Томский государственный университет

Физический факультет

Региональная летняя Школа для учителей физики

«Предметная компетентность учителя физики в современной школе»

Проектная работа

Практические занятия по разделу физики «Геометрическая оптика»

Выполнили:

Деревянных Е.А., учитель физики МАОУ лицей №1;

Кукина Е.Л., учитель физики МАОУ СОШ №37;

Куракова О.А., учитель физики МАОУ СОШ №4;

Лебедева Н.Ю., учитель физики МАОУ СОШ №4

Томск 2015

Оглавление

[Введение 3](#_Toc422863343)

[1. Геометрическая оптика 4](#_Toc422863344)

[1.1 Закон прямолинейного распространения света и закон независимости световых лучей 4](#_Toc422863345)

[1.2 Закон отражения света 5](#_Toc422863346)

[1.3 Закон преломления света 7](#_Toc422863347)

[1.4 Примеры решения задач. 11](#_Toc422863348)

[2. Качественные задачи. Световые явления. Геометрическая оптика 19](#_Toc422863349)

[3. Линзы. Построение изображения в линзах 29](#_Toc422863350)

[Примеры решение задач 36](#_Toc422863351)

[4.Графический способ решения задач 42](#_Toc422863352)

[5. Олимпиадные задачи 46](#_Toc422863353)

[Литература 58](#_Toc422863354)

**Введение**

Со световыми явлениями мы встречаемся каждый день на протяжении всей жизни, ведь они являются частью естественных условий, в которых мы живем. Некоторые из световых явлений кажутся нам настоящим чудом: например, миражи в пустыне, полярное сияние. Но, и более привычные для нас световые явления: блеск капельки росы в солнечных лучах; лунная дорожка на плесе; семицветный мост радуги после летнего дождя; молния в грозовых тучах; мерцание звезд в ночном небе – тоже являются чудом, так как они делают мир вокруг нас замечательным, полным волшебной красоты и гармонии.

Учение о свете является одним из важных в современной физике. Оптике на протяжении длительного времени принадлежала ведущая роль в очень многих фундаментальных исследованиях и развитии основных физических воззрений. Геометрическая оптика является теоретической основой оптической техники, теории оптических приближений и ряда других дисциплин. Основные понятия геометрической оптики необходимы каждому, независимо от избранной специальности. На основных законах геометрической оптики можно построить математическую теорию распространения света. Область явлений, изучаемых оптикой обширна. Оптические явления тесно связаны с явлениями, изучаемыми в других разделах физики, а оптические методы исследования относятся к наиболее тонким и точным. Простейшие оптические явления, например возникновение теней и получение изображений в оптических приборах, могут быть понятны в рамках геометрической оптики, которая оперирует понятием отдельных световых лучей, подчиняющихся известным законам преломления и отражения и независимых друг от друга.

Развитию и расширению понятий геометрической оптики способствует решение задач различного типа и разного уровня сложности. В связи с этим целью данной работы является сбор и обобщение теоретического и практического материала по данной теме, который будет полезен преподавателям физики в их практической деятельности.

**1. Геометрическая оптика**

Оптика - учение о природе света, световых явлениях и взаимодействии света с веществом. Геометрической, или лучевой, оптикой называют раздел оптики, в котором используют представления о световых лучах. Понятие светового луча можно получить из рассмотрения реального светового пучка в однородной среде, из которого при помощи диафрагмы выделяется узкий параллельный пучок. Чем меньше диаметр этих отверстий, тем уже выделяемый пучок, и в пределе, переходя к отверстиям сколь угодно малым, можно, казалось бы, получить световой луч как прямую линию. Но подобный процесс выделения сколь угодно узкого пучка (луча) невозможен вследствие явления дифракции. Поэтому световой луч - это абстрактное математическое понятие, а геометрическая оптика является приближенным предельным случаем, в который переходит волновая оптика, когда длина световой волны стремится к нулю.

Таким образом, световым лучом называют воображаемую линию, вдоль которой распространяется энергия, переносимая световой волной.

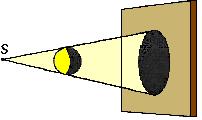
В основе геометрической оптики лежат четыре закона: закон прямолинейности световых лучей, закон их независимости, закон отражения света и закон преломления света. Данные законы были установлены в результате наблюдений за световыми лучами и послужили обобщениями многочисленных опытных фактов. Они являются утверждениями, сформулированными на языке геометрии. Волновая природа света в них не затрагивается. Законы геометрической оптики первоначально являлись постулатами. Они лишь констатировали: таким вот образом ведёт себя природа. Однако впоследствии оказалось, что законы геометрической оптики могут быть выведены из более фундаментальных законов волновой оптики.

**1.1 Закон прямолинейного распространения света и закон независимости световых лучей**

**Закон независимости световых лучей:** пересекаясь, световые лучи не возмущают друг друга, а продолжают распространяться в прежнем направлении.

**Закон прямолинейности световых лучей:** в однородной и изотропной среде свет распространяется прямолинейно.

Что такое «прозрачная однородная среда»? Среда называется прозрачной, если в ней может распространяться свет. Среда называется однородной, если её свойства не меняются от точки к точке. Равномерно прогретый воздух, чистая вода, стекло без примесей — всё это примеры прозрачных и оптически однородных сред. Таким образом, закон прямолинейного распространения света означает, что в прозрачной однородной среде понятие светового луча совпадает с понятием луча в геометрии. Данный закон не требует каких-либо дополнительных пояснений — он хорошо вам известен. При нарушении однородности среды нарушается и закон прямолинейного распространения света. Например, на границе раздела двух прозрачных сред световой луч может разделиться на два луча: отражённый и преломлённый. Если оптические свойства среды меняются от точки к точке, то ход световых лучей искривляется. В этом состоит причина миражей: слой воздуха вблизи раскалённой земной поверхности нагрет больше, чем вышележащие слои; он имеет иные оптические свойства, и его действие оказывается подобным зеркалу.

Доказательством закона прямолинейного распространения света является образование тени и полутени.

**Полная тень –**это та область пространства, в которую не попадает свет от источника света.

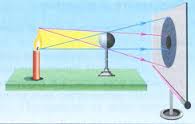
Обычно только полную тень даёт точечный источник света.  
  
  
Если тело освещено несколькими точечными источниками света или протяженным источником, то на экране образуется тень с нечеткими контурами. В таком случае создается не только полная тень, а еще **полутень.**  


Рис. 1

**Полутень** – это область пространства, освещенная некоторыми из нескольких имеющихся точечных источников света или частью протяженного источника.

Рис.2

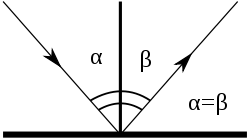


Рис. 3

**1.2 Закон отражения света**

Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр к поверхности отражения, восстановленный из точки падения луча, лежат в одной плоскости.

Угол отражения равен углу падения.

Лучи обратимы.

**Виды отражений**

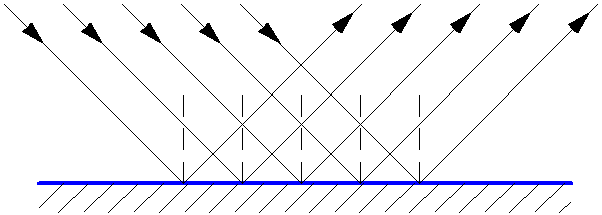
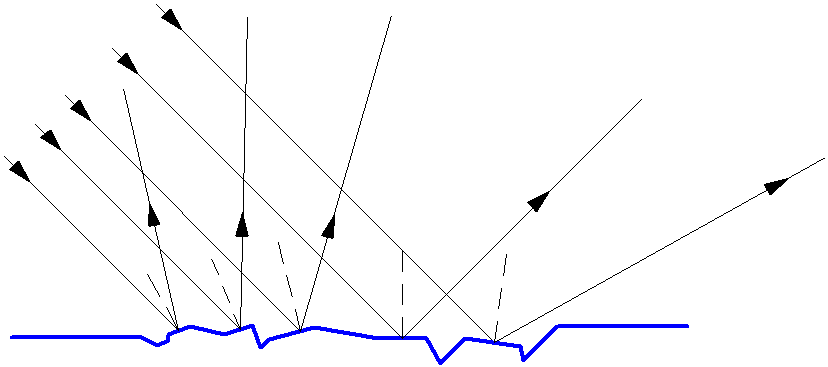


Рис. 4

|  |  |
| --- | --- |
| **Зеркальное** | **Рассеянное** |
|  | |

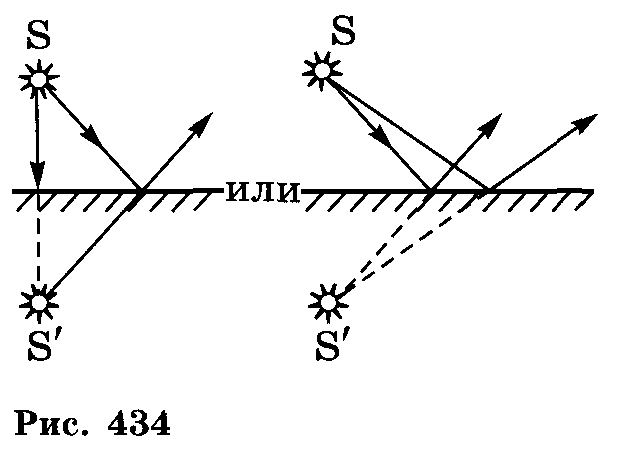
**Плоские зеркала**  
При построении изображения некоторой точки S в плоском зеркале необходимо использовать, по крайней мере, два произвольных луча.  
  
Методика построения понятна из рисунка. С практической точки зрения один из лучей (на рисунке это луч 1) целесообразно пустить вдоль нормали к зеркалу.  
  
Принято называть изображение предмета, полученных лучей, действительным, а изображение, полученное при пересечении продолжений этих лучей за зеркало, - мнимым. Таким образом, S1– мнимое изображение источника S.  
**Общие характеристики изображений в плоских зеркалах:**

Рис. 5

Плоское зеркало дает мнимое изображение предмета.

Изображение предмета в плоском зеркале равно по размеру самому предмету и расположено на том же расстоянии от зеркала, что и предмет.

Прямая, которая совмещает точку на предмете с соответствующей ей точкой на изображении предмета в зеркале, перпендикулярно поверхности зеркала.

**Сферические зеркала**

От любой точки предмета, расположенного перед зеркалом, падает бесконечное множество лучей — расходящийся световой пучок. Для построения изображения этой точки достаточно выбрать только два каких-либо луча, но лучше такие, ход которых после зеркала заранее известен. К таким лучам относятся (рис. 6 ): 1 — луч, параллельный главной оптической оси. Отраженный луч (или продолжение отраженного луча) проходит через главный фокус; 2 — луч, проходящий через главный фокус (или его продолжение проходит через главный фокус), отраженный луч идет параллельно главной оптической оси; 3 — луч (или его продолжение), проходящий через центр О зеркала. Отраженный луч возвращается в противоположном направлении вдоль той же прямой; 4 — луч, проходящий через полюс, после отражения пойдет симметрично относительно главной оптической оси зеркала.

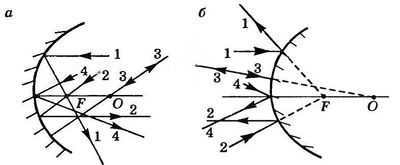
[](http://physbook.ru/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Aksen-16.16.jpg)

Рис. 6

Если предмет плоский, то достаточно построить изображение его крайних точек. На рисунках 7 приведены построения изображений для разных положений предмета *АВ* перед зеркалом. Как видно, если предмет расположен на расстоянии *d>R* (рис.7) (дальше центра вогнутого зеркала), то образуется перевернутое, действительное, уменьшенное изображение предмета. Если *F<d<R* (рис. 16.18), то изображение в вогнутом зеркале перевернутое, действительное, увеличенное. Если *d<F* , то изображение прямое, мнимое, увеличенное.

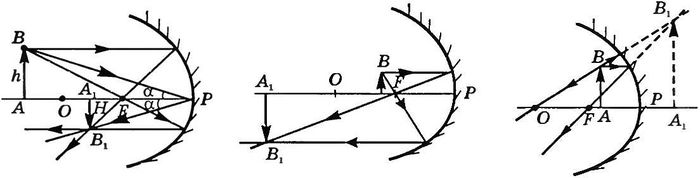
[](http://physbook.ru/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Aksen-16.17-19.jpg)

Рис. 7

В выпуклом зеркале (рис.8) изображение всегда мнимое, прямое, уменьшенное.

