

Интерференция звуковых волн от двух источников

Цель опыта: продемонстрировать интерференцию звуковых волн от двух источников в плоской геометрии – при размещении двух динамиков на поверхности классной доски на значительном удалении друг от друга.

Оборудование:

- Функциональный генератор
- Динамик – 2 шт.
- Датчик звука - 2 шт.
- Комплект линейек
- Кабель запуска
- Платформа для подключения датчиков
- Платформа для подключения динамиков
- Платформа для установки датчика – 2 шт.
- Компьютерный измерительный блок
- Метр демонстрационный

В данном опыте демонстрируется интерференционное поле, создаваемое вблизи поверхности классной доски звуковыми волнами, распространяющимися от двух динамиков, находящихся на расстоянии около 0.9 м друг от друга. Рассматриваются условия формирования максимумов и минимумов амплитуды колебаний, распределение этих точек в области, где наблюдается перекрытие звуковых волн от двух источников.

Максимумы интерференционной картины наблюдаются в точках, где разность хода волн от двух динамиков составляет целое число длин волн (n), а минимумы – где это число длин волн равно $n+1/2$ ($n=0, 1, 2, \dots$). Геометрическим местом точек плоскости, разность расстояний которых до двух заданных точек (фокусов) есть величина постоянная, является гипербола. Таким образом, интерференционные максимумы и минимумы располагаются вдоль гипербол, а полная интерференционная картина представляет собой семейство таких кривых (рис. 1). На рис. 1 схематично представлено расположение максимумов и минимумов интерференционной картины на классной доске, полученное для частоты звуковых волн 1.5 кГц. Сплошные линии представляют положение максимумов интерференционной картины, пунктирные – минимумов. Очевидно, что ось симметрии расположения динамиков является линией максимума амплитуды. Положение динамиков указано кружками.

На рис. 2 представлены результаты расчета амплитуды колебаний для двух «сечений» интерференционного поля, находящихся на расстоянии 30 см и 70 см от плоскости (линии) расположения динамиков (на доске эти сечения расположены вертикально). В расчете учитывалось, что амплитуда звуковой волны уменьшается с расстоянием от источника (зависимость $1/r$). Следует отметить, что уменьшение амплитуды колебаний с

