

# ЛIII Всероссийская олимпиада школьников по физике

## I (школьный) этап, г. Саратов

### Условия и решения

#### 7 класс

1. Однажды в тридевятом царстве пошел такой сильный дождь, что за сутки стоявшая во дворе пустая открытая бочка с прямыми стенками высотой 1 аршин оказалась заполненной доверху. Определите интенсивность этого дождя, выразив ее в мм/час. 1 аршин равен 71 см, вода из бочки не выливалась.

*Решение*

Из условия следует, что интенсивность дождя составляет 1 аршин/сутки. С учетом того, что в сутках 24 часа, а в аршине 710 мм, 1 аршин/сутки=710/24≈30 мм/час. Заметим, что это действительно довольно сильный дождь.

*Ответ:* 30 мм/час

*Критерии оценивания*

Получена интенсивность в аршинах/сутки	2
Переведены аршины в мм	3
Переведены сутки в часы	3
Получен ответ	2

2. Турист поднимался в гору со скоростью 3 км/ч, а спускался – со скоростью 6 км/ч. Определите его среднюю скорость, если подъем занял в 3 раза больше времени, чем спуск.

*Решение*

Пусть время спуска туриста составило  $t$ , тогда время подъема –  $3t$ , а полное время движения  $4t$ . Тогда путь в гору был равен  $v_1 \cdot 3t$ , а путь с горы  $v_2 t$ . По определению средней скорости  $v_{\text{ср}} = (v_1 \cdot 3t + v_2 t) / 4t = (3v_1 + v_2) / 4 = 3,75$  км/ч.

*Ответ:* 3,75 км/ч

*Критерии оценивания*

Идея расчета средней скорости (весь путь/все время)	3
Получено выражение для пути на подъеме и спуске	4 (по 2 за каждое)
Получен ответ	3

*Решения, в которых произвольно задается конкретное числовое значение времени движения, оценивать не выше 7 баллов!*

3. Однажды семиклассник Петя ехал в поезде из Саратова в Москву и заметил, что каждые 9 секунд поезд проезжает мимо маленького полосатого столбика. Папа сказал Пете, что такие столбики установлены через каждые 100 м. Сколько времени занял бы путь из Саратова в Москву, если бы поезд все время ехал с такой же скоростью? Расстояние от Саратова до Москвы 850 км.

*Решение*

Т.к. за 9 с поезд проезжает 100 м, то его скорость равна  $100/9$  м/с=40 км/ч. Тогда путь до Москвы займет  $850/40=21,25$  часа.

*Ответ:* 21 ч 15 минут

*Критерии оценивания*

Найдена скорость в м/с	4
Найдена скорость в км/ч	3
Получен ответ	3

4. Едущий навстречу поезду велосипедист проезжает мимо него за 24 с, а такой же попутный поезд обгоняет велосипедиста за 40 с. Во сколько раз скорость велосипедиста меньше скорости поезда?

*Решение*

Пусть  $l$  – длина поезда,  $t_1=24$  с,  $t_2=40$  с. Тогда можно записать  $l=(v_{п}-v_{в})t_2$  (1) и  $l=(v_{п}+v_{в}) t_1$  (2). Приравняв их правые части, получаем уравнение, из которого находим  $v_{п}/ v_{в}=(t_1+t_2)/(t_1-t_2)$ . Подставляя числовые значения, получаем  $v_{п}/ v_{в}=4$ .

*Ответ:* в 4 раза

*Критерии оценивания*

Записаны соотношения (1) и (2)	по 3 за каждое
Получен ответ	4

**8 класс**

1. Едущий навстречу поезду велосипедист проезжает мимо него за 24 с, а такой же попутный поезд обгоняет велосипедиста за 40 с. Во сколько раз скорость велосипедиста меньше скорости поезда?

