

Fig.1

Описание приборов

Осциллограф.

Осциллограф – прибор, позволяющий визуализировать электрический сигнал, подаваемый на его входные клеммы. Осциллограф ставит точки на экране через малые промежутки времени (длительность одного такого промежутка называется временем дискретизации). В режиме временной развертки вертикальная координата точки соответствует величине сигнала в данный момент времени (с учетом масштаба), а горизонтальная координата равна произведению числа прошедших промежутков времени на время дискретизации. Таким образом, на экране строится график зависимости величины сигнала на входе осциллографа от времени. Вход осциллографа чаще всего называют «каналом». В настоящей работе будет использоваться двухканальный осциллограф. Он может строить графики зависимости от времени от величин сигналов, подаваемых на два канала одновременно. Устройство осциллографа не предусматривает непрерывной записи сигнала, осциллограф выводит на экран некоторую ограниченную по времени выборку сигнала. То есть на экране изображается график зависимости величины сигнала от времени лишь в течение небольшого промежутка времени. За величину этого промежутка времени отвечает регулировка временной развертки. При ее установке в максимальное положение, осциллограф будет показывать график сигнала максимально большой длительности, однако время дискретизации в этом случае тоже будет большим. При этом невозможно будет отследить переменный сигнал на входе осциллографа, характерное время изменения которого сравнимо со временем дискретизации или, тем более, меньше этого времени. Таким образом, для должного наблюдения сигнала необходимо регулировать временную развертку. В случае изучения периодического сигнала на экране должно отображаться несколько периодов этого сигнала.

Меню синхронизации осциллографа позволяет регулировать время начала выборки отображаемых точек, а также периодичность ее вывода на экран. В меню синхронизации (обозначено буквами «СИНХР» Рис. 1.1) нажмите кнопку «МЕНЮ СИНХР» (Рис. 1.2) для того, чтобы настроить синхронизацию осциллографа. Установки синхронизации по умолчанию на ваших приборах настроены так: меню «Type» - «Edge» (Рис. 1.3), меню «Source» - «CH1» (Рис. 1.4), меню «Slope» - «↑» (Рис. 1.5), меню «Mode» - «Auto» (Рис. 1.6). Если на вашем приборе они выставлены по-другому, верните их в указанное положение с помощью серых кнопок, которые находятся справа рядом с экраном осциллографа. Также в области триггерного меню есть настройка уровня сигнала (обозначена поворотной ручкой «УРОВЕНЬ» (Рис. 1.7)). Поворот этой ручки будет вызывать движение отметки (Рис. 1.8) триггера в левой части экрана. Для установления синхронизации настройте уровень таким образом, чтобы отметка попадала в область на экране, занимаемую сигналом первого канала осциллографа.

Для регулировки масштаба отображения сигнала по вертикальной оси, пользуйтесь большими поворотными ручками (Рис. 1.9) в меню «ВЕРТИК» (Рис. 1.10). Для смещения сигнала по вертикальной оси осциллографа пользуйтесь поворотными ручками «СМЕЩЕНИЕ» (Рис. 1.11) для каждого канала. Масштаб и смещение сигналов по горизонтальной оси регулируется аналогично в меню «ГОРИЗОНТ» (Рис. 1.12).

