

Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

Задание 1. Вариант 1. На картодроме проходит квалификация. Максим управляет картом № 1, а Даниил — картом № 2. Длина замкнутой трассы равна $L = 900$ м; линия финиша круга совпадает с линией старта. Максим стартует первым. Его путевая скорость равна $v_1 = 12$ м/с. Через $\tau = 15$ с после него с той же линии старта в том же направлении выезжает Даниил. Его путевая скорость равна $v_2 = 20$ м/с.

а) За какое время Максим на карте № 1 проходит один круг? Ответ выразите в секундах, округлите до целых.

Ответ: 75

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) На какое расстояние от линии старта успел отъехать Максим к моменту старта Даниила? Ответ выразите в метрах, округлите до целых.

Ответ: 180

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

в) Через какое время после своего старта Даниил догонит Максима? Ответ выразите в секундах, округлите до десятых.

Ответ: 22.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Через какое время после первой встречи Даниил снова догонит Максима? Ответ выразите в секундах, округлите до десятых.

Ответ: 112.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

д) Сколько раз Даниил успеет догнать Максима до того момента, когда Максим завершит третий круг?

Ответ: 2

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Время прохождения круга Максимом равно

$$t_1 = \frac{L}{v_1} = \frac{900}{12} = 75 \text{ с.}$$

б) За первые 15 с Максим проехал

$$s_0 = v_1 \tau = 12 \cdot 15 = 180 \text{ м.}$$

в) Когда стартует Даниил, Максим уже будет опережать его на 180 м. Расстояние между ними уменьшается со скоростью

$$v_2 - v_1 = 20 - 12 = 8 \text{ м/с,}$$

поэтому Даниил догонит Максима через

$$\frac{180}{8} = 22.5 \text{ с}$$

после своего старта.

г) Сразу после встречи оба участника находятся в одной точке. Чтобы догнать Максима снова, Даниил должен получить преимущество в один полный круг. При относительной скорости 8 м/с на это потребуется

$$\frac{900}{8} = 112.5 \text{ с.}$$

д) Максим завершит третий круг через $3 \cdot 75 = 225$ с после своего старта. К этому моменту Даниил будет двигаться $225 - 15 = 210$ с. Первая встреча происходит через 22.5 с после старта Даниила, а следующие встречи — через каждые 112.5 с. Значит, первая и вторая встречи произойдут через 22.5 с и 135 с соответственно, а третья — только через 247.5 с. До финиша третьего круга Максима Даниил успеет догнать его 2 раза.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	L, м	v_1 , м/с	τ , с	v_2 , м/с	Ответ (пункт а)	Ответ (пункт б)	Ответ (пункт в)	Ответ (пункт г)	Ответ (пункт д)
1	900	12	15	20	75	180	22.5	112.5	2
2	800	10	12	18	80	120	15.0	100.0	3
3	840	12	10	19	70	120	17.1	120.0	2
4	960	12	20	20	80	240	30.0	120.0	2
5	1000	10	15	15	100	150	30.0	200.0	2
6	720	12	12	18	60	144	24.0	120.0	2
7	1080	12	18	21	90	216	24.0	120.0	2
8	990	11	15	20	90	165	18.3	110.0	3
9	960	16	12	24	60	192	24.0	120.0	2
10	840	14	10	21	60	140	20.0	120.0	2
11	1050	15	14	22	70	210	30.0	150.0	2
12	1200	15	20	25	80	300	30.0	120.0	2
13	1080	18	10	24	60	180	30.0	180.0	1
14	900	15	12	25	60	180	18.0	90.0	2
15	800	16	10	20	50	160	40.0	200.0	1
16	1000	20	10	25	50	200	40.0	200.0	1
17	960	12	8	16	80	96	24.0	240.0	1
18	1008	14	16	22	72	224	28.0	126.0	2
19	880	11	20	19	80	220	27.5	110.0	2
20	936	13	12	21	72	156	19.5	117.0	2

Задание 2. Вариант 1. После квалификационных заездов Максим и Даниил устали и решили выпить кваса. Рядом с картодромом они увидели киоск с инновационной бочкой. Квас из неё разливается в бутылки объёмом $V = 0.5$ л. Скорость розлива постоянна и равна $q = 0.25$ л/с. Один автомат для крышек закрывает одну наполненную бутылку за $\tau = 3$ с. В первые $t_1 = 60$ с работает один автомат для крышек, затем включают второй такой же автомат. Через $t_2 = 30$ с после этого первый автомат останавливает работу для предотвращения перегрева. Охлаждение продолжается $t_3 = 60$ с, после чего он снова начинает работать и больше в охлаждении не нуждается.

а) Сколько миллилитров кваса помещается в одну бутылку? Ответ округлите до целых.

Ответ: 500

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) За какое время бочка наполняет одну бутылку? Ответ выразите в секундах, округлите до целых.

Ответ: 2

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

в) Сколько наполненных, но ещё не закрытых бутылок накопится к моменту включения второго автомата?

Ответ: 11 или 10

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Сколько наполненных, но ещё не закрытых бутылок будет в очереди к моменту окончания охлаждения первого автомата?

Ответ: 16 или 15

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

д) Какой объём кваса успеет разлить бочка к моменту, когда после возобновления работы первого автомата накопившаяся очередь полностью исчезнет? Ответ выразите в литрах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [58; 62]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Так как $1 \text{ л} = 1000 \text{ мл}$, в одной бутылке $0.5 \text{ л} = 500 \text{ мл}$ кваса.

б) Время заполнения одной бутылки равно

$$t = \frac{V}{q} = \frac{0.5}{0.25} = 2 \text{ с.}$$

в) За первые 60 с бочка наполнит

$$\frac{60}{2} = 30 \text{ бутылок.}$$

Если в упрощённой модели не учитывать задержку запуска автомата, он закроет

$$\frac{60}{3} = 20 \text{ бутылок,}$$

и в очереди окажется $30 - 20 = 10$ бутылок.

При поштучном учёте первую бутылку можно начать закрывать только после её наполнения, то есть в момент 2 с. Она будет закрыта в момент 5 с; далее автомат закрывает по одной бутылке через каждые 3 с. До момента 60 с он успеет закрыть 19 бутылок, поэтому в очереди окажется $30 - 19 = 11$ бутылок.

г) В течение следующих 30 с бочка наполнит

$$\frac{30}{2} = 15 \text{ бутылок,}$$

а два автомата закроют

$$2 \cdot \frac{30}{3} = 20 \text{ бутылок.}$$

В упрощённой модели очередь сократится до $10 + 15 - 20 = 5$ бутылок. Во время охлаждения за 60 с будет наполнено ещё

$$\frac{60}{2} = 30 \text{ бутылок,}$$

а второй автомат закрое

$$\frac{60}{3} = 20.$$

К окончанию охлаждения в очереди будет $5 + 30 - 20 = 15$ бутылок.

При поштучном учёте после первых 60 с в очереди останется 11 бутылок. За следующие 30 с их число уменьшится до $11 + 15 - 20 = 6$, а к окончанию охлаждения станет равным $6 + 30 - 20 = 16$.

д) После охлаждения два автомата закрывают $\frac{2}{3}$ бутылки в секунду, а бочка наполняет $\frac{1}{2}$ бутылки в секунду. Очередь уменьшается со скоростью

$$\frac{2}{3} - \frac{1}{2} = \frac{1}{6} \text{ бутылки в секунду.}$$

В упрощённой модели очередь из 15 бутылок исчезнет через

$$15 : \left(\frac{1}{6}\right) = 90 \text{ с.}$$

От начала работы линии пройдёт

$$60 + 30 + 60 + 90 = 240 \text{ с,}$$

и бочка разольёт $0.25 \cdot 240 = 60.0 \text{ л}$.

При поштучном учёте для очереди из 16 бутылок потребуется

$$16 : \left(\frac{1}{6}\right) = 96 \text{ с.}$$

В этом случае пройдёт $60 + 30 + 60 + 96 = 246 \text{ с}$, а объём разлитого кваса составит $0.25 \cdot 246 = 61.5 \text{ л}$.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	V, л	q, л/с	τ, с	t ₁ , с	t ₂ , с	t ₃ , с	Ответ (пункт а)	Ответ (пункт б)	Ответ в диапазоне (пункт в)		Ответ в диапазоне (пункт г)		Ответ в диапазоне (пункт д)	
1	0.5	0.25	3	60	30	60	500	2	10	11	15	16	58	62
2	0.5	0.25	3	24	6	12	500	2	4	5	5	6	17	19
3	0.6	0.3	3	24	6	18	600	2	4	5	6	7	24	26
4	0.6	0.2	4	48	12	24	600	3	4	5	4	5	21	22
5	0.75	0.25	4	48	12	36	750	3	4	5	5	6	31	32
6	0.75	0.25	5	60	15	30	750	3	8	9	11	12	66	70
7	0.9	0.3	5	60	15	45	900	3	8	9	13	14	92	97
8	0.8	0.2	5	80	20	40	800	4	4	5	3	4	31	33
9	1	0.25	5	80	20	60	1000	4	4	5	4	5	45	48
10	1	0.25	6	48	12	24	1000	4	4	5	5	6	35	37
11	0.4	0.1	6	48	12	36	400	4	4	5	6	7	16	17
12	0.4	0.1	7	112	28	56	400	4	12	13	17	18	65	69
13	0.5	0.125	7	112	28	84	500	4	12	13	20	21	95	101
14	0.6	0.12	6	150	30	60	600	5	5	6	3	4	31	32
15	0.75	0.15	6	150	30	90	750	5	5	6	4	5	44	46
16	0.6	0.12	7	140	35	70	600	5	8	9	9	10	41	43
17	0.75	0.15	7	140	35	105	750	5	8	9	11	12	60	63
18	0.75	0.15	8	160	40	80	750	5	12	13	16	17	87	93
19	0.8	0.16	8	160	40	120	800	5	12	13	19	20	109	115
20	0.8	0.16	9	180	45	90	800	5	16	17	23	24	210	222

Задание 3. Вариант 1. Возвратившись к трассе, Максим и Даниил узнали, что перед следующим заездом в гараж нужно доставить коробку с запчастями. Эту работу выполняет служебный робот. Его маршрут от склада до гаража показан на схеме в следующем масштабе: 1 см соответствует $l = 2$ м в действительности. Устройство движется равномерно со скоростью $v = 0.6$ м/с. На одном из колёс установлен датчик пройденного пути.



После обнуления его показание равно расстоянию, пройденному с начала движения. Во время пробного рейса стрелка заняла положение, показанное на рисунке.

а) Какое расстояние показал датчик после пробного рейса? Ответ выразите в метрах, округлите до десятых.

Ответ: 13.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Найдите реальную длину всего маршрута. Ответ выразите в метрах, округлите до целых.

Ответ: 30

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Какое расстояние останется до следующего поворота, когда датчик покажет значение, отмеченное стрелкой? Ответ выразите в метрах, округлите до десятых.

Ответ: 4.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) За какое время робот может преодолеть весь маршрут до гаража, двигаясь с заданной скоростью? Ответ выразите в секундах, округлите до целых.

Ответ: 50

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

д) Оказалось, что заряда аккумулятора хватает только на 40 с движения. На сколько сантиметров на схеме нужно укоротить маршрут, чтобы робот успел доехать до гаража? Ответ округлите до целых.

Ответ: 3

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Между соседними подписанными отметками шкалы 5 м, и этот промежуток разделен на 10 маленьких делений. Цена одного маленького деления равна

$$\frac{5}{10} = 0.5 \text{ м.}$$

Стрелка стоит на седьмом маленьком делении после отметки 10 м, поэтому датчик показывает

$$10 + 7 \cdot 0.5 = 13.5 \text{ м.}$$

б) Длина маршрута на плане равна

$$3 + 2 + 4 + 2 + 4 = 15 \text{ см.}$$

Каждый сантиметр соответствует 2 м, поэтому действительная длина равна

$$15 \cdot 2 = 30 \text{ м.}$$

в) Первые два участка имеют действительные длины $3 \cdot 2 = 6$ м и $2 \cdot 2 = 4$ м. Следующий поворот находится на отметке

$$6 + 4 + 4 \cdot 2 = 18 \text{ м.}$$

При показании датчика 13.5 м до него остаётся

$$18 - 13.5 = 4.5 \text{ м.}$$

г) Время движения равно

$$t = \frac{s}{v} = \frac{30}{0.6} = 50 \text{ с.}$$

д) За 40 с он успеет проехать $0.6 \cdot 40 = 24$ м. Исходный маршрут имеет длину 30 м, значит, его нужно укоротить на $30 - 24 = 6$ м. По масштабу это соответствует

$$\frac{6}{2} = 3 \text{ см на плане.}$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2. Пункты б-д)

№ варианта	l , м/см	v , м/с	Время разряда аккумулятора, с	Ответ (пункт б)	Ответ (пункт в)	Ответ (пункт г)	Ответ (пункт д)
1	2	0.6	40	30	4.5	50	3
2	1.4	0.7	22	21	1.9	30	4
3	1.6	0.4	40	24	0.9	60	5
4	1.8	0.6	39	27	2.7	45	2
5	2	0.4	55	30	4.5	75	4
6	2.2	0.55	48	33	6.3	60	3
7	2.4	0.6	36	36	8.1	60	6
8	2.6	0.52	50	39	9.9	75	5
9	2.8	0.7	44	42	0.5	60	4
10	3	0.6	60	45	1.5	75	3
11	3.2	0.8	40	48	2.5	60	5
12	1.4	0.56	30	21	1.9	38	3
13	1.6	0.8	24	24	0.9	30	3
14	1.8	0.45	44	27	2.7	60	4
15	2.2	0.44	50	33	6.3	75	5
16	2.4	0.8	36	36	8.1	45	3
17	2.6	0.65	48	39	9.9	60	3
18	2.8	0.56	55	42	0.5	75	4
19	3	0.75	44	45	1.5	60	4
20	3.2	0.64	60	48	2.5	75	3

Сириус.Курсы — для тех,
кто хочет знать больше!



Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

Задание 1. Вариант 1. Рыбак возвращался домой с удачной рыбалки на моторной лодке. Через $t_1 = 2$ часа с момента, когда он отплыл от места рыбалки, он был уже около дома и собирался причаливать. В этот момент он внезапно обнаружил, что забыл на месте рыбалки свой любимый топор. Рыбак поплыл назад и вернулся на место рыбалки через $t_2 = 3$ часа после того, как повернул назад. Временем высадки и пребывания на берегу пренебрегите. Мотор лодки всё время работал на полную мощность.

а) Во сколько раз скорость лодки в стоячей воде больше скорости течения реки? Ответ округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [4.9; 5.1]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

б) Забрав топор, он задумался: возможно, есть смысл сэкономить бензин и для этого плыть домой по течению с выключенным двигателем? Сколько времени потребуется рыбаку, чтобы снова доплыть до дома от места рыбалки в этом случае? Ответ выразите в часах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [11.9; 12.1]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) В весеннее время скорость течения реки в $k = 2$ раза больше, чем в ранее описанной ситуации. Сколько времени занимает путь до места рыбалки и назад до дома в этом случае? Ответ выразите в часах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [5.5; 5.9]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 5 баллов

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Пусть v — скорость лодки в стоячей воде, u — скорость течения. Скорость, с которой лодка движется по течению, равна $v + u$, против — равна $v - u$. Времена движения лодки соотносятся обратно пропорционально скоростям

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{v + u}{v - u}.$$

Подставляя данные из условия, получаем $v = \frac{t_2 + t_1}{t_2 - t_1} u = 5u$.

б) Скорость лодки по течению $v + u = 6u$ в 6 раз больше скорости течения. Следовательно, с выключенным двигателем по течению лодка будет плыть в 6 раз дольше, то есть 12 часов.

в) Скорость лодки против течения в этом случае будет равна $v - 2u$, а время движения против течения составит

$$t'_2 = t_2 \frac{v - u}{v - 2u} = 4 \text{ часа.}$$

Аналогично время по течению будет равно

$$t'_1 = t_1 \frac{v + u}{v + 2u} \approx 1.7 \text{ часа.}$$

Общее время $t'_2 + t'_1 \approx 5.7$ часа.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	t_1 , ч	t_2 , ч	Ответ в диапазоне (пункт а)		Ответ в диапазоне (пункт б)		k , раз(а)	Ответ в диапазоне (пункт в)	
1	2	3	4.9	5.1	11.9	12.1	2	5.5	5.9
2	3	4	6.9	7.1	23.9	24.1	1.5	7.0	7.4
3	2.5	3.5	5.9	6.1	17.4	17.6	1.8	6.2	6.6
4	3	4	6.9	7.1	23.9	24.1	1.3	6.9	7.3
5	1.5	2	6.9	7.1	11.9	12.1	1.4	3.4	3.8
6	1.75	2.5	5.6	5.8	11.6	11.8	1.6	4.3	4.7
7	1.6	2.4	4.9	5.1	9.5	9.7	1.7	4.1	4.5
8	2.25	3.5	4.5	4.7	12.5	12.7	2	6.6	7.0
9	2.75	3.75	6.4	6.6	20.5	20.7	1.5	6.5	6.9
10	2.5	4	4.2	4.4	13.2	13.4	1.8	7.2	7.6
11	2	3.5	3.6	3.8	9.2	9.4	1.3	5.6	6.0
12	2.5	3.5	5.9	6.1	17.4	17.6	1.4	6.0	6.4
13	3	4.5	4.9	5.1	17.9	18.1	1.6	7.8	8.2
14	1.5	3	2.9	3.1	5.9	6.1	1.7	5.7	6.1
15	1.75	3.5	2.9	3.1	6.9	7.1	2	8.2	8.6
16	1.6	2.5	4.5	4.7	8.8	9.0	1.5	4.2	4.6
17	2.25	2.9	7.8	8	20.0	20.2	1.8	5.1	5.5
18	1.6	3	3.2	3.4	6.8	7.0	1.3	4.7	5.1
19	2.25	4	3.5	3.7	10.2	10.4	1.4	6.6	7.0
20	2.75	3.5	8.2	8.4	25.6	25.8	1.6	6.2	6.6

Задание 2. Вариант 1. На двух одинаковых по длине и прочности верёвках подвешен длинный однородный шест массой $M = 10$ кг, длиной $L = 4$ м.



Одна из верёвок прикреплена непосредственно к правому концу шеста («правая» верёвка), вторая («левая») — на расстоянии $l = 2.5$ м от правого конца. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

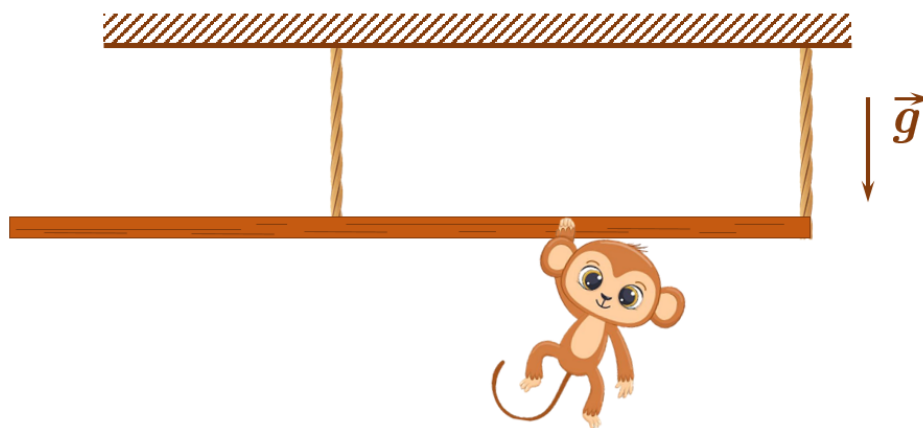
а) Какая из верёвок натянута сильнее?

Ответ:

- Правая
- ✓ Левая
- Натянуты одинаково

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

- б) Обезьяна массы $m = 15$ кг повисла на одной руке, держась ей за шест точно посередине между верёвками.



На сколько увеличилась из-за этого сила натяжения той верёвки, которая была натянута сильнее в отсутствие обезьяны? Ответ выразите в ньютонах, округлите до целых.

Ответ: 75

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Чему должна быть равна минимальная прочность (предельная сила натяжения) верёвок, чтобы обезьяна могла висеть на шесте, держась за его правый конец? Ответ выразите в ньютонах, округлите до целых.

Ответ: 170

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

г) Чему равна длина участка шеста, за который обезьяна может держаться, при этом не перевернув шест? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [281; 285]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

- а) Запишем правило моментов для тела, висящего на двух верёвках, относительно центра масс этого тела.

$$T_1 d_1 = T_2 d_2.$$

Здесь T_1, T_2 — натяжения верёвок, d_1, d_2 — расстояние от точки прикрепления соответствующей верёвки до центра масс. Из формулы следует, что сильнее натянута та верёвка, расстояние от которой до центра масс меньше. В нашем случае сильнее натянута левая верёвка.

б) Запишем правило моментов для «добавочных» сил натяжения верёвок, приложенных относительно точки, за которую ухватилась обезьяна.

$$\Delta T_1 \frac{l}{2} = \Delta T_2 \frac{l}{2}.$$

Очевидно, что «добавочная» сила тяжести обезьяны распределена между верёвками поровну и $\Delta T_1 = \Delta T_2 = \frac{mg}{2} = 75$ Н.

- в) Запишем для этого случая правило моментов относительно точки прикрепления правой верёвки.

$$T'_1 l = Mg \frac{L}{2}.$$

Подставляя данные из условия, получаем $T'_1 = 80$ Н. Сумма сил натяжения верёвок равна сумме действующих на систему сил тяжести

$$T'_1 + T'_2 = (M + m)g = 250 \text{ Н}, \quad T'_2 = 170 \text{ Н}.$$

Минимальная прочность верёвок определяется силой натяжения правой верёвки и равна 170 Н.

г) Схватившись за какую-то точку левее точки крепления левой верёвки, обезьяна может перевернуть шест в том случае, если правая верёвка не будет натянута, а шест с обезьяной начнёт поворачиваться относительно точки крепления левой верёвки. Для этой ситуации правило моментов, записанное для точки крепления левой верёвки, выглядит так

$$mg \cdot x = Mg \left(l - \frac{L}{2} \right),$$

где x — расстояние от точки, за которую держится обезьяна, до точки крепления левой верёвки. Подставляя данные из условия, получаем $x \approx 0.33$ м. Длина участка шеста, за который может держаться обезьяна, равна $l + x \approx 283$ см.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2.

Пункты б-г

№ варианта	M , кг	L , м	l , м	m , кг	Ответ (пункт б)	Ответ (пункт в)	Ответ в диапазоне (пункт г)	
1	10	4	2.5	15	75	170	281	285
2	12	4.5	3	18	90	210	348	352
3	8	4.2	2.8	12	60	140	325	329
4	9	3.6	2.4	15	75	173	274	278
5	10	3.8	2.5	16	80	184	286	290
6	11	4.4	3	16	80	189	353	357
7	8	4.6	3.2	15	75	173	366	370
8	9	4.8	3.6	12	60	150	448	452
9	10	3.5	2	14	70	153	216	220
10	11	4	2.8	15	75	181	337	341
11	12	4.2	3	20	100	236	352	356
12	13	3.7	2.5	18	90	214	295	299
13	8	3.9	2.7	14	70	162	311	315
14	9	4.1	3.2	16	80	192	383	387
15	10	4.3	3.2	18	90	213	376	380
16	11	4	3	18	90	217	359	363
17	12	4.5	3.3	17	85	208	402	406
18	13	3.8	2.5	20	100	231	287	291
19	9	4.8	3	18	90	198	328	332
20	10	4.6	3.4	17	85	202	403	407

Задание 3. Вариант 1. На экспериментальном туре олимпиады по физике школьникам 8 класса было выдано следующее оборудование: небольшой стаканчик с толстыми стенками из неизвестного материала, линейка, цилиндрический сосуд с водой. Ваня определил, что если пустить стаканчик плавать в сосуд с водой, уровень воды в сосуде повысится на $\Delta h_1 = 1.35$ см. Если утопить стаканчик, то уровень воды в сосуде опустится на $\Delta h_2 = 0.85$ см по сравнению с моментом, когда стаканчик плавал. Плотность воды равна $\rho_0 = 1$ г/см³. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

а) Сравните плотность материала ρ стаканчика с плотностью воды ρ_0 :

Ответ:

- ✓ $\rho > \rho_0$
- $\rho = \rho_0$
- $\rho < \rho_0$

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) Площадь внутреннего сечения сосуда с водой S равна 30 см². Чему равен объём материала, из которого изготовлен стаканчик? Ответ выразите в кубических сантиметрах, округлите до десятых.

Ответ: 15.0

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Чему равна сила Архимеда, действующая на стаканчик, когда он плавает? Ответ выразите в миллиньютонах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [400; 410]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

г) Чему равна плотность материала стаканчика? Ответ выразите в г/см³, округлите до сотых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [2.65; 2.75]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) При плавании стаканчик вытесняет массу воды, равную массе самого стаканчика. Объём вытесненной воды при этом равен $V_{\text{выт}} = \frac{m}{\rho_0} = \frac{\rho V}{\rho_0}$, где V — объём материала стаканчика. Если стаканчик утопить, то объём вытесненной воды будет равен объёму материала стаканчика. Поскольку после погружения жидкости вытесняется меньше (уровень понизился!), можно сделать вывод, что $\rho > \rho_0$.

б) После того как стаканчик утопили, уровень жидкости в сосуде оказался на $\Delta h_1 - \Delta h_2 = 0.5$ см выше уровня воды в отсутствие стаканчика. Следовательно, объём материала стаканчика равен $V_{\text{ст}} = S(\Delta h_1 - \Delta h_2) = 15 \text{ см}^3$.

