

Модель «Строение глаза человека» PASCO

Артикул: OS-8477A

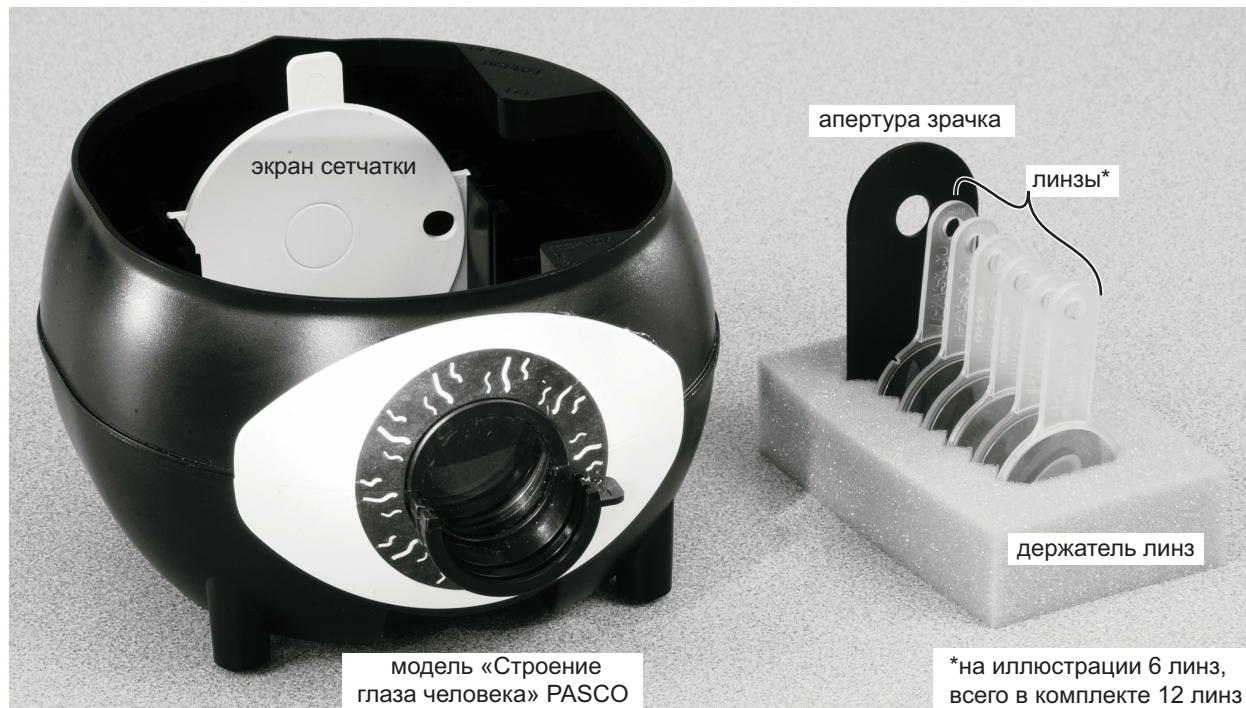


Содержание

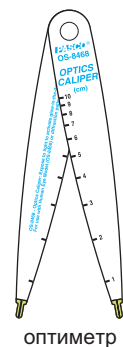
Быстрый пуск	1
Введение	2
Техническое обслуживание и хранение.	3
Спецификации	4
Линза с регулируемым фокусным расстоянием	5
Справочная информация	7
Экспериментальное оборудование	13
Эксперимент 1: оптика глаза человека	15
Эксперимент 2: телескоп	27
Эксперимент 3: преломление.	31
Дополнительные эксперименты	35
Заметки преподавателя	37
Техническая поддержка	40

Модель «Строение глаза человека» PASCO

Артикул: OS-8477A



Входящее в комплектацию оборудование	Артикул
Модель «Строение глаза человека» PASCO	OS-8477A
Набор линз: 12 линз	OS-8476
1 экран сетчатки	
1 апертура зрачка	
1 держатель линз (из вспененного материала)	
Оптиметр	OS-8468
Линза с регулируемым фокусным расстоянием	OS-8494



Быстрый пуск

1. Вставьте экран сетчатки в слот NORMAL, а линзу +120 мм – в слот SEPTUM.
2. Заполните модель водой.
3. Направьте «глаз» на освещённый и удалённый предмет, например, окно или лампу.

На экране сетчатки появится изображение.



Введение

Модель «Строение глаза человека» PASCO состоит из герметичного пластмассового резервуара, формой напоминающего горизонтальное сечение глазного яблока. Стационарная, плоско-выпуклая стеклянная линза на лицевой стороне моделирует роговицу. Резервуар заполняется водой, которая моделирует водянистую и стекловидную влагу. Хрусталик глаза моделируется сменной линзой за роговицей. Подвижный экран на обратной стороне играет «роль» сетчатки глаза.

Линзы с фиксированным фокусным расстоянием

Линзы с фиксированным фокусным расстоянием оснащены ручками, с помощью которых линзы легко помещаются в воду. На ручках маркировано фокусное расстояние в воздухе. Обе линзы имеют цилиндрическую форму, что необходимо для моделирования и коррекции астигматизма. Цилиндрические линзы имеют 2 прорези. Спецификации приводятся на странице 4.

Линза с регулируемым фокусным расстоянием

Линзу с регулируемым фокусным расстоянием можно использовать для настроек модели. Инструкции по сборке и эксплуатации линзы с регулируемым фокусным расстоянием приводятся на странице 5. Линза с регулируемым фокусным расстоянием применяется в Эксперименте 1, Части 2 (описание на странице 16).

Положения линз

Хрусталик, устанавливаемый в слот SEPTUM, можно заменить линзами различных типов, чтобы настроить или сфокусировать модель «Строение глаза человека» на разные расстояния (отметка SEPTUM соответствует диафрагме или перегородке, которая формируется хрусталиком и другими тканями, и разделяет водянистую и стекловидную влагу). Два других слота, которые расположены за роговицей, с маркировками «А» и «В», можно использовать для установки дополнительных линз и моделировать с их помощью изменения оптической силы хрусталика.

Для моделирования астигматизма глаза цилиндрическая линза устанавливается в слот «А» или «В». Апертуру зрачка также можно установить в слот «А» или «В» и создать эффект круглого или «кошачьего» зрачка.

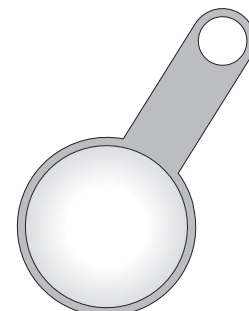
В слоты перед роговицей (с маркировкой 1 и 2) можно устанавливать очковые линзы и исправлять близорукость, дальнозоркость и астигматизм.

Сетчатка

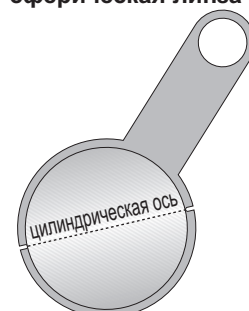
Круг, начерченный на экране сетчатки, моделирует центральную ямку, а отверстие в экране – слепое пятно. Экран сетчатки можно установить в трёх разных положениях (слоты NORMAL, NEAR, FAR: нормальное положение, близкое и удалённое положения). В этих положениях можно моделировать нормальное зрение, близорукость и дальнозоркость, соответственно.

Оптиметр

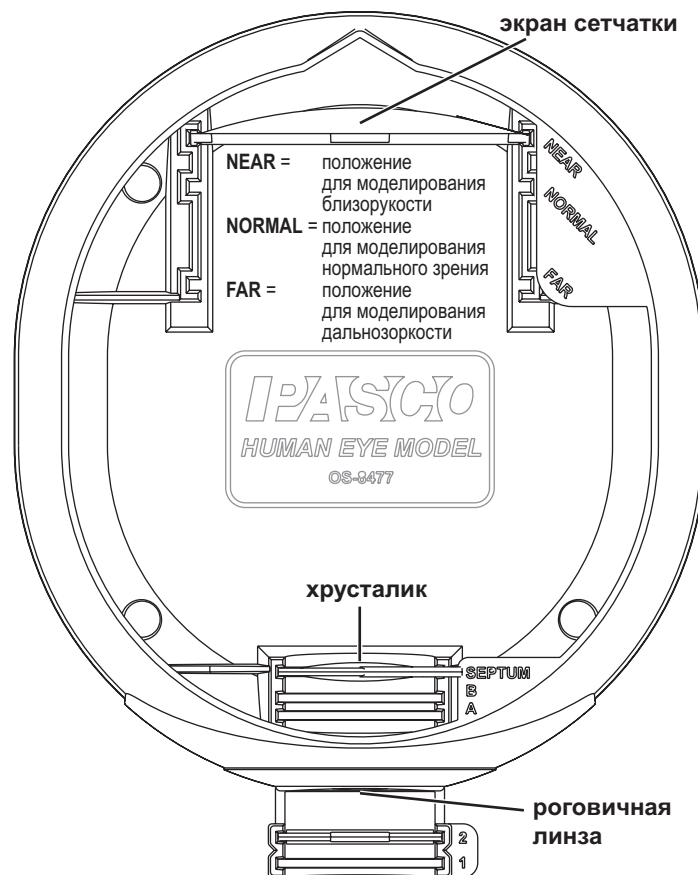
Используется для измерения изображений на экране сетчатки. Наконечники оптиметра лучше всего видны при тусклом освещении.



сферическая линза



цилиндрическая линза



Демонстрационный показ без воды

Модель «Строение глаза человека» PASCO можно использовать как с водой, так и без неё. Без воды и сменных линз (с применением только роговичной линзы) модель фокусируется на оптическую бесконечность. Направьте модель на окно и настройте её так, чтобы на экране сетчатки появилось крупное и полноцветное изображение того, что находится за окном.

Техническое обслуживание и хранение

В состав модели входят 6 различных типов линз, по 2 шт. каждого типа (всего 12). Половину можно отложить на будущее: для возможной замены в случае утраты и повреждения. Остальные линзы поместите в специальный держатель из вспененного материала, располагая их вдоль апертуры зрачка. Линзы выполнены из поликарбоната, который имеет высокий коэффициент преломления, но при этом легко царапается. Линзы нельзя протирать. Сушите их на воздухе, положив на бумажное полотенце или держатель. Роговичную линзу можно чистить и вытирать мягкой тканью.

Перед хранением в закрытом пространстве просушите модель и её компоненты. По мере высыхания линзы и держатель поместите в модель.

Для получения запасных компонентов оформите заказ на артикул OS-8476. В комплект входят: экран сетчатки, апертура зрачка, 6 типов линз, по 2 шт. (всего 12), держатель линз.

Спецификации

Модель «Строение глаза человека» PASCO

Размеры	15 см x 17 см x 10 см
Объём воды	1 литр
Диаметр сетчатки	7 см

Съёмные линзы

Материал	Поликарбонат
Диаметр	3 см

Фокусное расстояние (в воздухе)

Сферическая собирающая линза	+120 мм
Сферическая собирающая линза	+62 мм
Сферическая собирающая линза	+400 мм
Сферическая рассеивающая линза	-1000 мм
Цилиндрическая собирающая линза	+307 мм
Цилиндрическая рассеивающая линза	-128 мм

Коэффициент преломления (поликарбонат)

Цвет	Длина волны	Коэффициент преломления
Синий	486 нм	1,593
Жёлтый	589 нм	1,586
Красный	651 нм	1,576

Плоско-выпуклая роговичная линза

Материал	Стекло B270
Диаметр	3 см
Толщина	4 мм
Радиус кривизны	71 мм
Фокусное расстояние (воздух)	140 мм

Коэффициент преломления (стекло)

Цвет	Длина волны	Коэффициент преломления
Синий	486 нм	1,529
Зелёный	546 нм	1,525
Жёлтый	589 нм	1,523
Красный	656 нм	1,520

Линза с регулируемым фокусным расстоянием



Входящее в комплектацию оборудование	Количество
1 Линза с регулируемым фокусным расстоянием	2
2 Трубка с наружным диаметром 5 мм	30 см
3 Шприц 10 мл	1

В состав оборудования входят: 2 линзы, пластмассовая трубка определённой длины, шприц 10 мл. Каждая линза состоит из пластмассового корпуса и двух эластичных мембран. Шприц применяется для заполнения линз жидкостями, например, водой, а также повышения / уменьшения объёма жидкости между мембранами. По мере изменения объёма жидкости меняются фокусное расстояние и кривизна поверхности линзы.

Сборка

От пластмассовой трубки отрежьте примерно 15 см. Отрезанный кусок трубки соедините со шприцем и соединительной трубкой с краю корпуса линзы (см. Иллюстрацию 1).

Заполнение линзы жидкостью

Заполните линзу жидкостью (например, водой или растительным маслом), выполнив следующие действия. Начните с корпуса линзы и шприца, соединённого с пластмассовой трубкой, как показано на Иллюстрации 1.

1. Отсоедините шприц от пластмассовой трубки.
2. Шприц заполните примерно наполовину: поршень вдавите до конца. Наконечник шприца поместите в жидкость, начните медленно поднимать поршень, чтобы внутрь шприца начала поступать жидкость. Прекратите набирать жидкость, когда её уровень дойдёт примерно до середины цилиндра шприца.
3. Повторно соедините трубку со шприцем. Удерживайте шприц вертикально, чтобы держатель свисал с края трубки.



4. Исключите попадание жидкости из шприца на держатель линзы. Медленно тяните поршень вверх, чтобы воздух из внутренней части держателя начал выходить (в виде пузырей) через жидкость в цилиндре. Капля за каплей жидкость должна начать поступать в линзу.
5. Когда поршень дойдёт почти до края цилиндра, начните вдавливать его обратно, чтобы жидкость из цилиндра попала в корпус линзы.
6. Повторяйте действия до тех пор, пока держатель линзы не будет заполнен жидкостью, а из самой линзы не исчезнут пузырьки воздуха.
7. После заполнения держателя проверьте, заполнена ли жидкостью сама трубка. Заполните шприц примерно на $\frac{1}{4}$, повторно соедините его с трубкой.

Демонтаж оборудования для чистки

Не прикасайтесь к поверхности эластичных мембран. По мере необходимости такие поверхности можно чистить мягкой, безворсовой тканью, смоченной в воде.

Чтобы снять мембрану, осторожно удалите фиксирующее кольцо, удерживающее мембрану, снимите мембрану с корпуса линзы, взяв её за край (см. Иллюстрацию 2).

Чтобы повторно собрать оборудование, положите чистую мембрану на край корпуса линзы так, чтобы её часть немного выступала за край. Выровняйте мембрану по центру корпуса линзы. Положите сверху фиксирующее кольцо, аккуратно надавите на него, чтобы оно «село» на корпус линзы.



