

УТВЕРЖДАЮ

Заместитель председателя оргкомитета заключительного этапа
Республиканской олимпиады Заместитель Министра образования

Р.С. Сидоренко

«___» декабря 2016 г.



Республиканская физическая олимпиада 2017 год (III этап)

Экспериментальный тур

10 класс.

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 сомнения в его работоспособности немедленно обращайтесь к представителям оргкомитета.**

3. При оформлении работы каждую задачу и каждую ее часть начните с новой страницы. Первая половина тетради предназначена для чистовика – вторая для черновика.

4. Все графики рекомендуем строить на листе миллиметровой бумаги, выданном для выполнения каждого задания. Обязательно пронумеруйте и подпишите все построенные графики. Листы миллиметровой бумаги вложите в свою тетрадь.

5. Подписывать тетради, отдельные страницы и графики запрещается.

6. В ходе работы можете использовать ручки, карандаши, чертежные принадлежности, калькулятор.

7. Со всеми вопросами, связанными с условиями задач (но не с их решениями), обращайтесь к представителям Жюри.



Желаем успехов в выполнении данных заданий!

Задание 10-1. Тянем-потянем...

Оборудование: два одинаковых деревянных бруска, соединённых скотчем и прикреплённой нитью к одному из брусков, штатив с лапкой, грузы 100г (6 шт.), груз 50г(1 шт.), два динамометра (2,5Н и 5,0Н), гвоздь финишный, мерная лента, линейка деревянная (40 см), половина листа бумаги А2 разрезанного вдоль, скотч (ширина 2см), ножницы.

Указания по использованию оборудования: лист бумаги не резать, он Вам нужен целым, по бумаге будете перемещать бруски, бумагу к столешнице не крепить, возможно, вам её придётся передвигать, мерную ленту нужно будет прикрепить скотчем к столешнице и разложить по бумаге, для определения массы тел пользуйтесь динамометрами.

Соберите установку как показано на рисунке 2. Под бруски положите лист бумаги. Тяните за нить, переброшенную через гвоздь, так, чтобы бруски двигались равномерно. В некоторый момент правый брусок

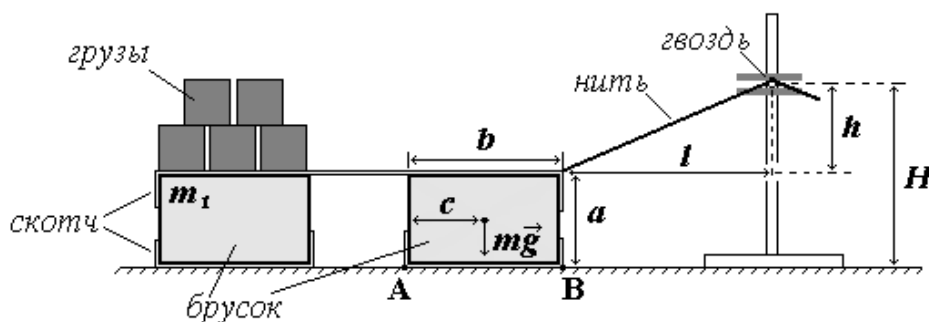


Рисунок 2.

оторвётся от горизонтальной поверхности и будет продолжать движение опираясь на неё только ребром (точка А на рис.2). Пронаблюдайте, как будет изменяться расстояние l в зависимости от количества грузов на левом бруске.

В данной задаче Вам предстоит исследовать зависимость отрыва от массы грузов на втором бруске. Эту зависимость удобно представить в виде $m_1(l)$, где l расстояние, на котором произошел отрыв, m_1 - масса второго бруска с грузами.

При некотором количестве грузов на левом бруске наблюдается явление «соскальзывания» правого бруска в первый момент отрыва его от поверхности, после чего брусок продолжает движение, соприкасаясь с листом бумаги всей нижней гранью, затем в некоторый момент опять происходит отрыв правого бруска. Расстояние l измеряйте при первом отрыве правого бруска от поверхности.

Можно показать, что теоретическая зависимость $m_1(l)$ имеет вид:

$$m_1 = \frac{m(c-b)}{(b+\mu a)} + \frac{m(c+\mu a)}{\mu h(b+\mu a)} l \quad (1)$$

где μ - коэффициент трения брусков о бумагу, геометрические параметры указаны на рис. 2.

1. Измерьте длины отрезков a , b , H . Вычислите длину отрезка h . Измерьте массы брусков: m – масса правого бруска и m_{01} – масса левого бруска без грузов.
2. Исследуйте зависимость $m_1(l)$ экспериментально.

