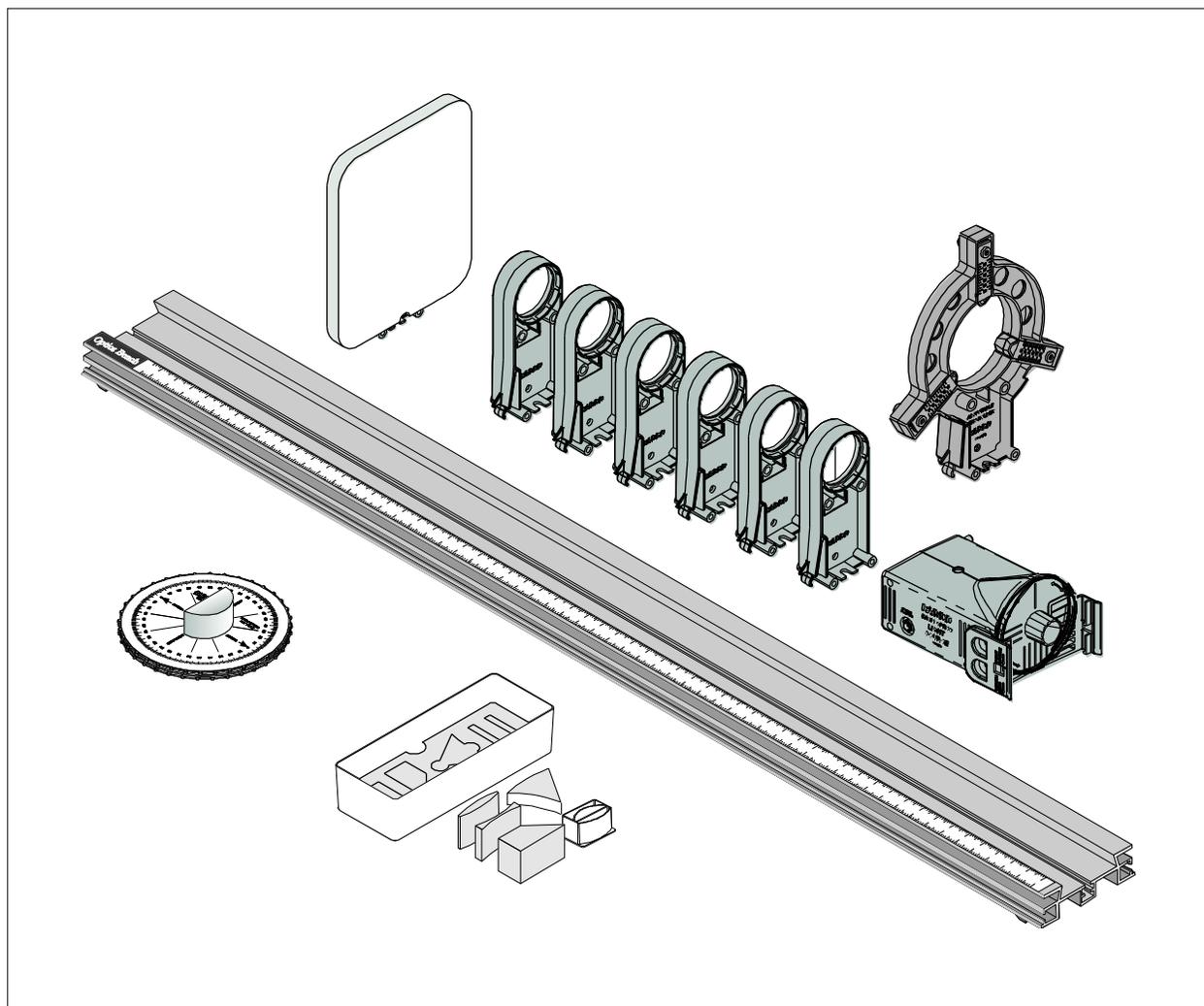


Руководство по использованию
Со справочником по экспериментированию
И с заметками для инструктора
012-09900В

Основная оптическая система OS-8515C



www.pasco.com

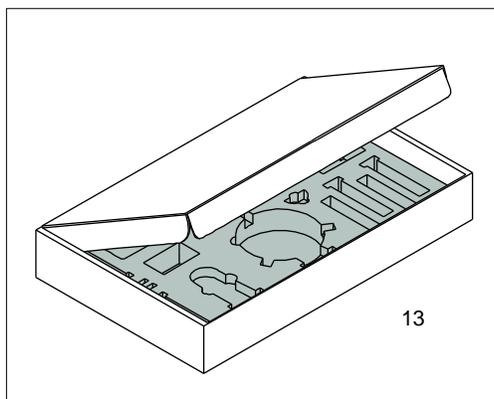
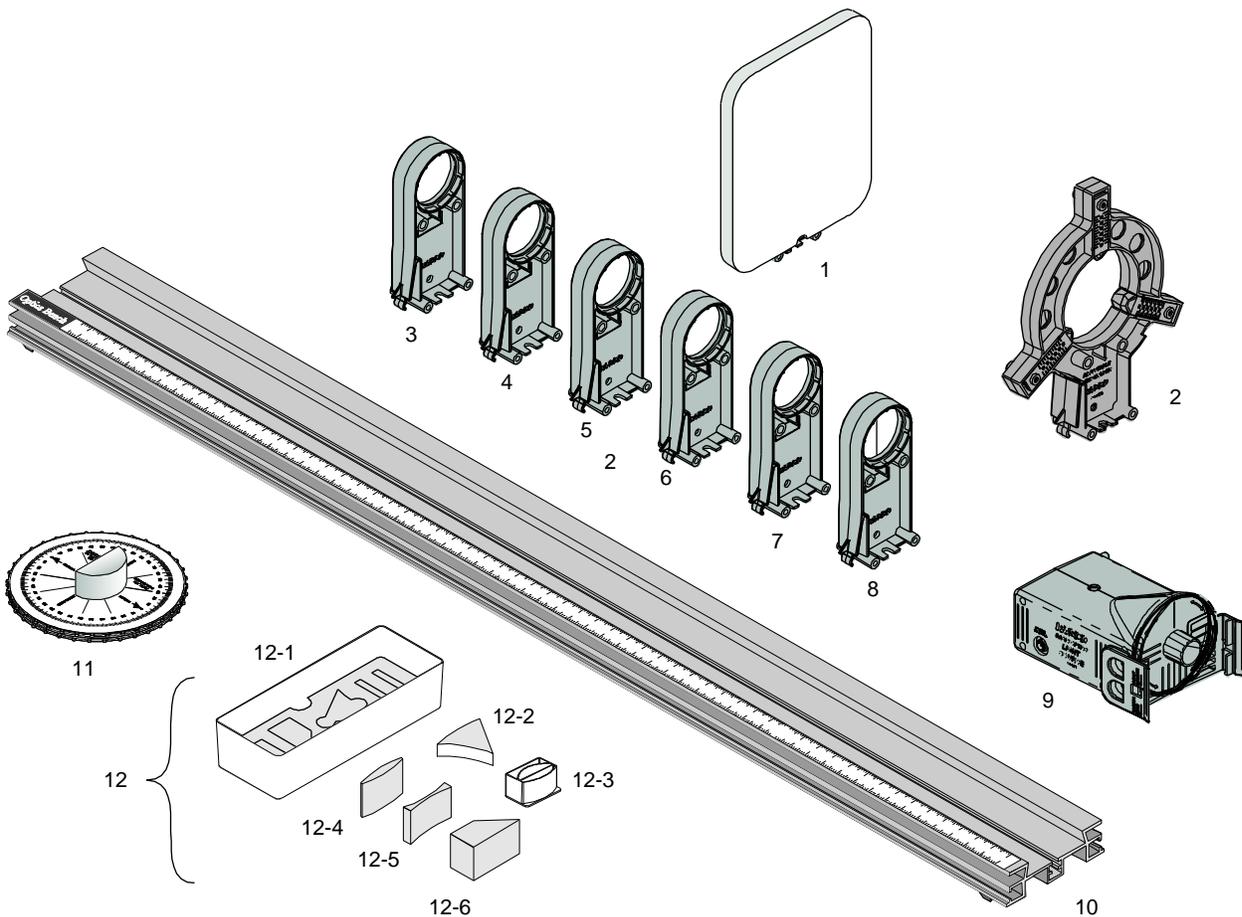
Содержание

Введение.....	5
Об оборудовании	6
Коробка для хранения.....	7
Об опытах	7
Опыт 1: Добавление цвета	9
Опыт 2: Призма.....	11
Опыт 3: Отражение	13
Опыт 4: Закон Снеллиуса	15
Опыт 5: Полное внутреннее отражение.....	17
Опыт 6: Выпуклые и вогнутые линзы	19
Опыт 7: Полая линза	21
Опыт 8: Уравнение производителей линз	23
Опыт 9: Очевидная глубина.....	25
Опыт 10: Обратимость	29
Опыт 11: Дисперсия	31

Опыт 12: Фокусное расстояние и увеличение тонкой линзы	33
Опыт 13: Фокусное расстояние и увеличение вогнутого зеркала	37
Опыт 14: Виртуальные изображения	41
Опыт 15: Телескоп.....	47
Опыт 16: Микроскоп	51
Опыт 17: Тени	55
Образец теста с телескопом и микроскопом.....	57
Справочник для инструктора	59
Коробка для хранения.....	69
Техническая поддержка	71

Основная оптическая система

OS-8515C



Включенное оборудование	Номер детали
1. Смотровой экран	OS-8460
2. Переносной контейнер для линз	OS-8474
3. +100 мм Оправленная линза	} OS-8456
4. +200 мм Оправленная линза	
5. +250 мм Оправленная линза	} OS-8519
6. -150 мм Оправленная линза	
7. Вогнутое/выпуклое зеркало	} OS-8457
8. Полу-экран	
9. Источник света	OS-8470
10. 1.2 м оптическая скамья	OS-8508
11. Лучевая таблица с D-образными линзами	OS-8465
12. Оптический набор, имеющий в составе:	OS-8516A
12-1. Коробка для хранения/контейнер для воды	740-177
12-2. Зеркало	636-05100
12-3. Полая линза	OS-8511
12-4. Выпуклая линза	636-05501
12-5. Вогнутая линза	636-05502
12-6. Акриловая трапеция	636-05611
13. Коробка для хранения	740-09892

Введение

Основная оптическая система содержит компоненты оптики, которые будут необходимы для различных экспериментов и демонстраций. Данное руководство по использованию включает в себя инструкции для ученика и заметки инструктора по 17 типичным экспериментам.

Для большего разнообразия вы можете расширить систему с помощью любого набора Оптической системы и компонентами, которые доступны в PASCO, из них – поляризаторы, прорези преломления (лучей), светочувствительный [оптический] датчик. См. каталог PASCO по физике или посетите www.pasco.com для деталей.

О приборе

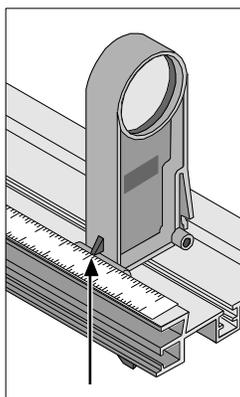
Детальную информацию об Источнике света, Лучевой таблице, Переносном контейнере для линз, и Наборе геометрической оптики вы найдете во вкладышах с инструкциями, вложенных с этими компонентами.

Оптический стол

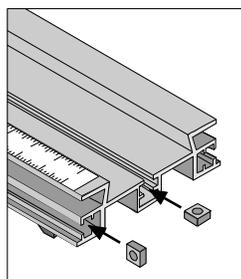
Основные оптические компоненты, такие как линзы, в оправе и переносные контейнеры для линз, вставляются (защелкиваются) в центральный широкий канал экспериментального стола для оптики. Поместите основание компонента на стол и плотно надавите, чтобы закрепить на место. Для того чтобы подвинуть его, зафиксируйте деталь на основании и подвиньте скользящим движением по столу.

Компоненты, включающие в себя квадратный шуруп и винт с накатанной головкой, предназначены для закрепления к Т-щелевому отверстию по бокам и центру стола. Вставьте шуруп в Т щелевое отверстие, вставьте винт с накатанной головкой в крепежное отверстие компонента, вденьте шуруп в гайку и закрутите.

Используйте измерительную шкалу на столе для измерения положения компонентов.



Измерительная шкала для измерения положения компонентов.



Т щелевые отверстия

Источник света

Включенный (т.е. входящий в набор) источник света может быть использован настольно и вмонтировано. Он функционирует как яркий точечный источник, освещенный перекрестными стрелами объект, источник сигнала основного цвета, и лучевой корпус, содержащий до пяти параллельных лучей.

Оправленные линзы

Основная оптическая система включает четыре оправленные линзы в контейнерах. Используйте их на экспериментальном столе с источником света, просмотровым экраном, и с другими основными оптическими компонентами.

Переносной контейнер для линз

Для использования неоправленной линзы на экспериментальном столе, поместите ее в переносной контейнер для линз. Он вмещает любые линзы размером от 20мм до 75мм в диаметре.

Смотровой экран

Установите экран на экспериментальный стол, для того чтобы рассмотреть реальные образы, образуемые линзами.

Вогнутое/Выпуклое зеркало и полу-экран

Установленное зеркало – вогнутое с одной стороны и выпуклое с другой. Радиус кривизны обеих поверхностей равняется 200 мм. Используйте полу-экран, чтобы рассмотреть реальные образы, образуемые вогнутой стороной зеркала.

Лучевая таблица и D-образные линзы.

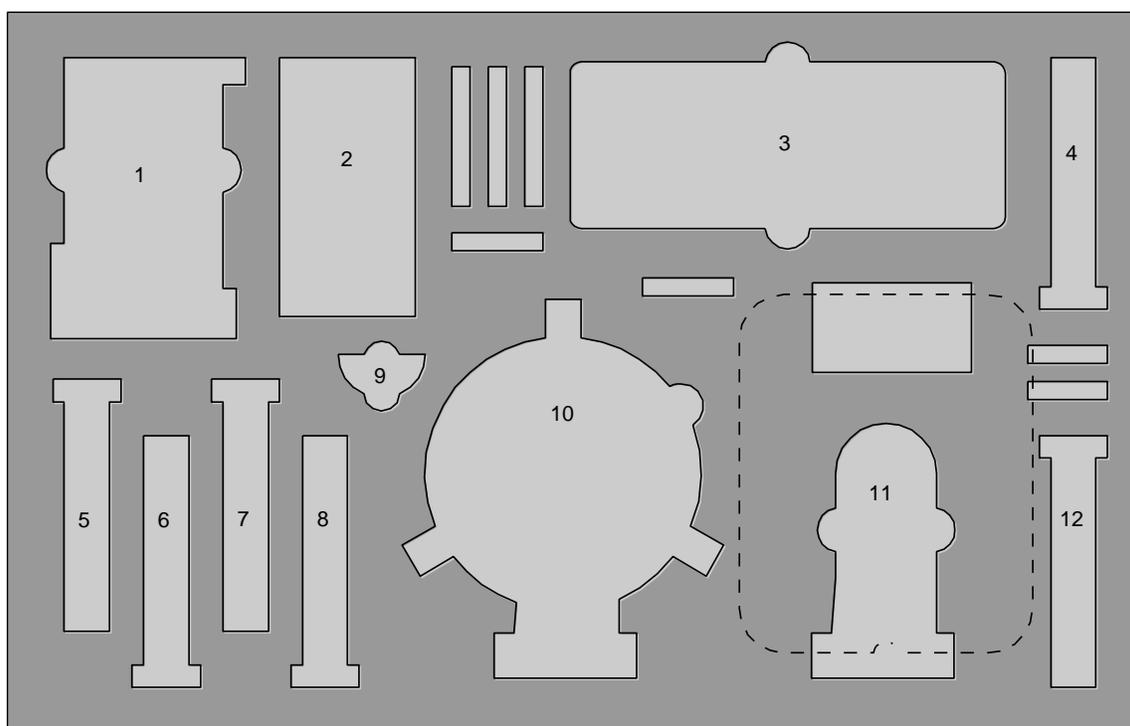
Используйте лучевую таблицу и D-образные линзы настольно с источником света (в режиме лучевого корпуса) для изучения угла падения, отражения и преломления.

Набор геометрической оптики

Набор геометрической оптики – это комплект оптических компонентов, назначенных для использования источника света в режиме лучевого корпуса. Для того, чтобы было легче увидеть и проследить за лучами, используйте лучевые оптические компоненты на белой бумаге на плоской поверхности стола. Прозрачная камера хранения служит контейнером для воды для изучения свойств линз под водой.

Коробка для хранения

Используйте пенопластовую коробку для хранения и защиты компонентов системы. Поместите компоненты в соответствующие отделения как показано на рисунке. Лишние отделения включены для дополнительных компонентов как запасные части. Диаграмму на всю страницу можно найти в конце этого руководства. Возьмите эту страницу или ее копию и прикрепите на крышку коробки.



1: Источник света 2: AC Адаптерг 3: Набор геометрической оптики 4: Вогнуто-выпуклое зеркало 5: +100 мм 6: +200 мм 7: +250 мм 8: -150 мм 9: D-образные линзы 10: лучевая таблица и переносной контейнер для линз. 11: Смотровой экран 12: Полу-экран

Об экспериментах

Инструкции по экспериментам, на следующих страницах помещены и распределены по категориям исходя из того, какие компоненты Основной оптической системы используются. Смотрите таблицу в начале каждого эксперимента для детального списка, требуемого оборудования. Заметки Инструктора, включая типичные данные и ответы на вопросы можно найти ближе к концу этого руководства.

Эксперименты по источнику света лучше проходят в тускло освещенной комнате.

Эксперименты с набором геометрической оптики.

В этих экспериментах используется набор геометрической оптики, источник света (в режиме лучевого корпуса), а так же может понадобиться чистый лист белой бумаги, линейка, и чертёжный циркуль.

