



## Республиканская физическая олимпиада 2024 года (Заключительный этап)

### Экспериментальный тур

#### 11 класс.

**Прочтите это в первую очередь!**

1. Полный комплект состоит из двух заданий, на выполнение каждого отводится два с половиной часа. Сдавать работу следует после выполнения обоих заданий. Задания могут быть не равноценными, поэтому ознакомьтесь с условиями обеих задач.
2. Ознакомьтесь с перечнем оборудования – проверьте его наличие и работоспособность. При отсутствии оборудования или сомнении в его работоспособности немедленно обращайтесь к представителям оргкомитета.
3. Для Вас подготовлены Листы ответов, в которых отведены поля для занесения выводов формул, полученных результатов, комментариев по ходу выполнения работы. Для результатов измерений в Листах ответов подготовлены Таблицы, для построения графиков – их бланки. Листы ответов – это ваш чистовик. Для черновиков используйте чистые рабочие листы.
4. Так как ваши работы сканируются, пишите только на одной стороне всех листов. Подписывать листы запрещается.
6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.



**Желаем успехов в выполнении данных заданий!**

**Пакет содержит:**

- титульный лист (1 стр.);
- условия 2 экспериментальных заданий (6 стр.);
- лист с цветными фотографиями (1 стр.);
- листы ответов (13 стр.);

## Задание 11-1. Колебания линейки на цилиндре

Если положить линейку на неподвижный цилиндр так, чтобы в положении равновесия она располагалась горизонтально, и если вывести ее из положения равновесия, то она будет совершать колебания. В данном задании Вам необходимо исследовать такие колебания.

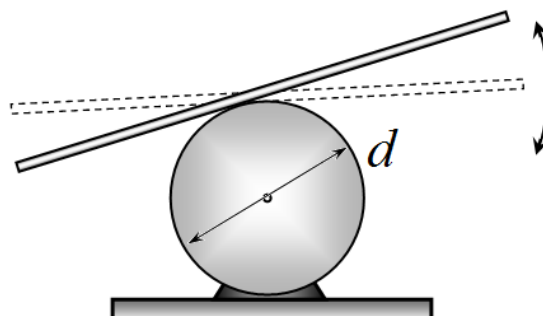
**Приборы и оборудование:** набор цилиндров, 2 деревянных линейки 40 см, штангенциркуль, секундомер, кусок пластилина.

### Часть 1. Зависимость периода от диаметра.

Чтобы цилиндр оставался неподвижным, прикрепите его к столу с помощью кусочка пластилина.

В данной части вам необходимо исследовать зависимость периода колебаний линейки от диаметра цилиндра.

Измерения следует провести для одной линейки и двух линеек скрепленных друг с другом параллельно (сдвоенная линейка).



**1.1** Измерьте периоды колебаний одной линейки и сдвоенной линейки на цилиндре самого малого диаметра с максимально возможной точностью.

**1.2** Рассчитайте приборную, случайную и полную погрешности измерения этих периодов.

*Все результаты занесите в Таблицу 1 листов ответов. В первом столбце приведите формулы, по которым были проведены расчеты.*

**1.3** Измерьте зависимости периодов колебаний линейки и сдвоенной линейки от диаметра цилиндров. Не забудьте измерить диаметры цилиндров. Постройте графики полученных зависимостей.

*Оценка погрешностей не требуется. Результаты измерений занесите в Таблицы 2 и 3.*

#### Теоретическая подсказка

Можно показать, что зависимость периода рассмотренных колебаний  $T$  от диаметра цилиндра  $d$  описывается формулой (вывод этой формулы не требуется и не оценивается)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{A}{d-a}}. \quad (1)$$

где  $A$  и  $a$  - постоянные, зависящие от размеров линейки.

**1.4** Линеаризуйте зависимость (1) таким образом, что бы по ней можно было а) проверить формулу (1); и б) определить параметры этой зависимости  $A$  и  $a$ .

**1.5** Постройте графики линеаризованных зависимостей. Укажите, применима ли формула (1) для описания результатов ваших измерений.