3. Используя результаты эксперимента, вычислите длину отрезка c (см. рис. 2) и коэффициент трения μ между брусками и листом бумаги. Погрешности в данном пункте вычислять не требуется.
4. Определите коэффициент трения μ между брусками и листом бумаги другим известным Вам методом. Используйте метод, который позволяет получить результат с наименьшей погрешностью. (Не забудьте кратко описать (3-4 строчки) суть используемого Вами метода). Вычислите относительную и абсолютную погрешность измерения коэффициента трения μ при использованном Вами методе. **Внимание:** бруски не рассоединять, определяйте коэффициент трения, используя два бруска одновременно.

Задание 10 - 2. Преломление и пропускание.

Приборы и оборудование: Пластинка стеклянная 5x5 см, толщина 6 мм; Пластинка из оргстекла 5x5 см, толщина 4 мм, бумага фильтровальная, красный лазер, штатив, линейка, миллиметровая бумага для измерений, вода.

Часть 1. Познакомимся с законом преломления.

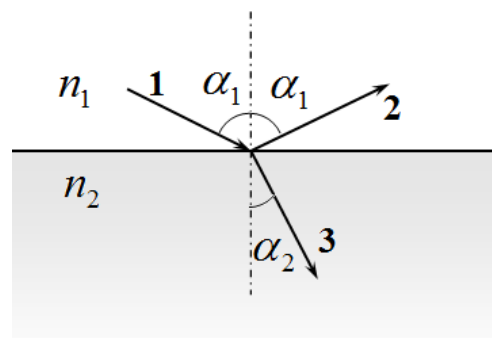
Если луч света 1 падает на границу раздела двух различных веществ, то возникают отраженный (2) и преломленный (3) лучи.

Для этих лучей справедливы законы геометрической оптики:

- Лучи падающий, отраженный, преломленный и нормаль к поверхности в точке падения лежат в одной плоскости;

- угол отражения равен углу падения;

- угол преломления и угол падения связаны соотношением (закон Снелиуса):



$$n_1 \sin \alpha_1 = n_2 \sin \alpha_2, \quad (1)$$

Где n_1, n_2 - показатели преломления сред (основная оптическая характеристика материалов).

Для воздуха показатель преломления можно считать равным $n = 1$.

Все углы отсчитываются от нормали (перпендикуляра) к границе раздела.

1.1 На отдельном Бланке 1 изображены три луча, падающие из воздуха на стекло (показатель преломления которого $n_1 = 1,5$). Постройте (точно) отраженные и преломленный лучи, возникающие от каждого из падающих лучей. Пронумеруйте эти лучи в соответствии с нумерацией падающих лучей.

1.2 На отдельном Бланке 2 изображены три луча, падающие из стекла (показатель преломления которого $n_1 = 1,5$) в воздух. Постройте (точно) отраженные и преломленный лучи, возникающие от каждого из падающих лучей. Пронумеруйте эти лучи в соответствии с нумерацией падающих лучей.

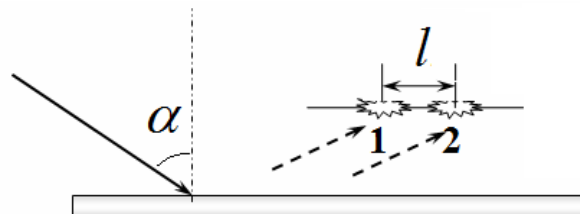
1.3 При каком максимальном угле падения из стекла в воздух будет возникать преломленный луч?

Построения проводите на выданных бланках!

Часть 2. Два отражения

Во всех измерениях закрепляйте лазер в лапке штатива!

Направьте луч лазера на одну из горизонтально расположенной пластинок ящика по некоторым углом α . Если на некотором расстоянии от пластинки расположить листок бумаги (миллиметровку) параллельно пластинке, то нем можно увидеть два ярких пятна (лучше смотреть на бумажку сверху).



Измерения следует проводить для обеих пластинок!

2.1 Определите, изменяется ли расстояние между пятнами l при изменении расстояния от ящика до листа бумаги.

2.2 Изобразите ход лучей через ящик и вне его, объясняющий возникновение 2 пятен на листе бумаги.

2.3 Получите формулу, описывающую зависимость расстояния между пятнами l от угла падения.

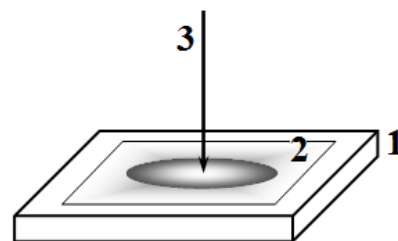
2.4 Измерьте расстояние между пятнами l при максимально возможном угле падения α (укажите как вы измеряли угол α).