Figure 2

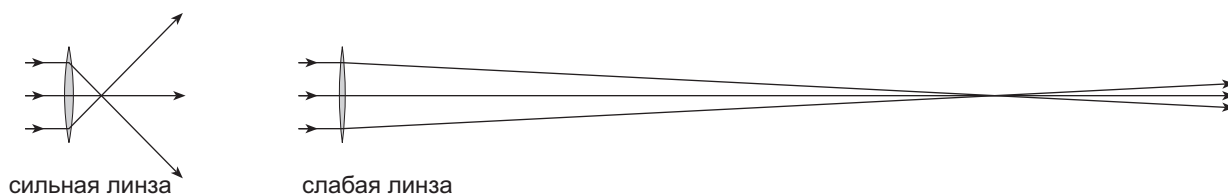
Справочная информация

Формирование изображения с помощью линз

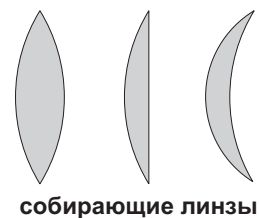
Лучи света преломляются при прохождении через границу двух сред, т.е. материалов с разными коэффициентами преломления. **Коэффициентом преломления материала** является отношение скорости света в вакууме и скорости света в определённой среде. Свет, проходящий через линзу, проходит две границы: первая граница находится на лицевой поверхности линзы, другая – на выходе, то есть на её обратной стороне.

Линза и фокусное расстояние

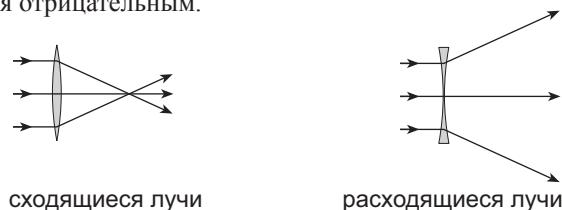
Преломление света количественно выражается **фокусным расстоянием** линзы. Сильная линза способна преломлять лучи так, чтобы они пересекались на небольшом расстоянии от неё. Такие линзы считаются короткофокусными. Более слабые линзы преломляют лучи так, что они пересекаются на удалении. Если входящие лучи *параллельны*, расстояние, на котором происходит пересечение исходящих лучей, равно фокусному расстоянию линзы.



Фокусное расстояние линзы определяется кривизной её лицевой и обратной поверхностей, коэффициентом преломления материала (среды) вокруг линзы. У линзы с сильноизогнутой поверхностью фокусное расстояние более короткое, чем у более плоской линзы, даже если обе линзы выполнены из одного и того же материала. У линзы с высоким коэффициентом преломления фокусное расстояние более короткое по сравнению с линзой аналогичной формы, но с меньшим коэффициентом. У линзы, окружённой воздухом (воздух имеет низкий коэффициент преломления), фокусное расстояние *меньше*, чем у аналогичной линзы, погружённой в воду (вода имеет высокий коэффициент преломления).

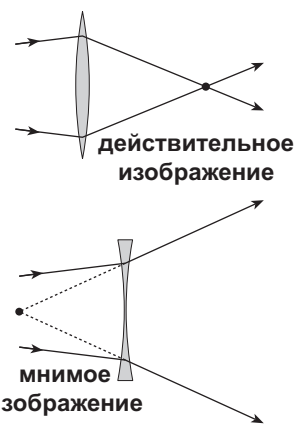


Линзы бывают двух типов: собирающие и рассеивающие. **Собирающая линза** собирает входящие параллельные лучи. Как правило, такая линза имеет выпуклую поверхность, и в центре она толще, чем по краям. Собирающая линза имеет положительное фокусное расстояние. **Рассеивающая линза** рассеивает входящие параллельные лучи. Такая линза, как правило, имеет вогнутую поверхность, и в центре она тоньше, чем по краям. Фокусное расстояние рассеивающей линзы является отрицательным.

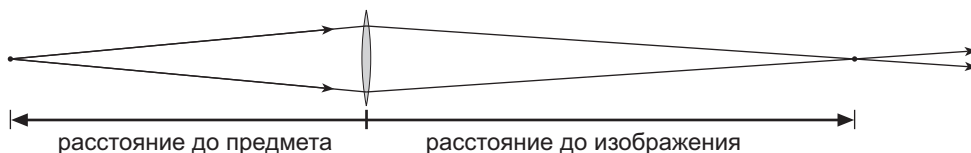


Изображения, расстояние до изображения

Если предмет располагается перед линзой, свет, проходящий через него, формирует изображение. Существует два типа изображений: действительные и мнимые. **Действительное изображение** создаётся сходящимися лучами на точке их пересечения. Действительное изображение можно увидеть на экране, который расположен на этой точке. Увидеть его можно, расположившись непосредственно за этой точкой. **Мнимое изображение** создаётся расходящимися лучами и на той точке, где пересекаются воображаемые линии, «прочерченные» через лучи. Если представить, что такие лучи проходят через ваш глаз, то вы увидите мнимое изображение, расположенное на той точке, откуда лучи должны выходить.



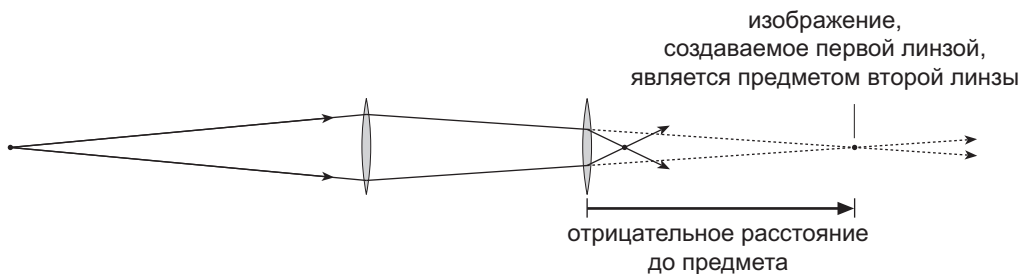
Расстоянием до изображения является расстояние от линзы до изображения. Действительное изображение создаётся за линзой, расстояние до изображения является *положительным*. Мнимое изображение создаётся перед линзой, расстояние до изображения является *отрицательным*.



Предметы, расстояния до предметов

Линзы фокусируют свет от **предмета**. **Расстоянием до предмета** является расстояние от линзы до предмета. Если система включает в себя одну линзу, предмет размещается перед ней, а расстояние до предмета считается положительным.

В системе, состоящей из двух линз, предмет, на котором фокусируется вторая линза, является либо действительным, либо мнимым изображением, и формируется оно первой линзой. Если этот предмет находится перед второй линзой, то расстояние до него является положительным, а если за линзой, то *отрицательным*.



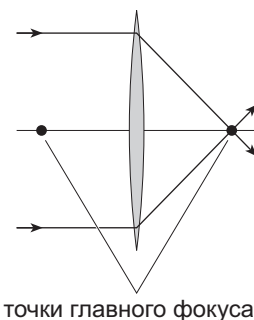
Формула тонкой линзы

Фокусное расстояние (f) линзы является соотношением расстояния до предмета (o) и расстояния до изображения (i), которое выражается **формулой тонкой линзы**:

(Уравнение 1)
$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$

(Обратите внимание, в российских учебниках эта формула указана иначе: $\frac{1}{F} = \frac{1}{f} + \frac{1}{d}$) F-фокусное расстояние, f-расстояние от линзы до экрана, d-расстояние от предмета до линзы

Если предмет находится на большом удалении от линзы, расстоянием до него будет считаться бесконечность. В данном случае исходящие от предмета лучи будут параллельными, $1/o$ будет равняться нулю, а расстояние до изображения – фокусным расстоянием. Точкой фокуса будет место, в котором линза фокусирует параллельные лучи от удалённого предмета. У линзы две точки фокуса, по одной на каждой стороне. Расстояние от линзы до каждой фокусной точки является фокусным расстоянием.



Увеличение

Размер изображения может отличаться от размеров предмета. **Относительное увеличение (M)** изображения определяется следующей формулой.

$$(Уравнение 2) \quad |M| = \frac{\text{Размер изображения}}{\text{Размер предмета}}$$

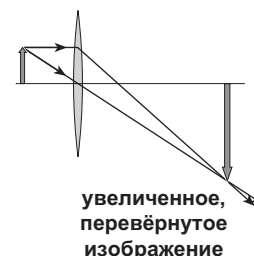
Если (M) больше 1, изображение будет больше предмета; если (M) меньше 1, то изображение меньше предмета.

Увеличение (M), которое может быть положительным или отрицательным, представляет собой как размер, так характеристику изображения. Выразить его можно с помощью значений расстояния до изображения и предмета:

$$(Уравнение 3) \quad M = -\frac{i}{o}$$

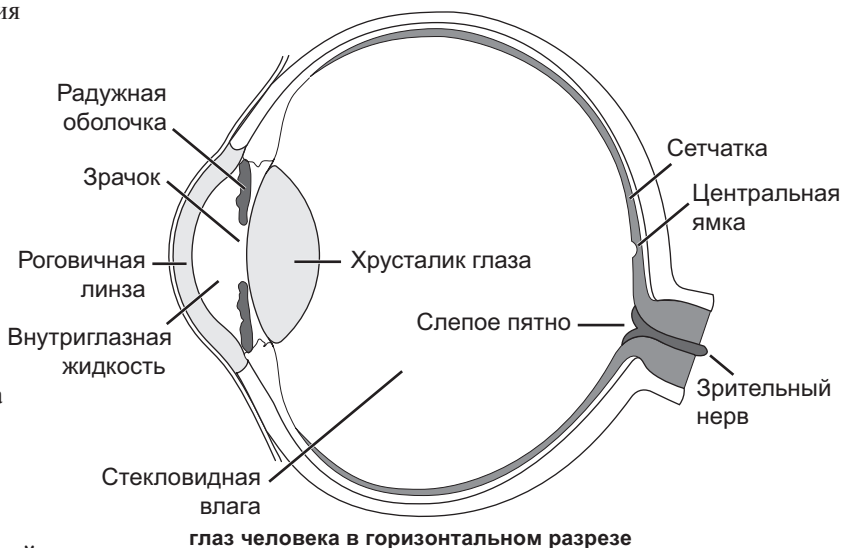
Если M положительно, то изображение является **прямым**. Иначе говоря, оно имеет ту же направленность, что и предмет. При отрицательном значении M изображение является **перевернутым**, то есть его направленность обратна направленности предмета. Если предмет располагается лицевой стороной кверху, то изображение будет располагаться «вверх дном».

На примере справа изображение крупнее предмета и является перевернутым. Это означает, что M меньше 1 и оно отрицательно.



Анатомия глаза

Человеческий глаз видит изображения за счёт стимулирования нервных окончаний, которое создаёт зрительные ощущения. Строение глаза подобно камере: спереди находятся апертура и система линз, а сзади светочувствительная поверхность. Свет попадает в глаз через систему апертуры и линз и фокусируется на задней стенке. Оптическая система включает в себя две линзы: **роговичная линза** на фронтальной поверхности глаза и **хрусталик** внутри него. Пространство между линзами заполнено прозрачной жидкостью, которая называется **водянистой влагой (внутриглазной жидкостью)**.



Между линзами также находится **радужная оболочка**, являющаяся непрозрачной мембраной. В центре находится **зрачок**, контролируемое мышцами отверстие меняющегося диаметра, или апертура, которая контролирует количество света, входящего в глаз. Внутренняя часть глаза за хрусталиком заполнена бесцветным и прозрачным материалом, который называется **стекловидная влага**.

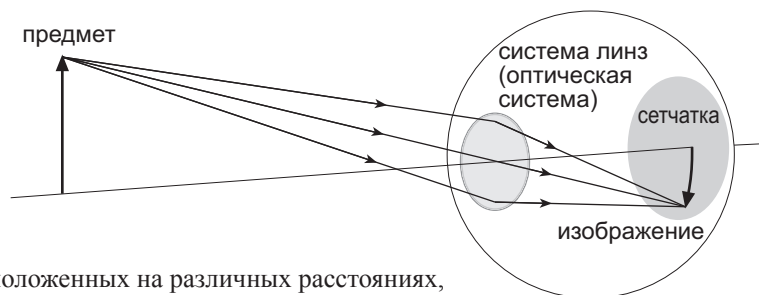
На задней стенке глаза находится **сетчатка**, мембрана, содержащая светочувствительные нейроны, известные как **рецепторы сетчатки глаза – палочки и колбочки**. Палочки сетчатки чувствительны к тусклому свету и обеспечивают чёрно-белое зрение с низким разрешением. Колбочки глаза обеспечивают цветное зрение при более высоком разрешении, но им требуется более яркий свет.

Центральная ямка, небольшая впадина в центре сетчатки, содержит только колбочки и «отвечает» за максимально острое зрение. Сигналы от палочек и колбочек

переносятся нервными волокнами на **зрительный нерв**, который доходит до мозга. Зрительный нерв соединён с задней стенкой глаза. На месте соединения светочувствительные клетки отсутствуют, поэтому оно называется **слепым пятном**.

Оптика глаза

Роговичная линза и хрусталик вместе выступают в качестве единой, собирающей линзы. Свет, попадающий в глаз от предмета, проходит через эту линзу, образуя на сетчатке перевёрнутое и действительное изображение.



Глаз фокусируется на предметах, расположенных на различных расстояниях, приспособливаясь или меняя кривизну роговичной линзы, а значит и фокусное расстояние, с помощью мышц.

В наиболее расслабленном состоянии роговичная линза имеет большое фокусное расстояние, и глаз способен фокусировать на сетчатке изображение удалённого предмета. Самое дальнее расстояние, к которому может приспособиться глаз, называется **самой дальней точкой чёткого видения**. Для нормального глаза такой точкой является бесконечность.

Когда глазные мышцы сжимаются и сдавливают линзу, её центральная часть выпячивается, в результате чего уменьшается фокусное расстояние. Это позволяет глазу сфокусироваться на предметах, расположенных ближе. Самое близкое расстояние, к которому может приспособиться глаз, называется **ближней точкой чёткого видения**. Для нормального глаза такое расстояние составляет около 25 см.

Дефекты зрения и их коррекция

Нормальный глаз способен сфокусироваться на любом предмете, который удалён более чем на 25 см. В случаях, когда глаз не способен фокусироваться на таких предметах, изображение формируется либо за сетчаткой, либо перед ней. Причиной этого является либо близорукость, либо дальносторкость.

Близорукость

У человека, страдающего **близорукостью**, слишком длинное глазное яблоко, поэтому расстояние от линзы до сетчатки становится слишком большим. В результате этого изображение удалённых предметов формируется *перед* сетчаткой. Дальняя точка чёткого зрения близорукого глаза меньше бесконечности.

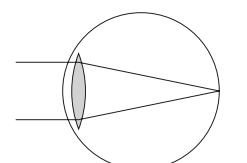
Миопический глаз способен естественным образом фокусировать на сетчатке расходящиеся лучи от расположенного вблизи предмета, но не параллельные (или почти параллельные) лучи от предмета удалённого. Очки для коррекции близорукости имеют рассеивающую линзу, создающую мнимое изображение удалённого предмета ближе к глазу.

Дальносторкость

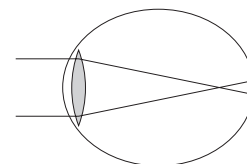
У лица, страдающего **дальносторкостью**, глазное яблоко слишком короткое, поэтому расстояние от линзы до сетчатки становится слишком маленьким. В результате этого изображение ближних предметов формируется *за* сетчаткой. Ближняя точка гиперметропического глаза дальше, чем у нормального.

Гиперметропический глаз способен естественным образом фокусировать на сетчатке параллельные (или почти параллельные) лучи от удалённого предмета, но не сильно расходящиеся лучи от предмета ближнего. Гиперметропия (дальносторкость) корректируется очками с собирающей линзой, которая снижает расхождение входящих лучей.

