



15TH ASIAN PHYSICS OLYMPIAD
11 - 18 MAY 2014, SINGAPORE

Экспериментальный тур
15 мая 2014 г.
Время тура: 8.30 – 13.30

Код студента

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

Задание содержит 13 страниц, включая инструкции

15 мая 2014 г.

Инструкции:

1. На решение экспериментального задания Вам отводится 5 часов.
2. Используйте только выданную вам шариковую ручку и предоставленное оборудование.
3. Вам выданы листы ответов, на которые вы должны записать полученные вами данные и результаты.
4. Заполните верхнюю часть каждого листа ответов и дополнительных листов, указав на них код участника (Student Code).
5. Вам предоставляются дополнительные листы.
6. Если вы используете дополнительные листы, пожалуйста, запишите на них код участника, литер части задания и номер страницы.
7. Если вы использовали дополнительные листы и хотите, чтобы они не проверялись, перечеркните их большим крестом **X**.
8. В ваших ответах используйте формулы, числа, рисунки и графики и пишите как можно меньше слов. Используйте символы, введенные в условии задания.
9. В конце тура разложите листы в следующем порядке:
 - a. Основные листы ответов.
 - b. Использованные чистые листы
 - c. Листы, не подлежащие проверке
 - d. Неиспользованные листы
 - e. Условие задания
10. Вложите все ваши листы в конверт и оставьте его на столе.
11. Вам не разрешается выносить из аудитории никакие бумаги и оборудование, использованное в эксперименте.

Скорость ультразвука в растворах

1. Введение:

Ультразвуковые волны широко используются в промышленности для неразрушающего контроля, в сонарах, в медицинской диагностике (УЗИ) и т.д. Для изучения ультразвуковых волн широко применяется акустооптический эффект. В настоящее время акустооптические приборы используются при модуляции и обработке сигналов, а также для небольшого изменения частоты света. Акустооптический эффект можно легко получить с помощью лазера. Для получения акустооптических эффектов могут использоваться пьезоэлектрические преобразователи высокой частоты.

В вашем эксперименте вы будете изучать характеристики распространения звука в некоторых растворах:

- (i) с использованием акустооптического эффекта в режиме дифракции Рамана-Ната;
- (ii) с использованием прямой визуализации стоячих волн.

Кроме того, вы обнаружите, что очень интересные эксперименты можно осуществить с помощью простого, дешевого и легкодоступного оборудования.

2. Меры предосторожности и общие рекомендации:

- (1) Не направляйте луч лазера себе в глаза.
- (2) Пьезоэлектрический преобразователь следует включать только после того, как он помещен **в воду в аквариум**.
- (3) Не погружайте руку в аквариум при включенном пьезоэлектрическом преобразователе.
- (4) Старайтесь не пролить воду, особенно на электрические соединения.
- (5) Аккуратно обращайтесь с оборудованием, особенно с аквариумом.
- (6) Не пробуйте на вкус предоставленные вам жидкости.
- (7) Перед включением лазера надевайте защитные очки.
- (8) Выключайте лазер когда вы его не используете, чтобы не разрядить батарейку.
- (9) Выключайте пьезоэлектрический преобразователь, когда вы его не используете (ибо он нагревает воду, а скорость звука в воде зависит от температуры).
- (10) Для защиты листов ответов и условий задания поместите их в предоставленную вам пластиковую папку.
- (11) Оборудование, которое вы в данное время не используете, поместите в пластиковую коробку и поставьте её на пол (так как площадь стола ограничена).
- (12) Вам предоставлено три аквариума и вы можете, переходя к следующему заданию, брать новый.