в) Сила Архимеда при плавании определяется объёмом вытесненной жидкости:

$$F_A = \rho_0 V_{\text{выт}} g = \rho_0 S \Delta h_1 g = 405 \text{ мН}.$$

г) Массу стаканчика определим из условия плавания

$$mg = F_A = \rho_0 V_{\text{выт}} g, \quad m = \rho_0 V_{\text{выт}} = 40.5 \text{ г}.$$

Плотность вещества, из которого изготовлен стаканчик,

$$\rho = \frac{m}{V_{\text{ст}}} = 2.7 \text{ г/см}^3.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 3.**Пункты б-г)**

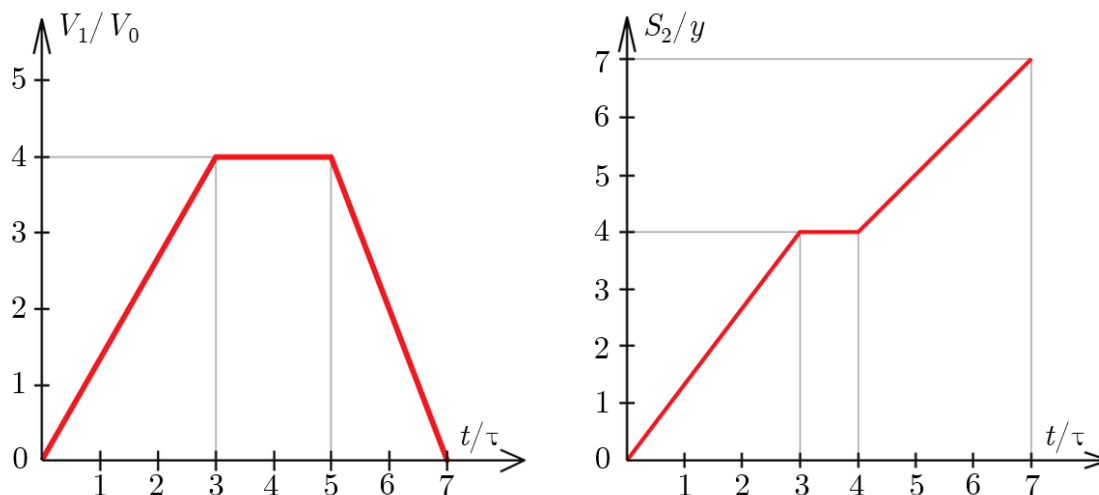
№ варианта	Δh_1 , см	Δh_2 , см	S , см ²	Ответ (пункт б)	Ответ в диапазоне (пункт в)		Ответ в диапазоне (пункт г)	
1	1.35	0.85	30	15.0	400	410	2.65	2.75
2	0.9	0.5	35	14.0	310	320	2.20	2.30
3	1	0.6	40	16.0	395	405	2.45	2.55
4	1.1	0.7	45	18.0	490	500	2.70	2.80
5	1.2	0.8	50	20.0	595	605	2.95	3.05
6	1.3	0.9	25	10.0	320	330	3.20	3.30
7	1.25	0.9	30	10.5	370	380	3.52	3.62
8	1.35	0.95	35	14.0	468	478	3.33	3.43
9	1.4	0.95	40	18.0	555	565	3.06	3.16
10	1.5	1	45	22.5	670	680	2.95	3.05
11	1.25	1.05	35	7.0	433	443	6.20	6.30
12	0.95	0.45	26	13.0	242	252	1.85	1.95
13	1.05	0.65	32	12.8	331	341	2.58	2.68
14	1.15	0.75	28	11.2	317	327	2.83	2.93
15	1.6	1	32	19.2	507	517	2.62	2.72
16	1.8	1.1	34	23.8	607	617	2.52	2.62
17	1.7	1.25	36	16.2	607	617	3.73	3.83
18	1.75	1.15	38	22.8	660	670	2.87	2.97
19	1.55	1.25	42	12.6	646	656	5.12	5.22
20	1.4	1.05	44	15.4	611	621	3.95	4.05

Сириус.Курсы — для тех,
кто хочет знать больше!



Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

Задание 1. Вариант 1. В летние каникулы Павел и Василиса совершали тренировочные пробежки. Зависимости скорости $V_1(t)$ Павла от времени и пути $S_2(t)$ Василисы от времени одной из тренировок изображены на графиках, где $V_0 = 0.05$ км/мин, $y = 0.1$ км, $\tau = 1$ мин.



а) С какой наибольшей скоростью бежал Павел? Ответ выразите в км/ч, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [11.9; 12.1]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) С какой наибольшей скоростью бежала Василиса? Ответ выразите в км/ч, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [7.9; 8.1]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Кто пробежал большее расстояние?

Ответ: Павел

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

г) Чему равна средняя путевая скорость Павла? Ответ выразите в км/ч, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [7.6; 7.8]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2.5 балла

д) Чему равна средняя путевая скорость Василисы? Ответ выразите в км/ч, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [5.9; 6.1]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2.5 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Скорость отложена на графике скорости по оси ординат. Павел бежал с наибольшей скоростью

$$v_{1,\max} = 4V_0 = 0.2 \text{ км/мин} = 12.0 \text{ км/ч.}$$

б) Скорость Василисы определим по графику зависимости пройденного пути от времени как наибольший угловой коэффициент наклона прямой:

$$v_{2,\max} = \frac{4y}{3\tau} \approx 0.133 \text{ км/мин} = 8.0 \text{ км/ч.}$$

в) Путь Павла найдём как площадь под графиком скорости:

$$s_1 = 18V_0\tau = 0.9 \text{ км.}$$

Путь Василисы отложен на графике пути по оси ординат: $s_2 = 7y = 0.7$ км. Значит, большее расстояние пробежал Павел.

г) Средняя путевая скорость Павла равна

$$v_{1,\text{cp}} = \frac{s_1}{7\tau} \approx 0.13 \text{ км/мин} = 7.7 \text{ км/ч.}$$

д) Средняя путевая скорость Василисы равна

$$v_{2,\text{cp}} = \frac{s_2}{7\tau} = 0.1 \text{ км/мин} = 6.0 \text{ км/ч.}$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	V_0 , км/мин	τ , мин	y , км	Ответ в диапазоне (пункт а)		Ответ в диапазоне (пункт б)		Ответ (пункт в)	Ответ в диапазоне (пункт г)		Ответ в диапазоне (пункт д)	
1	0.05	1	0.1	11.9	12.1	7.9	8.1	Павел	7.6	7.8	5.9	6.1
2	0.04	1.5	0.15	9.5	9.7	7.9	8.1	Павел	6.1	6.3	5.9	6.1
3	0.04	1.6	0.16	9.5	9.7	7.9	8.1	Павел	6.1	6.3	5.9	6.1
4	0.04	1.7	0.15	9.5	9.7	7.0	7.2	Павел	6.1	6.3	5.2	5.4
5	0.04	1.8	0.15	9.5	9.7	6.6	6.8	Павел	6.1	6.3	4.9	5.1
6	0.04	1.9	0.17	9.5	9.7	7.1	7.3	Павел	6.1	6.3	5.3	5.5
7	0.03	2.2	0.2	7.1	7.3	7.2	7.4	Василиса	4.5	4.7	5.4	5.6
8	0.02	2.3	0.21	4.7	4.9	7.2	7.4	Василиса	3.0	3.2	5.4	5.6
9	0.04	1.1	0.12	9.5	9.7	8.6	8.8	Василиса	6.1	6.3	6.4	6.6
10	0.03	1.2	0.13	7.1	7.3	8.6	8.8	Василиса	4.5	4.7	6.4	6.6
11	0.02	1.3	0.14	4.7	4.9	8.5	8.7	Василиса	3.0	3.2	6.4	6.6
12	0.03	1.1	0.14	7.1	7.3	10.1	10.3	Василиса	4.5	4.7	7.5	7.7
13	0.04	1.1	0.14	9.5	9.7	10.1	10.3	Василиса	6.1	6.3	7.5	7.7
14	0.04	1.2	0.17	9.5	9.7	11.2	11.4	Василиса	6.1	6.3	8.4	8.6
15	0.04	1.3	0.19	9.5	9.7	11.6	11.8	Василиса	6.1	6.3	8.7	8.9
16	0.03	1.4	0.12	7.1	7.3	6.8	7.0	Василиса	4.5	4.7	5.0	5.2
17	0.02	1.5	0.13	4.7	4.9	6.8	7.0	Василиса	3.0	3.2	5.1	5.3
18	0.03	1.6	0.15	7.1	7.3	7.4	7.6	Василиса	4.5	4.7	5.5	5.7
19	0.03	2.1	0.18	7.1	7.3	6.8	7.0	Василиса	4.5	4.7	5.0	5.2
20	0.03	2.4	0.22	7.1	7.3	7.2	7.4	Василиса	4.5	4.7	5.4	5.6

Задание 2. Вариант 1. Два одинаковых калориметра наполнены водой комнатной температуры: первый — на $1/3$ вместимости, второй — на $1/5$ вместимости. Когда в каждый калориметр долили до краёв горячую воду, в первом калориметре установилась температура $t_1 = 56^\circ\text{C}$, во втором — $t_2 = 64^\circ\text{C}$. Теплоёмкостью калориметров и теплотериями можно пренебречь.

Ответы выразите в градусах Цельсия, округлите до целых.

а) Чему равна комнатная температура t_0 ?

Ответ: засчитывается в диапазоне [15; 17]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

б) Чему равна температура t_x горячей воды?

Ответ: засчитывается в диапазоне [75; 77]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

в) Какая установится температура t_y , если воду из калориметров смешать в третьем калориметре, в два раза большей вместимости?

Ответ: засчитывается в диапазоне [59; 61]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 баллов

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а-в) Применим уравнение теплового баланса для обоих калориметров:

$$c \frac{m}{3}(t_1 - t_0) = c \frac{2m}{3}(t_x - t_1), \quad c \frac{m}{5}(t_2 - t_0) = c \frac{4m}{5}(t_x - t_2).$$

Отсюда

$$t_1 - t_0 = 2(t_x - t_1), \quad t_2 - t_0 = 4(t_x - t_2).$$

Решив систему, получаем комнатную температуру

$$t_0 = 6t_1 - 5t_2 = 16^\circ\text{C}$$

и температуру горячей воды

$$t_x = \frac{5t_2 - 3t_1}{2} = 76^\circ\text{C}.$$

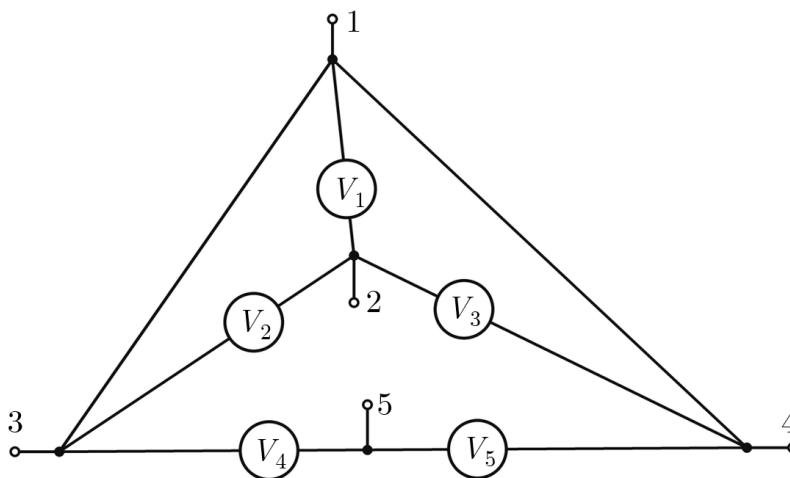
Теплоёмкости воды в полностью заполненных калориметрах одинаковы, поэтому после смешивания

$$t_y = \frac{t_1 + t_2}{2} = 60^\circ\text{C}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	Ответ в диапазоне (пункт а)		Ответ в диапазоне (пункт б)		Ответ в диапазоне (пункт в)	
1	56	64	15	17	75	77	59	61
2	57	65	16	18	76	78	60	62
3	58	66	17	19	77	79	61	63
4	59	67	18	20	78	80	62	64
5	60	68	19	21	79	81	63	65
6	61	69	20	22	80	82	64	66
7	62	70	21	23	81	83	65	67
8	63	71	22	24	82	84	66	68
9	64	72	23	25	83	85	67	69
10	65	73	24	26	84	86	68	70
11	66	74	25	27	85	87	69	71
12	67	75	26	28	86	88	70	72
13	68	76	27	29	87	89	71	73
14	69	77	28	30	88	90	72	74
15	70	78	29	31	89	91	73	75
16	71	79	30	32	90	92	74	76
17	72	80	31	33	91	93	75	77
18	73	81	32	34	92	94	76	78
19	74	82	33	35	93	95	77	79
20	75	83	34	36	94	96	78	80

Задание 3. Вариант 1. Пять одинаковых вольтметров соединены по изображённой схеме.