*Решение*

Пусть  $l$  – длина поезда,  $t_1=24$  с,  $t_2=40$  с. Тогда можно записать  $l=(v_{п}-v_{в})t_2$  (1) и  $l=(v_{п}+v_{в}) t_1$  (2). Приравняв их правые части, получаем уравнение, из которого находим  $v_{п}/ v_{в}=(t_1+t_2)/(t_1-t_2)$ . Подставляя числовые значения, получаем  $v_{п}/ v_{в}=4$ .

*Ответ:* в 4 раза

*Критерии оценивания*

Записаны соотношения (1) и (2)	по 3 за каждое
Получен ответ	4

2. Неряшливый водитель вылил в ручей литр бензина. Оцените, на какое расстояние протянется полоса бензина вниз по ручью, если ширина ручья 40 см, а бензин на поверхности воды образует пленку толщиной около 1 мкм (1 мкм =  $10^{-6}$  м).

*Решение*

Объем пленки, очевидно, должен быть равен объему бензина. Полагая, что бензин покрывает всю ширину поверхности ручья, получим, что длина полосы бензина вдоль течения ручья составит  $1 \text{ л}/(30 \text{ см} \cdot 1 \text{ мкм})=10^{-3} \text{ м}^3/(0,4 \text{ м} \cdot 10^{-6} \text{ м})=2,5 \cdot 10^3 \text{ м}=2,5 \text{ км}$ .

*Ответ:* 2,5 км.

*Критерии оценивания*

Сказано, что объем пленки равен 1 л	2
Записана формула для вычисления длины пленки	3
Получен числовой ответ	5

3. Плот сделан из 10 одинаковых бревен длиной 10 м и диаметром 20 см каждое. Какова максимальная масса груза, который может нести этот плот? Плотность дерева  $800 \text{ кг/м}^3$ , воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ . *Указание:* объем бревна можно вычислить как произведение его длины на площадь основания.

*Решение*

Максимальной будет такая масса груза, при которой бревна полностью погрузились в воду, но не утонули. В этом случае сила Архимеда, действующая на полностью погруженные в воду бревна, должна быть равна суммарной силе тяжести, действующей на бревна и на груз.

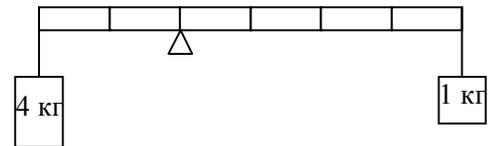
Пусть  $m$  – искомая масса груза, тогда можно записать уравнение  $10\rho_в V_б g = 10\rho_д V_б g + mg$ , откуда  $m = 10V_б(\rho_в - \rho_д)$ . Учитывая, что  $V_б = \pi l d^2 / 4$ , получаем  $m = 628$  кг.

*Ответ:* 628 кг (допускается округление до 630 кг).

*Критерии оценивания*

Указано, что при максимальной массе груза бревна полностью погрузятся в воду	2
Записано условие плавания	3
Записана формула для силы Архимеда	2
Записана формула для объема бревна	1
Получен ответ	2

4. Показанная на рис. система грузов находится в равновесии. Какова масса рычага? Рычаг считайте тонким однородным стержнем.



*Решение*

На рычаг действуют веса грузов (равные силам тяжести), приложенные к его концам, и сила тяжести, приложенная к его центру масс. Поскольку рычаг однородный, то его центр масс находится посередине. Тогда, если  $m$  – масса рычага, а  $l$  – длина одного отмеченного на рис. отрезка, условие равновесия имеет вид  $4 \text{ кг} \cdot 2l = m l + 1 \text{ кг} \cdot 4l$ , откуда  $m = 4$  кг.

*Ответ:* 4 кг

*Критерии оценивания*

Правильно указана точка приложения силы тяжести, действующей на рычаг	4
Записано условие равновесия рычага	4
Получен ответ	2

**9 класс**

1. Юные футболисты Вася и Петя попали мячом в витрину. Вася убегает на юг со скоростью 9 км/ч, а Петя – на восток со скоростью 12 км/ч. Через какое время они окажутся на расстоянии 500 м друг от друга? Считайте, что в момент попадания мяча в витрину они находились рядом друг с другом.