*Результаты расчетов занесите в свободные столбцы Таблиц 2 и 3.*

**1.6** Рассчитайте численные значения параметра  $a$  и его погрешность для одной и сдвоенной линеек. Попытайтесь «угадать» наглядный смысл этого параметра.

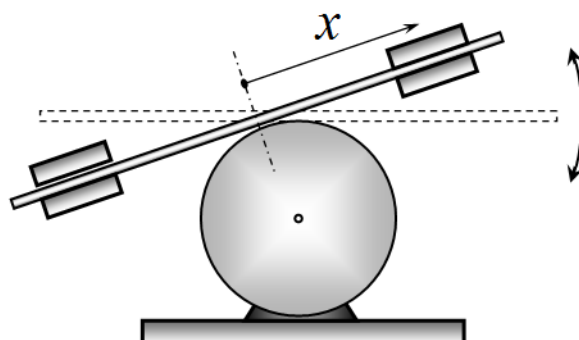
**1.7** Определите, при каких значениях диаметра цилиндра, горизонтальное положение линейки будет устойчивым.

## Часть 2. Зависимость периода колебаний от положения грузов.

*Оценка погрешностей в данной части не требуется.*

Измерения в этой части проводите только с одной линейкой и на цилиндре максимального диаметра.

Прикрепите к линейке симметрично две пары магнитов. Обозначим расстояние от середины линейки  $x$ .



**2.1** Измерьте зависимость периода колебаний линейки от положения магнитов  $x$ .  
Постройте график полученной зависимости.

*Результаты измерений занесите в Таблицу 4 листов ответов.*

Для данных колебаний формула для периода колебаний (1) также применима, только величина  $A(x)$  является некоторой функцией от  $x$ .

**2.2** На основании простых физических рассуждений предложите вид зависимости  $A(x)$ .

**2.3** Постройте линеаризованный график зависимости периода колебаний от положения магнитов  $x$ , который подтверждает предложенную Вами зависимость  $A(x)$ . Сделайте вывод о правильности предложенной Вами зависимости  $A(x)$ .

*Результаты необходимых промежуточных расчетов приведите в свободных столбцах Таблицы 4.*

## Задание 11-2. Преломление света

Показатель преломления вещества является одной из важнейших оптических характеристик вещества. Показатель преломления зависит от длины волны света. Пусть при изменении длины на величину  $\Delta\lambda$  показатель преломления изменяется на величину  $\Delta n$ . Тогда дисперсией показателя преломления называется отношение

$$D = \frac{\Delta n}{\Delta\lambda}. \quad (1)$$

В данном задании Вам необходимо провести ряд экспериментальных исследований, связанных с преломлением света в стекле и жидкости.

**Приборы и оборудование:** стеклянная равнобедренная призма, чашка Петри с исследуемой жидкостью, лазер полупроводниковый (длина волны  $\lambda = 670\text{ нм}$ ) с блоком питания, светодиодный фонарик белого света, штатив с лапкой, две собирающие линзы на подставках, экран на подставке, линейка измерительная 40 см, линейка прозрачная, пластилин, лист белой бумаги, 2 измерительных лимба на бумаге, два кусочка клейкой ленты.

Все оптические установки собирайте на листе белой бумаги, закрывающий стол, на этом листе может делать необходимые вам геометрические построения и измерения. При необходимости элементы оптических схем можете закреплять в нужном вам положении с помощью пластилина.

### Часть 1. Показатель преломления и дисперсия стекла.

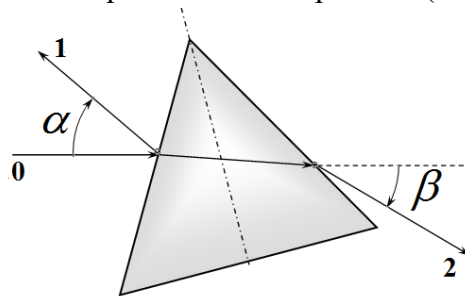
В данной части используйте равнобедренную стеклянную призму, которую размещайте непосредственно на столе. На призму направляйте луч лазера, который закрепите на столе с помощью кусочка пластилина. Если луч направить под малым углом к горизонту, то на листе бумаги легко увидеть лучи отраженные и преломленные призмой ( см. фото 1).

