

ДЕСЯТЫЙ КЛАСС

Задача 10-1. «Морской бой».

Рекомендации к решению и оценке:

1. В этот раз Знайка выиграла, так как ни один корабль Знайки не был угадан.

Правильная матрица боя:

а) CH_4 – метан;

б) $\text{H}_3\text{C}-\text{CH}=\text{C}(\text{CH}_3)\text{COH}$ –

2-метилбутен-2-аль;

в) HCOOH –

муравьиная кислота;

г) А8 – H_2O_2 пероксид водорода,

Б8 – $\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$ хинон.

2. Три способа получения

вещества из пункта а – метана.

	А	Б	В	Г
1				CH_4
2				
3		$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$		
4				
5				
6			HCOOH	
7				
8	H_2O_2	$\text{C}_6\text{H}_4\text{O}_2$		

Нагревание до 1200°C смеси водорода и углерода: $\text{C} + 2\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4$

Взаимодействие карбида алюминия с водой: $\text{Al}_4\text{C}_3 + 12\text{H}_2\text{O} = 3\text{CH}_4\uparrow + 4\text{Al}(\text{OH})_3$

Нагревание смеси щелочи и ацетата натрия:



3. Общая формула вещества $\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$. Вычислим количества элементов:

$$n(\text{CO}_2) = 5,6 : 22,4 = 0,25 \text{ (моль)}, \quad n(\text{C}) = n(\text{CO}_2) = 0,25 \text{ моль}$$

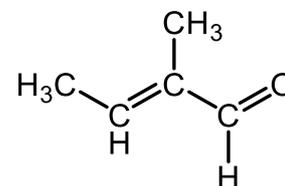
$$n(\text{H}_2\text{O}) = 3,6 : 18 = 0,20 \text{ (моль)}, \quad n(\text{H}) = 2n(\text{H}_2\text{O}) = 0,40 \text{ моль}$$

Вычислим количество кислорода:

$$m(\text{O}) = m(\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z) - m(\text{C}) - m(\text{H}) = 4,2 - 0,25 \cdot 12 - 0,4 \cdot 1 = 0,8 \text{ (г)},$$

$$n(\text{O}) = 0,8 : 16 = 0,05 \text{ (моль)}; \quad x : y : z = 0,25 : 0,40 : 0,05 = 5 : 8 : 1.$$

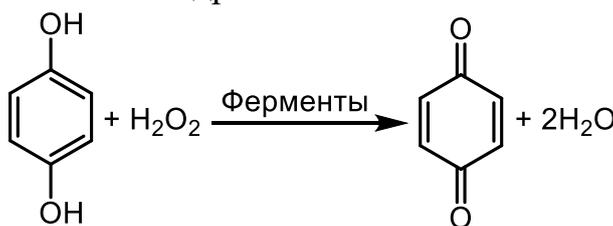
Молекулярная формула – $\text{C}_5\text{H}_8\text{O}$



Структурная формула

2-метилбутен -2- аль

4. Уравнение окисление гидрохинона.



За определения исхода игры

– 1 балл

За определение веществ – по 2 баллу, итого

– 10 баллов

За три способа получения вещества из пункта а

– 3 балла

За название, молекулярную и структурную формулу вещества из пункта в

– 3 балла

За уравнение упомянутой в пункте г реакции

– 3 балла

Максимальное число баллов за задачу – 20 баллов

Задача 10-2. «Желтоватые осадки»

Рекомендации к решению:

1. Опыт 1. Некоторые неметаллы образуют газообразные водородные соединения и оксиды. При взаимодействии водородного соединения и оксида может произойти окислительно-восстановительная реакция, т. к. неметалл в соединении с водородом имеет отрицательную степень окисления и способен быть восстановителем, а в составе оксида имеет положительную степень окисления и способен быть окислителем. При такой реакции неметалл может образоваться в свободном виде – в виде простого вещества. Желтый твердый неметалл – это сера.

Сера при нагревании без доступа воздуха сначала расплавится, закипит, а затем возгонится и осядет на стенках воронки. Происходящие процессы – плавление, кипение, возгонка (сублимация), десублимация.

