**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. Основным 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.

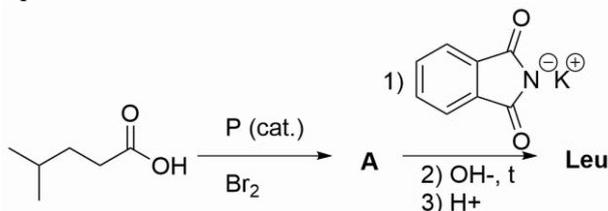
Вакцинация (от лат. *vaccus* – корова) или прививка – это введение антигенного материала с целью вызвать иммунитет к болезни, который предотвратит заражение или ослабит его отрицательные последствия. В ответ на антигенный материал в организме человека синтезируются антитела – белки, которые борются с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

1. Какие мономеры (класс соединений) формируют первичную структуру антител?

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.).

2. 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 – вещество **Leu** – отвечает за связывание этого антитела со специфическим рецептором на поверхности В-лимфоцитов. Если заменить **Leu** на другой мономер, связывания не происходит. Вашему вниманию представлена схема синтеза вещества **Leu** из 4-метилпентановой кислоты.



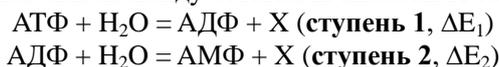
3. Изобразите структурные формулы веществ **A** и **Leu**. Назовите вещество **Leu** по традиционной номенклатуре и по номенклатуре IUPAC. Дополнительно известно, что молярная масса вещества **Leu** составляет 131 г/моль.

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, последовательность 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.



4. Установите формулы веществ **X**, **Y** и **Z**. Напишите уравнения представленных на схеме реакций (**реакции 1 и 2**). Изобразите структурную формулу вещества **Y**.

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.

5. Рассчитайте изменение энергии, которым сопровождается вторая ступень гидролиза АТФ (ΔE_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.

6. 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 электромобилю 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. 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.

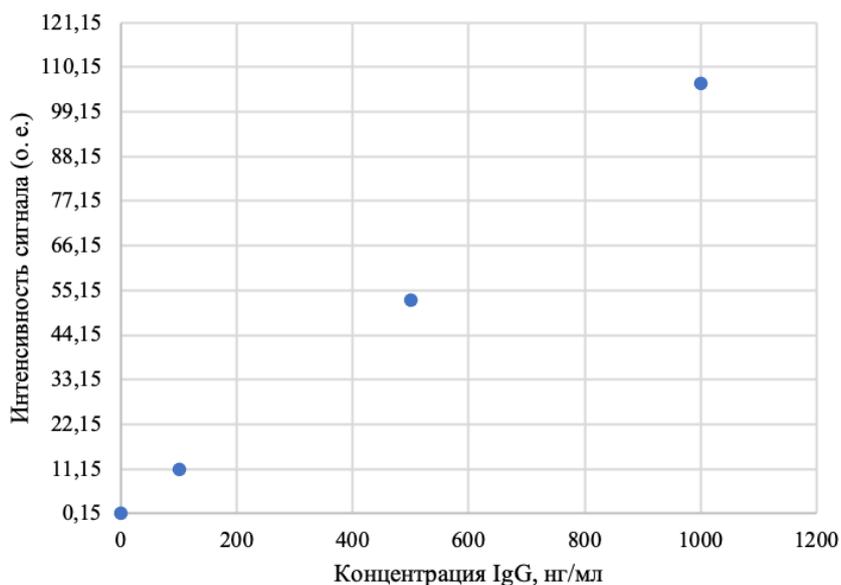
7. Вычислите брутто-формулы рибозы и дезоксирибозы, если известно, что эти сахара состоят из атомов С, Н и О, а состав их молекул отличается только на 1 атом кислорода. Массовая доля кислорода в рибозе и дезоксирибозе составляет 53,3 % и 47,7 % соответственно.

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.



8. 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.

9. Рассчитайте приблизительную молярную концентрацию антител (С, моль/л) в крови Роберта.

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

Задание 2. «Ионные равновесия 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 газообразных и парообразных веществ. Некоторые ценные компоненты первичного коксового газа, такие как аммиак, пиридин, анилин и хинолин, обладают основными свойствами.

