

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины  
Государственное высшее учебное заведение  
«Национальный горный университет»

**Методические указания**  
к лабораторной работе № 4.4

## **ИЗУЧЕНИЕ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СТРУНЫ**

г. Днепропетровск  
2011

Методические указания к лабораторной работе № 4.4 «Изучение волновых явлений на поверхности воды» по разделу «*Колебания и волны*» курса физики для студентов всех специальностей.

Сост.: И.П. Гаркуша

Днепропетровск: НГУ, 2011 г.

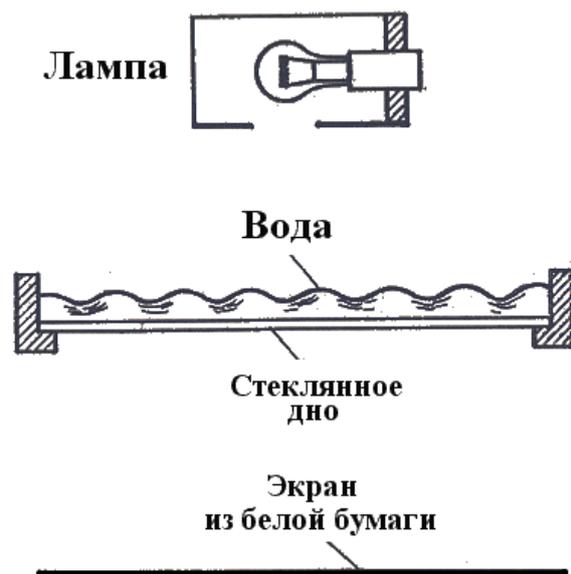
## Лабораторная работа № 4.4

### Изучение волновых явлений на поверхности воды

**Цель работы:** Экспериментальное изучение волновых процессов, возникающих на поверхности воды при ее возмущении вибрирующими телами. Определение длины и скорости бегущей волны.

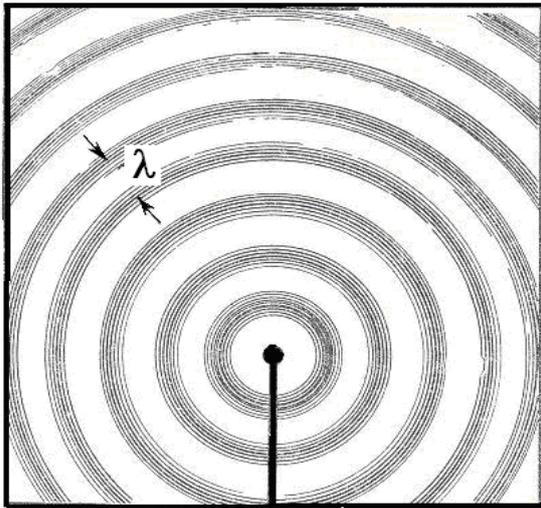
#### Описание опыта и краткая теория.

Нальем воду в плоскую ванночку (кювету) с прозрачным стеклянным дном.



Коснемся палочкой поверхности воды. Мы увидим ряд кругов, расходящихся, как из центра, из точки прикосновения палочки к воде. Это круговые поверхностные волны – распространение на поверхности воды возмущения от палочки.

Можно заставить металлический стерженек совершать вертикальные гармонические колебания с помощью электромотора и периодически касаться поверхности воды. Каждому касанию стерженька соответствует появление нового круга. Каждый круг равномерно расширяется, расстояние между кругами остается постоянным.



Будем освещать эти круговые волны лампой, расположенной сверху над кюветой. Свет, проходя толщу воды, попадает на экран, расположенный снизу под кюветой. На экране возникает тeneвая движущаяся картина волн.

Пусть в некотором месте поверхности в некоторый момент времени проходит *гребень* (или горб) круговой волны.

Здесь толщина слоя воды больше и гребень действует как собирающая цилиндрическая линза. Такая линза фокусирует свет от лампы, поэтому гребни отображаются на экране в виде ярких полос. *Впадины* действуют подобно рассеивающим линзам, рассеивают свет и на экране кажутся темными.

(В солнечный день на песчаном дне реки, на мелком месте видны пляшущие тени аналогичного происхождения).

Когда гребень волны пройдет некоторое место поверхности воды, на его место придет впадина, а затем снова гребень волны и т.д.

Рассмотрим теперь **два точечных источника**, возбуждающих круговые волны. Для этого закрепим на кончике двигателя насадку с двумя стерженьками.

Через каждую точку поверхности воды проходят волны от двух источников. В любой точке будет происходить сложение колебаний, приносимых каждой волной.