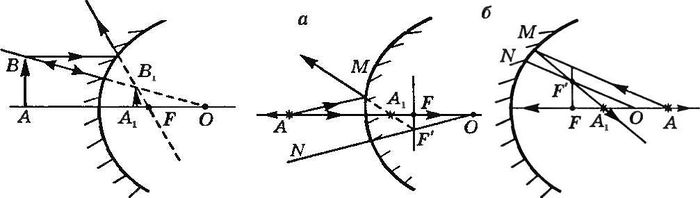
[](http://physbook.ru/index.php/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Aksen-16.20-21.jpg)

Рис. 8 Рис. 9

Для построения изображения точечного предмета А (рис. 9), расположенного на главной оптической оси, из этого предмета направляют на зеркало любой луч *AM*, проводят параллельно этому лучу побочную оптическую ось *ON* и фокальную плоскость, находят побочный фокус *F'*(точка пересечения побочной оптической оси с фокальной плоскостью). Отраженный луч пройдет через побочный фокус *F'*и пересечет главную оптическую ось в точке A1 которая и является изображением точки А.

**1.3 Закон преломления света**

На границе раздела двух прозрачных сред наряду с отражением света наблюдается его преломление — свет, переходя в другую среду, меняет направление своего распространения. Преломление светового луча происходит при его наклонном падении на поверхность раздела (правда, не всегда — читайте дальше про полное внутреннее отражение). Если же луч падает перпендикулярно поверхности, то преломления не будет — во второй среде луч сохранит своё направление и также пойдёт перпендикулярно поверхности. Закон преломления (частный случай) Мы начнём с частного случая, когда одна из сред является воздухом. Именно такая ситуация присутствует в подавляющем большинстве задач. Мы обсудим соответствующий частный

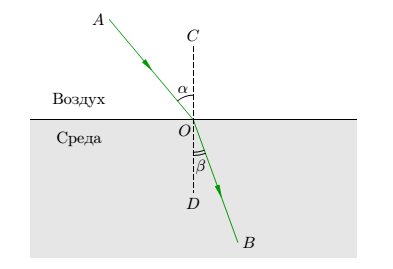
случай закона преломления, а уж затем дадим самую общую его формулировку. Предположим, что луч света, идущий в воздухе, наклонно падает на поверхность стекла, воды или какой-либо другой прозрачной среды. При переходе в среду луч преломляется, и его дальнейший ход показан на рис. 10.

Рис. 10. Преломление луча на границе «воздух–среда»

В точке падения O проведён перпендикуляр (или, как ещё говорят, нормаль) CD к поверхности среды. Луч AO, как и раньше, называется падающим лучом, а угол α между падающим лучом и нормалью — углом падения. Луч OB — это преломлённый луч; угол β между преломлённым лучом и нормалью к поверхности называется углом преломления. Всякая прозрачная среда характеризуется величиной n, которая называется показателем преломления этой среды. Показатели преломления различных сред можно найти в таблицах. Например, для стекла n = 1,6, а для воды n = 1,33. Вообще, у любой среды n > 1; показатель преломления равен единице только в вакууме. У воздуха n = 1,0003, поэтому для воздуха с достаточной точностью можно полагать в задачах n = 1 (в оптике воздух не сильно отличается от вакуума).

**Закон преломления (переход «воздух–среда»).**

1) Падающий луч, преломлённый луч и нормаль к поверхности, проведённая в точке падения, лежат в одной плоскости.

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно показателю преломления среды:

Поскольку n > 1, из соотношения (1) следует, что sin α > sin β, то есть α > β — угол преломления меньше угла падения. Запоминаем: переходя из воздуха в среду, луч после преломления идёт ближе к нормали. Показатель преломления непосредственно связан со скоростью *ʋ* распространения света в данной среде. Эта скорость всегда меньше скорости света в вакууме: 

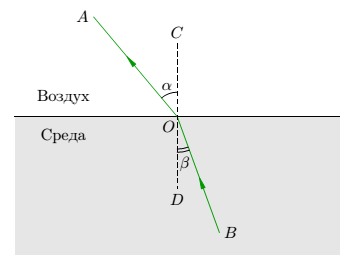
И вот оказывается, что

Поэтому

Так как показатель преломления воздуха очень близок единице, мы можем считать, что скорость света в воздухе примерно равна скорости света в вакууме c.

Итак, отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению скорости света в воздухе к скорости света в среде. Обратимость световых лучей.

Теперь рассмотрим обратный ход луча: его преломление при переходе из среды в воздух. Здесь нам окажет помощь следующий полезный принцип. Принцип обратимости световых лучей. Траектория луча не зависит от того, в прямом или обратном направлении распространяется луч. Двигаясь в обратном направлении, луч пойдёт в точности по тому же пути, что и в прямом направлении. Согласно принципу обратимости, при переходе из среды в воздух луч пойдёт по той же самой траектории, что и при соответствующем переходе из воздуха в среду.



Так как геометрическая картинка не изменилась, той же самой останется и формула: отношение синуса угла α к синусу угла β по-прежнему равно показателю преломления среды. Правда, теперь углы поменялись ролями: угол β стал углом падения, а угол α — углом преломления.

В любом случае, как бы ни шёл луч — из воздуха в среду или из среды в воздух — работает следующее простое правило*. Берём два угла — угол падения и угол преломления; отношение синуса большего угла к синусу меньшего угла равно показателю преломления среды.*

**Закон преломления (общий случай)**

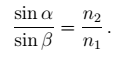
Пусть свет переходит из среды 1 с показателем преломления n1 в среду 2 с показателем преломления n2. Среда с большим показателем преломления называется оптически более плотной; соответственно, среда с меньшим показателем преломления называется оптически менее плотной. Переходя из оптически менее плотной среды в оптически более плотную, световой луч после преломления идёт ближе к нормали. В этом случае угол падения больше угла преломления: α > β, а в противном случае наоборот.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

**Закон преломления.**

Падающий луч, преломлённый луч и нормаль к поверхности раздела сред, проведённая в точке падения, лежат в одной плоскости.

Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления равно отношению показателя преломления второй среды к показателю преломления первой среды:



Или

**Полное внутреннее отражение**

При переходе световых лучей из оптически более плотной среды в оптически менее плотную наблюдается интересное явление — полное внутреннее отражение. Давайте разберёмся, что это такое. Будем считать для определённости, что свет идёт из воды в воздух. Предположим, что в глубине водоёма находится точечный источник света S, испускающий лучи во все стороны (рис.11 ).

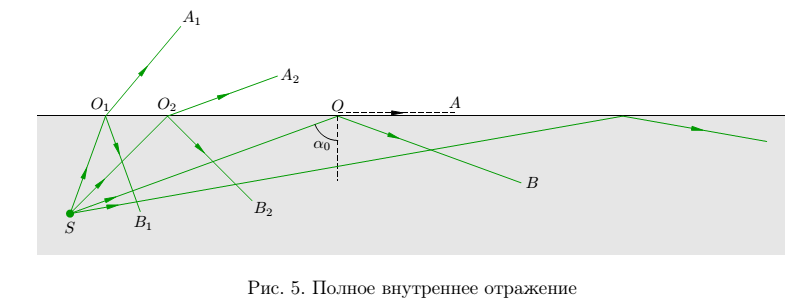
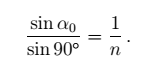


Рис. 11

Описанное явление и есть полное внутреннее отражение. Вода не выпускает наружу лучи с углами падения, равными или превышающими некоторое значение α0 — все такие лучи целиком отражаются назад в воду. Угол α0 называется предельным углом полного отражения. Величину α0 легко найти из закона преломления. Имеем:



Но sin 90◦ = 1, поэтому

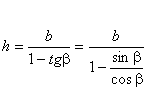
**1.4 Примеры решения задач.**

**Задача №1.**

 Кубический сосуд с непрозрачными стенками расположен так, что глаз наблюдателя не видит его дна, но полностью видит стенку *CD*. До какой высоты *h* надо заполнить сосуд водой (*n* = 4/3), чтобы наблюдатель смог увидеть предмет *F*, находящийся на расстоянии *b* = 10 см от точки *D*?

**Решение:**

Так как, согласно условию задачи, глаз не видит дна сосуда, а сосуд имеет форму куба, угол падения луча зрения на поверхность жидкости равен α = 45° (рис. 2).

Из прямоугольного треугольника *NKF* видно, что http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-1-1.gif.  
Отсюда . (1)

**К**

**β**

**h**

**N**

**F**

**D**

**С**

**A**

**B**

**α**

Согласно закону преломления http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-1-4.gif.  
Тогда

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-1-5.gif; http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-1-6.gif. (2)  
После подстановки (2) в (1) получим:

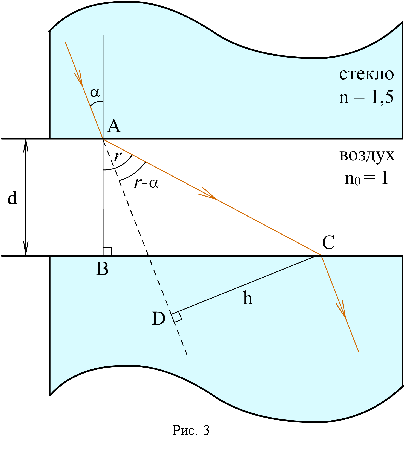
http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-1-7.gif

*Ответ*: http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-1-7.gif

**Задача №2.**

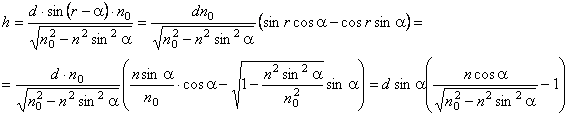
 Световой луч распространяется в стекле с показателем преломления *n* = 1,5. На его пути встречается щель, заполненная воздухом. Грани щели плоские и параллельные, расстояние между гранями равно *d* = 3 см, угол падения луча на грань α = 30°. На какое расстояние сместится световой луч, вышедший из щели, относительно продолжения падающего луча?

**Решение:**



Из прямоугольного треугольника *ADC* (рис. 3) видно, что боковое смещение луча равно *h* = *AC*·sin(*r* - α).  
Из прямоугольного треугольника *АВС* выразим *АС*:

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-2-2.gif.  
Согласно закону преломления http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-2-3.gif, где *n*0 - показатель преломления воздуха (*n*0 = 1).  
Отсюда http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-2-4.gif. Тогда



http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-2-6.gif см.

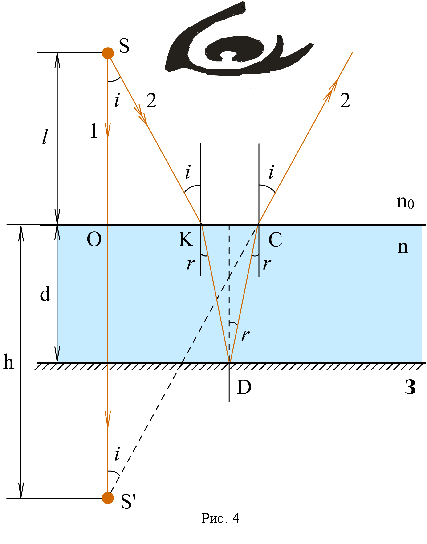
*Ответ*: http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-2-7.gif. 

**Задача №3.**

На дне стеклянной ванны лежит зеркало, поверх которого налит слой воды высотой *d* = 20 см. В воздухе на высоте *l* = 30 см над поверхностью воды висит лампа. На каком расстоянии от поверхности воды смотрящий в воду наблюдатель увидит изображение лампы в зеркале? Показатель преломления воды *n* = 1,33.

**Решение:**

Для построения изображения *S*´ выберем два луча (рис. 4). Луч 1, направленный из точки *S* по нормали к поверхности воды, не преломляется. Луч 2, направленный под небольшим углом *i* к нормали, в точке *К* преломляется. Обозначим угол преломления через *r*. Преломленный луч падает на зеркало З в точку*D* под углом *i*, отражается от зеркала под углом *r* и на границе вода-воздух в точке *С* выходит под углом *i* к нормали. На пересечении луча 1 и продолжения луча 2 в точке *S*´ находится мнимое изображение точки *S*.