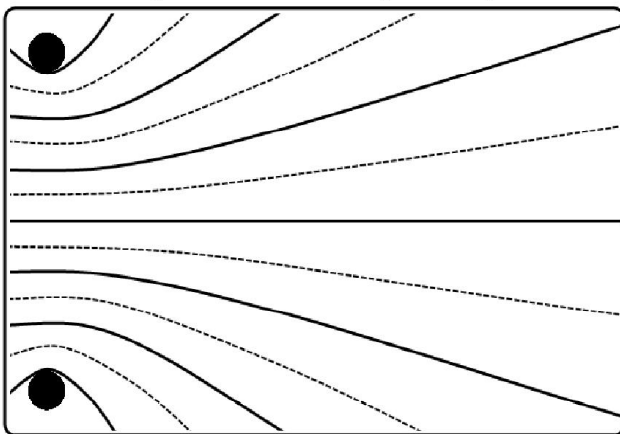


Рис. 1

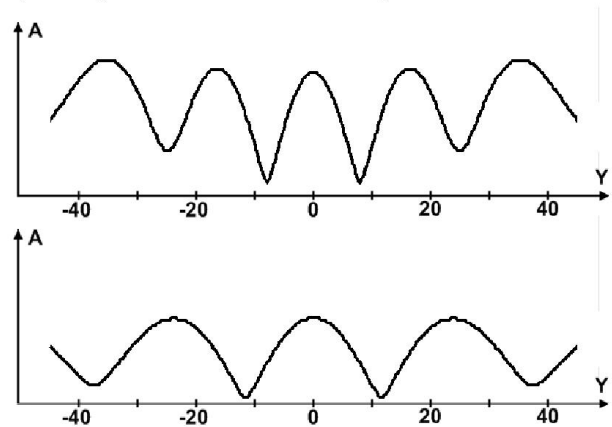


Рис. 2

с расстоянием от источника звука приводит к тому, что в реальной интерференционной картине при одинаковой исходной амплитуде волн невозможно наблюдать нулевую амплитуду колебаний в местах расположения минимумов, поскольку нулевое значение амплитуды колебаний возможно только при интерференции волн равной амплитуды. При удалении от источников звука относительное отличие амплитуд волн, имеющих разность хода $\frac{1}{2}\lambda$ и $3\lambda/2$ уменьшается, т.к. возрастает расстояние, проходимое обеими волнами до точки наблюдения минимума. Это приводит к тому, что минимальная амплитуда уменьшается. Количество максимумов и минимумов, наблюдаемых в пределах доски, уменьшается по мере удаления от динамиков.

В предлагаемом эксперименте демонстрируются характерные черты картины интерференции волн от двух источников и проводится сравнение результатов с расчетными данными. Для этого датчик звука перемещается сначала вдоль горизонтальной оси симметрии доски, при этом показывается наличие максимума на линии, точки которой одинаково удалены от динамиков. Далее измерения проводятся вдоль вертикальных линий на расстоянии 30 см и 70 см от линии расположения динамиков (те же координаты, что и в результатах расчета на рис. 2), что позволяет сравнивать данные эксперимента с расчетом и формировать в понимании учащихся картину распределения амплитуд колебаний при интерференции волн от двух источников.

Подготовка эксперимента

1. Установите динамики в верхнем и нижнем углах классной доски слева, направив их под углом примерно 45° к горизонтальной оси доски. Платформу для подключения динамиков поместите вплотную к левой кромке классной доски на одинаковом расстоянии от динамиков. Линейку, составленную из элементов «0 – 50» и «50 – 90», установите горизонтально по оси симметрии доски, совместив ее начало с краем платформы для подключения динамиков. Оставшиеся линейки «0 - 50» расположите вертикально около отметки 25 см. Датчики звука разместите на отметке «30 см» горизонтальной линейки так, чтобы их платформы находились с разных сторон от горизонтальной линейки и касались вертикальных линеек. Платформу для подключения датчиков звука поставьте в середине правой части доски. Схема расположения элементов на доске представлена на рис. 3.

