



## Условия задач, ответы, критерии оценивания

### 1. Вычисление скорости света (8 баллов), Рёмер О. К.

Первая оценка скорости света была дана Рёмером в 1675 году. Изучая движение Ио (спутника Юпитера), он получил значение близкое к 220000 км/с. Орбита Ио расположена в плоскости орбиты Земли, поэтому спутник периодически исчезает в тени Юпитера. Интервал между двумя последовательными появлениями Ио из тени Юпитера в среднем равен 42,5 ч. Однако, согласно современным исследованиям при различных положениях Солнца, Земли и Юпитера этот интервал может отклоняться от среднего значения не более, чем на 16 с в большую или меньшую сторону. По представленным данным определите скорость света, если расстояние от Земли до Солнца составляет  $1,5 \cdot 10^8$  км. Можно считать, что орбитальная скорость Юпитера вокруг Солнца намного меньше, чем у Земли.

Ответ:  $c = (2,86 \pm 0,1) \cdot 10^8$  м/с.

### Распределение баллов и рекомендации по оценке решений

Получен ответ, который лежит в диапазоне  $c = (2,86 \pm 0,1) \cdot 10^8$  м/с, и приведено аргументированное решение — **8 баллов**.

Если ответ неполный или ошибочный, но решение содержит промежуточные результаты, перечисленные ниже, то распределение баллов следующее (баллы за отдельные результаты суммируются).

1) Высказано соображение, что расстояние  $L$  между Землей и Юпитером изменяется в течение каждого цикла Ио — **1 балл**.

2) Указано, что быстрее всего  $L$  изменяется, когда скорость Земли направлена вдоль линии, соединяющей Землю и Юпитер (или линия, соединяющая эти две планеты, касается орбиты Земли) — **3 балла**.

3) Выписано выражение в общем виде или найдено численное значение угловой скорости вращения Земли вокруг Солнца — **2 балла**.

4) Найдено  $\Delta L$  соответствующее случаю, описанному в пункте 2, за один цикл Ио — **1 балл**.

## 2. Делитель Кельвина-Варлея (10 баллов), Варлей К. Ф., Томсон У.

На рис. 1 изображена схема делителя напряжения Кельвина-Варлея. Сопротивления резисторов одного столбца (столбцы показаны пунктиром) — одинаковые, в разных столбцах — разные сопротивления. Если на выводы  $A$  и  $B$  подать постоянное напряжение  $U_0$ , то на выводах  $C$  и  $D$  напряжение будет равно  $U_1 = \alpha U_0$ , где значение коэффициента  $\alpha$  ( $0 < \alpha < 1$ ) зависит от положения контактов, обозначенных чёрными стрелками. Изменяя положение контактов, значение коэффициента  $\alpha$  можно подобрать с точностью до одной десятичной. Между соседними контактами (во всех столбцах кроме последнего) всегда должна быть одна свободная клемма. Для положения контактов, показанного на рисунке чёрными стрелками,  $\alpha = 0,2073$ . Если изменить положение контактов во втором столбце так, как показано светло-серыми стрелками, коэффициент умножения станет равен  $\alpha = 0,2573$ . Положение контактов в первом столбце определяет цифру в разряде десятых в значении коэффициента  $\alpha$ , во втором — цифру в разряде сотых и так далее. Считая известным сопротивление  $R$  резисторов в последнем столбце, определите сопротивления резисторов в остальных столбцах. При каком положении контактов коэффициент  $\alpha$  будет равен  $\alpha_0 = 0,2019$ ?

