**Задание 1. «COVID-19: 2.0».**

Вирус SARS-Cov-2 напомнил человечеству о том, что самое главное в жизни – это здоровье. И если в 2020 году врачи и клинично-диагностические лаборатории спасали зараженных вирусом пациентов с помощью достижений современной медицины, то 2021 год обещает продемонстрировать миру все преимущества и возможности медицины превентивной.

Превентивная медицина – комплекс мероприятий, направленных на предотвращение (а не лечение) физических и психических болезней или состояний, которые провоцируются факторами окружающей среды, генетической предрасположенностью, болезнетворными агентами или образом жизни. К болезнетворным агентам относят и вирусы, в том числе SARS-Cov-2. Основной способ превенции вирусных заболеваний – вакцинация. В 2020 г. университеты, научные институты и фармацевтические компании активно занимались разработкой вакцин от нового коронавируса и, как итог, на мировом рынке появилось несколько вакцин от COVID-19.

Вакцинация (от лат. *vaccus* – корова) или прививка – это введение антигенного материала с целью вызвать иммунитет к болезни, который предотвратит заражение или ослабит его отрицательные последствия. В ответ на антигенный материал в организме человека синтезируются антитела – белки, которые борются с SARS-Cov-2.

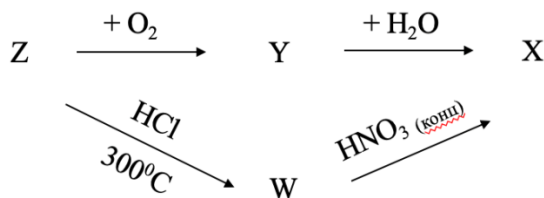
До 75 % всех антител, содержащихся в плазме крови человека, являются иммуноглобулинами G или IgG. Структуру антител такого типа формируют две тяжелые и две легкие белковые субъединицы (цепи). Известно, что молекулярная масса антител IgG составляет ~ 150 кДа (1 Да = 1 а.е.м.).

1. Рассчитайте приблизительную молекулярную массу тяжелой и легкой цепей, если известно, что масса тяжелой субъединицы приблизительно в 2 раза больше массы легкой субъединицы.

Последовательность мономеров в структуре белка определяет его свойства. Так, например, было показано, что 235-ый мономер в структуре иммуноглобулина G – лейцин – отвечает за связывание этого антитела со специфическим рецептором на поверхности В-лимфоцитов. Если заменить лейцин на другой мономер, связывания не происходит.

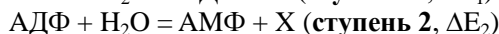
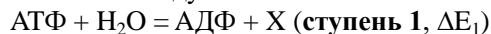
2. Вычислите брутто-формулу 235-го мономера, если известно, что он состоит из атомов элементов С, Н, О и N, массовая доля которых составляет 54,9 %, 9,91 %, 24,3 % и 10,7 % соответственно.

Различие между разными вакцинами от коронавируса заключается в форме антигенного материала, который они содержат. Самый простой вариант антигенного материала содержит вакцина американской корпорации Pfizer. Основным компонент вакцины Pfizer–BioNTech COVID-19 – искусственно синтезированные молекулы мРНК (рибонуклеиновой кислоты), последовательность мономеров в которых повторяет последовательности вируса SARS-Cov-2. Мономерами, формирующими мРНК являются 4 нуклеотида. Нуклеотиды состоят из органической части – нуклеозида – и кислотного остатка трехосновной неорганической кислоты X. Синтез кислоты X из простого вещества Z представлен на схеме.



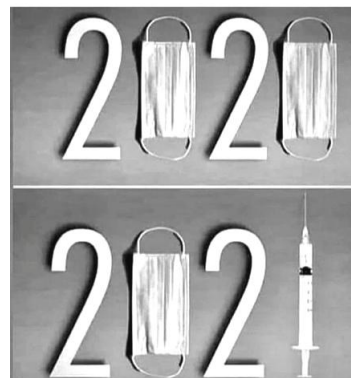
3. Установите формулы веществ X, Y, W и Z. Напишите уравнения представленных на схеме реакций (реакции 1, 2, 3 и 4). Изобразите структурную формулу вещества Y. Известно, что массовая доля водорода в составе вещества W составляет 8,8 %. Известно также, что в результате реакции Z с HCl, кроме W, еще получается бинарное (двух-элементное) вещество U с массовой долей хлора  $w(\text{Cl}) = 77,45\%$ .