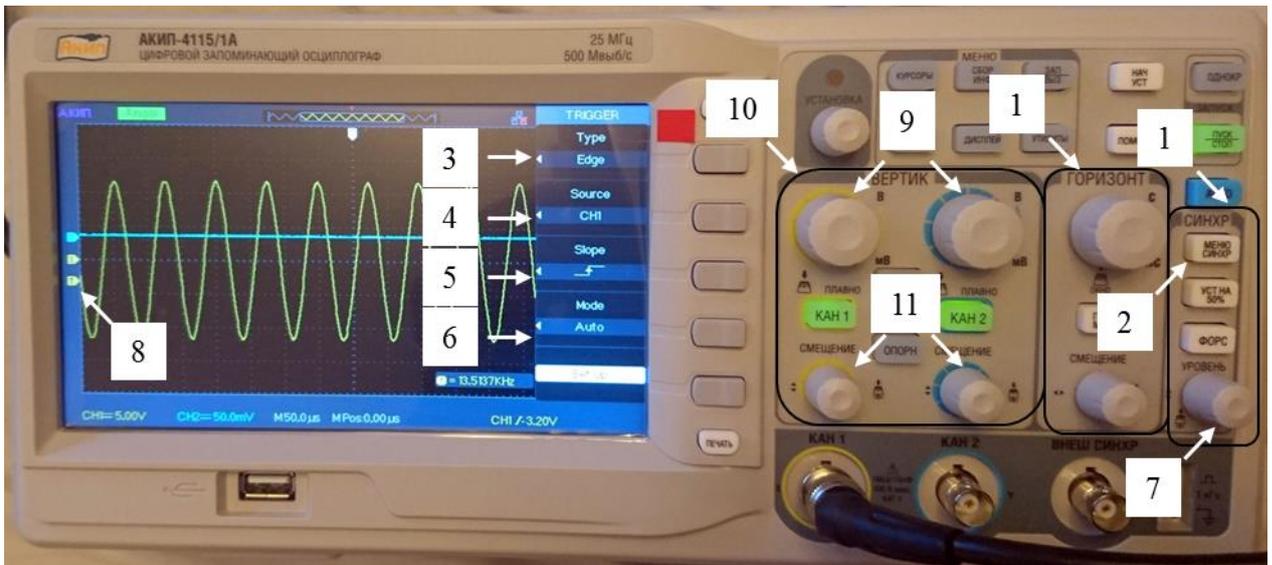


Рис. 1 Меню синхронизации осциллографа

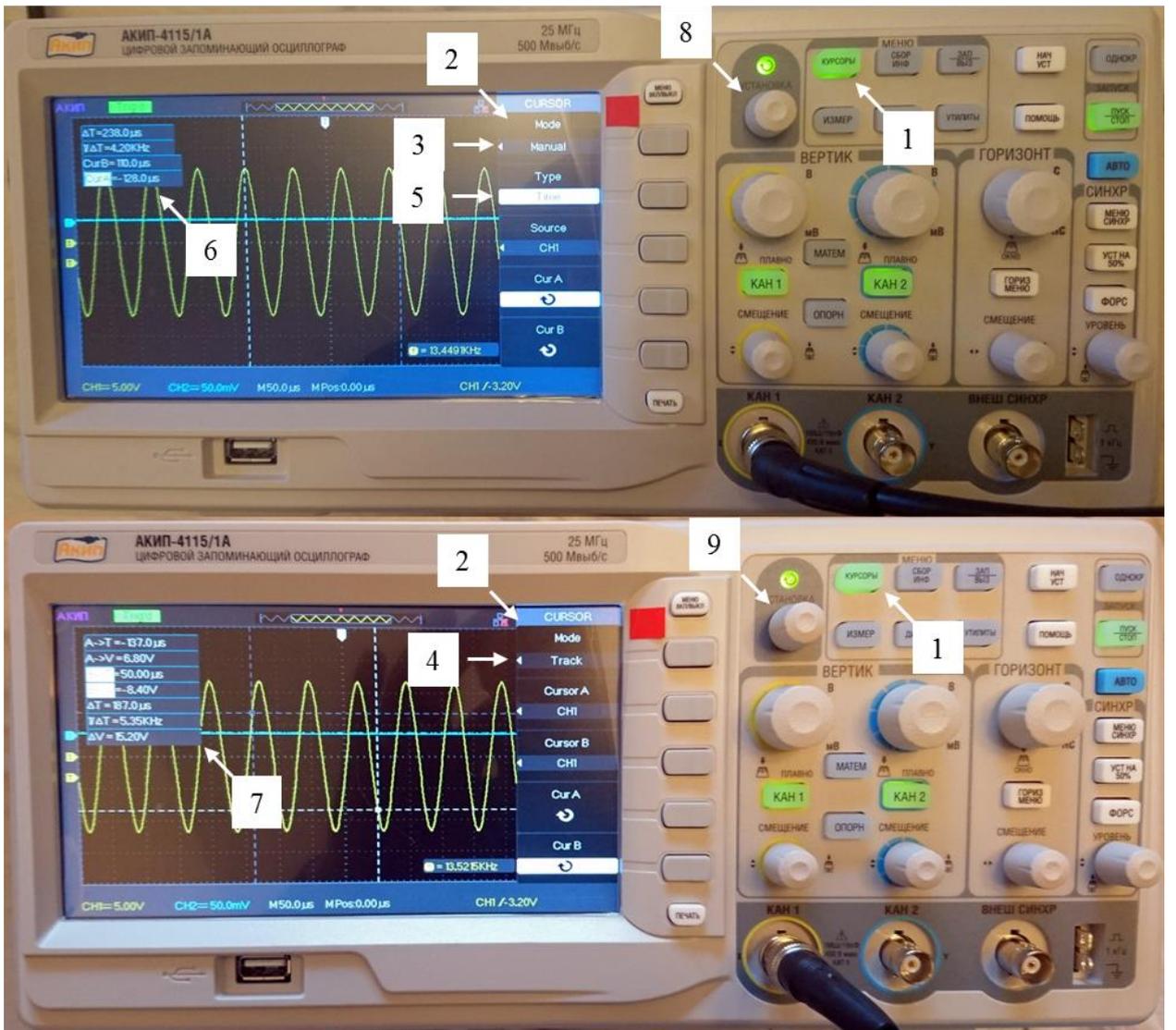


Рис. 2. Режимы «Manual» и «Track» меню «КУРСОРЫ» осциллографа.

Для измерений в работе, Вам может понадобиться меню курсоров (обозначено кнопкой «КУРСОРЫ» Рис. 2.1). Вы можете выбрать на Ваше усмотрение режимы «Manual» (Рис.

2.3) или «Track» (Рис. 2.4) в меню «Mode» (Рис. 2.2). Второе меню в режиме «Manual» позволяет регулировать выбор оси курсоров (Рис. 2.5). В режиме «Voltage» курсоры будут двигаться вдоль вертикальной оси и отображать значения напряжения на соответствующем их положении уровне. В режиме «Time» курсоры будут выполнять такую же функцию двигаясь по горизонтальной оси. В режиме «Track» курсор будет двигаться вдоль выбранного во втором или третьем пункте меню канала и отображать значение времени и величины сигнала в своем текущем положении. Регулировка положения курсоров осуществляется с помощи поворотной ручки «УСТАНОВКА». Для переключения между курсорами необходимо воспользоваться двумя нижними серыми кнопками, которые находятся рядом с экраном.

