

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

---

**ЭТАП 1.**

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

К 2035 году международные космические агентства планируют развернуть на Луне первую долговременную обитаемую базу. Ключевым элементом системы жизнеобеспечения — гидропонно-аквакультурный модуль, где в условиях пониженной гравитации ( $g / 6$ ) предполагается выращивать овощи и рыбу для полноценного рациона космонавтов. В замкнутой гидропонной системе постоянно работают насосы и системы аэрации, обеспечивающие циркуляцию питательного раствора и насыщение его кислородом. Эти механизмы создают колебания и волны в жидкости. В условиях ограниченного объёма резервуаров волны могут достигать критических амплитуд из-за резонанса, повреждать нежные корни растений, вызывать стресс у рыбы и создавать неравномерное распределение кислорода и питательных веществ.

Для проектирования надёжных систем жизнеобеспечения необходимо понимать, как ведёт себя жидкость в замкнутых объёмах, как возникают стоячие волны (моды колебаний), как зависит скорость волны от её длины и частоты. Первое приближение таких исследований проводится в земных условиях на уменьшенных прототипах.

**В данной работе предлагается экспериментально исследовать, какие типы волн возникают в данном резервуаре при возбуждении в диапазоне частот 0,5-6 Гц, определить резонансные частоты (моды колебаний) системы, соответствующие стоячим волнам с различным числом горбов по длине и ширине контейнера, установить зависимость скорости распространения волны от её длины в доступном диапазоне и на основе полученных данных сформулировать рекомендации для конструкторов лунной гидропонной системы.**

Для этого в вашем распоряжении имеются прямоугольный пластиковый контейнер (прототип секции гидропонного модуля) 20 см на 10 см, вода комнатной температуры и прочее оборудование, описанное на этапе 2.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

**ЭТАП 2.**

**ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА**

**Состав оборудования (на команду):**

1. Пластиковый контейнер 17×13 см (глубина воды 4 см) — 1 шт.
2. Линейка 30 см (с миллиметровыми делениями) — 1 шт.
3. Секундомер — 1 шт.
4. Тонкая пластина (оргстекло размером А6) — 1 шт.
5. Грузик — 1 шт.
6. Канцелярская резинка — 4 шт.
7. Маркер перманентный — 1 шт.
8. Бумага белая — 3 лист.
9. Поплавок — 1 шт.
10. Нитки — 1 шт.

**Рекомендации к выполнению работы**

1. Для сборки установки необходимо лишь налить воду в предоставленную вам ёмкость. После этого важно предложить метод создания постоянных внешних воздействий на жидкость для создания стоячих волн
2. При построении математической модели обратите внимание, что вам дано оборудование для множества различных способов создания волн, которые могут давать разные показания. Однако, физика процесса колебаний не меняется. Для каждого способа измерения, построив корректную физическую модель, можно получить верные экспериментальные результаты. Ваша задача состоит в выборе наиболее точного метода определения вида зависимости скорости волны от длины волны.
3. Построив математическую модель в виде гипотезы и ее обоснования и подобрав подходящее оборудование для проведения измерений, стоит обосновать, почему выбранная методика может работать. Имеет смысл объяснить, как усовершенствовать технику измерений и какие непредсказуемые факторы могут влиять на показания прибора.

# МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

## Заключительный этап

### Практика «Исследования»

#### Финальное практическое задание

4. Параллельно с выводением обоснования, другой участник команды может перейти к процессу измерения выбранных в математической модели величин.
5. По обнаруженным экспериментальным значениям и выведенной математической модели необходимо построить график зависимости скорости от длины волны  $v(\lambda)$  или ему аналогичный, который позволил бы определить тип искомой степенной зависимости. Нанесите погрешности для определённых экспериментальных значений, оцените погрешность итогового измерения.
6. Оцените, в чём ваша постановка данного эксперимента недостаточно хороша, что могло бы позволить её улучшить и как можно интерпретировать построенный вами график. Проведите завершающий анализ выполненного исследования, оцените плюсы и минусы разработанной методики.

