

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР. *Время выполнения 180 минут*

11 класс

Задача 11-1

Вещество **A** содержит водород с массовой долей 8.824 % и мольной долей 75.00 %. Вещество **B** также содержит водород, массовая доля его 6.667 %, а мольная доля 50.00 %. Соединения **A** и **B** участвуют в цепочке превращений в присутствии HCl:



Соединение **C** имеет 3 типа атомов водорода с различным окружением (дает 3 сигнала в спектре протонного ядерного магнитного резонанса - важнейшего метода изучения органических соединений). Продукт **F** содержит 25.197 % углерода по массе. При выдергивании вещества **E** с добавкой 1 мольного эквивалента воды и каталитического количества NaOH (0.002 эквивалента) при комнатной температуре в отсутствие воздуха прошла некоторая реакция с выходом 50.00 %, выделился газ, а масса оставшейся жидкой смеси трех веществ получилась на 0.7038 % меньше, чем была у исходной смеси. Вещество **E** при действии водного раствора 1 эквивалента гидросульфита натрия превращается в продукт **D**. Расшифруйте цепочку превращения **A** в **F**, изобразите структуры веществ **A-F**. Запишите также уравнения двух описанных реакций вещества **E** с водой и гидросульфитом натрия.

Решение

Исходя из мольной доли водорода 75.00 % в веществе **A** примем простейшую формулу его за H_3X , тогда $3/(M_x+3) = 0.08824$, отсюда $M_x = 31$, **A** – это фосфин PH_3 .

Аналогично из мольной доли водорода 50.00 % в веществе **B** примем простейшую формулу его за H_2X , тогда $1/(M_x+1) = 0.06667$, отсюда $X = 14$, но нет такого одновалентного элемента.

Вариант №2, предположим формулу H_2X_2 . Значит $2/(2M_x+2) = 0.06667$, отсюда $2M_x = 28$, но вещество H_2N_2 не существует.

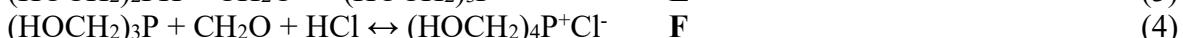
Вариант №3, предположим формулу H_2XY . Значит $2/(M_x+M_y+2) = 0.06667$, отсюда $M_x+M_y = 28$, вещество **B** – это CH_2O (метаналь). Он способен нуклеофильно присоединять фосфин по $\text{C}=\text{O}$ связи с образованием гидроксиметилфосфина, имеющего 3 сигнала в 1Н ЯМР: $\text{PH}_3 + \text{CH}_2\text{O} \leftrightarrow \text{HOCH}_2\text{PH}_2$

Вариант №4, $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$, это могут быть CH_3COOH или HOCH_2CHO . Оба вещества могут присоединять PH_3 , но не подходят по данным ЯМР:



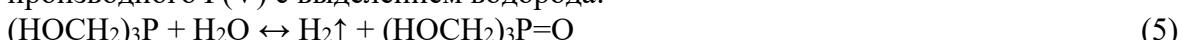
Вариант №5, $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$, это может быть $\text{HOCH}_2\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{OH}$, он не подходит: $\text{HOCH}_2\text{C}(\text{O})\text{CH}_2\text{OH} + \text{PH}_3 \leftrightarrow (\text{HOCH}_2)_2\text{C}(\text{OH})\text{PH}_2$ (4 сигнала в 1Н ЯМР спектре)

Варианты другие также не подходят.



В продукте **F** по условию $\omega(\text{C}) = 0.25197$. С учетом того, что соединение включает 4 атома углерода найдем $M(\text{F}) = 48/0.25197 = 190.499 \approx 190.5$, значит молекула содержит атом хлора $M(\text{Cl}) = 35.5$. Формула **F** $(\text{HOCH}_2)_4\text{P}^+\text{Cl}^-$.

Три(гидроксиметил)fosфин способен окисляться водой в присутствии щелочи до производного $\text{P}(\text{V})$ с выделением водорода:



Это уравнение можно вывести расчетным путем. Если взять 1 моль **E**, то масса реакционной смеси составила $m[(\text{HOCH}_2)_3\text{P}] + m(\text{H}_2\text{O}) + m(\text{NaOH}) = 124 + 18 + 0.08 = 142.08$ г. При указанном выходе реакции 50.00 % $m(\text{газа})$ составила $142.08 \cdot 0.007038 = 1$ г.

Значит при выходе 100% масса была бы 2 г. Такая малая масса может быть только у газообразного водорода. Значит $n(H_2) = 1$ моль при полном протекании реакции. Второй продукт - три(гидроксиметил)фосфороксид. Три вещества в жидкой смеси после протекания реакции на 50 % - это $(HOCH_2)_3P$ (0.5 экв.), H_2O (0.5 экв.) и $(HOCH_2)_3P=O$ (0.5 экв.).

При действии гидросульфита натрия происходит диссоциация $(HOCH_2)_3P$ на $(HOCH_2)_2PH$ и CH_2O , а последний присоединяет $NaHSO_3$ с образованием гидроксиметилсульфоната натрия $HOCH_2SO_3Na$ (качественная реакция на альдегиды и кетоны): $(HOCH_2)_3P + NaHSO_3 \rightarrow (HOCH_2)_2PH + HOCH_2SO_3Na$ (6)

Разбалловка

За правильное определение A и B по 2.5 б.	5 б.
За определение 4 веществ C-F и уравнения их образования 1-4 по 2.5 б.	10 б.
За уравнения реакций 5 и 6 по 5 б.	10 б.
Всего	25 б.

Задача 11-2

Оксид углерода(II) был впервые получен французским химиком Жаком де Лассоном 250 лет назад. Спустя 20 лет он, несмотря на токсичность, уже применялся в виде водяного газа для лечения ряда легочных заболеваний, а в настоящее время считается важным эндогенным газом, вырабатываемым клетками организма животных и выполняющим важную физиологическую роль.

Водяной газ получили в определенных условиях взаимодействием угля водяного пара, и он имел плотность 146.295 г/куб. м при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 1000 °C. Его сжали до 100 атм, охладили до 300 °C, добавили высокоселективный медно-хромовый оксидный катализатор и выдержали в реакторе при постоянном давлении для прохождения обратимой реакции, выход которой составил 66.67 %. При этом водяной газ обогатился парами одного органического вещества, в котором массовая доля кислорода превышает массовую долю водорода в 4 раза, и данное вещество не способно к гидрированию на Pt катализаторе.

1. Определите формулу полученного органического вещества. 2. Составьте уравнения описанных реакций. 3. Определите массовую долю CO в предварительно полученном водяном газе. 4. Определите мольную долю органического продукта в конечной газовой смеси. 5. Вычислите значение константы равновесия K_p реакции образования органического продукта через парциальные давления газов в атмосферах.

Решение

Пусть формула органического продукта $C_xH_yO_z$. По условию $16z/y = 4$, значит $y/z = 4$. C_xH_4O .

Вариант 1. CH_4O подходит **метанол**.

Вариант 2. C_2H_4O (этаналь, этиленоксид) не подходят, они могут гидрироваться до этанола.

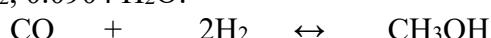
Вариант 3. C_3H_4O (пропеналь, пропинол, циклопропанон) не подходят, они могут гидрироваться до пропанола. Другие варианты тоже не подойдут.



Водяной газ может содержать H_2 , CO и пары непрореагировавшей воды. Для определения средней молярной массы газовой смеси используем уравнение Менделеева-Клапейрона. $PV = nRT = mRT/M$. $PM = \rho RT$ $M = \rho RT/P = 0.146295 \cdot 0.082 \cdot 1273/1 = 15.2711$ г/моль. Пусть мольная доля $\chi(CO) = x$, тогда $\chi(H_2) = \chi(CO) = x$, $\chi(H_2O) = 1-2x$. $M = 15.2711 = 28x + 2x + 18(1-2x) = 30x + 18 - 36x = -6x + 18$. Отсюда $x = 2.7289/6 = 0.4548$ $\chi(CO) = \chi(H_2) = 0.4548$, $\chi(H_2O) = 0.0904$.

Определим $\omega(CO)$: $28 \cdot 0.4548 / 15.2711 = 0.834$ (83.4 %).

Предположим, что в синтезе метанола использовали 1 моль водяного газа, то есть смесь 0.4548 моль CO и H_2 , 0.0904 H_2O .



Было:	0.4548	0.4548	0	Всего: $0.9096 + 0.0904 = 1$
Прореагировало:	x	2x	-	
Выделилось	-	-	x	
Стало:	$0.4548-x$	$0.4548-2x$	x	Всего: $0.9096-2x + 0.0904$

Определим x исходя из известного выхода реакции 66.67 %. Считаем по H_2 , который в недостатке: $0.6667 = 2x/0.4548$. $x = 0.1516$. Состав конечной смеси:

$$n(\text{CH}_3\text{OH}) = x = 0.1516 \text{ моль},$$

$$n(\text{CO}) = 0.4548-x = 0.3032 \text{ моль},$$

$$n(\text{H}_2) = 0.4548-2x = 0.1516 \text{ моль},$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 0.0904 \text{ моль. Всего } 0.6968 \text{ моль.}$$

Мольные доли газов:

$$\chi(\text{CH}_3\text{OH}) = 0.1516/0.6968 = 0.2176 (21.76 \%).$$

$$\chi(\text{CO}) = 0.3032/0.6968 = 0.4351,$$

$$\chi(\text{H}_2) = 0.1516/0.6968 = 0.2176,$$

$\chi(\text{H}_2\text{O}) = 0.0904/0.6968 = 0.1297$. Проверка: сумма мольных долей равна 1, как и должно быть.

