

## - 2. Преломление и пропускание. Приборы и оборудование

### Условие

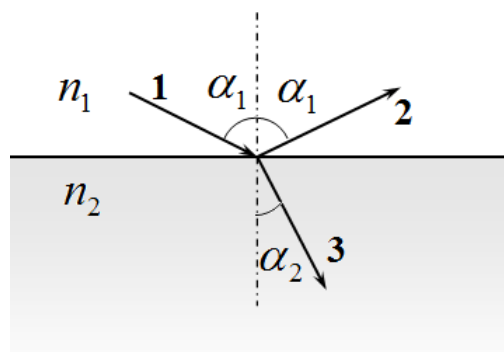
### Задание 10 - 2. Преломление и пропускание.

Приборы и оборудование: Пластика стеклянная 5х5 см, толщина 6 мм; Пластика из орг-стекла 5х5 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.

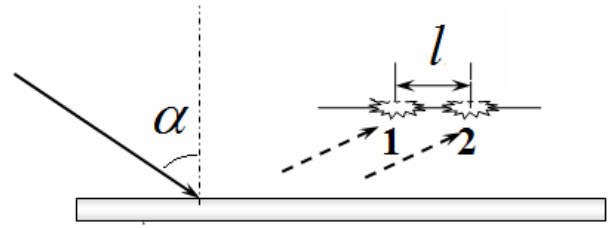
1.1 На отдельном Бланке 1 изображены три луча, падающие из воздуха на стекло (показатель преломления которого  $n_1 = 1,5$ ). Постройте (точно) отраженные и преломленные лучи, возникающие от каждого из падающих лучей. Пронумеруйте эти лучи в соответствии с нумерацией падающих лучей. 1.2 На отдельном Бланке 2 изображены три луча, падающие из стекла (показатель преломления которого  $n_1 = 1,5$ ) в воздух. Постройте (точно) отраженные и преломленные 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  $\alpha$ . Если на некотором расстоянии от пластинки расположить листок бумаги (миллиметровку) параллельно пластинке, то нем можно увидеть два ярких пятна (лучше смотреть на бумажку сверху).



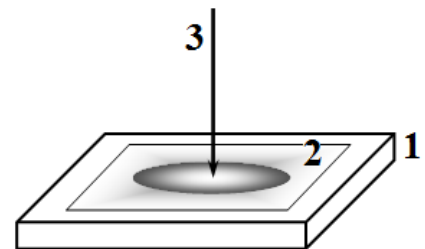
**Измерения следует проводить для обеих пластинок!**

- 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  $\alpha$  (укажите как вы измеряли угол  $\alpha$ ).
- 2.5 Рассчитайте показатель преломления пластинки.

