



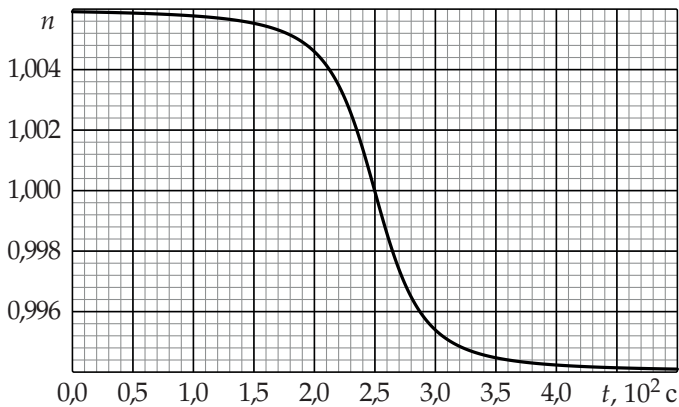
## Условия задач, авторские решения и критерии оценивания

### 1. Частота ультразвука (10 баллов)

Крюков П. А.

**1а.** (2 балла) Источник ультразвуковых импульсов движется по прямой со скоростью  $v$  навстречу неподвижному приёмнику, располагающемуся на той же прямой. Источник излучает короткие импульсы с частотой  $f_0$ . С какой частотой  $f$  их принимает приёмник? Как изменится ответ, если источник будет удаляться от приёмника? Скорость распространения ультразвука равна  $c$ , при этом  $c \gg v$ .

На дне моря установлен ультразвуковой детектор. Судно движется прямолинейно с постоянной скоростью  $v$ , проходя в некоторый момент времени прямо над детектором. На судне установлен источник ультразвуковых импульсов, излучающий их с частотой  $f_0$  с одинаковой интенсивностью в любом направлении. Детектор принимает импульсы с частотой  $f$ , отличной от частоты излучаемых импульсов. Обозначим  $n = \frac{f}{f_0}$  отношение этих частот. На рисунке, представленном ниже, показан фрагмент зависимости отношения  $n$  от времени при движении судна. Скорость ультразвука в воде равна 1500 м/с.



**1б.** (8 баллов) Чему равна скорость судна? На какой глубине располагается детектор?

*Указание.* При решении задачи могут оказаться полезными следующие приближённые формулы, справедливые при малых значениях  $x$  ( $|x| \ll 1$ )

$$\sin x \approx x, \quad \cos x \approx 1 - \frac{x^2}{2}, \quad \frac{1}{1+x} \approx 1 - x.$$

**Ответ:** **1а.**  $f = \frac{f_0}{1 \mp \frac{v \cos \theta}{c}}$ . **1б.**  $v = (9,0 \pm 0,3)$  м/с,  $h = \left| \frac{v^2 \tau}{c \Delta n} \right| = (410 \pm 50)$  м.

## Критерии

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения.

Поскольку справедливо сильное неравенство  $\frac{v}{c} \ll 1$  в пункте 1а верными считаются обе формулы:  $f = \frac{f_0}{1 \mp \frac{v}{c}}$  и  $f = f_0 \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$ . Если в пункте 1а ответ неверный, однако это является следствием только вычислительных ошибок, то выставляется 1 балл за этот пункт. Аналогично, если ошибка допущена в знаке (вследствие невнимательности или не очень правильных рассуждений), то выставляется 1 балл за этот пункт.

Ответы на вопросы пункта 1б оцениваются из расчёта 3 балла за первый вопрос и 5 баллов за второй. Верными считаются значения, попадающие в диапазоны, указанные в ответе. Если с физической точки зрения решение правильное, однако вследствие вычислительных ошибок получен неверный ответ, то в этом случае за ответ на первый вопрос выставляется 1,5 балла, а за ответ на второй — 3 балла. Если получены правильные формулы, числовые расчёты также сделаны правильно, однако найденное значение не попадает в диапазон, указанный в ответе, то выставляется 2 балла за ответ на первый вопрос и 4 балла за ответ на второй.

Во всех остальных случаях промежуточные результаты оцениваются по следующей схеме.

В той или иной форме высказывается мысль о том, что при значениях  $t$ , близких к нулю или очень больших можно пренебречь зависимостью от угла в формуле для эффекта Доплера — 1 балл.

При ответе на второй вопрос в пункте 1б предлагается рассмотреть моменты времени вблизи  $t_0 = 250$  с — 1 балл.

При ответе на второй вопрос в пункте 1б показывается, что коэффициент наклона касательной к графику функции  $n(t)$  в точке  $t_0$  равен по абсолютной величине  $\frac{v^2}{hc}$  ( $h$  — искомая глубина) — 1,5 балла.

