

Физика 11 класс

Дистанционные уроки на неделю с 13 по 17 апреля 2020, 2 часа в неделю

Учитель физики информатики Гаджиагаев Тагир Гаджиагаевич

Учебник : Мякишев, Буховцев Физика 11 класс

**Внимание! Ответы на вопросы и задания оформлять письменно в рабочих тетрадях.
Работы будут проверены**

1 занятие

§ 63 Линза, стр 1193-198

Задание : Прочитать параграф, ответить на вопросы на стр 202

2 занятие

§ 64 Построение изображения в линзе , стр 198-200

Задание : Прочитать параграф, ответить на вопросы на стр 202, Упражнение 9, 1-4

если световой луч проходит расстояние, равное приблизительно 71 км?

5. Пучок параллельных лучей идет от проекционного фонаря в горизонтальном направлении. Под каким углом к горизонтальной плоскости следует расположить плоское зеркало, чтобы после отражения пучок шел вертикально? Остается ли пучок параллельным?

6. Небольшой предмет расположен между двумя плоскими зеркалами, образующими друг с другом угол $\alpha = 30^\circ$. Предмет находится на расстоянии $l = 10$ см от линии пересечения зеркал на одинаковом расстоянии от обоих зеркал. Каково расстояние между мнимыми изображениями этого предмета в зеркалах?

7. Луч от точечного источника S падает на плоское зеркало в точке A и, отражаясь, проходит через точку B (рис. 169). Докажите, что если бы луч от того же источника прошел через точку B , отразившись от зеркала в точке D , соседней с A , то:

- 1) не был бы выполнен закон отражения;
- 2) путь SDB был бы пройден светом за большее время, чем путь SAB .

8. Какой высоты должно быть плоское зеркало, повешенное вертикально, чтобы человек высотой H видел себя в нем во весь рост?

9. Вычислите показатель преломления воды относительно воздуха и сероуглерода относительно льда.

10. Угол падения параллельных лучей на плоскопараллельную пластину равен 60° . Найдите расстояние между точками, в которых из пластины выходят параллельные лучи, если расстояние между лучами, прошедшими сквозь пластину, равно 0,7 см.

11. Если рассматривать какой-либо предмет через треугольную призму, то изображение кажется смещенным. В какую сторону?

12. Луч света, идущий из толщи воды, полностью отражается на ее поверхности. Выйдет ли луч в воздух, если на поверхность воды налить слой кедрового масла?

13. Сечение призмы представляет собой равносторонний треугольник. Луч проходит сквозь призму, преломляясь в точках, равностоящих от вершины (рис. 170). Каково наибольшее допустимое значение показателя преломления n вещества призмы?

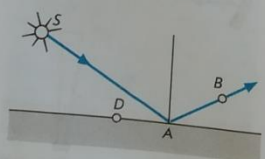


Рис. 169

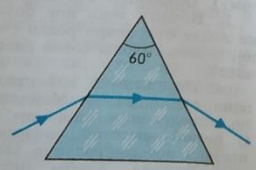


Рис. 170

14. Изобразите ход лучей через треугольную стеклянную призму, основанием которой является равнобедренный прямоугольный треугольник. Лучи падают на призму, как показано на рисунке 171, а, б. Останется ли ход лучей таким же, если призму погрузить в воду?

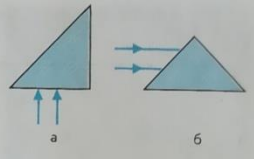


Рис. 171

§ 63. ЛИНЗА

До сих пор мы рассматривали преломление света на плоской границе двух сред. На практике широко используется преломление на сферических поверхностях.

Прозрачное тело, ограниченное сферическими поверхностями, называют линзой.

Виды линз. Линза может быть ограничена двумя выпуклыми сферическими поверхностями (двояковыпуклая линза — рис. 172, а), выпуклой сферической поверхностью и плоскостью (плосковыпуклая линза — рис. 172, б), выпуклой и вогнутой сферическими поверхностями (вогнуто-выпуклая линза — рис. 172, в). Эти линзы посредине толще, чем у краев, и все они называются *выпуклыми*.

Линзы, которые посредине тоньше, чем у краев, называются *вогнутыми*. На рисунке 173 изображены три вида вогнутых линз: двояковогнутая — а, плосковогнутая — б и выпукло-вогнутая — в.

