

## Разбор заданий школьного этапа ВсОШ по химии для 11 класса

2022/23 учебный год

Максимальное количество баллов — 48

### Задание № 1.1

---

#### Условие:

К каким классам органических соединений принадлежат основные компоненты перечисленных веществ?

#### Варианты ответов:

Крахмал	Карбоновые кислоты
Нафталин	Сложные эфиры
Парафин	Углеводы
Подсолнечное масло	Углеводороды
Уксусная эссенция	Кетоны
Полиэтилентерефталат	

#### Правильные ответы:

Крахмал — Углеводы  
Нафталин — Углеводороды  
Парафин — Углеводороды  
Подсолнечное масло — Сложные эфиры  
Уксусная эссенция — Карбоновые кислоты  
Полиэтилентерефталат — Сложные эфиры

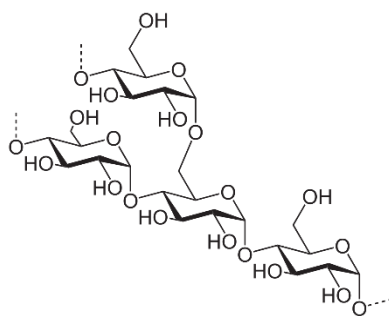
**Балл за каждую верную пару — 0.5 балла**

**Максимальный балл — 3 балла**

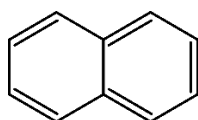
*Решение.*

Крахмал — углевод;  
Нафталин, парафин — углеводороды;  
Подсолнечное масло, полиэтилентерефталат — сложные эфиры;  
Уксусная эссенция — карбоновые кислоты.

Крахмал – это смесь полисахаридов амилозы и амилопектина, мономером которых является  $\alpha$ -глюкоза:



Нафталин – это ароматический углеводород, состоящий из двух бензольных колец, имеющих общую сторону:

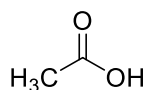


Парафин – это воскоподобная смесь алканов преимущественно нормального строения состава от  $C_{18}H_{38}$  до  $C_{35}H_{72}$ .

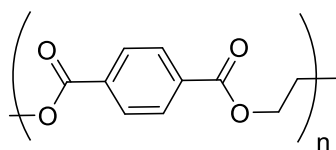
Основными компонентами подсолнечного масла являются сложные эфиры глицерина олеиновой (*цис*-9-октадеценовой) и линолевой (*цис,цис*-9,12-октадекадиеновой) кислот:



Основной компонент уксусной эссенции – уксусная кислота, являющаяся карбоновой кислотой:



Полиэтилентерефталат – сложный эфир, продукт поликонденсации терефталевой кислоты (1,4-бензолдикарбоновой кислоты) с этиленгликолем:



## Задание № 1.2

---

### Условие:

К каким классам органических соединений принадлежат основные компоненты перечисленных веществ?

### Варианты ответов:

Бензин	Карбоновые кислоты
Нафталин	Сложные эфиры
Поливинилацетат	Углеводы
Уксусная эссенция	Углеводороды
Сахар	Кетоны
Рыбий жир	

### Правильные ответы:

Бензин — Углеводороды  
Нафталин — Углеводороды  
Поливинилацетат — Сложные эфиры  
Уксусная эссенция — Карбоновые кислоты  
Сахар — Углеводы  
Рыбий жир — Сложные эфиры

**Балл за каждую верную пару — 0.5 балла**

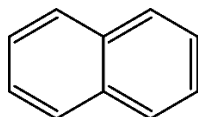
**Максимальный балл — 3 балла**

### *Решение.*

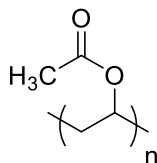
Бензин, нафталин — углеводороды;  
Поливинилацетат, рыбий жир — сложные эфиры;  
Уксусная эссенция — карбоновые кислоты;  
Сахар — углеводы.

Бензин – это горючая смесь легких углеводородов, в основном изомерных алканов состава  $C_7H_{16}$  и  $C_8H_{18}$ .

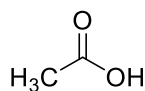
Нафталин – это ароматический углеводород, состоящий из двух бензольных колец, имеющих общую сторону:



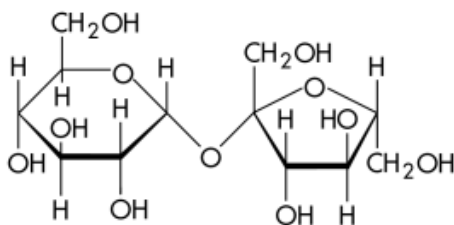
Поливинилацетат – это продукт полимеризации винилацетата, сложный эфир поливинилового спирта и уксусной кислоты:



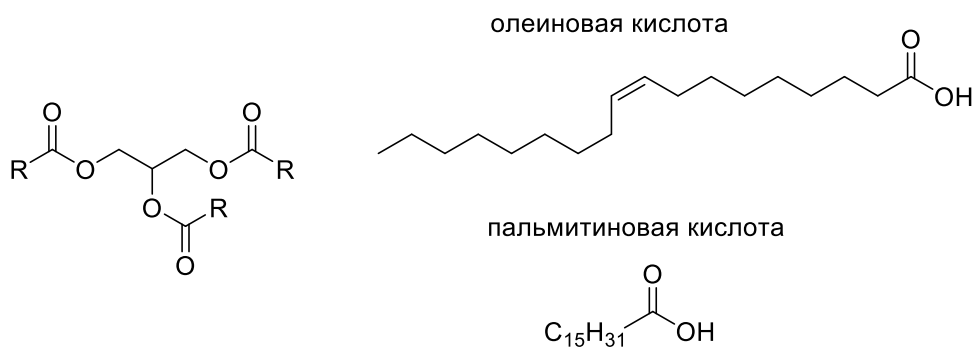
Основной компонент уксусной эссенции – уксусная кислота, являющаяся карбоновой кислотой:



Основным компонентом сахара является дисахарид сахароза, состоящий из остатков двух моносахаридов,  $\alpha$ -глюкозы и  $\beta$ -фруктозы:



Основными компонентами рыбьего жира являются сложные эфиры глицерина и олеиновой (*цис*-9-октадеценовой) и пальмитиновой (гексадекановой) кислот:



## Задание № 2

### Условие:

Укажите число структурных изомеров состава  $C_4H_{10}O$ .

Ответ: 7

Точное совпадение ответа — 2 балла

### Условие:

К каким классам соединений они относятся?

### Варианты ответа:

- ☐ Альдегиды
- ☐ Кетоны
- ☐ Простые эфиры
- ☐ Спирты

### Правильные ответы:

- ☐ Простые эфиры
- ☐ Спирты

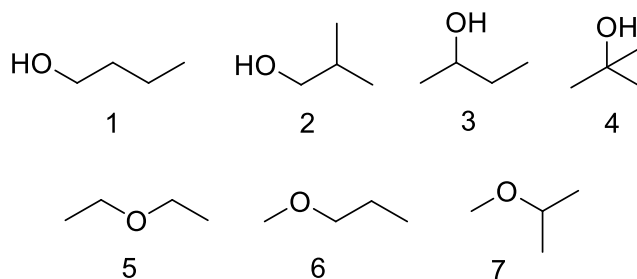
Частичное совпадение со штрафами. За каждый правильный ответ — 1 балл

Штраф за лишний пункт — 1 балл

Максимальный балл — 4 балла

### Решение:

Число структурных изомеров состава  $C_4H_{10}O$  равно 7. Их структурные формулы:



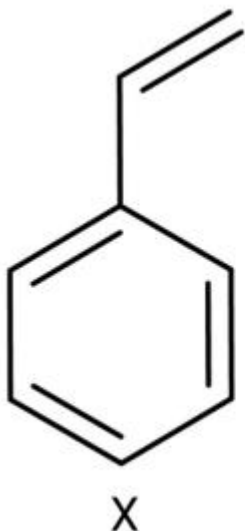
Соединения 1–4 содержат гидроксильную группу, и поэтому относятся к классу спиртов. В соединениях 5–7 атом кислорода связан с двумя алкильными радикалами, эти соединения относятся к классу простых эфиров.

### Задание № 3

---

**Общее условие:**

Вещество X — продукт крупнотоннажного химического синтеза, из которого получают хорошо известный вам полимер Y.



**Условие:**

Запишите название вещества X.

**Ответ:** стирол (или винилбензол / этенилбензол / фенилэтилен / фенилэтен)

**Точное совпадение ответа — 0.5 балла**

**Условие:**

Запишите название полимера Y.

**Ответ:** полистирол

**Точное совпадение ответа — 0.5 балла**

**Условие:**

Какие вещества могут быть исходными для получения продукта X в одну стадию?

**Варианты ответа:**

- ☐ Бензол и этилен
- ☐ Бензол и ацетилен

- 2-Фенилэтанола
- Этилбензол
- 1-Бром-2-фенилэтан
- Толуол и метан

**Правильные ответы:**

- 2-Фенилэтанол
- Этилбензол
- 1-Бром-2-фенилэтан

**Частичное совпадение со штрафами. За каждый правильный ответ — 1 балл**

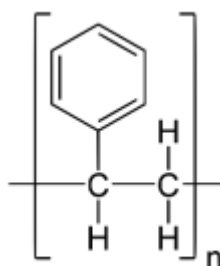
**Штраф за лишний пункт — 1 балл**

**Максимальный балл — 4 балла**

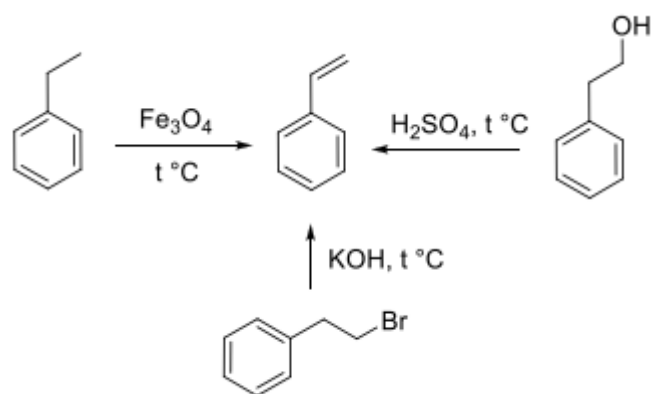
*Решение:*

На рисунке изображен винилбензол (этилбензол, фенилэтилен, фенилэтен), тривиальное название которого – стирол.