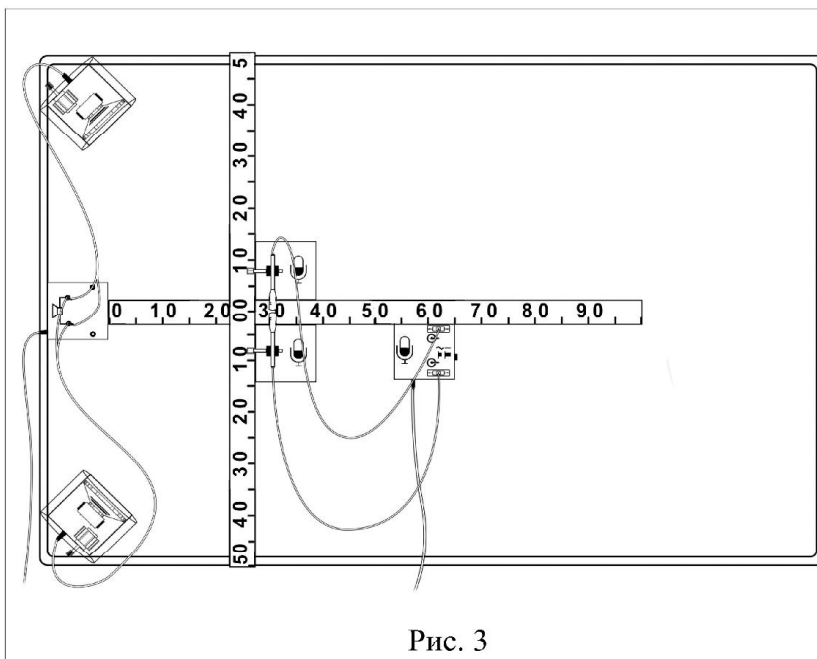


Рис. 3

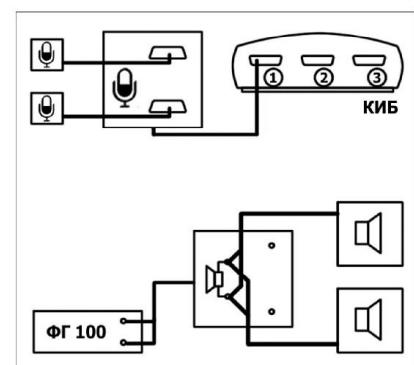


Рис. 4

2. Подключите датчики к разъемам платформы (схема соединения элементов установки

- представлена на рис. 4). Датчик, который находится выше осевой линии, подключается к обозначенному синим цветом разъему. Он будет играть роль опорного, и должен в процессе эксперимента оставаться на оси симметрии доски. Второй датчик (подключенный к разъему, обозначенному красным символом) будет перемещаться в различные области поля интерференции. Проверьте состояние кнопки на платформе для подключения датчиков: кнопка должна быть в состоянии **«Откл»** («отжата»), что соответствует регистрации амплитуды звуковых колебаний. Кабель платформы для подключения датчиков к компьютерному измерительному блоку пока не подключайте.
3. Подключите штекеры кабелей динамиков к соответствующим (по цвету) клеммам платформы для подключения динамиков (используются клеммы, обозначенные символом динамика, динамики в данном опыте подключаются параллельно в одни и те же клеммы). Регулятор громкости на динамиках установите в крайнее левое положение (минимальная громкость). Кабель, идущий от платформы для подключения динамиков, подключается к выходным клеммам генератора несколько позже.
 4. С помощью имеющегося в наборе «Звуковые волны» кабеля (кабель запуска) подключите выход генератора к разъему 1 компьютерного измерительного блока. Включите генератор, установите на нем частоту немного превышающую 1 кГц и амплитуду сигнала около 5 В.
 5. В разделе «Звуковые волны» компьютерной программы **L-физика** выберите группу сценариев **«Интерференция звуковых волн»**, а внутри нее – сценарий **«Определение частоты колебаний»**. Перейдите к измерениям (экранная кнопка **«Проведение измерений»**) и нажмите кнопку **«Пуск»**. Установите значение частоты генератора 1.5 кГц, при этом длина волны составит примерно 23 см. Получите это значение длины волны вместе с учащимися и выпишите его на доске.
 6. Отключите кабель, соединяющий компьютерный измерительный блок и генератор. Присоедините к генератору кабель платформы для подключения динамиков, а к разъему 1 компьютерного измерительного блока – кабель платформы для подключения датчиков. Установите максимальную амплитуду сигнала генератора.
 7. Выйдете из сценария **«Определение частоты колебаний»** и в той же группе сценариев (**«Интерференция звуковых волн»**) выберите сценарий **«Регистрация амплитуды колебаний»**.
 8. Нажмите экранную кнопку **«Настройка оборудования»**. По цифровым индикаторам экрана настройки с помощью движковых регуляторов на экране выровняйте чувствительности датчиков, уменьшив амплитуду максимального сигнала до величины меньшего из сигналов.

Проведение измерений

1. Нажмите экранную кнопку **«Проведение измерений»** и кнопку **«Пуск»**, начинающую регистрацию данных. На экране возникнет индикатор амплитуды звуковых колебаний в виде двух столбиков, наложенных друг на друга. Прозрачный столбик голубого цвета представляет сигнал с опорного датчика, его величина будет практически неизменной при проведении опыта (данный датчик остается на одном месте в течение всего эксперимента). Внутри него находится столбик красного цвета, с помощью которого будет показываться амплитуда звуковых колебаний в разных точках интерференционного поля. Для краткости условимся называть подключенный к разъему с красным символом датчик «подвижным».
2. В первую очередь продемонстрируйте учащимся отсутствие интерференционных минимумов на горизонтальной оси симметрии доски (оси симметрии расположения динамиков). Передвигая «подвижный» датчик вдоль горизонтальной линейки, покажите, что амплитуда звуковых колебаний изменяется монотонно, уменьшаясь по мере удаления от динамиков. Поскольку точки, в которых проводились измерения, находятся на оси симметрии, то волны от обоих динамиков приходят сюда с одинаковыми фазами (проходят одно и то же расстояние), и вдоль всей оси симметрии наблюдается

интерференционный максимум.

