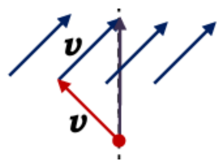
ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2025 года, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР
БИЛЕТ № 01 (7 и 8 классы), возможные решения и критерии

Задание 1: «Южный ветер, дальний путь».



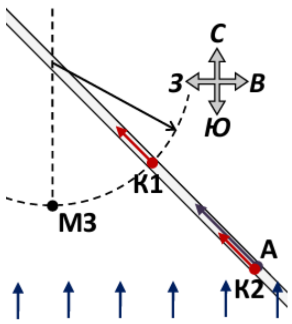
Вопрос: Пусть некий летательный аппарат (ЛА) летит относительно Земли по заданному курсу при «частично попутном» ветре, дующем под углом 45º к курсу. Известно, что величины скоростей ЛА относительно воздуха и ветра относительно Земли одинаковы и равны v. С какой скоростью движется при этом ЛА относительно Земли?

Ответ на вопрос: Как видно из рисунка, треугольник из скоростей ЛА относительно воздуха, ветра относительно Земли и ЛА относительно Земли – равнобедренный с углом при основании 45º. Значит, он прямоугольный, и можно воспользоваться теоремой Пифагора:

$$v^2 + v^2 = 2v^2 = v'^2 \Rightarrow v' = \sqrt{2} \cdot v.$$

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указано (используется в решении), что скорости складываются как вектора (направленные отрезки)	2
2	Указано (используется в решении), что треугольник скоростей равнобедренный.	1
3	Сделан вывод, что он прямоугольный.	3
4	Получен правильный ответ.	4
Всего		**10**



Задача: По дороге на северо-запад едет с постоянной скоростью автомобиль, а над ней летят друг за другом с одинаковыми скоростями два квадрокоптера. Дует южный ветер, который несет метеозонд. В момент времени, когда автомобиль проезжал под вторым квадрокоптером, первый квадрокоптер и метеозонд оказались точно на одинаковом расстоянии от точки пересечения их курсов. Спустя время $\boldsymbol{t_1 = 700}$ с автомобиль проехал под метеозондом, а еще через время $\boldsymbol{t_2 = \frac{t_1}{\sqrt{2}} \approx 495}$ с автомобиль проехал под первым квадрокоптером. После этого он резко развернулся и поехал по той же дороге на юго-восток. Через какое время он снова проедет под вторым квадрокоптером? Известно, что величины скоростей квадрокоптеров относительно воздуха и ветра относительно Земли одинаковы.

Примечание: $\boldsymbol{\sqrt{2} \approx 1,414}$ – это число, квадрат которого равен 2.

Решение задачи: Пусть u – скорость ветра, а r – расстояние (одинаковое) от МЗ и К1 до точки пересечения их курсов. Тогда $r = u \cdot t_1$. Обозначим также скорость автомобиля v, и расстояние между квадрокоптерами l, и придем к еще одному соотношению $r + l = v \cdot t_1$. Из этих соотношений получаем, что $l = (v - u) \cdot t_1$. Как понятно из ответа на вопрос, скорость К1 относительно Земли равна $\sqrt{2} \cdot u$, и поэтому время, за которое автомобиль догоняет К1, равно

$$t_1 = \sqrt{2} \cdot t_2 = \frac{l}{v - \sqrt{2} \cdot u} = \frac{v - u}{v - \sqrt{2} \cdot u} t_1 \Rightarrow t_1\left(\sqrt{2} \cdot u - u\right) = t_2\left(v - \sqrt{2} \cdot u\right).$$

С учетом заданного в условии соотношения $t_1 = \sqrt{2} \cdot t_2$ находим: $v = 2 \cdot u$. Понятно, что расстояние между квадрокоптерами остается постоянным, так что сразу после разворота автомобиля К2 и автомобилю до встречи нужно пройти навстречу друг другу расстояние l, и на это потребуется время

$$t_3 = \frac{l}{v + \sqrt{2} \cdot u} = \frac{v - u}{v + \sqrt{2} \cdot u} t_1 = \frac{1}{2 + \sqrt{2}} t_3 = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) t_1 = t_1 - t_2 \approx 205 \text{ с.}$$

Ответ: через время $t_3 = t_1 - t_2 \approx 205$ с.

