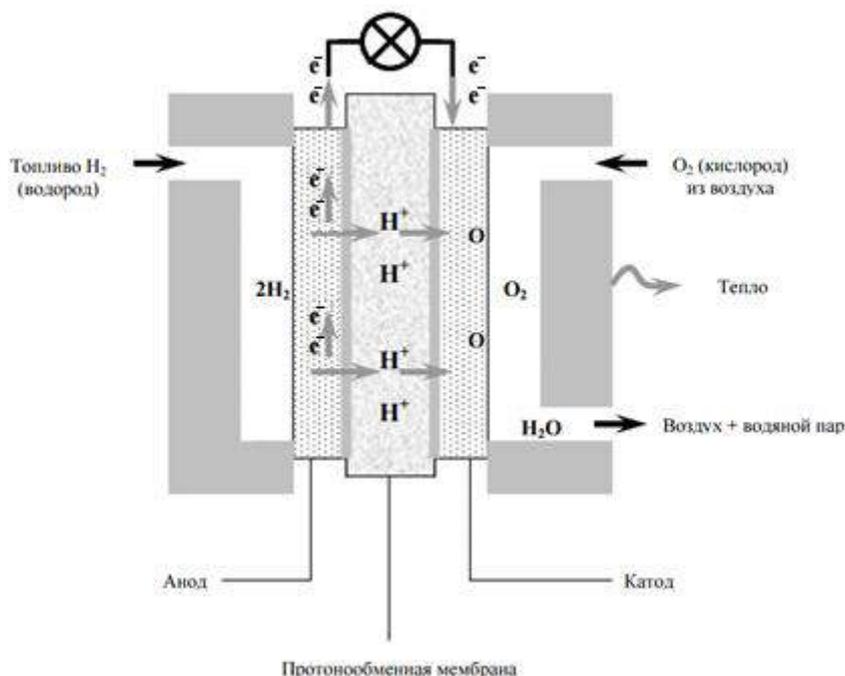


Решения заданий первого тура отборочного этапа Олимпиады «Ломоносов» по инженерным наукам 2018/2019 10-11 классы

Задача 1 (20 баллов).

В последние десятилетия активно развивается альтернативная энергетика. Одно из ее направлений – водородная энергетика, основная идея которой состоит в использовании водорода в качестве топлива с помощью так называемых водородных топливных элементов.

Химические реакции в водородных топливных элементах идут на пористых электродах (аноде и катоде). На аноде водород разделяется на ионы (H^+) и электроны в соответствии с реакцией $H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-$ (см. рис.). Ионы водорода (протоны) мигрируют через мембрану к катоду, где происходит образование молекул воды из протонов, электронов и кислорода (из воздуха) в соответствии с реакцией $0,5 O_2 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2O + Q$. Поток электронов при замыкании внешнего контура дает электрический ток, который используется различными потребителями.



Рассмотрим батарею из 10 соединенных последовательно водородных топливных элементов, которая используется для энергоснабжения лампочки. Известно, что при этом расход водорода составляет 9 л/час (при н.у.). Пусть батарея топливных элементов создает ЭДС 12 В и обладает внутренним сопротивлением 1 Ом. Оцените мощность, выделяющуюся на лампочке. Воздух поступает в водородный топливный элемент в избытке.

Решение:

По условию задачи за один час батарея топливных элементов расходует $V = 9$ л водорода при н.у. Найдем соответствующее количество вещества водорода, расходуемого в течение одного часа в одном топливном элементе:

$$\nu_1 = \frac{1}{10} \cdot \frac{V}{V_m}$$

Количество электронов, которые протекут через цепь за 1 час, равно

$N_e = 2\nu_1 N_A$, где N_A - число Авогадро.

Сила тока I по определению равна отношению заряда Q , который протек через участок цепи, к времени t (в нашем случае – 1 час):

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{q_e N_e}{t} = \frac{2q_e \nu_1 N_A}{t},$$

где q_e - заряд одного электрона, а умножение на два возникает из-за того, что при разложении каждой молекулы водорода высвобождается 2 электрона.

