

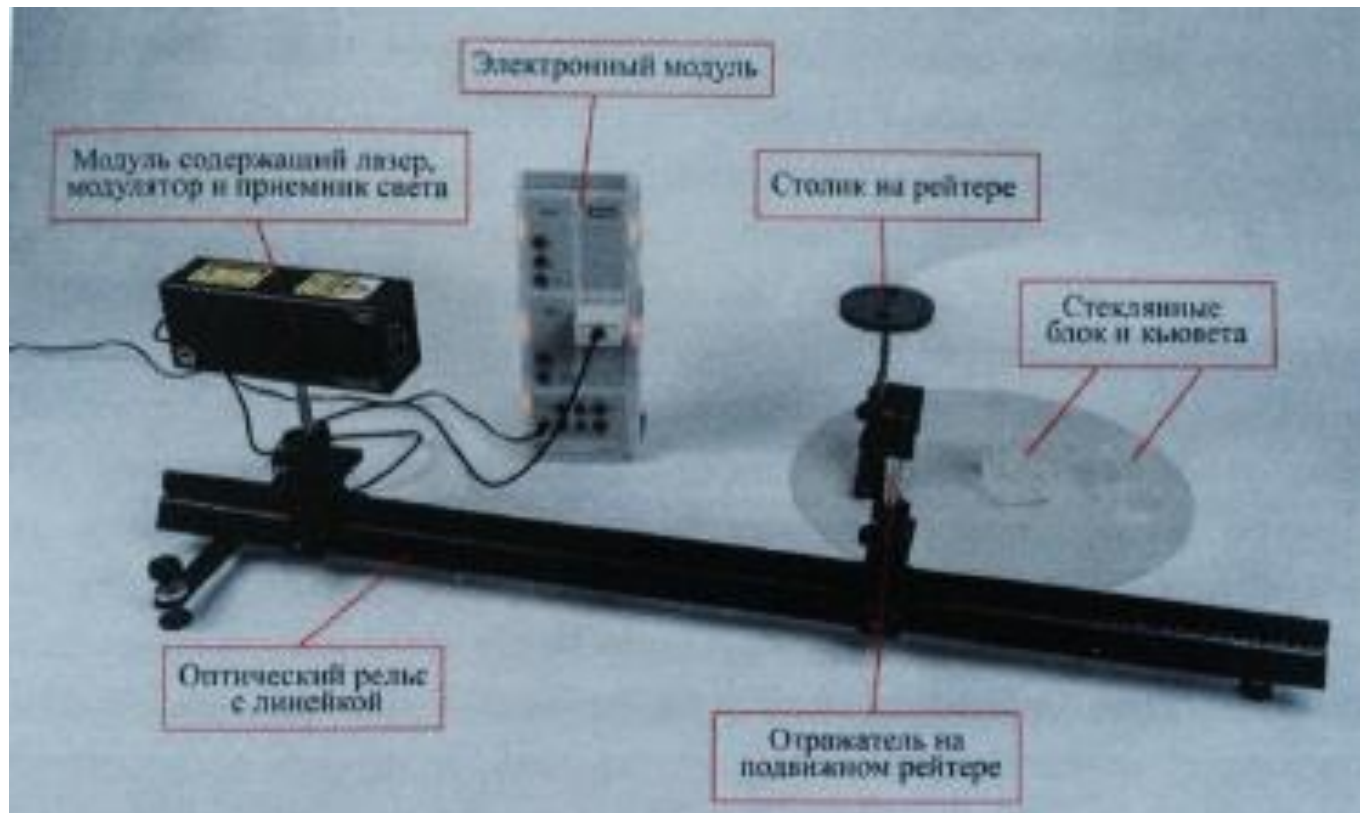
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №47

ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИЗМЕРЕНИЮ СКОРОСТИ СВЕТА

Поляков Даниил, Б07-ФЗ

Цель работы: экспериментальное определение скорости света в воздухе, стекле и воде.

Оборудование:



- Лазерный модуль, содержащий лазер, модулятор света и фотоприёмник;
- Электронный модуль CASSY;
- Оптический рельс с линейкой (диапазон измерений равен 100 см, цена деления равна 1 мм. Погрешность его измерений равна сумме приборной погрешности и погрешности отсчёта: $\Delta Z = (0.5 + 0.5) \text{ мм} = 1 \text{ мм}$);
- Отражатель на подвижном рейтере;
- Стекланный блок;
- Кювета, заполняемая водой при проведении эксперимента;
- Столик на рейтере;
- Персональный компьютер с программой CASSY Lab. Измерения времени проводятся с точностью 0.1 пс;
- Линейка с ценой деления 1 мм и погрешностью измерений, равной 1 мм.