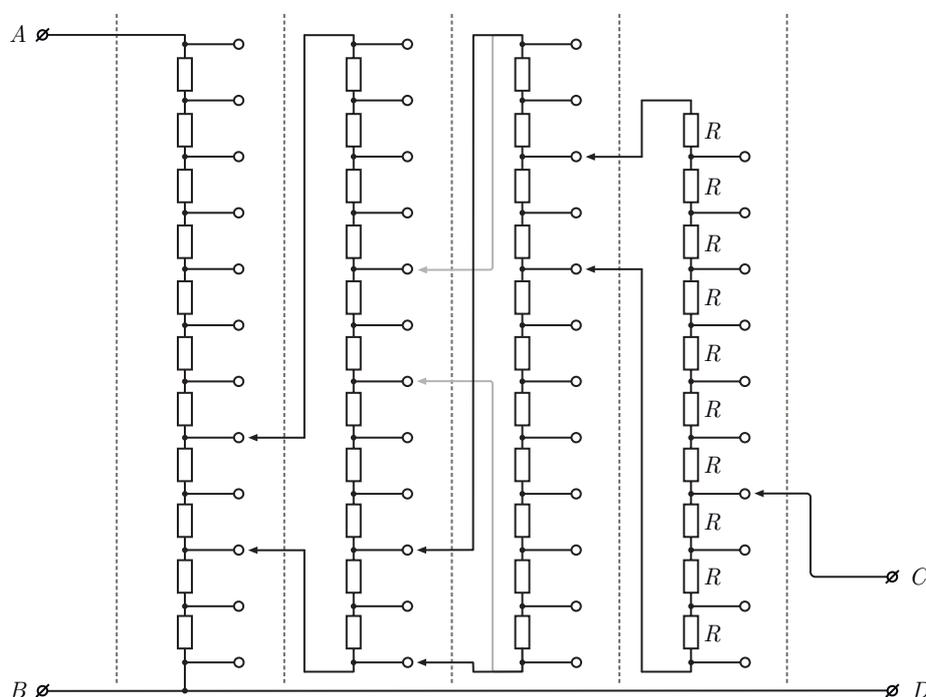


Рис. 1

**Ответ:** Сопротивление резисторов предпоследнего столбца равно  $R_1 = 5R$ , сопротивление резисторов во втором столбце равно  $R_2 = 25R$ , сопротивление резисторов в первом столбце равно  $R_3 = 125R$ . Чтобы получить  $\alpha_0 = 0,2019$  следует контакты в предпоследнем столбце сместить вниз на 6 клемм, а контакт в последнем столбце сместить вверх на 5 клемм относительно положения, обозначенного на рисунке чёрными стрелками. Контакты в первом и втором столбце остаются на своих местах.

### Распределение баллов и рекомендации по оценке решений

1) Если участник любым образом пришёл к пониманию того факта, что сопротивления разных столбцов относятся, как  $1 : 5 : 25 : 125$ , и дал правильный ответ — **7 баллов**.

В решении возможны разные варианты рассуждений. Решение оценивается на усмотрение проверяющего с учётом следующих соображений.

а) Предлагается рассмотреть сначала последний столбец (как делитель до десятых), затем два последних и так далее — **2 балла**.

б) Указано (подобно тому, как в приведённом решении), что сопротивление параллельного соединения  $2R_1$  и  $10R$  должно быть равно  $R_1$  — **3 балла**.

с) Получено равенство  $R_1 = 5R$  — **2 балла**.

2) Если участник объяснил, как надо переместить контакты, чтобы получился коэффициент  $\alpha_0 = 0,2019$  — **3 балла**.

**3. Паровая плёнка и пузырьковое кипение** (10 баллов), Крюков П. А.

Стальной шарик ( $m = 110$  г,  $R = 1,5$  см,  $c = 500$  Дж/кг $^{\circ}$ С), нагретый до температуры  $T_1 = 500^{\circ}$ С, лежит на теплоизолирующей подставке в прозрачном сосуде, который заполняют дистиллированной водой ( $m_0 = 0,4$  кг,  $T_0 = 20^{\circ}$ С), так что шарик оказывается примерно в середине столба воды. Наблюдается интересное явление. Вокруг шарика очень быстро образуется тонкая паровая плёнка, после этого некоторое время толщина плёнки остаётся постоянной, равной  $d = 0,5$  мм, образование пузырьков пара (как при кипении) не наблюдается, теплообмен между водой и шариком происходит через плёнку. В момент, когда температура шарика уменьшается до  $T_2 = 250^{\circ}$ С, плёнка «срывается» — и в жидкости вблизи шарика начинается бурное кипение, которое продолжается до тех пор, пока температура шарика не уменьшится до  $T_k = 100^{\circ}$ С. Можно считать, что в процессах образования плёнки и пузырькового кипения всё количество теплоты, отданное шариком, идёт на испарение воды, но треть пара во всплывающих пузырьках (образовавшихся при кипении) конденсируется. Теплообменом с окружающей средой и теплоизолирующей подставкой, а также нагревом пара можно пренебречь. Определите температуру воды к моменту окончания теплообмена между шариком и водой. Удельная теплоёмкость и теплота испарения воды равны  $c_0 = 4200$  Дж/кг $^{\circ}$ С и  $L = 2,2 \cdot 10^6$  Дж/кг. Средняя плотность пара равна  $\rho \approx 0,6$  кг/м $^3$ . Объём шара радиусом  $R$  определяется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .

Ответ: 32,1 $^{\circ}$ С.

**Распределение баллов и рекомендации по оценке решений**

Получен правильный ответ, попадающий в диапазон  $32,1 \pm 0,2^{\circ}$ С и даны непротиворечивые, доказательные объяснения, приводящие к ответу — **10 баллов**.

1) Записано уравнение теплового баланса, в котором учитывается, что при охлаждении до  $T_2 = 250^{\circ}$ С теплообмен происходит через плёнку — **5 баллов**.

2) Учитывается, что треть пара конденсируется при всплытии пузырьков — **1 балл**.

3) Указано, что масса образующегося пара существенно меньше массы воды, так что массу воды можно считать неизменной — **1 балл**.

4) Показано, что количеством теплоты, идущим на образование плёнки можно пренебречь — **1 балл**.

Если это не сделано и количество теплоты, идущее на образование плёнки учитывается — снижать не следует.

5) Сделаны верные числовые расчёты и получен правильный числовой ответ — **2 балла**.

