ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ФИЗИКА. 2026–2027 уч. г.
МУНИЦИПАЛЬНЫЙ ЭТАП. 7 КЛАСС

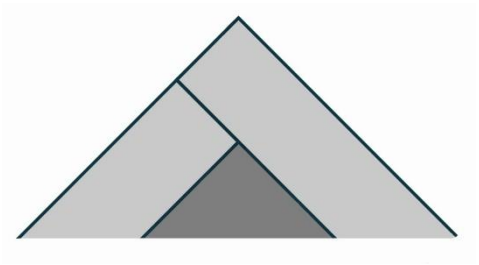
ОТВЕТЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

Максимальный балл за работу – 50 баллов.

Задание № 1.

Бордюр на площади

В городе М привокзальную площадь длиной $A = 24{,}4$ м и шириной $B = 14{,}4$ м решили оградить снаружи бордюром. Блок бордюрной кладки представляет собой параллелепипед с высотой $h = 20$ см и шириной $w = 10$ см. По невнимательности закупили два типа блоков разной длины: $l_1 = 30$ см и $l_2 = 50$ см, причём блоков длиной l_2 закупили в два раза больше, чем блоков длиной l_1. К счастью, этим набором блоков удалось оградить всю площадь без зазоров, при этом использовали все блоки. На рисунке показано, как стыкуются блоки бордюра на углу (вид сверху).



Вопрос 1. Определите, сколько блоков N_1 длиной l_1 было закуплено. **(2 балла)**

Вопрос 2. Определите, сколько блоков N_2 длиной l_2 было закуплено. **(2 балла)**

Нормальная плотность материала, из которого изготовлены все блоки, составляет $\rho = 2400$ кг/м³. Один из блоков длиной l_2 оказался бракованным — его плотность отличается от нормальной. Общая масса всего бордюра (с учётом бракованного блока) равна $m = 3{,}75$ т.

Вопрос 3. Определите плотность ρ_0 бракованного блока. Ответ дайте в кг/м³ с точностью до целого числа. **(3 балла)**

Весь бордюр покрасили краской сверху и с внешней по отношению к привокзальной площади стороны. Толщина слоя краски составила $\boldsymbol{d = 1}$ мм.

Вопрос 4. Какой объём V краски был использован? Ответ дайте в литрах с точностью до десятых. **(3 балла)**

Критерии оценивания:
вопросы 1-3 - точное совпадение с ответом
вопрос 4 - попадание в диапазон.

Максимальный балл за задание – 10 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 1.

№ варианта	A	B	h	w	l_1	l_2	ρ	m	d
1	24,4 м	14,4 м	20 см	10 см	30 см	50 см	2400 кг/м³	3,75 т	1 мм
2	8,45 м	12,45 м	20 см	5 см	25 см	40 см	2200 кг/м³	0,927 т	1,5 мм
3	20,35 м	21,85 м	10 см	15 см	30 см	70 см	2200 кг/м³	2815,5 кг	2 мм
4	23,4 м	18,4 м	15 см	10 см	20 см	50 см	2600 кг/м³	3,282 т	1,5 мм
5	43,8 м	19,8 м	10 см	20 см	40 см	60 см	2500 кг/м³	6,409 т	1 мм

Примечание. Бракованный блок — более длинный. См. столбец «l_2».

Решение:

Вопросы 1, 2

Переведём размеры блоков бордюрной кладки в СИ:

$$h = 20 \text{ см} = 20 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 0{,}2 \text{ м};$$

$$w = 10 \text{ см} = 10 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 0{,}1 \text{ м};$$

$$l_1 = 30 \text{ см} = 30 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 0{,}3 \text{ м};$$

$$l_2 = 50 \text{ см} = 50 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 0{,}5 \text{ м}.$$

Поскольку бордюр укладывается снаружи площади, то каждая сторона площади увеличивается на две ширины блока бордюрной кладки: $2w$. Определим внешний периметр площади с бордюром:

$$P = (A + 2w + B + 2w) \cdot 2 = 78{,}4 \text{ м}.$$

Выясним, из чего состоит внешний периметр. Для этого учтём особенности укладки на углах. Так как блоки на углах соединяются встык и не перекрывают друг друга, внешний периметр складывается из суммы длин всех блоков бордюрной кладки и четырёх ширин блока (по одной на каждый угол).

N_1 — количество блоков длиной l_1. Тогда блоков длиной l_2 будет $2N_1$. Составим уравнение:

$$l_1 N_1 + l_2 \cdot 2N_1 + 4w = P.$$

Выразим из уравнения N_1 и найдём его:

$$N_1(l_1 + 2l_2) = P - 4w;$$

$$N_1 = \frac{P - 4w}{l_1 + 2l_2};$$

$$N_1 = 60.$$

Таким образом, количество блоков длиной l_1 составляет $N_1 = 60$ штук, а блоков длиной l_2 — $N_2 = 2N_1 = 120$ штук.

Вопрос 3

Переведём массу блоков бордюрной кладки в СИ:

$$m = 3{,}75 \text{ т} = 3{,}75 \cdot 10^3 \text{ кг} = 3750 \text{ кг}.$$

Найдём объём одного блока каждого типа. Высота блока $h = 0{,}2$ м, ширина $w = 0{,}1$ м.

