**Задание 1. (автор Н.В. Рубан).**

1. Как известно, объем любого газа при н. у. ($T = 273 \text{ K}$ (0°C) и $p = 1 \text{ атм.}$) составляет 22,4 л.

Рассчитаем количества моль веществ, образовавшихся при сгорании **A**:

$$n(\text{CO}_2) = V/V_m = 112/22,4 = 5 \text{ моль}; n(\text{N}_2) = 56/22,4 = 2,5 \text{ моль.}$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m/M = 45/18 = 2,5 \text{ моль};$$

Количество моль кислорода, затраченное на сжигание **A**: $n(\text{O}_2) = 140/22,4 = 6,25 \text{ моль}$

Таким образом, на сжигание 1 моля **A** было затрачено 6,25 моль кислорода, а в результате было получено 5 моль CO_2 , 2,5 моль H_2O и 2,5 моль N_2 .

На основе этих данных можно составить уравнение реакции горения **A**: $\text{A} + 6,25\text{O}_2 = 5\text{CO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} + 2,5\text{N}_2$.

Согласно уравнению реакции, в 1 моль **A** должно содержаться 5 моль C , $2,5 \cdot 2 = 5$ моль H и $2,5 \cdot 2 = 5$ моль N .

Количество атомов кислорода слева и справа равно. Таким образом, брутто-формула **A**: $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5$.

Из таблицы видно, что при сгорании азотистого основания **Г** образуются те же самые продукты в точно таких же соотношениях, как и в случае вещества **A**.

Количество моль кислорода, затраченное на сжигание 1 моль **Г**: $n(\text{O}_2) = 128,8/22,4 = 5,75 \text{ моль.}$

Уравнение реакции горения **Г**: $\text{Г} + 5,75\text{O}_2 = 5\text{CO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} + 2,5\text{N}_2$.

Согласно уравнению реакции, в 1 моль **Г** должно содержаться 5 моль C , $2,5 \cdot 2 = 5$ моль H и $2,5 \cdot 2 = 5$ моль N . Количество атомов кислорода слева на единицу меньше, чем справа, следовательно, в составе молекулы **Г** должен содержаться 1 атом кислорода. Брутто-формула **Г**: $\text{C}_5\text{H}_5\text{N}_5\text{O}$.

Проведем аналогичные расчеты для **Ц** и **У**:

$$\text{Ц: } n(\text{CO}_2) = 89,6/22,4 = 4 \text{ моль}; n(\text{N}_2) = 56/22,4 = 1,5 \text{ моль}; n(\text{H}_2\text{O}) = 45/18 = 2,5 \text{ моль.}$$

$$n(\text{O}_2) = 106,4/22,4 = 4,75 \text{ моль. } \text{Ц} + 4,75\text{O}_2 = 4\text{CO}_2 + 2,5\text{H}_2\text{O} + 1,5\text{N}_2$$

Согласно уравнению реакции, в 1 моль **Ц** должно содержаться 4 моль C , $2,5 \cdot 2 = 5$ моль H и $1,5 \cdot 2 = 3$ моль N . Количество атомов кислорода слева на единицу меньше, чем справа, следовательно, в составе молекулы **Ц** должен содержаться 1 атом кислорода. Брутто-формула **Ц**: $\text{C}_4\text{H}_5\text{N}_3\text{O}$.

$$\text{У: } n(\text{CO}_2) = 89,6/22,4 = 4 \text{ моль}; n(\text{H}_2\text{O}) = 36/18 = 2 \text{ моль}; n(\text{N}_2) = 1 \text{ моль};$$

$$n(\text{O}_2) = 89,6/22,4 = 4 \text{ моль. Брутто-формула У: } \text{C}_4\text{H}_4\text{N}_2\text{O}_2$$

2. Комплементарная последовательность: **A-A-U-C-C-G-U-G-C-A-A-C-G-A-U-C-U-U.**

3. Праймер, комплементарный фрагменту РНК SARS-Cov-2, будет комплементарен какому-либо участку РНК человека в том случае, если последовательность нуклеотидов во фрагменте РНК вируса совпадет с последовательностью нуклеотидов в РНК человека.

Допустим, что **A** – первый нуклеотид фрагмента РНК SARS-Cov-2. Количество нуклеотидов **A** в геноме человека равно $1/4 \cdot 10^9$. Удовлетворяющих нас нуклеотидов (тех, за которыми следует цепь из еще 19 нуклеотидов) немного меньше $1/4 \cdot (10^9 - 19)$, но 19 слишком мало по сравнению с 10^9 и им легко можно пренебречь. Второй нуклеотид фрагмента РНК SARS-Cov-2 – **У**. Вероятность того, что за найденным нами нуклеотидом **A** в РНК человека идет нуклеотид **У** равна $1/4$, поскольку существует всего 4 типа нуклеотидов, которые могут быть соединены в произвольном порядке. Дальнейшая вероятность совпадения нуклеотидов в РНК человека и РНК SARS-Cov-2 на каждом шаге также составит $1/4$.

