

**СБОРНИК ТЕОРИИ И ЗАДАЧ ПО  
РАЗДЕЛУ  
«ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА»**

**АЛМАТЫ, 2024**

## 1. Геометрическая оптика. Закон прямолинейного распространения света

С древних времен люди размышляли о природе света, который и в наше время играет важную роль. Различные виды зеркал, линзы используются нами каждый день. В нашей повседневной жизни мы часто встречаемся с разными оптическими явлениями: радуга, дисперсия, преломление и отражение света, миражи, затмения. Свет освещает предметы, нагревает тела, оказывает химическое действие.

**Свет** – это электромагнитное излучение, распространяющееся со скоростью 300 000 км/с.

**Источники света** – это тела, испускающие видимое излучение. Любое вещество, нагретое до определенной, характерной для него, температуры, начинает светиться. Таким образом, горячие тела являются источниками света. Их называют **тепловыми источниками** света. Самый важный для нас **тепловой источник света** – Солнце. **Холодными источниками света** называют тела, которые излучают свет при температуре, близкой к комнатной. Например, экраны телевизора, сотового телефона и компьютера, живые организмы которые светятся.

Также источники света делятся на естественные и искусственные. Источники света, созданные самой природой, называют **естественными**. Созданные же человеком источники света называют **искусственными**. К естественным источникам относятся Солнце, Звезды, светлячки, молния и морские организмы. Искусственные источники света делятся на *тепловые* и *люминисцентные*. К тепловым относятся: свечи, костер, камин, горелки, лампочки. А к люминисцентным: телевизор, газосветные и люминисцентные лампы.



Многие тела светятся, но не потому, что являются источниками света, а потому, что отражают падающий на них, свет, например, Луна, зеркала.



*В физике часто используют понятие точечного источника света. Что это такое?*

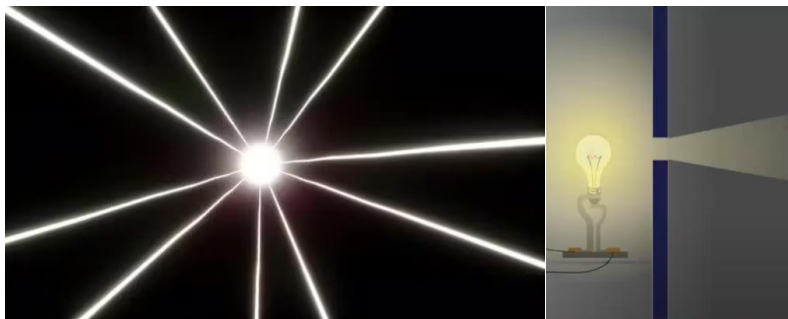
**Точечный источник света** – это светящееся тело, размерами которого можно пренебречь. Точечным источником света можно считать звезды, пламя, свечи, фонарик и так далее.

Процессы распространения света изучаются в разделе физики, который называется **геометрическая оптика**. Этот раздел опирается на законы геометрии и не рассматривает саму природу света.

В представлении *И. Ньютона* и *Х. Гюйгенса* о природе света вводится понятие «луч». Он определяет направление распространения света.

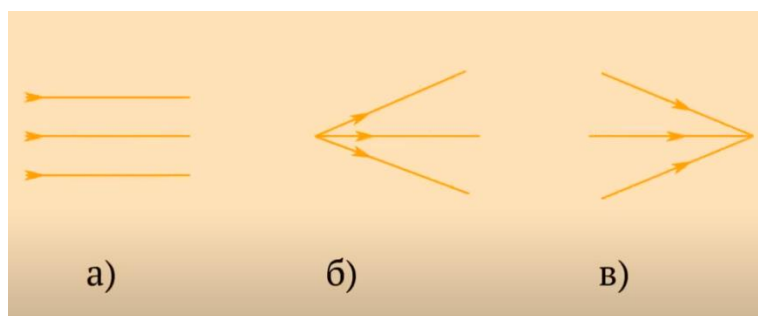


**Луч** – это линия, вдоль которой распространяется свет. Световой луч берет начало на источнике света и используется для изображения световых пучков. Световые пучки можно выделить с помощью малых отверстий в непрозрачных пластинах. Они позволяют получать пучки разных размеров и форм.



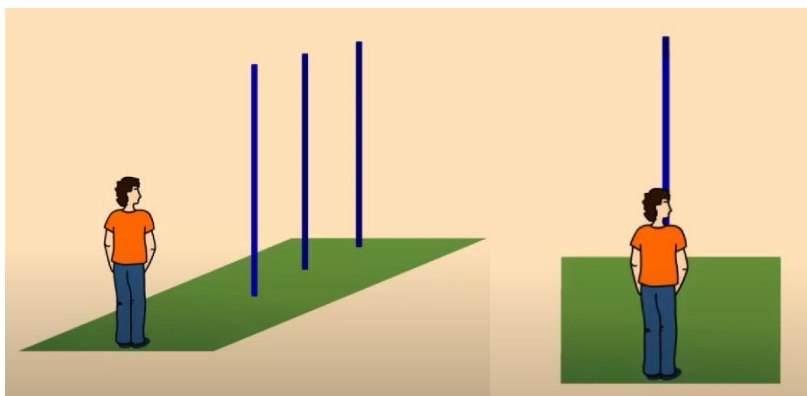
Несколько лучиков составят пучок света. Пучок света может быть параллельным(а), расходящимся(б), сходящимся(в).

При параллельном пучке света траектории лучей не пересекаются. Если лучи в составе пучка света выходят с их точечного центра, тогда пучок будет *расходящимся*. А если наоборот лучи будут направлены к точечному центру, тогда пучок света будет *сходящимся*.



В геометрической оптике существуют четыре основных закона, которые описывают распространение света. Это *законы прямолинейного распространения света, закон независимого распространения света, законы отражения и законы преломления света*.

Еще задолго до того, как было выяснено что представляет собой свет, его свойства использовались в практике. Например древние египтяне использовали прямолинейное распространение света для выставления в ряд колонн. Они располагали их так, чтобы из-за ближайшей к наблюдателю колонны другие не были видны. Этот способ используют и в наше время для установки столбов, вдоль одной прямой. Многовековой опыт показал, что свет распространяется прямолинейно.



**Закон прямолинейного распространения света: *в однородной прозрачной среде свет распространяется прямолинейно.***



Законы прямолинейного распространения света в однородной среде, законы отражения и преломления света на границе раздела двух сред могут быть получены с помощью принципа Ферма, который был выдвинут в середине XVII в. Французским ученым Пьером Ферма. **Принцип Ферма** заключается в следующем: *свет, идущий из одной точки пространства в другую, всегда распространяется по пути, для прохождения которого ему требуется экстремальное(как правило, минимальное) время.*

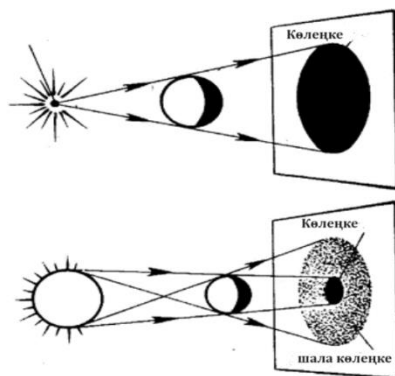
Применим принцип Ферма для доказательства закона прямолинейного распространения света. Расстояние вдоль прямой является кратчайшим расстоянием между двумя точками. Скорость света в однородной среде во всех точках одинакова. Следовательно, меньше всего времени для перехода из одной точки данной среды в другую свет потратит, двигаясь по прямой..

Вода – прозрачная среда. Свет проходит через нее, поэтому мы видим предметы, находящиеся в ней. Окна домов также прозрачны. Они пропускают свет. Поэтому мы видим предметы через стекло. А из-за того что стены домов непрозрачные, через стены домов свет не проходит, поэтому мы не видим сквозь стены.

Жарықтың түзусызықты таралуы көлеңке мен шала көлеңкенің құбылыстарын түсіндіреді. Егер жарық түзусызықты таралмаса, сәулелер кедергінің шеттеріне оралып ешқандай көлеңке болмас еді. Жарық көздерінің өлшемі әртүрлі болады. Осы себептен біз үнемі айқын көлеңке көрмейміз. Егер жарық көзінің өлшемін жарық көзінен экранға дейінгі қашықтықпен салыстырғанда елемеуге болатын болса, онда жарық көзі нүктелік болады.

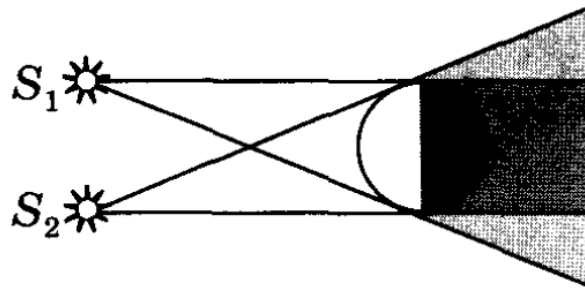
Образование теней является убедительным доказательством закона прямолинейного распространения света. Как показано выше, пример, иллюстрирующий закон прямолинейного распространения света - это образование теней от непрозрачных препятствий. Если бы свет распространялся не прямолинейно, лучи заворачивали бы за края препятствий, и не было бы никаких теней. Чаще всего в реальной жизни источники света имеют некоторые размеры. По этой причине мы не всегда видим тень с четкими краями. Если размерами источника света можно пренебречь в сравнении с расстоянием от источника до экрана, то его называют *точечным источником*.

Если взять точечный источник света и на пути светового пучка, идущего от него, поместить непрозрачный предмет, то за предметом образуется расходящаяся конусообразная тень, а на экране появится тень, повторяющая контур предмета. Тень – это область пространства за непрозрачным предметом, куда не попадает свет. Если же источник света протяженный, то одна и та же область экрана может освещаться одним из концов источника и не освещаться другим: в этой области наблюдается полутень.



## Тень, созданная двумя источниками света

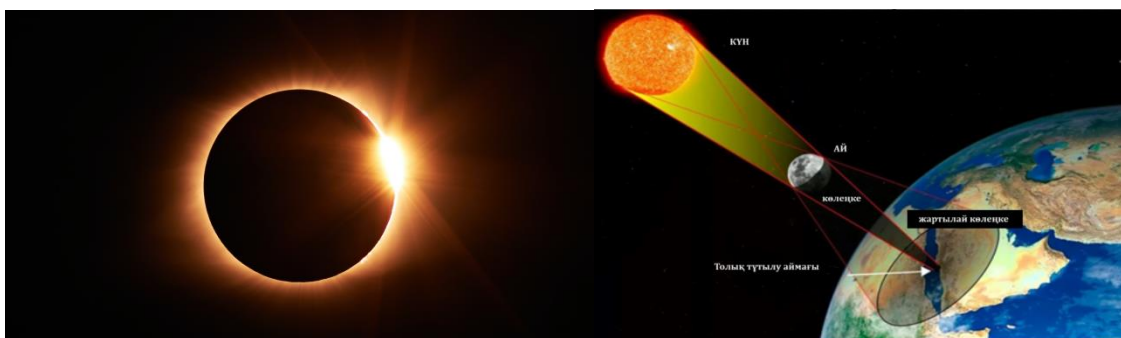
Рядом с первой лампочкой поставим другую, тогда на экране появится вторая тень диска. За диском образуется область тени и две области полутени. Полутень – это области частичного освещенного пространства. В эти области свет попадает только от одного источника. В область тени свет не попадает ни от одного источника. Находясь в тени, мы не сможем увидеть источники света. Переместившись в полутень, можно увидеть одну из ламп. Выйдя из области полутени, мы увидим обе лампы.



Солнечное и лунное затмения объясняются законом прямолинейного распространения света.

### Солнечное затмение.

При движении по своим орбитам Солнце, Земля и Луна периодически выстраиваются в одну линию. Если Луна расположится между Солнцем и Землей, то жители некоторых регионов Земли, оказавшись в области тени или полутени, могут наблюдать солнечное затмение. Солнечное затмение возможно только в новолуние. В этой фазе Луна находится с дневной стороны Земли. Тот, кто на Земле, окажется в области тени Луны и будет наблюдать полное затмение Солнца. Частичное затмение увидят люди, попавшие в область полутени. Тень Луны перемещается по поверхности Земли со скоростью 1 км/с, поэтому жители разных регионов могут наблюдать солнечное затмение в разное время. Продолжительность полного затмения не превышает 8 минут, оно длится с момента, когда диск Луны начинает закрывать диск Солнца, и заканчивается моментом, когда диск Луны полностью сходит с диска Солнца. Солнечные затмения повторяются не чаще 1 раза за 1,5 года. А для одной и той же местности повторяется через каждые 200-300 лет.



### Лунное затмение.

Жители Земли наблюдают лунное затмение в том случае, если Земля окажется между Солнцем и Луной. Луна входит в область земной тени. Такое положение небесных тел, возможно только в полнолуние. Поэтому в период лунного затмения мы видим круглый диск Луны. Лунное затмение длится около 1 часа 40 минут. Лучи Солнца, огибая Землю окрашивает Луну в темно-красный цвет. Все жители ночной стороны Земли, могут наблюдать лунное затмение одновременно.



Если бы Солнце, Луна и Земля совершали свое движение в одной плоскости, то лунное затмение происходило бы каждое полнолуние, солнечное затмение – каждое новолуние, то есть ежемесячно по два затмения. Но наклон лунной орбиты составляет около 5 градусов с орбитой Земли, поэтому затмения происходят намного реже.

**Закон независимого распространения лучей** – второй закон геометрической оптики, который утверждает, что световые лучи распространяются независимо друг от друга и при встрече не оказывает дальнейшего распространения друг друга. Этот закон можно доказать пересекая световые пучки двух карманных фонариков.



Касательно темы закона прямолинейного распространения света мы можем встретить задачи такого рода.

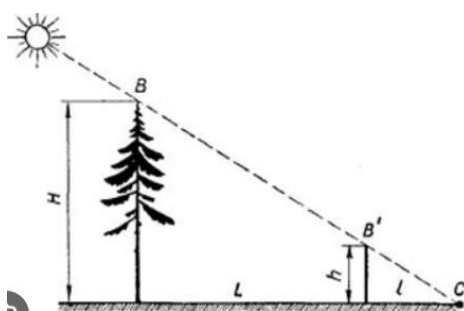
**Задача.** Как в солнечный день по тени определяют высоту дерева, башни и т.д.?

Высота первого объекта –  $H$ , высота второго объекта –  $h$ . Длина тени первого объекта –  $L$ , второго –  $l$ . Если у этих объектов один источник света, то угол падения луча будут равными. То есть:

$$\tan \alpha = \frac{L}{H}; \tan \alpha = \frac{l}{h} \rightarrow \frac{L}{H} = \frac{l}{h}$$

Дальше с помощью этой пропорции находим то, что спрашивает в условиях задачи.

Например:  $H = \frac{L \cdot h}{l}$



## 1. Задачи на тему «Геометрическая оптика. Закон прямолинейного распространения света»

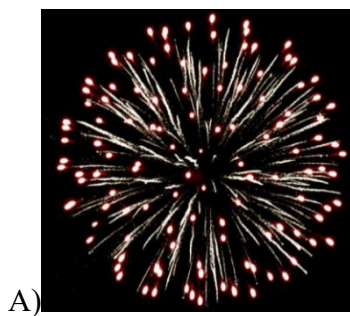
### Уровень А

1. Почему лунные и солнечные затмения не происходят ежемесячно?
2. Почему Луна в период лунного затмения не исчезает, а становится красного цвета?
3. Почему изменяются очертания тени и полутени человека, когда он удаляется от фонаря уличного освещения?

4. Почему в комнате, освещаемой одной лампой, получаются резкие тени от предметов, а в комнате, где источником освещения служит люстра, такие тени не наблюдаются?
5. Как свет и зрение помогают учиться?
6. Является ли Луна источником света? Какие небесные тела являются источниками света?
7. Какие из приведенных на рисунке источников света являются естественными, а какие – искусственными?



8. Является ли источником света вся свеча или только ее пламя?
9. Разделите перечисленные, ниже источники света на естественные и искусственные и заполните таблицу. Источники: свечка, молния, Солнце, экран включенного телевизора, светящиеся в темноте глаза кошки, полярное сияние, спички, звезды, костер, электрическая лампа, светлячки, люминесцентная лампа, радуга, фары автомобиля.
10. Приведите примеры точечных и протяженных источников света.
11. При каком условии тело отбрасывает тень и полутень?
12. При каких условиях возникают солнечные и лунные затмения?
13. Какие из изображенных на рисунке источников света являются точечными, а какие – протяженными?



14. По какому признаку можно обнаружить, что вы оказались в полутени некоторого предмета?
15. Как называют линию, вдоль которой распространяется свет?
16. Приведите примеры естественных источников света.
17. Приведите примеры искусственных источников света.
18. Что длится дольше – полное затмение Солнца или полное затмение Луны?
19. Чем тепловые источники света отличаются от холодных?



20. Какие источники света можно считать отражателями?

### Уровень В

1. Может ли один и тот же источник света рассматриваться в одном случае как точечный, а в другом – как протяженный? В качестве доказательства вашего ответа приведите пример.
2. Как получить тень разной длины от одной и той же палки? Проиллюстрируйте ответ рисунком.
3. Мяч освещается двумя источниками, как показано на рисунке. Нарисуйте области тени и полутени.



4. В каком случае можно увидеть пучок света со стороны?
5. Как проверить, находится ли три далеко расположенные один от другого столба на одной прямой? На чем основывается предложенный вами способ?
6. Как влияют размеры источника света на ширину области полутени?
7. Почему в облачный день предметы не дают тени? Что в такой день является источником света?
8. Может ли вертикальный столб не отбрасывать тени в солнечный день?
9. Как можно в солнечный день измерить высоту дерева, не влезая на него, если известен ваш рост? Сделайте схематический рисунок, поясняющий ваш ответ.
10. Чем ближе тело к свече, тем больше отбрасываемая им тень. Почему? Поясните ответ с помощью рисунка.
11. Почему солнечные затмения всегда происходят во время новолуния, а лунные затмения – во время полнолуния? Обоснуйте ответ с помощью схематических рисунков.
12. На ровной горизонтальной площадке стоят два вертикальных горизонтальных столба. Высота 1 столба равна 3 м. А высота 3 равна 2м. Длина тени 1 равна 4м, а второго 3. Что является источником света солнце или фонарь? Обоснуйте.
13. Почему сидя у горящего костра, мы видим предметы, расположенные по другую сторону костра, колеблющимися?
14. Зачем водители в темное время суток при встрече машин переключают фары с дальнего света на ближний?
15. Почему учащиеся в классных комнатах должны сидеть так, чтобы окна были слева?

