

Решение варианта 1

1. (12 баллов) Туристический лагерь находится на некотором расстоянии от железнодорожной станции. Между лагерем и станцией курсирует автобус. Он обычно приходит к приходу поезда, забирает приехавших на поезде туристов и, не задерживаясь на станции, отвозит их в лагерь. Однажды группа туристов приехала другим поездом и была на станции на $\tau = 2$ часа раньше, чем приходит автобус. Не дожидаясь автобуса, они пошли пешком и встретили выехавший за ними автобус. Они сели в автобус, который немедленно развернулся и повез их в лагерь. Группа приехала в лагерь на $\Delta t = 20$ минут раньше, чем если бы автобус встретил их на станции. Сколько времени туристы шли пешком? Скорости автобуса и туристов постоянны.

Возможное решение.

Рассмотрим графики движения туристов и автобуса. Нулевая координата соответствует координате лагеря, нулевое значение времени соответствует моменту "нормальной" отправки от станции. Введем обозначения: S – координата станции, x_0 – координата точки встреч автобуса и туристов, $t_{тур}$ – время пешего движения туристов, $t_{авт}$ – время движения автобуса от станции до лагеря, t' – время движения автобуса с туристами.

Из графика получим очевидные соотношения:

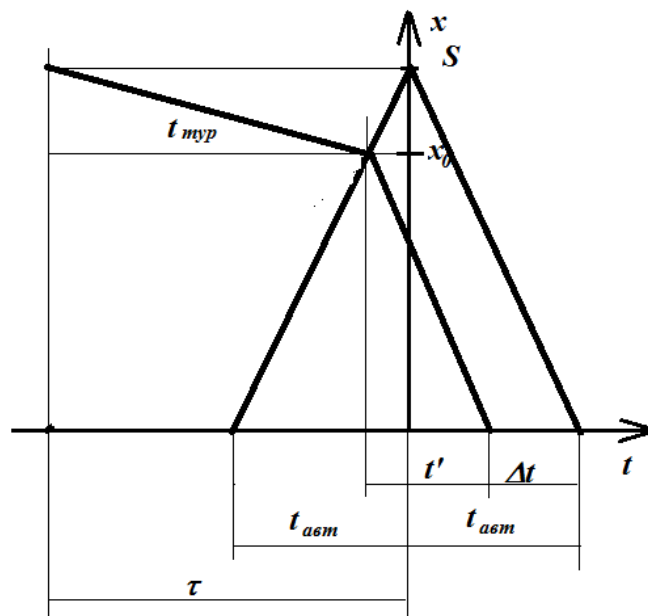
$$2t_{авт} - \Delta t = 2t'$$

$$\tau + t_{авт} = t_{тур} + t' - \Delta t.$$

Искомое время пешего движения туристов

$$t_{тур} = \tau - \frac{\Delta t}{2} = 110 \text{ минут}.$$

Ответ: $t_{тур} = \tau - \frac{\Delta t}{2} = 110$ минут.



Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Подготовлен график или записаны уравнения движения, соответствующие графику	4
Получены выражения для связи времен движения	4 (по 2 за каждое выражение)
Задание выполнено полностью, получен результат в виде числа	4
Всего баллов	12

2. (12 баллов) В теплоизолированном сосуде находится $M = 1$ кг льда при температуре $t_1 = -10$ °С. В калориметр впускают водяной пар массой $m = 5$ г при температуре $t_2 = 100$ °С. Какая масса воды в жидком состоянии будет находиться в калориметре после установления равновесного состояния? Теплоемкостью калориметра пренебречь. Удельная теплоемкость льда $c_{л} = 2060$ Дж/(кг·°С), удельная теплоемкость воды $c_{в} = 4183$ Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг, удельная теплота парообразования льда $r = 2,26$ МДж/кг.

Возможное решение.