Для определения K_p вычислим парциальные давления газов:

$$p(\text{CH}_3\text{OH}) = 100 \cdot 0.2176 = 21.76 \text{ атм},$$

$$p(\text{CO}) = 100 \cdot 0.4351 = 43.51 \text{ атм},$$

$$p(\text{H}_2) = 21.76 \text{ атм.}$$

$$K_p = p(\text{CH}_3\text{OH})/[p(\text{CO}) \cdot p(\text{H}_2)^2] = 21.76/(43.51 \cdot 21.76^2) = 0.001056.$$

Ответ: 1) CH_3OH . 2) $\omega(\text{CO}) = 83.4 \%$. 3) $\chi(\text{CH}_3\text{OH}) = (21.76 \%)$. 4) $K_p = 0.001056$.

Разбалловка

За определение метанола	5 б.
За два уравнения по 2.5 б.	5 б.
За расчет массовой доли CO = 83.4 %	5 б.
За расчет мольной доли метанола = 21.76 %	5 б.
За расчет $K_p = 0.001056$	5 б.
Всего	25 б.

Задача 11-3

Держать все нити в своих руках.

Русская народная пословица

В пословице зашифровано неорганическое соединение XY переходных элементов 4 периода. Соединение XY весьма широко применяется в медицине, промышленности, электронике. Элемент X был открыт в конце XVIII века и исторически получил название меначин (от минерала менаконита), однако лучше прижилось его название, данное Мартином Клапротом. При взаимодействии 1 моля XY с избытком хлора образуется смесь галогенидов X и Y, причем число атомов хлора в хлориде X в два раза больше, чем в хлориде Y. При окислении кислородом X образует диоксид с устойчивой степенью окисления +4, а Y в зависимости от температуры может проявлять различную степень окисления в оксидах от +2 до +4. При растворении XY в концентрированной азотной кислоте X образует моногидрат диоксида $\text{XO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, а Y переходит в динитрат. На 1 моль XY при этом выделяется 6 моль диоксида азота NO_2 . Сплавление XY со стехиометрическим количеством гидроксида натрия в инертной атмосфере приводит к выделению газа с плотностью по кислороду 0.0625, а масса исходного соединения составляет 53.23 % от массы твёрдого продукта, образовавшегося в результате реакции.

1. Установите элементы X, Y и формулу XY.
2. Подтвердите рассуждения расчётом.
3. Запишите уравнения всех указанных реакций.

4. Какие физико-химические свойства XY сделали его таким привлекательным для применения в стоматологии, хирургии, электронике? Приведите три примера с пояснениями, уравнениями реакций (если это необходимо) и конкретными применениями.

Решение

1. Начнем анализ с мнемонической подсказки. В пословице ключевое слово «нити», что практически напрямую указывает на два металла – никель и титан (NiTi). Проверим эту гипотезу.

Меначин – это историческое наименование титана, при этом исходный минерал получил название менаконит. Клапроту удалось выделить чистый титан, но назвал он его в честь древних мифических обитателей земли.

Элемент Y образует оксиды с валентностью от 2 до 4, при взаимодействии с азотной кислотой дает двухвалентный нитрат. С учетом мнемонической подсказки («нити») рассмотрим вариант никель (Ni). Для него характерны указанные валентности и степени окисления: NiO (+2), Ni₂O₃ (+3), NiO₂ (+4). Тогда XY = NiTi (никелид титана, нитинол), что согласуется с областями применения.

Проверим гипотезу, основываясь на химических свойствах.

Реакция с хлором: NiTi + 3Cl₂ → TiCl₄ + NiCl₂

Атомы Cl: в TiCl₄ (4), в NiCl₂ (2) → отношение 4:2 = 2:1. Подходит.

Реакция с HNO₃: NiTi + 8HNO₃ → TiO₂·H₂O + Ni(NO₃)₂ + 6NO₂ + 3H₂O

Образуется 6 моль диоксида азота. Подходит.

Реакция с гидроксидом натрия: в инертной атмосфере нет окислителя, значит реакция идёт с выделением H₂ за счёт окисления Ti водой (из гидроксида или кристаллизационной воды NaOH). NaOH при сплавлении содержит следы воды.

Ti + 2NaOH + H₂O → Na₂TiO₃ + 2H₂↑ при нагревании.

Ni с NaOH в инертной атмосфере не реагирует, следовательно остаётся в металлической форме. Тогда газ это H₂, M = 2 г/моль, D(O₂) = 2/32 = 0.0625. Подходит.

2. Расчёт массового процента

Запишем еще раз реакцию сплавления со щелочью:

Ti + 2NaOH + H₂O → Na₂TiO₃ + 2H₂↑.

Пусть в реакцию вступило 1 моль соединения, тогда m(NiTi) = 48 + 59 = 107 г.

m(Na₂TiO₃) = 142 г. Масса остатка будет складываться из массы непрореагированного никеля и титаната натрия m_{остатка} = 142 + 59 = 201 г.

Тогда отношение массы соединения к массе остатка составит: m(NiTi) / m_{остатка} = 0.5323, что согласуется с условием задачи.

Таким образом XY – это никелид титана, или нитинол.

4. NiTi является уникальным материалом для медицины благодаря сочетанию механических, биологических и функциональных свойств, многие из которых напрямую связаны с его обратимым фазовым превращением и поверхностной пассивацией.

1) Нитинол обладает эффектом памяти формы, т.е. способностью восстанавливать исходную форму после деформации при нагреве выше температуры аустенитного превращения (обычно близкой к температуре тела). Свойство обусловлено фазовым превращением:

Мартенсит (деформированный) → Аустенит (исходная форма)

Это свойство применяют в саморасширяющихся стентах (стент сжимают, вводят в сосуд, при 37°C он расширяется до запрограммированного диаметра), ортодонтических дугах (дуге придают форму зубного ряда, охлаждают, деформируют, устанавливают; во рту она медленно возвращается к исходной форме, перемещая зубы).

2) Также нитинол обладает высокой биосовместимостью и коррозионной стойкостью за счет пассивации поверхности NiTi оксидным слоем (преимущественно за счет TiO₂), который предотвращает выделение ионов никеля и обеспечивает инертность в биологических средах:

Ti + 2H₂O → TiO₂ + 4H⁺ + 4e⁻

Применяют в имплантатах (костные пластины, винты), кардиологических устройствах.

3) Нитинол немагнитен (слабый парамагнетик), что позволяет безопасно проводить МРТ-исследования у пациентов с имплантами.

Разбалловка

За расшифровку X, Y, XY (3 по 3 б.)	9 б.
Уравнения реакций (3 по 3 б.)	9 б.
Подтверждение расчетом	1 б.
Примеры применения с подробными объяснениями (3 по 2 б.)	6 б.
Всего	25 б.

Задача 11-4

Ацетилцистеин (АЦЦ, $C_5H_9NO_3S$) – муколитик и антиоксидант, содержит свободную тиольную группу ($-SH$), которая разрывает дисульфидные связи гликопротеинов мокроты.

Для ингаляций используют лиофилизированный порошок АЦЦ. Содержимое одного флакона (1.206 г АЦЦ) растворяют в 6.00 мл воды для инъекций. Пациенту назначено 0.00380 моль АЦЦ на одну процедуру. Ингаляцию проводят с помощью небулайзера со скоростью распыления 5.00 мкл/с. При распылении 85.0 % объёма раствора переходит в аэрозоль, средний диаметр частиц аэрозоля – 6.00 мкм.

1. Рассчитайте молярную концентрацию раствора, полученного из одного флакона (моль/л). Объёмом лиофилизата пренебречь.

2. Определите объём раствора (мл), необходимый для одной ингаляции, и продолжительность одной ингаляции (мин).

3. Оцените число частиц аэрозоля, образующихся за одну процедуру.

4. Оцените число молекул АЦЦ в одной частице аэрозоля.

5. Рассчитайте суммарную площадь поверхности дыхательных путей, которую покроют все частицы аэрозоля за одну процедуру (если считать, что они не перекрываются и укладываются в один слой). Приведите два обоснования, почему предположение о том, что распределение аэрозоля в дыхательных путях будет равномерным монослоем, ошибочно.

6. Аэрозоль – это дисперсная система с жидкой дисперсной фазой и газообразной дисперсионной средой. Приведите по одному примеру других дисперсных систем, встречающихся в природе, медицине, быту. Ответ представьте в виде таблицы:

Тип дисперсной системы	Пример	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда
Аэрозоль	Туман, облака	Жидкая	Газообразная
1.			
2.			
3.			

Примечание для участников

Для расчёта молярной массы ацетилцистеина используйте значения атомных масс из таблицы Менделеева, округляя их до целых чисел.

Все вычисления проводите с точностью до трёх значащих цифр, если не указано иное.

