

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Решение практики заключительного этапа**

---

**"Исследование волновых процессов в жидкости для систем жизнеобеспечения лунной базы"**

## **1. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА (ПОДХОДЫ К РЕШЕНИЮ)**

В ходе решения были опробованы различные способы возбуждения волн.

### **1.1 СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ КОЛЕБАНИЙ**

#### **1.1.1. Грузик на резинке (периодические удары)**

**Суть:** грузик, подвешенный на резинке, приводится в колебательное движение и ударяет по центру стенки контейнера с постоянной частотой.

**Реализация:**

- Измеряется время  $t_N$  для  $N$  колебаний грузика  $\rightarrow$  частота ударов  $f = \frac{N}{t_N}$
- Частота регулируется длиной резинки и массой грузика
- При совпадении частоты ударов с собственной частотой резервуара возникают стоячие волны с чётко выраженными гребнями

**Преимущества:** стабильная частота, Одна рука свободна для измерений.

**Недостатки:** трудно точно настроить нужную моду, поскольку нужно варьировать два параметра

Может быть лучше для генерации сложных смешанных мод порядка  $> 1$  для каждой оси

#### **1.2. Колеблющаяся пластина (вытеснение воды)**

**Суть:** пластина, погружённая в воду у стенки, совершает возвратно-поступательные движения вручную.

**Реализация:**

- Пластина движется вверх-вниз (или вперёд-назад), создавая волны
- Частота контролируется секундомером

**Преимущества:** позволяет легко менять частоту и наблюдать отклик системы.

**Недостатки:** трудно поддерживать строго постоянную амплитуду и частоту вручную.

# МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

## Заключительный этап Практика «Исследования»

Рабочее задание участникам олимпиады

### 1.2 СПОСОБЫ РЕГИСТРАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ

**Суть:** Один участник вызывает любым способом периодические колебания для создания стоячих волн, параллельно с этим считая число возмущений для последующего измерения частоты. Другие снимают прочие измерения, т. к. число мод по осям, период колебаний одной моды для измерения скорости

**Преимущества:** сплочение команды

**Недостатки:** тяжело регистрировать высокие частоты

### 2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОЖИДАНИЕ

До начала эксперимента, исходя из теории, можно было ожидать капиллярные волны, поскольку примерные оценки для волн мелкой воды длина волны будет  $> 80$  см, что нереально пронаблюдать в таком контейнере. Для волн глубокой воды приближение не работает, поскольку в потоках сильно воздействие трения о дно.

### 2.3. Проверочный критерий

Для проверки капиллярной природы достаточно определить показатель степени  $\beta$  в зависимости  $v \sim \lambda^\beta$ .

### 3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

#### 3.1. Первичные измерения

Было проведено 8 серий измерений для различных мод колебаний.

Таблица 1. Частоты колебаний для наблюдаемых мод

№	Число колебаний грузика N	Время колебаний $t_N$ , с	Частота ударов $f = N/t_N$ , Гц
1	21	16	1,31
2	42	26	1,62

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**

**Заключительный этап**

**Практика «Исследования»**

**Решение практики заключительного этапа**

3	41	14	2,93
4	48	20	2,40
5	66	20	3,30
6	107	23	4,65
7	114	22	5,18
8	123	20	6,15

**Таблица 2. Наблюдаемые моды колебаний**

<b>№</b>	<b>n (число горбов по длине 40 см)</b>	<b>m (число горбов по ширине 25 см)</b>
1	1	0
2	1,5	0
3	1	1
4	1,5	1
5	2,5	1
6	4	1
7	5	1

**Москва  
2025/2026 уч. г.**

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**

**Заключительный этап**

**Практика «Исследования»**

**Решение практики заключительного этапа**

8	6	1
---	---	---

**Таблица 3. Геометрические параметры волн**

<b>№</b>	<b>Длина волны <math>\lambda</math>, см</b>	<b>Время колебаний одиночной моды <math>t_{\text{wave}}</math>, с</b>	<b>Скорость <math>v_{\text{prac}} = \lambda / t_{\text{wave}}</math>, см/с</b>
1	80,0	$13/15 = 0,867$	46,1
2	53,3	$7/13 = 0,538$	74,3
3	34,6	$8/26 = 0,308$	130,0
4	28,5	$12/30 = 0,400$	100,0
5	21,2	$8/30 = 0,267$	150,0
6	15,4	$16/69 = 0,232$	172,5
7	13,1	$18/86 = 0,209$	191,2
8	11,4	$13/56 = 0,232$	172,5

Длина волны рассчитывалась по формуле для прямоугольного резонатора:

$$\lambda_{n,m} = \frac{2}{\sqrt{n^2/L^2 + m^2/l^2}}$$

**Москва  
2025/2026 уч. г.**

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**

**Заключительный этап**

**Практика «Исследования»**

**Решение практики заключительного этапа**

где  $L = 40$  см,  $l = 25$  см,  $n$  и  $m$  — числа полувольт по соответствующим осям.