Расчётные формулы:

- Разница положений отражателя:

$$\Delta Z_i = Z_i - Z_0$$

Z_i – положение отражателя под номером i ;

Z_0 – начальное положение отражателя, при котором промежуток времени движения света принят за 0.

- Разница между задержками:

$$\Delta T_i = \langle \Delta t_i \rangle - \langle \Delta t_0 \rangle$$

$\langle \Delta t_i \rangle$ – средняя задержка в положении ΔZ_i ;

$\langle \Delta t_0 \rangle$ – средняя задержка в положении ΔZ_0 .

- Скорость света:

$$c = \frac{2\Delta Z}{\Delta T}$$

ΔZ – разница положений отражателя;

ΔT – разница между задержками.

- Задержка света в веществе (возрастание времени движения света после установки объекта):

$$\Delta T = \langle \Delta t_1 \rangle - \langle \Delta t_0 \rangle$$

$\langle \Delta t_1 \rangle$ – средняя задержка после установки объекта;

$\langle \Delta t_0 \rangle$ – средняя задержка до установки объекта.

- Скорость света в веществе:

$$c_M = \frac{2d}{T + \Delta T} = \frac{2d}{\frac{2d}{c} + \Delta T}$$

d – длина объекта;

T – время, за которое свет проходит расстояние d в атмосфере;

c – скорость света в атмосфере;

ΔT – возрастание времени движения света после установки объекта.

- Формулы для вычисления погрешностей:

- Абсолютная погрешность прямых измерений:

$$\Delta x = \sqrt{t^2 \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)} + \Delta x_B^2}$$

n – количество измерений;

t – коэффициент Стьюдента;

Δx_B – приборная погрешность.

- Абсолютная погрешность косвенных измерений:

$$\Delta f(x_1, x_2, \dots) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x_1} \cdot \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x_2} \cdot \Delta x_2\right)^2 + \dots}$$

$$c_M = \sqrt{\left(\frac{\partial c_M}{\partial d} \cdot \Delta d\right)^2 + \left(\frac{\partial c_M}{\partial c} \cdot \Delta c\right)^2 + \left(\frac{\partial c_M}{\partial \Delta T} \cdot \Delta(\Delta T)\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2\Delta T}{\left(\frac{2d}{c} + \Delta T\right)^2} \cdot \Delta d\right)^2 + \left(\left(\frac{2d}{2d + c\Delta T}\right)^2 \cdot \Delta c\right)^2 + \left(\frac{2d}{\left(\frac{2d}{c} + \Delta T\right)^2} \cdot \Delta(\Delta T)\right)^2}$$

Метод проведения измерений

1. Разместим отражатель на расстоянии около 30 см от края лазера. Снимем положение отражателя по шкале линейки Z_0 . В программе установим показания прибора как нулевые для данного положения отражателя. Снимем значение времени движения света Δt_0 относительно установленного нуля 10 раз. Затем переместим отражатель на 10 см дальше от лазера и снимем 10 измерений времени Δt_1 для данного положения. Повторим такие же измерения для других положений отражателя.
2. Снова установим отражатель в положение Z_0 и примем значение времени в данном положении за нулевое. Проведём 10 измерений Δt_0 . Затем установим стеклянное тело на столик на рейтере между источником лазера и отражателем, чтобы его поверхность была перпендикулярна лазеру. При таком положении тела света лазера будет отражаться от стекла, не достигая отражателя, из-за чего измеренное время будет меньше нуля. Слегка повернём тело. Показания прибора будут постепенно увеличиваться, при этом они будут сильно колебаться. Продолжая медленно поворачивать тело, добьёмся такого положения, чтобы колебания показаний прибора уменьшились, а при дальнейшем повороте не увеличивались. В таком положении и будем снимать показания; при этом угол разворота будет очень мал, и расстояние, проходимое светом через стекло, можно будет считать равным расстоянию между параллельными гранями этого тела. Проведём 10 измерений времени Δt_1 . Затем измерим расстояние между параллельными гранями тела d с помощью линейки.
3. Установим отражатель в положение Z_0 , установим пустую кубическую кювету на столик на рейтере между источником лазера и отражателем, чтобы его поверхность была перпендикулярна лазеру. Также подберём её угол такой, чтобы грани были максимально перпендикулярны лазеру и при этом не вызывали попадание отражения от них на приёмник. Примем значение времени в данном положении за нулевое. Проведём 10 измерений Δt_0 . Затем нальём в кювету дистиллированной воды. Проведём 10 измерений времени

Δt_1 . Затем выльем воду из кюветы и измерим расстояние между внутренними параллельными гранями сосуда d с помощью линейки.