Для вычисления объема сферы воспользуйтесь формулой $V = (\pi d^3)/6$.

Наличие пропуска хотя бы в одной ячейке таблицы обнуляет всю строку. Отсутствие таблицы обнуляет результат по данному пункту.

Решение

1) Найдем количество вещества АЦЦ в растворе, полученном при растворении содержимого одного флакона в воде для инъекций $n = 1.206/163 = 0.00740$ моль. Тогда молярная концентрация АЦЦ составит: $C = 0.0074/0.006 = 1.23$ моль/л.

2) Переведем скорость распыления в л/с: $5 \text{ мкл/с} = 5 \cdot 10^{-6} \text{ л/с}$.

На одну ингаляцию нужно $n = 0.0038$ моль вещества. Молярная концентрация раствора известна, тогда: $V_{\text{р-па}} = 0.0038/1.23 \approx 3.09$ мл. Продолжительность ингаляции найдем как частное

общего объема раствора и скорости распыления: $t = V_{\text{р-ра}} / \upsilon = 3.09 \cdot 10^{-3} \text{ л} / 5 \cdot 10^{-6} \text{ л} \cdot \text{с}^{-1} \approx 618 \text{ с} \approx 10.3 \text{ мин.}$

3) Для определения числа частиц аэрозоля, образующихся за время ингаляции, найдем объём раствора, переходящий в аэрозоль: $V_{\text{аэр}} = 0.85 \cdot 3.09 = 2.63 \text{ мл} = 2.63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$.

Объём одной частицы (сфера): $V_{\text{частицы}} = \pi d^3 / 6 = 3.142 / 6 \cdot (6.00 \cdot 10^{-6} \text{ м})^3 = 1.13 \cdot 10^{-16} \text{ м}^3$.

Число частиц: $N_{\text{частиц}} = V_{\text{аэр}} / V_{\text{частицы}} = 2.63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 / 1.13 \cdot 10^{-16} \text{ м}^3 = 2.33 \cdot 10^{10}$.

4) Для определения числа молекул АЦЦ в одной частице сначала найдем число молекул АЦЦ во всём аэрозоле: $N_{\text{АЦЦ}} = 0.00380 \text{ моль} \cdot 6.022 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} = 2.29 \cdot 10^{21}$.

Это общее число молекул АЦЦ в растворе для ингаляции, но в аэрозоль переходит 85 % объёма, а значит и 85 % молекул (поскольку концентрация равномерна).

$N_{\text{АЦЦ в аэр}} = 0.85 \cdot 2.29 \cdot 10^{21} = 1.95 \cdot 10^{21}$.

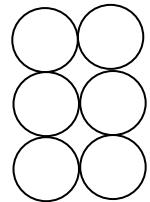
Число молекул в одной частице составит $N_{\text{част}} = N_{\text{АЦЦ в аэр}} / N_{\text{частиц}} = 1.95 \cdot 10^{21} / 2.33 \cdot 10^{10} = 8.37 \cdot 10^{10}$.

5) Суммарная площадь поверхности неразрывного покрытия будет равна сумме площадей поверхностей кругов, соприкасающихся диаметрами (см. рис.).

Площадь одной частицы составит: $\pi d^2 / 4 = 3.142 \cdot (6.00 \cdot 10^{-6} \text{ м})^2 / 4 \approx 0.2825 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2$.

Чтобы найти общую площадь необходимо число частиц аэрозоля, найденное ранее, умножить на площадь круга, проецируемого одной частицей:

$$S_{\text{общая}} = N_{\text{частиц}} \cdot S_{\text{част}} = (2.33 \cdot 10^{10}) \cdot (0.2825 \cdot 10^{-10}) = 0.66 \text{ м}^2$$



В действительности идеальная картина, изображенная на рисунке, не реализуется на практике ввиду физико-химических, физиологических и аэродинамических причин:

- любой аэрозоль содержит частицы разного размера, т.е. будет некоторое распределение частиц по размерам (полидисперсность), что ведёт к разной скорости осаждения в дыхательных путях (крупные частицы оседают в верхних отделах, мелкие проникают глубже);
- турбулентность потока воздуха – при вдохе возникают завихрения, особенно в местах разветвления бронхов, что вызывает неравномерное осаждение частиц;
- коалесценция и агрегация частиц – частицы при движении сталкиваются, сливаются, меняя размер и распределение, а также прилипают к влажной слизистой не дискретно, а образуя локальные скопления жидкости;
- неровность поверхности дыхательных путей;
- заряд частиц и электростатические эффекты приводят к искажению формы, слипанию, отталкиванию и т.д.

6) Тип дисперсной системы	Пример	Дисперсная фаза	Дисперсионная среда
Аэрозоль	Туман, облака	Жидкая	Газообразная
1. Аэрозоль	Дым, смог	Твердая	Газообразная
2. Эмульсия	Молоко, майонез	Жидкая	Жидкая
3. Золь	Краски, лаки	Твердая	Жидкая

Разбалловка

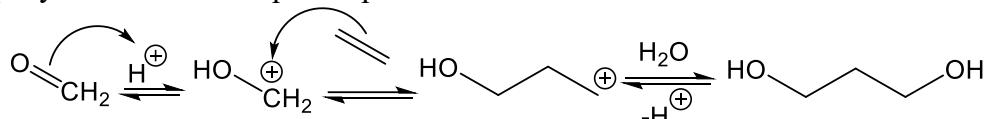
Молярная концентрация	2 б.
Объем раствора на одну ингаляцию и продолжительность по 1.5 б.	3 б.
Число частиц аэрозоля	4 б.
Число молекул АЦЦ	4 б.
Площадь поверхности	5 б.
Обоснования (любые 2 по 2 б.)	4 б.
За полностью и правильно заполненную строку таблицы 1 б (3 по 1 б)	3 б.
Всего	25 б.

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР. *Время выполнения 180 минут*

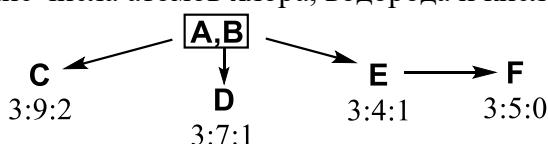
10 класс

Задача 10-1

Пропандиол-1,3 получают по известной реакции электрофильного присоединения метана к этилену в присутствии водного раствора H_2SO_4 :



Приведенный механизм поможет разгадать, как взаимодействием веществ **А** и **В** в присутствии водного раствора H_2SO_4 различной концентрации могут быть получены соединения **С-Ф**, для которых указано соотношение числа атомов хлора, водорода и кислорода в молекулах:



Известно, что молекула жидкого вещества **А** содержит по 1 атому водорода и кислорода, углерод с массовой долей 16.27 %, остальное – галоген. Газообразный при обычных условиях углеводород **В** содержит 85.714 % углерода, плотность его по азоту равна 1.5.

Расшифруйте схемы превращения, запишите уравнения реакций, нарисуйте строение веществ А-Е. Определите количество геометрических или оптических изомеров у веществ **С-F**.

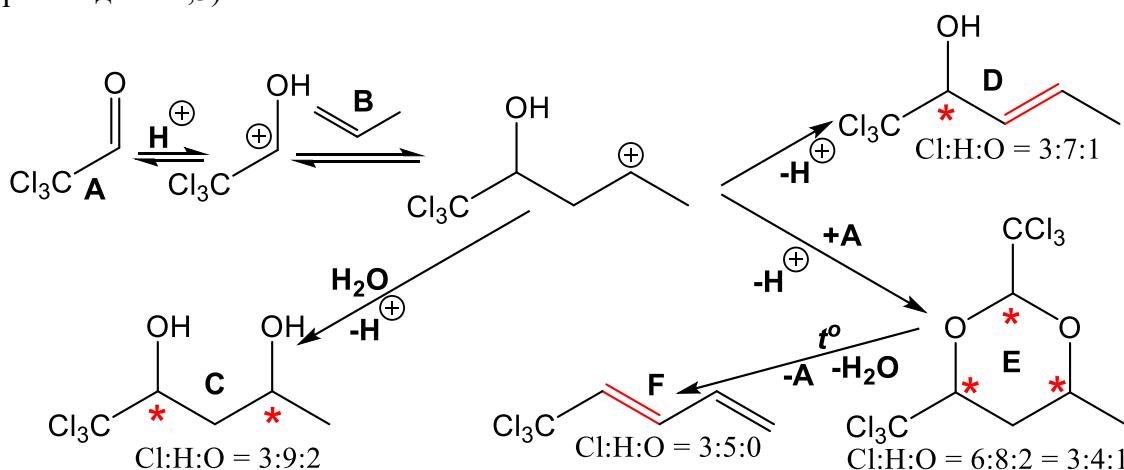
Решение

Задача посвящена реакции Принса. Первая схема в условии задачи позволяет предположить, что А и В – это карбонильное соединение и алкен.

Из данных по соотношению числа атомов Cl, H, O на второй схеме можно предположить, что A содержит 3 атома хлора. Пусть формула вещества A C_xHCl_3O . Тогда молярная масса его $M = 12x + 123.5$. Значит $0.1627 = 12x/(12x+123.5)$, отсюда $x = 2$. A – это **трихлорэтаналь** CCl_3CHO (хлораль).