#### 4. ОБРАБОТКА ДАННЫХ И ГРАФИКИ

##### 4.1. Расчёт скорости по двум методам

Для проверки согласованности данных была рассчитана теоретическая скорость

$$v_{th} = \lambda f$$

и сопоставлена с практически измеренной

$$v_{prac} = \lambda / t_{wave}$$

**Таблица 4. Сравнение методов определения скорости**

№	$\lambda$ , см	$f$ , Гц	$v_{th} = \lambda f$ , см/с	$v_{prac}$ , см/с	$\Delta v$ , см/с	Отн. погрешность, %
1	80,0	1,31	105,0	46,1	-58,9	56%
2	53,3	1,62	86,3	74,3	-12,0	14%
3	34,6	2,93	101,4	130,0	+28	28%
4	28,5	2,40	68,4	100,0	+31,6	46%
5	21,2	3,30	70,0	150,0	+80,0	114%
6	15,4	4,65	71,6	172,5	+100	141%

# МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Заключительный этап

Практика «Исследования»

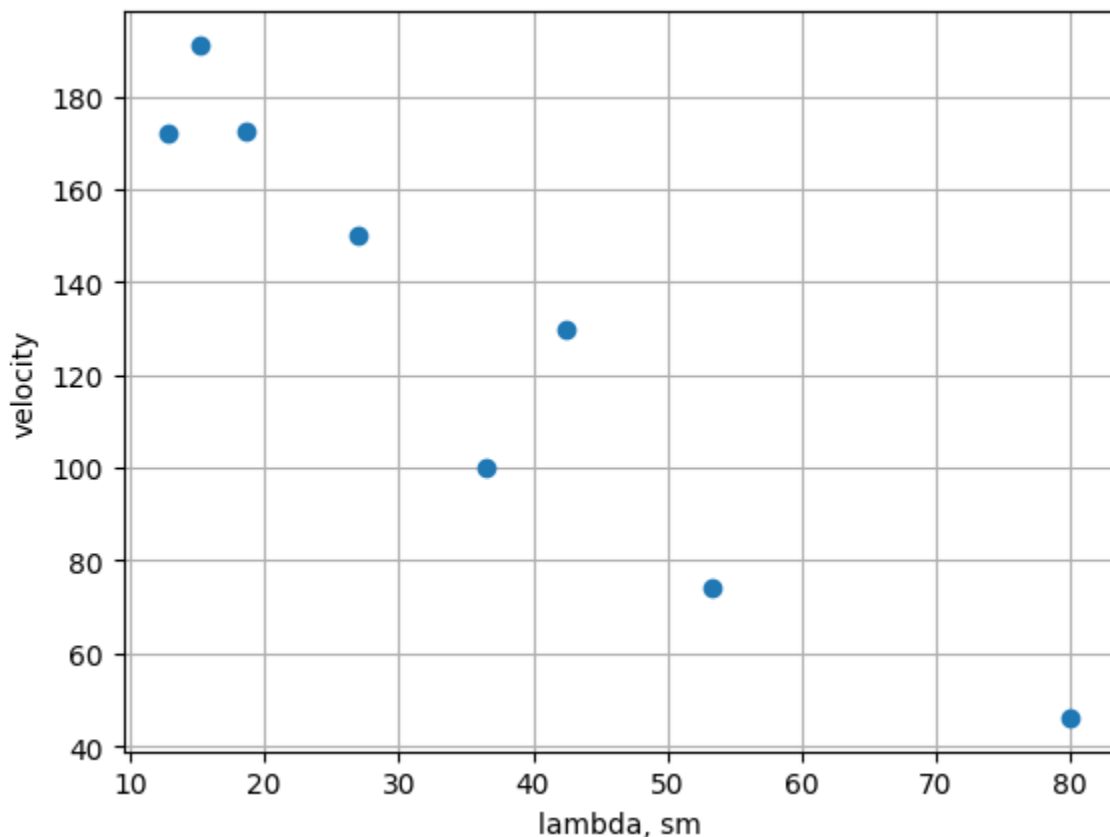
Решение практики заключительного этапа

7	13,1	5,18	67,9	191,2	+123	182%
8	11,4	6,15	70,1	172,5	+102	146%

Метод  $v_{th} = \lambda f$  даёт заниженные значения для высоких частот. Это объясняется тем, что для стоячих волн фазовая скорость, измеренная по времени прохождения волнового пакета  $v_{grac}$ , может отличаться от произведения  $\lambda \cdot f$  из-за дисперсии и групповых эффектов. В дальнейшем анализе использовалась  $v_{grac}$  как более надёжная.