### Уровень С

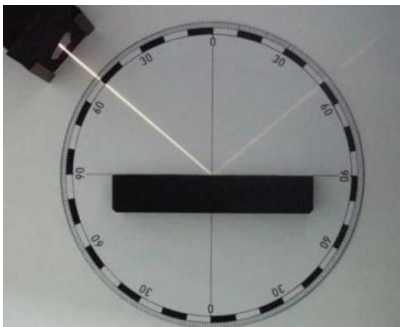
1. На горизонтальной площадке стоят два вертикальных столба. Высота первого столба 2 м, а длина его тени 1 м. Какова высота второго столба, если длина его тени 50 см? Источником света является Солнце.
2. Уличный фонарь висит на высоте 4 м. Какой длины тень отбросит палка высотой 1,5 м, если ее установить вертикально на расстоянии 3 м от основания столба, на котором укреплен фонарь?
3. В заборе имеется круглое отверстие диаметром 1 см, а за забором напротив отверстия висит яблоко диаметром 12 см. На каком расстоянии от забора должен находиться глаз, чтобы он видел все яблоко, если расстояние от яблока до забора 1 м?
4. Солнце заходит за холм, на вершине которого стоят одинокое дерево высотой 30 м. На каком расстоянии от дерева находится человек, если ему кажется, что высота дерева равна диаметру солнечного диска?
5. Два столбика, имеющие одинаковую высоту 1,2 м поставлены вблизи уличного фонаря так, что расстояние от основания уличного фонаря до оснований столбиков отличаются на 0,8 м. При этом тени, отбрасываемые столбиками, отличаются на 0,4 м. Найдите высоту, на которую подвешен фонарь.
6. Уличный фонарь висит на высоте 3 м. Палка длиной 1,2 м, установленная вертикально в некотором месте, отбрасывает тень, длина которой равна длине палки. На каком расстоянии от основания столба расположена палка?
7. В солнечный день длина тени на земле от дома равно 45 м, от дерева высотой 3 м длина тени равна 4 м. Какова высота дома?
8. На потолке высотой 4 метра висит лампочка. По комнате на высоте 3 м от пола летит муха со скоростью 2 м /с. С какой скоростью движется тень мухи по полу в тот момент, когда муха пролетает под лампочкой?
9. Можно ли звезду закрыть спичкой, которую вы держите в вытянутой руке? Вы смотрите одним глазом, второй закрыт.
10. Почему мы не видим лицо фехтовальщика, если оно закрыто частой сеткой, но она не мешает самому фехтовальщику хорошо видеть окружающие предметы?

## 2. Отражение света. Законы отражения

Все тела, которые не излучают свет, видимы благодаря отражению падающих на них лучей света.

И. Ньютон, исследуя взаимодействие света с поверхностью тел, предположил что свет – это поток частиц. Столкновение частиц с телом он рассматривал как упругое или неупругое взаимодействие. При упругом взаимодействии частицы от поверхности тела отражаются. При неупругом – остаются на поверхности, поглощаются. И. Ньютон, применив законы механики, сформулировал закон отражения света.

**Отражением света** называется явление изменения направления хода светового луча, наблюдаемое на границе двух сред. При этом луч света возвращается в исходную среду.

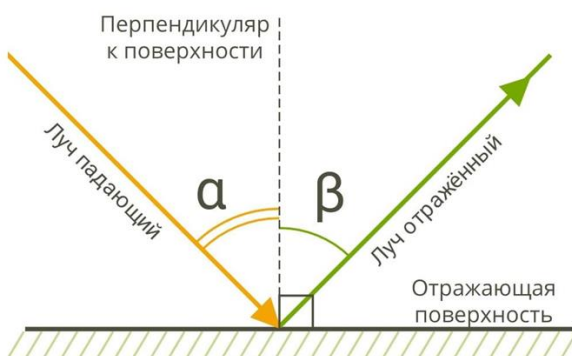


Рассмотрим это явление подробнее. Направим на небольшое зеркало, укрепленное на специальной шайбе (рисунок 1) световой луч 1 под углом  $50^\circ$  от перпендикуляра к зеркалу. Такой луч называют падающим лучом, а угол называют углом падения. Мы увидим, что луч света отклонится от прежнего направления и вернется в исходную среду под углом  $50^\circ$  от перпендикуляра к зеркалу. Этот луч 2 называют отраженным лучом, а угол называют углом отражения. Меняя углы падения, мы обнаружим, что каждый раз угол падения будет равен углу отражения. Кроме этого, можно заметить, что луч падающий и отраженный распространяются в одной плоскости (в нашем случае это плоскость, в которой расположена шайба).

Таким образом, мы экспериментально установили два закона отражения света:

**1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости.**

**2. Угол падения равен углу отражения:  $\alpha = \beta$**



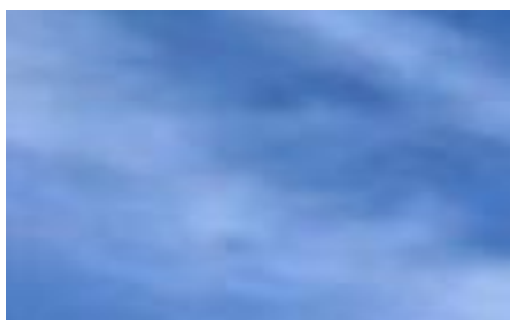
Различают два вида отражения: правильное (зеркальное) и рассеянное (диффузное).

**Диффузное отражение** – это отражение от достаточно шероховатых поверхностей. Ярким примером диффузного отражения можно назвать отражение от белой бумаги.

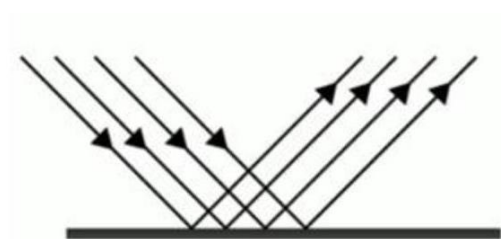


Для каждого луча в отдельности закон отражения выполняется. А группа лучей в итоге отражается в разных направлениях.

На поверхность падают 4 луча параллельно друг другу. Каждый луч в отдельности испытывает отражение в точности в соответствии с законом и, меняя свое направление, возвращается в перую среду. Отраженные лучи не параллельны друг другу.



**Зеркальное отражение** – это отражение, когда все лучи, упавшие на данную поверхность параллельно друг другу, также отразились.



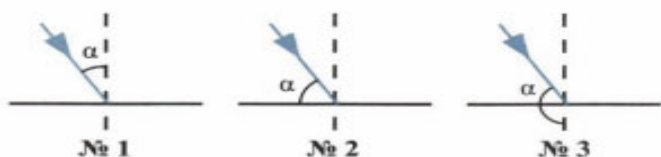
На поверхность параллельно друг другу падают световые лучи и отражаются тоже параллельно друг другу.



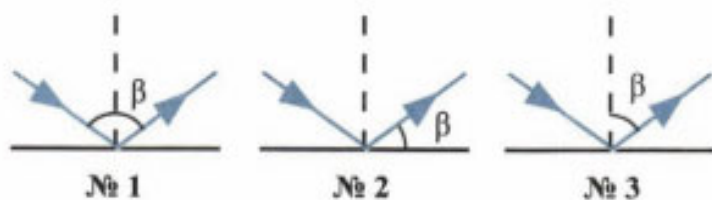
## 2. Задачи на тему «Отражение света. Законы отражения»

### Уровень А

1. Какое явление называется отражением света?
2. Какие виды отражения вы знаете?
3. Какой угол называется углом падения?
4. Какой угол называется углом отражения?
5. В чем заключается закон отражения света?
6. Угол падения луча равен  $45^\circ$ . Постройте угол отражения.
7. Угол между плоскостью зеркала и отраженным лучом равен  $60^\circ$ . Постройте угол падения луча.
8. Постройте отраженный луч, если угол между плоскостью зеркала и падающим лучом  $38^\circ$ .
9. Чему равен угол падения лучей на плоское зеркало, если угол между лучом и зеркалом равен  $30^\circ$ ?
10. На плоское зеркало падают два луча, угол между которыми равен  $100^\circ$ . Каким будет угол между отраженными лучами?
11. Угол падения равен  $60^\circ$ . Чему равен угол отражения?
12. Угол падения луча равен  $25^\circ$ . Чему равен угол между падающим и отраженным лучами?
13. Угол между падающим и отраженным лучами равен  $60^\circ$ . Чему равен угол падения?
14. Угол между падающим и отраженным лучами равен  $80^\circ$ . Чему равен угол отражения?
15. При каком угле падения луча на зеркало падающий и отраженный лучи совпадают?
16. По каким законам происходит отражение света?
17. На рисунках должны быть обозначены углы падения светового луча. На каком из них это обозначение сделано верно?



18. На рисунках обозначены углы отражения светового луча. На каком из них обозначение сделано правильно?



19. Луч света падает перпендикулярно поверхности тела. Чему равен его угол отражения?

20. Углы падения двух световых лучей на зеркальную поверхность равны  $70^\circ$  и  $20^\circ$ . Чему равны их углы отражения?

### Уровень В

1. Почему, сидя у горящего костра, мы видим предметы, расположенные по другую сторону костра, колеблющимися?

2. Под каким углом должен падать луч света на плоское зеркало, чтобы угол между отраженным и падающим лучами был равен  $70^\circ$ ?

3. На сколько изменится угол между падающим и отраженным лучами если угол падения уменьшится на  $15^\circ$ ?

4. Человек приближается к зеркалу со скоростью  $7$  м/с. С какой скоростью он приближается к своему изображению?

5. Предмет находится на расстоянии  $10$  см от плоского зеркала. На каком расстоянии от предмета окажется его изображение, если предмет отодвинуть от зеркала еще на  $10$  см?

6. Почему в темной комнате видны только те предметы, на которые в данный момент направлен свет фонарика?

7. Луч света падает на зеркало под углом  $85^\circ$  к его поверхности. Чему равен угол между падающим и отраженным лучами? Чему равен угол отражения?

8. Почему окна домов днем всегда кажутся более темными, чем стены дома, даже если стены окрашены в темный цвет?

9. Луч света падает на зеркало перпендикулярно. На какой угол отклонится отраженный луч от падающего, если зеркало повернуть на угол  $16^\circ$ ?

10. Отраженный от гладкой поверхности предмета пучок света всегда менее ярок, чем падающий. Почему?

11. Угол между падающим и отраженным лучами составляет  $50^\circ$ . Под каким углом к зеркалу падает свет?

12. Справедлив ли закон отражения света в случае падения света на лист белой бумаги?



13.  $\frac{2}{3}$  угла между падающим и отраженным лучами составляет  $80^\circ$ . Чему равен угол падения луча?

14. Почему в свете фар автомобиля лужа на асфальте кажется водителю темным пятном?

15. Угол падения луча на плоское зеркало увеличили от  $80^\circ$  до  $45^\circ$ . Как изменится угол между падающим и отраженным лучом?

### Уровень С

1. Пучок параллельных лучей идет из проекционного аппарата в горизонтальном направлении. Как надо расположить плоское зеркало, чтобы после отражения пучок шел вертикально?

2. Требуется осветить дно колодца, направив на него солнечные лучи. Как надо расположить плоское зеркало, если лучи солнца падают к земной поверхности под углом  $60^\circ$ ?

3. В утренние и предвечерние часы отражение Солнца в спокойной воде ослепительно яркое, а в полдень его можно рассмотреть, не жмурясь. Объясните это явление

4. Лучи, идущие от Солнца, образуют с горизонтом угол  $24^\circ$ . Как, используя плоское зеркало, направить их параллельно линии горизонта?

5. Как надо расположить плоское зеркало, чтобы изменить направление солнечного луча на горизонтальное, если луч, проходя сквозь малое отверстие в ставне, образует с горизонтальной поверхностью стола угол  $50^\circ$ ?

6. Юный рыбак, сидя на берегу озера, видит на гладкой поверхности воды изображение утреннего Солнца. Куда переместится это изображение, если он будет наблюдать его стоя?

7. Солнечные лучи составляют с поверхностью Земли угол  $40^\circ$ . Под каким углом к горизонту следует расположить плоское зеркало, чтобы изменить направление луча внутрь узкой трубы, врытой вертикально в песок?

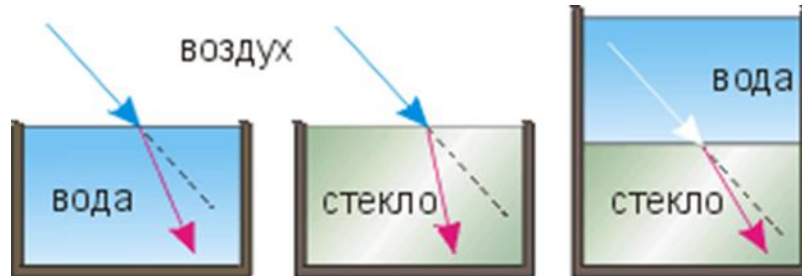
8. Человек, стоящий на берегу озера, видит на гладкой поверхности воды изображение Солнца. Как будет перемещаться это изображение при удалении человека от озера?

9. Утром солнечные лучи падают под углом  $10^\circ$  к горизонту. Как надо разместить плоское зеркало, чтобы отраженные лучи осветили дно глубокого колодца?

10. Два луча падают на зеркало. Угол падения первого луча равен  $40^\circ$ , а угол падения второго луча равен  $60^\circ$ . Найдите соответствующие углы отражения и постройте чертёж для каждого случая.

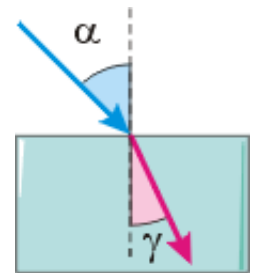
### 3. Преломление света. Закон преломления света. Полное внутреннее отражение

**Преломлением света** называют изменение направления луча на границе раздела двух сред, при котором свет переходит во вторую среду (сравните с отражением). Например, на рисунке мы изобразили примеры преломления светового луча на границах воздуха и воды, воздуха и стекла, воды и стекла.



Из сравнения левых чертежей следует, что пара сред «воздух-стекло» преломляет свет сильнее, чем пара сред «воздух-вода». Из сравнения правых чертежей видно, что при переходе из воздуха в стекло свет преломляется сильнее, чем при переходе из воды в стекло. То есть, пары сред, прозрачные для оптических излучений, обладают различной преломляющей способностью, характеризующейся **относительным показателем преломления**.

**Закон преломления света.** Чтобы рассмотреть этот закон, введём определения. Угол между падающим лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред в точке излома луча назовём углом падения ( $\alpha$ ). Аналогично, угол между преломлённым лучом и перпендикуляром к границе раздела двух сред в точке излома луча назовём углом преломления ( $\gamma$ ).



При преломлении света всегда выполняются закономерности, составляющие закон **преломления света**:

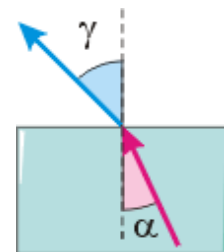
1. Луч падающий, луч преломлённый и перпендикуляр к границе раздела сред в точке излома луча лежат в одной плоскости.
2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления – постоянная величина, не зависящая от углов:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n$$

$n$  – относительный показатель преломления  
 $\alpha$  – угол падения луча  
 $\gamma$  – угол преломления луча

Применяют и качественную трактовку закона преломления света: при переходе света в оптически более плотную среду луч отклоняется к перпендикуляру к границе раздела сред. И наоборот.

**Принцип обратимости световых лучей.** При отражении или преломлении света падающий и отражённый лучи всегда можно поменять местами. Это означает, что *ход лучей не изменится, если изменить их направления на противоположные*. Многочисленные опыты подтверждают: при этом «траектория» хода лучей не меняется.



**Абсолютным показателем преломления данной среды** называется физическая величина, показывающая, во сколько раз скорость распространения света в вакууме больше скорости распространения света в данной среде, т. е.

$$n = \frac{c}{v}$$

**Полное внутреннее отражение света.** Рассмотрим подробнее переход света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную среду. В этом случае угол падения луча будет меньше угла преломления. С ростом угла падения луча растёт и угол преломления. Тогда может наступить такой момент, что при некотором угле падения  $\alpha_0$  угол преломления станет равным  $90^\circ$ , и луч света пойдёт по границе раздела двух сред. А это означает, что во вторую среду свет не проходит. Такое явление называется *полным внутренним отражением*.

При углах падения, больших, чем  $\alpha_0$ , лучи света и подавно не выйдут из первой (более плотной) среды. Для случая полного внутреннего отражения закон преломления записывается следующим образом:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{или} \quad \sin \alpha = \frac{n_2}{n_1}$$

Для воздуха и вакуума  $n_2 = 1$ , и поэтому последняя формула при переходе света из какой-либо

с  
р  
е  
д  
ы

$$n_1 = \frac{1}{\sin \alpha}$$

Показатели преломления различных прозрачных сред были рассчитаны с помощью явления волнового внутреннего отражения.

Явления полного внутреннего отражения используют в волоконной оптике. Его применяют в медицине, в эндоскопических аппаратах.

з

д  
у  
х

### 3. Задачи на тему «Преломление света. Закон преломления света. Полное внутреннее отражение»

и  
л

#### Уровень А

1. Какое явление называется преломлением света?

2. Какое явление называется полным внутренним отражением света?

а  
к  
у  
у  
м

3. Почему пальцы, опущенные в воду, кажутся короткими? Проверьте и объясните.
4. Какая среда является оптически более плотной?
5. Какие наблюдения и опыты наводят на мысль об изменении направления распространения света при переходе его в другую среду?
6. В каком случае угол преломления луча равен углу падения?
7. Какой угол — падения или преломления — будет больше в случае перехода луча света из воздуха в стекло? Сделайте чертеж.
8. Какой угол — падения или преломления — будет больше в случае перехода луча света из стекла в воздух? Сделайте чертеж.
9. Как определяют угол преломления?
10. Луч света идет из воздуха в воду. Какой угол больше — угол падения или угол преломления? Изменится ли ответ, если луч идет из воды в воздух?
11. Какие примеры преломления света вы можете наблюдать у себя дома?
12. Угол падения луча из воздуха в стекло равен  $0^\circ$ . Чему равен угол преломления?
13. В каком случае угол преломления света меньше угла падения?
14. В каком случае угол преломления света больше угла падения?
15. При каких условиях угол преломления равен углу падения?
16. Луч света падает из стекла на поверхность воды под углом  $40^\circ$ . Определите угол преломления.
17. Будет ли преломляться луч, падающий перпендикулярно поверхности раздела двух сред?
18. Преломленный луч образует с отраженным лучом угол  $90^\circ$ . Чему равен угол падения луча на поверхность стекла с показателем преломления  $n = 1,6$ ?
19. На границу сред вода - стекло падает луч света под углом  $40^\circ$ . Определите угол преломления луча.
20. Как взаимосвязан относительный показатель преломления с абсолютными показателями преломления сред?

### **Уровень В**

1. Почему ложка, поставленная в стакан с водой, кажется изогнутой?
2. Луч света падает на плоскую границу раздела двух сред. Угол падения равен  $50^\circ$ , угол между отраженным лучом и преломленным  $100^\circ$ . Чему равен угол преломления?