В данной части необходимо исследовать следующие лучи:

- 0 - луч, падающий на грань призмы;
- 1 – луч, отраженный этой гранью;
- 2 – луч преломленный призмой.

Можно увидеть и другие лучи, испытывающие отражения внутри призмы. Их принимать во внимание не надо.

Обозначим:  $\alpha$  - угол отклонения отраженного луча;  $\beta$  - угол отклонения преломленного луча (этот угол отсчитывается от направления падающего луча 0).



**1.1** Измерьте зависимость угла  $\beta$  от угла  $\alpha$ . Постройте график полученной зависимости.

*При выполнении данного пункта задания для измерения углов используйте угломерный лимб №1, обеспечивающий достаточную точность измерений. Результаты измерений и необходимых расчетов приведите в Таблице 1.*

При повороте призмы угол отклонения преломленного угла  $\beta$  изменяется не монотонно. При определенном угле падения преломленный угол принимает минимальное

значение  $\beta_{\min}$ , при этом угол отклонения отраженного луча принимает некоторое значение, которое мы обозначим  $\alpha_{\min}$  (понятно, что это не есть минимальный угол  $\alpha$ ).

**1.2** Измерьте с максимальной точностью угол минимального отклонения  $\beta_{\min}$  и соответствующий угол отклонения отраженного угла  $\alpha_{\min}$ .

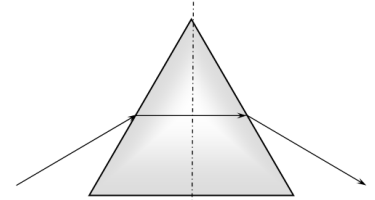
*При выполнении этого пункта точности измерения углов с помощью бумажного лимба недостаточно. Поэтому проведите измерения с большей точностью. Укажите, как вы увеличили точность измерений. Оцените погрешность измерения этих углов.*

**1.3** Рассчитайте показатель преломления материала призмы по измеренному значению угла  $\alpha_{\min}$ .

**1.4** Рассчитайте показатель преломления материала призмы по измеренному значению угла  $\beta_{\min}$ .

*Приведите вывод формул для расчета показателя преломления.*

Подсказка. Минимальному углу отклонения соответствует симметричный ход луча через призму.



Закрепите фонарик в лапке штатива. С помощью двух линз сформируйте параллельный пучок белого света, распространяющийся параллельно столу.

**1.5** Нарисуйте оптическую схему, формирующую параллельный пучок света. Укажите геометрические параметры вашей схемы (расстояния между элементами схемы) и примерный ход лучей.

Направьте параллельный пучок света на призму (для призмы используйте подставку). При «правильном» положении призмы и экрана, на экране можно получить спектр – цветную полоску (см. фото 2)

**1.6** Приведите оптическую схему, с помощью которой вам удалось получить спектр на экране (укажите положение призмы, ее примерную ориентацию относительно падающего пучка света; положение экрана, примерный ход лучей)

*Для более четкой (но менее яркой) цветной полоски на экране, на передней грани призмы с помощью двух кусочков липкой ленты можно сделать небольшую щель толщиной в несколько мм.*

**1.7** Проведите необходимые измерения и определите, на сколько изменяется показатель преломления  $\Delta n$  стекла в пределах видимого диапазона.

*Укажите, какие величины вы измеряли, приведите расчетные формулы.*

**1.8** Оцените дисперсию показателя преломления  $D$  стекла в видимом диапазоне света.

*Дисперсию показателя преломления указать с точностью до одной значащей цифры.*

## Часть 2. Преломление в жидкости и... радуга.

В данной части задания Вам необходимо исследовать преломление света в круглом сосуде (чашке Петри) с жидкостью. Чашку Петри расположите на столе, луч лазера направляйте на боковую поверхность чашки. Глядя сверху, можно видеть путь луча в жидкости (см. фото 3). Для измерения необходимых углов используйте угломерный лимб №2, который положите под чашку. Значения всех углов приводите в градусах.

