



### 1. Вычисление скорости света (8 баллов)

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.

### 2. Делитель Кельвина-Варлея (10 баллов)

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. Положение контактов в первом столбце определяет цифру в разряде десятых в значении  $\alpha$ , во втором — цифру в разряде сотых и так далее. 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 станет равен  $\alpha = 0,2573$ . Считая известным сопротивление  $R$  резисторов в последнем столбце, определите сопротивления резисторов в остальных столбцах. При каком положении контактов коэффициент  $\alpha$  будет равен  $\alpha_0 = 0,2019$ ?

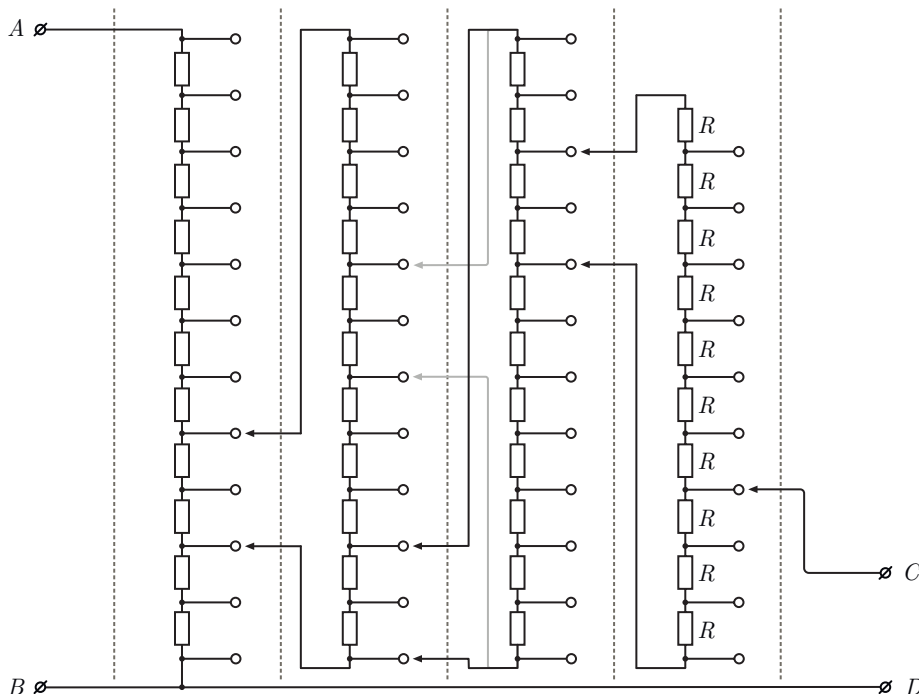


Рис. 1

### 3. Паровая плёнка и пузырьковое кипение (10 баллов)

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.

Продолжение задачи 3 на листе 2.

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  $T_2 = 250$  °С, плёнка «срывается» — и в жидкости вблизи шарика начинается бурное кипение, которое продолжается до тех пор, пока температура шарика не уменьшится до  $T_k = 100$  °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 °С и  $L = 2,2 \cdot 10^6$  Дж/кг. Средняя плотность пара равна  $\rho \approx 0,6$  кг/м<sup>3</sup>. Объём шара радиусом  $R$  определяется по формуле  $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ .

#### 4. Калейдоскоп (12 баллов)

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

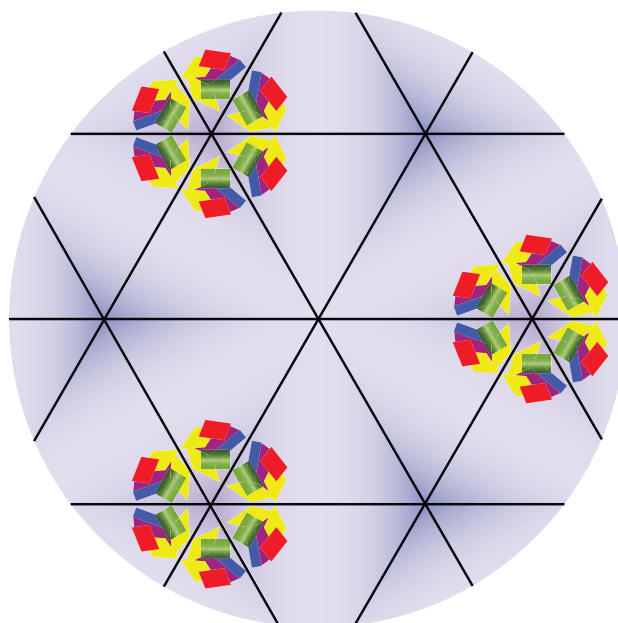


Рис. 4