3. Почему, находясь в лодке, трудно попасть копьем в рыбу, плавающую невдалеке?
4. Угол между отраженным лучом и преломленным  $100^\circ$ . Чему равна сумма углов падения и преломления?
5. Любой водоем, дно которого хорошо видно, всегда кажется мельче, чем в действительности. Почему?
6. На оконное стекло падает луч света, образующий с плоскостью стекла угол  $25^\circ$ . Каким будет угол между лучом, отраженным от стекла, и прошедшим сквозь стекло?
7. Почему изображение предмета в воде всегда менее ярко, чем сам предмет?
8. Луч света падает на границу раздела сред воздух — жидкость под углом  $45^\circ$  и преломляется под углом  $30^\circ$ . Каков показатель преломления жидкости? При каком угле падения угол между отраженным и преломленным лучами составит  $90^\circ$ ?
9. Камушки, лежащие на дне водоема, кажутся колеблющимися, если поверхность воды в водоеме не совсем спокойная. Почему?
10. На оконное стекло падают два луча, угол между которыми  $30^\circ$ . Каким станет угол между лучами после того, как они пройдут сквозь стекло?
11. Если посмотреть на окружающие тела через теплый воздух, поднимающийся от костра, то они кажутся «дрожащими». Почему?
12. На дне аквариума с водой лежит плоское зеркало. На поверхность воды падает луч. Нарисуйте примерный ход луча, если угол падения равен  $50^\circ$ . Под каким углом к поверхности воды луч снова выйдет в воздух?
13. Почему чайная ложка, поставленная в чашку с водой, кажется надломленной?
14. Почему изображения предметов, получаемые при отражении их в воде, кажутся менее яркими, чем сами предметы?
15. Угол между отраженным и преломленным лучами  $110^\circ$ . Чему равна сумма углов падения и преломления?

### Уровень С

1. Кажущаяся глубина водоема 3 м. Определите истинную глубину водоема. Показатель преломления воды 1,38.
2. Луч, отражённый от поверхности стекла с показателем преломления 1,7, образует с преломлённым лучом прямой угол. Определить угол падения и угол преломления.
3. Определите, на какой угол отклоняется луч света от своего первоначального направления при переходе из стекла в воздух, если угол падения  $30^\circ$ , а показатель преломления стекла 1,5.

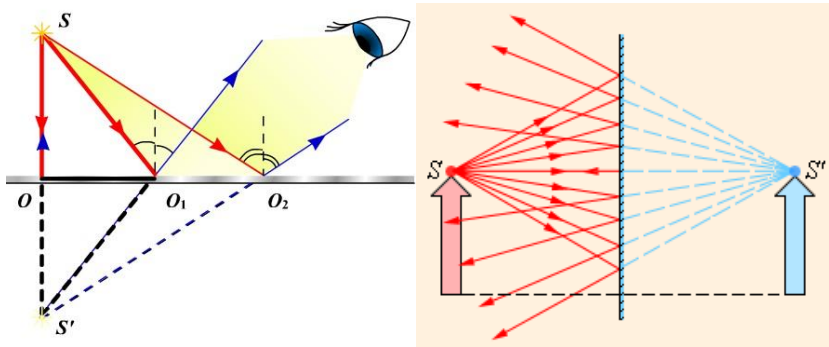
4. В дно пруда вбили вертикально шест высотой 1 м. Определите длину тени от шеста на дне пруда, если угол падения солнечных лучей  $60^\circ$ , а шест целиком находится под водой. Показатель преломления воды 1,38.
5. На горизонтальном дне водоёма, имеющего глубину 1,2 м, лежит плоское зеркало. Луч света падает на поверхность воды под углом  $30^\circ$ . На каком расстоянии от места падения этот луч снова выйдет на поверхность воды после отражения от зеркала? Показатель преломления воды 1,33.
6. На дне ручья лежит камешек. Мальчик хочет толкнуть его палкой. Прицеливаясь, мальчик держит палку под углом  $45^\circ$ . На каком расстоянии от камешка воткнётся палка в дно ручья, если его глубина 50 см?
7. Объясните с помощью схематического рисунка, почему при взгляде сверху глубина озера кажется меньшей, чем она есть на самом деле.
8. Водолаз из-под воды смотрит на птицу, парящую вблизи поверхности воды. Будет ли птица казаться ему ближе или дальше, чем она находится на самом деле?
9. Угол падения узкого пучка света на поверхность жидкости равен  $60^\circ$ , а угол преломления —  $45^\circ$ . Под каким углом к горизонту следует разместить в жидкости плоское зеркало, чтобы отраженный пучок возвратился к источнику света?
10. Мальчик старается попасть палкой в предмет, находящийся на дне пруда глубиной 50 см. Точно прицелившись, он двигает палку под углом сорок  $40^\circ$  к поверхности воды. На каком расстоянии от предмета палка ткнёт в дно пруда?



#### 4. Плоское зеркало. Сферическое зеркало, получение изображения с помощью сферического зеркала

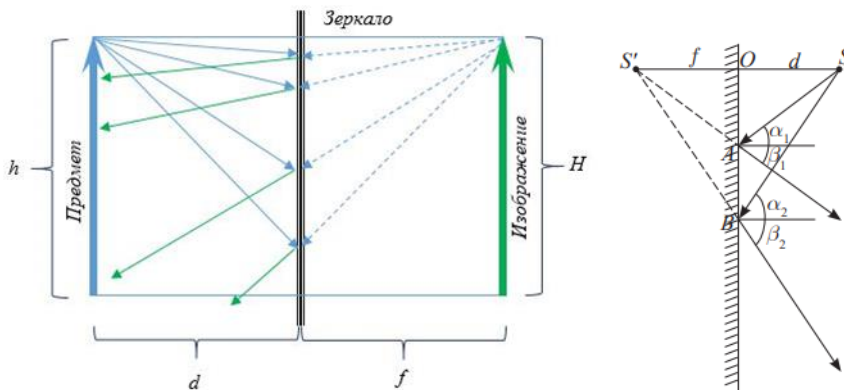
##### Плоское зеркало

Простое оптическое устройство, которое может создавать изображение объекта,-это плоское зеркало. Изображение объекта, которое дает плоское зеркало, формируется лучами, отраженными от поверхности зеркала. Это изображение мнимое, то есть ложное, потому что оно происходит не от пересечения отраженных лучей, а от их "зеркальных" продолжением



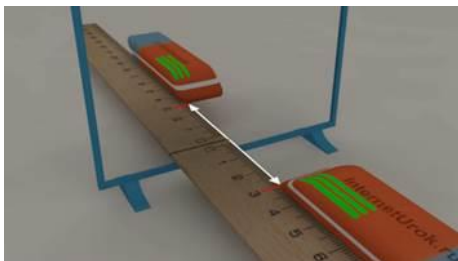
Ход лучей при отражении от плоского зеркала. Точка S-воображаемое изображение точки S.

Из-за закона отражения света мнимое изображение объекта располагается симметрично относительно поверхности зеркала. Размер изображения равен самому объекту.



Изображение в плоском зеркале формируется на том же расстоянии от зеркала  $f$  за плоскостью зеркала, где находится объект перед зеркалом  $d$ :

$$d = - f$$

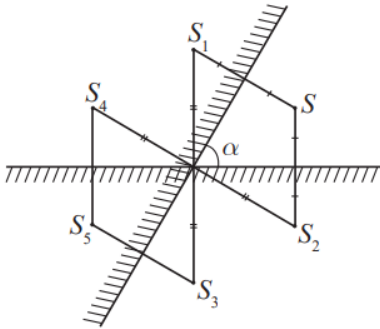


$d$  – расстояние от объекта до зеркала;  $f$ -расстояние от зеркала до изображения. Отрицательный символ означает, что изображение ложное.

Изображение в плоском зеркале:

- \* прямой;
- \* мнимое;
- \* размеры такие же, как у объекта:  $h = H$ .

С помощью двух плоских зеркал можно получить несколько изображений, число которых определяется углом между отражающими поверхностями зеркал  $\alpha$ . При построении необходимо помнить, что *изображение первого зеркала становится предметом для второго зеркала, и наоборот, изображение второго зеркала – предметом первого. Последнее полученное изображение находится за отражающей поверхностью двух зеркал.*



Для определения числа изображений необходимо от числа секторов, на которые угол  $\alpha$  делит полный угол, равный  $360^\circ$ , отнять один, в котором находится сам предмет:

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

## Сферическое зеркало

**Сферическое зеркало**—это зеркало, поверхность которого является частью сферы.

Сферические зеркала делятся на **вогнутые и выпуклые**. Точка **О**—это **оптический центр**, **Р**—**сферическая зеркальная вершина**, линия, проходящая через центр сферической поверхности и зеркальную вершину, называется **главной оптической осью**.

Если лучи направляются параллельно главной оптической оси, то они отражаются от вогнутого сферического зеркала и после отражения от зеркала лучи пересекаются в точке, называемой **основным фокусом зеркала F**. Расстояние от фокуса до вершины зеркала называется **фокусным расстоянием** и обозначается той же буквой **F**. Он расположен на полпути между центром и зеркальной вершиной.

Для сферических зеркал фокусное расстояние равно половине **радиуса кривизны сферической поверхности R** от вершины зеркала.

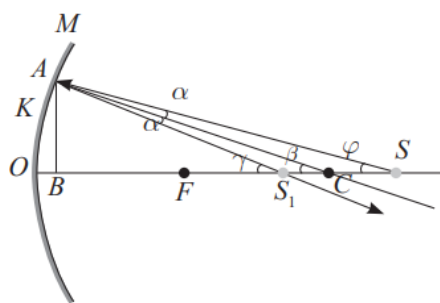
$$F = \frac{R}{2}$$

Т. е. по изображению  $OP = R$ ,  $PF = \frac{R}{2}$ .

Теперь посмотрим, откуда взялась эта формула.

Формула вогнутого сферического зеркала справедлива для параксиальных лучей, которые составляют с главной оптической осью малые углы. При таком условии фокальная плоскость

перпендикулярна главной оптической оси. На рисунке изображен луч источника света S, он отражается от точки A поверхности вогнутого зеркала. КМ – касательная в точке A, перпендикулярная радиусу AC или побочной оптической оси.



$d = OS \approx BS$  – расстояние от зеркала до предмета;

$f = OS_1 \approx BS_1$  – расстояние от зеркала до изображения;

$R = OC \approx BC$  – радиус кривизны.

$d$ ,  $f$  и  $R$  через катет  $AB$  треугольников  $\triangle ABS_1$ ,  $\triangle ABC$  и  $\triangle ABS$ , полученных в результате построения:

$$f = \frac{AB}{\operatorname{tg} \gamma}; \quad R = \frac{AB}{\operatorname{tg} \beta}; \quad d = \frac{AB}{\operatorname{tg} \varphi} \quad (1)$$

Установим связь между углами треугольников. Угол  $\gamma$  является внешним для треугольника  $\triangle S_1AC$ , угол  $\beta$  – внешним для треугольника  $\triangle CAS$ , следовательно:

$$\gamma = \alpha + \beta \quad (2)$$

$$\beta = \alpha + \varphi \quad (3)$$

Из (3) выразим  $\alpha$  и, подставив в (2), получим:

$$\gamma = 2\beta - \varphi \quad \text{или}$$

$$\varphi + \gamma = 2\beta \quad (4)$$

Тангенсы малых углов равны значениям углов в радианной мере. Выразим тангенсы из уравнений (1) и, подставив в уравнение (4), получим формулу сферического зеркала:

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{2}{R} \quad \text{отсюда} \quad F = \frac{R}{2}$$

Получим формулу сферического зеркала.

### Линейное увеличение

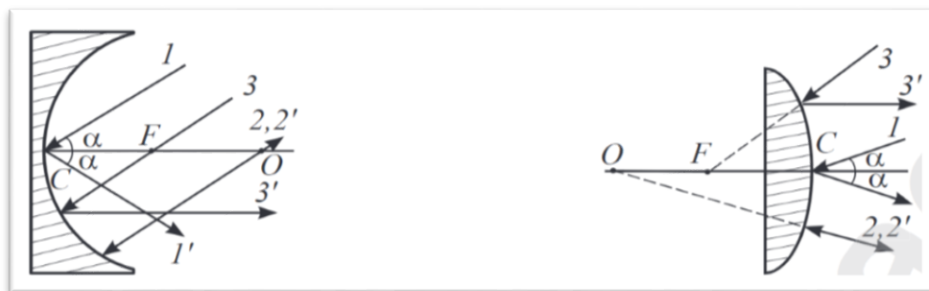
Физическую величину, равную отношению высоты изображения к высоте предмета, называют **линейным увеличением** зеркала.

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$$

где  $H$  – высота изображения;  $h$  – высота предмета;  $f$  – расстояние от изображения до вершины зеркала;  $d$  – расстояние от предмета до вершины зеркала;  $\Gamma$  – увеличение.

Если  $\Gamma > 1$ , то размеры изображения тела увеличиваются; если  $\Gamma < 1$  – уменьшаются.

### Отражение лучей в сферических зеркалах



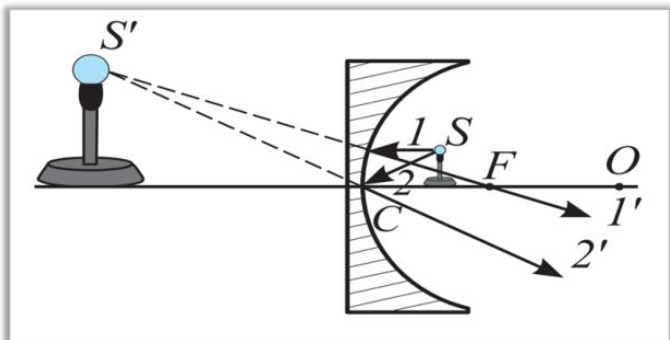
1. Луч 1, падающий в точку вершины зеркала под углом  $\alpha$  к главной оптической оси, отражается под тем же углом  $\alpha$ . Отраженный луч на рисунке обозначен цифрой 1'.

2. Луч 2, Проходящий через центр сферической поверхности, отражается вдоль линии падения луча, отраженный луч – 2'.

3. Луч 3, прошедший через фокус зеркала, после отражения станет параллельным главной оптической оси зеркала, луч отраженный – 3'.

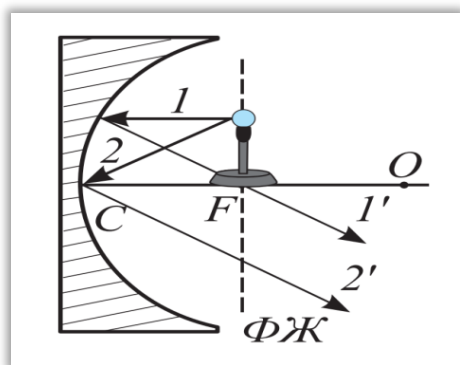
### Получение изображения из вогнутого и выпуклого зеркала

**1. Объект расположен между фокусом  $F$  зеркала и вершиной  $C$**



- мнимое
- прямое
- увеличенное
- расположенное по ту сторону зеркальной поверхности

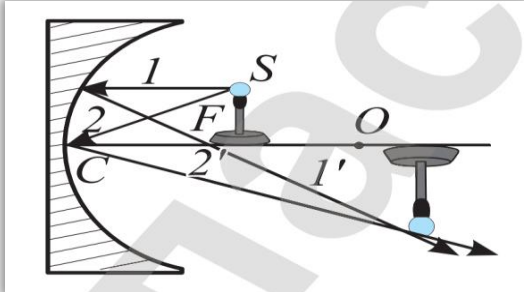
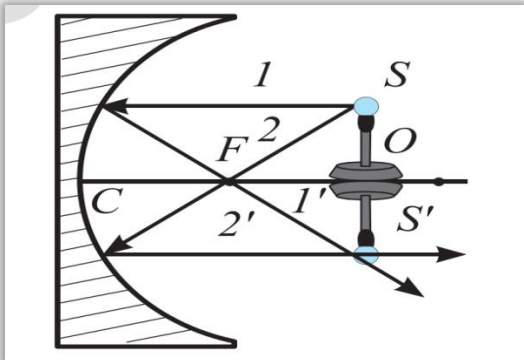
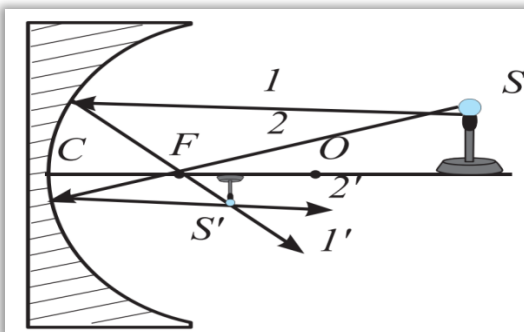
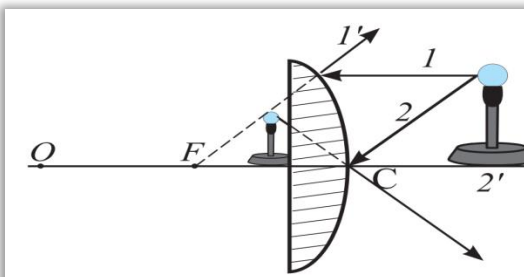
**2. Объект находится в фокусе зеркала**



Не дает изображения

**3. Вещество находится между центром и фокусом сферической поверхности**

- увеличенное
- перевернутое изображение
- расположенное за

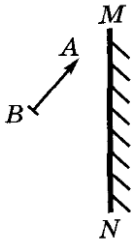
	<p>оптическим центром зеркала</p>
<p><b>4. Вещество находится в оптическом центре сферической поверхности</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- действительное</li> <li>- перевернутое изображение</li> <li>- размер которого равен размерам тела, расположено в оптическом центре.</li> </ul>
<p><b>5. Объект расположен дальше от оптического центра зеркала</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Действительное</li> <li>- уменьшенное, перевернутое изображение</li> <li>- расположенное между фокусом зеркала и его оптическим центром</li> </ul>
<p><b>6. Выпуклое зеркало. Если объект расположен дальше от центра сферической поверхности,</b></p> 	<p>Как бы ни располагалось тело в оптической оси зеркала, его изображение жалган</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- мнимое</li> <li>- прямое</li> <li>- уменьшенное</li> <li>- находится на фокусном расстоянии CF на обратной стороне поверхности зеркала..</li> </ul>

#### 4. Задачи на тему «Плоское зеркало. Сферическое зеркало, получение изображения с помощью сферического зеркала»

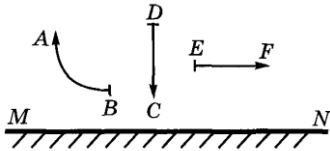
##### Уровень А

1. Какое изображение называется действительным?
2. Какое изображение называется мнимым?

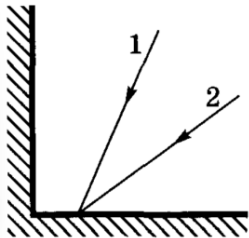
3. Постройте изображение предмета АВ в плоском зеркале MN. Какое это будет изображение?



4. Постройте мнимые изображения предметов в плоском зеркале MN.



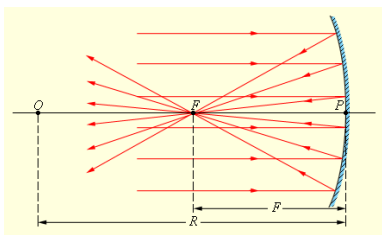
5. На одно из двух зеркал, расположенных под прямым углом друг к другу, падают лучи 1 и 2. Перечертив рисунок в тетрадь, постройте дальнейший ход этих лучей.



6. Как отличить фотографию от фотографии в плоском зеркале?

7. Как классифицируются сферические зеркала?

8. Покажите на схеме основные элементы, характеризующие сферические зеркала: фокус, оптические оси, оптический центр, основное фокусное расстояние и т. д.



9. Между двумя параллельными плоскими зеркалами находится светящаяся точка. Сколько изображений этой точки получится в зеркалах?

10. Какова оптическая сила плоского зеркала?

