

# Композитные технологии

2022/23 учебный год

## Заключительный этап

### Предметный тур

#### Физика. 8–9 классы

##### *Задача VI.1.1.1. Углеволокно (15 баллов)*

###### *Условие*

Одним из перспективных типов современных материалов являются аэрогели, фактически представляющие собой композит газа и твёрдого оксида. Одним из их примечательных свойств является чрезвычайно низкая плотность. Брусок из аэрогеля взвесили под колоколом в нормальных условиях при плотности воздуха  $\rho_0 = 1,2 \text{ г/м}^3$ . Затем половину воздуха откачали и взвесили тот же брусок снова. Определите плотность  $\rho$  этого материала, если весы стали показывать на  $\eta = 2,5\%$  больший вес. Микроскопические поры в аэрогеле можно считать закрытыми.

##### *Задача VI.1.1.2. Аэрогель (18 баллов)*

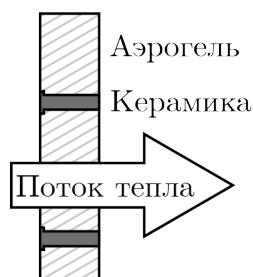
###### *Условие*

Следствием низкой плотности аэрогелей является также их рекордно малая теплопроводность. Теплоизоляционная обшивка лабораторной установки выполнена из аэрогеля с теплопроводностью  $\kappa_a = 25 \text{ мВт/(м}\cdot\text{К)}$ . Однако для крепления блоков аэрогеля приходится использовать керамические штифты с теплопроводностью  $\kappa_k = 1 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  и площадью сечения  $S = 1 \text{ см}^2$ , пронзающие аэрогель перпендикулярно изолируемой поверхности (см. рисунок). Какое максимальное число таких штифтов можно использовать на квадратный метр покрытия, чтобы поток тепла через покрытие в целом не превышал  $\alpha = 11/10$  от потока тепла только через аэрогель? Длина штифтов равна толщине блоков аэрогеля.

### Задача VI.1.1.3. Теплоизоляция (22 баллов)

#### Условие

Следствием низкой плотности аэрогелей является также их рекордно малая теплопроводность. Теплоизоляционная обшивка лабораторной установки выполнена из аэрогеля с теплопроводностью  $\kappa_a = 25 \text{ мВт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ . Однако для крепления блоков аэрогеля приходится использовать керамические штифты с теплопроводностью  $\kappa_k = 1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$  и площадью сечения  $S = 1 \text{ см}^2$ , пронзающие аэрогель перпендикулярно изолируемой поверхности (см. рисунок). Какое максимальное число таких штифтов можно использовать на квадратный метр покрытия, чтобы поток тепла через покрытие в целом не превышал  $\alpha = 11/10$  от потока тепла только через аэрогель? Длина штифтов равна толщине блоков аэрогеля.



### Задача VI.1.1.4. Хрустальный шар (25 баллов)

#### Условие

Тонкое серебряное напыление на оптических стёклах позволяет изготавливать материалы, при падении света на которые 50% световой энергии отражается от границы раздела, а 50% преломляется в ней. На шар из такого стекла падает узкий в сравнении с радиусом шара пучок света, середина которого направлена ровно на центр шара, а ширина значительно меньше радиуса этого шара. Каким должен быть показатель преломления  $n$  материала шара, чтобы действительное и мнимое изображения этого пучка оказались расположены на одинаковых расстояниях от центра шара?

Указание: используйте соотношение  $\sin \alpha \approx \alpha \approx \text{tg } \alpha$  для малых углов.

### Задача VI.1.1.5. Напыление (20 баллов)

#### Условие

В вакуумной камере на медную пластинку тонким слоем напыляется серебро. Для этого ионы серебра  $\text{Ag}^+$ , масса каждого из которых равна  $m = 1,8 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$ , осаждаются на неё из газообразного состояния. Для равномерного осаждения на пластинке необходимо поддерживать постоянный отрицательный заряд, для чего она включена в одну цепь с источником ионов серебра. Сколько времени уйдёт на напыление  $M = 2 \text{ мг}$  серебра если ток, проходящий в этой цепи, равен  $I = 1,5 \text{ А}$ ? Модуль заряда электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$ , иону  $\text{Ag}^+$  недостаёт до нейтрального атома одного электрона.

## Физика. 10–11 классы

### Задача VI.1.2.1. Ионная пушка (15 баллов)

#### Условие

В установке ионного травления пучок ионов  $F^+$  ( $\mu = 19$  г/моль) разгоняется разностью потенциалов  $U = 5$  кВ. Во сколько раз энергия ионов после разгона превышает их среднюю тепловую энергию при комнатной температуре  $T = 300$  К? Заряд электрона  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, постоянная Больцмана  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К.