3. Далее перейдите к рассмотрению распределения минимумов и максимумов на всей поверхности доски. Установите «подвижный» датчик в крайнее нижнее положение на вертикальной линейке (рис. 5). Его горизонтальная координата при этом будет соответствовать отметке «30» (как и у опорного датчика), а вертикальная координата окажется равной «-36». Смещая датчик вверх, определите положение максимума и нажмите кнопку «Запись». Тем самым Вы зафиксируете и оставите на экране уровень сигнала, соответствующий интерференционному максимуму, а текущие значения амплитуд звуковых колебаний будут представляться новым столбиком, возникшим на экране. Выпишите на доске вертикальную координату интерференционного максимума.
4. С помощью демонстрационного метра (или рулетки) измерьте и выпишите на доске расстояния от динамиков до «подвижного» датчика. Попросите учащихся определить разность измеренных расстояний. Обратите их внимание на то, что эта разность с хорошей точностью совпадает с удвоенной длиной звуковой волны. Это значит, что фазы звуковых волн, приходящих от двух динамиков в точку расположения датчика, совпадают.

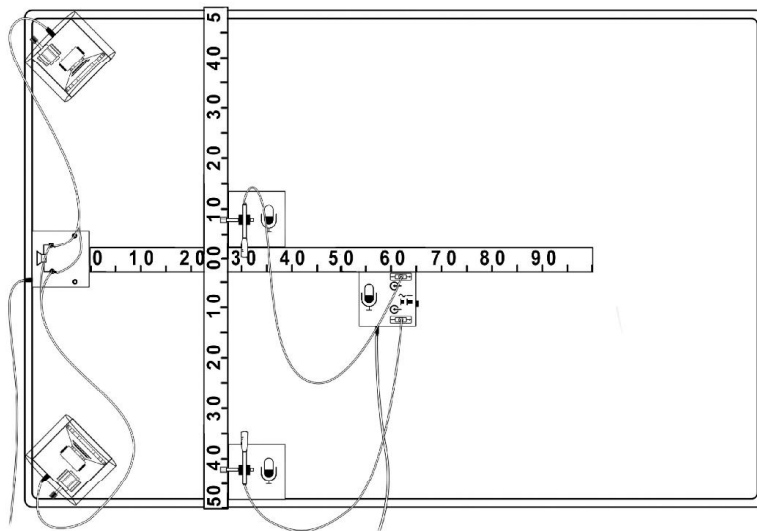


Рис. 5

5. Продолжите смещение «подвижного» датчика вдоль вертикальной линейки вверх и продемонстрируйте учащимся плавное уменьшение амплитуды звуковых колебаний. Найдите точку, в которой сигнал достигает минимального значения. Нажмите кнопку «Запись». Запишите на доске вертикальную координату интерференционного минимума.
6. Повторив измерение расстояния от динамиков до «подвижного» датчика, выпишите на доске полученные данные. Поручите учащимся определить разность измеренных расстояний и обратите их внимание на то, что теперь эта разность соответствует 1.5 длинам волн. Это означает противоположность фаз звуковых волн, приходящих от двух динамиков в точку расположения датчика.
7. Продолжив смещение «подвижного» датчика вверх, Вы зарегистрируете еще один максимум и один минимум, после чего датчик окажется в области горизонтальной линейки (осевой максимум). Для каждого максимума и минимума осуществляйте запись данных и выписывайте на доску координату датчика, а также проводите измерение расстояний от датчика до обоих динамиков и интерпретацию разности этих расстояний для подтверждения наличия в данной точке максимума или минимума амплитуды звуковых колебаний.
8. Для продолжения измерений в верхней полуплоскости доски снимите датчики с платформ и поменяйте их местами (платформы, на которые устанавливаются датчики должны остаться на своих местах, иначе изменится горизонтальная координата линии,

вдоль которой проводятся измерения). Теперь «опорный» (т.е. подключенный к разъему с голубым символом) датчик оказался ниже горизонтальной линейки, и он будет оставаться на месте.