11. Какие лучи обычно используются при нанесении изображения на сферические зеркала?

12. Какое изображение вы получаете от выпуклого сферического зеркала?

13. При каких обстоятельствах тело не дает изображения?

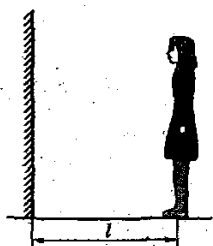
14. Рисунок положения, в котором вещество находится между центром и фокусом сферической поверхности. И каким будет изображение?



15. Каким будет изображение, если объект находится между центром и фокусом сферической поверхности?
16. В каком случае изображение будет действительным, перевернутым? Показать.
17. Нарисуйте изображение ситуации, в которой объект находится дальше оптического центра зеркала.
18. Каким будет изображение в случае, когда объект находится дальше оптического центра зеркала?
19. В каком случае изображение будет мнимым, прямым, увеличенным? Показать.
20. Что такое сферическое зеркало?

### Уровень В

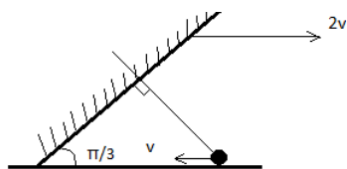
1. Человек переместится на 2 метра. На такое же расстояние переместится и его изображение. Таким образом, расстояние между человеком и изображением увеличится на 4 метра.
2. В комнате вертикально висит зеркало, верхний край которого расположен на уровне волос верхней части головы человека ростом 190 см. Какой наименьшей длины должно быть зеркало, чтобы этот человек видел себя во весь рост?
3. Опишите изображение, которое появляется в зеркале, когда объект находится на расстоянии, превышающем двойной фокус ( $d > 2F$ ) от вогнутого зеркала.
4. Опишите изображение, которое появляется в зеркале, где объект находится на расстоянии  $F < d < 2F$  от вогнутого зеркала.
5. Опишите изображение, которое появляется в зеркале, где объект находится на расстоянии  $d = 2F$  от вогнутого зеркала.
6. Опишите изображение, которое появляется в зеркале, где объект находится на расстоянии  $d < F$  от вогнутого зеркала.
7. С помощью плоского зеркала надо осветить дно глубокого колодца. Солнечные лучи составляют с поверхностью земли угол  $30^\circ$ . Под каким углом к вертикали надо расположить плоское зеркало, чтобы выполнить задуманное?
8. Расстояние от девушки до зеркала  $l = 1$  м. какое расстояние между девушкой и ее изображением? Девушка подошла к зеркалу на расстоянии 0,4 м. Какое расстояние между девушкой и ее изображением?



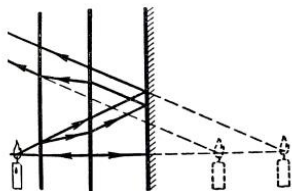
9. Между двумя параллельными плоскими зеркалами находится светящаяся точка. Сколько изображений этой точки получится в зеркалах?
10. На плоское зеркало падает луч света под углом  $25^\circ$ . На какой угол повернётся отражённый луч, если зеркало повернуть на угол  $10^\circ$ ?
11. Количество изображений в зеркале, если угол между зеркалами  $90^\circ$ ?
12. Количество изображений в зеркале, если угол между зеркалами  $60^\circ$ ?
13. Количество изображений в зеркале, если угол между зеркалами  $45^\circ$ ?
14. Количество изображений в зеркале, если угол между зеркалами  $30^\circ$ ?
15. Как рассчитать оптическую силу сферического зеркала?

### Уровень С

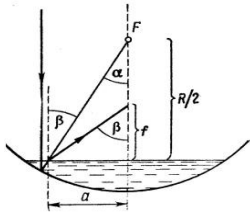
1. По столу катится шарик со скоростью  $v$ . В противоположном направлении со скоростью  $2v$  перемещают поступательно плоское зеркало. Поверхность зеркала составляет угол  $\pi/3$  с поверхностью стола. Найдите скорость шарика относительно зеркала и покажите её направление. С какой скоростью (по модулю) относительно стола перемещается изображение шарика в зеркале?



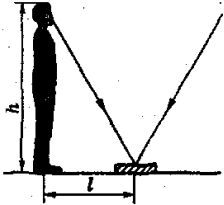
2. В плоском зеркале видно изображение свечи. Что произойдёт с этим изображением, если между зеркалом и свечой поставить плоскопараллельную пластинку?



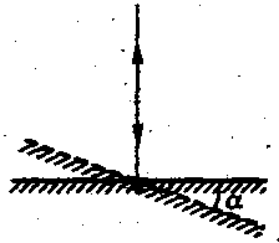
3. В оптической системе, предназначенной для задержки во времени короткого светового импульса, используется многократное отражение света от двух вогнутых сферических зеркал 31 (радиус кривизны  $r_1 = 10$  м), и 32 (радиус кривизны  $r_2 = 1$  м), расположенных на расстоянии  $L = 5,5$  м друг от друга (см. рисунок). В центре зеркала 31 имеется отверстие диаметром  $d = 2$  мм. На это зеркало на высоте  $h = 15$  см от оси системы падает короткий световой импульс в виде тонкого луча, параллельного оси. Оцените, через какой промежуток времени  $\Delta t$  этот луч выйдет через отверстие.
4. Горизонтально расположенное цилиндрическое вогнутое зеркало с радиусом кривизны  $R = 60$  см наполнено водой. Определить фокусное расстояние зеркала. Коэффициент преломления воды  $n = 4/3$ . Принять, что глубина воды мала по сравнению с радиусом кривизны зеркала  $R$ .



5. Солнце находится над горизонтом под углом  $60^\circ$ . На каком расстоянии  $l$  от себя человек ростом  $h = 1,84$  м (уровень глаз над землей  $1,73$  м) должен положить плоское зеркальце, чтобы в нем увидеть отражение Солнца?



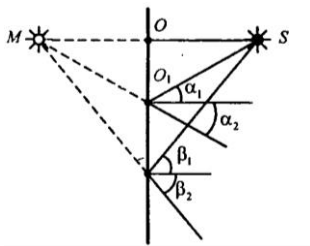
6. Луч падает перпендикулярно плоскому зеркалу (рис. 119). На какой угол повернется отраженный луч, если зеркало повернуть на угол  $\alpha = 20^\circ$ ?



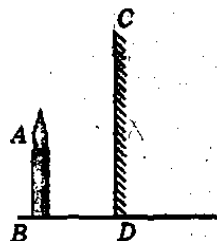
7. Почему в автомобиле нельзя использовать плоское зеркало?

8. Сбоку автомобиля перед шофером находится выпуклое зеркало, выходящее немного за корпус автомобиля. В этом зеркале шофер наблюдает за движением, происходящим позади него. Почему для этой цели не годится вогнутое зеркало?

9. Докажите, что светящаяся Точка и ее изображение в плоском зеркале находятся от зеркала на равных расстояниях. Почему изображение точки называют мнимым?



10. Свеча АВ расположена на столе перед зеркалом CD так, как показано на рисунке. Построением



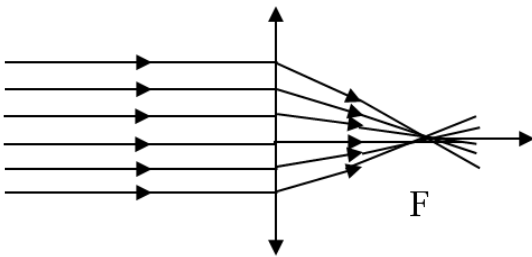
покажите изображение свечи.

## 5. Линзы. Оптическая сила линза. Тонкий линза

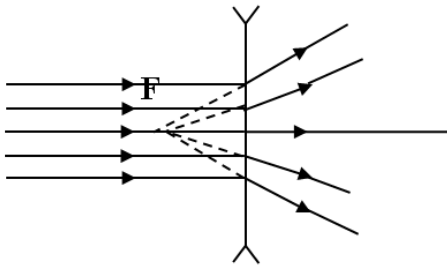
**Линза** представляет собой прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Линза называется тонкой, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхностей.

Линзы входят в состав практически всех оптических приборов. Линзы бывают **собирающими и рассеивающими**. Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше.

**Собирающая линза.** Параллельный пучок лучей после прохождения через линзу становится сходящимся. Если падающий пучок параллелен главной оптической оси, лучи после прохождения линзы собираются в ее фокусе.



**Рассеивающая линза.** Параллельный пучок лучей после прохождения через линзу становится расходящимся. Если падающий пучок параллелен главной оптической оси, то после прохождения линзы лучи идут так, что их продолжения проходят через фокус, расположенный с той стороны линзы, откуда падает параллельный пучок.



### Оптическая сила линзы

Расстояние от линзы до ее фокуса называется **фокусным расстоянием**. Величина, обратная фокусному расстоянию, называется **оптической силой линзы**:

$$D = \frac{1}{F}$$

D-оптическая сила линзы; F – расстояние от центра линзы до ее фокуса, то есть фокусное расстояние.

Единица измерения оптической силы называется **диоптрией**(дптр).

$$1 \text{ дптр} = \frac{1}{\text{м}} = \text{м}^{-1}$$

**Ситуация, которую следует учитывать:** *оптическая сила рассеивающей линзы отрицательна.*

Оптическая сила плотно прилегающей системы линз определяется суммой оптической силы каждой линзы:

$$D = D_1 + D_2 + \dots + D_n$$

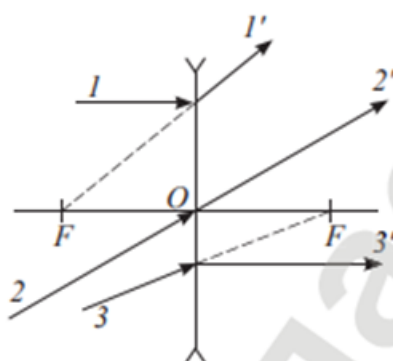
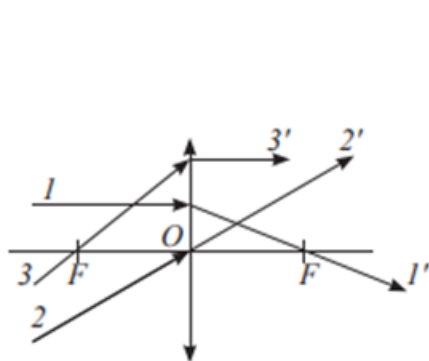
Где, n-количество линз в системе.

### Путь лучей в линзах

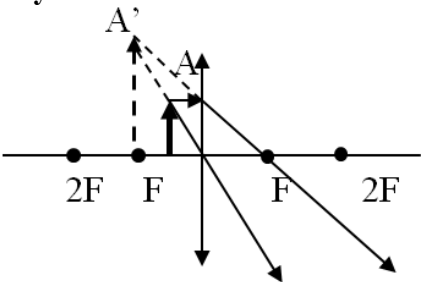
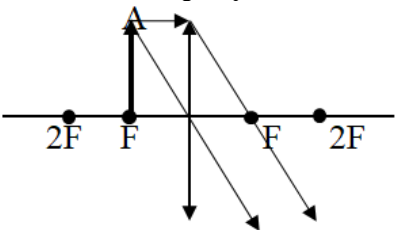
1. Луч 1, параллельный главной оптической оси линзы, проходит через фокус линзы после того, как линза преломляется 1'. Когда этот луч проходит через вогнутую линзу, его продолжение проходит через передний фокус.

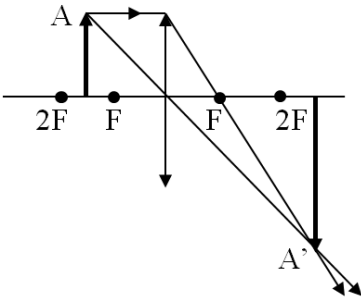
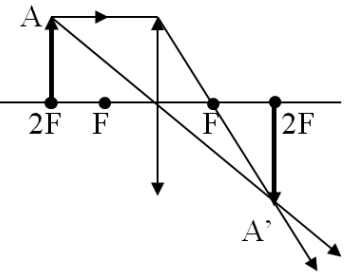
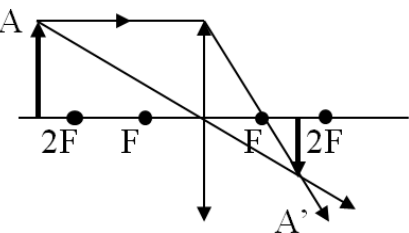
2. Луч 2, проходящий через оптический центр линзы, не преломляется 2'.

3. После того, как луч 3, проходящий через фокус линзы, преломляется через линзу, головка становится параллельной оптической оси 3'. Продолжение луча 3 на рассеивающей линзе проходит через задний фокус.

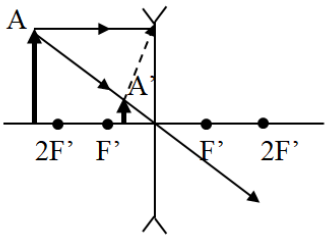


### Построение изображения выпуклой собирающей линзы

<p><b>1. Расположенное между оптическим центром и фокусом объектива.</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- увеличенное</li> <li>- мнимое</li> <li>- прямое</li> <li>- располагается по ту сторону объекта</li> </ul>
<p><b>2. Находится в фокусе объектива</b></p> 	<p>Изображения нет</p>
<p><b>3. Расположен между двойным фокусным расстоянием объектива и фокусным</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- увеличенное</li> <li>- действительное</li> </ul>

<p><b>расстоянием</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- перевернутое</li> <li>- находится на другом конце объектива на расстоянии, превышающем двойное фокусное расстояние</li> </ul>
<p><b>4. Расположен в двойном фокусе объектива.</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- размер такой же, как размер тела</li> <li>- действительное</li> <li>- перевернутое</li> <li>- расположен на другом конце объектива с двойным фокусным расстоянием.</li> </ul>
<p><b>5. Расположен за двойным фокусным расстоянием</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уменьшенное</li> <li>- действительное</li> <li>- перевернутое</li> <li>- на другой стороне объектива находится между фокусным расстоянием и двойным фокусным расстоянием</li> </ul>

#### Рисование изображения на вогнутой рассеивающей линзе

	<p>Как бы ни располагалось тело на оптической оси объектива, его изображение</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- мнимое</li> <li>- прямой</li> <li>- уменьшенный</li> </ul>
---	--

#### Формула тонкой линзы

$d$  – расстояние от объекта до объектива,  $f$  – расстояние от объектива до изображения, а  $F$  – фокусное расстояние связаны друг с другом посредством соотношения:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \rightarrow D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Это соотношение называется формулой **тонкой линзы**. При составлении формулы тонкой линзы следует обратить внимание на следующее: фокусное расстояние рассеивающей линзы и расстояние до ложного изображения имеют отрицательное значение. То есть



$$D = (n_{21} - 1) \left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_1} \right)$$

Это выражение также является формулой **тонкой линзы**. Чем больше относительный показатель преломления вещества линзы и радиус кривизны сферических поверхностей, тем больше оптическая сила линзы.

при  $n_{21} < 1$  двойная линза рассеивает лучи, при этом ее оптическая сила имеет отрицательное значение

### Линейное увеличение линзы

Размер изображения, которое дает объектив, будет отличаться от размера объекта. В связи с этим введена величина линейного увеличения. Он определяет изменение линейных размеров объекта на изображении.

**Линейное увеличение**-это отношение высоты изображения к высоте объекта.

$$\Gamma = \frac{H}{h}$$

где, H-высота изображения, h – высота предмета,  $\Gamma$ -линейное увеличение предмета.

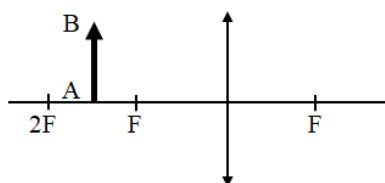
Увеличение изображения объекта можно определить по отношению расстояния от изображения к объективу к расстоянию от объекта к объективу.

$$\Gamma = \frac{f}{d}$$

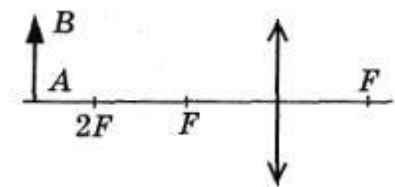
## 5. Задачи на тему «Линзы. Оптическая сила линза. Тонкий линза»

### Уровень А

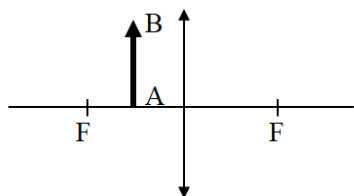
1. На каком физическом явлении основано действие линзы?
2. Как на ощупь отличить собирающую линзу от рассеивающей?
3. Капля воды на столе действует как линза. Собирающая эта линза или рассеивающая?
4. На каком расстоянии от собирающей линзы нужно поместить предмет, чтобы его изображение было действительным?
5. Можно ли получить мнимое изображение с помощью собирающей линзы? Рассеивающей линзы?
6. Светящаяся точка расположена в фокусе собирающей линзы. Где находится изображение этой точки?
7. Постройте изображение данного предмета в линзе. Какое это изображение?



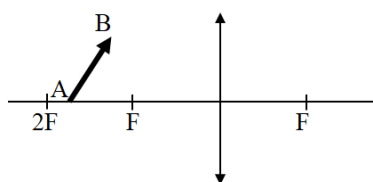
8. Постройте изображение данного предмета в линзе. Какое это изображение?



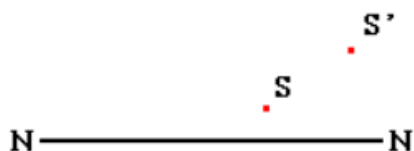
9. Постройте изображение данного предмета в линзе. Какое это изображение?



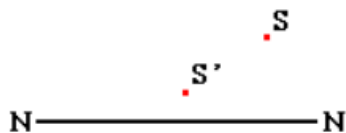
10. Постройте изображение данного предмета в линзе. Какое это изображение?



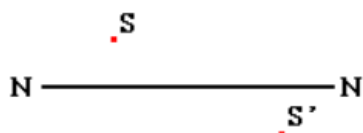
11. На рисунке показаны главная оптическая ось  $NN$  линзы, предмет  $S$  и его изображение  $S'$ . Определите графически положение оптического центра и фокусов линзы.



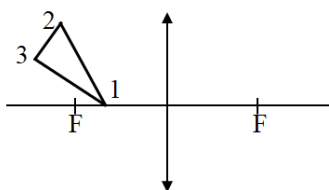
11. На рисунке показаны главная оптическая ось  $NN$  линзы, предмет  $S$  и его изображение  $S'$ . Определите графически положение оптического центра и фокусов линзы.



11. На рисунке показаны главная оптическая ось  $NN$  линзы, предмет  $S$  и его изображение  $S'$ . Определите графически положение оптического центра и фокусов линзы.



14. Постройте изображение данного предмета в линзе. Какое это изображение?



15. Определите понятия "Линза", "тонкая линза".

16. По каким формулам определяется линейное увеличение линзы?

17. Выведите формулу для тонкой линзы. При использовании формулы тонкой линзы установите правило маркировки.

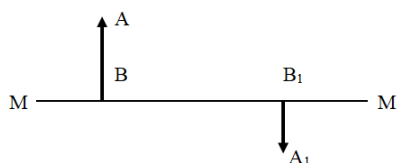
18. Какие линзы называются собирающими и рассеивающими?

