ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ «Робофест» по ФИЗИКЕ
ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ (ФИНАЛЬНЫЙ) ЭТАП 2026 года, ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ТУР
БИЛЕТ № 01 (7 и 8 классы): возможные решения и критерии.

Задание 1: «Гонки, гонки…».

Вопрос: Две модели машин едут по одной и той же круговой трассе с постоянными по величине скоростями. Первая проезжает трассу за время t_1 = 80 с, и при этом каждые T = 2 мин обгоняет вторую. На одном из кругов вторая модель, сразу после очередного обгона со стороны первой, резко развернулась и поехала по той же трассе в другую сторону. Через какое время после этого модели встретились?

Ответ на вопрос: Пусть L – длина круга, $v_{1,2}$ – скорости первой и второй модели соответственно. Тогда $L = v_1 t_1 = (v_1 - v_2)T$. Из этого соотношения находим, что $v_2 = \dfrac{T - t_1}{T} v_1$. После разворота второй модели до встречи моделям вместе нужно проехать путь L, то есть искомое время $t = \dfrac{L}{v_1 + v_2} = \dfrac{T}{2T - t_1}\dfrac{L}{v_1} = \dfrac{t_1 T}{2T - t_1} = 1$ мин.

Критерии проверки вопроса:

№	действие	балл
1	Записано соотношение, связывающее L с t_1	2
2	Записано соотношение, связывающее L с T	2
3	Получено правильное уравнение для определения t	3
4	Получен правильный ответ.	3
Всего		**10**

Задача: На трассе для электромобилей есть два участка с разным покрытием. На первом из них максимальная скорость электромобиля v_1 = 65,6 км/ч, а на втором v_2 = 82 км/ч, и при этом максимальная средняя скорость V = 72 км/ч. Во сколько раз отличаются длины участков? Инженеры могут поменять шины так, что максимальная скорость на первом участке возрастет на x %. Однако при этом максимальная скорость на втором участке ровно во столько же раз понизится. При каком x можно будет достичь максимально возможной средней скорости на всей трассе? Чему эта максимальная средняя скорость равна?

Решение задачи: Пусть L – длина первого участка трассы, а $y \cdot L$ – второго участка. Тогда время прохождения трассы при начальных скоростях $T = \dfrac{L}{v_1} + \dfrac{yL}{v_2}$, и поэтому заданная нам средняя скорость прохождения $V = \dfrac{(1+y)L}{T} = \dfrac{(1+y)v_1 v_2}{v_2 + y v_1} \Rightarrow y = \dfrac{v_2(V - v_1)}{v_1(v_2 - V)} = 0{,}8$. Значит, первый участок в 1,25 раза (на 25%) длиннее второго. При указанном изменении скоростей новое время $T' = \dfrac{L}{(1+x)v_1} + \dfrac{0{,}8(1+x)L}{v_2}$, и новая средняя скорость $V' = \dfrac{1{,}8L}{T'} = \dfrac{9}{5\dfrac{1}{(1+x)v_1} + 4\dfrac{1+x}{v_2}}$. Здесь удобнее выписать выражение для обратной величины: $\dfrac{9}{V'} = \dfrac{4}{v_2}\left\{\dfrac{5v_2}{4v_1}\dfrac{1}{1+x} + 1 + x\right\} = \dfrac{5}{v_2}\left\{\dfrac{5}{4}\dfrac{1}{1+x} + \dfrac{4}{5}(1+x)\right\} \equiv \dfrac{5}{v_2}\left(z + \dfrac{1}{z}\right)$. Здесь $z \equiv \dfrac{4}{5}(1+x)$, а минимальное значение этой величины достигается при z = 1 и равно 2. Значит, средняя скорость максимальна при $1 + x = \dfrac{5}{4} \Rightarrow x = \dfrac{1}{4}$, и равна $V'_{max} = \dfrac{9}{10}v_2 = 73{,}8$ км/ч.

ОТВЕТЫ: При $x = \dfrac{1}{4}$ средняя скорость максимальна: $V'_{max} = 73{,}8$ км/ч.

Критерии проверки задачи:

№	действие	балл
1	Записано правильное соотношение для нахождения y	3
2	Получено правильное численное значение для y	3
3	Записано правильное уравнение, связывающее величину V' с x	3
4	Приведен ответ для нужного значения x	2

5	Этот ответ корректно обоснован	2
6	Получен правильный числовой ответ для максимальной средней скорости	2
Всего		**15**

Задание 2: «Мокрый снег».