#### ЭТАП 3.

#### ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

Для успешной защиты решения кейса к моменту окончания времени работы команда должна предоставить следующие материалы:

1. Собранную установку в рабочем состоянии (демонстрируется организаторам).
2. Журнал наблюдений с заполненными таблицами измерений для не менее чем 6 различных частот в диапазоне 0,5–6 Гц.
3. Таблицу идентифицированных мод с указанием для каждой:
  - Частоты  $f$  (Гц)
  - Длины волны  $\lambda$  (см)
  - Индексов моды  $n$  и  $m$  (число горбов по длине и ширине)
4. График 1: Зависимость скорости волны  $v$  от длины волны  $\lambda$ .
5. График 2: Зависимость скорости волны  $v$  от частоты  $f$  или аналогичный ему для точного определения степенной зависимости скорости от длины волны.
6. Определение типа волн: на основе полученных графиков сделать вывод о том, к какому типу (мелкая вода, глубокая вода, капиллярные) относятся наблюдаемые волны, и почему.
7. Список выводов о проделанной работе.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

---

8. Список предложений по улучшению качества исследования.

**ЭТАП 4.**

**ЗАЩИТА РЕШЕНИЯ КЕЙСА**

Для демонстрации ваших результатов составьте отчёт в формате .docx, .doc или .pdf и загрузите его в хранилище по QR-коду. Отчёт должен включать в себя:

1. Обоснование, какой тип волн наблюдается в контейнере.
2. Все пункты, перечисленные в Этапе №3.
3. Рекомендации для конструкторов лунного модуля:
  - Какие частоты работы насосов (в земных условиях) являются резонансными и опасными?
  - Как изменятся эти частоты в условиях лунной гравитации ( $g / 6$ )? (Предложите способ пересчёта).
4. Анализ точности: оценка погрешностей измерений и предложения по улучшению методики эксперимента.

QR-Код:



**Удачи в решении!**

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 1.**

**Техника безопасности**

1. Контейнер с водой установить устойчиво, исключая опрокидывание.
2. Избегать попадания воды на электронные приборы.
3. Не прикасаться к воде при работе с электрическим освещением (лампа должна находиться снаружи, на безопасном расстоянии).
4. При работе с пластиной и грузиком соблюдать аккуратность, не травмировать руки о края контейнера.
5. После окончания работы вытереть рабочее место.

**КОМАНДА, ЗАМЕЧЕННАЯ ЗА НАРУШЕНИЕМ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ,  
БУДЕТ ДИСКВАЛИФИЦИРОВАНА.**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 2.**

**Основы теории волн на поверхности жидкости**

В зависимости от соотношения длины волны ( $\lambda$ ) и глубины жидкости ( $h$ ), а также от преобладающей возвращающей силы, волны делятся на три основных типа:

- **Гравитационные волны (режим глубокой воды):**  
Возникают, когда глубина велика по сравнению с длиной волны. Основная возвращающая сила — гравитация (вес воды). В этом режиме длинные волны распространяются быстрее коротких.
- **Гравитационные волны (режим мелкой воды):**  
Возникают, когда глубина мала по сравнению с длиной волны. Основная возвращающая сила — гравитация. В этом режиме скорость волны перестаёт зависеть от её длины и определяется только глубиной.
- **Капиллярные волны (рябь):**  
Возникают для очень коротких волн. Основная возвращающая сила — поверхностное натяжение жидкости. В этом режиме наблюдается обратная зависимость: короткие волны распространяются быстрее длинных.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

---

В реальных условиях волны могут иметь смешанную природу, особенно в переходных диапазонах.

В ограниченном объёме при отражении от стенок могут образовываться стоячие волны. В отличие от бегущих волн, гребни стоячей волны не перемещаются, а колеблются на месте, чередуясь с неподвижными точками — узлами.

В прямоугольном резервуаре стоячая волна описывается двумя индексами:

- $n$  — число полуволн (горбов), укладываемых вдоль длины резервуара.
- $m$  — число полуволн (горбов), укладываемых вдоль ширины резервуара.