Продуктом его радикальной полимеризации является полистирол (общепринятое название полимера), из которого изготавливают пенопласт, различную пластиковую посуду, подложки, упаковки и пр.



Из предложенного списка исходных веществ для синтеза стирола используются этилбензол (в промышленности используют дегидрирование в присутствии оксида железа(II,III)), 2-фенилэтанол (дегидратация в присутствии кислоты) и 1-бром-2-фенилэтан (дегидробромирование под действием щелочи):



#### Задание № 4

---

##### Общее условие:

Однажды Незнайка нашёл склянку с бесцветной жидкостью без надписи и попросил Знайку помочь ему узнать, что же в ней находится. Сначала Знайка сжёг 60.0 г соединения X, при этом образовалось 67.2 л (н.у.) углекислого газа и 72.0 г воды. Затем Знайка нагрел вещество X с CuO и к продукту прибавил аммиачный раствор оксида серебра, поверхность пробирки стала зеркальной. Этих данных оказалось достаточно, чтобы Знайка понял, какое вещество было в склянке.

##### Условие:

Запишите брутто-формулу соединения X.

**Ответ:**  $C_3H_8O$

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

##### Условие:

Назовите соединение X по номенклатуре ИЮПАК.

**Ответ:** пропан-1-ол

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

**Максимальный балл — 6 баллов**

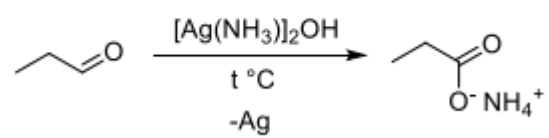
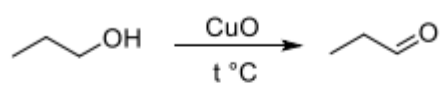
*Решение:*

Определим брутто-формулу соединения X. В условии говорится, что при нагревании его с оксидом меди(II) и последующей обработкой реактивом Толленса, поверхность пробирки становится зеркальной, посеребрённой. На этом основании можно предположить, что X – это спирт, при его окислении образуется альдегид, а альдегид вступает в реакцию серебряного зеркала. Запишем реакцию горения X:



Из условия можно рассчитать, что образовалось 3 моль углекислого газа и 4 моль воды. Тогда в исходном соединении 3 моль углерода и 8 моль водорода, масса углерода  $3 \cdot 12 = 36$  г, масса водорода  $8 \cdot 1 = 8$  г. На остаток в соединении приходится  $60 - 36 - 8 = 16$  г, то есть 1 моль кислорода. Таким образом, брутто-формула  $C_3H_8O$ . Учитывая, что речь о первичном спирте, то X – это **пропан-1-ол**

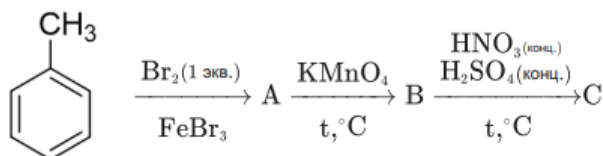
Схемы реакций:



### Задание № 5.1

#### Условие:

Какое из перечисленных веществ является основным конечным продуктом (вещество С) следующей цепочки превращений?



#### Варианты ответа:

- 3-бром-4-нитробензойная кислота
- 3-бром-5-нитробензойная кислота
- 4-бром-2-нитробензойная кислота
- 4-бром-3-нитробензойная кислота

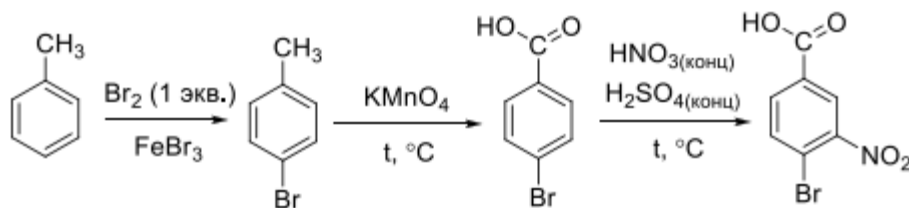
#### Правильный ответ:

- 4-бром-3-нитробензойная кислота

Точное совпадение ответа — 4 балла

#### Решение.

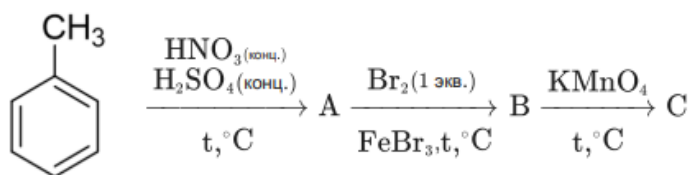
Бромирование толуола протекает с преимущественным образованием *орто*- и *пара*-бромтолуолов (метильная группа — это *орто/пара*-ориентант), причем выход *пара*-изомера (65%) больше, чем *орто*-изомера (35%). Далее происходит окисление метильной группы до карбоксильной. Так как бром является *орто/пара*-ориентантом, а группа COOH — *мета*-ориентантом, то при нитровании *пара*-бромбензойной кислоты образуется 4-бром-3-нитробензойная кислота (вещество С).



