

**ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ**



**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования**

**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра общей и технической физики

**Отчет по лабораторной работе № 10**

По дисциплине \_\_\_\_\_ Физика \_\_\_\_\_  
(наименование учебной дисциплины согласно учебному плану)

Тема работы: \_\_\_\_\_ «Измерение скорости световых волн в различных средах» \_\_\_\_\_

Выполнил: студент гр. \_\_\_\_\_ ГГ-21-1 \_\_\_\_\_ Энхтувшин У.  
(шифр группы) (подпись) (Ф.И.О.)

Дата: \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Санкт-Петербург  
2021

## Цель работы

Определить скорость света в воздухе, воде и акриловом стекле, а также определить показатели преломления этих сред.

## Краткое теоретическое содержание

**Явление, изучаемое в работе:** Электрические и магнитные поля в световых волнах.

### Определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин.

*Световая волна* – поперечная электромагнитная волна, в которой происходят колебания векторов напряженности электрического поля  $E$  и магнитного  $H$ .

*Свет имеет двойственную корпускулярно-волновую природу:* при интерференции и дифракции проявляются, главным образом, волновые свойства света, а при излучении и поглощении - корпускулярные.

Корпускулярные свойства состоят в том, что лучистая энергия испускается и поглощается веществами не непрерывно, а отдельными дискретными порциями — квантами света или фотонами.

*Скорость света* – абсолютная величина скорости распространения электромагнитных волн в вакууме.

*Показатель преломления* — безразмерная физическая величина, характеризующая отличие фазовых скоростей света в двух средах.

*Физический смысл показателя преломления* – он показывает, во сколько раз скорость света в одной среде отличается от скорости света в другой среде

**Законы и соотношения, описывающие изучаемые процессы, на основании которых, получены расчетные формулы. Пояснения к физическим величинам и их единицы измерений.**

В теории электромагнитного поля (уравнения Максвелла) показывается, что скорость распространения электромагнитных волн в вакууме равна

$$c = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_0 \mu_0}},$$

где  $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$  Ф/м - электрическая постоянная,

$\mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6}$  Гн/м - магнитная постоянная.

В непроводящей диэлектрической среде электромагнитная волна распространяется со скоростью

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon \mu_0 \mu}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon \mu}} = \frac{c}{n}$$

где  $\epsilon$  - относительная диэлектрическая проницаемость среды,

$\mu$  - магнитная проницаемость среды. В оптическом диапазоне спектра электромагнитных волн  $\mu \approx 1$ .

Отношение скорости света в вакууме к скорости света  $v$  в некоторой среде  $n = \frac{c}{v} = \sqrt{\epsilon \mu} \approx \sqrt{\epsilon}$ , называется абсолютным показателем преломления этой среды. Для любой среды, кроме вакуума,  $n > 1$ . Величина  $n$  зависит от частоты света (дисперсия) и состояния среды (плотности, давления и температуры).

### Схема установки:

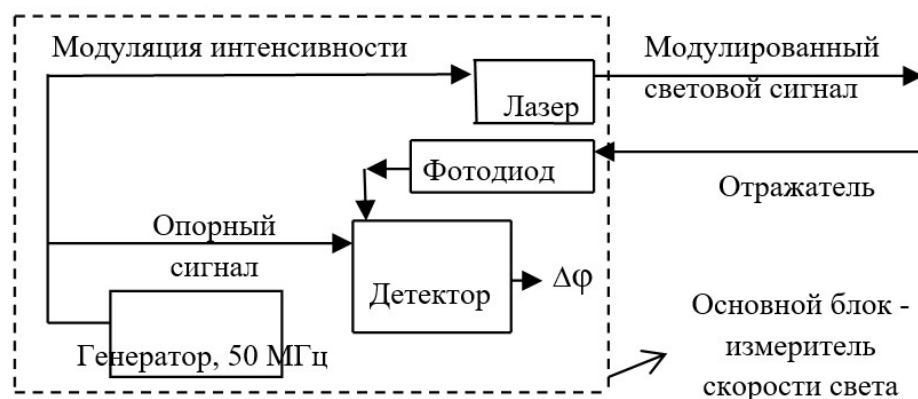


Рисунок 1 – Функциональная схема установки

### Основные расчётные формулы

Скорость света в воздухе, м/с:  $c = 4 f * \Delta x = \frac{\Delta L}{\Delta t} * 10^8$ , где

