- Caso precise descartar o equipamento, nunca o jogue no lixo doméstico comum. Aplicam-se as regulamentações locais para o descarte de equipamentos elétricos.



Geração de ondas

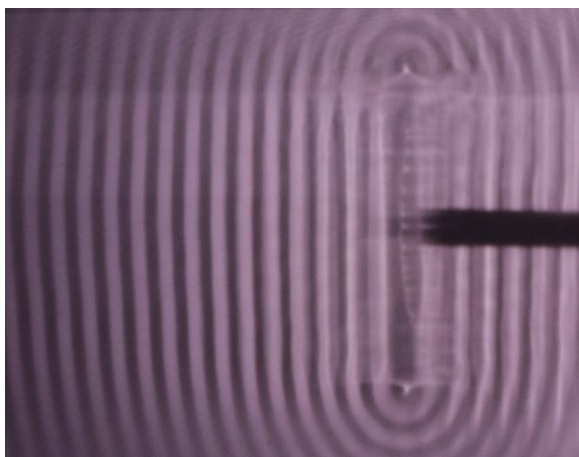


Fig. 1a: Geração de ondas planas

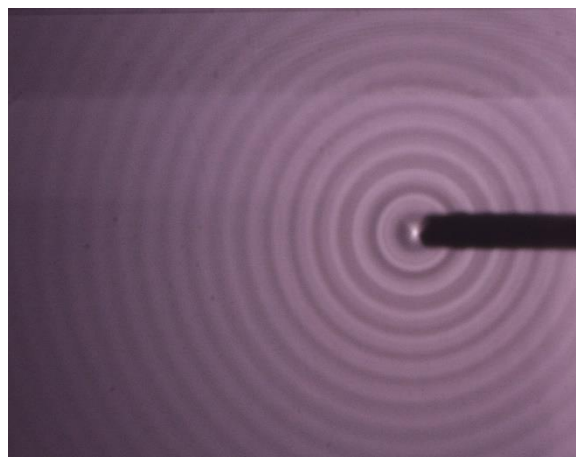


Fig. 1b: Geração de ondas circulares

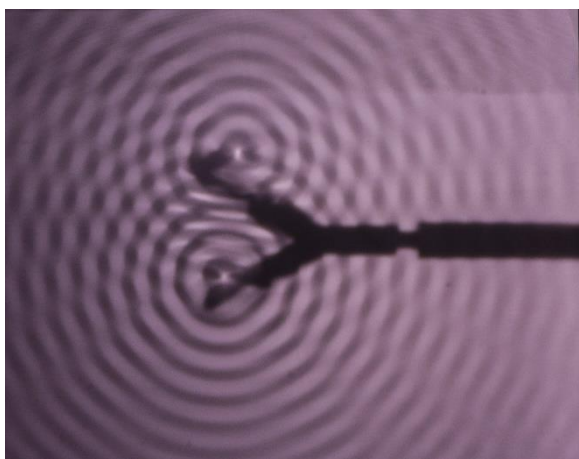


Fig. 1c: Geração de duas ondas circulares interferentes

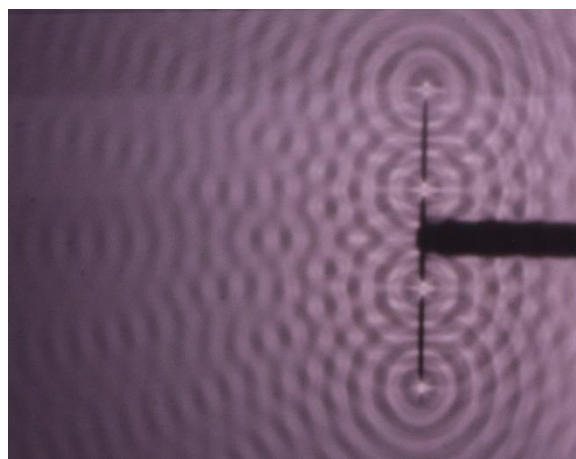