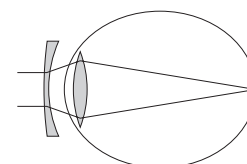
Одной из форм гиперметропии является **пресбиопия** (старческая дальносторкость). Её причина заключается не в форме глаза, а в изменениях хрусталика: с течением времени он твердеет и хуже приспособляется к коротким расстояниям до предметов.



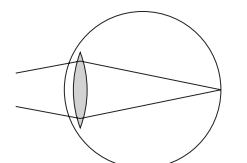
нормальное зрение



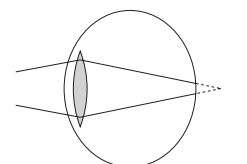
близорукость



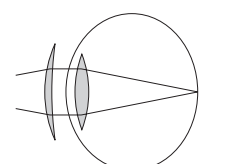
исправленная близорукость



нормальное зрение



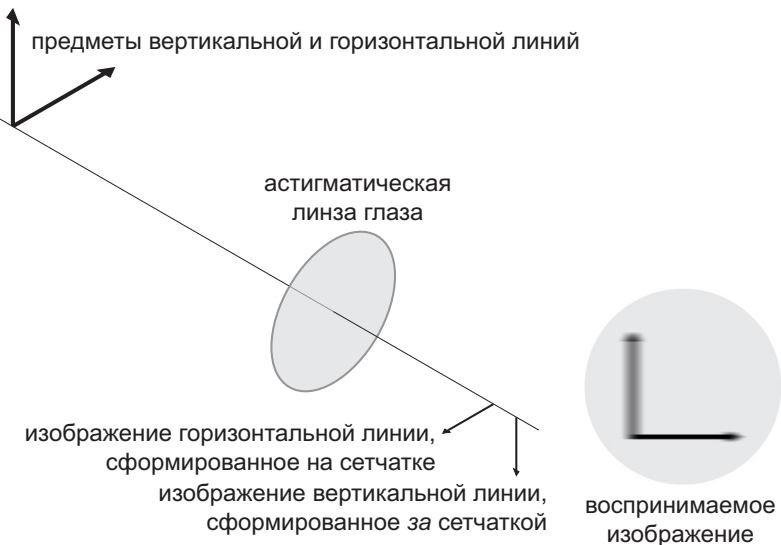
дальносторкость



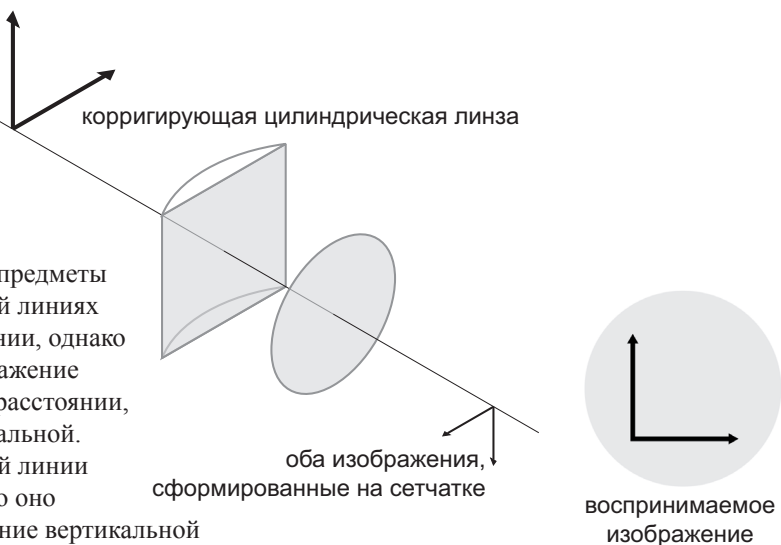
исправленная дальносторкость

Астигматизм

Астигматизм – это дефект зрения, вызванный недостаточной осевой симметрией в системе линзы. Линза не является сферической (в отличие от нормальной линзы), она имеет два неравных фокусных расстояния. Вследствие этого глаз способен чётко фокусироваться только на линиях определённой направленности, а остальные линии ему видятся расплывчатыми. Астигматизм исправляется цилиндрической линзой без кривизны на одной плоскости и правильной подобранной кривизной на другой. Комбинация дефекта хрусталика и корректирующей линзы цилиндрической формы эквивалентна одной симметричной сферической линзе. Выравнивать корректирующую линзу рискованно, так как вращение линзы очков относительно глаза может нарушить эффект.



На примере иллюстрации справа предметы на вертикальной и горизонтальной линиях находятся на одинаковом расстоянии, однако хрусталик глаза формирует изображение вертикальной линии на большем расстоянии, чем изображение линии горизонтальной. Если изображение горизонтальной линии формируется точно на сетчатке, то оно оказывается в фокусе, а изображение вертикальной линии создаётся за сетчаткой и представляется расплывчатым.



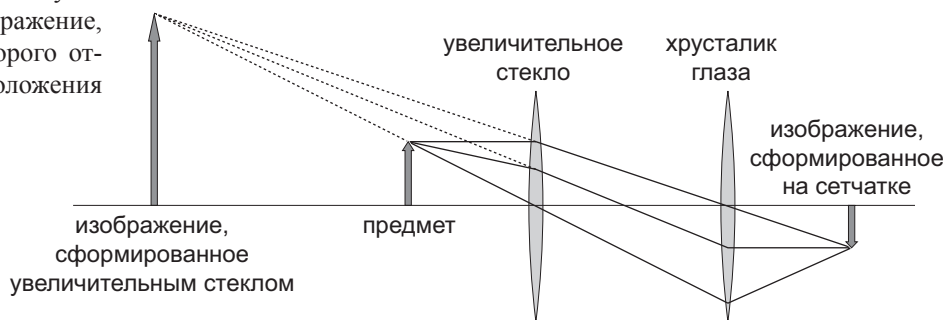
При применении корректирующей линзы изображения горизонтальной и вертикальной линий формируются на одинаковом расстоянии.

Оптические приборы

Оптические приборы позволяют усилить зрение, формируя изображение, размер или положение которого отличаются от размера / положения предмета.

Увеличительное стекло – это собирающая линза, которая применяется для рассматривания ближних предметов.

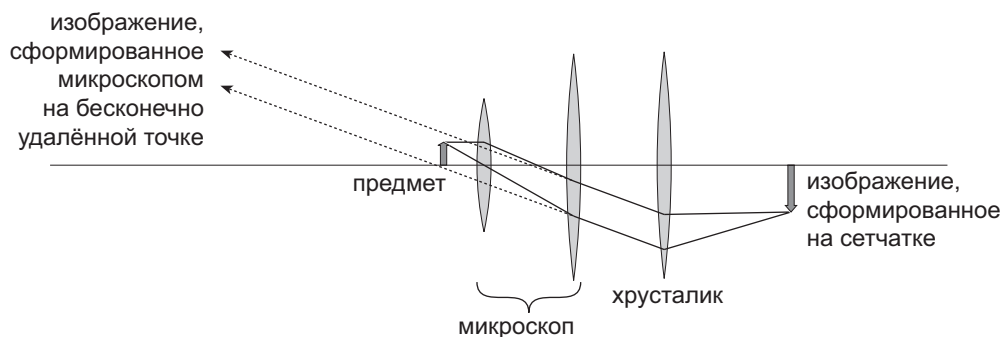
Увеличительное стекло создаёт действительное и прямое изображение, в любом случае более крупное и удалённое. Вследствие этого кажется, что предмет имеет большие размеры, что позволяет глазу сфокусироваться на предмете, который, если на него смотреть не через стекло, находился бы ближе ближайшей точки чёткого видения.



Расстояние до предмета должно быть меньше фокусного расстояния.

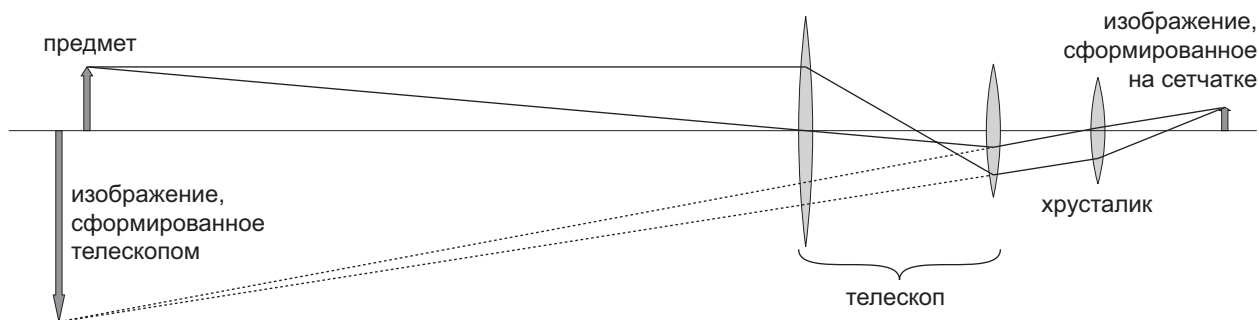
Очки для чтения тоже можно считать увеличительным стеклом, которое позволяет вам держать книгу ближе ближайшей точки чёткого видения при рассматривании более удалённого изображения в книге.

Микроскоп – это комбинация двух и более линз, которая формирует удалённое изображение расположенного вблизи предмета. На иллюстрации ниже показано, как система, включающая в себя две собирающие линзы, формирует прямое и действительное изображение на бесконечном удалении.



Телескоп увеличивает изображение удалённого предмета. На примере простого телескопа (см. иллюстрацию ниже) показано, как система, состоящая из двух собирающих линз, формирует перевёрнутое действительное изображение. Обратите внимание, что изображение не ближе к глазу, чем предмет. Такой телескоп формирует удалённое изображение, которое глаз может видеть в расслабленном состоянии, то есть, будучи сфокусированным на бесконечность.

В связи с тем, что линза объектива или первая линза имеет большую, чем зрачок площадь, телескоп собирает больше света, чем невооружённый глаз. Поэтому глаз способен видеть предметы, которые в обычных условиях казались бы нечёткими.



Экспериментальное оборудование

В таблице ниже перечислено оборудование, необходимое для проведения экспериментов. За исключением самой модели, предлагаемые ниже артикулы можно заменить аналогичными изделиями PASCO или других производителей. Более подробная информация приводится в разделе «Примечания по оборудованию и проведению экспериментов».

Необходимое оборудование	Артикул
Модель «Строение глаза человека» PASCO	OS-8477A
Источник света для опытов по оптике PASCO (10 Вт) ¹	OS-8470 или часть OS-8515C
Оптическая система PASCO ²	OS-8515C
Аксессуар: кронштейн для крепления модели глаза на оптической скамье PASCO ³	OS-8469
Линза +200мм ⁴	
Настольная лампа	
«Удалённый» предмет (окно, дверь, лампа)	
Измерительный метр или измерительная лента	
Бумажное полотенце	
Вода (около 1 л)	

¹ или другие освещённые удалённые предметы (см. ниже)

² требуется только для Эксперимента 2. Необходимые компоненты: скамья 120 см, источник света, линзы с фокусным расстоянием +100, +200 и -150 мм, смотровой экран, регулируемый держатель для линз

³ для использования с оптической системой PASCO

⁴ опция для дальнейших исследований после Эксперимента 2

Заметки по оборудованию и проведению экспериментов

Источники света и предметы

В этих экспериментах модель «Строение глаза человека» PASCO будет применяться для формирования изображений на сетчатке. Помещение должно быть достаточно затемнённым, чтобы изображения были более видимыми. Рекомендуется использовать настольную лампу, которую можно включать и выключать, а также освещать ею модель в процессе замены линз.

Освещённый экран источника света для опытов по оптике PASCO (артикул OS-8470 или аналогичного источника света) рекомендуется к использованию в качестве «ближнего» предмета, однако для этой цели подойдёт и трафарет на листе бумаги, но обязательно ярко освещённый настольной лампой. Для неофициального эксперимента для формирования изображения в модели настольной лампой можно освещать практически любой предмет (руку, книгу, лицо партнёра).

Кроме «ближних» предметов вам понадобятся предметы удалённые, на которых должна будет сфокусироваться модель. Небольшое окно или дверь с видом наружу – это наилучшие варианты, однако достаточно будет и яркой лампы в другом, дальнем конце комнаты. Расположите модель на вашем лабораторном столе так, чтобы удалённый предмет был обязательно виден.

Вода

Для модели требуется примерно один литр воды, но не заполняйте ею модель, если собираетесь проводить Эксперимент 1. Извлекаемые из модели линзы влажные. Положите их на впитывающую салфетку или бумажное полотенце. Линзы не протирайте! Они выполнены из пластика без специального покрытия и легко царапаются.

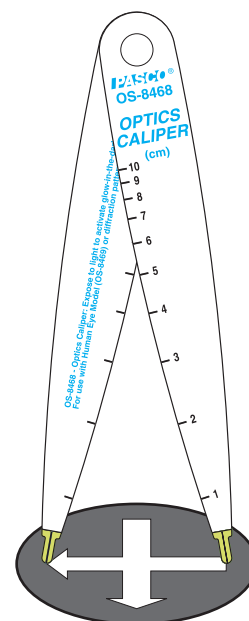
Оптическая скамья

Для эксперимента 2 (телескоп) требуется оптическая скамья и линзы оптической системы PASCO (артикул OS-8515A) или OS-8471 «Оптическая система PASCO на основе динамической скамьи»). Для других экспериментов оптическая скамья не требуется, но она может пригодиться для измерения расстояний. Чтобы поднять модель до оптической оси линз, используйте кронштейн для крепления модели на оптической скамье PASCO (с системой OS-8515A) или книгу толщиной около 5 см (со скамьёй любого типа). Подойдёт и любая другая оптическая система, если модель будет расположена на уровне линз. Для Эксперимента 2 понадобятся линзы с фокусными расстояниями +100 мм и +200 мм.

Размер изображения и измерение расстояний

Для количественного изучения увеличения вам нужно будет измерить размеры находящихся под водой изображений на сетчатке. Так как работать с линейкой в воде сложно, модель поставляется в комплекте со светящимся оптиметром. Погрузите оптиметр в воду и измерьте поперечную ширину изображения, сдвигая и раздвигая ножки устройства. Для примерных измерений предусмотрена шкала. Для более точных измерений оптиметр следует извлечь из воды и измерить расстояние между ножками линейкой.

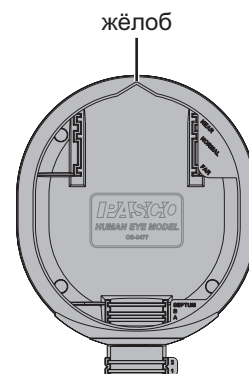
Расстояние от модели до «ближних» предметов можно измерить с помощью измерительного метра или ленты. Расстояние до «удалённого» предмета измерять не обязательно. При использовании оптической скамьи можно проводить измерения по предусмотренной на ней шкале, однако, вам может быть проще измерять расстояния между компонентами модели с помощью линейки.



ширину изображения на сетчатке измеряйте с помощью оптиметра

Чистка

Линзы не протирайте. Влажные линзы можно положить в держатель. После демонтажа линз и сетчатки слейте всю воду через жёлоб на ободке модели сзади. Перед хранением в закрытом пространстве компоненты тщательно просушите.