Из прямоугольного треугольника *S*´*ОС* выразим *h*:

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-3-2.gif.  
Из прямоугольного треугольника *SOK* получим *OK* = *l* ·tg *i*. Из треугольника *KCD* получим *KC* = 2*d* · tg *r*. Тогда

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-3-3.gif.  
Так как для малых углов tg *i* ≈ sin *i*, то http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-3-4.gif , тогда

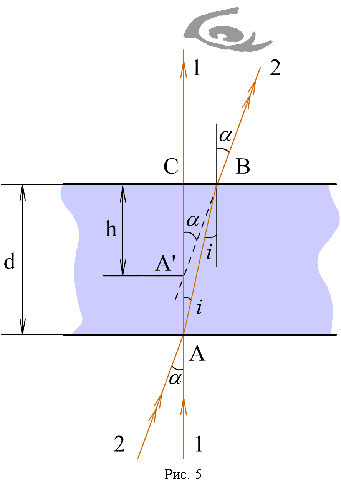
http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-3-5.gif.

*Ответ*:http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-3-5.gif. 

**Задача №4.**

 На нижней стороне плоскопараллельной стеклянной пластинки нанесена чернилами точка, которую наблюдатель видит на расстоянии *h* = 5 см от верхней поверхности. Определите толщину *d* пластинки, если луч зрения перпендикулярен к поверхности пластинки, показатель преломления стекла *n* = 1,6. Считать для малых углов   
sin α ≈ tg α ≈α.

**Решение:**



Чернильное пятно, находящееся в точке *А* на нижней стороне стеклянной пластинки, рассматривается сверху и, как видно из рис. 5, кажется находящимся в точке *A*´. Поясним это. Направим в точку *А* два луча: луч 1 идет по нормали, не преломляясь. Луч 2, направленный под небольшим углом α, преломляется. Обозначим угол преломления через *i*. Преломленный луч падает в точку *В* под углом преломления *i* и выходит из пластинки под углом α. Чернильное пятно кажется находящимся на пересечении луча 1 и продолжения луча 2, проведенного из точки *В* в точку *A*´.

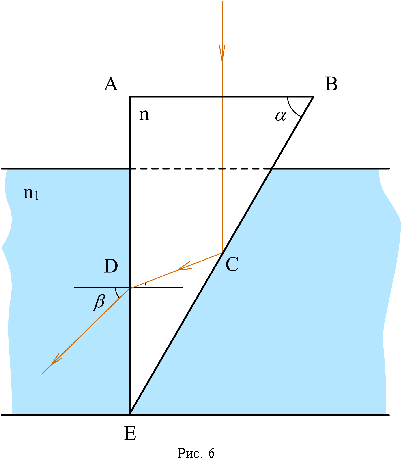
Из прямоугольного треугольника *АВС* видно, что http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-4-2.gif. Из прямоугольного треугольника *A*´*ВС*: *BC* = *h* · tg α. После подстановки *ВС* получим для *d*:

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-4-3.gif.

*Ответ*: *d* ≈ *h* · *n* ≈ 8 см.

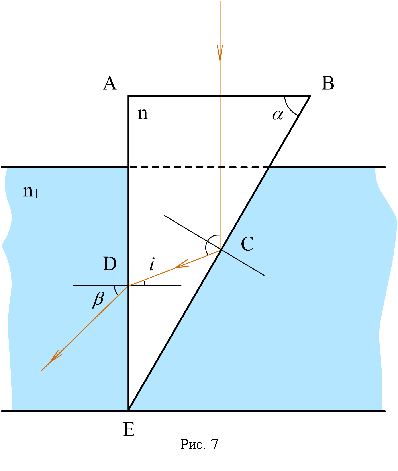
**Задача №5.**

 В воду опущен прямоугольный стеклянный клин с показателем преломления стекла *n* = 1,5. При каком минимальном значении угла α (рис. 6) луч света, падающий нормально на грань *АВ*, достигнет грани *АЕ*? Под каким углом β он выйдет из призмы?



**Решение:**

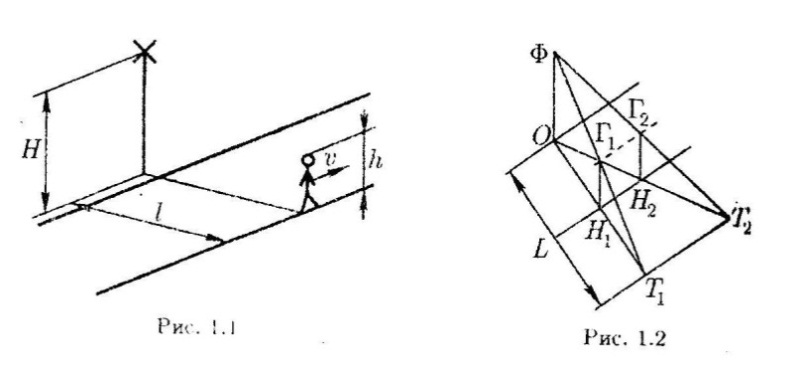
Чтобы луч света полностью вышел из призмы, необходимо, чтобы он падал на грань *ВЕ* в точке падения *С* под углом αпред, который по построению равен искомому углу призмы α (рис. 7). В соответствии с законом преломления http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-5-2.gif  
Отсюда sin αпред = 0,8888, αпред = α = 62°30´.



Из треугольника *CDE*, используя свойство, что сумма углов треугольника равна 180°, найдем угол *I* = 2α - 90°. Снова воспользуемся законом преломления http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-5-4.gif,

откуда http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic5-5-5.gif, β ≈ 40°19´.

*Ответ*: α = 62°30´; β = 40°19´.

**Задача №6.**  
Поздним весенним вечером молодой человек, рост которого равен **h,** идёт по краю тротуара со скоростью **v**. На расстоянии **l**от края тротуара стоит столб **H,** на самом верху которого горит фонарь (рис. 1.1). Как изменяется скорость тени головы человека по мере его движения вдоль тротуара?  
  
  
**Решение:**  
  
Судя по условию задачи, фонарь можно считать точечным источником. Построим ход лучей, выходящих из фонаря и проходящих над головой молодого человека, для двух его положений (рис. 1.2). Пусть Г1 и Г2 – положение головы, H1 и H2– положение ног в рассматриваемые моменты времени, а Т1 и Т2 – положение тени головы. Прямые Г1Г2и Н1Н2 параллельны, следовательно, они параллельны прямой Т1Т2. Отсюда следует, что тень головы человека движется по прямой линии, параллельно краю тротуара. Треугольник ФГ1Г2и ФТ1Т2подобны.  
  
Подобны и треугольники ОН1Н2 и ОТ1Т2. Расстояние *L*от фонарного столба до линии Т1Т2 найдём из пропорции *L/Н = (L – l)/h*, откуда путём несложных преобразований получаем http://akt-zakon.ru/pars_docs/refs/8/7282/7282_html_263e0608.png  
Теперь рассмотрим подобные треугольники Т1ОТ2 и Н1ОН2. Пусть за единицу времени человек прошёл путь от Н1 до Н2. За это же время тень головы пройдёт путь Т1Т2. Значит отношение скорости *V*т тени к скорости *V*человека равно отношению L к l, то есть *V*т/*V*=*L/l*. Откуда следует, что скорость *V*тпостоянна и равна *V*т = http://akt-zakon.ru/pars_docs/refs/8/7282/7282_html_m57c9addc.png .

**Задачи для самостоятельной работы**

**Задача №1**

Точечный источник *S* расположен на расстоянии *h* = 1,5 см от передней поверхности плоскопараллельной пластинки толщиной *d* = 1,2 см, посеребренной с задней стороны. На каком расстоянии *х* от источника находится его изображение, получающееся в результате отражения лучей от задней поверхности пластинки? Показатель преломления вещества пластинки *n* = 1,6. Наблюдение производится по направлению, перпендикулярному к пластинке, под малыми углами..

*Ответ*:http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pics5-1-1.gif.

**Задача №2**

На горизонтальном дне бассейна лежит плоское зеркало. Луч света, преломившись на поверхности воды, отражается от зеркала и выходит в воздух на расстоянии *d* = 1,5 м от места вхождения. Глубина бассейна *h* = 2 м, показатель преломления воды *n* = 1,33. Определите угол падения луча α.

*Ответ*: α ≈ 28°.

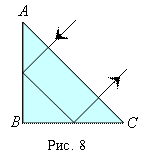
**Задача №3**

Сечение стеклянной призмы имеет форму равностороннего треугольника. Луч падает на одну из граней по нормали к ней. Найдите угол φ между падающим лучом и лучом, вышедшим из призмы. Показатель преломления стекла *n* = 1,5.

*Ответ:* φ = 120°.

**Задача №4**

Параллельный пучок света падает на поверхность воды под углом α = 60°. Ширина пучка в воздухе *h* = 5 см. Определите ширину пучка в воде, показатель преломления которой *n* = 1,33.

*Ответ:* 7,6 см.

**Задача №5**

При каких значениях показателя преломления прямоугольной призмы возможен ход луча, изображенный на рис. 8? Сечение призмы - равнобедренный треугольник, луч падает на грань *АС* нормально.

*Ответ:* *n* > 1,41.

**2. Качественные задачи. Световые явления. Геометрическая оптика**

Использование качественных задач способствует более глубокому пониманию физических теорий, формированию правильных физических представлений, следовательно, предупреждает формализм в знаниях учащихся. Решение качественных задач вызывает не только необходимость анализировать и синтезировать явления, т.е. логически мыслить, но и приучает учащихся к точной, лаконичной, литературно и технически грамотной речи.



**Задача № 1**

Почему лучи прожекторов, которые применяли во время войны для обнаружения самолётов, так резко обрываются в воздухе?

**Ответ:**

[](http://iralebedeva.ru/images/zankovsky_9b.jpg)*Луч слабеет не только вследствие расхождения, но и из-за атмосферного рассеяния. Поэтому его интенсивность падает экспоненциально, обрывается довольно резко*

**Задача №2**Источником какого света для нас являются сумерки, утренние и вечерние зори?

**Ответ*:****Источниками рассеянного солнечного света, молекулами атмосферных газов и пылевых частиц, находящихся в атмосфере.*

**[](http://iralebedeva.ru/images/aivazovsky_17b.jpg)Задача №3**«Утро было великолепным, но наш рулевой, взглянув на восходящее солнце, опасливо покачал головой и многозначительно пробормотал: «Красно солнце поутру моряку не по нутру». И правда, солнце выглядело таким зловещим, что несколько резвившихся в небе лёгких кудрявых облаков, словно испугавшись его, куда-то поспешно скрылись…»  
«Тайфун у берегов Японии». Джек Лондон, 1893 год.  
Поясните слова рулевого: «Красно солнце поутру моряку не по нутру»? Почему при восходе и особенно закате Солнце играет различными цветами?

**Розовые горы**  
Занковский  
Илья Николаевич  
1890-е

**Туманное утро в Италии** Айвазовски Иван Константинович 1864 г.

**Ответ:** *Надо сказать, что существует много пословиц, в которых красное утреннее небо рассматривается как предостережение дождя. Шекспир писал, что красное утро всегда предвещает бурю полям, а моряку – крушение. Красный цвет солнца предвещает о сильных ветрах, особенно в верхних слоях атмосферы и определяется присутствием в атмосфере сопутствующих дождю пыли и влажности.  
Солнечные лучи при закате и восходе проходят большой путь в воздухе. По теории Рэлея, будут рассеиваться синие, голубые и фиолетовые лучи, а проходят лучи красной части спектра. Поэтому Солнце окрашивается в жёлтые, розовые, красные тона, противоположная сторона неба кажется окрашенной в синий с фиолетовым оттенком цвет. Восход даёт более яркую и чистую картину, так как воздух за ночь делается чище.*

**Задача №4**  
Можно ли получить от непрозрачного предмета четыре полутени без тени?

**Ответ:***Можно.*Комментарий: Представьте себе футболиста в центре стадиона при вечернем освещении его прожекторами, установленными высоко по углам стадиона.

**Задача №5**  
Может ли протяжённость тени от верёвки, натянутой между вертикальными столбами, быть большей расстояния между столбами?

**Ответ:***Да может, если верёвка натянута, например, над оврагом.*

**Задача №6**

Может ли велосипедист обогнать свою тень?