### Задача VI.1.2.2. Тонкая плёнка (20 баллов)

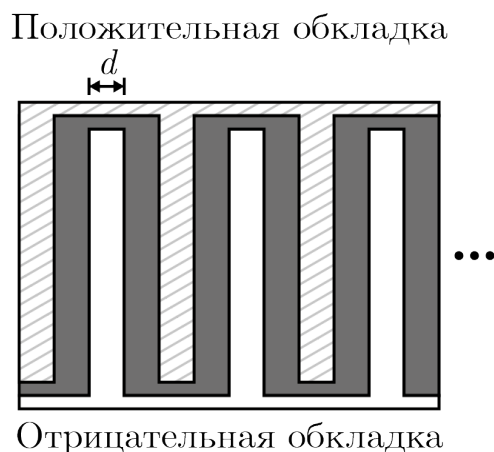
#### Условие

Вакуумная камера представляет собой сферу радиуса  $r = 40$  см. Из камеры откачан воздух, после чего внутри испарён небольшой образец золота ( $\mu = 197$  г/моль). Какой толщины плёнка металла осядет на поверхности камеры после её охлаждения, если в начале осаждения пары золота имели парциальное давление  $p = 10$  Па и температуру  $T = 1500$  К? Универсальная газовая постоянная  $R = 8,31$  Дж/(моль·К); плотность твёрдого золота  $\rho = 19,3$  г/см<sup>3</sup>.

### Задача VI.1.2.3. Конденсатор (20 баллов)

#### Условие

Композитный конденсатор изготовлен при помощи чередования большого числа тонко нанесённых слоёв диэлектрика с проницаемостью  $\epsilon = 100$  и металла, каждый из которых имеет толщину  $d = 150$  мкм. Все чётные слои металла соединены друг с другом проводником с малой паразитной ёмкостью; так же соединены все нечётные слои металла. Определите объёмную плотность электрической ёмкости куба, выполненного из этого композита (слои располагаются параллельно одной из пар граней куба). Диэлектрическая проницаемость вакуума  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м.



### Задача VI.1.2.4. Эффект Поккельса (18 баллов)

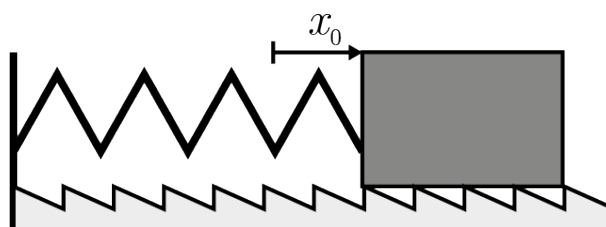
#### Условие

Электрооптический эффект Поккельса состоит в изменении показателя преломления некоторых кристаллов при приложении к ним электрического поля. Композиты, содержащие такие кристаллы, используются в лазерных резонаторах. При этом величина изменения  $\Delta n$  показателя преломления прямо пропорциональна напряжённости поля:  $\Delta n = \alpha E$ . Узкий луч света падает нормально на пластинку толщиной  $l = 20$  см из такого кристалла, зажатую между обкладками плоского конденсатора. Известно, что в отсутствие напряжения на конденсаторе свет проходит пластинку за время  $\tau_0 = 10^{-9}$  с, а при напряжённости поля  $E = 6$  кВ/м — за время  $\tau = 1,1 \cdot 10^{-9}$  с. Определите значение коэффициента  $\alpha$ . Скорость света в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

### Задача VI.1.2.5. Гребёнка (27 баллов)

#### Условие

На листе металла вытравлена микроразмерная гребёнка, благодаря которой коэффициент трения скольжения бруска по этому листу равен  $\mu_+ = 0,15$ , если брусок проскальзывает направо, и  $\mu_- = 0,1$ , если он скользит налево. Такие же значения имеют коэффициенты трения покоя при попытке привести брусок в движение в соответствующем направлении. Брусок массы  $m = 2$  кг укреплен на пружине жёсткостью  $k = 80$  Н/м, растянутой на  $x_0 = 10$  см длиннее своего расслабленного состояния как изображено на рисунке. Брусок отпускают без начальной скорости. Каково будет растяжение пружины  $x$  после прекращения колебаний бруска? Считать ускорение свободного падения  $g \approx 10$  Н/м. Полное решение в общем виде не обязательно.