Запишем закон Ома для цепи, состоящей из батареи топливных элементов и лампочки:

$\varepsilon = (R_L + r_{TЭ})I$, где ε – ЭДС батареи топливных элементов, а $r_{TЭ}$ – внутреннее сопротивление батареи топливных элементов.

Найдем из этого выражения сопротивление лампочки R_L :

$$R_L = \frac{\varepsilon}{I} - r_{TЭ}$$

Мощность, выделяющаяся на лампочке, равна

$$P_L = I^2 R_L = I^2 \left(\frac{\varepsilon}{I} - r_{TЭ} \right) = I\varepsilon - I^2 r_{TЭ} = I(\varepsilon - I r_{TЭ}), \text{ где } I = \frac{2q_e \nu_1 N_A}{t} = \frac{2q_e V N_A}{10V_m t} \approx 2,15 \text{ A}$$

Тогда $P_L \approx 21,18 \text{ Вт}$

Ответ: 21,18 Вт.

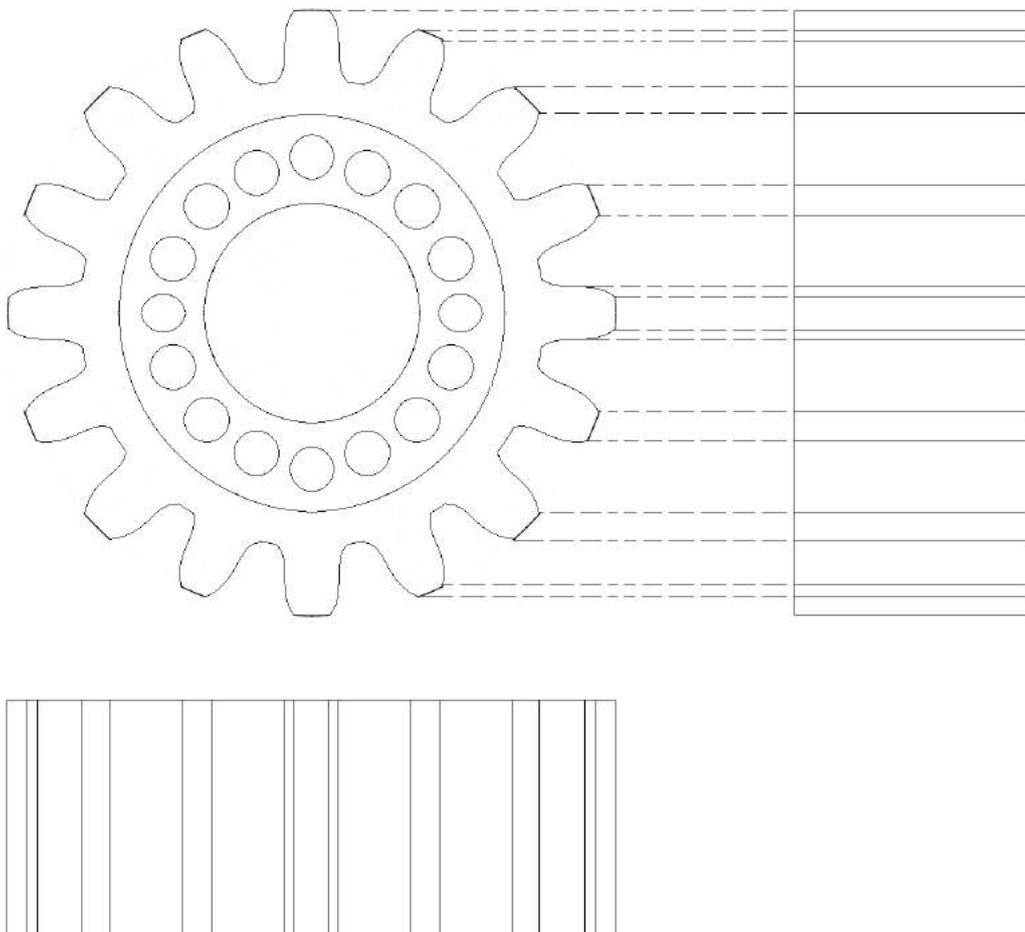
Задача 2 (15 баллов).