*Решение*

1 способ. Т.к. Петя и Вася бегут по прямым, образующим прямой угол, в любой момент времени треугольник, образованный их начальным положением и текущими положениями, является прямоугольным. Через время  $t$  его катеты равны  $v_н t$  и  $v_в t$ , тогда его гипотенуза

(которая и является расстоянием между футболистами) определяется как  $t\sqrt{v_н^2 + v_в^2}$ , и

искомый момент времени  $t = l / \sqrt{v_н^2 + v_в^2} = 1/30$  часа = 2 минуты

2 способ. Скорости Васи и Пети образуют прямой угол. Тогда их относительная скорость является гипотенузой в треугольнике скоростей и равна, соответственно,  $\sqrt{v_н^2 + v_в^2} = 15$  км/ч.

Поэтому на расстоянии 500 м футболисты окажутся через  $0,5 \text{ км} / 15 \text{ км/ч} = 2$  минуты

*Ответ:* через 2 минуты

*Критерии оценивания*

Получено выражение для зависимости расстояния между футболистами от времени, или найдена их относительная скорость	5
Получен ответ: в минутах или секундах	5
в других единицах	4

2. Плот сделан из 10 одинаковых бревен длиной 10 м и диаметром 20 см каждое. Какова максимальная масса груза, который может нести этот плот? Плотность дерева  $800 \text{ кг/м}^3$ , воды  $1000 \text{ кг/м}^3$ .

*Решение*

Максимальной будет такая масса груза, при которой бревна полностью погрузились в воду, но не утонули. В этом случае сила Архимеда, действующая на полностью погруженные в воду бревна, должна быть равна суммарной силе тяжести, действующей на бревна и на груз.

Пусть  $m$  – искомая масса груза, тогда можно записать уравнение  $10\rho_в V_б g = 10\rho_д V_б g + mg$ , откуда  $m = 10V_б(\rho_в - \rho_д)$ . Учитывая, что  $V_б = \pi d^2 l / 4$ , получаем  $m = 628 \text{ кг}$ .

*Ответ:* 628 кг (допускается округление до 630 кг).

*Критерии оценивания*

Указано, что при максимальной массе груза бревна полностью погрузятся в воду	2
Записано условие плавания	3
Записана формула для силы Архимеда	2
Записана формула для объема бревна	1
Получен ответ	2

3. По действующим в настоящий момент в г. Саратове тарифам 1 кВт·час электрической энергии стоит 3,43 р.,  $1 \text{ м}^3$  холодной воды – 24,38 р., горячей воды (температурой  $60^\circ\text{C}$ ) – 141,68 р. Исходя из этих данных, оцените, при какой температуре холодной воды выгоднее пользоваться электронагревателем, чем сетевой горячей водой? Удельная теплоемкость воды  $4200 \text{ Дж/(кг}\cdot^\circ\text{C)}$ .

*Решение*

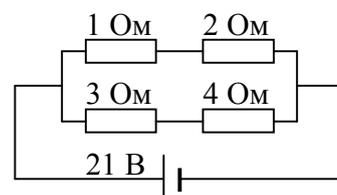
Вычитая стоимость  $1 \text{ м}^3$  горячей и холодной воды, получаем, что собственно нагрев  $1 \text{ м}^3$  воды централизованным способом обходится в 117,3 р, столько же стоит 34,2 кВт·часа электроэнергии. Соответственно, нужно определить, на сколько градусов можно нагреть  $1 \text{ м}^3$  воды таким количеством энергии:  $\Delta T = Q/cm = 34,2 \cdot 3,6 \cdot 10^6 / (4,2 \cdot 10^3 \cdot 10^3) \approx 30^\circ\text{C}$ . Таким образом, при исходной температуре воды менее  $30^\circ\text{C}$  (т.е., в нашем климате, всегда) выгоднее использовать сетевую горячую воду. Обратим внимание, что этот расчет справедлив при условии соблюдения стандартов по температуре горячей воды.