9. Смещая вверх «подвижный» датчик, осуществите поиск и запись (как на экран компьютера, так и на доску) всех параметров, которые фиксировались при измерениях в нижней полуплоскости доски. После установки датчика в точку последнего из регистрируемых максимумов рекомендуется сразу нажать кнопку «Стоп» (не нажимая кнопку «Запись» (при этом на экране не возникнет лишнего столбца, повторяющего последний записанный). Обратите внимание учащихся, что абсолютные значения и вертикальные координаты максимумов и минимумов совпадают с измеренными на другой полуплоскости в рамках погрешности опыта. Аналогичным образом и разности расстояний от динамиков до точек, где наблюдаются минимумы и максимумы совпадают с $\frac{1}{2}\lambda$, λ , $3/2\lambda$ и 2λ .
10. Данные, сохраненные на экране компьютера после завершения вертикального сканирования интерференционного поля, представлены на рис. 6. В условиях эксперимента (при рекомендованных частоте генератора, положении динамиков и координате линии сканирования) регистрируется пять максимумов (средний максимум соответствует осевой линии доски) и четыре минимума, что полностью совпадает с результатом численного расчета (рис. 2).

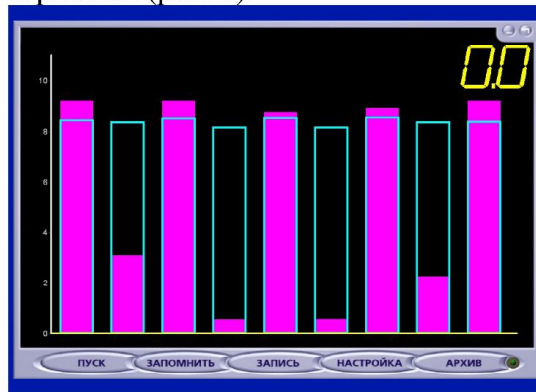


Рис. 6

11. Аналогичные измерения рекомендуется выполнить, установив линию перемещения датчиков на отметку «70 см» (вертикальные линейки на отметке около «65 см»). В этом случае максимумы, соответствующие разности хода в две длины волны оказываются за пределами доски и не регистрируются (см. рис. 2).
12. При проведении измерений Вы могли обратить внимание на то, что амплитуда колебаний в минимуме интерференционной картины имеет заметную величину, и в минимуме, соответствующем разности хода $3/2$ длины волны оказывается больше, чем для минимума « $1/2$ длины волны». Сказанное в первую очередь относится к измерениям, выполненным на отметке «30». В значительной степени это связано с тем, что интерферирующие волны, пройдя различные расстояния до точки проведения измерений, имеют различную амплитуду колебаний. Вы можете увидеть это на экране, если выполните следующий дополнительный опыт. Установите «подвижный» датчик в области интерференционного минимума, соответствующего разности хода волн в $3/2\lambda$ (горизонтальная координата датчика должна быть равна «30»). Опорный датчик должен занимать место на горизонтальной линейке.
13. Возобновите измерения и уточните расположение «подвижного» датчика. Нажмите кнопку «Запись» для того, чтобы оставить на экране значения амплитуды колебаний в интерференционном максимуме на оси доски и в рассматриваемом интерференционном минимуме. Вращая рукоятку регулятора на динамике, плавно увеличивайте громкость звучания динамика, который находится дальше от «подвижного» датчика. При этом будет

наблюдается небольшой рост опорного сигнала (что вполне естественно, т.к. возрастает величина одного из суммирующихся сигналов) и уменьшение сигнала подвижного датчика. Уменьшение амплитуды колебаний в минимуме объясняется тем, что происходит выравнивание амплитуд звуковых волн, проходящих в точку наблюдения с противоположной фазой.