2.5 Рассчитайте показатель преломления пластинки.

Часть 3. Темное пятно.

Намочите фильтровальную бумажку 2 и прикрепите ее к пластинке 1. Плотнo прижмите ее пальцами к стеклу – между бумажкой и стеклом не должно быть воздуха! Нижняя сторона пластинки должна находиться в воздухе!

Направьте луч лазера 3 на пластику вертикально. При этом на бумажке можно увидеть темное круглое пятно.



3.1 Измерьте диаметр темного пятна.

3.2 Проведите аналогичное измерение для пластинки 2.

3.3 Изобразите ход лучей в стекле после их рассеяния во все стороны на бумажке. Качественно объясните возникновение темного пятна на бумажке.

3.4 Покажите, что радиус этого пятна определяется по формуле

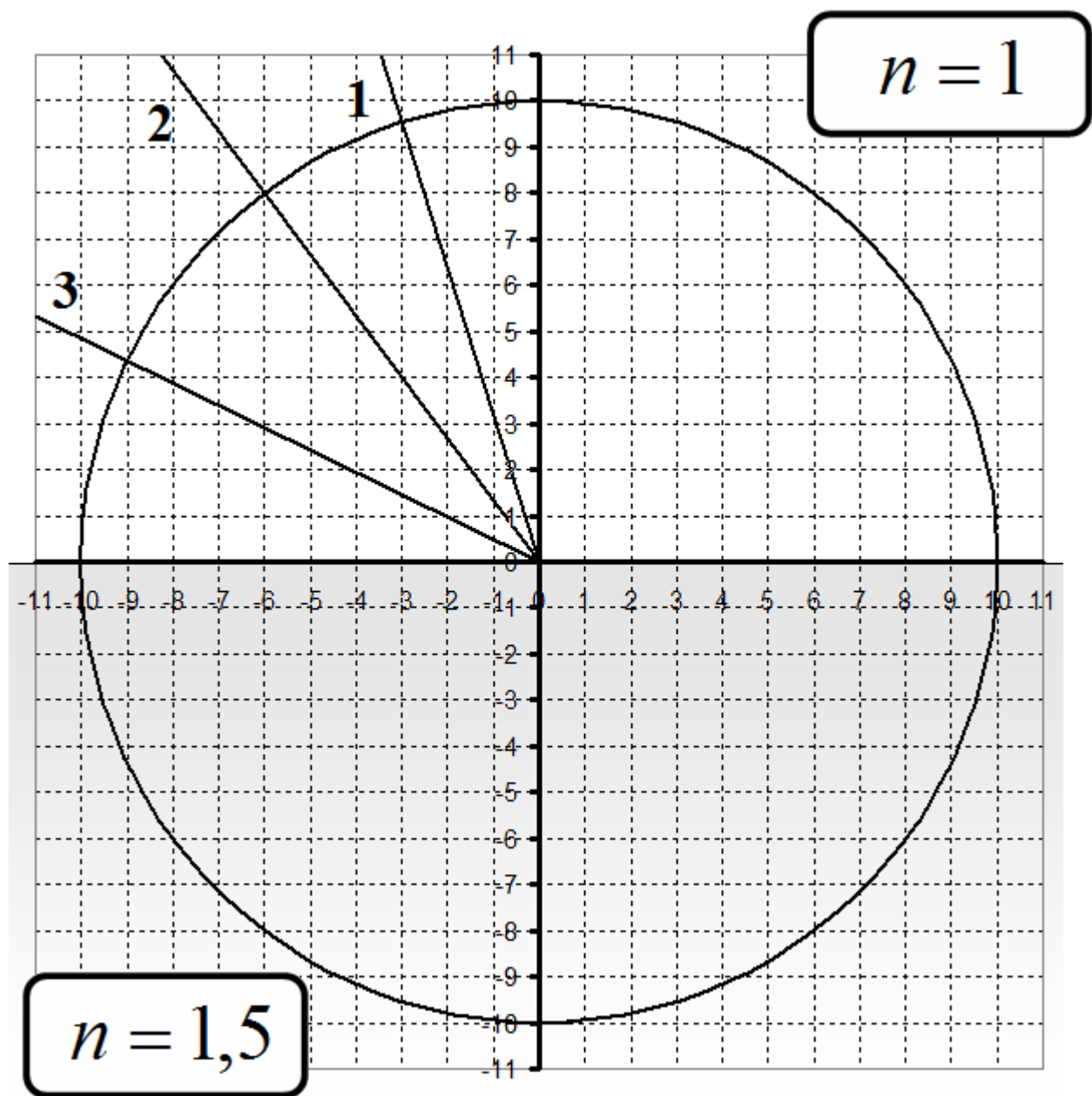
$$R = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}, \quad (2)$$

Где h - толщина пластинки, n - ее показатель преломления.