Fig. 1d: Geração de quatro ondas circulares interferentes

Refração

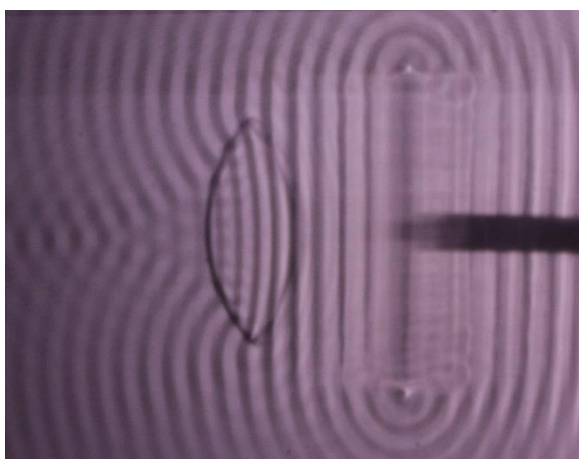


Fig. 2a: Refração de ondas planas em uma lente biconvexa

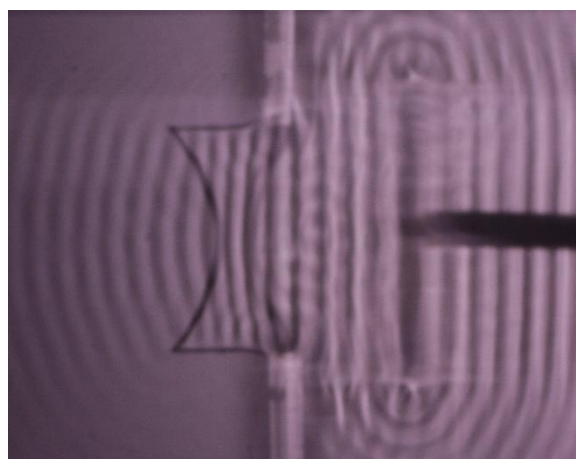


Fig. 2b: Refração de ondas planas em uma lente bicôncava. As bordas frontais da lente são protegidas por dois cubóides longos colocados na vertical para minimizar efeitos indesejados nas bordas, como difração e fenômenos de interferência