**Ответ:***Может, если тень образуется на стене, параллельно которой движется велосипедист, а источник света движется быстрее велосипедиста и в том же направлении.*

****

**Задача №7** Почему в солнечный день не следует поливать водой листья огородных и садовых растений?

**Ответ:***Капли фокусируют солнечный свет на поверхность листьев, и растения получают солнечные ожоги.*

****Задача № 7**Почему даже в совершенно чистой мы видим окружающие предметы весьма неясно? Хорошо ли видит водолаз? Какую функцию выполняю маски и очки для плавания под водой?

**Ответ:** *При переходе из воды в глаз лучи света мало преломляются и не могут дать резкого изображения на сетчатке глаза. Чтобы яснее видеть под водой, пловец надевает двояковыпуклые очки из сильно преломляющего стекла. Если глаза пловца закрывает герметическая маска, то глаза находятся в воздухе, пловец видит хорошо.*

**

**Задача № 8**  
Почему хрусталик рыбьего глаза имеет почти сферическую форму?

**Ответ:** *относительный показатель преломления хрусталика рыбьего глаза, находящегося в воде невелик. Поэтому увеличение оптической силы хрусталика достигается большой кривизной его поверхности.*

**[](http://iralebedeva.ru/images/ostroukhov_otrb.jpg)Задача № 9**  
Почему в воде изображения неба, облаков, деревьев всегда темнее, чем в действительности?

Речка в полдень. Остроухов Илья Семёнович, 1892 г.

***Отраженье в воде***«В поверхности быстрого потока не различить отражений ни близких, ни далёких: даже если не мутен он, даже если свободен от пены – в постоянной струйчатой ряби, в неугомонной смене воды отраженья неверны, неотчётливы, непонятны.  
Лишь когда поток через реки и реки доходит до спокойного широкого устья, или в заводи остановившейся, или в озерке, где вода не продрогнет, – лишь там мы видим в зеркальной глади и каждый листик прибрежного дерева, и каждое пёрышко тонкого облака, и налитую голубую глубь неба.  
*«Этюды и крохотные рассказы». Александр Исаевич Солженицын*

**Ответ:** *Световые лучи отражаются от поверхности воды не полностью, часть их поглощается водой, или уходит внутрь*.

****Задача № 10**  
Дно пруда не видно из-за блеска отражённого света. Как можно погасить отражённый свет и увидеть дно?

**Ответ:** *Свет, отраженный от поверхности воды, является частично поляризованным. Посмотреть на воду через поляроид.*

**Задача № 11**Почему с моста лучше видно рыбу, плывущую в реке, чем с низкого берега?

**Ответ:** *Когда рыба рассматривается с моста, лучи света, идущие от нее, проходят поверхность воды почти перпендикулярно к ней. При этом свет отражается от поверхности воды незначительно, и поэтому световой поток, идущий от рыбы, сравнительно велик. Если же рассматривать рыбу с низкого берега, то лучи, идущие от рыбы к наблюдателю, образуют с нормалью к поверхности большой угол и большая часть светового потока отражается от поверхности. В глаз наблюдателя, кроме того, попадают лучи солнца, создающие слепящий фон.*

*При наблюдении с моста в глаз попадают те лучи, которые падали на поверхность воды и отражались от нее почти под прямым углом. Отражаются эти лучи сравнительно слабо и создают неяркий фон. Наоборот, отражение лучей, попадающих на поверхность под большим углом, велико и солнечный свет при рассматривании рыбы с берега создает яркий фон, ухудшающий условия наблюдения рыбы.*

**[](http://iralebedeva.ru/images/kamenev_1b.jpg)****Задача №** **12**  
На поверхности реки, озера или моря в направлении Луны видна сверкающая лунная дорожка. Объясните, как она образуется. Можно ли наблюдать лунную дорожку на идеально гладкой спокойной поверхности воды? Почему дорожка всегда направлена на наблюдателя?

**Лунная ночь на реке. Каменев Лев Львович, 1870 г.**

**Ответ***: Дорожка на поверхности воды возникает вследствие отражения света от мелких волн, которые ориентированы в различных направлениях. Поэтому при самых различных положениях наблюдателя отражённые лучи попадают к нему в глаз. Каждый наблюдатель видит «свою» лунную дорожку*

**Задача № 13**  
В безлунную ночь на небе виден зодиакальный свет и противосияние. Зодиакальный свет – это туманный треугольник, который можно наблюдать на западе в течение нескольких часов после захода солнца или на востоке – перед его восходом. Противосияние – это довольно слабое свечение, возникающее в

противоположном солнцу направлении. Чем объяснить такие свечения?

****Ответ:***Эти свечения связаны с рассеянием света космической пылью, поступающей из пояса астероидов. Зодиакальный свет обусловлен пылью, находящейся внутри орбиты Земли. Противосияние – это свет, рассеянный пылью, находящейся за пределами земной орбиты.*

**Задача № 14**  
Иногда вокруг Солнца или Луны наблюдаются круги (малое Гало). Оно находится обычно на угловом расстоянии в 22° и окрашено изнутри красным, а снаружи – белым или синим цветом. Отчего оно возникает? Правда ли, что Гало считают предвестником дождя?

**Ответ:***Малое Гало обусловлено преломлением света в падающих кристалликах льда. Главные оси кристаллов, на которых образуется Гало, ориентированы случайным образом в плоскости, перпендикулярной лучу падающего света. Поэтому в любой точке под углом 22° имеются кристаллы, которые ориентированы так, что дают яркий свет. Сильнее всего преломляются синие лучи, поэтому внешняя сторона открашена в этот цвет.*

**Задача № 15**

Почему обычные облака в основном белые, а грозовые тучи чёрные?

**[](http://iralebedeva.ru/images/savrasov_2b.jpg)Ответ:***Размер водяных капель в облаке гораздо больше молекул воздуха, поэтому свет от них не рассеивается, а отражается. При этом он не разлагается на составляющие, а остаётся белым. Очень плотные грозовые облака либо вообще не пропускают свет либо отражают его вверх.*

***Для любознательных: масса 1 км2 облаков составляет ≈ 2 000 000 кг.***

**Рожь. Саврасов Алексей Кондратьевич, 1881 г.**

**[](http://iralebedeva.ru/images/kryzhitsky_1b.jpg)Задача № 16**  
Почему не всё небо имеет одинаковый оттенок, а часть окрашена в более яркий голубой цвет?

**Ответ:***Солнечный свет рассеивается на молекулах воздуха, причём свет с меньшей длиной волны рассеивается сильнее. Поэтому, когда Солнце близко к горизонту, небо над наблюдателем в основном голубое. Голубизна неба на расстоянии больше 90° от Солнца слабее, так как небо освещено светом, прошедшим больший путь в атмосфере и потерявшим синюю составляющую.*

**Озеро. Крыжицкий Константин Яковлевич, 1896 г.**

**Задача № 17**

Солнечные лучи, пробиваясь сквозь тучи, представляются радиально расходящимися во все стороны. Между тем солнечные лучи, падающие на Землю , параллельны. Как объяснить такое противоречие?

**Ответ:** *Расхождение лучей объясняется перспективным эффектом схождения параллельных прямых.*

**Задача № 18**Если посмотреть на окружающие тела через тёплый воздух, поднимающийся от костра, то он кажется дрожащим. Почему?

**Ответ*:*** *Показатель преломления воздуха над костром меняется в зависимости от температуры воздуха над костром.*

**Задача № 19**

**В какое время дня – утром, в полдень или вечером размеры тени от облака на поверхности земли наиболее близки к размерам самого облака?

**Ответ*:*** *В полдень, т.к. свет падает сверху, то есть перпендикулярно поверхности, и размер проекции равен размеру предмета (правда, равен только на экваторе и только если считать солнечный свет строго параллельным пучком*

**

**Задача № 20**

При слабом освещении синий цвет кажется ярче красного, но при хорошем освещении красный кажется ярче синего. Почему относительная яркость цветов зависит от уровня освещения?

**Ответ:***При сильной освещённости зрение обусловлено колбочками, а при слабой – палочками. Колбочки бывают трёх типов, чувствительных к цветам: красному, жёлтому, синему. Палочки наиболее чувствительны к зелёному свету и малочувствительны к красному. Если увеличивать освещённость, то зрение переключается с «палочкового» на «колбочковое». Красные цвета в сумерках кажутся более тёмными, нежели зелёные, а в ночное время – практически чёрными, в то время как синие объекты «становятся» более светлыми (эффект Пуркинье).*

**Задача № 21**Почему вечером человек хуже различает очертания предметов, чем днём?**Ответ:***Вечером зрачки у человека расширяются. Но хрусталик – не идеальная линза. Изображения, даваемые различными участками хрусталика, из-за аберрации смещены относительно друг друга. Чем большая часть хрусталика «работает», тем более размытое изображение.*

**Задача № 29**Как объяснить появление радуги после дождя?

**Ответ*:*** Радуга возникает из-за того, что солнечный [свет](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D0%B5%D1%82) [преломляется](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5) и [отражается](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5_(%D1%84%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA%D0%B0)) [капельками](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%B0%D0%BF%D0%BB%D1%8F) воды ([дождя](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%BE%D0%B6%D0%B4%D1%8C) или [тумана](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D1%83%D0%BC%D0%B0%D0%BD)), парящими в [атмосфере](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D1%82%D0%BC%D0%BE%D1%81%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B0). Эти капельки по-разному отклоняют свет разных [цветов](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B2%D0%B5%D1%82) ([показатель преломления](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D0%B7%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C_%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%BC%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F) воды для более длинноволнового (красного) света меньше, чем для коротковолнового (фиолетового), поэтому слабее всего отклоняется красный свет — на 137°30’, а сильнее всего фиолетовый — на 139°20’). В результате [белый](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B5%D0%BB%D1%8B%D0%B9_%D1%86%D0%B2%D0%B5%D1%82) свет разлагается в [спектр](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80) (происходит [дисперсия](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%81%D0%BF%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D0%B2%D0%B5%D1%82%D0%B0) света). Наблюдатель, который стоит спиной к источнику света, видит разноцветное свечение, которое исходит из пространства по концентрическим окружностям (дугам).

**Задача № 30** Радуга, представляющаяся с земли дугой, с самолёта имеет вид радужного круга с тенью самолёта в центре. Почему?

**Ответ:**   *Оптическое явление в облаках  (****Гло́рия****)*

*Наблюдается на облаках, расположенных прямо напротив источника света. Наблюдатель должен находиться на горе или в воздухе, а источник света (*[*Солнце*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BB%D0%BD%D1%86%D0%B5)*или*[*Луна*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9B%D1%83%D0%BD%D0%B0)*) — за его спиной.*

*Представляет собой цветные кольца света на облаке вокруг тени наблюдателя. Внутри находится голубоватое кольцо, снаружи — красноватое, далее кольца могут повторяться с меньшей интенсивностью. Угловой размер намного меньше, чем у*[*радуги*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B0%D0%B4%D1%83%D0%B3%D0%B0)*— 5…20°, в зависимости от размера капель в облаке.*

*Глория объясняется*[*дифракцией*](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B0%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F)*света, ранее уже отражённого в капельках облака так, что он возвращается от облака в том же направлении, по которому падал, то есть к наблюдателю.*

**Задача № 31**  
Как далеко от нас образуется радуга, т.е. на каком расстоянии находятся те капли воды, благодаря которым она и возникает?

**Ответ:***Для радуги имеет значение лишь угол между падающим солнечным лучом и линией зрения наблюдателя. Капли же могут находиться на расстоянии от нескольких метров до нескольких километров. Можно наблюдать радугу, возникающую на фоне струй водопада или фонтана.*

****Задача №32**  
Почему блестят капельки росы на солнце, почему “играют” бриллианты”, сверкает хрусталь? Почему блестят пузырьки воздуха в воде?

**Ответ*:*** *Полное внутреннее отражение наблюдается при переходе света из среды оптически более плотной в оптически менее плотную среду.*

*Явление полного отражения можно наблюдать на примере. Если налить в стакан воду и поднять её выше уровня глаз, то поверхность воды при рассмотрении её снизу кажется посеребрённой вследствие полного отражения света.*

**Задача № 33**Почему поверхность одних предметов кажется нам тусклой, матовой, а других – глянцевой, блестящей? Приведите примеры поверхностей обоих типов.

**Задача № 34**Юный рыбак, сидя на берегу озера, видит на гладкой поверхности воды изображение утреннего Солнца. Куда переместится это изображение, если он будет наблюдать его стоя?

