

## *Измерение скорости света с помощью лазерного дальномера*

Цель работы: научиться измерять скорость света по времени прохождения лазерного импульса, определить показатели преломления некоторых сред.

### Решаемые задачи:

- освоить метод определения скорости света с помощью лазерного дальномера;
- определить скорость света в воздухе;
- определить показатели преломления воды и акрилового стекла;
- определить показатель преломления стеклянной призмы.

### Оптические элементы и аппаратура:

- ✓ лазерный сенсор перемещений S (1);
- ✓ сенсор Cassy 2 (2);
- ✓ Cassy Lab (компьютер) (3);
- ✓ концевые буферы (4);
- ✓ металлическая линейка (5);
- ✓ емкость из витринного стекла 50 x 50 x 50 мм (6);
- ✓ акриловый стеклянный брусок (7);
- ✓ стеклянная призма (8).

В среде, обладающей показателем преломления  $n$ , отличным от единицы, фазовая скорость распространения электромагнитных волн  $c_m$  выражается следующим образом:

$$c_m = \frac{c}{n}, \quad (1)$$

где  $c$  – скорость электромагнитных волн в вакууме (около  $3 \cdot 10^8$  м/с).

Измерив время, которое свет затрачивает на прохождение известного расстояния в веществе, можно определить  $c_m$  и, соответственно, показатель преломления этой среды.

В лазерных дальномерах для измерения расстояний используется периодически модулированный лазерный луч. Поскольку частота модуляции известна, определив сдвиг фаз между испущенным и отраженным лазерным лучом, можно измерить время, которое луч затрачивает на прохождение до препятствия и обратно. Поэтому в лазерном дальномере результатом прямого измерения является время, а не расстояние, пройденное лучом. Расстояние рассчитывается исходя из известной скорости света в воздухе. В предлагаемой работе лазерный сенсор перемещений используется, в основном, именно для измерения времени прохода лазерного луча до препятствия и обратно.

### Порядок выполнения работы:

#### Упражнение 1. Измерение скорости света в воздухе.

Собрать установку, схема которой приведена на рис. 1.

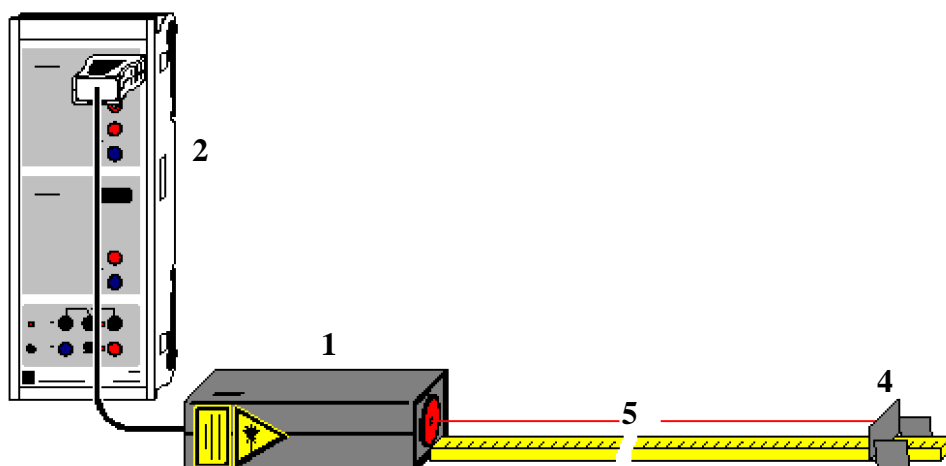


Рис. 1. Схема установки для измерения скорости света.