### Часть 3. Темное пятно.

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

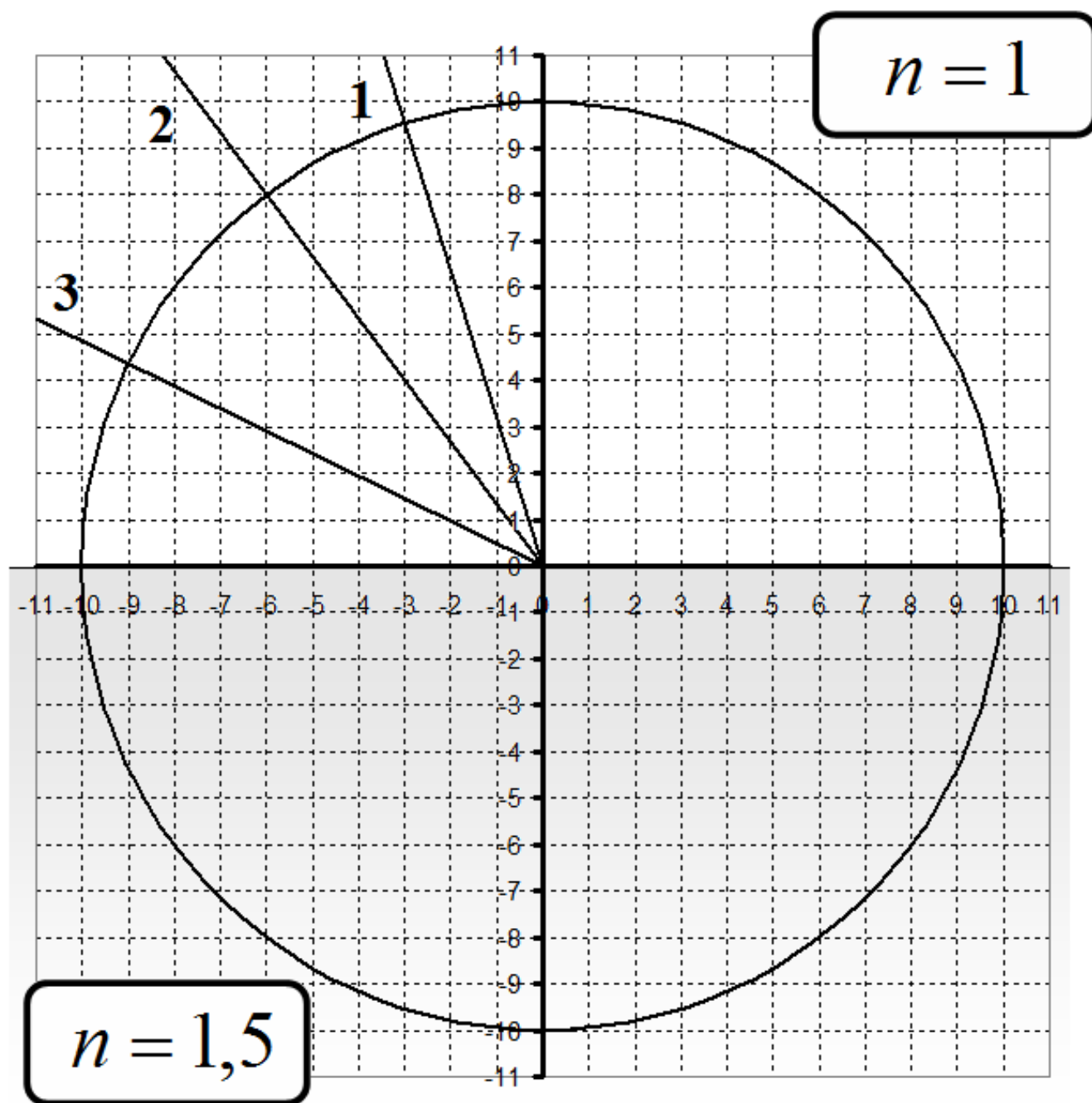
$$R = \frac{2h}{\sqrt{n^2 - 1}}, \quad (2)$$