На рисунке показан ход лучей через цилиндрический сосуд: 0 – падающий луч, 1 – луч, преломленный в сосуде, 2 – луч, испытавший одно отражение на стенке сосуда.

Обозначим:

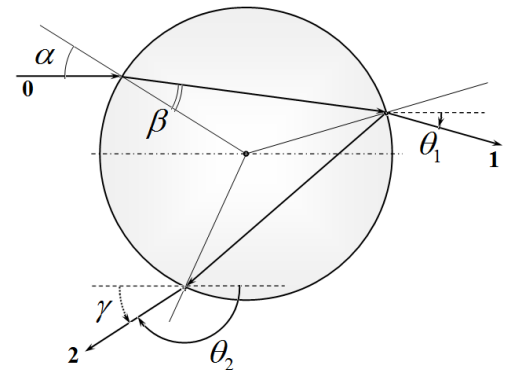
$\alpha$  - угол падения луча;

$\beta$  - угол преломления луча;

$\theta_1$  - угол отклонения луча 1 (от направления падающего луча);

$\theta_2$  - угол отклонения луча 2 (от направления падающего луча);

$\gamma$  - угол выхода луча 2 из сосуда.



**2.1** Измерьте зависимость угла преломления  $\beta$  от угла падения  $\alpha$ .

*Для изменения угла падения лучше передвигать чашку Петри (вместе с измерительным лимбом), чтобы направление падающего лазерного луча оставалось неизменным.*

*Укажите на рисунке, какие величины Вы измеряли. Приведите формулы для расчета углов  $\alpha$ ,  $\beta$ . Результаты непосредственных измерений и значения углов приведите в Таблице 2.*

**2.2** Постройте график связывающий результаты измерений углов  $\alpha$ ,  $\beta$ , таким образом, чтобы он, во-первых, мог подтвердить закон преломления света; во-вторых позволил рассчитать значение показателя преломления жидкости.

**2.3** Укажите, подтверждают ли ваши измерения закон преломления света.

**2.4** Рассчитайте показатель преломления жидкости  $n$ . Оцените погрешность его измерения.

Далее Вам необходимо провести расчеты.

**2.5** Получите формулы выражающие углы отклонения  $\theta_1$  и  $\theta_2$  через углы  $\alpha$ ,  $\beta$ .

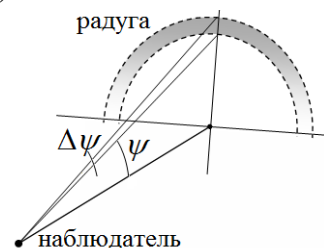
**2.6** Проведите расчет зависимостей углов  $\beta$ ,  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  и угла  $\gamma$  от угла падения  $\alpha$ .

*При расчетах используйте значение показателя преломления, найденное в п. 2.4. Результаты расчетов приведите в Таблице 3.*

**2.7** Постройте на одном бланке графики зависимостей углов  $\theta_1$  и  $\gamma$  от угла падения  $\alpha$ .

**2.8** Используя полученные графики, кратко (не более 50 слов) объясните, почему радуга наблюдается в отраженном свете и не наблюдается в проходящем свете.

Направьте на чашку параллельный пучок белого света от фонарика. При наблюдении под определенным углом на поверхности чашки можно увидеть радугу, или получить ее изображение на экране (конечно, не полную дугу, а ее малый участок).



**2.9** Изобразите оптическую схему установки, позволяющую увидеть радугу (или получить ее изображение на экране). Укажите какие величины Вы измеряли.