Опыт 2. Желтоватое (не желтое!) вещество, чернеющее на свету, известно только одно – бромид серебра. Это вещество образуется при взаимодействии бромоводородной кислоты (раствора бромоводорода в воде, жидкости, окрашивающей лакмус в красный цвет) и раствора сульфата серебра (раствор «слабый, но насыщенный»; сульфат серебра труднорастворим).

Опыт 3. В тексте описана иодоформная проба на одноатомные спирты, в ходе которой спирт в щелочной среде взаимодействует с иодом с образованием желтоватого осадка иодоформа.

Растворимость иодоформа зависит от температуры: с ростом температуры растворимость увеличивается, поэтому осадок при нагревании растворяется, а при последующем охлаждении вновь образуется.

2. Формулы и названия веществ:

А или **Б** – H_2S – сероводород;

Б или **А** – SO_2 – оксид серы (IV), сернистый газ, сернистый ангидрид;

В – HBr – бромоводород (раствор – бромоводородная кислота, окрашивающая лакмус в красный цвет);

Г – Ag_2SO_4 – сульфат серебра (возможно указание другой малорастворимой соли серебра);

Д – $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ – этиловый спирт, этанол (возможно указание другого одноатомного спирта, или общее название и формула данного класса соединений – R-OH – спирты);

Е – I_2 – иод;

Ж – NaOH – гидроксид натрия (возможно указание другой щелочи, например, KOH).

Осадок **1** – S – сера; осадок **2** – AgBr – бромид серебра;

осадок **3** – CHI_3 – иодоформ, трийодметан.

Уравнения реакций:

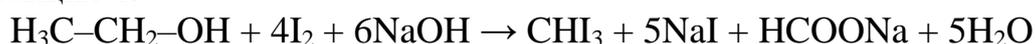
Реакция **1**: $2\text{H}_2\text{S} + \text{SO}_2 = 3\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$

Так как при растворении сернистый газ реагирует с водой, то уравнение реакции можно записать так: $2\text{H}_2\text{S} + \text{H}_2\text{SO}_3 = 3\text{S} + 3\text{H}_2\text{O}$

Реакция **2**: $2\text{HBr} + \text{Ag}_2\text{SO}_4 = \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{AgBr}$

Реакция **3**: $2\text{AgBr} \xrightarrow{\text{свет}} 2\text{Ag} + \text{Br}_2$

Реакция **4**:



Возможны и другие варианты записи уравнения реакции 4 (другой спирт, формула спирта в общем виде, другая щелочь).

Механизм реакции:

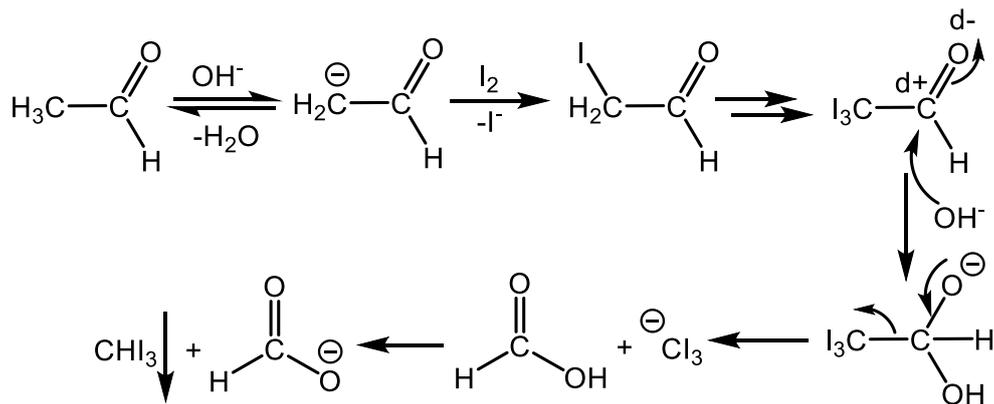
На первом этапе йод диспропорционирует в растворе щелочи по реакции:



Образующийся в реакции гипоиодит проявляет окислительные свойства. Затем происходит окисление этанола до этаналь:



Образующийся в реакции этаналь способен енолизироваться в щелочной среде. Затем енолят присоединяет галоген. Процесс отщепления протона и присоединения галогена повторяется три раза, затем основание (OH⁻) присоединяется по карбонильной группе и отщепляет галоформ.