**Ответ***: Удалится от берега.*

**Задача № 35**Почему хорошо видны фигуры, нарисованные на запотевшем оконном стекле?

**Ответ:***Запотевшее стекло рассеивает свет и кажется молочно-белым, а в тех местах, где стёрты капельки воды, стекло видно либо тёмным (если фон тёмный – на улице поздний вечер или ночь), либо светлым, либо зеркально блестящим.*

**Задача № 36**

М. В. Ломоносов в одной из своих записей ставит такой вопрос: «Любой цвет от смачивания водой делается гуще. Почему? Надо подумать.» Как ответить на этот вопрос?

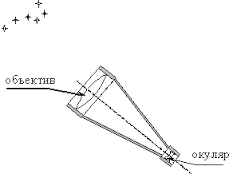
****Ответ:** *Цвет поверхности определяется спектральным составом лучей, отражаемых ею. Когда поверхность сухая, то к лучам. соответствующим окраске поверхности. добавляется рассеянный белый свет* *от неровной поверхности. Поэтому цвет поверхности оказывается менее ярким. Когда поверхность пропитана водой, неровности затягиваются поверхностной пленкой воды и рассеянное излучение исчезает. Поэтому основной тон окраски поверхности воспринимается нами как более темный.*

**Задача № 37**

Одна сторона стекла полированная, а другая матовая (исцарапанная). Если стекло прижать матовой стороной к надписи на листе бумаги, то она хорошо видна. Если стекло отодвинуть, то надписи не видно. Объясните демонстрируемое явление.

**Ответ*:*** *Когда бумага прижата вплотную, то рассеяние света от «точки» надписи происходит на малом участке матовой поверхности, примыкающей к точке. Тогда лучи, идущие в направление наблюдателя от разных точек, не совпадают и детали надписи видны чётко. Когда лист бумаги отодвинут, то на любой малый участок матовой поверхности одновременно попадают лучи от разных точек надписи и в направление наблюдателя будут совместно идти лучи света от всех точек надписи. Поэтому надпись полностью «размажется».*

**Задача № 38**

Для наблюдения за ночным небом два друга купили себе по телескопу. Устройство этих двух телескопов и используемые материалы абсолютно одинаковые. Единственное различие в том, что у одного из них диаметр объектива равен 15 см, а у другого – 30 см. Размеры окуляра и его оптическая сила у обоих телескопов одинаковые. В какой из телескопов лучше видны неяркие звѐзды? Объясните свой ответ

**Ответ*:*** *Ночью на поверхность земли падает свет от звѐзд. Поскольку звѐзды сильно удалены от Земли, свет от них можно считать параллельным лучом (не расходящимся и не сходящимся). При рассматривании звезд без каких либо оптических приборов, в глаз попадает некоторая часть света от каждой звезды. Однако при использовании, например, телескопа, в глаз попадает больше света от рассматриваемой звезды. Очевидно, чем больше объектив телескопа, тем больше света от звезды попадает на линзу и тем больше его попадает в глаз наблюдателя. Поэтому в телескоп с большим объективом лучше видны неяркие звѐзды, от которых до Земли доходит мало света*

**Задача № 39**

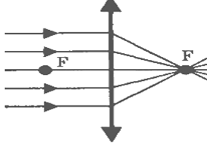
В ясные солнечные дни на загородных асфальтированных шоссе водители часто наблюдают "миражи": некоторые участки асфальта, находящиеся впереди автомашины на расстоянии 80-100 м, кажутся покрытыми лужами. При приближении лужи исчезают и снова появляются впереди на других местах примерно на том же расстоянии. Как объясняется это явление?

**Ответ*:*** *Это называется "озёрный мираж". Тёмный асфальт сильно нагревается на солнце, поэтому слой воздуха у асфальта тоже нагрет сильнее, чем остальной воздух. Значит, его плотностть меньше, и меньше показатель преломления. Поэтому лучи света, идущие почти паралельно асфальту (то есть - с точки зрения человека, который на это безобразие смотрит, - от горизонта) преломляются наверх, поэтому мы видим как бы водную гладь. С точки зрения физики - полное внутренне отражение. Именно поэтому такой мираж называется "озёрный"*

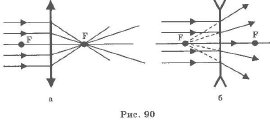
**3. Линзы. Построение изображения в линзах**

**3.1. Основные понятия**

**Линзой** называется прозрачное тело, ограниченное с двух сторон криволинейной поверхностью.

Линза может быть собирающей или рассеивающей.

Линзы, которые преобразуют пучок параллельных лучей в сходящийся и собирают его в одну точку называют **собирающими**  линзами.

Линзы, которые преобразуют пучок параллельных лучей в расходящийся называют **рассеивающими** линзами.

Линза, толщина которой много меньше радиусов кривизны ее поверхностей называют **тонкой линзой.**

Прямая, проходящая через центры кривизны поверхностей линзы называется **главной оптической осью**.

**Оптический центр линзы** - это точка (О), лежащая на главной оптической оси, проходя через которую луч не преломляется.

Прямые, проходящие через оптический центр линзы и не совпадающие с главной оптической осью, называются **побочными оптическими осями** (О3О4).

Точка, в которой лучи после преломления собираются, называется **фокусом**. Для собирающей линзы – действительный. Для рассеивающей – мнимый.

**Фокальной плоскостью** называется плоскость, проходящая через фокус линзы перпендикулярно ее главной оптической оси.

О3

О4

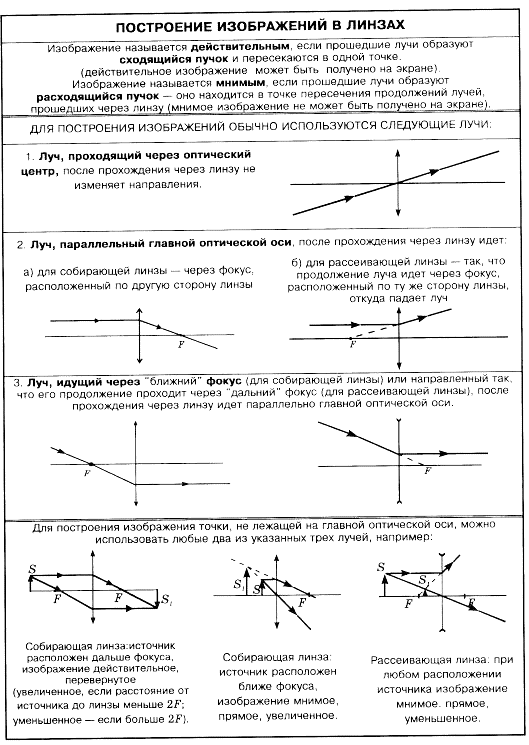
Фокальная плоскость

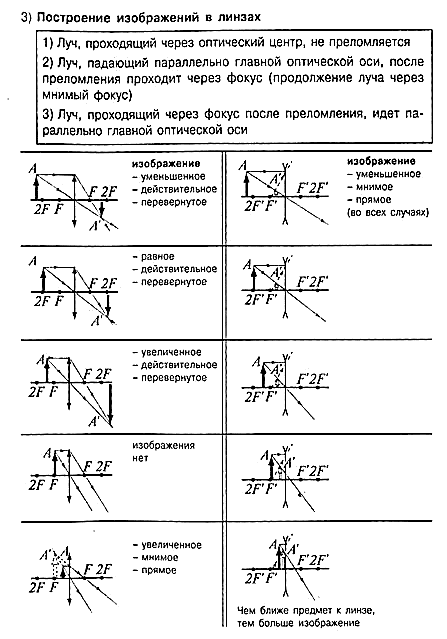
Главная оптическая ось

F

F

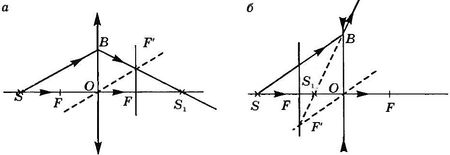
**3.2. Построение изображения в линзах**





**Построение изображения точечного источника света расположенного на главной оптической оси.**

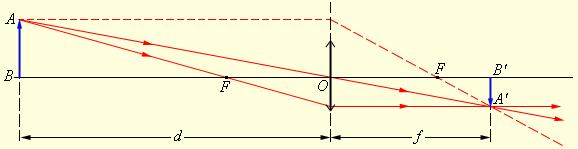
Чтобы найти, где образуется его изображение *S*1, проведем из точки *S* два луча: луч *SO* вдоль главной оптической оси (он проходит через оптический центр линзы, не преломляясь) и луч *SB*, падающий на линзу в произвольной точке *В*. Проведем побочную оптическую ось, параллельную лучу *SB* (показана штриховой линией). Начертим заднюю фокальную плоскость в случае собирающей линзы (переднюю фокальную плоскость в случае рассеивающей линзы). Побочная ось пересечет фокальную плоскость в побочном фокусе *F'.* Через этот побочный фокус пройдут все параллельные данной оптической оси лучи после преломления в собирающей линзе (или продолжения преломленных лучей в рассеивающей линзе), следовательно, и луч *SB.* Преломленный луч (или его продолжение) пересечет главную оптическую ось в точке *S*1 которая и является изображением точечного предмета *S*.



**3.3. Формула тонкой линзы**

Положение изображения и его характер (действительное или мнимое) можно также рассчитать с помощью **формулы тонкой линзы**. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через *d*, а расстояние от линзы до изображения через *f*, то формулу тонкой линзы можно записать в виде:

http://ok-t.ru/studopediaru/baza2/2064462954318.files/image884.gif

Величину *D*, обратную фокусному расстоянию, называют **оптическойсилой** линзы. Единицей измерения оптической силы является **диоптрия** (дптр). Диоптрия – оптическая сила линзы с фокусным расстоянием 1 м:

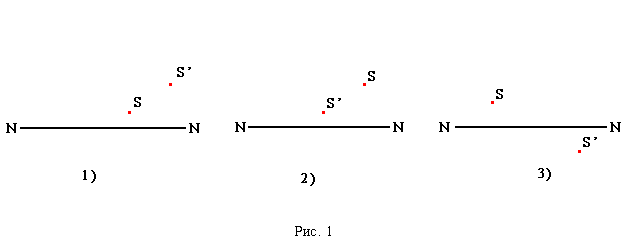
|  |
| --- |
| 1 дптр = м–1. |

В зависимости от положения предмета по отношению к линзе изменяются линейные размеры изображения. **Линейным увеличением** линзы Γ называют отношение линейных размеров изображения *h'* и предмета *h*. Величине *h'* удобно приписывать знаки плюс или минус в зависимости от того, является изображение прямым или перевернутым. Величина *h* всегда считается положительной. Поэтому для прямых изображений Γ > 0, для перевернутых  Γ < 0.

http://ok-t.ru/studopediaru/baza2/2064462954318.files/image886.gif

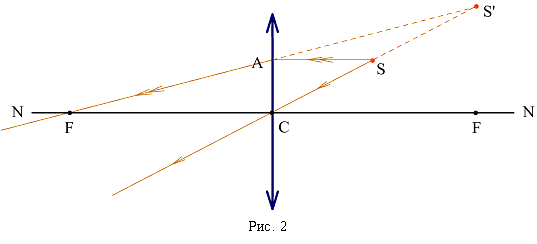
**3.4. Примеры решения расчетных задач**

**Задача №1.** Заданы главная оптическая ось линзы NN, положение источника S и его изображения S´. Найдите построением положение оптического центра линзы С и ее фокусов для трех случаев (рис. 1).



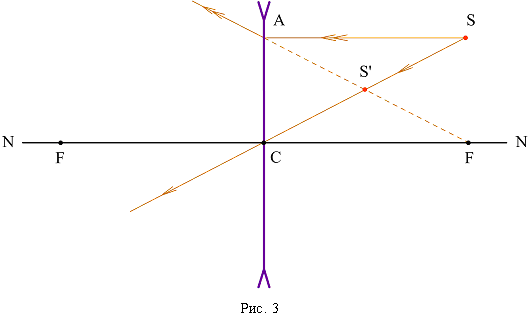
Решение:

Для нахождения положения оптического центра С линзы и ее фокусов F используем основные свойства линзы и лучей, проходящих через оптический центр, фокусы линзы или параллельно главной оптической оси линзы.