Критерии проверки:

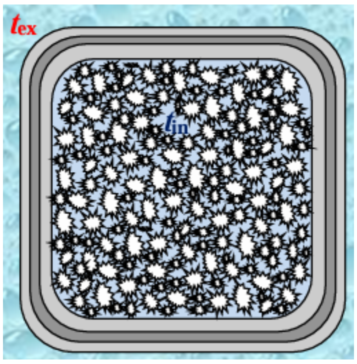
№	действие	балл
1	Записаны (используются в решении) соотношения, связывающие скорости, расстояния и t_1 (эквивалентные $r = u \cdot t_1$ и $r + l = v \cdot t_1$).	2×2=4
2	Записано правильное соотношение, связывающего скорости и t_2 ($t_2 = \frac{l}{v - \sqrt{2} \cdot u}$).	2
3	Правильно найдено соотношение скоростей ($v = 2 \cdot u$).	3

4	Записано (используется в решении) правильная связь t_3 и t_1 или t_2.	2
5	Получен правильный аналитической ответ.	2
6	Получен правильный числовой ответ.	2
Всего		**15**

Задание 2: «Лед и кипяток».
Вопрос: Опишите построение температурной шкалы Цельсия.
Ответ на вопрос: Шкала Цельсия – шкала измерения температур, построенная по двум реперным точкам: 0ºC – температура таяния льда при нормальном атмосферном давлении, 100ºC – 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 $t_0 \approx -273$ºC, невозможно.
Критерии проверки:

№	**действие**	**балл**
1	Указана реперная точка 0ºC.	2
2	Дано ее верное физическое определение.	2
3	Указана реперная точка 100ºC.	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 1 л, а его стенки состоят из двух слоев теплоизолирующего материала и металлического каркаса.



В этот бокс поместили мокрый снег, состоящий на 80% (по объему) из ледяных кристаллов и на 20% из жидкой воды, находящихся в равновесии, и опустили бокс в чан с кипящей при нормальном атмосферном давлении водой. Известно, что весь снег растаял примерно за $T = 72$ минуты. Найдите время, за которое после окончания таяния снега температура содержимого бокса увеличится на 2ºC. За какое примерно время впоследствии температура содержимого увеличится с 88 ºC до 90 ºC? Учтите, что мощность поступления теплоты в бокс прямо пропорциональна разности температур окружающей среды и его содержимого. Используйте следующие данные: плотность льда составляет 90 % от плотности жидкой воды, удельная теплоемкость воды равна $c = 4{,}2$ кДж/(кг·ºC), удельная теплота плавления льда в этой смеси $\lambda \approx 336$ кДж/кг.
Решение задачи: Из ответа на вопрос ясно, что температура мокрого снега равна t_0 = 0ºC, а температура кипятка t_1 = 100ºC. Поэтому 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, $P\cdot T=\lambda\cdot\rho_1\cdot 0{,}8\cdot V_0=0{,}72\lambda\rho V_0$, 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 $m = \rho_1\cdot 0{,}8\cdot V_0+\rho\cdot 0{,}2\cdot V_0 = 0{,}92\rho V_0$. При изменении температуры воды от 0ºC до 2ºC средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 99ºC, то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0{,}99\cdot P$. Значит, уравнение теплового баланса для этого нагрева $0{,}99\cdot P\ \Delta T_1 = c\cdot 0{,}92\rho V_0\cdot\Delta t$ ($\Delta t\equiv 2$ºC). Сравнивая полученные соотношения, находим:

$$\Delta T_1 = \frac{0{,}92\cdot c\Delta t}{0{,}99\cdot 0{,}72\cdot\lambda}T = \frac{1150}{891}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 2\frac{32}{99}\ \text{мин} \approx 2{,}32\ \text{мин}.$$

Обратим внимание, что ответ не зависит от V_0. При нагревании той же воды от 88 ºC до 90 ºC средняя разность температур содержимого бокса и окружающей среды равна 11ºC, то есть средняя мощность поступления теплоты в бокс равна $0{,}11\cdot P$ – в 9 раз меньше, чем для первого интервала. Соответственно

$$\Delta T_2 = 9\Delta T_1 = \frac{1150}{99}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 20\frac{10}{11}\text{ мин} \approx 20{,}9\text{ мин.}$$

Ответ: $\Delta T_1 = \frac{1150}{891}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 2\frac{32}{99}$ мин $\approx 2{,}32$ мин, $\Delta T_2 = \frac{1150}{99}\frac{c\Delta t}{\lambda}T = 20\frac{10}{11}$ мин $\approx 20{,}9$ мин.