**Внимание! При работе с лазерным сенсором перемещений нужно соблюдать меры предосторожности:**

**Не допускать попадания прямого или отраженного лазерного луча в глаза – не заглядывать внутрь сенсора.**

Положить лазерный сенсор перемещений S (1) на стол широкой стороной корпуса вниз. С помощью соединительного кабеля подключить сенсор S к входу сенсора Cassy 2 (2). Cassy 2 с помощью кабеля USB подключить к компьютеру. Вплотную к лазерному сенсору на стол положить металлическую линейку (5), как показано на рисунке (отсчет значений начинается от сенсора). Перемещая концевой буфер (4) с наклеенной на нем специальной светоотражающей бумагой вдоль оптического пути, убедиться в том, что лазерное пятно полностью попадает в область светоотражающей полосы бумаги вплоть до расстояний порядка 70 см от передней стенки лазерного сенсора. Если это не так, перевернуть сенсор S и положить его на другую широкую сторону.

Установить концевой экран перпендикулярно лучу лазера над линейкой на расстоянии 30 см от передней стенки лазерного сенсора (расстояния измеряются по металлической линейке) таким образом, чтобы лазерный луч попадал в центр светоотражающей полосы. Перед проведением непосредственно измерений необходимо дать лазерному сенсору прогреться в течение примерно 5 минут.

Запустить на компьютере программу Cassy Lab 2. В появившемся окне с изображением интерфейса Cassy 2 нажать кнопку «Close». Загрузить настройки для выполнения работы. Для этого зайти «File – Open» и выбрать место D:/Experiment/. В открывшемся окне выбрать для отображения все файлы – «All Files». Открыть файл «Velocityc.labs». Повторно закрыть окно с изображением Cassy 2. В случае, если настройки программы (область 1 на рис. 2) не отображаются, нажать кнопку «Show Settings» (2 на рис. 2).

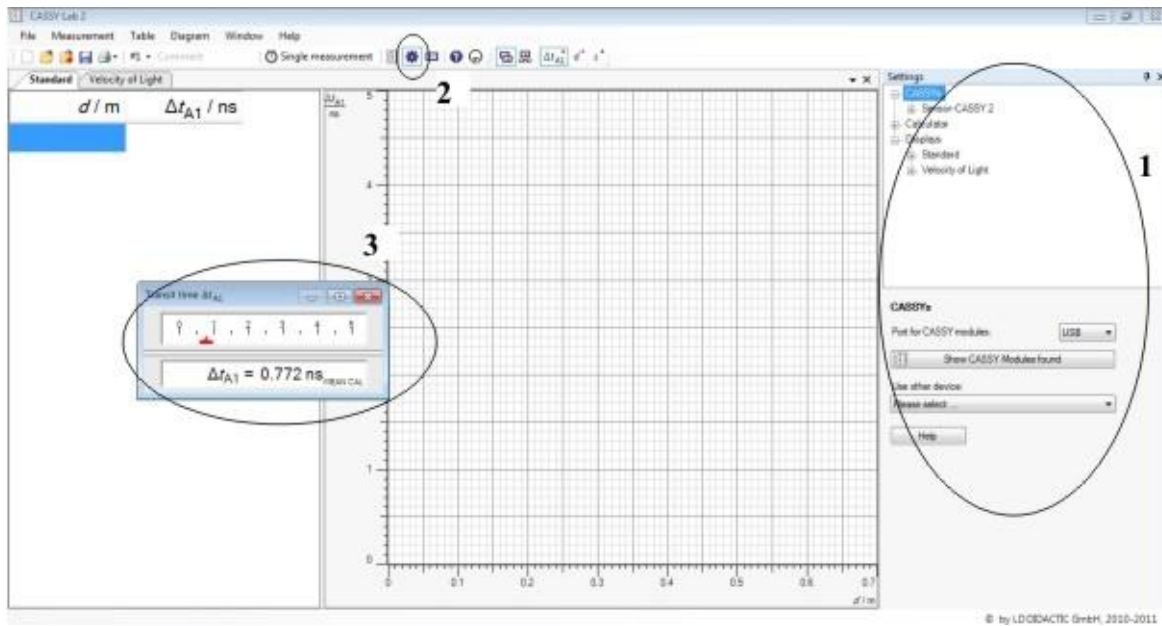


Рис. 2. Внешний вид окна программы Cassy Lab 2 после загрузки настроек «Velocityс». 1 – область настроек программы, 2 – кнопка «Show Settings», 3 – малое окно измерений.