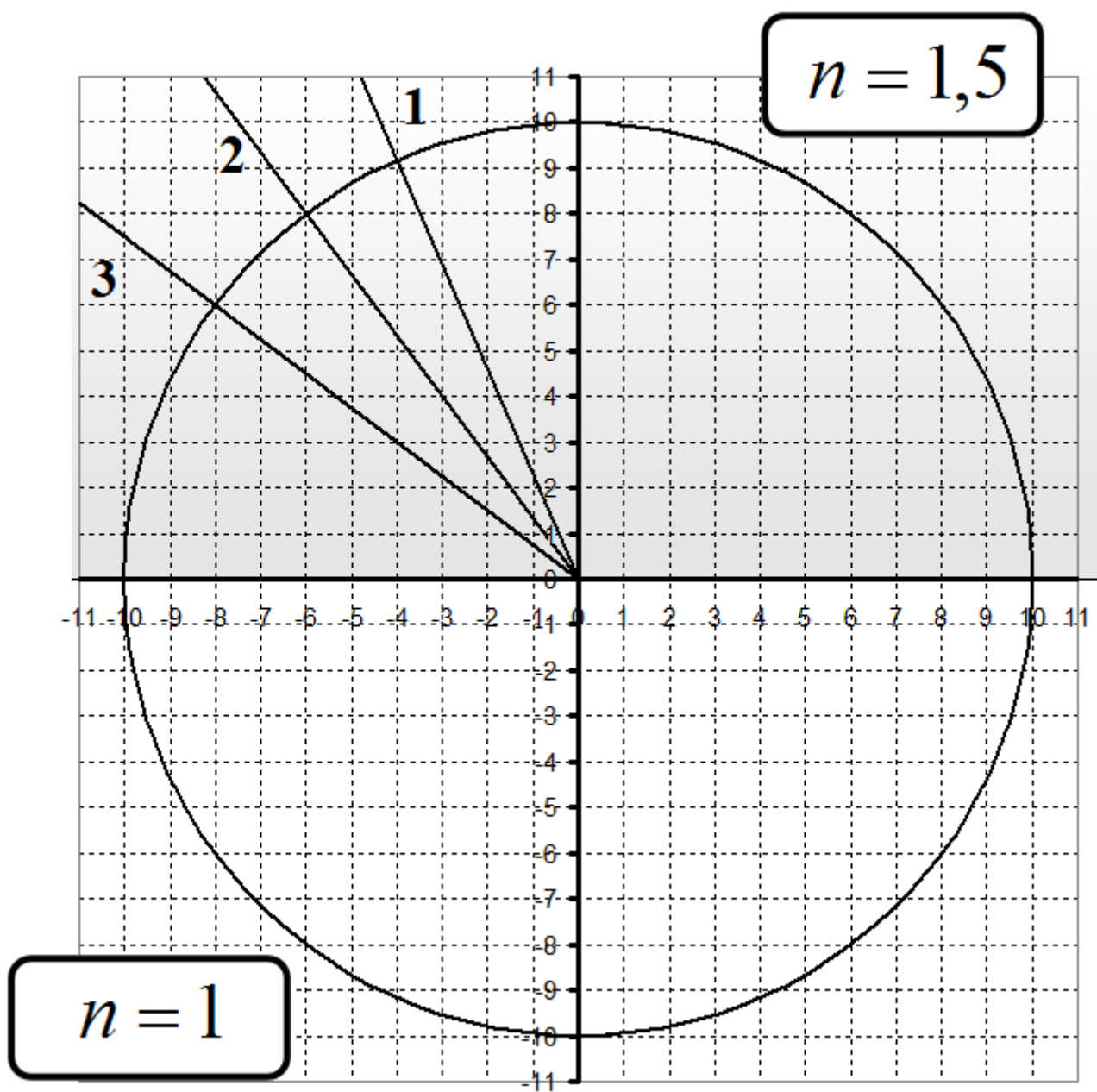
3.6 Используя результаты измерений и формулу (2) определите показатели преломления обеих пластинок.

3.7 Укажите какой из методов определения показателя преломления точнее.

Бланк 1 «Из воздуха в стекло»



Бланк 2 «Из стекла в воздух»



Задание 10-1. Тянем-потянем...

1. Массы брусков определяются с помощью динамометра с ценой деления $C_m=5г$: $m=(225\pm 5)г$, $m_{01}=(200\pm 5)г$. Размеры бруска определялись линейкой с миллиметровыми делениями: $a=(8,0\pm 0,1)см$, $b=(9,8\pm 0,1)см$. Длина отрезка $H=(40,0\pm 0,1)см$. Длина отрезка $h = H - a$, $h = (32,0 \pm 0,2)см$.