Определим вещество **B**. $n(C):n(H) = 85.714/12:14.286 = 7.143:14.286 = 1:2$. Простейшая формула C_nH_{2n} . Молярная масса **B** равна $28 \cdot 1.5 = 42$. **B** – это пропен $CH_3CH=CH_2$.

Приведем механизм образования продуктов: **C** (1,1,1-трихлорпентандиол-2,4), **D** (1,1,1-трихлорпентен-3-ол-2), **E** (4-метил-2,6-бис-трихлорметилдиоксан-1,3), **F** (5,5,5-трихлорпентадиен-1,3).



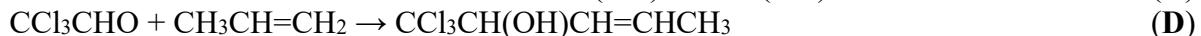
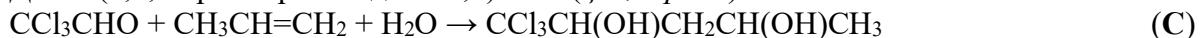
На схеме асимметрические атомы углерода и центры геометрической изомерии отмечены цветом. Число геометрических и оптических изомеров у продуктов $N = 2^n$, где n – число центров изомерии):

Для **C** (1,1,1-трихлорпентандиол-2,4) $N=4$ (*RR, RS, SR, SS*).

Для **D** (1,1,1-трихлорпентен-3-ол-2) $N=4$ (*R-цик, R-транс, S-цик, S-транс*).

Для **E** (4-метил-2,6-трихлорметилдиоксан-1,3) $N=8$ (*RRR, RRS, RSR, RSS, SRR, SRS, SSR, SSS*).

Для **F** (5,5,5-трихлорпентадиен-1,3) $N=2$ (*цик, транс*).



Разбалловка

За правильное определение **A** (хлораль) и **B** (пропен) по 2.5 б. 5 б.

За определение 4 веществ **C-F** и полные уравнения или механизм их образования по 2.5 б. 10 б.

За верное число изомеров у продуктов **C-F** по 2.5 б. 10 б.

Всего 25 б.

Задача 10-2

Оксид углерода(II) был впервые получен французским химиком Жаком де Лассоном 250 лет назад. Спустя 20 лет он, несмотря на токсичность, уже применялся в виде водяного газа для лечения ряда легочных заболеваний, а в настоящее время считается важным эндогенным газом, вырабатываемым клетками организма животных и выполняющим важную физиологическую роль.

Водяной газ получили в определенных условиях взаимодействием угля и водяного пара, и он имел плотность 146.295 г/куб. м при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 1000 °C. Его сжали до 100 атм, охладили до 300 °C, добавили высокоселективный медно-хромовый оксидный катализатор и выдержали в реакторе при постоянном давлении для прохождения обратимой реакции, выход которой составил 66.67 %. При этом водяной газ обогатился парами одного органического вещества, в котором массовая доля кислорода превышает массовую долю водорода в 4 раза, и данное вещество не способно к гидрированию на Pt катализаторе.

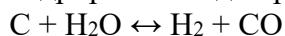
1. Определите формулу полученного органического вещества. 2. Составьте уравнения описанных реакций. 3. Определите массовую долю CO в предварительно полученном водяном газе. 4. Определите мольную долю органического продукта в конечной газовой смеси. 5. Вычислите парциальные давления в атмосферах для всех газообразных веществ в конечной газовой смеси и по ним значение константы равновесия *Kр* данной обратимой реакции. Парциальное давление газа — это давление, которое оказывал бы отдельный газ в смеси газов, если бы он один занимал весь объём при той же температуре.

Решение

Пусть формула органического продукта $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. По условию $16z/y = 4$, значит $y/z = 4$. $\text{C}_x\text{H}_4\text{O}$. Вариант 1. CH_4O подходит **метанол**.

Вариант 2. $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}$ (этаналь, этиленоксид) не подходят, они могут гидрироваться до этанола.

Вариант 3. $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}$ (пропеналь, пропинол, циклопропанон) не подходят, они могут гидрироваться до пропанола. Другие варианты тоже неподойдут.



Водяной газ может содержать H_2 , CO и пары непрореагировавшей воды. Для определения средней молярной массы газовой смеси используем уравнение Менделеева-Клапейрона. $\text{PV} = \text{nRT} = \text{mRT/M}$. $\text{PM} = \rho\text{RT}$ $\text{M} = \rho\text{RT/P} = 0.146295 \cdot 0.082 \cdot 1273/1 = 15.2711$ г/моль. Пусть мольная доля $\chi(\text{CO}) = x$, тогда $\chi(\text{H}_2) = \chi(\text{CO}) = x$, $\chi(\text{H}_2\text{O}) = 1-2x$.

$M = 15.2711 = 28x + 2x + 18(1-2x) = 30x + 18 - 36x = -6x + 18$. Отсюда $x = 2.7289/6 = 0.4548$
 $\chi(CO) = \chi(H_2) = 0.4548$, $\chi(H_2O) = 0.0904$.
Определим $\omega(CO)$: $28 \cdot 0.4548 / 15.2711 = 0.834$ (83.4 %).

Предположим, что в синтезе метанола использовали 1 моль водяного газа, то есть смесь 0.4548 моль CO и H₂, 0.0904 H₂O.

	CO	+	2H ₂	↔	CH ₃ OH	
Было:	0.4548		0.4548		0	Всего: 0.9096 + 0.0904 = 1
Прореагировало:	x		2x		-	
Выделилось	-		-		x	
Стало:	0.4548-x		0.4548-2x		x	Всего: 0.9096-2x + 0.0904

Определим x исходя из известного выхода реакции 66.67 %. Считаем по H₂, который в недостатке: $0.6667 = 2x / 0.4548$. $x = 0.1516$.

Состав конечной смеси:

$$\begin{aligned} n(CH_3OH) &= x = 0.1516 \text{ моль,} \\ n(CO) &= 0.4548-x = 0.3032 \text{ моль,} \\ n(H_2) &= 0.4548-2x = 0.1516 \text{ моль,} \\ n(H_2O) &= 0.0904 \text{ моль. Всего 0.6968 моль.} \end{aligned}$$

Мольные доли газов:

$$\chi(CH_3OH) = 0.1516 / 0.6968 = 0.2176 \text{ (21.76 %).}$$

$$\chi(CO) = 0.3032 / 0.6968 = 0.4351,$$

$$\chi(H_2) = 0.1516 / 0.6968 = 0.2176,$$

$\chi(H_2O) = 0.0904 / 0.6968 = 0.1297$. Проверка: сумма мольных долей равна 1, как и должно быть.

Для определения Kp вычислим парциальные давления газов:

$$p(CH_3OH) = 100 \cdot 0.2176 = 21.76 \text{ атм,}$$

$$p(CO) = 100 \cdot 0.4351 = 43.51 \text{ атм,}$$

$$p(H_2) = 21.76 \text{ атм.}$$

$$Kp = p(CH_3OH) / [p(CO) \cdot p(H_2)^2] = 21.76 / (43.51 \cdot 21.76^2) = 0.001056.$$

Ответ: 1) CH₃OH. 2) $\omega(CO) = 83.4 \text{ %}$. 3) $\chi(CH_3OH) = (21.76 \text{ %})$. 4) $Kp = 0.001056$.

Разбалловка

За определение метанола	5 б.
За два уравнения по 2.5 б.	5 б.
За расчет массовой доли CO = 83.4 %	5 б.
За расчет мольной доли метанола = 21.76 %	5 б.
За расчет $Kp = 0.001056$	5 б.
Всего	25 б.

Задача 10-3

Держать все нити в своих руках.

Русская народная пословица

В пословице зашифровано неорганическое соединение XY переходных элементов 4 периода.

Соединение XY весьма широко применяется в медицине, промышленности, электронике.

Элемент X был открыт в конце XVIII века и исторически получил название меначин (от минерала менаконита), однако лучше прижилось его название, данное Мартином Клапротом. При взаимодействии 1 моля XY с избытком хлора образуется смесь галогенидов X и Y, причем число атомов хлора в хлориде X в два раза больше, чем в хлориде Y. При окислении кислородом X образует диоксид с устойчивой степенью окисления +4, а Y в зависимости от температуры может проявлять различную степень окисления в оксидах от +2 до +4. При растворении XY в концентрированной азотной кислоте X образует моногидрат диоксида $XO_2 \cdot H_2O$, а Y переходит в динитрат. На 1 моль

XY при этом выделяется 6 моль диоксида азота NO_2 . Сплавление XY со стехиометрическим количеством гидроксида натрия в инертной атмосфере приводит к выделению газа с плотностью по кислороду 0.0625, а масса исходного соединения составляет 53.23 % от массы твёрдого продукта, образовавшегося в результате реакции.

1. Установите элементы X, Y и формулу XY.
2. Подтвердите рассуждения расчётом.
3. Запишите уравнения всех указанных реакций.
4. Какие физико-химические свойства XY сделали его таким привлекательным для применения в стоматологии, хирургии, электронике? Приведите три примера с пояснениями, уравнениями реакций (если это необходимо) и конкретными применениями.