**2.10** Измерьте угловой размер радуги  $\psi$  и ее угловую ширину  $\Delta\psi$ .

*Покажите на схеме, как вы провели эти измерения.*

**Фотографии к заданию 11-2. Преломление света**

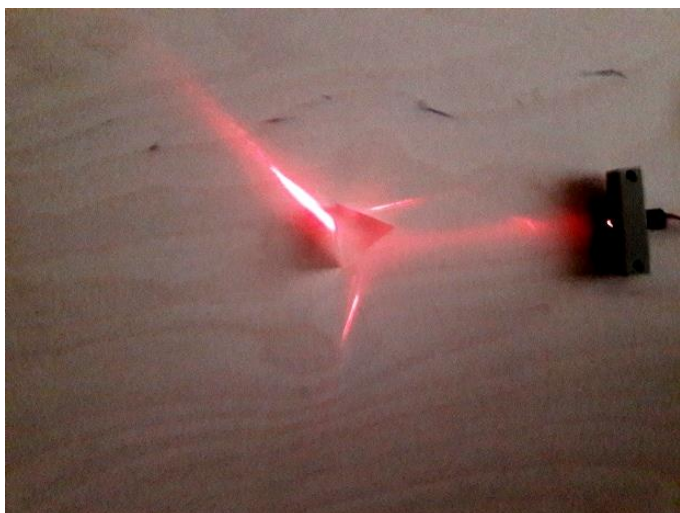


Фото 1.

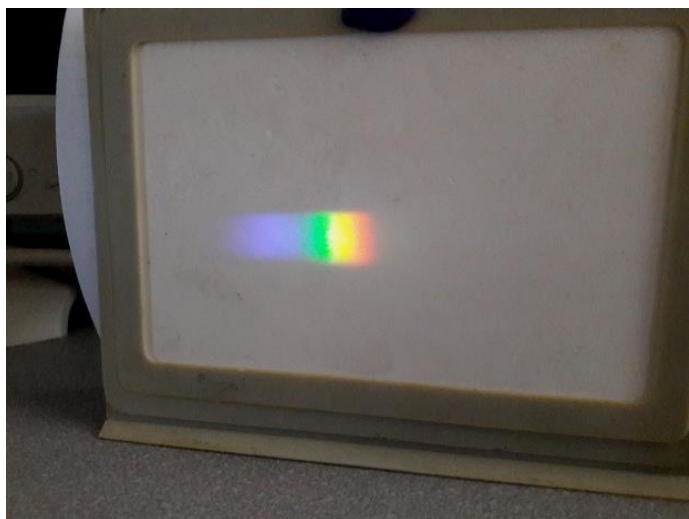


Фото 2.



Фото 3.



## Листы ответов

### Задание 11-1. Колебания линейки на цилиндре

**Часть 1. Зависимость периода от диаметра.**

**1.1 – 1.2 Результаты измерений периодов колебаний**

**Таблица 1.**

	одна линейка	две линейки
Результаты отдельных измерений		
Средние значения		
Случайная погрешность		
Приборная погрешность		
Полная погрешность		
Периоды колебаний $T$		
Погрешность измерения периода $\Delta T$		

Окончательные результаты измерения периодов (правильно записанные)

$$T_1 =$$

$$T_2 =$$

1.3 Зависимости периодов колебаний линейки и сдвоенной линейки от диаметра цилиндров