- 1. Добавление цвета:** Исследуйте результаты смешения цветного света с освещенными цветными чернилами.
- 2. Призма:** Покажите, как призма разделяет белый свет на компонентные цвета, покажите, что различные цвета через призму преломляются под разными углами
- 3. Отражение:** Покажите, как лучи отражаются от плоских, вогнутых, и выпуклых зеркал.
- 4. Закон Снеллиуса:** Определите индекс акриловой краски, путем измерения углов падения и преломление луча, проходящего через трапециод
- 5. Полное внутренне отражение:** Определите критический угол, при котором в полное внутренне отражение появляется трапециоде.
- 6. Выпуклые и вогнутые линзы:** Используйте ход луча для определения фокусного расстояния линз.
- 7. Полые линзы:** Используйте полую линзу и воду, для того чтобы изучить, как свойства линз соотносится с его формой, с индексом преломления, и индексом преломления окружающей среды.
- 8. Уравнение создателя линзы:** Определите фокусное расстояние вогнутой линзы, измерив радиус кривизны.
- 8. Очевидная глубина:** Измерьте очевидную интенсивность трапециоида и определите его индекс преломления, путем сравнения очевидной глубины с фактической плотностью.

Эксперименты с лучевой таблицей

В этих экспериментах используется лучевая таблица и источник света (в режиме лучевого корпуса).

- 10. Обратимость (реверсивность):** Исследуйте, как связь между углами падения и преломления соотносится в направлении распространения.
- 11. Дисперсия:** Покажите, как белый свет разделяется на цвета с помощью акриловой D-образной линзы, и определите различные падения преломления для красного и синего цветов.

Эксперименты на оптическом столе.

Для этих экспериментов используется оптический стол для экспериментов, оправленные линзы, и смотровой экран. Для экспериментов 12 и 17 так же нужен источник света.

- 12. Фокусная длина и усиление тонкой линзы:** Определите фокусное расстояние собирающей линзы и измерьте усиление для определенной комбинации расстояний объекта и образа.
- 13. Фокусная длина и усиление вогнутого зеркала:** Определите фокусное расстояние вогнутого зеркала и измерьте усиление для определенной комбинации расстояний объекта и отражения.
- 14. Виртуальные образы:** Изучите виртуальные образы, образованные рассеивающей и выпуклой линзой.
- 15. Телескоп:** Установите телескоп и измерьте его усиление.
- 16. Микроскоп:** Установите микроскоп и измерьте его усиление.
- 17. Тени:** Покажите полную тень и полутень.

Эксперимент 1: Добавление цвета

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Выпуклая линза из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Красные, синие, и черные ручки.

Чистая белая бумага

Цель

В 1-ой части этого эксперимента вы узнаете результаты смешения красного, зеленого, и синего света в различных комбинациях. Во 2-ой части вы сравните вид красных, синих, и черных чернил, освещенных красным и синим светом.

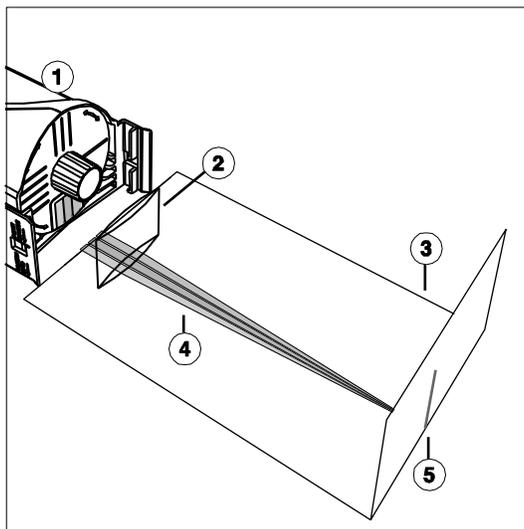


Рисунок 1.1: Добавление цвета

1: Источник света 2: Выпуклая линза 3: Сложенная бумага 4: Красные, зеленые и синие лучи 5: Комбинированные цвета

Часть 1: Добавление цветного света

Процесс

1. Поверните колесо на источнике света, чтобы выбрать красные, зеленые, и синие сигнальные полосы. Сложите чистую белую бумагу как показано на рисунке 1.1. Положите бумагу на плоскую поверхность и поставьте на него источник света таким образом, чтобы цветные лучи проецировались вдоль горизонтальной части бумаги и на вертикальную часть.
2. Поместите выпуклую линзу возле лучевой коробки, таким образом, чтобы она сфокусировала лучи и направила бы лучи на вертикальную часть бумаги.

Заметка: Линза имеет одну плоскую поверхность. Поместите плоской поверхностью на бумагу так, чтобы линза была расположена устойчиво и не качалась.

3. Каким будет цвет при смешении трех цветов? Запишите ваши наблюдения в таблице 1.1.

Таблица 1.1: Результаты добавления цветного света

Добавляемы цвета	Итоговый цвет
красный + синий + зеленый	
красный + синий	
красный + зеленый	
зеленый + синий	

4. Теперь заблокируйте зеленый луч ручкой. Каковы цветовые результаты при добавлении красного и синего света? Запишите результаты в таблице 1.1.
5. Блокируйте каждый цвет в последовательности, чтобы увидеть добавление оставшихся двух цветов и заполните таблицу 1.1.

Вопросы

1. Можно ли сказать, что смешивание цветного света и смешивание цветных красок - это одно и то же? Объясните.
2. Утверждается, что белый цвет – это смешение всех цветов. В этом эксперименте принесло ли смешивание красного, зеленого, и синего цвета в результате белый? Объясните.

Часть 2: Наблюдение цветных чернил при цветном свете

Процесс

1. Отвернитесь, и пусть за это время ваш напарник нарисует две линии – одну красную и одну черную – на листе белой бумаги. Одна линия будет помечена А, и другая В, но вы не должны знать, которая из них какая.

Прежде чем вы посмотрите на бумагу, пусть ваш напарник выключит в комнате свет и накроет красные и зеленые полосы так, чтобы бумага освещалась, только *синим* светом.

Теперь посмотрите. Каким цветом вам видятся две линии? Их цвета кажутся разными? Запишите ваши наблюдения в таблице 1.2.

Наконец, посмотрите линии при белом свете и запишите их настоящие цвета в таблице 1.2.

2. Повторите шаг 1, но в этот раз, пусть ваш напарник нарисует линии синими и черными чернилами (помеченные С и D), и посмотрите их при *красном* свете.

3. Испытание 2, поменяйтесь ролями и повторите шаги 1 и 2 с вашим напарником, наблюдая линии, которые нарисовали вы. Запишите результаты в таблице 1.1. (Для этого испытания, вы можете 3. разыграть своего напарника, нарисовав обе линии одинакового цвета – обе красные или обе черные, например.)

Таблица 1.2: Наблюдение за цветными чернилами при красном свете

Испытание 1: Имя наблюдателя: _____				
Цвет света	Линия	Кажущийся цвет чернил	Выглядят ли они по-разному?	Настоящий цвет чернил.
Синий свет	A			
	B			
Красный свет	C			
	D			
Испытание 2: Имя наблюдателя: _____				
Цвет света	Линия	Кажущийся цвет чернил	Выглядят ли они по-разному?	Настоящий цвет чернил.
Синий свет	A			
	B			
Красный свет	C			
	D			

4. Посмотрите на красный и черный линии при красном свете. Какую линию легче разглядеть?

Вопросы

1. Что способствует тому, чтобы красные чернила казались красными? Когда красные чернила осветились, синим светом, большая часть света поглощается или отражается?
2. Почему, при освещении красным светом, красные чернила на белой бумаге сложнее увидеть, чем черные чернила?

Эксперимент 2: Призма

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Трапециод из набора геометрической оптики

Читая белая бумага

Цель

Целью данного эксперимента является – показать, как призма разделяет белый свет на компонентные цвета, так же показать, что разные цвета через призму отражаются под разными углами.

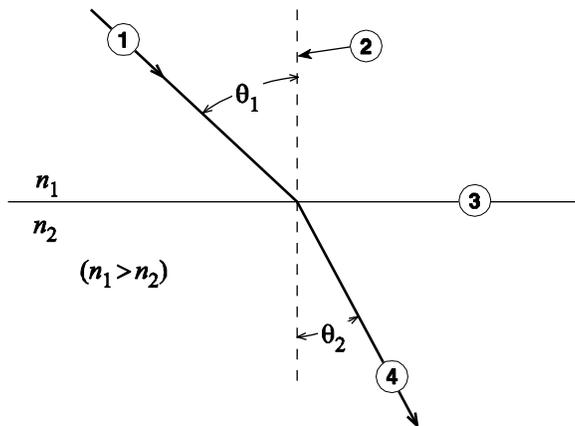


Рисунок 2.1: Преломление света

1: Падающий луч 2: Нормаль к поверхности 3: Преломленный луч

Теория

Когда однотонный луч переходит из одной среды (например, воздух) в другую (например, акрил) – он преломляется. Соответственно закону Снеллиуса,

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

угол преломления (θ_2) зависит от угла падения (θ_1) и индексов преломления двух сред (n_1 and n_2) как показано на рисунке 2.1. Так как индекс (число) преломления света меняется с частотой света, белый свет, который входит в материю (под углом отличным от 0°) разделится на компонентные цвета, так как значения наклона каждой частоты разные.

Трапециод изготовлен из акрилового волокна, который имеет индекс преломления 1.497 при свете длины волны 486 нм в вакууме (синий свет), 1.491 для длины волны 651 нм (красный). В общем, для излучения в видимой области спектра, индекс преломления увеличивается по мере увеличения частоты.

Процесс

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать одинарный белый луч.

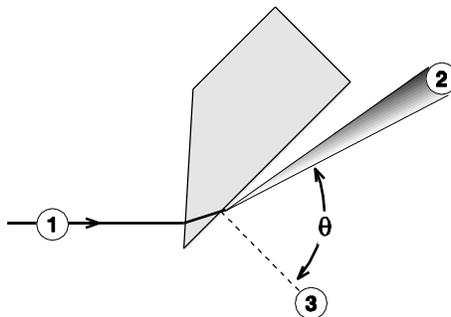


Рисунок 2.2

1: Одинарный белый луч 2: Спектр цвета 3: Нормаль к поверхности

2. Расположите трапециод как показано на рисунке 2.2. Остроугольная вершина трапециода используется в этом эксперименте в качестве призмы. Держите луч ближе к острию трапециода для максимальной трансмиссии света.
3. Поворачивайте трапециод до тех пор, пока угол (θ) появляющегося луча не станет настолько большим, чтобы луч разделился на цвета.

(a) Какие цвета вы видите? В каком порядке они находятся?

(b) Какой цвет преломляется под самым большим углом?

© По Закону Снеллиуса и данной информации о зависимости частоты индекса преломления акрила, какой цвет будет преломляться под ббльшим углом?

4. Не меняя расположения источника света, поверните колесо, чтобы выбрать три луча основных цветов. Цветной луч должен войти в трапециод под тем же углом, что и белый. Появляются ли цветные лучи из трапециода параллельно друг другу? Почему да или почему нет?

Эксперимент 3: Отражение

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Зеркало из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Чертёжный циркуль

Транспортир

Метрическая линейка

Белая бумага

Цель

В этом эксперименте вы узнаете, как лучи отражаются из зеркал различных типов. Вы измерите фокусное расстояние и определите радиус кривизны вогнутого и выпуклого зеркала.

Часть 1: Плоское зеркало

Процесс

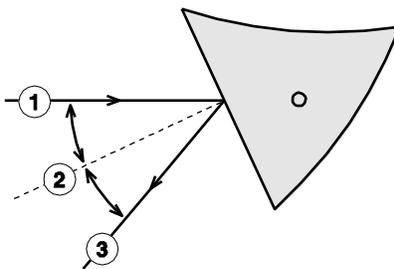


Рисунок 3.1

1: Падающий луч 2: Нормаль к поверхности 3: Отраженный луч

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать одинарный луч.
2. Поместите зеркало на бумагу. Установите плоскую (ровную) поверхность зеркала по траектории падающего луча под углом, который позволит вам четко увидеть падающий и отраженный луч.
3. На бумаге, проследите и отметьте поверхность плоского зеркала и падающего и отраженного луча. Укажите входящие и выходящие лучи стрелками в соответствующем направлении.
4. Уберите источник света и зеркало с бумаги. На бумаге начертите нормаль к поверхности. (рисунок 3.1).

5. Измерьте угол падения и угол отражения. Измерьте эти углы от нормали. Запишите углы в таблице 3.1.
6. Повторите шаги 1 – 5 с разными углами падения. Повторите процесс заново, чтобы заполнить таблицу 3.1 по трем разным углам падения.

Таблица 3.1: Результаты опыта с плоским зеркалом

Угол падения	Угол отражения

7. Поверните колесо, чтобы выбрать три луча основных цветов. Светите цветные лучи под углом к плоскому зеркалу. Отметьте положение плоского зеркала и проследите за падающими и отражающимися лучами, входящие и выходящие лучи стрелками в соответствующем направлении.

Вопросы.

1. Как связаны между собой угол падения и угол отражения?
2. Перевернуты ли трехцветные лучи плоским зеркалом слева направо?

Часть 2: Цилиндрические зеркала

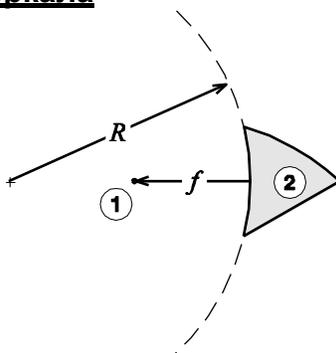


Рисунок 3.2

1: Фокусная точка 2: Зеркало

Теория

Вогнутое цилиндрическое зеркало фокусирует входящие параллельные лучи на фокусной точке. Фокусная длина (расстояние) (f) – это расстояние от фокусной точки к центру поверхности зеркала. Радиус кривизны R зеркала равен двойному фокусному расстоянию. Смотрите Рисунок 3.2.

Процесс

1. Поверните колесо на источнике света, чтобы выбрать пять параллельных лучей. Светите лучами прямо в вогнутое зеркало, таким образом, чтобы свет отражался обратно по направлению к лучевому корпусу (См. Рисунок 3.3). Проследите за поверхностью зеркала и падающими и отраженными лучами. Укажите входящие и выходящие лучи стрелками в соответствующем направлении. (Теперь вы можете убрать источник света и зеркало с бумаги.)
2. Точка, где пять отраженных лучей, пересекаются друг с другом, является фокусной точкой зеркала. Отметьте фокусную точку.

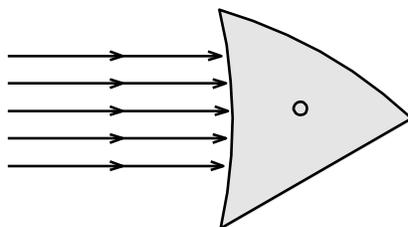


Рисунок 3.3: Падающие лучи

3. Измерьте фокусное расстояние от центра поверхности вогнутого зеркала (где коснулся зеркала средний луч) к фокусной точке. Запишите результат в таблице 3.2.
4. Используйте циркуль, чтобы нарисовать круг, подходящий кривизне зеркала (вам придется сделать несколько попыток с комплектом циркуля на разную ширину, пока вы не найдете подходящий). Измерьте радиус кривизны и запишите в таблице 3.2.
5. Повторите шаги 1–4 для выпуклого зеркала. Заметьте, что в 3 шаге, отраженные лучи будут уклоняться, и они не будут пересекаться. Используйте линейку, чтобы дочертить отраженные лучи обратно за поверхность зеркала. Фокусной точкой будет являться точка пересечения этих продленных лучей.

Таблица 3.2: Результаты опыта с цилиндрическим зеркалом.

	Вогнутое зеркало	Выпуклое зеркало
Фокусная длина		
Радиус кривизны (определено с помощью циркуля)		

Вопросы

1. Как связаны между собой фокусная длина цилиндрического зеркала и его радиус кривизны? Подтверждают ли ваш ответ ваши результаты?
2. Каков радиус кривизны плоского зеркала?

Эксперимент 4: Закон Снеллиуса(преломления)

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Трапециод из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Транспортир

Белая бумага

Цель

Целью данного эксперимента является определение числа преломления акрилового трапециода. Для лучей, входящих в трапециод, вы измерите углы падения и преломления и используете закон Снеллиуса для вычисления числа преломления.

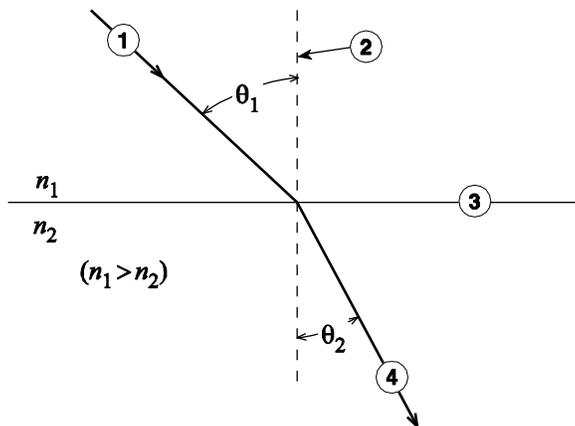


Рисунок 4.1

1: Падающий луч 2: Нормаль к поверхности 3: Преломленный луч

Теория

Для света, пересекающего границу между прозрачными материями, закон Снеллиуса гласит

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

где θ_1 - угол падения, θ_2 - угол преломления, и n_1 и n_2 – соответствующие числа преломления (См. рисунок 4.1).

Процесс

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать одинарный луч.
2. Расположите трапециод на бумаге таким образом, чтобы луч проходил через параллельные стороны как показано на рисунке 4.2.

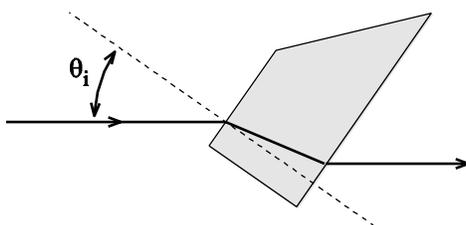


Рисунок 4.2

3. Отметьте положение параллельных поверхностей трапециода и проследите падающие и пропущенные лучи. Укажите входящие и выходящие лучи стрелками в соответствующем направлении. Аккуратно отметьте место, где лучи входят и выходят из трапециода.
4. Уберите трапециод и нарисуйте на бумаге линию, связывающую точки, где лучи входили и выходили из трапециода. Эта линия представляет собой луч в трапециоиде.
5. Выберите или точку, где луч входит в трапециод или, где луч выходит из трапециода. В этой точке отобразите нормаль к поверхности.
6. Измерьте угол падения (θ_i) и угол преломления циркулем. Оба этих угла должны быть измерены от нормали. Запишите результаты в первом ряду таблицы 4.1.
7. На чистом листе бумаги, повторите шаги 2–6 с разными углами падения. Повторите эти этапы заново с третьим углом падения. Теперь надо заполнить первые две колонки таблицы 4.1

Таблица 4.1: Данные и результаты.