Объём блока длиной l_1:

$$V_{l_1} = l_1 \cdot h \cdot w = 0{,}006 \text{ м}^3.$$

Объём блока длиной l_2:

$$V_{l_2} = l_2 \cdot h \cdot w = 0{,}01 \text{ м}^3.$$

Всего блоков: N_1 длиной l_1 и N_2 длиной l_2. Один из блоков длиной l_2 — бракованный. Значит, нормальных блоков длиной l_2 остаётся $N_2 - 1$.

Объём всех нормальных блоков (без бракованного):

$$V_{\text{норм}} = N_1 \cdot V_{l_1} + (N_2 - 1) \cdot V_{l_2} = 1{,}55 \text{ м}^3.$$

Масса всех нормальных блоков:

$$m_{\text{норм}} = \rho \cdot V_{\text{норм}} = 2400 \cdot 1{,}55 = 3720 \text{ кг}.$$

Общая масса всего бордюра известна: $m = 3750$ кг. Тогда масса бракованного блока:

$$m_0 = m - m_{\text{норм}} = 3750 - 3720 = 30 \text{ кг}.$$

Объём бракованного блока (длиной l_2) составляет V_{l_2}. Следовательно, его плотность:

$$\rho_0 = \frac{m_0}{V_{l_2}} = \frac{30}{0{,}01} = 3000 \text{ кг/м}^3.$$

Вопрос 4

При покраске бордюра краска наносится на две поверхности каждого блока: верхнюю грань и наружную боковую грань. На четырёх угловых блоках окрашивается также боковой торец. Найдём площадь окрашиваемой поверхности для одного блока каждого типа.

Для блока длиной l_1:

$$S_{\text{верх}_1} = l_1 \cdot w = 0{,}03 \text{ м}^2, \;\; S_{\text{бок}_1} = l_1 \cdot h = 0{,}06 \text{ м}^2.$$

Общая площадь окраски одного блока:

$$S_{l_1} = S_{\text{верх}_1} + S_{\text{бок}_1} = 0{,}09 \text{ м}^2.$$

Для блока длиной l_2:

$$S_{\text{верх}_2} = l_2 \cdot w = 0{,}05 \text{ м}^2, \;\; S_{\text{бок}_2} = l_2 \cdot h = 0{,}10 \text{ м}^2.$$

Общая площадь окраски одного блока:

$$S_{l_2} = S_{\text{верх}_2} + S_{\text{бок}_2} = 0{,}15 \text{ м}^2.$$

Площадь окраски бокового торца блока любого типа:

$$S_{\text{т}} = h \cdot w = 0{,}02 \text{ м}^2.$$

Теперь найдём общую площадь окрашиваемой поверхности всех блоков:

$$S = N_1 \cdot S_{l_1} + N_2 \cdot S_{l_2} + 4 \cdot S_{\text{т}} = 60 \cdot 0{,}09 + 120 \cdot 0{,}15 + 4 \cdot 0{,}02 = 23{,}48 \text{ м}^2.$$

Толщина слоя краски $d = 1$ мм $= 0{,}001$ м. Объём краски равен произведению площади поверхности на толщину слоя:

$$V = S \cdot d = 23{,}48 \cdot 0{,}001 = 0{,}02348 \text{ м}^3.$$

Переведём в литры. Поскольку $1 \text{ м}^3 = 1000$ л, то:

$$V = 0{,}02348 \cdot 1000 \approx 23{,}5 \text{ л}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	**Вопрос 1 (N_1)**	**Вопрос 2 (N_2)**	**Вопрос 3 (ρ_0 в кг/м³)**	**Вопрос 4 (V в л)**
1	60	120	3000	[23,3; 23,7]
2	40	80	2950	[15,6; 16,0]
3	50	100	3200	[42,4; 42,8]
4	70	140	3400	[31,4; 31,8]
5	80	160	3250	[38,3; 38,7]

Задание № 2.

Три такси

Петя, Вася и Миша находятся в городе A и ждут такси, чтобы доехать до города B. Все такси выезжают из B в разное время и движутся навстречу ребятам. Посадка пассажиров и разворот такси происходят мгновенно. Скорости такси постоянны.

В $T_0 = 21{:}30$ за Петей приехало его такси. Когда Петя выехал из A в B, его такси и такси Васи двигались навстречу друг другу со скоростью сближения $u = 132$ км/ч. В момент их встречи из B выехало такси за Мишей. Через $\Delta t_1 = 28{,}5$ мин после выезда третьего такси из B оно встретило такси Пети на расстоянии $x_1 = 42{,}4$ км от A, а ещё через $\Delta t_2 = 8{,}3$ мин — такси Васи на расстоянии $x_2 = 61{,}4$ км от B. В этот же момент такси Пети находилось на расстоянии $x_3 = 52{,}36$ км от A. Все встречи происходят при встречном движении автомобилей.

Вопрос 1. Определите скорость $v_{\text{М}}$ такси Миши. Ответ выразите в км/ч с точностью до целого числа. **(2 балла)**
Вопрос 2. Определите скорость $v_{\text{П}}$ такси Пети. Ответ выразите в км/ч с точностью до целого числа. **(2 балла)**
Вопрос 3. Определите скорость $v_{\text{В}}$ такси Васи. Ответ выразите в км/ч с точностью до целого числа. **(2 балла)**
Вопрос 4. Определите расстояние S между A и B. Ответ выразите в км с точностью до целого числа. **(2 балла)**
Вопрос 5. Определите время $T_{\text{М}}$, в которое Миша приехал в B. Ответ дайте в часах и целом числе минут. **(3 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 11 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 2.