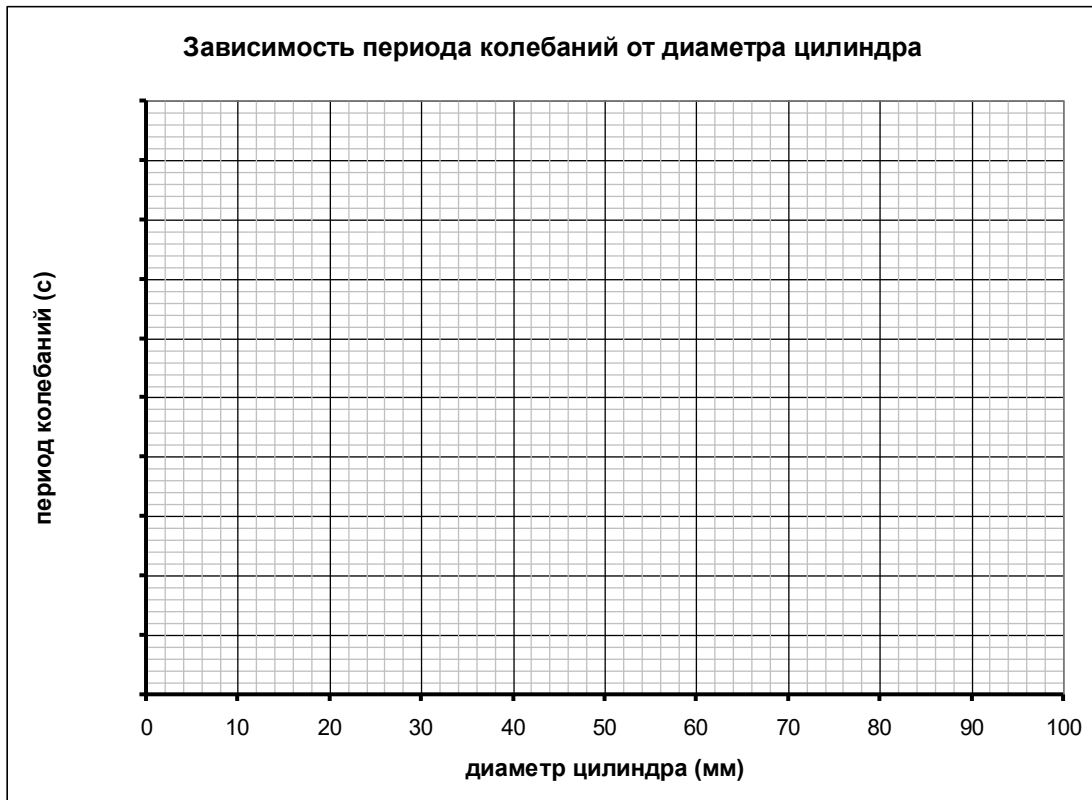
Таблица 2. Одна линейка

		время N колебаний			T, с		
d, мм	N	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с			

Таблица 3. Две линейки

		время N колебаний			T, с		
d, мм	N	t <sub>1</sub> , с	t <sub>2</sub> , с	t <sub>3</sub> , с			

Графики зависимостей периодов от диаметра.



1.4 Способ линейризации (вид линейризованной зависимости – формула).

1.5 Графики линейризованных зависимостей.



Применима ли формула (1)?

**1.5** Численные значения параметра  $a$  и его погрешность  
Метод расчета (формулы)

Результаты  
для одной линейки

$$a_1 =$$

для сдвоенной линейки

$$a_2 =$$

Наглядный смысл параметра  $a$  :

**1.6** При каких значениях диаметра цилиндра, горизонтальное положение линейки будет устойчивым?



2.2 Вид зависимости  $A(x)$  и ее теоретическое обоснование.

2.3 Линеаризованный график зависимости периода колебаний от положения магнитов  $x$ .



Выводы о правильности предложенной зависимости  $A(x)$ .

## Экспериментальное задание 2. Преломление света

### Часть 1. Показатель преломления и дисперсия стекла.

#### 1.1 Таблица 1 результатов измерений и график зависимости.

$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$



1.2 Как увеличена точность измерения углов:

Значения углов

$$\alpha_{\min} =$$

$$\beta_{\min} =$$

1.3 – 1.4 Рисунок и вывод формул для расчета показателя преломления

Значения показателя преломления:

По углу  $\alpha_{\min}$  :

$$n =$$

по углу  $\beta_{\min}$

$$n =$$



**1.5** Оптическая схема для получения параллельного пучка света

**1.6** Оптическая схема для получения спектра на экране

**1.7** Измерение пределов измерения показателя преломления  
Результаты измерений, расчетные формулы, численные значения

