

# Интерференция и дифракция волн воды с помощью волновой машины



Физика

Акустика

Волновое движение



Уровень сложности



Кол-во учеников



Время подготовки



Время выполнения

тяжелый

This content can also be found online at:

<http://localhost:1337/c/605dd56f7dbde80003dc630c>



# Общая информация

## Описание



Рис.1: Экспериментальная установка

Понимание интерференции позволяет изучать все области науки и техники, которые исследуют или используют волны. Поскольку свет может проявляться в виде волны, понимание интерференции особенно важно для таких областей, как астрономия, физика элементарных частиц и лазерные технологии.

## Дополнительная информация (1/2)




Предварительные знания, необходимые для этого эксперимента, можно найти в разделе теории.

### Предварительные знания



### Главный принцип

Одновременно генерируется набор круговых волн воды, и наблюдается возникающая интерференция. Увеличивая количество интерференционных круговых волн, можно проверить принцип Гюйгенса. С помощью плоских волн воды исследуются дифракционные явления волн на различных препятствиях (щели, кромки, двойной щели и т. д.). В следующем эксперименте можно продемонстрировать принцип «фазированных антенных решеток». Для этого генерируются две интерференционные круговые волны, и наблюдается результирующая интерференционная картина при изменении фазы одной из круговых волн относительно другой.

## Дополнительная информация (2/2)




### Обучение цель



### Задачи

Целью этого эксперимента - изучить интерференционное поведение волн воды.

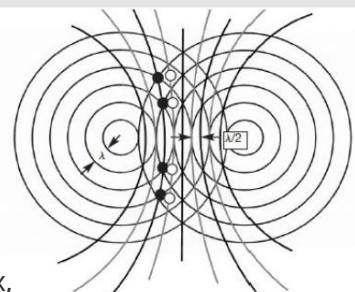
1. С помощью гребня сгенерируйте две круговые волны и наблюдайте за возникающей интерференционной картиной. Увеличьте количество интерференционных круговых волн до десяти, используя все зубцы гребня, чтобы продемонстрировать принцип Гюйгенса.
2. Создайте плоские волны на воде и используйте барьер, чтобы продемонстрировать дифракцию на краю. Затем сформируйте щель и наблюдайте за дифракцией от щели. Повторите этот эксперимент для двойной щели.
3. Используя встроенный генератор волн, а также внешний генератор волн, сгенерируйте две круговые волны и наблюдайте за интерференцией. Чтобы понять принцип «фазированных антенных решеток», измените фазу внешнего генератора волн и наблюдайте за результирующей интерференционной картиной.

## Теория (1/4)

### Стоячие волны

Между генераторами волн образуется картина стоячей волны. Расстояние между яркими и темными полосами вдоль линии соединения между генераторами волн (стоячая волна) составляет половину длины волны волн, видимых вблизи двух центров возбуждения (рис. 2). Формирование стоячей волны можно увидеть на рис.3.

Рис.2: Схематическое изображение видимого наложения волновых полей двух точечных генераторов с длиной волны  $\lambda$ . Места, в которых волны конструктивно пересекаются (закрашенные круги), лежат на черных линиях,



а те, что мешают друг другу (незаполненные круги), лежат на серых линиях. Вместе они образуют узор стоячей волны. Гиперболы конструктивной интерференции проявляются в волновой картине в виде светлых полос, гиперболы деструктивной интерференции - в виде темных полос. Вдоль линии соединения между возбудителями генерируемая стоячая волна имеет длину волны  $\lambda/2$

## Теория (2/4)

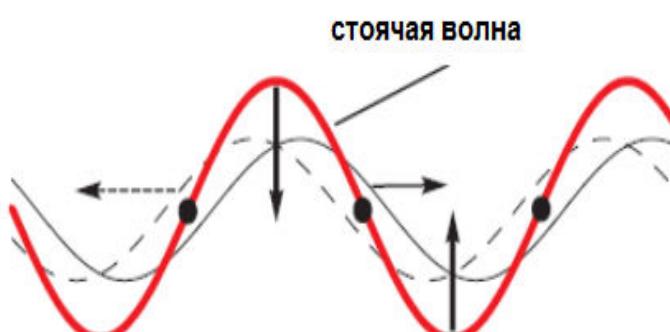


Рис.3: Формирование стоячей волны. Две волны с одинаковой частотой и одинаковой амплитудой распространяются в противоположных направлениях (---- и ——). Всякий раз, когда эти две волны сталкиваются, образуется стоячая волна (жирная красная линия) как суперпозиция двух волн. Узлы - это точки без смещения, где результирующая стоячая волна все время остается нулевой (две движущиеся волны компенсируют друг друга). Точки между двумя узлами называются пучностями. Эти точки являются результатом конструктивного взаимодействия двух движущихся волн.

## Теория (3/4)



В режиме стробоскопического света, когда разность частот  $\Delta f$  между светом стробоскопа и частотой возбудителя позволяет существенно замедлить скорость распространения волн, между генераторами волн наблюдается такая же длина волны, как и во внешней области. Видно периодическое изменение гребней и впадин волн. Это периодическое изменение объясняется на рисунке 3.

Поскольку два генератора волн колеблются в фазе, ожидается конструктивная интерференция (максимальная амплитуда волны) во всех местах, для которых справедливо следующее соотношение разности хода между их расстояниями от двух возбудителей:

$$\Delta l = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots)$$

В местах, где разность хода от центров возбудителя составляет

$$\Delta l = \frac{2m+1}{2}\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \text{ две волны взаимно компенсируются.}$$

## Теория (4/4)



В случае стоячих волн узлы выглядят как линии с постоянной средней яркостью. С другой стороны, положения пучностей, как только возникает гребень волны, выглядят как интенсивные яркие линии. Во время впадины волны интенсивность лишь незначительно ниже, чем в области узлов. Глаз не может различать фазы колебаний из-за своей ограниченной разрешающей способности по времени, а выделять только более светлые пучности от более темных узлов в среднем по времени. Расстояние между соседними узлами или пучностями, которое наблюдается в эксперименте, составляет  $\lambda/2$ . В режиме освещения стробоскопа на снимке стоячих волн можно увидеть, что их длина идентична длине бегущих волн. Если частота стробоскопа ( $\Delta f \neq 0$ ) отрегулирована, колебания для глаза замедляются до такой степени, что периодические изменения от гребней до впадин могут быть распознаны в области антенных узлов стоячих волн.