№ варианта	T_0	u	Δt_1	x_1	Δt_2	x_2	x_3
1	21:30	132 км/ч	28,5 мин	42,4 км	8,3 мин	61,4 км	52,36 км
2	21:00	130 км/ч	26,4 мин	41,35 км	11,1 мин	54,91 км	56,13 км
3	20:00	126 км/ч	23 мин	31,66 км	5,7 мин	47,87 км	38,33 км
4	20:30	135 км/ч	25 мин	43,48 км	12,8 мин	56,72 км	60,74 км
5	19:30	126 км/ч	32,3 мин	43,91 км	8,3 мин	64,22 км	54,44 км

Решение:

Вопросы 1, 2, 3

Известно, что спустя Δt_1 после выезда из B такси Миши встретило такси Пети, а ещё через Δt_2 — такси Васи на расстоянии x_2 от B. Значит, за время $t_1 = \Delta t_1 + \Delta t_2$ такси Миши проехало расстояние x_2. Определим его скорость:

$$v_{\text{М}} = \frac{x_2}{t_1} = \frac{61{,}4}{36{,}8}\frac{\text{км}}{\text{мин}} \approx 100\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Встреча такси Миши с такси Пети произошла на расстоянии x_1 от A. А через Δt_2 такси Пети находилось уже на расстоянии x_3 от A. Значит, за время Δt_2 такси Пети преодолело путь длиной $s_2 = x_3 - x_1$. Тогда его скорость составляет:

$$v_{\text{П}} = \frac{s_2}{\Delta t_2} = \frac{9{,}96}{8{,}3}\,\frac{\text{км}}{\text{мин}} = 72\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}.$$

Поскольку скорость сближения такси Пети и Васи составляет u, то скорость такси Васи вычислить несложно:

$$v_{\text{В}} = u - v_{\text{П}} = 132 \text{ км/ч} - 72 \text{ км/ч} = 60 \text{ км/ч}.$$

Вопрос 4

Когда такси Миши и Пети встретились, такси Миши двигалось из B в A уже на протяжении времени Δt_1. Точка встречи находится на расстоянии x_1 от A. Значит,

$$S = x_1 + v_{\text{М}}\Delta t_1 = 42{,}4 \text{ км} + 100 \text{ км/ч} \cdot 0{,}475 \text{ ч} \approx 90 \text{ км}.$$

Вопрос 5

Определим время встречи такси Пети с такси Миши. Известно, что Петя выехал из A в T_0 и проехал до этой встречи расстояние x_1 со скоростью $v_{\text{П}}$:

$$t_{\text{П}} = \frac{x_1}{v_{\text{П}}} = \frac{42{,}4}{72} \text{ ч} = 35 \text{ мин } 20 \text{ с}.$$

Значит, встреча произошла в момент времени $T_1 = T_0 + t_{\text{П}}$. Известно также, что такси Миши выехало из B за время Δt_1 до этой встречи. Определим его время выезда:

$$T' = T_1 - \Delta t_1 = 21{:}36{:}50.$$

Зная, что такси Миши преодолело путь длиной $2S$, определим время $T_{\text{М}}$ его прибытия в B:

$$T_{\text{М}} = T' + \frac{2S}{v_{\text{М}}} = 21{:}36{:}50 + 108 \text{ мин} \approx 23{:}25.$$

Матрица ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	Вопрос 1 (км/ч)	Вопрос 2 (км/ч)	Вопрос 3 (км/ч)	Вопрос 4 (км)	Вопрос 5
1	100	72	60	90	23:25
2	88	80	50	80	22:54
3	100	70	56	70	21:28
4	90	81	54	81	22:25
5	95	76	50	95	21:32

Задание № 3.

Автомобиль на газировке

Незнайке подарили автомобиль, работающий на смеси газировки и сиропа. Газировка — вода с растворённым в ней газом. Газ, выделяющийся из газировки, толкает поршни и крутит колёса, а сироп смазывает детали. Газировка и сироп наливаются в один бак, и при движении автомобиль расходует их вместе. Для

правильной работы двигателя объём сиропа в баке должен всегда составлять 10 % от объёма газировки. Масса газа в газировке невероятно большая: 0,5 % от массы газировки. На $S' = 50 \cdot 10^3$ ногтей пути уходит ровно $v = 1$ стакан газировки без сиропа. Известно, что 1 ноготь $= 1{,}25$ см, 1 стакан $= 200$ мл. Объём бака автомобиля составляет $V_0 = 0{,}011\text{м}^3$. Плотность газировки $\rho = 1030\ \text{кг/м}^3$. Незнайка решил протестировать автомобиль и проехал $S_0 =$ 2 км.

Вопрос 1. Какая масса $m_\text{г}$ газа выделилась за это время? Ответ дайте в граммах с точностью до десятых. **(3 балла)**

Вечером, заправив полный бак, Незнайка отправился в гости к Гуньке. Расстояние до дома Гуньки составляет $S = 950 \cdot 10^4$ ногтей.

Вопрос 2. Сколько ещё раз ему придётся заправить полный бак, чтобы доехать? Незнайка заправляет бак, когда тот практически пустой. **(3 балла)**

Вопрос 3. Сколько полных стаканов газировки с сиропом смогут выпить друзья из бака, когда встретятся? **(2 балла)**

Перед выездом обратно домой Незнайка залил полный бак. Масса бака со смесью составила $m = 12{,}5$ кг. Масса пустого бака $m_0 = 0{,}2$ кг.

Вопрос 4. Определите плотность сиропа $\rho_\text{с}$. Ответ дайте в кг/м³ с точностью до целого числа. **(3 балла)**

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 11 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 3.

