

**ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ ПО ФИЗИКЕ 2014–2015 г.  
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС**

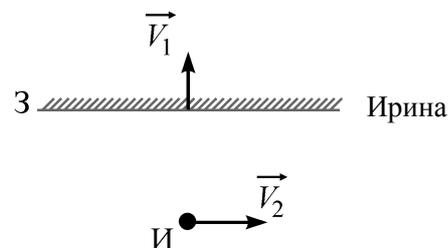
**Общие критерии оценок:**

Каждая задача оценивается целым числом баллов от 0 до 10 (по каждой задаче указан список возможных значений оценок). Если школьник довел решение задачи *любым способом* до правильного ответа, он получает 10 баллов. Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. При частично правильном решении задачи применяются критерии, указанные для данной задачи. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

**Задача 1.**

По комнате движутся во взаимно перпендикулярных направлениях школьница Ирина и шкаф на колёсиках, причём шкаф удаляется от Ирины. На шкафу расположено плоское зеркало, в котором видит своё изображение. Скорости шкафа и Ирины относительно комнаты равны, соответственно,  $V_1 = 1,5$  м/с и  $V_2 = 2$  м/с. Найдите модуль скорости изображения Ирины

- относительно зеркала;
- относительно комнаты;
- относительно Ирины.

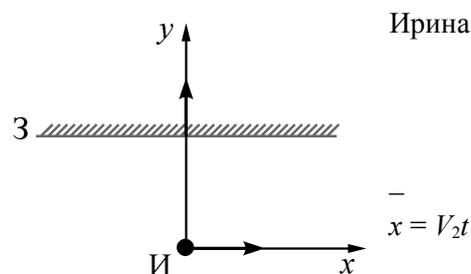


**Решение.** Введём координатные оси  $x$  и  $y$  таким образом, чтобы двигалась вдоль оси  $x$ , а скорость зеркала, расположенного параллельно оси  $x$ , была направлена вдоль оси  $y$ . Начало координат совместим с положением Ирины в начальный момент времени. Тогда координаты Ирины в момент времени  $t$  будут  $(x = V_2 t; y = 0)$ , координата плоскости зеркала будет в этот момент равна  $y = L + V_1 t$  ( $L$  начальная  $y$ -координата зеркала), координаты изображения составят  $x = 2(L + V_1 t)$ .

Проекция скорости Ирины на оси  $x$  и  $y$  в выбранной системе отсчёта составляют  $(V_2; 0)$ , проекция скорости зеркала –  $(0; V_1)$ , проекция скорости изображения –  $(u_x = V_2; u_y = 2V_1)$ . Следовательно, проекции скорости изображения относительно зеркала составляют  $(u_x; u_y - V_1)$ , или  $(V_2; V_1)$ , а изображения относительно Ирины –  $(u_x - V_2; u_y)$ , или  $(0; 2V_1)$ .

По теореме Пифагора модуль скорости изображения относительно зеркала составляет  $(V_1^2 + V_2^2)^{1/2} = 2,5$  м/с, относительно комнаты  $((2V_1)^2 + V_2^2)^{1/2} = 13^{1/2} \approx 3,6$  м/с, относительно Ирины  $2V_1 = 3$  м/с.

**Ответ:** модуль скорости изображения относительно зеркала составляет  $(V_1^2 + V_2^2)^{1/2} = 2,5$  м/с, относительно комнаты  $((2V_1)^2 + V_2^2)^{1/2} = 13^{1/2} \approx 3,6$  м/с, относительно Ирины  $2V_1 = 3$  м/с.

**Критерии оценивания:**

Если школьник довел решение задачи до правильных ответов на все три вопроса, он получает 10 баллов. Если решение задачи доведено до правильных ответов на два вопроса, участник получает 7 баллов. Если получен правильный ответ только на один вопрос, участник получает 4 балла. Правильным считается ответ как в числовом виде, так и в виде формулы, выраженной через скорости  $V_1$  и  $V_2$ . Если участник не получил ни одного правильного ответа, ему можно поставить до 2 утешительных баллов:

построено изображение Ирины в зеркале - 1 балл;

хотя бы раз правильно использована формула, связывающая скорость, время и расстояние (координату) - 1 балл.