Универсальный источник энергии – молекула АТФ ( $M = 507$  г/моль) – состоит из нуклеотида АМФ и двух остатков кислоты X. Процесс гидролиза связей между остатками кислоты X сопровождается выделением энергии:



При гидролизе АТФ по первой ступени высвобождается 30,5 кДж/моль энергии.

4. Рассчитайте изменение энергии, которым сопровождается вторая ступень гидролиза АТФ ( $\Delta E_2$ ), если известно, что суммарная энергия перехода из АТФ в АМФ составляет  $\Delta E_{\text{сумм.}} = -46,5$  кДж/моль.



В организме человека ежедневно синтезируется около 40 кг АТФ. Однако одновременно в организме содержится не более 250 г АТФ, поскольку молекулы этого вещества постоянно расходуются на энергообеспечение процессов жизнедеятельности организма.

5. Рассчитайте, сколько километров может проехать электромобиль «Tesla Model S», если использовать энергию гидролиза до АМФ всего вещества АТФ, синтезированного в организме человека за сутки. Энергия, которая требуется электромобилу на преодоление 1 км, составляет ~ 850 кДж.

Вакцина «Спутник V», разработанная НИЦЭМ имени Н.Ф. Гамалеи, содержит антигенный материал в более сложном формате, чем вакцина Pfizer. В состав вакцины входит вектор аденовируса (вектор – это вирус, лишенный гена размножения), в который встроены фрагменты генетического материала Sars-Cov-2. В отличие от нового коронавируса, генетический материал аденовирусов кодируют молекулы ДНК (дезоксирибонуклеиновой кислоты). Одним из основных отличий ДНК и РНК является структура сахаров, которые входят в их состав. В состав РНК входит рибоза, а в состав ДНК – дезоксирибоза.

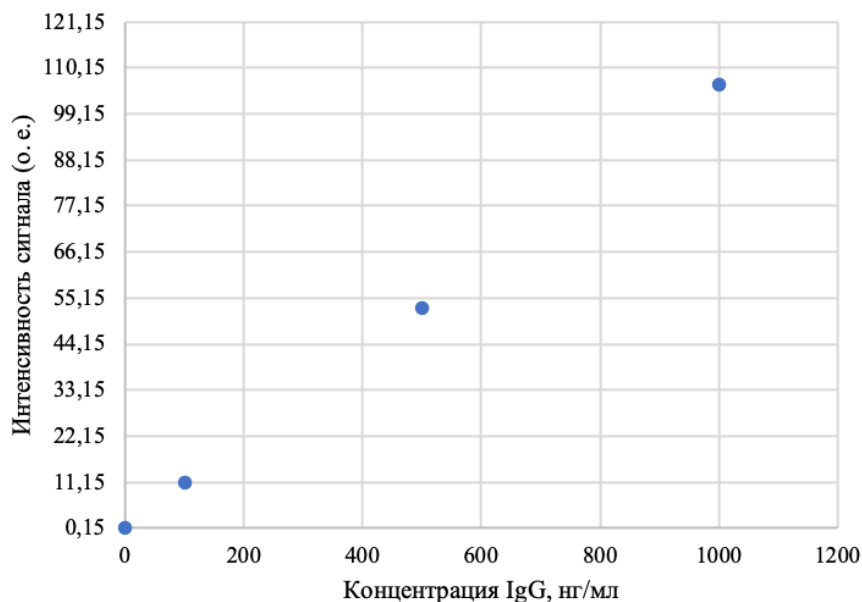
6. Вычислите брутто-формулы рибозы и дезоксирибозы, если известно, что эти сахара состоят из атомов С, Н и О, состав их молекул отличается только на 1 атом кислорода, а количество атомов водорода в их составе в 2 раза превышает количество атомов углерода. Массовая доля кислорода в рибозе и дезоксирибозе составляет 53,3 % и 47,7 % соответственно.

Содержание антител в крови пациента измеряют с помощью метода иммуноферментного анализа (ИФА). ИФА – это лабораторный метод качественного и/или количественного анализа, в основе которого лежит образование комплекса антиген-антитело в результате специфической реакции. Комплекс антиген-антитело при взаимодействии с ферментом образует окрашенный раствор, который анализируют спектрофотометрически (измеряют оптическую плотность раствора) и вычисляют концентрацию антител в крови пациента.

Алиса, София и Роберт привились вакциной «Спутник V», а их друзья из США Джереми, Кэролайн и Лэнс – вакциной «Pfizer-BioNTech COVID-19». В таблице приведены интенсивности сигналов (ИС), полученные в результате иммуноферментного анализа плазмы их крови на содержание антител IgG к SARS-Cov-2.