## Задание № 5.2

### Условие:

Какое из перечисленных веществ является основным конечным продуктом (вещество С) следующей цепочки превращений?



### Варианты ответа:

- 2-бром-5-нитробензойная кислота
- 3-бром-5-нитробензойная кислота
- 4-бром-2-нитробензойная кислота
- 5-бром-2-нитробензойная кислота

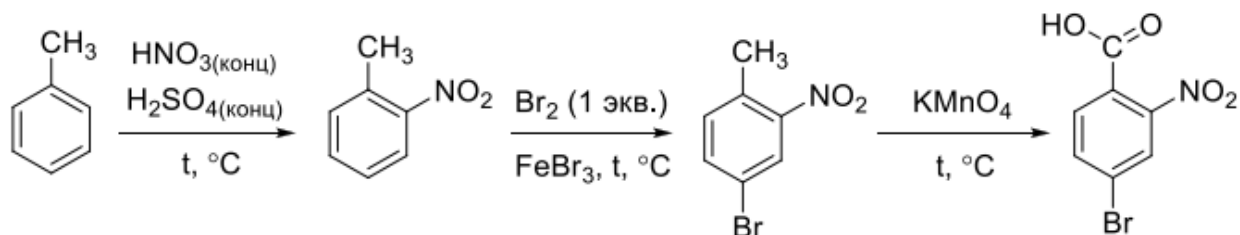
### Правильный ответ:

- 4-бром-2-нитробензойная кислота

**Точное совпадение ответа — 4 балла**

### Решение.

Нитрование толуола протекает с преимущественным образованием *орто*- и *пара*-нитротолуолов (метильная группа — это *орто/пара*-ориентант), причем выход *орто*-изомера (62%) больше, чем *пара*-изомера (34%). Так как метил является *орто/пара*-ориентантом, а *нитро*-группа — *мета*-ориентантом, то при нитровании *орто*-нитротолуола могут образоваться 2-бром-6-нитротолуол и 4-бром-2-нитротолуол. Введение объемного атома брома в *орто*-положение к метилу затруднено по стерическим причинам, поэтому преимущественно образуется 4-бром-2-нитротолуол. Далее происходит окисление метильной группы до карбоксильной. Тогда вещество С — это 4-бром-2-нитробензойная кислота.



## Задание № 6

---

### Общее условие:

Токсичное органическое вещество содержит 77.4 % углерода и 7.6 % водорода по массе и ещё один элемент. Оно представляет собой бесцветную жидкость, темнеющую на воздухе, и при действии сильных кислот образует соли. Наиболее простой способ его получения был разработан известным русским химиком в середине XIX века.

### Условие:

Запишите молярную массу этого вещества, **при расчётах** округляя атомные массы до сотых. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

**Ответ:** 93

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

### Условие:

Запишите название этого вещества.

**Ответ:** анилин

**Точное совпадение ответа — 2 балла**

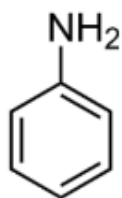
**Максимальный балл — 5 баллов**

### Решение.

На неизвестный элемент в составе вещества приходится  $100 - 77.4 - 7.6 = 15\%$ . Обозначим атомную массу элемента за  $X$ . Определим, в каком соотношении в неизвестном веществе находятся атомы углерода и водорода. Воспользуемся соотношением:

$$n(C) : n(H) : n(\text{Э}) = 77.4/12.01 : 7.6/1.01 : 15/X = 6.445 : 7.525 : 15/X = 6 : 7 : 14/X$$

Тогда, если в молекуле присутствует один атом неизвестного элемента, то  $X = 14$  г/моль, это азот. Брутто-формула соединения:  $C_6H_7N$ , молярная масса 93 г/моль. Судя по описанию в условии, из всего многообразия возможных изомеров, удовлетворяющих такой формуле, нужно выбрать анилин (другие названия: аминбензол, фениламин):

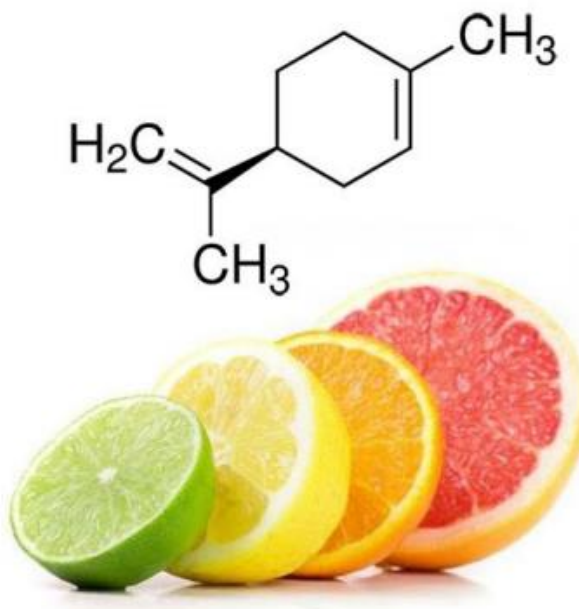


Действительно, это токсичное вещество (относится ко II классу опасности), темнеет на воздухе за счет окисления и образования соединений с сопряженной структурой, проявляет основные свойства за счет протонирования атома азота. Наиболее простой способ получения анилина, заключающийся в восстановлении нитробензола действием сульфида аммония, был разработан Н.Н. Зининым в 1842 году.