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

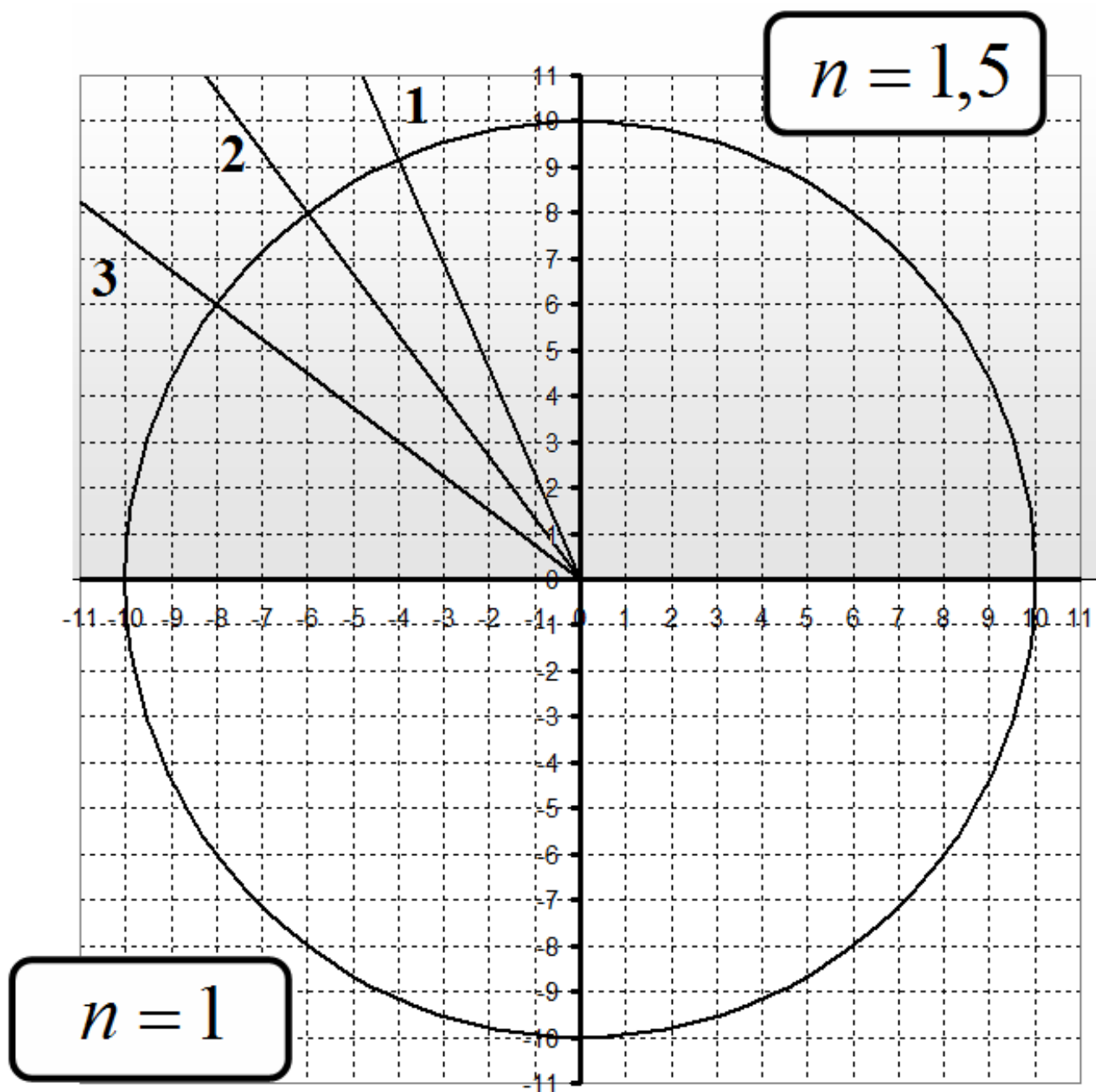
- 3.6 Используя результаты измерений и формулу (2) определите показатели преломления обеих пластинок.

3.7 Укажите какой из методов определения показателя преломления точнее.

Бланк 1 «Из воздуха в стекло»



Бланк 2 «Из стекла в воздух»



Решение

Задание 10 - 2. Преломление и пропускание.

Часть 1. Познакомимся с законом преломления.

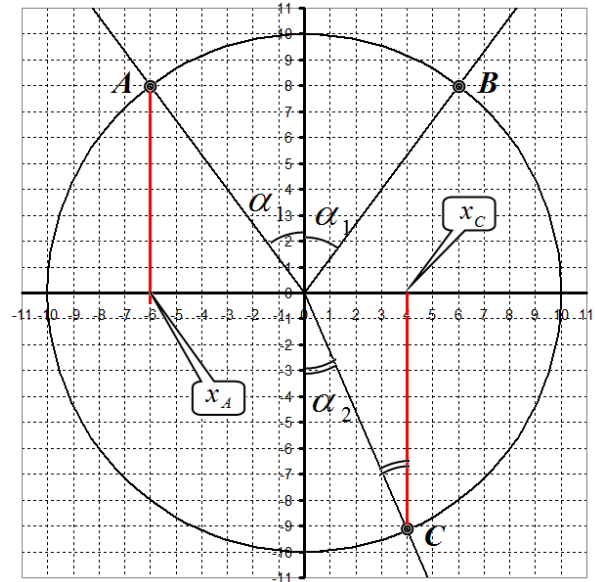
1.1

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:

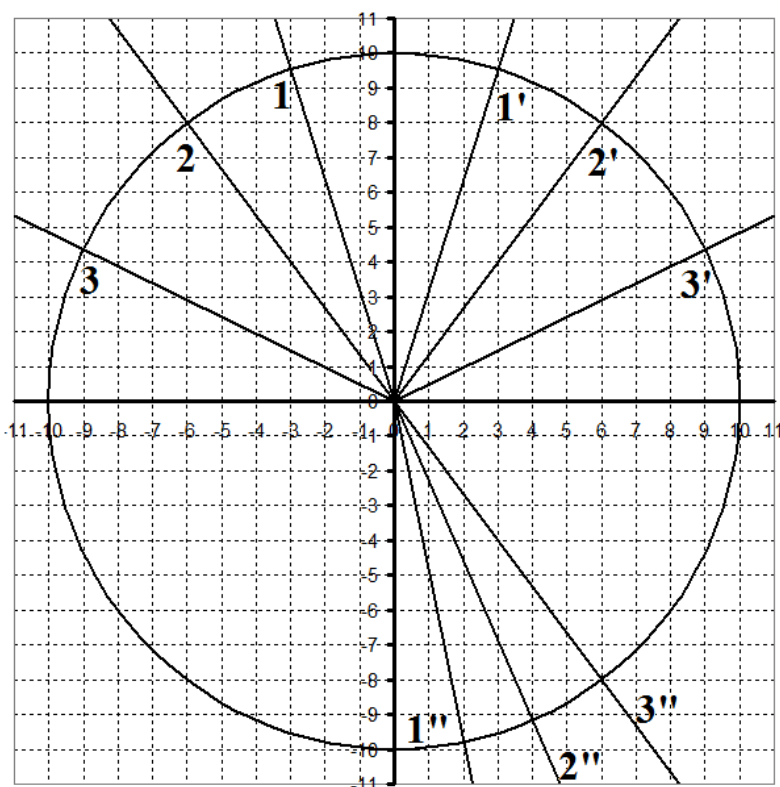


$$\sin \alpha_1 = \frac{|x_A|}{R}; \quad \sin \alpha_2 = \frac{|x_C|}{R}. \quad (2)$$

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.



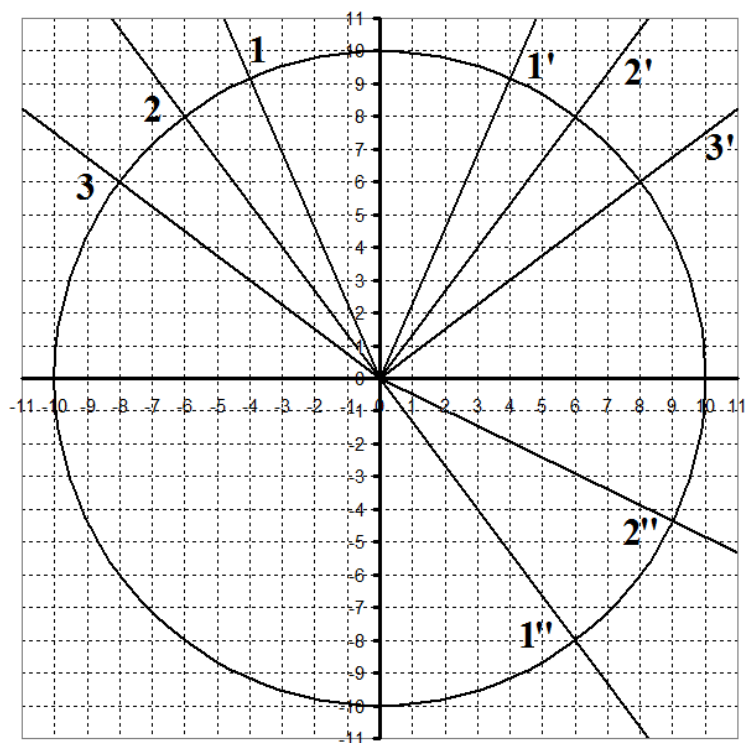
Результат построения показан на рисунке.