№ варианта	S'	ρ	S_0	S	m	m_0
1	$50 \cdot 10^3$ ногтей	1030 кг/м³	$2 \cdot 10^5$ см	$950 \cdot 10^4$ ногтей	12,5 кг	0,2 кг
2	$40 \cdot 10^3$ ногтей	1032 кг/м³	$3 \cdot 10^5$ см	$930 \cdot 10^4$ ногтей	13 кг	0,48 кг
3	$50 \cdot 10^3$ ногтей	1025 кг/м³	$2{,}5 \cdot 10^5$ см	$1300 \cdot 10^4$ ногтей	12,7 кг	0,35 кг
4	$55 \cdot 10^3$ ногтей	1034 кг/м³	$3{,}2 \cdot 10^5$ см	$750 \cdot 10^4$ ногтей	12,6 кг	0,36 кг
5	$57 \cdot 10^3$ ногтей	1028 кг/м³	$2{,}7 \cdot 10^5$ см	$500 \cdot 10^4$ ногтей	12,4 кг	0,32 кг

Решение:

Вопрос 1

Переведём величины задачи в единицы СИ:

$$v = 1 \text{ стакан} = 200 \text{ мл} = 2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3;$$

$$S' = 50 \cdot 10^3 \text{ ногтей} = 50000 \cdot 1{,}25 \text{ см} = 62500 \text{ см} = 625 \text{ м};$$

$$S_0 = 2 \text{ км} = 2000 \text{ м}.$$

Расход газировки на 1 метр пути составляет:

$$Q = \frac{v}{S'} = \frac{0{,}0002 \text{ м}^3}{625 \text{ м}} = 32 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{м}.$$

Тогда, проехав S_0 метров, автомобиль Незнайки израсходует:

$$V = Q \cdot S_0 = 32 \cdot 10^{-8} \cdot 2000 = 64 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3.$$

Определим массу m израсходованной газировки:

$$m = \rho V = 1030 \cdot 0{,}00064 \approx 0{,}66 \text{ кг}.$$

Поскольку масса $m_\text{г}$ газа составляет $0{,}5$ % от массы газировки, то:

$$m_\text{г} = m \cdot 0{,}005 = 0{,}0033 \text{ кг} = 3{,}3 \text{ г}.$$

Таким образом, за время тест-драйва выделилось $m_\text{г} = 3{,}3$ г газа.

Вопрос 2

Переведём расстояние до дома Гуньки в СИ:

$$S = 950 \cdot 10^4 \text{ ногтей} = 9500000 \cdot 1{,}25 \text{ см} = 11875000 \text{ см} = 118750 \text{ м}.$$

Нам уже известен расход Q газировки при движении автомобиля. Найдём, какой объём газировки необходим автомобилю, чтобы проехать S:

$$V = Q \cdot S = 0{,}038 \text{ м}^3.$$

Поскольку объём сиропа, который добавляется в бак, составляет 10% от объёма газировки, то Незнайке потребуется ещё $V_\text{с} = 0{,}1V$ сиропа. Тогда объём всей смеси, необходимой для того, чтобы доехать до Гуньки, составляет:

$$V_\text{общ} = V + V_\text{с} = 0{,}0418 \text{ м}^3.$$

Зная объём бака, найдём, сколько раз нужно заправить бак полностью:

$$N_0 = \frac{V_\text{общ}}{V_0} = 3{,}8.$$

Значит, для того, чтобы проехать $S = 950 \cdot 10^4$ ногтей, необходимо $N_0 = 4$ раза полностью заправить бак. Поскольку у Незнайки на момент выезда уже полный бак, то ему понадобится заправить автомобиль ещё $N = 3$ раза.

Вопрос 3

Теперь выясним, какой объём смеси останется в баке, когда Незнайка приедет к Гуньке:

$$V' = N_0 \cdot V_0 - V_{\text{общ}} = 0{,}044\ \text{м}^3 - 0{,}0418\ \text{м}^3 = 0{,}0022\ \text{м}^3.$$

Значит, друзья смогут выпить из бака

$$\frac{V'}{v} = 11 \text{ стаканов газировки с сиропом.}$$

Вопрос 4

Составим уравнение:

$$m - m_0 = \rho V + \rho_\text{с} V_\text{с}.$$

Выразим отсюда $\rho_\text{с}$:

$$\rho_\text{с} = \frac{m - m_0 - \rho V}{V_\text{с}} \qquad (1)$$

Объём газированной воды здесь обозначаем через V. Объём бака составляет $V_0 = 0{,}011\ \text{м}^3$. Из условия задачи следует равенство:

$$V_0 = V + V_\text{с} = V + 0{,}1V;$$

$$V_0 = 1{,}1V \Rightarrow V = \frac{V_0}{1{,}1} = \frac{0{,}011}{1{,}1}\ \text{м}^3 = 0{,}01\ \text{м}^3.$$

Отсюда найдём $V_\text{с}$:

$$V_\text{с} = 0{,}1V = 0{,}1 \cdot 0{,}01\ \text{м}^3 = 0{,}001\ \text{м}^3.$$

Подставим найденные значения в (1):

$$\rho_\text{с} = \frac{m - m_0 - \rho V}{V_\text{с}} = \frac{12{,}5 - 0{,}2 - 1030 \cdot 0{,}01}{0{,}001} = 2000\ \text{кг/м}^3.$$

Матрица ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	Вопрос 1 (г)	Вопрос 2 (раз)	Вопрос 3 (стаканов)	Вопрос 4 (кг/м³)
1	3,3	3	11	2000
2	6,2	4	19	2200
3	4,1	5	44	2100
4	4,8	2	15	1900
5	3,9	1	13	1800

Задание № 4.