Тонкая линза. Мы рассмотрим наиболее простой случай, когда толщина линзы $l = AB$ пренебрежимо мала по сравнению с радиусами R_1 и R_2 поверхностей линзы (рис. 174) и расстоянием предмета от линзы. Такую линзу называют *тонкой линзой*. В дальнейшем, говоря о линзе, мы всегда будем подразумевать тонкую линзу.

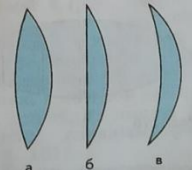


Рис. 172

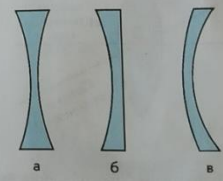


Рис. 173

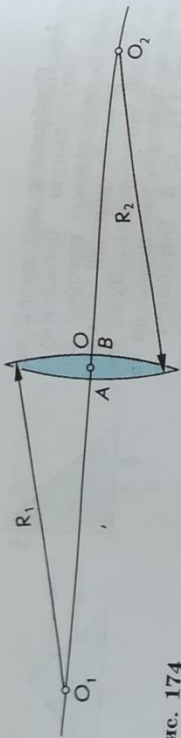


Рис. 174

Точки A и B — вершины сферических сегментов — в тонкой линзе расположены столь близко друг от друга, что их можно принять за одну точку, которую называют *оптическим центром линзы* и обозначают буквой O . Луч света, который проходит через оптический центр линзы, практически не преломляется.

Прямую O_1O_2 , проходящую через центры сферических поверхностей, которые ограничивают линзу, называют ее *главной оптической осью*. Главная оптическая ось тонкой линзы проходит через оптический центр. Любую другую прямую, проходящую через оптический центр, называют *побочной оптической осью* (рис. 175).

Изображение в линзе. Подобно плоскому зеркалу, линза создает изображения источников света. Это означает, что свет, исходящий из какой-либо точки предмета (источника), после преломления в линзе снова собирается в одну точку (изображение) независимо от того, через какую часть линзы прошли лучи. Если по выходе из линзы лучи сходятся, они образуют действительное изображение. В случае же, когда прошедшие через линзу лучи расходятся, то пересекаются в одной точке не сами эти лучи, а лишь их продолжения. Изображение тогда мнимое. Его можно наблюдать глазом непосредственно или с помощью оптических приборов¹.

Собирающая линза. Обычно линзы делают из стекла. Выпуклые линзы являются собирающими. Любую из них

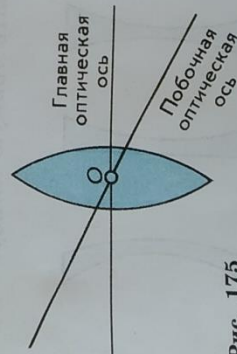


Рис. 175



Рис. 176

¹ Лучи или их продолжения будут пересекаться практически в одной точке, если они образуют малые углы с главной оптической осью.

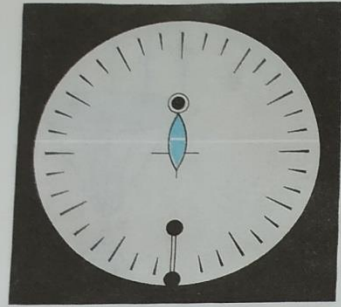


Рис. 177

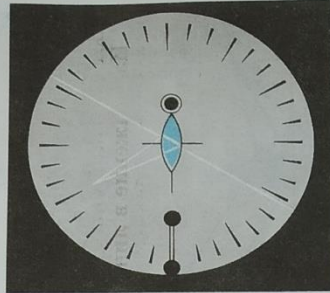


Рис. 178

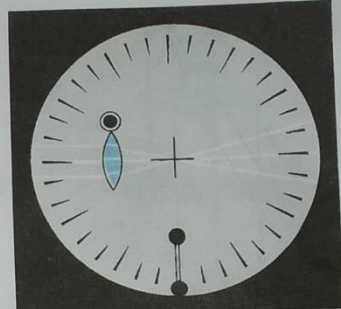


Рис. 179

схематично можно себе представить как совокупность стеклянных призм (рис. 176). В воздухе каждая призма отклоняет лучи к основанию. Все лучи, идущие через линзу, отклоняются в сторону ее главной оптической оси.