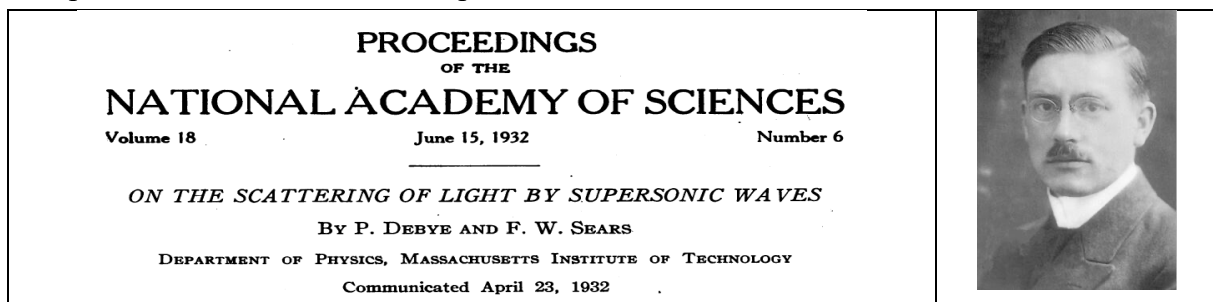
3:Оборудование


Рис. 1. Внешний вид оборудования, используемого при выполнении данного задания

- | |
|--|
| (A) Аквариум для жидкости (3 штуки) |
| (B) Алюминиевая платформа для аквариума (по требованию) |
| (C) Пьезоэлектрический преобразователь |
| (D1) Держатель для пьезоэлектрического преобразователя. |
| (D2) Платформа (с регулировкой высоты) для установки на держателе |
| (E) Лазерная указка в пластиковом чехле с помощью которого лазер можно оставлять во включенном состоянии |
| (F) Экран на котором пластилином можно крепить листы бумаги, на которых вы можете отмечать, например, наблюдаемые полосы |
| (G) Юстировочные столики (4 штуки) для крепления лазерной указки или установки оптических элементов |
| (H) Два зеркала |
| (I) Две линзы с фокусными расстояниями 5,0 см и 15,0 см |
| (J) Минеральная вода (2 бутылки по 1,5 л и 2 бутылки по 0,5 л) |
| (K) Соль (500 г) |
| (L) Бутылка с растворенной в минеральной воде солью (концентрация раствора неизвестна) для эксперимента C |
| (M) Раствор сиропа в воде (3 бутылки по 0.51 л) |
| (N) Электронные весы |
| (O) Измерительный стакан для воды |
| (P) Измерительная лента |
| (Q) Линейка |
| (R) Штангенциркуль |
| (S) Защитные очки |
| (T) Пластиковый контейнер (на 4 л) для использованной воды |
| (U) Салфетки (2 рулона) |
| (V) Ложка |
| (W) Ножницы |
| (X) Скотч и стикеры (пластилин) |
| (Y) Термометр в пластиковом чехле |

Часть А. Измерение частоты звуковых волн с помощью дифракции

Распространение звуковой волны в среде сопровождается колебаниями давления, которые, в свою очередь, приводят к колебаниям показателя преломления среды. При соответствующих условиях звуковые волны создают движущуюся периодическую структуру (решетку) показателя преломления среды. Такая структура может наблюдаться оптическим способом. Всё это называется акустооптическим эффектом. Дифракцию света на движущейся периодической структуре показателя преломления впервые наблюдали Дебай и Сирс в 1932 г.



Теоретические основы этого явления были сформулированы Раманом и Натом в 1935 году.

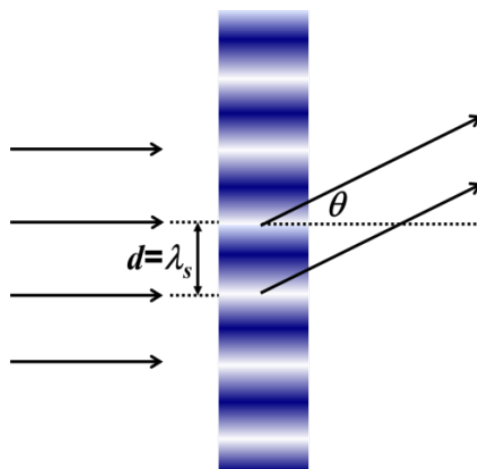


Рис. 2: Движущаяся решетка показателя преломления, создаваемая ультразвуковыми волнами в жидкости

Как видно из рис. 2 луч света дифрагирует на движущейся решетке. Дифракция описывается уравнением:

$$d \sin(\theta) = i \lambda_{medium} \quad (1)$$

Здесь d — период решетки, θ — угол дифракции, i — порядок дифракции, λ_{medium} — длина волны света в среде.

Согласно теории Рамана и Ната период решетки d равен длине ультразвуковой волны λ_s в среде, как показано на рис. 2.

В данном задании частота ультразвуковых волн, создаваемых пьезоэлектрическим преобразователем (С), определяется с помощью дифракции. Скорость звука в минеральной воде считайте известной. На рис. 3 приведена зависимость скорости звука в такой воде от температуры.