$c$  – скорость света, м/с;

$f$  – частота светового сигнала, Гц;

$\Delta x$  – расстояние от отражателя до основного блока, м;

$\Delta L$  – длина пути светового луча, м;

$\Delta t$  – время запаздывания светового луча, с.

Абсолютный показатель преломления акрила:  $n_a = \frac{\Delta x}{l_m} + 1$ , где

$n_a$  – показатель преломления акрила;

$\Delta x$  – смещение отражателя после установки трубки, мм;

$l_m$  – длина акриловой трубки, мм.

Скорость света в акриле, м/с:  $v_a = \frac{c}{n_a}$ , где

$v_a$  – скорость света в акриле, м/с;

Абсолютный показатель преломления воды:  $n_e = \frac{\Delta x}{l_m} + 1$ , где

$n_e$  – показатель преломления воды;

$\Delta x$  – смещение отражателя после установки трубки, мм;

Скорость света в воде, м/с:  $v_e = \frac{c}{n_e}$ , где

$n_e$  – показатель преломления в воде;

$l_m$  – длина трубки с водой, мм.

### Погрешности прямых измерений

Погрешность измерений длины стержня и координаты положения:  $\Delta l_m = 0,5$  мм,  $\Delta x = 0,5$  мм

Погрешность измерений изменения фазы  $\Delta(\Delta\varphi) = 1^\circ$ ,

Погрешность измерений времени распространения светового сигнала,  $\Delta(\Delta t \cdot 1000) = 0,1$  нс

### Погрешности косвенных измерений

Абсолютная погрешность измерений скорости света в воздухе

$$\Delta c = c \left( \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} \right),$$

где  $c$  – скорость света в воздухе, м/с;

$\Delta(\Delta x)$  – погрешность измерений перемещения, м;

$\Delta x$  – перемещение, м.

Абсолютная погрешность измерений показателя преломления

$$\Delta n = n \left( \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} + \frac{\Delta l_m}{l_m} \right),$$

где  $n$  – показатель преломления;  $\Delta(\Delta x)$  – погрешность измерений перемещения, м;

$\Delta x$  – перемещение, м;

$\Delta l_m$  – погрешность измерений длины стержня, мм;

$l_m$  – длина стержня, м.

Абсолютная погрешность измерений скорости света в среде

$$\Delta v = v \frac{\Delta n}{n},$$

где  $v$  – скорость света в среде, м/с;

$\Delta n$  – погрешность измерений показателя преломления;

$n$  – показатель преломления.

Абсолютная погрешность измерений пути

$$\Delta(\Delta L) = 2 \Delta(\Delta x),$$

где  $\Delta(\Delta x)$  – погрешность измерений перемещения, м.

Абсолютная погрешность измерения перемещения

$$\Delta(\Delta x) = 2 \Delta x,$$

где  $\Delta x$  – погрешность измерений координаты положения, м.