Экспедиция на Эверест

Любознательные физики отправились в экспедицию на Эверест. Из-за низкого парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе им необходимо делать остановки для акклиматизации в специальных лагерях. Парциальное давление – это часть полного атмосферного давления, которое создаётся молекулами одного газа, например, кислорода.

На маршруте оборудовано три таких лагеря: базовый, передовой и штурмовой. Парциальное давление кислорода в них составляет $p_1 = 67{,}5$ мм рт. ст., $p_2 = 58{,}4$ мм рт. ст. и $p_3 = 47$ мм рт. ст. соответственно. Известно, что если разность высот двух точек на маршруте равна 500 м, то парциальное давление кислорода в верхней точке на $7\,\%$ меньше, чем в нижней. На уровне моря ($H_0 = 0$ м) парциальное давление кислорода равно $p_0 = 150$ мм рт. ст.

Вопрос 1. Определите, на какой высоте H_1 находится базовый лагерь. Ответ дайте в километрах с точностью до десятых. **(1 балл)**

Вопрос 2. Определите, на какой высоте H_2 находится передовой лагерь. Ответ дайте в километрах с точностью до десятых. **(1 балл)**

Вопрос 3. Определите, на какой высоте H_3 находится штурмовой лагерь. Ответ дайте в километрах с точностью до десятых. **(1 балл)**

Время акклиматизации T в лагере зависит от набора высоты ΔH, который совершили туристы с момента предыдущей остановки (в лагере или в точке старта). Зависимость $T(\Delta H)$ представлена на графике (рис. 1). Экспедиция стартует с $H_0 = 0$ м. До базового лагеря с помощью вспомогательного транспорта экспедиция добирается за промежуток времени Δt_1. Время перехода между соседними лагерями одинаково и составляет Δt_2, а время пути от штурмового лагеря до вершины и обратно — Δt_3.

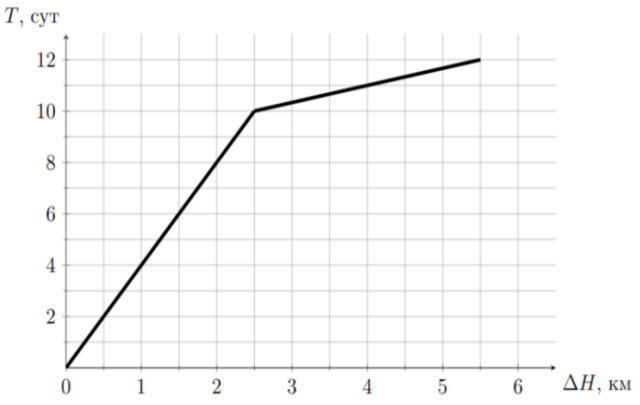


Рис. 1. **График зависимости** $T(\Delta H)$

Вопрос 4. Определите, через сколько суток T_0 после старта туристы вернутся в штурмовой лагерь после покорения вершины, если известно, что $\Delta t_1 = \Delta t_2 = \Delta t_3 = 1$ сут. Ответ дайте с точностью до целого числа. **(3 балла)**

После возвращения в штурмовой лагерь туристы начинают спуск. Из-за сложных погодных условий туристы могут совершать переходы и отдыхать в любое время суток, включая ночь. График зависимости скорости $v(H)$ спуска от текущей высоты H представлен на рисунке 2. При спуске в каждом лагере туристы отдыхают в течение времени $T' = 2$ сут.

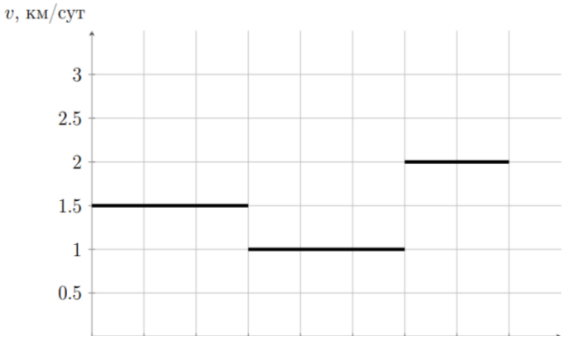


Рис. 2. **График зависимости** $v(H)$

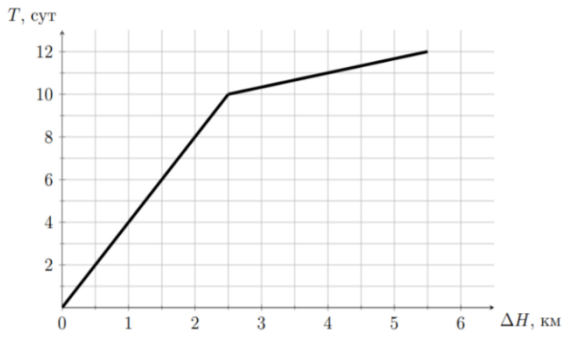
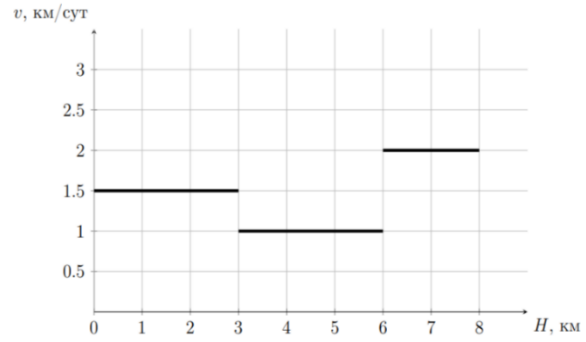
Вопрос 5. Определите, через сколько суток T_0' после возвращения в штурмовой лагерь туристы спустятся до уровня моря (включая отдых в штурмовом лагере). Ответ дайте с точностью до целого числа. **(3 балла)**