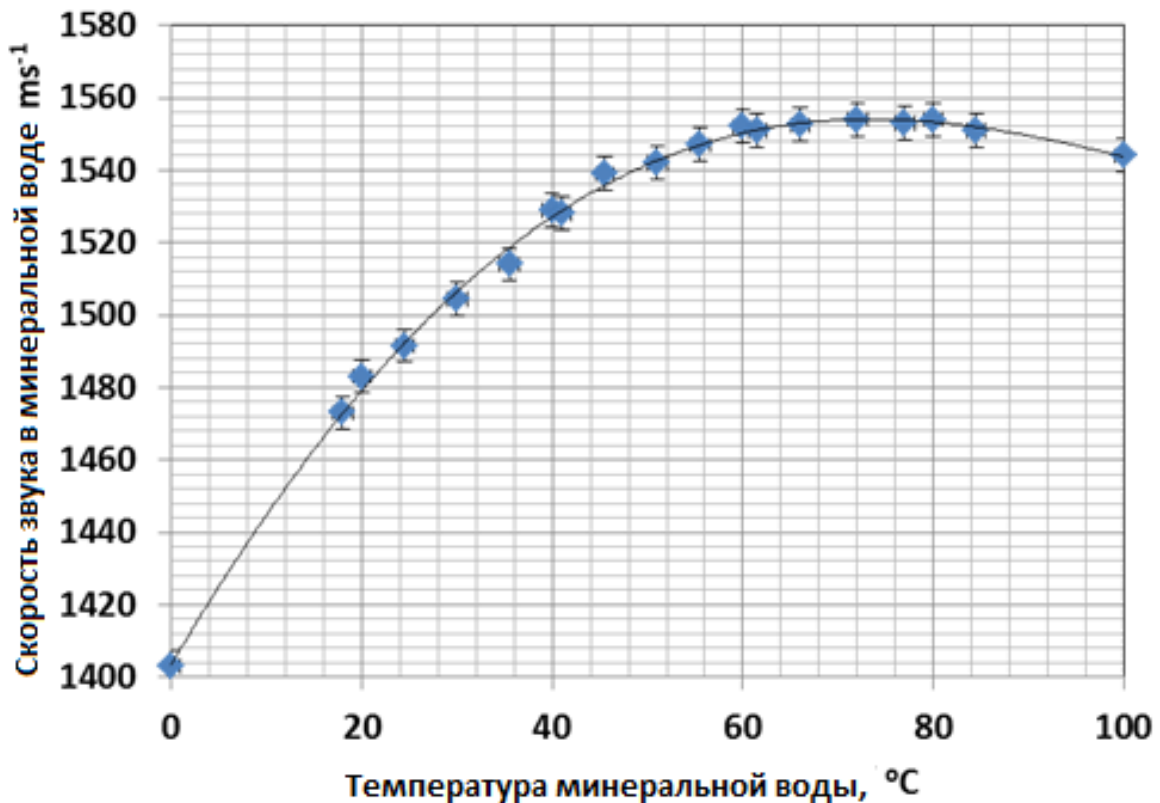
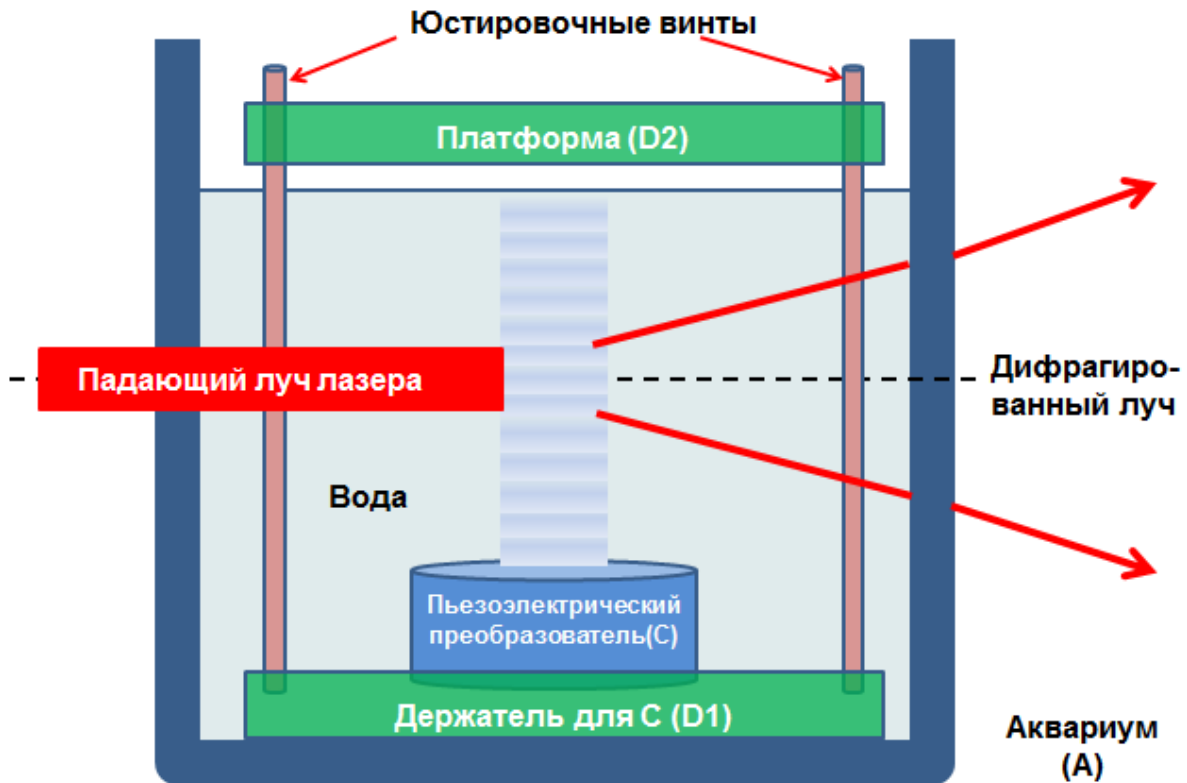