Угол падения	Угол преломления	Вычисленный число преломления акрила
		В среднем:

Изучение

1. Для каждого ряда таблицы 4.1 используйте закон Снеллиуса для вычисления индекса (числа) преломления, принимая индекс преломления воздуха как 1.0.

2. Посчитайте среднее трех значений преломления. Сравните среднее значение с полученным значением ($n = 1.5$) путем вычисления процентной разницы.

Вопрос

Каков угол луча, который выходит из трапецоида относительно луча, который заходит в него?

Эксперимент 5: Полное внутреннее отражение

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Трапециод из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Транспортир

Белая бумага

Цель

В этом эксперименте вы определите критический угол, под которым полное внутреннее отражение появляется в акриловом трапециоиде, и подтвердите свои результаты, используя закон Снеллиуса.

Теория

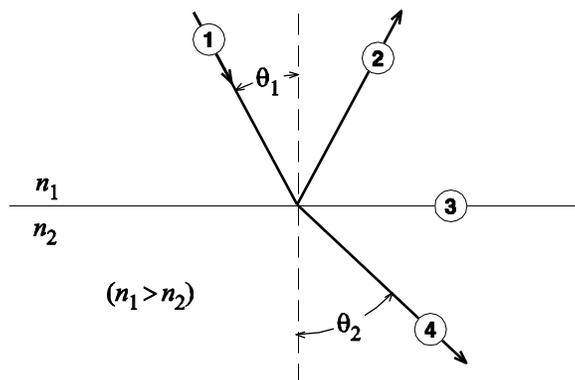


Рисунок 5.1

1: Падающий луч 2: Отраженный луч 3: Поверхность 4: Преломленный луч

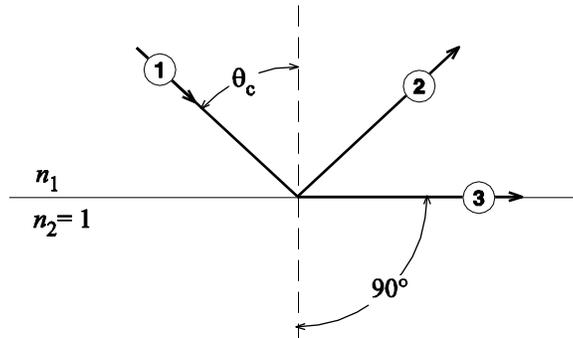
Для света, пересекающего границу между прозрачными материями, закон Снеллиуса гласит

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2$$

где θ_1 - угол падения, θ_2 - угол преломления, и n_1 и n_2 – соответствующие падения преломления веществ (см. Рисунок 5.1).

в этом эксперименте вы изучите, как луч проходит *наружу* трапециоида, из акрила ($n_1 = 1.5$) в воздух ($n_2 = 1$).

Если падающий угол (θ_1) больше чем критический угол (θ_c), тогда здесь нет преломленного луча и имеет место полное внутреннее отражение. Если $\theta_1 = \theta_c$, угол преломленного луча (θ_2) равен 90° , как на рисунке 5.2.



Фигура 5.2

1: Падающий луч 2: Отраженный луч 3: Преломленный луч.

В этом случае закон Снеллиуса гласит:

$$n_1 \sin \theta_c = 1 \sin 90^\circ$$

Решение синуса критического угла дает:

$$\sin \theta_c = \frac{1}{n}$$

Процесс

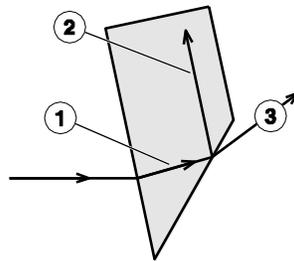


Рисунок 5.3

1: Падающий луч 2: Отражающий луч 3: Преломленный луч

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать одинарный луч.
2. Расположите трапециод так, как показано на рисунке 5.3, чтобы верхушка луча входила в трапециод, по крайней мере, 2см.
3. Поворачивайте трапециод до тех пор, пока появляющийся луч едва начнет исчезать. Как только он исчезнет, луч разделится на цвета. Трапециод расположен правильно, в случае, если исчезнет только красный цвет.
4. Пометьте поверхности трапециода. Отметьте точное место на поверхности, где луч отражен полностью. Так же отметьте точку входа падающего луча и точку выхода отраженного луча.

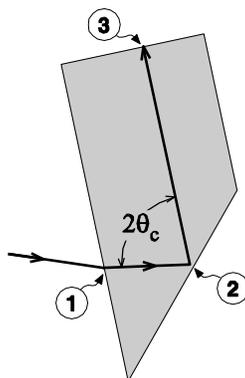


Рисунок 5.4

1: Точка входа 2: точка отражения 3: Точка выхода

5. Уберите трапециод и начертите лучи, падающие и отражающиеся с внутренней поверхности трапециода. Смотрите рисунок 5.4. Измерьте угол между этими лучами, используя циркуль. (Продлите – дочертите эти лучи для более удобного использования циркуля). Заметьте, что этот угол равен двум критическим углам, так как угол падения равен углу отражения. Запишите критический угол здесь:

$\theta_c = \underline{\hspace{2cm}}$ (Экспериментальная)

6. Вычислите критический угол с помощью закона Снеллиуса и с заданным индексом преломления акрила ($n = 1.5$). запишите теоретическую величину здесь:

$\theta_c = \underline{\hspace{2cm}}$ (Теоретическая)

7. Вычислите процентную разницу между измеренной и теоретической величинами: (погрешность)

% разница = $\underline{\hspace{2cm}}$

Вопросы

1. Как меняется яркость внутренне отраженного луча, когда угол падения меняется из меньшего θ_c до большего θ_c ?
2. Для какого света, красного или фиолетового, критический угол больше? Что это говорит вам об индексе преломления?

Эксперимент 6: Выпуклые и вогнутые линзы

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Выпуклая линза из набора геометрической оптики

Вогнутая линза из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Метрическая линейка

Цель

В этом эксперименте, вы исследуете разницу между выпуклыми и вогнутыми линзами и определите их фокусные расстояния.

Теория

Когда параллельные световые лучи проходят через тонкую линзу, они собираются или рассеиваются. Точка, на которой собирающиеся лучи (или их продолжения) пересекаются, является *фокусом* линзы. *Фокусное расстояние* линзы – это расстояние от центра линзы до фокусной точки. Если лучи рассеиваются, фокусное расстояние является мнимым.

Процесс

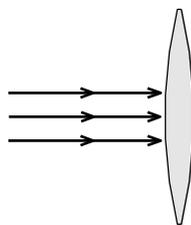


Рисунок 6.1: Падающие лучи и выпуклая линза

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать три параллельных луча. Светите лучами прямо в выпуклую линзу (См. Рисунок 6.1).

Примечание: Используемые в этом эксперименте линзы имеют один плоский край. Расположите плоским краем на бумаге так, чтобы линза стояла устойчиво и не качалась.

2. Проследите за поверхностью линзы и проследите падающие и переданные лучи. Укажите входящие и выходящие лучи стрелками в соответствующем направлении

3. Точка пресечения выходящих лучей – есть фокусная точка линзы. Измерьте фокусное расстояние от центра линзы до фокусной точки. Запишите результат в таблице 6.1.

Таблица 6.1: Результаты

	Выпуклая линза	Вогнутая линза
Фокусное расстояние		

4. Повторите процесс с вогнутой линзой. Заметьте, что лучи, выходящие из линзы – рассеиваются и не пересекаются. Используя линейку, дочертите выходящие лучи обратно через линзу. Фокусной точкой будет место, где эти дочеренные лучи пересекутся. (Не забудьте записать фокусное расстояние как отрицательное число.)

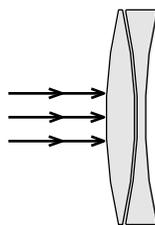


Рисунок 6.2

5. Расположите выпуклую и вогнутую линзы вместе и поместите их по траектории параллельных лучей (См. Рисунок 6.2). Проследите за лучами. Какие выходящие лучи – собирающие, рассеивающие или параллельные? Что это говорит вам о взаимоотношении двух фокусных расстояний этих линз?
6. Отодвиньте выпуклую и вогнутую линзы друг от друга на несколько сантиметров и наблюдайте за эффектом. Затем поменяйте порядок линз. Проследите, по крайней мере, один образец данного типа. Каков эффект изменения расстояния между линзами? Каков эффект изменения их положения?

Эксперимент 7: Полые линзы

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Полые линзы из набора геометрической оптики

Контейнер из набора геометрической оптики (с линзами и без пенопласта)

Белая полимерная пленка из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Вода

Бумажные полотенца

Белая бумага

Маленький груз (для того, чтобы линза не качалась)

Пипетка (необязательна, для извлечения воды из полых линз)

Цель

В этом эксперименте вы изучите, как свойства линз соотносятся с их формой, с индексом преломления, и индексом преломления окружающей среды.

Исходные данные

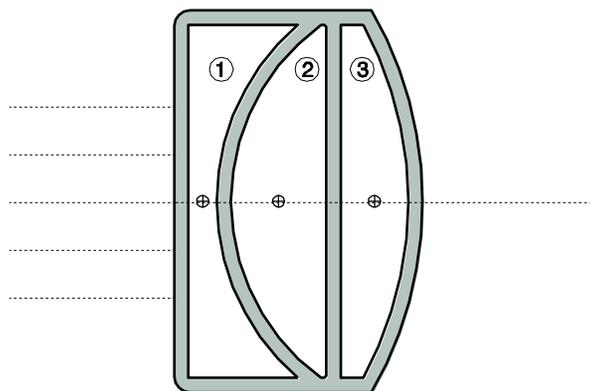


Рисунок 7.1: Полые линзы.

Стандартная линза изготавливается из таких материалов, индекс преломления которых выше, чем у окружающей среды. Например, линзы в очках обычно изготавливают из стекла или пластика с индексом преломления 1.5 или выше, тогда как воздух, окружающий линзы имеет индекс преломления 1.0. Однако линза может иметь индекс преломления *ниже* чем окружающая среда. Например, в случае, когда полая линза «заполнена воздухом» и окружена водой. (Индекс преломления воды примерно—1,3)

У поллой линзы в этом эксперименте три секции: плоско-вогнутая секция и две плоско-выпуклые секции. Мы будем называть их секции 1, 2 и 3. (см. Рисунок 7.1).

Вы определите, как действует секция – как собирающая или рассеивающая линза, когда она *a)*наполнена водой и окружена воздухом и *b)*наполненная воздухом и окруженная водой.

Процесс

1. Перед тем как вы начнете опыты с полыми линзами, сделайте прогнозы: Для каждой формы в таблице 7, предскажите, будут ли входящие параллельные лучи собираться или рассеиваться после прохождения через линзу. Запишите ваши прогнозы в таблице.
2. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать три параллельных луча.
3. Заполните водой секцию 1 и поместите перед источником света таким образом, чтобы параллельные лучи вошли в него через плоскую сторону. Лучи при прохождении через линзу собираются или рассеиваются? Запишите ваши наблюдения в таблице 7.1.

Повторите этот шаг с водой в разных секциях линзы для того, чтобы заполнить первый ряд таблицы 7.1.

Таблица 7.1: Прогнозы и наблюдения

Линза окруженная:	Секция 1 заполненная:	Секция 2 заполненная:	Секция 3 заполненная:	Прогнозы (собираются или рассеиваются)	Наблюдения (собираются или рассеиваются)
Воздухом	Водой	Воздухом	Воздухом		
	Воздухом	Воздухом	Воздухом		
	Воздухом	Воздухом	Водой		
	Водой	Воздухом	Водой		
Водой	Воздухом	Водой	Водой		
	Водой	Воздухом	Водой		
	Водой	Воздухом	Воздухом		

4. Положите белую полимерную пленку в прозрачный лучевой оптический контейнер. Положите полую линзу наверх пленки как показано на рисунке 7.2. Положите маленький груз на линзу, чтобы она перестала качаться. Расположите источник света снаружи контейнер так, чтобы лучи вошли в полую линзу через плоскую поверхность.

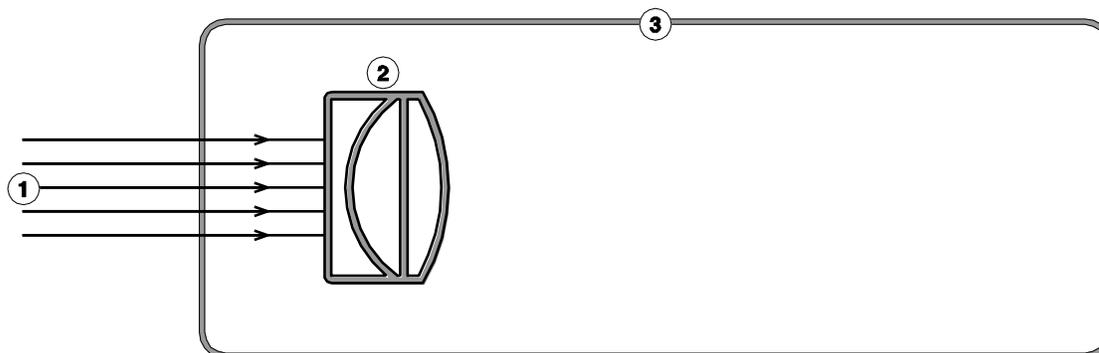


Рисунок 7.2: Установленная полая линза для опытов при окружении водой
 1: Падающие лучи 2: Полая линза 3: Поверхность 4: Коробка

5. Наполните контейнер водой чуть ниже верха линзы. Наполните водой секции 2 и 3 (оставив секцию 1 «наполненную» воздухом). Запишите ваши наблюдения в таблице 7.1.

Повторите этот шаг с водой в разных секциях линзы для того, чтобы заполнить таблицу 7.1.

Вопросы

1. При каких условиях плоско-выпуклая линза является собирающей? При каких условиях она рассеивающая?
2. Если плоско-вогнутая линза неизвестного материала является рассеивающей, когда она окружена воздухом, возможно ли узнать какой будет линза, когда ее поместят в воду – собирающей или рассеивающей? Объясните.

Эксперимент 8: Уравнение производителя линз

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Вогнутая линза из набора геометрической оптики

Другое необходимое оборудование

Метрическая линейка

Цель

В этом эксперименте вы определите фокусное расстояние вогнутой линзы двумя способами: *a*) непосредственное измерение, используя прослеживание (наблюдение) и *b*) измерив радиус кривизны, применяя уравнение производителя линзы.

Теория

Уравнение производителя линзы используется для подсчета фокусной длины (в воздухе или в вакууме), f , линзы, основанной на радиусах кривизны ее поверхностей (R_1 и R_2) и индекса преломления (n) материи линзы:

(уравнение 8.1)

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

На этом условном рисунке, R – положительная для выпуклой поверхности и R – отрицательная для вогнутой поверхности. (Как на рисунке 8.1).

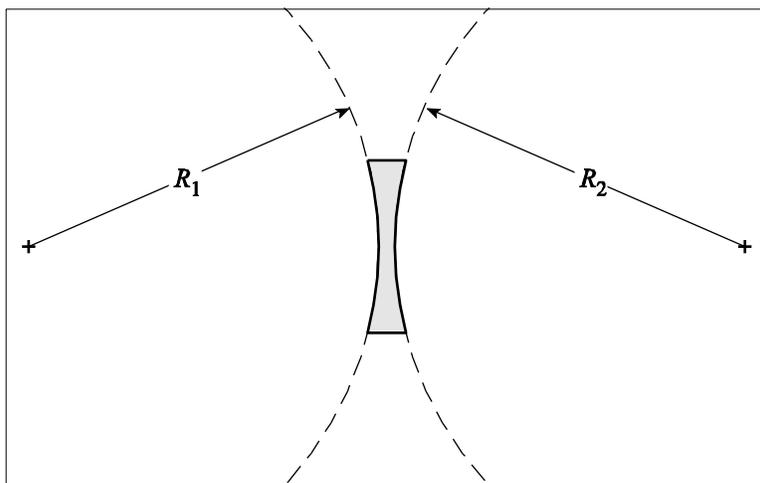


Рисунок 8.1: Двойная вогнутая линза

Процесс

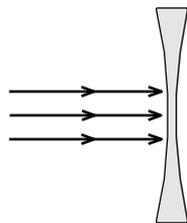


Рисунок 8.2: Падающие лучи и вогнутая линза

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистой белой бумаге. Поверните колесо, чтобы выбрать три параллельных луча. Светите лучами прямо в выпуклую линзу (См. Рисунок 8.2).

Примечание: Линза имеет один плоский край. Расположите плоским краем на бумаге так, чтобы линза стояла устойчиво и не качалась

2. Проследите за поверхностью линзы и проследите падающие и переданные лучи. Укажите входящие и выходящие лучи стрелками в соответствующем направлении
3. Уберите линзу. Используя линейку, дочертите выходящие лучи прямо обратно через линзу. Фокусной точкой будет место, где эти дочеренные лучи пересекутся. Измерьте фокусное расстояние от центра линзы к фокусной точке. Запишите результат как отрицательное число:

$f =$ _____ (измеренное непосредственно)

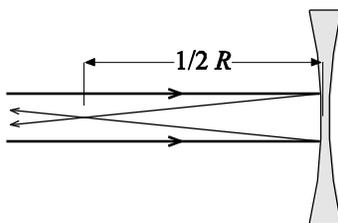


Рисунок 8.3: Отраженные лучи с поверхности линзы

4. Для определения радиуса кривизны, положите вогнутую линзу обратно на траекторию лучей и наблюдайте отраженные лучи, тускнеющие с первой поверхности линзы. Передняя часть линзы может приниматься за вогнутое зеркало, равное двум фокусным длинам действующего зеркала. (См. Рисунок 8.3)

Проследите за поверхностью линзы и отметьте центральный луч, который касается поверхности. Заблокируйте центральный луч и отметьте точку пересечения двух других лучей. Измерьте расстояние от поверхности линзы до точки пересечения отраженных лучей. Радиус кривизны равен двум таким расстояниям. Запишите радиус кривизны:

$R =$ _____

5. Для этой линзы, необходимо измерить кривизну обеих сторон, потому что они равны ($R_1 = R_2 = R$). Вычислите фокусное расстояние линзы с помощью уравнения производителя линз (Уравнение 8.1). Число преломления для акриловых линз = 1.5. Не забудьте, вогнутая поверхность имеет отрицательный радиус кривизны.