### Задание № 7

#### Общее условие:

Ниже приведена структурная формула лимонена — углеводорода, обуславливающего запах цитрусовых.



#### Условие:

Выберите реагент, с которым лимонен **НЕ** реагирует:

#### Варианты ответов:

- ☐ Br<sub>2</sub> (избыток, в темноте)
- ☐ HBr (избыток)
- ☐ NaOH (избыток)
- ☐ Водный раствор KMnO<sub>4</sub> (избыток, при охлаждении)

#### Правильный ответ:

- ☐ NaOH (избыток)

Точное совпадение — 1 балл

#### Условие:

Для случаев, когда реакция возможна, запишите значение молярной массы органических соединений, являющихся продуктами реакции. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

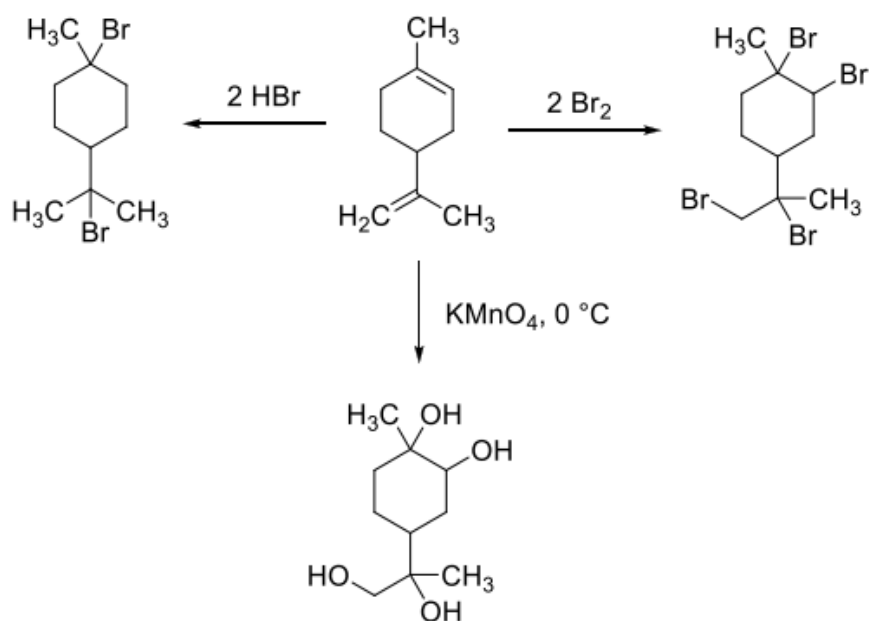
Ответ: 456, 298, 204

За каждый правильный пункт — 1 балл

Максимальный балл — 4 балла

Решение.

В структуре лимонена имеются две двойные связи  $C=C$ , которые и отвечают за его химические свойства. Как известно, алкены реагируют с бромом, галогеноводородами и могут окисляться перманганатом калия, но не реагируют со щелочами. В реакциях с избытком реагентов будут участвовать обе двойные связи, тогда структурные формулы продуктов выглядят следующим образом:



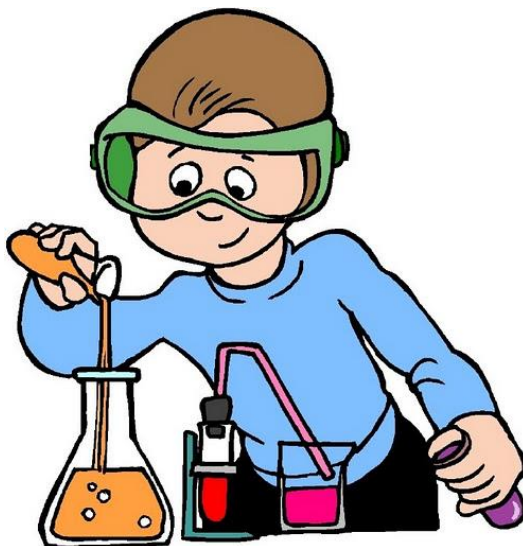
Молярная масса продукта присоединения брома — 456 г/моль, продукта присоединения бромоводорода — 298 г/моль, продукта окисления — 204 г/моль.

### Задание № 8.1

---

#### Общее условие:

Однажды Химик Колбочкин захотел сделать красивый синий раствор. Он прочитал в учебнике, что для этого к голубому раствору некоторой соли S нужно добавить раствор гидроксида натрия, а затем к образовавшемуся голубому осадку прилить водный раствор реагента  $C_3H_8O_3$ . При этом голубой осадок растворится с образованием синего раствора.



#### Условие:

Запишите катион в составе соединения S, находящегося в исходном голубом растворе.

**Ответ:**  $Cu^{2+}$

**Точное совпадение ответа — 1 балл**

#### Условие:

Запишите название добавленного органического реагента.