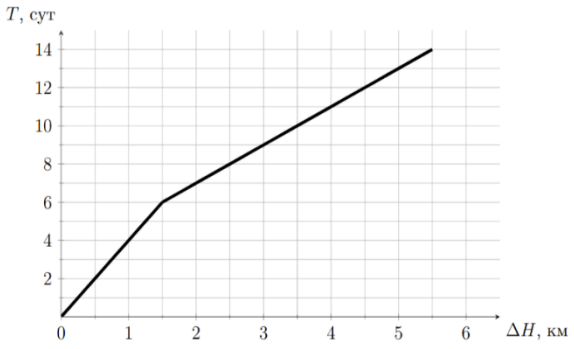
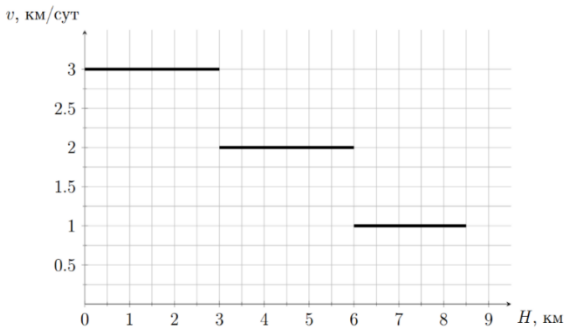
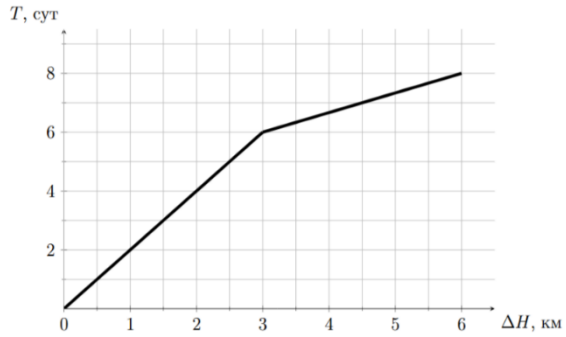
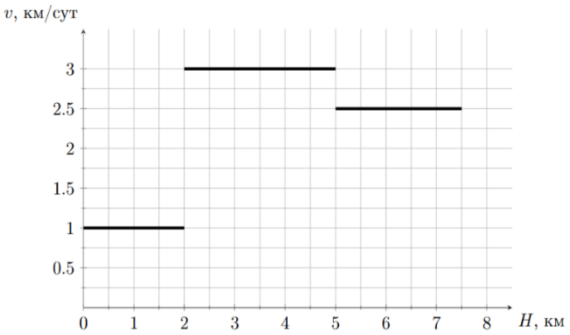
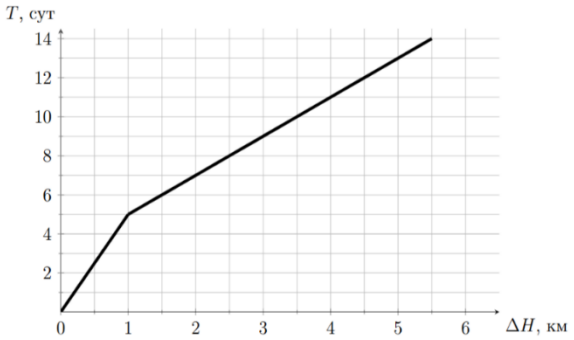
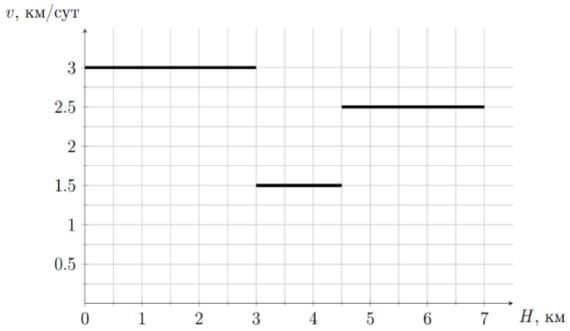
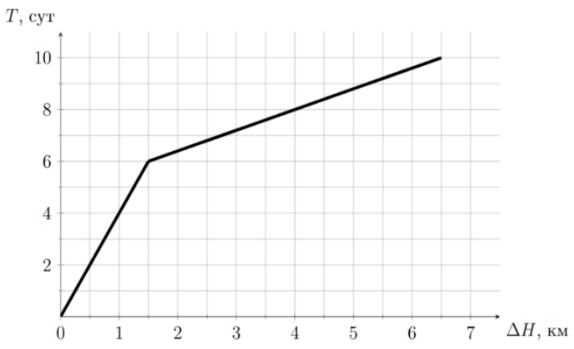
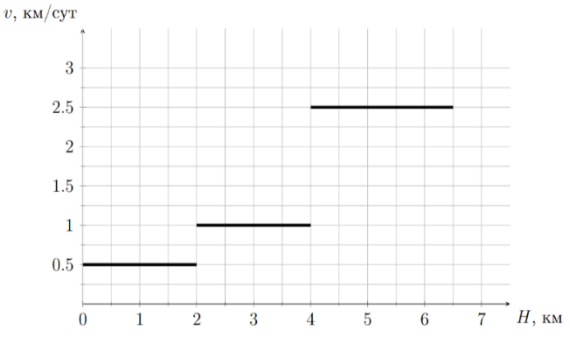
Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрицы параметров к вариантам задания 4.