$f =$ _____ (вычисленный)

6. Посчитайте процентную разницу между двумя значениями f из шага 3 и из шага 5:

% разница = _____

Эксперимент 9: Очевидная глубина

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Трапециод из набора геометрической оптики

Выпуклая линза из набора геометрической оптики

Зеркало из набора геометрической оптики
(используется для блокирования лучей)

Другое необходимое оборудование

Метрическая линейка

Белая бумага

Очень острый карандаш

Цель

В этом эксперименте вы используете два различных метода для измерения очевидной глубины акрилового трапециода. Так же вы определите индекс преломления акрила, путем сравнения очевидной глубины и фактической глубины.

Теория

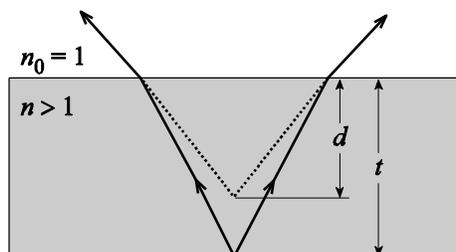


Рисунок 9.1

Световые лучи, выходящие с поверхности дна блока прозрачных материалов преломляются на верхней поверхности, так как лучи появляются из материала в воздух. (См. Рисунок 9.1). Если смотреть сверху, очевидная глубина, d , поверхности дна блока меньше, чем фактическая толщина, t , блока. Очевидная глубина вычисляется по следующему уравнению

(Уравнение 9.1)

$$d = t/n$$

где n – индекс преломления материала.

Часть 1: Метод Параллакса

Исходные данные

Положите лист на стол перед собою. Держите карандаш горизонтально на высоте несколько сантиметров над бумагой. С одним закрытым или прикрытым глазом, посмотрите вниз на карандаш и подвигайте головой из стороны в сторону (не двигая карандаш). Заметьте, как покажется, что карандаш движется вместе со словами напечатанными на бумаге; это феномен известен как *параллакс*. Теперь держите кончик карандаша на бумаге и проверьте на параллакс. Если между двумя предметами нет параллакса, значит, они находятся от вас на одинаковом расстоянии.

Процесс

1. Положите на стол чистый лист бумаги. Используйте ровный край и карандаш, чтобы нарисовать линию на бумаге. Поставьте трапециод на бумагу на линию, как показано на рисунке 9.2.

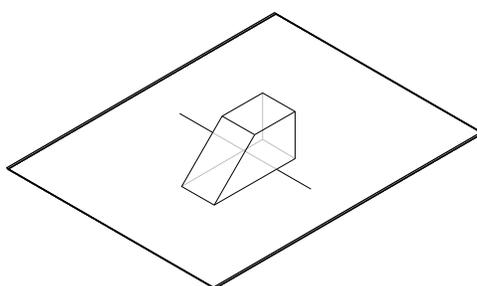


Рисунок 9.2

2. Обеими глазами посмотрите вниз сквозь верхушку трапециода. Кажется ли линия, просматриваемая через трапециод, ближе? Закройте или прикройте один глаз и поведите головой из стороны в сторону. Видите ли вы параллакс между линией, просматриваемой через трапециод и линией, которую видите прямо?

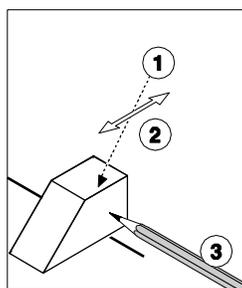


Рисунок 9.3

1: Посмотрите вниз 2: водите глазами из стороны в сторону 3: держите спокойно карандаш

3. На этом этапе вы будете держать карандаш близко к трапециоду, чтобы определить положение очевидной линии. Когда карандаш и очевидная линия окажутся на одинаковом расстоянии от вашего глаза, между ними параллакса не будет.

Смотря вниз сквозь трапециод (одним глазом), держите очень острый карандаш как показано на рисунке 9.3 так, чтобы казалось, что он лежит на одной линии с линией внутри трапециода. Водите головой слева направо, чтобы проверить на параллакс. Водите карандаш вверх или вниз, чтобы опять проверить. Когда не будет параллакса, отметьте эту точку. (Держите трапециод одной свободной рукой, надавите осторожно карандашом сторону трапециода, чтобы оставить легкую отметину. Сотрите отметину после окончания эксперимента)

Анализ

1. Измерьте расстояние от *верха* трапецоида до отметки от вашего карандаша. Запишите эту очевидную глубину, d , в первом ряду таблицы 9.1.
2. Измерьте толщину, t , трапецоида и запишите его в таблице 9.1.
3. Используйте уравнение 9.1 для вычисления индекса преломления и запишите ваш результат в таблице 9.1.

Таблица 9.1: Результаты

	d	t	n
Часть 1: Метод Параллакса			
Часть 2: Метод прослеживания луча			

Часть 2: Метод прослеживания луча

Процесс

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на чистую белую бумагу. Поверните колесо, чтобы выбрать пять параллельных лучей. Светите лучами прямо в выпуклую линзу. Поместите зеркало с краю между лучевым корпусом и линзой так, чтобы оно заблокировало средние три луча, оставив только внешние лучи (как на рисунке 9.4, но пока не ставьте туда трапецоид).

Примечание: Линза имеет один плоский край. Расположите плоским краем на бумаге так, чтобы линза стояла устойчиво и не качалась

2. Отметьте на бумаге точку пересечения двух лучей.

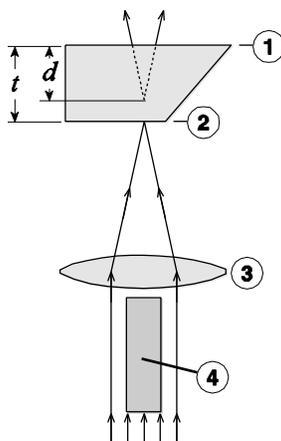


Рисунок 9.4

1: «Верхняя» поверхность 2: «Нижняя» поверхность 3: Выпуклая линза 4: Зеркало с краю

3. Расположите трапецоид как показано на рисунке 9.4. «Нижняя» поверхность трапецоида должна быть точно при точке пересечения двух лучей. Пресеченные лучи имитируют лучи, которые возникают у объектива на «нижней» поверхности блока.

4. Проследите за трапецидом и проследите за лучами, которые рассеиваются от «верхней» поверхности.
5. Уберите трапецидом и источник света. Проследите за рассеивающимися лучами обратно в трапецидом. Точка пересечения этих лучей (внутри трапецидода) – это очевидное положение «нижней» поверхности трапецидода, просматриваемого сквозь «верхнюю» поверхность.

Изучение

1. Измерьте очевидную глубину, d , и запишите её в таблице 9.1.
2. Используйте уравнение 9.1 для вычисления индекса преломления и запишите ваш результат в таблице 9.1.

Вопросы

1. Какой из двух использованных методов для определения d , является более точным? Объясните.
2. Принятое значение индекса преломления акрила $n = 1.49$. Какова процентная разница между принятым значением и с каждым из ваших результатов?

Эксперимент 10: Реверсивность (Обратимость)

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Лучевая таблица

D-образные линзы

Источник света

Цель

В первом испытании этого эксперимента, вы определите взаимоотношения между углом падения и углом преломления для света, проходящего из воздуха *внутрь* оптически более густой среды (акрил D-образной линзы)

Во втором испытании вы определите, остаются ли эти взаимоотношения теми же между углами падения и преломления для света проходящего *из* оптически густой среды обратно в воздух. Иными словами, если свет перемещается в обратном направлении сквозь линзу, остается ли закон преломления таким же или меняется? Сравнив результаты двух испытаний, вы найдете ответ на этот вопрос.

На рисунке 10.1, обратите внимание, что преломление присутствует только на плоской поверхности D-образной линзы, не на изогнутой поверхности.

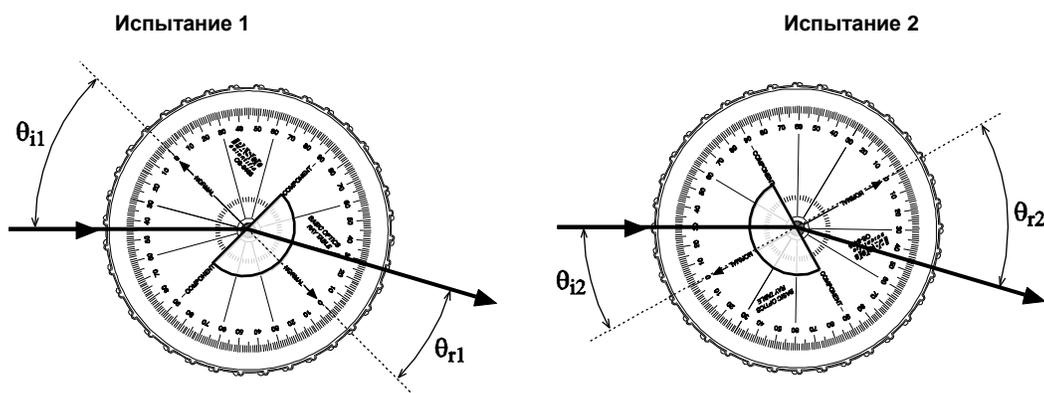


Таблица 10.1: Преломление света, проходящего в линзу (Испытание 1) и из линзы (Испытание 2)

Установка

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на ровной поверхности стола. Поверните колесо, чтобы выбрать одинарный луч.

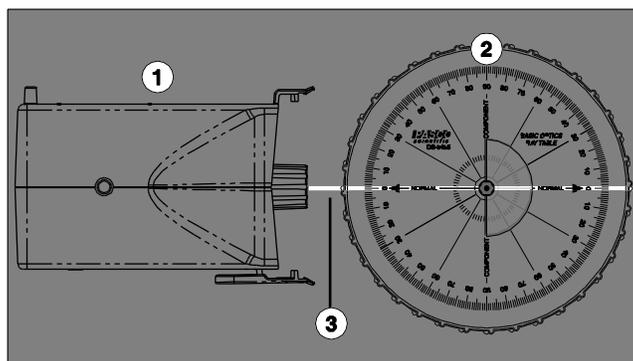


Рисунок 10.2: Начальная установка для испытания 1.

1: Источник света 2: Лучевая таблица 3: Одинарный луч

2. Поставьте лучевую таблицу перед источником света так, чтобы луч из источника света пересекал лучевую таблицу точно по центру.
3. Поместите D-образную линзу на лучевую таблицу точно по центру отмеченной линии.

Запишите данные

Таблица 10.1: Данные

Испытание 1 Падение луча на плоскую поверхность		Испытание 2 Падение луча на изогнутую поверхность	
Угол падения θ_{i1}	Угол преломления θ_{r1}	Угол падения θ_{i2}	Угол преломления θ_{r2}
0°			
10°			
20°			
30°			
40°			
50°			
60°			
70°			
80°			

Испытание 1

1. Поверните лучевую таблицу так, чтобы входящий луч вошел в линзу через *плоскую* поверхность (См. Рисунок 10.2).

2. Поверните лучевую таблицу для того, чтобы установить угол падения на каждую из значений, перечисленных в первой колонке таблицы 10.1. Для каждого угла падения ($\theta_{i\Box}$), посмотрите соответствующий угол преломления (θ_{r1}) и запишите во второй колонке таблицы.

Испытание 2

1. Скопируйте все значения из второй колонки в третью колонку таблицы. (Другими словами, углы преломления, которые вы наблюдали в испытании 1 – будут углами падения, которые вы используете в испытании 2.)
2. Поверните лучевую таблицу так, чтобы входящий луч вошел в линзу через *изогнутую* поверхность
3. Для углов падения (θ_{i2}), которые вы написали в третьей колонке таблицы, посмотрите соответствующие углы преломления (θ_{r2}) и запишите их в четвертой колонке.

Анализ

1. Используя ваши значения для $\theta_{i\Box}$ и θ_{r1} и закон Снеллиуса (уравнение 10.1), определите индекс преломления акрила (n). Возьмите индекс преломления воздуха как 1.0.

(Уравнение 10.1)

$$\sin(\theta_{i\Box}) = n \sin(\theta_{r1})$$

$$n = \text{_____} \text{ (от } \theta_{i\Box} \text{ и } \theta_{r1}\text{)}$$

2. Определите n заново, на этот раз используя ваши значения θ_{i2} и θ_{r2} .

$$n = \text{_____} \text{ (от } \theta_{i2} \text{ и } \theta_{r2}\text{)}$$

Вопросы

1. Является закон преломления тем же самым для световых лучей, проходящих в любом из направлений между двумя средами?
2. Сохраняется ли принцип оптической обратимости (реверсивности) при отражении, так же как и при преломлении? Объясните.

Эксперимент 11: Дисперсия

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Лучевая таблица

D-образные линзы

Источник света

Цель

Целью данного эксперимента является определение индекса преломления акрила при двух различных длинах волны.

Теория

Когда свет пересекает границу между двумя прозрачными средами, он преломляется. Закон Снеллиуса выражает взаимоотношение между индексом преломления первой среды (n_1), индексом преломления второй среды (n_2), углом падения (θ_1), и углом преломления (θ_2):

(Уравнение 11.1)

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

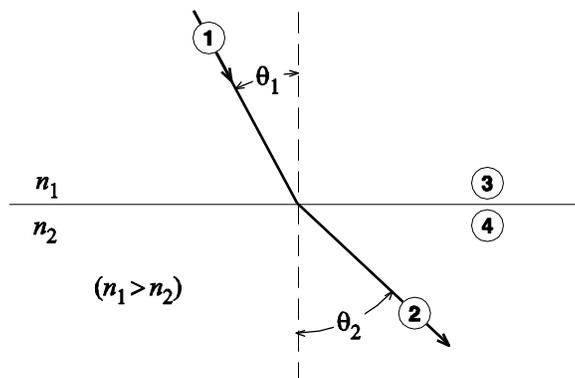


Рисунок 11.1

1: Падающий луч 2: Преломленный луч 3: акрил 4: воздух

Мы можем взять индекс преломления воздуха (n_2 в этом эксперименте) всегда равным 1.0. однако, индекс преломления акрила (n_1) зависит от длины волны цвета. Следовательно, различные длины волны, присутствующие в падающем луче белого света будут преломляться под разными углами. Зависимость числа преломления материала от длины волны называется дисперсией.

Установка

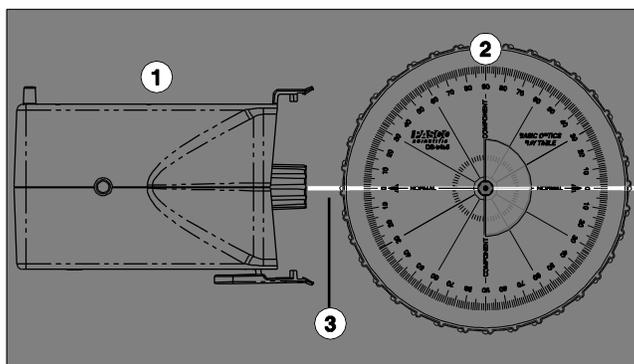


Рисунок 11.2

1: Источник света 2: Лучевая таблица 3: Одинарный луч

1. Поместите источник света в форму лучевого корпуса на ровной поверхности стола. Поверните колесо, чтобы выбрать одинарный луч.
2. Поставьте лучевую таблицу перед источником света так, чтобы луч из источника света пересекал лучевую таблицу точно по центру. (см. Рисунок 11.2).
3. Поместите D-образную линзу на лучевую таблицу точно по центру отмеченной линии. Поверните таблицу так, чтобы луч вошел в линзу через *изогнутую* поверхность, и угол падения равнялся 0° .

Процесс

1. Держите белую бумагу вертикально перед краем лучевой таблицы так, чтобы выходящий луч был виден на бумаге.
2. Медленно поворачивайте лучевую таблицу для увеличения угла падения. Обратите внимание на то, что луч преломляется только на ровной поверхности, не на изогнутой поверхности. Пока вы увеличиваете угол падения, наблюдайте за преломленным лучом на бумаге.

Анализ

1. При каком угле преломления вы начали замечать деление на цвета в преломленном свете?
2. При каком угле преломления наблюдается максимальное цветовое деление?
3. Какие цвета присутствуют в преломленном луче? (Напишите их в порядке от минимального до максимального угла преломления)
4. Используя закон Снеллиуса (уравнение 11.1) вычислите индекс преломления акрила для красного света ($n_{кр}$) и индекс преломления для синего света ($n_{син}$).

Эксперимент 12: Фокусное расстояние и увеличение тонкой линзы

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Экспериментальный стол

Собирающая линза неизвестного фокусного расстояния¹

Экран

Другое оборудование

Метрическая линейка

Оптический Кронциркуль (не обязательно, для измерения размеров образа), PASCO часть OS-8468

Цель

Целью данного эксперимента является определение фокусного расстояния тонкой линзы, и измерить увеличение при определенном расстоянии между объектом и его отражением.

Теория

Для тонкой линзы:

(Уравнение 12.1)
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

где f – фокусное расстояние, d_o – расстояние между объективом и линзой, и d_i – расстояние между отражением и линзой. Измерив d_o и d_i можно определить фокусное расстояние.

Увеличение, M – отношение размера отражения к размеру объекта. Если отражение перевернуто, то M – отрицательный.

Часть I: Объект на бесконечно далеком расстоянии

В этой части, вы определите фокусное расстояние линзы, используя единственное измерение для d_i при $d_o = \infty$.

¹Инструкторы: смотрите руководство для учителя, стр. 63

Процесс

1. Возьмите в одну руку линзу и в другую – экран. Сфокусируйте отражение *отдаленного* яркого объекта (окно или лампа в комнате) на экране.
2. Пусть ваш партнер измерит расстояние от линзы до экрана. Это расстояние отражения d_i .

$$d_i = \underline{\hspace{2cm}}$$

Анализ

1. При d_o приближающейся к бесконечности, чему равна $1/d_o$?
2. Используйте формулу тонкой линзы (Уравнение 12.1) для вычисления фокусного расстояния.

$$f = \underline{\hspace{2cm}}$$

Часть II: Объект, находящийся ближе чем бесконечность

В этой части вы определите фокусное расстояние, измерив несколько пар расстояний объектива и отражения и начертив $1/d_o$ против $1/d_i$.