Таким образом, вероятность того, что праймер, комплементарный РНК SARS-Cov-2, будет комплементарен РНК человека, будет равна: $W = (1/4)^{20} \cdot 10^9 = (0,25)^{20} \cdot 10^9 = 9,1 \cdot 10^{-13} \cdot 10^9 = 9,1 \cdot 10^{-4}$.

Можно рассуждать по-другому. По классическому определению, вероятность события находится как отношение числа благоприятных исходов к общему числу исходов. Благоприятных исходов (исходов, когда совпадут 20 подряд нуклеотидов из 10^9) существует $10^9 - 19$, где числом 19 опять же можно легко пренебречь. Общее число исходов 4^{20} , вероятность совпадения $W = 10^9/4^{20} = 9,1 \cdot 10^{-4}$.

4. За один цикл ПЦР из 1 молекулы РНК получится 2 молекулы. После второго цикла концентрация молекул РНК вируса составит 4, после 3-го – 8, после 4-го – 16 и т. д. Таким образом: $C(\text{РНК SARS-Cov-2}) = 2^n \geq 1000$.

Если прологарифмировать указанное выражение по основанию 2 получим: $n \geq (\lg_2 1000 = 9,966) \sim 10$ циклов.

Можно получить то же число 10 подбором: $2^9 = 512 < 1000 < 2^{10} = 1024$.

5. Минимальное количество молекул $X_{\min} \cdot 2^{40} \geq 3,5 \cdot 10^{12} \Rightarrow X_{\min} \geq (3,5 \cdot 10^{12}/2^{40} = 3,18) \sim 4$ молекулы РНК вируса.

6. Будем считать, что концентрации вирусов у Леши и Васи ($C_{\text{Леши}}$ и $C_{\text{Васи}}$) в момент обнаружения оказались

примерно равны. Тогда $C_{\text{Лёши}} \cdot 2^{10} \approx C_{\text{Васи}} \cdot 2^{35}$. Отсюда $C_{\text{Лёши}}/C_{\text{Васи}} \approx 2^{35}/2^{10} = 2^{25} = 3,35 \cdot 10^7$ раз. В мазке Лёши концентрация молекул РНК SARS-Cov-2 была больше в $3,35 \cdot 10^7$ раз.

7. В 250 мл **БР**, согласно взаимосвязи между концентрацией, объемом раствора и количеством молей содержится:

$n(\text{Трис}) = C \cdot V = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125$ моль; $m(\text{Трис}) = M(\text{Трис}) \cdot n = 0,125 \cdot 121 = 15,1$ г.

$n(\text{MgCl}_2) = C \cdot V = 15 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 = 0,00375$ моль; $n(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \Rightarrow$

$m(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = M(\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) \cdot n(\text{MgCl}_2) = 0,00375 \cdot 203 = 0,76$ г.

$n(\text{KCl}) = C \cdot V = 0,5 \cdot 0,25 = 0,125$ моль; $m(\text{KCl}) = 0,125 \cdot 74,5 = 9,3$ г.

Раствора TWEEN 20 потребуется: $V(\text{TWEEN 20}) = 0,01 \cdot 250 = 2,5$ мл; $m(\text{TWEEN 20}) = V \cdot \rho = 2,5 \cdot 1,108 = 2,77$ г.

8. COVID-19 – COronaVIrus Disease 2019

Система оценивания:

1. Расчет брутто-формулы A, Г, Ц, У по 2 б.	2*4 = 8 б.
2. Верно составленная последовательность 2 б., с одной ошибкой 1 б., с двумя и более ошибками 0 б.	2 б.
3. Верный расчет вероятности 5 б., указание $(1/4)^{20}$ 2 б.	5 б.
4. Расчет числа циклов 3 б.	3 б.
5. Расчет и вывод о 4-х молекулах 3 б. (3,2 молекулы 2 б.)	3 б.
6. Расчет соотношения концентраций 3 б.	3 б.
7. Расчет масс веществ по 2 б.	2*4 = 8 б.
8. Расшифровка аббревиатуры 1 б.	1 б.
Всего:	33 балла.

Задание 2. (автор А.С. Чубаров).

1. В задаче описаны свойства перекиси (пероксида) водорода – H_2O_2 (**A**). H_2O_2 можно отнести к одному из следующих классов соединений (в зависимости от типа реакций): пероксиды (пероксосоединения), окислители, восстановители, слабые кислоты, лиганды. Высокая температура кипения связана с образованием сети водородных связей.