*Ответ:* при температуре более  $30^\circ\text{C}$ .

*Критерии оценивания*

Записано уравнение теплового баланса при нагреве воды	2
Определено количество кВт·ч энергии, которое стоит столько же, сколько нагрев $1 \text{ м}^3$ воды	2
Это количество пересчитано в систему СИ	3
Получен ответ	3

4. На каком резисторе в приведенной на рис. схеме выделяется наибольшая мощность? Найдите эту мощность.



### Решение

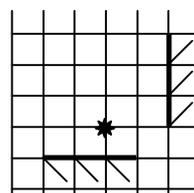
Схема состоит из двух ветвей сопротивлениями 3 и 7 Ом, каждая из которых подключена к источнику 21 В. Поэтому в верхней ветви течет ток 7А, а в нижней – 3 А. Тогда нужно сравнить мощности, выделяющиеся на сопротивлениях большего номинала: в верхней ветви это 2 Ом, на котором выделяется мощность  $7^2 \cdot 2 = 98$  Вт. В нижней – 4 Ом с мощностью  $3^2 \cdot 4 = 36$  Вт.

Ответ: на сопротивлении 2 Ом, 98 Вт.

### Критерии оценивания

Найдены токи в верхней и нижней ветви	5
Сравнены мощности на резисторах 2 и 4 Ом	3
Получен ответ	2

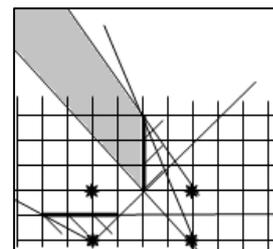
5. На рисунке приведена система двух плоских зеркал и точечный источник. Перерисовав рисунок в тетрадь с сохранением масштаба, постройте на нем область, из которой можно видеть наибольшее число изображений источника.



### Решение

В этой системе будет всего три изображения источника: по одному в каждом из зеркал и одно, получаемой двойным отражением – сначала в нижнем, а потом в правом зеркале. Двойное отражение в обратном порядке невозможно, т.к. луч, исходящий из изображения в правом зеркале и проходящий через правое зеркало, не попадет на нижнее зеркало, что легко показать непосредственным построением.

Области видимости изображений получают проведение прямых из изображения через края того зеркала, от которого луч отражался последним. Искомая область (на рис. закрашена серым) будет их областью пересечения



Ответ: см. рис.

### Критерии оценивания

Построены "простые" изображения	1
Построено изображение при двойном отражении	2
Показано, что при других изображениях нет	2
Построены области видимости изображений	4
Построена искомая область	1

## 10 класс

1. Материальная точка начала двигаться из состояния покоя с ускорением  $1 \text{ м/с}^2$ . Через 10 с она стала замедляться с постоянным ускорением  $0,5 \text{ м/с}^2$  до тех пор, пока совсем не остановилась. Определите среднюю скорость этой точки за все время движения.

### Решение

Определим путь, пройденный точкой за время разгона:  $s_1 = a_1 t^2 / 2 = 50$  м, при этом точка разгонится до скорости  $v_1 = 10$  м/с. Время, требующееся на торможение, составляет  $t_2 = 10 / 0,5 = 20$  с. За это время точка пройдет путь  $s_2 = v_1 t_2 - a_2 t_2^2 / 2 = 100$  м. Тогда средняя скорость составила  $150 \text{ м} / 30 \text{ с} = 5 \text{ м/с}$

Ответ: 5 м/с

*Критерии оценивания:* по 2 балла за определение пути, пройденного на каждом из участков пути, по 2 балла за определение времени, потраченного на каждый из участков пути, 2 балла за получение итогового ответа.

