

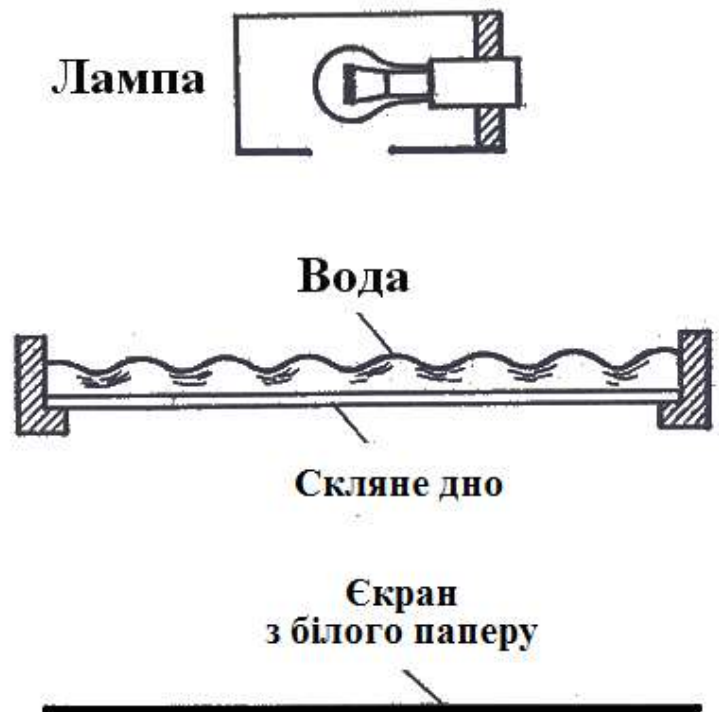
Лабораторна робота № 4. 4

Вивчення хвильових явищ на поверхні води

Мета роботи: Експериментальне вивчення хвильових процесів, що виникають на поверхні води при її збуренні віброуючими тілами. Визначення довжини і швидкості біжучої хвилі.

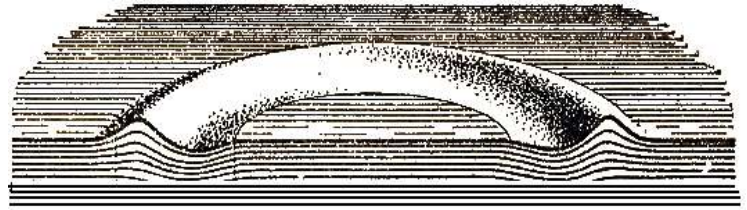
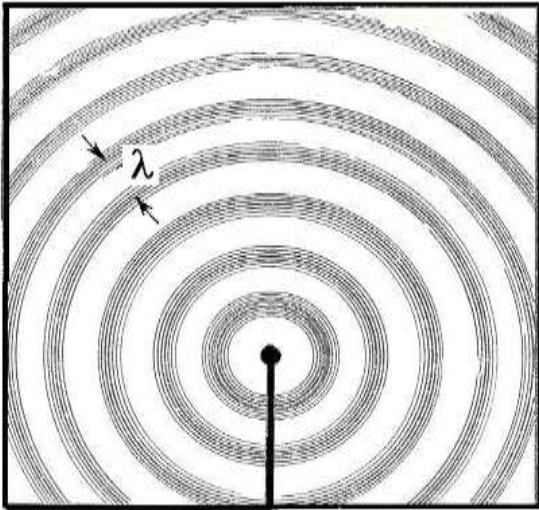
Опис досліду і коротка теорія.

Наллємо воду в плоску ванночку (кювету) з прозорим скляним дном.



Торкнемося паличкою поверхні води. Ми побачимо ряд кіл, що розходяться, як з центру, з точки дотику палички до води. Це кругові поверхневі хвилі - поширення на поверхні води збурення від палички.

Можна змусити металевий стерженек здійснювати вертикальні гармонічні коливання за допомогою електромотора і періодично торкатися поверхні води. Кожному торканню стерженька відповідає поява нового кола. Кожне коло поступово розширюється, відстань між колами залишається постійною.



Будемо освітлювати ці кругові хвилі лампою, розміщеною зверху над кюветою. Світло, проходячи товщу води, потрапляє на екран, розташований знизу під кюветою. На екрані виникає тінюва рухома картина хвиль.

Нехай в деякому місці поверхні в певний момент часу проходить *гребінь* (або горб) кругової хвилі.

Тут товщина шару води більше і гребінь діє як збиральна циліндрична лінза. Така лінза фокусує світло від лампи, тому гребені відображаються на екрані у вигляді яскравих смуг. *Западини* діють подібно розсіювальним лінзам, розсіюють світло і на екрані здаються темними. (В сонячний день на піщаному дні річки, на дрібному місці видно танцюючі тіні аналогічного походження).