Рассчитаем количество теплоты, выделившееся при конденсации пара, охлаждении образовавшейся воды до температуры плавления и кристаллизации:

$$Q_1 = m[r + c_{\text{в}}(t_{\text{к}} - t_{\text{пл}}) + \lambda] = 0,005 \cdot (2260000 + 4183 \cdot 100 + 330000) \approx 15 \text{ кДж}$$

Рассчитаем количество теплоты, необходимое для нагрева льда до температуры плавления:

$$Q_2 = c_{\text{л}}M(t_{\text{пл}} - t_1) = 2060 \cdot 1 \cdot 10 = 20,6 \text{ кДж}$$

Мы видим, что при конденсации пара, охлаждении образовавшейся воды до температуры плавления и кристаллизации выделится количество теплоты, недостаточное для нагревания льда до температуры плавления. Это значит, что в калориметре после установления теплового равновесия будет находиться только лед.

Ответ: в калориметре не будет воды в жидком состоянии.

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Рассчитано количество теплоты Q_1	4
Рассчитано количество теплоты Q_2	4
Сделан вывод и сформулирован ответ	4
Всего баллов	12

3. (16 баллов) На весах стоит сосуд с водой. В него, не касаясь дна и стенок, опускают на тросе медный брусок. Вода из сосуда не выливается. Показания весов увеличились на 10 Н. Какова масса бруска? Плотность меди 8900 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 .

Возможное решение.

При погружении бруска на него со стороны жидкости действует сила Архимеда. Со стороны бруска на жидкость по 3 закону Ньютона действует сила давления, равная по модулю силе Архимеда. По закону Паскаля сила давления на дно сосуда увеличивается также на значение силы Архимеда. Показания весов увеличатся на

$$\Delta F = \rho_{\text{в}} g V = \rho_{\text{в}} g \frac{m}{\rho_{\text{м}}}$$

Масса бруска равна

$$m = \frac{\Delta F \rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{в}} g} = 8,9 \text{ кг}$$

Ответ: $m = \frac{\Delta F \rho_{\text{м}}}{\rho_{\text{в}} g} = 8,9 \text{ кг}$.

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Установлено, что сила давления на дно сосуда увеличится на значение силы Архимеда	5
Записано выражение для силы Архимеда	5
Получен результат в общем виде	4
Задание выполнено полностью, получен результат в виде числа	2
Всего баллов	16

4. (20 баллов) Свинцовый шарик объемом 0,3 мл опускается в вязкой жидкости с постоянной скоростью 6,5 м/с. Сила вязкого трения прямо пропорциональна скорости шарика. Коэффициент пропорциональности равен 0,004 Н·с/м. Во сколько раз плотность жидкости меньше плотности свинца? Плотность свинца 11340 кг/м³.

Возможное решение.

Запишем уравнение динамики движения шарика в жидкости:

$$v\rho_{\text{шар}}g = v\rho_{\text{ж}}g + kV$$

Разделим обе части уравнения на плотность шарика:

$$vg = vg \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{шар}}} + \frac{kV}{\rho_{\text{шар}}}$$

Решим уравнение относительно $\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{шар}}}$.

$$\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{шар}}} = 1 - \frac{kV}{vg\rho_{\text{шар}}} = 1 - \frac{0,004 \cdot 6,5}{0,3 \cdot 10^{-6} \cdot 10 \cdot 11340} \approx 0,236$$

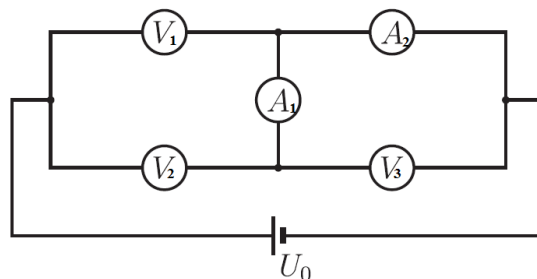
Рассчитаем обратное отношение, равное 4,24.