Далее в окне настроек программы раскрыть последовательно вкладки Sensor-Cassy2 - Input A<sub>1</sub> (Laser motion sensor S) - Transit time  $\Delta t_{A1}$ . В нижней части области 1 должно появиться окно настроек для измерения времени прохождения лазерного импульса. Измеряемой величиной должно быть выбрано время  $\Delta t_{A1}$ . Его значения непрерывно отображаются в малом окне измерений (область 3 на рис. 2). Занулить время прохождения лазерного луча до положения экрана 30 см путем нажатия кнопки “→0←” в нижней части окна настроек  $\Delta t_{A1}$ . Теперь значения  $\Delta t_{A1}$  в окне измерений должны быть в районе 0.

В левой части рабочего окна должна быть открыта вкладка Standard, которая будет заполняться в процессе измерений (как показано на рис. 2). Лево́й кнопкой мыши (ЛКМ) выбрать первую строку левого столбца ( $d/m$ ), записать туда с клавиатуры значение 0, нажать Enter. Таким же образом выбрать первую строку правого столбца ( $\Delta t_{A1}/ns$ ), нажать F9. Должно появиться значение 0.000. Отодвинуть концевой экран от лазерного сенсора еще на 10 см (значение по линейке – 40 см), ЛКМ выбрать вторую строку столбца ( $d/m$ ), записать значение в метрах 0.1. Выбрать вторую строку столбца ( $\Delta t_{A1}/ns$ ), нажать F9. В ячейке таблицы должно появиться измеренное значение (стоит помнить, что сенсор измеряет полное время прохождения до препятствия и обратно). Повторить измерения с интервалом в 10 см до положения экрана 70 см по линейке (занулять значение времени больше не нужно). Продолжать заполнять таблицу, каждый раз кнопкой F9 записывая измеренное значение времени прохождения луча до препятствия и обратно.

После заполнения всех ячеек перейти на вкладку Velocity of Light, которая к этому времени будет содержать ту же самую таблицу, но столбцы поменяются местами. В правой части рабочей области по оси x будет отложено время в ns, по оси y – расстояние в метрах. Точками показаны экспериментальные данные. Для определения скорости света в воздухе необходимо аппроксимировать

экспериментальную зависимость прямой линией. Для этого открыть раздел из верхней строки программы Diagram, выбрать пункт Fit Function, Best-fit Straight Line. При нажатой ЛКМ навести курсор на самую первую точку (0,0) и, не отпуская кнопку мыши, провести линию через все точки (они должны окрашиваться голубым цветом). В конце отпустить ЛКМ - программа проведет через точки прямую оптимальным образом. Параметры прямой линии указаны в левом нижнем углу окна программы (при работе с вкладкой Velocity of Light параметры будут рассчитаны с учетом прохождения лучом двойного расстояния – до препятствия и обратно – то есть полученное значение не нужно нормировать на 2).

Определить скорость света в воздухе. Сравнить с табличным значением.

*Упражнение 2. Определение показателей преломления воды и акрилового стекла с помощью лазерного дальномера.*