---

## Химия. 8–9 классы

### Константы

Число Авогадро  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>

Постоянная Больцмана  $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup>

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,314$  Дж/(К·моль)

Постоянная Планка  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Дж·с

Число Фарадея  $F = 9,6485 \times 10^4$  Кл·моль<sup>-1</sup>

Масса электрона  $m_e = 9,1093 \times 10^{-31}$  кг

Атмосферное давление  $P_{atm} = 1,01325 \times 10^5$  Па = 760 *mmHg* = 760 *Torr*

Ноль по шкале Цельсия 273,15 К

1 пикометр (пм)  $10^{-12}$  м

1 ангстрем (Å)  $10^{-10}$  м

1 нанометр (нм)  $10^{-9}$  м

1 кал = 4,184 Дж

Заряд электрона  $1,602 \times 10^{-19}$  Кл

### Задача VI.1.3.1. Композиционный кроссворд (20 баллов)

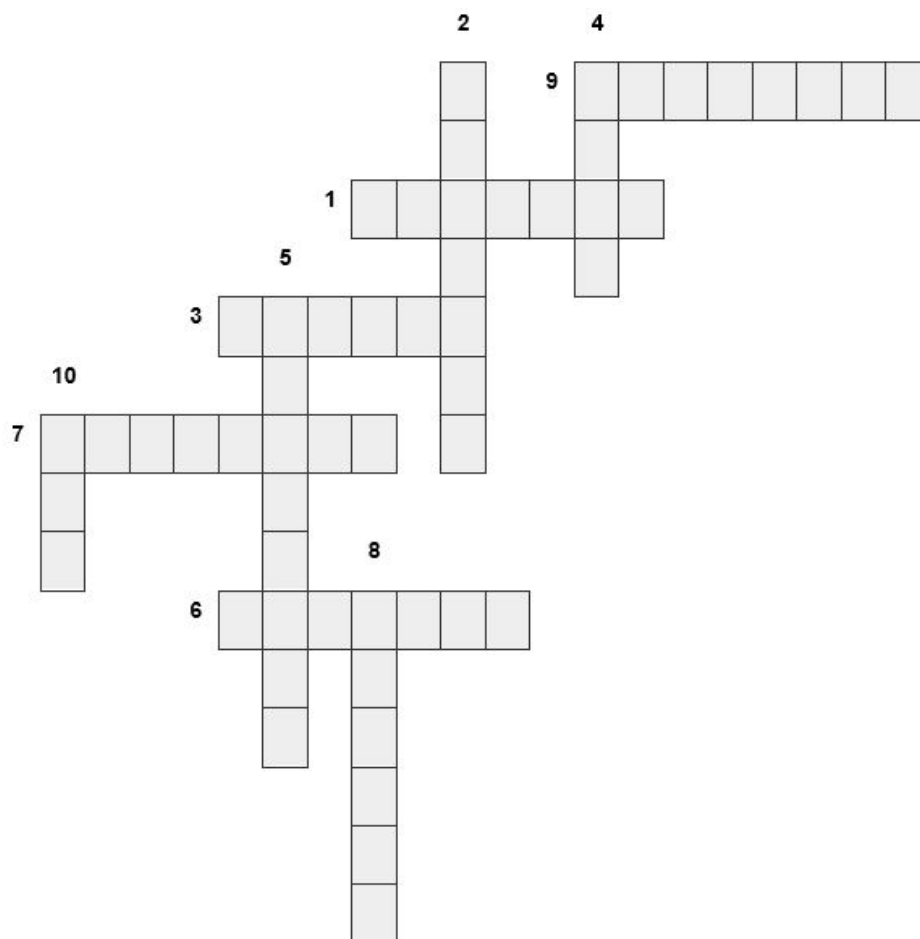
#### Условие

В этой задаче вам предлагается разгадать кроссворд и ответить на дополнительные вопросы.

1. Для получения электропроводящих композитов полимерные матрицы можно армировать различными аллотропными модификациями этого элемента, который можно также встретить, например, в основе карандашного грифеля.
2. Кость — естественный композит, в котором в органическом коллагене встроены нанокристаллы соли этого металла.
3. Композиции с матрицей из этого тяжелого металла, соединения которого токсичны, армированные углеродными волокнами, применяют при производстве батарей и аккумуляторов, а также для защиты от радиации.
4. Соединения различных элементов с этим неметаллом зачастую особо прочны, поэтому они находят применение как наполнители композитов, а в реакцию с 1 л (н. у.) водорода может вступить 0,417 г. его простого вещества.
5. В качестве армирующего наполнителя для композитов, используемых при высоких температурах, применяют волокна из этого тугоплавкого металла, который до сих пор можно найти в некоторых лампах.
6. Наполнителем стоматологических композиций обычно является оксид этого элемента, который является главным компонентом большинства горных пород.
7. Композиты на основе этого металла предназначены для работы при высоких температурах, а 1 его атом имеет массу  $14,9 \cdot 10^{-24}$  г.
8. В аэрокосмической технике, в частности, для изготовления конструкционных

элементов спутников используют композиты на основе этого металла, сгорающим ослепительным пламенем, что применялось в фотографии как источник света.

9. Широкое применение нашли композиты на основе этого самого распространенного в земной коре металла, упрочненные частицами его оксида, поскольку при температурах выше  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  они значительно прочнее сплавов этого металла.
10. Волокна этого неметалла и его соединений широко используются для увеличения прочности, жесткости, жаростойкости композитов, а его атом содержит в 4 раза больше  $s$ -электронов, чем  $p$ -электронов.