2. К грузу массой 1 кг, лежащему на горизонтальной поверхности с коэффициентом трения 0,2, прикрепили горизонтально расположенную пружину жесткостью 100 Н/м и начали медленно тянуть ее за другой конец. До какого удлинения удастся ее растянуть?

*Решение*

Растяжение пружины прекратится, когда груз начнет движение. Это произойдет, когда сила упругости пружины станет равна максимально возможной силе трения покоя, т.к.  $kx = \mu mg$ . Подставляя числовые значения, получаем  $x = 2$  см

*Ответ:* 2 см

*Критерии оценивания*

Указано, что растяжение прекратится при равенстве сил упругости и трения	4
Записано выражение для силы упругости	2
Записано выражение для силы трения	2
Получен ответ	2

3. По действующим в настоящий момент в г. Саратове тарифам 1 кВт·час электрической энергии стоит 3,43 р., 1 м<sup>3</sup> холодной воды – 24,38 р., горячей воды (температурой 60°C) – 141,68 р. Исходя из этих данных, оцените, при какой температуре холодной воды выгоднее пользоваться электронагревателем, чем сетевой горячей водой? Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/(кг·°C).

*Решение*

Вычитая стоимость 1 м<sup>3</sup> горячей и холодной воды, получаем, что собственно нагрев 1 м<sup>3</sup> воды централизованным способом обходится в 117,3 р, столько же стоит 34,2 кВт·часа электроэнергии. Соответственно, нужно определить, на сколько градусов можно нагреть 1 м<sup>3</sup> воды таким количеством энергии:  $\Delta T = Q/cm = 34,2 \cdot 3,6 \cdot 10^6 / (4,2 \cdot 10^3 \cdot 10^3) \approx 30^\circ\text{C}$ . Таким образом, при исходной температуре воды менее 30°C (т.е., в нашем климате, всегда) выгоднее использовать сетевую горячую воду. Обратим внимание, что этот расчет справедлив при условии соблюдения стандартов по температуре горячей воды.

*Ответ:* при температуре более 30°C.

*Критерии оценивания*

Записано уравнение теплового баланса при нагреве воды	2
Определено количество кВт·ч энергии, которое стоит столько же, сколько нагрев 1 м <sup>3</sup> воды	2
Это количество пересчитано в систему СИ	3
Получен ответ	3

4. К источнику постоянного напряжения подключен резистор. Если последовательно с этим резистором включить амперметр, то он покажет 12 мА. Если, опять же последовательно, включить в эту схему второй такой же амперметр, оба амперметра покажут 10 мА. Какой ток тек через резистор до того, как в цепь начали включать амперметры?

*Решение*

Т.к. от включения второго амперметра ток в цепи изменился, то амперметры неидеальные, т.е. обладают ненулевым сопротивлением.

Пусть  $U$  – напряжение источника,  $R$  и  $r$  – сопротивления резистора и амперметра соответственно. Тогда по закону Ома  $I_1 = U/(R+r)$ ,  $I_2 = U/(R+2r)$  и  $I_0 = U/R$ . Поделив, например,

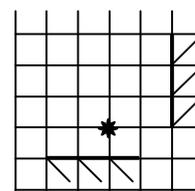
два первых соотношения друг на друга, получим  $(R+2r)I_2=(R+r)I_1$ , откуда  $R/r=(I_1-2I_2)/(I_2-I_1)=4$ . Тогда  $I_0=I_1(R+r)/R=15$  мА.

Ответ: 15 мА

*Критерии оценивания*

Получены выражения для токов в трех вариантах цепи	по 2 балла за каждое
Получен ответ	4

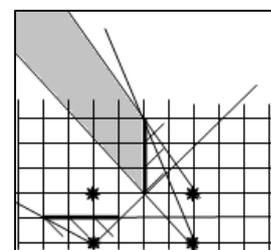
5. На рисунке приведена система двух плоских зеркал и точечный источник. Перерисовав рисунок в тетрадь с сохранением масштаба, постройте на нем область, из которой можно видеть наибольшее число изображений источника.