**2. Пошла на дно (6 баллов)****Бычков А. И.**

В бутылку с достаточно толстыми стенками вместимостью  $V = 700$  мл наливают некоторое количество воды. Прикрыв горлышко пальцем, бутылку переворачивают вверх дном, погружают в ведро с водой и убирают руку. Бутылка плавает, сохраняя вертикальное положение. Над поверхностью воды выступает часть бутылки объёмом  $\Delta V = 15$  мл. Ведро с бутылкой выносят из комнаты, температура воздуха в которой равна  $t_0 = 25$  °С, на мороз. Можно считать, что в процессе охлаждения воздух, находящийся внутри бутылки, сжимается, и его объём изменяется по закону  $V = V_0(1 + \alpha(t - t_0))$ , где  $V_0$  — объём воздуха при температуре  $t_0$ ,  $\alpha$  — коэффициент, равный  $3,6 \cdot 10^{-3}$  1/°С. Найдите температуру воздуха внутри бутылки в тот момент, когда бутылка полностью погрузится в воду. Масса бутылки равна 300 г, плотность материала, из которого она изготовлена,  $\rho = 2600$  кг/м<sup>3</sup>, плотность воды  $\rho_0 = 1000$  кг/м<sup>3</sup>.

**Ответ:**  $t \approx 4,2$  °С.**Критерии**

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения. Промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

Найден общий объём бутылки (или объём материала, из которого сделана бутылка) — 1 балл.

Записано условие равновесия для бутылки с водой, находящейся в ней, или другое уравнение, с помощью которого можно найти объём воздуха, содержащийся в бутылке, — 2,5 балла.

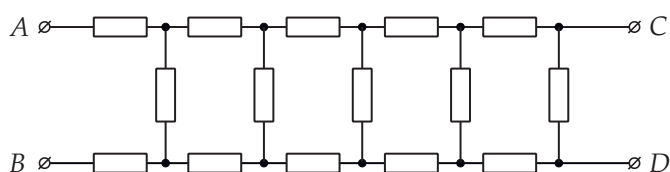
Найден объём воздуха в бутылке — 1,5 балла.

Найдена искомая температура воздуха — 1 балл.

Если верный ответ не был получен только вследствие вычислительных ошибок, то за всю задачу выставляется 5 баллов.

**3. Цепь из нескольких звеньев (8 баллов)****Бычков А. И.**

Электрическая цепь, показанная на рисунке, составлена из пяти одинаковых звеньев, в каждом из которых содержится три одинаковых резистора сопротивлением  $R$ .



Выводы  $A$  и  $D$ , а также  $C$  и  $B$  соединяют проводниками пренебрежимо малого сопротивления попарно.

Определите сопротивление между точками  $A$  и  $B$  обротовавшейся цепи.

**Ответ:**  $R_{AB} = \frac{2U_0}{I} = \frac{19R}{33}$ .**Критерии**

Правильный ответ, подкреплённый непротиворечивыми, доказательными рассуждениями, оценивается полным баллом, даже если решение отличается от авторского.

Если с физической точки зрения рассуждения полностью верные, но правильный ответ не получен из-за вычислительных ошибок — 7 баллов за всю задачу.

Если с физической точки зрения рассуждения верные, но правильный ответ не получен из-за ошибки в физической формуле — 4 балла.

Во всех других случаях промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

В том или ином виде высказываются разумные мысли об использовании при решении симметрии цепи — 1 балл.

Указываются узлы с равными потенциалами или приведено правильное распределение токов, учитывающее симметрию цепи, (но сами токи не найдены) — 1 балл.

Правильное применение законов Кирхгофа или метода узловых потенциалов, приводящее к замкнутой системе уравнений — 3 балла.

**4. Столкновения на плоскости (8 баллов)**

На расстоянии  $L = 10$  см друг от друга на достаточно протяжённой наклонной плоскости, составляющей угол  $\alpha = 30^\circ$  с горизонталью, удерживаются два абсолютно одинаковых бруска. В момент времени  $t = 0$  бруски освобождают и они начинают двигаться. Величины, относящиеся к верхнему в начальный момент бруску, далее помечаем индексом 1, а относящиеся к нижнему индексом 2. Обозначим  $v_1(t)$  и  $v_2(t)$  скорости брусков в момент времени  $t$ . Коэффициенты трения о плоскость равны  $\mu_1 = \frac{\sqrt{3}}{6}$  и  $\mu_2 = \frac{\sqrt{3}}{3}$ . Ускорение свободного падения считается равным  $10$  м/с<sup>2</sup>. Размеры брусков пренебрежимо малы, столкновения между ними являются абсолютно упругими.