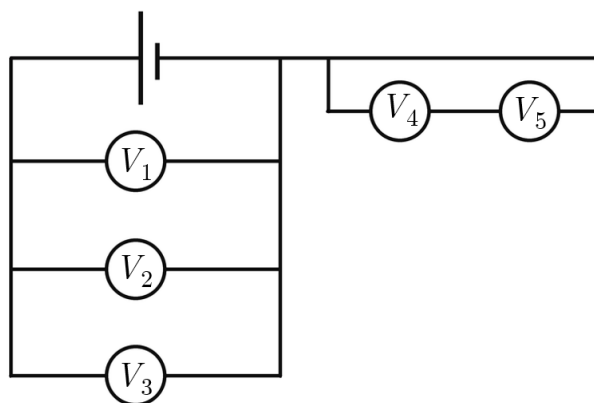
Источник постоянного напряжения $U = 110\text{ В}$ подключают к парам клемм, указанным в таблице. Определите показания вольтметров. Сопротивлением соединительных проводов пренебрегите. Ответы выразите в вольтах, округлите до целых.

Ответ:

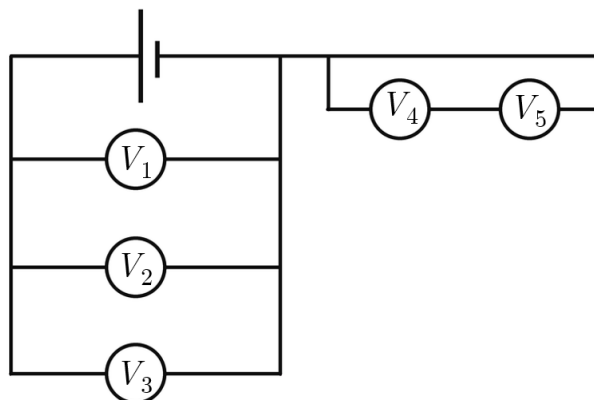
Номера клемм	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
1 и 2	110	110	110	0	0
2 и 3	110	110	110	0	0
3 и 5	0	0	0	110	110
2 и 5	44	44	44	66	66

Критерий оценивания: точное совпадение каждого показания — 0.5 балла**Максимальный балл за задание — 10****Решение.**

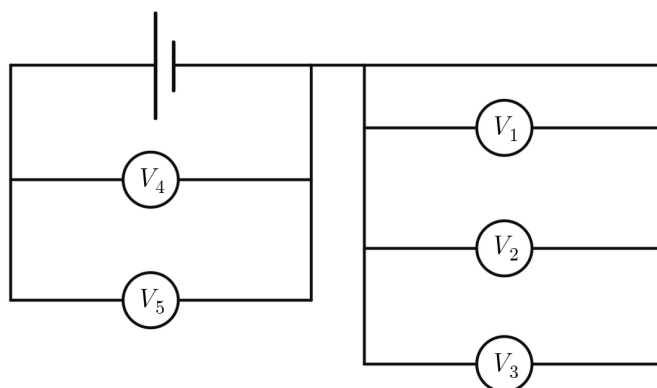
При подключении источника к клеммам 1 и 2 эквивалентная схема имеет вид:

Поэтому $U_1 = U_2 = U_3 = 110$ В, а $U_4 = U_5 = 0$ В.

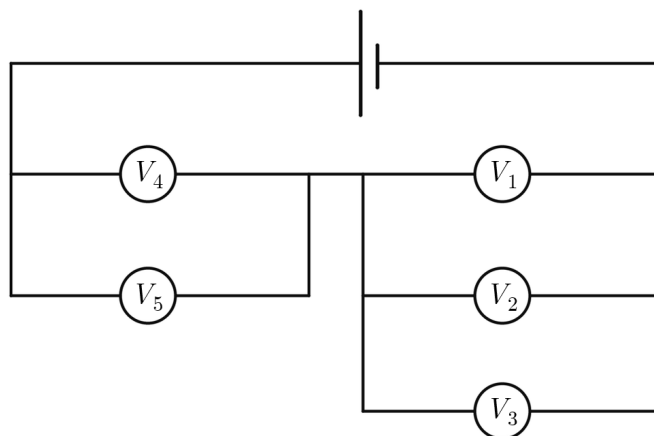
Для клемм 2 и 3 эквивалентная схема та же:

Следовательно, $U_1 = U_2 = U_3 = 110$ В, $U_4 = U_5 = 0$ В.

При подключении источника к клеммам 3 и 5 получаем схему:

Следовательно, $U_4 = U_5 = 110$ В, $U_1 = U_2 = U_3 = 0$ В.

При подключении к клеммам 2 и 5 схема имеет вид:



Эквивалентное сопротивление группы V_4, V_5 равно $R/2$, а группы V_1, V_2, V_3 — $R/3$. Напряжения на группах относятся как 3 : 2. Поэтому

$$U_4 = U_5 = \frac{3}{5} \cdot 110 = 66 \text{ В}, \quad U_1 = U_2 = U_3 = \frac{2}{5} \cdot 110 = 44 \text{ В}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	U, В	Номера клемм	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
1	110	1 и 2	110	110	110	0	0
		2 и 3	110	110	110	0	0
		3 и 5	0	0	0	110	110
		2 и 5	44	44	44	66	66
2	310	1 и 2	310	310	310	0	0
		2 и 3	310	310	310	0	0
		3 и 5	0	0	0	310	310
		2 и 5	124	124	124	186	186
3	50	1 и 2	50	50	50	0	0
		2 и 3	50	50	50	0	0
		3 и 5	0	0	0	50	50
		2 и 5	20	20	20	30	30
4	60	1 и 2	60	60	60	0	0
		2 и 3	60	60	60	0	0
		3 и 5	0	0	0	60	60
		2 и 5	24	24	24	36	36
5	70	1 и 2	70	70	70	0	0
		2 и 3	70	70	70	0	0
		3 и 5	0	0	0	70	70
		2 и 5	28	28	28	42	42
6	80	1 и 2	80	80	80	0	0
		2 и 3	80	80	80	0	0
		3 и 5	0	0	0	80	80
		2 и 5	32	32	32	48	48

№ варианта	U, В	Номера клемм	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
7	90	1 и 2	90	90	90	0	0
		2 и 3	90	90	90	0	0
		3 и 5	0	0	0	90	90
		2 и 5	36	36	36	54	54
8	40	1 и 2	40	40	40	0	0
		2 и 3	40	40	40	0	0
		3 и 5	0	0	0	40	40
		2 и 5	16	16	16	24	24
9	30	1 и 2	30	30	30	0	0
		2 и 3	30	30	30	0	0
		3 и 5	0	0	0	30	30
		2 и 5	12	12	12	18	18
10	20	1 и 2	20	20	20	0	0
		2 и 3	20	20	20	0	0
		3 и 5	0	0	0	20	20
		2 и 5	8	8	8	12	12
11	120	1 и 2	120	120	120	0	0
		2 и 3	120	120	120	0	0
		3 и 5	0	0	0	120	120
		2 и 5	48	48	48	72	72
12	130	1 и 2	130	130	130	0	0
		2 и 3	130	130	130	0	0
		3 и 5	0	0	0	130	130
		2 и 5	52	52	52	78	78
13	140	1 и 2	140	140	140	0	0
		2 и 3	140	140	140	0	0
		3 и 5	0	0	0	140	140
		2 и 5	56	56	56	84	84
14	150	1 и 2	150	150	150	0	0
		2 и 3	150	150	150	0	0
		3 и 5	0	0	0	150	150
		2 и 5	60	60	60	90	90
15	160	1 и 2	160	160	160	0	0
		2 и 3	160	160	160	0	0
		3 и 5	0	0	0	160	160
		2 и 5	64	64	64	96	96
16	170	1 и 2	170	170	170	0	0
		2 и 3	170	170	170	0	0
		3 и 5	0	0	0	170	170
		2 и 5	68	68	68	102	102

№ варианта	U, В	Номера клемм	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
17	180	1 и 2	180	180	180	0	0
		2 и 3	180	180	180	0	0
		3 и 5	0	0	0	180	180
		2 и 5	72	72	72	108	108
18	190	1 и 2	190	190	190	0	0
		2 и 3	190	190	190	0	0
		3 и 5	0	0	0	190	190
		2 и 5	76	76	76	114	114
19	200	1 и 2	200	200	200	0	0
		2 и 3	200	200	200	0	0
		3 и 5	0	0	0	200	200
		2 и 5	80	80	80	120	120
20	210	1 и 2	210	210	210	0	0
		2 и 3	210	210	210	0	0
		3 и 5	0	0	0	210	210
		2 и 5	84	84	84	126	126

Сириус.Курсы — для тех,
кто хочет знать больше!



Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

Задание 1. Вариант 1. В тропиках Южной Америки растёт крупное вечнозелёное дерево хура, которое также называют «динамитное дерево». Плод хуры при созревании резко раскрывается с треском, похожим на выстрел, и разбрасывает семена. Будем считать, что каждое семя вылетает из плода независимо от остальных, начальная скорость семян одинакова и равна $v_0 = 40$ м/с, а вылетать они могут в самых разных направлениях. Рассматриваемый плод находится на высоте 21.25 м. Масса семени 0.2 г, длина участка разгона 1 см. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с². Сопротивлением воздуха в расчётах пренебрегите. Считайте, что в полёте семенам не мешают листья и ветви растения.



а) Через какое время упало на землю семя, вылетевшее вертикально вниз? Ответ выразите в секундах, округлите до десятых.

Ответ: 0.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) На какой максимальной высоте над землёй окажется семя, вылетевшее вверх под углом 42° к горизонту? Ответ выразите в метрах, округлите до десятых.

Ответ: 57.1

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Сравните модули скоростей непосредственно перед ударом о землю семян, вылетевших вертикально вверх ($|\vec{v}_1|$), вертикально вниз ($|\vec{v}_2|$) и под углом 54° к горизонту ($|\vec{v}_3|$).

$|\vec{v}_1|$ ___ $|\vec{v}_2|$

Ответ:

- >
- <
- ✓ =

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 0.5 балла

г) $|\vec{v}_2|$ ___ $|\vec{v}_3|$

Ответ:

- >
- <
- ✓ =

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 0.5 балла

д) На расстоянии 80 м по горизонтали от дерева находится отвесная вертикальная узкая скала высотой 40 м. Перелетит ли её семя, вылетевшее вверх под углом 30° к горизонту?

Если да, то на сколько сантиметров выше пролетит семя? Ответ округлите до целых.

Если нет, то на каком расстоянии от вершины скалы семя ударится о скалу? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: да, 77

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

е) В районе произрастания дерева установилась ветреная погода. Боковой ветер создаёт постоянное горизонтальное ускорение 0.8 м/с², перпендикулярное направлению его начальной скорости. Насколько отклонится в сторону семя, вылетевшее горизонтально, за время своего полёта? Ответ выразите в сантиметрах, округлите до целых.

Ответ: 170

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

ж) Определите среднюю мощность механизма выброса одного семени. Считайте, что разгон происходит равноускоренно, а потерь энергии нет. Ответ выразите в ваттах, округлите до целых.

Ответ: 320

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Плод находится на высоте $h = 21.25$ м.

Тогда для вертикального движения вниз:

$$h = v_0 t + \frac{gt^2}{2}.$$

Найдём время t :

$$21.25 = 40 \cdot t + \frac{10 \cdot t^2}{2} \implies t = \frac{-40 \pm \sqrt{40^2 + 4 \cdot 5 \cdot 21.25}}{10} = 0.5 \text{ с.}$$

Отрицательный корень не имеет физического смысла.

б) Вертикальная составляющая начальной скорости:

$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin(42^\circ) = 40 \cdot \sin(42^\circ) \approx 26.765 \text{ м/с.}$$

Дополнительная высота подъёма:

$$\Delta h = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{26.765^2}{20} \approx 35.82 \text{ м.}$$

Максимальная высота над землёй:

$$H_{\max} = h + \Delta h = 21.25 + 35.82 = 57.07 \text{ м} \approx 57.1 \text{ м.}$$

в-г) Во всех случаях семена начинают движение с одной высоты и имеют одинаковый модуль начальной скорости. По закону сохранения механической энергии:

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{mv_0^2}{2} + mgh.$$

Поэтому не имеет значения, в каком направлении вылетает семя – направление начальной скорости влияет на время полёта и его траекторию, но не влияет на модель скорости у Земли.

д) Уравнение траектории:

$$y(x) = h + x \cdot \tan 30^\circ - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 30^\circ}.$$

При $x = 80$ м:

$$y = 21.25 + \frac{80}{\sqrt{3}} - \frac{10 \cdot 80^2}{2 \cdot 40^2 \cdot \left(\frac{3}{4}\right)} \approx 40.77 \text{ м.}$$

Высота семени на уровне скалы больше 40 м примерно на $0.77 \text{ м} = 77 \text{ см}$.

Ответ: да, перелетит на 77 см.