**Примечание:** Стоячие волны также могут быть вызваны отражением. Наглядная демонстрация может быть получена с помощью одиночного волнового возбудителя, расположенного в центре окружности вогнутого отражателя из комплекта принадлежностей (11260-99) волновой машины. Стоячие волны лучше всего видны возле отражателя.

## Оборудование

Позиция	Материал	Пункт №.	Количество
1	Волновая ванна со светодиодным источником света, в комплекте	11260-88	1
2	Генератор внешних колебаний для волновой машины	11260-10	1



## Подготовка и выполнение работы

### Подготовка и выполнение работы (1/11)

Установите два диппера в крайних положениях гребня, закрепите его на штативном стержне и переместите стержень к центру волнового лотка (рис. 4). Убедитесь, что дипперы одинаково соприкасаются с поверхностью воды. Наблюдайте за результирующим изображением волн на разных частотах (от 15 Гц до 40 Гц) в режиме постоянного освещения. Настройки производятся с помощью клавиатуры устройства (рис. 5). При необходимости отрегулируйте амплитуду возбудителя на каждую частоту, чтобы получить четкие волновые картины. Сравните длину волн около двух дипперов - там, где волны распространяются четко - с расстоянием между линиями в области между дипперами. Чтобы упростить сравнение длин волн, рекомендуется нарисовать на листе бумаги несколько гребней волны области прогрессирующей волны и несколько гребней волны из области между дипперами.

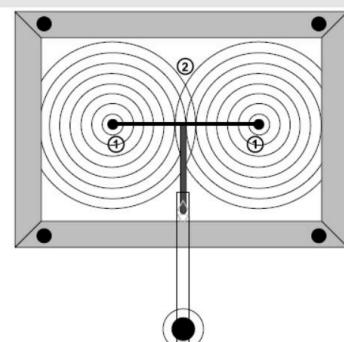


Рис.4: Устройство для интерференции двух круговых волновых фронтов, движущихся в противоположных направлениях. Гребнеобразный волновой возбудитель снабжен двумя дипперами (1) для получения четкой интерференционной картины (2).

## Подготовка и выполнение работы (2/11)

Переключитесь в режим стробоскопического освещения (кнопка «LED») и выберите разность частот между стробоскопическим освещением и частотой возбудителя между  $-0,5$  Гц и  $-1,5$  Гц. Запишите свои наблюдения, после чего вернитесь в режим постоянного освещения.

Прикрепите каждый из двух дипперов к первому зубцу гребня с обеих сторон, если смотреть из центра гребня. Переместите штативный стержень ближе к краю волновой ванны, как показано на рисунке 6.

Выберите частоту возбудителя в диапазоне от 20 Гц до 25 Гц на устройстве пульсации и отрегулируйте амплитуду так, чтобы возникла четкая волновая картина. Измените частоту возбудителя и исследуйте влияние сдвигов частоты на интерференционную картину. Запишите свои наблюдения.

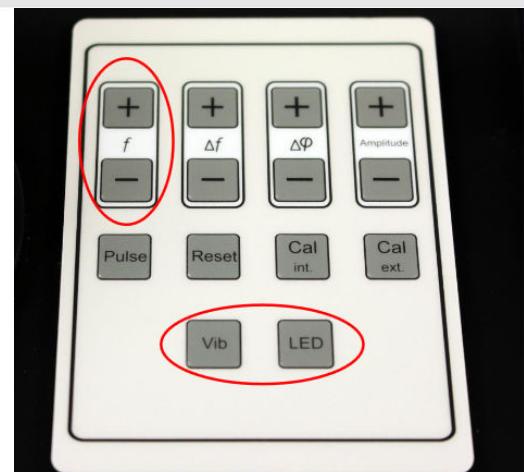


Рис.5: Панель волновой машины.

## Подготовка и выполнение работы (3/11)

Исследуется влияние изменений расстояния между дипперами на интерференционную картину при постоянной частоте (примерно от 20 Гц до 30 Гц). Последовательно переместите каждую рукоять к следующему зубцу во внешнем направлении гребня. Следите за тем, чтобы два диппера всегда находились на одинаковом расстоянии от середины гребня. Запишите свои наблюдения.

Изучите принцип Гюйгенса. Для этого прикрепите каждый из двух дипперов обратно к первому зубцу гребня с каждой стороны, если смотреть из середины гребня (см. выше). Прикрепите третью рукоять ко второму зубу с одной стороны, как показано на рис. 5. Выберите частоту возбуждения от 20 Гц до 25 Гц и амплитуду (для наблюдения четкой волновой картины).

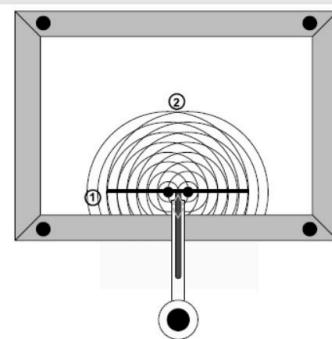


Рис.6: Схема для демонстрации интерференции с двумя дипперами. Две круговые волны, генерируемые гребенчатым возбудителем (1), накладываются друг на друга, образуя характерную интерференционную картину (2).

## Подготовка и выполнение работы (4/11)

Наблюдайте интерференцию с помощью четырех, шести, восьми и десяти дипперов и сравните наблюдаемые интерференционные картины друг с другом. Важно следить за тем, чтобы расстояние между дипперами оставалось постоянным.