**Таблица 1. Измерение скорости света в воздухе в режиме  $\Delta \varphi$**

№	$x_0$ , мм	$x$ , мм	$\Delta x$ , мм	$c = 4 f * \Delta x$ , м/с
1	0	1466	1466	293 200 000
2		1460	1460	292 000 000
3		1462	1462	292 400 000
4		1453	1453	290 600 000
5		1466	1466	293 200 000

6		1469	1469	293 800 000
				$c_{cp}=292\ 533\ 333$

**Таблица 2. Измерение скорости света в воздухе в режиме  $\Delta t$**

$\Delta x$ , мм	$\Delta L$ , мм	$\Delta t * 1000$	$c = \frac{\Delta L}{\Delta t} * 10^8$ , м/с
1000	2000	6,7	2,99
1100	2200	7,4	2,97
1200	2400	8,1	2,96
1300	2600	8,8	2,95
1350	2700	9,1	2,97
1400	2800	9,5	2,95
1450	2900	9,9	2,93
1500	3000	10,3	2,91
1550	3100	10,8	2,87
1600	3200	11,1	2,88
			$c_{cp}=2,94 * 10^8$

**Таблица 3. Результаты измерения перемещения отражателя (труба с водой)**

$N_0$	$x_0$ , мм	$x$ , мм	$\Delta x$ , мм	$n_e$	$v_e = \frac{c}{n_e}$ , м/с
-------	------------	----------	-----------------	-------	-----------------------------

<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1298</i>	<i>202</i>	<i>1,404</i>	<i>213 675 214</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>1308</i>	<i>202</i>	<i>1,404</i>	<i>213 675 214</i>
<i>3</i>	<i>0</i>	<i>1496</i>	<i>204</i>	<i>1,408</i>	<i>213 068 182</i>
<i>4</i>	<i>0</i>	<i>1502</i>	<i>208</i>	<i>1,416</i>	<i>211 864 407</i>
<i>5</i>	<i>0</i>	<i>1500</i>	<i>200</i>	<i>1,400</i>	<i>214 285 714</i>
<i>6</i>	<i>0</i>	<i>1502</i>	<i>206</i>	<i>1,412</i>	<i>212 464 589</i>
					$v_g = 213172\ 220$

**Таблица 4. Результаты измерения перемещения отражателя (акриловое стекло)**

<i>№</i>	<i>x<sub>0</sub>, мм</i>	<i>x, мм</i>	<i>Δ x, мм</i>	<i>n<sub>a</sub></i>	$v_a = \frac{c}{n_a}, м/с$
<i>1</i>	<i>0</i>	<i>1498</i>	<i>237</i>	<i>1,484</i>	<i>202 156 334</i>
<i>2</i>	<i>0</i>	<i>1495</i>	<i>248</i>	<i>1,504</i>	<i>199 468 085</i>
<i>3</i>	<i>0</i>	<i>1496</i>	<i>238</i>	<i>1,484</i>	<i>202 156 334</i>
<i>4</i>	<i>0</i>	<i>1486</i>	<i>250</i>	<i>1,512</i>	<i>198 412 698</i>
<i>5</i>	<i>0</i>	<i>1475</i>	<i>252</i>	<i>1,514</i>	<i>198 150 594</i>
<i>6</i>	<i>0</i>	<i>1476</i>	<i>246</i>	<i>1,502</i>	<i>199 733 688</i>
					$v_a = 200012956$

### **Примеры вычислений**

**Исходные данные:**

$$f = 50 \text{ МГц}, l_m(\text{вода}) = 52,3 \text{ см}, l_m(\text{стекло}) = 48,9 \text{ см}$$

**Вычисления величин:**

Пример вычисления для таблицы №1 примера №1

*Перемещение*

$$\Delta x = x - x_0 = 146,6 \cdot 10^{-2} - 0 = 146,6 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

*Скорость света в воздухе*

$$c = 4 f \cdot \Delta x = 4 \cdot 50 \cdot 10^6 \cdot 146,6 \cdot 10^{-2} = 2,932 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Пример вычисления для таблицы №2 примера №1

*Скорость света в воздухе*

$$c = \frac{\Delta L}{\Delta t} \cdot 10^8 = \frac{2000}{6700} \cdot 10^8 = 2,99 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Пример вычисления для таблицы №3 примера №1

*Перемещение*

$$\Delta x = x - x_0 = 150,0 \cdot 10^{-2} - 129,8 \cdot 10^{-2} = 20,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