**1.8** Дисперсия показателя преломления стекла

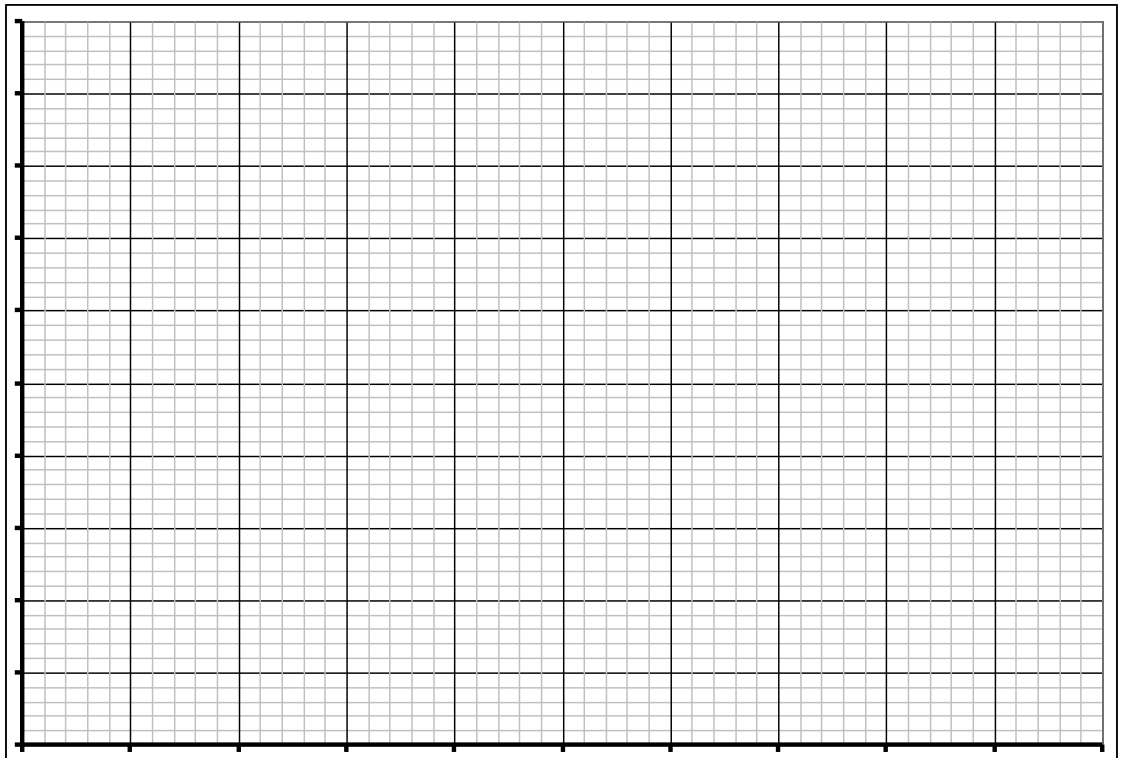
$D =$

**Часть 2. Преломление в жидкости и... радуга.**

**2.1 Рисунок с измеряемыми величинами, расчетные формулы**

**Таблица 2. Результаты измерений и расчетов**


**2.2 График зависимости.**



2.3 Выполняется ли закон преломления света (обоснование)

2.4 Показатель преломления жидкости (метод расчета, численное значение)

$n =$

2.5 формулы для расчета углов (рисунок, краткий вывод формул)