Вопрос: Мокрый снег – смесь ледяных кристаллов и жидкой воды, находящаяся в равновесии. Какова температура мокрого снега при нормальном атмосферном давлении?

Ответ на вопрос: В температурной шкале Цельсия используются две реперные точки: температура плавления льда при нормальном атмосферном давлении принята за 0°C, температура кипения воды при нормальном атмосферном давлении принята за 100°C. Лед и вода находятся в равновесии при температуре плавления льда. Значит, температура мокрого снега при нормальном атмосферном давлении равна 0°C.

Критерии проверки вопроса:

№	действие	балл
1	Указано, что температура плавления льда является одной из реперных точек шкалы Цельсия	4
2	Указано (используется в ответе), что лед и вода находятся в равновесии именно в условиях фазового перехода между ними	3
3	Дан правильный количественный ответ	3
Всего		**10**

Задача: Теплоизолирующий сосуд при нормальном атмосферном давлении заполнили кипятком на 40 % по объему. В него очень медленно насыпают мокрый снег одинаковыми порциями. После засыпания первой порции температура содержимого сосуда равнялась t_1 = 60°C, после засыпания второй – t_2 = 40°C. Определите объемную долю x ледяных кристаллов в составе жидкого снега. Какую долю y от объема сосуда составляет объем одной порции мокрого снега? Можно ли засыпать в этот сосуд три такие порции (ответ объяснить)? 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: Поскольку мокрый снег засыпают очень медленно, то он успевает таять. Запишем уравнение теплового баланса для установления равновесия после засыпания n порций (предполагая, что весь лед растает): количество теплоты, отданное кипятком, равно сумме количеств тепла, израсходованных на плавление льда и на нагрев воды, полученной из мокрого снега (при этом учтем, что температура кипятка равна 100°C, а температура мокрого снега равна 0°C):

$$c \cdot \rho_B \cdot 0{,}4 \cdot V(100°\mathrm{C} - t_n) = (\lambda + ct_n) \cdot \rho_Л \cdot x \cdot n \cdot yV + c \cdot \rho_B \cdot (1-x) \cdot n \cdot yV \cdot t_n .$$

Следовательно, с учетом данных

$$n \cdot y\left[x \cdot 72°\mathrm{C} + t_n \cdot (1 - 0{,}1 \cdot x)\right] = 0{,}4 \cdot (100°\mathrm{C} - t_n).$$

Подставив в это соотношение заданные температуры, получаем систему для нахождения x и y:

$$\begin{cases} y(60+66x) = 16 \\ 2y(40+68x) = 24 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x = \dfrac{10}{37} \approx 0{,}270 \\ y = \dfrac{37}{180} \approx 0{,}206 \end{cases}.$$

При таянии льда занимаемый им объем уменьшается в соответствии с отношением плотностей, то есть после засыпания n порций мокрого снега занимаемый объем равен

$$V' = 0.4 \cdot V + n \cdot yV[0{,}9x + 1 - x] = V \cdot [0{,}4 + n \cdot y(1 - 0{,}1x)] = V \cdot [0{,}4 + 0{,}2 \cdot n].$$

Как видно, при n = 3 получаем $V' = V$, то есть три порции засыпать можно, причем в результате сосуд будет заполнен.

ОТВЕТЫ: Объемная доля льда $x = \dfrac{10}{37} \approx 0{,}270$, объем одной порции составляет долю $y = \dfrac{37}{180} \approx 0{,}206$ от объема сосуда, три порции засыпать можно, причем в результате сосуд будет заполнен.

Критерии проверки задачи:

№	действие	балл
1	Правильно записаны уравнения теплового баланса для засыпания одной и двух порций (или одно для n порций)	2×2=4

2	Получена правильная система двух уравнений для x и y	2×2=4
3	Найдено x в диапазоне [0,26;0,28]	1
4	Найдено y в диапазоне [0,20;0,21]	2
5	Дан ответ, что три порции помещаются в сосуде	2
6	Этот ответ корректно обоснован	2
Всего		**15**

Задание 3: «Неоднородный лед».

Вопрос: На поверхности воды плавает кусочек льда объемом V = 450 мл, причем 81 % этого объема находится под водой. Известно, что лед неоднороден – в нем имеются воздушные полости. Определите суммарный объем этих полостей.