**Возможные баллы: 0, 1, 2, 4, 7, 10**

## Задача 2.

При движении в гору автомобиль может развивать максимальную скорость  $V_1$ , а при движении с этой же горы – скорость  $V_2$ . В обоих случаях двигатель работает на свою максимальную мощность; использование коробки передач позволяет двигателю автомобиля развивать эту максимальную мощность при разных скоростях движения. Какую максимальную скорость  $V_0$  этот автомобиль может развить при движении по горизонтальной дороге? Считайте, что ветра нет, а действующая на автомобиль сила сопротивления воздуха пропорциональна квадрату его скорости. Решите задачу в общем случае, а также в частном случае  $V_1 = 100$  км/ч,  $V_2 = 2V_1 = 200$  км/ч. Сравните для данного примера скорость  $V_0$  со значением  $1,5V_1 = 150$  км/ч.

**Решение.** По условию на автомобиль, движущийся со скоростью  $V$ , действует сила сопротивления воздуха  $bV^2$ , где  $b$  – некоторый постоянный коэффициент пропорциональности. Пусть  $P$  – мощность двигателя автомобиля,  $m$  – его масса,  $\alpha$  – угол наклона горы к горизонту.

При движении по горизонтальной дороге со скоростью  $V_0$  расходуемая за промежуток времени  $\tau$  энергия  $P\tau$  равна величине работы силы сопротивления воздуха  $bV_0^2 \cdot V_0\tau$ , отсюда  $P = bV_0^3$ .

При движении в гору со скоростью  $V_1$  расходуемая за промежуток времени  $\tau$  энергия  $P\tau$  идёт на преодоление работы силы сопротивления воздуха  $bV_1^2 \cdot V_1\tau$  и изменение потенциальной энергии автомобиля:  $mgV_1\tau \cdot \sin \alpha$ , отсюда  $P = bV_1^3 + mgV_1 \cdot \sin \alpha$ .

При движении с горы со скоростью  $V_2$  расходуемая за промежуток времени  $\tau$  энергия  $P\tau$  идёт на преодоление работы силы сопротивления воздуха  $bV_2^2 \cdot V_2\tau$  и изменение потенциальной энергии автомобиля  $-mgV_2\tau \cdot \sin \alpha$ , отсюда  $P = bV_2^3 - mgV_2 \cdot \sin \alpha$ .

Из двух соотношений для движения автомобиля в гору и с горы получаем:

$P/V_1 + P/V_2 = b(V_1^2 + V_2^2)$ , и  $P = b(V_1^2 + V_2^2)V_1V_2/(V_1 + V_2)$ . Используя соотношение для движения автомобиля по горизонтальной дороге, находим:  $V_0^3 = (V_1^2 + V_2^2)V_1V_2/(V_1 + V_2)$ . В частном случае при  $V_1 = 100$  км/ч и  $V_2 = 2V_1 = 200$  км/ч получаем:  $V_0 = (10^7/3)^{1/3} \approx 149,4$  км/ч.

**Ответ:**  $V_0 = ((V_1^2 + V_2^2)V_1V_2/(V_1 + V_2))^{1/3}$ . В частном случае скорость  $V_0 = (10^7/3)^{1/3} \approx 149,4$  км/ч – это чуть меньше 150 км/ч.

### Критерии оценивания:

Если школьник довел решение задачи до правильного ответа в общем виде (через скорости  $V_1$  и  $V_2$ ) и отметил, что числовой ответ меньше, чем 150 км/ч, он получает 10 баллов. Если решение доведено до правильного ответа только в общем виде (через скорости  $V_1$  и  $V_2$ ), участник получает 9 баллов. В противном случае школьник может получить до 3 утешительных баллов:

записано соотношение для мощности, коэффициента пропорциональности и скорости при движении по горизонтальной поверхности - 1 балл;

правильно записано соотношение для мощности, угла  $\alpha$ , массы, коэффициента пропорциональности и скорости при движении по наклонной поверхности (вверх или вниз) - 2 балла.