Коли гребінь хвилі пройде деяке місце поверхні води, на його місце прийде западина, а потім знову гребінь хвилі і т.д.

Розглянемо тепер *два точкових джерела*, що збуджують кругові хвилі. Для цього закріпимо на наконечнику двигуна насадку з двома стерженьками.

Через кожен точку поверхні води проходять хвилі від двох джерел. У будь-якій точці буде відбуватися додавання коливань, принесених кожною хвилею.

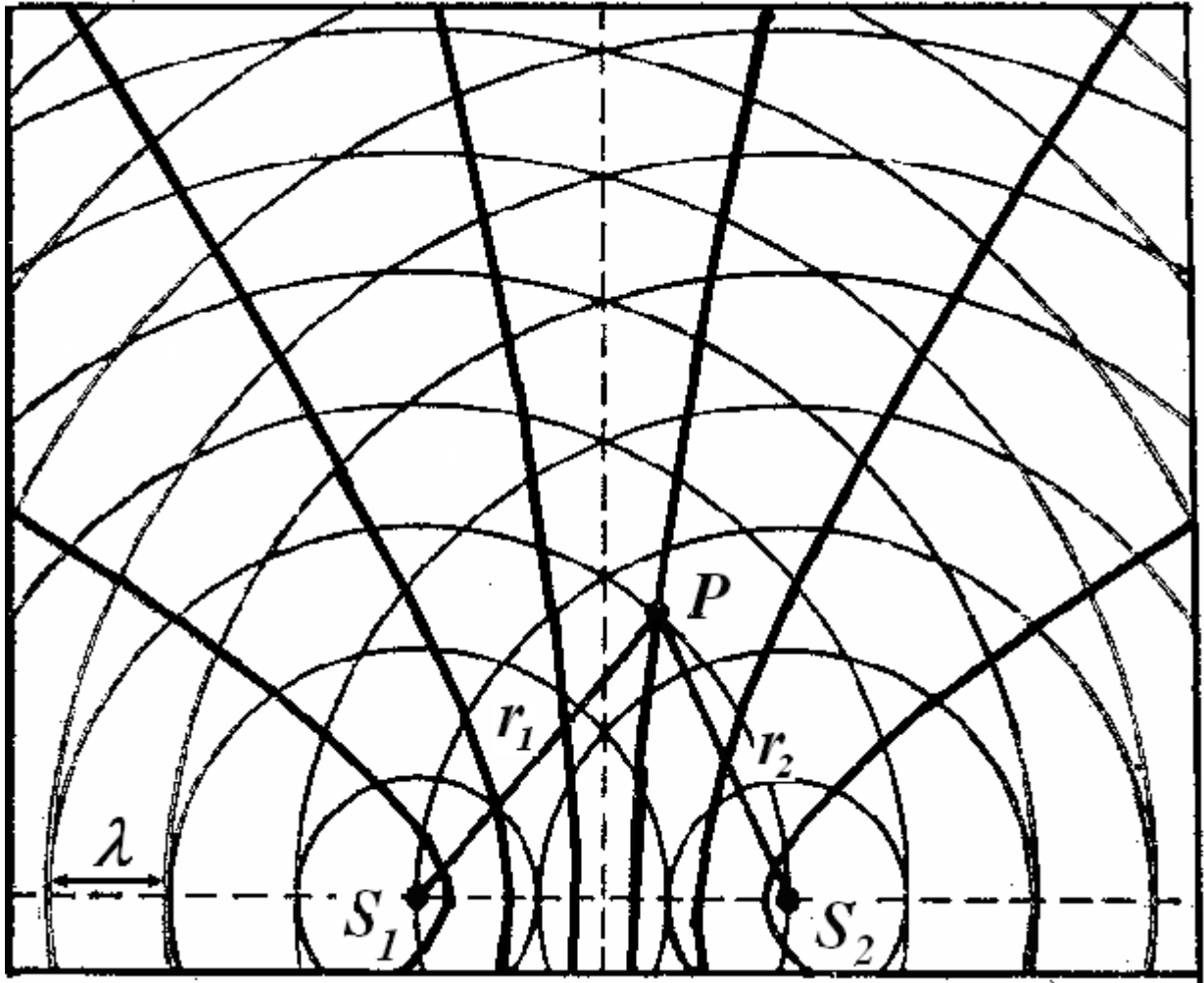
Інтерференцією хвиль називається накладання двох (або декількох) хвиль, за якого в різних точках простору виходить посилення або ослаблення амплітуди результуючої хвилі.

Стійку картину інтерференції можна отримати при складанні хвиль від *когерентних* (узгоджених) джерел, зокрема, якщо коливання в джерелах відбуваються з однаковою частотою і в однаковій фазі.