Рис. 3. Зависимость скорости звука в минерализованной воде от температуры

Пьезоэлектрический преобразователь (С) крепится в круглом отверстии держателя (D1), помещенного в аквариум (А). Налейте в аквариум 1.5 л минерализованной воды. После включения преобразователя в воде формируется периодическая структура (решетка) показателя преломления, как показано на рис. 4(а). Для выполнения задания А, установите платформу (D2) над водой. Эта платформа нужна для защиты от всплесков воды. Дифракционные полосы образуются в результате нормального падения лазерного луча на решетку. На достаточно большом расстоянии от решетки на экране (F) хорошо видны дифракционные полосы (см. рис 4(б)), которые в дальнейшем используются для измерения и анализа.

(а) Дифракционный метод



(b) Схема экспериментальной установки А.

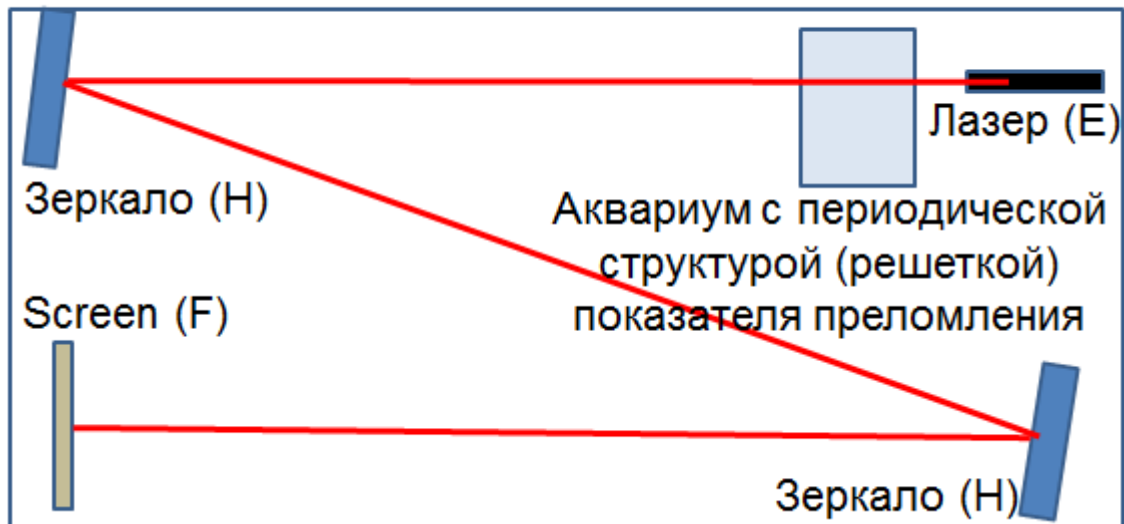


Рис. 4: (а) Схема установки для создания движущейся решетки показателя преломления (масштаб не соблюден). (b) Схема экспериментальной установки.