2. Основная область применения перекиси водорода – это отбеливание целлюлозы и бумаги. В существенно меньшей степени она используется для очистки сточных вод и получения мягких отбеливателей для стиральных моющих средств. $m_{\text{чист}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 1000 \times 1,112 \times 0,3 = 333,6$ г; $m(3\% \text{H}_2\text{O}_2) = 333,6/0,03 = 11120$ г, $V(3\% \text{H}_2\text{O}_2) = 11120/1,009/1000 = 11,0$ л.

3. Рассчитаем массы компонентов в 100 г антисептика: $m_{\text{спирта}} = 100 \times 0,73 = 73$ г; $m_{\text{глицерина}} = 100 \times 0,02 = 2$ г;

$m \text{H}_2\text{O}_2 = 100 \times 0,00143 = 0,143$ г. $V_{\text{спирта}(96\%)} = (73/0,96)/0,8014 = 95$ мл; $V_{\text{глицерина}(98\%)} = (2/0,98)/1,2558 = 1,63$ мл;

$V_{\text{перекиси}(30\%)} = (0,143/0,3)/1,112 = 0,43$ мл; $m_{\text{воды}} = 100 - 73 - 0,96 - 2/0,98 - 0,143/0,3 = 21,4$ г; $V_{\text{воды}} = 21,4$ мл. Глицерин добавляют в качестве увлажняющего кожу компонента для повышения переносимости продукта. Напиток «Водка» содержит всего 40 об. % спирта, что заметно меньше, чем содержание спирта в антисептике, поэтому приготовить антисептик на основе «Водки» не получится.

4. Катализаторы разложения – MnO_2 , NaOH , платиновые металлы (палладий, платина и др.), большинство кислот, KI , соединения меди, железа, кобальта, большинство солей d-элементов, фермент каталаза.

Уравнение реакции [1]: $2\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$. Две причины видимого бурного протекания реакции: 1) Выделение газа, что приводит к бурлению смеси; 2) Разогрев реакционной смеси за счет выделяющегося тепла вызывает резкое возрастание давления кислорода и водяного пара над раствором. Резкий рост давления в реакционном сосуде приводит к выбросу бурлящей смеси.

5. $Q_{\text{реакции [1]}} = 2Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}) - 2Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}_2) = 2 \times 285,8 - 2 \times 187,8 = 196,0$ кДж/моль.

$n(\text{H}_2\text{O}_2) = 1,009 \times 100 \times 0,03/34 = 0,089$ моль; выделилось $Q = 196 \times 0,089/2 = 8,72$ кДж.

$Q = Cm\Delta t$, тогда $\Delta t = 8720/(4,18 \times 100) = 20,9$ °С. Температура раствора составит $25 + 20,9 = 45,9$ °С.

6. Уравнения реакций: [2] $\text{PbS} + 4\text{H}_2\text{O}_2 = \text{PbSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$; черный порошок превращается в белый

[3] $\text{MnSO}_4 + 2\text{KOH} + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{K}_2\text{SO}_4$ (возможно образование $\text{MnO}(\text{OH})$); образуется бурый осадок

[4] $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 = \text{H}_2\text{SO}_4$; нет видимых изменений (исчезновение резкого запаха)

[5] $2\text{CrCl}_3 + 10\text{KOH} + 3\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 6\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$; изменение окраски раствора с зеленого на желтый

[6] $2\text{FeCl}_2 + 2\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{FeCl}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$; изменение цвета раствора от практически бесцветного до желтого

[7] $\text{MnO}_2 + \text{H}_2\text{O}_2 + 2\text{HNO}_3 = \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; бурый порошок растворяется с выделением газа, образуя бледно-розовый, практически бесцветный раствор

7. [8] $2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{KOH} + 2\text{MnO}_2 + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$; название опыта – «гейзер».

Процесс восстановления пероксида перманганатом протекает сложно, в несколько стадий, и требует катализатора – ионов Mn^{2+} или MnO_2 . Если взять раствор свежеперекристаллизованного (не успевшего

подвергнуться разложению) перманганата калия, реакция окисления им пероксида водорода протекает крайне медленно. По мере накопления диоксида марганца ее скорость возрастает, так как образуются нужные каталитические частицы. Это пример автокаталитической реакции.

Система оценивания:

1. Формула H_2O_2 1,5 б., класс соединений 0,5 б., образование водородных связей 0,5 б.	$1,5+0,5*2 = 2,5$ б.
2. Целлюлоза или бумага 1 б., расчет объема 2 б.	$1+2 = 3$ б.
3. Расчет объемов спирта, глицерина и H_2O_2 по 1 б., воды 2 б., необходимость глицерина и использование Водки по 0,5 б.	$1*3+2+0,5*2 = 6$ б.
4. Катализатор (2 шт) по 0,5 б., уравнение [1] 1 б., две причины бурного протекания реакции по 0,5 б.	$0,5*2+1+0,5*2 = 3$ б.
5. Расчет теплового эффекта реакции, тепло на 100 г раствора и температура раствора по 2 б.	$2*3 = 6$ б.
6. Уравнения 2-7 по 1 б., видимые изменения по 0,5 б.	$(1+0,5)*6 = 9$ б.
7. Уравнение 8 1 б., объяснение ускорения реакции 1 б., название опыта 0,5 б.	$1+1+0,5 = 2,5$ б.
Всего:	32 балла

Задание 3. (авторы В.А. Воробьев, В.А. Емельянов).