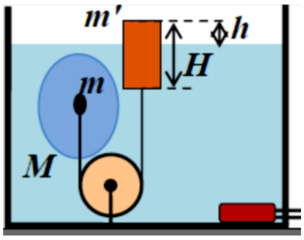
Ответ на вопрос: Условие равновесия сил, действующих на плавающий кусочек льда (сила Архимеда уравновешивает силу тяжести) имеет вид (используем величину отношения плотностей из задания 2):

$$\rho_{\text{В}} \cdot 0{,}8Vg = \rho_{\text{Л}} \cdot (V - V_{\text{П}})g \Rightarrow V_{\text{П}} = \left(1 - 0{,}81\frac{\rho_{\text{В}}}{\rho_{\text{Л}}}\right)V = 0{,}1V = 45 \text{ мл}.$$

Критерии проверки вопроса:

№	действие	балл
1	Правильно записано условие равновесия кусочка льда	3
2	Получено (используется в решении) правильное выражение для объема полостей	3
3	Получен правильный численный ответ.	4
Всего		**10**

Задача: К небольшому грузу массой m прикрепили легкую нерастяжимую нить, наморозили на нем лед так, что груз оказался внутри льда, и поместили в сосуд с водой. После установления равновесия масса льда M оказалась в 14 раз больше массы груза, и кусок льда с грузом был погружен в воду на 96% своего объема. Определите плотность материала груза. Затем нить перекинули через легкий блок, ось которого закреплена на дне сосуда (блок может вращаться вокруг этой оси практически без трения). Второй конец нити прикрепили к деревянному цилиндру высотой H = 5 см, масса которого в 1,6 раза меньше массы груза, и расположили тела так, что после отпускания они остались в равновесии. При этом цилиндр выступал над водой на высоту h_0 = 5 мм. Определите плотность дерева, из которого изготовлен цилиндр. После этого в сосуде включили нагревательный элемент с постоянной мощностью, и через 8 минут высота верхнего основания цилиндра над водой равнялась h_1 = 13 мм. Через какое время после этого нить провиснет?



Примечание: в этом задании используйте данные из задания 2.

Решение задачи: Из условия равновесия плавающего льда с грузом находим:

$$\rho_{\text{В}} \cdot 0{,}96\left(\frac{14m}{\rho_{\text{Л}}} + \frac{m}{\rho}\right)g = 15m \Rightarrow \frac{\rho_{\text{В}}}{\rho} = \frac{125}{8} - \frac{140}{9} = \frac{5}{72} \Rightarrow \rho = \frac{72}{5}\rho_{\text{В}} = 14{,}4 \text{ г/см}^3.$$

Условие равновесия в системе после прикрепления нити к цилиндру удобно получить, приравнивая силы натяжения левого и правого вертикальных участков нити, которые, в свою очередь, равны разностям сил тяжести и сил Архимеда для прикрепленных к ним тел:

$$T = \rho_0\left(\frac{m}{\rho} + \frac{M}{\rho_{\text{л}}}\right)g - (m + M)g = \rho_0(H - h)\frac{m'}{H\rho'}g - m'g.$$

(здесь g – ускорение свободного падения). Подставим в это уравнение значения известных плотностей, значение $m' = 5m/8$ и обозначим $M \equiv m \cdot y$. Тогда оно преобразуется к виду

$$\frac{\rho_{\text{В}}}{\rho'}\left(1 - \frac{h}{H}\right) = \frac{8y - 22}{45}.$$

Нам известно, что при y = 14 $h = h_0$ = 5 мм. Для этого положения наше уравнение дает

$$0{,}9\frac{\rho_{\text{В}}}{\rho'} = 2 \Rightarrow \rho' = 0{,}45\rho_{\text{В}} = 0{,}45 \text{ г/см}^3.$$

Таким образом, связь высоты выступающей над водой части цилиндра с массой льда описывается выражением

$$h = \frac{61 - 4M/m}{50}H.$$

При нагревании воды с постоянной мощностью масса льда убывает линейно с течением времени, и – в соответствии с этой формулой – h растет с постоянной скоростью. Как ясно из данных задачи, эта скорость равна 8 мм / 8 мин = 1 мм/мин. В момент провисания в нити (сила натяжения обращается в ноль) высота определяется из условия $(H-h)\frac{\rho_0}{H\rho'}=1 \Rightarrow h_c=\frac{11}{20}H=27{,}5$ мм. Значит, искомое время соответствует времени увеличения h на 14,5 мм, то есть оно равно 14,5 минут.