*Показатель преломления воды*

$$n_w = \frac{\Delta x}{l_w} + 1 = \frac{202}{500} + 1 = 1,404$$

*Скорость света в воде*

$$v_w = \frac{c}{n_w} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,404} = 2,14 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Пример вычисления для таблицы №4 примера №1

*Перемещение*

$$\Delta x = x - x_0 = 173,5 \cdot 10^{-2} - 149,8 \cdot 10^{-2} = 23,7 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

*Показатель преломления акрила*

$$n_a = \frac{\Delta x}{l_a} + 1 = \frac{237}{490} + 1 = 1,484$$

*Скорость света в акриле*



$$v_a = \frac{c}{n_a} = \frac{3 \cdot 10^8}{1,484} = 2,02 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

### Вычисление погрешностей косвенных измерений

Абсолютная погрешность измерений перемещения

$$\Delta(\Delta x) = 2\Delta x = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Абсолютная погрешность измерений пути

$$\Delta(\Delta L) = 2\Delta(\Delta x) = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Абсолютная погрешность измерений скорости света в воздухе

$$\Delta c = c \left( \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} \right) = 2,925 \cdot 10^8 \frac{10^{-3}}{146,6 \cdot 10^{-2}} = 2 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

Абсолютная погрешность измерений скорости света в среде

$$\Delta v = v \frac{\Delta n}{n} = 2,13 \cdot 10^8 \frac{0,01}{1,404} = 15,17 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

(при работе с водой)

$$\Delta v = v \frac{\Delta n}{n} = 2,00 \cdot 10^8 \frac{0,01}{1,484} = 13,47 \cdot 10^5 \text{ м/с}$$

(при работе с акрилом)

Абсолютная погрешность измерений показателя преломления

$$\Delta n = n \left( \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} + \frac{\Delta l_m}{l_m} \right) = 1,404 \left( \frac{10^{-3}}{202 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{52,3 \cdot 10^{-2}} \right) = 0,083$$

(при работе с водой)

$$\Delta n = n \left( \frac{\Delta(\Delta x)}{\Delta x} + \frac{\Delta l_m}{l_m} \right) = 1,484 \left( \frac{10^{-3}}{309 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{48,9 \cdot 10^{-2}} \right) = 0,087$$

(при работе с акрилом)

## Результаты

Скорость света в воздухе  $c = (2,925 \pm 0,002) * 10^8$  м/с

Скорость света в воде  $v = (2,13 \pm 0,02) * 10^8$  м/с

Скорость света в акриле  $v = (2,00 \pm 0,01) * 10^8$  м/с

Показатель преломления в воде  $n = 1,40 \pm 0,08$

Показатель преломления в акриле  $n = 1,48 \pm 0,09$

## Сравнительная оценка

Теоретическое значение скорости света:

В воздухе:  $3 * 10^8$  м/с

В воде:  $2,25 * 10^8$  м/с

В акриле:  $2,01 * 10^8$  м/с

Теоретическое значение показателя преломления:

Для воды:  $1,33 \pm 0,33$

Для акрила:  $1,51 \pm 0,33$

Расхождение теоретического и экспериментального значений:

$$\Delta = \frac{|c_{\text{э}} - c_{\text{т}}|}{c_{\text{т}}} * 100\% = \frac{|2,93 - 3,00|}{3,00} * 100\% = 2,3\%$$

$$\Delta = \frac{|v_2 - v_m|}{v_m} * 100\% = \frac{|2,13 - 2,25|}{2,25} * 100\% = 5,3\%$$

(для воды)

$$\Delta = \frac{|v_2 - v_m|}{v_m} * 100\% = \frac{|2,00 - 2,01|}{2,01} * 100\% = 0,5\%$$

(для акрила)

**Вывод:** В ходе лабораторной работы была определена скорость света в воздухе, воде и акриловом стекле, а также были определены показатели преломления этих сред.