19. Какие лучи обычно используются при рисовании изображения на тонких линзах?

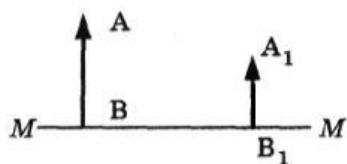
20. Чем отличается построение изображения рассеивающей линзы по сравнению с собирающей линзой?

### Уровень В

1. На рисунке показаны главная оптическая ось ММ линзы, предмет АВ и его изображение А<sub>1</sub>В<sub>1</sub>. Определите графически положение оптического центра и фокусов линзы.



2. На рисунке показаны главная оптическая ось ММ линзы, предмет АВ и его изображение А<sub>1</sub>В<sub>1</sub>. Определите графически положение оптического центра и фокусов линзы.

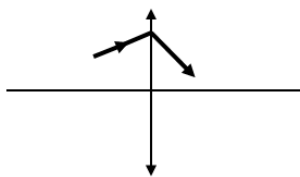


3. На рисунке показаны главная оптическая ось ММ линзы, предмет АВ и его изображение А<sub>1</sub>В<sub>1</sub>. Определите графически положение оптического центра и фокусов линзы.

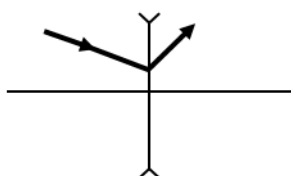


4. Высота предмета 2 см. Чтобы получить изображение высотой 1 м, каким должно быть фокусное расстояние объектива, находящегося на расстоянии 4 м от экрана?

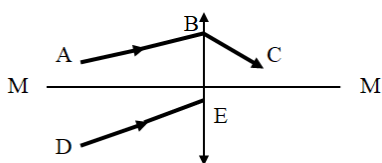
5. Определите построением положение фокусов линзы, если задана главная оптическая ось и ход произвольного луча.



6. Определите построением положение фокусов линзы, если задана главная оптическая ось и ход произвольного луча.



7. На рисунке показано положение оптической оси ММ тонкой линзы и ход луча ABC. Найдите построением ход произвольного луча DE.



8. Оптическая сила линзы 5 дптр. Какая это линза – собирающая или рассеивающая?

9. Оптическая сила линзы 4 дптр. Какая это линза – собирающая или рассеивающая?

10. Какую оптическую силу имеет собирающая линза, фокусное расстояние которой 10 см?

11. Линзу с оптической силой 2,5 дптр поместили на расстоянии 0,5 м от ярко освещённого предмета. На каком расстоянии следует поместить экран, чтобы увидеть на нём чёткое изображение предмета?

12. Предмет высотой 3 см находится на расстоянии 40 см от собирающей тонкой линзы. Определите высоту изображения, если оптическая сила линзы равна 4 диоптриям.

13. В чем разница в формуле линзы для собирающей и рассеивающей линз?

14. Изображение предмета сформировалось на расстоянии 30 см от линзы. Известно, что оптическая сила этой линзы равна 4 дптр. Найдите линейное увеличение.

15. Предмет находится от тонкой собирающей линзы на расстоянии 10 см. Если его отодвинуть от линзы на 5 см, то изображение предмета приблизится к линзе вдвое. Найдите оптическую силу этой линзы.

### Уровень С

1. На рисунке изображены в разрезе линзы, изготовленные из одинакового стекла. У какой линзы большее фокусное расстояние? У какой из них больше оптическая сила?



2. Суретте бірдей шыныдан жасалған линзалар көрсетілген. Қандай линзаның фокустары оған жақын?



3. Можно ли разжечь костер с помощью льда?

4. Всегда ли линзы с выпуклыми поверхностями – собирающие, а линзы с вогнутыми поверхностями – рассеивающие?

5. Оптическая сила линзы 2,5 дптр. На каких расстояниях от нее надо поместить лампу и экран, чтобы получить на экране изображение, размеры которого равны размерам лампы?

6. На каком расстоянии от собирающей линзы надо поместить предмет, чтобы расстояние между предметом и его действительным изображением было минимальным. Фокусное расстояние линзы равно  $F$

7. Вдоль прямой, перпендикулярной главной оптической оси и отстоящей от линзы на расстояние  $a = 18$  см, ползет муравей со скоростью  $u = 1,6$  см/с. На экране наблюдают четкое изображение муравья. С какой скоростью  $v$  движется изображение муравья, если фокусное расстояние линзы  $F = 12$  см?

8. Предмет расположен перпендикулярно главной оптической оси. Расстояние между предметом и его прямым изображением, даваемым линзой, равно  $l = 5$  см. Линейное увеличение  $\beta = 0,5$ . Определите фокусное расстояние линзы.

9. Расстояние между точечным источником света и экраном равно  $L$ . Линза, помещенная между ними, дает четкое изображение при двух положениях, расстояние между которыми равно  $l$ . Определите фокусное расстояние линзы.

10. Если расстояние предмета от линзы 36 см, то высота изображения 10 см. Если же расстояние предмета от линзы 24 см, то высота изображения 20 см. Найдите фокусное расстояние линзы.

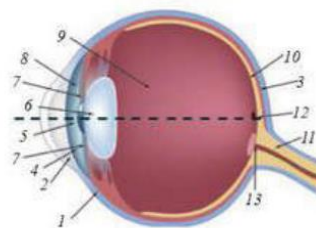
## 6. Оптические приборы. Глаз как оптическая система

**Оптические приборы** - устройства, преобразующие(преломляющие, отражающие) свет, поступающий от исследуемого объекта при помощи системы линз. Законы геометрической оптики лежат в основе действия разнообразных оптических приборов, основной частью которых является некоторая оптическая система, которая формирует изображение предмета. В зависимости от назначения различают следующие оптические приборы: проекционная аппаратура, микроскопы, телескопы, фотоаппараты и др.

**Проекционные оптические приборы.** К проекционным приборам относятся оптические приборы, дающие на экране действительное, увеличенное изображение предмета. Различают три вида этих приборов: диаскоп, служащий для проектирования прозрачных предметов на экран; эпископ, проектирующий на экран непрозрачные предметы, и эпидиаскоп, проектирующий и прозрачные, и непрозрачные предметы. Во всех случаях предмет помещают между фокусом и двойным фокусом объектива. Чем ближе предмет к фокусу, тем большее увеличение дает проекционный аппарат.

**Фотоаппарат** – это оптическое устройство с линзовой системой, с помощью которой получают изображение предмета на светочувствительной пленке, сохраняющей изображение. Основные части фотоаппарата: объектив, непрозрачная камера, фотопленка. Объектив представляет собой сложную систему линз, предназначенную для проектирования изображения на фотопленку. На плоскости фотопленки получается действительное, уменьшенное, перевернутое изображение предмета. Сам предмет при фотографировании помещают за двойным фокусом, а его изображение получается между фокусом и двойным фокусом.

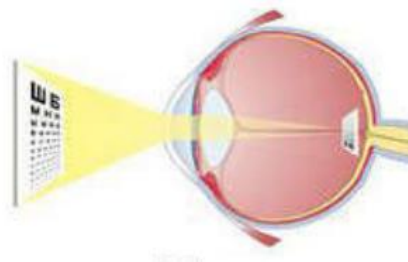
**Глаз.** Человек воспринимает информация об окружающем мире органами чувств. Зрение является одним из этих органов. Зрение человек – способность воспринимать информацию путем преобразования световой энергии, осуществляется его зрительной системой. Основную информацию о мире, об окружающей среде мы узнаем с помощью глаз. Глаз представляет собой «живой» оптический прибор, позволяющий воспринимать окружающий мир как человеку, так и животному. Глаз дает уменьшенное, действительное, перевернутое изображение предмета на сетчатке глазного яблока. Структура глаза изображена на рисунке.



1. Склера – внешняя оболочка глазного яблока.
2. Роговица – передняя прозрачная часть склеры(ее показатель преломления  $n=1,38$ ).
3. Сосудистая оболочка, состоящая из кровеносных сосудов, питающих глаз. Она прилегает к склере с внутренней стороны.
4. Радужная оболочка – передняя часть сосудистой оболочки. У разных людей цвет радужной оболочки разный.
5. Зрачок – составляющая глаза в середине радужной оболочки, сквозь которую проходит свет. Диаметр зрачка рефлекторно изменяется от 2 до 8 мм в зависимости от освещенности.

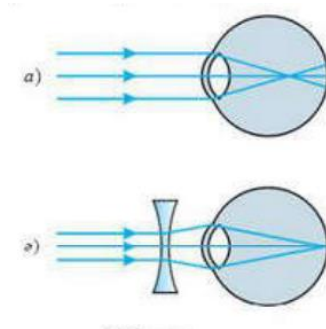
6. Хрусталик – прозрачное, упругое, слоистое тело, похожее на двояковыпуклую линзу, проектирующую изображение на сетчатку глазного яблока. Возможность кривизны хрусталика меняться под воздействием мышц, облегающих его со всех сторон, приводит к тому, что изображения предметов, лежащих на различных расстояниях, проектируются точно на поверхность чувствительного слоя сетчатки. Этот процесс называется аккомодацией. То есть аккомодация – это приспособление глаза к отчетливому видению на различных расстояниях путем изменения радиуса кривизны хрусталика. Расстояние от предмета до глаза, при котором удобнее всего рассматривать детали предмета, называется расстоянием наилучшего зрения. Для нормального глаза это расстояние составляет 25 см.
7. Мышцы, которые могут деформировать хрусталик, что приводит к изменению его радиуса кривизны. Кроме того, эти мышцы поворачивают глаз так, чтобы его ось была направлена на рассматриваемый предмет. Напряжения мышц правого и левого глаза различаются тем сильнее, чем ближе предмет. Изображения близкого предмета на сетчатках правого и левого глаза несколько отличаются друг от друга. Это дает человеку возможность оценивать расстояние до предмета или его частей, а также создает впечатление объемности наблюдаемых тел.
8. Водянистая жидкость.
9. Стекловидное тело, заполняющее полость глазного яблока, представляет собой студенистую жидкость.
10. Сетчатка покрывает все дно глазного яблока. Она состоит из разветвлений зрительного нерва.
11. Зрительный нерв, нервные окончания которого называются колбочка и палочка. Они представляют собой светочувствительные элементы.
12. Желтое пятно – место на сетчатке наиболее чувствительное к свету.
13. Слепое пятно – место на сетчатке, куда входит зрительный нерв.

По своему устройству глаз сходен с фотоаппаратом. Роль объектива выполняет хрусталик совместно со стекловидным телом. Изображение получается на чувствительной поверхности сетчатки. Получение четкого изображения осуществляется путем аккомодации. Зрачок играет роль изменяющейся по размерам диафрагмы.

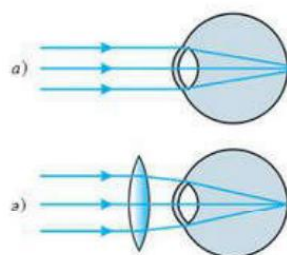


**Очки.** Глаз человека с нормальным зрением (расстояние наилучшего видения равно 25 см) проецирует изображение предмета на сетчатку. У некоторых же людей глаза в ненапряженном состоянии проецируют изображение не на сетчатку, а перед ней. Такие люди обладают дефектом зрения, называемым близорукостью. Близорукий человек отчетливо видит предметы, начиная с определенного расстояния. Он хорошо различает близкие предметы, но плохо – удаленные от него. Для исправления этого дефекта применяют очки с рассеивающими линзами или, как говорят, минусовыми.





Если же глаз дает изображение предмета за сетчаткой, то дефект называется дальнозоркостью. Люди с этим дефектом хотя и видят далекие предметы, но не отчетливо, слабо различая их подробности. Близкие же предметы дальнозоркие люди видят плохо, расплывчато. У них ближний предел аккомодации наблюдается при расстояниях до предмета, больших 25 см. Дальнозоркость исправляют ношением очков с собирающими линзами.



Определим оптическую силу очков, необходимых человеку для коррекции хода лучей в глазе. Расстояние наилучшего зрения для дальнозорких больше 25 см, для близоруких меньше 25 см. Очки должны дать изображение на расстоянии наилучшего зрения человека с нормальным зрением. Изображение линзы становится предметом для хрусталика глаза. Полученное изображение в собирающей линзе находится по ту же сторону, что и предмет, следовательно, оно мнимое. Рассеивающая линза дает только мнимое изображение. С учетом последнего формула расчета оптической силы примет вид:

$$D = \frac{1}{F} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d}$$

Где  $d_0=0.25$  м,  $d$  – расстояние наилучшего зрения для дальнозоркого или близорукого человека.

**Преимущество зрения двумя глазами.** Благодаря зрению двумя глазами мы способны определить, как далеко или близко находятся окружающие нас тела. Изображения на сетчатке правого и левого глаза отличаются, каждый глаз видит предмет сбоку. Чем ближе предмет, тем заметнее отличие изображений. Зрение двумя глазами позволяет увидеть окружающие предметы объемными, при этом увеличивается поле зрения.

**Лупа.** Для того чтобы различить мелкие детали рассматриваемого предмета, угол зрения должен быть большим. Увеличение угла зрения можно достигнуть приближением предмета к глазу, что обеспечивается с помощью оптических приборов. Большему углу зрения соответствует и большее изображение на сетчатке глаза. Простейший прибор, позволяющий рассматривать мелкие предметы, представляет собой собирающую короткофокусную линзу (10 см). Эту линзу называют лупой. Лупу, как правило, помещают близко к глазу, а рассматриваемый предмет располагают в ее фокальной плоскости. При этом изображение на сетчатке получается без напряжения глаза. Лупами пользуются часовые мастера, геологи, криминалисты итд.

**Перископ.** Еще один оптический прибор – перископ – оптический прибор для наблюдения из укрытия.

**Микроскоп.** Для рассматривания совсем маленьких предметов используют микроскоп. Простейший микроскоп представляет собой комбинацию двух линз. Собирающая длиннофокусная линза, обращенная к предмету, называется объективом. Он дает действительное, увеличенное изображение предмета. Это изображение рассматривается через другую собирающую короткофокусную линзу(лупу), которую называют окуляром. Рассматриваемый предмет располагается между объективом и его фокусом ближе к фокусу. Тогда объектив даст увеличенное, действительное изображение предмета, которое получается за объективом вблизи фокуса окуляра.

**Телескоп** – это оптический прибор для наблюдения небесных тел. Телескопы разделяются на линзовые(рефракторы) и зеркальные(рефлекторы).

**Основное назначение лупы, микроскопа и телескопа** – увеличение угла зрения на рассматриваемые объекты.

**Угловое увеличение оптического прибора** – это отношение тангенса угла зрения при рассмотрении предмета через оптический прибор к тангенсу угла зрения при рассмотрении предмета невооруженным глазом на расстоянии наилучшего зрения.

$$\gamma = \frac{tg\varphi}{tg\varphi_0}$$

Угловое увеличение лупы определяется отношением расстояния наилучшего зрения к фокусу линзы.

$$\gamma = \frac{d_0}{F}$$

Угловое увеличение микроскопа определяется произведением линейного увеличения объектива и окуляра.

$$\gamma = \Gamma_{об} \cdot \Gamma_{ок}$$

Угловое увеличение зрительной трубы(телескопа) равно отношению фокусных расстояний объектива и окуляра.

$$\gamma = \frac{F_1}{F_2}$$

## **6. Задачи на тему «Оптические приборы. Глаз как оптическая система»**

### **Уровень А**

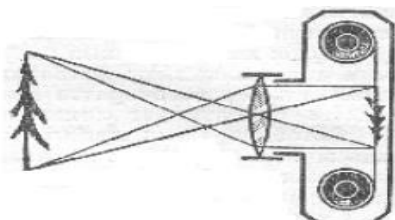
1. Какие части глаза образуют оптическую систему?
2. Какое преимущество дает зрение двумя глазами?
3. Какой оптический прибор по своему устройству наиболее похож на глаз человека?
4. Из каких оптических элементов состоит микроскоп?

5. Действительное или мнимое изображение создает объектив фотоаппарата на фотопленке?
6. Какой недостаток зрения исправляют очки с рассеивающими линзами?
7. Какой недостаток зрения исправляют очки с собирающими линзами?
8. Ученица пользуется очками с оптической силой + дптр. Каково фокусное расстояние линз в этих очках? Какой недостаток зрения они исправляют?
9. Близорукий человек оказался на необитаемом острове. Сумеет ли он развести костер, используя линзы очков как зажигательные стекла. Обоснуйте свой ответ.
10. В воде человек видит контуры окружающих его предметов размытыми. Означает ли это, что под водой глаз становится очень близоруким или очень дальноруким?
11. Врач порекомендовал Арману носить очки с оптической силой -1 дптр. Какой недостаток зрения у Армана? Каково фокусное расстояние линз этих очков?
12. На каком «экране» создает изображение наш глаз? Какое это изображение – действительное или мнимое?
13. Из каких оптических элементов состоит телескоп?
14. Вы нашли очки. Предложите способ, с помощью которого можно определить, близорукость или дальнорукость у их владельца.
15. Какое изображение дает микроскоп – действительное или мнимое? Прямое или перевернутое?
16. Дает ли телескоп увеличенные изображения звезд?
17. Какой дефект появится у рыбы, которую вынули из воды, - близорукость или дальнорукость?
18. В каком случае буквы на рекламном щите легче различить: а) высота букв 25 см и щит разглядывают с расстояния 20 м; б) высота букв 55 см и щит разглядывают с расстояния 40 м?
19. Фокусное расстояние у лупы 12,5 см. Найдите увеличение лупы.
20. В каком случае хрусталик глаза делается более выпуклым: если мы смотрим на близкие или далекие предметы?

### **Уровень В**

1. С какого расстояния был сделан фотоснимок электрички, если высота вагона на снимке 9 мм, а действительная высота 3 м? Фокусное расстояние объектива фотоаппарата 15 см.
2. Объектив проекционного аппарата имеет фокусное расстояние 15 см. На каком расстоянии нужно поместить диапозитив размером 9х12 см от объектива, чтобы получить на экране изображение размером 45х60 см?
3. Какова высота изображения человека на пленке, если рост человека 1,8 м, а съемку производят с расстояния 3 м? считайте, что объектив можно рассматривать как одну собирающую линзу.
4. На какой высоте над фотографом летел самолет, если длина самолета 20 м, а размер его изображения на пленке 1 мм? Фокусное расстояние объектива 30 мм.