1. Один литр или 1000 см^3 концентрированной соляной кислоты с плотностью $1,174 \text{ г/см}^3$ весят 1174 г, из которых 35 % - хлороводород. Это соответствует $0,35*1174 = 410,9$ г или $410,9/36,5 = 11,26$ молям хлороводорода. Молярная концентрация составляет 11,26 моль/л. Для раствора с плотностью $1,185 \text{ г/см}^3$ и содержанием хлороводорода 38 % молярная концентрация хлороводорода составляет 12,34 моль/л. Интервал концентраций по ГОСТу – 11,26-12,34 моль/л.

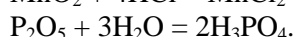
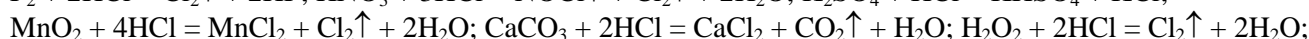
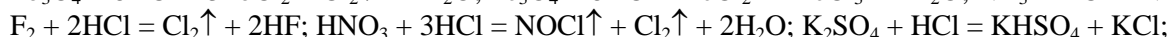
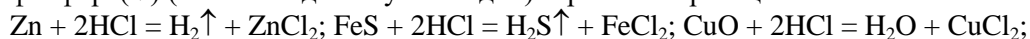
2. В 250 мл 3 М (моль/л) соляной кислоты содержится $3*0,25 = 0,75$ моль хлороводорода. Такое количество хлороводорода содержится в $0,75/11,26 = 0,0666$ л или 66,6 мл 11,26 М соляной кислоты либо в $0,75/12,34 = 0,0608$ л или 60,8 мл 12,34 М соляной кислоты.

3. Полученный Игорем раствор соляной кислоты с плотностью $1,045 \text{ г/см}^3$ близок по плотности к 10 % раствору. При увеличении концентрации с 8 % до 10 % плотность увеличивается на $0,009 \text{ г/см}^3$, следовательно, на каждый $0,001 \text{ г/см}^3$ увеличения плотности приходится 0,22 % увеличения концентрации. Следовательно, у Игоря получился 9,33 % раствор. 1 литр такого раствора весит 1045 г, в нем содержится $0,0933*1045 = 97,5$ г хлороводорода, что соответствует концентрации $97,5/36,5 = 2,67$ моль/л соляной кислоты.

4. В условии задания сказано, что Игорь перенес 62,5 мл в колбу на 250 мл и разбавил водой. Так как объем колбы в 4 раза больше перенесенного объема, то в колбе после разбавления концентрация в 4 раза меньше, чем в исходной кислоте. По расчетам концентрация составила 2,67 моль/л, следовательно, концентрация исходной соляной кислоты составляет $4*2,67 = 10,69$ моль/л. Это значение меньше, чем 11,26 моль/л по ГОСТу, так как концентрированная соляная кислота дымит на воздухе и со временем хлороводород улетает из концентрированного раствора. (Поскольку в бутылки оставалась всего половина кислоты, скорее всего, бутылку открывали много раз).

5. С концентрированной соляной кислотой не взаимодействуют: оксид углерода(II), медь, кислород, сера, оксид кремния, бром, серная кислота, сульфат калия, бромид натрия, азот.

Взаимодействуют: цинк, сульфид железа(II), оксид меди(II), оксид свинца(II, IV), оксид железа(II, III), аммиак, фтор, азотная кислота, диоксид марганца, карбонат кальция, перекись водорода (конц), оксид фосфора(V) (он взаимодействует с водой). Уравнения реакций:



Система оценивания:

1. Нижняя и верхняя границы молярных концентраций по 1 б.	$1+1 = 2$ б.
2. Минимальный и максимальный объемы по 1 б.	$1+1 = 2$ б.
3. Массовая доля 2 б., молярная концентрация 1 б.	$2+1 = 3$ б.
4. Молярная концентрация $HCl_{конц}$ 2 б., объяснение 1 б.	$2+1 = 3$ б.
5. За каждое верное указание (реагирует / не реагирует) по 0,5 б (неверное – штраф -0,5 б), уравнения реакций по 1 б	$0,5*22+1*13 = 24$ б.
Всего:	34 балла.