Имя	ИС igG (о. е.)	Имя	ИС igG (о. е.)
Алиса	80	Джереми	55
София	66	Кэролайн	79
Роберт	73	Лэнс	82

Для определения количественного содержания антител в крови пациента в лаборатории измеряют интенсивности сигналов (о. е.) для растворов, концентрация антител в которых известна. Полученные интенсивности сигналов наносят на график и получают калибровочную прямую. Вычислив параметры прямой, можно определить концентрацию антител, зная значение интенсивности сигнала. Ниже приведен пример калибровочного графика для определения содержания IgG к SARS-Cov-2.



7. Воспользовавшись калибровочным графиком, вычислите содержание IgG к SARS-Cov-2 (в мг/мл) в крови Алисы, Софии, Роберта, Джереми, Кэролайн и Лэнса, если известно, что образцы их плазмы перед анализом были разбавлены в 50 раз.

8. Рассчитайте общую массу антител IgG к SARS-Cov-2, содержащихся в крови Роберта. Общий объем крови в организме человека составляет ~ 5 л.

Вася и Леша, болевшие COVID-19 во время первого этапа ВООШ по химии, приобрели естественный иммунитет к новому коронавирусу (т. е. антитела в их организме образовались вследствие болезни). Каждый из них сдавал кровь на ИФА в декабре 2020 г., январе и феврале 2021 г. В таблице ниже приведена динамика результатов анализов Васи и Леша на IgG к SARS-Cov-2.

Пациент	Концентрация IgG, нг/мл		
	15.12.2020	15.01.2021	15.02.2021
Вася	40 000	39 500	38 000
Леша	33 000	31 800	31 000

9. Вычислите скорости уменьшения концентрации антител в крови Васи и Лёши (в г/(л\*день)) на каждом временном промежутке, а также среднюю скорость снижения содержания антител IgG за весь период.

10. Рассчитайте приблизительную молярную концентрацию антител (С, моль/л) в крови Лёши в декабре.

11. Объясните происхождение слова «вакцинация». Почему в его корень вошло слово, которое переводится с латинского языка как «корова»?

## **Задание 2. «Реакции в растворах на службе у охраны окружающей среды».**

Одной из основных задач химии является разработка технологий получения различных соединений, необходимых для устойчивого развития человечества. Надзорные органы Министерства природных ресурсов и экологии РФ строго следят за тем, чтобы каждая технология сопровождалась надлежащим комплексом природоохранных мероприятий, призванным обеспечить бережное отношение к окружающей среде. Полностью избежать образования вредных веществ в крупномасштабных промышленных процессах обычно не удастся, однако химические знания позволяют человеку разрабатывать эффективные технологии улавливания и утилизации этих веществ, защищая окружающую среду от негативного воздействия. Для улавливания газообразных веществ на предприятиях чаще всего используют водные растворы.

Рассмотрим процесс улавливания вредных и полезных веществ из газов, образующихся во время производства кокса из каменного угля. В ходе коксования уголь подвергают пиролизу – нагреву до температуры 1300-1350 °С без доступа воздуха. Продуктами этого процесса являются кокс (спечённый упрочнённый уголь) и первичный коксовый газ, который содержит много ценных парообразных и газообразных веществ, в том числе он содержит аммиак, обладающий основными свойствами.

По завершению процесса коксования первичный коксовый газ поступает в цех улавливания. В цеху газ охлаждают, получая очищенный коксовый газ, смолу и пиролизную воду.

Очищенный коксовый газ поступает в сатураторную установку. В сатураторной установке коксовый газ барботируют (пробулькивают) через раствор серной кислоты, в результате чего газ очищается от веществ, проявляющих основные свойства. В установку самотёком непрерывно поступает 75-78% серная кислота с расходом, обеспечивающим поддержание в верхней части сатуратора содержание серной кислоты 5-10%. В ходе процесса концентрация серной кислоты понижается, концентрация образующегося сульфата аммония увеличивается. После достижения порога растворимости, из раствора начинают выпадать кристаллы сульфата аммония, которые скапливаются вместе с насыщенным раствором (маточный раствор) в нижней части сатуратора.

1. Обычно товарная серная кислота имеет концентрацию 96% и плотность 1,836 г/мл. На производстве из неё готовят более разбавленный раствор. Определите объёмы 96% кислоты и воды (л), которые необходимо смешать для получения 1 м<sup>3</sup> 75% раствора серной кислоты плотностью 1,67 г/мл. В какой последовательности нужно смешивать концентрированную серную кислоту с водой?