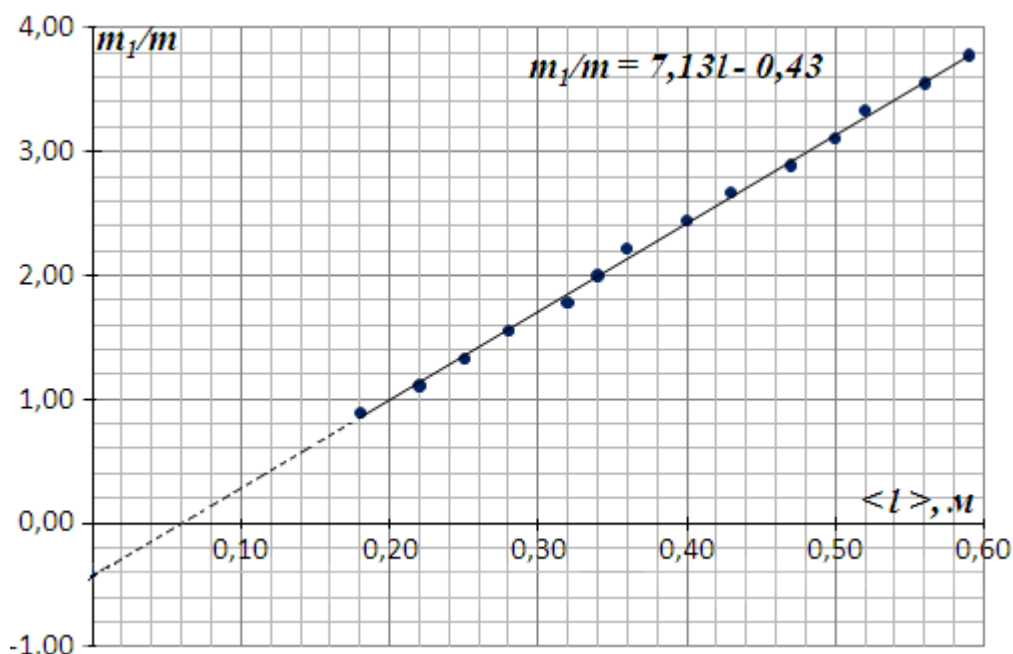
2. Расстояние l измерялось мерной лентой с точностью до 0,5см. При движении бруска визуально более точно определить положение бруска в момент отрыва не возможно. Результаты представлены в таблице ниже.

Таблица. Экспериментальные результаты

m_1 , кг	Повторные измерения					$\langle l \rangle$, м	m_1/m
	l_1 , м	l_2 , м	l_3 , м	l_4 , м	l_5 , м		
0,200	0,175	0,190	0,195	0,170	0,175	0,181	0,89
0,250	0,225	0,220	0,220	0,230	0,225	0,224	1,11
0,300	0,245	0,260	0,255	0,250	0,255	0,253	1,33
0,350	0,295	0,290	0,280	0,275	0,280	0,284	1,56
0,400	0,310	0,315	0,330	0,325	0,325	0,321	1,78
0,450	0,330	0,345	0,345	0,340	0,345	0,341	2,00
0,500	0,365	0,365	0,360	0,350	0,355	0,359	2,22
0,550	0,395	0,400	0,405	0,405	0,400	0,401	2,44
0,600	0,410	0,440	0,435	0,420	0,435	0,428	2,67
0,650	0,475	0,470	0,480	0,470	0,465	0,472	2,89
0,700	0,490	0,500	0,500	0,495	0,505	0,498	3,11
0,750	0,535	0,515	0,510	0,515	0,515	0,518	3,33
0,800	0,555	0,565	0,565	0,550	0,550	0,557	3,56
0,850	0,595	0,595	0,580	0,580	0,585	0,587	3,78

Для выполнения п.4 более удобно пользоваться графической зависимостью не $m_1(l)$ а зависимостью $\frac{m_1}{m}(l)$, график и уравнение, которой представлены ниже.

График. Зависимость $\frac{m_1}{m}(l)$.