5. При космической фотосъемке с высоты 100 км используют объектив с фокусным расстоянием 50 см. Каковы размеры полученного на фотопленке изображения школьного двора размером 50 х 50 м?
6. Снимок площадью 2х2 м снимается фотоаппаратом, находящимся на расстоянии 4,5 м от него. Изображение, полученное из этого, имеет размер 5х5 см. Чему равно фокусное расстояние объектива аппарата? Мы предполагаем, что расстояние от изображения до объектива будет больше, чем фокусное расстояние.
7. Какое изображение дает фотоаппарат на рисунке? (уменьшенное, действительное, перевернутое)



8. Человек с нормальным зрением начинает смотреть через очки с оптической силой +5 дптр. Между какими двумя предельными положениями должен быть расположен рассматриваемый объект, чтобы его было ясно видно?
9. Обычным фотоаппаратом можно снимать предметы, расположенные не ближе 50 см от объектива. С какого расстояния можно снимать этим же фотоаппаратом, если на объектив надеть насадочную линзу с оптической силой +2 дптр?
10. Диапозитив имеет размер 8х8 см. Определить оптическую силу тонкой собирающей линзы, которая может служить объективом проекционного фотоаппарата, если изображение диапозитива на экране должно иметь размеры 1,2х1,2 м. Расстояние от объектива до экрана 4 м.
11. Определить оптическую силу объектива проекционного фонаря, если диапозитив высотой 5 см получается на экране высотой 2 м, когда экран удален от объектива на 6 м.
12. С высоты 1 км сфотографирована река. Определить ширину реки, если на снимке она равна 4 см. Оптическая сила объектива фотоаппарата равна 8 дптр.
13. С какого расстояния нужно фотографировать здание длиной 50 м, чтобы весь фасад здания поместился в кадре пленки размером 24х36 мм? Фокусное расстояние объектива равно 50 мм.
14. Высота здания на фотографическом снимке 7 см. Определить действительную высоту здания, если известно, что главное фокусное расстояние объектива равно 20 см, а аппарат при съемке был поставлен на расстоянии 80 м от здания.
15. При фотографировании с расстояния 100 м высота дерева на негативе оказалось равной 12 мм. Найдите действительную высоту дерева, если фокусное расстояние объектива 50 мм.

### Уровень С

1. Фотограф, стоящий в 10 м от дороги, фотографирует велосгонщика, проезжающего мимо него со скоростью 36 км/ч. Фокусное расстояние объектива фотоаппарата 50 мм. Какова длина изображения велосипеда на пленке, если длина велосипеда 2 м? На какое время должен

открываться при съемке затвор фотоаппарата, чтобы «размытие» изображения на пленке не превышало 0,1 мм?

2. Увеличение микроскопа 400. Определить оптическую силу объектива, если фокусное расстояние окуляра 5 см, а длина тубуса 20 см.

3. Увеличение микроскопа 600. Определить оптическую силу объектива, если фокусное расстояние окуляра 4 см, а длина тубуса 24 см.

4. Фокусное расстояние объектива микроскопа 1,25 мм, окуляра – 10 мм. Расстояние между объективом и окуляром равно 16 см. Где должен быть помещен рассматриваемый объект и каково увеличение микроскопа для наблюдателя, расстояние наилучшего зрения которого 25 см?

5. Фокусное расстояние объектива одного из рефракторов в Пулковке 14,1 м. Каково увеличение это рефрактора при пользовании окуляром с фокусным расстоянием 2,5 см?

6. Из астрономической трубы, у которой фокусное расстояние объектива 3 м, вынули окуляр и просто глазом рассматривает изображение, полученное в главном фокусе объектива. Труба наведена на очень далекий предмет. Какое увеличение дает в этом случае труба?

7. Зрительная труба настроена для наблюдения Луны. На какое расстояние и в какую сторону нужно передвинуть окуляр, чтобы можно было рассматривать предметы удаленные от трубы на 100 м? Фокусное расстояние объектива 60 см.

8. Ученик привык читать книгу, держа ее на расстоянии 20 см от глаз. Какова должна быть оптическая сила очков, которые должен носить ученик, чтобы читать книгу, держа ее на расстоянии наилучшего зрения 25 см?

9. Наблюдатель рассматривает удаленный предмет с помощью зрительной трубы Кеплера. В качестве объектива и окуляра используются линзы с фокусными расстояниями  $F_1 = 30$  см и  $F_2 = 5$  см. Наблюдатель видит четкое изображение предмета, если расстояние между объективом и окуляром трубы находится в пределах от  $L_1 = 33$  см до  $L_2 = 34,5$  см. На каких расстояниях наблюдатель видит изображение предмета? Человек рассматривает удаленный предмет.

10. В микроскопе фокусное расстояние объектива  $F_1 = 5,4$  мм, а окуляра  $F_2 = 2$  см. Предмет находится на расстоянии  $A_1 = 5,6$  мм от объектива. Определите увеличение микроскопа для нормального глаза и длину тубуса микроскопа.

## Ответы

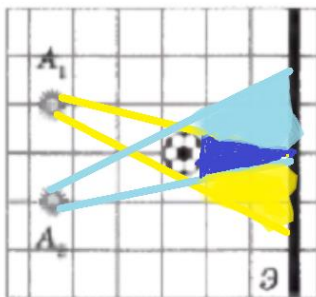
### 1. Геометрическая оптика. Закон прямолинейного распространения света

#### Уровень А

1. Причина, почему мы не наблюдаем солнечное затмение каждое новолуние, - в наклоне орбиты Луны. Орбита Луны наклонена на 5 градусов по сравнению с плоскостью орбиты Земли; 2. Во время затмения Луна, оказавшись полностью в тени Земли, окрасилась в багряно-красный цвет. Этот визуальный эффект связан с тем, что атмосфера нашей планеты пропускает солнечные лучи красно-оранжевой части спектра, отражая остальные; 3. Это происходит за счет дифракции (огибание препятствий) света и увеличения расстояния между человеком и его тенью (на земле). Если присмотреться, то при освещении уличным фонарем тень от ног всегда четче, чем тень от головы; 4. Лампочка – можно как точечный источник, значит получаем тень. Люстра – увеличивает размеры источника, а если источник большой получаем полутень; 6. Нет, сама Луна не является источником света, она отражает свет другого светила – Солнца; 7. Естественные источники света: молния, светлячок. Искусственные: лампа, телевизор; 8. Только ее пламя считается источником света; 9. Естественные: молния, Солнце, светящиеся в темноте глаза кошки, полярное сияние, звезды, светлячки, радуга. Искусственные: свечка, экран включенного телевизора, спички, костер, электрическая лампа, люминесцентная лампа, фары автомобиля; 10. Точечный источник света: далекие звезды, светлячок, фонарик с одной лампой. Протяженный источник света: фонарь с рассеивателем, Солнце; 11. Если источник света протяженный; 12. Солнечное затмение возникает тогда, когда Солнце, Луна и Земля выстраиваются в одну прямую и Луна находится между Солнцем и Землей, лунное затмение возникает тогда, когда Солнце, Луна и Земля выстраиваются в одну прямую и Луна находится за Солнцем и Землей; 13. В) Звезды – точечный источник света, пламя и салют – протяженные источники света; 14. Когда человек или предмет находится в полутени, то из полутени видно некоторую часть источника, из которого выходит свет; 15. Световой луч; 16. Солнце, светлячки, звезды, подводные рыбы светящиеся; 17. Экран телевизора, телефона, костер, люминесцентная лампа; 18. Лунное затмение; 19. Температура холодного источника света близка к комнатной; 20. Луна, зеркало

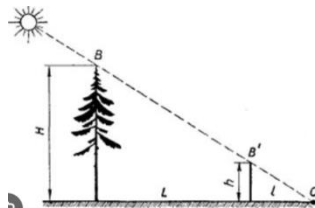
#### Уровень В

1. Протяженный источник может рассматриваться как точечный, если объект на который падает свет от источника удален от него на расстояние, которое значительно превосходит размеры источника; 2. Меняя расстояние между источником света и палкой можно изменить длину их теней;



3. ; 4. увидеть пучок света возможно из-за инородных тел (пылинки), летающих в воздухе. Весь этот летающий мусор - преграда для луча света. Когда луч попадает на такую соринку, он освещает её, и соринка частично отражает попавший на неё лучик (все тела способны отражать лучи). А теперь представьте, сколько таких соринок в воздухе, крупных или

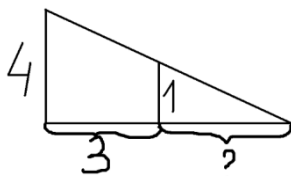
едва заметных, и все они отражают часть лучей. Далее, часть отраженных лучей света доходит до сетчатки наших глаз, и мы видим пучки света со стороны; **5.** Закон прямолинейного распространения света; **6.** Чем меньше размеры источника света, тем меньше размер полутени; **7.** Объект, который в ясную погоду давал отчетливую тень, в пасмурную погоду подсвечивается со всех сторон, поэтому резких переходов из света в тень замечено не будет.; **8.** Да, только в тот



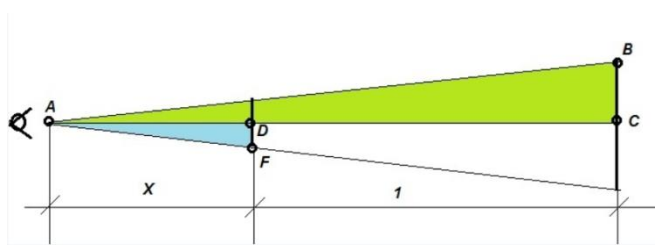
момент когда солнце находится в зените или на экваторе; **9.**  $H = \frac{L \cdot h}{l}$ ; **10.** потому что тело закрывает больше лучей света; **11.** Затмения Солнца происходят в новолуния, когда Солнце, Луна и Земля располагаются на одной прямой. Лунные затмения происходят, когда Луна пересекает тень Земли. Это когда Луна находится на противоположной стороне от Солнца, поэтому лунные затмения всегда происходят в фазе полнолуния; **12.** Источником света является фонарь, потому что условие  $\frac{H}{h} = \frac{L}{l}$  не выполняется; **13.** Воздух от костра нагревается неравномерно и становится неоднородным (имеет разную плотность) Воздушные потоки всё время перемещаются. Лучи света в такой неоднородной среде преломляются по-разному, картина всё время меняется; **14.** Чтобы уменьшить поток световой энергии, который мешает видеть дорогу водителям встречных машин; **15.** Парты в классах располагаются так, чтобы окна находились слева от них, и тень от пишущей руки не падала на бумагу;

### Уровень С

1. 1 м;

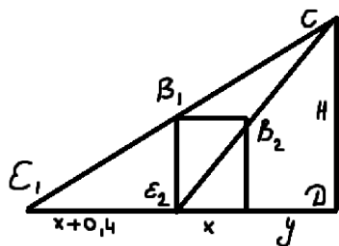


2.  $\frac{4}{1} = \frac{x+3}{x} \rightarrow x = 1\text{м}$  ;



3.  $\frac{AC}{AD} = \frac{BC}{DF} \rightarrow \frac{x+1}{x} = \frac{6}{0.5} \rightarrow x = 9\text{см.}$

4.  $\frac{H_1}{L_1} = \frac{H_2}{L_2} \rightarrow L_1 = \frac{L_2 \cdot H_1}{H_2} = 3.2 \text{ км};$



5.



$$\frac{1.2}{H} = \frac{x}{E_2 * D}; E_2 * D = x + y$$

$$\begin{cases} H(x + 0.4) = 1.2(x + y + 1.2) \\ H * x = 1.2(x + y) \end{cases}$$

$$H = 3.6 \text{ м};$$

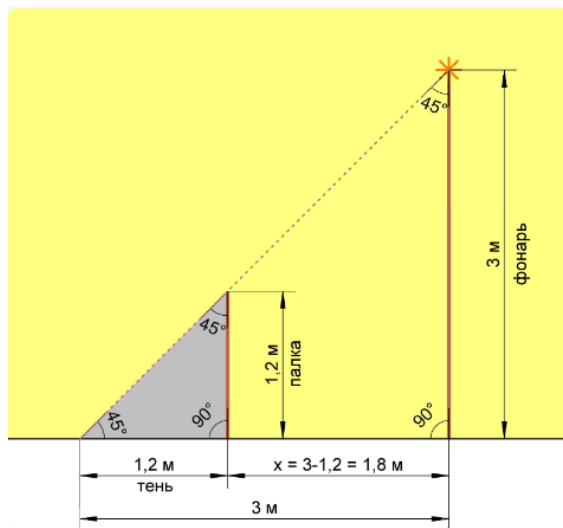
6. Чтобы задача была понятнее, лучше нарисовать эскиз (см. картинку внизу).

Видим два треугольника- малый (область тени), и большой (между концом тени и фонарём).

Малый треугольник- прямоугольный, равнобедренный (т.к. оба его катета равны). Значит, и оба его острых угла равны 45 градусам.

Большой треугольник- прямоугольный и имеет общий острый угол с малым треугольником, равный 45 градусам. Значит, большой треугольник тоже равнобедренный, и второй его катет равен 3 метра.

Отсюда вычисляем искомое расстояние. По эскизу видно, что оно равно:  $x = 3 - 1,2 = 1,8 \text{ м}$



$$7. 34 \text{ м};$$

8. 1) Угловая скорость мухи и ее тени относительно источника света одинаковая. Т.е. за одну и ту же единицу времени муха и ее тень повернутся на +один и тот же угол:  $\alpha_1 = \alpha_4 = \alpha$ , где  $\alpha_1$  - угол поворота мухи относительно источника света на расстоянии  $1 \text{ м} = 4 \text{ м}$  (высота потолка) -  $3 \text{ м}$  (высота полета мухи) от источника света,  $\alpha_1$  - угол поворота тени от мухи на полу  $4 \text{ м} = 4 \text{ м}$  (высота потолка) -  $0 \text{ м}$  (уровень пола).

2) Выразим расстояние которые пройдут муха и тень на своей высоте за одно и то же время  $t$  в двух вариантах: а) через линейные скорости и б) через угол поворота  $\alpha$  (находим противоположный катет через угол и прилежащий катет):

$$S_1 = v_1 \cdot t = \text{tg}(\alpha_1) \cdot r_1 = \text{tg}(\alpha) \cdot r_1$$

$$S_4 = v_4 \cdot t = \text{tg}(\alpha_4) \cdot r_4 = \text{tg}(\alpha) \cdot r_4$$

3) Выразим  $t$  из обоих уравнений:

$$t = \sin(\alpha) \cdot r_1 / v_1$$

$$t = \sin(\alpha) \cdot r_4 / v_4$$

4) Далее решим уравнение:

$$\sin(\alpha) \cdot r_1 / v_1 = \sin(\alpha) \cdot r_4 / v_4$$

$$r_1 / v_1 = r_4 / v_4$$

$$v_4 = v_1 \cdot r_4 / r_1 = 2[\text{м/с}] \cdot 4[\text{м}] / 1[\text{м}] = 8[\text{м/с}];$$

9. Чем ближе спичка к точке, тем больше лучей она будет перехватывать; в результате зрачок глаза может оказаться целиком в «тени» спички.; 10. Потому что на глаза фехтовальщика сквозь сетку попадает достаточно света. Когда мы смотрим на лицо фехтовальщика, то отраженный от лица фехтовальщика свет частично задерживается сеткой..

## 2. «Отражение света. Законы отражения»

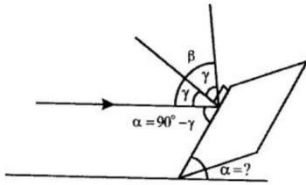
### Уровень А

1. Отражением света называется явление изменения направления хода светового луча, наблюдаемое на границе двух сред. При этом луч света возвращается в исходную среду; 2. Различают два вида отражения: правильное (зеркальное) и рассеянное (диффузное); 3. Углом падения называется угол между падающим лучом и перпендикуляром к поверхности; 4. Углом отражения называется угол между отраженным лучом и перпендикуляром к поверхности; 5. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости; 6. 45°; 7. 30°; 8. 52°; 9. 60°; 10. 10°; 11. 60°; 12. 50°; 13. 30°; 14. 40°; 15. Падающий и отраженные лучи совпадают, если угол равен 0°; 16. 1. Луч падающий, луч отраженный и перпендикуляр, восстановленный к границе раздела двух сред в точке падения луча, лежат в одной плоскости, 2. Угол падения равен углу отражения:  $\alpha = \beta$  ; 17. №1; 18. №3; 19. 0°; 20. 70° и 20°.

### Уровень В

1. Уменьшится на; 2. 35°; 3. Уменьшится на 30°; 4. 14 м/с это связано с тем, что при движении человека к зеркалу двигается и изображение; 5. 40 см; 6. Потому что свет попадая на предметы, отражается и попадает нам в глаз; 7. 10°, 5°; 8. Стекла окон хорошо пропускают солнечный свет с улицы и почти не отражают его, поэтому они кажутся темными. По законам физики при прохождении сквозь прозрачную среду часть света проходит в нее, меняя при этом свое направление; 9. 32°; 10. Потому что гладкая поверхность, как бы хорошо она не отражала свет, все равно часть его поглощает и рассеивает; 11. 25°; 12. Нет, закон отражения справедлив только для зеркального отражения, то есть когда неровности отражающей поверхности намного меньше длины волны падающего света; 13. 60°; 14. Это связано с тем, что от воды свет отражается зеркально и не попадает водителю в глаза, а свет от асфальта будет рассеиваться; 15. Увеличится на 70°.

## Уровень С

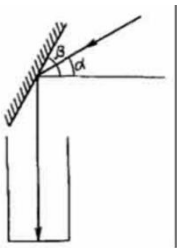


1. Угол падения луча  $\gamma$  равен углу отражения. Следовательно, угол поворота луча  $\beta = 2\gamma$ .