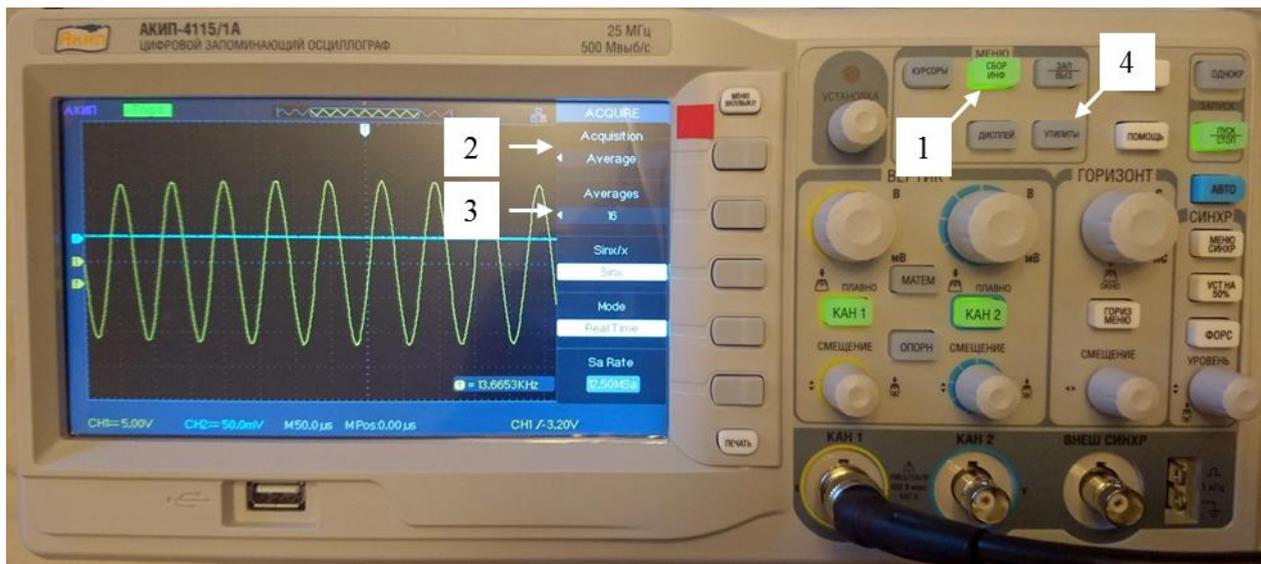


Рис. 3. Режим усреднения в осциллографе

В случае, если Ваш сигнал зашумлен или не стабилен по среднему положению, вы можете воспользоваться меню сбора сигнала, обозначенного кнопкой «СБОР ИНФ» (Рис. 3.1) и выбрать в первом меню меню «Acquisition» - режим «Average» (Рис. 3.2). В этом случае сигнал на экране осциллографа – будет результатом усреднения нескольких выборок сигнала. Количество усреднений можно выбрать во втором меню «Averages» (Рис. 3.3).

Переключение языка осциллографа происходит в меню «УТИЛИТЫ» (Рис. 3.4).

Генератор

Генератор – прибор, подающий на входные клеммы электрической цепи сигналы переменного тока различной формы и частоты. Тип сигнала генератора регулируется кнопками выбора синусоидального, прямоугольного и пилообразного сигнала (Рис. 4.1). Частота регулируется ручками «FREQUENCY» и «FINE» (Рис. 4.2). Диапазон частот регулируется меню «RANGE» (Рис. 4.3). Ручка «AMPL/INV» (Рис. 4.4) регулирует амплитуду сигнала. Ручка «SYM» (Рис. 4.5) в вытянутом положении регулирует симметричность сигнала относительно точки с максимальной амплитудой (предпочтительно выставить ручку в то положение, когда сигнал на выходе генератора максимально симметричен). Ручка «DC OFFSET» (Рис. 4.6) в вытянутом положении регулирует смещение среднего значения сигнала по напряжению относительно нуля (эту ручку необходимо установить в то положение, когда среднее значение сигнала не смещено по напряжению относительно нуля). Для вывода сигнала генератора во

внешнюю цепь при выполнении работы будет использоваться выход «OUTPUT 50Ω» (Рис. 4.7).



Рис. 4. Генератор

Ультразвуковой приемник/передатчик

Ультразвуковые приемник и передатчик полностью одинаковы по конструкции, то есть каждый из датчиков может быть использован как в роли приемника, так и в роли передатчика. Датчик (см. Рис. 5) состоит из пьезоэлектрической пластинки (1), металлической пластины (2), приклеенного к металлической пластине резонатора (3), и основания (4), на котором крепится датчик с помощью эластичного клея (5). Контакты датчика (6) подведены к двум сторонам пьезоэлектрической пластинки: с одной стороны напрямую, а с другой – через металлическую пластину. Конструкция датчика довольно хрупкая, наиболее уязвимым местом датчика является место крепления резонатора к металлической пластине. При проведении измерений соблюдайте аккуратность, стараясь не оторвать резонатор от металлической пластины.

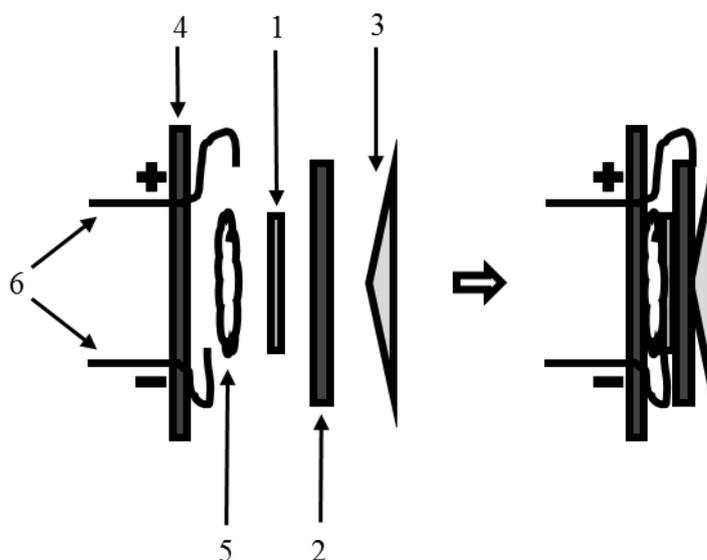


Рис. 5. Устройство пьезоэлектрического приемника/передатчика.

1 – пьезоэлектрическая пластинка, 2 – металлическая пластина, 3 – резонатор, 4 – основание,

5 – эластичный клей, 6 – контакты датчика.

Усилитель

Прибор, позволяющий увеличить амплитуду и мощность сигнала за счет источника питания постоянного напряжения.

Люксметр

Прибор предназначен для измерения освещенности в помещении. В данной задаче он будет использоваться как линейный фотодетектор. Это означает, что показания люксметра прямо пропорциональны суммарной мощности света, падающего на его измерительную головку. На измерительной головке люксметра есть кнопка «HOLD» - она фиксирует показания люксметра в течение того времени, пока находится в утопленном (нижнем) положении. Для продолжения измерений люксметром необходимо нажать эту кнопку еще раз, чтобы она перешла в верхнее (отжатое) положение.

Приборы и оборудование:

1. Осциллограф.
2. Генератор.
3. Усилитель.
4. Соединительные провода.
5. Коаксиальные кабели для осциллографа. «Плюс» кабеля осциллографа – выдвигающийся контакт, «Минус» – зажим «крокодил».
6. Коаксиальный кабель генератора.
7. Приемник и передатчик ультразвукового сигнала.
8. Рельс для перемещения датчиков.
9. Деревянная заготовка на подставке.
10. Отрезки деревянной линейки.
11. Штатив.
12. Электрический фонарик.
13. Два линейных поляризатора.
14. Круговой поляризатор.
15. Основы для поворота поляризаторов (поляризатор вставляется в основу и поворачивается в ней).
16. Люксметр.
17. Лазеры – фиолетовый (длина волны 405 нм), зеленый (длина волны 532 нм), красный (длина волны 650 нм).
18. Блок питания от лазеров и усилителя.
19. Пластилин.