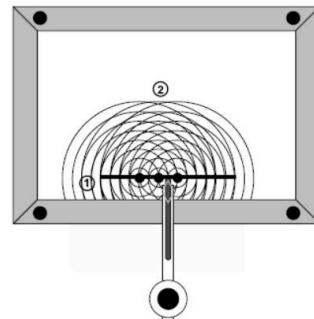


Рис.7: Схема для формирования интерференции с тремя генераторами. Три круговые волны, генерируемые гребенчатым возбудителем (1), накладываются друг на друга, образуя характерную интерференционную картину

## Подготовка и выполнение работы (5/11)

Замените гребень на возбудитель плоских волн. С помощью регулировочных винтов отрегулируйте волновую ванну по горизонтали, чтобы обеспечить одинаковый уровень воды во всему объему. Отрегулируйте возбудитель плоских волн так, чтобы он был параллелен поверхности воды. Эта регулировка важна, поскольку в противном случае невозможно получить четкие волновые картины плоских волн. Чтобы настроить эксперимент, как показано на рисунке 8, в волновую ванну поместите 71-мм барьер. Выберите частоту возбудителя от 18 Гц до 25 Гц и отрегулируйте амплитуду так, чтобы получился отчетливый волновой рисунок. После наблюдения волновой картины эксперимент повторяется с одиночными плоскими волнами, генерируемыми при нажатии кнопки «Импульс» (см. рис.5). Снова наблюдайте результирующую волновую картину. После изучения дифракции на краю, исследуйте дифракцию на широкой щели. Для этого поместите второй 71-миллиметровый барьер в волновую ванну, чтобы сформировать щель шириной 3 см, как показано на рис. 9. Выберите частоту возбудителя от 18 Гц до 25 Гц и амплитуду, при которой можно наблюдать отчетливую волновую картину.

После этого сформируйте узкую щель (около 1 см), как показано на рис. 10. Используйте аналогичные настройки и наблюдайте за волновым рисунком. В результате можно увидеть дифракционную картину, как это показано на рис. 10.

## Подготовка и выполнение работы (6/11)

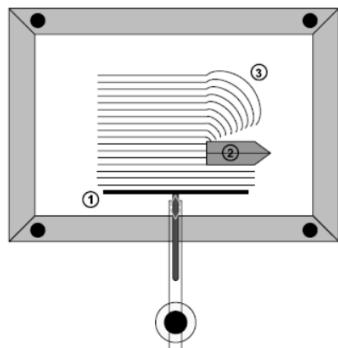
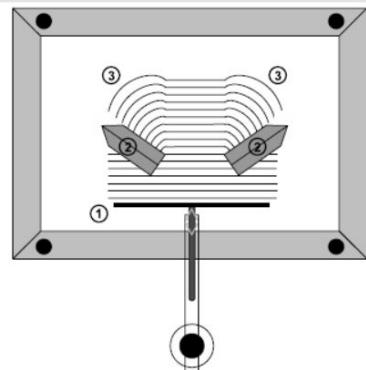


Рис.8: Схема эксперимента для демонстрации дифракции на краю. Фронт волны (1), генерируемый возбудителем плоской волны, достигает 71 мм барьера (2), который в этом случае действует как край. От него исходят круговые волны, которые проникают в геометрическую область тени (3).

Рис.9: Схема для демонстрации дифракции на широкой щели. Фронт волны (1), генерируемый возбудителем плоской волны, достигает щели шириной 3 см,

образованной двумя барьерами 71 мм (2). Фронт волны здесь дифрагирует: круговые волны исходят от преград и распространяются в областях геометрической тени (3).



## Подготовка и выполнение работы (7/11)

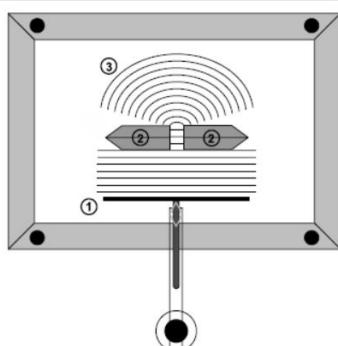


Рис.10: Схема для демонстрации на узкой щели. Волновой фронт (1), создаваемый возбудителем плоской волны, достигает щели 1 см (2), образованной двумя барьерами. Круговые волны исходят из этой щели (3) и распространяются в областях геометрической тени.

В следующем эксперименте исследуются интерференция и дифракция на двойной щели. Для этого поместите два барьера 71 мм и барьер 30 мм в волновую ванну, чтобы образовалась двойная щель, как показано на рисунке 11. Две щели должны быть одинаковой ширины (около 1 см).

Выберите частоту возбудителя от 15 Гц до 30 Гц и отрегулируйте начальную амплитуду так, чтобы плоские волны можно было видеть перед двойной щелью. Увеличивайте амплитуду до тех пор, пока не увидите картину интерференции за двойной щелью (рис. 11). Наблюдайте полученную интерференционную картину.

## Подготовка и выполнение работы (8/11)

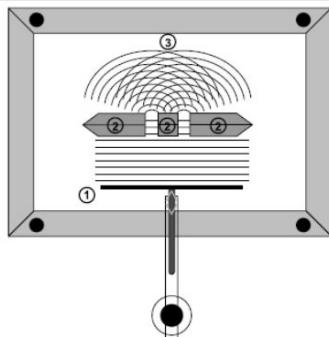


Рис.11: Схема для демонстрации интерференции и дифракции на двойной щели. Фронт плоской волны, создаваемый возбудителем плоской волны (1), достигает двойной щели, образованной барьераами (2). Круговые волны исходят из обеих щелей и интерферируют за двойной щелью (3).

Расстояние между двумя щелями сокращается с той же частотой. Для этого замените 30-мм барьер на 10-мм барьер. Затем переместите два 71-мм барьера ближе к 10-мм барьеру, чтобы образовалась двойная щель той же ширины, что и раньше (около 1 см; см. рис. 12). Наблюдайте за полученной интерференционной картиной и сравните ее с наблюдениями на большем расстоянии от щели. Для изучения влияния длины волны на интерференционную картину, измените частоту возбудителя и наблюдайте интерференционные и дифракционные картины. По завершению эксперимента уберите барьеры из волновой ванны.

