

ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2025 года, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР
БИЛЕТ № 02 (9 классы), возможные решения и критерии

Задание 1: «Наперегонки через реку».

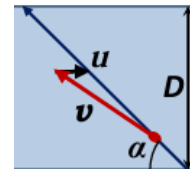
Вопрос: За какое время катер, движущийся со скоростью 10 м/с относительно воды, пересечет прямой канал шириной 120 м, двигаясь под углом 45° к линии берега (навстречу течению)? Вода в канале течет вдоль берегов со скоростью 2 м/с, постоянной по всей его ширине.

Ответ на вопрос: Чтобы удержаться на заданном курсе относительно берега (под углом α), катер должен направлять свою скорость под некоторым углом упреждения β к курсу. В нашем случае, при встречном течении:

$$\begin{cases} v \cdot \sin(\beta) = u \cdot \sin(\alpha) \\ v' = v \cdot \cos(\beta) - u \cdot \cos(\alpha) \end{cases} \Rightarrow v' = \sqrt{v^2 - u^2 \sin^2(\alpha)} - u \cdot \cos(\alpha).$$

Эту величину иногда называют «курсовой скоростью». Скорость перемещения «поперек» течения $v_{\perp} = v' \sin(\alpha) = [\sqrt{v^2 - u^2 \sin^2(\alpha)} - u \cdot \cos(\alpha)] \sin(\alpha)$. При $\alpha = 45^\circ$ $v_{\perp} = [\sqrt{2v^2 - u^2} - u]/2$, и поэтому время переправы

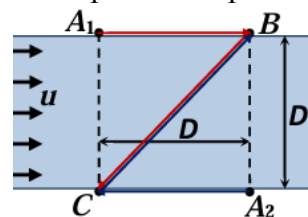
$$t = \frac{2D}{\sqrt{2v^2 - u^2} - u} = 20 \text{ с.}$$



Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указано (используется в решении), что скорости складываются как вектора.	2
2	Получено правильная формула для курсовой (или поперечной) скорости.	3
3	Получена правильная формула (уравнение) для времени переправы.	3
4	Получен правильный численный ответ.	2
Всего		10

Задача: Два спортсмена («первый» и «второй»), находившиеся на разных берегах широкого прямолинейного участка реки с быстрым течением, договорились провести соревнование. Они стартовали одновременно из точек A_1 и A_2 , расположенных точно напротив двух причалов B и C , расстояние между которыми по течению равнялось ширине реки. На причалах есть одинаковые гидроциклы,двигающиеся в неподвижной воде со скоростью $v = 12$ км/час. У «первого» есть электросамокат, способный развивать скорость $3v$ при поездке по дороге A_1B . Второй бежит по песчаному берегу A_2C со скоростью $v/3$. «Первому» нужно попасть на причал C , а «второму» - на B , и для переправы они используют гидроциклы, двигаясь по прямым. Чему равна скорость течения, если спортсмены финишируют одновременно?



Решение задачи: Время движения первого спортсмена складывается из времени движения на электросамокате и времени переправы, которое вычисляется точно также, как и в примере. Таким образом, $t_1 = \frac{D}{3v} + \frac{2D}{\sqrt{2v^2 - u^2} - u}$. Аналогично будет и у второго спортсмена, только теперь при вычислении курсовой скорости нужно учесть, что попутное течение ускоряет переправу. Поэтому $t_2 = \frac{3D}{v} + \frac{2D}{\sqrt{2v^2 - u^2} + u}$. По условию эти времена равны, причем ширина реки в этом уравнении сокращается, и мы получаем уравнение на скорость течения:

$$\frac{8}{3v} = \frac{2D}{v^2 - u^2} \Rightarrow u^2 + \frac{3}{4}vu - v^2 = 0 \Rightarrow u = \frac{\sqrt{73} - 3}{8}v \approx 8,316 \frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Ответ: скорость течения $u = \frac{\sqrt{73} - 3}{8}v \approx 8,316 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$.

Критерии проверки:

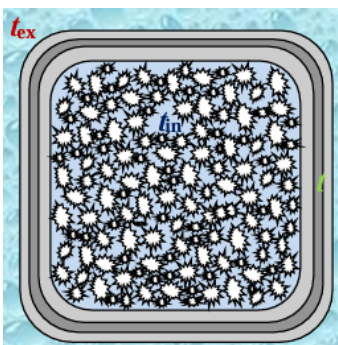
№	действие	балл
1	Записаны правильные соотношения, связывающие скорости и времена движения спортсменов по берегам ($3D/v$ и $D/(3v)$)	$2 \times 2 = 4$
2	Записаны правильные соотношения, связывающие скорости и времена переправ спортсменов	$2 \times 2 = 4$
3	Выведено правильное уравнение для u .	3
4	Получен правильный аналитический ответ.	2
5	Получен правильный числовой ответ.	2
Всего		15

Задание 2: «Лед и кипяткок».**Вопрос:** Опишите построение температурной шкалы Цельсия.