4. Приведём уравнение (14) к виду:

$$\frac{m_1}{m} = \frac{c - b}{b + \mu a} + \frac{c + \mu a}{\mu h (b + \mu a)} l \quad (17).$$

Сравнивая уравнение (17) и уравнение усредняющей прямой

$$\frac{m_1}{m} = 7,13l - 0,43 \quad (18),$$

получим:

$$\frac{c - b}{b + \mu a} = -0,43 \quad (19)$$

и

$$\frac{c + \mu a}{\mu h (b + \mu a)} = 7,13 \text{ м}^{-1} \quad (20).$$

Подставляя в уравнения (19) и (20) значения отрезков a , b и h , решая данную систему уравнений, получим:

$$\mu = 0,25 \quad \text{и} \quad c = 0,047 \text{ м} = 4,7 \text{ см}.$$

При нахождении μ получаем квадратное уравнение, из корней которого выбираем положительный.

5.

Если, прикладывая к брускам горизонтальную силу с помощью динамометра, перемещать их равномерно по горизонтальной поверхности, то коэффициент трения может быть определён посредством уравнения

$$\mu = \frac{F_{\text{упр}}}{P} \quad (21)$$

где, $F_{\text{упр}}$ - сила, которую показывает динамометр, P – вес брусков с грузами. Однако однократное измерение не позволяет минимизировать погрешность.

Минимизировать погрешность позволяет многократное измерение силы упругости динамометра при различных значениях веса брусков с грузами и построение графика зависимости $F_{\text{упр}}(P) = \mu P$. Коэффициент трения находится как тангенс угла наклона прямой данной зависимости. Абсолютная погрешность μ определяется с использованием МНК или простым графическим способом.

Задание 10 - 2. Преломление и пропускание.

Часть 1. Познакомимся с законом преломления.

1.1

Построение отраженного луча очевидно: он зеркально симметричен падающему лучу (луч В).

Для точного построения преломленного луча следует воспользоваться законом преломления, который в данном случае имеет вид

$$\sin \alpha_1 = n \sin \alpha_2 \quad (1)$$

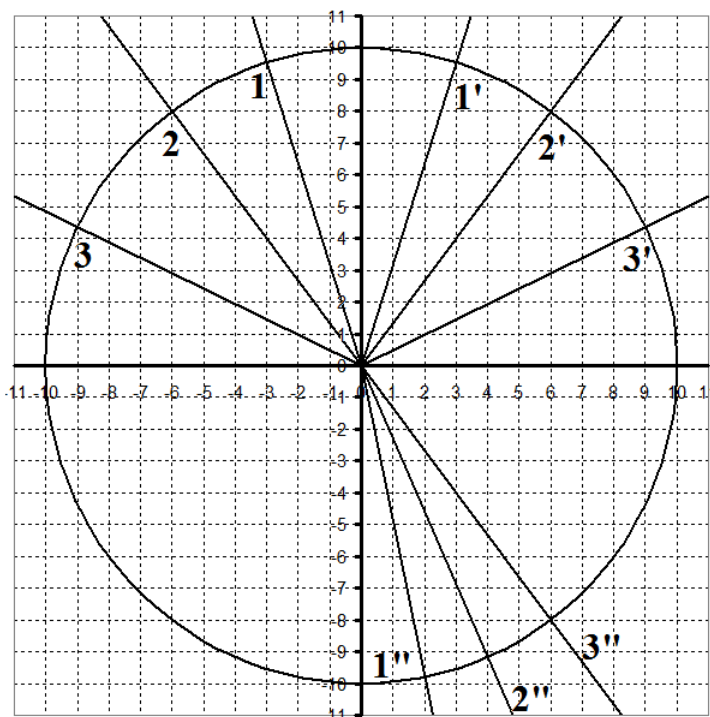
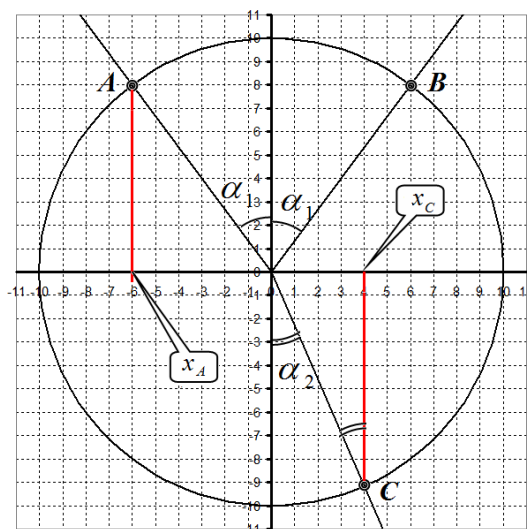
На рисунке построена окружность, поэтому можно рассмотреть точки пересечения лучей с этой окружностью. Тогда синусы углов падения, отражения, преломления можно выразить через координаты точек пересечения лучей с нарисованной окружностью:

$$\sin \alpha_1 = \frac{|x_A|}{R}; \quad \sin \alpha_2 = \frac{|x_C|}{R}. \quad (2)$$

Из этих соотношений следует, что координату точки пересечения преломленного луча с окружностью (точка C) можно легко рассчитать по формуле

$$\sin \alpha_2 = \frac{1}{n} \sin \alpha_1 \Rightarrow x_C = -\frac{x_A}{n} = -\frac{2}{3} x_A. \quad (3)$$

Здесь учтено, что $n = 1,5 = \frac{3}{2}$. Заметим, что координаты x точек пересечения всех трех падающих лучей делятся на 3 нацело.