Предисловие

Анизотропия – зависимость свойств среды от направления внутри этой среды. В этой работе вам предстоит исследовать анизотропию упругих и электрических свойств сред с помощью звуковых и электромагнитных волн.

Звуковые волны – упругие механические волны в среде. Скорость распространения звуковых волн определяется степенью отклика среды на механические деформации (упругими свойствами среды), а также плотностью среды. Если среда обладает анизотропией упругих свойств, то и скорость распространения звуковых волн в ней будет иметь различные значения в зависимости от ориентации волнового вектора в среде. В предложенной вам задаче будут изучаться лишь продольные звуковые волны (Рис. 1).

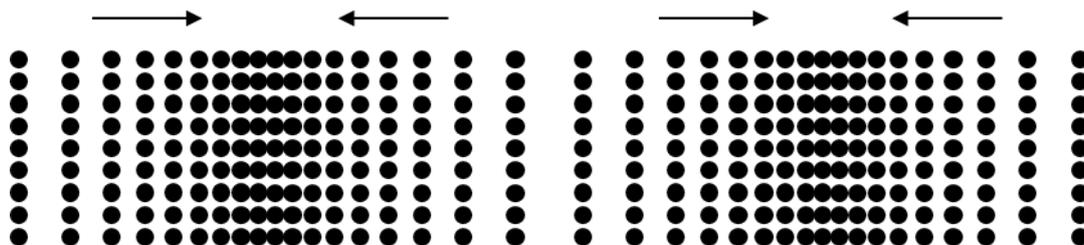


Рис. 1 Направление движения частиц в продольной звуковой волне.

Часть 1. Звуковые волны. Измерение скорости звука фазовым методом.

Пункт 1-0 (не оценивается).

В случае отсутствия опыта работы с осциллографом и генератором, подключите генератор напрямую к осциллографу. Попробуйте при различных типах сигнала, подающегося с генератора, получить стабильную картинку на экране осциллографа в режиме триггера «Авто». Также попробуйте воспользоваться режимом триггера «Однократный».

Пункт 1-1

Установите приемник и передатчик на рельс таким образом, чтобы резонаторы располагались напротив друг друга на расстоянии порядка 10 см. Подключите приборы согласно Рис. 2. Настройте генератор на режим подачи синусоидального сигнала максимальной амплитуды. Получите стабильную картинку на экране осциллографа в триггерном режиме «Авто» по первому каналу (каналу, подключенному к передатчику). Изменяя частоту генератора, наблюдайте за изменением амплитуды сигнала, поступающего с приемника. Определите с точностью до третьего знака значение частоты генератора, при которой сигнал на приемнике максимальный.

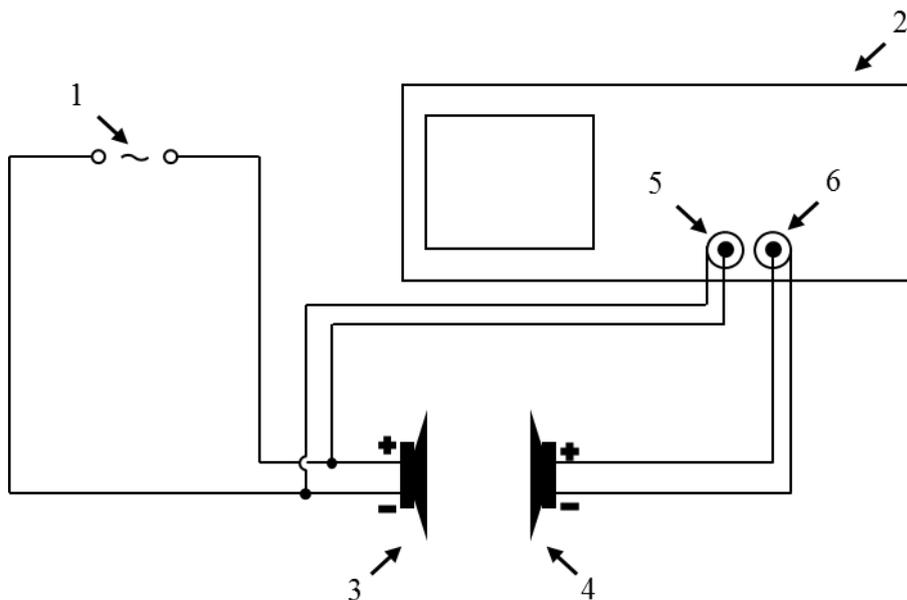


Рис. 2. Схема установки № 1.

1 – генератор, 2 – осциллограф, 3- передатчик, 4 – приемник,
5 – первый канал осциллографа, 6 – второй канал осциллографа.

Пункт 1-2

Не меняя частоты генератора, найденной в пункте 1-1, перемещайте приемник относительно передатчика по рельсу. Осциллограмма канала приемника в этом случае будет перемещаться по экрану относительно осциллограммы передатчика. По величине этого смещения определите длину упругой волны, созданной передатчиком в воздухе. Используйте для измерений не менее 5-ти точек.

Пункт 1-3

Какой формулой связаны частота и длина волны гармонического звукового сигнала? Рассчитайте скорость звука в воздухе по полученным данным.

Пункт 1-4 (не оценивается)

Войдите в режим «ДИСПЛЕЙ». На второй странице настроек в меню «Формат» поставьте режим XY. В этом режиме горизонтальная координата точки из выборки будет соответствовать текущей величине сигнала на первом канале осциллографа, а вертикальная координата точки будет соответствовать величине сигнала на втором канале осциллографа. Настройками масштаба добейтесь максимально одинаковой амплитуды осциллограммы по вертикальной и горизонтальной оси.

Пункт 1-5

При движении приемника относительно передатчика осциллограмма, называемая простейшей фигурой Лиссажу, будет изменяться. Зарисуйте пять принципиальных типов картин, получающихся на экране, и укажите разности фаз между сигналом от приемника и от передатчика, подходящие этим типам картин.