Для вычисления частоты ультразвуковых волн, создаваемых в минерализованной воде ультразвуковым преобразователем, необходимо определить длину волны λ_s звука в воде. Ответьте на вопрос А1, используя формулу (1) и рис. 5, на котором обозначены необходимые параметры.

А1. Выражение для λ_s , в приближении малых углов дается уравнением (2). 1.5

$$\lambda_s = A(m - 1) \frac{n_{air}\lambda_{air}}{D_m} \quad (2)$$

Получите выражение для A , используя параметры ($b, g, L, n_w, n_g, n_{air}$). Здесь

λ_s – длина ультразвуковой волны в воде,

b – расстояние от центра ультразвуковой решетки до внутренней стороны стеклянной стенки аквариума,

g – толщина стеклянной стенки аквариума,

m – полное число наблюдаемых дифракционных полос, наблюдаемых на экране,

n_w, n_g, n_{air} – показатели преломления воды, стекла и воздуха, соответственно,

L – расстояние от стенки аквариума до экрана,

λ_{air} – длина волны лазерного излучения в воздухе,

D_m – ширина области экрана, на которой укладывается m дифракционных полос.

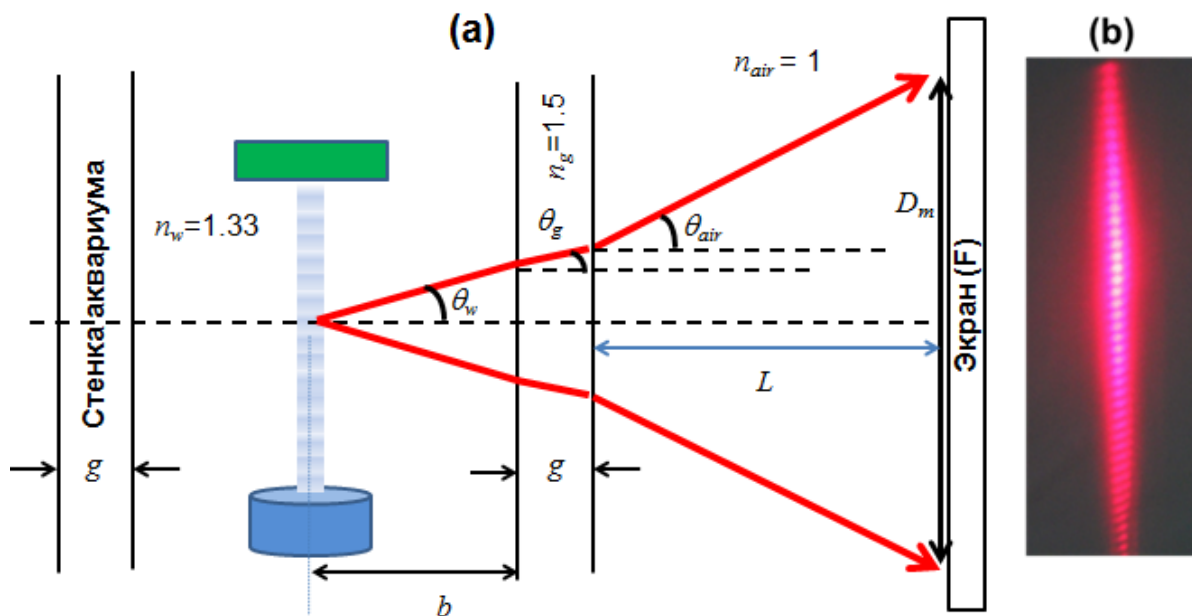


Рис. 5: (а) Диаграмма распространения дифрагированных лучей, с указанием соответствующих параметров. (б) Фотография дифракционной картины, наблюдаемой на экране.