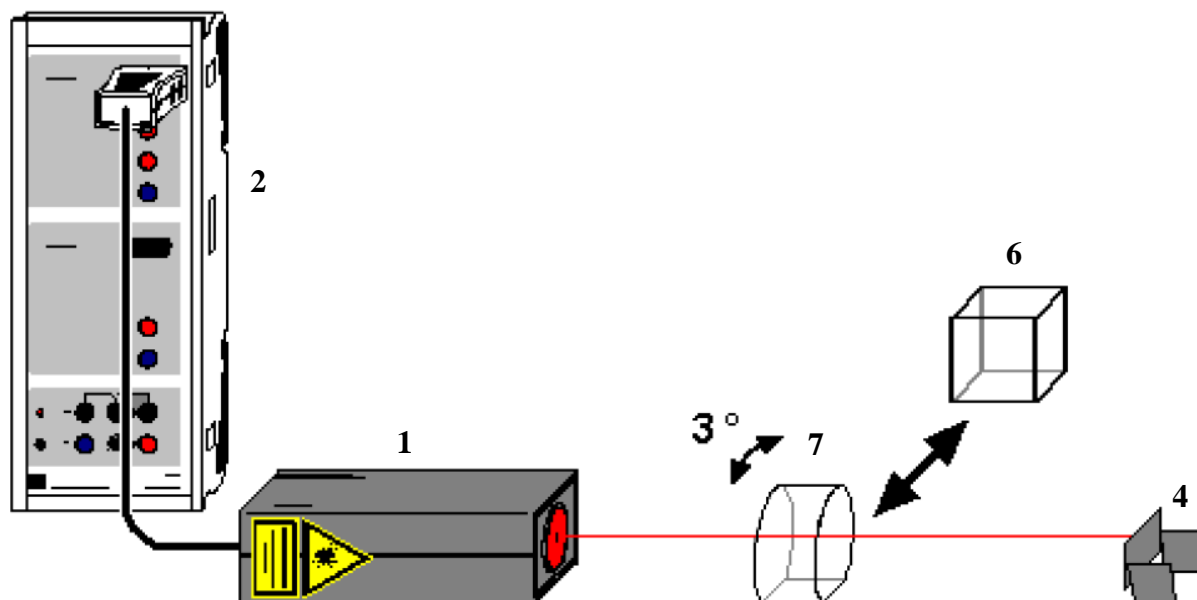


Рис. 3. Схема установки для определения показателей преломления воды и акрилового стекла.

Для выполнения этого упражнения нужно установить на стол концевой экран перпендикулярно лазерному пучку на расстоянии ~50 см от передней стенки лазерного сенсора. После этого металлическую линейку можно убрать со стола. В программе Cassy Lab 2 загрузить значение времени прохождения пучка до экрана (см. упр. 1). Затем на пути пучка следует установить акриловый брусок (7) таким образом, чтобы отраженный от передней грани бруска луч не вернулся в ту точку, из которой был испущен. Для этого акриловый брусок необходимо слегка повернуть приблизительно на 3°. Записать измеренное время  $\Delta t_1$ , которое, по сути, является разницей между временем прохода лазерного луча без бруска и с бруском. Измерив с помощью линейки длину акрилового бруска  $d$ , определить показатель преломления вещества бруска по формуле:

$$n = 1 + \frac{c}{2d} \Delta t . \quad (2)$$

Убрать с оптического пути акриловый брусок. Вместо него установить на пути лазерного луча сухую стеклянную ячейку 6, так же повернув ее на угол приблизительно в  $3^\circ$ . Увеличение оптического пути за счет такого поворота составляет меньше 1%, и им можно пренебречь. Занулить значение времени прохождения в программе Cassy Lab 2. Затем аккуратно, не сдвигая с места, заполнить стеклянную ячейку водой и записать измеренное время  $\Delta t_2$ . Зная длину ребра стеклянной ячейки, определить показатель преломления воды по формуле 2. Сравнить с табличным значением.

Упражнение 3. Определение показателей преломления стеклянной призмы.