е) Начальная вертикальная и боковая скорости равны нулю, поэтому

$$h = \frac{gt^2}{2} \text{ и } z = \frac{a_6 t^2}{2}.$$

Тогда $\frac{z}{h} = \frac{a_6}{g}$, т. е.

$$z = \frac{a_6 h}{g} = \frac{0.8 \cdot 21.25}{10} = 1.7 \text{ м} = 170 \text{ см.}$$

ж) Работа механизма равна приращению кинетической энергии семени:

$$A = E_k = \frac{mv_0^2}{2} = \frac{0.0002 \cdot 40^2}{2} = 0.16 \text{ Дж.}$$

Время разгона определим из формулы: $l = \frac{v_0 t}{2}$, где $l = 1$ см – длина участка разгона. Тогда $t = \frac{2 \cdot 0.01}{40} = 0.0005 \text{ с.}$

Средняя мощность механизма выброса:

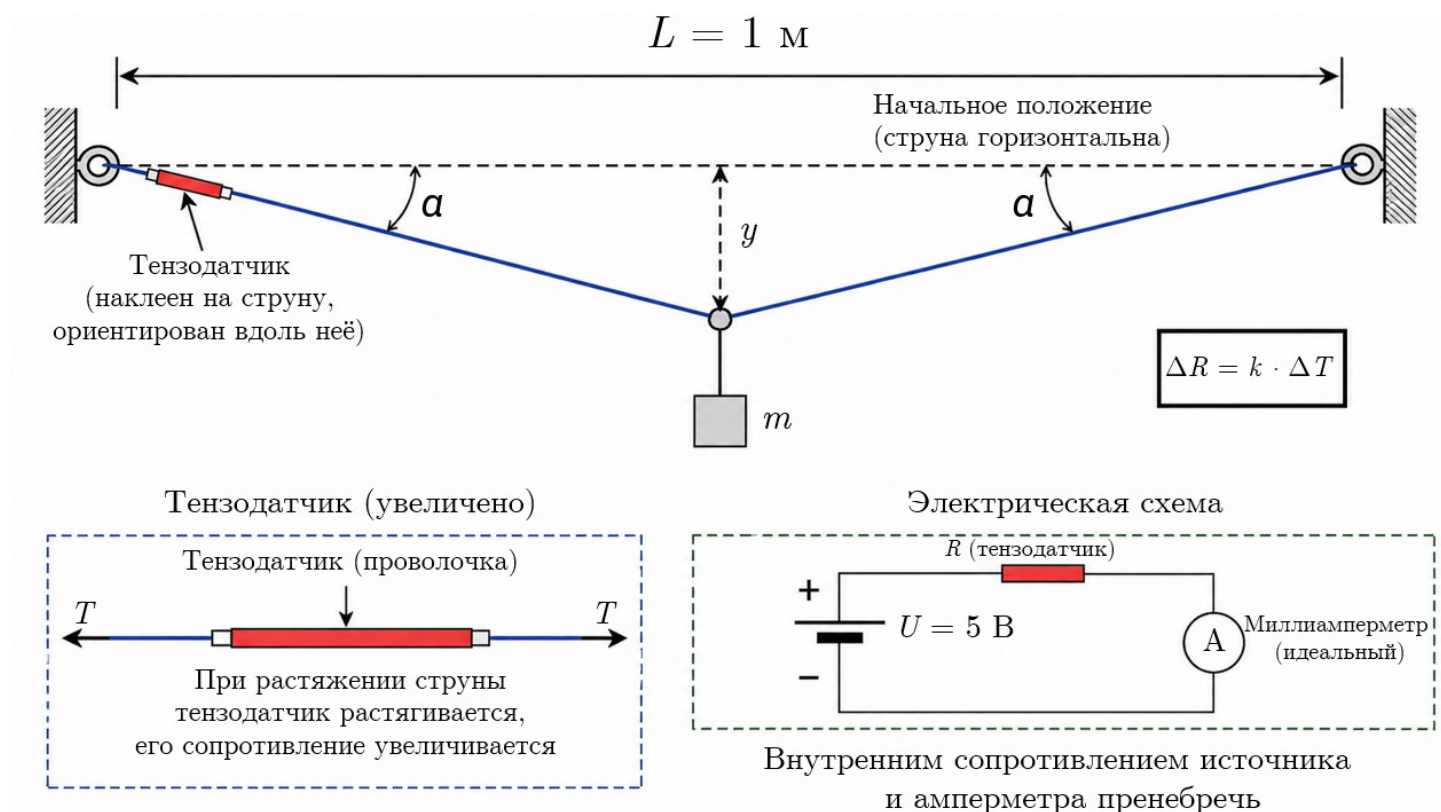
$$P_{\text{ср}} = \frac{A}{t} = \frac{0.16}{0.0005} = 320 \text{ Вт.}$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1. Пункты а-б, г-е)

№ варианта	v_0 , м/с	h , м	m , г	l , см	Угол, ° (пункт б)	Угол, ° (пункт в)	x , м	Высота скалы, м	Угол, ° (пункт г)	a_6 , м/с ²	Ответ (пункт а)	Ответ (пункт б)
1	40	21.25	0.2	1	42	54	80	40	30	0.8	0.5	57.1
2	36	15.2	0.18	0.8	38	50	60	30	30	0.5	0.4	39.8
3	38	16	0.2	0.9	40	52	65	37	32	0.6	0.4	45.8
4	40	16.8	0.22	1	44	56	70	40	34	0.7	0.4	55.4
5	42	17.6	0.24	1.1	46	58	75	49	36	0.8	0.4	63.2
6	44	18.4	0.26	1.2	48	60	80	53	38	0.9	0.4	71.9
7	35	18.75	0.17	0.8	37	49	65	32	28	0.6	0.5	40.9
8	37	19.75	0.19	0.9	39	51	70	35	30	0.7	0.5	46.9
9	39	20.75	0.21	1	41	53	75	43	32	0.8	0.5	53.5
10	41	21.75	0.23	1.1	43	55	80	47	34	0.9	0.5	60.8
11	43	22.75	0.25	1.2	45	57	85	56	36	1.0	0.5	69.0
12	36	23.4	0.16	0.9	36	48	70	35	28	0.5	0.6	45.8
13	38	24.6	0.18	1	38	50	75	43	30	0.6	0.6	52.0
14	40	25.8	0.2	1.1	40	52	80	46	32	0.7	0.6	58.9
15	42	27	0.22	1.2	42	54	85	56	34	0.8	0.6	66.5
16	44	28.2	0.24	1.3	44	56	90	60	36	0.9	0.6	74.9
17	35	26.95	0.15	1	35	47	75	37	27	0.6	0.7	47.1
18	37	28.35	0.17	1.1	37	49	80	41	29	0.7	0.7	53.1
19	39	29.75	0.19	1.2	39	51	85	50	31	0.8	0.7	59.9
20	41	31.15	0.21	1.3	41	53	90	54	33	0.9	0.7	67.3

№ вар.	v_0 , м/с	h , м	m , г	l , см	Угол, ° (пункт б)	Угол, ° (пункт в)	x , м	Высота скалы, м	Угол, ° (пункт г)	a_6 м/с ²	Ответ (пункт г)	Ответ (пункт д)	Ответ (пункт е)
1	40	21.25	0.2	1	42	54	80	40	30	0.8	77	170	320
2	36	15.2	0.18	0.8	38	50	60	30	30	0.5	132	76	262
3	38	16	0.2	0.9	40	52	65	37	32	0.6	73	96	305
4	40	16.8	0.22	1	44	56	70	40	34	0.7	174	118	352
5	42	17.6	0.24	1.1	46	58	75	49	36	0.8	127	141	404
6	44	18.4	0.26	1.2	48	60	80	53	38	0.9	128	166	461
7	35	18.75	0.17	0.8	37	49	65	32	28	0.6	81	113	228
8	37	19.75	0.19	0.9	39	51	70	35	30	0.7	130	138	267
9	39	20.75	0.21	1	41	53	75	43	32	0.8	110	166	311
10	41	21.75	0.23	1.1	43	55	80	47	34	0.9	101	196	360
11	43	22.75	0.25	1.2	45	57	85	56	36	1.0	134	228	414
12	36	23.4	0.16	0.9	36	48	70	35	28	0.5	137	117	207
13	38	24.6	0.18	1	38	50	75	43	30	0.6	107	148	247
14	40	25.8	0.2	1.1	40	52	80	46	32	0.7	198	181	291
15	42	27	0.22	1.2	42	54	85	56	34	0.8	146	216	340
16	44	28.2	0.24	1.3	44	56	90	60	36	0.9	163	254	393
17	35	26.95	0.15	1	35	47	75	37	27	0.6	76	162	161
18	37	28.35	0.17	1.1	37	49	80	41	29	0.7	114	198	196
19	39	29.75	0.19	1.2	39	51	85	50	31	0.8	150	238	235
20	41	31.15	0.21	1.3	41	53	90	54	33	0.9	134	280	278

Задание 2. Вариант 1. Дана схема конструкции, которую старшеклассник Тимур собрал из стальной струны и тензодатчика (тонкая проволочка, ориентированная вдоль струны). Начальная сила натяжения струны $T_0 = 10$ Н. Струна невесома, подчиняется закону Гука, её жёсткость на растяжение постоянна. В ненагруженном состоянии ($T = T_0$) сопротивление тензодатчика $R_0 = 300$ Ом.



К середине струны на лёгкой нити подвешивают груз. Экспериментально установлено, что при массе груза $m = 500$ г провисание середины струны составило $y = 10$ см, а сопротивление тензодатчика оказалось равным 301.3 Ом. Тензодатчик включён в цепь, как показано на рисунке. Ускорение свободного падения $g = 10$ м/с².

а) Чему равен ток в цепи при подвешивании груза массой 500 г? Ответ выразите в миллиамперах, округлите до десятых.

Ответ: 16.6

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Пусть масса подвешенного груза равна m . Под действием веса груза струна провисает, образуя угол α , как на рисунке. Силу натяжения половины струны обозначим T . Какое уравнение выражает условие равновесия точки подвеса?

Ответ:

- $2T = mg$
- ✓ $2T \cdot \sin(\alpha) = mg$
- $2T \cdot \cos(\alpha) = mg$
- $T(\sin(\alpha) + \cos(\alpha)) = mg$
- $T \cdot \operatorname{tg}(\alpha) = mg$

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Определите силу натяжения струны T при массе груза 500 г. При решении считайте, что угол α мал. Здесь и при дальнейших расчётах используйте приближение $\sin(\alpha) \approx \operatorname{tg}(\alpha)$. Ответ выразите в ньютонах, округлите до десятых.

Ответ: 12.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Считая, что зависимость изменения сопротивления от изменения силы натяжения имеет приведённый на схеме вид, и исходя из ответов на предыдущие вопросы, определите коэффициент пропорциональности k в этом соотношении. Ответ выразите в Ом/Н, округлите до десятых.

Ответ: 0.5

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

д) После подвешивания неизвестного груза середина струны провисла на 12.5 см, а ток в цепи стал равен 16.5 мА. Определите массу груза. Используйте приближение $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha)$. Ответ выразите в граммах, округлите до целых.

Ответ: 791

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) По закону Ома: $I = \frac{U}{R} = \frac{5}{301.3} \approx 0.01659 \text{ А} \approx 16.6 \text{ мА}$.

б) Каждая половина струны действует на точку подвеса с силой T под углом α к горизонтали. Вертикальная проекция силы от одной половины равна $T \cdot \sin(\alpha)$. Сумма этих проекций уравнивает силу тяжести mg . Поэтому верный вариант $2T \cdot \sin(\alpha) = mg$.

в) По условию провисание струны $y = 0.1 \text{ м}$, длина струны $L = 1 \text{ м}$. Тогда $\tan(\alpha) = \frac{2y}{L} = 0.2$.

Используя приближение малых углов, получим $\sin(\alpha) = 0.2$.

$$T = \frac{mg}{2 \cdot \sin(\alpha)} = \frac{5}{0.4} = 12.5 \text{ Н}.$$

г) В условии $R_0 = 300 \text{ Ом}$, $R = 301.3 \text{ Ом}$, поэтому $\Delta R = 1.3 \text{ Ом}$.

Используем условие и результат из предыдущего вопроса: $\Delta T = T - T_0 = 12.5 - 10 = 2.5 \text{ Н}$.

Тогда $k = \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{1.3}{2.5} = 0.52 \approx 0.5 \text{ Ом/Н}$.

д) Сопротивление датчика: $R = \frac{U}{I} = \frac{5}{0.0165} \approx 303.03 \text{ Ом}$.

$$T = T_0 + \frac{R - R_0}{k} = 10 + \frac{303.03 - 300}{0.52} \approx 15.827 \text{ Н}.$$

При этом $\sin(\alpha) \approx \tan(\alpha) = \frac{2y}{L} = 0.25$.