1. Перепишите в лист решений ответы в формате «номер — слово». Где возможно, подтвердите расчетом.
2. Какие аллотропные модификации элемента п. 1 вы знаете (не менее 2 шт)?
3. Установите формулу соли, о которой говорится в п. 2, если известны массовые доли элементов в её составе:  $\omega(\text{металл}) = 39,68\%$ ;  $\omega(\text{P}) = 18,45\%$ ;  $\omega(\text{O}) = 38,10\%$ ;  $\omega(\text{F}) = 3,77\%$ . Запишите формулу соли в традиционной форме с указанием катионов и анионов.
4. Приведите формулу оксида, о котором говорится в п. 6.
5. Приведите уравнение реакции, о которой говорится в п. 8.

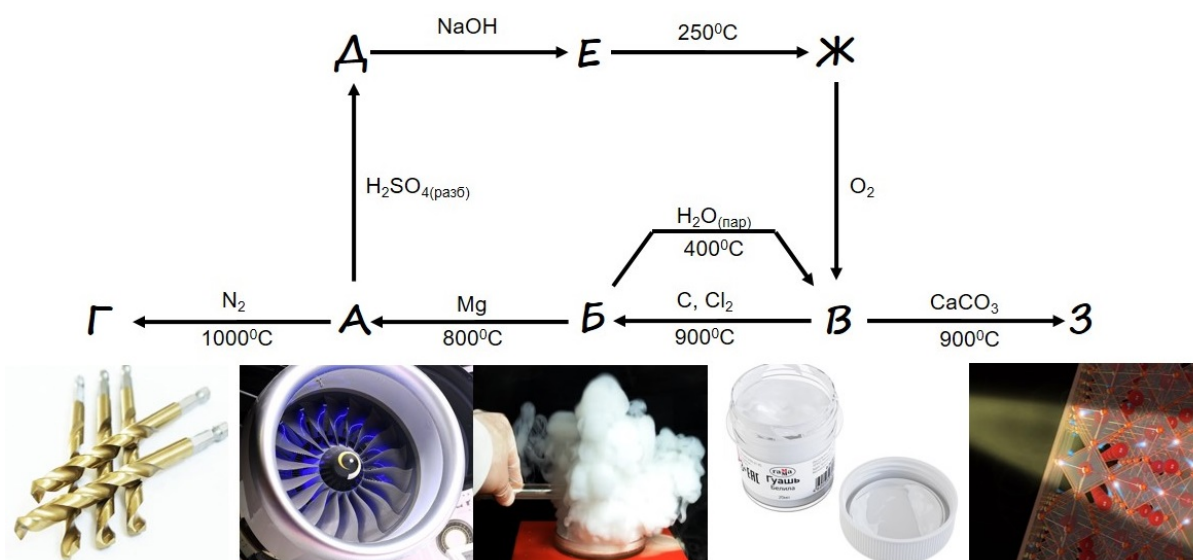
## Задача VI.1.3.2. Многоликий А: от самолета и сверла до краски и дыма (45 баллов)

### Условие

Металл **А** и сплавы на его основе легки, устойчивы к коррозии и обладают привлекательными механическими свойствами — поэтому их используют при изготовлении реакторов и другого оборудования, а также протезов. Быстро растет спрос на использование в автомобилях и самолетах композитов с матрицей на основе **А**. В этой задаче вам предлагается расшифровать цепочку превращений веществ, содержащих элемент **А**.

Сырьём для производства **А** может выступать бинарный минерал **В**, содержащий 40,0% масс. кислорода. По одному из способов, концентрат руды **В** подвергают двухступенчатому хлорированию совместно с коксом. Пары образующегося бинарного вещества **Б** (относительная плотность по аргону 4,75) пропускают над магнием, в результате чего получают губчатую массу **А**. Насыщением порошка **А** азотом получают вещество **Г** желто-коричневого цвета, содержащее 50% мольн. **А**, покрытие из которого применяют как износостойкое (на металлорежущем инструменте) и в декоративных целях (на куполах и зубных коронках). Растворением **А** в серной кислоте можно получить соль **Д**, которая при реакции со щелочью образует коричнево-фиолетовый осадок **Е**. Разложением **Е** при нагревании можно получить бинарное вещество **Ж**, содержащее 33,3% кислорода по массе. Жидкий **Б** легко гидролизуется с образованием **В**, применяемого в качестве основы белых красок. Туман **В** при гидролизе **Б** также используют для создания дымовых завес. Спеканием **В** и карбоната кальция можно получить **И**, который используют как компонент некоторых керамических составов. Вещества, обладающие аналогичной **И** кристаллической структурой, применяют как основу одного из классов солнечных батарей.