Например, мода ( $n = 1, m = 0$ ) означает, что вдоль длины укладывается одна полуволна (один горб у одной стенки и одна впадина у другой), а вдоль ширины изменений нет. Мода ( $n = 1, m = 1$ ) означает, что волна имеет сложную форму с изменениями по обоим направлениям. Длина стоячей волны в контейнере с длиной  $a$  и шириной  $b$  вычисляется по формуле:

$$\lambda_{n,m} = \frac{2}{\sqrt{n^2/a^2 + m^2/b^2}}$$

При исследовании, вам потребуется собрать волнопродуктор (устройство или способ создания волн в лабораторном бассейне) для заданного диапазона частот.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

**ПРИЛОЖЕНИЕ 3.**

**Критерии оценивания**

**КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

1. Выдвижение и проверка гипотезы (60 баллов)

- **Формулировка гипотезы (15 баллов):**  
Четкость и научная обоснованность гипотезы о природе волн в резервуаре, связь с волновой теорией и условиями эксперимента.
- **Детализация и проверка (30 баллов):**  
Наличие этапов проверки гипотезы.  
Аргументированное подтверждение или опровержение на основе данных (сравнение экспериментальных резонансных частот с расчетными по теоретической модели).
- **Связь с выводами (15 баллов):**  
Соответствие выводов исходной гипотезе. Если гипотеза не подтвердилась (например, предполагали гравитационные волны, а получили капиллярные) — анализ причин и объяснение, почему данные привели к другому выводу.

2. Постановка и проведение эксперимента (90 баллов)

- **Планирование (30 баллов):**  
Обоснованность выбора оборудования для создания стоячих гармоник и методики измерений.  
Учет безопасности, например устойчивость контейнера, защита электроники от воды, аккуратность при работе с пластиной во избежание травм.  
Наличие подтверждения, что рабочее место вытерто после окончания работ.
- **Качество измерений (30 баллов):**  
Полнота таблицы данных (номер моды  $n$ , резонансная частота  $f$ , длина волны  $\lambda$ , рассчитанная скорость  $v$ ) с указанием погрешности измерения частоты и длины.  
Наличие повторных измерений для каждой резонансной моды и оценка разброса значений.

# МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ

## Заключительный этап

### Практика «Исследования»

#### Финальное практическое задание

---

- Соблюдение протокола (30 баллов):  
Демонстрация работающей установки, умение объяснить физику процесса (образование стоячих волн, роль граничных условий).  
Соответствие эксперимента поставленному плану (поиск резонансов во всем заданном диапазоне частот 0,5–6 Гц, фиксация не менее 6 мод колебаний).

#### 3. Обработка и визуализация данных (90 баллов)

- Графики и таблицы (45 баллов):
  - Таблица с результатами измерений ( $N$  моды,  $n$ ,  $f$ ,  $\lambda$ ,  $v$ ) с указанием погрешностей.
  - График зависимости скорости волны  $v$  от длины волны  $\lambda$  с подписанными осями и единицами измерения. Если график нарисован от руки, он должен занимать большую часть доступного пространства и быть аккуратно масштабирован.
  - График, позволяющий определить вид степенной зависимости между скоростью и длиной волны (подбором степени или логарифмический)
- Статистическая обработка (30 баллов):  
Оценка погрешности измеренных величин (частоты, длины волны, скорости).  
Попытка аппроксимации полученных данных (например, подбор степенной зависимости  $v \sim \lambda^n$  и определение показателя  $n$  графически, методом наименьших квадратов, логарифмические координаты).
- Оформление отчета (15 баллов):  
Наличие отчета с логически обоснованной структурой.

#### 4. Формулирование выводов и рекомендаций (60 баллов)

- Анализ результатов (30 баллов):  
Интерпретация полученной зависимости  $v(\lambda)$ . Обоснованный вывод о том, к какому типу относятся наблюдаемые волны (гравитационные / капиллярные / смешанные). Обсуждение возможных причин отклонений.

**МОСКОВСКАЯ ПРЕДПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ  
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ**  
**Заключительный этап**  
**Практика «Исследования»**  
**Финальное практическое задание**

---

**Обязательно:** объяснение, как полученный вывод влияет на работу гидропонной системы в условиях Лун

- Рекомендации (30 баллов):

Конкретные предложения для конструкторов лунной гидропонной системы:

- Указание опасных (резонансных) частот работы насосов, которых следует избегать на Луне (с привязкой к полученным расчетам).
- Предложения по изменению конструкции.
- Рекомендации по доработке эксперимента.

**Максимальный итог: 300 баллов.**

**Примечание:**

- За грубые нарушения ТБ (например, опрокидывание контейнера с жидкостью) снимается до 30 баллов.
- Отсутствие ключевых элементов (графиков, выводов) автоматически снижает оценку за соответствующий критерий до 0.