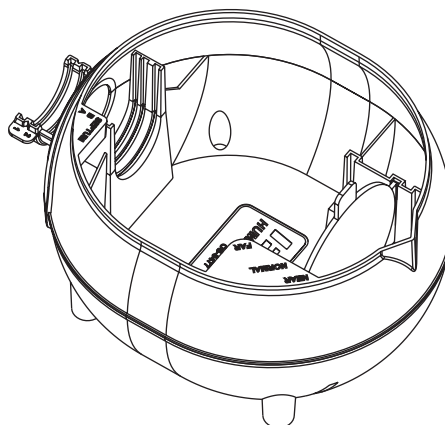
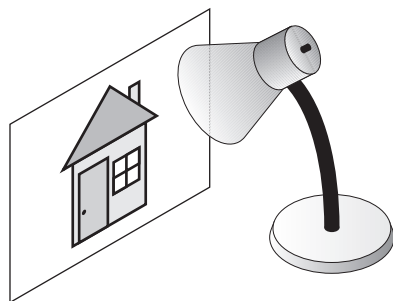
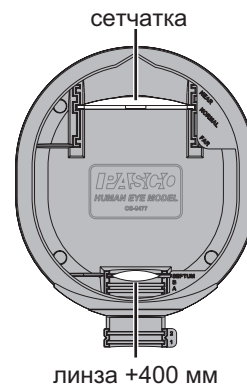
Эксперимент 1: оптика глаза человека

В ходе этого эксперимента вам предстоит изучить процесс формирования изображений на сетчатке глаза. Перед началом эксперимента нарисуйте схему модели, обозначив части глаза человека, которые моделируются компонентами модели.

Часть 1: формирование изображения внутри глаза

Ход эксперимента

1. Модель водой пока не заполняйте. Сетчатку вставьте в слот, расположенный посередине, с маркировкой NORMAL. В слот с маркировкой SEPTUM вставьте линзу +400 мм.
2. Поместите руку перед моделью, примерно в 50 см от роговицы. На руку направьте яркий свет настольной лампы. Видно ли вам изображение на сетчатке? Двигайте рукой вверх, вниз, влево и вправо. Как перемещается изображение?
3. На листе бумаги нарисуйте асимметричное изображение, удерживайте его перед моделью. Изображение вашей картинке на сетчатке перевернуто? Переверните картинку. Как теперь выглядит изображение? Зарисуйте изображение на сетчатке и копию оригинальной картинке рядом с ним.



Вопросы:

1. Почему мы не видим предметы перевернутыми, если изображение на сетчатке перевернуто?
2. Если бы вы что-то написали на листе бумаги и перевернули его перед глазами, как бы выглядело изображение на сетчатке? Легко ли бы вы прочитали надпись?

Часть 2: Аккомодация

В процессе аккомодации глазные мышцы меняют форму хрусталика, меняя в свою очередь его фокусное расстояние. Изначально вам предстоит моделировать аккомодацию глаза, варьируя фокусное расстояние хрусталика с помощью линзы с регулируемым фокусным расстоянием. Далее после заполнения модели водой аккомодация будет осуществляться заменой хрусталика линзами с различными фокусными расстояниями.

Ход эксперимента

Примечание: если вы заполняете линзу с регулируемым фокусным расстоянием в первый раз, изучите инструкции на странице 5.

1. В начале эксперимента модель водой не заполняется. Линзу в слоте SEPTUM замените линзой с регулируемым фокусным расстоянием. Установите модель примерно в 25 см от освещённого экрана.

Видите ли вы изображение на сетчатке? Для регулирования линзы и получения максимально чёткого изображения двигайте поршень шприца. Линза вогнутая или выпуклая? Она собирающая или рассеивающая?

2. Отодвиньте модель от экрана примерно на 50 см. Снова отрегулируйте линзу для получения максимально чёткого изображения.

Вы уменьшили или повысили оптическую силу линзы? Вы уменьшили или увеличили фокусное расстояние?

3. Замените линзу с регулируемым фокусным расстоянием линзой +400 мм (в слоте SEPTUM). Расстояние до освещённого экрана отрегулируйте так, чтобы изображение стало чётким. Отметьте положение модели, чтобы её можно было установить на эту же позицию после заполнения водой.

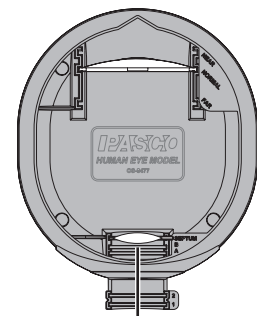
4. Модель заполните водой, оставив 1 – 2 см от верха. Установите модель на позицию, отмеченную в Шаге 3.

Изображение ещё в фокусе? Попробуйте изменить расстояние. Можно ли добиться фокуса? Объясните, почему. Какое воздействие оказывает водянистая и стекловидная влага (её моделирует вода) на хрусталик глаза?

5. Установите модель примерно в 35 см от источника света. Линзу +400 мм в слоте SEPTUM замените линзой +62 мм.

Теперь изображение в фокусе? Пододвиньте модель как можно ближе к источнику света, удерживая изображение в фокусе. Опишите изображение на сетчатке.

6. Измерьте расстояние o от экрана источника света до верхнего ободка модели, как показано на иллюстрации ниже (передний ободок удобен для измерения и маркировки центра системы модели из двух линз). Запишите это расстояние: для модели с линзой +62 мм это будет **ближней точкой чёткого видения**. В среднем ближняя точка чёткого видения глаза человека равна 25 см.



линза +62 мм



7. Оптику системы из двух линз можно упростить, учитывая суммарный эффект линз и общее *эффективное* фокусное расстояние системы. Измерьте расстояние i от ободка модели до ручки сетчатки. Рассчитайте общее *эффективное* фокусное расстояние f системы из двух линз по формуле тонкой линзы.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{i} + \frac{1}{o}$$

8. Вставьте в слот «В» линзу +400 мм, чтобы модель глаза сфокусировалась на «ближнем» предмете. Такая комбинация моделирует другое фокусное расстояние для хрусталика.

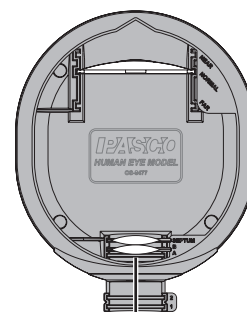
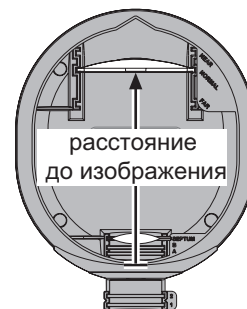
Насколько близко фокусируется глаз сейчас?

9. Линзу +400 мм оставьте в слоте «В», а линзу в слоте SEPTUM замените линзой +120 мм.

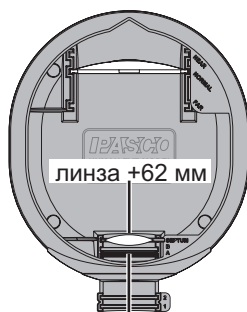
На каком расстоянии модель фокусируется сейчас? Как меняет фокусное расстояние хрусталика настоящий глаз?

10. Снимите обе линзы и установите линзу +62 мм в слот SEPTUM. Расстояние до источника света сделайте равным расстоянию «ближайшей точки» для этой линзы, которую вы определили в Шаге 6. Изображение должно быть в фокусе. Глядя на изображение, вставьте круглый зрачок в слот «А».

Как меняется яркость и чёткость изображения? Пододвиньте источник света на несколько сантиметров к модели. Изображение ещё в фокусе? Уберите зрачок, наблюдайте, как меняется чёткость изображения. Как можно менять расстояние до источника света (как со зрачком, так и без него), чтобы при этом изображение оставалось чётким?



линза +400 мм



зрачок

Предположите, что произойдёт с изображением, если в слот «А» вставить «кошачий» зрачок. Выполните это действие и запишите свои наблюдения.

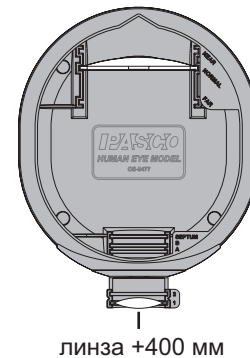
11. Выполните детальный чертёж, включающий в себя: предмет, изображение, зрачок, *обе* линзы. Определите, какая линза является моделью роговичной линзы, а какая – хрусталика.

12. Сняв зрачок, установите модель так, чтобы она была направлена на *удалённый* предмет. Изображение на сетчатке в фокусе? Замените линзу в слоте SEPTUM той, с помощью которой можно получить чёткое изображение удалённого предмета. Это будет **линза дальнего зрения**. Запишите фокусное расстояние, маркированное на ручке этой линзы.

13. Определите общее фокусное расстояние системы линз (выполняя действия из Шага 7). Каким должно быть расстояние до предмета для *дальнего* зрения? Как вы вводите это значение в калькулятор (совет: по мере увеличения расстояния o в сторону бесконечности $1/o$ уменьшается в сторону нуля)?

14. Одним из способов лечения катаракты является удаление хрусталика хирургическим способом. Уберите из модели хрусталик, наблюдайте за изображением удалённого предмета на сетчатке. Может ли невооружённый глаз сфокусироваться на удалённых предметах?

В слот 1 вставьте линзу +400 мм, которая должна играть роль линзы очков. Помогла ли она восстановить чёткую видимость? Поверните модель в направлении ближайшего источника света. Получается ли у вас подобрать расстояние до ближнего предмета так, чтобы получилось чёткое изображение? Замените линзу в слоте 1 линзой +120 мм. Получается ли сейчас подобрать расстояние так, чтобы добиться чёткого изображения?



Вопросы:

1. Сравните хрусталики дальнего и ближнего зрения. Какая из линз имеет большую кривизну? Какая линза кажется более сильной (определите это, смотря через них). Сравните эффективные фокусные расстояния (системы из двух линз) для ближнего и дальнего зрения, рассчитанные вами в Шагах 7 и 13.
2. В Шаге 13 эффективное фокусное расстояние (f) и расстояние до изображения (i) оказались одинаковыми. Почему? В каком особом случае f равно i ?
3. У настоящего глаза аккомодация достигается мышцами, изменяющими кривизну хрусталика. Что происходит с кривизной хрусталика при аккомодации глаза от удалённого предмета на ближний? Она увеличивается или уменьшается? Почему длина аккомодации с возрастом уменьшается?
4. В Шаге 14 вы показали, что с помощью очков можно сфокусировать изображение даже после удаления хрусталика. Является ли такой способ идеальным вариантом лечения катаракты? Объясните, почему (совет: какая линза «отвечает» за аккомодацию? Что должен сделать человек без хрусталика, чтобы чётко видеть предметы на разных расстояниях?). Как современные методы лечения катаракты могут усовершенствовать этот устаревший хирургический способ?

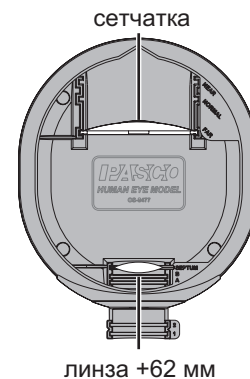
Часть 3: Дальновзоркость (гиперметропия)

У человека, страдающего гиперметропией, глазное яблоко короче, чем у здорового. Поэтому сетчатка находится слишком близко к линзе, и изображения ближних предметов формируются за сетчаткой.

Ход эксперимента

1. Настройте модель на нормальное, ближнее зрение (в слот SEPTUM вставьте линзу 62 мм, другие линзы уберите, проверьте, находится ли сетчатка в положении NORMAL). Направьте глаз модели на ближний источник света. Подберите расстояние до источника света так, чтобы оно было расстоянием до ближайшей точки чёткого видения, т.е., чтобы изображение было в фокусе.
2. Сетчатку установите в передний слот FAR. Опишите, что происходит с изображением. Это примерно то, что видит страдающий дальновзоркостью человек, смотря на ближний предмет.

Установите круглый зрачок в слот «А». Как меняется чёткость изображения? Снимите зрачок.



3. Поверните модель в направлении удалённого предмета, опишите получившееся изображение. Испытывает ли страдающий дальнозоркостью человек проблемы с видением удалённых предметов? Почему не было необходимости менять линзу так, чтобы она «смотрела» вдаль?
4. Поверните модель на расположенный вблизи источник света. Теперь вы можете исправить гиперметропию, повесив на модель очки. Подберите линзу, которая фокусирует изображение, если установить её перед глазом в слоте 1. Запишите фокусное расстояние этой линзы.

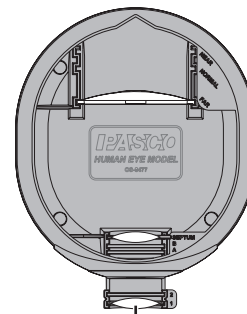
Вращайте очки в слоте. Влияет ли это на изображение на сетчатке?

5. Корректирующая линза обычно характеризуется скорее не фокусным расстоянием, а оптической силой линзы, которая измеряется в **диоптриях**. Для расчёта оптической силы линзы в диоптриях воспользуйтесь обратной величиной фокусного расстояния (в метрах).

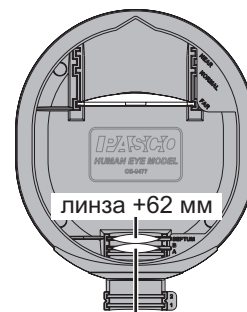
Какова оптическая сила очковых линз, выбранных вами для модели?

6. Проверьте, находится ли изображение в фокусе. Снимите очки.

Вставьте в слот «В» линзу +120 мм и смоделируйте то, что происходит, когда хрусталик увеличивает свою оптическую силу в процессе аккомодации. Становится ли изображение более чётким? Это наглядная демонстрация того, как глаз способен компенсировать гиперметропию при достаточной аккомодации.



линза +62 мм



линза +120 мм

Вопросы:

1. Почему при уменьшении зрачка изображение становится более чётким? Что страдает дальнозоркостью человек видит лучше: яркий или тусклый свет?
2. У линзы с высокой оптической силой фокусное расстояние длинное или короткое? Каковы оптическая сила и фокусное расстояние тонкого и плоского стекла без кривизны? Внимательно рассмотрите линзы +62 мм и +400 мм. На какой из них кривизна больше?
3. В каком направлении необходимо сдвигать формируемое глазом изображение для коррекции дальнозоркости: ближе к линзам или дальше от них? Какие линзы необходимы для коррекции: собирающие или рассеивающие? Корректирующая линза увеличивает или уменьшает силу преломления света системы линз?
4. Какую поверхность имеют корректирующие линзы, используемые в вашей модели: вогнутую или выпуклую?
В настоящих очках у каждой линзы одна поверхность выпуклая, другая – вогнутая. Какая из них должна иметь большую кривизну для коррекции гиперметропии?
5. Что характерно для гиперметропического глаза: расположенная слишком близко дальняя точка (видения) или расположенная слишком далеко ближняя точка (видения)?
6. Носящий очки человек видит скорее мнимое изображение предмета, а не сам предмет. Если он страдает дальнозоркостью, то расстояние между глазом и этим изображением больше или меньше расстояния между глазом и предметом?
7. В Шаге 6 вы показали, что глаз способен компенсировать дальнозоркость посредством аккомодации. Почему этой компенсации может быть недостаточно для того, чтобы человек мог читать без очков? Почему способность глаза компенсировать дальнозоркость с возрастом ухудшается?

Часть: близорукость (миопия)

У человека, страдающего миопией, глазное яблоко длиннее, чем у здорового. Поэтому сетчатка слишком удалена от линз. Поэтому изображение удалённого предмета формируется перед сетчаткой.