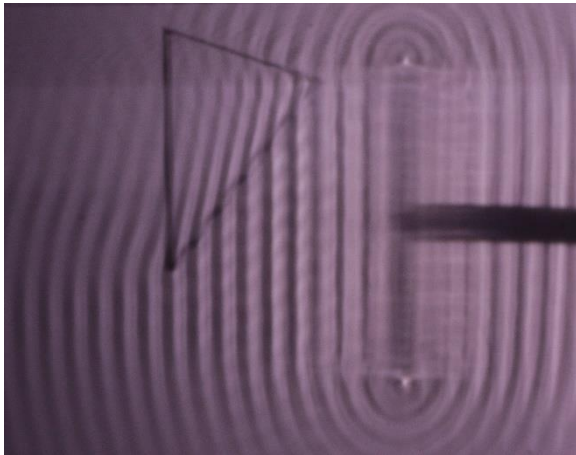


Fig. 2c: Refração de ondas planas em um prisma

Reflexão

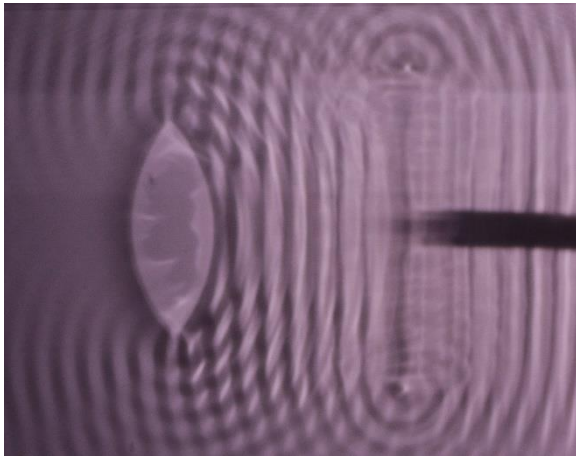


Fig. 3a: Reflexão de ondas planas em uma lente biconvexa

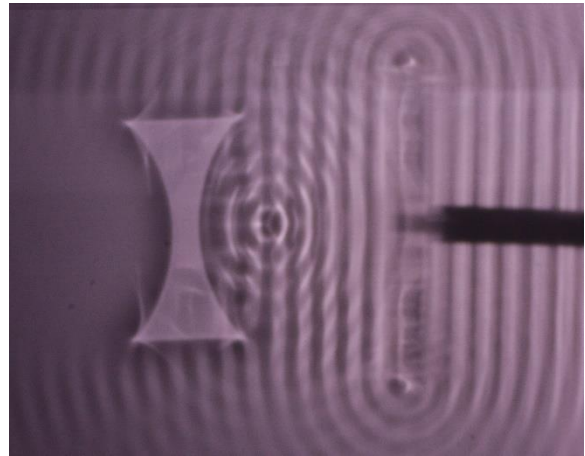


Fig. 3b: Reflexão de ondas planas em uma lente bicôncava

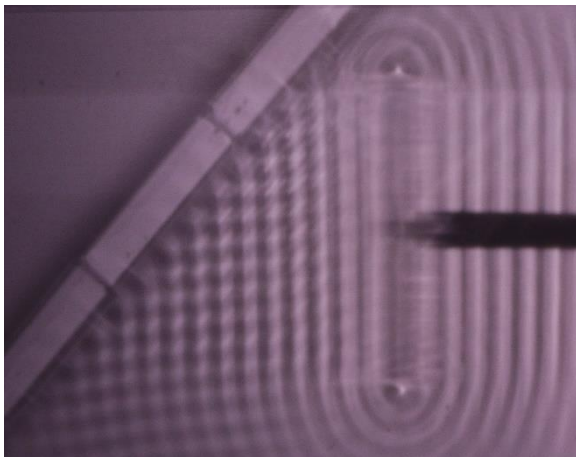


Fig. 3c: Reflexão de ondas planas em um obstáculo reto

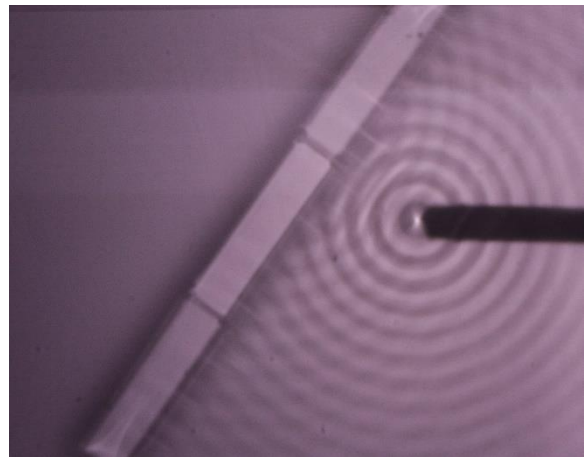


Fig. 3d: Reflexão de ondas circulares em um obstáculo reto

Difração

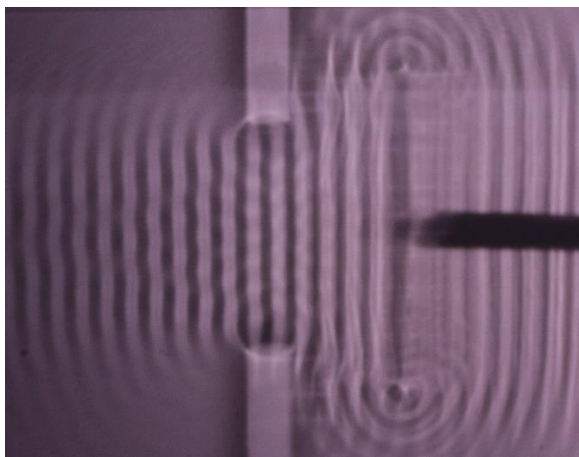


Fig. 4a: Difração de ondas planas em uma fenda com largura significativamente maior que o comprimento de onda