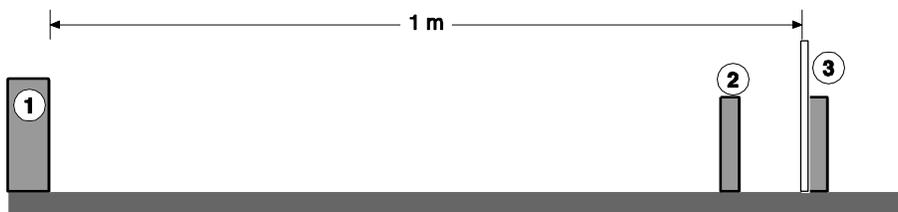


Рисунок 12.1

1: Источник света 2: Линза 3: Экран

Процесс

1. Поместите источник света и экран на оптический экспериментальный стол на расстоянии 1 м так, чтобы объект с перекрестными стрелками смотрел на экран. Поместите линзу между ними. (См. Рисунок 12.1)
2. Начиная с позиции близкой к экрану, двигайте линзу от экрана до такого места, где чистое отражение объектива с перекрестными стрелками образовалось на экране. Измерьте расстояние отражения и расстояние объектива. Запишите эти измерения (и все измерения с последующих этапов) в таблице 12.1.
3. Измерьте размер объектива и размер отражения по этому положению линзы.
4. Не двигая экран или источник света, подвиньте линзу во второе положение, где фокусируется отражение. Измерьте расстояние отражения и расстояние объектива.

5. Измерьте так же размер объектива и размер отражения по этому положению линзы. Обратите внимание, вы не увидите полностью образец с перекрестными стрелками. Вместо этого, измерьте размеры отражения и объектива как расстояние между двумя индексными значениями на образце (См. Рисунок 12.2 к примеру).

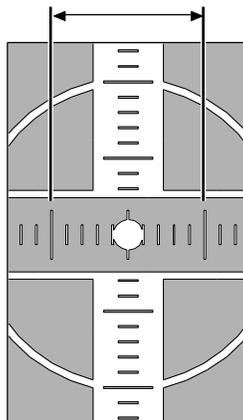


Рисунок 12.2: Измерьте размер объекта и отражения между двумя линиями образца

6. Повторите 2 и 4 шаги с расстоянием от источника света до экрана 90см, 80см, 70см, 60см, и 50см. для каждого расстояния от источника света до экрана, найдите *два* положения линзы, где образуются чистые отражения. (Вам не нужно измерять размеры отражения и объекта.).

Таблица 12.1: Расстояния отражения и объекта.

Расстояние от источника света до экрана	d_o	d_i	$1/d_o$	$1/d_i$	Размер отражения	Размер объекта
100 см						
90 см						
80 см						
70 см						
60 см						
50 см						

Анализ части А: Фокусное расстояние

1. Посчитайте $1/d_o$ и $1/d_i$ для всех 12 рядов в таблице 12.1.
2. Начертите $1/d_o$ против $1/d_i$ и найдите наиболее подходящую линию (подбор прямой). Этот даст прямую линию с x- и y-пересечениями равную $1/f$. Запишите пересечения (включая единицы) здесь:

y-пересечение = $1/f =$ _____

x- пересечение = $1/f =$ _____

Примечание: Вы можете начертить данные и найти наиболее подходящую линию на бумаге или компьютере.

3. Для каждого пересечения, посчитайте значение f и запишите его в таблице 12.2.
4. Найдите процентное различие между двумя значениями f и запишите его в таблице 12.2.
5. Выводите среднее число этих двух значений f . Найдите процентное различие между этим средним числом и фокусным расстоянием, которое вы нашли в части I. Запишите эти данные в таблице 12.2.

Таблица 12.2: Фокусное расстояние

	F
Результат из x-пересечения	
Результат из y- пересечения	
% разница между результатами пересечений	
Среднее число результатов пересечений	
Результат из части I	
% разница между средним числом результатов пересечений и результатом из части I	

Анализ Часть В: Увеличение

1. Только для двух первых пунктов данных (первые два ряда в таблице 12.2), используйте расстояния отражения и объектива для вычисления усиления (увеличения), M , по каждому положению линзы. Запишите результаты в таблице 12.3.

(Уравнение 12.2)

$$M = -\left(\frac{d_i}{d_o}\right)$$

- Посчитайте абсолютную величину M (по каждому из двух положений линзы), используя ваши измерения размера отражения и размера объектива. Запишите результаты в таблице 12.3.

(Уравнение 12.3)

$$|M| = (\text{размер отражения})/(\text{размер объекта})$$

- Посчитайте процентное соотношение между абсолютными значениями M , найденными при использовании двух методов. Запишите результаты в таблице 12.3.

Таблица 12.3: Усиление

	Пункт 1	Пункт 2
M вычисленный по расстояниям отражения и объекта		
$ M $ вычисленный по размерам отражения и объекта		
% разности		

Вопросы

- Отражение, образованное линзой является прямым или перевернутым?
- Отражение настоящее или виртуальное? Откуда вы знаете?
- Объясните, почему при заданном расстоянии от экрана до объектива, существует две точки для линзы, где образуется чистое отражение.
- Смотря на отражение, как вы можете узнать, что усиление отрицательное?
- Вы сделали три отдельных решения для f (измерив его прямо с отдаленным объективом, от x -пересечения вашего графика, и от y -пересечения). Где эти три значения равны? Если они не равны, то, что могло вызвать их варьирование?

Эксперимент 13: Фокусное расстояние и Увеличение вогнутого зеркала.

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Экспериментальный стол

Вогнутое/выпуклое зеркало

Полу-экран

Другое оборудование

Метрическая линейка

Оптический Кронциркуль (не обязательно, для измерения размеров образа), PASCO part OS-8468

Цель

Целью данного эксперимента является определение фокусного расстояния вогнутого зеркала, и измерение усиления (увеличения) для определенных расстояний отражения и объекта.

Теория

Для сферически изогнутого зеркала:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

(Уравнение 13.1)

где f – фокусное расстояние, d_o – расстояние между объективом и зеркалом, и d_i – расстояние между отражением и зеркалом. Измерив d_o и d_i можно определить фокусное расстояние.

Увеличение, M – отношение размера отражения к размеру объекта. Если отражение перевернуто, то M – отрицательный

Часть I: Объект на бесконечном расстоянии.

В этой части, вы определите фокусное расстояние зеркала, сделав единственное измерение d_i при $d_o \cong \infty$.

Процесс

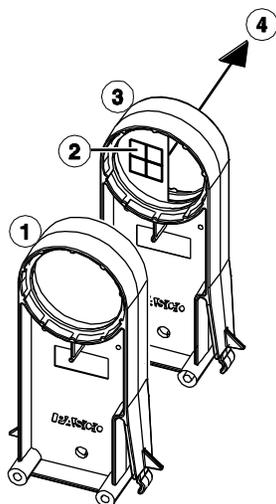


Рисунок 13.1

1: Зеркало 2: Отражение 3: Полу-экран 4: Отдаленный объект

1. Держите одной рукой зеркало и другой – полу-экран. Используйте вогнутую сторону зеркала сфокусировать отражение *отдаленного* яркого объекта (например, окно или лампа в комнате) на полу-экране. (См. Рисунок 13.1)
2. Пусть ваш напарник измерит расстояние между зеркалом и экраном. Это будет расстоянием отражения d_i .

$$d_i = \underline{\hspace{2cm}}$$

Анализ

1. Когда d_o приближается к бесконечности, к чему приближается $1/d_o$?
2. Используйте уравнение 13.1 для вычисления фокусного расстояния.

$$f = \underline{\hspace{2cm}}$$

Часть II: Объект, находящийся ближе бесконечности

В этой части, вы определите фокусное расстояние зеркала, измерив несколько пар расстояний объекта и отражения и начертив $1/d_o$ против $1/d_i$.

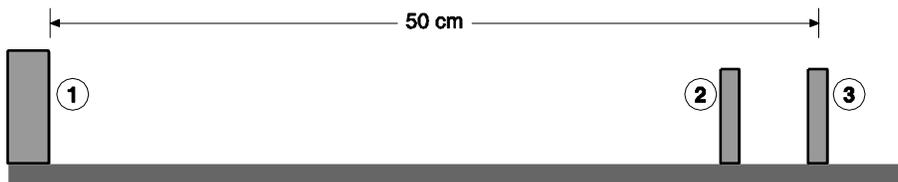


Рисунок 13.2

1: Источник света 2: Полу-экран 3: Зеркало

Процесс

1. Поместите источник света и зеркало на оптический экспериментальный стол на расстоянии 50см таким образом, чтобы объектив с перекрестными стрелками источника света по направлению к зеркалу и вогнутая сторона зеркала по направлению источника света. Поставьте полу-экран между ними. (См. Рисунок 13.2)
2. Двигайте полу-экран к месту, где образуется ясное отражение объекта с перекрестными стрелками. Измерьте расстояние отражения и расстояние объекта. Запишите эти измерения (все измерения на следующих этапах) в таблице 13.1.
3. Повторите шаг 2 с расстояниями объекта 45см, 40см, 35см, 30см, 25см.

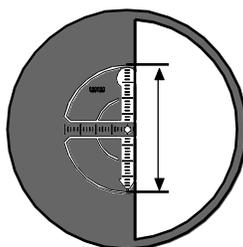


Рисунок 13.3: Размер отражения.

4. С помощью зеркала на расстоянии 25см от источника света и ясное отражения, образованное на полу-экране, измерьте размер объекта и размер отражения. Для того, чтобы измерить размер отражения, держите клочок бумаги напротив полу-экрана и отметьте две противоположные точки на образце с перекрестными стрелками (См. Рисунок 13.3). Если хотя бы половина образца не видна на полу-экране, пусть ваш напарник слегка покрутит зеркало, чтобы можно было просмотреть отражение больше. Уберите бумагу и измерьте между точками. Измерьте размер объекта между соответствующими точками прямо на источнике света.

Таблица 13.1: Расстояния отражения и объекта.

d_o	d_i	$1/d_o$	$1/d_i$	Размер отражения	Размер объекта
50.0 см					
45.0 см					
40.0 см					
35.0 см					
30.0 см					
25.0 см					

Анализ

Часть А: Фокусное расстояние

1. Вычислите $1/d_o$ и $1/d_i$ для всех шести лучей в таблице 13.1.
2. Начертите $1/d_o$ против $1/d_i$ и найдите наиболее подходящую линию (подбор прямой). Этот даст прямую линию с x- и y-пересечениями равную $1/f$. Запишите пересечения (включая единицы) здесь:

y- пересечение = $1/f$ = _____

x- пересечение = $1/f$ = _____

Примечание: Вы можете начертить данные и найти наиболее подходящую линию на бумаге или компьютере.

3. Для каждого пересечения, посчитайте значение f и запишите его в таблице 13.2
4. Найдите процентное различие между двумя значениями f и запишите его в таблице 13.2.
5. Выводите среднее число этих двух значений f . Найдите процентное различие между этим средним числом и фокусным расстоянием, которое вы нашли в части I. Запишите эти данные в таблице 13.2.

Таблица 13.2: Фокусное расстояние

	F
Результат из x-пересечения	
Результат из y- пересечения	
% разница между результатами с пересечений	
Среднее число результатов с пересечений	
Результат из части I	
% разница между средним числом результатов с пересечений и результатом из части I	

Анализ

Часть В: Увеличение

1. Только для последних данных ($d_o = 25$ cm), используйте расстояния отражения и объектива для вычисления усиления, M . Запишите результаты в таблице 13.3.

(Уравнение 13.2)

$$M = -\left(\frac{d_i}{d_o}\right)$$

2. Вычислите абсолютную величину M , используя ваши измерения размера отражения и размера объектива. Запишите результаты в таблице 13.3.

(Уравнение 13.3)

$$|M| = (\text{размер отражения})/(\text{размер объекта})$$

3. Посчитайте процентное соотношение между абсолютными значениями M , найденными при использовании двух методов. Запишите результаты в таблице 13.3

Таблица 13.3: Усиление

M вычисленный по расстояниям отражения и объекта	
$ M $ вычисленный по размерам отражения и объекта	
% соотношение	

Вопросы

1. Отражение, образованное линзой является прямым или перевернутым?
2. Отражение настоящее или виртуальное? Откуда вы знаете?
3. Смотря на отражение, как вы можете узнать, что увеличение отрицательное?
4. Вы сделали три отдельных решения для f (измерив его прямо с отдаленным объективом, от x -пересечения вашего графика, и от y -пересечения). Где эти три значения равны? Если они не равны, то, что могло вызвать их варьирование?

Эксперимент 14: Виртуальные отражения

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Источник света

Оптический экспериментальный стол

-150 см линза

+200 см линза

Смотровой экран

Вогнутое/выпуклое зеркало

Полу-экран

Другое оборудование

Клейкая лента

Цель

В этом эксперименте вы изучите виртуальные отражения, образованные рассеивающей линзой и выпуклым зеркалом.

Теория

Виртуальное отражение нельзя увидеть на экране. Оно формируется на месте, где пересекаются обратные удлинения рассеивающих лучей. Вы можете увидеть виртуальное отражение, смотря на него в линзу или зеркало. Как все отражения, виртуальное отражение, образованное линзой или зеркалом может служить в качестве объекта другой линзы или зеркала.

Часть I: Виртуальное отражение, образованное рассеивающей линзой

В этой части вы установите рассеивающую линзу, чтобы образовать виртуальное отражение. Затем вы используете другую линзу, чтобы образовать настоящее отражение виртуального отражения. Таким способом, вы сможете определить расположение виртуального отражения.

Процесс

1. Поместите 150 см линзу на оптическом экспериментальном столе на отметке 30см.
2. Поместите источник света на отметке 10 см, установив объектив с перекрестными стрелками по направлению к линзе.

3. Запишите расстояние объектива d_{o1} (расстояние между источником света и линзой) в таблице 14.1.

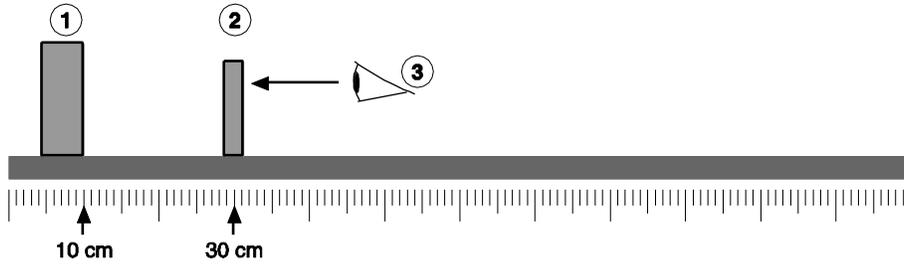


Рисунок 14.1

1: Источник света 2: -150 мм линза 3: Смотрите сквозь линзу

4. Смотрите сквозь линзу по направлению к источнику света (См. Рисунок 14.1). Опишите отражение. Оно прямое или перевернутое? Кажется ли он больше или меньше, чем сам объект?

5. Что вы думаете ближе к линзе: отражение или объект? Почему вы так думаете?

6. Поместите +200мм линзу на оптическом экспериментальном столе где-то между отметками 50см и 80см. Запишите здесь его расположение. _____

7. Поместите смотровой экран за положительной (собирающей) линзой (См. Рисунок 14.2). Двигайте экран до отметки, пока на нем не появится ясное отражение. Запишите эту отметку здесь.

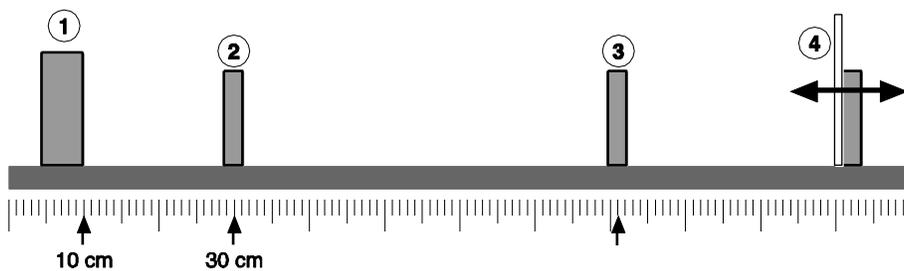


Рисунок 14.2

1: Источник света 2: -150мм линза 3: +200мм линза, расположите где-то между 50см и 80см отметками 4: Экран, настройте на фокусирование отражения

Реальное отражение, что вы видите на экране, образован положительной линзой и действующей как объект виртуальным отражением (образованным отрицательной линзой). В следующих этапах вы обнаружите расположение виртуального отражения путем его замены источником света.

8. Уберите отрицательную линзу с экспериментального стола. Что стало с отражением на экране? _____

9. Двигайте источник света к новой отметке, пока не образуется на экране ясное отражение. (Не двигайте положительную линзу или экран.) Запишите здесь расположение источника света на экспериментальном столе. _____

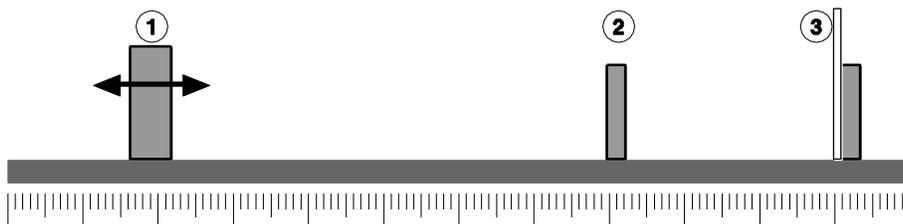


Рисунок 14.3

1: Источник света, настройте на фокусирование отражения 2: +200мм линза 3: Экран

Анализ

Расположение источника света на данный момент идентично предыдущему расположению виртуального отражения.

1. Вычислите расстояние виртуального отражения d_{i1} (расстояние между отрицательной линзой и виртуальным отражением). Помните. Что оно отрицательное. Запишите в таблице 14.1.
2. Посчитайте увеличение и запишите в таблице 14.3.