Ответ: 4,24

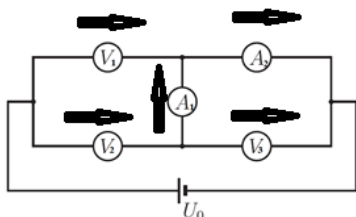
Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Записано уравнение движения шарика	7
Получено решение для обратного отношения плотностей	7
Задание выполнено полностью, получен результат в виде числа	6
Всего баллов	20

5. (20 баллов) К источнику напряжения, имеющему нулевое внутреннее сопротивление, подключена цепь, состоящая из неидеальных вольтметров и амперметров. Напряжение на клеммах источника равно U_0 . Показания одного из амперметров отличаются от показаний другого в 3 раза. Сопротивления вольтметров одинаковы и больше, чем сопротивления амперметров (они тоже одинаковые). Определите показание вольтметра V_1 .



Возможное решение.



Поскольку сопротивления вольтметров одинаковы и больше, чем сопротивления амперметров, мы можем предположить (дальнейшее решение показывает справедливость этого предположения), что ток через амперметр A_2 больше, чем через A_1 . Выберем нулевой потенциал на левой по схеме клемме источника напряжения. Направления токов показаны на схеме

стрелками. Обозначим ток через амперметр A_1 через I . Потенциал верхней по схеме клеммы амперметра A_1 будет равен

$$\varphi_1 = 3IR_A.$$

Потенциал нижней по схеме клеммы амперметра A_1 будет равен

$$\varphi_2 = \varphi_1 + IR_A = 4IR_A.$$

Напряжение на первом вольтметре будет равно

$$U_1 = U_0 - \varphi_1 = U_0 - 3IR_A.$$

Напряжение на втором вольтметре будет равно

$$U_2 = U_0 - \varphi_2 = U_0 - 4IR_A = I_{V2}R_V$$

Учитывая, что суммарное напряжение на цепочке резисторов равно сумме напряжений на элементах цепочки, можем дополнительно составить следующие уравнения:

$$U_0 = I_{V2}R_V + I_{V3}R_V$$

$$U_1 = IR_A + I_{V2}R_V.$$

Анализ этих уравнений показывает, что

$$R_V = 5R_A.$$

Учитывая, что

$$U_1 = I_{V1}R_V = 10IR_A,$$

получаем

$$U_1 = \frac{10U_0}{13}.$$

Ответ: $U_1 = \frac{10U_0}{13}$.

Критерии оценивания

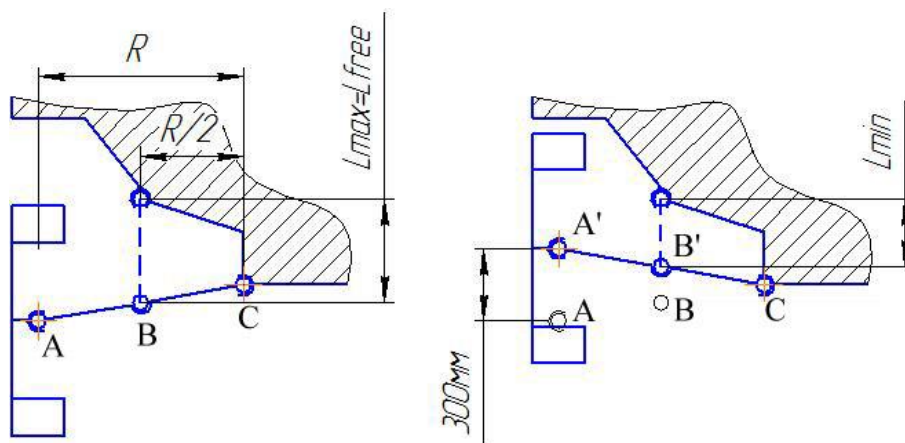
Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Сделаны предположения о соотношении токов	3
Выбрана точка нулевого потенциала и направления токов	3
Записаны выражения для потенциалов точек 1 и 2	2
Записаны уравнения для напряжений, указанные в данном решении или составлена система уравнений по правилам Кирхгофа	4 (по 1 баллу за каждое уравнение)
Получено соотношение между сопротивлениями приборов	4
Получен окончательный результат	4
Всего баллов	20

Заключительный (очный) этап академического соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.
9 класс

Ситуационная задача

Вариант 4

Автомобиль массой 1600 кг оснащен независимой подвеской всех четырех колес. Полный ход подвески в точке крепления колеса (A→A') составляет 30 см. Пружины (обозначены на рисунке пунктиром) жесткостью 300 кН/м размещены на половине длины рычага подвески и в нижнем положении рычага (ABC) полностью расслаблены, положении рычага (A'B'C) соответствует сжатым пружинам подвески, точка C – ось вращения рычага. Передняя подвеска несет 60% массы автомобиля.