**Возможные баллы: 0, 1, 2, 3, 9, 10**

### Общие критерии оценок:

Каждая задача оценивается целым числом баллов от 0 до 10 (по каждой задаче указан список возможных значений оценок). Если школьник довел решение задачи *любым способом* до правильного ответа, он получает 10 баллов. Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. При частично правильном решении задачи применяются критерии, указанные для данной задачи. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

**Задача 3.**

В запаянной с одного конца горизонтально лежащей трубке находится воздух с относительной влажностью  $\varphi_0 = 60\%$ , отделённый от атмосферы столбиком ртути длиной  $l = 74$  мм. Атмосферное давление соответствует  $L_0 = 740$  мм ртутного столба. Какой станет относительная влажность  $\varphi$ , если трубку поставить вертикально открытым концом вниз? Температура постоянна, ртуть из трубки при переворачивании не выливается.

**Решение.** Пусть  $\rho$  – плотность ртути,  $p_0 = \rho g L_0$  – атмосферное давление.

В горизонтальной трубке давление запертого столбика воздуха совпадает с атмосферным, а в вертикальной равно  $p_0 - \rho g l = \rho g(L_0 - l)$ . Следовательно, давление в трубке изменилось в  $(L_0 - l)/L_0$  раз; в такое же количество раз в условиях постоянства температуры должна измениться и плотность – как воздуха, так и водяного пара. Поскольку относительная влажность равна отношению плотности водяного пара к плотности насыщенного водяного пара, относительная влажность тоже изменится в  $(L_0 - l)/L_0$  раз и станет равной  $\varphi = \varphi_0 \cdot (L_0 - l)/L_0 = 54\%$ .

**Ответ:** относительная влажность станет равной  $\varphi = \varphi_0 \cdot (L_0 - l)/L_0 = 54\%$ .

**Критерии оценивания:**

Если школьник довел решение задачи до правильного ответа, он получает 10 баллов. Правильным считается ответ как в числовом виде, так и в виде формулы, выраженной через начальную относительную влажность, длины  $l$  и  $L_0$ . В противном случае школьник может получить до 4 утешительных баллов:

- в горизонтальной трубке давление воздуха совпадает с атмосферным - 1 балл;
- записано выражение для давления воздуха в вертикальной трубке - 1 балл;
- плотность при постоянной температуре изменяется пропорционально давлению - 1 балл;
- записано определение относительной влажности воздуха (через отношение плотностей пара и насыщенного пара или через отношение давления пара к давлению насыщенного пара) - 1 балл.

**Возможные баллы: 0, 1, 2, 3, 4, 10**

**Общие критерии оценок:**

Каждая задача оценивается целым числом баллов от 0 до 10 (по каждой задаче указан список возможных значений оценок). Если школьник довел решение задачи *любым способом* до правильного ответа, он получает 10 баллов. Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. При частично правильном решении задачи применяются критерии, указанные для данной задачи. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

**Задача 4.**

В грозном облаке высотой  $h = 1$  км и площадью  $S = 100$  км<sup>2</sup> во время грозы создалось электрическое поле напряжённостью  $E = 1$  МВ/м, которое можно считать однородным.

1. Оцените, какой электрический заряд накопился на верхней и на нижней поверхностях облака и какая электрическая энергия запасена в таком облаке? Коэффициент пропорциональности в законе Кулона  $k = 9 \cdot 10^9$  Н·м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup>.

2. Оцените отношение электрической силы, действующей на верхнюю (или нижнюю) поверхность облака, к силе тяжести, действующей на всё облако. Ускорение свободного падения  $g = 10$  м/с<sup>2</sup>, плотность воздуха  $\rho = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>.

3. Между верхней и нижней поверхностями облака сверкнула молния, и за время  $\tau = 1$  мс израсходовалось 19% запасённой в облаке электрической энергии. Оцените среднюю силу электрического тока в таком грозном разряде и его среднюю мощность.