Преломление лучей в собирающей линзе можно наблюдать на опыте. Линзу укладывают на диск. Сначала направляют узкий пучок вертикально вдоль главной оптической оси и убеждаются в том, что он проходит через линзу без преломления (рис. 177). Затем направляют пучок вдоль побочной оси (т. е. тоже через оптический центр) и наблюдают лишь небольшой параллельный сдвиг преломленного пучка (рис. 178).

После этого направляют от осветителя на линзу три параллельных пучка вертикально. Преломившись, они после выхода из линзы пересекаются в одной точке (рис. 179).

Точка, в которой пересекаются после преломления в собирающей линзе лучи, падающие на линзу параллельно главной оптической оси, называется *главным фокусом линзы*. Эту точку обозначают буквой F (рис. 180).

Пучки, параллельные главной оптической оси, можно направить на линзу и с противоположной стороны. Точка, в которой они сойдутся, пройдя линзу, будет другим главным фокусом (рис. 181).

Таким образом, у линзы два главных фокуса. В одно-

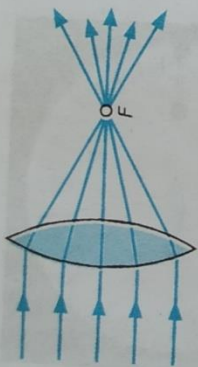


Рис. 180

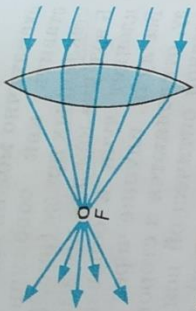
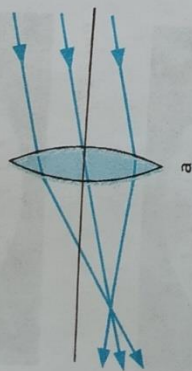


Рис. 181

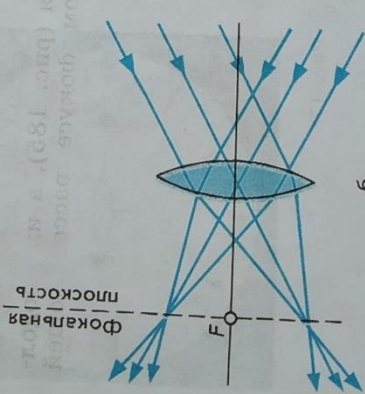
родной среде они располагаются по обе стороны линзы на одном и том же расстоянии от нее. Это расстояние называется *фокусным расстоянием линзы*; его обозначают буквой F (той же буквой, что и фокус).

Направим три узких параллельных пучка от осветителя под углом к главной оптической оси. Мы увидим тогда, что пересечение пройдет не в главном фокусе, а в другой точке (рис. 182, а). Но примечательно то, что точки пересечения независимо от углов, образуемых этими пучками с главной оптической осью, располагаются в плоскости, перпендикулярной главной оптической оси и проходящей через главный фокус (рис. 182, б). Ее называют *фокальной плоскостью*.

Поместив светящуюся точку в фокусе линзы (или в любой точке фокальной плоскости), получим после преломления параллельные лучи (рис. 183). Если сместить источник дальше от линзы, лучи за линзой станут сходящимися и дадут действительное изображение (рис. 184, а). Когда же источник находится ближе фокуса, преломлен-



а



б

Рис. 182

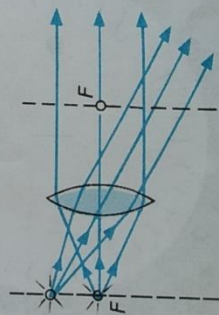


Рис. 183

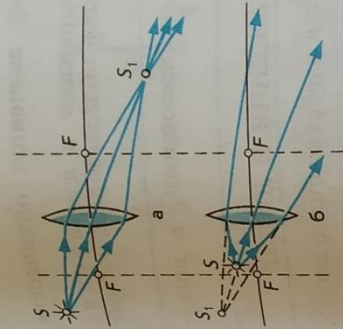


Рис. 184

ные лучи расходятся и изображение получается мнимым (рис. 184, б).

Рассеивающая линза. Вогнутые линзы являются рассеивающими. Укрепив линзу на диске, направим на нее лучи, параллельные главной оптической оси. Преломленные лучи будут расходящимися (рис. 185), а их продолжения пересекаются в главном фокусе рассеивающей линзы.

В этом случае главный фокус является мнимым (рис. 186) и расположен на расстоянии F от линзы. Другой мнимый главный фокус находится по другую сторону линзы на таком же расстоянии, если среда по обе стороны линзы одна и та же (рис. 187).