$\beta =$

$\theta_1 =$

$\theta_2 =$

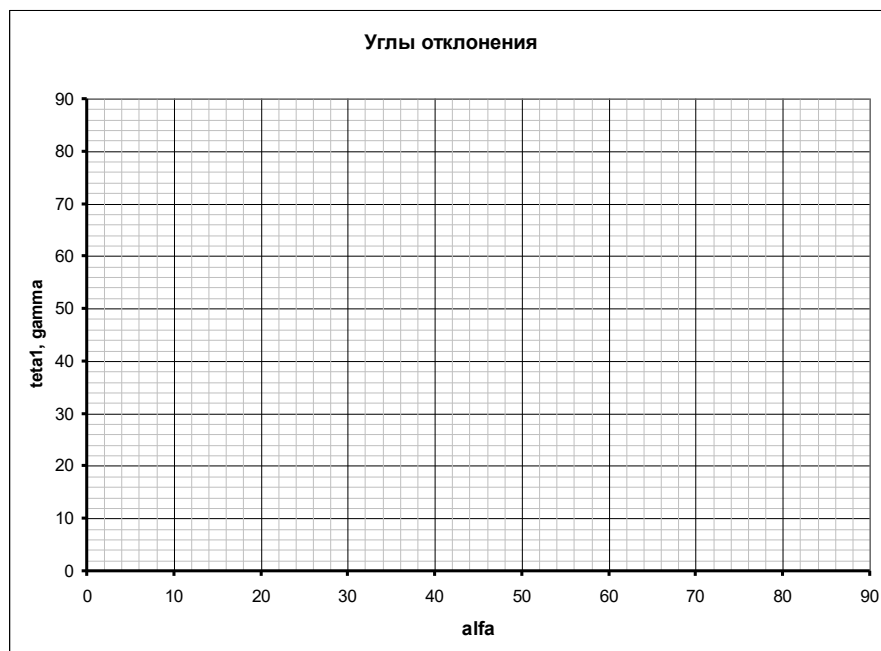
$\gamma =$

## 2.6 Результаты расчетов углов.

Таблица 3.

$\alpha^\circ$	$\beta^\circ$	$\theta_1^\circ$	$\theta_2^\circ$	$\gamma^\circ$
0				
10				
20				
30				
40				
50				
60				
70				
80				

## 2.7 Графики зависимостей



## 2.8 Объяснение наличия радуги и ее отсутствия

**2.9** Схема наблюдения радуги, методы измерения

**2.10** Угловые размеры радуги

$$\psi =$$

$$\Delta\psi =$$

## Фотографии к заданию 11-2. Преломление света

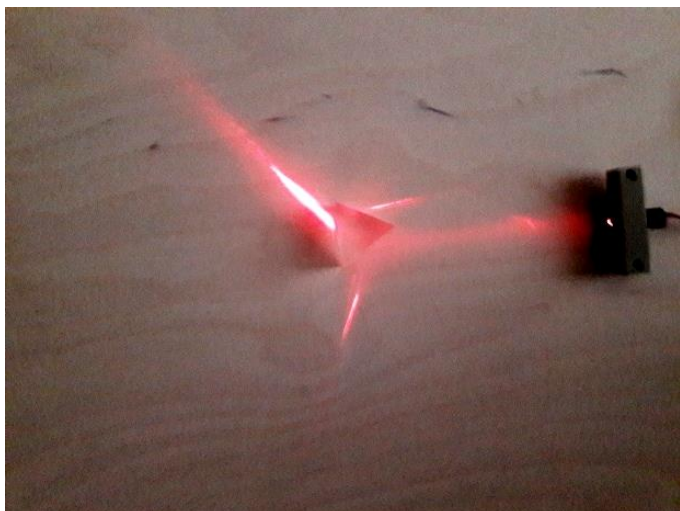


Фото 1.

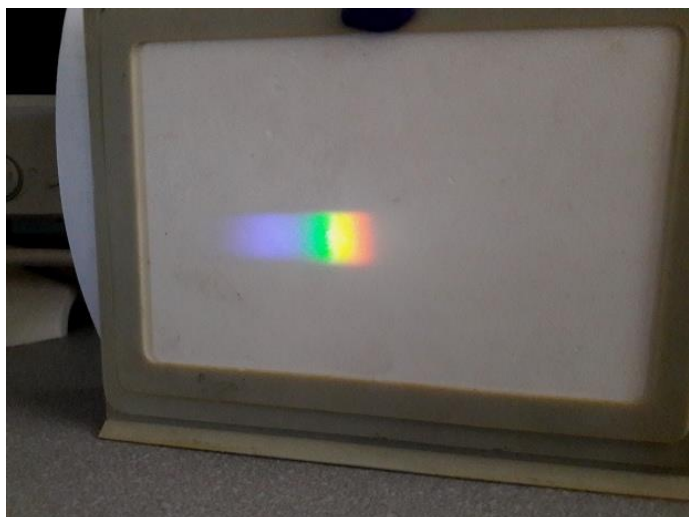


Фото 2.



Фото 3.