## Подготовка и выполнение работы (9/11)

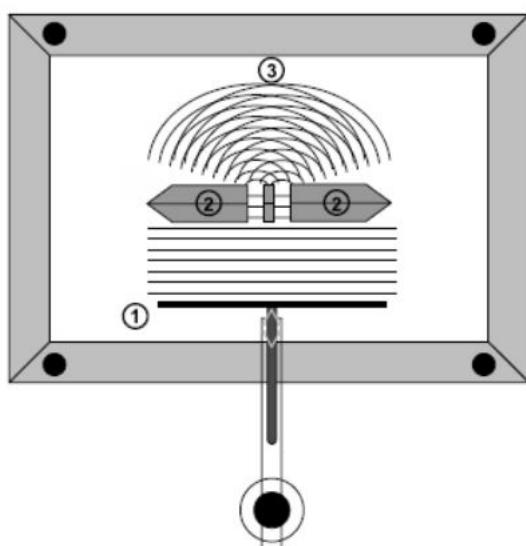
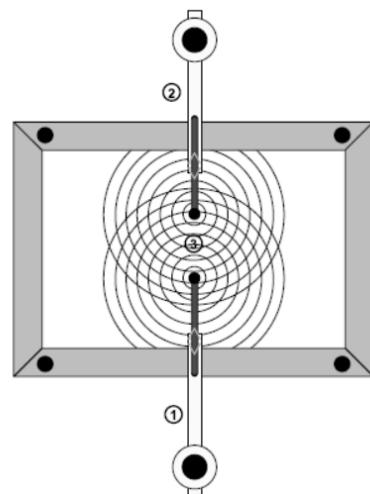


Рис.12: Схема для демонстрации интерференции и дифракции на двойной щели с укороченным расстоянием между щелями. Фронт плоской волны, создаваемый возбудителем плоской волны (1), достигает двойной щели, которая образована тремя барьераами (2). Круговые волны исходят из обеих щелей и интерферируют за двойной щелью (3).

## Подготовка и выполнение работы (10/11)

В этой задаче исследуется принцип фазированных антенных решеток. Для подключения внешнего генератора вибрации к устройству пульсации используйте два соединительных кабеля. Затем разместите встроенный и внешний генератор вибрации относительно волновой ванны, как показано на рис. 13. Выберите частоту возбудителя от 20 Гц до 25 Гц и включите режим стrobоскопического освещения. Амплитуду следует выбирать так, чтобы получилась четкая интерференционная картина (стоячая волна). В этот момент оба возбудителя колеблются синфазно ( $\Delta\phi = 0^\circ$ ) с одинаковой частотой.

Рис.13: Эксперимент для демонстрации влияния разности фаз  $\Delta\phi$  двух круговых волн на их интерференционную картину. Круговые волны, генерируемые встроенным (1) и внешним генератором колебаний (2), накладываются друг на друга, образуя стоячую волну (3) (Задача 1).



## Подготовка и выполнение работы (11/11)

Нарисуйте несколько пучностей (ярких полос) на листе бумаги, размещенном на чертежном столе (рис. 14). Закрепить лист бумаги к столу с помощью полосок скотча или аналогичных средств. Выберите последовательно один за другим разность фаз  $\Delta\phi$  (рис.5)  $45^\circ, 90^\circ, 135^\circ, 180^\circ, 225^\circ, 270^\circ, 315^\circ$  и  $360^\circ = 0^\circ$  и наблюдайте за интерференционной картиной (стоячей волной) для каждого случая. Сравните пучности видимой интерференционной картины с пучностями, нарисованными на листе бумаги ( $\Delta\phi = 0^\circ$ ). Запишите свои наблюдения.

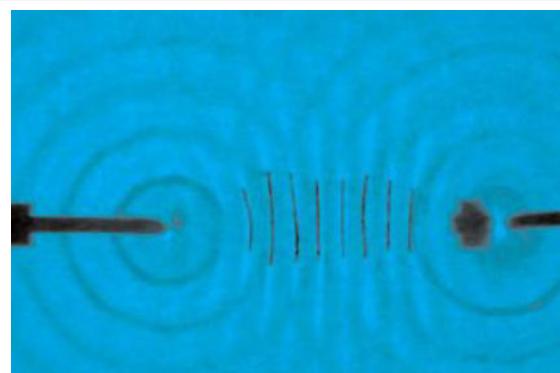


Рис.14: Снимок, показанный на рис.13, при разности фаз  $\Delta\phi = 0^\circ$ . Можно идентифицировать интерференционную картину (стоячую волну), а также узкие узлы.



# Оценка

## Задача 1 (1/9)

### Принцип Гюйгенса

На рисунках показаны некоторые из наблюдаемых волновых картин. С двумя точечными источниками волн (рис.15) идентифицируются три диапазона волн примерно одинаковой ширины. Эти диапазоны волн можно наблюдать с помощью трех генераторов возбуждения волн в одном и том же месте; однако они более узкие, и между этими полосами выделяют дополнительную, более узкую полосу частот. Она четко отделена от основных диапазонов частот двумя полосами. (рис.16).

С помощью четырех центров возбуждения (рис.17) можно наблюдать две дополнительные узкие полосы волн между каждым из трех основных диапазонов волн на рис.15. Основные диапазоны волн стали еще более узкими.

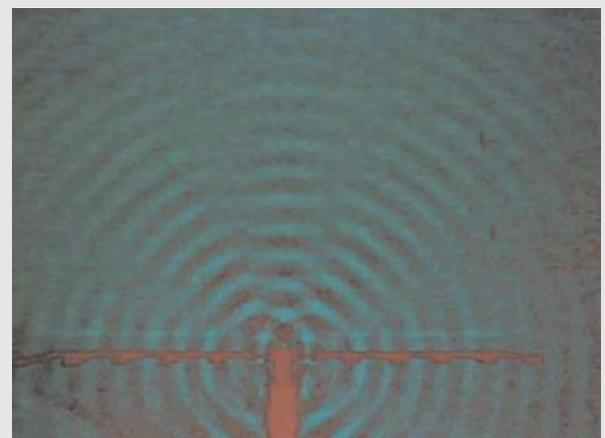


Рис.15: Два диппера - снимок, показанный на рис.6. Можно наблюдать три диапазона волн примерно одинаковой ширины.