Оптическая сила линзы. Величину, обратную фокусному расстоянию, называют *оптической силой линзы*. Ее обозначают буквой D :

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

Чем ближе к линзе лежат ее фокусы, тем сильнее линза преломляет лучи, собирая или рассеивая их,

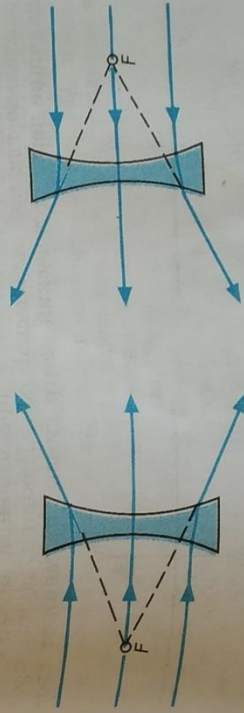


Рис. 185

Рис. 186

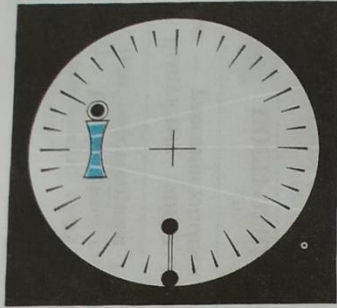


Рис. 185

и тем больше по абсолютному значению оптическая сила линзы.

Оптическую силу D линз выражают в диоптриях (дптр). Оптической силой в 1 дптр обладает линза с фокусным расстоянием 1 м.

Выпуклые линзы являются собирающими, а вогнутые — рассеивающими.

§ 64. ПОСТРОЕНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ В ЛИНЗЕ

Рассмотрим способы построения изображения в линзе.

Свойства тонкой линзы определяются главным образом расположением ее фокусов. Это означает, что, зная расстояние от источника до линзы и фокусное расстояние (положение фокусов), можно определить расстояние до изображения, не прибегая к рассмотрению хода лучей внутри линзы.

В связи с этим отпадает надобность изображать на чертеже точный вид сферических поверхностей линзы. Собирающую линзу обозначают символом, показанным на рисунке 188, а рассеивающую — символом, показанным на рисунке 189.

Нам уже известно, что все лучи, вышедшие из какой-либо точки предмета, пройдя сквозь линзу, пересекутся также в одной точке. Именно благодаря этому свойству тонкая линза дает изображение любой точки предмета, а следовательно, и всего предмета в целом.

Для построения изображений, получаемых с помощью собирающей линзы, фокусы и оптический центр которой заданы, мы преимущественно будем пользоваться тремя видами «удобных» лучей. Как было выяснено в предыдущем параграфе, лучи, параллельные главной оптической оси, преломившись в линзе, проходят через ее фокус. Из обратности хода лучей следует, что лучи, идущие к линзе через ее фокус, после преломления пойдут параллельно главной оптической оси. Наконец, лучи, проходящие через оптический центр линзы, не меняют сво-

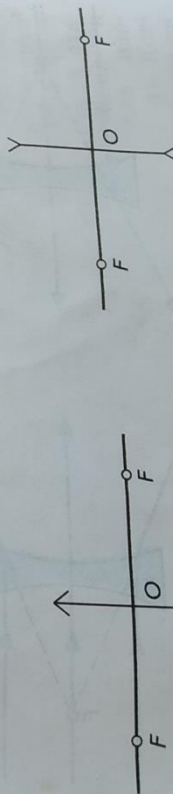


Рис. 188

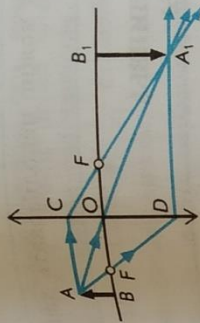


Рис. 190

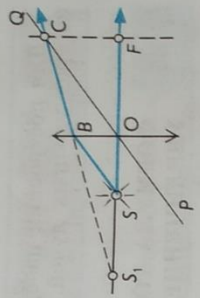


Рис. 191

его направления. Они лишь испытывают параллельное смещение, которое в случае тонкой линзы невелико, и им можно пренебречь.