Результат построения показан на рисунке.

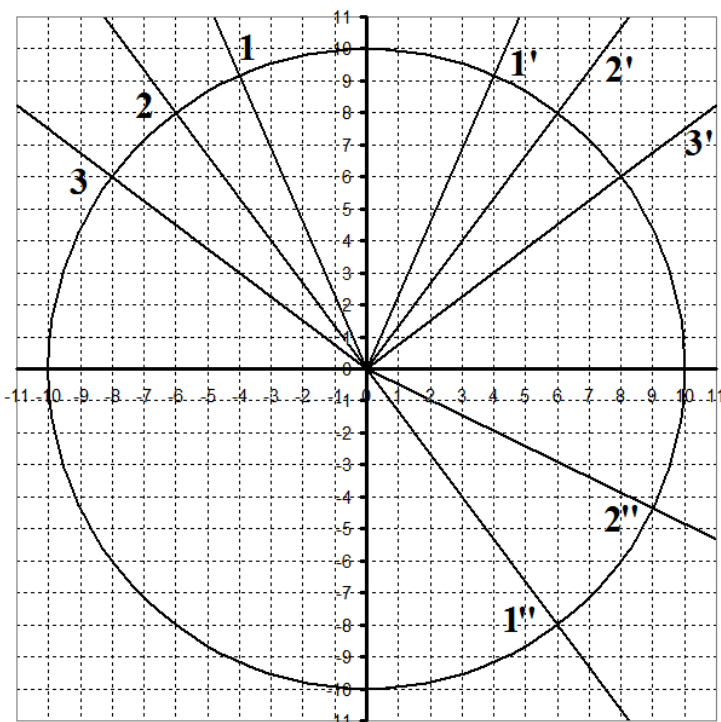
на

1.2

Расчеты и построения выполняются аналогично предыдущему пункту, только в данном случае закон преломления и следующее из него соотношение для координат x точек пересечения лучей с окружностью имеют вид

$$\sin \alpha_2 = n \sin \alpha_1 \Rightarrow x_C = -nx_A = -\frac{3}{2}x_A. \quad (4)$$

Заметим, что в этом случае координаты x точек пересечения падающих лучей делятся на 2. Кроме того, для луча 3 ($x_A = -8$) оказывается, что координата «пересечения» преломленного луча $x_C = -nx_A = -\frac{3}{2}x_A = 12$, что больше радиуса окружности. Это означает, что преломленный луч отсутствует: происходит полное внутренне отражение.



Результаты построения показаны на следующем рисунке.

1.3 При каком максимальном угле падения из стекла в воздух будет возникать преломленный луч?

Максимальному углу падения соответствует угол преломления равный $\alpha_2 = 90^\circ$, для которого $\sin \alpha_2 = 1$. Из закона преломления следует, что

$$\sin \alpha_{1 \max} = \frac{1}{n} \Rightarrow \alpha_{1 \max} = \arcsin \frac{2}{3} \approx 42^\circ \quad (5)$$

2.1 Определите, изменяется ли расстояние между пятнами l при изменении расстояния от ящика до листа бумаги.

2.2 Изобразите ход лучей через ящик и вне его, объясняющий возникновение 2 пятен на листе бумаги.

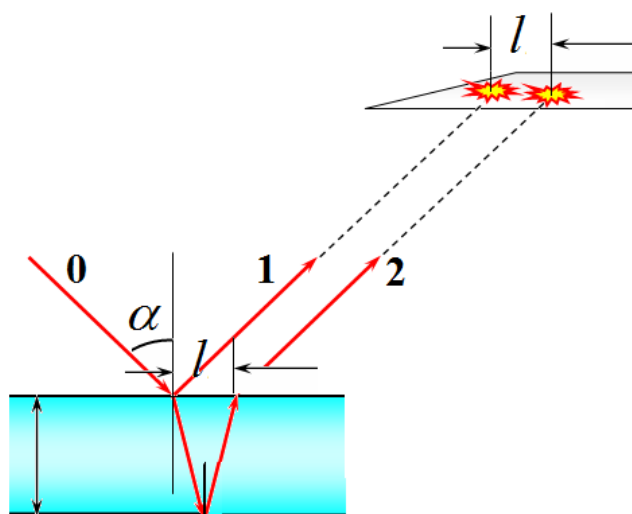
2.3 Получите формулу, описывающую зависимость расстояния между пятнами l от угла падения.