Решение

1. Начнем анализ с мнемонической подсказки. В пословице ключевое слово «нити», что практически напрямую указывает на два металла – никель и титан (NiTi). Проверим эту гипотезу.

Меначин – это историческое наименование титана, при этом исходный минерал получил название менаконит. Клапроту удалось выделить чистый титан, но назвал он его в честь древних мифических обитателей земли.

Элемент Y образует оксиды с валентностью от 2 до 4, при взаимодействии с азотной кислотой дает двухвалентный нитрат. С учетом мнемонической подсказки («нити») рассмотрим вариант никель (Ni). Для него характерны указанные валентности и степени окисления: NiO (+2), Ni_2O_3 (+3), NiO_2 (+4). Тогда XY = NiTi (никелид титана, нитинол), что согласуется с областями применения.

Проверим гипотезу, основываясь на химических свойствах.

Реакция с хлором: $\text{NiTi} + 3\text{Cl}_2 \rightarrow \text{TiCl}_4 + \text{NiCl}_2$

Атомы Cl: в TiCl_4 (4), в NiCl_2 (2) → отношение 4:2 = 2:1. Подходит.

Реакция с HNO_3 : $\text{NiTi} + 8\text{HNO}_3 \rightarrow \text{TiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O} + \text{Ni}(\text{NO}_3)_2 + 6\text{NO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

Образуется 6 моль диоксида азота. Подходит.

Реакция с гидроксидом натрия: в инертной атмосфере нет окислителя, значит реакция идёт с выделением H_2 за счёт окисления Ti водой (из гидроксида или кристаллизационной воды NaOH). NaOH при сплавлении содержит следы воды.

$\text{Ti} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{TiO}_3 + 2\text{H}_2\uparrow$ при нагревании.

Ni с NaOH в инертной атмосфере не реагирует, следовательно остаётся в металлической форме.

Тогда газ это H_2 , $M = 2$ г/моль, $D(\text{O}_2) = 2/32 = 0.0625$. Подходит.

2. Расчёт массового процента

Запишем еще раз реакцию сплавления со щелочью:

$\text{Ti} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{TiO}_3 + 2\text{H}_2\uparrow$.

Пусть в реакцию вступило 1 моль соединения, тогда $m(\text{NiTi}) = 48 + 59 = 107$ г.

$m(\text{Na}_2\text{TiO}_3) = 142$ г. Масса остатка будет складываться из массы непрореагировавшего никеля и титаната натрия $m_{\text{остатка}} = 142 + 59 = 201$ г.

Тогда отношение массы соединения к массе остатка составит: $m(\text{NiTi}) / m_{\text{остатка}} = 0.5323$, что согласуется с условием задачи.

Таким образом XY – это никелид титана, или нитинол.

4. NiTi является уникальным материалом для медицины благодаря сочетанию механических, биологических и функциональных свойств, многие из которых напрямую связаны с его обратимым фазовым превращением и поверхностной пассивацией.

1) Нитинол обладает эффектом памяти формы, т.е. способностью восстанавливать исходную форму после деформации при нагреве выше температуры аустенитного превращения (обычно близкой к температуре тела). Свойство обусловлено фазовым превращением:

Мартенсит (деформированный) → Аустенит (исходная форма)

Это свойство применяют в саморасширяющихся стентах (стент сжимают, вводят в сосуд, при 37°C он расширяется до запрограммированного диаметра), ортодонтических дугах (дуге

придают форму зубного ряда, охлаждают, деформируют, устанавливают; во рту она медленно возвращается к исходной форме, перемещая зубы).

- 2) Также нитинол обладает высокой биосовместимостью и коррозионной стойкостью за счет пассивации поверхности NiTi оксидным слоем (преимущественно за счет TiO_2), который предотвращает выделение ионов никеля и обеспечивает инертность в биологических средах:



Применяют в имплантатах (костные пластины, винты), кардиологических устройствах.

- 3) Нитинол немагнитен (слабый парамагнетик), что позволяет безопасно проводить МРТ-исследования у пациентов с имплантами.

Разбалловка

За расшифровку X, Y, XY (3 по 3 б.)	9 б.
Уравнения реакций (3 по 3 б.)	9 б.
Подтверждение расчетом	1 б.
Примеры применения с подробными объяснениями (3 по 2 б.)	6 б.
Всего	25 б.

Задача 10-4

Ацетилцистеин (АЦЦ) – лекарственное вещество, применяемое при заболеваниях дыхательных путей. Он помогает разжижать мокроту, облегчает её отхождение, а также обладает выраженными антиоксидантными свойствами.

При полном сгорании 326.0 мг образца чистого ацетилцистеина получено 162.0 мг H_2O и газовая смесь, содержащая диоксид углерода, диоксид серы и 22.4 мл газа А с плотностью по воздуху 0.9655. При пропускании газовой смеси через раствор гидроксида натрия 22.4 мл (н.у.) газа остались непоглощенными, а полученный раствор содержал только кислые соли общей массой 1048 мг. Количество углекислого газа в 5 раз больше количества диоксида серы.

- 1) Установите молекулярную формулу ацетилцистеина, если известно, что его молярная масса находится в диапазоне 150–170 г/моль.
- 2) Изобразите структурную формулу ацетилцистеина, если это α -аминокислота, в которой один атом водорода аминогруппы замещен на ацетил $CH_3C(O)$, также она содержит тиогруппу SH .
- 3) Запишите уравнения реакций образования кислых солей и реакции горения ацетилцистеина в кислороде.
- 4) На основе данных, представленных в таблице, определите стандартную энталпию сгорания АЦЦ.

Энергия связи в кДж/моль

C – H	412	O = O	497	N – H	388	S – H	338
C = O	743	C – O	360	N – C	305	S – C	259
C – C	348	O – H	463	N≡N	946	S = O	531

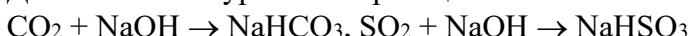
Решение

- 1) Установим природу непоглощенного газа.

$M(A) = D_{возд} \cdot 29 = 0.9655 \cdot 29 \approx 27.9995 \approx 28$ г/моль. Это N_2 , поскольку речь идет о лекарственном веществе. Азот не поглощается щелочью. Это не может быть CO , поскольку сгорание полное. Объем $N_2 = 22.4$ мл = 0.0224 л при н.у., отсюда $n(N_2) = 0.0224/22.4 = 0.001$ моль и $n(N) = 0.002$ моль.

Найдем количество водорода: $n(H_2O) = 0.1620/18 = 0.009$ моль и $n(H) = 0.018$ моль.

Далее запишем уравнения реакций CO_2 и SO_2 со щелочью:



Пусть $n(SO_2) = x$ моль, тогда $n(CO_2) = 5x$ моль.

Масса солей (г) составит: $84 \cdot 5x + 104x = 524x$, а по условию $524x = 1.048$, тогда $x = 0.002$ моль.

Т.е. $n(SO_2) = 0.002$ моль, $n(S) = 0.002$ моль, $n(CO_2) = 0.01$ моль, $n(C) = 0.01$ моль.

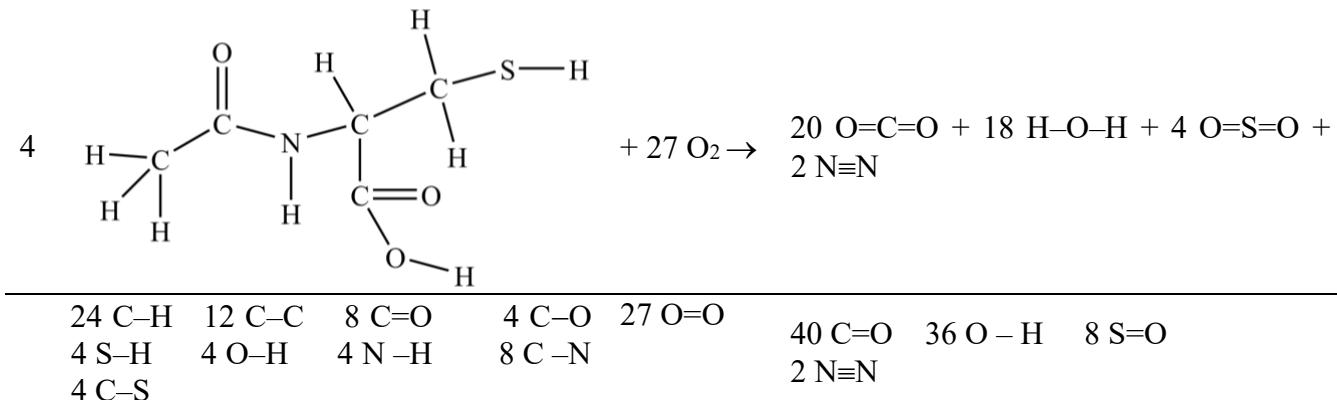
Найдем массу кислорода в навеске: $m(O) = 0.326 - 12 \cdot 0.01 - 0.018 \cdot 1 - 0.002 \cdot 14 - 0.002 \cdot 32 = 0.096$ г.
Тогда количество кислорода составит $n(O) = 0.096/16 = 0.006$ моль.