(Уравнение 14.1)

$$M_1 = -\left(\frac{d_{i1}}{d_{o1}}\right)$$

Таблица 14.3: Отрицательная линза

d_{o1}	
d_{i1}	
M_1	

Вопросы

1. Откуда вы знаете, что текущее расположение источника света идентично расположению виртуального отражения, когда отрицательная находится на экспериментальном столе?
2. На 5 шаге этого процесса, вы прогнозировали расположение виртуального отражения, относительно источника света? Были ли ваши прогнозы верны?
3. Является ли M_1 положительным или отрицательным? Как оно соотносится с появлением отражения?
4. Начертите масштабную схему, показывающую источник света в его начальном положении, обеих линз, экрана, и обоих отражений. Озаглавьте каждую часть.

5. Начертите другую диаграмму в таком масштабе, показывающую источник света в конечном положении, положительные линзы, экран, и отражение.

Часть II: Виртуальное отражение, образованное выпуклым зеркалом.

В этой части, вы найдете расположение виртуального отражения, образованного выпуклым зеркалом.

Процесс

1. Прикрепите кусочек пленки на смотровой экран и начертите вертикальную линию на нем, как показано на рисунке 14.4.

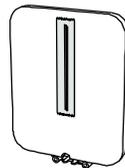


Рисунок 14.4

2. Поместите полу-экран на экспериментальном столе ближе к краю. Поверните экран, так, чтобы его край был вертикальным. (См. Рисунок 14.5).

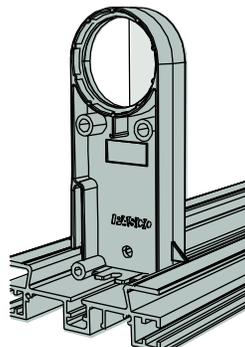


Рисунок 14.5

3. Поместите вогнутое/выпуклое зеркало на экспериментальном столе, 20см от полу-экрана, чтобы выпуклая сторона смотрела на полу-экран.

4. Посмотрите через полу-экран в зеркало. Опишите отражение полу-экрана. Оно прямое или перевернутое? Кажется ли, что оно больше или меньше объекта?
-

5. Догадитесь, где находится отражение. Поместите смотровой экран на экспериментальном столе в этом положении (рисунок 14.6).

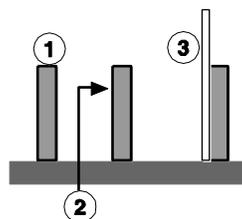


Рисунок 14.6

1: Полу-экран 2: Выпуклая сторона зеркала. 3: Смотровой экран.

В следующих этапах, вы настроите положение смотрового экрана таким образом, чтобы он оказался на таком же месте, что и виртуальное отражение.

- Посмотрите вверх полу-экрана (рисунок 14.7а), чтобы вы смогли увидеть виртуальное отражение полу-экрана и начерченную линию на смотровом экране одновременно. (Рисунок 14.7 б).

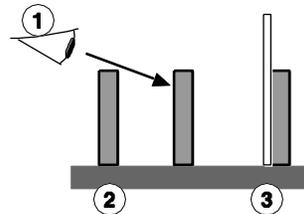


Рисунок 14.7а

1: Посмотрите в зеркало 2: Полу-экран 3: Смотровой экран

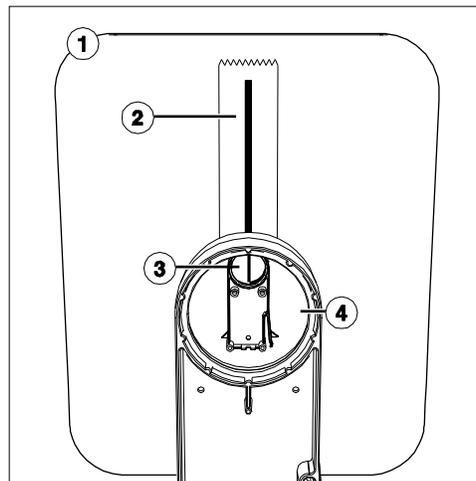


Рисунок 14.7б

1: Смотровой экран 2: Линия 3: Отражение полу-экрана 4: Зеркало

- Двигайте головой налево и направо на несколько сантиметров. Если линия на смотровом экране и отражение полу-экрана находятся не на одинаковом расстоянии от вашего глаза, будет казаться, что они двигаются относительно друг друга. Этот эффект известен как параллакс.
- Настройте положение экрана, чтобы ещё раз проверить параллакс. Повторяйте этот шаг до тех пор, пока между линией и отражением параллакса не будет. Когда вы будете двигать голову, вам должно показаться, что они приклеились друг к другу.

Анализ

Смотровой экран теперь располагается так же, как и виртуальный образ.

- Запишите расстояние d_o в таблице 14.2.
- Посчитайте расстояние отражения d_i (расстояние между зеркалом и виртуальным отражением). Не забывайте, что оно отрицательное. Запишите его в таблице 14.2
- Используйте d_o и d_i для вычисления усиления и запишите в таблице 14.2.

Таблица 14.2: Выпуклое зеркало

d_o	
d_i	
M	

Вопросы

1. Величина d_i меньше или больше чем d_o ? Если вы замените выпуклое зеркало простым зеркалом, каково будет соотношение между d_i и d_o ?
2. M положительно или отрицательно? Как это соотносится с отражением?
3. Начертите масштабную схему, показывающую полу-экран, зеркало, смотровой экран, и виртуальное отражение.

Эксперимент 15: Телескоп

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Оптический экспериментальный стол

2 Выпуклые линзы (+100мм и +200мм)

Экран

Образец бумажной решетки (из этого руководства по пользованию), или 14 × 16 решетка с клетками в 1см

+250 мм и -150 мм линзы (на выбор для дальнейшего изучения)

Цель

В этом эксперименте, вы соберете телескоп и определите его увеличение.

Теория

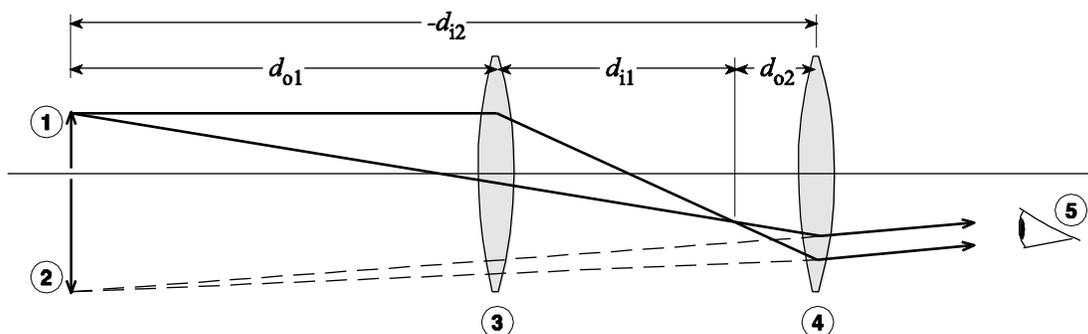


Рисунок 15.1

1: Объект 2: Отражение 3: +200мм линза 4: +100мм линза 5: Глаз

Астрономический телескоп (астротруба) состоит из двух выпуклых линз. Астротруба в этом эксперименте будет образовывать отражение на том же месте, где объект (См. Рисунок 15.1).

Линзы, по сравнению с другими расстояниями, являются тонкими, что позволяет использовать формулу тонкой линзы:

(Уравнение 15.1)

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

где f - фокусное расстояние, d_o - расстояние между объектом и линзой, и d_i - расстояние между отражением и линзой.

Увеличение, M , двух линз равно результату усиления индивидуальных линз:

(Уравнение 15.2)

$$M = M_1 M_2 = \left(\frac{-d_{i1}}{d_{o1}} \right) \left(\frac{-d_{i2}}{d_{o2}} \right)$$

Установка

1. Зафиксируйте образец бумажной решетки на экране, чтобы он послужил объектом.
2. +200мм линза – это линза объектива (та, которая ближе к объективу). 100мм линза - линза окуляра (та, которая ближе к глазу). Поместите линзы ближе к одному краю экспериментального стола. (См. Рисунок 15.2). их точное расположение пока не имеет значения.

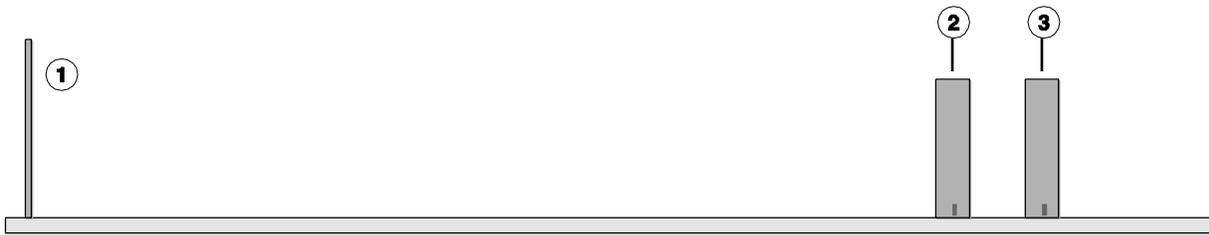


Рисунок 15.2

1: Экран 2: +200мм линза объектива 3: +100мм линза окуляра

Процесс

1. Подведите ваш глаз близко к окуляру и посмотрите через обе линзы на бумажную решетку на экране. Подвигайте линзу объектива, чтобы подвести отражения к фокусу.

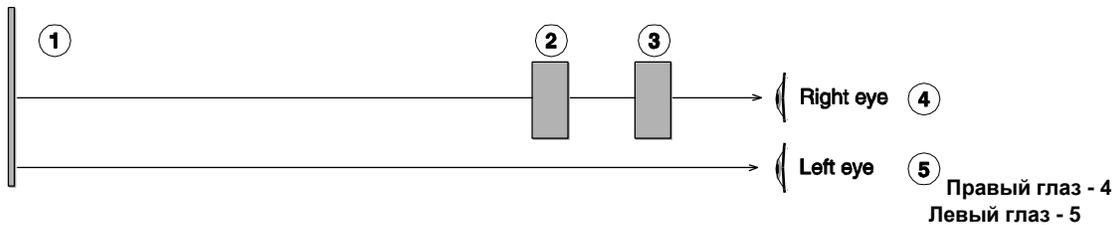


Рисунок 15.3

1: Экран 2: Линза объектива 3: Окуляр 4: Правый глаз 5: Левый глаз

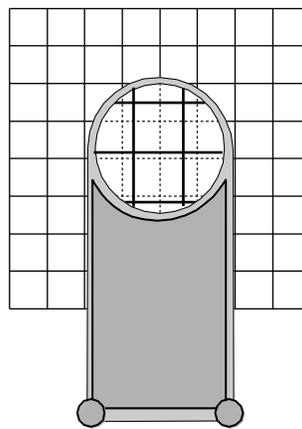


Рисунок 15.4

2. На этом этапе, вы настроите ваш телескоп таким образом, чтобы отражение появилось на том же месте, где объект. Для этого, вы будете смотреть на отражение и на объект одновременно, и судить об их относительном положении, двигая головой из стороны в сторону. Если отражение и объект не

совпадают по месту, тогда будет казаться, что они двигаются относительно друг друга. Этот эффект известен как параллакс

Откройте оба глаза. Посмотрите одним глазом через линзы на отражение и другим глазом поверх линз на объект (См. Рисунок 15.3). Линии отражения (сплошные линии, показанные на рисунке 15.4) будут наложены на линии объекта (показаны как пунктирные линии на рисунке 15.4). Двигайте головой слева – направо и вверх – вниз примерно на сантиметр. Когда вы будете двигать головой, линии отражения могут двигаться относительно линиям объекта согласно параллаксу. Настройте окуляр для исключения параллакса. Не двигайте линзы объектива. Когда не будет параллакса, будет казаться, что линии в центре линзы приклеены к линиям объекта.

Примечание: Возможно, вам придется настроить окуляр не больше чем на несколько сантиметров.

3. Запишите положение линз и экрана в таблице 15.1.
4. Оцените усиление вашего телескопа, путем подсчета количества клеток объекта, которые лежат на одной стороне одной клетки отражения. Для этого, вы должны смотреть на отражение через телескоп одним глазом, в то время как другим глазом смотря прямо на объект. Помните, что усиление для перевернутого отражения отрицательное. Запишите усиление, за которым наблюдали в таблице 15.1.

Анализ

Для вычисления усиления, выполните следующие шаги и запишите результаты в таблице 15.1.:

Таблица 15.1: Результаты

Положение линзы объектива	
Положение окуляра	
Положение экрана	
Наблюдаемое усиление	
d_{o1}	
d_{i2}	
d_{i1}	
d_{o2}	
Вычисленное усиление	
Процентная разница	

1. Измерьте d_{o1} , расстояние от объекта (бумажная решетка на экране) до линзы объектива.

2. Определите d_{i2} , расстояние от окуляра до отражения. Так как отражение находится в плоскости объекта, оно равно расстоянию между окуляром и объектом (экраном). Не забудьте, что расстояние отражения для виртуального отражения является отрицательным.
3. Вычислите d_{i1} , используя d_{o1} и фокусное расстояние линзы объектива по формуле тонкой линзы (Уравнение 15.1).
4. Вычислите d_{o2} , вычислив d_{i1} из расстояния между линзами.
5. Посчитайте усиление, используя уравнение 15.2.
6. Посчитайте процентную разницу между вычисленным усилением и наблюдаемым значением.

Вопросы

1. Отражение прямое или перевернутое?
2. Отражение, которое вы видите в телескопе настоящее или виртуальное?

Дальнейшее исследование

Отражение, образуемое линзой объектива.

Где отражение, образуемое линзой объектива? Оно настоящее или виртуальное? Используйте настольную лампу, чтобы ярко осветить бумажную решетку (или замените экран объектом с перекрестными стрелками источника света). Держите вертикально лист бумаги там, где вы думаете находится отражение. Вы видите отражение? Оно прямое или перевернутое? Уберите бумагу и держите на том же месте карандаш. Посмотрите через окуляр; вы увидите два отражения, одно от карандаша и другое – бумажной решетки. Перевернуты ли оба отражения? Используйте параллакс для определения места отражения карандаша.

Объект на расстоянии бесконечности.

Уберите экран и посмотрите через линзы на отдаленный объект. Настройте расстояние линз, чтобы сфокусировать телескоп с расслабленными глазами. Оцените наблюдаемое усиление. Теперь вычислите усиление с помощью соотношения фокусных расстояний линз. Сравните вычисленное усиление с наблюдаемым усилением. Как соотносится расстояние между линзами с фокусными расстояниями?

Телескоп Галилея

Сделайте новый телескоп, используя -150мм линзу как окуляр и +250мм линзу как линзу объектива. Посмотрите в него на отдаленный объект. Настройте расстояние между линзами, чтобы сфокусировать телескоп вашим расслабленным глазом. Как соотносится расстояние между линзами к фокусным расстояниям.

Как отражение, обозреваемое через этот телескоп, отличается от отражения предыдущего телескопа?

Эксперимент 16: Микроскоп

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики

Оптический экспериментальный стол

2 Выпуклые линзы (+100мм и +200мм)

Экран

Образец бумажной решетки (из этого руководства по пользованию), или 14 × 16 решетка с клетками в 1см

Цель

В этом эксперименте вы соберете микроскоп и определите его усиление.

Теория

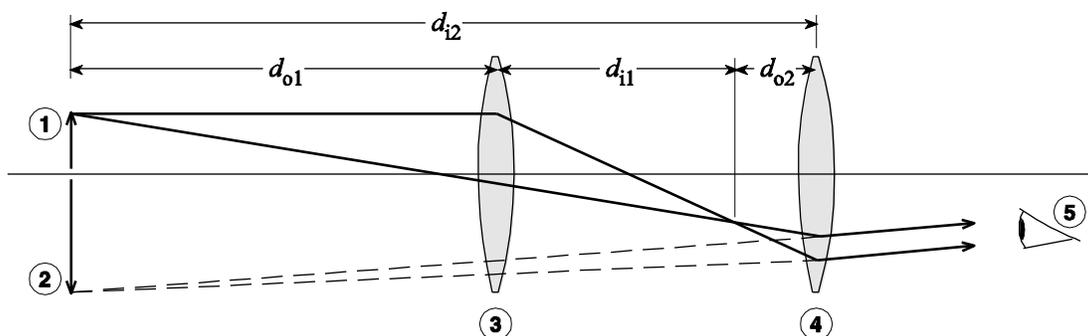


Рисунок 16.1

1: Объектив 2: Изображение 3: +100мм линза 4: +200мм линза 5: Глаз

Микроскоп увеличивает (усиливает) объект, который находится близко к линзе объектива. В этом эксперименте образуется отражение на том же месте, что и объект (См. Рисунок 16.1).

Линзы, по сравнению с расстояниями, являются тонкими, что позволяет нам использовать Уравнение тонкой линзы:

(Уравнение 16.1)
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

где f – фокусное расстояние, d_o – расстояние между объектом и линзой, и d_i – расстояние между отражением и линзой.

Увеличение (усиление), M , системы с двумя линзами равно результату усилений индивидуальных линз:

(Уравнение 16.2)
$$M = M_1 M_2 = \left(\frac{-d_{i1}}{d_{o1}} \right) \left(\frac{-d_{i2}}{d_{o2}} \right)$$

Установка

1. Закрепите образец бумажной решетки на экране в качестве объекта.
2. +100мм линза – это линза объектива (та, которая ближе к объекту). 200мм линза - линза окуляра (та, которая ближе к глазу). Поместите линзы ближе к середине экспериментального стола и поместите экран ближе к краю экспериментального стола (См. Рисунок 16.2).