Со ступени какой максимальной высоты может прыгнуть автомобиль, не опасаясь повредить подвеску?

Решение:

При прыжке со ступени подвеска полностью распрямляется. В этот момент автомобиль имеет запас потенциальной энергии, равный

$$E_{\text{птнц}} = Mgh,$$

где h – высота ступени. По мере падения и приземления эта энергия преобразуется сперва в кинетическую энергию, а затем в потенциальную энергию сжатой пружины. Условием безопасного приземления является полное исчерпание вертикальной скорости к моменту максимально допустимого обжатия пружин, то есть переход всей потенциальной энергии автомобиля в энергию сжатой пружины. Потенциальная энергия сжатой пружины может быть записана как

$$E_{\text{spring}} = \frac{kx^2}{2}.$$

Приравняв уравнения получим:

$$Mgh = \frac{kx^2}{2},$$

откуда

$$h = \frac{kx^2}{2Mg}$$

Из подобия треугольников $\frac{AA'}{BB'} = \frac{R}{R/2} = 2$, тогда максимально допустимая деформация пружин 0,15 м. Учитывая массу автомобиля, приходящуюся на одно колесо (передней подвески, т.к. на неё приходится большая часть массы), получим:

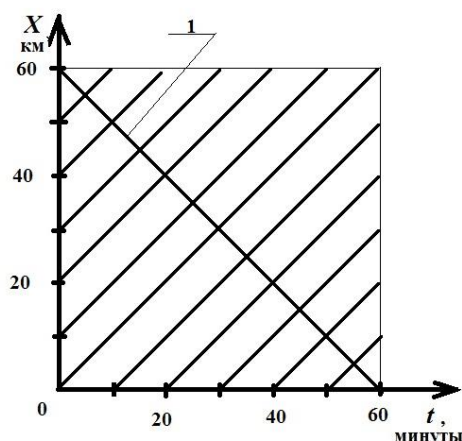
$$h = \frac{kx^2}{0,6Mg} = \frac{300000 \cdot 0,15^2}{0,6 \cdot 1600 \cdot 9,81} = 0,71 \text{ м.}$$

Решение варианта 2

1. (12 баллов) Между городами А и Б расстояние 60 км. Каждые 10 минут из города А в город Б выходит автобус и едет со скоростью 60 км/час. Один из автобусов, доехавших до города Б, отправился обратно в город А в тот же момент времени, когда начал двигаться очередной автобус из А в Б. Сколько автобусов, едущих из А в Б, встретит автобус, едущий обратно?

Возможное решение.

Для решения задачи целесообразно воспользоваться графическим методом. Линия 1 – это график зависимости координаты автобуса, едущего обратно, от времени. Остальные линии – графики зависимостей координат автобусов, едущих из А в Б. Из графиков видно, что по пути автобус повстречает 11 автобусов и еще по одному автобусу при выезде из Б и въезде в А. Всего он встретит 13 автобусов.



Ответ: 13 автобусов.

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Нарисован график движения автобуса из Б в А	4
Нарисованы графики движения встречных автобусов	4
Задание выполнено полностью, получен результат в виде числа	4
Всего баллов	12

2. (12 баллов) В сосуде смешиваются три жидкости массами m_1 , m_2 и m_3 . Удельные теплоемкости жидкостей соответственно равны c_1 , c_2 , c_3 . Определите удельную теплоемкость полученной смеси c .

Возможное решение.