*Решение*

В этой системе будет всего три изображения источника: по одному в каждом из зеркал и одно, получаемой двойным отражением – сначала в нижнем, а потом в правом зеркале. Двойное отражение в обратном порядке невозможно, т.к. луч, исходящий из изображения в правом зеркале и проходящий через правое зеркало, не попадет на нижнее зеркало, что легко показать непосредственным построением.

Области видимости изображений получают проведением прямых из изображения через края того зеркала, от которого луч отражался последним. Искомая область (на рис. закрашена серым) будет их областью пересечения



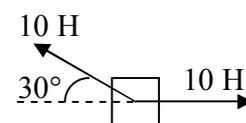
Ответ: см. рис.

*Критерии оценивания*

Построены "простые" изображения	1
Построено изображение при двойном отражении	2
Показано, что при других изображений нет	2
Построены области видимости изображений	4
Построена искомая область	1

**11 класс**

1. К лежащему на горизонтальной поверхности грузу массой 2 кг приложены две горизонтальные силы так, как показано на рис. (показан вид сверху). Определите путь, пройденный грузом за 10 с, если коэффициент трения между грузом и поверхностью равен 0,4.



*Решение*

Определим модуль суммы двух приложенных к грузу сил:

$$F = \sqrt{(F_0 - F_0 \cos 30^\circ)^2 + (F_0 \sin 30^\circ)^2} = F_0 \sqrt{2 - 2 \cos 30^\circ} \approx 5,2 \text{ Н}$$

Максимальная сила трения покоя, действующая на груз, составляет  $\mu mg=8$  Н. Поэтому груз будет покоиться, и пройденный путь равен нулю.

Ответ: 0.

*Критерии оценивания*

Вычислен модуль суммы показанных на рис. сил	5
Вычислена максимальная сила трения покоя	3
Получен ответ	2

2. Легкая горизонтальная платформа опирается на легкие вертикально расположенные пружины общей жесткостью 1 кН/м и находится в равновесии. На платформу аккуратно кладут груз массой 2 кг и отпускают без начальной скорости. Через достаточно большое время за счет действия силы сопротивления воздуха движение прекращается. Определите, какое количество теплоты выделилось за это время. Известно, что за время движения груз от платформы не отрывается, платформа все время остается горизонтальной.

*Решение*

В положении равновесия сила тяжести равна силе упругости:  $mg=kx$ , т.е. груз опустится на  $x=mg/k$  по сравнению с начальным положением. При этом его потенциальная энергия уменьшится на  $mgx=m^2g^2/k$ . В то же время пружина сожмется на  $x$  и, следовательно, будет обладать потенциальной энергией упругой деформации  $kx^2/2=m^2g^2/2k$ . Разность этих энергий и выделилась в виде тепла, т.е.  $Q=m^2g^2/k-m^2g^2/2k=m^2g^2/2k=0,2$  Дж

*Ответ:* 0,2 Дж

*Критерии оценивания*

Определено смещение груза	2
Записана формула для изменения потенциальной энергии груза	2
Записана формула для изменения потенциальной энергии пружины	2
Указано, что выделившееся тепло равно разности этих энергий	3
Получен ответ	1

3. Чтобы нагреть 1 кг некоторого идеального газа на 10°C изохорно, нужно затратить 15,6 кДж, а изобарно – 20,8 кДж. Определите молярную массу газа.