Критерии проверки:

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

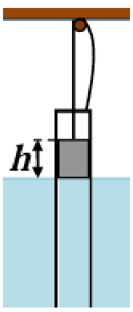
Задание 3: «Когда же нить провиснет?»

Вопрос: Цилиндрический груз высотой h = 4 см опустили на тонкой нити в сосуд с водой так, что его нижнее основание горизонтально и находится на глубине 12 см под поверхностью воды. Во сколько раз величина силы давления воды на это основание больше величины действующей на груз силы Архимеда?

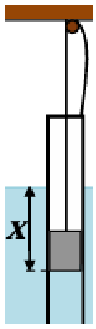
Ответ на вопрос: Давление воды плотностью ρ, покоящейся в поле тяжести g на глубине H = 12 см, равно $p = \rho gH$. Поэтому величина силы давления на основание цилиндра $F_д = \rho gH{\cdot}S$. Величина силы Архимеда $F_A = \rho gV = \rho gh{\cdot}S$. Таким образом, их отношение $\frac{F_д}{F_A} = \frac{H}{h} = 3$. В этом рассуждении не учитывалась сила давления со стороны атмосферы, передаваемая водой. Включение ее в ответ для $F_д$ не является ошибкой и не влияет на выставляемые баллы (хотя в данной постановке вопроса естественнее ее не учитывать).

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Указано (используется в расчете), что $p = \rho gH$.	2
2	Записана верная формула для силы давления, эквивалентная $F_д = \rho gH{\cdot}S$.	3
3	Записана верная формула для силы Архимеда, эквивалентная $F_A = \rho gh{\cdot}S$.	3
4	Получен правильный численный ответ.	2
Всего		**10**



Задача: Вертикальная гладкая трубка круглого сечения, открытая с обоих концов, установлена так, что она уходит под воду в широком и глубоком резервуаре. Цилиндрический груз высотой h = 4 см сначала подвешен на легкой и нерастяжимой нити так, что касается поверхности воды внутри трубки. Его диаметр подобран так, что он не застревает в трубке, но при этом вода не просачивается мимо него в часть трубки над ним. Длину нити плавно увеличивают, и следят за величиной силы ее натяжения. Оказалось, что при увеличении длины на x_1 = 4 см величина T_1 = 7,5 Н, а при x_2 = 12 см она уменьшается до T_2 = 5,5 Н. Какой станет сила натяжения нити при x_3 = 16 см? Какой должна стать длина нити, чтобы при ее дальнейшем увеличении груз перестал опускаться по трубке?



Решение задачи: Исследуем, как зависит сила натяжения нити T от удлинения нити x. Груз находится в равновесии под действием сил тяжести, силы давления воды на нижнее основание и силы натяжения нити. Поэтому величины этих сил связаны соотношением $T + F_д = mg$. С учетом закона Паскаля и формулы для силы давления из ответа на вопрос получим, что

$$T(x) = mg - \rho gS \cdot x,$$

то есть эти величины связаны <u>линейно</u>. Знание двух значений линейной функции позволяет вычислить ее коэффициенты и находить новые значения:

$$\begin{cases} T(4\text{ см}) = 7{,}5\text{ Н} = mg - \rho gS \cdot 4\text{ см} \\ T(12\text{ см}) = 5{,}5\text{ Н} = mg - \rho gS \cdot 12\text{ см} \end{cases} \Rightarrow T(x) = 8{,}5\,Н - x\frac{\text{Н}}{4\text{ см}}.$$

Значит, T(16 см) = 4,5 Н. Сила натяжения обратится в ноль при x_0 = 34 см. Поэтому дальнейшее увеличение длины нити на груз влиять не будет, и он больше опускаться не будет.

Ответ: T(16 см) = 4,5 Н, груз перестает опускаться по трубке при $x \geq x_0$ = 34 см.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Используется условие равновесия груза при произвольной длине нити.	2
2	Названы (присутствуют в условии равновесия) все три действующие силы.	3×1=3
3	Правильно записано условие равновесия.	2
4	Получено правильное уравнение для $T(x)$.	2
5	Получен правильный числовой ответ для T(16 см).	3
6	Получен правильный (с точностью до см) числовой ответ для x_0.	3
Всего		**15**

Задание 4: «Разгон и торможение».