Найдем соотношения количеств веществ: 0.01:0.018:0.002:0.002:0.006, поделим на 0.002 и получим 5:9:1:1:3

Простейшая формула: $C_5H_9NO_3S$, молярная масса вещества составит: $Maцц = 5 \cdot 12 + 9 \cdot 1 + 14 + 3 \cdot 16 + 32 = 163$ г/моль, что попадает в диапазон 150–170 г/моль, значит молекулярная формула совпадает с найденной простейшей.

2) Уравнение реакции сгорания: $4C_5H_9NO_3S + 27O_2 \rightarrow 20CO_2 + 18H_2O + 2N_2 + 4SO_2$

Запишем уравнение реакции сгорания развернуто, используя структурную формулу АЦЦ, и укажем, какие связи имеются в молекулах участников реакции с учетом стехиометрии:



В соответствии с третьим следствием из закона Гесса $\Delta_rH^\circ = [24 E(C-H) + 12E(C-C) + 8E(C=O) + 4E(C-O) + 4E(S-H) + 4E(O-H) + 4E(N-H) + 8 E(C-N) + 4 E(C-S) + 27 E(O=O)] - 40E(C=O) - 36E(O-H) - 8E(S=O) - 2E(N\equiv N) = [24 E(C-H) + 12E(C-C) + 4E(C-O) + 4E(S-H) + 4E(N-H) + 8 E(C-N) + 4 E(C-S) + 27E(O=O)] - 32E(C=O) - 32E(O-H) - 8E(S=O) - 2E(N\equiv N) = [24 \cdot 412 + 12 \cdot 348 + 4 \cdot 360 + 4 \cdot 338 + 4 \cdot 388 + 8 \cdot 305 + 4 \cdot 259 + 27 \cdot 497] - 32 \cdot 743 - 32 \cdot 463 - 8 \cdot 531 - 2 \cdot 946 = -9429 \text{ кДж/моль}$

Разбалловка

Молекулярная формула	4 б.
Структурная формула	2 б.
Уравнения реакций 2 по 1 б. и 2 б.	4 б.
Верное определение числа связей (14 по 0.5 б.)	7 б.
Энталпия сгорания (при неверной цифре или знаке штраф 50 %)	8 б.
Всего	25 б.

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР. *Время выполнения 180 минут*

9 класс

Задача 9-1

Приготовлена твердая смесь 1 моль нитрата металла $\text{Met}(\text{NO}_3)_2$ с некоторым количеством его оксида. Степень окисления металла в оксиде в 2 раза отличается от степени окисления металла в нитрате. Количество оксида в смеси в 2 раза отличается от количества нитрата. Массовая доля азота в указанной смеси равна 5.88 %, а мольная доля азота равна 13.33 %.

Определите формулы нитрата и оксида металла. Найдите количество вещества оксида в смеси. Составьте уравнения получения из металла указанных нитрата и оксида, укажите условия.

Решение

Представим состав смеси: 1 моль $\text{Met}(\text{NO}_3)_2$ + x моль Met_2O_y . $x = 2$ или 0.5; $y = 1$ или 4.

Определим x и y из известной мольной доли азота:

$$\chi(\text{N}) = 0.1333 = 2/(9+2x+xy) \quad 15 = 9+2x+xy \quad 6 = x(2+y)$$

Вариант 1: пусть $x = 2$, значит $y = 1$. Этот вариант подходит.

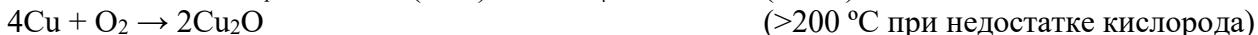
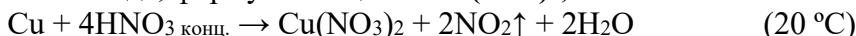
Вариант 2: пусть $x = 0.5$, значит $y = 10$. Этот вариант не подходит.

Представим уточненный состав смеси как 1 моль $\text{Met}(\text{NO}_3)_2$ + 2 моль Met_2O .

Определим металл из известной массовой доли азота:

$$\omega(\text{N}) = 0.0588 = 28/(M+124+4M+32) = 28/(5M+156) \quad \text{Отсюда } M = 64.$$

Met = медь, формулы веществ $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, Cu_2O .



Разбалловка

За определение $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ и Cu_2O по 5 б.

10 б.

За определение $x = 2$

5 б.

За 2 уравнения по 5 б.

10 б.

Всего:

25 б.

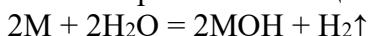
Задача 9-2

При растворении 1.20 г металла в воде при комнатной температуре выделилось 672 мл газа (измерено при нормальных условиях). Некоторый галоген массой 0.95 г без остатка реагирует с 1.00 г того же металла с образованием соли. Определите металл и галоген. Запишите уравнения реакций.

Решение

С водой при обычных условиях реагируют щелочные и щелочноземельные металлы.

Вариант №1 со щелочным металлом.



Количество водорода $n(\text{H}_2) = 0.672/22.4 = 0.03$ моль.

Количество металла по уравнению должно быть: $n(\text{M}) = 2n(\text{H}_2) = 0.06$ моль.

Молярная масса металла $M = 1.20/0.06 = 20$ г/моль. Нет такого металла

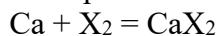
Вариант №2 со щелочноземельным металлом:



Количество водорода $n(\text{H}_2) = 0.672/22.4 = 0.03$ моль.

Количество металла по уравнению должно быть: $n(M) = n(H_2) = 0.03$ моль.

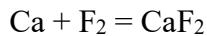
Молярная масса металла $M = 1.20/0.03 = 40$ г/моль. **Металл – Ca.** Вариант верный.



Количество кальция $n(Ca) = 1.00/40 = 0.025$ моль.

Количество галогена по уравнению должно быть: $n(X_2) = n(Ca) = 0.025$ моль.

Молярная масса галогена $M(X_2) = 0.95/0.025 = 38$ г/моль. Это **фтор** F_2 .



Разбалловка

За утверждение, что металл не относится к щелочным

5 б.

За определение кальция и фтора по 5 б.

10 б.

За 2 уравнения по 5 б.

10 б.

Всего:

25 б.

Задача 9-3

*Там нити переплетаются,
Попробуй, найди свою!
Одна за другою тянутся,
Друг друга не узнают...*

В этом отрывке пролога рок-оперы «Орфей» зашифровано соединение A_xB_y переходных элементов 4 периода.

Заряд ядра A отличается от заряда ядра B на 6 единиц. Коэффициенты x и y – натуральные числа, лежащие в интервале от 1 до 3. Определить формулу соединения, если массовая доля A составляет 44.86 %, B – 55.14 %. Молярные массы веществ округляйте до целых чисел.

Запишите уравнения реакций, протекающих при взаимодействии A_xB_y с хлором, кислородом, соляной кислотой. Определите, во сколько раз объем газа, который может быть получен при взаимодействии соединения с соляной кислотой при нагревании, больше объема газа, получаемого при комнатной температуре. Какая из реакций лежит в основе применения A_xB_y при изготовлении имплантов и изделий медицинского назначения? Ответ обоснуйте.

Решение

Переходные элементы 4-го периода – это элементы от Sc до Zn. Исключая все другие разности зарядов, кроме 6 единиц, остаются пары элементов: Sc – Co, Ti – Ni, V – Cu и Cr – Zn. С учетом отрывка, где в первой же строчке говорится о нитях и о том, что они переплетаются, вполне можно предположить пару Ni – Ti, то есть никелид титана, который представляет собой интерметаллид, в котором «NiTi» переплетаются, то есть никель и титан образуют одну кристаллическую решетку, где они «переплетаются» между собой. Проверим это предположение на основе массовых долей элементов A и B в соединении. Поскольку неизвестно, какой из металлов A, а какой B, рассмотрим оба варианта.

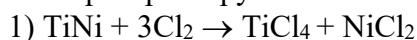
Пусть масса A_xB_y составляет 100 г.

Если A – это никель, а B – титан, тогда $n(A) = 44.86/59 = 0.7603$ моль, $n(B) = 55.14/48 = 1.1488$ моль. $n(A): n(B) = 0.7603: 1.1488 = 1: 1.51$, получено нецелое число.

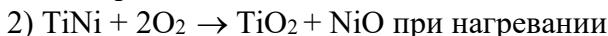
Если A – это титан, а B – это никель, тогда $n(A) = 44.86/48 = 0.9346$ моль, $n(B) = 55.14/59 = 0.9346$ моль. $n(A): n(B) = 0.9346: 0.9346 = 1: 1$. Получены целые числа, соответствующие никелиду титана.

С учетом mnemonicской подсказки, а также применимости соединения в медицине, A_xB_y – это интерметаллид – никелид титана или нитинол.

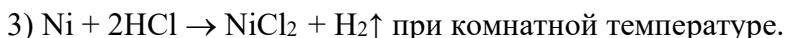
С хлором реагируют оба металла:



С кислородом



С соляной кислотой:



При комнатной температуре реагирует только никель, поскольку титан покрыт оксидной пленкой TiO_2 и будет пассивирован.

При нагревании реагируют оба металла: никель по реакции (3), а титан (4):



При комнатной температуре из 1 моля TiNi получается 1 моль H_2 , а при нагревании – 3 моль (или 2.5 с учетом второго варианта реакции). Значит объем газа, который может быть получен при взаимодействии соединения с соляной кислотой при нагревании, больше объема газа, получаемого при комнатной температуре в 3 (или 2.5) раза.