Из условия равновесия:

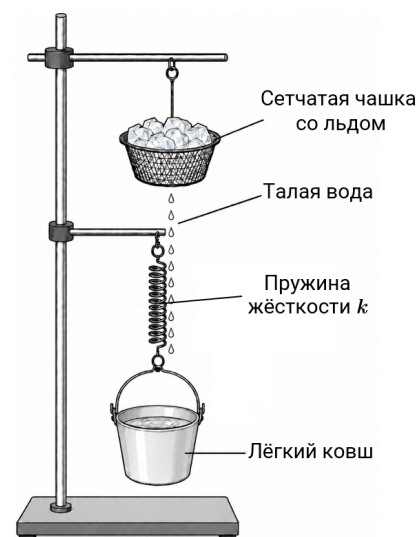
$$m = \frac{2T \sin(\alpha)}{g} = \frac{2 \cdot 15.827 \cdot 0.25}{10} \approx 0.791 \text{ кг} = 791 \text{ г}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2. Пункты а, в-д)

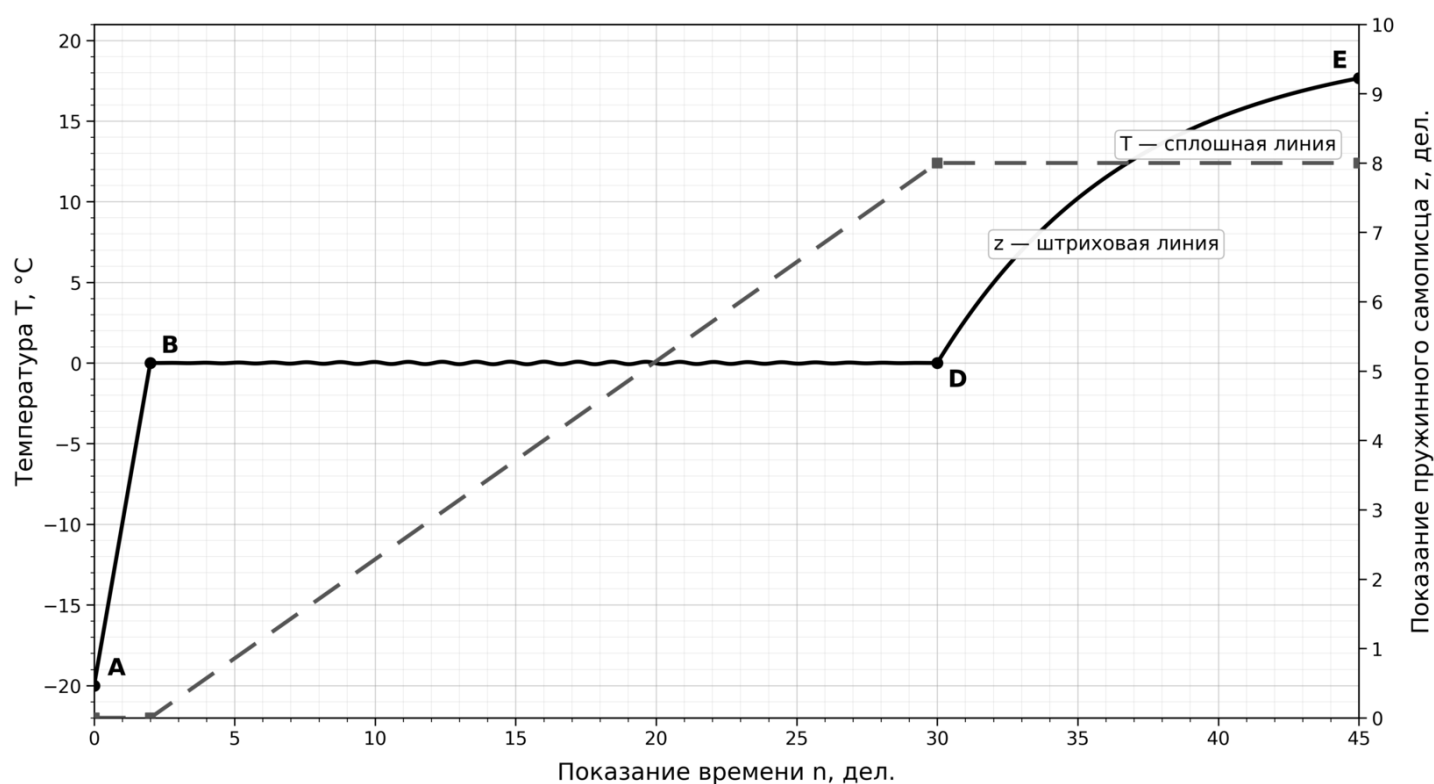
№ варианта	T_0 , Н	R_0 , Ом	m , г	y , см	R , Ом	L , см	I , мА	Ответ (пункт а)	Ответ (пункт в)	Ответ (пункт г)	Ответ (пункт д)
1	10	300	500	10	301.3	12.5	16.5	16.6	12.5	0.5	791
2	9	280	400	8	281.4	10.5	17.7	17.8	12.5	0.4	639
3	9.5	290	450	9	291.5	11	17	17.2	12.5	0.5	780
4	11	310	480	8	311.6	11.5	16	16.0	15.0	0.4	793
5	10	320	500	10	321.5	12	15.4	15.6	12.5	0.6	854
6	7.5	260	520	13	261.5	15	19.1	19.1	10.0	0.6	628
7	12	340	540	9	341.8	13	14.6	14.6	15.0	0.6	838
8	8	270	560	14	271.2	15.5	18.4	18.4	10.0	0.6	676
9	11.5	300	600	10	301.4	14	16.6	16.6	15.0	0.4	813
10	9.5	330	600	12	331.5	14.5	15	15.1	12.5	0.5	938
11	12.5	350	630	10.5	351.3	15	14.2	14.2	15.0	0.5	994
12	7	250	600	15	251.5	15.5	19.8	19.9	10.0	0.5	747
13	10	285	650	13	286.5	14	17.4	17.5	12.5	0.6	780
14	12	295	660	11	296.8	12	16.8	16.8	15.0	0.6	786
15	14	305	700	10	307.1	11.5	16.1	16.3	17.5	0.6	1070
16	11.5	315	720	12	316.4	13.5	15.8	15.8	15.0	0.4	818
17	9.5	325	750	15	327	15.5	15.2	15.3	12.5	0.7	956
18	9	275	700	14	276.4	16	18.1	18.1	12.5	0.4	775
19	12	335	840	14	336.5	14.5	14.8	14.9	15.0	0.5	1025
20	13.5	345	900	15	346.2	16.5	14.4	14.4	15.0	0.8	1074

Задание 3. Вариант 1. В сетчатой чашке находится лёд. Под чашкой расположен лёгкий ковш, подвешенный к вертикальной пружине. Талая вода сразу стекает в ковш. Перед опытом показание пружинного самописца установили на ноль, поэтому собственный вес ковша не учитывается.

Систему поместили в помещение с постоянной температурой $T_{\text{возд}} = 20^\circ\text{C}$. Самописец одновременно регистрировал температуру вещества T (сначала в чашке, а после окончания плавления льда – в ковше), время и удлинение пружины. На графике температура дана непосредственно в градусах Цельсия, а время и удлинение выражены через число делений (n и z соответственно).



Время и удлинение пружины вычисляются по формулам $t = qn$ и $x = az$ соответственно. Контрольный момент C соответствует показанию времени $n = n_C$ и на общем графике не отмечен.



Начиная с момента B , мощность теплопередачи между чашкой и окружающей средой подчиняется закону Ньютона-Рихмана:

$$P = \beta \cdot |T_{\text{возд}} - T|.$$

Первоначально ковш был обёрнут лёгким теплоизолирующим материалом так, что теплообменом с окружающей средой можно было пренебречь. В момент окончания плавления льда материал убирают, и далее мощность теплопередачи между ковшем и окружающей средой также описывается законом Ньютона-Рихмана.

Теплоёмкостью чашки и ковша, испарением и потерями талой воды пренебрегите. Во время плавления вся полученная теплота расходуется на фазовый переход. Считайте, что талая вода стекает в ковш без изменения температуры.

Известны следующие величины:

- цена деления времени $q = 1$ мин/дел;
- цена деления пружинного самописца $a = 1$ см/дел;
- жёсткость пружины $k = 15$ Н/м;
- положение контрольного момента $n_C = 16$ делений;
- коэффициент теплопередачи $\beta = 1.2$ Вт/°С;
- ускорение свободного падения $g = 10$ м/с²;
- удельная теплота плавления льда $\lambda = 336$ кДж/кг;
- удельная теплоёмкость воды $c = 4200$ Дж/(кг · °С).

а) Через сколько минут после начала опыта закончилось плавление льда? Ответ округлите до целых.

Ответ: 30

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Определите массу талой воды, находившейся в ковше в контрольный момент С. Ответ выразите в граммах, округлите до десятых.

Ответ: 60.0

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

в) Определите количество теплоты, полученное льдом за всё время плавления. Ответ выразите в килоджоулях, округлите до десятых.

Ответ: 40.3

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

г) Оцените среднюю мощность теплопередачи на участке DE. Ответ выразите в ваттах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [9.9; 10]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) В точке D температура начинает возрастать, а показание пружины перестаёт увеличиваться. Следовательно, весь лёд расплавился. По графику $n_D = 30$ дел.

$$t_D = q \cdot n_D = 1.00 \cdot 30 = 30 \text{ мин.}$$

б) Контрольный момент задан параметром варианта: $n_C = 16$ дел. На участке BD график растяжения пружины является прямой: при изменении n от 2 до 30 показание z возрастает от 0 до 8 дел.

$$z_C = 8 \cdot \frac{n_C - 2}{30 - 2} = 8 \cdot \frac{14}{28} = 4 \text{ дел.}$$

Удлинение пружины:

$$x_C = a \cdot z_C = 1.00 \cdot 4 = 4.0 \text{ см} = 0.040 \text{ м.}$$

Ковш покоится, поэтому сила упругости равна весу воды: $kx_C = m_C g$.

$$m_C = \frac{kx_C}{g} = \frac{15 \cdot 0.040}{10} = 0.060 \text{ кг} = 60 \text{ г.}$$

в) Продолжительность плавления:

$$\Delta t_{BD} = q(n_D - n_B) = 1.00 \cdot (30 - 2) = 28 \text{ мин} = 1680 \text{ с.}$$

Мощность теплопередачи на этом участке постоянна (т. к. температура льда не меняется), поэтому:

$$Q_{BD} = P \Delta t_{BD} = \beta(T_{\text{возд}} - T) \cdot \Delta t_{BD} = 1.20 \cdot (20 - 0) \cdot 1680 = 24 \cdot 1680 = 40\,320 \text{ Дж} = 40.32 \text{ кДж}$$

$$Q_{BD} \approx 40.3 \text{ кДж.}$$

г) По левой шкале в момент E температура воды приблизительно равна 17.7 °С.

$$\Delta t_{DE} = q(n_E - n_D) = 1.00 \cdot (45 - 30) = 15 \text{ мин} = 900 \text{ с.}$$

В момент D весь лёд превратился в воду. По правой шкале $z_D = 8$ дел.

$$x_D = a \cdot z_D = 1.00 \cdot 8 = 8.0 \text{ см} = 0.080 \text{ м.}$$

$$m_0 = \frac{kx_D}{g} = \frac{15 \cdot 0.080}{10} = 0.120 \text{ кг} = 120 \text{ г.}$$

Начальная масса льда $m_0 = 120 \text{ г.}$

Тогда:

$$Q_{DE} = m_0 c (T_E - T_D) = 0.120 \cdot 4200 \cdot (17.7 - 0) = 8920.8 \text{ Дж.}$$

$$P_{\text{ср}} = \frac{Q_{DE}}{\Delta t_{DE}} = \frac{8920.8}{900} \approx 9.9 \text{ Вт.}$$

Из-за погрешности снятия значения температуры воды в момент Е значение мощности может колебаться. В качестве правильного также засчитывается ответ 10.0 Вт.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	n_C , дел	q , мин/дел	a , см/дел	k , Н/м	β , Вт/°С	Ответ (пункт а)	Ответ (пункт б)	Ответ (пункт в)	Ответ в диапазоне (пункт г)	
1	16	1	1	15	1.2	30	60.0	40.3	9.9	10.0
2	9	0.5	0.5	20	1.6	15	20.0	26.9	13.1	13.4
3	12.5	0.5	0.75	18	2.16	15	40.5	36.3	17.7	18.0
4	16	0.5	0.75	20	2.4	15	60.0	40.3	19.7	20.0
5	19.5	0.75	0.75	15	1.2	23	56.3	30.2	9.9	10.0
6	23	0.75	0.75	18	1.44	23	81.0	36.3	11.8	12.0
7	26.5	0.75	1.25	15	2	23	131.3	50.4	16.4	16.7
8	9	0.75	1.25	18	2.4	23	45.0	60.5	19.7	20.0
9	12.5	1	0.5	24	0.96	30	36.0	32.3	7.9	8.0
10	16	1	0.75	20	1.2	30	60.0	40.3	9.9	10.0
11	19.5	1	1	18	1.44	30	90.0	48.4	11.8	12.0
12	23	1	1.25	16	1.6	30	120.0	53.8	13.1	13.4
13	26.5	1	1.25	20	2	30	175.0	67.2	16.4	16.7
14	9	1.25	0.5	20	0.64	38	20.0	26.9	5.3	5.3
15	12.5	1.25	0.75	15	0.72	38	33.8	30.2	5.9	6.0
16	16	1.25	1	15	0.96	38	60.0	40.3	7.9	8.0
17	19.5	1.25	1.25	18	1.44	38	112.5	60.5	11.8	12.0
18	23	1.5	0.5	24	0.64	45	72.0	32.3	5.3	5.3
19	26.5	1.5	0.75	18	0.72	45	94.5	36.3	5.9	6.0
20	9	1.5	1	15	0.8	45	30.0	40.3	6.6	6.7

Список использованных источников изображений

Задание 1.