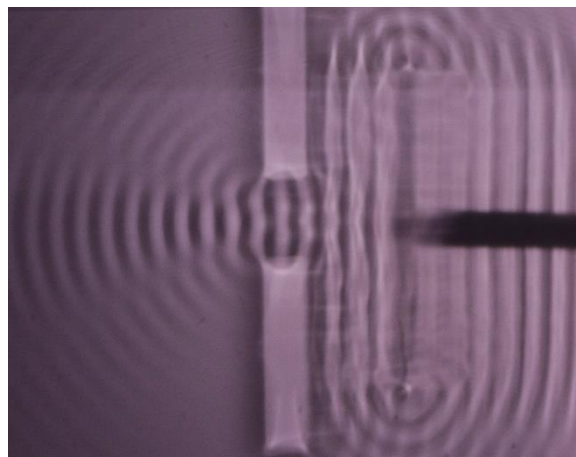


Fig. 4b: Difração de ondas planas em uma fenda com largura ligeiramente maior que o comprimento de onda

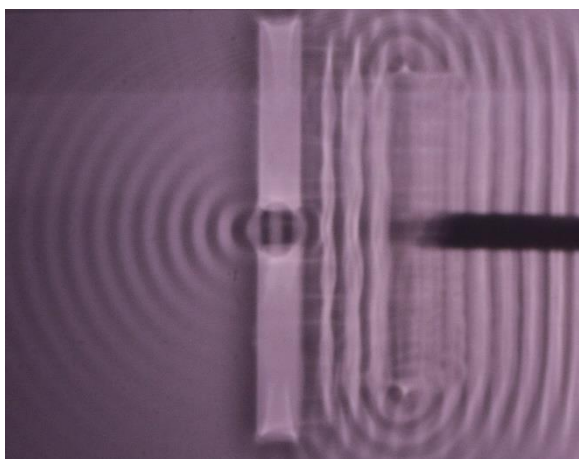


Fig. 4c: Difração de ondas planas em uma fenda com largura menor que o comprimento de onda

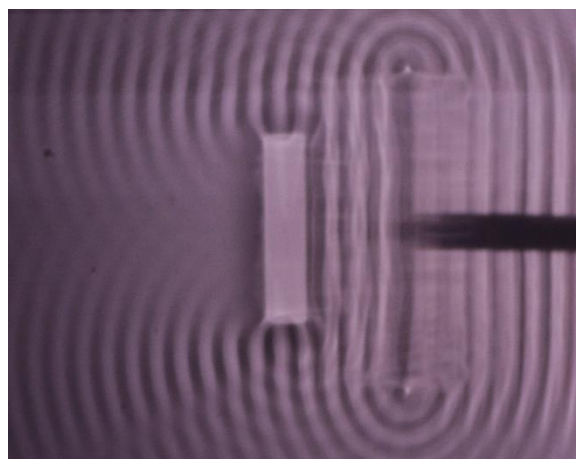


Fig. 4d: Difração de ondas planas nas bordas de um paralelepípedo

Interferência

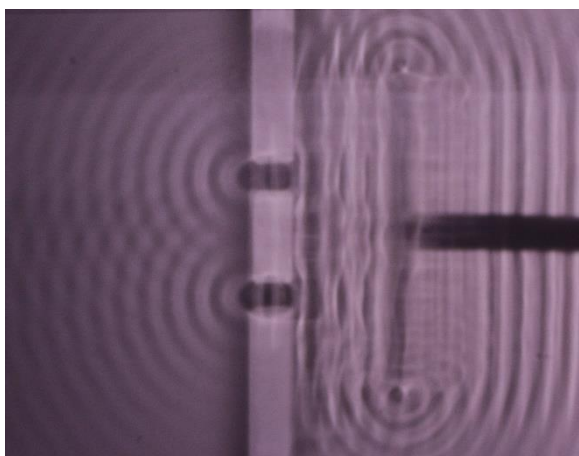


Fig. 5: Interferência na fenda dupla