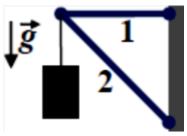
ОТВЕТЫ: плотность материала груза $\rho=\frac{72}{5}\rho_{\text{В}}=14{,}4\ \text{г/см}^3$, плотность дерева $\rho'=0{,}45\rho_{\text{В}}=0{,}45\ \text{г/см}^3$, нить провиснет через 14,5 минут после того, как высота выступающей части цилиндра достигнет величины 13 мм.

Критерии проверки задачи:

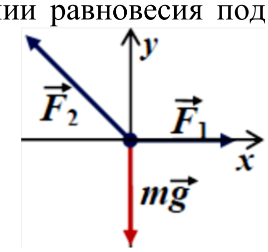
№	действие	балл
1	Правильно записано условие равновесия льда с грузом.	1
2	Правильно найдено численное значение плотности материала груза.	2
3	Правильно записано уравнение (или система уравнений), следующее из условий равновесия льда с грузом и доски, соединенных нитью.	2
4	Получено правильное уравнение, связывающее h и M	2
5	Правильно найдено (ответ в диапазоне от 0,44 до 0,46 г/см^3) численное значение плотности дерева.	2
6	Указано (используется в решении), что в процессе таяния льда высота h растет с постоянной скоростью.	2
7	Это утверждение корректно обосновано.	2
8	Правильно найдено численное значение времени до провисания нити.	2
Всего		**15**

Задание 4: «Кронштейны».

Вопрос: Два легких жестких стержня соединили идеальными шарнирами (вращающимися без трения) друг с другом и с вертикальной стенкой, и подвесили на этой конструкции груз массой 2 крг (см. рисунок). В состоянии равновесия стержень 1 горизонтален, а стержень 2 наклонен под углом 45° к горизонту. Найдите величину силы упругости стержня 1 в состоянии равновесия. Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2.



Ответ на вопрос: В состоянии равновесия сумма сил, приложенных к шарниру, соединяющему стержни 1 и 2, равна нулю. При этом каждый из стержней находится в состоянии равновесия под действием двух сил, приложенных к его концам (стержни по условию «легкие», и действующими на них силами тяжести пренебрегаем). Сумма этих сил равна нулю, поэтому эти силы всегда направлены в противоположные стороны. Если линии их действия не совпадают, то такая пара сил будет иметь ненулевой суммарный момент, чего не должно быть в положении равновесия. Поэтому эти силы обязательно направлены вдоль одной прямой, и, поскольку они приложены к разным концам стержня, то они направлены вдоль стержня. Пусть $\vec{F}_{1,2}$ – силы упругости стержней. Предположим, что стержень 1 растянут, а стержень 2 сжат (что выглядит естественно). Условие равновесия шарнира $\vec{F}_1+\vec{F}_2+m\vec{g}=0$ в проекциях на горизонтальную и вертикальную оси дает:



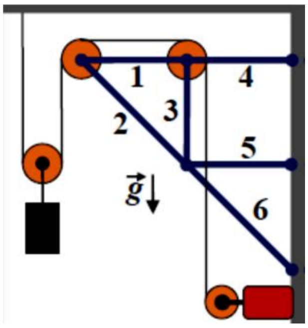
$$\begin{cases} F_1-\dfrac{F_2}{\sqrt{2}}=0 \\ \dfrac{F_2}{\sqrt{2}}-mg=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_1=mg \\ F_2=\sqrt{2}\cdot mg \end{cases}.$$

Как видно, сделанное предположение оправдалось. Таким образом, $F_1=mg=20$ Н.

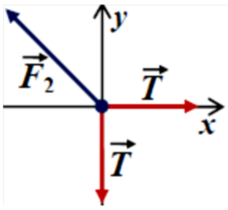
Критерии проверки вопроса:

№	действие	балл
1	Указано (используется в решении), что сила упругости каждого стержня направлена вдоль стержня.	2
2	Это утверждение корректно обосновано.	2
3	Правильно записаны уравнения равновесия шарнира в проекциях на две перпендикулярные оси.	2×2=4
4	Получен правильный численный ответ.	2
Всего		**10**