**Решение.**

1. Для того чтобы сделать необходимые оценки, грозное облако в данной задаче можно рассматривать как плоский конденсатор, обкладками которого являются верхняя и нижняя поверхности облака с зарядами  $+Q$  и  $-Q$ . Напряжённость поля внутри конденсатора составляет  $E = 4\pi kQ/S$ . Следовательно,  $Q = ES/(4\pi k) \approx 0,89 \cdot 10^3$  Кл.

Электрическая энергия  $W$ , запасённая в таком облаке, равна половине произведения заряда  $Q$  на разность потенциалов  $Eh$ , то есть  $W = 0,5QEh = E^2Sh/(8\pi k) \approx 4,4 \cdot 10^{11}$  Дж.

2. Каждая из поверхностей облака создаёт однородное электрическое поле напряжённостью  $E_1 = E/2 = 2\pi kQ/S$ . Это поле действует на противоположную поверхность с силой  $F_1 = QE_1 = QE/2 = E^2S/(8\pi k)$ .

Действующая на всё облако сила тяжести равна  $F_2 = \rho gSh$ . Отношение этих сил равно:

$$F_1/F_2 = E^2/(8\pi k\rho gh) \approx 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ — оно много меньше единицы.}$$

3. За время  $\tau$  израсходовалась энергия  $0,19W$ , поэтому средняя мощность разряда составляет  $0,19W/\tau \approx 0,84 \cdot 10^{14}$  Вт. Оставшаяся энергия составляет 0,81 от начальной. Поскольку энергия конденсатора пропорциональна квадрату его заряда, то конечный заряд на каждой из поверхностей облака составляет  $0,81^{1/2} = 0,9$  от начального — значит, между поверхностями облака при разряде перетёк заряд  $0,1Q$ . Поэтому средняя сила тока разряда равна  $0,1Q/\tau \approx 0,89 \cdot 10^5$  А.

**Ответ:** заряды на нижней и верхней поверхностях облака составляют  $\pm Q$ , где  $Q = ES/(4\pi k) \approx 0,89 \cdot 10^3$  Кл; электрическая энергия равна  $W = E^2Sh/(8\pi k) \approx 4,4 \cdot 10^{11}$  Дж; отношение силы электрического взаимодействия поверхностей облака к силе тяжести, действующей на всё облако, равно  $F_1/F_2 = E^2/(8\pi k\rho gh) \approx 3,4 \cdot 10^{-4}$ ; средняя мощность разряда равна  $0,19W/\tau \approx 0,84 \cdot 10^{14}$  Вт; средняя сила тока разряда равна  $0,1Q/\tau \approx 0,89 \cdot 10^5$  А.

**Критерии оценивания:**

Если участник довел решение до правильных ответов на вопросы задачи, он получает по 2 балла за правильный числовой ответ на каждый из вопросов. Правильными считаются ответы в диапазоне: величина заряда на каждой из пластин от  $0,8 \cdot 10^3$  Кл до  $0,9 \cdot 10^3$  Кл; электрическая энергия от  $4 \cdot 10^{11}$  Дж до  $5 \cdot 10^{11}$  Дж; отношение силы электрического взаимодействия поверхностей облака к силе тяжести, действующей на все облако, - от  $3 \cdot 10^{-4}$  до  $4 \cdot 10^{-4}$ ; средняя мощность разряда от  $0,8 \cdot 10^{14}$  Вт до  $0,9 \cdot 10^{14}$  Вт; средний ток разряда от  $0,8 \cdot 10^5$  А до  $0,9 \cdot 10^5$  А. Ответы без указания единиц измерения не засчитываются. При отсутствии правильных числовых ответов участник может получить 2 утешительных балла, если он получил правильные ответы хотя бы на два вопроса в виде формул.

**Возможные баллы: 0, 2, 4, 6, 8, 10**

**Общие критерии оценок:**

Каждая задача оценивается целым числом баллов от 0 до 10 (по каждой задаче указан список возможных значений оценок). Если школьник довел решение задачи *любым способом* до правильного ответа, он получает 10 баллов. Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. При частично правильном решении задачи применяются критерии, указанные для данной задачи. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.