2.4 Измерьте расстояние между пятнами l при максимально возможном угле падения α (укажите как вы измеряли угол α).

2.5 Рассчитайте показатель преломления пластинки.

2.1 Эксперимент однозначно показывает, что расстояние между пятнами не зависит от расстояния до пластинки, из этого следует, что отраженные от пластинки лучи параллельны!

2.2 Два пятна возникают вследствие отражения от верхней и нижней поверхностей пластинки. Рисунок показывает ход лучей, объясняющий возникновение двух световых пятен на листочке бумаги.



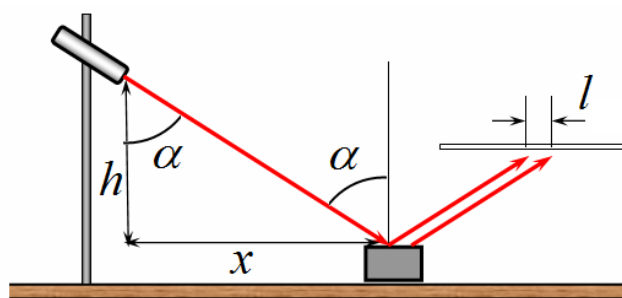
2.3 Простые геометрические построения показывают, что расстояние между лучами можно рассчитать по формуле

$$l = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}, \quad (6)$$

Для измерения угла падения α можно использовать простую схему, показанную на рисунке. Из рисунка следует, что тангенс угла падения подчиняется условию

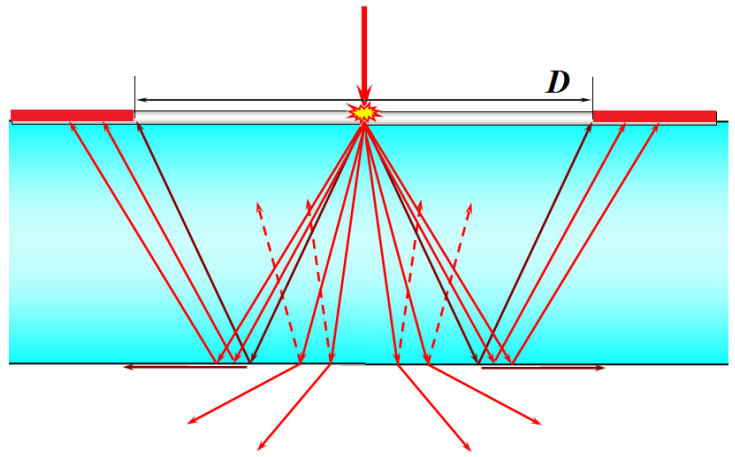
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{h}. \quad (7)$$

Измерение расстояния между пятнами проведено при $x = 430 \text{ мм}$ и дали результат $l_{12} = 10 \text{ мм}$. Расчеты, проведенные с использованием формул (6)-(7), приводят к следующему значению показателя преломления стекла $n = 1,5$. Такой же результат получается и для пластинки из оргстекла.



Часть 3. Темное пятно.

Основная причина возникновения темного кружка – полное внутреннее отражение на нижней грани пластинки. При падении луча на бумажку свет рассеивается во все стороны, поэтому внутри пластинки возникают лучи, идущие по всем направлениям. Если угол падения на эту грань меньше угла полного внутреннего отражения, то большая часть света выйдет из пластинки; при большем угле – весь свет отражается и формирует светлый ореол вокруг темного пятна.



Ход лучей показан на рисунке.

Предельный угол полного внутреннего отражения легко найти из закона преломления света (при условии, что преломленный в воздух луч идет параллельно границе раздела)

$$n \sin \alpha = 1 \Rightarrow \sin \alpha = \frac{1}{n}. \quad (8)$$

Так же из рисунка хода лучей при полном внутреннем отражении следует, что радиус темного пятна определяется формулой

$$R = 2htg \alpha. \quad (9)$$

Простые тригонометрические преобразования приводят к формуле, приведенной в условии задачи:

$$R = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}. \quad (10)$$

Результаты измерений для двух пластинок:

$$D_1 = 21 \text{ мм}$$

$$D_2 = 14 \text{ мм}$$

Расчеты показателей преломления с помощью формулы (10) приводят к результату $n = 1,5$ для обеих пластинок.

Относительная погрешность измерения диаметра темного пятна в части 3 заметно меньше, чем погрешность измерения расстояния между пятнами, поэтому второй способ (по темному кружку) точнее!