Часть 2. Измерение скорости звука импульсным методом. Анизотропия скорости звука в дереве.

Пункт 2-1

Переведите генератор в режим подачи прямоугольного сигнала. Установите частоту сигнала 2,5 Гц и максимальную амплитуду. Разместите приемник и передатчик на расстоянии 5 см друг от друга. После вертикального фронта сигнала на передатчике (переход от низкого уровня напряжения к высокому на осциллограмме), на приемнике с некоторой задержкой появляется небольшой сигнал. Зарисуйте характерный вид принятого сигнала в масштабе, когда задержка между фронтом сигнала на передатчике и началом сигнала на приемнике составляет порядка 1/3 ширины экрана осциллографа. Укажите на рисунке положение вертикального фронта сигнала на передатчике. Увеличьте расстояние между источником и приемником до 10 см. Зарисуйте в соседнем окне ответов характерный вид нового сигнала на приемнике в том же масштабе по вертикальной и горизонтальной оси, стараясь отобразить основные изменения второй осциллограммы по сравнению с первой.

Пункт 2-2

Назовем временем задержки промежутком времени между вертикальным фронтом сигнала на передатчике и первым пиком сигнала на приемнике. Измерьте зависимость времени задержки от расстояния между передатчиком и приемником с помощью режима «КУРСОРЫ» осциллографа. Измерьте время задержки для не менее чем 7-ми расстояний между приемником и передатчиком. Постройте график измеренной зависимости, определите по этому графику скорость распространения звука в воздухе в вашей комнате. Определите собственное время задержки между сигналами на передатчике и приемнике (то есть время задержки при нулевом расстоянии между краями резонаторов приемника и передатчика).

Пункт 2-3

Вставьте между приемником и источником отрезок деревянной линейки (так, чтобы он держался и не падал). Будьте осторожны с резонаторами передатчика и приемника – они легко деформируются при неравномерной нагрузке, а также могут оторваться от металлических пластин, к которым они прикреплены, что испортит качество ваших измерений. В случае повреждения резонатора обратитесь к наблюдателю в аудитории. Подключите приемник ко входу усилителя, не забудьте подключить усилитель к блоку питания. Второй канал осциллографа подключите к выходу усилителя (Рис. 3. Схема установки № 2., Рис. 3). Проверьте полярность собранной схемы и положение выводов «In» и «Out» усилителя. Убедитесь, что после подключения усилителя амплитуда сигнала на приемнике увеличилась. Меняя отрезки линейки, измерьте зависимость времени задержки от длины отрезка деревянной линейки. Постройте график этой зависимости. Определите по нему скорость распространения звука в линейке и собственное время задержки между сигналами на приемнике и передатчике.

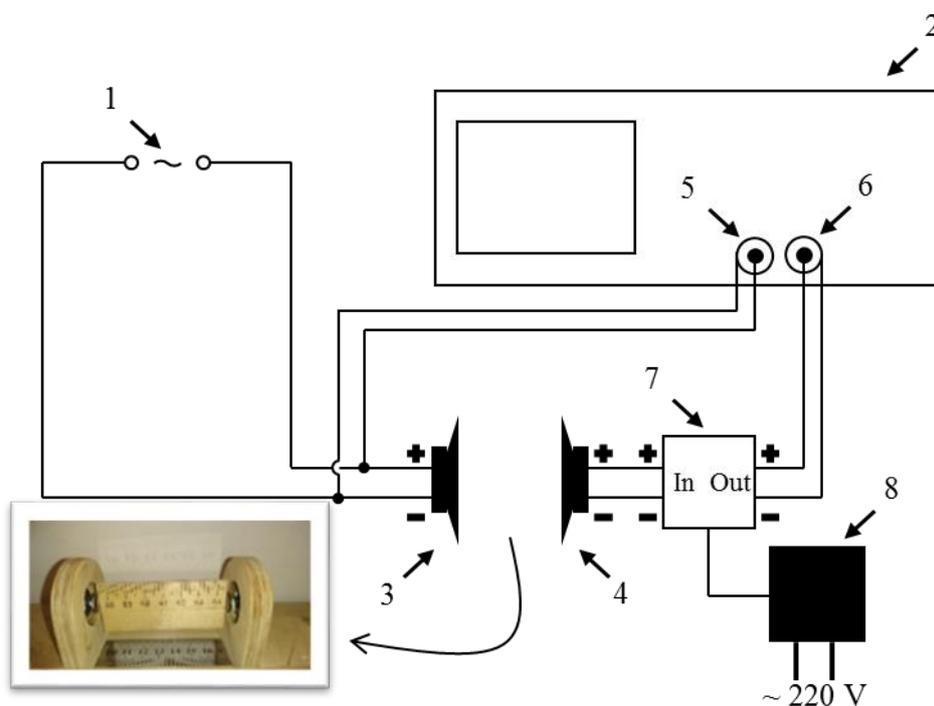


Рис. 3. Схема установки № 2.
1 – генератор, 2 – осциллограф, 3 – передатчик, 4 – приемник,
5 – первый канал осциллографа, 6 – второй канал осциллографа,
7 – усилитель, 8 – блок питания.

Пункт 2-4

Измерьте и запишите диаметр деревянной заготовки. Установите деревянную заготовку на подставке между приемником и передатчиком. Плотно, но аккуратно прижмите к заготовке приемник и передатчик в диаметрально противоположных точках напротив угловых отметок (0, 0). Измерьте зависимость времени задержки между фронтом сигнала на передатчике и первым пиком сигнала на приемнике от угла поворота заготовки. Измерения проведите, поворачивая заготовку каждый раз на 15° в интервале от 0 до 180°. Запишите формулу для расчета скорости звука в заготовке, считая, что собственное время задержки совпадает с величиной, измеренной в пункте 2-3. Определите скорость звука для разных направлений его распространения в деревянной заготовке.

Постройте график зависимости скорости звука от угловой координаты. Укажите минимальную и максимальную скорость распространения звуковых волн в заготовке. Каким направлениям – «вдоль волокон древесины» или «поперек волокон древесины» – соответствуют эти скорости?

Часть 3. Электромагнитные волны. Изучение естественного и линейно поляризованного света.