**Ответ:** глицерин

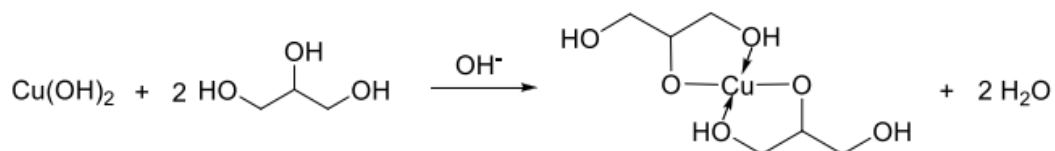
**Точное совпадение ответа — 1 балл**

**Максимальный балл — 2 балла**

*Решение:*

Голубой цвет характерен для водных растворов, содержащих катион  $\text{Cu}^{2+}$ . Наличие этого катиона подтверждается также образованием голубого осадка  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  при добавлении раствора гидроксида натрия:  $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$

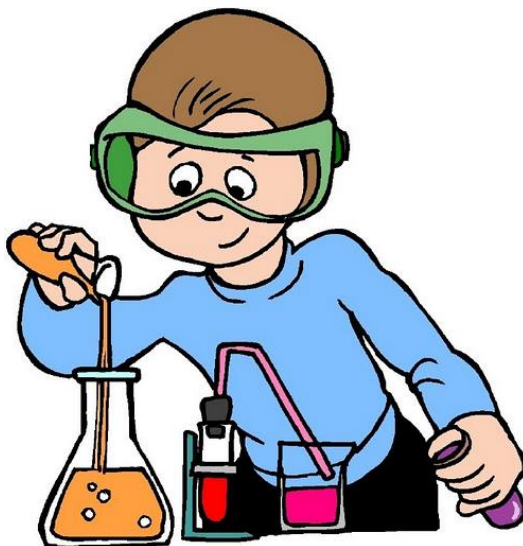
Гидроксид меди(II) можно растворить за счет комплексообразования, добавив в щелочной среде органическое вещество, относящееся к классу 1,2-диолов. Судя по приведенной в условии формуле  $\text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$ , это трехатомный спирт — глицерин (пропан-1,2,3-триол, пропантриол-1,2,3). Тогда реакция растворения выглядит так:



## Задание № 8.2

### Общее условие:

Однажды Химик Колбочкин захотел сделать красивый синий раствор. Он прочитал в учебнике, что для этого к голубому раствору некоторой соли S нужно добавить раствор гидроксида натрия, а затем к образовавшемуся голубому осадку прилить водный раствор реагента  $C_2H_6O_2$ . При этом голубой осадок растворится с образованием синего раствора.



### Условие:

Запишите катион в составе соединения S, находящегося в исходном голубом растворе.

**Ответ:**  $Cu^{2+}$

**Точное совпадение ответа — 1 балл**

### Условие:

Запишите название добавленного органического реагента.

**Ответ:** этиленгликоль

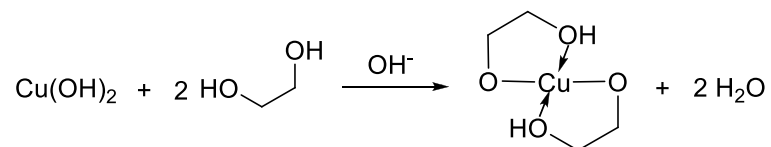
**Точное совпадение ответа — 1 балл**

**Максимальный балл — 2 балла**

*Решение.*

Голубой цвет характерен для водных растворов, содержащих катион  $\text{Cu}^{2+}$ . Наличие этого катиона подтверждается также образованием голубого осадка  $\text{Cu}(\text{OH})_2$  при добавлении раствора гидроксида натрия:  $\text{Cu}^{2+} + 2 \text{OH}^- = \text{Cu}(\text{OH})_2 \downarrow$

Гидроксид меди(II) можно растворить за счет комплексообразования, добавив в щелочной среде органическое вещество, относящееся к классу 1,2-диолов. Судя по приведенной в условии формуле  $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}_2$ , это двухатомный спирт – этиленгликоль (этан-1,2-диол, этандиол-1,2). Тогда реакция растворения выглядит так:





### Задание № 9

#### Условие:

В ребусе зашифрован химический состав некоторого вещества. Рисунки соответствуют элементам, а числа показывают их процентное содержание по массе.

В поля для ответов запишите символы зашифрованных элементов. В промежуточных расчётах атомные массы элементов округляйте до десятых.

			
54.6%	12.7%	29.5%	3.2%
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

#### Правильный ответ:

			
54.6%	12.7%	29.5%	3.2%
<input type="text" value="Pb"/>	<input type="text" value="C"/>	<input type="text" value="O"/>	<input type="text" value="H"/>

За каждый правильный ответ — 0.5 балла

#### Условие:

Определите химическую формулу вещества. В ответе запишите брутто-формулу, расположив элементы в том же порядке, что и в ребусе

Ответ:  $\text{PbC}_4\text{O}_7\text{H}_{12}$

Точное совпадение ответа — 3 балла

Максимальный балл — 5 баллов

*Решение.*

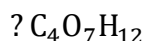
Очевидно, алмаз указывает на углерод. Маска для дыхания указывает на кислород, дирижабль — на водород.