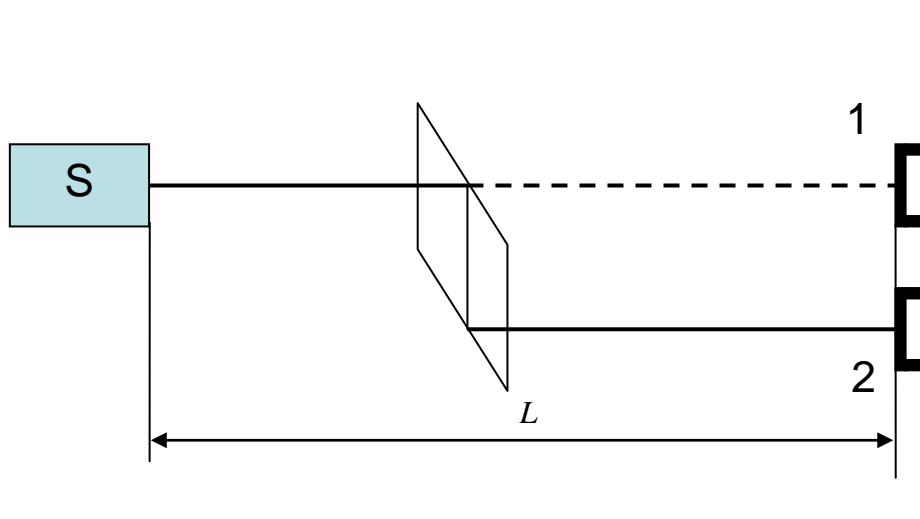


Рис. 4. Схема установки для определения показателей преломления стеклянной призмы с углом при основании  $45^\circ$ . Здесь S – лазерный сенсор, 1 и 2 – положения концевой буфера.

В этом упражнении необходимо сохранять постоянным расстояние между лазерным сенсором и плоскостью, в которой находится передняя поверхность концевой буфера со светоотражающей полоской (расстояние  $L$  на рис. 4). Используется та же схема установки, что и в упражнении 2. Первоначально призмы на оптическом пути нет, буфер находится на расстоянии  $\sim 50$  см от передней стенки лазерного сенсора (положение 1 на рис. 4). Для сохранения расстояния между лазерным сенсором и плоскостью буфера можно воспользоваться линейкой, положив ее на стол вплотную к задней части буфера. Занулить значение времени прохождения лазерного луча в программе Cassy Lab 2. Поместить на путь лазерного пучка призму с углом при основании  $45^\circ$ , как показано на рис. 4. При этом передняя грань призмы должна быть почти перпендикулярна лучу лазера (с учетом того, что луч, отраженный от передней грани призмы, не должен попадать в отверстие лазерного сенсора). Аккуратно вдоль линейки передвинуть концевой буфер таким образом, чтобы лазерный луч по-прежнему попадал в центр светоотражающей полоски (положение 2 на рис. 3). Записать измеренное значение времени  $\Delta t$ .

Вывести рабочую формулу для определения показателя вещества призмы в данном упражнении (она не эквивалентна формуле (2)). Зная линейные размеры призмы, определить показатель преломления вещества призмы.

### Вопросы к обсуждению с преподавателем.

1. Фазовая и групповая скорости света.
2. Способы определения скорости света.
3. Что такое оптический путь? Когда он меняется в эксперименте?
4. Вывести формулу (2).
5. Почему в данной работе лазерный дальномер используется для определения времени, а не расстояния?
6. Получить формулу для определения показателя преломления призмы в упражнении 3. Объяснить ход луча в призме.

### Литература

1. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Учеб. пособие: Для вузов. В 5 т. Т. IV. Оптика. — 3-е изд., стереот. — М.: Физматлит, 2006. - 792 с. §§ 1-7.
2. Ландсберг Г. С. Оптика. Учеб. пособие: Для вузов. — 6-е. изд., стереот. — М.: Физматлит, 2003. — 848 с. §§ 44, 45-48, 52, 53. §§ 69,70.
3. Савельев И. В. Курс общей физики: [учеб. пособие для втузов]: в 5 кн. / И. В.Савельев. — Москва: Астрель: АСТ, 2004. Кн. 4: Волны. Оптика. — 2004. — 56 с.