Вопрос: Если тело, движущееся со скоростью υ_0, попадает на шероховатую горизонтальную поверхность, где тормозится одной только силой трения скольжения (то есть если остальными горизонтальными силами можно пренебречь), то закон изменения его скорости имеет вид $\boldsymbol{v(t) = v_0 - \mu g t}$, в котором g – ускорение свободного падения, а величина μ – коэффициент трения между телом и этой поверхностью. Какой путь пройдет это тело до остановки?

Ответ на вопрос: Скорость тела убывает <u>линейно</u> от начального значения υ_0 до нуля. Поэтому ясно, что среднее значение скорости в ходе такого движения равно $\frac{v_0}{2}$. Время движения определяется из уравнения $v(t_0) = v_0 - \mu g t_0 = 0 \Rightarrow t_0 = \frac{v_0}{\mu g}$. Следовательно, тормозной путь тела равен $s_0 = \frac{v_0}{2}\frac{v_0}{\mu g} = \frac{v_0^2}{2\mu g}$.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Из любых соображений выведено, что средняя скорость равна $\upsilon_0/2$ (если указано без обоснования – **2 балла**).	3
2	Время движения определяется из требования $v(t_0) = 0$.	1
3	Получено правильное выражение для времени движения.	3
4	Получен правильный ответ.	3
Всего		**10**

Задача: Если человек разгоняется по горизонтальной поверхности, отталкиваясь от нее, то он использует силу трения, и поэтому его максимальное *ускорение* (скорость изменения скорости) равно μg, как и при торможении. Пусть ему нужно преодолеть горизонтальную полосу шириной L = 16 м, на которой μ = 0,1, причем в конце пути ему обязательно нужно остановиться. В первый раз он стартует с нулевой скоростью, и поэтому сначала разгоняется, а потом тормозит. За какое время он пересечет полосу? Во второй раз он решает до этой полосы разогнаться, а на полосе только тормозить. До какой скорости ему необходимо предварительно разогнаться? За какое время он пересечет полосу в этот раз? Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.

Решение задачи: Человек использует силу трения и при разгоне, и при торможении. Так как он стартует и финиширует с нулевой скоростью, то время разгона должно быть равно времени торможения, из симметрии движения пути одинаковы и равны по $L/2$. При разгоне величина скорости растет от нуля до $\mu g \frac{t_1}{2}$ в течении времени $\frac{t_1}{2}$. Поэтому время преодоления полосы в первом случае $\frac{L}{2} = \frac{1}{2}\mu g \frac{t_1}{2}\frac{t_1}{2} \Rightarrow t_1 = 2\sqrt{\frac{L}{\mu g}}$. Подставляя числовые значения, находим $t_1 \approx 8$ с. Во втором случае его тормозной путь должен быть точно равен L. Значит (с учетом формулы, полученной при ответе на вопрос) его скорость в начале полосы должна быть равна $v_0 = \sqrt{2\mu g L} \approx 5{,}66$ м/с. Время в этом случае равно времени торможения $t_2 = \frac{v_0}{\mu g} = \sqrt{\frac{2L}{\mu g}} \approx 5{,}66$ с.

Ответ: $t_1 = 2\sqrt{\frac{L}{\mu g}} \approx 8$ с, $v_0 = \sqrt{2\mu g L} \approx 5{,}66\frac{\text{м}}{\text{с}}$ и $t_2 = \frac{v_0}{\mu g} = \sqrt{\frac{2L}{\mu g}} \approx 5{,}66$ с.

Критерии проверки:

№	действие	балл
1	Сделан вывод, что в первом случае время разгона равно времени торможения.	2
2	Записано правильное уравнение, связывающее L с t_1.	2
3	Получен правильный аналитический ответ для t_1.	3
3	Получен правильный числовой ответ для t_1.	1
4	Получен правильный аналитический ответ для v_0.	3
5	Получен правильный числовой ответ для v_0.	1
6	Получен правильный аналитический ответ для t_2.	2
7	Получен правильный числовой ответ для t_2.	1
Всего		**15**