## Задача 1

Самолёт ТУ–160 в безветренную на всей Земле погоду стартовал с аэродрома в Санкт-Петербурге. В течение всего времени 27-ми часового полета самолёт находился на одной и той же высоте и держал одну и ту же по величине скорость 1000 км/час, сделав несколько дозаправок в воздухе. Сначала он 6 часов летел на юг, затем 10 часов на восток, потом 6 часов на север, и в последние 5 часов полета его скорость была направлена на запад. Сколько еще времени потребуется самолёту, чтобы с такой же по величине скоростью долететь до родного аэродрома по кратчайшему пути? Санкт-Петербург находится на широте 60°, а радиус Земли равен примерно 6400 км.

**Ответ:** Самолету потребуется еще примерно 109,2 с.

**Критерии**

| | |
|---|---|
| Траектория полета правильно изображена на рисунке (или описана словами). Показано, что конец полета – на той же широте, что и начало. | ***2 балла*** |
| Найдена широта полета на восток | ***2 балла*** |
| Показано, что радиус окружности движения самолета на широте $\theta$ выражается через радиус Земли $R$ как $R\cos\theta$ | ***1 балл*** |
| Найдены изменения долготы самолета при полетах на восток и запад | ***1 балл*** |
| Проведен расчет оставшегося расстояния | ***1 балл*** |
| Проведен расчет времени на оставшийся полет | ***1 балл*** |

Всего 8 баллов

## Задача 2

После завершения строительства пирамиды Хеопса все её ребра, согласно легенде, имели одинаковую длину $A \approx 230$ м. В основании пирамиды – квадрат со стороной $A$. По преданиям, во время «Великого потопа» уровень воды совпал с вершиной пирамиды. С какой силой давила вода на северную боковую грань пирамиды? Плотность воды $\rho = 1000$ кг/м$^3$, ускорение свободного падения $g = 10$ м/с$^2$.

*<u>Замечание:</u> объем $V$ пирамиды вычисляется по формуле $V = \frac{1}{3}SH$, где $S$ – площадь основания пирамиды.*

**Ответ:** $F = \dfrac{\rho g A^3}{2\sqrt{6}} \approx 2{,}48 \cdot 10^{10}$ Н.

**Критерии**

*Способ 1 (основанный на рассуждениях, приводящих к закону Архимеда)*

| | |
|---|---|
| Показано, что четыре силы давления $F$ на боковые грани пирамиды дают направленную вниз равнодействующую $4F\cos\theta$, где $\theta$ – угол наклона боковой грани к горизонту | ***3 балла*** |
| Показано, что равнодействующая сил давления на боковые грани равна весу воды над пирамидой $\rho g(SH - V)$, где $V$ – объем пирамиды, $H$ – высота, $S$ – площадь основания. | ***3 балла*** |
| Записаны геометрические соотношения, получено выражение для $F$ | ***1 балл*** |
| Правильно подставлены числовые значения | ***1 балл*** |

Всего 8 баллов

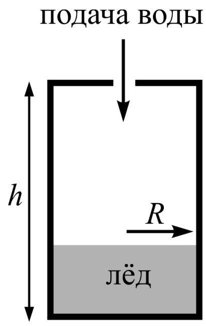
*Способ 2 (основан на прямом подсчете силы давления)*

| | |
|---|---|
| Показано, что сила давления, действующая на малый участок $\Delta S$ поверхности пирамиды на глубине $h$, равна $\rho g h \Delta S$ и направлена перпендикулярно поверхности | ***3 балла*** |
| Показано, что суммарная сила равна $\rho g h_c S$, где $h_c$ – глубина центра боковой грани, $S$ – площадь боковой грани. | ***3 балла*** |
| Записаны геометрические соотношения, получено выражение для $F$ | ***1 балл*** |
| Правильно подставлены числовые значения | ***1 балл*** |