3. Подобный процесс применяется в черно-белой фотографии. Предотвратить излишнее почернение смеси можно путем «закрепления» – перевода не разложившегося бромида серебра в бесцветное растворимое соединение. Для этой цели применяют, например, тиосульфат натрия:



4. Купленный в аптеке препарат – раствор иода в водном растворе иодида калия, называемый **раствором Люголя** в честь французского врача Жана-Гийома Огюста Люголя (1786–1851), предположившего, что созданный им иодистый раствор можно использовать для лечения туберкулеза.



Объяснены описанные в задаче явления – по 1 баллу за каждый опыт, всего

– 3 балла

Приведены формулы и названия веществ А–Ж и осадков 1–3 – по 1 баллу, всего

– 10 баллов

Записаны уравнения реакций 1–4 – по 1 баллу, всего

– 4 балла

Указано применение процесса, воспроизведенного в опыте 2

– 1 балл

Записано уравнение реакции «закрепления»

– 1 балл

Назван аптечный препарат и указан его состав

– 1 балл

Максимальное число баллов за задачу

– 20 баллов

Задача 10-3. «Заварка». Рекомендации к решению и оценке:

1. Принимается любое понятие, не противоречащее смыслу.

Экстракция – самопроизвольный физико-химический процесс распределения вещества между двумя фазами, лежащий в основе процесса извлечения вещества из раствора или сухой смеси с помощью растворителя.

2. Пусть есть 100 г вещества, которое нужно экстрагировать.

Рассмотрим процесс экстракции одной порцией растворителя. За один раз удается экстрагировать половину вещества, т.к. степень экстракции равна 0,5. Таким образом, получится выделить: $0,5 \cdot 100 = 50$ г вещества.

Рассмотрим процесс экстракции тремя порциями растворителя. При первой экстракции удастся выделить: $0,5 \cdot 100 = 50$ г вещества.

Тогда останется вещества для дальнейшей экстракции: $100 - 50 = 50$ г.

При второй экстракции удастся выделить: $0,5 \cdot 50 = 25$ г.

Тогда останется вещества для третьей экстракции: $50 - 25 = 25$ г.

При третьей экстракции удастся выделить: $0,5 \cdot 25 = 12,5$ г.

Таким образом, при экстракции небольшими порциями удается выделить гораздо больше вещества: $50 + 25 + 12,5 = 87,5$ (г).

Именно поэтому в экспериментальных методиках используют экстракцию маленькими порциями растворителя, а не одной большой, хотя, казалось бы, в одной большой порции растворителя должно раствориться больше вещества.

3. При 90°C степень извлечения составляет 37,10%. При первой заварке в воде оказывается: $m_1(\text{чай в воде}) = \alpha \cdot m(\text{сухого чая}) = 0,371 \cdot 2 = 0,742$ (г).

Для второго заваривания остается:

$$m(\text{оставшегося сухого чая}) = 2 - 0,742 = 1,258 \text{ (г)}.$$

В процессе второй заварки удастся выделить из чая:

$$m_2(\text{чай в воде}) = \alpha \cdot m(\text{оставшегося сухого чая}) = 0,371 \cdot 1,258 = 0,467 \text{ (г)}.$$

4. Найдем константы экстракционного равновесия при двух температурах. Для этого составим схему равновесия. Пусть в начальный момент было x моль вещества. Экстракция еще не началась, значит, вещества в воде нет – 0 моль. Спустя какое-то время некоторая доля (α) вещества перешла в раствор. Исходного вещества стало меньше на долю $1-\alpha$. Чтобы избавиться от неизвестного количества вещества x , найдем доли веществ, которые затем подставим в константу, воспользовавшись определением константы из справочных материалов.