Теперь соберите экспериментальную установку. Воспользуйтесь подсказками, содержащимися на рис. 4 и 5. Постарайтесь получить как можно больше дифракционных полос. Закрепите лист ответов A2 на (F) для регистрации дифракционных полос. Так как сечение лазерного луча может быть асимметричным, вращайте лазер вокруг его оси до тех пор, пока не получатся полосы наилучшего качества. В ходе эксперимента следите за температурой воды, так как от неё зависит скорость звука.

| | | |
|------------|--|-----|
| A2. | На листе ответов A2 приведите несколько зарисовок с положением всех дифракционных полос. Запишите число подсчитанных полос m , и ширину области экрана D_m , на которой укладывается m дифракционных полос. Запишите температуру минеральной воды. Не забудьте записать соответствующие параметры эксперимента, необходимые для вычислений. Для этого воспользуйтесь листом ответов A3. | 2.5 |
|------------|--|-----|

Примечание: После того, как вы отметите все полосы, пожалуйста, выключите пьезоэлектрический преобразователь (C) и лазерную указку (E) на то время, пока вы обрабатываете данные.

Справочные данные для последующих вычислений:

$n_w = 1.333 \pm 0.007$ — показатель преломления света в воде;

$n_{air} = 1.000 \pm 0.0003$ показатель преломления света в воздухе;

$n_g = 1.50 \pm 0.05$ показатель преломления света в стекле

$\lambda_{air} = 660 \pm 3$ нм – длина волны излучения лазера (в воздухе)

На рисунке 3 приведена температурная зависимость скорости звука в воде.

Примечание: Для упрощения вычислений погрешностей вы можете пренебречь неточностями величин n_w , n_g , n_{air} , λ_{air} .

| | | |
|------------|--|-----|
| A3. | Измерьте и запишите в листе ответов A3. Рассчитайте длину волны λ_s звука в минерализованной воде. | 1.0 |
| A4. | Рассчитайте и запишите частоту f_s ультразвуковых волн в минерализованной воде. | 0.5 |
| A5. | Приведите анализ погрешностей для оценки погрешности f_s . | 1.0 |

Часть В. Измерение частоты ультразвуковых волн с использованием метода проекций

В части В данного эксперимента для измерения частоты ультразвуковых волн в минеральной воде будет использован другой способ, называемый «методом

проекции», позволяющий производить измерения прямым путем, с помощью визуальных наблюдений. Для этого при помощи регулируемой пластины (D2), в минеральной воде формируется стоячая волна (пластина (D2) выступает в роли отражателя ультразвуковых волн). Суперпозиция бегущих волн от пьезоэлектрического источника и регулируемой отражательной пластины, движущихся в противоположных направлениях, создает стоячие волны. На рис. 6, схематично показана установка, используемая в методе проекций. Как показано на этом рисунке, линза (I) расположена между лазером (E) и стенкой стеклянного сосуда (A). Структура стоячей волны в стеклянном сосуде проецируется на экран с увеличением $M = D_B/p$.