Выполните эскизы фронтальной, горизонтальной и профильной проекций детали, изображенной на рисунке.



Решение:

Одно из возможных решений задачи:

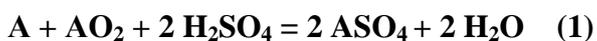


Задача 3 (15 баллов).

При реакции электролиза амфотерного металла А со своим четырехвалентным оксидом и купоросным маслом выделилось 0,90 г воды и 15,15 г двухвалентной соли. Определите металл А. Проведите необходимые вычисления. Запишите уравнение электролиза. В каком широко распространенном устройстве применяется данная реакция?

Решение:

Уравнение электролиза амфотерного металла А со своим четырехвалентным оксидом и купоросным маслом в общем виде:

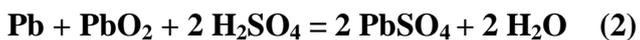


Рассчитаем количество выделившейся воды:

$$v(H_2O) = m(H_2O) : \mu(H_2O) = 0,90 \text{ г} : 18 \text{ г/моль} = 0,05 \text{ моль}$$

$$\text{Из уравнения (1) } v(ASO_4) : v(H_2O) = 1 : 1 \Rightarrow v(ASO_4) = 0,05 \text{ моль} \Rightarrow \mu(ASO_4) = m(ASO_4) : v(ASO_4) = 15,15 \text{ г} : 0,05 \text{ моль} = 303 \text{ г/моль} \Rightarrow \mu(A) = 207 \text{ г/моль, таким образом, А – свинец.}$$

Уравнение электролиза:



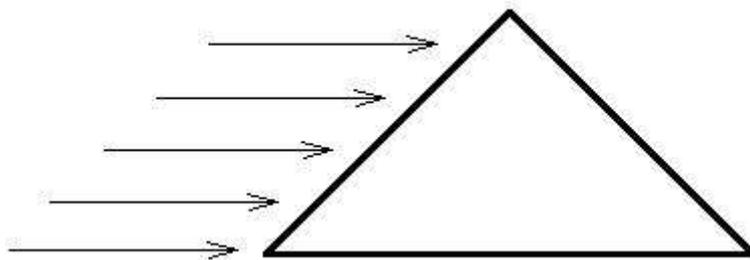
На реакции (2) основана работа широко применяемого свинцово-кислотного аккумулятора.

Задача 4 (15 баллов).

Поверхность двускатной симметричной крыши дома полностью покрыта солнечными батареями. Угол между скатами составляет 90° , причем конек крыши направлен с юга на север. Владелец дома Саша узнал, что грядущий день будет ясным, солнце встанет строго на востоке и в наивысшей точке траектории будет находиться прямо над головой. Сразу после восхода солнца вырабатываемая солнечными батареями мощность составляет 2 кВт. К энергосети дома, единственным источником питания которой служат солнечные батареи, подключен накопительный водонагреватель. При каком положении солнца Саша быстрее всего сможет нагреть 60 л воды на 20°C ? Оцените время, которое потребуется на нагрев. Отражением солнечных лучей и теплопотерями пренебрегите. Ответ поясните.

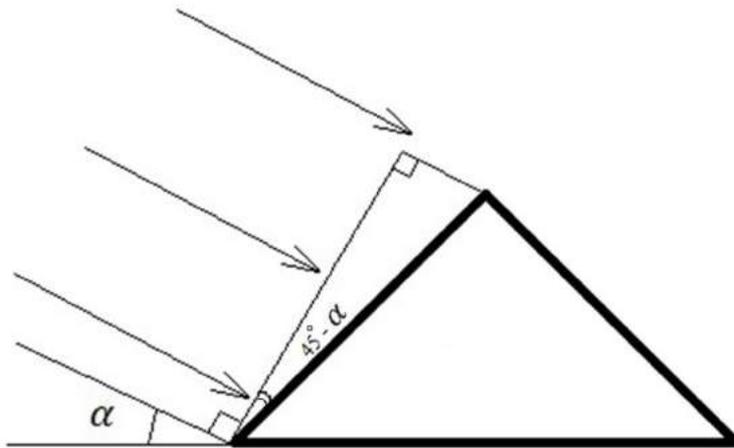
Решение:

Пусть S – площадь одного ската крыши. Сразу после восхода солнечные лучи падают на крышу параллельно поверхности земли, то есть под углом в 45° к восточному скату крыши:



Площадь перпендикулярного сечения светового потока (сечения плоскостью, перпендикулярной направлению лучей светового потока), попадающего на крышу, составляет при этом $S \cos 45^\circ = \frac{S}{\sqrt{2}}$.

В момент, когда угол между видимым положением солнца и горизонтом равен $\alpha \leq 45^\circ$, солнечные лучи попадают только на один скат крыши, угол падения равен $45^\circ - \alpha$:



Площадь перпендикулярного сечения светового потока, попадающего на крышу, составляет при этом $S \cos(45^\circ - \alpha) \leq S$.

В момент, когда угол между видимым положением солнца и горизонтом равен $45^\circ < \alpha \leq 90^\circ$, солнечные лучи попадают на оба ската крыши, углы падения равны $\alpha - 45^\circ$ и $135^\circ - \alpha$. Площадь перпендикулярного сечения светового потока, попадающего на крышу, составляет при этом

$$S \cos(\alpha - 45^\circ) + S \cos(135^\circ - \alpha) = 2S \cos 45^\circ \cos(90^\circ - \alpha) = \sqrt{2}S \sin \alpha \leq \sqrt{2}S.$$

Так как вырабатываемая солнечными батареями мощность пропорциональна площади перпендикулярного сечения светового потока, попадающего на крышу, ее максимальное значение приходится на $\alpha = 90^\circ$, то есть на положение солнца в наивысшей точке траектории. При этом вырабатываемая мощность в два раза больше, чем сразу после рассвета, то есть равна 4 кВт.

Предположим, что за время нагрева воды солнце сдвинется незначительно; тогда за это время незначительно изменится и мощность, вырабатываемая солнечными батареями. Время, требующееся на нагрев 60 л воды на 20 градусов при мощности 4 кВт, составляет $t = \frac{Cm\Delta T}{P} =$

$$\frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}} \cdot 60 \text{кг} \cdot 20^\circ\text{C}}{4000 \text{Вт}} = 21 \text{ мин.}$$

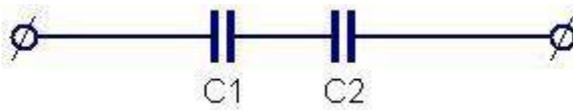
Положение солнца за это время, действительно, почти не изменится (при 12-часовом световом дне солнце за 21 минуту сдвинется всего на $\frac{180^\circ \cdot 21}{12 \cdot 60} = 5,25^\circ$). Поэтому для оценки времени нагрева мы действительно можем принять постоянной мощность, вырабатываемую батареями.

Ответ: Саша быстрее всего нагреет воду, когда солнце находится в зените. Время нагрева составит 21 мин.

Задача 5 (15 баллов).

Инженеру Васе нужно измерить электрическую прочность некоторого диэлектрика (максимальную напряженность электрического поля, которую данный материал выдерживает без пробоя). У Васи есть неразборный электрический модуль, схема которого показана на рисунке. На этой схеме C_1 и C_2 – плоские конденсаторы известной емкости $C_1 \neq C_2$, в которых расстояние между электродами

заполнено исследуемым диэлектриком. В обоих конденсаторах расстояние между электродами равно d . Подсоединив модуль к источнику тока с регулируемой ЭДС \mathcal{E} и повышая постепенно \mathcal{E} , Вася обнаружил, что пробой модуля наступает при $\mathcal{E} = U$. Чему равна электрическая прочность диэлектрика, которым заполнены конденсаторы?