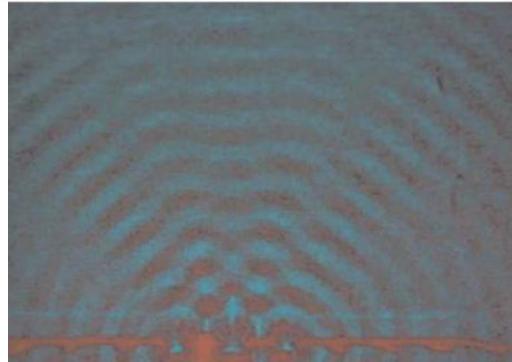
**Задача 1 (2/9)**

Рис.16: Три диппера - снимок, показанный на рис.7. В середине можно выделить дополнительный диапазон волн по сравнению с рис.15. В целом, диапазоны волн сужаются

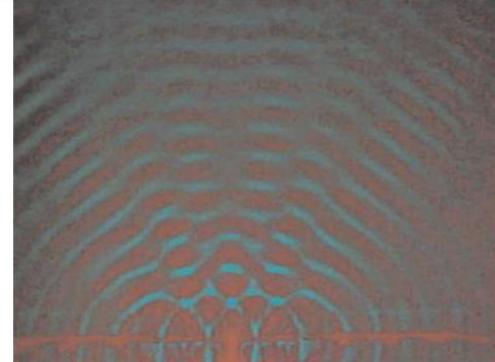


Рис.17: Четыре диппера. Число диапазонов волн увеличилось, и они уже, чем при интерференции двух круговых волн. Волны уже не такие круглые, как с двумя центрами возбуждения (рис.15).

**Задача 1 (3/9)**

При дальнейшем увеличении числа дипперов число диапазонов волн еще больше увеличивается, и они становятся еще более узкими. Интерференционная картина десяти дипперов (рис.18) вблизи центров возбудителей аналогична волновой картине плоской волны (рис.19). Три диапазона волн, которые можно идентифицировать на рис.15 (два диппера), - это нулевой порядок интерференции и два диапазона волн, симметрично следующие за ними, являются первыми интерференционными порядками. В целях упрощения в эксперименте исключено ближайшее окружение, чтобы прояснить образование дополнительных интерференционных полос между нулевым и первым порядком при увеличении количества генераторов волн. Для мест, расстояние от которых до возбудителей велико по сравнению с расстоянием между генераторами, в случае двух волновых возбудителей (рис. 20) применимо следующее выражение для разности хода между двумя интерферирующими волнами:

$$\Delta l = d \sin \alpha$$

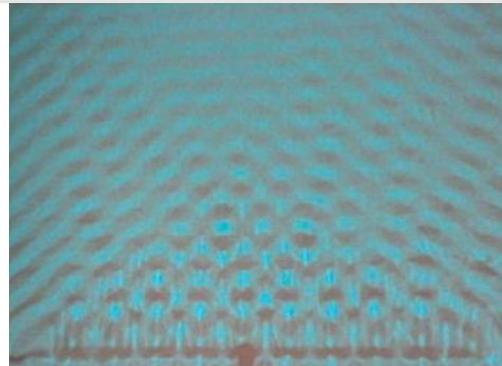
**Задача 1 (4/9)**

Рис.18: Десять дипперов.

Можно идентифицировать интерференционную картину десяти наложенных круговых волн. Число диапазонов волн снова увеличилось, так что интерференционная картина непосредственно за волновым генератором подобна волновой картине плоской волны (рис.19).

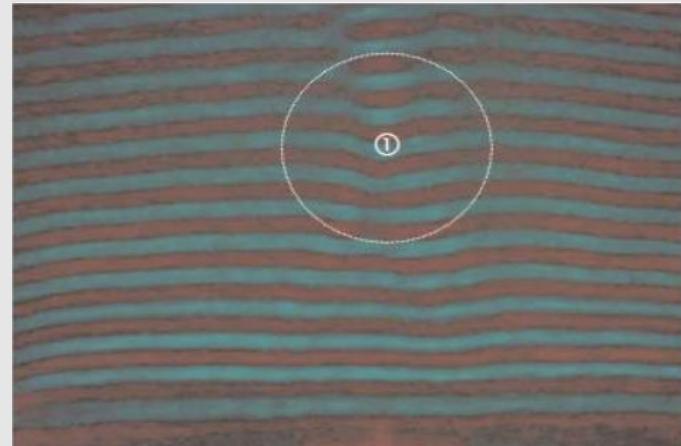


Рис.19: Волновая картина плоской волны. Область (1) идентифицируется как артефакт.

**Задача 1 (5/9)**

Для максимума первого порядка должно выполняться  $\Delta l = \lambda$ , чтобы (независимо от количества возбудителей!) было действительно:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d}$$

Соответственно, угол между нулевым и первым порядком, при котором происходит полное погашение (деструктивная интерференция / нейтрализация волн) ( $\Delta l = \lambda/2$ ), составляет:

$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{2d}$$

Из рис.21 видно, что полного разрушения не происходит при трех возбудителях под одним и тем же углом  $\alpha$ . В результате полное разрушение волновых фронтов, исходящих от возбудителей 1 и 2, приводит к полностью невозмущенной волновой картине возбудителя 3. При этом три синусоидальные волны полностью компенсируют друг друга, если они не совпадают по фазе на 1/3 или на 2/3 периода. Особенно наглядно это можно показать на векторной (фазовой) диаграмме.