Построим изображение предмета AB (рис. 190). Чтобы найти изображение точки A , направим луч AC параллельно главной оптической оси. После преломления он пойдет через фокус линзы. Другой луч — AD — можно направить через фокус. После преломления он пойдет параллельно главной оптической оси. В точке пересечения этих двух преломленных лучей будет находиться изображение A_1 точки A . Так же можно построить и все остальные точки изображения. Не следует только думать, что изображение создается двумя или тремя лучами; оно создается всем бесчисленным множеством лучей, вышедших из точки A и собравшихся в точке A_1 . В частности, в точку A_1 попадает луч AOA_1 , прошедший через оптический центр O линзы. Таким образом, для построения изображения точки можно использовать любые два из трех «удобных» лучей, ход которых через линзу известен: 1) луч, проходящий через оптический центр; 2) луч, падающий на линзу параллельно главной оптической оси; 3) луч, проходящий через фокус.

Рассмотрим еще случай, когда необходимо построить изображение точки, расположенной на главной оптической оси. Трудность заключается в том, что все три «удобных» луча сливаются в один луч SF , совпадающий с главной оптической осью. Поэтому возникает необходимость определить ход произвольного луча SB (рис. 191), попавшего на линзу в точке B . Для построения преломленного луча проведем побочную оптическую ось PQ , параллельную лучу SB . Затем построим фокальную плоскость с помощью точки C пересечения фокальной плоскости с побочной оптической осью. Через эту точку пройдет преломленный луч BC . Таким образом, построен ход двух лучей, выходящих из точки S . После преломления в линзе эти лучи расходятся. Изображение S_1 точки S будет мнимым, так как источник расположен между фокусом и линзой.

Рис. 189

Для построения изображения можно использовать два из трех удобных лучей.

§ 65. ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ. УВЕЛИЧЕНИЕ ЛИНЗЫ

Введем формулу, связывающую три величины: расстояние d от предмета до линзы, расстояние f от изображения до линзы и фокусное расстояние F .

Из подобия треугольников AOB и A_1B_1O (см. рис. 190) следует равенство

$$\frac{BO}{OB_1} = \frac{AB}{A_1B_1}.$$

Из подобия треугольников COF и FA_1B_1 имеем

$$\frac{CO}{A_1B_1} = \frac{OF}{FB_1}.$$

Так как $AB = CO$, то

$$\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{OF}{FB_1}.$$

Отсюда

$$\frac{BO}{OB_1} = \frac{OF}{FB_1},$$

или

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

После простых преобразований имеем

$$fF + Fd = fd.$$

Поделив все члены полученного равенства на произведение Ffd , получим

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

или

$$\frac{1}{d} + \frac{1}{f} = D.$$

Уравнение (8.10) или (8.11) принято называть *формулой тонкой линзы*. Величины d , f и F могут быть как положительными, так и отрицательными. Отметим (без

доказательства), что, применяя формулу линзы, нужно ставить знаки перед членами по следующему правилу. Если линза собирающая, то ее фокус действительный и перед членом $\frac{1}{F}$ ставится знак «плюс». В случае рассеивающей линзы $F < 0$ и в правой части формулы (8.10) будет стоять отрицательная величина $-\frac{1}{F}$. Перед членом $\frac{1}{f}$ ставится знак «плюс», если изображение действительное, и знак «минус» в случае мнимого изображения. Наконец, перед членом $\frac{1}{d}$ ставят знак «плюс» в случае действительной светящейся точки и «минус», если она мнимая (т. е. на линзу падает сходящийся пучок лучей, продолжения которых пересекаются в одной точке).

В том случае, когда F , f или d неизвестны, перед соответствующими членами $\frac{1}{F}$, $\frac{1}{f}$ или $\frac{1}{d}$ ставится знак «плюс». Но если в результате вычислений фокусного расстояния или расстояния от линзы до изображения или до источника получается отрицательная величина, то это означает, что фокус, изображение или источник мнимые. **Увеличение линзы.** Изображение, даваемое линзой, обычно отличается своими размерами от предмета. Различные размеры предмета и изображения характеризуют *увеличением*.

Линейным увеличением называют отношение линейного размера изображения к линейному размеру предмета. Для нахождения линейного увеличения обратимся снова к рисунку 190. Если высота предмета AB равна h , а высота изображения A_1B_1 равна H , то

$$\Gamma = \frac{H}{h} \quad (8.12)$$

есть линейное увеличение.

Из подобия треугольников AOB и OA_1B_1 вытекает, что

$$\frac{H}{h} = \frac{f}{|d|}.$$

Следовательно, увеличение линзы равно отношению расстояния от изображения до линзы к расстоянию от линзы до предмета:

$$\Gamma = \frac{|f|}{|d|}. \quad (8.13)$$

¹ Соответственно оптическая сила D (см. § 63) для собирающей линзы положительна, а для рассеивающей отрицательна.