В основе широкого применения никелида титана в медицине лежит реакция с кислородом. Высокая коррозионная стойкость изделий из нитинола обусловлена тем, что после имплантации в организм на поверхности сплава образуется прочная оксидная плёнка TiO_2 , препятствующая выходу ионов металлов в окружающие ткани.

Разбалловка

Определение А и В 2 по 3 б.	6 б.
Формула вещества с подтверждением расчетом	4 б.
Уравнения реакций 4 по 2 б.	8 б.
Отношение объемов	2 б.
Выбор и обоснование реакции (2 б. и 3 б.)	5 б.
Всего	25 б.

Задача 9-4

Ацетилцистеин – лекарственное вещество, применяемое при заболеваниях дыхательных путей. Он помогает разжижать мокроту, облегчает её отхождение, а также обладает выраженными антиоксидантными свойствами.

При полном сгорании 326.0 мг образца чистого ацетилцистеина получено 162.0 мг H_2O и газовая смесь, содержащая диоксид углерода, диоксид серы и 22.4 мл газа А с плотностью по воздуху 0.9655. При пропускании газовой смеси через раствор гидроксида натрия 22.4 мл (н.у.) газа остались непоглощенными, а полученный раствор содержал только кислые соли общей массой 1048 мг. Количество углекислого газа в 5 раз больше количества диоксида серы.

Раствор для ингаляций готовят из лиофилизированного порошка ацетилцистеина и воды для инъекций. Один флакон лиофилизата содержит 1.2 г ацетилцистеина, который растворяют в 6.00 мл воды. Одна упаковка содержит 5 флаконов лиофилизата препарата. Для ингаляции используют небулайзер со скоростью распыления 5 мкл/с. Пациенту назначено применять 0,0038 моль ацетилцистеина за одну процедуру.

1) Установите молекулярную формулу ацетилцистеина $\text{C}_x\text{H}_y\text{A}_z\text{O}_v\text{S}_k$, если известно, что его молярная масса находится в диапазоне 150–170 г/моль.

2) Запишите уравнения реакций образования кислых солей и реакции горения ацетилцистеина в избытке кислорода с учетом того, что непоглощенный газ в условиях сгорания не окисляется.

3) Рассчитайте молярную концентрацию (моль/л) приготовленного раствора ацетилцистеина.

4) Определите объём раствора (в мл), необходимый для одной ингаляции.

5) Рассчитайте продолжительность ингаляции (в минутах) с точностью до десятых.

6) На сколько дней хватит упаковки препарата, если пациенту назначено две ингаляции в день?

Решение

1) Установим природу непоглощенного газа.

$M(A) = D_{\text{возд}} \cdot 29 = 0.9655 \cdot 29 = 27.9995 \approx 28$ г/моль. Это N_2 , поскольку речь идет о лекарственном веществе. Азот не поглощается щелочью. Это не может быть CO , поскольку сгорание полное. Объем $N_2 = 22.4$ мл = 0.0224 л при н.у., отсюда $n(N_2) = 0.0224/22.4 = 0.001$ моль и $n(N) = 0.002$ моль.

Найдем количество водорода: $n(H_2O) = 0.1620/18 = 0.009$ моль и $n(H) = 0.018$ моль.

Далее запишем уравнения реакций CO_2 и SO_2 со щелочью:



Пусть $n(SO_2) = x$ моль, тогда $n(CO_2) = 5x$ моль.

Масса солей (г) составит: $84 \cdot 5x + 104x = 524x$, а по условию $524x = 1.048$, тогда $x = 0.002$ моль.

То есть, $n(SO_2) = 0.002$ моль, $n(S) = 0.002$ моль, $n(CO_2) = 0.01$ моль, $n(C) = 0.01$ моль.

Найдем массу кислорода в навеске: $m(O) = 0.326 - 12 \cdot 0.01 - 0.018 \cdot 1 - 0.002 \cdot 14 - 0.002 \cdot 32 = 0.096$ г. Тогда количество кислорода составит $n(O) = 0.096/16 = 0.006$ моль.

Найдем соотношения количеств веществ: 0.01: 0.018:0.002:0.002:0.006, поделим на 0.002 и получим 5:9:1:1:3.

Простейшая формула: $C_5H_9NO_3S$, молярная масса вещества составит: $M_{\text{АЦЦ}} = 5 \cdot 12 + 9 \cdot 1 + 14 + 3 \cdot 16 + 32 = 163$ г/моль, что попадает в диапазон 150–170 г/моль, значит молекулярная формула совпадает с найденной простейшей.

2) Уравнение реакции сгорания: $4C_5H_9NO_3S + 27O_2 \rightarrow 20CO_2 + 18H_2O + 2N_2 + 4SO_2$

1) Найдем количество вещества АЦЦ в растворе, полученном при растворении содержимого одного флакона в воде для инъекций $n = 1.2/163 = 0.0074$ моль. Тогда молярная концентрация АЦЦ составит: $C = 0.0074/0.006 = 1.23$ моль/л.

4) Переведем скорость распыления в л/с: $= 5 \text{ мкл/с} = 5 \cdot 10^{-6}$ л/с.

На одну ингаляцию нужно $n = 0.0038$ моль вещества. Молярная концентрация раствора известна, тогда: $V_{\text{р-па}} = 0.0038 / 1.23 \approx 3.10$ мл.

5) Время ингаляции: $t = V_{\text{р-па}} / \nu = 3.10 \cdot 10^{-3} \text{ л} / 5 \cdot 10^{-6} \text{ л/с} \approx 620 \text{ с} \approx 10.3 \text{ мин.}$

6) В одной ингаляции 0.0038 моль АЦЦ, в одном флаконе 0.0074 моль, значит одного флакона хватит на $0.0074/0.0038 \approx 2$ ингаляции. В день как раз необходимо две ингаляции, значит упаковки препарата хватит на 5 дней.

Разбалловка

Молекулярная формула вещества	8 б.
Реакции газов 2 по 1 б.	2 б.
Реакция сгорания	4 б.
Молярная концентрация	2 б.
Объем раствора для одной ингаляции и	3 б.
Продолжительность ингаляции	3 б.
Расчет упаковки	3 б.
Всего	25 б.

Межрегиональная олимпиада школьников
«БУДУЩИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛИ – БУДУЩЕЕ НАУКИ» 2025/26 уч.г.
ОЧНЫЙ ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР. *Время выполнения 180 минут*

8 класс

Задача 8-1

Какое количество вещества оксида металла MetO_2 нужно добавить к 268.5 г нитрата того же металла $\text{Met}(\text{NO}_3)_2$, чтобы массовая доля азота в этой смеси составила 7.93 %. Число нейтронов, содержащихся в атоме металла, отличается от числа протонов на 5 единиц. Атомную массу металла округляйте до целого числа. Количество вещества оксида в смеси в 2 раза отличается от количества вещества нитрата.

Определите формулы нитрата и оксида металла. Найдите их количества веществ. Составьте уравнение одностадийного получения $\text{Met}(\text{NO}_3)_2$ из MetO_2 .

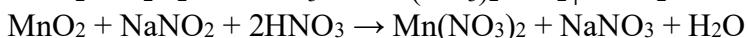
Решение

Под описание числа нейтронов и протонов подошли бы Mn, Cu, Zn, но степени окисления +2 в нитрате и +4 в оксиде может иметь только либо Mn ($\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ и MnO_2).

$$n[\text{Mn}(\text{NO}_3)_2] = 268.5/179 = 1.5 \text{ моль.}$$

$$\text{Пусть } n(\text{MnO}_2) = x \text{ моль. Тогда } \omega(\text{N}) = 0.0793 = 1.5 \cdot 28 / (268.5 + 87x) \quad 268.5 + 87x = 529.63$$

Значит $x = 3$. Состав смеси: **1.5 моль $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ и 3 моль MnO_2** .



Разбалловка

За 2 формулы и 2 количества: 1.5 моль $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2$ и 3 моль MnO_2 по 5 б.

20 б.

За уравнение реакции

5 б.

Всего:

25 б.

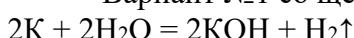
Задача 8-2

Известно, что некоторые металлы способны реагировать с водой при обычных условиях. При растворении 1.20 г некоторого металла, атом которого содержит 4 электронных уровня, в воде при комнатной температуре выделяется 672 мл газа (измерено при нормальных условиях). Некоторый галоген массой 0.95 г без остатка реагирует с 1.00 г того же металла. Определите металл и галоген. Запишите уравнения реакций.

Решение

С водой при обычных условиях реагируют щелочные и щелочноземельные металлы.

Вариант №1 со щелочным металлом 4 периода таблицы Менделеева калием.

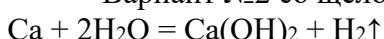


$$\text{Количество водорода } n(\text{H}_2) = 0.672/22.4 = 0.03 \text{ моль.}$$

$$\text{Количество металла } n(\text{K}) = 1.2/39 = 0.031 \text{ моль, но по уравнению должно быть 0.06 моль.}$$

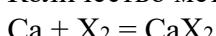
Значит, калий не является ответом.