Таблицы и обработка данных

При расчёте погрешности прямых измерений коэффициент Стьюдента при доверительном интервале $\alpha=0.90$ и $n=10$ измерениях равен 1.83.

Коэффициенты наклона графиков (и их погрешности) прямых зависимостей найдём по методу наименьших квадратов.

1. Определение скорости света в воздухе.

Таблица 1.1. Отклонение времени движения света от времени, условно взятого за 0 в зависимости от положения отражателя $\Delta t(Z)$, в нс.

Расстояние Z, см № измерения	40.0	50.0	60.0	70.0	80.0	90.0
1	0.003	0.988	1.943	2.883	3.810	4.760
2	0.000	0.988	1.943	2.880	3.808	4.760
3	0.003	0.988	1.945	2.885	3.810	4.760
4	0.000	0.993	1.943	2.885	3.813	4.765
5	0.003	0.988	1.940	2.883	3.808	4.763
6	0.005	0.988	1.948	2.890	3.810	4.763
7	0.003	0.988	1.943	2.885	3.810	4.765
8	0.005	0.990	1.945	2.885	3.810	4.763
9	0.005	0.988	1.945	2.888	3.808	4.763
10	0.005	0.990	1.945	2.888	3.805	4.763
Среднее	0.0032	0.9889	1.9440	2.8852	3.8092	4.7625
Δ	0.0012	0.0011	0.0013	0.0018	0.0013	0.0012

Таблица 1.2. Разница между средней задержкой в положении i и задержкой в положении 0 в зависимости от разницы между положением i и положением 0 $\Delta T(\Delta Z)$

ΔZ , см	0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0
ΔT , нс	0	0.9857	1.9408	2.8820	3.8060	4.7593

Так как скорость света находится по формуле $c = \frac{2\Delta Z}{\Delta T}$, построим график зависимости $2\Delta Z(\Delta T)$ и найдём c как коэффициент наклона графика.