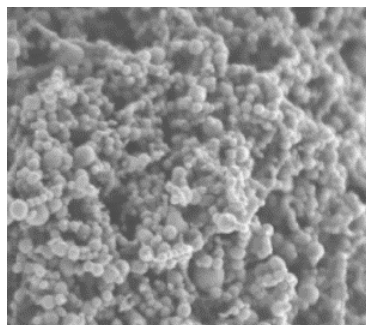
1. Расшифруйте схему: приведите формулы, названия веществ **А–З** и напишите уравнения реакций. Подтвердите расчетом.



### Задача VI.1.3.3. Физхимия магнитоэластов (35 баллов)

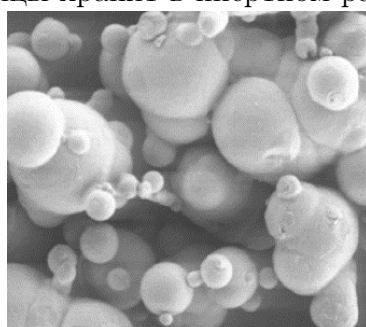
#### Условие

Включение магнитных наночастиц в эластичные полимерные матрицы позволяет получать нанокомпозиты – магнитоэласты, которые деформируются под действием магнитного поля. Такие материалы могут использоваться в магнитных клапанах, приводах, уплотнителях и даже в кодовых замках.



Магнитные наночастицы на основе железа можно получать методом электрического взрыва проволоки. Для этого взрывную камеру объёмом 69 л (приведен к н. у.) с предварительно установленной проволокой заполняют газом **Z** (привес составляет 123,1 г). Высоковольтным электрическим разрядом проволоку испаряют и при конденсации образуются сферические наночастицы **X<sub>1</sub>**. Если же в данных условиях использовать смесь **Z** с газом **Y**, в котором вспыхивает тлеющая лучина, в объемном соотношении 4 : 1, то образуются наночастицы бинарных веществ **X<sub>2</sub>** и **X<sub>3</sub>**, содержащие 30,0% и 27,6% масс. кислорода соответственно.

1. Найдите состав **X<sub>1</sub>**–**X<sub>3</sub>**, **Z**, **Y**; приведите уравнения реакций. Подтвердите расчетом.
2. Расставьте коэффициенты в уравнениях реакций способов получения **Y**:
  - а)  $\text{H}_2\text{O}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{Y}$ .
  - б)  $\text{KClO}_3 \longrightarrow \text{KCl} + \text{Y}$ .
  - в)  $\text{KMnO}_4 \longrightarrow \text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{MnO}_2 + \text{Y}$ .
3. Рассчитайте плотность, г/л, смеси **Z** и **Y** при н. у.
4. Какое минимальное число атомов теоретически может содержать частица железа, чтобы хотя бы один из её размеров попал в нанодиапазон? Радиус атома железа примите 132 пм.
5. Рассчитайте теплоту, выделяющуюся при образовании **X<sub>2</sub>** из 1 г железа, если теплота образования **X<sub>2</sub>** составляет 822 кДж/моль. Диспергирование в случае **X<sub>2</sub>** даже при относительно небольшом поступлении энергии протекает лучше, и диаметр наночастиц **X<sub>2</sub>** оказывается меньше, чем диаметр **X<sub>1</sub>**. Объясните этот результат, если теплота сублимации железа составляет 7480 Дж/г.
6. Синтезированные частицы хранят в инертном растворителе. Почему?





Свойства композита зависят от взаимодействия наполнителя и матрицы, о характере которого можно судить по тепловому эффекту смешения при образовании композита. Однако измерить эту теплоту непосредственно не получается, ведь порошки самопроизвольно с полимером не смешиваются. В расчете используют закон, открытый российским химиком Г.И. Гессом: «Тепловой эффект химической реакции при  $p = const$  или  $V = const$  зависит только от вида и состояния исходных веществ и продуктов реакции и не зависит от пути её протекания».

Так можно вычислить теплоту любого процесса без непосредственного измерения, если известны теплоты процессов, комбинированием которых его можно представить. В данном случае для расчета определяют теплоту растворения полимера  $Q_1$  и композита  $Q_2$  в хлороформе, теплоту смачивания наночастиц хлороформом  $Q_3$ . Теплоту смешения раствора полимера и суспензии наночастиц обычно считают равной нулю. В лаборатории исследовали взаимодействие матрицы — полихлоропренового каучука — и наполнителя — частиц железа сферической формы диаметрами 3,8 мкм ( $X_4$ ) и 80 нм ( $X_5$ ). Результаты микрокалориметрических измерений приведены в таблице.

Теплота растворения каучука $Q_1$ , Дж/г	Теплота смачивания поверхности частиц $Q_3$ , Дж/г		Теплота растворения композита, содержание частиц 40% масс. $Q_2$ , Дж/г		Плотность частиц, г/см <sup>3</sup>
	$X_4$	$X_5$	$X_4$	$X_5$	
5,00	0,52	1,10	2,77	2,38	7,87

4. Сколько атомов содержат частицы  $X_4$  и  $X_5$ ? Какова их удельная поверхность, м<sup>2</sup>/г?  
*Справка: площадь сферы  $S = 4\pi r^2$ , объём сферы  $V = 4/3\pi r^3$ .*
5. Выразите теплоту смешения наночастиц и матрицы (теплоту межфазового взаимодействия) при образовании композита с массовой долей частиц  $\omega$ , Дж/г, через  $Q_1$ – $Q_3$ .
6. Рассчитайте теплоты взаимодействия для композитов  $X_4$  и  $X_5$ , объясните результат.