2. Для того чтобы не выполнять такие расчёты для каждого случая разбавления, можно вывести универсальную формулу. Выведите такую формулу для расчёта отношения объёма концентрированной кислоты (с концентрацией  $\omega_x = X\%$  и плотностью  $\rho_x$  (г/мл)) к объёму воды для получения разбавленной кислоты с концентрацией  $\omega_y = Y\%$  и плотностью  $\rho_y$  (г/мл).

3. Подтвердите правильность выведенной формулы расчётом с использованием данных п. 1. Рассчитайте по этой формуле отношение объёмов 75% кислоты и воды, необходимых для приготовления: а) 10% раствора кислоты,  $\rho_{10} = 1,066$  г/мл; б) 6% раствора кислоты,  $\rho_6 = 1,039$  г/мл.

4. Вычислите молярную концентрацию серной кислоты в ее 10% растворе.

В сатуратор поступило 10 м<sup>3</sup> газа при температуре 60 °С и давлении 110 кПа. Состав очищаемого газа в объёмных процентах:  $\varphi(\text{NH}_3) = 1\%$ ;  $\varphi(\text{H}_2\text{O}) = 2\%$ , остальные 97% составляют газы, не улавливаемые в сатураторе. Можно считать, что доля улавливания аммиака в сатураторе составляет 90%, а паров воды 70%. Продуктом улавливания является сульфат аммония, который частично выпадает в осадок в виде кристаллов и частично растворён в маточном (конечном) растворе. Плотность маточного раствора составляет 1,35 г/мл, а растворимость сульфата аммония  $S = 75,4$  г в 100 г H<sub>2</sub>O. Остаточное содержание серной кислоты в маточном растворе 6%.

5. Напишите уравнение реакции поглощения аммиака раствором серной кислоты с образованием средней соли. Рассчитайте объём 75% серной кислоты, потребовавшийся для улавливания аммиака в описанном процессе. Вычислите массу кристаллов сульфата аммония, которые выпадут из маточного раствора в ходе улавливания.

Образующийся в сатураторе сульфат аммония подаётся на центрифуги, где он отделяется от маточного раствора. Полученный сульфат аммония в основном используют в качестве удобрения. Тем не менее, его собственные химические свойства весьма интересны и разнообразны. При нагревании сульфат аммония разлагается ступенчато. На первой ступени (около 150 °С) выделяется аммиак и образуется новая соль А. Раствор соли А может использоваться вместо раствора серной кислоты при поглощении аммиака. На второй ступени (выше 500 °С) соль А разлагается без остатка, превращаясь в газообразные при этой температуре вещества.

При совместной кристаллизации с сульфатами двух- и трехвалентных металлов сульфат аммония образует новые классы соединений – кристаллогидраты двойных солей, так называемые шёниты и квасцы соответственно.

6. Напишите уравнения реакций для каждой из двух ступеней термического разложения сульфата аммония, а также реакции поглощения аммиака раствором соли А. Установите общие формулы шёнитов и квасцов  $(\text{NH}_4)_x\text{M}_y(\text{SO}_4)_z \cdot w\text{H}_2\text{O}$ , если известно, что сульфат аммония сокристаллизуется с сульфатами металлов в мольном отношении 1:1, а атомное соотношение Н/О в шёнитах составляет 10/7, а в квасцах 7/5.

7. Выделяющийся при термолитзе соли А аммиак сам является ценным продуктом и участвует во многих химических реакциях. Напишите уравнения реакций с участием газообразного аммиака: 1 и 2) окисления аммиака на воздухе в отсутствие и присутствии катализатора, 3) взаимодействия с хлороводородом, 4) взаимодействия с газообразным  $\text{SO}_2$  при нагревании (в продуктах только одно не простое вещество), 5) взаимодействия с нагретым оксидом меди (II).

8. Аммиак хорошо растворяется в воде, образуя едкий, мылкий раствор. Напишите уравнения реакций раствора аммиака с: 6) раствором хлорноватой кислоты; 7) раствором хлорида галлия; 8) избытком раствора сульфата меди(II); 9) раствором перманганата калия при нагревании в нейтральной среде.