Часть физических свойств этих компонентов представлена в таблице:

Вещество	Запах	$t_{пл}, ^\circ\text{C}$	$t_{кип}, ^\circ\text{C}$	$pK_{НВ+}^*$	Растворимость в воде
NH_3	резкий, раздражающий, «колющий»	-78	-33	9,25	очень хорошо растворимо
$\text{C}_5\text{H}_5\text{N}$	резкий, неприятный	-41,6	115,6	5,2	неограниченно растворимо
$\text{C}_6\text{H}_7\text{N}$	слабый, напоминающий запах рыбы	-6,3	184,1	4,6	малорастворимо
$\text{C}_9\text{H}_7\text{N}$	слабый запах каменноугольной смолы	-15	237,1	4,9	малорастворимо

* $pK_{НВ+} = -\lg K_{НВ+}$. $K_{НВ+}$ – константа равновесия кислотной диссоциации протонированной формы основания В. (Для аммиака это константа равновесия реакции $\text{NH}_4^+ = \text{NH}_3 + \text{H}^+$).

По завершению процесса коксования первичный коксовый газ поступает в цех улавливания. В цеху газ охлаждают, получая очищенный коксовый газ, смолу и пиролизную воду. Вещества коксового газа, проявляющие основные свойства, распределяются между тремя фазами: в очищенный газ и пиролизную воду переходят аммиак, пиридин и часть его гомологов, в смолу анилин, остальные гомологи пиридина и хинолин.

Очищенный коксовый газ поступает в сатураторную установку. В сатураторной установке газ барботируют (пробулькивают) через раствор серной кислоты. В установку самотёком непрерывно поступает 75-78% серная кислота с расходом, обеспечивающим поддержание в верхней части сатуратора содержание серной кислоты 5-10%. В результате газ очищается от веществ, проявляющих основные свойства, а концентрация кислоты снижается.

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 м³ 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 ρ_x (г/мл)) к объёму воды для получения разбавленной кислоты с концентрацией $\omega_y = Y\%$ и плотностью ρ_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, доли форм серосодержащих ионов и рН в 10% растворе серной кислоты ($pK_{a2} = 1,9$). Напишите уравнения реакций поглощения аммиака и пиридина серной кислотой на начальном этапе барботирования. Назовите образующиеся в этих реакциях вещества.

После прохождения через раствор больших объёмов коксового газа раствор в сатураторе становится пересыщенным по содержанию сульфата аммония, но остается ненасыщенным по содержанию солей органических катионов, поэтому в сатураторе выпадают только кристаллы сульфата аммония. Пульпа (смесь раствора с осадком) из сатуратора подаётся в отстойник, где кристаллы отделяют от основной части маточного раствора. Маточный раствор направляется в отделение извлечения пиридина и его гомологов, а кристаллы с остатками маточного раствора – на центрифуги, обеспечивающие более полное отделение кристаллов от раствора.

5. Растворимость сульфата аммония составляет 75,4 г/100 г воды, плотность такого раствора 1,35 г/мл. Пренебрегая влиянием других растворённых веществ на свойства раствора, рассчитайте молярную концентрацию этой соли в маточном растворе.

В заводской лаборатории разбавили маточный раствор в 10 раз и провели его титрование щелочью в присутствии индикатора метилового оранжевого. На титрование аликвот (проб) разбавленного маточного раствора объемом 10 мл в среднем было израсходовано 5,50 мл раствора щёлочи с концентрацией 0,1000 моль/л.

6. Как называется описанный метод титрования? Какой переход окраски аликвоты анализируемого раствора наблюдается в точке эквивалентности? Почему этот разбавленный маточный раствор нельзя титровать щёлочью в присутствии индикатора фенолфталеина?

7. Вычислите рН для двух растворов: разбавленного маточного (подвергнутого титрованию) и исходного маточного раствора.

Маточный раствор направляется самотёком в нейтрализатор отделения извлечения пиридина и его гомологов. В нейтрализатор параллельно подаётся нагретая газовая смесь, содержащая аммиак и газ **Z** (бесцветный газ почти без запаха, в высоких концентрациях с кисловатым запахом). Эта газовая смесь образуется в специальном отделении при нагреве пиролизной воды перегретым паром. Концентрацию аммиака в растворе нейтрализатора поддерживают на уровне, обеспечивающем переход протонированной формы пиридина в молекулярную не менее, чем на 99 %.