Суммарное количество теплоты, необходимое для изменения температуры на ΔT , равно

$$Q = (c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3) \Delta T.$$

По определению удельной теплоемкости

$$c = \frac{Q}{m \Delta T}.$$

Следовательно,

$$c = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3) \Delta T}{(m_1 + m_2 + m_3) \Delta T} = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3)}{(m_1 + m_2 + m_3)}.$$

Ответ: $c = \frac{(c_1 m_1 + c_2 m_2 + c_3 m_3)}{(m_1 + m_2 + m_3)}.$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Показано, что суммарное количество теплоты, полученное системой, складывается из количеств теплоты, полученных частями системы	4
Применено определение удельной теплоемкости	4
Задание выполнено полностью	4
Всего баллов	12

3. (16 баллов) На весах стоит сосуд с водой. В него, не касаясь дна и стенок, опускают на тросе медный брусок массой 8,9 кг. Вода из сосуда не выливается. На сколько изменятся показания весов? Плотность меди 8900 кг/м³, плотность воды 1000 кг/м³.

Возможное решение.

При погружении бруска на него со стороны жидкости действует сила Архимеда. Со стороны бруска на жидкость по 3 закону Ньютона действует сила давления, равная по модулю силе Архимеда. По закону Паскаля сила давления на дно сосуда увеличивается также на значение силы Архимеда. Показания весов увеличатся на

$$\Delta F = \rho_{\text{в}} g V = \rho_{\text{в}} g \frac{m}{\rho_{\text{м}}} = 10 \text{ Н}$$

Ответ: $\Delta F = \rho_{\text{в}} g \frac{m}{\rho_{\text{м}}} = 10 \text{ Н}$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Установлено, что сила давления на дно сосуда увеличится на значение силы Архимеда	5
Записано выражение для силы Архимеда	5
Получен результат в общем виде	4
Задание выполнено полностью, получен результат в виде числа	2
Всего баллов	16

4. (20 баллов) Угол наклона наклонной плоскости $\alpha = 30^\circ$. С наклонной плоскости без начальной скорости соскальзывает тело. На первых $k=1/3$ пути коэффициент трения $\mu_1 = 0,5$. Определите коэффициент трения μ_2 на оставшемся отрезке пути, если у основания наклонной плоскости скорость тела равна нулю.

Возможное решение.

В конце первой части пути скорость тела равна

$$V = \sqrt{2kSg(\sin \alpha - \mu_1 \cos \alpha)},$$

где S – длина наклонной плоскости; g – ускорение свободного падения.

Эта же скорость будет в начале второго участка пути и может быть выражена следующим образом:

$$V = \sqrt{2(k-1)Sg(\mu_2 \cos \alpha - \sin \alpha)}.$$

Приравнявая подкоренные выражения, получим

$$\mu_2 = (\text{tg} \alpha - k\mu_1)/(1 - k) = 0,62.$$

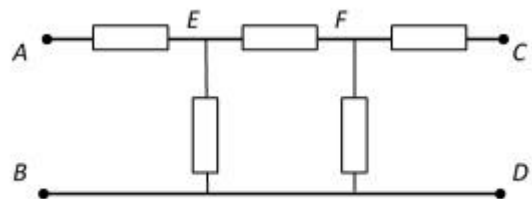
$$\mu_2 = \frac{tg\alpha - k\mu_1}{1 - k} \approx 0,62.$$

Ответ: $\mu_2 = \frac{tg\alpha - k\mu_1}{1 - k} \approx 0,62.$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Записано выражение для скорости в конце первого участка	6
Записано выражение для скорости в начале второго участка	6
Получен результат в общем виде	5
Задание выполнено полностью, получен результат в виде числа	3
Всего баллов	20

5. (20 баллов) Все резисторы цепи, изображенной на рисунке, имеют одинаковое сопротивление R . К точкам A и B подключена батарея напряжением U . Что покажет идеальный вольтметр, если его присоединить к точкам C и D ? Внутренним сопротивлением батареи пренебречь.



Возможное решение.