Обидва стерженьки в даному досліді збуджують хвильові імпульси з однаковою частотою. Крім того, вони занурюються в воду одночасно і, отже, породжують гребені хвиль теж одночасно. У таких випадках говорять, що джерела перебувають в одній фазі (є синфазними).

Хвилі, що породжуються такими джерелами, можуть зображуватися двома сім'ями концентричних кіл з центрами S_1 і S_2 (рис. 1).

Кожна окружність зображує гребінь хвилі, що розходить від свого джерела. Оскільки джерела посиляють періодичні хвилі, гребені всюди розташовані на однаковій відстані, що дорівнює довжині хвилі λ . Інтервали між гребенями однакові в обох сім'ях, так як обидва джерела викличу-дають хвилі однакової довжини. Радіуси відповідних гребенів в обох сім'ях є рівними, оскільки як збудники коливаються з однаковою фазою.

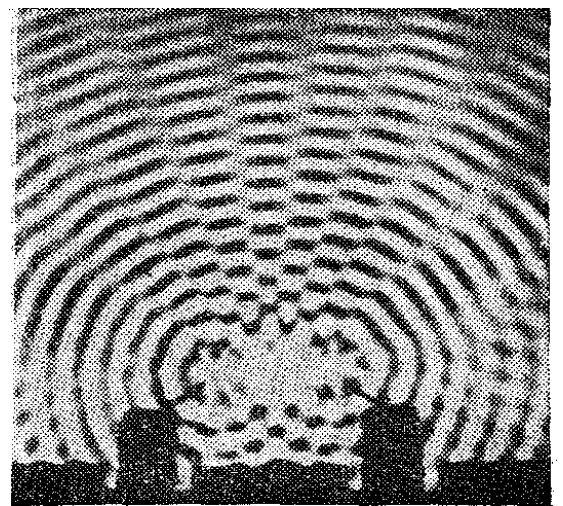


Що відбувається, коли хвилі від двох джерел перекриваються?

Там, де перетинаються два гребеня, повинен утворитися «подвоєний гребінь». На екрані хвильової кювети подібні «подвоєні гребені» повинні утворювати яскраві ділянки.

Там, де гребінь від одного джерела перетинає западину від іншого, вода залишається практично незбуреною і на екрані виходить сіре зображення.

Нарешті, там, де перетинаються дві западини, на екрані утворюються найбільш темні місця.



Мал. 2. Розрахунок картини.

Рис.3 Фото картини.

На сірих ділянках гребені весь час розташовуються над западинами і поверхня води тут є гладкою, не хвилястою. Ці лінії незбуреної води називають *вузловими лініями*. На рис. 1 вузлові лінії зображені жирними суцільними лініями.

На рис. 2 показана картина, яку можна отримати з рис.1 на основі описаних побудов. Фотознімок хвиль, отриманих від двох точкових джерел, доводить правильність наших міркувань (рис. 3).

Як переміщуються лінії на інтерференційній картині?

По всій кюветі рух «подвоєних гребенів» і «подвоєних западин» походить від місця розташування джерел до периферії. Близько джерел виникають нові «подвоєні гребені» і «подвоєні западини».

Картину біжучих хвиль можна зробити **застиглої, нерухомою**. Для цього користуються імпульсною лампою. Так називається лампа, яка спалахує на короткий проміжок часу.

Нехай спалахи лампи слідуєть через проміжок часу, за який кожен гребінь переміститься саме в те положення, яке займав попередній гребінь в момент попередньої спалаху, тобто точно через період хвилі.

У такому випадку при кожному спалаху ми бачимо одну і ту ж картину - як би нерухому (*застиглу*) хвильову картину.

Такий метод спостереження рухомих предметів називається *стробоскопічним*. Важливо, щоб частота спалахів світлового потоку точно дорівнювала частоті коливань вібратора, що порушує хвилі. Тільки тоді хвилі будуть здаватися застиглими. В розглянутій лабораторній установці це досягається автоматично.

Картина вузлових ліній є симетричною, тобто має однаковий вид праворуч і ліворуч від центральної переривчастої лінії. Будемо нумерувати вузлові лінії: першу праворуч від центральної (переривчастої) назвемо першою вузловою лінією, наступну - другою вузловою лінією і т.д.

Позначимо буквою P довільно обрану точку на *першій вузловій лінії* і з'єднаємо її відрізками прямих $PS_1 (r_1)$ і $PS_2 (r_2)$ з джерелами. Кожний з цих відрізків є довжиною шляху від джерела до даної точки. Зрахувавши число гребенів на довжині кожного з двох розглянутих шляхів на рис. 1, ми переконаємося, що

$$\begin{aligned} r_1 &= 3 \lambda, \\ r_2 &= (5/2) \lambda. \end{aligned}$$

Так що різниця ходу (тобто різниця довжин шляхів) дорівнює

$$\Delta = r_1 - r_2 = \lambda/2.$$

Вибравши будь-яку іншу точку на першій вузловій лінії, ми отримаємо таку же різниця ходу, тобто $\lambda / 2$.