Пусть в состав формульной единицы вещества входит 1 атом углерода. Тогда приходящееся на него количество атомов кислорода составляет

$$29.5 \cdot 12 / (12.7 \cdot 16) = 1.75.$$

$$\text{Количество атомов водорода} - 3.2 \cdot 12 / 12.7 = 3$$

Целое число атомов кислорода получается после умножения на 4:



Определим массу неизвестного элемента, приходящуюся на 4 атома углерода. Она составит:  $54.6 \cdot 4 \cdot 12 / 12.7 = 206$  г/моль, что хорошо (с учетом всех округлений) соответствует свинцу, из которого и изготавливают дробь.

Искомое вещество —  $\text{PbC}_4\text{O}_7\text{H}_{12}$  ( $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ) — *свинцовый сахар* или *сахар-сатурн*.

### Задание № 10.1

---

#### Общее условие:

Простое вещество, образуемое элементом X, при горении в кислороде превращается в соединение Y, а при горении в хлоре — в соединение Z. Массовые доли элемента X в полученных соединениях составляют 54.9% и 52.3% соответственно. Соединение Z обработали водой, к полученному раствору добавили лакмус.



#### Условие:

Каким станет цвет лакмуса?

#### Варианты ответа:

- ☐ Малиновым
- ☐ Красным
- ☐ Жёлтым
- ☐ Оранжевым
- ☐ Розовым
- ☐ Синим
- ☐ Цвет лакмуса не изменится

#### Ответ:

- ☐ Цвет лакмуса не изменится

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Запишите формулу соединения Y.

Ответ:  $KO_2$

Точное совпадение ответа — 3 балла

**Максимальный балл — 5 баллов**

*Решение.*

Определим молярную массу неизвестного элемента. Удобнее это делать, исходя из содержания элемента в хлориде, поскольку нам неизвестна степень окисления кислорода в образующемся при горении в кислороде соединении.

Пусть формула хлорида —  $MCl_x$ .

Тогда молярная масса металла составит:

$$M = 52.3 \cdot 35.5 \cdot x / 47.7$$

При  $x = 1$   $M = 39$  г/моль, что соответствует калию

Хлорид калия не гидролизует в растворе, так как состоит из катиона сильного основания (KOH) и аниона сильной кислоты (HCl), поэтому окраска индикатора меняться не будет.

При горении в кислороде образуется надпероксид,  $KO_2$ .

### Задание № 10.2

---

#### Общее условие:

Простое вещество, образуемое элементом X, при горении в кислороде превращается в соединение Y, а при горении в парах брома — в соединение Z. Массовые доли элемента X в полученных соединениях составляют 59.0% и 22.3% соответственно. Соединение Z обработали водой, к полученному раствору добавили метилоранж.



#### Условие:

Каким станет цвет метилоранжа?

#### Варианты ответа:

- ☐ Малиновым
- ☐ Красным
- ☐ Жёлтым
- ☐ Розовым
- ☐ Синим
- ☐ Фиолетовым
- ☐ Цвет лакмуса не изменится

#### Ответ:

- ☐ Цвет лакмуса не изменится

Точное совпадение ответа — 2 балла

#### Условие:

Запишите формулу соединения Y.

Ответ:  $\text{Na}_2\text{O}_2$

**Точное совпадение ответа — 3 балла**

**Максимальный балл — 5 баллов**

*Решение.*

Определим молярную массу неизвестного элемента. Удобнее это делать, исходя из содержания элемента в бромиде, поскольку нам неизвестна степень окисления кислорода в образующемся при горении в кислороде соединении.

Пусть формула хлорида —  $MBr_x$ .

Тогда молярная масса металла составит:

$$M = 22.3 \cdot 80 \cdot x / 77.7$$

При  $x = 1$   $M = 23$  г/моль, что соответствует натрию

Бромид натрия не гидролизуются в растворе, так как состоит из катиона сильного основания (NaOH) и аниона сильной кислоты (HBr), поэтому окраска индикатора меняться не будет.

При горении в кислороде образуется надпероксид,  $Na_2 O_2$ .

### Задание № 11.1

---

**Условие:**

Какой объём водного раствора гидроксида калия с концентрацией 0.2 моль/л надо добавить к 120 мл соляной кислоты с  $\text{pH}=1$ , чтобы получить раствор с  $\text{pH}=7$  (нейтральная реакция среды)?

Ответ выразите в миллилитрах, округлите до целых.

**Ответ: 60**

**Точное совпадение ответа — 4 балла**

*Решение.*

Водородный показатель ( $\text{pH}$ ) – это количественная характеристика кислотности среды, равная отрицательному десятичному логарифму концентрации ионов водорода в растворе:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+].$$

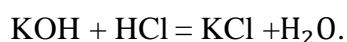
Тогда концентрация кислоты в исходном растворе

$$C(\text{кислота}) = 10^{-\text{pH}} \text{ (моль/л)};$$

количество вещества кислоты

$$n(\text{HCl}) = V(\text{HCl}) \cdot C(\text{HCl}) = (120 \text{ мл}) / (1000 \text{ мл/л}) \cdot 10^{-1} = 0.012 \text{ (моль)}.$$

При сливании растворов щелочи и кислоты происходит реакция нейтрализации:



Для полной нейтрализации в растворе одноосновной кислоты надо добавить такое же количество вещества однокислотного основания (щелочи):

$$n(\text{щелочь}) = n(\text{кислота}),$$

$$V(\text{щелочь}) \cdot C(\text{щелочь}) = n(\text{кислота}),$$

$$V(\text{щелочь}) = n(\text{кислота}) / C(\text{щелочь}).$$

$$V(\text{KOH}) = n(\text{HCl}) / C(\text{KOH}) = (0.012 \text{ моль}) / (0.2 \text{ моль/л}) = 0.06 \text{ л} = 60 \text{ мл}.$$

## Задание № 11.2

---

### Условие:

Какой объём водного раствора гидроксида натрия с концентрацией 0.03 моль/л надо добавить к 150 мл водного раствора азотной кислоты с  $\text{pH}=2$ , чтобы получить раствор с  $\text{pH}=7$  (нейтральная реакция среды)? Ответ выразите в миллилитрах, округлите до целых.