Ответ на вопрос: Шкала Цельсия – шкала измерения температур, построенная по двум реперным точкам: 0°C – температура таяния льда при нормальном атмосферном давлении, 100°C – температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении. Измерения температуры производятся при установлении теплового равновесия (при прекращении теплообмена) между телом с измеряемой температурой и стандартным телом – термометром. Шкала термометра между реперными точками и в обе стороны от них градуируется равномерно. В соответствии с законами молекулярной физики, получить при таком измерении температуры ниже абсолютного нуля температуры, примерно соответствующего $t_0 \approx -273^{\circ}\text{C}$, невозможно.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указана реперная точка 0°C .	2
2	Дано ее верное физическое определение.	2
3	Указана реперная точка 100°C .	1
4	Дано ее верное физическое определение.	2
5	Указано, что шкала является равномерной.	2
6	Любым способом упомянуто существование абсолютного нуля как границы допустимых значений температуры (например, упомянута шкала Кельвина).	1
Всего		10

Задача: Бокс-термос имеет почти кубическую форму и внутренний объем примерно 1 л, а его стенки

состоят из двух слоев теплоизолирующего материала и металлического каркаса (теплопроводность металла значительно выше, чем у теплоизолирующего материала). Внутренний слой теплоизоляции имеет толщину $d_1 = 3$ мм и площадь «срединной поверхности» $S_1 = 600 \text{ см}^2$, в внешний – толщину $d_2 = 2$ мм и площадь $S_2 = 680 \text{ см}^2$. В этот бокс поместили мокрый снег, состоящий на 50% (по объему) из ледяных кристаллов и на 50% из жидкой воды, находящихся в равновесии, и опустили бокс в чан с кипящей при нормальном давлении водой. Найдите температуру t каркаса во время таяния снега. Известно, что весь снег растаял за $T = 3600$ с. Найдите время, за которое после окончания таяния снега температура содержимого

бокса увеличится на 2°C . За какое примерно время впоследствии температура содержимого увеличится с 88°C до 90°C ? Используйте следующие данные: плотность льда составляет 90 % от плотности жидкой воды, удельная теплоемкость воды равна $c = 4,2 \text{ кДж/(кг}\cdot^{\circ}\text{C)}$, удельная теплота плавления льда в этой смеси $\lambda \approx 336 \text{ кДж/кг}$.

Решение задачи: Из ответа на вопрос ясно, что температура мокрого снега равна $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$, а температура кипятка $t_1 = 100^{\circ}\text{C}$. Температура металла практически постоянна по его объему (благодаря очень хорошей теплопроводности). Поскольку мощность потока тепла через оба слоя теплоизоляции одинакова, то температура каркаса t удовлетворяет уравнению

$$\frac{S_1}{d_1}(t - t_0) = \frac{S_2}{d_2}(t_1 - t) \Rightarrow (S_1 d_2 + S_2 d_1)t = S_1 d_2 t_0 + S_2 d_1 t_1 \Rightarrow t = \frac{S_1 d_2 t_0 + S_2 d_1 t_1}{S_1 d_2 + S_2 d_1}.$$

Подставляя числовые данные, получим:

$$t = \frac{17}{27} t_1 = 62 \frac{26}{27}^{\circ}\text{C} \approx 62,96^{\circ}\text{C}.$$

Отметим, что в процессе таяния льда разность температур кипятка и содержимого термоса остается постоянной, а поэтому (по информации из условия) остается неизменной мощность поступления в бокс теплоты P . Таким образом, $P \cdot T = \lambda \cdot \rho_1 \cdot 0,5 \cdot V_0 = 0,45 \lambda \rho V_0$, где V_0 – начальный объем мокрого снега в боксе, ρ_1 – плотность льда, а ρ – плотность жидкой воды. После окончания таяния льда нагревается вся масса воды, образовавшейся при таянии, то есть $m = \rho_1 \cdot 0,5 \cdot V_0 + \rho \cdot 0,5 \cdot V_0 = 0,95 \rho V_0$. При изменении температуры воды от 0°C до 2°C средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 99°C , то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0,99 \cdot P$. Значит, уравнение теплового баланса для этого нагрева $0,99 \cdot P \cdot \Delta T_1 = c \cdot 0,95 \rho V_0 \cdot \Delta t$ ($\Delta t \approx 2^{\circ}\text{C}$). Сравнивая полученные соотношения, находим:

$$\Delta T_1 = \frac{0,95 \cdot c \Delta t}{0,99 \cdot 0,45 \cdot \lambda} T = \frac{1900}{891} \frac{c \Delta t}{\lambda} T = 191 \frac{91}{99} \text{ с} \approx 192 \text{ с}.$$