№ варианта	p_1	p_2	p_3
1	67,5 мм рт. ст.	58,4 мм рт. ст.	47 мм рт. ст.
2	72,6 мм рт. ст.	50,5 мм рт. ст.	43,7 мм рт. ст.
3	78,1 мм рт. ст.	54,3 мм рт. ст.	50,5 мм рт. ст.
4	90,3 мм рт. ст.	62,8 мм рт. ст.	54,3 мм рт. ст.
5	83,9 мм рт. ст.	67,5 мм рт. ст.	58,4 мм рт. ст.

№ варианта	**График зависимости** $T(\Delta H)$	**График зависимости** $v(H)$
1		

2		
3		
4		
5		

Решение:

Вопросы 1, 2, 3

Каждые 500 метров подъёма парциальное давление кислорода уменьшается на 7 %, то есть становится равным 93 % от предыдущего значения. Так, давление на высоте 500 м составляет:

$$p_{500\text{м}} = p_0 \cdot 0{,}93;$$

$$p_{1000\text{м}} = p_{500\text{м}} \cdot 0{,}93 = p_0 \cdot 0{,}93^2;$$

Таким образом, парциальное давление кислорода на высоте $H = 500k$ м составляет:

$$p_H = p_0 \cdot 0,93^k.$$

Последовательно умножая давление на 0,93, определим, какой высоте соответствуют значения парциального давления в каждом лагере:

$$p_{5500\text{м}} = p_0 \cdot 0,93^{11} \approx 67{,}5 \text{ мм рт. ст.} = p_1;$$

$$p_{6500\text{м}} = p_0 \cdot 0,93^{13} \approx 58{,}4 \text{ мм рт. ст.} = p_2;$$

$$p_{8000\text{м}} = p_0 \cdot 0,93^{16} \approx 47 \text{ мм рт. ст.} = p_3;$$

Значит, базовый, передовой и штурмовой лагеря находятся на высоте $H_1 = 5500$ м $= 5{,}5$ км, $H_2 = 6500$ м $= 6{,}5$ км и $H_3 = 8000$ м $= 8{,}0$ км соответственно.

Вопрос 4

Пусть T_1, T_2 и T_3 — время акклиматизации в базовом, передовом и штурмовом лагере соответственно. Тогда всё время в пути выражается следующей формулой:

$$T_0 = \Delta t_1 + T_1 + \Delta t_2 + T_2 + \Delta t_2 + T_3 + \Delta t_3.$$

Значения Δt_1, Δt_2 и Δt_3 нам известны из условия задачи. Найдём значения T_1, T_2 и T_3, воспользовавшись графиком на рисунке 1. Стартовав с высоты $H_0 = 0$ м и добравшись за 1 сутки до базового лагеря, туристы-физики совершили набор высоты, равный $\Delta H_1 = 5500$ м $= 5{,}5$ км. Ордината точки с абсциссой 5,5 км равна $T_1 = 12$ сут. Значит, ровно столько туристы должны провести в базовом лагере. Набор высоты при движении из базового лагеря до передового составляет $\Delta H_2 = H_2 - H_1 = 1000$ м $= 1$ км, а из передового до штурмового — $\Delta H_3 = H_3 - H_2 = 1500$ м $= 1{,}5$ км. Значит, согласно графику, время акклиматизации в каждом из этих лагерей составит соответственно $T_2 = 4$ сут и $T_3 = 6$ сут. Найдём всё время в пути:

$$T_0 = 1 + 12 + 1 + 4 + 1 + 6 + 1 = 26 \text{ сут.}$$

Вопрос 5

Время спуска туристов включает в себя время T' отдыха в каждом из трёх лагерей и фактическое время $\Delta t'$ движения туристов вниз:

$$T_0' = 3T' + \Delta t' = 3T' + \Delta t_1' + \Delta t_2' + \Delta t_3'.$$

Здесь $\Delta t_1'$ — время спуска с высоты 8 км до высоты 6 км, $\Delta t_2'$ — с высоты 6 км до высоты 3 км, $\Delta t_3'$ — с высоты 3 км до высоты 0 км (уровня моря). Используя график, найдём эти значения:

$$\Delta t_1' = \frac{s_1}{v_1} = \frac{8 \text{ км} - 6 \text{ км}}{2 \text{ км/сут}} = 1 \text{ сут;}$$

$$\Delta t_2' = \frac{s_2}{v_2} = \frac{6\text{ км} - 3\text{ км}}{1\text{ км/сут}} = 3\text{ сут};$$

$$\Delta t_3' = \frac{s_3}{v_3} = \frac{3\text{ км} - 0\text{ км}}{1{,}5\text{ км/сут}} = 2\text{ сут}.$$

Определим, сколько дней займёт спуск от штурмового лагеря до уровня моря с учётом отдыха в лагерях, подставив найденные значения в формулу:

$$T_0' = 3 \cdot 2\text{ сут} + 1\text{ сут} + 3\text{ сут} + 2\text{ сут} = 12\text{ сут}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 4.

