

Олимпиада школьников Санкт-Петербургского государственного университета по комплексу предметов «Инженерные системы» (математика, физика, химия, информатика) 2019/2020 учебного года

Заключительный этап.

8-9 класс

Задача 1

1. За какое время можно вскипятить 1 л воды (начальная температура 20°C) в электрическом чайнике мощностью 1 кВт (КПД 98%)? На газовой конфорке мощностью 1,2 кВт (КПД 75%)? Какой способ экономичнее и во сколько раз, если стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии 4,5 руб, а 1 м<sup>3</sup> природного газа 9 руб.? Плотность природного газа 0,7 кг/м<sup>3</sup>, теплотворная способность 44МДж/кг. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг °С.  
Ответ: электрочайник закипит за 5,7 минут (343с), затраты – 43 коп., на газу – за 6,2 минуты (373с), затраты – 10 коп.
2. За какое время можно вскипятить 1 л воды (начальная температура 20°C) в электрическом чайнике мощностью 1 кВт (КПД 98%)? На газовой конфорке мощностью 1,2 кВт (КПД 75%)? При каком тарифе на электроэнергию (стоимость 1 кВт\*ч) стоимость обоих способов будет одинакова? Стоимость 1 м<sup>3</sup> природного газа 9 руб.? Плотность природного газа 0,7 кг/м<sup>3</sup>, теплотворная способность 44МДж/кг. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг °С.  
Ответ: электрочайник закипит за 5,7 минут (343с), на газу – за 6,2 минуты (373с). 1 кВт\*ч должен стоить примерно 1руб. 03 коп.
3. За какое время можно вскипятить 2 л воды (начальная температура 20°C) в электрическом чайнике мощностью 1 кВт (КПД 98%)? На газовой конфорке мощностью 1,2 кВт (КПД 75%)? Какой способ экономичнее и во сколько раз, если стоимость 1 кВт\*ч электроэнергии 4,5 руб, а 1 м<sup>3</sup> природного газа 9 руб.? Плотность природного газа 0,7 кг/м<sup>3</sup>, теплотворная способность 44МДж/кг. Удельная теплоемкость воды 4200 Дж/кг °С.  
Ответ: электрочайник закипит за 11,4 минут (686с), затраты – 86 коп., на газу – за 12,4 минуты (746с), затраты – 20 коп.

Задача 2

1. Определите КПД охотничьего карабина, если на один выстрел расходуется 2,2 г пороха. При этом дробь (массой 35г), вылетает со скоростью 400 м/с. Удельная теплота сгорания пороха 3,8 МДж.  
Ответ 33,5 %
2. Определите КПД охотничьего карабина, если на один выстрел расходуется 2,5 г пороха. При этом дробь (массой 35г), вылетает со скоростью 450 м/с. Удельная теплота сгорания пороха 3,8 МДж.  
Ответ 37,3 %

3. Определите КПД охотничьего карабина, если на один выстрел расходуется 1,6 г пороха. При этом дробь (массой 28г), вылетает со скоростью 340 м/с. Удельная теплота сгорания пороха 3,8 МДж.

Ответ 26,6 %

### Задача 3

Почему для измерения атмосферного давления была выбрана именно ртуть? (Опыт Торричелли.) Получите формулу зависимости высоты столбика от атмосферного давления. Определите атмосферное давление в кПа, если высота столбика ртути составляет 740 мм. Если вместо ртути взять воду, какой высоты был бы уровень воды в трубке при таком давлении? Получатся ли при равных значениях атмосферного давления одинаковые уровни ртути в различных точках земного шара? Справочные данные: 1 атмосфера = 101325 Па, плотность ртути 13595 кг/м<sup>3</sup>, ускорение свободного падения 9,807 м/с<sup>2</sup>.

Ответ: высота столбика зависит от плотности:  $l = P / \rho g$ . Да, одинаковые уровни возможны.

### Задача 4

Предложите способ определения количественного содержания металлов в сплаве содержащем алюминий, магний и цинк. Составьте программу, для вычисления массовой доли металлов в сплаве по результатам предложенного вами анализа.

Ответ: одним из способов можно считать последовательное добавление щелочи, кислоты и аммиака. Для магния массовые доли в сплаве составляют:  $w(\text{Mg}) = m_{\text{Mg}} / (m_{\text{Mg}} + m_{\text{Al}} + m_{\text{Zn}})$ . Массовые доли остальных металлов вычисляются аналогично.