Обратим внимание, что ответ не зависит от V_0 . При нагревании той же воды от 88°C до 90°C средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 11°C , то есть средняя мощность

поступления теплоты в бокс равна $0,11 \cdot P$ – в 9 раз меньше, чем для первого интервала. Соответственно

$$\Delta T_2 = 9\Delta T_1 = \frac{1900}{99} \frac{c\Delta t}{\lambda} T = 1727 \frac{3}{11} \text{ с} \approx 1727,3 \text{ с}.$$

Это почти 29 минут.

Ответ: $t = \frac{17}{27} t_1 \approx 62,96^\circ\text{C}$, $\Delta T_1 = \frac{1900}{891} \frac{c\Delta t}{\lambda} T \approx 192 \text{ с}$, $\Delta T_2 = \frac{1900}{99} \frac{c\Delta t}{\lambda} T \approx 1727,3 \text{ с}$.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указано (используется в решении), что температура мокрого снега равна $t_0 = 0^\circ\text{C}$, а температура кипятка $t_1 = 100^\circ\text{C}$.	2×1=2
2	Правильно записано уравнение для температуры каркаса.	1
3	Получен правильный (с точностью до градуса) численный ответ для температуры каркаса	1
4	Записано соотношение, эквивалентное $P \cdot T = 0,72 \lambda \rho V_0$.	2
5	Указано (используется в решении), что мощность поступления в бокс тепла постоянна в процессе таяния льда.	1
6	В решении расчет мощности поступления в процессах нагревания считается по средней разности температур (если по крайней – 2 балла).	3
7	Получен правильный (с точностью до минуты) числовой ответ для ΔT_1 .	2
8	Указано (используется в решении), что $\Delta T_2 = 9\Delta T_1$.	2
9	Получен правильный (с точностью до минуты) числовой ответ для ΔT_2 .	1
Всего		15

Задание 3: «Почти идеальные приборы».

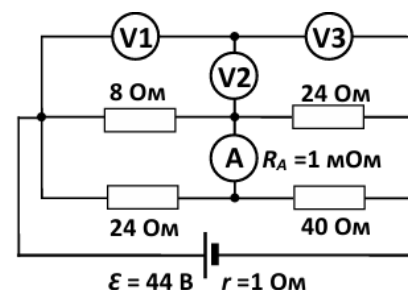
Вопрос: Амперметры с сопротивлениями 2 мОм и 3 мОм соединили параллельно, и эту пару соединили последовательно с другой, в которой параллельно были соединены еще один амперметр с сопротивлением 1 мОм и резистор с сопротивлением 100 Ом. На эту цепь подали напряжение от источника с ЭДС 5 В и внутренним сопротивлением 1 Ом. Каковы показания амперметров? Известно, что они измеряют силу тока с ошибкой менее 0,05 А.

Ответ на вопрос: Сопротивление пары параллельно соединенных амперметров $R_I = \frac{2 \text{ мОм} \cdot 3 \text{ мОм}}{5 \text{ мОм}} = 1,2 \text{ мОм}$. Сопротивление второй параллельной пары $R_{II} = \frac{1 \text{ мОм} \cdot 100 \text{ Ом}}{100,001 \text{ Ом}} \approx 1 \text{ мОм}$, но сразу было ясно, что оно практически равно сопротивлению амперметра (сопротивление резистора в 100000 раз больше, и ток через него практически не течет). Полное сопротивление цепи примерно равно 1,0022 Ом, и ток через источник с указанной точностью примерно равен 5 А. Как мы поняли, через амперметр, подключенный параллельно резистору, этот ток течет практически весь, и его показания 5,00 А (прямое вычисление с точностью до сотых дает 4,99 А, но при заданной точности эти результаты «неразличимы»). В параллельной паре амперметров токи делятся обратно пропорционально сопротивлениям, так что амперметр с меньшим сопротивлением должен показывать примерно 3,00 А, а с большим – примерно 2,00 А.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указано (используется в решении), что резистор практически не влияет на показания амперметров.	1
2	Установлено (используется в решении), что полное сопротивление схемы с ошибкой около 0,2 % совпадает с внутренним сопротивлением источника.	1
3	Определена сила тока в цепи, попадающая в интервал $(5,00 \pm 0,02)\text{А}$	2
4	Определены показания А1 (2 мОм), попадающие в интервал $(3,00 \pm 0,02)\text{А}$	2
5	Определены показания А2 (3 мОм), попадающие в интервал $(2,00 \pm 0,02)\text{А}$	2
6	Определены показания А3 (1 мОм), попадающие в интервал $(5,00 \pm 0,02)\text{А}$	2
Всего		10