---

## Химия. 10–11 классы

### Константы

Число Авогадро  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  моль<sup>-1</sup>

Постоянная Больцмана  $k_B = 1,38 \times 10^{-23}$  Дж·К<sup>-1</sup>

Универсальная газовая постоянная  $R = 8,314$  Дж/(К·моль)

Постоянная Планка  $h = 6,626 \times 10^{-34}$  Дж·с

Число Фарадея  $F = 9,6485 \times 10^4$  Кл·моль<sup>-1</sup>

Масса электрона  $m_e = 9,1093 \times 10^{-31}$  кг

Атмосферное давление  $P_{atm} = 1,01325 \times 10^5$  Па = 760 *mmHg* = 760 *Torr*

Ноль по шкале Цельсия 273,15 К

1 пикометр (пм)  $10^{-12}$  м

1 ангстрем (Å)  $10^{-10}$  м

1 нанометр (нм)  $10^{-9}$  м

1 кал = 4,184 Дж

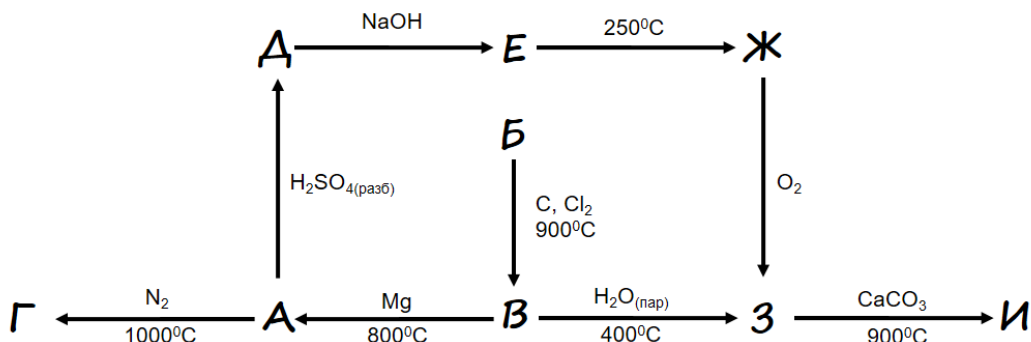
Заряд электрона  $1,602 \times 10^{-19}$  Кл

### *Задача VI.1.4.1. Многоликий А: от самолета и сверла до краски и дыма (33 баллов)*

Металл **А** и сплавы на его основе легки, устойчивы к коррозии и обладают привлекательными механическими свойствами — поэтому их используют при изготовлении реакторов и другого оборудования, а также протезов. Быстро растет спрос на использование в автомобилях и самолетах композитов с матрицей на основе **А**. В этой задаче вам предлагается расшифровать цепочку превращений веществ, содержащих элемент **А**.

Сырьём для производства **А** может выступать минерал **Б**, содержащий 31,6% масс. **А** и 36,8% масс. железа. По одному из способов, концентрат руды **Б** подвергают двухступенчатому хлорированию совместно с коксом с последующим разделением образующейся смеси фракционной перегонкой. Пары бинарного вещества **В** (плотность при 150 °С и 1 атм. составляет 5,47 г/л) пропускают над магнием, в результате чего получают губчатую массу **А**. Насыщением порошка **А** азотом получают вещество **Г** желто-коричневого цвета, покрытие из которого применяют как износостойкое (на металлорежущем инструменте) и в декоративных целях (на куполах и зубных коронках). Растворением **А** в серной кислоте можно получить соль **Д**, которая при реакции со щелочью образует коричнево-фиолетовый осадок **Е**. Разложением **Е** при нагревании можно получить бинарное вещество **Ж**, содержащее 66,67% **А** по массе. Жидкий **В** легко гидролизует с образованием **З**, применяемого в качестве основы белых красок. Туман **З** при гидролизе **В** также используют для создания дымовых завес. Спеканием **З** и карбоната кальция можно получить **И**, который используют как компонент некоторых керамических составов. Вещества, обладающие аналогичной **И** кристаллической структурой, применяют как основу одного из классов солнечных батарей.

1. Расшифруйте схему: приведите формулы, названия веществ **А–И** и напишите уравнения реакций.
2. Коричнево-фиолетовый осадок **Е** на воздухе белеет. Приведите уравнение этой реакции.