### Задача 5

1. В начале каждого часа Вася измеряет температуру воздуха на улице, а потом высчитывает среднюю температуру за несколько часов. За первые 5 часов измерения средняя температура оказалась равной  $-0,5^\circ\text{C}$ , а за первые 10 часов измерения —  $0^\circ\text{C}$ . Какая средняя температура получится за первые 20 часов измерения, если изменение температуры за час всегда одинаково?

Ответ:  $1^\circ\text{C}$ .

2. Маша измеряла термометром температуру воздуха на улице в начале каждого часа, после чего высчитывала среднюю температуру за несколько часов. За первые 6 часов измерения средняя температура оказалась равной  $-0,3^\circ\text{C}$ , а за первые 12 часов измерения —  $0^\circ\text{C}$ . Что показывал термометр во время первого измерения, если изменение температуры за час было всегда одинаковым?

Ответ:  $-0,55^\circ\text{C}$ .

3. В начале каждого часа Миша измерял температуру воздуха на улице; при этом он заметил, что изменение температуры в течение часа было всегда одинаковым. Найдите это изменение, если средняя температура за первые 8 часов измерения оказалась равной  $-0,6^\circ\text{C}$ , а за первые 16 часов измерения —  $0^\circ\text{C}$ .

Ответ:  $0,15^\circ\text{C}$ .

4. Измерения, которые проводились один раз в час, показали, что температура воздуха на улице меняется в течение часа на одну и ту же величину. При этом

средняя температура за первые пять часов измерения оказалась равной  $-1^{\circ}\text{C}$ , а за следующие пять часов —  $0^{\circ}\text{C}$ . Какой будет средняя температура за последующие 15 часов измерения?

Ответ:  $2^{\circ}\text{C}$ .

5. Уличный термометр, показания с которого снимаются один раз в час, дает температуру воздуха. Средняя температура за первые шесть часов измерения оказалась равной  $-1,2^{\circ}\text{C}$ , а за следующие шесть часов —  $0^{\circ}\text{C}$ . Какой была температура воздуха на улице при первом измерении, если в течение часа она всегда менялась на одну и ту же величину?

Ответ:  $-1,7^{\circ}\text{C}$ .

6. Витя снимает показания уличного термометра один раз в час. При этом он заметил, что температура воздуха в течение часа всегда изменяется на одну и ту же величину. Чему было равно это изменение температуры, если средняя температура за первые восемь часов измерения оказалась равной  $-0,8^{\circ}\text{C}$ , а за последующие восемь часов —  $0^{\circ}\text{C}$ ?

Ответ:  $0,1^{\circ}\text{C}$ .

## Заключительный этап.

### 10-11 класс

#### Задача 1

1. Температура в лаборатории за ночь опустилась от  $16^{\circ}\text{C}$  до  $8^{\circ}\text{C}$  градусов. Вечером относительная влажность в лаборатории составляла 80%. Определите какое количество воды сконденсируется к утру, если площадь лаборатории 20 кв.м, а высота потолка 2,5 м? Давление насыщенного пара при температуре  $16^{\circ}\text{C}$  составляет 1,809 кПа, а при  $8^{\circ}\text{C}$  1,070 кПа.  
Ответ 130 г
2. Температура в лаборатории за ночь опустилась от  $20^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$  градусов. Вечером относительная влажность в лаборатории составляла 60%. Определите какое количество воды сконденсируется к утру, если площадь лаборатории 25 кв.м, а высота потолка 2,5 м? Давление насыщенного пара при температуре  $20^{\circ}\text{C}$  составляет 2,328 кПа, а при  $6^{\circ}\text{C}$  0,932 кПа.  
Ответ 194 г
3. Температура в лаборатории за ночь опустилась от  $16^{\circ}\text{C}$  до  $6^{\circ}\text{C}$  градусов. Вечером относительная влажность в лаборатории составляла 75%. Определите какое количество воды сконденсируется к утру, если площадь лаборатории 15 кв.м, а высота потолка 2,5 м? Давление насыщенного пара при температуре  $16^{\circ}\text{C}$  составляет 1,809 кПа, а при  $8^{\circ}\text{C}$  0,932 кПа.  
Ответ 110 г

#### Задача 2

Оказавшемуся в лесу инженеру необходимо принять сигнал радиостанции, работающей на частоте 830 кГц (модуляция сигнала – амплитудная), однако его приемник был утерян. Поискав вокруг, инженер нашел несколько консервных банок, полиэтиленовые пакеты, кусок пластиковой трубы, диаметром 5 см и большой (около 100м) моток проволоки. При себе у него оказались нож, наушники и полупроводниковый диод. Каким образом из имеющихся компонентов собрать устройство, обеспечивающее прием на данной частоте? Нарисуйте схему устройства и рассчитайте параметры схемы. Справочные данные: диэлектрическая проницаемость полиэтилена 2,3, толщина пленки около 0,2 мм.