Электромагнитная волна – это распространяющееся в пространстве с течением времени электромагнитное колебание, т.е. колебание векторов напряженности электрического поля (\vec{E}) и индукции магнитного поля (\vec{B}). Электромагнитные волны поперечны для обоих векторов, т.е. направления колебаний \vec{E} и \vec{B} перпендикулярны направлению распространения волны, а также сами направления колебаний \vec{E} и \vec{B} перпендикулярны друг другу (Рис. 4). Для удобства в электромагнитной волне рассматривают только вектор \vec{E} .

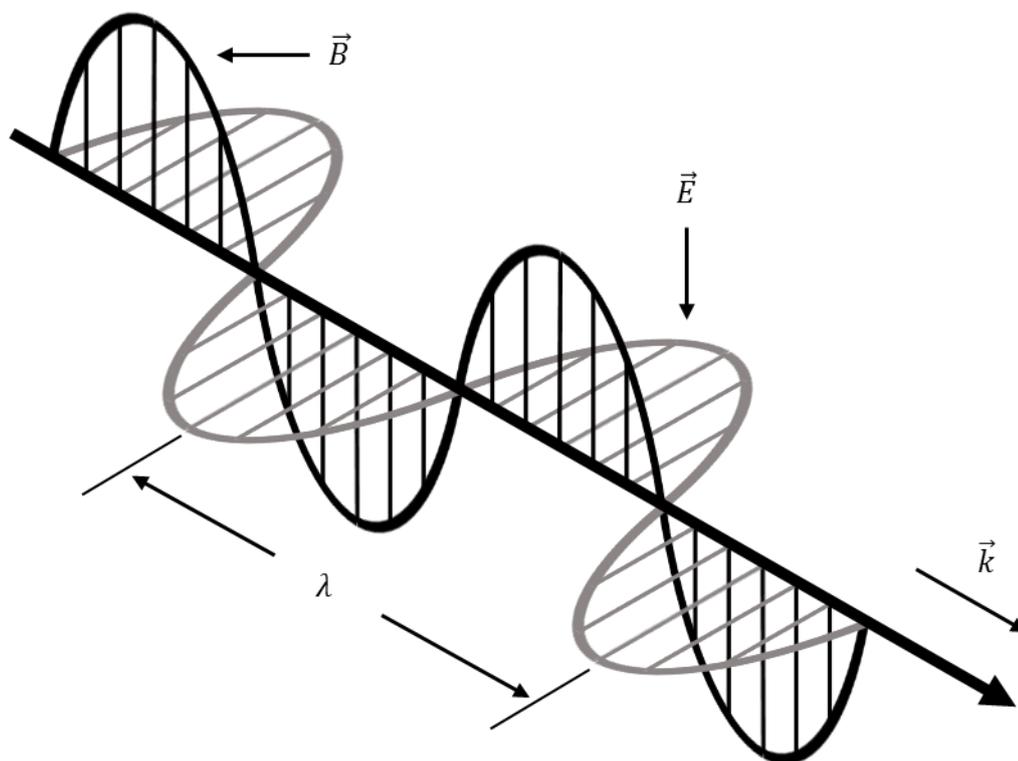


Рис. 4. Электромагнитная волна.

\vec{E} – вектор электрического поля, \vec{B} – вектор магнитного поля,
 \vec{k} – вектор направления распространения электромагнитной волны, λ – длина волны.

В общем случае свет является совокупностью множества электромагнитных волн. Если измерять зависимость модуля напряженности электрического поля от времени в точке, через которую проходит свет, то в каждый момент времени вектор напряженности будет находиться в соответствии с принципом суперпозиции. Поэтому, ввиду большого количества складывающихся электромагнитных волн, напряженность будет изменяться хаотически. Такой свет называют естественным. Если же существует определенное направление распространения волны, и ее вектор \vec{E} также колеблется строго вдоль одного

направления, то такой свет называют линейно поляризованным. Плоскость, в которой лежат направление распространения света и направление колебаний вектора \vec{E} , называется плоскостью поляризации. Линейно поляризованный свет можно получить из естественного путем пропускания его через линейный поляризатор. Линейным поляризатором (ЛП) называется оптический прибор, который пропускает только ту составляющую падающей на него световой волны, которая поляризована в определенной плоскости (то есть линейный поляризатор сделан из материала с анизотропией пропускания колебаний вектора напряженности \vec{E}). Эта плоскость называется плоскостью пропускания (ПП) линейного поляризатора. Вторая же составляющая излучения, перпендикулярная ПП, поглощается поляризатором. На Рис. 5 пояснен принцип работы ЛП (волна распространяется слева направо).

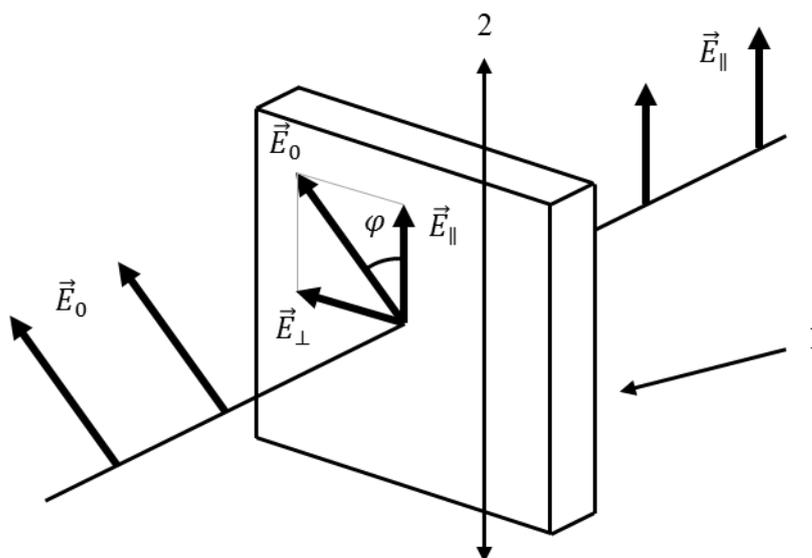


Рис. 5. Прохождение света через линейный поляризатор.
1 – линейный поляризатор, 2 – плоскость поляризации линейного поляризатора

Здесь \vec{E}_0 – амплитуда напряженности электрического поля линейно поляризованной падающей волны, \vec{E}_{\parallel} – амплитуда напряженности прошедшей через ЛП волны, $|\vec{E}_{\parallel}| = |\vec{E}_0| \cdot \cos \varphi$, а φ – угол между \vec{E}_0 и \vec{E}_{\parallel} .