## 4.2. График зависимости скорости от длины волны

На графике ниже представлена измеренная экспериментальная зависимость



Наблюдается предсказанное исходно убывание скорости распространения волнового с ростом длины волны

# МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

Заключительный этап

Практика «Исследования»

Работа практикум выполняется на этапе

## 4.3. Аппроксимация и определение показателя степени

Для количественной оценки была построена зависимость в логарифмических координатах  $v$  от  $\lambda$  и проведена линейная аппроксимация

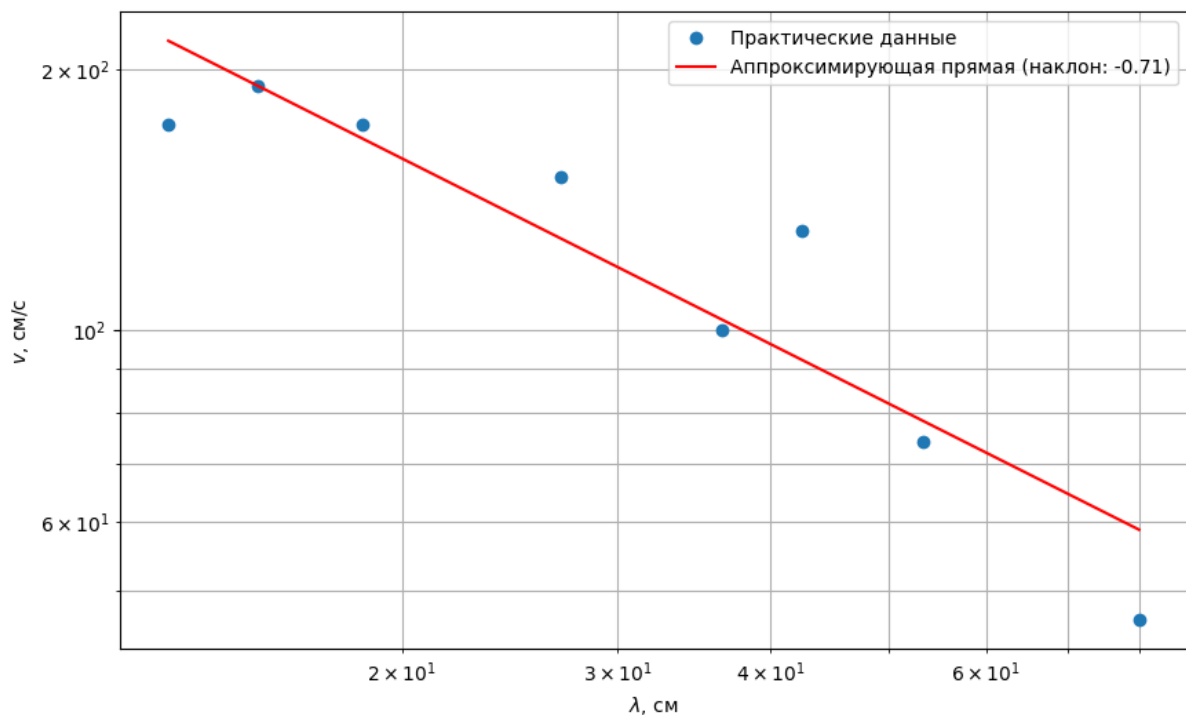


Таблица 5. Пересчет данных в логарифмические координаты

$\lambda$ , см	$\ln \lambda$	$v$ , см/с	$\ln v$
80,0	4,38	46,1	3,83
53,3	3,98	74,3	4,31

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**

**Заключительный этап**

**Практика «Исследования»**

**Решение практики заключительного этапа**

34,6	3,54	130,0	4,87
28,5	3,35	100,0	4,61
21,2	3,05	150,0	5,01
15,4	2,73	172,5	5,15
13,1	2,57	191,2	5,25
11,4	2,43	172,5	5,15

Аппроксимация методом наименьших квадратов даёт величину  $-0,71$ . Экспериментально полученные показатели соответствуют теории, что подтверждает исходные предположения

#### 4.4. Оценка погрешностей

Основные источники погрешностей:

1. Определение мод ( $n, m$ ):  $\pm 0,25$  полуволны (субъективность визуальной оценки) -  $>$  погрешность  $\lambda$  до 15%
2. Измерение времени прохода  $t_{wave}$ :  $\pm 0,3$  с (реакция человека)  $\rightarrow$  при малых  $t$  (0,2 с) погрешность в несколько %
3. Частота ударов  $f$ :  $\pm 0,1$  Гц (неточность поддержания ритма)  $\rightarrow$  погрешность до 5%

### 5. ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ТЕСТИРОВАНИЯ

#### 5.1. Выполнимость задания

Задание полностью выполнимо за 4 часа командой из трёх человек при условии:

Москва  
2025/2026 уч. г.

# МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

## Заключительный этап

### Практика «Исследования»

#### Решение практики заключительного этапа

---

- Чёткого распределения ролей (один создаёт волны, второй измеряет, третий записывает)
- Грамотном использовании предложенного оборудования для поддержания стабильной частоты
- Предварительной тренировки в различении мод  $(n, m)$

#### 6. ЧТО БУДЕТ НА ЛУНЕ

Поскольку скорость капиллярных волн не зависит от гравитации, найденные частоты будут такими же и для лунной базы