Ход эксперимента

1. Настройте модель на нормальное, ближнее зрение (в слот SEPTUM вставьте линзу +62 мм, остальные линзы снимите, экран сетчатки установите в положение NORMAL). Направьте модель на расположенный вблизи источник света, расстояние от глаза до источника подберите так, чтобы изображение было в фокусе.
2. Сетчатку вставьте в задний слот с маркировкой NEAR. Опишите, что происходит с изображением. Уменьшите размер зрачка, поместив круглый зрачок в слот «А». Как меняется чёткость изображения? Уберите зрачок.
3. Теперь попробуйте «исправить» близорукость, повесив на модель очки. Подберите линзу, которая фокусирует изображение, если её установить перед глазом в слоте 1. Запишите фокусное расстояние этой линзы. Рассчитайте оптическую силу в диоптриях. Что происходит с изображением при вращении линз очков в слоте?
4. Уберите очки. Подберите расстояние от глаза до источника света так, чтобы изображение было в фокусе. Отличается ли это расстояние от того, которое вы обнаружили в Шаге 1 (т.е., от нормального расстояния до ближайшей точки чёткого видения)?
5. Поверните модель, направив её на удалённый предмет. Замените линзу в слоте SEPTUM на нормальную линзу дальнего зрения (Часть 1, Шаг 12, страница 17).

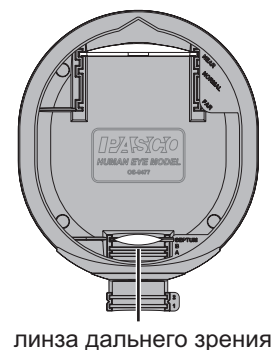
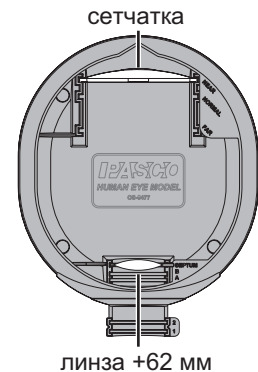
Изображение ещё в фокусе? Это примерно то, что видит близорукий человек, пытаясь рассмотреть удалённый предмет.

Линза в слоте SEPTUM моделирует хрусталик в максимально расслабленном состоянии при максимально возможном фокусном расстоянии. Способен ли глаз компенсировать близорукость аккомодацией?

Вопросы:

1. Почему при уменьшении зрачка изображение становится чётче? Что страдающий близорукостью человек видит лучше: яркий или тусклый свет?
2. В каком направлении необходимо перемещать формируемое глазом изображение для коррекции близорукости: ближе к линзам или дальше от них? Какие линзы необходимы для коррекции: собирающие или рассеивающие? Корректирующая линза увеличивает или уменьшает силу преломления света системы линз? Эта линза выпуклая или вогнутая?
3. Рассмотрите выбранную вами корректирующую линзу. Поверхности выпуклые или вогнутые?
В настоящих очках у каждой линзы одна поверхность выпуклая, другая – вогнутая. Какая из них должна иметь большую кривизну для коррекции миопии?
4. Что характерно для близорукости: расположенная слишком близко дальняя точка или расположенная слишком далеко ближняя точка?

(к иллюстрациям)
+62 mm lens =
Far-vision lens =

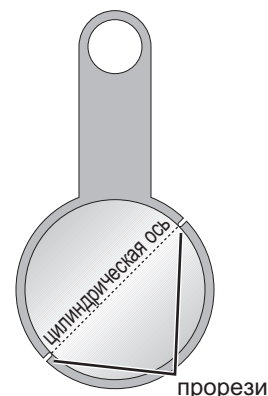


5. При близорукости расстояние между глазом и изображением, формируемым линзой очков, больше или меньше расстояния между глазом и предметом?
6. На модели «Строение глаза человека» PASCO положения экрана сетчатки маркированы NORMAL, FAR, NEAR (нормальное, дальнее, ближнее). Почему положение с маркировкой NEAR (ближнее) является самым дальним от линзы? К чему относится маркировка NEAR (ближнее положение)?

Часть 5: Астигматизм

У здорового глаза поверхности линз являются сферическими и ротационно симметричными. Однако при астигматизме ротационная симметричность поверхностей линз нарушена. Вследствие этого глаз способен чётко фокусироваться только на линиях определённой направленности, а на всех остальных изображения будут казаться расплывчатыми и нечёткими. Астигматизм исправляется очками с цилиндрической линзой, направленность которой помогает избавиться от этого дефекта зрения.

Каждая цилиндрическая линза, входящая в состав модели, имеет цилиндрическую ось, помеченную двумя прорезями по краям.



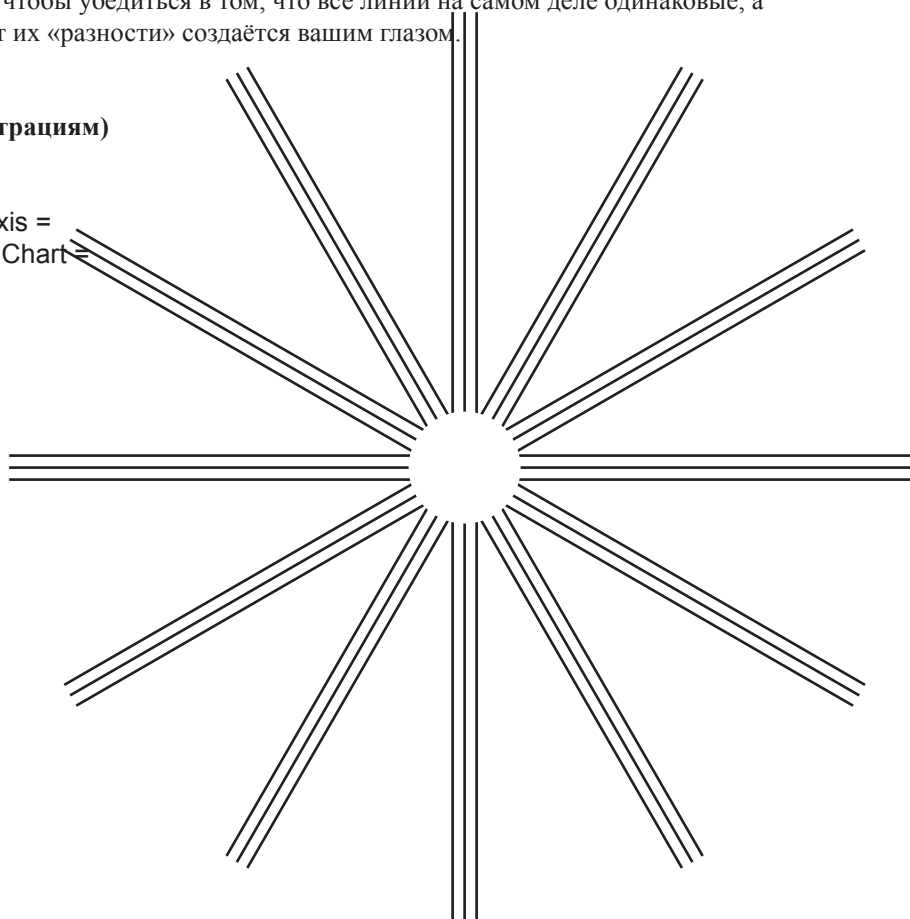
Ход эксперимента

1. На иллюстрации ниже представлен тест на астигматизм. Все линии на диаграмме имеют одинаковую толщину и яркость, однако страдающему астигматизмом человеку некоторые линии кажутся темнее других.

Закройте один глаз и посмотрите на диаграмму. Не кажутся ли вам некоторые линии темнее других? Если да, то переверните диаграмму на 90 градусов, чтобы убедиться в том, что все линии на самом деле одинаковые, а эффект их «разности» создаётся вашим глазом.

(к иллюстрациям)

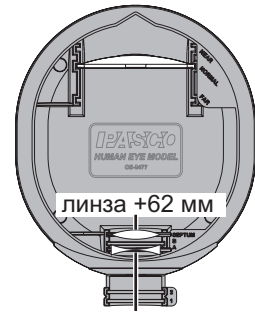
Notches =
Cylindrical Axis =
Astigmatism Chart =



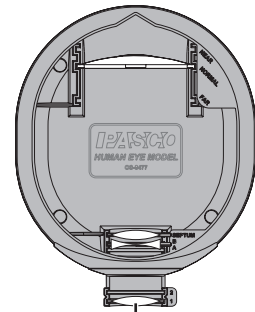
тест на астигматизм

Если вы носите очки, посмотрите на диаграмму сначала в очках, затем без них. Вращайте очки перед глазами, рассматривая диаграмму через одну из линз.

2. Настройте модель на нормальное, ближнее зрение (вставьте линзу +62 мм в слот SEPTUM, снимите другие линзы, экран сетчатки установите в положение NORMAL). Направив модель на расположенный вблизи источник света, подберите расстояние от глаза до источника так, чтобы изображение было в фокусе.
3. В слот «А» вставьте линзу – 128 мм. На источник света направьте ту сторону ручки линзы, на которой промаркировано фокусное расстояние. Опишите изображение, которое формируется глазом при астигматизме.
4. Вращайте цилиндрическую линзу. Что происходит с изображением? Видно, что астигматизм может иметь разные направления, в зависимости от того, какую направленность имеет дефект хрусталика глаза.
5. Теперь попробуйте «исправить» астигматизм с помощью очков. В слот 1 установите цилиндрическую линзу +307 мм. На источник света направьте ту сторону ручки линзы, на которой промаркировано фокусное расстояние.
Вращайте корригирующую линзу, опишите происходящее с изображением. Найдите то направление линзы очков, при котором изображение будет максимально резким. Каково значение угла между цилиндрической осью хрусталика и корригирующей линзы?
6. У глаза может быть несколько дефектов. Настройте модель на астигматизм и дальнюю зоркость: для этого установите экран сетчатки в слот FAR. Какую дополнительную линзу очков вам нужно установить в слот 2, чтобы изображение снова было в фокусе?
7. Опция: если в вашей группе кто-то носит очки, возьмите их и попробуйте зафиксировать перед моделью. Какие дефекты зрения нужно «создать» для модели, чтобы очки могли их исправить?



линза +128 мм



линза +307 мм

Вопросы:

1. Почему вращение корригирующей линзы влияет на изображение, а вращение линзы для коррекции близорукости / дальнозоркости – нет? Какой тест вы бы могли провести, чтобы выяснить, исправляют ли очки астигматизм? Кто-нибудь в вашей группе носит очки для исправления астигматизма?
2. Внимательно посмотрите на ось линзы -128 мм между двумя прорезями. Какую фигуру вы видите? Почему эта линза называется цилиндрической?
3. В Шаге 6 вы исправляли «комбинированный» дефект зрения с помощью двух линз. Как следует изготовить линзы для настоящих очков, чтобы те могли исправлять и астигматизм, и дальнозоркость?

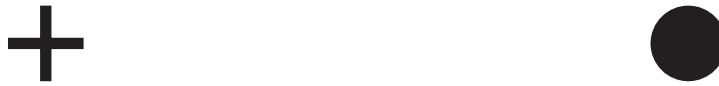
Часть 6: Слепое пятно

Слепым пятном называется малая область сетчатки глаза, к которой крепится нерв. На слепом пятне нет ни палочек, ни колбочек, поэтому эта область светочувствительной не является.

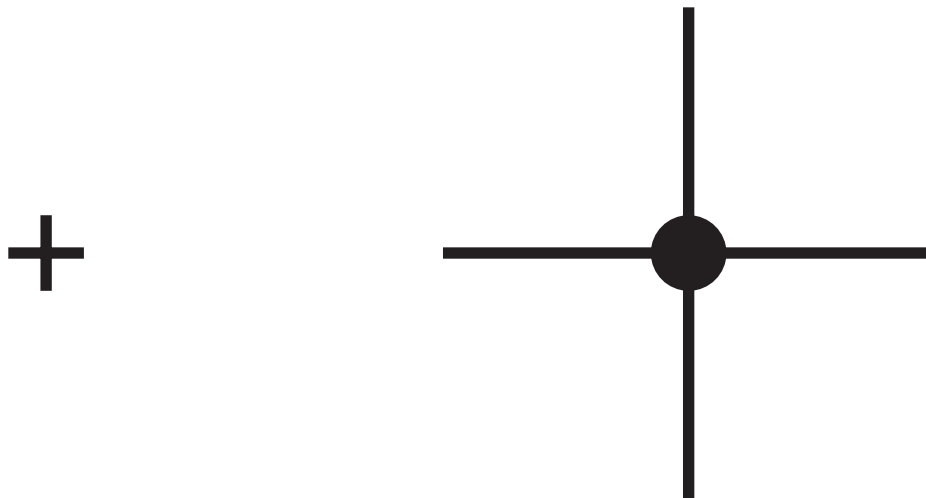
Ход эксперимента

1. Закройте левый глаз и посмотрите на иллюстрацию ниже *только правым глазом*. Держите бумагу на расстоянии вытянутой руки, правым глазом смотрите на символ «плюс». Справа периферийным зрением вы должны видеть жирную точку. Не смотрите прямо на неё. Смотрите на символ «плюс»,

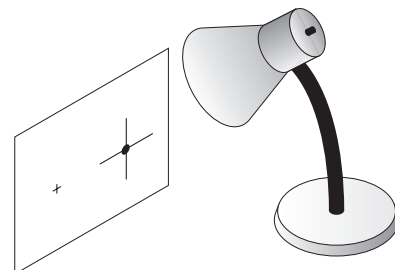
медленно перемещая бумагу ближе к себе. Исчезнет ли точка на расстоянии около 30 см? Продолжайте приближать лист бумаги. Появляется ли точка снова?



2. То, что вы «видите» из-за слепого пятна, не является «дырой» в изображении. Это та область, где мозг заполняет недостающие детали. Повторите упражнение с иллюстрацией ниже, подберите расстояние так, чтобы точка не исчезала. Вы видите белое пятно там, где должна быть точка. Кажутся ли линии пересекающимися? Попробуйте создать свои собственные рисунки. Вы обнаружите, что ваш мозг очень хорошо заполняет недостающие детали. Поработайте с разными цветами.



3. Настройте модель на нормальное, близкое зрение (установите линзу +62 мм в слот SEPTUM, остальные линзы уберите, сетчатку установите в положение NORMAL).
4. Сделайте копию иллюстрации выше на отдельном листе бумаги. Удерживайте лист примерно в 30 см от модели и направьте на него свет настольной лампы. Видно ли изображение рисунка в модели? Подберите расстояние до предмета так, чтобы изображение было в фокусе.



«Роль» слепого пятна в модели «играет» отверстие на экране сетчатки. Можно ли выставить лист бумаги так, чтобы изображение маленького символа «плюс» появилось рядом с центром сетчатки, а точка «упала» на слепое пятно?

Нарисуйте схему экрана сетчатки и рисунка на нём.

На какую часть листа бумаги «смотрит» модель?

Вопросы:

1. Какие действия нужно изменить, чтобы повторить упражнение со слепым пятном в Шаге 1, но уже *левым глазом*?
2. Попробуйте повторить упражнение со слепым пятном, глядя на рисунок двумя глазами. Почему это не получается?
3. Экран в модели «Строение глаза человека» моделирует сетчатку левого или правого глаза? Приведите объяснения.