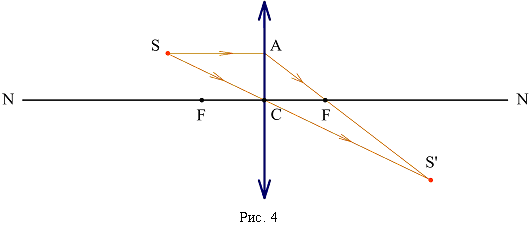


Случай 1. Предмет S и его изображение расположены по одну сторону от главной оптической оси NN (рис. 2).

Проведем через S и S´ прямую (побочную ось) до пересечения с главной оптической осью NN в точке С. Точка С определяет положение оптического центра линзы, расположенной перпендикулярно оси NN. Лучи, идущие через оптический центр С, не преломляются. Луч SA, параллельный NN, преломляется и идет через фокус F и изображение S´, причем через S´ идет продолжение луча SA. Это значит, что изображение S´ в линзе является мнимым. Предмет S расположен между оптическим центром и фокусом линзы. Линза является собирающей.

Случай 2. Проведем через S и S´ побочную ось до пересечения с главной оптической осью NN в точке С - оптическом центре линзы (рис. 3).

Луч SA, параллельный NN, преломляясь, идет через фокус F и изображение S´, причем через S´ идет продолжение луча SA. Это значит, что изображение мнимое, а линза, как видно из построения, рассеивающая.

Случай 3. Предмет S и его изображение лежат по разные стороны от главной оптической оси NN (рис. 4).

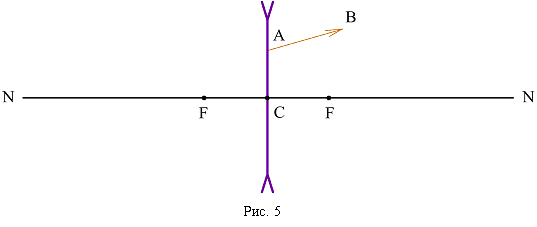
Соединив S и S´, находим положение оптического центра линзы и положение линзы. Луч SA, параллельный NN, преломляется и через фокус F идет в точку S´. Луч через оптический центр идет без преломления. 

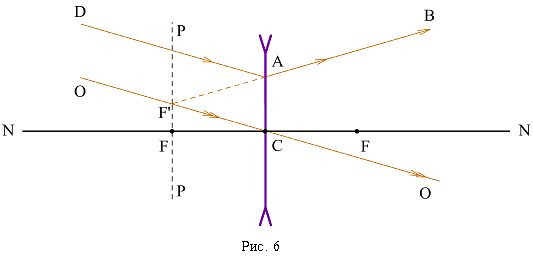
**Задача №2**.

 На рис. 5 изображен луч АВ, прошедший сквозь рассеивающую линзу. Постройте ход луча падающего, если положение фокусов линзы известно.

Решение:

Продолжим луч АВ до пересечения с фокальной плоскостью РР в точке F´ и проведем побочную ось ОО через F´ и С (рис. 6).

Луч, идущий вдоль побочной оси ОО, пройдет, не меняя своего направления, луч DA, параллельный ОО, преломляется по направлению АВ так, что его продолжение идет через точку F´.



**3.5. Фокусное расстояние и оптическая сила систем из двух линз**

Во многих оптических приборах свет последовательно проходит через две или несколько линз. Изображение предмета, даваемое первой линзой, служит предметом (действительным или мнимым) для второй линзы, которая строит второе изображение и т. д. Таким образом, расчет оптической системы из двух или нескольких линз сводится к последовательному применению формулы линзы.

Главный фокус оптической системы – это точка на главной оптической оси, в которой собираются лучи, падающие параллельно главной оптической оси, после преломления их в оптической системе.

**F1**

**F1**

**F2**

**F2**

**F**

**O2**

**O1**

1

2

3

4

Построением можно определить фокусное расстояние.

**F1**

**F1**

**F2**

**F2**

**F**

**O2**

**O1**

1

*F1*

*F1*

*F2*

*F2*

*l*

*F*

B

K

M

N

**F2'**

Рассчитаем угол отклонения луча δ от первоначального расстояния.

**F1**

**F1**

**F2**

**F2**

**F**

**O2**

**O1**

1

B

K

**F2'**

δ₁

δ₁

δ₂

δ

δ₁

δ

1

Результирующий угол отклонения *δ* луча 1 оптической системой складывается из углов отклонения *δ****₁*** и *δ₂* каждой линзой в отдельности: *δ* = *δ****₁*** +*δ₂* .

***Формула тонкой линзы для системы линз***

Для тонких линз углы отклонения *δ*, *δ1*, *δ2* малы, поэтому можно считать, что

*tg δ ≈ δ; tg δ₁ ≈ δ₁; tg δ₂ ≈ δ₂*. Тогда фокусное расстояние:

*= +*

Изменение расстояния *l* между линзами позволяет изменять фокусное расстояние *F* оптической системы.

1. Тогда формула для системы из двух собирающих линз, если линзы располагаются вплотную друг к другу, будем выглядеть так:

*= + ,*

Оптическая сила системы близко расположенных линз равна сумме оптических сил линз этой системы.

*D = +*

2. Формула тонкой линзы для системы собирающей и рассеивающей линз.

Для рассеивающей линзы F₁< 0, формула фокусного расстояния:

*= +*

Для близко расположенных линз (*l* = 0, или *l* << |F₁|) оптическая сила равна сумме оптических сил линз системы:

*D = +*

Для рассеивающей линзы оптическая сила отрицательна т.е. *D1= -|D1|*

## **Примеры решение задач**

**Задача № 1**

На собирающую линзу с фокусным расстоянием  F  вдоль ее главной оптической оси падает параллельный пучок света. На расстоянии  L  от линзы (L>F)  перпендикулярно ее оптической оси расположен экран. На каком расстоянии  x  от линзы между ней и экраном нужно поместить вторую такую же линзу, чтобы диаметр пятна на экране стал равен первоначальному диаметру падающего пучка? Найти численное значение  x  для  F=10 см и  L=15  см.

**x**

**F1**

**L**

**A₁**

**O₁**

**O**

**А**

**F**

1. Ход одного из крайних лучей, ограничивающих пучок, изображен на рисунке. Видно, что диаметр пятна на экране будет равен первоначальному диаметру падающего пучка, если OA=F₁A₁.

2. Треугольник  AOF  равен треугольнику O₁F₁A₁ и длина отрезка  O₁F₁  совпадает с фокусным расстоянием линзы.

3. Вторую линзу нужно поместить так, чтобы экран находился в ее фокальной плоскости. x = L – F = 5 см.

**Задача № 2**

Оптическая система состоит из двух собирающих линз 1 и 2 с фокусными расстояниями F₁ = 10 см и F₂ = 5 см, находящихся на расстоянии L = 35 см друг от друга. Предмет находиться на расстоянии d₁ = 25 см от первой линзы. Определить, где находиться изображение, полученное с помощью такой системы. Чему равно увеличение, даваемое такой системой?

**F1**

**2F2**

**F2**

*d1*

*f1*

*l*

**B**

**B₁**

**А**

**2F1**

**F1**

**F2**

**А₁**

**B₂**

*d₂*

*f₂*

**А₂**

1. Из формулы линзы находим: f₁ = F₁d₁/(d₁ - F₁) = 16,33 см.

2. Увеличение, даваемое линзой: k₁ = f₁/d₁ = 0,66 или A₁B₁ = 0,66 см.

3. Из рисунка: d₂ = L - f₁ = 18,33 см.

4. Согласно формуле линзы: f₂ = F₂d₂/(d₂ - F₂) = 6,875 см, значит: k₂ = f₂/d₂ = 0,375, т.е. A₂B₂ = 0,375 A₁B₁ = 0,25 AB.

Иными словами, увеличение системы k = A₂B₂/AB = k₁k₂ = 0,25.

**Задача № 3**

На собирающую линзу с фокусным расстоянием *F*1 = 40 см падает параллельный пучок лучей. Где следует поместить рассеивающую линзу с фокусным расстоянием *F*2 = 15 см, чтобы пучок лучей после прохождения двух линз остался параллельным?

*d*

*F2*

N

N

E

A

P

P

K

D

B

C1

C2

F2

F2

F1

1. По условию пучок падающих лучей *ЕА* параллелен главной оптической оси *NN*, после преломления в линзах он должен таковым и остаться. Это возможно, если рассеивающая линза расположена так, чтобы задние фокусы линз *F*1 и *F*2 совпали.

2. Тогда продолжение луча *АВ*, падающего на рассеивающую линзу, проходит через ее фокус *F*2, и по правилу построения в рассеивающей линзе преломленный луч *BD* будет параллелен главной оптической оси *NN*, следовательно, параллелен лучу *ЕА*.

3. Из рисунка видно, что рассеивающую линзу следует поместить на расстоянии d=F1-F2=(40-15)(см)=25 см от собирающей линзы.

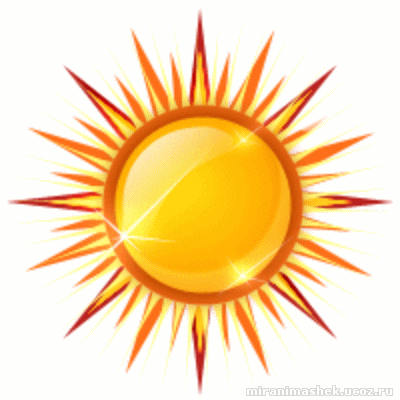
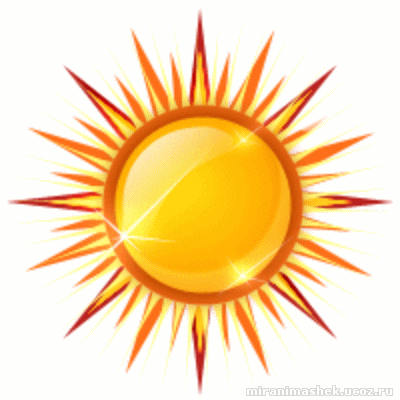
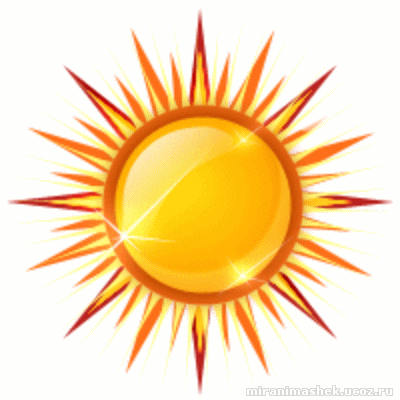
**Задача № 4**

Рассеивающая и собирающая линзы с фокусным расстоянием F1=10 см, и F2=15см расположены на расстоянии L=30 см друг от друга. На каком расстоянии r от источника света S находится изображение, даваемое этой системой линз, если расстояние от источника света Sдо рассевающей линзы d1=12 см?

f1

L

f2



**F2**

**F2**

**F1**

**F1**

**F2'**

**F1'**

r

d1

1. Из рисунка видно, что r = d₁ + L +f₂.

2. Согласно формуле линзы:

*+ = ⇒ = - = ⇒ f₂ =*

3. Из рисунка: d₂ = f₁ + L

4. Согласно формуле линзы:

- = - ⇒ = + = ⇒ *f*₁ =

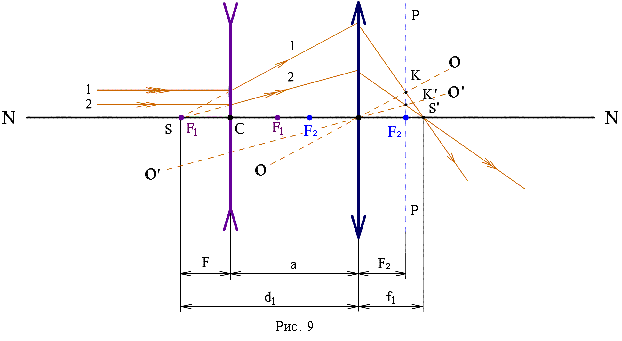
5. Подставим в формулы значения физических величин и получим f₁≈ 5,45см; f₂ ≈ 26см; d₂≈ 35,45см; r ≈ 68 см.

**Задача № 5**

Система состоит из двух линз с одинаковыми по модулю фокусными расстояниями. Одна из линз собирающая, другая рассеивающая. Линзы расположены на одной оси на некотором расстоянии друг от друга. Известно, что если поменять линзы местами, то действительное изображение Луны, даваемое этой системой, сместится на *l* = 20 см. Найдите фокусное расстояние каждой из линз.

Рассмотрим случай, когда параллельные лучи 1 и 2 падают на рассеивающую линзу.