	Компоненты чая в листе \rightleftharpoons	Компоненты чая в воде	Сумма
C_0	x	0	x
ΔC	$x(1-\alpha)$	$x\alpha$	x
χ	$x(1-\alpha) / x = 1-\alpha$	$x\alpha / x = \alpha$	1

$$K_{T_1} = \frac{[\text{Компоненты чая в воде}]}{[\text{Компоненты чая в листе}]} = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,1935}{1-0,1935} = 0,24$$

$$K_{T_2} = \frac{[\text{Компоненты чая в воде}]}{[\text{Компоненты чая в листе}]} = \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{0,371}{1-0,371} = 0,59$$

Воспользуемся уравнением зависимости константы равновесия от температуры из справочных данных, чтобы найти значение теплового эффекта реакции.

$$\Delta H^{\circ} = \frac{RT_1T_2}{T_2 - T_1} \ln \frac{K_{T_2}}{K_{T_1}}$$

$$\Delta H^{\circ} = \frac{8,31 \cdot (60 + 273,15) \cdot (90 + 273,15)}{(90 + 273,15) - (60 + 273,15)} \ln \frac{0,59}{0,24} = 33512,41 \cdot 0,89 = 30144 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{моль}} \right)$$

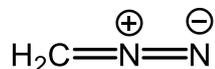
Расчет показывает, что процесс заваривания чая является эндотермическим. Действительно, в холодной воде чай заваривается хуже, чем в горячей. Увеличение температуры приводит к смещению равновесия в прямом направлении, как и должно быть для эндотермических процессов в соответствии с принципом Ле Шателье.

За определение экстракции (есть указание на распределение вещества между фазами)	– 1 балл
За указание на большее извлечение при экстракции частями	– 1 балл
За подтверждения ответа расчетом	– 2 балла
За нахождение массы извлечённого вещества при втором заваривании	– 2 балла
За составление схемы равновесия	– 4 балла
За полученные выражения для констант	– 2 балла
За вычисления константы при двух температурах – 1 баллу, всего	– 2 балла
За вычисления теплового эффекта процесса	– 4 балла
За вычисления теплового эффекта процесса (арифметическая ошибка)	– 1 балл
За вывод о тепловом эффекте (эндо-/экзо-)	– 1 балл
Максимальное число баллов за задачу	– 20 баллов

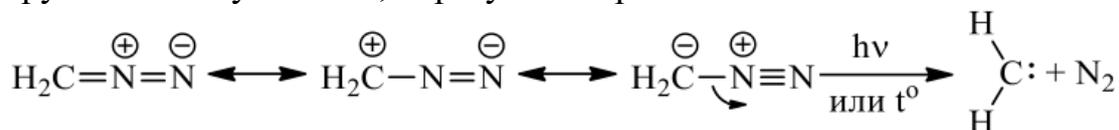
Задача 10-4. «Циклопропан».

Рекомендации к решению и оценке:

1. Диазометан легко выделяет азот, значит, должен содержать в своей структуре фрагмент, близкий к структуре молекулы азота. С учетом валентностей азота и углерода, а также числа электронов у атомов можем изобразить его формулу как:



2. Для объяснения образования карбена необходимо объяснить, как выделяется молекула азота. Таким образом, задача сводится к формированию фрагмента молекул азота. Диазометан существует в трех формах с разным распределением электронов (резонансные структуры). При нагревании или облучении пара электронов в составе связи C–N переходит к атому азота в составе диазогруппы как к более электроотрицательному. В этот момент и формируется молекула азота, образуется карбен.



3. Установим формулу вещества **Y**. Для этого найдем количества углекислого газа, воды и азота, а затем число атомов углерода, водорода и азота в молекуле.

$$n(\text{CO}_2) = V(\text{CO}_2) / V_m(\text{CO}_2) = 1,12 / 22,4 = 0,05 \text{ (моль)} \Rightarrow N(\text{C}) = 0,05$$

$$n(\text{H}_2\text{O}) = m(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{H}_2\text{O}) = 0,45 / 18 = 0,025 \text{ (моль)} \Rightarrow \\ \Rightarrow N(\text{H}) = n(\text{H}_2\text{O}) \cdot 2 = 0,025 \cdot 2 = 0,05$$

$$n(\text{N}_2) = V(\text{N}_2) / V_m(\text{N}_2) = 0,56 / 22,4 = 0,025 \text{ (моль)} \Rightarrow \\ \Rightarrow N(\text{N}) = n(\text{N}_2) \cdot 2 = 0,025 \cdot 2 = 0,05$$