Часть 7: Кажущийся размер

Если вы смотрите на какой-либо предмет, его кажущийся размер определяется размером изображения, формируемого на вашей сетчатке, что зависит как от размера предмета, так и расстояния от него до глаза. Держа руку ближе к глазу, смотрите на неё, одновременно глядя на крупный удалённый предмет (например, стул в другом конце комнаты). Какой предмет крупнее? Какой предмет кажется крупнее? Какой из них, по вашему мнению, формирует более крупное изображение на сетчатке?

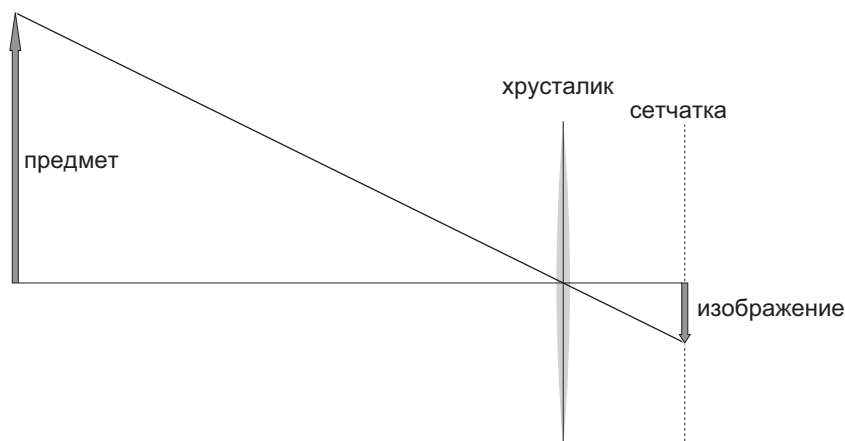
Ход эксперимента

1. Настройте модель на нормальное, ближнее зрение (для этого в слот SEPTUM установите линзу +62 мм). Направьте модель прямо на ближний источник света, расстояние от глаза до источника света подберите так, чтобы изображение было в фокусе. С помощью оптиметра определите размеры предмета, расстояние до предмета, размеры изображения и расстояние до него. Нарисуйте схему сетчатки и изображения.
2. Настройте модель на зрение на среднее расстояние (линзу +120 мм установите в слот SEPTUM, а линзу +400 мм – в слот «В»). Увеличивайте расстояние до предмета до тех пор, пока на сетчатке снова не сформируется чёткое изображение. Измерьте расстояние до предмета и размер изображения. Изменились ли размеры предмета и расстояние до изображения? Нарисуйте ещё одну схему сетчатки и изображения.

Вопросы:

1. Какое изображение крупнее: при меньшем расстоянии до предмета (o_1) или большем (o_2)?
2. Изменился ли размер изображения при изменении вами оптической силы хрусталика? Посмотрите на изображение на сетчатке, снимите линзу +400 мм (линзу +120 мм оставьте на месте). Изображение станет расплывчатым. Меняется ли при этом его размер?
3. Замените линзу +400 мм, перемещайте предмет вперёд-назад. Меняется ли размер изображения, когда вы меняете расстояние до предмета, не меняя оптической силы хрусталика?

4. Сделайте копию диаграммы, отметьте на ней размер предмета, размер изображения, расстояние до предмета и изображения, которые вы измерили в Шаге 1. Покажите, что два треугольника в диаграмме являются похожими.



5. Составьте другую диаграмму, на которой должны быть представлены: размеры предмета и изображения, расстояния до предмета и изображения из Шага 2. Используйте те же самые горизонтальные и вертикальные координаты, что и в первой диаграмме. Покажите, что треугольники в данной диаграмме являются похожими друг на друга, но отличаются от треугольников из первой диаграммы.
6. На чистом листе бумаги нарисуйте крупный предмет. Измерьте его размер. Поместите предмет на расстоянии o_2 от модели, направьте на лист бумаги свет настольной лампы. Измерьте размер изображения на экране сетчатки. Можете ли вы нарисовать ещё один, более мелкий предмет, который сформирует на сетчатке изображение того же размера на расстоянии o_1 ? Каким должен быть размер меньшего предмета? (совет: обратитесь к вашим диаграммам и подумайте о похожих треугольниках).
7. На другом листе бумаги нарисуйте меньший предмет тех размеров, которые вы рассчитали. Настройте модель на ближнее зрение (с помощью линзы +62 мм), проверьте свои расчёты. Изображение на сетчатке того же размера?
8. Удерживайте предмет меньших размеров перед глазами на расстоянии o_1 . Попросите партнёра одновременно держать крупный предмет на расстоянии o_2 . Оба ли предмета имеют одинаковый размер? В связи с тем, что на сетчатке они формируют изображения одинаковых размеров, как можно определить, который из них крупнее фактически?

Часть 8: Увеличение

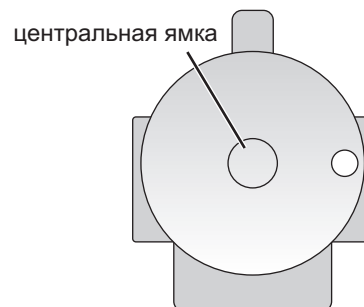
Нормальный глаз неспособен фокусироваться на предметах ближе 25 см. С помощью увеличительного стекла глаз может чётко видеть очень близко расположенный предмет, формируя изображение, находящееся дальше от глаза. Даже если изображение находится дальше, чем предмет, оно также крупнее предмета, поэтому кажущийся размер изображения больше.

Ход эксперимента

1. Удерживайте перед глазами линзу +120 мм, смотрите через неё на расположенный вблизи предмет. Поднесите предмет как можно ближе к глазам, удерживая предмет в фокусе.
Теперь посмотрите на предмет с того же расстояния, но без линзы. Видите ли вы предмет чётко? Удаляйте предмет от глаз, пока он не будет находиться в фокусе. Можете ли вы видеть предмет также детально, как могли бы с помощью линзы?
2. Снова посмотрите через линзу, но на сей раз попробуйте рассмотреть какой-нибудь более удалённый предмет. Можете ли вы чётко видеть предмет на расстоянии более 120 мм от линзы? Каким является примерное расстояние

между глазом и линзой? Опишите, что вы видите. Увеличивает ли линза изображение?

3. Настройте модель на нормальное, ближнее зрение (для этого в слот SEPTUM вставьте линзу +62 мм), сфокусируйте изображение источника света на центре сетчатки.
4. Малый круг рядом с центром сетчатки моделирует центральную ямку. В глазе человека эта область сетчатки «отвечает» за наиболее острое зрение. Насколько крупным является изображение по сравнению с центральной ямкой? Нарисуйте схему изображения и центральной ямки.
5. Для охвата зрением большего количества деталей изображение должно быть больше, так чтобы часть того изображения, которое вы пытаетесь рассмотреть, заполнило центральную ямку. Чтобы добиться этого, поместите линзу +120 мм в слот 1. В данном случае линза будет выступать в качестве увеличителя. Каков теперь размер изображения по сравнению с центральной ямкой? Нарисуйте ещё одну схему изображения и центральной ямки.



Вопросы:

1. Каково расстояние между глазом и предметом? Способна ли модель глаза приспособиться к этому расстоянию без увеличительного стекла?
2. Когда модель глаза фокусируется на предмете через увеличительное стекло, является ли изображение на экране сетчатки большим, чем предмет? Если нет, почему при применении увеличительного стекла предметы кажутся большими, чем на самом деле? (совет: сравните размеры изображения с увеличительным стеклом и без него).
3. С помощью формулы тонкой линзы рассчитайте расстояние до мнимого изображения, формируемого увеличительным стеклом. Рассчитайте увеличение мнимого изображения. Почему оно отличается от увеличения изображения на сетчатке?

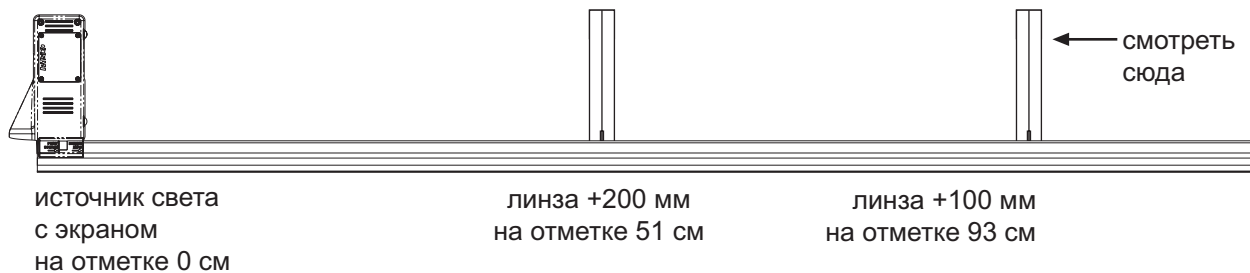
Эксперимент 2: Телескоп

В рамках данного эксперимента вам предстоит собрать телескоп и рассматривать через него источник света – как своими глазами, так и «глазами» модели.

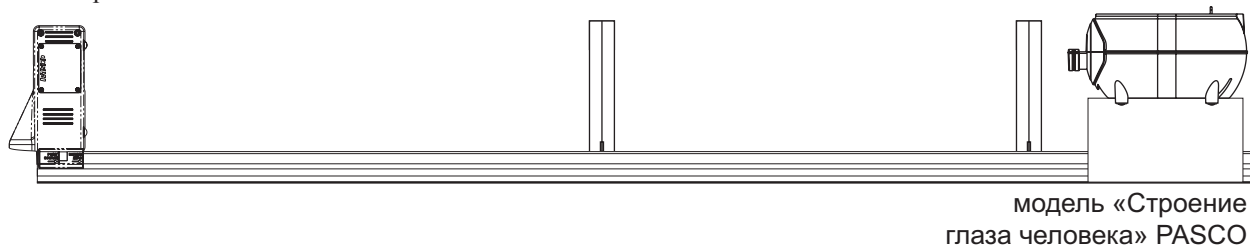
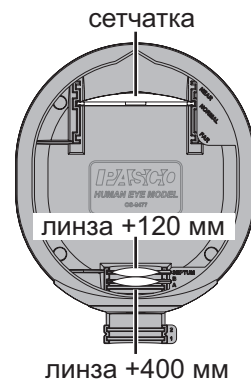
Ход эксперимента

1. Поставьте источник света на оптическую скамью. Экран освещённого предмета установите на отметке 0 см.
2. На отметке 51 см на оптической скамье установите линзу +200 мм. На отметке 93 см на оптической скамье установите линзу +100 мм. Эти две линзы и составят ваш телескоп.
3. Посмотрите на источник света через две линзы. Сравните изображение, которое вы видите через телескоп, с предметом, на который вы смотрите с того же расстояния. Оцените увеличение. Имеет ли значение, насколько далеко ваши глаза находятся от линзы телескопа? Является ли изображение перевёрнутым?

Нарисуйте схемы изображений, просматриваемых через телескоп, и изображений предмета, на который вы смотрели без телескопа. Покажите направленность и кажущиеся размеры.



4. Заполните модель водой. Настройте её на нормальное зрение на среднее расстояние. Для этого установите линзу +120 мм в слот SEPTUM, в слот «B» установите линзу +400 мм, а экран сетчатки в положение NORMAL (нормальное). Это позволит «глазу» модели сфокусироваться на расстоянии около 1 м.
5. С помощью кронштейна или стопки книг выставьте модель на одну высоту с линзами телескопа. Роговичная линза должна находиться на отметке 100 см.
6. Наблюдайте за изображением на экране сетчатки. Оно в фокусе? Что происходит с изображением, если немного отрегулировать обе линзы телескопа. Верните линзы в исходное положение. Изображение перевёрнуто? С помощью оптиметра измерьте ширину изображения. Нарисуйте схему сетчатки и изображения.



7. Ничего не меняя, уберите линзы. Видно ли изображение на экране сетчатки? Оно перевёрнуто? Каково оно по сравнению с изображением, сформированным телескопом: большее или меньшее? Измерьте ширину изображения. Нарисуйте ещё одну схему сетчатки и изображения.

Анализ

1. Разделите размер изображения на сетчатке, видимого через телескоп, на размер этого же изображения, видимого без телескопа. Полученное значение будет называться *угловым* увеличением телескопа.

2. Фокусное расстояние (f_1) первой линзы (Линза 1) равно 20 см, а расстояние до предмета (o_1) – 51 см. С помощью формулы тонкой линзы рассчитайте расстояние до изображения (i_1), которое сформировано первой линзой.

$$\frac{1}{f_1} = \frac{1}{i_1} + \frac{1}{o_1}$$

Формула тонкой линзы:

3. Где находится Изображение 1: перед Линзой 1 или за ней? Оно действительное или мнимое?
4. Рассчитайте увеличение (M_1) Изображения 1.
5. О чём вам говорит значение M_1 : изображение больше или меньше предмета? Что означает математический знак M_1 ?
6. Поместите экран в положение, рассчитанное вами для Изображения 1. Видно ли вам изображение на экране? Какой тип изображения вы видите? Изображение 1 больше или меньше предмета? Оно перевёрнутое?

$$M_1 = -\frac{i_1}{o_1}$$

7. Сделайте диаграмму направлений со шкалой, включите в неё источник света, обе линзы и модель. Горизонтальную шкалу подберите так, чтобы ширина чертежа составляла как минимум 10 см. Вертикальную увеличьте так, чтобы предмет на источнике света и линзах имел высоту несколько сантиметров. Отметьте фокусные расстояния линз телескопа, промаркируйте все компоненты, укажите все известные расстояния по горизонтали.
8. С помощью траектории луча найдите положение и высоту Изображения 1. Проведите лучи дальше от точки их пересечения (до Линзы 2).
9. Изображение 1 и Предмет 2 – это одно и то же (предмет для Линзы 2). Однако *расстояние* до Предмета 2 и расстояние до Изображения 1 *разные*.

Каково расстояние между линзами? Каково расстояние между Линзой 1 и Предметом 2? На основании значений этих расстояний рассчитайте расстояние o_2 между Предметом 2 и Линзой 2. Нанесите o_2 на вашу диаграмму. Значение o_2 отрицательное или положительное?

10. По формуле тонкой линзы рассчитайте расстояние до изображения (i_2) для Линзы 2:

$$\frac{1}{f_2} = \frac{1}{i_2} + \frac{1}{o_2}$$

11. На какой стороне Линзы 2 формируется это изображение? Увидите ли вы изображение, если поместите экран на позицию Изображения 2? Почему нет? Что нужно сделать, чтобы увидеть Изображение 2? Оно действительное или мнимое?

12. На основании значений расстояний до изображения и предмета (от обеих линз) рассчитайте общее значение увеличения телескопа. Насколько сопоставимо это значение с тем, которое вы обнаружили?

$$M = M_1 M_2 = \frac{i_1 i_2}{o_1 o_2}$$

13. Завершите вашу диаграмму, добавив Изображение 2 в рассчитанное вами положение. Чтобы вывести в масштаб высоту Изображения 2, используйте рассчитанное вами значение увеличения. Проведите лучи от Линзы 2, чтобы показать, как формируется Изображение 2.

Вопросы:

1. В большинстве телескопов линзы выставлены так, что расстоянием до изображения является бесконечность. Когда здоровый глаз фокусируется на бесконечности, мышцы, контролирующие кривизну хрусталика, расслаблены. В чём преимущество телескопа такого исполнения?