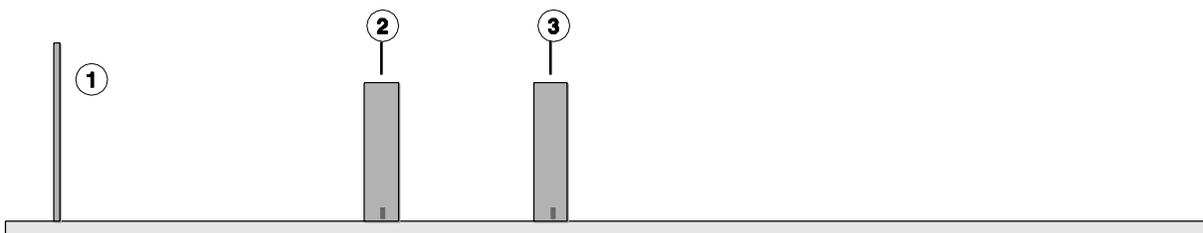


Рисунок 16.2

1: Экран 2: +100мм линза объектива 3: +200мм окуляр

Процесс

1. Подведите ваш глаз близко к окуляру и посмотрите через обе линзы на бумажную решетку на экране. Подвигайте линзу объектива, чтобы сфокусировать отражения

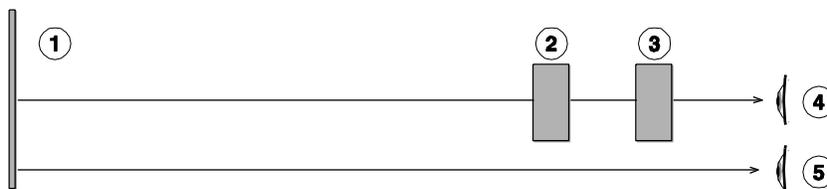


Рисунок 16.3

1: Экран 2: Линза объектива 3: Окуляр 4: Правый глаз 5: Левый глаз

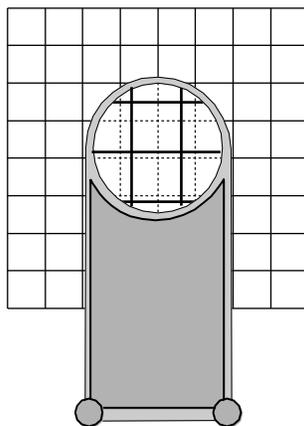


Рисунок 16.4

2. На этом этапе, вы настроите ваш микроскоп таким образом, чтобы отражение появилось на том же месте, что и объект. Для этого, вы будете смотреть на отражение и на объект одновременно, и судить об их относительном положении, двигая головой из стороны в сторону. Если отражение и объект не совпадают по месту, тогда будет казаться, что они двигаются относительно друг друга. Этот эффект известен как параллакс

Откройте оба глаза. Посмотрите одним глазом через линзы на отражение и другим глазом поверх линз на объект (См. Рисунок 16.3). Линии отражения (сплошные линии, показанные на рисунке

16.4) будут наложены на линии объекта (показаны как пунктирные линии на Рисунке 15.4). Двигайте головой слева – направо и вверх – вниз примерно на сантиметр. Когда вы будете двигать головой, линии отражения могут двигаться относительно линиям объекта согласно параллаксу. Настройте окуляр для исключения параллакса. Не двигайте линзы объектива. Когда не будет параллакса, будет казаться, что линии в центре линзы приклеены к линиям объекта

Примечание: Даже если параллакса нет, может казаться, что линии двигаются у края линзы из-за аберрации линзы. Сконцентрируйтесь на части отражения, которое видно через центры линз. Удостоверьтесь в том, что глаз, смотрящий на объект (левый глаз на рисунке 16.3), смотрит прямо на объект, а не через линзу объектива.

3. Запишите положения линз и объекта в таблице 16.1.
4. Рассчитайте усиление вашего микроскопа путем подсчета количества клеток объекта, которые лежат по одной стороне одной клетки отражения. Для этого вы должны смотреть на отражение через микроскоп одним глазом, в то время как другим глазом смотря прямо на объект. Помните, что усиление для перевернутого отражения отрицательное. Запишите наблюдаемое усиление в таблице 16.1

Анализ

Для вычисления увеличения выполните следующие шаги и запишите результаты в таблице 16.1

Таблица 16.1: Результаты

Положение линзы объектива	
Положение окуляра	
Положение экрана	
Наблюдаемое усиление	
d_{o1}	
d_{i2}	
d_{i1}	
d_{o2}	
Вычисленное усиление	
Процентная разница	

1. Измерьте d_{o1} , расстояние от объекта (бумажная решетка на экране) до линзы объектива.
2. Определите d_{i2} , расстояние от окуляра до отражения. Так как отражение находится в плоскости объекта, оно равно расстоянию между окуляром и объектом (экраном). Не забудьте, что расстояние отражения для виртуального (мнимого) отражения является отрицательным.

3. Вычислите d_{i1} , используя d_{o1} и фокусное расстояние линзы объектива по формуле тонкой линзы (Уравнение 15.1).
4. Вычислите d_{o2} , вычислив d_{i1} из расстояния между линзами.
5. Посчитайте увеличение, используя уравнение 15.2.
6. Посчитайте процентную разницу между вычисленным усилением и наблюдаемым значением.

Вопросы

1. Отражение прямое или перевернутое?
2. Отражение, которое вы видите в телескопе настоящее или виртуальное?

Дальнейшее исследование

Отражение, образуемое линзой объектива

Где отражение, образуемое линзой объектива? Оно настоящее или виртуальное? Используйте настольную лампу, чтобы ярко осветить бумажную решетку (или замените экран объектом с перекрестными стрелками источника света). Держите вертикально лист бумаги там, где вы думаете находится отражение. Вы видите отражение? Оно прямое или перевернутое? Уберите бумагу и держите на том же месте карандаш. Посмотрите через окуляр; вы увидите два отражения, одно от карандаша и другое – бумажной решетки. Перевернуты ли оба отражения? Используйте параллакс для определения места отражения карандаша

Увеличение усиления

Смотря в микроскоп, подвиньте линзу объектива ближе к объекту. В каком направлении нужно подвинуть окуляр, чтобы держать отражение в фокусе? Как близко можно передвинуть линзу объектива, чтобы отражение смотрелось ясно? (Сделайте пометку карандашом на бумажной решетке, чтобы было что-то маленькое для фокусирования на нем). Каково теоретическое ограничение того, насколько близко можно передвинуть линзу объектива?

Эксперимент 17: Тени

Необходимое оборудование из набора геометрической оптики (необходимо 2 набора)

Оптический экспериментальный стол 2

Источника света 2

1 Экран

Цель

Целью данного эксперимента является – показать полную тень (темную часть) и полутень (светлую часть) тени.

Установка

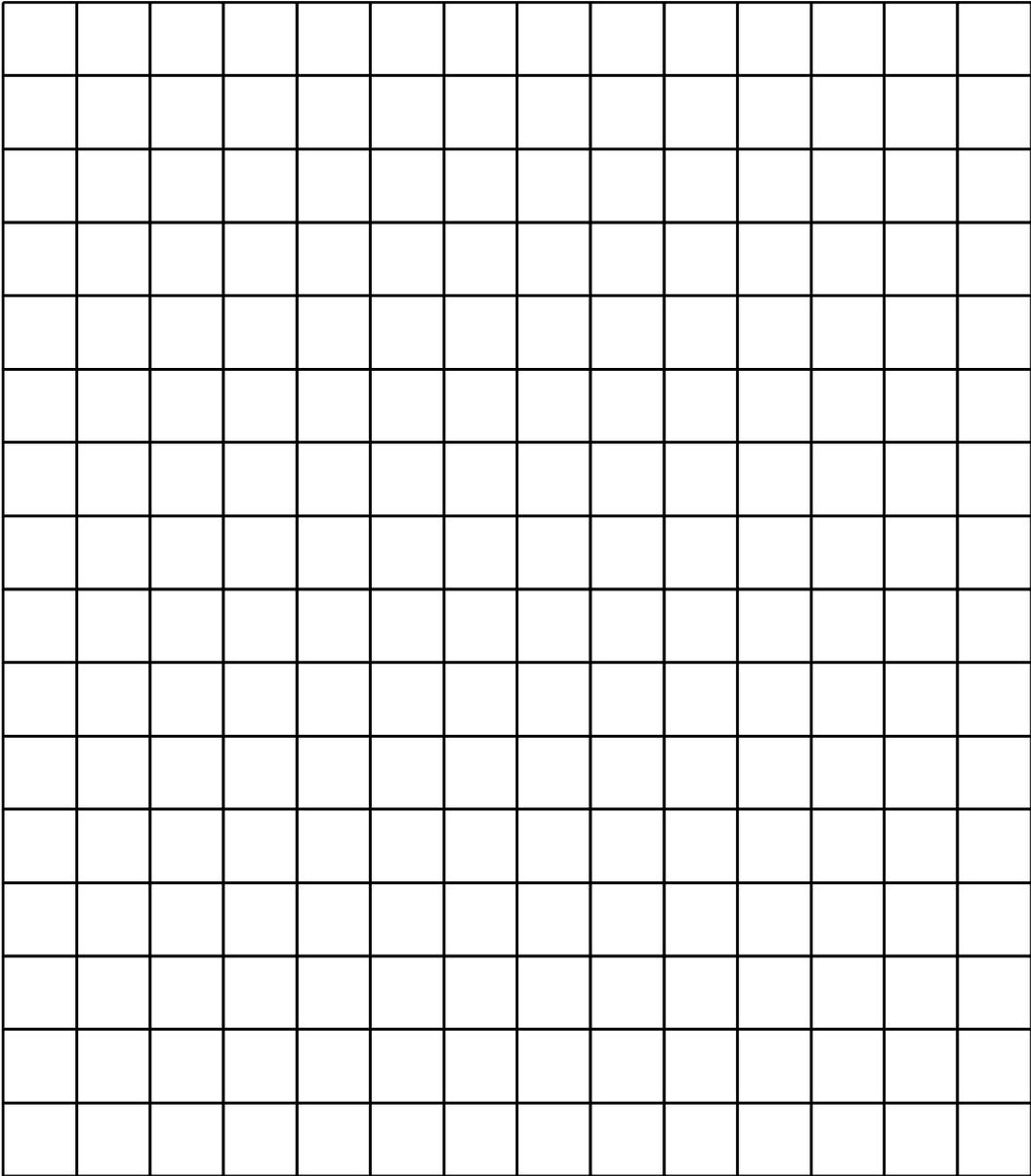
1. Поместите два оптических экспериментальных стола рядом друг с другом.
2. Поставьте по источнику света на каждый стол, чтобы точечный источник (круглое отверстие) смотрел на другой конец стола.
3. Поместите экран на один из столов на противоположную сторону от источника света.

Процесс

1. Включите только один из источников света.
2. Держите карандаш примерно 5см от экрана так, чтобы его тень падала на экран. Теперь разверните источник света так, чтобы перекрестные стрелки осветили карандаш на экране. Как изменилась тень?
3. Разверните источник света обратно в положение направления к точечному источнику. Включите второй источник света. Сделайте набросок тени карандаша. Отметьте полную тень и полутень
4. Отодвигайте карандаш в сторону экрана. Как изменяется тень?
5. Блокируйте каждый источник света последовательно, чтобы определить, какая часть тени каким из источников света вызвана. Укажите ваше наблюдение на рисунке.

Образец для теста телескопа и микроскопа

Прикрепите копию этого образца смотровому экрану в экспериментах 15 и 16. .



Руководство для инструктора (учителя)

Эксперимент 1: Добавление цвета

Заметка по процессу:

Ожидаемые студентами результаты могут отличаться от реальных результатов. Подскажите им, как внимательно наблюдать за итоговыми цветами и аккуратно их описывать.

Часть 1, типичные результаты:

Таблица 1.1: Результаты сложения цветов

Добавляемые цвета	Итоговый цвет
красный + синий + зеленый	слегка синеватый - белый
красный + синий	розовый - пурпурный
красный + зеленый	желто- оранжевый
зеленый + синий	синеватый - зеленый

Часть 1, ответы на вопросы:

1. Смешивание света – это не то же самое, что смешивание краски. Смешивание разных цветов - это смешение цветов путем сложения; смешивание краски это субтрактивное смешивание (серо-черного цвета) . 2. В этом эксперименте смешивание красного, зеленого, и синего цветов не выглядит чисто белым для большинства людей. Для того чтобы сделать белый свет, должны присутствовать три цвета в специфичных пропорциях яркости.

Часть 2, типичные результаты:

Таблица 1.2: Наблюдение за цветными чернилами при красном свете

Цвет света	Линия	Кажущийся цвет чернил	Выглядят ли они по-разному?	Настоящий цвет чернил.
Синий свет	A	Черный	Да, слегка	Красный
	B	Черный		Черный
Красный свет	C	Черный	Да, слегка	Синий
	D	Черный		Черный

(Шаг 4) При красном свете, черные чернила легче рассмотреть; красные чернила смотрятся почти так же как, белая бумага.

Часть 2: Ответы на вопросы:

1. Красный свет кажется красным, потому что он отражает красный свет и поглощает другие цвета. Под голубым светом, красные чернила поглощает большую часть видимого света. 2. При красном свете, трудно рассмотреть красные чернила, потому что и чернила и бумага – оба отражают видимый свет.

Эксперимент 2: Призма

Заметки по процессу:

(Шаг3) (a) Красный, оранжевый, желтый, зеленый и синий – видны в таком порядке. (b) Синий преломляется под самым большим углом. (c) Синий прогнозировался, что будет преломляться под самым большим углом, так как у него самый больший угол преломления. (Шаг 4) Когда цветные лучи вошли в призму, они *не* появляются параллельно друг другу из-за различных углов преломления.

Эксперимент 3: Отражение

Часть 1, Типичные результаты:

Таблица 3.1: Результаты ровного зеркала:

Угол падения	Угол преломления
9.0°	9.2°
16.8°	16.5°
19.0°	37.8°

Часть 1, типичные результаты:

1. Угол падения равен углу преломления. 2. Трехцветные лучи *не* реверсируются зеркалом.

Часть 2, типичные результаты:

Таблица 3.2: Результаты цилиндрического зеркала.

	Вогнутое зеркало	Выпуклое зеркало
Фокусное расстояние	6.2см	6.4см
Радиус кривизны (определен с помощью циркуля)	13.3см	13.2см

Радиус обоих изогнутых зеркал равен примерно 12.5см.

Часть 2: ответы на вопросы:

1. Радиус кривизны равен двум фокусным расстояниям для цилиндрического зеркала. Типичные экспериментальные результаты доказывают это. 2. Радиус кривизны плоского (ровного) зеркала приближается к бесконечности.

Эксперимент 4: Закон Снеллиуса

Типичные результаты:

Таблица 4.1: Данные и Результаты

Угол падения	Угол преломления	Вычисленный индекс преломления акрила
38.0°	26.0°	1.40
51.2°	33.8°	1.40
22.0°	14.4°	1.51
		В среднем: 1.44 (4% отклонение от принятой величины)

Ответ на вопрос:

Угол выхода луча из трапецоида то же, что и вход.

Эксперимент 5: Полное внутренне отражение

Типичные результаты:

(Шаг 5) Измеренный критический угол: $\theta_c = 41.0^\circ$

(Шаг 6) Вычисленный критический угол: $\theta_c = \sin^{-1}(1/n) = \sin^{-1}(1/1.5) = 41.8^\circ$

(Шаг 7) Разница = 1.9%

Ответы на вопросы:

1. Внутренне отраженный луч становится более ярким, когда угол падения больше, чем критический угол 2. Критический угол больше для красного света. Это говорит нам о том, что индекс преломления меньше.

Эксперимент 6: Выпуклые и вогнутые линзы.

Типичные результаты:

Таблица 6.1: Результаты

	Выпуклая линза	Вогнутая линза
Фокусное расстояние	13.75см	-12.1см

(Шаг 5) Когда линзы помещены вместе, параллельные лучи, входящие в линзы, появляются почти параллельно; это говорит нам о том, что фокусные расстояния приблизительно равной величины и противоположного знака. (Шаг 6) Раздвинув линзы, разбивка лучей может измениться, но они остаются почти параллельными.

Эксперимент 7: Полая линза

Типичные результаты:

Таблица 7.1: Прогнозы и наблюдения

Линза окруженная:	Секция 1 заполненная:	Секция 2 заполненная:	Секция 3 заполненная:	Прогнозы (собираются или рассеиваются)	Наблюдения (собираются или рассеиваются)
Воздухом	Водой	Воздухом	Воздухом		Рассеиваются
	Воздухом	Водой	Воздухом		Собираются
	Воздухом	Воздухом	Водой		Собираются
	Водой	Воздухом	Водой		Рассеиваются
Водой	Воздухом	Водой	Водой		Собираются
	Водой	Воздухом	Водой		Рассеиваются
	Водой	Водой	Воздухом		Рассеиваются

Ответы на вопросы:

1. Плоско-выпуклая линза – собирающая, когда у нее выше число преломления, чем у окружающей среды. Она – рассеивающая, когда индекс преломления меньше, чем у окружающей среды
2. *Невозможно* предсказать будет ли плоско-выпуклая линза из неизвестного материала рассеивающей или собирающей под водой, потому что число преломления может быть ниже *или* выше числа воды.

Эксперимент 8: Уравнение производителя линзы

Типичные результаты:

(Шаг 3) Измеренное фокусное расстояние: $f = -12.0\text{см}$

(Шаг 4) Измеренное фокусное расстояние отраженных лучей: $R/2 = 6.0\text{см}$. Радиус кривизны:

$R = -12.0\text{см}$

(Шаг 5) Измеренное фокусное расстояние:

$$f = [(n - 1) (1/R + 1/R)]^{-1} = [(1.5 - 1) (1/(-12.0 \text{ см}) + 1/(-12.0 \text{ см}))]^{-1} = -12.1 \text{ см}$$

(Шаг 6) % Разница: 0.8%

Актуальный радиус кривизны или линзы примерно -12.7см .

Эксперимент 9: Очевидная глубина

Типичные результаты:

Таблица 9.1: Результаты

	d	t	n
Часть 1: Метод Параллакса	2.12 см	3.18см	1.50
Часть 2: Метод прослеживания луча	2.23 см	3.18см	1.43

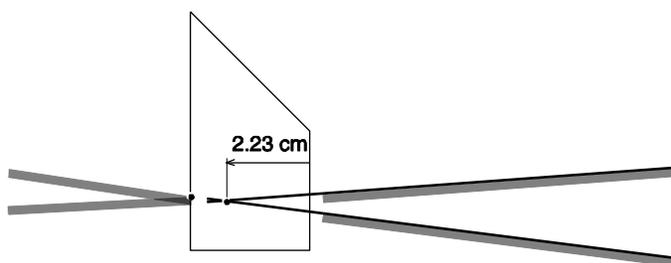


Рисунок TG.1

Типичные результаты по прослеживанию лучей представлены в 50% масштабе на рисунке TG.1. Серые области представляют актуальные световые лучи; черные линии и точки представляют актуальные отметки студента. Заметьте, что этот студент проследил вдоль краев световых лучей.

Действительная толщина трапецоида $t = 3.175 \pm 0.025$ см. Основываясь на принятом значении $n = 1.49$, очевидная теоретическая глубина $d = 2.13$.