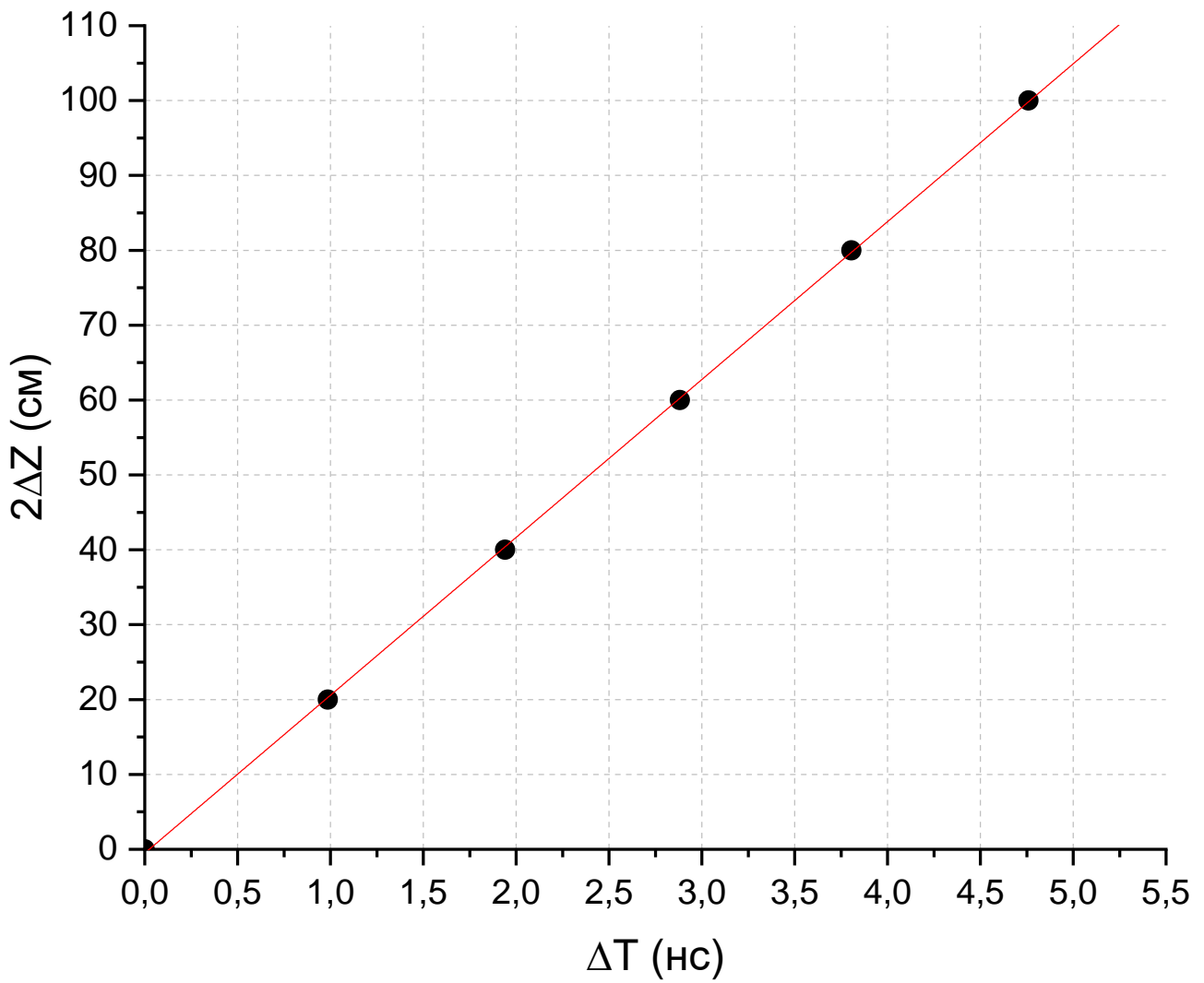


График 1. Зависимость смещений отражателя от начального положения, умноженных на два, от временной задержки относительно времени в начальном положении $2\Delta Z(\Delta T)$.

Из графика находим:

$$\alpha = c = 21.08 \pm 0.10 \frac{\text{см}}{\text{нс}} = (2.108 \pm 0.010) \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Определение скорости света в стекле.

Длина стеклянного тела $d_{\text{ст}} = 5.0 \pm 0.1$ см.

Таблица 2. Отклонение времени движения света от времени, условно взятого за 0 без тела (Δt_0) и с телом (Δt_1).

№	Δt_0 , нс	Δt_1 , нс	ΔT , нс
1	0.002	0.263	-
2	-0.003	0.263	
3	0.005	0.263	
4	0.005	0.265	
5	0.002	0.263	
6	0.002	0.265	
7	0.005	0.263	
8	0.005	0.265	
9	0.007	0.265	
10	0.005	0.263	
Среднее	0.0035	0.2638	0.2603
Δ	0.0017	0.0008	0.0019

Используя ранее найденное значение скорости света в воздухе, найдём скорость света в стекле:

$$c_{\text{ст}} = \frac{2d}{\frac{2d}{c} + \Delta T} = (1.361 \pm 0.011) \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Найдём отношение скорости света в воздухе и в стекле:

$$\frac{c}{c_{\text{ст}}} = 1.549 \pm 0.015$$

3. Определение скорости света в воде.

Расстояние между внутренними гранями кюветы $d_B = 5.0 \pm 0.1$ см.

Таблица 3. Отклонение времени движения света от времени, условно взятого за 0 без воды (Δt_0) и с водой (Δt_1).

№	Δt_0 , нс	Δt_1 , нс	ΔT , нс
1	0.000	0.183	-
2	0.005	0.185	
3	0.008	0.183	
4	0.000	0.183	
5	0.003	0.183	
6	0.008	0.183	
7	0.005	0.183	
8	0.005	0.180	
9	0.005	0.188	
10	0.003	0.183	
Среднее	0.0042	0.1834	0.179
Δ	0.0017	0.0013	0.002

Используя ранее найденное значение скорости света в воздухе, найдём скорость света в воде:

$$c_B = \frac{2d}{\frac{2d}{c} + \Delta T} = (1.530 \pm 0.011) \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Найдём отношение скорости света в воздухе и в воде:

$$\frac{c}{c_B} = 1.378 \pm 0.012$$

Выводы

В результате эксперимента была найдена скорость света в воздухе:

$$c = (2.108 \pm 0.010) \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Полученная скорость света сильно отличается от реальной. Однако полученные соотношения скоростей света в воздухе и в стекле:

$$\frac{c}{c_{\text{ст}}} = 1.549 \pm 0.015,$$

а также в воздухе и в воде:

$$\frac{c}{c_{\text{в}}} = 1.378 \pm 0.012$$

близки к реальным, из чего можно предположить, что отклонение скорости света вызвано неправильной настройкой установки.

В целом, эксперимент подтвердил уменьшение скорости света при его движении в других, более оптически плотных по сравнению с воздухом, веществах.