Вариант №2 со щелочноземельным металлом кальцием:



$$\text{Количество водорода } n(\text{H}_2) = 0.672/22.4 = 0.03 \text{ моль.}$$

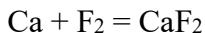
$$\text{Количество металла } n(\text{Ca}) = 1.2/40 = 0.03 \text{ моль. } n(\text{H}_2) = n(\text{Ca}). \text{ Вариант верный. Металл – Ca.}$$



$$\text{Количество кальция в реакции галогенирования: } n(\text{Ca}) = 1.00/40 = 0.025 \text{ моль.}$$

$$\text{Количество галогена } n(\text{X}_2) = n(\text{Ca}) = 0.025 \text{ моль.}$$

$$\text{Молярная масса галогена } M(\text{X}_2) = 0.95/0.025 = 38 \text{ г/моль. Галоген – это фтор.}$$



Разбалловка

За утверждение, что металл не относится к щелочным	5 б.
За определение кальция и фтора по 5 б.	10 б.
За 2 уравнения по 5 б.	10 б.
Всего:	25 б.

Задача 8-3

*Там нити переплетаются,
Попробуй, найди свою!
Одна за другою тянутся,
Друг друга не узнают...*

В этом отрывке пролога рок-оперы «Орфей» зашифровано соединение A_xB_y переходных элементов 4 периода.

Заряд ядра А отличается от заряда ядра В на 6 единиц. Коэффициенты x и y – натуральные числа, лежащие в интервале от 1 до 3. Определить формулу соединения, если массовая доля А составляет 44.86 %, В – 55.14 %. Молярные массы веществ округляйте до целых чисел.

Запишите уравнения реакций, протекающих при взаимодействии A_xB_y с хлором, кислородом, соляной кислотой. Определите, во сколько раз объем газа, который может быть получен при взаимодействии соединения с соляной кислотой при нагревании, больше объема газа, получаемого при комнатной температуре. Какая из реакций лежит в основе применения A_xB_y при изготовлении имплантов и изделий медицинского назначения? Ответ обоснуйте.

Решение

Переходные элементы 4-го периода – это элементы от Sc до Zn. Исключая все другие разности зарядов, кроме 6 единиц, остаются пары элементов: Sc – Co, Ti – Ni, V – Cu и Cr – Zn. С учетом отрывка, где в первой же строчке говорится о нитях и о том, что они переплетаются, вполне можно предположить пару Ni – Ti, то есть никелид титана, который представляет собой интерметаллид, в котором «NiTi» переплетаются, то есть никель и титан образуют одну кристаллическую решетку, где они «переплетаются» между собой. Проверим это предположение на основе массовых долей элементов А и В в соединении. Поскольку неизвестно, какой из металлов А, а какой В, рассмотрим оба варианта.

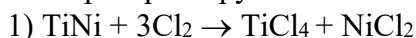
Пусть масса A_xB_y составляет 100 г.

Если А – это никель, а В – титан, тогда $n(\text{A}) = 44.86/59 = 0.7603$ моль, $n(\text{B}) = 55.14/48 = 1.1488$ моль. $n(\text{A}): n(\text{B}) = 0.7603:1.1488 = 1:1.51$, получено нецелое число.

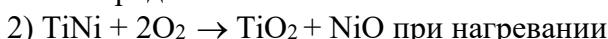
Если А – это титан, а В – это никель, тогда $n(\text{A}) = 44.86/48 = 0.9346$ моль, $n(\text{B}) = 55.14/59 = 0.9346$ моль. $n(\text{A}): n(\text{B}) = 0.9346:0.9346 = 1:1$. Получены целые числа, соответствующие никелиду титана.

С учетом мнемонической подсказки, а также применимости соединения в медицине, A_xB_y – это интерметаллид – никелид титана или нитинол.

С хлором реагируют оба металла:



С кислородом



С соляной кислотой:



При комнатной температуре реагирует только никель, поскольку титан покрыт оксидной пленкой TiO_2 и будет пассивирован.

При нагревании реагируют оба металла: никель по реакции (3), а титан (4):



При комнатной температуре из 1 моля TiNi получается 1 моль H_2 , а при нагревании – 3 моль (или 2.5 с учетом второго варианта реакции). Значит объем газа, который может быть получен при взаимодействии соединения с соляной кислотой при нагревании, больше объема газа, получаемого при комнатной температуре в 3 (или 2.5) раза.

В основе широкого применения никелида титана в медицине лежит реакция с кислородом. Высокая коррозионная стойкость изделий из нитинола обусловлена тем, что после имплантации в организм на поверхности сплава образуется прочная оксидная плёнка TiO_2 , препятствующая выходу ионов металлов в окружающие ткани.

Разбалловка

Определение А и В 2 по 3 б.	6 б.
Формула вещества с подтверждением расчетом	4 б.
Уравнения реакций 4 по 2 б.	8 б.
Отношение объемов	2 б.
Выбор и обоснование реакции (2 б. и 3 б.)	5 б.
Всего	25 б.

Задача 8-4

Ацетилцистеин – лекарственное вещество, применяемое при заболеваниях дыхательных путей. Он помогает разжижать мокроту, облегчает её отхождение, а также обладает выраженными антиоксидантными свойствами.

Препарат выпускается в виде ампул с раствором ацетилцистеина с концентрацией 200 мг/мл ($\rho = 1.05 \text{ г/мл}$).

Для лечения раствор препарат распыляют с помощью ингалятора.

При химическом анализе чистого ацетилцистеина были установлены массовые доли составляющих его элементов: С – 36.81 %; Н – 5.52 %; N – 8.59 %; S – 19.63 %; O – 29.45 %. Молекулярная масса ацетилцистеина, найденная экспериментально, находится в диапазоне 160 – 170 г/моль.

1) Определите простейшую (эмпирическую) и молекулярную формулу ацетилцистеина на основе данных о массовых долях элементов. Запишите ее в стандартном виде $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_v\text{S}_k$.

2) Рассчитайте массовую долю (%) ацетилцистеина в растворе.

3) Для однократной ингаляции требуется 0.0038 моль ацетилцистеина. Какой объём (в мл) раствора нужно поместить в ингалятор? Ответ округлите до первого знака после запятой.

4) В упаковке препарата 10 ампул по 5 мл раствора. Стандартный курс лечения – 8 дней по 2 ингаляции в день. Хватит ли упаковки препарата на весь курс?

Для расчёта молярной массы ацетилцистеина используйте значения атомных масс из таблицы Менделеева, округляя их до целых чисел.

Все результаты расчётов округляйте до двух знаков после запятой, если не установлено иное.

Решение

1. Определим число моль каждого элемента в 100 г соединения:

$$n(\text{C}) = 36.81/12 = 3.07 \text{ моль}, n(\text{H}) = 5.52/1 = 5.52 \text{ моль}, n(\text{N}) = 8.59/14 = 0.61 \text{ моль}, \\ n(\text{S}) = 19.63/32 = 0.61 \text{ моль}, n(\text{O}) = 29.45/16 = 1.84 \text{ моль}.$$

Далее разделим на наименьшее и получим:

$$n(\text{C}): n(\text{H}): n(\text{N}): n(\text{S}): n(\text{O}) = 5:9:1:1:3.$$

Таким образом, простейшая формула соединения – $\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_3\text{S}$.

Определим молекулярную формулу.

Вычислим молярную массу соединения в соответствии с простейшей формулой: $M = 12 \cdot 5 + 9 + 14 + 16 \cdot 3 + 32 = 163 \text{ г/моль}$. Эта величина попадает в диапазон значений, указанных в условии, значит молекулярная формула совпадает с простейшей.

2) Найдем массовую долю ацетилцистеина в растворе:

$\omega = m_{\text{АЦЦ}}/m_{\text{р-ра}} \cdot 100\%$. В 1 мл содержится 0.20 г вещества, $m_{\text{р-ра}} = \rho_{\text{р-ра}} \cdot V_{\text{р-ра}} = 1.05 \text{ г/мл} \cdot 1 \text{ мл} = 1.05 \text{ г}$, отсюда $\omega = 0.20/1.05 \cdot 100\% = 19.05 \%$.

3) Найдем объём раствора для ингаляции (0.0038 моль ацетилцистеина)

Для ингаляции требуется $m_{\text{АЦЦ}} = 0.0038 \text{ моль} \cdot 163 \text{ г/моль} = 0.62 \text{ г}$. В 1 мл содержится 0.20 г вещества, а в x мл – 0.62 г, значит для ингаляции потребуется $V = 0.62 \text{ г} \cdot 1 \text{ мл} / 0.2 \text{ г} = 3.10 \text{ мл}$.

4) В одной упаковке препарата содержится 10 ампул $\cdot 5 \text{ мл} = 50 \text{ мл}$ раствора. На одну ингаляцию расходуется 3.10 мл препарата, на весь курс $3.10 \text{ мл} \cdot 2 \cdot 8 = 49.60 \text{ мл}$. Следовательно, упаковки препарата как раз хватит на курс ингаляций.

Разбалловка

Молекулярная формула вещества	8 б.
Массова доля препарата	5 б.
Объём раствора для одной ингаляции	6 б.
Расчет упаковок препарата на курс	6 б.
Всего	25 б.