Задача: Из 6 легких жестких стержней из одного материала с одинаковыми поперечными сечениями, идеальных невесомых блоков и идеальных шарниров на вертикальной стенке собрали кронштейн для подъема груза массой 10 кг (см. рисунок). Для подъема используется легкий нерастяжимый трос, наматывающийся на вал двигателя, и при этом груз движется с постоянной скоростью. Деформации стержней и стены очень малы, и в ходе подъема стержни 1, 4 и 5 горизонтальны, 3 – вертикален, а стержни 2 и 6 составляют угол 45° с горизонтом. Ускорение свободного падения $g \approx 10$ м/с^2. Найдите силу натяжения троса. У какого из стержней в процессе подъема величина силы упругости наименьшая? Чему она равна? У какого наибольшая? Чему она равна? Во сколько раз величина продольной деформации стержня 6 больше, чем у стержня 3?



Решение задачи: В состоянии равновесия груза действующая на него сила тяжести уравновешивается двумя силами натяжения троса, перекинутого через подвижный блок. Поэтому сила натяжения, постоянная вдоль троса, равна $T = mg/2 = 50$ Н. Далее рассмотрим условие равновесия сил, приложенных к шарниру, соединяющему стержни 1 и 2 (силы упругости стержней и две силы натяжения нити). Можно заметить, что равнодействующая сил натяжения направлена точно вдоль стержня 2, поэтому он принимает на себя всю нагрузку: сила $F_2 = \sqrt{2} \cdot T = \frac{1}{\sqrt{2}} mg \approx 70{,}71$ Н. При этом $F_1 \approx 0$ (то есть эта сила порядка сил, которыми мы пренебрегаем – например, сил тяжести стержней). Даже «беглый» анализ показывает, что у остальных стержней силы упругости порядка T, так что именно является наименьшей из все сил упругости. Далее последовательно рассматриваем условия равновесия шарниров, соединяющих стержни 1,3 и 4, и стержни 2,3,5 и 6. Из первого из них находим, что $F_3 = F_4 = T = \frac{1}{2} mg = 50$ Н. Второе в проекциях на вертикальную и горизонтальную оси дает систему уравнений на две оставшиеся силы упругости:



$$\begin{cases} F_5 - \frac{1}{\sqrt{2}} F_6 = -\frac{1}{\sqrt{2}} F_2 = -T \\ \frac{1}{\sqrt{2}} F_6 = \frac{1}{\sqrt{2}} F_2 + F_3 = 2T \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F_5 = T = \frac{1}{2} mg \\ F_6 = 2\sqrt{2} \cdot T = \sqrt{2} \cdot mg \end{cases}.$$

Значит, наибольшая величина силы упругости стержня – это $F_6 = \sqrt{2} \cdot mg \approx 141{,}4$ Н.

Деформация стержня, согласно закону Гука, пропорциональна величине силы упругости и обратно пропорциональна жесткости стержня. При одинаковых материалах и одинаковом сечении коэффициенты жесткости обратно пропорциональны длине стержня. Поэтому

$$\frac{|\Delta l_6|}{|\Delta l_3|} = \frac{F_6}{F_3} \frac{k_3}{k_6} = \frac{F_6 l_6}{F_3 l_3} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{2} = 4.$$

ОТВЕТЫ: $T = mg/2 = 50$ Н, наименьшая величина силы упругости у стержня 1 $F_1 \approx 0$ (или порядка сил, которыми мы пренебрегаем), наибольшая – у стержня 6 $F_6 = \sqrt{2} \cdot mg \approx 141{,}4$ Н. Величина продольной деформации стержня 6 в 4 раза больше, чем у стержня 3.

Критерии проверки задачи:

№	действие	балл
1	Правильно записано условие равновесия груза.	1
2	Правильно найдены формула и численное значение силы натяжения нити.	1+1=2
3	Указано, что наименьшая величина сила упругости у стержня 1.	1
4	Указано, что $F_1 \approx 0$, или что величина этой силы порядка тех сил, которыми мы пренебрегаем	2
5	Установлено, что сила упругости стержней 3 и 4 равна T (или $mg/2$)	2
6	Записана правильная система уравнений равновесия шарнира между стержнями 2, 3, 5 и 6 в проекции на две перпендикулярные оси.	2×1=2
7	Указано, что наибольшая величина сила упругости у стержня 6.	1
8	Правильно найдено численное значение силы упругости стержня 6.	2
9	Указано (используется в решении), что деформация стержня пропорционально произведению силы упругости на длину стержня.	1
10	Правильно найдено численное значение искомого отношения деформаций.	1
Всего		**15**