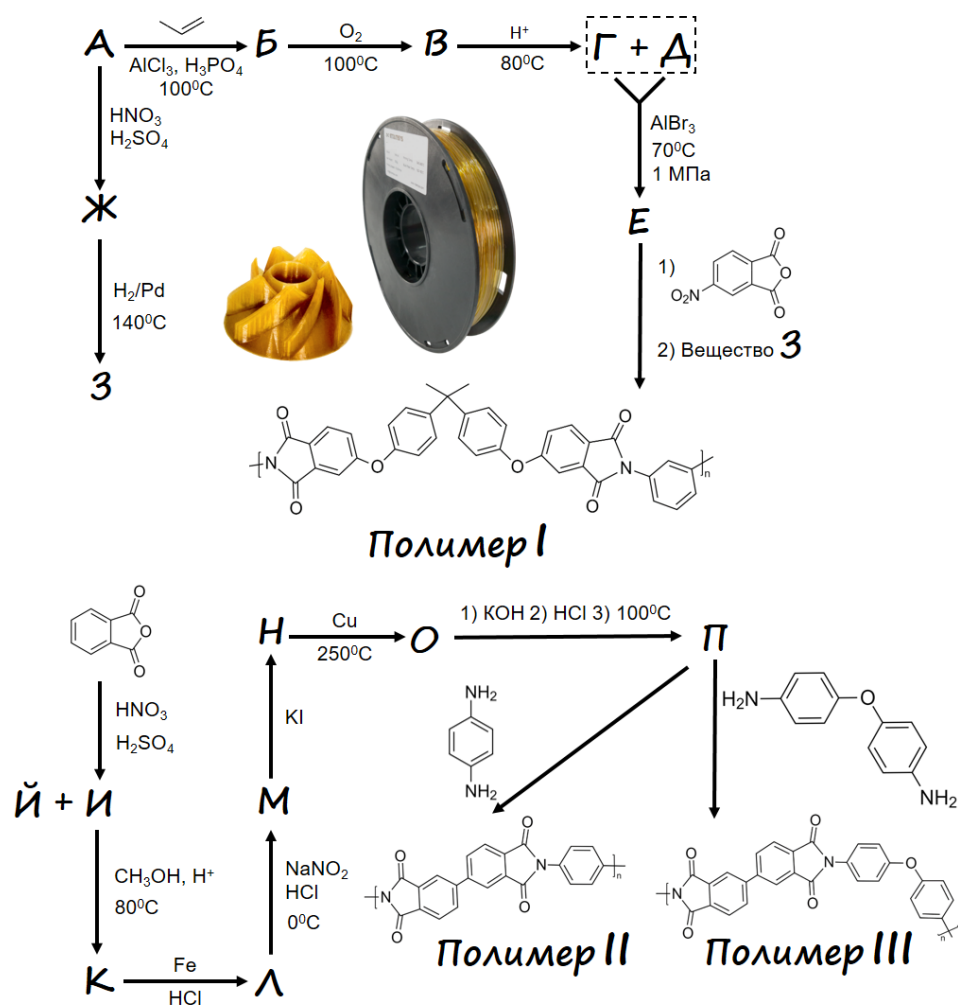
### Задача VI.1.4.2. «Шарнирные» полиимиды для композитной 3D-печати (42 баллов)

#### Условие

Полиимиды успешно применяют как композиционные полимеры благодаря высокой стойкости к нагреву, радиации, обработке едкими реагентами и прочности при разрыве. Но их использование осложняется технологическими проблемами: из-за высокой жесткости цепи температура стеклования таких полимеров слишком высока и это не позволяет проводить изготовление изделий из расплава. Проблему решают, вводя в структуру:

- а) группы с высокой степенью вращения («шарнирные») для повышения гибкости цепи,
- б) асимметричные группы (орто- и мета- замещенные ароматические кольца) для уменьшения межмолекулярных взаимодействий.

Ниже приведены схемы синтеза полимеров I–III, применяемых для изготовления зубчатых колёс, шестерней, втулок, насосов, фильтров, изоляции электродвигателей и генераторов, подложек биосенсоров. Один из полимеров используют в 3D-печати.

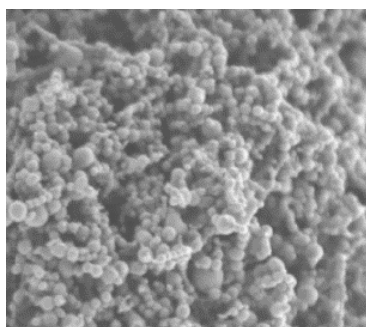


1. Расположите полимеры I-III в порядке снижения температуры стеклования. Как вы думаете, какой из них используют в 3D-печати?
2. Расшифруйте схему, приведя структурные формулы веществ **A–П**, если известно: **A** при ст. у. — жидкость, содержащая 7,7% масс. водорода; **Д** входит в состав жидкости для снятия лака; **E** ( $\text{C}_{15}\text{H}_{16}\text{O}_2$ ) способно реагировать с натрием и щелочью; **Ж** содержит **З** типа атомов водорода в соотношении 1 : 2 : 1; **И**, **Й** — изомеры, на титрование 0,100 г. **И** с фенолфталеином затрачено 12,0 мл раствора 0,079 М NaOH; **О** содержит два цикла, а **П** — четыре.