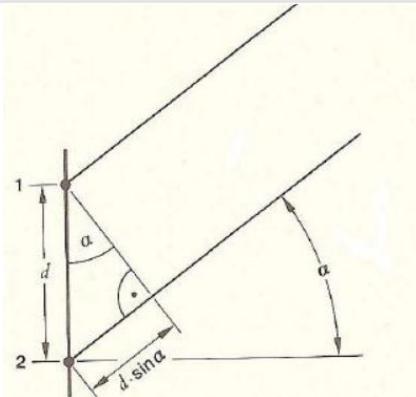
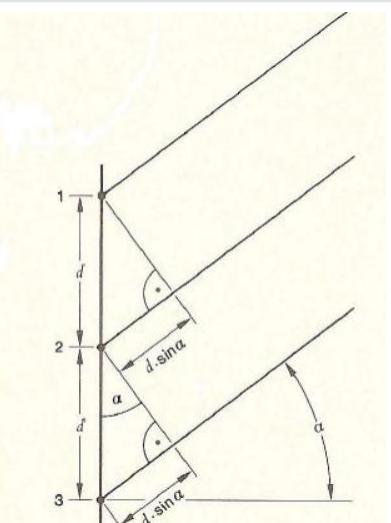
**Задача 1 (6/9)**

Рис.20: Принципиальная схема формирования максимумов и минимумов с двумя генераторами волн.

Рис.21:  
Принципиальная  
схема  
формирования  
максимумов и  
минимумов с  
тремя  
генераторами  
волн.

**Задача 1 (7/9)**

Таким образом, получаются два вторичных минимума, как видно на рисунке 16:

Первый вторичный минимум:

$$d \cdot \sin \alpha = \frac{1}{3} \lambda \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\lambda}{3d}$$

Второй вторичный минимум:

$$d \cdot \sin \alpha = \frac{2}{3} \lambda \Rightarrow \sin \alpha = \frac{2\lambda}{3d}$$

Формирование трех вторичных минимумов с четырьмя волновыми возбудителями (рис.17) можно объяснить с помощью рис.22. Погашение происходит, если волны, исходящие от возбудителей 1 и 2, будут компенсировать друг друга, как волны, исходящие от возбудителей 3 и 4. С другой стороны, волны, исходящие от возбудителей 1 и 3, и волны от возбудителей 2 и 4 также могут гасить друг друга.

## Задача 1 (8/9)

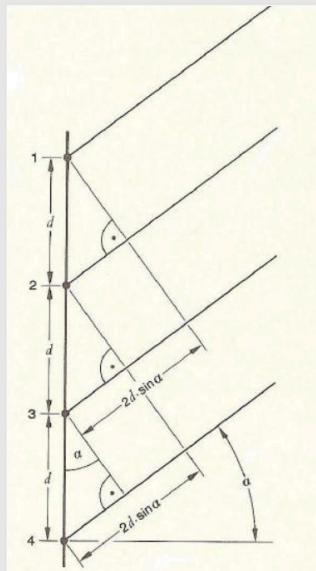


Рис.22:  
Принципиальная  
схема  
формирования  
максимумов и  
минимумов с  
тремя  
генераторами  
волн.

Таким образом, исходя из нулевого порядка, получаем  
следующий вторичный минимум:

Первый вторичный минимум:

$$2d \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \lambda \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\lambda}{4d}$$

Второй вторичный минимум:

$$d \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \lambda \Rightarrow \sin \alpha = \frac{\lambda}{2d}$$

Третий вторичный минимум:

$$2d \cdot \sin \alpha = \frac{3}{2} \lambda \Rightarrow \sin \alpha = \frac{3\lambda}{4d}$$

## Задача 1 (9/9)

При дальнейшем увеличении количества возбудителей круговые волны накладываются друг на друга согласно принципу, описанному выше. Чем больше количество возбудителей круговой волны, тем больше образующаяся интерференционная картина напоминает волновую картину плоской волны. В этом эксперименте на это явление указывают десять волновых возбудителей (рис.18). Конечно, этого числа недостаточно для получения плоской волны, но на основе рисунков 18 и 19 легко экстраполировать, как выглядела бы интерференционная картина, если бы было еще большее количество центров возбуждения. В результате получается изображение плоской волны (рис.19). Именно об этом гласит принцип Гюйгенса.

## Задача 2 (1/5)

### Край и широкая щель

Плоские волны проходят барьер. Круговая волна распространяется от края препятствия в его геометрическую теневую область (рис.23).

Часть плоских волн, попадающих на препятствие, отражается так, что перед ней возникает стоячая волна. При работе с коротковолновыми цугами видно, что круговая волна, исходящая от края барьера, распространяется во всех направлениях. От двух барьеров, образующих щель шириной 3 см, круговые волны исходят в геометрическую область тени (рис. 24). В середине за щелью можно наблюдать интерференционную картину, где нулевой порядок интерференции существенно шире, чем более высокие порядки.

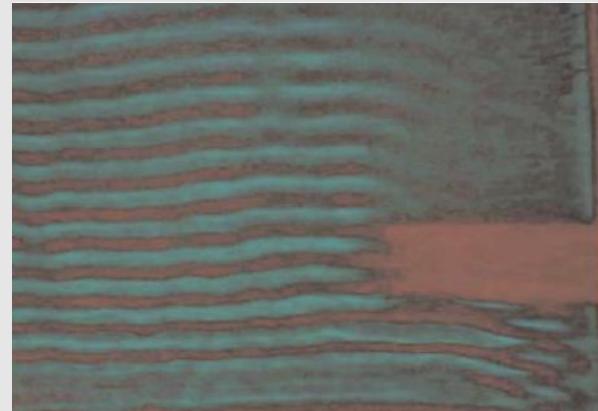
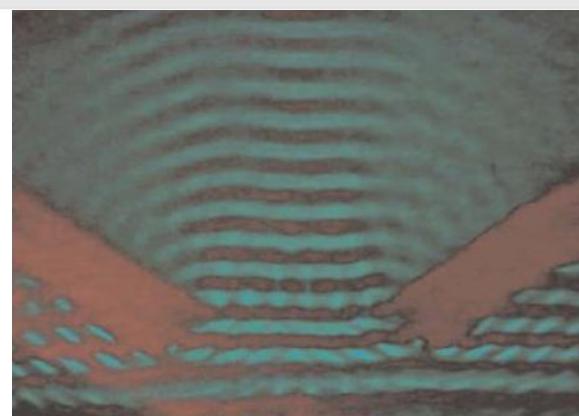


Рис.23: Дифракция на краю. Круговую волну, исходящую от препятствия, можно четко распознать в области геометрической тени.