8. Рассчитайте рН раствора нейтрализатора и равновесную концентрацию растворённого в нём аммиака. Влиянием на рН всех веществ, кроме аммиака и его форм, пренебречь, по сульфату аммония раствор является насыщенным.

Затем нейтрализованный раствор нагревают, и из него испаряются молекулярные формы пиридина и его гомологов вместе с избыточным аммиаком, парами воды и газом **Z**. Испаряющиеся газы поступают в конденсатор. Неконденсирующиеся газы и пары отводятся из конденсатора в газопровод, а образующийся конденсат стекает в сепаратор. В результате отстаивания в сепараторе конденсат разделяется на два слоя: нижний, представляющий собой водный раствор двух солей (**A** и **B**), и верхний - органическую жидкость, содержащую пиридин и его гомологи, применяемую как растворитель и сырьё для производства лекарств и пестицидов. Соли, содержащиеся в водном растворе, являются продуктами взаимодействия аммиака и газа **Z** в присутствии воды в обычных условиях. При избытке аммиака образуется соль **A**, при недостатке соль **B**.

9. Установите формулы солей **A** и **B**, напишите уравнения реакций их образования.

Задание 3. «Заурядное явление».

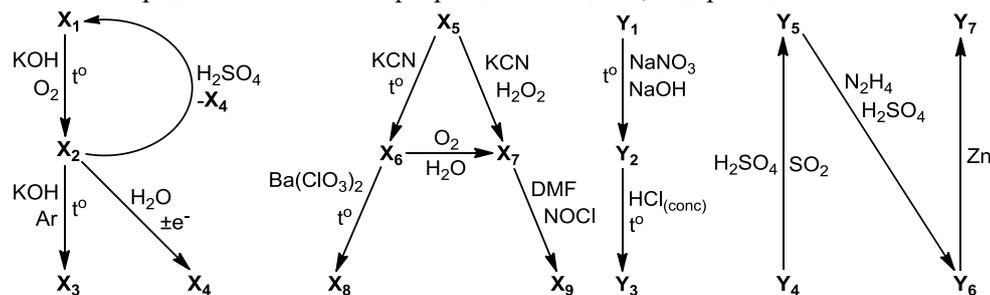
«Каждый Охотник Желает Знать, Где Сидит Фазан»

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 воротами 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**:



Примечания к схеме: $\pm e^-$ – электролиз; DMF – диметилформамид ((CH₃)₂NCHO).

Впервые вещество **X₉** было получено в 1976 году из **X₇** и NOCl, при этом из 4 г **X₇** было получено 3 г вещества **X₉** (выход 86 %), а также 0,26 л (25°C, 1 бар) бесцветного бинарного (двухэлементного) газа.

Вещество **X₇** может быть приготовлено из свежесажженного **X₅**. Для этого свежеполученное **X₅** тщательно перемешивают с раствором цианида калия, раствор при этом самопроизвольно разогревается и образуется темно-фиолетовая кристаллическая масса вещества **X₆**. Маточный раствор оказывается окрашен в желтоватый цвет, а при доступе кислорода приобретает красно-коричневую окраску. После этого реакционную смесь охлаждают и медленно добавляют 3% раствор H₂O₂, выжидая, пока окраска не перейдет в глубокую темно-коричневую. При этом из 2,34 г **X₅** можно получить 4 г **X₇** (выход 60 %).

2. Напишите символы элементов **X** и **Y**, входящих в состав соответствующих веществ **X₁ – X₉**, **Y₁ – Y₇**. Напишите формулы веществ **X₁ – X₉**, **Y₁ – Y₇**. Известно, что вещества **X₁** (бинарное) и **X₅** являются основными компонентами распространенных минералов элемента **X**. Вещество **Y₄** содержит **Y** в высшей степени окисления и образуется при сгорании металла **Y₁** в кислороде. Также известно, что массовая доля **Y** в ряду **Y₄ – Y₇** изменяется немонотонно, а комплексные соли **X₆**, **X₇**, **X₉** имеют одинаковый качественный состав.

В таблице приведены массовые доли кислорода в некоторых веществах:

Вещество	X₁	X₅	Y₄	Y₅
$\omega(\text{O}), \%$	36,78	41,74	43,96	49,08

3. Напишите уравнения всех химических реакций, представленных на схеме (14 реакций).