**Интерференцией волн** называется наложение двух (или нескольких) волн, при котором в разных точках пространства получается усиление или ослабление амплитуды результирующей волны.

Устойчивую картину интерференции можно получить при сложении волн от *когерентных* (согласованных) источников, в частности, если колебания в источниках происходят с одинаковой частотой и в одинаковой фазе.

Оба стерженька в данном опыте возбуждают волновые импульсы с одинаковой частотой. Кроме того, они погружаются в воду одновременно и, следовательно, порождают гребни волн тоже одновременно. В таких случаях говорят, что источники находятся в одной фазе (синфазны).

Волны, порождаемые такими источниками, могут изображаться двумя семействами концентрических окружностей с центрами  $S_1$  и  $S_2$  (рис. 1).

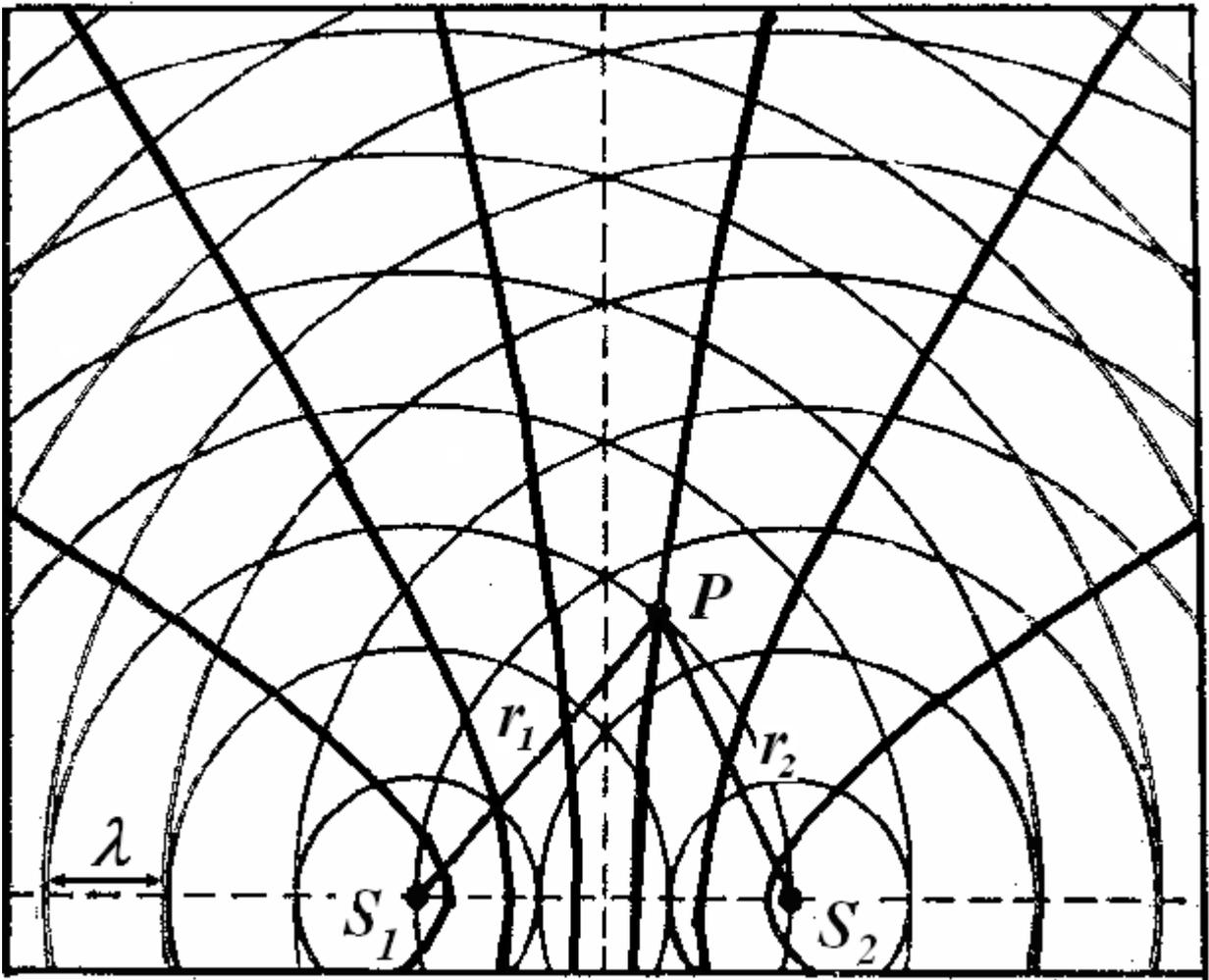


Рис. 1

Каждая окружность изображает гребень волны, расходящейся от своего источника. Поскольку источники посылают периодические волны, гребни везде расположены на одинаковом расстоянии, равном длине волны  $\lambda$ . Интервалы между гребнями одинаковы в обоих семействах, так как оба источника возбуждают волны одинаковой длины. Радиусы соответственных гребней обоих семейств равны, так как возбудители колеблются с одинаковой фазой.