Ответ: задача подразумевает творческий подход к конструированию элементов схемы и катушки индуктивности. В зависимости от необходимых параметров индуктивность соленоида можно рассчитать по формуле  $L = (\mu_0 \mu N^2 S) / l$ , где  $\mu = 1$  (в данном случае),  $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$  Гн/м,  $S$  – площадь витка,  $N$  – количество витков,  $l$  – длина катушки.

#### Задача 3

1. Известно, что существует связь между числом атомов углерода различного типа замещения в алканах и теплотой их образования.

А.) Рассчитайте вклады каждой из групп атомов в энтальпию образования, используя приведенные в таблице значения энтальпий образования конкретных соединений.

Углеводород	Энтальпия образования, кДж/моль
Пропан	-103.8
2,2-диметилбутан	-186.1
Изобутан	-134.2
Неопентан	-168.0

Б.) Используя полученные значения определите энтальпии образования всех изомеров с формулой  $C_8H_{18}$ .

В.) Определите, сжигание какого из изомеров состава  $C_8H_{18}$  в газообразном состоянии наиболее энергетически выгодно в случае использования его в качестве топлива.

Г.) Используя ответ, полученный в третьем задании, рассчитайте минимальный объем такого газообразного (при н.у.) соединения, который потребуется для испарения 1 кг воды, которая нагрета до  $25^\circ C$ . Считайте, что теплоемкость воды не зависит от температуры и равна  $75.3 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot K)$ , а теплота испарения воды при  $100^\circ C$  (температура кипения) составляет  $40.7 \text{ кДж/моль}$ . Энтальпии образования воды и углекислого газа равны  $-285.8 \text{ кДж/моль}$  и  $-393.5 \text{ кДж/моль}$  соответственно.

Ответ: минимальное значение имеет энтальпия образования 2,2,3,3-тетраметилбутана. Наибольшая теплота выделяется при сгорании соединения, которое имеет наименьшую энтальпию образования. При сгорании 1 моль 2,2,3,3-тетраметилбутана выделяется  $5469.9 \text{ кДж}$ . Для требуемого  $2576.9 \text{ кДж}$  тепла необходимо сжечь  $0,47 \text{ моль}$ . При н.у. необходимый объем газообразного 2,2,3,3-тетраметилбутана составит:  $10,528 \text{ л}$ .

2. Известно, что существует связь между числом атомов углерода различного типа замещения в алканах и теплотой их образования.

А.) Рассчитайте вклады каждой из групп атомов в энтальпию образования, используя приведенные в таблице значения энтальпий образования конкретных соединений.

Углеводород	Энтальпия образования, кДж/моль
Пропан	-103.8
2,2-диметилбутан	-186.1
Изобутан	-134.2
Неопентан	-168.0

Б.) Используя полученные значения определите энтальпии образования всех изомеров с формулой  $C_7H_{16}$ .

В.) Определите, сжигание какого из изомеров состава  $C_7H_{16}$  в газообразном состоянии наиболее энергетически выгодно в случае использования его в качестве топлива.

Г.) Используя ответ, полученный в третьем задании, рассчитайте минимальный объем такого газообразного (при н.у.) соединения, который потребуется для испарения 1 кг этанола, который нагрет до  $25^\circ C$ . Считайте, что теплоемкость этанола не зависит от температуры и равна  $65.2 \text{ Дж}/(\text{моль}\cdot K)$ , а теплота испарения этанола при  $78^\circ C$  (температура кипения) составляет  $42 \text{ кДж/моль}$ . Энтальпии образования воды и углекислого газа равны  $-285.8 \text{ кДж/моль}$  и  $-393.5 \text{ кДж/моль}$  соответственно.