№ варианта	Вопрос 1 (км)	Вопрос 2 (км)	Вопрос 3 (км)	Вопрос 4 (сут)	Вопрос 5 (сут)
1	5,5	6,5	8,0	26	12
2	5,0	7,5	8,5	29	11
3	4,5	7,0	7,5	17	10
4	3,5	6,0	7,0	27	9
5	4,0	5,5	6,5	22	13

Задание № 5.

Сталагмит

В пещерах часто можно увидеть сталагмиты — каменные наросты, образующиеся из-за падения на дно пещеры капель воды с растворёнными в них твёрдыми веществами. Пусть сталагмит имеет форму вертикального цилиндра с радиусом $R = 10$ см. На него падают капли воды со средней частотой $n = 15$ штук в час. Каждая капля имеет объём $v = 200$ мкл. В каплях растворено твёрдое вещество в концентрации $\eta = 1{,}3$ г/л. Считайте, что на верхнем торце сталагмита остаётся $\varepsilon = 5\%$ растворённого в каплях твёрдого вещества. Плотность твёрдого вещества $\rho = 2500$ кг/м³, плотность воды $\rho_в = 1000$ кг/м³.

Вопрос 1. Какая масса m капель воды с растворённым в ней веществом падает на верхний торец сталагмита за невисокосный год? Дайте ответ в кг с округлением до десятых. **(3 балла)**

Вопрос 2. Какая масса m' твёрдого вещества при этом осаждается на верхнем торце сталагмита? Дайте ответ в граммах с округлением до десятых. **(3 балла)**

Вопрос 3. На сколько вырастет сталагмит за год? Дайте ответ в мкм с округлением до целого числа. Считайте, что радиус сталагмита не меняется. **(3 балла)**

Примечание. Объём цилиндра радиуса R и высоты h вычисляется по формуле $V = h\pi R^2$, где число $\pi \approx 3{,}14$.

Критерии оценивания: точное совпадение с ответом.

Максимальный балл за задание – 9 баллов.

Матрица параметров к вариантам задания 5.

№ варианта	n	v	η	ε	ρ	R
1	15 шт./час	200 мкл	1,3 г/л	5%	2500 кг/м³	10 см
2	20 шт./час	250 мкл	1,2 г/л	4%	2400 кг/м³	15 см
3	13 шт./час	300 мкл	1,1 г/л	6%	2800 кг/м³	12 см
4	10 шт./час	170 мкл	1,5 г/л	8%	2600 кг/м³	13 см
5	16 шт./час	150 мкл	1,4 г/л	7%	2700 кг/м³	11 см

Решение:

Вопрос 1

Определим объём капель, падающих в год:

$$V = 24 \cdot 365 \cdot n \cdot v = 24 \cdot 365 \cdot 15 \cdot 2 \cdot 10^{-4} = 26{,}28 \text{ л/год}.$$

Справедливо следующее равенство:

$$V = V_{\text{воды}} + V_0 = \frac{m_{\text{в}}}{\rho_{\text{в}}} + \frac{m_0}{\rho}. \quad (1)$$

Здесь V_0 — объём растворённого в воде вещества, m_0 — его масса. Найдём m_0:

$$m_0 = \eta \cdot V = 1{,}3 \text{ г/л} \cdot 26{,}28 \text{ л/год} = 34{,}164 \text{ г/год}.$$

Используя формулу (1), вычислим $m_{\text{в}}$:

$$m_{\text{в}} = \left(V - \frac{m_0}{\rho}\right)\rho_{\text{в}} = \left(26{,}28 \text{ л/год} - \frac{34{,}164 \text{ г/год}}{2500 \text{ г/л}}\right) \cdot 1000 \text{ г/л} = 26266 \text{ г/год}.$$

Вычислим массу капель:
$m = m_0 + m_{\text{в}} = 34{,}164 \text{ г} + 26266 \text{ г} = 26300 \text{ г} = 26{,}3 \text{ кг}.$

Заметим, что учёт массы растворённого в воде вещества при заданной точности не обязателен.

Вопрос 2

Массу твёрдого вещества, содержащегося в падающих в течение года каплях, мы уже вычислили. Из условия известно, что на верхнем торце сталагмита остаётся ε от него. Определим массу m' твёрдого вещества, которая осаждается на верхнем торце сталагмита:

$$m' = \varepsilon \cdot m_0 = 0{,}05 \cdot 34{,}164 \text{ г} \approx 1{,}7 \text{ г}.$$

Вопрос 3

Объём, который наберёт сталагмит за год, соответствует объёму твёрдого вещества, которое осядет на верхнем торце сталагмита за это время. Значит, верно следующее равенство:

$$Sh = \frac{m'}{\rho}.$$

Здесь S — площадь верхнего торца сталагмита, h — искомая высота, на которую вырастет сталагмит за год. Выразим её:

$$h = \frac{m'}{\rho S} = \frac{m'}{\rho \pi R^2}.$$

Подставим значения:

$$h \approx \frac{1{,}7 \cdot 10^{-3}\ \text{кг}}{2500\ \text{кг/м}^3 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}01\ \text{м}^2} = 0{,}0000217\ \text{м} \approx 22\ \text{мкм}.$$

Матрица ответов к вариантам задания 5.

№ варианта	**Вопрос 1 (m в кг)**	**Вопрос 2 (m' в г)**	**Вопрос 3 (h в мкм)**
1	26,3	1,7	22
2	43,8	2,1	12
3	34,2	2,3	18
4	14,9	1,8	13
5	21,0	2,1	20