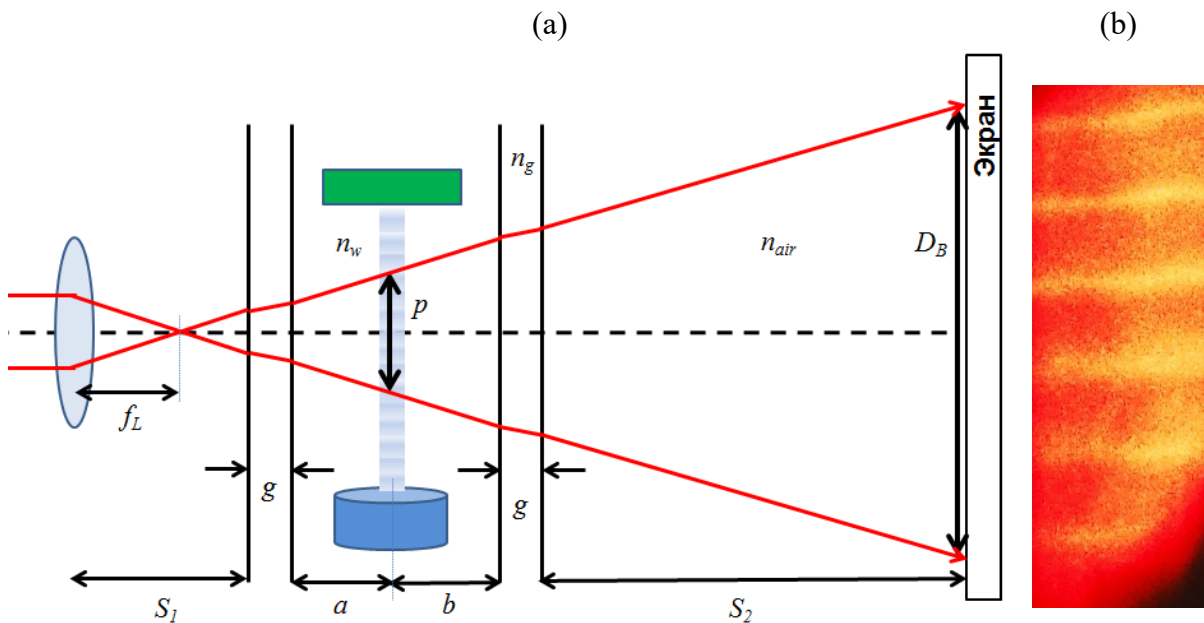


Рис. 6: (a) Схематичное изображение метода проекций, с обозначением всех параметров. (b) Пример изображения структуры стоячей волны, спроецированной на экран.

Коэффициент увеличения M , области p на экране (F), выраженный через параметры, приведенные на рис. 6, задан уравнением (3):

$$M = \frac{\left[\frac{(S_1 - f_L)}{n_{air}} + \frac{2g}{n_g} + \frac{(a + b)}{n_w} + \frac{S_2}{n_{air}} \right]}{\left[\frac{(S_1 - f_L)}{n_{air}} + \frac{g}{n_g} + \frac{a}{n_w} \right]} \quad (3)$$

где S_1 – расстояние от центра линзы до внешней стенки аквариума

S_2 – расстояние от внешней стенки аквариума до экрана (F)

f_L – фокусное расстояние линзы

a – расстояние от центра области формирования стоячих волн до левой внутренней стенки аквариума

b – расстояние от центра области формирования стоячих волн до правой внутренней стенки аквариума

g – толщина стенок аквариума

n_w – показатель преломления света в воде

n_g – показатель преломления света в стекле

n_{air} – показатель преломления света в воздухе

Светлые и темные полосы на экране соответствуют узлам и пучностям (амплитудным значениям) стоячей волны.

| | | |
|------------|--|-----|
| В1. | Допустим, что число светлых полосок на экране, подсчитанных на области экрана длиной D_B , равно m_B . Используя уравнение (3), запишите выражение для λ_s через измеряемые и заданные параметры. | 1.0 |
|------------|--|-----|

Теперь соберите установку, используя диаграмму (рис. 6). В этой части задания необходимо прикрепить лист ответов В2 к экрану (F) и зарисовать наблюдаемую структуру стоячей волны.

Некоторые советы по проведению этой части эксперимента:

- Для получения стоячей ультразвуковой волны, используемой в методе проекций, погрузите платформу (D2) в воду.
- Тщательно отрегулируйте положение крепежных винтов для получения стабильного, хорошо просматриваемого изображения, схожего с изображением рис. 6 (b).
- Вам выданы две линзы, с фокусными расстояниями 5 см и 15 см. Заметьте, что для эксперимента части В, необходимо использовать **только одну** из этих линз.

| | | |
|------------|---|-----|
| В2. | На листе ответов В2, нарисуйте штрихи от спроецированных стоячих волн. Укажите число наблюдаемых светлых полос m_B , а также длину разброса полос D_B . В дополнение к этому, запишите температуру минеральной воды. Не забудьте также указать на листе ответов В3 другие параметры, необходимые для вычислений и используемые в эксперименте. | 2.0 |
|------------|---|-----|

| | | |
|------------|--|-----|
| В3. | Измерьте и запишите все необходимые параметры на листе ответов В3 и вычислите длину звуковой волны λ_s в минеральной воде. | 1.5 |
|------------|--|-----|

| | | |
|------------|--|-----|
| В4. | Вычислите и запишите частоту f_s ультразвуковых волн в минеральной воде. | 0.5 |
|------------|--|-----|

В следующем пункте при определении погрешности частоты f_s можете пренебречь погрешностями параметров n_w , n_g , n_{air} и фокусного расстояния f_L .

| | | |
|------------|---|-----|
| В5. | Укажите подробные выкладки и рассчитайте погрешность определения величины f_s . | 1.0 |
|------------|---|-----|

Часть С. Определение концентрации соли в растворе

В этой части эксперимента, используйте бутылку (L) с этикеткой “Unknown Concentration”, в которой содержится соляной раствор с неизвестным количеством соли, растворенной в минеральной воде. Цель эксперимента части С – определить неизвестную концентрацию этого раствора.