2. В вашей модели телескопа положения обеих линз выбраны так, чтобы Изображение 2 формировалось примерно на той же позиции, что и предмет на источнике света. Если отрегулировать телескоп для формирования изображения на бесконечности, что вам понадобится сделать с моделью, чтобы она «видела» изображение чётко?
3. О чём свидетельствует значение относительного увеличения телескопа? Насколько относительное увеличение телескопов, которые формируют изображение на той же позиции, что и предмет, кажется отличной от относительного увеличения $\frac{1}{4}$?
4. О чём свидетельствует знак увеличения? Какова разница между телескопами с увеличением 4 и $\frac{1}{4}$?
5. Собранный вами простой телескоп формирует перевёрнутое изображение. На что бы вы ни смотрели через такой телескоп, всё будет казаться перевёрнутым. Снова посмотрите на изображение на экране сетчатки модели. Оно перевёрнутое? Почему нет?
6. Вы рассчитали два значения увеличения: одно является соотношением размеров изображений *на сетчатке* с телескопом и без него. Другое значение – соотношение размера Изображения 2 и размера Предмета 1. Сравните эти два значения. Нарисуйте диаграмму, показывающую, почему в этом конкретном случае они примерно одинаковые.

Дальнейшие исследования

1. **Концентрация (световых) лучей.** Замените Линзу 1 линзой с таким же фокусным расстоянием, но большего или меньшего диаметра (используйте регулируемый держатель линз, артикул OS-8474). Какие изменения в размере и яркости изображения вы наблюдаете? Если линзы меньшего или больше диаметра у вас нет, вырежьте в листе бумаги отверстие, поместите лист перед Линзой 1, чтобы «смоделировать» уменьшение диаметра.
2. **Изображение на бесконечности.** Установите линзу +200 мм на отметке 63 см. Линзу +100 мм установите на отметке 93 см. Через обе линзы посмотрите на *удалённый* предмет. Модель настройте на дальнее зрение (в слот SEPTUM установите линзу +120 мм). Модель установите на отметке 100 см, повторно выполните все измерения и анализ, предусмотренные для данного телескопа. Можете ли вы рассчитать поперечное (линейное) увеличение Изображения 2? Каково значение углового увеличения Изображения 2?
3. **Микроскоп.** Поместите источник света на направляющую на отметке 0 см. Линзу +100 мм установите на отметке 6 см, а линзу +200 мм – на отметке 10 см. Посмотрите на источник света через линзы. Настройте модель на дальнее зрение (для этого в слот SEPTUM установите линзу +120 мм), установите её (вместе с роговичной линзой) на отметке 15 см. Измерьте размер изображения на экране сетчатки.
4. **Телескоп Галилея.** Простой телескоп, составленный из двух линз, называется астрономическим телескопом. Телескоп с положительной линзой объектива и отрицательной линзой окуляра называется телескопом Галилея. Источник света установите на направляющую, на отметку 0 см. Линзу +200 мм установите на отметке 80 см, а линзу -150 мм – на отметке 91 см. Посмотрите на предмет через линзы. В чём отличие телескопа Галилея от астрономического телескопа? Настройте модель на зрение на среднее расстояние (линзу +120 мм установите в слот SEPTUM, а линзу +400 мм в слот «В»). Модель с роговичной линзой установите на отметке 100 см. Измерьте изображение на сетчатке. Снимите линзы, измерьте изображение на сетчатке без них. Определите значение и математический знак углового увеличения данного телескопа.

Эксперимент 3: детальное изучение преломления

Свет распространяется от предмета до сетчатки, пересекая несколько поверхностей, которые являются границами между различными средами. На каждой поверхности происходит преломление света. В Эксперименте 1 анализ модели был упрощён: свет проходил через одну линзу с «эффективным фокусным расстоянием». В рамках данного эксперимента вам предстоит делать оптический анализ более детально.

Роговичная линза в модели представляет собой стеклянную плоско-выпуклую линзу. На её выпуклой стороне находится воздух, а на плоской – вода. Пластмассовый хрусталик выпуклый с обеих сторон (с обеих выпуклых сторон – вода). Будем считать, что система состоит из трёх отдельных компонентов: изогнутой поверхности роговичной линзы, плоской поверхности роговичной линзы и хрусталика. Изображение, формируемое изогнутой поверхностью роговичной линзы, является предметом для плоской поверхности. Изображение, формируемое плоской поверхностью, является предметом для хрусталика. Изображение, создаваемое хрусталиком, появляется на сетчатке.

Теоретическая часть

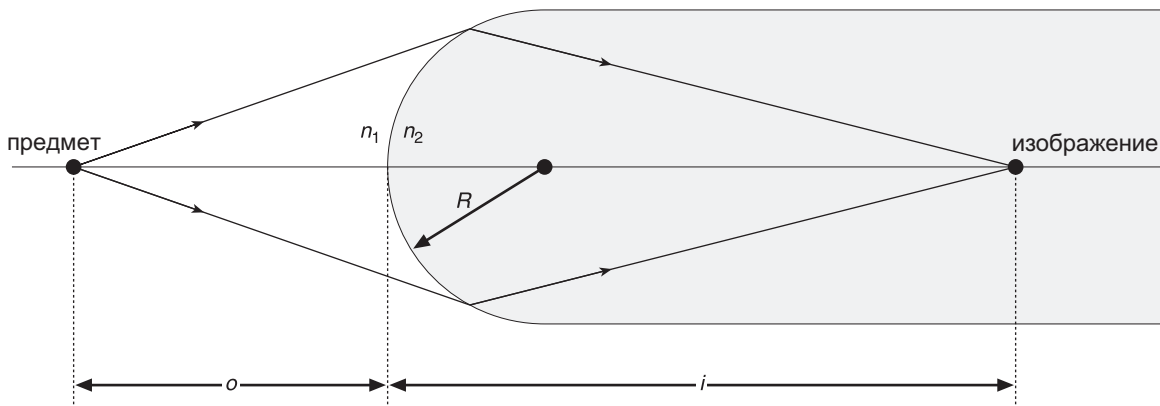
Изображение, создаваемое одной изогнутой поверхностью

На иллюстрации ниже представлены лучи света, распространяющиеся от одной среды к другой, разделённые изогнутой поверхностью радиуса R , похожей на лицевую поверхность роговичной линзы. Из иллюстрации видно, что коэффициент преломления второй среды, n_2 , больше коэффициента преломления первой среды, n_1 .

Соотношение расстояния до предмета (o) и расстояния до изображения (i) выражается следующим уравнением:

(Уравнение 4):
$$\frac{n_1}{o} + \frac{n_2}{i} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Внимание: расстояния до предметов и изображений измеряются от той точки на изогнутой поверхности, где пересекается оптическая ось.

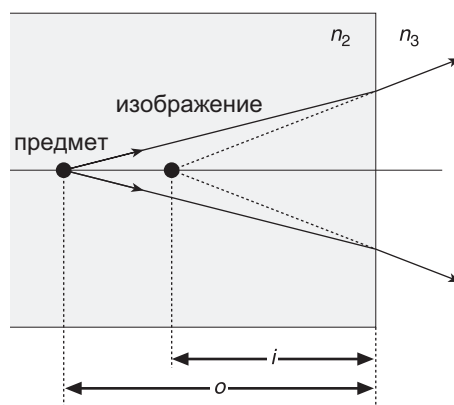


Изображение, создаваемое одной плоской поверхностью

Даже если граница между плоской роговичной линзой и водой является плоской, формирование изображения всё же возможно. На иллюстрации ниже показано преломление лучей света, выходящих из одной среды (с коэффициентом преломления n_2) и входящих в другую среду (с коэффициентом преломления n_3). Согласно иллюстрации n_3 меньше, чем n_2 . Соотношение между расстоянием до предмета (o) и расстоянием до изображения (i) выражается следующей формулой:

(Уравнение 5):
$$i = -\frac{n_3}{n_2} o$$

Измерение расстояний (до предмета и изображения) осуществляется от поверхности. Согласно правилу знаков i в данном случае является отрицательным, так как находится перед поверхностью.

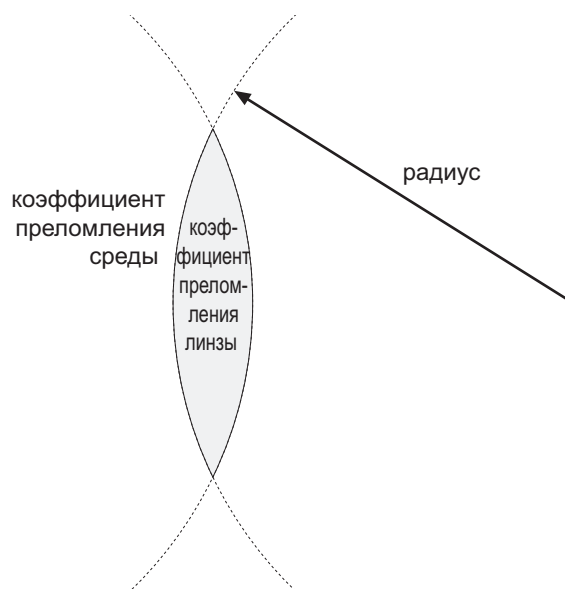


Уравнение производителей линз

В модели «Строение глаза человека» в роли хрусталика выступает тонкая линза, обе поверхности которой имеют идентичную кривизну. Эту линзу можно считать отдельным компонентом.

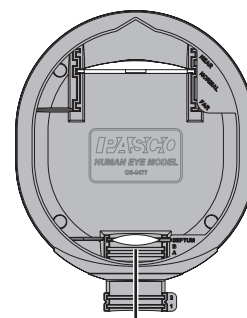
Уравнением производителей линз является соотношение фокусного расстояния линзы (f) и коэффициента преломления ($n_{\text{линза}}$), кривизны поверхностей (R), коэффициента преломления окружающей среды ($n_{\text{окружающая среда}}$). Для тонкой, двояковыпуклой линзы с одинаковой положительной кривизной с обеих сторон уравнение упрощается до следующего:

(Уравнение 6):
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_{\text{линза}}}{n_{\text{среда}}} - 1 \right) \left(\frac{2}{R} \right)$$



Ход эксперимента

1. Заполните модель водой, настройте её на нормальное, дальнее зрение (в слот SEPTUM установите линзу +120 мм). Направьте модель на *удалённый* предмет. Изображение на экране сетчатки должно быть в фокусе.
2. Нарисуйте схему оборудования, в которой нужно показать форму поверхностей линз и сетчатку. На схеме укажите среды, через которые проходит свет (воздух, стекло, вода, пластик). Свет, исходящий от бесконечно удалённого предмета, изобразите лучами, параллельными оптической оси.
3. Покажите, что Уравнение 4 (для одной линзы с изогнутой поверхностью) сводится к Уравнению 7, если предмет находится на бесконечном удалении, где $n_1 = 1$ (для воздуха), $n_2 = n_{\text{стекло}}$.



линза +120 мм

(Уравнение 7):

$$i = \frac{n_{\text{стекло}}}{n_{\text{стекло}} - 1} R_1$$

4. У роговичной линзы n стекла равно 1,524, а $R_1 = 7,10$ см. Рассчитайте расстояние до Изображения 1 (i_1), формируемого изогнутой поверхностью.

Покажите на вашей схеме, где находится изображение. Имеет ли значение тот факт, что изображение находится не внутри стекла.

5. Изображение 2 формируется на плоской поверхности там, где свет переходит из стекла в воду.

Изображение, формируемое изогнутой поверхностью (Изображение 1), становится предметом для плоской поверхности (Предмет 2). Предмет 2 находится перед плоской поверхностью или за ней? Расстояние до предмета (o_2) положительное или отрицательное? Толщина роговичной линзы составляет 0,40 см. Рассчитайте o_2 .

С помощью Уравнения 5, приняв $n_3 = n_{\text{вода}} = 1,33$, рассчитайте расстояние до Изображения 2 (i_2). Это расстояние должно иметь положительное значение. Что это означает? Где находится Изображение 2: перед плоской поверхностью или за ней?

Добавьте на схему Изображение 2.

6. Маркировка на ручке хрусталика обозначает значение фокусного расстояния *в воздухе*. Так как линза окружена водой, фокусное расстояние в модели *не* равно 120 мм. С помощью Уравнения 6 рассчитайте радиус кривизны R_3 поверхностей линзы +120 мм. Коэффициент преломления пластмассы равен 1,58. Какое значение коэффициента преломления среды вам следует использовать?

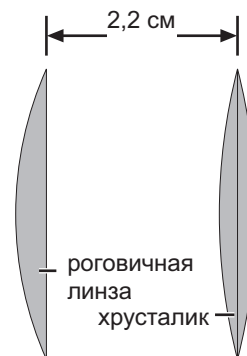
7. Рассчитайте фокусное расстояние f_3 роговичной линзы *в воде*.

8. Изображение, формируемое плоской поверхностью роговичной линзы (Изображение 2), становится предметом для хрусталика. Каково расстояние до предмета o_3 : положительное или отрицательное? Расстояние от плоской поверхности роговичной линзы до центра хрусталика составляет 2,2 см. Рассчитайте o_3 . (Для тонкого хрусталика все расстояния измеряются от центра линзы).

С помощью формулы тонкой линзы рассчитайте расстояние до Изображения 3 (i_3)

$$\frac{1}{f_3} = \frac{1}{i_3} + \frac{1}{o_3}$$

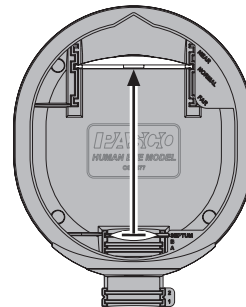
Добавьте к схеме Изображение 3.



9. Где находится Изображение 3? Вы его видите?
10. Измерьте расстояние от хрусталика до экрана сетчатки. Насколько полученное расстояние сопоставимо с результатом из Шага 8?

Вопросы:

1. Изображения 1 и 2 действительные или мнимые? Почему вы их не видите?
2. Что происходит с параллельными лучами, исходящими от удалённого предмета, после вхождения в роговичную линзу: они сходятся или расходятся? Пересекаются ли эти лучи внутри линзы?
3. Что происходит с лучами после пересечения ими плоской поверхности и прохождения из стекла в воду: они сходятся больше или меньше?
4. Если полностью погрузить модель в воду, сила преломления света уменьшится или увеличится?
5. Для хрусталика модели вы использовали Уравнение 6, выражающее соотношение кривизны и фокусного расстояния. Почему Уравнение 6 *не* работает для хрусталика настоящего глаза человека?



Дальнейшие исследования

Радиус изгиба линзы +62 мм составляет 7,2 см. Установите её в слот SEPTUM. Рассчитайте расстояние до предмета (o_1), необходимое для формирования изображения на сетчатке. Проверьте свои расчёты. Они правильные?

Дополнительные эксперименты

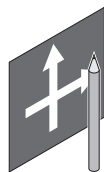
Плоское зеркало

Настройте модель на нормальное, ближнее зрение (для этого установите линзу +62 мм в слот SEPTUM). Сфокусируйте модель на ближний источник света. Запишите расстояние до предмета.

Направьте на глаз модели яркий свет настольной лампы (сетчатку при этом затените рукой или листом бумаги). На каком расстоянии вам нужно держать плоское зеркало, чтобы на сетчатке сформировалось его чёткое изображение? Каково расстояние от модели до мнимого изображения, формируемого зеркалом?