Задача: В схеме, показанной на рисунке, суммарное сопротивление соединительных проводов менее 1 мОм, все три вольтметра одинаковы, и их внутренние сопротивления более 1 МОм. Характеристики остальных элементов схемы показаны на рисунке. Найдите силу тока, текущего в ветви с источником. Определите показания всех приборов (амперметра и трех вольтметров) с ошибкой менее 5 %.



Решение задачи: Понятно, что вольтметры, благодаря огромным сопротивлениям, практически не влияют на токи через резисторы и амперметр (силы токов в вольтметрах порядка сотых долей процента от сил токов в резисторах и амперметре). Поэтому при расчете токов в резисторах пренебрежем наличием вольтметров в схеме. С другой стороны, сила тока через амперметр одного порядка с силами токов в резисторах, но его сопротивление в несколько тысяч раз меньше, так что при расчете напряжений в схеме напряжением на амперметре можно пренебречь – мы можем его мысленно закоротить. Тогда вся наша схема – это просто две параллельные пары резисторов, подключенные последовательно к источнику. Таким образом, при расчете сил токов через резисторы мы можем считать, что полное сопротивление цепи, подключенной к источнику $R = 1 \text{ Ом} + \frac{8 \cdot 24}{32} \text{ Ом} + \frac{40 \cdot 24}{64} \text{ Ом} = 22 \text{ Ом}$. Следовательно, сила тока в ветви с источником равна 2 А. В первой параллельной паре этот ток делится в соотношении 3:1, то есть сила тока, текущего через резистор 8 Ом, равна 1,5 А, а через резистор 24 Ом 0,5 А. Во второй паре – в отношении 5:3, и сила тока через резистор 24 Ом равна 1,25 А, а через резистор 40 Ом – 0,75 А. Из непрерывности тока ясно, что разность сил токов в резисторах 8 Ом и 24 Ом (из второй пары) равна силе тока через амперметр. Значит, показания амперметра $I_A = 0,25 \text{ А}$, с ошибкой не более десятых долей процента (явно заметно менее 5%).

Теперь мы можем определить напряжения на выводах от вольтметров. Напряжение на выводах от V1 и V2 равно напряжению на резисторе 8 Ом, то есть (поскольку сила тока через него 1,5 А) 12 В. Аналогично напряжение на выводах от V2 и V3 равно напряжению на резисторе 24 Ом, то есть 30 В. Выбрав положительную полярность подключения (например, у V1 и V3 «плюс» слева по схеме, а у V2 сверху), запишем для показаний вольтметров уравнения $U_1 + U_2 = 12 \text{ В}$ и $U_1 + U_3 = 42 \text{ В}$. Чтобы записать третье уравнение для этих трех неизвестных вспомним, что токи через вольтметры все-таки текут (пусть и очень малые), и для них тоже справедлив принцип непрерывности тока, согласно которому $\frac{U_1}{R} = \frac{U_2}{R} + \frac{U_3}{R} \Rightarrow U_1 = U_2 + U_3$. Решая совместно эту систему, находим, что $U_1 = 18 \text{ В}$, $U_2 = -6 \text{ В}$, $U_3 = 24 \text{ В}$. Мы «не угадали» полярность напряжения на V1, но все значения напряжения успешно нашли.

Ответ: показания приборов (по величине) $I_A = 0,25 \text{ А}$, $U_1 = 18 \text{ В}$, $U_2 = 6 \text{ В}$, $U_3 = 24 \text{ В}$.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указано (используется в решении), что вольтметры не влияют на силы токов через резисторы и амперметр.	2
2	Указано, что при расчете напряжений на резисторах амперметр можно «закоротить».	2
3	Правильно определена сила тока в ветви с источником.	3
4	Правильно определены напряжения на двух парах выводов от вольтметров.	1×2=2
5	Для вольтметров записан принцип непрерывности тока.	2
6	Правильно определены показания амперметра (число).	1
7	Правильно определены показания вольтметра V1 (число).	1
8	Правильно определены показания вольтметра V2 (число).	1
9	Правильно определены показания вольтметра V3 (число).	1
Всего		15

Задание 4: «Столкновение в поле тяжести».