Ответ: минимальное значение имеет энтальпия образования 2,2,3-триметилбутана. Наибольшая теплота выделяется при сгорании того соединения, которое имеет наименьшую энтальпию образования. При сгорании 1 моль 2,2,3-триметилбутана

выделяется: 4824.4 кДж. Для требуемого 986.4 кДж тепла необходимо сжечь 0,2 моль. При н.у. необходимый объем газообразного 2,2,3-триметилбутана составит: 4,48 л.

#### Задача 4

1. Вася измерял температуру воздуха на улице в течение 24 дней в одно и то же время, причем температура  $T_1$  в первый день измерения была  $-6^\circ\text{C}$ . Оказалось, что несколько первых дней подряд измеряемая температура увеличивалась на одну и ту же величину  $\Delta T = 0,2^\circ\text{C}$ , а затем все оставшиеся дни она постепенно уменьшалась на ту же самую величину. Какое наименьшее количество дней могла расти температура для того, чтобы средняя за все 24 дня температура была бы не меньше  $T_1$ ?

Ответ: 7 дней.

2. Маша измеряла атмосферное давление в течение 28 дней в одно и то же время, причем давление  $P_1$  в первый день измерения равнялось 750 мм рт. ст. Оказалось, что несколько первых дней подряд измеряемое давление росло на одну и ту же величину  $\Delta P = 2$  мм рт. ст., а затем все оставшиеся дни оно постепенно уменьшалось на ту же самую величину. Какое наибольшее количество дней могло расти давление для того, чтобы среднее за все 28 дней давление оказалось не больше, чем  $P_1$ ?

Ответ: 8 дней

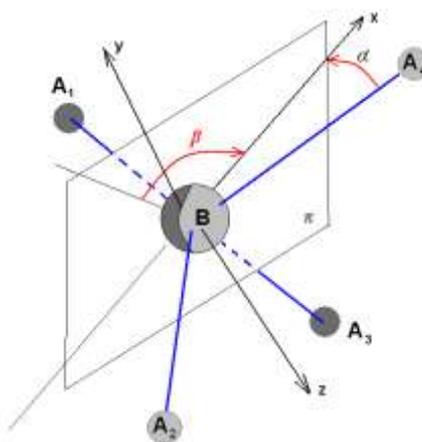
#### Задача 5

Современные химики работают с трехмерными структурами, поэтому все вычисления проводятся с моделями, которые тоже трехмерны. В силу этого, одной из важнейших задач вычислительной химии является построение трехмерной модели молекулы на основании её двумерной структуры. Для построения визуальной модели молекулы используются специальные программы, исходными данными для которых являются вычисленные трехмерные координаты атомов химических элементов, из которых состоит молекула (все атомы считаются точечными).

Напишите программный код, который генерирует трехмерные координаты гипотетической молекулы, имеющей следующие характеристики:

А) имеется плоскость  $\pi$  в которой располагается основной элемент молекулы (например водород в молекуле воды или углерод в молекуле  $\text{CH}_4$ ) – на рисунке такой элемент обозначен через В. Остальные элементы находятся в разных полупространствах относительно плоскости  $\pi$ , причем количество элементов в каждом полупространстве одинаково (четные элементы  $A_2$  и  $A_4$  и нечетные элементы  $A_1$  и  $A_3$  на рисунке);

Б) элементы, находящиеся в одном полупространстве, образуют правильный многоугольник, лежащий в плоскости,



параллельной плоскости  $\pi$ ;

В) задан угол  $\alpha$  (одинаковый для всех элементов А) между связью элемента А и элемента В и ее проекцией на плоскость  $\pi$ ;

Г) задан угол  $\beta$  – наименьший угол между проекциями на плоскость  $\pi$  связей элементов, расположенных с разной стороны от плоскости.

Д) задана длина связи А-В.

Входные данные поступают из файла input.txt в следующем виде:

строка №1: число (четное) элементов типа А;

строка №2: длина связи А-В;

строка №3: угол  $\alpha$ .

строка №4: угол  $\beta$ .

Файл с результатами работы программы (output.txt) должен содержать несколько строк, в каждой из которых, через пробел, должны быть указаны (в следующем порядке): химический элемент; координата X этого элемента, координата Y этого элемента, координата Z этого элемента. (Координаты округлять до 5 знака после запятой.)

Ответ: решение задачи подразумевает творческий подход при котором необходимо построить математическую модель для трехмерных координат элементов, а при ее программной реализации показать: умение работы с файлами; осуществление циклических и повторяющихся вычислений; возможность оптимизации программного кода.