Решение:

При последовательном соединении напряжения на конденсаторах распределяются обратно пропорционально их ёмкостям, т.е. в момент возникновения пробоя на конденсаторе с ёмкостью C_1 было напряжение $U_1 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} U$, а на конденсаторе C_2 – напряжение $U_2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U$. Поскольку расстояние между пластинами в обоих конденсаторах одинаковое, сначала пробой произошёл в том из них, на котором было большее напряжение, т.е. в конденсаторе с меньшей ёмкостью. Если $C = \max(C_1, C_2)$, то пробой начинается в конденсаторе, напряжение на котором равно $\frac{C}{C_1 + C_2} U$. Следовательно, искомая электрическая прочность равна $E_{max} = \frac{C}{C_1 + C_2} \cdot \frac{U}{d}$.

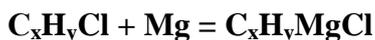
Ответ: $E_{max} = \frac{\max(C_1, C_2)}{C_1 + C_2} \cdot \frac{U}{d}$

Задача 6 (20 баллов).

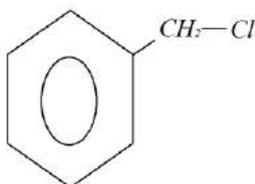
При реакции вещества А, являющегося монохлорпроизводной углеводорода, с металлом В ПА группы, имеющим плотность при н.у. $1,738 \text{ г/см}^3$, получилось вещество С, плотность которого по воздуху равна 5,19. При добавлении к веществу С вещества D (где D – бесцветная жидкость с характерным запахом горького миндаля или яблочных косточек) получилось вещество Е, имеющее в своем составе 2 бензольных кольца. Определите вещества А, В, С, D, Е. Напишите уравнения реакций описанных выше процессов.

Решение:

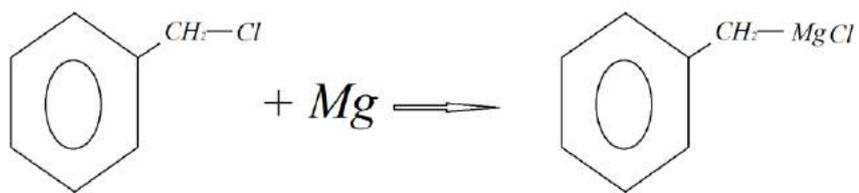
Из условия задачи очевидно, что В – магний (элемент ПА группы, имеющий плотность при н.у. $1,738 \text{ г/см}^3$).



$\mu(C) = 5,19 \cdot \mu(\text{воздуха}) = 5,19 \cdot 29 \text{ г/моль} \approx 150,5 \text{ г/моль} \Rightarrow \mu(C_xH_y) = 91 \text{ г/моль} \Rightarrow C_xH_y$ – это C_7H_7 , откуда А – это



1 реакция:

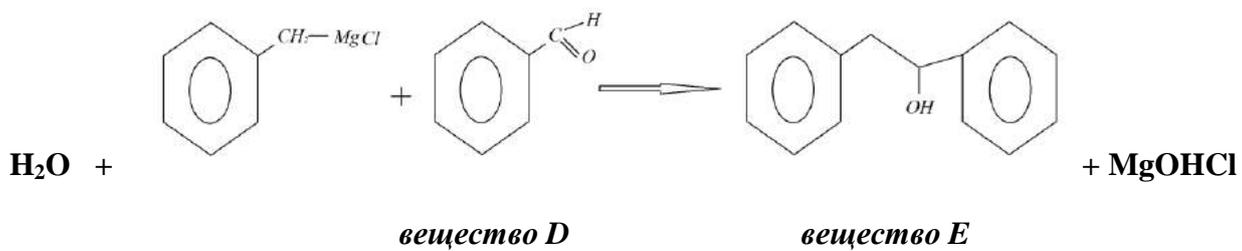


вещество А

вещество В

вещество С

2 реакция:



вещество D

вещество E