## Задача 2 (2/5)

Результаты обоих экспериментов можно объяснить с помощью принципа Гюйгенса. В то время как бесконечное количество элементарных волн накладывается на невозмущенное волновое поле, образуя плоское поле волны, элементарная волна, исходящая от края в теневую область барьера, не накладывается на другие волны и может непосредственно там наблюдаться. Элементарные волны, исходящие от этих генераторов, интерферируют за щелью, образуя характерный узор.

Рис.24:  
Интерференция и дифракция на широкой щели.



За щелью видна интерференционная картина, нулевой порядок интерференции которой существенно шире высших порядков. Круговые волны исходят от двух барьеров в их геометрическую тень.

## Задача 2 (3/5)

### Узкая щель

Круговые волны исходят из щели и проникают в геометрическую область тени (рис.25). Щель, которая является узкой по сравнению с длиной волны, является отправной точкой для элементарной волны (принцип Гюйгенса). Дифракция наблюдается в чистом виде, т.е. без наложенной интерференционной картины. При проведении аналогичного эксперимента со световыми волнами необходимо использовать щель, ширина которой больше длины волны, чтобы получить адекватную яркость изображения. В этом случае невозможно наблюдать чистую дифракцию, поскольку всегда возникают интерференции (см. выше), которые прерывают дифракционную картину. Поэтому наблюдение чистой дифракции на узкой щели возможно только с волнами воды.



Рис.25: Дифракция на узкой щели. Можно четко распознать исходящие из щели круговые волны, а также их распространение в геометрическую область тени барьера.

## Задача 2 (4/5)

### Двойная щель

В середине волнового изображения можно наблюдать полосу волн, перпендикулярную линии соединения двух щелей. Симметрично этому диапазону волн чередуются диапазоны волн без генерации волн и диапазоны волн с генерацией волн по обе стороны (рисунок 26).

При сокращении расстояния между двумя щелями при постоянной длине волны расстояние между соседними полосами волн увеличивается (рис. 27). Тот же эффект достигается при увеличении длины волны при постоянном расстоянии между щелями.

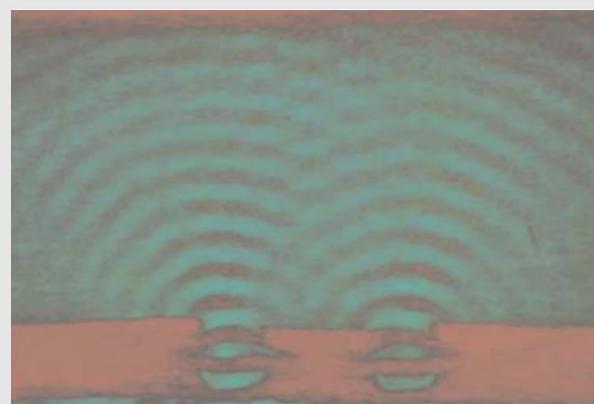


рис.26: Интерференция на двойной щели. Круговые волны исходят из обеих щелей и образуют характерную интерференционную картину за щелью.

## Задача 2 (5/5)

PHYWE

Согласно принципу Гюйгенса обе щели являются центрами двух круговых волн. Эти круговые волны интерферируют за двойной щелью так же, как интерферируют круговые волны, генерируемые двумя точечными генераторами (задача 1).

**Примечание:** при работе с волнами света дифракция на двойной щели не может наблюдаться в чистом виде. Из соображений интенсивности используются щели с шириной, намного превышающей длину волны. Поэтому явление дифракции света всегда сопровождаются интерференционными явлениями.



Рис.27: Интерференция на двойной щели с уменьшенным расстоянием между щелями. По сравнению с рис. 26, расстояние между соседними диапазонами волн больше.

## Задача 3 (1/5)

PHYWE

Видно, что при разности фаз  $\Delta\varphi \neq 0^\circ$  пучности, нарисованные на листе бумаги, больше не совпадают с пучностями видимой интерференционной картины, как при  $\Delta\varphi = 0^\circ = 360^\circ$  (рис.28). Таким образом, видимая интерференционная картина смещена по сравнению с нарисованными пучностями. Этот сдвиг увеличивается по мере увеличения разности фаз. Когда разность фаз составляет  $180^\circ$ , пучности интерференционной картины меняются местами по сравнению с нарисованными пучностями (рис.30). Узел интерференционной картины теперь можно наблюдать в том месте, где на листе была нарисована пучность, и наоборот.

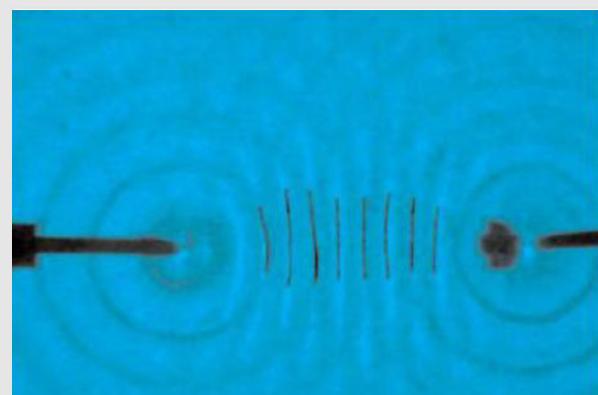


Рис.28: Снимок при разнице фаз  $\Delta\varphi = 360^\circ$ . При  $\Delta\varphi = 360^\circ$  пучности совпадают с пучностями при  $\Delta\varphi = 0^\circ$

## Задача 3 (2/5)

PHYWE

При дальнейшем увеличении разности фаз происходит дальнейший сдвиг (рис.29 - рис.31) до тех пор, пока при разности фаз  $\Delta\varphi = 360^\circ = 0^\circ$ , нарисованные пучности снова не совпадут с пучностями интерференционной картины (рис.28). При увеличении разности фаз волны двух центров возбуждения сдвигаются относительно друг друга, при этом разность фаз  $180^\circ$  соответствует половине длины волны, а разность фаз  $360^\circ$  соответствует всей длине волны, что показано результатами на рис. 30 и 28.