### Задача 5.

#### В условии была опечатка

Электрокипятильник, включённый в сеть с напряжением  $U = 220$  В, нагревает воду в кастрюле от комнатной температуры до кипения за время  $\tau_1 = 1$  мин. Найдите, за какое время  $\tau_2$  четыре кипятивника с втрое большим сопротивлением, соединённые последовательно ~~и включённые в ту же сеть~~, нагреют вдвое большую массу воды от той же комнатной температуры до кипения при подключении к сети с напряжением  $2U = 440$  В. Потерями теплоты можно пренебречь.

**Из за опечатки школьники могут представить два решения, и оба следует считать верными.**

**Решение.** Пусть  $R$  – сопротивление исходного кипятивника,  $m$  – масса воды в кастрюле,  $c$  – удельная теплоёмкость воды,  $\Delta t$  – изменение температуры при нагревании воды до кипения.

В первом случае кипятивник мощностью  $U^2/R$  за время  $\tau_1$  передаёт воде энергию  $(U^2/R)\tau_1$ , которая идёт на её нагревание:  $(U^2/R)\tau_1 = cm\Delta t$ .

Дальше возможны два варианта.

А) Во втором случае сопротивление цепочки кипятивников равно  $12R$ , поэтому при включении её в сеть с тем же напряжением  $U$  будет развиваться мощность  $U^2/(12R)$ . За время  $\tau_2$  воде массой  $2m$  будет передана энергия  $U^2/(12R)\tau_2$ , идущая на её нагревание:  $U^2/(12R)\tau_2 = 2cm\Delta t$ .

Разделив одно соотношение на другое, находим:  $\tau_2 = 24\tau_1 = 24$  мин.

Б) Во втором случае сопротивление цепочки кипятивников равно  $12R$ , поэтому при включении её в сеть напряжением  $2U$  будет развиваться мощность  $(2U)^2/(12R)$ . За время  $\tau_2$  воде массой  $2m$  будет передана энергия  $(2U)^2/(12R)\tau_2$ , идущая на её нагревание:  $(2U)^2/(12R)\tau_2 = 2cm\Delta t$ .

Разделив одно соотношение на другое, находим:  $\tau_2 = 6\tau_1 = 6$  мин.

#### **Ответ:**

А) время нагревания воды во втором случае составит  $\tau_2 = 24\tau_1 = 24$  мин.

Б) время нагревания воды во втором случае составит  $\tau_2 = 6\tau_1 = 6$  мин.

#### **Критерии оценивания:**

Если школьник довел решение задачи до правильного ответа, он получает 10 баллов. Правильным считается ответ как в числовом виде (24 мин или 6 мин), так и в виде формулы, выраженной через время  $\tau_1$  ( $\tau_2 = 24\tau_1$  или  $\tau_2 = 6\tau_1$ ). В противном случае школьник может получить до 4 утешительных баллов:

указано, что мощность кипятивника сопротивлением  $R$ , подключенного к источнику напряжения  $U$ , равна  $U^2/R$  - 1 балл;

использовано, что количество теплоты, требуемое для нагревания воды, равно произведению удельной теплоемкости на массу и на изменение температуры - 1 балл;

использовано, что переданная воде энергия равна произведению мощности на время - 1 балл;

указано, что сопротивление цепочки кипятивников во втором случае равно  $12R$  - 1 балл.

**Возможные баллы: 0, 1, 2, 3, 4, 10**

#### **Общие критерии оценок:**

Каждая задача оценивается целым числом баллов от 0 до 10 (по каждой задаче указан список возможных значений оценок). Если школьник довел решение задачи *любым способом* до правильного ответа, он получает 10 баллов. Не допускается снижение оценок за плохой почерк, решение способом, отличным от авторского, и т.д. При частично правильном решении задачи применяются критерии, указанные для данной задачи. Все спорные вопросы рекомендуется решать в пользу школьника.