Что происходит, когда волны от двух источников перекрываются?

Там, где пересекаются два гребня, должен образоваться «удвоенный гребень». На экране волновой кюветы подобные «удвоенные гребни» должны образовывать яркие участки.

Там, где гребень от одного источника пересекает впадину от другого, вода остается практически невозмущенной и на экране получается серое изображение.

Наконец, там, где пересекаются две впадины, на экране образуются самые темные места.

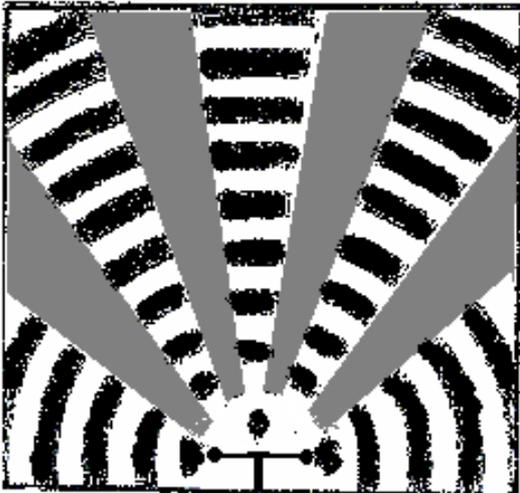


Рис. 2. Расчет картины.

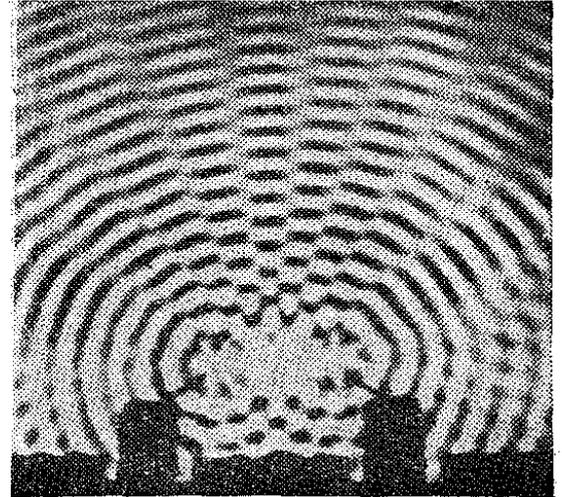


Рис.3 Фото картины.

На серых участках гребни все время располагаются над впадинами и поверхность воды здесь гладкая, не волнистая. Эти линии невозмущенной воды называют узловыми линиями. На рис. 1 узловые линии изображены жирными сплошными линиями.

На рис. 2 показана картина, которую можно получить из рис.1 на основании описанных построений. Фотоснимок волн, полученных от двух точечных источников, доказывает правильность наших рассуждений (рис. 3).

Как перемещаются линии на интерференционной картине?

По всей кювете движение «удвоенных гребней» и «удвоенных впадин» происходит от места расположения источников к периферии. Около источников возникают новые «удвоенные гребни» и «удвоенные впадины».

*Картину* бегущих волн *можно сделать застывшей*, неподвижной. Для этого пользуются импульсной лампой. Так называется лампа, которая вспыхивает на короткий промежуток времени.

Пусть вспышки лампы следуют через промежуток времени, за который каждый гребень переместится как раз в положение, которое занимал предшествующий гребень в момент предыдущей вспышки, т.е. точно через период волны.

В таком случае при каждой вспышке мы видим одну и ту же картину – как бы неподвижную (*остановившуюся, застывшую*) волновую картину.

Такой метод наблюдения движущихся предметов называется *стробоскопическим*. Важно, чтобы частота миганий светового потока точно равнялась частоте колебаний вибратора, возбуждающего волны. Только тогда волны будут казаться застывшими. В рассматриваемой лабораторной установке это достигается автоматически.

Картина узловых линий симметрична, т.е. имеет одинаковый вид справа и слева от центральной прерывистой линии. Будем нумеровать узловые линии: первую справа от центральной (прерывистой) назовем первой узловой линией, следующую – второй узловой линией и т.д.