Из геометрических построений очевидно, что

$$\alpha = 90^\circ - \gamma = 90^\circ - \frac{\beta}{2}$$

$$\alpha = 90^\circ - \frac{90^\circ}{2} = 45^\circ;$$



2. Для того, чтобы луч света осветил дно колодца, отраженный свет должен падать вертикально вниз, т.е. под углом  $90^\circ$  к горизонту, т.е. сумма угла падения и угла отражения будет равна  $90^\circ + \alpha$ , где  $\alpha = 60^\circ$ . Сумма углов равна

$$90^\circ + \alpha + 2\beta = 180^\circ$$

$$\beta = \frac{180^\circ - 90^\circ - 60^\circ}{2} = 15^\circ$$

Искомый угол равен  $\alpha + \beta = 60^\circ + 15^\circ = 75^\circ$ ;

3. На границе раздела сред наблюдаются: отражение света; преломление света; поглощение света. Соотношение между световыми потоками отраженными и преломленными зависит от угла падения светового потока на границу раздела сред;

4. Если зеркало поставить вертикально, то угол будет те же  $24^\circ$ . Значит надо повернуть зеркало на  $\frac{24^\circ}{2} = 12^\circ$  «вверх», то есть зеркало будет наклонено к горизонту на  $90^\circ - 12^\circ = 78^\circ$



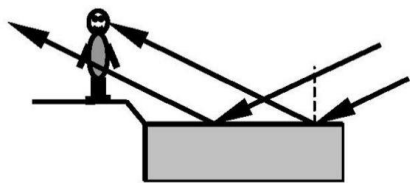
5.  $2x + 50^\circ = 180^\circ$ ,  $x = 65^\circ$ ;

6. Угол между вертикалью и солнечным лучом составляет;

7. Угол между вертикалью и солнечным лучом составляет  $\gamma = 90^\circ - 40^\circ = 50^\circ$

Построим далее биссектрису угла  $\gamma$ , которая будет с солнечным лучом составлять угол  $\theta = 25^\circ$

Таким образом, если плоское зеркало NM расположить под углом  $\alpha = \frac{\gamma}{2} + 40^\circ = 25^\circ + 40^\circ = 65^\circ$  то солнечный луч благополучно достигнет дна колодца, т.к. он проследует параллельно его стенкам;



8. При удалении человека от озера изображение солнца будет приближаться к берегу;

9. Угол падения равен углу отражения. Вертикально вверх - т. е. под углом к горизонту  $90^\circ$ . Значит надо зеркало расположить под углом  $20^\circ$  к горизонту в сторону луча, а угол падения на зеркало составит  $50^\circ + 20^\circ = 70^\circ$ . Луч отразится от зеркала под углом к нему  $70^\circ$ , значит к горизонту  $70^\circ + 20^\circ = 90^\circ$ ; 10. Угол отражения первого луча  $40^\circ$ , угол отражения второго луча  $60^\circ$

### 3. Преломление света. Закон преломления света. Полное внутреннее отражение

#### Уровень А

1. Преломлением света называют изменение направления луча на границе раздела двух сред, при котором свет переходит во вторую среду; 2. Полное внутреннее отражение – внутреннее отражение, при условии, что угол падения превосходит некоторый критический угол; 3. Лучи света преломляются на угол альфа, поэтому изображение, которое мы видели в воде, искажается; 4. Оптически более плотной является та среда, в которой скорость света меньше; 5. Если в стакан с водой погрузить ложку или карандаш, то на линии соприкосновения воздуха и воды будем наблюдать «искривление» ложки, что и происходит из-за преломления света на границах двух сред; 6. Если показатели преломления обеих сред одинаковы и если луч перпендикулярен к поверхности раздела сред, угол преломления луча равен углу падения; 7. При переходе луча света из воздуха в стекло угол преломления меньше угла падения; 8. При переходе луча света из стекла в воздух угол преломления больше угла падения; 9. Согласно закону преломления на границе раздела двух сред, показатель преломления второй среды относительно первой среды  $n$  находится по формуле  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$ , где  $\alpha$  – угол падения луча,  $\beta$  – угол преломления этого луча, получаем, что  $\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$ ; 10. Угол падения больше. Если луч идет из воды в воздух угол преломления станет больше; 11. Находясь в ванной, части тела человека кажутся ближе, чем на самом деле; 12. Тоже  $0^\circ$ . Луч падает перпендикулярно поверхности раздела; 13. Если луч света переходит из среды оптически менее плотной в среду оптически более плотную, то угол преломления меньше угла падения; 14. Если луч света переходит из среды оптически более плотной в среду оптически менее плотную, то угол преломления больше угла падения; 15. Если показатели преломления обеих сред одинаковы и если луч перпендикулярен к поверхности раздела сред, угол преломления луча равен углу падения; 16.  $35^\circ$ ; 17. Преломления не будет; 18.  $58^\circ$ ; 19.  $35^\circ$ ; 20. Когда свет проходит границу раздела двух сред, то для вычисления угла преломления используют относительный показатель преломления, равный отношению абсолютных показателей преломления первой и второй сред.

## Уровень В

1. Стакан с водой имеет большую плотность по сравнению с воздухом. Поэтому свет и «ломается» при таком переходе; 2.  $30^\circ$ ; 3. Потому что вода – среда, оптически более плотная, чем воздух; 4.  $80^\circ$ ; 5. Из-за преломления света в воде глубоко расположенные предметы кажутся менее углубленными; 6.  $84^\circ$ ; 7. Отраженные лучи от предмета, находящегося в воде всегда теряют часть энергии на границе раздела воды и воздуха и прохождении некоторого расстояния в воде; 8.  $55^\circ$ ; 9. Потому что солнечные лучи отражаются не ровно, все под разными углами; 10.  $30^\circ$ ; 11. Показатель преломления воздуха над костром меняется в зависимости от температуры воздуха над костром; 12.  $50^\circ$ ; 13. Преломления света при переходе из менее плотной в более плотную среду; 14. Свет, падающий на воду отражается от поверхности не полностью. Часть света, преломляясь на границе «воздух-вода» уходит в воду; 15.  $70^\circ$ .

## Уровень С

1.  $\frac{H}{h} = n, H = h \times n = 3 \times 1.38 = 4.14\text{м};$

2.  $90^\circ + \alpha + \beta = 180^\circ$

$$\beta = 90^\circ - \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin(90^\circ - \alpha)} = n$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = n$$

$$\operatorname{tg} \alpha = n$$

$$\alpha \approx 59,5^\circ$$

$$\beta = 90^\circ - 59,5^\circ = 30,5^\circ;$$

3.  $\frac{\sin \beta}{1,5} = \frac{\sin 30^\circ}{1}$

$$\sin \beta = \frac{3}{4}$$

$$\beta = \arcsin(0,75) = 48,6^\circ ;$$

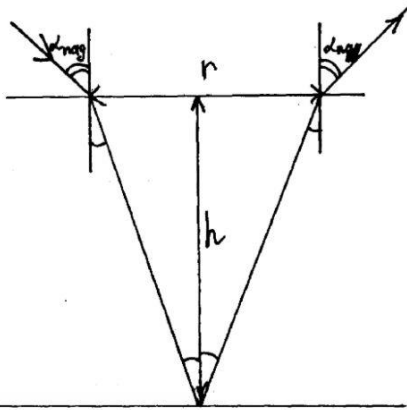
4.  $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$

$$\sin \beta = \frac{\sin \alpha}{n}$$

$$\Delta ABC: \frac{BC}{AB} = \operatorname{tg} \beta$$

$$l = BC = AB \times \operatorname{tg} \beta = h \times \frac{\sin \beta}{\cos \beta} = h \times \frac{\sin \beta}{\sqrt{1 - \sin^2 \beta}} = h \times \frac{\frac{\sin \alpha}{n}}{\sqrt{1 - \left(\frac{\sin \alpha}{n}\right)^2}} = h \times \frac{\frac{\sin \alpha}{n}}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 \alpha}{n^2}}} = h \times \frac{\frac{\sin \alpha}{n}}{\sqrt{\frac{n^2 - \sin^2 \alpha}{n^2}}} =$$

$$h \times \frac{\frac{\sin \alpha}{n}}{\frac{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}}{n}} = \frac{n \times \sin \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} = \frac{1 \times \sin 60^\circ}{\sqrt{1,33^2 - \sin^2 60^\circ}} \approx 0,858 \text{ м};$$



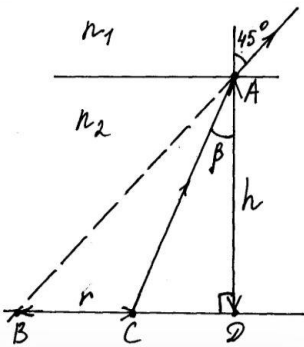
5.

$$r = 2h \operatorname{tg} \alpha_{\text{прел}}$$

$$\frac{\sin \alpha_{\text{прел}}}{\sin \alpha_{\text{пад}}} = \frac{1}{n}$$

$$\sin \alpha_{\text{прел}} = \frac{\sin \alpha_{\text{пад}}}{n}$$

$$r = \frac{2 \times 1,2 \times \sin 30^\circ}{\sqrt{\left(\frac{4}{3}\right)^2 - \sin^2 30^\circ}} = 0,97 \text{ м};$$



6.

$$\angle BAD = \angle ABD = \alpha = 45^\circ \Rightarrow BD = AD = h$$

$$r = h - CD = h - h \operatorname{tg} \beta = h(1 - \operatorname{tg} \beta)$$

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$$

$$\beta = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha\right)$$

$$r = h(1 - \operatorname{tg} [\arcsin(\frac{n_1}{n_2} \sin \alpha)])$$

$$r = 32 \left( 1 - \operatorname{tg} \left[ \arcsin \frac{1}{1,33} \times \sin 45^\circ \right] \right) = 11,9 \text{ см};$$



7. Потому что показатель преломления в воде больше чем показатель преломления воздуха;

8. Так как коэффициент преломления для воды равен 1,33 , а для воздуха 1, то любое тело находящееся вблизи поверхности выглядит меньше своих реальных размеров ( по мере удаления этот эффект пропадает) , следовательно водолазу птица будет казаться дальше чем она есть на самом деле;



9. Как видно из рисунка, зеркало должно стоять перпендикулярно к лучу. Из-за перпендикулярности сторон: зеркала к лучу; вертикальной линии к горизонту, углы равны  $45^\circ$ ;



10.

$$X = h \operatorname{tg} \beta - h \operatorname{tg} \alpha = h(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha)$$

$$n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$

$$\alpha = \arcsin \left( \frac{\sin \beta}{n} \right) = \arcsin \left( \frac{\sin 45^\circ}{1,33} \right) = 32,1^\circ$$

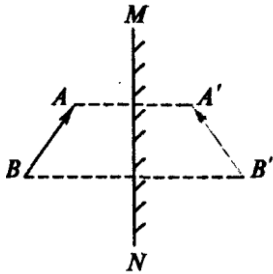
$$X = h(\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha) = 0,4(1 - \operatorname{tg} 32,1^\circ) = 0,15 \text{ м} = 15 \text{ см}.$$



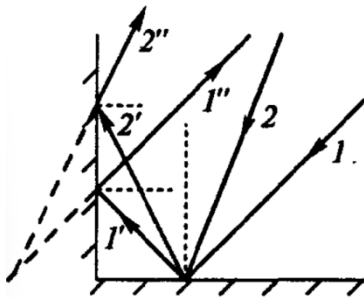
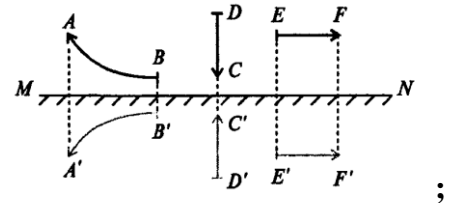
#### 4. «Плоское зеркало. Сферическое зеркало, получение изображения с помощью сферического зеркала»

##### Уровень А

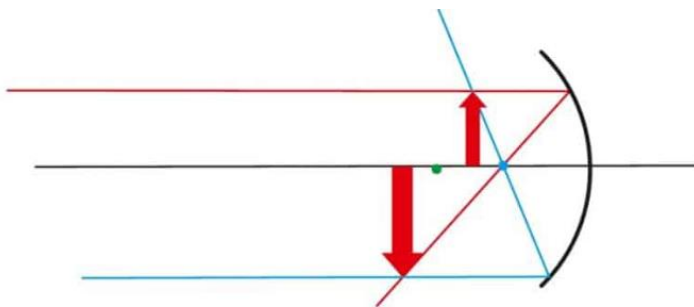
1. Если лучи образуют сходящийся пучок, то изображение называется действительным; 2. Если лучи расходятся из воображаемой точки, то есть пересекаются продолжения лучей, то изображение называется мнимым;



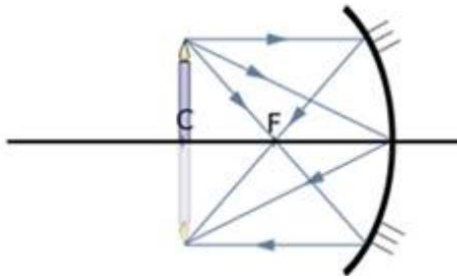
3. Это будет прямое мнимое изображение; 4.



5. ; 6. Изображение предмета в плоском зеркале образуется за зеркалом, то есть там, где предмета на самом деле нет. Вследствие закона отражения света мнимое изображение предмета располагается симметрично, относительно зеркальной плоскости. (То есть ваша правая рука в зеркале будет отображаться слева, смотря на зеркало); 7. Сферические зеркала бывают вогнутыми и выпуклыми; 8. Точка О-это оптический центр, Р-сферическая зеркальная вершина, линия, проходящая через центр сферической поверхности и зеркальную вершину, называется главной оптической осью. F- основное фокусное расстояние; 9. бесконечное; 10.  $D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}$ ; 11. 1. Луч 1, падающий в точку вершины зеркала под углом  $\alpha$  к главной оптической оси, 2. Луч 2, Проходящий через центр сферической поверхности, 3. Луч 3, прошедший через фокус зеркала; 12. Как бы ни располагалось тело в оптической оси зеркала, его изображение мнимое, прямое, уменьшенное, находится на фокусном расстоянии RF на обратной стороне поверхности зеркала; 13. Когда объект находится в фокусе зеркала;

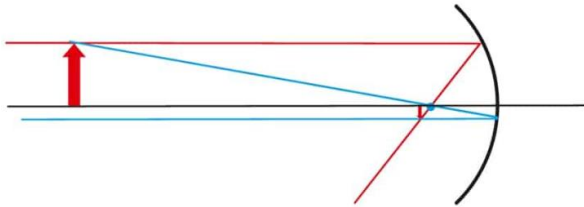


14. ; 15. Увеличенное, перевернутое изображение, расположенное за оптическим центром зеркала;

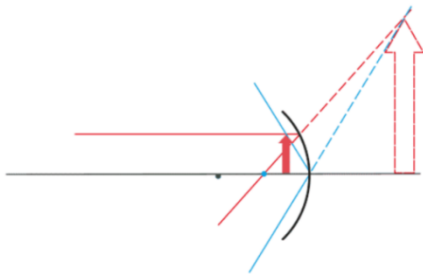


16. сферической поверхности;

Вещество находится в оптическом центре



17. ; 18. Действительное, уменьшенное, перевернутое изображение, расположенное между фокусом зеркала и его оптическим центром;



19. Объект расположен между фокусом F зеркала и вершиной P;

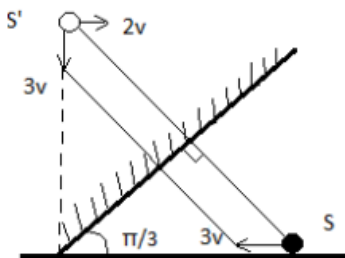
20. Сферическое зеркало-это зеркало, поверхность которого является частью сферы.

### Уровень В

1. увеличится на 4 метра; 2. 95 см; 3. Если  $d > 2F$  изображение действительное, перевернутое, уменьшенное; 4.  $F < d < 2F$  в таком случае изображение будет действительным, перевернутым, увеличенным; 5.  $d = 2F$  тогда изображение действительное, перевернутое, равно самому объекту; 6.  $d < F$  с тогда изображение будет мнимым, прямым, увеличенным; 7.  $30^\circ$ ; 8. 2м; 0,8м; 9. бесконечное; 10.  $20^\circ$ ; 11. 3; 12. 5; 13. 7; 14. 11; 15.  $D = \frac{1}{F}$ ;  $F = \frac{R}{2} \rightarrow D = \frac{1}{F} = \frac{2}{R}$ .

### Уровень С

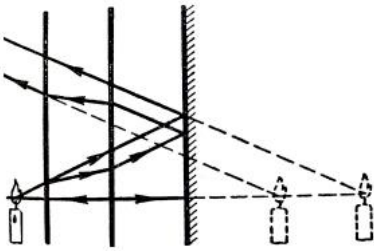
1. Решени: Ясно, что скорость шарика относительно зеркала равна  $3v$ . Теперь перейдём в систему отсчёта, связанную с зеркалом и рассмотрим мнимое изображение.



Из рисунка видно, что  $v_{ж.к} = \sqrt{(2v)^2 + (3v)^2 + 2 \cdot 2v \cdot 3v \cdot \cos(\pi/3)} = \sqrt{19}v$

**Ответ:** Относительно зеркала  $\vartheta' = 3\vartheta$ , относительно земли  $\vartheta_{\text{отн}} = \sqrt{19}\vartheta$ ;

**2. Решение:** Нарисовав ход нескольких лучей, нетрудно убедиться в том, что после того, как между свечой и зеркалом поставили плоскопараллельную стеклянную пластинку, изображение свечи приблизится к зеркалу.



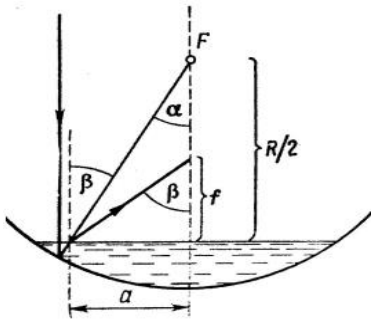
На рисунке показан ход лучей в отсутствии пластины и при её наличии.

**Ответ:** изображение свечи приблизится к зеркалу;

**3. Решение:** Из формулы сферического зеркала следует, что  $L$  равно сумме фокусных расстояний, в таком случае луч, идущий параллельно оси зеркала ( на расстоянии  $h = 15$  см ), пройдет через фокус, а отразившись пойдёт параллельно оси на расстоянии  $h/10$  (что следует из подобия треугольников). Пройдя шесть раз между зеркалами, то есть расстояние  $6L$ , луч выйдет через отверстие диаметром  $d$  в большом зеркале. Следовательно, для определения времени задержки  $t$  светового импульса необходимо  $6L = 3,3 \cdot 10^3$  разделить на скорость света  $3 \cdot 10^{10}$  см/с. Получим  $t = 1,1 \cdot 10^{-7}$  с.

**Ответ:**  $t = 1,1 \cdot 10^{-7}$  с;

**4. Решение:** Введём обозначение согласно рисунку.



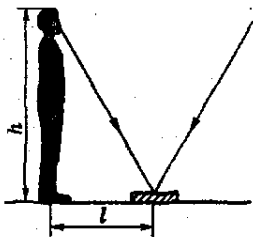
Если бы не было видно воды, то после отражения луч проходил бы через точку  $F$ , отстоящую от центра зеркала на

$$\frac{a}{2R} = \operatorname{tg} \alpha, \quad \frac{a}{f} = \operatorname{tg} \beta$$

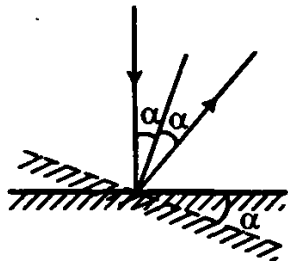
При малых углах  $\alpha$  и  $\beta$  ( параллельный пучок идёт вблизи) тангенсы практически равны синусам.

Следовательно,  $\frac{2a}{R} = \sin \alpha$ ,  $\frac{a}{f} = \sin \beta$

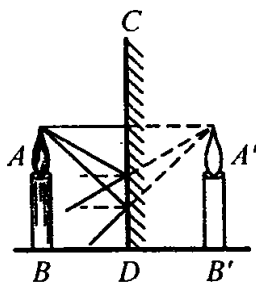
Значит,  $n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha} = R/2f$ . Отсюда  $f = \frac{R}{2n}$ . В численном выражении  $f = \frac{60 \text{ см}}{2 \cdot \frac{4}{3}} = 22,5 \text{ см}$ ;



5.  $h_r$  — уровень глаз, тогда  $\frac{h_r}{l} = \operatorname{tg} 60^\circ \rightarrow l = \frac{h_r}{\operatorname{tg} 60^\circ} = \frac{1,73 \text{ м}}{\sqrt{3}} \approx 1 \text{ м};$



6. Если зеркало повернуто на угол  $\alpha$ , то угол между падающим лучом и зеркалом изменяется  $\alpha$ , угол отражения, равный углу падения, также изменяется  $\alpha$ , угол между падающим и отраженным лучами, равный сумме угла падения и угла отражения, изменяется на  $2\alpha$ . Соответственно, если зеркало поворачивается на  $20^\circ$  отраженный луч поворачивается на угол  $2 \cdot 20 = 40^\circ$ ;
7. плоское зеркало видно ровно столько, сколько отразится в нем, в истинном размере, т.е. оно не даёт обзора. Однако такие зеркала использовались во многих моделях автомобилей
8. Вогнутое зеркало увеличивает изображение и наблюдаемый сектор очень мал. Выпуклое зеркало уменьшает изображение и увеличивает сектор обзора;
9.  $\angle OO_1M = 180^\circ - (\angle OO_1S + 2\alpha_1) = 180^\circ - (\angle OO_1S + \alpha_1) - \alpha_1 = 180^\circ - 90^\circ - \alpha_1 = 90^\circ - \alpha_1 = \angle OO_1S$
- $$\angle SOO_1 = \angle MOO_1 = 90^\circ$$
- $OO_1$  — общая. Значит,  $\triangle OMO_1 = \triangle OSO_1$
- (по 2 углам и стороне), т.е.  $MO = SO$ . М — мнимая, так как ее не существует.;

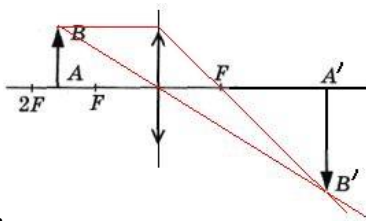


- 10.