После преломления их продолжения пересекаются в точке *S*, являющейся фокусом рассеивающей линзы. Точка *S* является "предметом" для собирающей линзы. Ее изображение в собирающей линзе получим по правилам построения: лучи 1 и 2, падающие на собирающую линзу, после преломления проходят через точки пересечения соответствующих побочных оптических осей *ОО* и *O´O´* с фокальной плоскостью *РР* собирающей линзы и пересекаются в точке *S*´ на главной оптической оси *NN*, на расстоянии *f*1 от собирающей линзы.

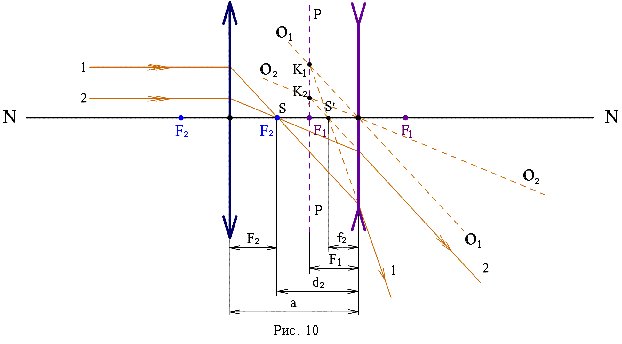


Применим для собирающей линзы формулу

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic6-6-2.gif

где *d*1 = *F* + *a*.

Пусть теперь лучи падают на собирающую линзу. Параллельные лучи 1 и 2 после преломления соберутся в точке *S* (фокусе собирающей линзы).



Падая на рассеивающую линзу, лучи преломляются в рассеивающей линзе так, что продолжения этих лучей проходят через точки пересечения *К*1 и *К*2 соответствующих побочных осей *О*1*О*1 и *О*2*О*2 с фокальной плоскостью *РР* рассеивающей линзы. Изображение *S*´ находится в точке пересечения продолжений вышедших лучей 1 и 2 с главной оптической осью *NN* на расстоянии *f*2 от рассеивающей линзы.

Для рассеивающей линзы

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic6-6-4.gif

где d2 = a - F.

Выразим f1 и -f2 : http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic6-6-5.gif http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic6-6-6.gif

Разность между ними по условию равна *l* = *f*1 - (-*f*2) =

http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic6-6-7.gif

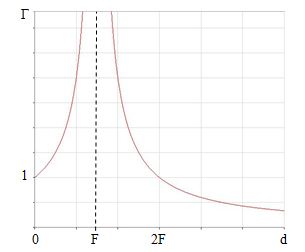
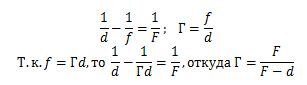
Откуда http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pic6-6-8.gif . Ответ: 10 см.

**4.Графический способ решения задач**

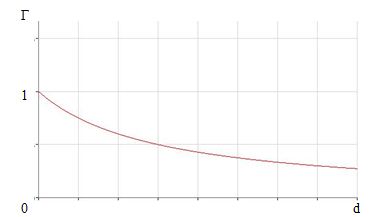
Некоторые **задачи перемещение линз или предметов**  решаются быстро и просто, если применить графический метод, при котором строится график зависимости увеличения от расстояния до линзы Г(d). Для построения графика установим эту зависимость.

1. **Собирающая линза.**

А) Расстояние от линзы до предмета меньше фокусного. В этом случае линза дает мнимое, прямое и увеличенное изображение. Воспользуемся формулой тонкой линзы для этого случая и формулой увеличения.  
  
Графиком этой функции является часть гиперболы. Причем, при d = 0 Г = 1.  
Б) Расстояние от линзы до предмета больше фокусного. В этом случае линза дает действительное и обратное изображение. Причем, при F < d < 2F изображение увеличенное, а при d > 2F изображение уменьшенное. Аналогично используем формулу линзы и формулу увеличения  
  
Графиком этой функции является часть гиперболы. Причем, при d = 2F Г = 1.  
  
  
  
**2. Рассеивающая линза**.



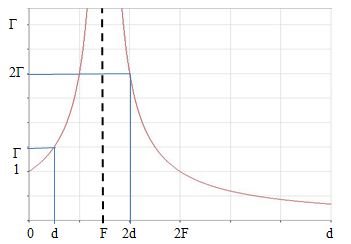
Она дает всегда мнимое, уменьшенное и прямое изображение. Воспользуемся формулой тонкой линзы в этом случае и формулой увеличения.  
  
Графиком этой функции является гипербола. Причем при d = 0 Г = 1  
  
  
  
**Задача №1**



Тонкая линза создает изображение предмета, расположенного перпендикулярно главной оптической оси, с некоторым увеличением. Если расстояние от предмета до линзы увеличить вдвое, то получается перевернутое изображение предмета с увеличением, вдвое большим первоначального увеличения. С каким увеличением изображался предмет вначале?

**Решение**

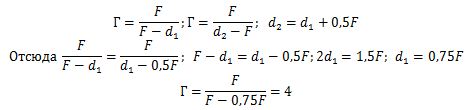
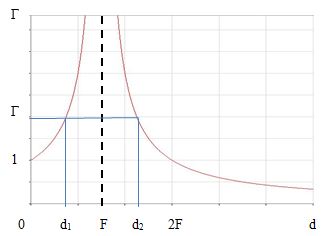
Построим график зависимости Г(d):  
  
  
  
Из графика можно сделать вывод, что первоначально изображение было прямое и мнимое, а после перемещения предмета – действительное и обратное.  
Воспользуемся формулами для каждого случа



**Задача №2.**  
Тонкую линзу, создающую действительное изображение предмета, передвинули на расстояние, равное 0,5 F. При этом получилось мнимое изображение того же размера. Найти величину поперечного увеличения.

**Решение**

Построим график зависимости Г(d)  
  
  
  
Воспользуемся условием задачи и формулами зависимости Г(d) в каждом случае:



**Для тонких линз справедливы следующие утверждения:**

Оптическая сила близко расположенных друг к другу двух линз равна

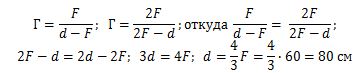
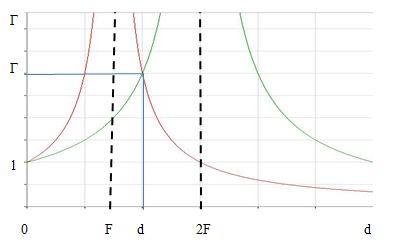
D = D1 + D2

Если к линзе приложить близко плоское зеркало, то фокусное расстояние этой системы будет равно F/2.

**Задача №3.**  
С помощью линзы с фокусным расстоянием 60 см получено действительное изображение предмета, расположенного перпендикулярно ее главной оптической оси. Если вплотную к данной линзе приложить рассеивающую линзу с фокусным расстоянием 2F, то размер изображения предмета в системе не изменится. На каком расстоянии от линзы находится предмет?

**Решение**

Система двух линз эквивалента линзе, оптическая сила которой равна  
  
  
Т.е. полученная эквивалентная линза – собирающая с фокусным расстоянием 2F. Построим в одной системе координат графики зависимости для обоих случаев:  
  
  
  
Из графика видно, что первоначально линза давала действительное изображение, а система линз дает мнимое изображение такого же размера. Воспользуемся формулами зависимости Г(d) для обоих с



**5. Олимпиадные задачи**

**Задача №1**

|  |
| --- |
| Два зеркала наклонены друг к другу и образуют двугранный угол . На них падает луч, лежащий в плоскости, перпендикулярной к ребру угла. Найти, на какой угол повернется отраженный луч после отражения от обоих зеркал.  **Решение** Угол поворота отраженного луча относительно падающего обозначим . Из законов отражения *i1 = i'1* ; *i2 = i'2* . Из геометрических соображений видно, что  = *i1 + i2* . Угол  - внешний угол треугольника, причем  = *2i1 +2 i2 = 2\*(i1 + i2 )*. Следовательно,  = 2 и не зависит от угла падения луча. |

Московская олимпиада школьников по физике, 2014/15,

**Задача №2** (7-8 классы).

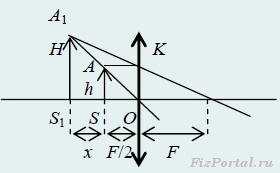
Школьница Светлана исследует тени на стене, отбрасываемые различ- ными предметами. Включив лампочку, Светлана обнаружила, что у предмета П1 образуется тень Т1, а у предмета П2 — тень Т2 (вид сверху показан на рисунке). Перерисуйте рисунок к себе в работу и укажите, где располагается лампочка. Также укажите, какие тени на стене отбрасывают предметы П3 и П4. При решении задачи учитывайте, что свет от лампочки распространяется во все стороны по прямым линиям.

**Ответ:** Лампочка Л и тень Т3 от предмета П3 приведены на рисунке. Предмет П4 не отбрасывает тень на стену.

**Задача №3**

**1**. Точечный предмет расположен посередине между оптическим центром и главным фокусом собирающей линзы. Постройте изображение предмета и докажите, что оно находится в фокальной плоскости линзы.

**Решение**.  
Пусть  S − предмет. Построим его изображение в линзе.



Для этого используем вспомогательный предмет AS произвольной высоты h. Построим его изображение A1S1, высоту которого обозначим H. Точка S1 − изображение точки S.  
Из подобия прямоугольных треугольников  A1OS1 и AOS следует, что

H/h = (F/2 + x)/(F/2),

а из подобия треугольников A1FS1 и KFO

H/h = (3F/2 + x)/F.

Из этих двух уравнений получим, что

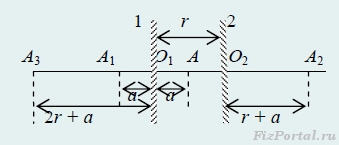
x = F/2.

Значит, OS1= x + F/2 = F, что и требовалось доказать.

**Задача №4**

В парикмахерской на противоположных стенах напротив друг друга находятся два параллельных плоских зеркала. Человек смотрит в одно из них. Определите расстояние **l** между двумя соседними изображениями лица человека в этом зеркале. Расстояние между зеркалами **4 м**.

**Решение**.  
Пусть  A − лицо человека, A1 − его изображение в зеркале 1.



Тогда расстояние A1O1= O1A = a (обозначим его буквой a). A1 в зеркале 2 дает изображение A2. Расстояние

A2O2= O2A1= r + a.

A2 даст в зеркале 1 изображение A3. Расстояние

A3O1= O1A2= 2r + a.

Искомое расстояние

l = A1A3= 2r = 8 м.

**Задача №5**

Свечка расположена на расстоянии **l = 15 см** от переднего фокуса собирающей линзы. За некоторое время горения свечки ее высота уменьшилась на величину **Δh = 1,5 см**. Постройте изображение свечки и определите, на сколько за это же время уменьшилась высота изображения, если фокусное расстояние линзы **F = 45 см**.

**Решение.**  
Возможны два случая. Построим соответственно действительное  A1B1 и мнимое A2B2 изображения. Рассмотрев подобные треугольники (заштрихованные), найдем увеличения изображений:

H1/h = F/l и H2/h = F/l.

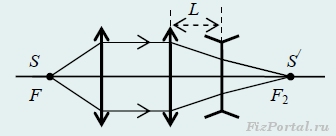
Они одинаковые. Значит, в обоих случаях искомая величина

ΔH = ΔhH/l = 4,5 см.

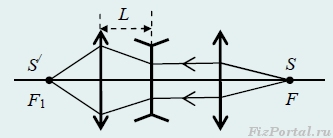
**Задача №6**

Определите экспериментально положение главных фокусов оптической системы двух линз расположенных на расстоянии **L** друг от друга.  
**Оборудование**: собирающая линза **Л1**, рассеивающая линза **Л2**, вспомогательная линза **Л**, батарейка, лампочка, экран, линейка.

**Решение.**Положение главных фокусов оптической системы можно найти, направив параллельный пучок света вдоль главной оптической оси системы. Для этого нить лампочки устанавливается в главном фокусе вспомогательной линзы. Поверка параллельности пучка света проводится с помощью измерения диаметра пятна на экране при перемещении последнего вдоль пучка.



Расположим данную систему двух линз и вспомогательную линзу так, чтобы их главные оптические оси совпали, находим задний фокус  F2 оптической системы − место получения изображения на экране нити лампочки.