Из теории электромагнитных волн известно, что интенсивность света пропорциональна квадрату усредненной по времени амплитуды напряженности электрического поля. Таким образом, для рассмотренной на Рис. 5 системы можно найти зависимость интенсивности прошедшей волны от интенсивности падающей волны и угла φ (закон Малюса):

$$I_{\text{прошедшая}} = I_{\text{падающая}} \cdot \cos^2 \varphi.$$

Пункт 3-1

Считая, что фонарик излучает естественный свет, соберите и зарисуйте установку для проверки закона Малюса. Используйте для этого два ЛП, фонарик, штатив и люксметр. Измерьте зависимость (не менее 10-ти точек) интенсивности прошедшего через систему света от угла между направлениями пропускания линейных поляризаторов в пределах от 0 до 360°. Линеаризуйте полученную зависимость и постройте ее график. По полученному

графику сделайте вывод о справедливости закона Малюса. В выданных вам ЛП плоскость пропускания ориентирована вдоль линии углов $0^\circ - 0^\circ$ (по шкале на оправе ЛП).

Свет лазера является частично поляризованным, т.к. содержит и линейно поляризованную, и естественную компоненты. Для частично поляризованного света вводят понятие степени поляризации:

$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}},$$

где I_{max} и I_{min} – максимально и минимально возможные интенсивности прошедшего через ЛП света соответственно.

Пункт 3-2

Соберите установку для измерения степени поляризации света, показанную на Рис. 6. Измерьте степень поляризации света красного лазера. Сделайте вывод о применимости модели линейно поляризованного света к излучению этого лазера. (Внимание! Для корректной работы лазера, включите его в сеть и подождите 5 минут для стабилизации интенсивности излучаемого света).

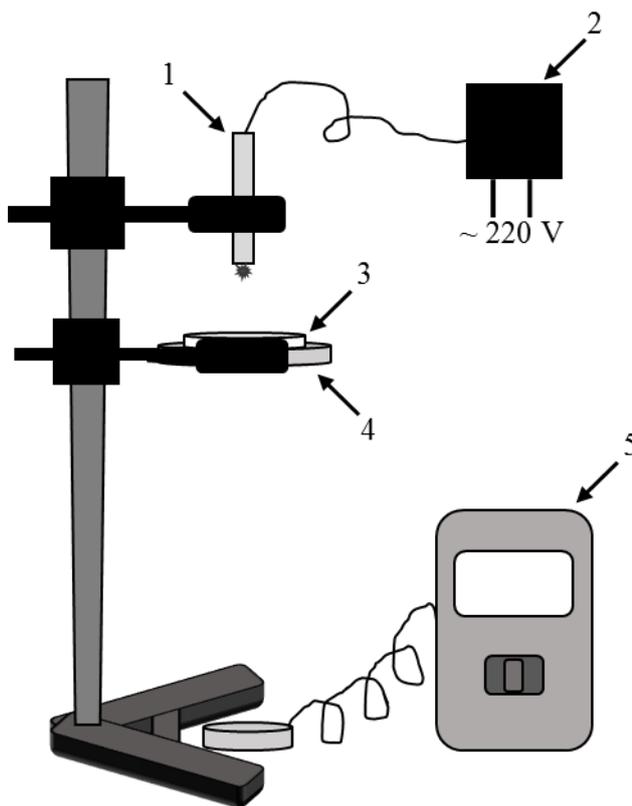


Рис. 6. Схема установки для измерения степени поляризации света лазера.

1 – лазер, 2 – блок питания, 3 – линейный поляризатор,

4 – основа для поворота поляризатора,

5 – люксметр (измерительная головка прикреплена к поверхности стола с помощью пластилина).

Часть 4. Изучение эллиптически поляризованного света.

Помимо линейных поляризаторов также существуют круговые поляризаторы (КП). Они состоят из линейного поляризатора и помещенного сразу же за ним слоя

анизотропного вещества (будем для краткости условно называть этот слой «кристаллом»). Сначала свет проходит через ЛП, а затем уже линейно поляризованный свет проходит через кристалл. В кристалле одна световая волна при преломлении «распадается» на две (обыкновенную и необыкновенную) с взаимно перпендикулярными плоскостями поляризации. Линейный поляризатор и кристалл расположены таким образом, что интенсивности (а, значит, и амплитуды напряженностей электрических полей) обыкновенной и необыкновенной волн равны. То есть плоскость поляризации ЛП, входящего в состав КП направлена под углом в 45° к направлениям поляризации обыкновенной и необыкновенной волн.

Кристалл имеет анизотропию – скорости обыкновенной и необыкновенной волн в нем различны. Сначала фазы этих волн одинаковы, но затем, из-за разности скоростей, между обыкновенной и необыкновенной волнами накапливается разность фаз.

Пусть $\vec{E}_o(t)$ и $\vec{E}_e(t)$ – напряженности электрических полей обыкновенной и необыкновенной волн соответственно. Рассмотрим (Рис. 7), как будет зависеть суперпозиция этих напряженностей от разности фаз между ними после прохождения кристалла:

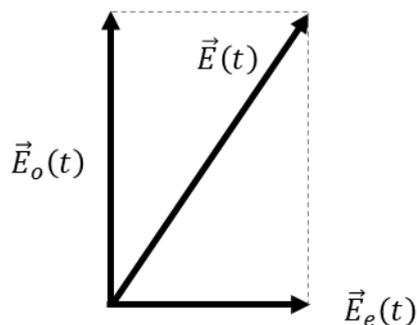


Рис. 7. Суперпозиция обыкновенной и необыкновенной волн.

$$\begin{cases} \vec{E}_o(t) = \vec{E}_o^A \cos \theta, \\ \vec{E}_e(t) = \vec{E}_e^A \cos(\theta + \delta). \end{cases}$$

Здесь \vec{E}_o^A и \vec{E}_e^A – амплитуды напряженностей полей обыкновенной и необыкновенной волн, $\theta = \omega t$ – фаза обыкновенной волны, ω – круговая частота световых колебаний, δ – разность фаз между волнами.