Ответы на вопросы:

1. Из двух методов, метод параллакса более точный. Используя этот метод, и d и t можно было измерить с точностью до 1мм. При использовании метода прослеживания лучей, точки пересечения лучей имели большую неопределенность из-за плотности световых лучей. **2.** Для выше упомянутых типичных данных, процентные различия между принятыми и экспериментальными значениями n – это 0.7% для части 1 и 5% для части 2.

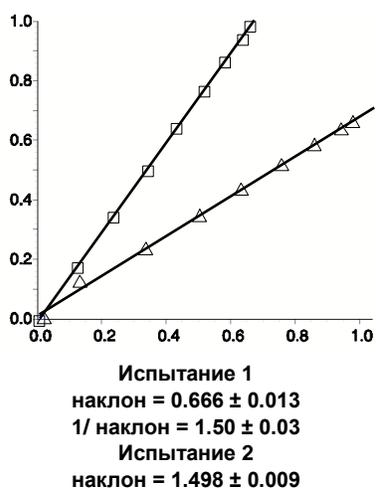
Эксперимент 10: Реверсивность (Обратимость)

Типичные результаты:

Таблица 10.1: Данные

Испытание 1 Падение луча на плоскую поверхность		Испытание 2 падение луча на изогнутую поверхность	
Угол падения θ_{i1}	Угол преломления θ_{r1}	Угол падения θ_{i2}	Угол преломления θ_{r2}
0°	0	0	1.0
10°	7.0	7.0	7.5
20°	13.5	13.5	19.5
30°	20.0	20.0	30.0
40°	25.5	25.5	39.0
50°	31.0	31.0	49.0
60°	35.5	35.5	59.0
70°	39.5	39.5	70.0
80°	41.0	41.0	77.0

Примечание к анализу:



1. Один из методов найти n – начертить $\sin(\theta_{i1})$ против $\sin(\theta_{r1})$ и найти более подходящую линию. Наклон линии равен $1/n$. Используя этот метод и данные выше, $n = 1.498$ для испытания 1.
2. Для испытания 2, n – это наклон $\sin(\theta_{i2})$ против $\sin(\theta_{r2})$, тогда $n = 1.50$.

Ответы на вопросы:

1. Да, закон преломления одинаков для света проходящего в любом направлении между двумя средами.
2. Да, принцип оптической обратимости сохраняется и для отражения и для преломления, при этом, что угол падения равен углу преломления.

Эксперимент 11: Дисперсия

Типичные результаты из анализа:

1. Разделение на цвета было вначале замечено где-то около 40° , хотя в зависимости от освещения в комнате его можно было заметить и раньше.
2. Максимальное разделение происходит примерно при 85° ; после него, фиолетовый полностью внутренне отражается.
3. Цвета видны в следующем порядке: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый (хотя не все цвета разрешимы в зависимости от освещения в комнате).
4. При угле падения 40° , фиолетовый преломлялся при 76° , а красный при 73° ; следовательно, $n_{кр} = 1.488$ и $n_{син} = 1.510$

Эксперимент 12: Фокусное расстояние и увеличение тонкой линзы

Примечание по оборудованию:

Обеспечьте студентов оправленными +100мм линзами. Закройте фокусное расстояние, указанное на бирке. Другие собирающие линзы подойдут, но возможно придется модифицировать значения от источника света к экрану, данные в таблице 12.1.

Часть 1:

Для отдаленного объекта, $1/d_o$ приближается к нулю, следовательно, ясное отражение образуется на расстоянии между линзой и экраном $d_i = f \cong 10\text{см}$.

Часть 2, типичные результаты:

Table 12.1: Расстояния отражения и объектива

Расстояние от источника света до экрана	d_o (см)	d_i (см)	$1/d_o$ (см ⁻¹)	$1/d_i$ (см ⁻¹)	Размер отражения	Размер объектива
100 см	88.5	11.5	0.0113	0.0870	5.5 мм	42 мм
	11.0	89.0	0.0909	0.0112	81 мм	10 мм
90 см	78.3	11.7	0.0128	0.0855		
	11.3	78.7	0.0885	0.0127		
80 см	68.0	12.0	0.0147	0.0833		
	11.5	68.5	0.0870	0.0146		
70 см	57.7	12.3	0.0173	0.0813		
	11.9	58.1	0.0840	0.0172		
60 см	47.1	12.9	0.0212	0.0775		
	12.3	47.7	0.0813	0.0210		
50 см	36.0	14.0	0.0278	0.0714		
	13.4	36.6	0.0746	0.0273		

Y-пересечение = $1/f = 0.0977 \text{ см}^{-1}$

X-пересечение = $1/f = 0.103 \text{ см}^{-1}$

Таблица 12.2: Фокусное расстояние

	f
Результат из x-пересечения	9.75 см
Результат из y- пересечения	10.2 см
% разница между результатами с пересечений	4.4%
Среднее число результатов с пересечений	9.98 см
Результат с части I	10.0 см
% разница между средним числом результатов с пересечениями и результатом с части I	0.2%

Таблица 12.3: Усиление

	Пункт 1	Пункт 2
M вычисленный по расстояниям отражения и объекта	-0.130	-8.09
$ M $ вычисленный по размерам отражения и объекта	0.13	8.1
% соотношение	0%	0.1%

Ответы на вопросы:

1. Отражение перевернутое. 2. Отражение настоящее, так как его можно видеть на экране. 3. При заданном расстоянии от объекта до отражения, две пары расстояния от объекта до отражения противоположны друг другу, что демонстрирует обратимость света через линзы. 4. Усиление отрицательное, так как отражение перевернутое. 5. Маловероятно, что три определенных значения f точно равны, в основном из-за ошибки в измерениях.

Эксперимент 13: Фокусное расстояние и усиление вогнутого зеркала

Часть 1:

Для отдаленного объекта, $1/d_o$ приближается к нулю, следовательно, ясное отражение образуется на расстоянии между зеркалом и экраном $d_i = f \cong 10$ см.

Часть 2, типичные результаты:

Таблица 13.1: Расстояния отражения и объекта

d_o	d_i (см)	$1/d_o$ (см ⁻¹)	$1/d_i$ (см ⁻¹)	Размер отражения	Размер объекта
50.0см	12.5	0.0200	0.0800		
45.0см	12.9	0.0222	0.0775		
40.0см	13.4	0.0250	0.0743		
35.0см	14.0	0.0286	0.0714		
30.0см	14.85	0.0333	0.0673		
25.0см	16.3	0.0400	0.0613	2.65 см	4.05см

y-пересечение = $1/f = 0.106 \text{ см}^{-1}$

x-пересечение = $1/f = 0.0979 \text{ см}^{-1}$

Таблица 13.2: Фокусное расстояние

	f
Результат из x-пересечения	10.2см
Результат из y- пересечения	9.43см
% разница между результатами с пересечений	8%
Среднее число результатов с пересечений	9.82см
Результат с Части I	10.0см
% разница между средним числом результатов с пересечений и результатом с части I	1.9%

Таблица 1.2: Усиление

M вычисленный по расстояниям отражения и объекта	-0.652
$ M $ вычисленный по размерам отражения и объекта	0.654
% соотношение	0.3%

Ответы на вопросы:

1. Отражение перевернутое. 2. Отражение настоящее, так как его можно видеть на экране. 3. Усиление отрицательное, так как отражение перевернутое. 4. Маловероятно, что три определенных значения f точно равны, в основном из-за ошибки в измерениях

Эксперимент 14: Виртуальные отражения

Часть 1, примечания по процессу:

(Шаг 4) Отражение прямое и кажется меньше объекта. (Шаг 5) Ответы будут варьироваться. Наблюдая параллакс между отражением и источником света, вы могли определить, что отражение находится впереди объекта. (Шаг 8) Когда убирается отрицательная линза, отражение на экране уходит из фокуса.

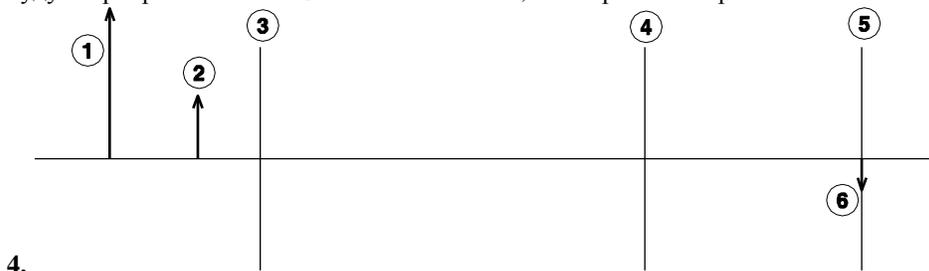
Часть 1, типичные результаты:

Таблица 14.1: Отрицательная линза

d_{o1}	20.0 см
d_{i1}	-8.3 см
M_1	0.42

Часть 1, Ответы на вопросы:

1. Вы знаете, что конечное положение источника света и начальное положение виртуального отражения – одинаковы, так как из-за них обеих +200мм линза образовала отражение на том же месте. 2. Ответы будут варьироваться. 3. M_1 – положительный, т.е. отражение прямое.



1: Источник света 2: Виртуальное отражение 3: -150 мм линза 4: +200 мм линза 5: Экран 6: Реальное отражение



1: Источник света 2: +200 мм линза 3: Экран 4: Реальное отражение

Часть 2, примечания по процессу:

(Шаг 4) Отражение прямое и кажется меньше объекта.

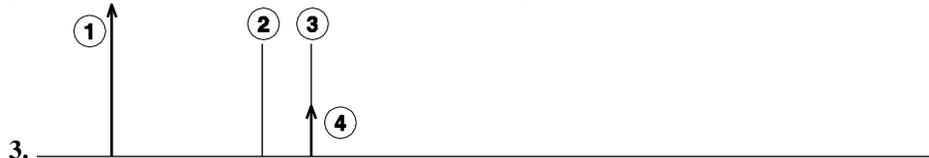
Часть, типичные результаты:

Таблица 14.2: Выпуклое зеркало

d_o	20 см
d_i	-6.5 см
M	0.33

Часть 2, Ответы на вопросы:

1. Величина d_i меньше чем d_o . С помощью плоского зеркала, d_i и d_o были бы с одинаковыми результатами. 2. M_1 – положительный, т.е. отражение прямое.



1: Полу-экран 2: Зеркало 3: Экран 4: Виртуальное отражение

Эксперимент 15: Телескоп

Типичные результаты:

Таблица 15.1: Результаты

Положение линзы объектива	63.4 см
Положение окуляра	102.2 см
Положение экрана	0.0 см
Наблюдаемое усиление	-5
d_{o1}	63.4 см
d_{i2}	-102.2 см
d_{i1}	29.2 см
d_{o2}	9.6 см
Вычисленное усиление	-4.9
Процентная разница	2%

Ответы на вопросы:

1. Отражение перевернутое. 2. Это виртуальное отражение.

Дальнейшее исследование: Отражение, образуемое линзой объектива:

Линза объектива формирует реальное, прямое отражение; чтобы увидеть его, держите лист бумаги на расстоянии d_{i1} от объектива. Когда карандаш будет помещен в этой точке, это виртуальное отражение, просматриваемое через окуляры, и совпадает с виртуальным отражением бумажной решетки, просматриваемое через обе линзы.

Дальнейшее исследование: объект на расстоянии бесконечности:

Когда телескоп настроен на отдаленный объект, расстояние между линзами равно сумме фокусных расстояний.

Дальнейшее исследование: Телескоп Галилея:

Расстояние между линзами должно быть примерно 10 см (различие в величинах фокусных расстояний). Отражение прямое и усиление положительное.

Эксперимент 16: Микроскоп

Типичные результаты:

Таблица 16.1: Результаты

Положение линзы объектива	20.9 см
Положение окуляра	54.9 см
Положение экрана	0.0 см
Наблюдаемое усиление	-3
d_{o1}	20.9 см
d_{i2}	-54.9 см
d_{i1}	19.2 см
d_{o2}	14.8 см
Вычисленное усиление	-3.41
Процентная разница	12%

Ответы на вопросы:

1. Отражение перевернутое. 2. Это виртуальное отражение.

Дальнейшее исследование: Отражение, образуемое линзой объектива:

Линза объектива образует реальное, прямое отражение; чтобы увидеть его, держите лист бумаги на расстоянии d_{11} от объектива. Когда карандаш будет помещен в этой точке, это виртуальное отражение, просматриваемое через окуляры, и совпадает с виртуальным отражением бумажной решетки, просматриваемое через обе линзы.

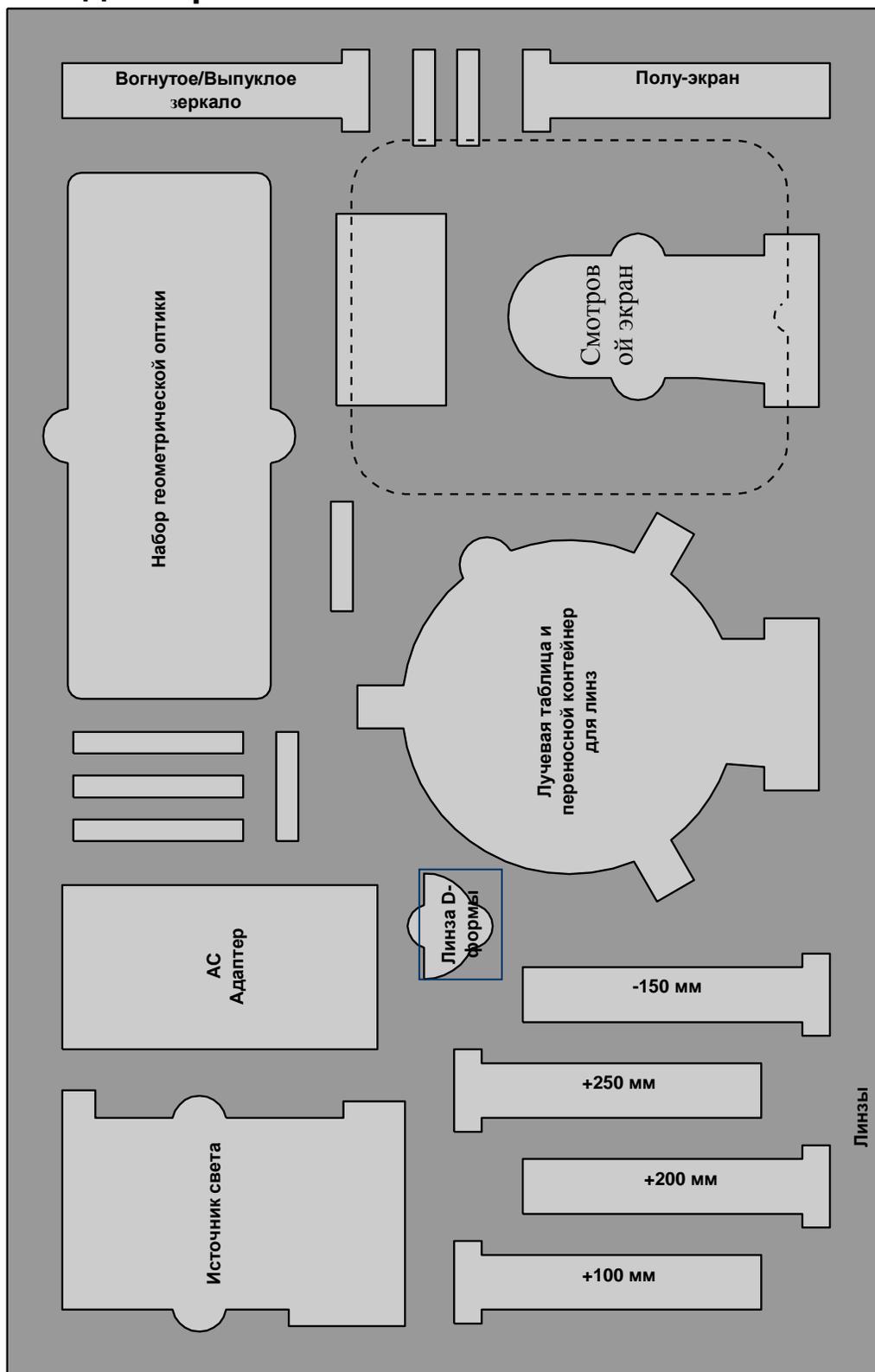
Дальнейшее исследование: Усиление увеличения:

При движении линзы объектива ближе к объекту, окуляр нужно отодвинуть дальше. На практике, объектив можно двигать в пределах 13см, пока отклонение от аберрации линзы не станет значительной. Теоретическое ограничение 10см, или фокусное расстояние линзы объектива.

Эксперимент 17: Тени

Когда карандаш освещается источником света, тень кажется острее, чем когда она освещается рассеянным источником света (объект с пересеченными стрелками). В случае освещения обеими источниками, карандаш бросает две тени. Место, где тень совпадает, это есть полная тень. Области с частичной тенью – полутень. При движении карандаша вперед, относительный размер полной тени увеличивается. При движении карандаша обратно от экрана, полная тень уменьшается до тех пор, пока две тени полностью не разделятся.

Коробка для хранения



Техническая поддержка

Если понадобится помощь с любой из продукции PASCO, свяжитесь с нами PASCO по:

Адрес: PASCO научный
10101 Foothills Blvd.
Roseville, CA 95747-7100

Тел.: 916-786-3800

Факс: 916-786-7565

Web: www.pasco.com

Email: support@pasco.com

Ограниченная Гарантия

Для описания гарантии на продукцию, смотрите PASCO каталог.

Авторские Права

PASCO научный 012-09900B *Basic Optics System Instruction Manual* оставляет за собой все права. Разрешение дается учебным заведениям некоммерческого характера для копирования какой-либо части этого руководства, копии могут использоваться только в лабораториях и классах, но не с целью продажи. Репродукция при любых условиях, без письменного разрешения PASCO научного – запрещена.

Торговая марка.

PASCO и PASCO научный – торговые марки зарегистрированных марок PASCO научный, в Соединенных штатах и/или в других странах. Все другие бранды, продукция, или именной сервис – это могут быть торговые марки или сервисные марки тех, кто заявляет о себе, о своем имени, о своем владении, собственности. Для большей информации посетите www.pasco.com/legal.

Авторы: : Алик Огстон
Энн Хэнкс
Дэйв Гриффит