*Решение*

В соответствии с определением теплоемкости количества теплоты при изобарном и изохорном нагреве определяются как  $Q_p=c_p\nu\Delta T$  (1) и  $Q_v=c_v\nu\Delta T$  (2), где  $c_p$  и  $c_v$  – молярные теплоемкости. В соответствии с уравнением Майера  $c_p-c_v=R$ , поэтому  $Q_p-Q_v=\nu R\Delta T$ . Осталось связать количество вещества с массой  $\nu=m/M$ , тогда  $M=mR\Delta T/(Q_p-Q_v)=16$  г/моль

*Ответ:* 16 г/моль

*Критерии оценивания*

Записаны формулы (1) и (2)	по 1 баллу
Записано (или выведено) уравнение Майера	4
Записана связь количества вещества и массы	2
Получен ответ	2

*Рекомендации проверяющему:* 1. Выводить уравнение Майера необязательно, можно использовать его в "готовом" виде. 2. Соотношения вида  $c_v=3/2R$  в данном случае использовать неправомерно, т.к. не известно число степеней свободы газа.

4. На расстоянии 1 см от поверхности непроводящего шара радиусом 3 см, равномерно заряженного зарядом 2 мкКл, находится точечный заряд 3 мкКл. С какой силой этот заряд действует на шар?

*Решение*

По третьему закону Ньютона сила, с которой заряд действует на шар, равна силе, с которой шар действует на заряд (1). В свою очередь, эта сила равна произведению заряда на напряженность поля, создаваемого шаром (2). Известно, что напряженность поля равномерно заряженного шара снаружи от него равна напряженности поля точечного заряда, равного заряду шара и расположенного в его центре (3). Тогда искомая сила

$$F=(1/4\pi\epsilon_0)q_{ш}q_3/(R_{ш}+d)^2=9\cdot 10^9\cdot 2\cdot 10^{-6}\cdot 3\cdot 10^{-6}/16\cdot 10^{-4}=33,75 \text{ Н.}$$

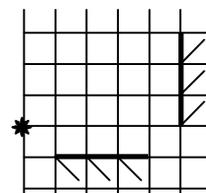
*Ответ:* 33,75 Н (допускается округление до 30 Н).

### Критерии оценивания

За утверждение (1) (явная ссылка на третий закон Ньютона не обязательна)	1
За утверждение (2)	2
За утверждение (3)	4
За формулу для расчета силы (если в качестве расстояния используется $d=1$ см, баллы не начисляются)	2
За числовой ответ	1

*Рекомендация проверяющему:* Наличие утверждения (1) в явном виде необязательно: если из содержания работы понятно, что автор вычисляет силу, действующую на заряд, баллы за утверждение (1) можно давать. В то же время утверждение (3) должно быть сформулировано в явном виде. При его неявном использовании следует ставить не более 2 (из 4-х) баллов.

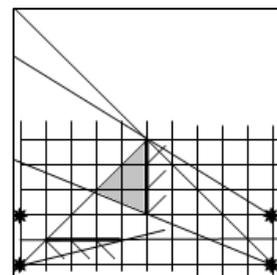
5. На рисунке приведена система двух плоских зеркал и точечный источник. Перерисовав рисунок в тетрадь с сохранением масштаба, постройте на нем область, из которой можно видеть наибольшее число изображений источника.



### Решение

В этой системе будет всего три изображения источника: по одному в каждом из зеркал и одно, получаемой двойным отражением – сначала в нижнем, а потом в правом зеркале. Двойное отражение в обратном порядке невозможно, т.к. луч, исходящий из изображения в правом зеркале и проходящий через правое зеркало, не попадет на нижнее зеркало, что легко показать непосредственным построением.

Области видимости изображений получаются проведением прямых из изображения через края того зеркала, от которого луч отражался последним. Искомая область (на рис. закрашена серым) будет их областью пересечения



*Ответ:* см. рис.

### Критерии оценивания

Построены "простые" изображения	1
Построено изображение при двойном отражении	2
Показано, что при других изображениях нет	2
Построены области видимости изображений	4
Построена искомая область	1

Составитель комплекта А.В. Савин