1. <https://i.pining.com/originals/db/2b/8b/db2b8b304741a355057ed8355ffaad32.jpg>

Сириус.Курсы — для тех,
кто хочет знать больше!



Максимальное количество баллов за олимпиаду — 30

Задание 1. Вариант 1. Плоский конденсатор состоит из двух металлических пластин одинаковой формы, закреплённых на расстоянии $d = 4$ мм друг от друга. Каждая пластина имеет площадь $S = 180$ см². Ось x проходит через центры пластин перпендикулярно их поверхностям. Пластины пересекают ось x в точках с координатами $-\frac{d}{2}$ и $+\frac{d}{2}$. Одной пластине сообщили заряд $+q = +6$ нКл, другой — заряд $-q$ (равный по модулю, противоположный по знаку).

Считайте, что в пространстве между пластинами создан глубокий вакуум. Значение постоянного коэффициента в законе Кулона $k = 9 \cdot 10^9$ Н·м²/Кл². При расчётах примите $\pi = 3.14$.

а) Охарактеризуйте направление силовых линий электрического поля:

Ответ:

- Силовые линии входят в пластину с положительным зарядом
- ✓ Силовые линии входят в пластину с отрицательным зарядом
- Силовые линии входят в обе пластины конденсатора
- Силовые линии выходят из обеих пластин конденсатора

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Точка D лежит на оси x . Чему равна напряжённость электрического поля в точке D , если её координата $x_D = 0.3$ мм? Ответ выразите в кВ/м, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [37; 39]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Определите силу электростатического взаимодействия пластин конденсатора (с учётом знака: положительная сила — если пластины притягиваются, отрицательная — если они отталкиваются). Ответ выразите в микроныютонах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [112; 114]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Конденсатор поместили в однородное внешнее электрическое поле $E = 120$ В/см, направление которого показано на рисунке.

Чему теперь равна напряжённость электрического поля в точке D ? Ответ выразите в кВ/м, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [49; 51]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

д) Пластины конденсатора соединяют куском медной проволоки, при этом внешнее поле не изменяется. Какой суммарный заряд (по модулю) перетечёт по проволоке в процессе установления равновесия? Ответ выразите в нанокуллонах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [7.8; 8]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Силовые линии электростатического поля начинаются на положительных зарядах и заканчиваются на отрицательных. Поэтому они выходят из пластины с положительным зарядом и входят в пластину с отрицательным.

б) Точка D находится между пластинами конденсатора. Поле внутри плоского конденсатора однородно и равно

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} = \frac{q}{S\varepsilon_0} = \frac{4\pi kq}{S} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot 6 \cdot 10^{-9}}{0.018} = 37680 \text{ В/м} \approx 38 \text{ кВ/м}.$$

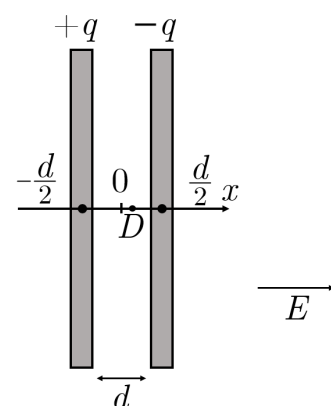
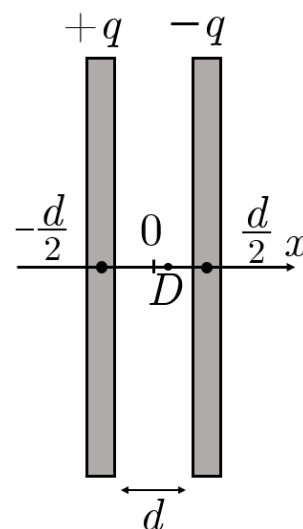
в) Сила притяжения между пластинами равна $F = qE_1$, где E_1 — поле, создаваемое одной пластиной в месте нахождения другой. Поле одной пластины

$$E_1 = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = \frac{2\pi kq}{S}.$$

Тогда

$$F = q \frac{2\pi kq}{S} = \frac{2\pi kq^2}{S} = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 9 \cdot 10^9 \cdot (6 \cdot 10^{-9})^2}{0.018} = 1.1304 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \approx 113 \text{ мкН}.$$

Пластины притягиваются, поэтому сила положительная.



г) Напряжённость поля внутри конденсатора без внешнего поля равна $E_0 = 37.68$ кВ/м. Внешнее поле $E = 120$ В/см $= 12$ кВ/м сонаправлено с полем конденсатора. Результирующая напряжённость в точке D равна сумме модулей:

$$E_{\text{рез}} = E_0 + E = 37.68 + 12 = 49.68 \text{ кВ/м} \approx 50 \text{ кВ/м}.$$

д) Изначально левая пластина имела заряд $+q = +6$ нКл, правая — заряд $-q$. После соединения проводником пластины становятся эквипотенциальными, поэтому разность потенциалов между ними становится равной нулю. Внешнее поле должно быть скомпенсировано полем, созданным перераспределившимися зарядами. В равновесии суммарное поле в зазоре между пластинами равно нулю.

Поле между двумя пластинами с зарядами $+q'$ и $-q'$ равно $q' / (\epsilon_0 S)$. Следовательно,

$$\frac{q'}{\epsilon_0 S} = E, \quad q' = \epsilon_0 S E = \frac{SE}{4\pi k} = \frac{180 \cdot 10^{-4} \cdot 12 \cdot 10^3}{4 \cdot 3.14 \cdot 9 \cdot 10^9} = 1.91 \text{ нКл}.$$

Чтобы поле стало противоположным внешнему, левая пластина должна приобрести отрицательный заряд $-q'$, а правая — положительный $+q'$. Перетёкший заряд по модулю равен изменению заряда левой пластины:

$$|\Delta q| = |(-q') - (+q)| = q + q' = 6 + 1.91 \approx 7.9 \text{ нКл}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	d , мм	S , см ²	q , нКл	x_D , мм	E , В/см	Направление силовых линий (пункт а)	Ответ (пункт а)
1	4	180	6	0.3	120	входят в пластину	с отрицательным зарядом
2	5	150	8	-0.9	200	входят в пластину	с отрицательным зарядом
3	7	340	14	-1.5	180	входят в пластину	с отрицательным зарядом
4	4	260	12	1.4	290	входят в пластину	с отрицательным зарядом
5	8	120	10	2	220	входят в пластину	с отрицательным зарядом
6	5	270	20	-1.2	240	входят в пластину	с отрицательным зарядом
7	7	180	15	1.4	150	входят в пластину	с отрицательным зарядом
8	6	170	11	-1.7	260	входят в пластину	с отрицательным зарядом
9	5	280	14	-0.5	190	входят в пластину	с отрицательным зарядом
10	6	330	16	-0.7	250	входят в пластину	с отрицательным зарядом
11	3	140	5	0.7	150	выходят из пластины	с положительным зарядом
12	3	250	7	-0.4	210	выходят из пластины	с положительным зарядом
13	6	200	9	1	250	выходят из пластины	с положительным зарядом
14	5	120	7	0.8	160	выходят из пластины	с положительным зарядом
15	6	300	15	-0.1	100	выходят из пластины	с положительным зарядом
16	7	220	13	0.2	190	выходят из пластины	с положительным зарядом
17	3	200	17	0.6	130	выходят из пластины	с положительным зарядом
18	4	320	9	0.2	170	выходят из пластины	с положительным зарядом
19	8	240	8	1.1	210	выходят из пластины	с положительным зарядом
20	4	140	6	1.2	230	выходят из пластины	с положительным зарядом

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 1.

№ варианта	d , мм	S , см ²	q , нКл	x_D , мм	E , В/см	Ответ в диапазоне (пункт б)		Ответ в диапазоне (пункт в)		Ответ в диапазоне (пункт г)		Ответ в диапазоне (пункт д)	
1	4	180	6	0.3	120	37	39	112	114	49	51	7.8	8.0
2	5	150	8	−0.9	200	59	61	240	242	79	81	10.6	10.8
3	7	340	14	−1.5	180	46	48	325	327	64	66	19.3	19.5
4	4	260	12	1.4	290	51	53	312	314	80	82	18.6	18.8
5	8	120	10	2	220	93	95	470	472	115	117	12.2	12.4
6	5	270	20	−1.2	240	83	85	836	838	107	109	25.6	25.8
7	7	180	15	1.4	150	93	95	706	708	108	110	17.3	17.5
8	6	170	11	−1.7	260	72	74	401	403	98	100	14.8	15.0
9	5	280	14	−0.5	190	56	58	395	397	75	77	18.6	18.8
10	6	330	16	−0.7	250	54	56	437	439	79	81	23.2	23.4
11	3	140	5	0.7	150	39	41	100	102	54	56	6.8	7.0
12	3	250	7	−0.4	210	31	33	110	112	52	54	11.5	11.7
13	6	200	9	1	250	50	52	228	230	75	77	13.3	13.5
14	5	120	7	0.8	160	65	67	230	232	81	83	8.6	8.8
15	6	300	15	−0.1	100	56	58	423	425	66	68	17.6	17.8
16	7	220	13	0.2	190	66	68	433	435	85	87	16.6	16.8
17	3	200	17	0.6	130	95	97	816	818	108	110	19.2	19.4
18	4	320	9	0.2	170	31	33	142	144	48	50	13.7	13.9
19	8	240	8	1.1	210	37	39	150	152	58	60	12.4	12.6
20	4	140	6	1.2	230	47	49	144	146	70	72	8.7	8.9

Задание 2. Вариант 1. Термокюжка высотой 10 см и с внутренним радиусом 3 см заполнена чаем до краёв. Стенки термюжки хорошо теплоизолированы, поэтому теплообмен с окружающей средой происходит только за счёт испарения воды с поверхности чая. В области непосредственно над поверхностью жидкости температура воздуха и водяного пара совпадает с температурой чая, а суммарное давление воздуха и пара равно атмосферному — 100 кПа. Начальная температура чая $t_0 = 80^\circ\text{C}$.

При расчётах используйте следующие значения:

- $R = 8.31 \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot \text{К})$ — универсальная газовая постоянная;
- $M = 18 \text{ г}/\text{моль}$ — молярная масса водяного пара;
- -273°C — абсолютный нуль температуры;
- $\pi = 3.14$.

а) Как изменяется масса воды, испаряющейся с поверхности чая за одну секунду, по мере остывания чая?

Ответ:

- Увеличивается
- ✓ Уменьшается
- Не изменяется
- Сначала увеличивается, затем уменьшается

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) Число ударов молекул газа о поверхность площадью S за единицу времени можно вычислить по формуле:

$$\frac{pSN_A}{\sqrt{2\pi MRT}},$$

где $N_A = 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ — число Авогадро.

Считая, что пар непосредственно над поверхностью чая является насыщенным, определите суммарную массу молекул воды, которые за 1 секунду ударяются о поверхность чая при температуре $t_0 = 80^\circ\text{C}$. Считайте, что любая молекула водяного пара, ударившаяся о поверхность жидкости, захватывается ей (конденсируется). Давление насыщенного водяного пара при этой температуре равно $p_{\text{нас}} = 47.5 \text{ кПа}$. Ответ выразите в г/с, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [132.2; 133.2]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) Из-за диффузии в тонком слое воздуха непосредственно над поверхностью чая (толщиной порядка длины свободного пробега молекул) устанавливается относительная влажность 99.8 %. Считайте, что скорость конденсации определяется давлением пара именно в этом тонком слое, а скорость испарения — давлением насыщенного пара. На сколько граммов в секунду изменяется масса чая в стакане при температуре $t_0 = 80^\circ\text{C}$? Ответ выразите в г/с (по модулю), округлите до сотых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [0.26; 0.28]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Давление насыщенного водяного пара (в кПа) зависит от температуры t (в $^\circ\text{C}$) по формуле Магнуса:

$$p_{\text{нас}}(t) = 0.611 \text{ кПа} \cdot e^{\frac{17.27t}{t+237.3}}.$$

Какой станет скорость конденсации (суммарная масса молекул, конденсирующихся за 1 с), когда чай остынет до $t_1 = 60^\circ\text{C}$? Считайте, что механизм конденсации не изменился и все молекулы водяного пара, ударившиеся о поверхность чая, конденсируются. Ответ выразите в г/с, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [56.8; 57.8]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

д) Чему станет равна скорость уменьшения массы чая в стакане при его остывании до $t_1 = 60^\circ\text{C}$? Считайте, что при данной температуре в тонком слое над поверхностью также устанавливается относительная влажность 99.8 %. Ответ выразите в г/с (по модулю), округлите до сотых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [0.1; 0.12]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) Скорость испарения определяется давлением насыщенного пара, которое экспоненциально падает с понижением температуры. Следовательно, масса воды, испаряющейся за секунду, уменьшается.