## 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

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

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  $x_C = -n x_A = -\frac{3}{2} x_A = 12$ , что больше радиуса окружности. Это означает, что преломленный луч отсутствует: происходит полное внутреннее 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.

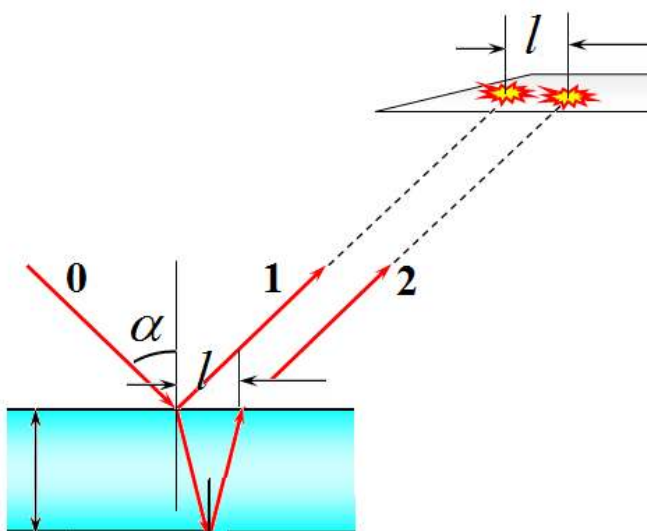
2.2 Изобразите ход лучей через ящик и вне его, объясняющий возникновение 2 пятен на листе бумаги.

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  $\alpha$  (укажите как вы измеряли угол  $\alpha$ ).

2.5 Рассчитайте показатель преломления пластинки.

2.1 Эксперимент однозначно показывают, 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.

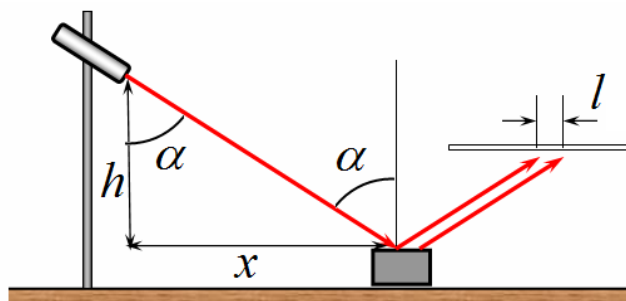
2.3 Простые геометрические построения показывают, что расстояние между лучами можно рассчитать по формуле

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

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

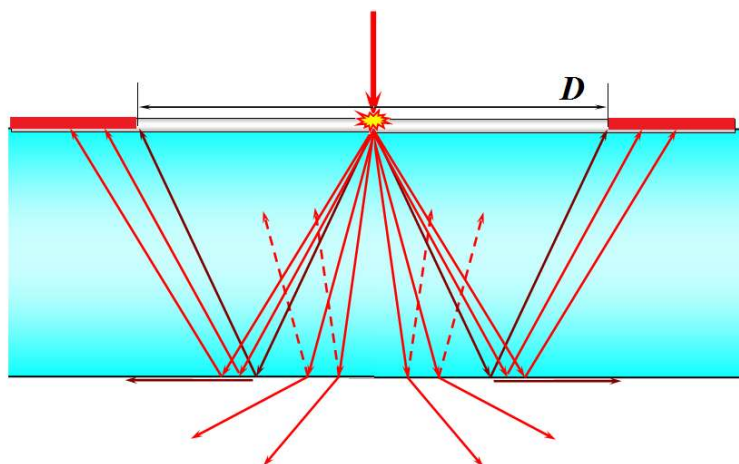
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{x}{h}. \quad (7)$$

Измерение расстояния между пятнами проведено при  $x = 430$  мм и дали результат  $l_{12} = 10$  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)

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

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

$$R = 2h \operatorname{tg} \alpha. \quad (9)$$

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!