**4а.** (4 балла) Для первой секунды движения изобразите графики зависимостей  $v_1(t)$  и  $v_2(t)$ . В какие моменты времени происходят столкновения брусков?

**4б.** (4 балла) Какое расстояние проходит первый брусок (верхний в исходной конфигурации) к моменту  $n$ -го столкновения?

**Ответ:** **4а.**  $t_1 = \sqrt{\frac{8L}{g}} \approx 0,28$  с,  $t_k = \sqrt{\frac{8L}{g}}(2k-1)$ . **4б.**  $S_n = L(2n^2 - 2n + 1)$ .

### Критерии

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения.

Если ответ на задание пункта 1а не содержит график или если график построен неверно, при том, что всё остальное сделано правильно, то оценка за этот пункт снижается на 1 балл. Если даны неверные ответы, но это является следствием только вычислительных ошибок, то ответ за этот пункт снижается на 1 балл. Если решение содержит только отдельные верные соображения, при этом в решении допущены принципиальные ошибки или ответ не получен, то выставляется 1 балл за этот пункт.

Если в пункте 1b получен неверный ответ, но только вследствие вычислительных ошибок, допущенных при ответе на вопросы пункта 1а (например, неверно найдены члены последовательности скоростей), то оценка за пункт 1b не снижается.

Если в пункте 1b получен неверный ответ, но только вследствие вычислительных ошибок, то оценка за этот пункт снижается на 1 балл.

Если в пункте 1b получен неверный ответ или ответ не получен, при этом решение содержит принципиальные ошибки или не окончено, при этом решение содержит верный вывод формулы для  $L_n$ , то выставляется 2 балла за этот пункт. Оценка не снижается, если неверная формула для  $L_n$  является следствием только неверных ответов в пункте 1а.

### 5. Определите по фотографии (10 баллов) Бычков А. И.

На стробоскопической фотографии (см. рисунок) можно видеть положение движущегося в поле тяжести земли мяча, сталкивающегося с горизонтальной поверхностью, в разные моменты времени. Промежутки времени между двумя последовательными вспышками стробоскопической лампы одинаковы. Фотография инвертирована (чёрный цвет изменён на белый, белый заменён на чёрный), сетка наложена в графическом редакторе позже для удобства расчётов. Столкновения мяча с горизонтальной поверхностью нельзя считать упругими, в процессе столкновения кинетическая энергия поступательного движения мяча уменьшается.

**5а.** (2 балла) Далее везде в этой задаче мы предполагаем, что сила сопротивления воздуха пренебрежимо мала. Изучив фотографию, кратко объясните, насколько справедливо наше предположение?

**5б.** (2 балла) Найдите отношение  $\frac{v_1}{v_3}$ , где  $v_1$  и  $v_3$  — скорости мяча в наивысшей точке траектории после

первого и третьего ударов о поверхность соответственно.

**5с.** (3 балла) Определите как можно точнее угол между скоростью мяча сразу после первого столкновения и горизонтом.

**5д.** (3 балла) Во сколько раз изменяется кинетическая энергия мяча в процессе второго столкновения с поверхностью?

**Ответ:** **5б.**  $\frac{v_1}{v_3} = \frac{t_1}{t_3} \cdot \frac{t_3}{t_1} \approx 1,0 \pm 0,1$ . **5с.**  $\alpha_1 \approx 81^\circ \pm 3^\circ$ .

**5д.**  $\frac{E_2}{E_1} = 0,75 \pm 0,15$ .

### Критерии

Верные, обоснованные ответы на вопросы задачи оцениваются полным баллом при любом способе решения. Промежуточные результаты, полученные в процессе решения, оцениваются по следующей схеме.

В пункте 1а любое непротиворечивое, доказательное объяснение оценивается полным баллом.

В пункте 5б предложен правильный с физической точки зрения способ определения отношения  $\frac{v_1}{v_3}$  — 1 балл. Получено значение, попадающее в диапазон, указанный в ответе — 1 балл.

В пункте 5с предложен правильный способ определения  $\text{tg } \alpha_1$ , дающий результат с небольшой относительной погрешностью ( $< 10\%$ ), — 2 балла. Получено значение угла, попадающее в диапазон, указанный в ответе, — 1 балл.

В пункте 5д предложен верный способ нахождения полной скорости мяча непосредственно перед вторым столкновением — 1 балл. Найдены значения  $\frac{v_2}{v_1}$  и  $\text{tg } \alpha_2$ , где  $v_2$  — скорость мяча в наивысшей точке траектории после второго столкновения,  $\alpha_2$  — угол между скоростью мяча сразу после второго столкновения и горизонталью, — 1 балл. Получено искомое значение, попадающее в диапазон, указанный в ответе — 1 балл.