б) Площадь поверхности чая

$$S = \pi r^2 = 3.14 \cdot (0.03)^2 = 2.826 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2.$$

Температура в кельвинах $T = 273 + 80 = 353 \text{ К}$. Молярная масса $M = 0.018 \text{ кг/моль}$. Масса всех молекул, ударившихся о поверхность за 1 с, равна числу ударов, умноженному на массу одной молекулы:

$$\frac{dm}{d\tau} = \frac{p S N_A}{\sqrt{2\pi M R T}} \cdot \frac{M}{N_A} = 0.13269 \text{ кг/с} = 132.7 \text{ г/с}.$$

в) При насыщении (относительная влажность 100%) поток испарения равен потоку конденсации и составляет $dm_{\text{исп}}/d\tau = 132.7 \text{ г/с}$. При относительной влажности $\varphi = 99.8\%$ парциальное давление пара в слое равно $\varphi p_{\text{нас}}$, следовательно, поток конденсации составляет $\varphi dm_{\text{исп}}/d\tau$. Чистая убыль массы чая:

$$\frac{dm_{\text{чая}}}{d\tau} = (1 - \varphi) \frac{dm_{\text{исп}}}{d\tau} = 0.002 \cdot 132.7 = 0.2654 \text{ г/с} \approx 0.27 \text{ г/с}.$$

г) Вычислим давление насыщенного пара при 60°C :

$$p_{\text{нас}}(60) = 0.611 \cdot e^{\frac{17.27 \cdot 60}{60+237.3}} \text{ кПа} = 19940 \text{ Па}.$$

Скорость конденсации для случая насыщенного пара, когда все ударившиеся о поверхность жидкости молекулы конденсируются, равна

$$\frac{dm_{\text{конд}}}{d\tau} = \frac{p S N_A}{\sqrt{2\pi M R T}} \cdot \frac{M}{N_A} = 0.05735 \text{ кг/с} \approx 57.3 \text{ г/с}.$$

Так как пар над поверхностью чая очень близок к насыщенному, с хорошей точностью скорость конденсации совпадает со скоростью конденсации насыщенного пара. В тестирующей системе засчитываются как расчёт по формуле $\frac{p S N_A}{\sqrt{2\pi M R T}} \cdot \frac{M}{N_A}$, так и расчёт с множителем φ .

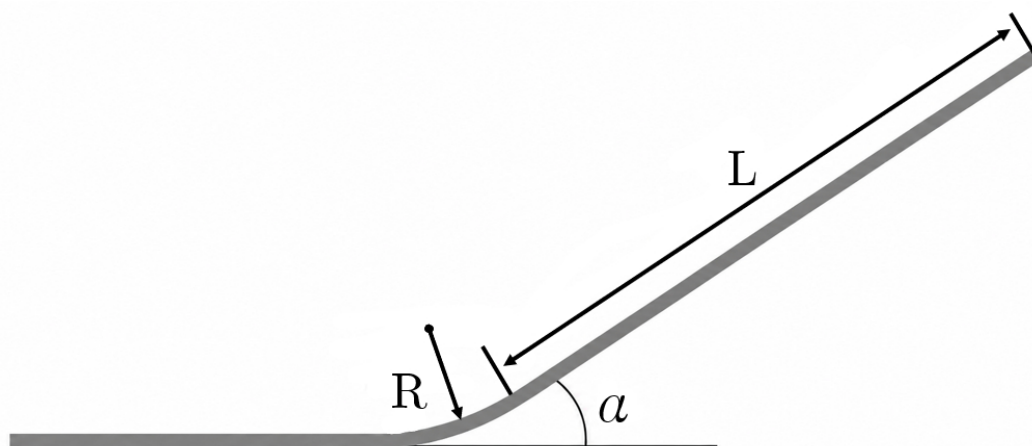
д) При 60°C скорость испарения при насыщении составляет $dm_{\text{исп}}/d\tau = 0.05735 \text{ кг/с}$. При относительной влажности $\varphi = 99.8\%$ поток конденсации равен $\varphi dm_{\text{исп}}/d\tau$. Чистая убыль:

$$\frac{dm_{\text{чая}}}{d\tau} = (1 - \varphi) \frac{dm_{\text{исп}}}{d\tau} = 0.002 \cdot 57.35 = 0.1147 \text{ г/с} \approx 0.11 \text{ г/с}.$$

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 2.

№ варианта	h , см	r , см	t_0 , °C	$p_{\text{нас}}$, кПа	t_1 , °C	Ответ в диапазоне (пункт б)		Ответ в диапазоне (пункт в)		Ответ в диапазоне (пункт г)		Ответ в диапазоне (пункт д)	
1	10	3	80	47.5	60	132.2	133.2	0.26	0.28	56.8	57.8	0.10	0.12
2	12	3.5	80	47.5	60	180.1	181.1	0.35	0.37	77.6	78.6	0.15	0.17
3	15	4	75	38.7	55	193.1	194.1	0.38	0.4	80.6	81.6	0.15	0.17
4	8	5	85	58.1	65	447.2	448.2	0.89	0.91	198.1	199.1	0.39	0.41
5	9	3	82	51.5	62	143.0	144.0	0.28	0.3	62.2	63.2	0.12	0.14
6	11	4	77	42	57	209.0	210.0	0.41	0.43	88.5	89.5	0.17	0.19
7	13	4.5	73	35.5	53	224.9	225.9	0.44	0.46	93.0	94.0	0.18	0.20
8	14	3	83	53.7	63	148.9	149.9	0.29	0.31	65.0	66.0	0.12	0.14
9	10	5	76	40.3	56	314.0	315.0	0.62	0.64	132.3	133.3	0.26	0.28
10	12	3	71	32.6	51	91.8	92.8	0.17	0.19	37.3	38.3	0.07	0.09
11	15	3.5	84	55.8	64	210.5	211.5	0.41	0.43	92.7	93.7	0.18	0.20
12	9	4.5	73	35.5	53	224.9	225.9	0.44	0.46	93.0	94.0	0.18	0.20
13	11	5	77	42	57	326.8	327.8	0.64	0.66	138.5	139.5	0.27	0.29
14	8	3	75	38.7	55	108.4	109.4	0.21	0.23	45.1	46.1	0.08	0.10
15	13	3	81	49.5	61	137.6	138.6	0.27	0.29	59.5	60.5	0.11	0.13
16	14	4	79	45.6	59	226.3	227.3	0.44	0.46	97.0	98.0	0.18	0.20
17	10	4	72	34	52	170.3	171.3	0.33	0.35	70.0	71.0	0.13	0.15
18	12	5	85	58.1	64	447.2	448.2	0.89	0.91	189.7	190.7	0.37	0.39
19	15	4.5	83	53.7	63	335.6	336.6	0.66	0.68	146.9	147.9	0.28	0.30
20	9	4	74	37.1	54	185.3	186.3	0.36	0.38	77.0	78.0	0.14	0.16

Задание 3. Вариант 1. Лыжник скатывается из состояния покоя по склону, а затем выезжает на горизонтальный участок и едет по нему до полной остановки. Масса лыжника $m = 80$ кг, длина прямой части склона $L = 100$ м, крутизна склона $\alpha = 10^\circ$, коэффициент трения лыж о снег $\mu = 0.04$.



Считайте, что ускорение свободного падения равно $g = 9.8$ м/с², $\pi = 3.14$. Сопротивлением воздуха пренебрегите.

а) Какую максимальную скорость приобрёл бы лыжник в конце прямой части склона при отсутствии силы трения?

Ответ выразите в м/с, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [18.3; 18.7]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) Чему равна скорость лыжника в конце прямой части склона с учётом силы трения? Ответ выразите в м/с, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [16.1; 16.3]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

в) Какой путь лыжник преодолел бы по горизонтальному участку до полной остановки, если бы при переходе с прямой части склона на горизонтальный участок его скорость сохранилась? Ответ выразите в метрах, округлите до целых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [335; 337]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

г) Переход склона на горизонтальный участок можно считать дугой окружности с радиусом кривизны $R = 10$ м. В рамках предложенной модели оцените величину модуля работы силы трения при движении по этой дуге. При оценке считайте скорость лыжника при прохождении закругления почти постоянной и равной скорости в конце прямой части склона. Также можно считать, что косинус угла наклона горки к горизонту с высокой точностью равен единице. Ответ выразите в килоджоулях, округлите до сотых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [0.12; 0.28]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл за задание — 10

Решение.

а) При отсутствии силы трения применим закон сохранения энергии. Вся потенциальная энергия лыжника $E_p = mgH = mgL \sin \alpha$ перейдёт в кинетическую энергию в конце склона $E_k = mv_1^2/2$. Приравняем энергии, сократим массу и выразим скорость:

$$v_1 = \sqrt{2gL \sin \alpha} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 100 \cdot 0.174} = 18.49 \text{ м/с} \approx 18.5 \text{ м/с}.$$

б) Сила трения совершает работу на протяжении всего спуска, поэтому кинетическая энергия $E_k = mv_2^2/2$ равна потенциальной энергии $E_p = mgH = mgL \sin \alpha$ за вычетом работы силы трения $A_{\text{тр1}} = \mu N_1 L = \mu mgL \cos \alpha$. Сократив массу, получим

$$v_2 = \sqrt{2gL(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)} = \sqrt{2 \cdot 9.8 \cdot 100(0.174 - 0.04 \cdot 0.985)} = 16.22 \text{ м/с} \approx 16.2 \text{ м/с}.$$

в) Работа силы трения на горизонтальном участке $A_{\text{тр2}} = \mu N_2 S = \mu mgS$ по модулю равна кинетической энергии лыжника в конце спуска $E_k = mv_2^2/2$. Сократив массу, найдём путь:

$$S = \frac{v_2^2}{2\mu g} = \frac{2gL(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{2\mu g} \approx 336 \text{ м}.$$

г) Работу силы трения при движении по дуге найдём по формуле $A_{\text{тр3}} = -\mu N_3 \ell$. В рамках предложенной модели сила реакции $N_3 = ma_{\text{цс}}$, где $a_{\text{цс}} = v_2^2/R + g$. Длина дуги закругления $\ell = 2\pi R\alpha/360^\circ$. Подставляя эти выражения, получим

$$A_{\text{тр3}} = -\mu \left(\frac{v_2^2}{R} + g \right) m \cdot \frac{2\pi R\alpha}{360^\circ} = -201.6 \text{ Дж} \approx -0.20 \text{ кДж}.$$

Тогда $|A_{\text{тр3}}| = 0.20 \text{ кДж}$.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 3.

№ варианта	L , м	α , °	μ	Ответ в диапазоне (пункт а)		Ответ в диапазоне (пункт б)		Ответ в диапазоне (пункт в)		Ответ в диапазоне (пункт г)	
1	100	10	0.04	18.3	18.7	16.1	16.3	335	337	0.12	0.28
2	110	10.5	0.04	19.7	20.1	17.5	17.7	392	394	0.16	0.32
3	120	11	0.04	21.1	21.5	18.8	19.0	454	456	0.20	0.36
4	130	11.5	0.04	22.4	22.9	20.1	20.3	520	522	0.24	0.40
5	140	12	0.04	23.8	24.2	21.4	21.6	590	592	0.30	0.46
6	100	12.5	0.05	20.5	20.9	18.0	18.2	334	336	0.29	0.45
7	110	13	0.05	21.9	22.3	19.4	19.6	387	389	0.35	0.51
8	120	13.5	0.05	23.3	23.8	20.7	20.9	443	445	0.42	0.58
9	90	14	0.05	20.6	21.0	18.4	18.6	347	349	0.35	0.51
10	80	14.5	0.05	19.7	20.1	17.7	17.9	322	324	0.34	0.50
11	100	15	0.06	22.4	22.9	19.7	19.9	334	336	0.54	0.70
12	110	10	0.06	19.2	19.6	15.6	15.8	209	211	0.21	0.37
13	120	10.5	0.06	20.6	21.0	16.9	17.1	245	247	0.26	0.42
14	130	11	0.06	21.9	22.4	18.2	18.4	285	287	0.32	0.48
15	140	11.5	0.06	23.3	23.7	19.5	19.7	327	329	0.39	0.55
16	100	12	0.07	20.1	20.5	16.4	16.6	198	200	0.36	0.52
17	110	12.5	0.07	21.5	21.9	17.8	18.0	232	234	0.43	0.59
18	120	13	0.07	22.9	23.3	19.1	19.3	268	270	0.51	0.67
19	130	13.5	0.07	24.3	24.7	20.4	20.6	306	308	0.60	0.76
20	140	14	0.07	25.7	26.1	21.8	22.0	347	349	0.71	0.87

Сириус.Курсы — для тех,
кто хочет знать больше!