#### 4. Калейдоскоп (12 баллов), Бычков А. И., Крюков П. А.

Три плоских зеркала внутри трубки калейдоскопа образуют призму с равносторонним треугольником в сечении, перпендикулярном оси трубки. Через маленькое отверстие в заглушке, закрывающей торец трубки, можно наблюдать цветные стёклышки, находящиеся на другом торце, а также множественные отражения этих стёклышек в зеркалах (рис. 2). На рис. 3 вы видите фрагмент фотографии картины, наблюдаемой в калейдоскопе. При фотографировании объектив фронтальной камеры смартфона был прижат к глазку калейдоскопа. Белые линии, совпадающие с плоскостями зеркал или параллельные им, проведены позднее в графическом редакторе. Известно, что внутри чёрного треугольника видны непосредственно цветные стёклышки, которые можно назвать предметом. Внутри остальных треугольников — их изображения в зеркалах (изображения предмета).



Рис. 2

Какое максимальное количество отражений от зеркал калейдоскопа испытывают лучи, формирующие изображения на рис. 3? Рис. 4 имитирует картину, наблюдаемую в калейдоскопе. Чему равно максимальное количество отражений в этом случае? Обратите внимание, что положение предмета на рис. 4 неизвестно.

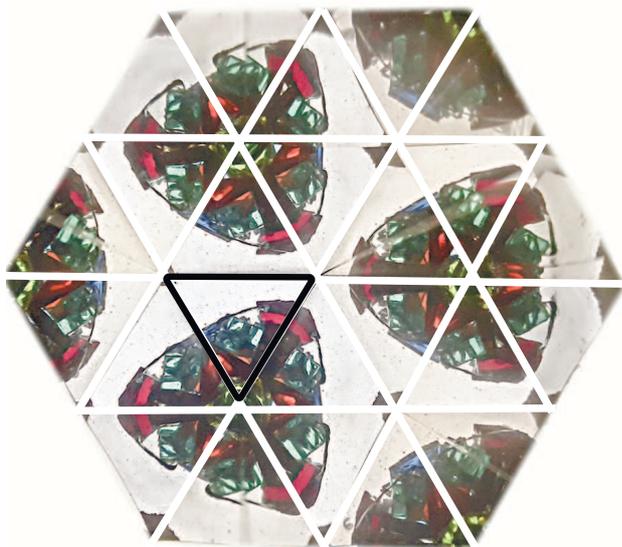


Рис. 3

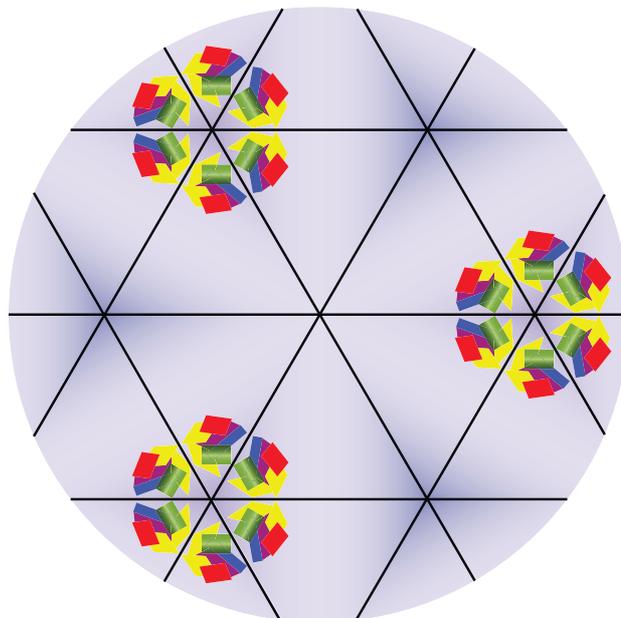


Рис. 4

Ответ: 5 отражений; 7 отражений.

#### Распределение баллов и рекомендации по оценке решений

За правильное и обоснованное решение любым способом — **12 баллов**.

При решении задачи методом, описанном в авторском решении, баллы начисляются за следующие аргументированные соображения.

1) Высказана мысль, что картину, которую мы видим в окуляр калейдоскопа, является разверткой треугольной области, в которой находятся стёклышки-источники, на плоскости — **4 балла**.

2) Сделан обоснованный вывод, что максимальное количество отражений в первом вопросе равно пяти — **3 балла**.

Если же ответ на второй вопрос «три отражения», в связи с тем, что не найден правильный отрезок на развертке — **1 балл**.

3) Сделан обоснованный вывод, что максимальное количество отражений во втором вопросе равно семи — **5 баллов**.

Если же ответ на второй вопрос — «шесть отражений», в связи с тем, что не найден правильный отрезок на развертке — **2 балла**.

Решение с использованием метода, основанного на том, что отмечаются треугольники, изображения в которых формируются после  $n$ -кратного отражения ( $n = 1, 2, \dots$ ), оценивается на усмотрение проверяющего на основе критериев, приведённых выше.