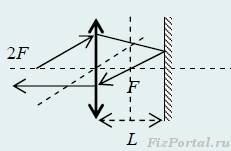


Направив параллельный пучок света с другой стороны системы, определим положение переднего фокуса  F1.

**Задача №7**

Источник света расположен на двойном фокусном расстоянии от собирающей линзы на ее оси. За линзой перпендикулярно оптической оси помещено плоское зеркало. На каком расстоянии от линзы нужно поместить зеркало, чтобы лучи, отраженные от зеркала пройдя вторично через линзу, стали параллельными.

**Решение.**  
Смотри рисунок

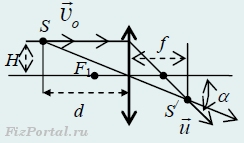


L = F + F/2 = 3F/2.

**Задача №8**

Параллельно главной оптической оси собирающей линзы с фокусным расстоянием **F** движется точечный источник света. На каком расстоянии от линзы он окажется в тот момент, когда скорость изображения его в линзе будет равна по величине скорости источника? Расстояние от главной оптической оси до источника **H**(**H < F**).

**Решение.**  
Сделаем рисунок и введем обозначения. Пусть источник  S приближается к F1, тогда изображение S/ удаляется от F2.



В таком случае формула тонкой линзы в какой-то момент времени будет иметь вид:



В момент выравнивания скоростей  vo и u движение источника можно допустить как равномерное. Тогда за малое время источник приблизится к F1 на Δd = voΔt, а изображение удалится



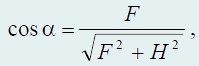
Очевидно



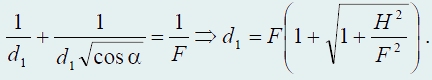
Откуда



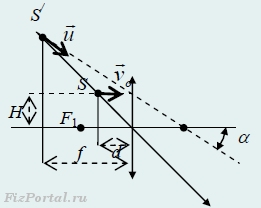
при u = vo.  
Так как



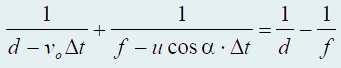
имеем



Если источник оказался в точке F1, то изображение мгновенно оказывается в −∞ и +∞.  
Пусть источник продолжает движение и окажется между линзой и передней фокальной плоскостью.



Изображение S/ в этом случае приближается к линзе, как и источник. Рассуждая, как и выше будем иметь:

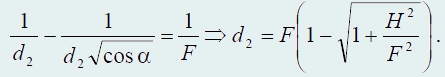
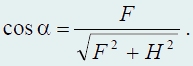


или



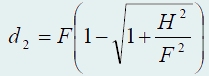
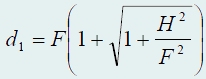
Как и выше

Однако



Как видим, при выполнении условия задачи, источник может быть в двух точках относительно фокальной плоскости F1: перед F1 на расстоянии d1 равном

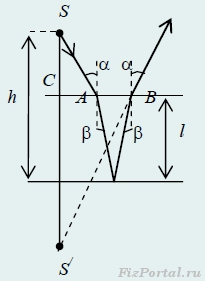
до линзы и за F1 на расстоянии



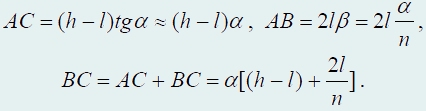
**Задача №9**

На расстоянии **h** от плоского зеркала находится светящаяся точка. На зеркало медленно наливают прозрачную жидкость с показателем преломления **n** так, что ее уровень поднимается с постоянной скоростью **v**. Найти скорость движения изображения светящейся точки.

**Решение**.  
Пусть  l = vt высота уровня воды над зеркалом. Необходимо рассмотреть 2 случая: l < h и l > h.  
Рассмотрим первый случай: l < h.



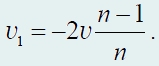
Смещение второго луча (SA) равно



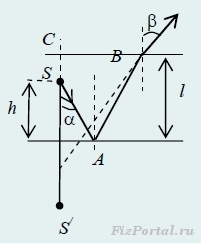
Учтено малость углов α и β и использован закон преломления в виде β = α/n.



Отсюда скорость движения изображения v1 равна:



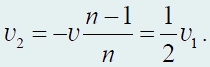
Знак минус означает, что изображение приближается к зеркалу.  
Рассмотрим 2 случай:  l > h.



Закон преломления β = nα.



Искомая скорость



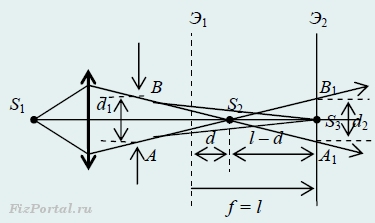
Имеем два ответа: 



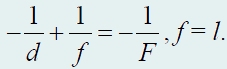
**Задача №10**

Точечный источник света расположен на оси собирающей линзы. За линзой находится диафрагма с диаметром отверстия **d1 = 1 см**. Оптическая ось линзы перпендикулярна плоскости диафрагмы и проходит через центр отверстия диафрагмы. За диафрагмой на расстоянии **l = 10 см** находится экран, на котором образуется световое пятно диаметром **d2 = 0,5 см**.  
В отверстие диафрагмы вставляется тонкая рассеивающая линза, при этом на экране образуется световая точка. Чему равно фокусное расстояние рассеивающей линзы?

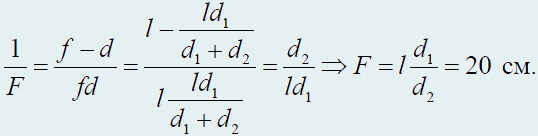
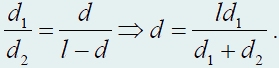
**Решение**.  
Экран можно поставить в положение  I и II. Так как линза рассеивающая, то экран надо ставить в положение II.



В этом случае точку S2 можно рассматривать как мнимый источник света для изображения S3, даваемого рассеивающей линзой.



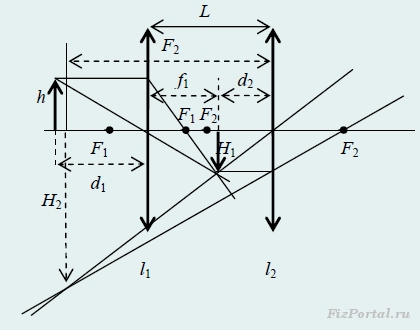
d найдем из подобия треугольников ABS2 и A1B1S2:



**Задача №11**

Две тонкие собирающие линзы имеют общую главную оптическую ось. Фокусное расстояние первой линзы **10 см**, а второй − **20 см**. Расстояние от предмета до первой линзы равно **30 см**. При каких расстояниях между линзами эта оптическая система дает мнимое уменьшенное изображение предмета.

**Решение.**  
Находим положение изображения предмета, даваемое первой линзой. Сделаем рисунок и введем обозначения.



Увеличение первой линзы (1)



Пусть изображение стрелочки  H1 даваемое второй линзой H2. Тогда рассуждая похожим образом, находим увеличение второй линзы



где d2 и f2 соответственно расстояния от H1 до второй линзы и от линзы до H2.  
Из последнего равенства находим 



или с учетом (1) имеем



Из этого находим увеличение системы линз



По условию  Гс< 1, т. е.



Для того, чтобы изображение было мнимым необходимо, чтобы вы-полнялось условие  
d2< F2(3).

По формуле второй тонкой линзы, удовлетворяющей условию (3), находим



Подставим (4) в (2)



Решим это уравнение:



Откуда



Из рисунка видно, что расстояние L = f1+ d2, с учетом (6) находим, что



или  
L < 15 см + 10 см < 25 см.

Это верхний предел по L, ибо L < f1 изображение будет уменьшенным, но действительным. Таким образом,  
15 см < L < 25 см.

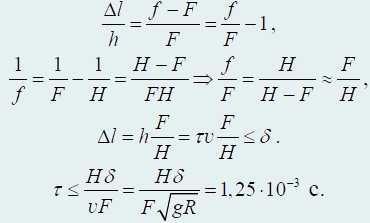
**Задача №12**

Какие предметы можно рассмотреть на фотографии, сделанной со спутника, если разрешающая способность пленки **δ = 0,01 мм**? Каким должно быть время экспозиции **τ**, чтобы полностью использовать возможность пленки? Фокусное расстояние объектива [фотоаппарата](http://mediamarkt.ru/) **F = 10 см**, высота орбиты спутника **H = 100 км**. Радиус Земли **R = 6400 км**. Ускорение свободного падения **g = 9,8 м/с2**. Разрешающая способность пленки − это наименьшее расстояние между двумя различимыми глазами точками.

**Решение.**Так как высота орбиты спутника  F << H << R, то скорость спутника на орбите v = √{gR}. За время экспозиции τ спутник пролетел расстояние h = vτ. Используя формулу линзы



и определение линейного увеличения объектива, найдем смещение Δl изображения на пленке, которое не должно превышать ее разрешающей способности δ (Δl << δ)



Минимальный размер предметов, которые можно рассмотреть на фотографии, будет мало отличаться от того, что дает неподвижный  [фотоаппарат](http://mvideo.ru/) (h/= Hδ/F = 10) и определена «размытием» изображения, т. е.



**Литература**

1. Лукашик В.И. Физическая олимпиада. Москва: издательство «Просвещение», 1987  
2. Тарасов Л.В. Физика в природе. Москва: издательство «Просвещение», 1988  
3. Перельман Я.И. Знаете ли вы физику? Домодедово: издательство «ВАП», 1994  
4. Золотов В.А. Вопросы и задачи по физике 6-7 класс. Москва: издательство «Просвещение», 1971  
5. Тульчинский М.Е. Качественные задачи по физике. Москва: издательство «Просвещение», 1972  
6. Кириллова И.Г. Книга для чтения по физике 6-7 класс. Москва: издательство «Просвещение», 1978

7. **Касьянов В.А. Физика. 11 кл.: Учебн. для общеобразоват. учреждений. - 2-е изд., дополн. - М.: Дрофа, 2004. - С. 281-306**

**8. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика. Т. 2. Электродинамика. Оптика. - М.: Физматлит: Лаборатория базовых знаний; СПб.: Невский диалект, 2001. - С. 308-334.**

**9. Элементарный учебник физики /Под ред акад. Г.С. Ландсберга. - Т. 3. - М.: Физматлит, 2000 и предшествующие издания.**

**10. Белолипецкий С.Н., Еркович О.С., Казаковцева В.А. и др. Задачник по физике. - М.: Физматлит, 2005. - С. 215-237.**

**11. Буховцев Б.Б., Кривченков В.Д., Мякишев Г.Я., Сараева И.М. Задачи по элементарной физике. - М.: Физматлит, 2000 и предшествующие издания.**

12. <http://earthz.ru/solves/Zadacha-po-fizike-373>

13. <https://www.google.ru>

14. <http://iralebedeva.ru/physic12.html>

15. <http://www.afportal.ru/physics/task/qualitative>

16. <https://www.eduspb.com/public/files/s1_optika.pdf>

17. <http://diplomivanov.narod.ru/alltasks.html>

18. fizportal.ru/geomoptics

19. mosphys.olimpiada.ru

20. fizolimpiada.ru

21. physolymp.spb.ru

22. Справочник по физике. Оптика, геометрическая оптика, построение изображений в линзах. <http://www.abitura.com/handbook/optic4.html>

23. <http://www.nsmu.ru/student/faculty/department/physics/linzi.pdf>

24. <http://physbook.ru/index.php/A._Изображения_в_линзах>

25. Геометрическая оптика. Тонкие линзы. <http://www.physics.ru/courses/op25part2/content/chapter3/section/paragraph3/theory.html#.VYgb4EzwZ0w>

26. Методическая кладовая <http://ratichi.hut.ru/smp49.htm>

27. Практическое занятие 6. Решение задач по теме "Линзы. Построение изображений в тонкой линзе. Формула линзы". <http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pr_6.htm>

23.

[http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/7292c97e-b227-11dc-b0c8-85ba603f7ccb/p2281.html](http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/7292c97e-b227-11dc-b0c8-85ba603f7ccb/p2281.html 8)

24. <http://diplomivanov.narod.ru/resheniya/optisystemms_1.html>

28. <http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pr_6.htm>

29. <http://ido.tsu.ru/schools/physmat/data/res/optika/pract/text/pr_6.htm>

[**http://mathus.ru/phys/rays.pdf**](http://mathus.ru/phys/rays.pdf) **И. В. Яковлев, Материалы по физике.**

30. http://otvet.mail.ru/