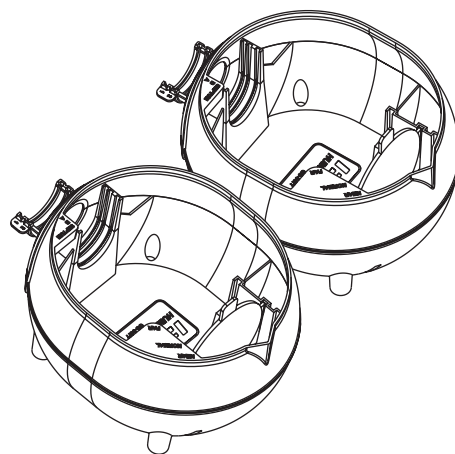
Параллакс и стереоскопическое зрение

Настройте модель на нормальное ближнее зрение (для этого установите линзу +62 мм в слот SEPTUM). Сфокусируйте модель на ближний источник света. Попросите партнёра подержать карандаш в вертикальном положении перед источником света (примерно в 5 см от него). Направьте на карандаш свет настольной лампы. Подберите положение модели так, чтобы оба изображения были в фокусе и рядом с центром сетчатки. Нарисуйте схему сетчатки и изображения. Изображение представляет собой то, что должен видеть правый глаз.



Не перемещая предметы, переместите модель на 15 см влево (в то положение, где должен находиться левый глаз). Отрегулируйте угол модели, подберите расстояния до предметов так, чтобы эти предметы были в фокусе и рядом с центром сетчатки. Схематично представьте новое изображение. Чем отличаются изображения в правом и левом глазах? Насколько важна эта разница для того, как человек будет воспринимать, какой из предметов находится ближе?

Если у вас есть две модели, установите их рядом друг с другом, чтобы видеть оба изображения одновременно.



Изучение сетчатки

Что видит офтальмолог, заглядывая в глаз человека? Настройте модель на дальнее зрение (с помощью линзы +120 мм в слоте SEPTUM). Направьте свет настольной лампы на верхнюю часть настольной лампы, чтобы осветить сетчатку. Подойдите к модели как можно ближе и загляните внутрь. Что вы видите? Как хрусталики влияют на видение сетчатки? Вставьте в слот другой хрусталик. Есть ли разница?

Ретиноскопия

С помощью данного метода офтальмолог изучает рефракционные свойства глаза и область сетчатки. Врач наблюдает за изображением, формируемым попадающим в глаз светом. При инвертированной оптике предмет (но не изображение) располагается на сетчатке, а изображение, формируемое хрусталиком, видно стороннему наблюдателю. Для этого демонстрационного показа вам будет нужно нарисовать предмет непосредственно на сетчатке и рассматривать его через линзы модели.

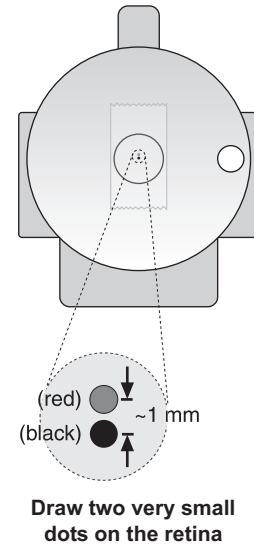
К центру сетчатки приклейте кусочек прозрачного скотча. Водостойкой краской нарисуйте на скотче небольшие точки разных цветов на расстоянии примерно 1 мм друг от друга.

Настройте модель на дальнее зрение (для этого установите линзу +120 мм в слот SEPTUM). Экран сетчатки установите в слоте FAR (дальнее положение). Направьте свет настольной лампы так, чтобы сетчатка была ярко освещена. Отойдите примерно на 3 метра, закройте один глаз, посмотрите прямо на модель. Видно ли вам изображение двух точек? Изображение прямое или перевёрнутое? Двигайте головой влево и вправо. Можете ли вы определить, где находится изображение: перед моделью или за ней?

Попросите партнёра переустановить сетчатку в слот NORMAL (нормальное положение). Изображение прямое или перевёрнутое? Сравните его с тем, которое было сформировано дальнозорким глазом. У какого изображения большее значение углового увеличения? Какое изображение находится дальше от вашего глаза?

Попросите партнёра переустановить сетчатку в слот NEAR (ближнее положение). Насколько меняется изображение? Изображение прямое или перевёрнутое? Где оно находится: перед моделью или за ней?

Нарисуйте схемы направления лучей или с помощью формулы тонкой линзы определите, где формируются изображения нормального, близорукого и дальнозоркого глаза? Сравните результаты с вашими наблюдениями. Рассчитайте увеличения изображений, сформированных близоруким и дальнозорким глазом. Можете ли вы рассчитать изображение, сформированное нормальным глазом?



Заметки преподавателя

Эксперимент 1: оптика глаза человека

Часть 1: обучающиеся должны увидеть, что изображения на сетчатке являются перевёрнутыми, и что изображение перевёрнутого предмета выглядит как зеркальное изображение.

Часть 2: обучающиеся должны увидеть, что изображение формируется на сетчатке, когда линза с регулируемым фокусным расстоянием является выпуклой, выступая в качестве рассеивающей линзы. Для аккомодации к более удалённому предмету линза должна иметь меньшую оптическую силу и большее фокусное расстояние.

Если модель заполнить водой и установить в слот SEPTUM линзу +62 мм, аккомодация возможна на расстоянии $o = 35$ см. Расстояние до изображения i равно 12 см. Таким образом:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{32 \text{ см}} + \frac{1}{12 \text{ см}}$$

$$f = 8.9 \text{ см}$$

С линзой +400 мм в слоте «В» и линзой +62 мм в слоте SEPTUM аккомодация модели происходит на расстоянии 25 см.

С линзой +400 мм в слоте «В» и линзой +120 мм в слоте SEPTUM аккомодация модели происходит на расстоянии 100 см.

Для аккомодации на бесконечность установите линзу +120 мм (отдельно) в слоте SEPTUM. Таким образом:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{\infty} + \frac{1}{12 \text{ см}}$$

$$f = 12 \text{ см}$$

Часть 3: для коррекции дальнозоркости установите в слот 1 линзу +400 мм. Оптическая сила этой линзы составит +2,5 диоптрия.

Часть 4: для коррекции близорукости установите в слот 1 линзу -1000 мм. Оптическая сила этой линзы составит -1,0 диоптрий.

Часть 5: для коррекции астигматизма цилиндрические оси линзы +128 мм в слоте «А» и линзы +307 мм в слоте 1 должны быть параллельными.

Часть 6: когда модель настроена так, что изображение точки находится на слепом пятне, кажется, что она «смотрит» прямо на знак «плюс». Экран сетчатки моделирует сетчатку глаза человека.

Часть 7: при удалении предмета размер изображения уменьшается. Расстояния до предметов: $o_1 = 35$ см, $o_2 = 100$ см. Чтобы кажущиеся размеры предметов на этих расстояниях были теми же самыми, соотношение размеров двух предметов должно равняться o_1/o_2 .

Часть 8: с линзой +62 мм в слоте SEPTUM и линзой +120 мм в слоте 1 глаз фокусируется на предметах на расстоянии около 11 см от линзы +120 мм. Увеличение изображения на сетчатке составляет порядка -1.

Расстояние от линзы +120 мм до предмета равно 9 см. Расчётное расстояние от этой линзы до изображения равно -36 см. Расчётное значение увеличения мнимого изображения равно 4.

Эксперимент 2: Телескоп

При настройках телескопа согласно инструкциям $f_1 = 20$ см, $o_1 = 51$ см, а

$$\frac{1}{i_1} = \frac{1}{20 \text{ см}} - \frac{1}{51 \text{ см}}$$

$$i_1 = 32.9 \text{ см}$$

Расстояние между линзами равно 42 см, поэтому:

$$o_2 = 42 \text{ см} - 32.9 \text{ см} = 9.1 \text{ см}$$

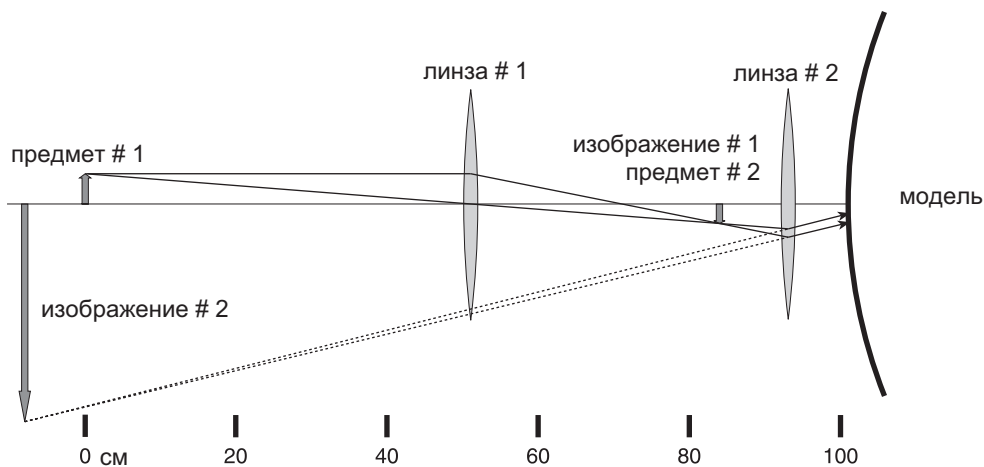
и:

$$\frac{1}{i_2} = \frac{1}{10 \text{ см}} - \frac{1}{9.1 \text{ см}}$$

$$i_2 = 101 \text{ см}$$

Общее значение увеличения телескопа:

$$M = \left(\frac{32.9 \text{ см}}{51 \text{ см}} \right) \left(\frac{-101 \text{ см}}{9.1 \text{ см}} \right) = -7.2$$



Эксперимент 3: преломление

Расстояние от первого изображения до изогнутой поверхности роговичной линзы составляет:

$$i_1 = \frac{n_{\text{стекло}}}{n_{\text{стекло}} - 1} R_1 = \frac{1.524}{0.524} (7.1 \text{ см}) = 20.7 \text{ см}$$

Расстояние до предмета o_2 равно i_1 минус толщина линзы. Изображение 1 (которое становится предметом 2) формируется за плоской поверхностью, вне стеклянной линзы, поэтому расстояние до предмета является отрицательным. Таким образом:

$$o_2 = -(20.7 \text{ см} - 0.40 \text{ см}) = -20.3 \text{ см}$$

$$i_2 = -\frac{n_{\text{стекло}}}{n_{\text{вода}}} o_2 = \left(-\frac{1.33}{1.524}\right) (-20.3 \text{ см}) = 17.7 \text{ см}$$

Расстояние до предмета o_3 равно i_2 минус расстояние от плоской поверхности стеклянной линзы к центру хрусталика. Изображение 2 (которое становится предметом 3) формируется за линзой, математический знак предмета становится отрицательным. Таким образом:

$$o_3 = -(17.7 \text{ см} - 2.2 \text{ см}) = -15.5 \text{ см}$$

Фокусное расстояние линзы в воздухе равно 12,0 см, поэтому:

$$R_3 = \left(\frac{n_{\text{пластик}}}{n_{\text{воздух}}} - 1\right) 2f = \left(\frac{1.58}{1} - 1\right) 2(12.0 \text{ см}) = 13.9 \text{ см}$$

Фокусное расстояние линзы в воде равно:

$$\frac{1}{f'} = \left(\frac{n_{\text{пластик}}}{n_{\text{вода}}} - 1\right) \frac{2}{R_3} = \left(\frac{1.58}{1.33} - 1\right) \frac{2}{13.9}$$

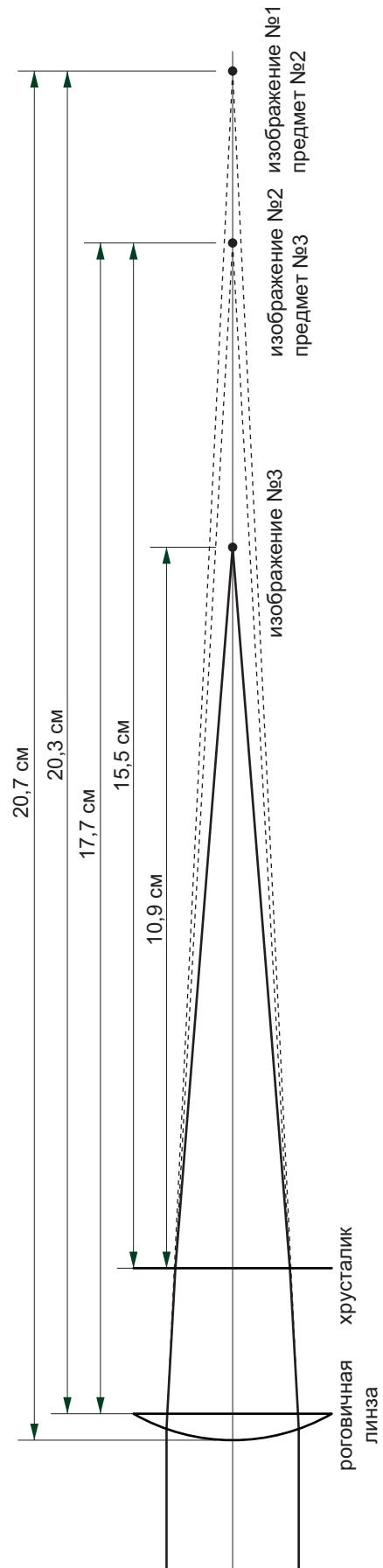
$$f' = 37.0 \text{ см}$$

На основании значений расстояния до предмета и фокусного расстояния расстояние до изображения будет равно:

$$\frac{1}{i_3} = \frac{1}{f'} - \frac{1}{o_3} = \frac{1}{37.0 \text{ см}} - \frac{1}{-15.5 \text{ см}}$$

$$i_3 = 10.9 \text{ см}$$

Расстояние, измеренное от хрусталика до сетчатки равно 10,5 см. Из-за кривизны сетчатки добавляются несколько миллиметров, и поэтому данное расстояние равно рассчитанному значению расстояния до изображения.



Техническая поддержка

За консультацией по любому продукту PASCO можно обратиться непосредственно к производителю:

Адрес: PASCO scientific,
10101 Бульвар Футхиллз,
Розвилл, Калифорния 95747-7100

Телефон: 916 786 3800
(для звонков из любой страны мира,
кроме США) или
800-772-8700 (для звонков из США)

Факс: (916) 786-7565

Сайт: www.pasco.com

Электронная почта: support@pasco.com

Ограниченная гарантия

Описание условий гарантии на продукцию PASCO приводится в каталоге PASCO.

Авторское право

Настоящая инструкция по эксплуатации PASCO scientific 012-13032A Human Eye Model Instruction Manual (Инструкция по эксплуатации изделия 012-13032A Модель «Строение глаза человека PASCO») защищена авторским правом. Копирование любой части настоящей инструкции разрешается некоммерческим образовательным учреждениям при условии использования исключительно в лабораториях и аудиториях и неосуществлении продаж с целью получения прибыли. При других обстоятельствах копирование без письменного разрешения со стороны PASCO scientific запрещается.

Торговые марки

PASCO и PASCO scientific являются торговыми марками или зарегистрированными торговыми марками PASCO scientific в США и/или других странах. Все остальные бренды, наименования продуктов и услуг могут быть торговыми марками или знаками обслуживания, и могут использоваться для идентификации продуктов, услуг и владельцев данных знаков. Для получения более подробной информации заходите по ссылке www.pasco.com/legal.