**Ответ:** 50

**Точное совпадение ответа — 4 балла**

### Решение.

Водородный показатель ( $\text{pH}$ ) – это количественная характеристика кислотности среды, равная отрицательному десятичному логарифму концентрации ионов водорода в растворе:

$$\text{pH} = -\log[\text{H}^+].$$

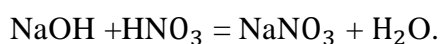
Тогда концентрация кислоты в исходном растворе

$$C(\text{кислота}) = 10^{-\text{pH}} \text{ (моль/л);}$$

количество вещества кислоты

$$n(\text{HNO}_3) = V(\text{HNO}_3) \cdot C(\text{HNO}_3) = (150 \text{ мл}) / (1000 \text{ мл/л}) \cdot 10^{-2} = 0.0015 \text{ (моль)}.$$

При сливании растворов щелочи и кислоты происходит реакция нейтрализации:



Для полной нейтрализации в растворе одноосновной кислоты надо добавить такое же количество вещества однокислотного основания (щелочи):

$$n(\text{щелочь}) = n(\text{кислота}),$$

$$V(\text{щелочь}) \cdot C(\text{щелочь}) = n(\text{кислота}),$$

$$V(\text{щелочь}) = n(\text{кислота}) / C(\text{щелочь}).$$

$$V(\text{NaOH}) = n(\text{HNO}_3) / C(\text{NaOH}) = (0.0015 \text{ моль}) / (0.03 \text{ моль/л}) = 0.05 \text{ л} = 50 \text{ мл}.$$

## Задание № 12

### Общее условие:

Однажды Незнайка решил синтезировать душистое вещество. Он растворил 1 моль одноосновной карбоновой кислоты и 1 моль одноатомного спирта в большом избытке органического растворителя и прокипятил раствор с несколькими каплями минеральной кислоты до прекращения изменения состава системы. В результате система осталась гомогенной, при этом образовалось 0.5 моль сложного эфира. Незнайка был огорчён невысоким выходом продукта, поэтому Знайка посоветовал ему повторить эксперимент, увеличив количество спирта в 4 раза.



### Условие:

Запишите значение константы равновесия реакции, проведённой Незнайкой.

Ответ: 1

Точное совпадение ответа — 3 балла

### Условие:

Сколько моль сложного эфира получил Незнайка во втором эксперименте? Ответ округлите до десятых.

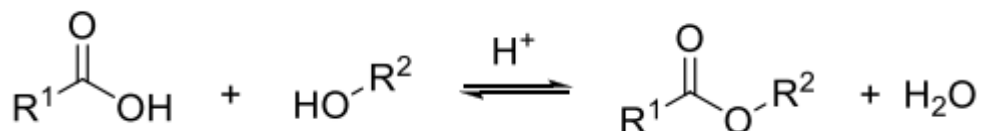
Ответ: 0.8

Точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл — 7 баллов

*Решение.*

В задаче происходит реакция этерификации. Она является обратимой, то есть может протекать как в прямом, так и в обратном направлении:



Выражение для константы равновесия будет выглядеть следующим образом:

$$K = C_p(\text{эфира}) \cdot C_p(\text{воды}) / (C_p(\text{кислоты}) \cdot C_p(\text{спирта}))$$

где  $C_p$  — это равновесные концентрации участников реакции (то есть концентрации в момент равновесия, а не исходные концентрации).

Учитывая, что в уравнении реакции перед всеми участниками одинаковые коэффициенты, то воды должно было образоваться столько же, сколько и сложного эфира — 0.5 моль. Тогда непрореагировавшей кислоты — 0.5 моль, непрореагировавшего спирта — 0.5 моль.

Отсюда следует, что константа равновесия реакции равна  $K = 0.5 \cdot 0.5 / (0.5 \cdot 0.5) = 1$

Как следует из принципа Ле Шателье, для смещения положения равновесия в сторону продуктов реакции необходимо увеличить количество вещества одного из исходных веществ, что и предложил сделать Знайка.

Обозначим за  $X$  количество вещества сложного эфира, образовавшегося во втором опыте.

Тогда в момент равновесия количество вещества воды —  $X$  моль, непрореагировавшей кислоты —  $(1 - X)$  моль, непрореагировавшего спирта —  $(4 - X)$  моль.

Подставив эти значения в выражение для константы равновесия, получим уравнение:

$$1 = X^2 / ((1 - X)(4 - X)), \text{ откуда } 5X = 4, X = 0.8 \text{ моль}$$

Действительно, увеличение количества вещества одного из исходных веществ (спирта) привело к увеличению выхода продукта реакции (сложного эфира).