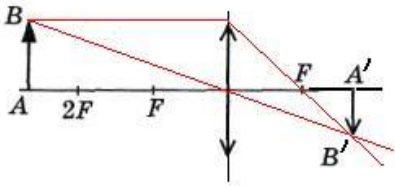
## 5. Линзы. Оптическая сила линза. Тонкий линза

### Уровень А

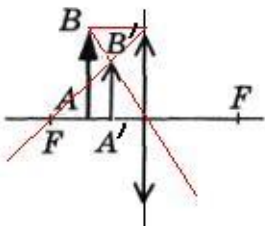
1. преломление лучей при переходе из одной среды в другую; 2. собирающая, т.к. вода в форме полу шара; 3. собирающая, т.к. вода в форме полу шара; 4. на расстоянии, больше чем фокусное расстояние; 5. Нет, да; 6. точка, размещенная в фокусе линзы, не дает изображения, так как после преломления в линзе лучи идут параллельно;



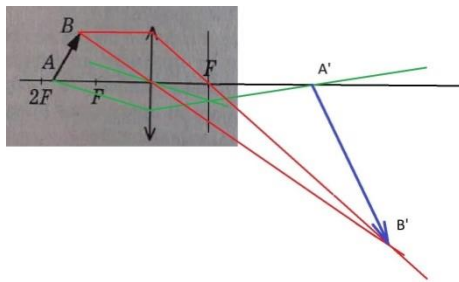
7. Изображение действительное, перевернутое, увеличенное;



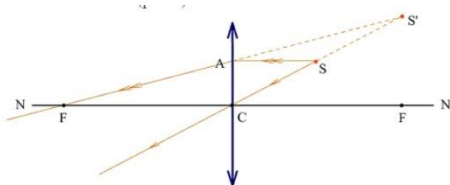
8. Изображение действительное, перевернутое, уменьшенное;



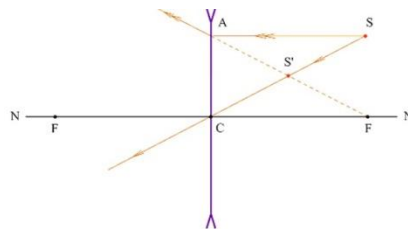
9. Изображение мнимое, прямое, уменьшенное;



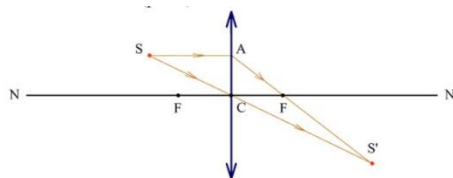
10. Изображение будет действительным, увеличенным, перевернутым;



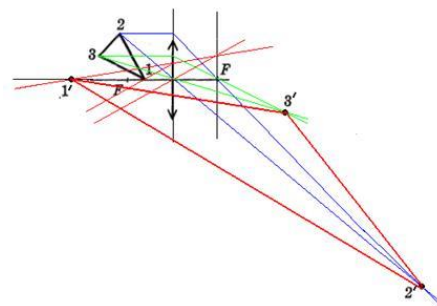
11. ; 12.



;



13. ; 14.



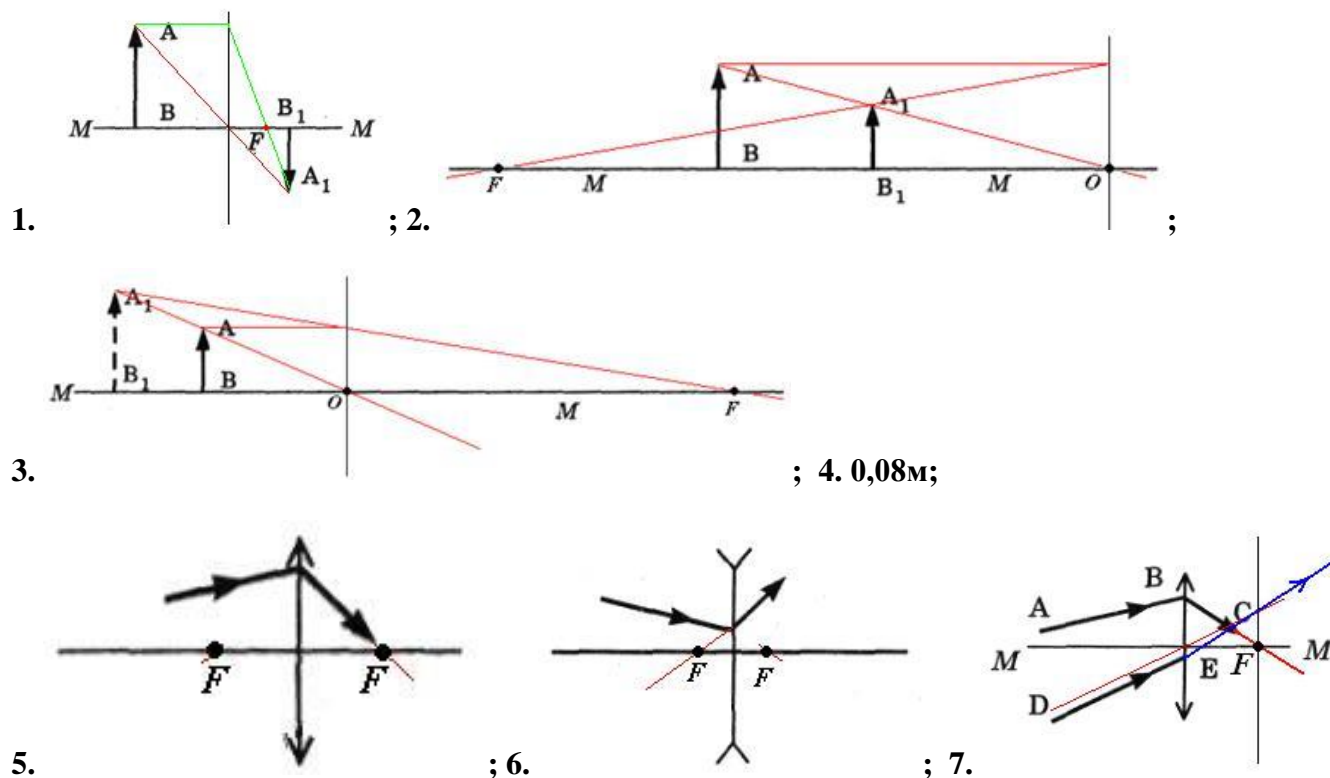
Изображение прямое,

увеличенное;

15. Линза представляет собой прозрачное тело, ограниченное двумя сферическими поверхностями. Линза называется тонкой, если ее толщина мала по сравнению с радиусами кривизны поверхностей; 16.  $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d}$ ; 17.  $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$   $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$  Это соотношение называется

формулой тонкой линзы. При составлении формулы тонкой линзы следует обратить внимание на следующее: фокусное расстояние рассеивающей линзы и расстояние до ложного изображения имеют отрицательное значение; **18.** Собирающая линза в середине толще, чем у краев, рассеивающая линза, наоборот, в средней части тоньше; **19.** 11. Луч 1, параллельный главной оптической оси линзы, 2. Луч 2, проходящий через оптический центр линзы, 3. Луч 3, проходящий через фокус линзы, преломляется через линзу; **20.** Как бы ни располагалось тело на оптической оси объектива, его изображение: мнимое; прямой; уменьшенный.

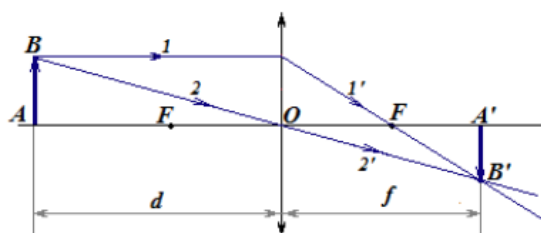
### Уровень В



**8.** собирающая; **9.** рассеивающая; **10.** 0,1 дптр; **11.** 2м; **12.** 0,05м; **13.** Для собирающей линзы  $f$  берется положительным, а для рассеивающей – отрицательным. Соответственно, собирающая линза строит действительное изображение, а рассеивающая – мнимое; **14.** 0,2; **15.** 13,33 дптр.

### Уровень С

**1.** фокусное расстояние больше у первой линзы, а оптическая сила – у второй; **2.** второй линзы; **3.** да, из льда можно изготовить собирающую линзу; **4.** линза с выпуклыми поверхностями будет рассеивающей, если у нее тонкие прозрачные стенки, внутри – воздух, а находится эта линза в воде. При таких условиях линза с вогнутыми поверхностями будет собирающей; **5.** оба расстояния должны быть равны 80 см;



**6. Решение:**

Записываем уравнение тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

где  $d$  – расстояние от предмета до линзы;  $f$  – расстояние от изображения до линзы.

Находим расстояние от изображения до линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d - F}{dF}$$

$$f = \frac{dF}{d - F}$$

Расстояние между предметом и изображением

$$S = d + f = d + \frac{dF}{d - F} = \frac{d^2 - dF + dF}{d - F} = \frac{d^2}{d - F}$$

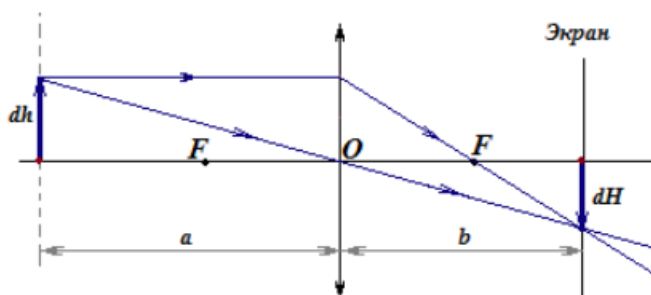
По условию задачи расстояние между предметом и изображением минимально. Находим производную от  $S$  по  $d$

$$S' \left( \frac{d^2}{d - F} \right)' = \frac{2d(d - F) - d^2}{(d - F)^2} = \frac{d^2 - 2dF}{(d - F)^2}$$

Производная равна нулю  $S' = 0$  при  $d^2 - 2dF = 0$ , то есть при  $d = 0$  и  $d = 2F$ .



Таким образом, расстояние между предметом и изображением минимально, если предмет расположен на двойном фокусном расстоянии от линзы  $d = 2F$ ;



## 7. Решение:

Расстояние от предмета до линзы неизменно, значит, и изображение движется в плоскости экрана на неизменном расстоянии  $b$  от линзы:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{F}$$

$$b = \frac{aF}{a - F}$$

За время  $dt$  муравей совершает перемещение  $dh = u \times dt$ . Изображение за это же время перемещается на  $dH = \vartheta \times dt$ . Нетрудно видеть, что

$$\frac{dH}{dh} = \Gamma = \frac{b}{a} = \frac{aF}{a(a-F)} = \frac{F}{(a-F)}$$

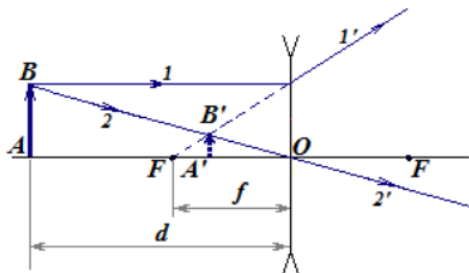
$$\frac{u \cdot dt}{\vartheta \cdot dt} = \frac{F}{(a-F)}$$

$$\frac{u}{\vartheta} = \frac{F}{(a-F)}$$

Скорость движения изображения равна

$$u = \vartheta \cdot \frac{F}{(a-F)} = 1,6 \cdot \frac{18}{18-12} = 2,4 \left( \frac{\text{см}}{\text{с}} \right);$$

**8. Решение:** Прямое изображение может давать как собирающая линза, так и рассеивающая. Однако, согласно условию, поперечное увеличение равно  $\beta = 0,5$ . Следовательно, изображение прямое и уменьшенное, такое изображение дает рассеивающая линза.

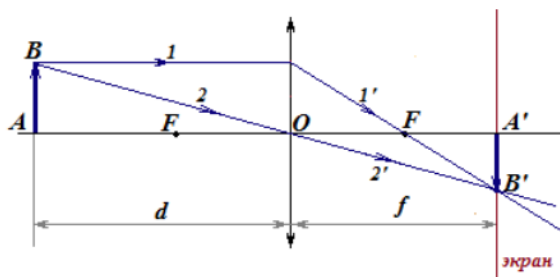


$$\begin{cases} d - f = l \\ \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} \\ \beta = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \end{cases}$$

$$d - \beta d = l \quad \rightarrow \quad d = \frac{l}{1-\beta} = 10 \text{ см} \quad \rightarrow \quad f = \beta d = 5 \text{ см}$$

Фокусное расстояние  $F = -5$  см отрицательное, поскольку линза рассеивающая.

**9. Решение:** На экране можно получить только действительное изображение. В свою очередь, действительное изображение предмета может быть получено только при помощи собирающей линзы, при этом предмет и изображения находятся по разные стороны линзы





Записываем уравнение тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

где  $d$  – расстояние от предмета до линзы;  $f$  – расстояние от изображения до линзы.

Находим расстояние от экрана до линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d} = \frac{d - F}{dF}$$

$$f = \frac{dF}{d - F}$$

По условию

$$L = d + f = d + \frac{dF}{d - F}$$

$$d^2 - dL + FL = 0$$

Решая квадратное уравнение, находим корни – два расстояния от предмета до линзы, при которых на экране получается четкое изображение:

$$d_1 = \frac{L^2 + \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}, \quad d_2 = \frac{L^2 - \sqrt{L^2 - 4FL}}{2}$$

По условию

$$l = d_1 - d_2 = \sqrt{L^2 - 4FL}$$

$$F = \frac{L^2 - l^2}{4L};$$

10. Дано:  $d_1 = 36 \text{ см}$

$H_1 = 10 \text{ см}$

$d_2 = 24 \text{ см}$

$H_2 = 20 \text{ см}$

Найти  $F$  - ?

**Решение:** В этой задаче мы используем формулы линейного увеличения и фокусного расстояния. Прежде всего, запишем формулу линейного увеличения для двух случаев

$$\Gamma_1 = \frac{f_1}{d_1} = \frac{H_1}{h} \quad \rightarrow \quad h = \frac{d_1 H_1}{f_1}$$

$$\Gamma_2 = \frac{f_2}{d_2} = \frac{H_2}{h} \quad \rightarrow \quad h = \frac{d_2 H_2}{f_2}$$

Уравновешиваем два разных выражения высоты объекта ( $h$ ) и выразим  $f_1$ :

$$\frac{d_1 H_1}{f_1} = \frac{d_2 H_2}{f_2} \quad \rightarrow \quad f_1 = \frac{d_1 H_1 f_2}{d_2 H_2}$$

Формула фокусного расстояния для тонкой линзы:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{d_1} = \frac{d_2 H_2}{d_1 H_1 f_2} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{d_2}$$

$$\frac{d_2 H_2}{d_1 H_1 f_2} + \frac{1}{d_1} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{d_2} \quad \rightarrow \quad \frac{d_2 H_2}{d_1 H_1 f_2} - \frac{1}{f_2} = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1}$$

$$\frac{1}{f_2} \left( \frac{d_2 H_2}{d_1 H_1} - 1 \right) = \frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1} \quad \rightarrow \quad f_2 = \frac{\frac{d_2 H_2}{d_1 H_1} - 1}{\frac{1}{d_2} - \frac{1}{d_1}} = \frac{\frac{24 * 20}{36 * 10} - 1}{\frac{1}{24} - \frac{1}{36}} = 24 \text{ см}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{f_2} + \frac{1}{d_2} = \frac{1}{24} + \frac{1}{24} = \frac{2}{24}$$

$$F = \frac{24}{2} = 12 \text{ см.}$$

## 6. Оптические приборы. Глаз как оптическая система

### Уровень А

1. Роговица, водянистая влага, хрусталик и стекловидное тело; 2. Расширяется поле зрения; появляется способность оценивать относительную удаленность предметов в пространстве; 3. Фотоаппарат; 4. Объектив, окуляр; 5. Уменьшенное, действительное, перевернутое; 6. Близорукость; 7. Дальнорукость; 8. 0,5м, дальнорукость; 9. Невозможно, потому что поток солнечного света не сфокусируется из-за вогнутой линзы, которая разводит лучи; 10. Нет, разные участки воды имеют разную температуру, скорость движения и коэффициент преломления. Отсюда и размытость; 11. Близорукость, -1 м; 12. На сетчатке глаз, действительное; 13. Объектив, окуляр; 14. Посмотреть через них на текст. Если уменьшают – близорукость, если увеличивают – дальнорукость; 15. Мнимое, перевернутое; 16. Телескопы дают увеличенное изображение планет, их спутников, комет. Но в случае со звездами даже их увеличенное телескопом изображение видно под углом меньшим, чем 1 минута. Звезды в телескоп видны просто как светящиеся точки, без какой либо детализации; 17. Близорукость; 18. В случае Б; 19. 2; 20. Если смотреть на близкие предметы.

### Уровень В

1. 50 м; 2. 18 см; 3. 3 см; 4. 600 м; 5. 0,25х0,25 мм; 6. 0,115 м; 7. Уменьшенное, действительное, перевернутое; 8. 0,3 м; 9. 0,25 м; 10. 0,27 м; 11. 6,8 дптр; 12. 320 м; 13. 50 м; 14. 28 м; 15. 24 м.

### Уровень С

1. 1 см, 2 мс; 2.  $D = \frac{\Gamma * F_{ок}}{L * d} = 400 \text{ дптр}$ ; 3.  $D = \frac{\Gamma * F_{ок}}{L * d} = 400 \text{ дптр}$ ; 4.  $\Gamma = \frac{d * L}{F_{ок} * F_{об}} = 3200$ ; 5. 0,07 дптр; 6. 12; 7.  $\Delta f = f - f = \frac{F^2}{d - F} = 0.36 \text{ см}$ ; 8.  $D = \frac{1}{0.25} - \frac{1}{0.2} = -1 \text{ дптр}$ ; 9.  $f_2 = \frac{d_2 * F_2}{F_2 - d_2} = 45 \text{ см}$ ;  $f_1 = \frac{d_1 * F_2}{F_2 - d_1} = 7.5 \text{ см}$ ; 10.  $l = b_1 + a_2 = \frac{a_1 F_1}{a_1 - F_1} + \frac{d F_1}{a + F_2} \approx 16.8 \text{ см}$ .