Линзы являются основной частью фотоаппарата, проекционного аппарата, микроскопа и телескопа. В глазу тоже есть линза — хрусталик.

- ? 1. Какую линзу называют тонкой? 2. Что называется главным фокусом линзы? 3. Запишите формулу линзы. 4. Какие лучи удобно использовать для построения изображения в линзе? 5. Что называется увеличением линзы?

ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

1. На рисунке 192 даны положение главной оптической оси MN линзы, положения светящейся точки S и ее изображения S_1 . Найдите построением оптический центр линзы и ее фокусы. Определите, собирающей или рассеивающей является эта линза, действительным или мнимым является изображение.

Решение. Луч, проходящий через оптический центр линзы, не отклоняется от своего направления. Поэтому оптический центр O совпадает с точкой пересечения прямых SS_1 и MN (рис. 193). Проведем луч SK , параллельный главной оптической оси. Преломленный луч KS_1 пройдет через фокус. Зная, что луч, падающий на линзу через фокус, после преломления идет параллельно главной оптической оси, находим второй фокус. Линза является собирающей, а изображение — действительным.

2. Изображение предмета имеет высоту $H = 2$ см. Какое фокусное расстояние F должна иметь линза, расположенная от экрана на расстоянии $f = 4$ м, чтобы изображение указанного предмета на экране имело высоту $h = 1$ м?



Решение. Из формулы линзы

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

находим фокусное расстояние:

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

Увеличение линзы выражается так:

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

Отсюда

$$d = \frac{hf}{H}$$

Поэтому

$$F = \frac{hf}{H+h} \approx 8 \text{ см.}$$

Рис. 192

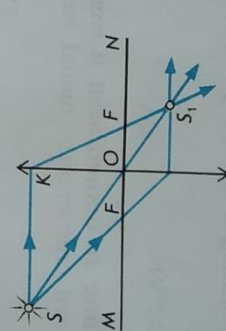


Рис. 193

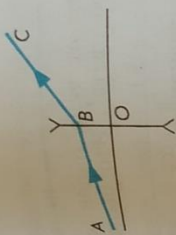


Рис. 194

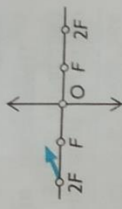


Рис. 195

УПРАЖНЕНИЕ 9

- Изображение миллиметрового деления шкалы, расположенной перед линзой на расстоянии $d = 12,5$ см, имеет на экране длину $L = 2,4$ см. Каково фокусное расстояние линзы?
- С помощью линзы на экране получено действительное изображение электрической лампочки. Как изменится изображение, если закрыть правую половину линзы?
- Фотоаппарат дает на пленке изображение человеческого лица. Поясните с помощью чертежа, почему изображение виднеющегося вдали за человеком леса получается нерезким. В какую сторону следует сместить объектив, чтобы лес изображался четко? Будет ли при этом четким изображение лица?
- Почему ныряльщик без маски плохо различает предметы под водой?
- Постройте изображение предмета, помещенного перед собирающей линзой, в следующих случаях: 1) $d > 2F$; 2) $d = 2F$; 3) $F < d < 2F$; 4) $d < F$.
- На рисунке 194 линия ABC изображает ход луча через тонкую рассеивающую линзу. Определите построением положение главных фокусов линзы.
- Предмет находится на расстоянии $d = 1,8$ м от собирающей линзы. Определите фокусное расстояние линзы, если изображение меньше предмета в 5 раз.
- На рисунке 195 показаны главная оптическая ось линзы, источник света и его изображение. Найдите построением оптический центр и фокусы линзы. Какая это линза: собирающая или рассеивающая? Каким является изображение: действительным или мнимым? Рассмотрите случаи: 1) A — источник, B — изображение; 2) B — источник, A — изображение.
- Постройте изображение светящейся точки в рассеивающей линзе, используя три «удобных» луча.
- Светящаяся точка находится в фокусе рассеивающей линзы. На каком расстоянии от линзы находится изображение? Постройте ход лучей.
- Постройте изображение в собирающей линзе короткой стрелки, наклоненной к оптической оси линзы. Нижний конец стрелки расположен на главной оптической оси на двойном фокусном расстоянии от линзы (рис. 196).