Пункт 4-1

Частоты колебаний векторов $\vec{E}_o(t)$ и $\vec{E}_e(t)$ одинаковы. Какие траектории может «описывать» конец вектора $\vec{E}(t)$? Схематически зарисуйте все возможные варианты. Какой разности фаз между обыкновенной и необыкновенной волной отвечают эти траектории?

Пункт 4-2

Определите, с какой стороны КП находится ЛП, входящий в его состав. Определите положение плоскости пропускания ЛП, входящего в состав КП. Изобразите схему/схемы используемой установки и дайте к ней краткий текстовый комментарий (если сможете – то на английском, если нет – то на родном языке). Определите положение ПП линейного поляризатора. Ответ дайте в градусах (шкала нанесена на оправе КП).

Свет, прошедший через КП, называется эллиптически поляризованным.

Пункт 4-3

Соберите установку, показанную на Рис. 8 (ЛП, входящий в состав КП, должен располагаться ближе к лазеру!). КП поверните таким образом, чтобы свет от лазера, проходящий через КП, имел максимальную интенсивность. Помните, что для стабилизации мощности лазера необходимо перед началом измерений подождать несколько минут после включения лазера в сеть. Измерьте для трех лазеров зависимость интенсивности прошедшего через систему света от угла φ между плоскостями пропускания ЛП и ЛП, входящего в состав КП, **меняя положение только ЛП** (для зеленого лазера сделайте только два измерения – для максимальной и минимальной интенсивностей). На выданной вам полярной сетке координат постройте графики исследуемых зависимостей для красного и фиолетового лазеров, нормированные на единицу по интенсивности, и укажите, какому лазеру соответствует каждый график. Для всех трех лазеров измерьте как можно точнее максимальную и минимальную интенсивности света в измеренных зависимостях.

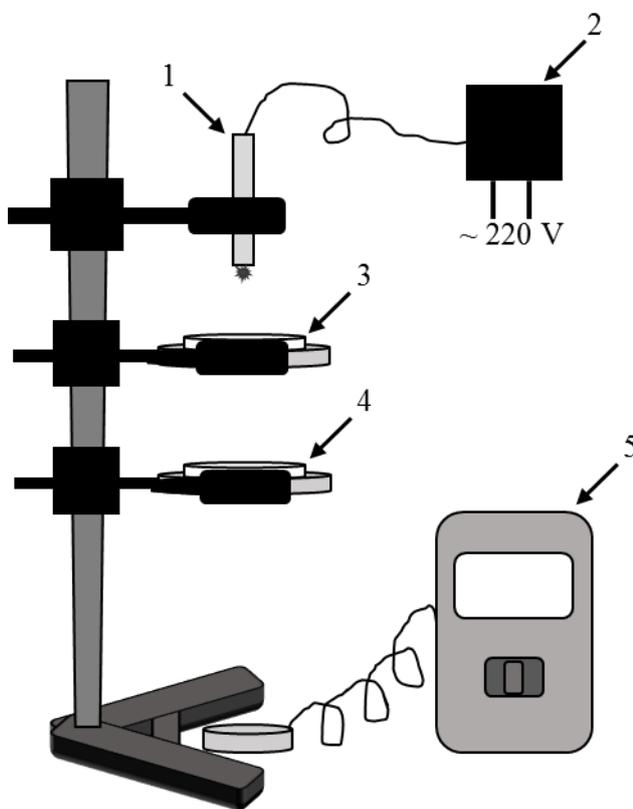


Рис. 8. Схема установки для изучения эллиптической поляризации.
1 – лазер, 2 – блок питания, 3 – круговой поляризатор,
4 – линейный поляризатор, 5 – люксметр.

Пункт 4-4

Запишите величины интенсивностей обыкновенной и необыкновенной волн после прохождения ЛП, стоящего после КП. Выведите формулу, описывающую полученные в пункте 4-3 зависимости, используя формулу для интерференции двух линейно поляризованных волн одной частоты:

$$I_{\text{прошедшая}} = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta$$

где I_1, I_2 – интенсивности двух линейно поляризованных в одной плоскости волн одинаковой частоты, δ – разность фаз между этими волнами.

Пункт 4-5

Зная максимальную и минимальную интенсивности (измерены в пункте 4-3) выведите формулу отношения длин большой и малой полуосей эллиптических траекторий конца вектора \vec{E} для трех лазеров и получите их численные значения. Постройте схематически графики зависимостей $\frac{E}{E_{max}}(\varphi)$ в полярных координатах для каждого лазера, соблюдая отношение полуосей и ориентации эллипсов. Здесь E_{max} – максимальный модуль вектора \vec{E} в световой волне, прошедшей через КП. Укажите соответствие цветов лазеров графикам.

Если после прохождения КП траектория конца вектора $\vec{E}(t)$ является окружностью, то прошедшую волну называют циркулярно поляризованной, поляризация волны называется круговой, а КП действительно является круговым именно для данной длины волны.

Пусть δ – разность фаз между обыкновенной и необыкновенной волнами после прохождения КП. Выразим величину δ через промежутки времени, за которые каждая из волн прошла анизотропный кристалл:

$$\delta = \omega(t_o - t_e) = \frac{2\pi c}{\lambda}(t_o - t_e),$$

где ω – угловая частота вращения векторов \vec{E}_o и \vec{E}_e , а t_o и t_e – промежутки времени, за которые обыкновенная и необыкновенная волны, соответственно, проходят сквозь кристалл, λ – длина волны в вакууме (воздухе).

Пункт 4-6

Запишите формулу, с помощью которой из уже известных вам величин можно вычислить разность фаз δ между обыкновенной и необыкновенной волной после прохождения КП для каждого лазера. Длины волн лазеров указаны в списке оборудования. Вычислите δ для каждой длины волны из данных, полученных при выполнении пункта 4.3. Постройте линеаризованный график исследуемой зависимости разности фаз δ от длины волны λ лазера и определите, для какой длины волны изучаемый КП действительно является круговым поляризатором.