Идеальный вольтметр имеет бесконечное сопротивление, поэтому ток по участку FC протекать не будет, а значит, напряжения между точками $C - D$ и $F - D$ равны. Рассчитаем это напряжение. Ток между точками $A - C$ равен

$$I = \frac{U}{R + \frac{2R^2}{3R}} = \frac{3U}{5R}.$$

Напряжение между точками $E - D$ равно

$$U_{ED} = \frac{2R^2}{3R} I = \frac{2}{3} IR = \frac{2}{5} U.$$

Ток по цепи $E - F - D$ равен

$$I' = \frac{U_{ED}}{2R} = \frac{U}{5R}.$$

Напряжение на участке $F - D$ (которое и покажет вольтметр) равно

$$U_{FD} = I' R = \frac{U}{5}.$$

Ответ: $U_{FD} = \frac{U}{5}.$

Критерии оценивания

Выполнение	Балл
Участник не приступал к заданию или выполнил его с самого начала неверно	0
Установлено равенство напряжений на участках $C - D$ и $F - D$	4
Записано выражение для входного тока	4
Записано выражение для напряжения $E - D$	4
Получено выражение для тока по цепи $E - F - D$	4
Записано выражение для искомого напряжения $F - D$	4
Всего баллов	20

**Заключительный (очный) этап академического соревнования
Олимпиады школьников «Шаг в будущее»
по общеобразовательному предмету «физика», весна 2020 г.
9 класс**

Ситуационная задача

Вариант 6

Скорость падения капель составляет $U=5$ м/с, а скорость выпадения осадков составляет 30 мм/час. Сила аэродинамического сопротивления равна $X = C_x S_{\text{попер}} \frac{\rho U^2}{2}$, где коэффициент аэродинамического сопротивления сферы малого размера $C_x=0,5$, S – площадь поперечного сечения капли, $\rho=1,15$ кг/м³ – плотность воздуха, U – скорость набегающего воздушного потока. Определите количество капель дождя в кубическом метре воздуха.

Решение:

На падающую каплю действуют две силы:

Сила тяжести $G=m \cdot g$

Сила сопротивления воздуха $X = C_x S_{\text{попер}} \frac{\rho U^2}{2}$. Выразив массу капли через диаметр и плотность воды, а площадь поперечного сечения через диаметр и приравняв обе силы получим:

$$\frac{\pi D^3}{6} \rho_w g = \frac{\pi D^2}{4} C_x \frac{\rho U^2}{2}, \text{ где } \rho_w - \text{плотность воды}$$

Отсюда найдем диаметр капли: $D = \frac{3C_x \rho U^2}{4\rho_w g} = 0,0011 \text{ м}$

Скорость выпадения осадков в пересчете на секунду составляет

$$h = \frac{H}{3600} = 8,3 \cdot 10^{-6} \text{ м/с}$$

а массовая скорость выпадения осадков равна

$$\Delta m = \Delta V \rho_w = h \cdot S_1 \cdot \rho_w = 8,3 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 1000 = 8,3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/с}$$
$$S_1 = 1 \text{ м}^2$$

Поделив секундную массу падающих на землю капель на массу капли найдем количество капель, падающих в секунду на землю:

$$m_k = \frac{\pi D^3}{6} \rho_w = 6,95 \cdot 10^{-7} \text{ кг}$$
$$n = \frac{\Delta m}{m_k} = \frac{8,3 \cdot 10^{-3}}{6,95 \cdot 10^{-7}} = 11990 \text{ шт/с}$$

Так как скорость падения капель равна 5 м/с, то за секунду на землю выпадает «столб» капель высотой 5м. Значит в одном кубометре содержится 1/5 указанного выше количества капель, а именно 2398 шт.

$$n' = \frac{N}{V} = \frac{n\tau}{V} = \frac{n \frac{l}{U}}{V} = \frac{n \frac{V}{S_1 U}}{V} = \frac{n}{S_1 U} = \frac{11990}{1 \cdot 5} = 2398 \text{ шт}$$