Последовательно увеличивайте концентрацию соли в аквариуме (A), предварительно налив в него 1,5 литра минеральной воды и добавляя определенные порции соли, предварительно взвесив их на весах. Используя частоту ультразвуковых волн, найденную в частях А или В, измерьте скорость звука в растворе для каждой полученной концентрации. Для измерения скорости звука в соляном растворе, используйте **ТОЛЬКО ОДИН** из методов, описанных в частях А или В.

Вам необходимо нарисовать график зависимости скорости звука от концентрации соли C_s (C_s - отношение массы растворенной соли в воде к суммарной массе воды с растворенной солью). Это будет ваш калибровочный график.

Далее измерьте скорость звука в растворе из бутылки с ярлыком «Unknown concentration» с неизвестной концентрацией соли и используя полученный ранее калибровочный график, определите концентрацию соли в воде из бутылки с ярлыком.

Предположим, что показатель преломления соляного раствора изменяется незначительно при добавлении любого количества соли, и может быть принят равным 1.333 ± 0.007 .

Во время эксперимента из части С, делайте ТОЛЬКО ОДНО измерение для каждой концентрации соли.

Не забывайте выключать пьезоэлектрический источник и лазерную указку, когда не проводите измерения.

Теперь прикрепите на экране (F) лист ответов С1 для записи наблюдаемой структуры.

| | | |
|------------|--|-----|
| С1. | Для каждой известной концентрации соли отметьте штрихами на листе ответов С1 наблюдаемую структуру. Под каждым рисунком подпишите соответствующую ему концентрацию соли. Не забудьте также на листе ответов С2 указать другие параметры, используемые в эксперименте и необходимые для вычислений. Если вам понадобятся дополнительные листы для этих рисунков, можете использовать обычные белые листы формата А4. | 1.0 |
| С2. | Для каждой известной концентрации соли измерьте и запишите на листе ответов все необходимые параметры и вычислите скорость звука v_s . | 2.0 |

| | | |
|------------|--|-----|
| C3. | Изобразите график зависимости скорости звука v_s в соляном растворе, как функцию C_s – концентрации соли. Изобразите на графике кресты ошибок для каждого измерения, полагая, что относительная погрешность такая же, как и рассчитанная в частях А или В. | 1.0 |
|------------|--|-----|

Теперь определите концентрацию раствора соли C_s из бутылки (L) с неизвестной концентрацией (с приклеенным ярлыком “Unknown Concentration”).

| | | |
|------------|--|-----|
| C4. | Изобразите на листе ответов C4 структуру, наблюдаемую для раствора с неизвестной концентрацией. Запишите температуру раствора. Запишите на листе ответов C4 значения других параметров, относящихся к этой части эксперимента и вычислите скорость звука v_s в этом растворе. | 0.8 |
|------------|--|-----|

| | | |
|------------|--|-----|
| C5. | Определите концентрацию соли в неизвестном растворе. Запишите на листе ответов C5 ответ вместе с погрешностью измерений. | 0.2 |
|------------|--|-----|

Часть D. Измерение скорости звука в растворе сиропа

Скорость звука в растворе сиропа следует измерять с помощью дифракционного метода, описанного в части А задания. Однако сначала вы должны определить показатель преломления света в сиропе. Для этого воспользуйтесь раствором сиропа (M) и новым аквариумом.

Соберите установку для определения показателя преломления света в сиропе и проведите соответствующий эксперимент.

| | | |
|------------|---|-----|
| D1. | Нарисуйте эскиз установки и обозначьте на нем элементы установки. Проведите эксперимент, запишите соответствующие параметры в лист ответов и вычислите показатель преломления раствора сиропа. | 1.5 |
|------------|---|-----|

Теперь соберите экспериментальную установку для определения скорости звука в растворе сиропа, как вы делали это при выполнении задания А.

| | | |
|------------|--|-----|
| D2. | Отметьте дифракционные полосы на листе ответов D2. Измерьте все параметры, необходимые для вычисления скорости звука v_s в растворе сиропа. Вычислите и запишите скорость v_s . | 1.0 |
|------------|--|-----|

При выполнении задания D анализ ошибок проводить не нужно.

Ура!!! Конец задания!!!