Всего 8 баллов

## Задача 3

Цилиндрический калориметр радиусом $R = 10$ см и высотой $h = 30$ см заполнен льдом при температуре $t_0 = -10$ °С на одну треть своего объёма (см. рис.). В калориметр через отверстие сверху медленно наливают воду, имеющую температуру $t = 30$ °С. Какой максимальный объём воды можно налить в калориметр? Удельная теплоёмкость воды $c_в = 4200$ Дж/(кг·°С), удельная теплоёмкость льда $c_л = 2100$ Дж/(кг·°С), удельная теплота плавления льда $\lambda = 330$ кДж/кг. Плотность воды $\rho_в = 1000$ кг/м$^3$, плотность льда $\rho_л = 900$ кг/м$^3$. Теплоёмкостью калориметра и потерями теплоты пренебречь.




**Ответ**: $V = \dfrac{\pi R^2 h \rho_л (2\lambda\rho_в + c_л t_0(\rho_в - \rho_л))}{3\rho_в(\lambda\rho_л - c_в t(\rho_в - \rho_л))} \approx 6{,}58$ л.

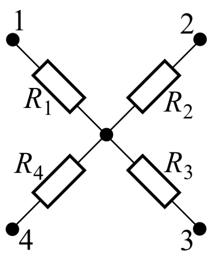
**Критерии**

| | | |
|---|---|---|
| Записано уравнение теплового баланса $c_л\lvert t_0\rvert\rho_л V/3 + \lambda\Delta m = c_в\lvert t\rvert m$ ($V$ – объем цилиндра, $m$ – масса налитой воды, $\Delta m$ – масса растаявшего льда) или эквивалентная ему совокупность соотношений | ***3 балла*** | Ошибка в правой части – 2 балла, в левой части – 1 балл |
| Записано уравнение для общего объема $V = (m + \Delta m)/\rho_в + (\rho_л V/3 - \Delta m)/\rho_л$ или эквивалентная ему совокупность соотношений | ***2 балла*** | |
| Получена формула для ответа | ***2 балла*** | |
| Правильно подставлены числовые значения | ***1 балл*** | |

Всего 8 баллов

## Задача 4

Схема состоит из 4-х клемм и 4-х различных резисторов, которые имеют один общий вывод, а другим выводом соединены с соответствующей клеммой. Известны сопротивления между клеммами 1–2, 2–3 и 3–4: они равны $R_{12}$, $R_{23}$ и $R_{34}$. Сопротивление между какими клеммами еще необходимо измерить, чтобы найти номиналы всех резисторов $R_1$, $R_2$, $R_3$ и $R_4$? Чему они будут равны?




**Ответ**:

1. Если измерить $R_{13}$, то искомые сопротивления вычисляются по формулам:

$$R_1 = (R_{12} + R_{13} - R_{23})/2;$$
$$R_2 = (R_{13} + R_{23} - R_{12})/2;$$
$$R_3 = (R_{12} + R_{23} - R_{23})/2;$$
$$R_4 = R_{34} - R_3 = (2R_{34} - R_{13} + R_{12} - R_{23})/2.$$

2. Если измерить $R_{24}$, то сопротивления вычисляются по формулам:

$$R_2 = (R_{24} + R_{23} - R_{34})/2;$$
$$R_3 = (R_{23} + R_{34} - R_{24})/2;$$
$$R_4 = (R_{24} + R_{34} - R_{23})/2;$$
$$R_1 = R_{12} - R_2 = (2R_{12} + R_{34} - R_{24} - R_{23})/2.$$

**Критерии**

| | |
|---|---|
| Записаны соотношения для расчета сопротивлений $R_{ij} = R_i + R_j$ | ***2 балла*** |
| Сформулирована идея о том, что нужно измерять сопротивление $R_{13}$ или $R_{24}$; записана система уравнений для этих случаев | ***4 балла*** |
| Получен ответ | ***2 балла*** |