Обозначим буквой  $P$  произвольно выбранную точку на **первой узловой линии** и соединим ее отрезками прямых  $PS_1 (r_1)$  и  $PS_2 (r_2)$  с источниками. Каждый из этих отрезков является длиной пути от источника до данной точ-

ки. Сосчитав число гребней на длине каждого из двух рассматриваемых путей на рис. 1, мы убедимся, что

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

Так что разность хода (т.е. разность длин путей) равна

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

Выбрав любую другую точку на первой узловой линии, мы получим такую же разность хода, т.е.  $\lambda/2$ .

Можно непосредственно из рис.1 убедиться в том, что если  $P$  является произвольной точкой **второй узловой линии**, то разность хода  $\Delta = 3 (\lambda/2)$ .

Для  $n$ -ой узловой линии разность хода волн составит:

$$\Delta = (2n - 1) (\lambda/2) \quad (1)$$

или нечетное число полуволн.

Точки узловой линии соответствуют местам, где волны гасят друг друга, т.е. наблюдается минимум интенсивности волн. Следовательно, мы получили так называемое **условие минимума** при интерференции волн.

**Если разность хода  $\Delta = r_1 - r_2$  равна нечетному числу полуволн, волны при сложении «гасят» друг друга.**

Это соотношение имеет наглядный смысл – волны уничтожаются, если накладывается горб на впадину.

**Идея работы:** измеряя непосредственно по картине узловых линий разность ходов волн, определить длину волны  $\lambda$ .

### ***Порядок выполнения работы***

1. **Включите установку** с помощью выключателя «СЕТЬ», расположенного на задней панели измерительного устройства. При этом включится осветительная лампа диаскопа. На дисплее будет отображаться текущий режим работы установки: «STOP» и нулевые показатели частоты возбуждения. Прогрейте установку в течение 2 – 3 минут.

2. Положите на основание штатива лист белой бумаги, и закрепите его при помощи зажимов.

3. **Включите электродвигатель** установки, нажав кнопку «ПУСК – СТОП» на передней панели измерительного устройства.

4. Кнопками «ЧАСТОТА + » и «ЧАСТОТА – » **установите** на измерительном устройстве частоту возбуждения волны по указанию преподавателя (около  $f = 50$  Гц.) Одно повторное нажатие на кнопки «ЧАСТОТА + » и «ЧАСТОТА – » увеличивает или уменьшает частоту вращения электродвигателя на 1 Гц.

5. На листе бумаги будет наблюдаться картина волнового поля, которую необходимо **зарисовать**. Следует отметить **положение источников волн и линии спокойной поверхности воды (узловые линии)**. Старайтесь проводить узловую линию посередине волнового поля спокойной воды.

6. Выключите электродвигатель, нажав кнопку «ПУСК – СТОП» на передней панели. Выключите установку с помощью выключателя «СЕТЬ».

7. Прodelайте необходимые расчеты.

**Задание 1. Определение длины волны по заданному рисунку.**

На приведенном в конце инструкции рисунке отметьте места пересечения:

- горбов с горбами (двойных горбов);
- впадин со впадинами (двойных впадин);
- горбов со впадинами (спокойной воды).

Обозначения сделайте разными способами – например, двойных горбов – точками, спокойной воды – крестиками, разными цветами и т.п.

**Постройте на этом рисунке узловые линии.**

Выберите произвольную точку  $P$  на какой-либо узловой линии и определите разность хода  $\Delta$  волн с помощью миллиметровой линейки. Зная номер узловой линии и разность хода волн, определите по формуле (1) длину волны  $\lambda$ . Сравните полученный результат со значением  $\lambda$ , приведенном на этом рисунке.

**Задание 2. Определение длины волны по данным опыта.**

Прodelайте те же расчеты на рисунке, полученном на опыте. Точку  $P$  выберите произвольно на разных узловых линиях не менее 5 раз. Определите среднее значение длины волны.

**Задание 3. Определение скорости волны.**

По формуле, связывающей длину волны  $\lambda$ , частоту  $\nu$  и скорость волны  $C$ ,

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

определите скорость распространения поверхностных волн на воде.

**Контрольные вопросы.**

1. Что называется интерференцией волн? Какие волны дают устойчивую картину интерференции? Как это достигается в данном опыте?
2. Сформулируйте условие минимума амплитуды при наложении волн. В каких точках волновой картины это наблюдается?
3. Как сделать волновую картину интерференции застывшей?
4. Как по картине узловых линий определить длину волны?

**Литература.**

1. І. М. Кучерук та ін. Загальний курс фізики. Т.1. К. 1999.
2. Т. И. Трофимова. Курс физики. М., «Академия», 2005.