Вопрос: Два маленьких шарика брошены одновременно в большой камере с откачанным воздухом из одной точки с одинаковыми скоростями в одну сторону (от вертикали): первый – под углом 15° к горизонту, второй – под углом 75° к горизонту. На каком расстоянии друг от друга окажутся шарики через 0,5 с после броска?

Ответ на вопрос: Перейдем в Систему Отсчета, связанную с первым шариком. Поскольку в описанной ситуации оба шарика движутся с одинаковым ускорением (свободного падения), то шарик 2 в этой СО движется равномерно и прямолинейно, то есть величина относительной скорости шариков

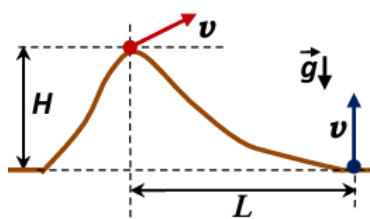
равна ее начальному значению. При построении векторного треугольника скоростей заметно, что две стороны в нем одинаковы, и угол между ними равен 60° . Значит, этот треугольник – правильный, и скорость удаления шариков друг от друга равна по величине их (одинаковой) начальной скорости v . Значит, расстояние между шариками

$$r(t) = v \cdot t \Rightarrow r(0,5 \text{ с}) = v \cdot 0,5 \text{ с}.$$

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Для решения используется переход в «сопутствующую» (свободно падающую) СО	2
2	Указано (используется в решении), что угол между векторами начальных скоростей равен 60° .	2
3	Установлено, что относительная скорость постоянна.	2
4	Установлено, что относительная скорость равна начальной скорости шариков.	2
5	Дан ответ $r(0,5 \text{ с}) = v \cdot 0,5 \text{ с}$.	2
Всего		10

Задача: Два одинаковых орудия одновременно производят выстрелы снарядами с одинаковой начальной скоростью: первое – с возвышенности, второе – из точки у подножия этой возвышенности, которая находилась на $H = 390$ м ниже и на $L = 675,5$ м правее по горизонтали точки «старта» снаряда первого орудия. Второе орудие стреляет вертикально вверх, а направление выстрела первого подбирается так, чтобы снаряды столкнулись на участке подъёма второго снаряда. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определите необходимое направление выстрела первого орудия. Как изменится это направление, если второе орудие перенести в точку с той же H , но со смещением $L' = 225,2$ м?



Решение задачи: Пусть v – величина начальной скорости снарядов, а первое орудие производит выстрел в сторону второго орудия под углом α , отсчитываемом вверх от горизонта. Тогда за время полета до столкновения снаряд первого орудия пролетел по горизонтали в точности расстояние $L = v \cdot \cos(\alpha)t$. С другой стороны, снаряды в конце полета должны оказаться на одинаковой высоте. Значит, $H + v \cdot \sin(\alpha)t = v \cdot t$. Подставляя сюда из первого уравнения, получаем уравнение на угол выстрела:

$$H + v \cdot \sin(\alpha)t = v \cdot t \quad H = \frac{L}{\cos(\alpha)}(1 - \sin(\alpha)) \Rightarrow H \cos(\alpha) + L \sin(\alpha) = L.$$

Если ввести вспомогательный угол φ :

$$\sin(\varphi) \equiv \frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}} \Rightarrow \sin(\alpha + \varphi) = \frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}} \Rightarrow \alpha = \arcsin\left(\frac{L}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right) - \arcsin\left(\frac{H}{\sqrt{H^2 + L^2}}\right).$$

Например, для первых выстрелов $\alpha \approx +30^\circ$. Во втором случае $\alpha \approx -13^\circ$, то есть нужно будет стрелять ниже линии горизонта.

Ответ: в первом случае нужно стрелять выше горизонта $\alpha \approx +30^\circ$, а во втором – ниже $\alpha \approx -13^\circ$.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Правильно записано условия совпадения конечных положений в проекции на горизонтальную ось.	2
2	Правильно записано условия совпадения конечных положений в проекции на горизонтальную ось.	2
3	Получено верное уравнение на угол вылета первого снаряда.	3
4	Найдено необходимое значение угла вылета первого снаряда для первого случая.	3
5	Указано, что во втором случае необходим вылет первого снаряда ниже уровня горизонта.	2
6	Найдено необходимое значение угла вылета первого снаряда для второго случая.	3
Всего		15