### Задача VI.1.4.3. Физхимия магнитоэластов (25 баллов)

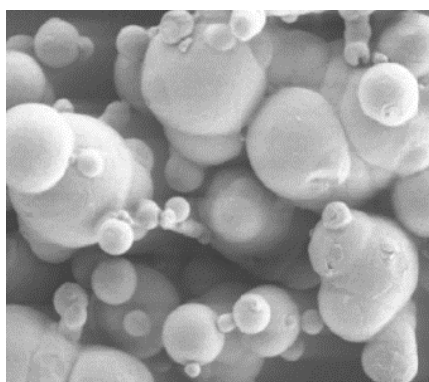
#### Условие

Включение магнитных наночастиц в эластичные полимерные матрицы позволяет получать нанокомпозиты — магнитоэласты, которые деформируются под действием магнитного поля. Такие материалы могут использоваться в магнитных клапанах, приводах, уплотнителях и даже в кодовых замках.



Магнитные наночастицы на основе железа можно получать методом электрического взрыва проволоки. Для этого взрывную камеру объёмом 10 л с предварительно установленной проволокой заполняют газом **Z** до давления 750 кПа при комнатной температуре 20 °С (привес составляет 123,1 г). Высоковольтным электрическим разрядом проволоку испаряют и при конденсации образуются сферические наночастицы **X<sub>1</sub>**. Если же в данных условиях использовать смесь **Z** с газом **Y** в объемном соотношении 4 : 1, то привес камеры составляет 118,1 г. и образуются наночастицы **X<sub>2</sub>** и **X<sub>3</sub>**, содержащие 70,0% и 72,4% масс. железа соответственно.

1. Найдите **Z**, **Y**, состав **X<sub>1</sub>–X<sub>3</sub>**; приведите уравнения реакций. Подтвердите расчетом.
2. Рассчитайте теплоту, выделяющуюся при образовании **X<sub>2</sub>** из 1 г железа, если теплота образования **X<sub>2</sub>** составляет 822 кДж/моль. Диспергирование в случае **X<sub>2</sub>** даже при относительно небольшом поступлении энергии протекает лучше, и диаметр наночастиц **X<sub>2</sub>** оказывается меньше, чем диаметр **X<sub>1</sub>**. Объясните этот результат, если теплота сублимации железа составляет 7480 Дж/г.
3. Синтезированные частицы хранят в гексане. Почему?



Свойства композита зависят от взаимодействия наполнителя и матрицы, о характере которого можно судить по тепловому эффекту смешения при образовании композита. Однако измерить эту теплоту непосредственно не получается, ведь порошки самопроизвольно с полимером не смешиваются. В расчете используют закон, открытый российским химиком Г.И. Гессом: «Тепловой эффект химической реакции при  $p = const$  или  $V = const$  зависит только от вида и состояния исходных веществ и продуктов реакции и не зависит от пути её протекания».

Так можно вычислить теплоту любого процесса без непосредственного измерения, если известны теплоты процессов, комбинированием которых его можно представить. В данном случае для расчета определяют теплоту растворения полимера  $Q_1$  и композита  $Q_2$  в хлороформе, теплоту смачивания наночастиц хлороформом  $Q_3$ . Теплоту смешения раствора полимера и суспензии наночастиц обычно считают равной нулю. В лаборатории исследовали взаимодействие матрицы — полихлоропренового каучука — и наполнителя — частиц железа сферической формы диаметрами 3,8 мкм ( $X_4$ ) и 80 нм ( $X_5$ ). Результаты микрокалориметрических измерений приведены в таблице.

Теплота растворения каучука $Q_1$ , Дж/г	Теплота смачивания поверхности частиц $Q_3$ , Дж/г		Теплота растворения композита, содержание частиц 40% масс. $Q_2$ , Дж/г		Плотность частиц, г/см <sup>3</sup>
	$X_4$	$X_5$	$X_4$	$X_5$	
5,00	0,52	1,10	2,77	2,38	7,87

4 Сколько атомов содержат частицы  $X_4$  и  $X_5$ ? Какова их удельная поверхность, м<sup>2</sup>/г?

*Справка: площадь сферы  $S = 4\pi r^2$ , объём сферы  $V = 4/3\pi r^3$ .*

5 Выразите теплоту смешения наночастиц и матрицы (теплоту межфазового взаимодействия) при образовании композита с массовой долей частиц  $\omega$ , Дж/г, через  $Q_1$ – $Q_3$ .

6 Рассчитайте теплоты взаимодействия для композитов  $X_4$  и  $X_5$ , объясните результат.