Можна безпосередньо з рис.1 переконатися в тому, що якщо P є довільною точкою *другої вузлової лінії*, то різниця ходу $\Delta = 3 (\lambda / 2)$.

Для n -ої вузлової лінії різниця ходу хвиль складе:

$$\Delta = (2n - 1) (\lambda/2) \tag{1}$$

або непарне число півхвиль.

Точки вузлової лінії відповідають місцям, де хвилі гасять одна одну, тобто спостерігається мінімум інтенсивності хвиль. Отже, ми отримали так звану умову мінімуму при інтерференції хвиль.

Якщо різниця ходу $\Delta = r_1 - r_2$ дорівнює непарному числу півхвиль, хвилі при додаванні «гасять» одна одну.

Це співвідношення має наочний сенс - хвилі знищуються, якщо накладається горб на западину.

Ідея роботи: вимірюючи безпосередньо по картині вузлових ліній різницю ходів хвиль, визначити довжину хвилі λ .

Порядок виконання роботи

1. Увімкніть установку за допомогою вимикача «МЕРЕЖА», який розміщений на задній панелі вимірювального пристрою. При цьому включиться освітлювальна лампа діаскопу. На дисплеї буде відображатися поточний режим роботи установки: «STOP» і нульові показники частоти збудження. Прогрійте установку протягом 2 - 3 хвилин.

2. Покладіть на підставу штатива аркуш білого паперу, і закріпіть його за допомогою затискачів.

3. **Увімкніть електродвигун** установки, натиснувши кнопку «ПУСК - СТОП» на передній панелі вимірювального пристрою.

4. Кнопками «ЧАСТОТА +» і «ЧАСТОТА -» встановіть на вимірювальному пристрої частоту збудження хвилі за вказівкою викладача (близько $f = 50$ Гц.) Одне повторне натискання на кнопки «ЧАСТОТА +» і «ЧАСТОТА -» збільшує або зменшує частоту обертання електродвигуна на 1 Гц.

5. На аркуші паперу буде спостерігатися картина хвильового поля, яку необхідно замалювати. **Слід зазначити положення джерел хвиль і лінії спокійній поверхні води (вузлові лінії).** Намагайтеся проводити вузлову лінію посередині хвильового поля спокійної води.

6. Вимкніть електродвигун, натиснувши кнопку «ПУСК - СТОП» на передній панелі. Вимкніть установку за допомогою вимикача «МЕРЕЖА».

7. Виконайте необхідні розрахунки.

Завдання 1. Визначення довжини хвилі по заданому малюнку.

На наведеному в кінці інструкції малюнку відзначте місця перетину:

- горбів з горбами (подвійних горбів);
- западин зі западинами (подвійних западин);
- горбів зі западинами (спокійної води).

Позначення зробіть різними способами - наприклад, подвійних горбів - точками, спокійної води - хрестиками, різними кольорами і т.п.

Побудуйте на цьому малюнку вузлові лінії.

Виберіть довільну точку P на будь-якій вузловій лінії і визначите різницю ходу Δ хвиль за допомогою міліметрової лінійки. Знаючи номер вузлової лінії і різницю ходу хвиль, визначте за формулою (1) довжину хвилі λ . Порівняйте отриманий результат зі значенням λ , наведеному на цьому рисунку.

Завдання 2. Визначення довжини хвилі за даними досліду.

Виконайте ті ж розрахунки на рисунку, отриманому на досліді. Точку P виберіть довільно на різних вузлових лініях не менше 5 разів. Визначте середнє значення довжини хвилі.

Завдання 3. Визначення швидкості хвилі.

За формулою, що зв'язує довжину хвилі λ , частоту ν і швидкість хвилі C ,

$$C = \lambda\nu \quad (2)$$

визначте швидкість поширення поверхневих хвиль на воді.

Контрольні питання.

1. Що називається інтерференцією хвиль? Які хвилі дають стійку картину інтерференції? Як це досягається в даному досліді?
2. Сформулюйте умову мінімуму амплітуди при накладенні хвиль. У яких точках хвильової картини це спостерігається?
3. Як зробити хвильову картину інтерференції застиглою?
4. Як за картиною вузлових ліній визначити довжину хвилі?

Література.

1. І. М. Кучерук та ін. Загальний курс фізики. Т.1. К. одна тисячі дев'ятсот дев'яносто дев'ять.
2. Т. І. Трофимова. Курс фізики. М., «Академія», 2005.

Склав Гаркуша І.П.