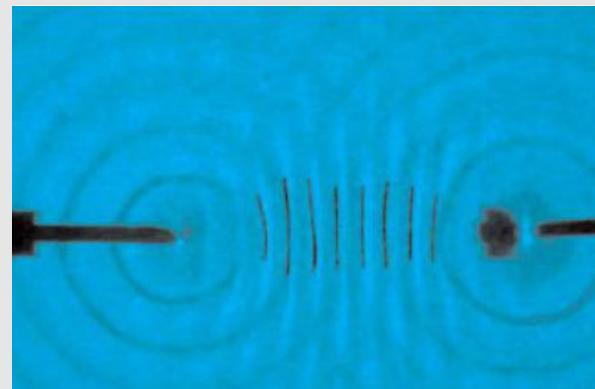


Рис.29: Снимок при разности фаз  $\Delta\varphi = 90^\circ$ . Видно, что интерференционная картина смещена по сравнению с нарисованными пучностями.

## Задача 3 (3/5)

PHYWE

Когда две синфазные круговые волны накладываются друг на друга, получается характерная интерференционная картина - стоячая волна, в результате чего возникают области конструктивной и деструктивной интерференции. Точки конструктивной интерференции лежат на гиперболах, которые находятся на расстоянии  $\Delta l = m \cdot \lambda$  ( $m = 1, 2, 3, \dots$ ) от центров возбудителей, места деструктивной интерференции лежат на гиперболах на расстоянии,  $|\Delta l| = \frac{1}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda, \dots$  от центров возбудителей (Задача 1). Если область конструктивной интерференции (пучности) в интерференционной картине двух синфазных круговых волн теперь сравнивается с областью двух круговых волн со сдвигом фазы  $180^\circ$ , этот сдвиг фазы вызывает образование пучностей в местах, где узлы можно увидеть при синфазных интерференционных картинах.

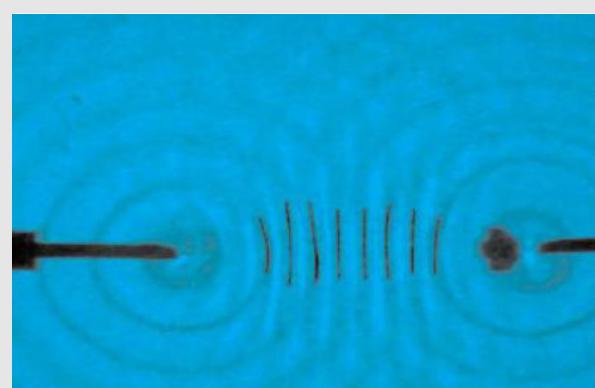


Рис.30: Снимок при разности фаз  $\Delta\varphi = 180^\circ$ . Видно, что узлы интерференционной картины теперь находятся на позициях нарисованных пучностей и наоборот.

## Задача 3 (4/5)



То же самое касается и формирования узлов. Фазовый сдвиг вызывает сдвиг узлов и пучностей. При сдвиге фаз на  $360^\circ$  сдвиг продвигается настолько далеко, что узлы и пучности снова могут быть видны точно в том же месте, что и при синфазной интерференции. Эффект управления интерференционными картинами используется для создания так называемых «фазированных антенных решеток». Эти антенны состоят из множества одиночных излучателей, которые расположены группами. Изменяя фазу некоторых из этих групп, можно усилить сигнал (конструктивная интерференция) в заданном направлении и ослабить сигнал (деструктивная интерференция) в других направлениях. Фазированные антенные решетки используются в качестве радиолокационных антенн, например, в зенитных ракетных системах, для исследования погоды, на спутниках и т.д.

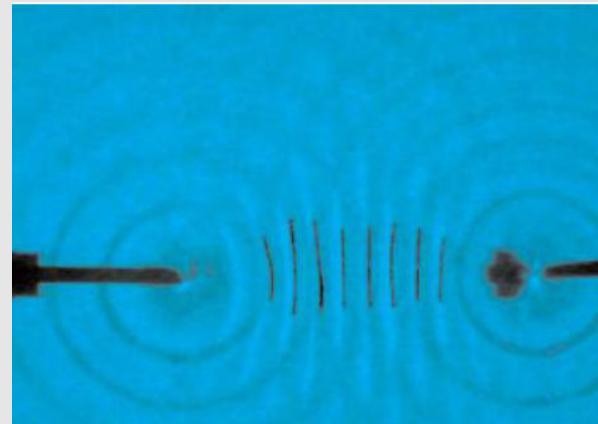


Рис.31: Снимок при разности фаз  $\Delta\varphi = 1270^\circ$ . Наблюдаются дальнейший сдвиг наблюдаемой интерференционной картины.

## Задача 3 (5/5)



В заключение, этот эксперимент показывает возможности использования волн воды для изображения явлений дифракции и интерференции. Волны воды имеют много преимуществ по сравнению с волнами света при работе с явлениями дифракции, поскольку чистая дифракция не может наблюдаться со световыми волнами. Более того, практический пример использования (фазированные антенные решетки) явления интерференции волн может быть продемонстрирован и объяснен с помощью волн воды. Таким образом, этот эксперимент может помочь лучше понять явления дифракции и интерференции волн и их практическое использование.