Важно сделать проверку на наличие атомов кислорода в составе исходной молекулы, т.к. углекислый газ, вода и азот могут образоваться при сгорании веществ состава $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z$ или $\text{C}_x\text{H}_y\text{N}_z\text{O}_m$. Для этого найдем массу атомов в составе молекулы: $m(\text{C}, \text{H}, \text{N}) = N(\text{C}) \cdot M(\text{C}) + N(\text{H}) \cdot M(\text{H}) + N(\text{N}) \cdot M(\text{N}) =$
 $= 0,05 \cdot 12 + 0,05 \cdot 1 + 0,05 \cdot 14 = 1,35 \text{ (г)}$

Из расчета видно, что молекула содержит в своем составе атомы кислорода, т.к. суммарная масса атомов водорода, углерода и азота недостаточна для массы сожженной навески. Найдем количество атомов кислорода:

$$m(\text{O}) = m(\text{навески}) - m(\text{C}, \text{H}, \text{N}) = 2,15 - 1,35 = 0,8 \text{ (г)}$$

$$n(\text{O}) = m(\text{O}) / M(\text{O}) = 0,8 / 16 = 0,05 \text{ (моль)} \Rightarrow N(\text{O}) = 0,05$$

Установим формулу соединения: $N(\text{C}) : N(\text{H}) : N(\text{N}) : N(\text{O})$

$$0,05 : 0,05 : 0,05 : 0,05 \mid :0,05$$

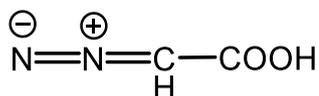
$$1 : 1 : 1 : 1$$



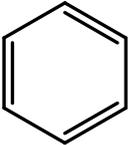
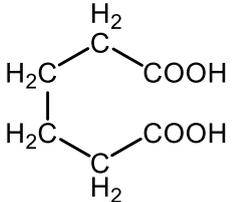
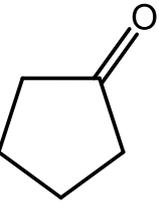
Полученная элементарная формула на первый взгляд соответствует формулам циановых кислот. Уточним, что нам известно о веществе **Y**: содержит тот же структурный фрагмент, что и диазометан, т.е. атомов азота должно быть, как минимум 2; вещество способно взаимодействовать с содой с выделением газа, значит, вещество является кислотой. С одной стороны, изоциановые кислоты способны взаимодействовать с содой, но никак не содержат в своем составе двух атомов азота. Другим веществом, способным взаимодействовать с содой с выделением газа, являются карбоновые кислоты, которые содержат минимум 2 атома кислорода.

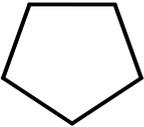
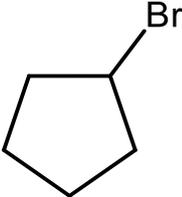
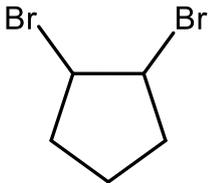
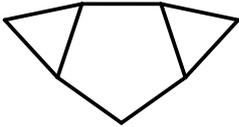
Таким образом, два пункта говорят нам о необходимости удвоить элементарную формулу вещества. Формула вещества **Y** – $\text{C}_2\text{H}_2\text{N}_2\text{O}_2$.

В структуре вещества **Y** должны быть карбоксильная группа и диазофрагмент:



4. Структурные формулы соединений:

1	2	3	4	5
$\text{HC}\equiv\text{CH}$				

6	7	8	9	10	X
					

За установление структурной формула диазометана (любая резонансная)

– 1 балл

За механизм образования карбена

– 2 балла

За нахождение количеств углекислого газа, воды и азота – по 0,5 баллов, всего

– 1,5 балла

За проверку наличия кислорода

– 1,5 балла

За установление элементарной формулы вещества Y

– 1 балл

За указание структурной формулы вещества Y

– 2 балла

За приведённые структурные формулы веществ с 1 по 10 и вещества X – по 1 баллу, всего

– 11 баллов

Максимальное число баллов за задачу

– 20 баллов

Максимальное число баллов за задачи 10 класса – 80 баллов