**Задание 3. «Заурядное явление».**

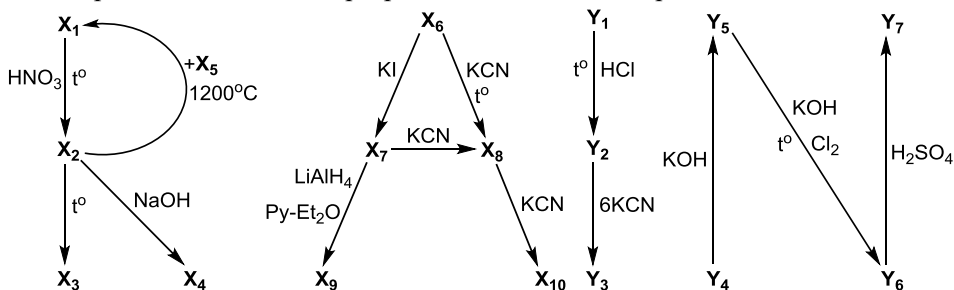
*«Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан»*

Радуга – одно из красивейших явлений природы. Человек с незапамятных времён задумывался над её происхождением и связывал появление на небе разноцветной дуги с множеством поверий и легенд. Люди сравнивали радугу то с небесным мостом, с которого на землю спускались боги или ангелы, то с дорогой между небом и землёй, то с вратами в потусторонний мир. Реальная же причина возникновения радуги состоит в том, что свет падает на капельки воды в виде тумана или дождя и преломляется, даря нам столь красивое и удивительное явление природы.

Различные неорганические химические вещества тоже порой имеют очень яркую и красивую окраску. Например, весьма насыщенные цвета имеют порошки таких соединений переходных металлов, как манганат, феррат и хромат бария, хромат серебра, гидроксид неодима(III), оксиды хрома(III и VI), ванадия(V), меди(I), олова(II).

1. Предложите 7 неорганических соединений, водные растворы которых позволят Вам увидеть все цвета радуги (каждый раствор соответствует определенному цвету радуги).

Далее Вашему вниманию представлены схемы превращений веществ, содержащих элементы X и Y:



Примечание к схеме: Py-Et<sub>2</sub>O – смесь пиридина и диэтилового эфира.

Впервые вещество X<sub>9</sub> было получено в 1844 году французским химиком Адольфом Вюрцем. Реакция получения заключалась в восстановлении сульфата элемента X фосфорноватистой кислотой (H<sub>3</sub>PO<sub>2</sub>), при этом в осадок выпадает красный гидрид X<sub>9</sub>, который стал первым обнаруженным гидридом металла. X<sub>9</sub> является не очень стабильным веществом и медленно разлагается выше 0°C, превращаясь в металл X<sub>5</sub> и теряя 1,54 % по массе.

Среднюю соль Y<sub>6</sub> получают пропусканием хлора через нагретую до 50°C щелочную темно-оранжевую свежеполученную взвесь Y<sub>5</sub>, которая со временем растворяется, превращаясь в темно-фиолетовый продукт реакции. При растворении 1,0 г Y<sub>6</sub> в избытке разбавленной серной кислоты выделяется бесцветный газ объёмом 84,85 мл (н.у).

2. Напишите символы элементов X и Y, входящих в состав соответствующих веществ X<sub>1</sub> – X<sub>10</sub>, Y<sub>1</sub> – Y<sub>7</sub>. Напишите формулы веществ X<sub>1</sub> – X<sub>10</sub>, Y<sub>1</sub> – Y<sub>7</sub>.

Известно, что бинарные (двухэлементные) вещества X<sub>1</sub> и X<sub>3</sub> являются основными компонентами оксидных минералов, а при растворении X<sub>1</sub> в азотной кислоте выделяется бурый газ. X<sub>6</sub> можно получить при взаимодействии X<sub>4</sub> с соляной кислотой. Вещество Y<sub>4</sub> содержит Y в промежуточной степени окисления и образуется при сгорании переходного металла Y<sub>1</sub> в газообразном хлоре, при этом масса твердого вещества возрастает на 190,2 %.

В таблице приведены массовые доли кислорода в некоторых веществах:

Вещество	X <sub>1</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>6</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>
ω(O), %	11,11	20,00	59,50	18,71	32,32	48,00

3. Напишите уравнения всех химических реакций, представленных на схеме (14 реакций). Почему в реакции получения X<sub>9</sub> из X<sub>7</sub> в качестве растворителя используют смесь пиридина с диэтиловым эфиром (органические растворители), а не воду? Ответ подтвердите уравнением реакции.

4. Семь из представленных на схеме 17 соединений (X<sub>1</sub> – X<sub>10</sub>, Y<sub>1</sub> – Y<sub>7</sub>) расположите в ряд по цвету их порошков в соответствии с порядком цветов радуги (от красного до фиолетового).

5. Если внимательно посмотреть на представленную Вам схему превращений, можно увидеть английское слово. Какое отношение это слово имеет к тексту задачи?