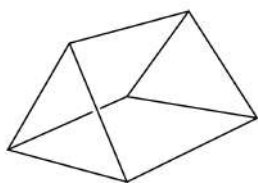


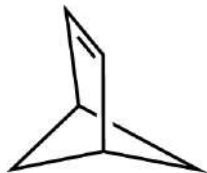
Максимальное количество баллов за олимпиаду — 50

Задание 1. В начале 1860-х годов брутто-формула бензола C_6H_6 уже была известна, однако вокруг его структурной формулы велись споры. Какие структуры соответствуют брутто-формуле C_6H_6 ?

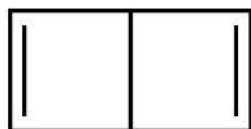
Ответ:



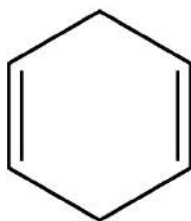
✓



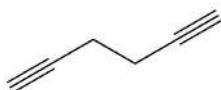
•



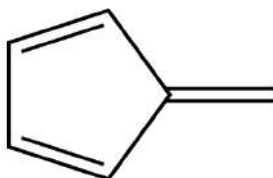
✓



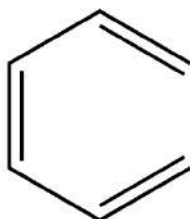
•



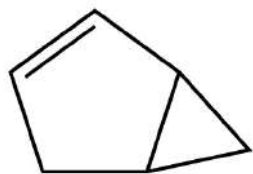
✓



✓



•



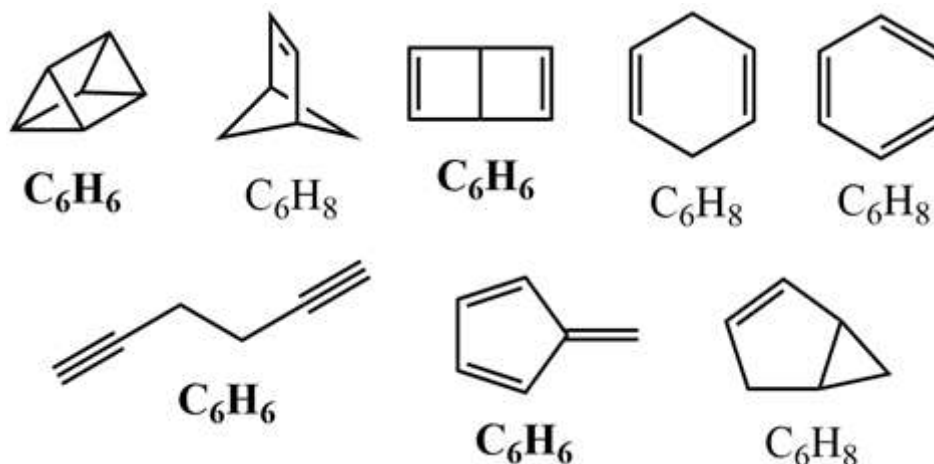
Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего 4 балла.

За каждую ошибку снимается 1 балл

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

Брутто-формуле C_6H_6 соответствует 4 молекулы:



Задание 2.

а) Соединение А широко применяется в качестве отравы для муравьёв и имеет кристаллическую решётку, в которой его молекулы соединены водородными связями в плоские слои. При нагревании А выше $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуется вещество В, содержащее 24.66 % элемента Х по массе. Дальнейшее нагревание приводит к образованию бинарного соединения С. При взаимодействии с гидроксидом натрия любое из веществ А, В, С образует соль D, которая встречается в природе в виде минерала и используется при стандартизации растворов кислот. Запишите простейшие формулы соединений А — С.

Ответ:

A	H_3BO_3
B	HBO_2
C	B_2O_3

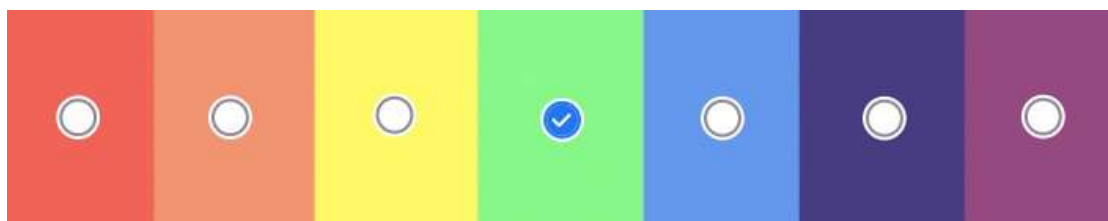
Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего 3 балла

б) Запишите тривиальное название соли D.

Ответ: Бура или Боракс

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

Если добавить к соединению А концентрированную серную кислоту и этанол, образуется летучее вещество Е, способное при горении окрашивать пламя в характерный цвет. В какой?



Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 5

Решение.

а) Можно предположить, что взаимодействующие со щёлочью В и С — продукты дегидратации кислоты А, причем С, вероятно, является кислотным оксидом. Если соль D используется при стандартизации растворов кислот, то она содержит анион слабой кислоты. С учетом этого факта, а также применения А в качестве отравы для муравьев можно догадаться, что А — борная кислота H_3BO_3 , а С — B_2O_3 м. Тогда В — продукт неполной дегидратации H_3BO_3 . Молярная масса В равна $10.8 \cdot \frac{100}{24.66} = 43.8$ г/моль, что соответствует метаборной кислоте HBO_2 . Соль D, встречающаяся в природе в виде минерала, — бура $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

б) При добавлении к H_3BO_3 этанола и серной кислоты протекает реакция этерификации, в результате которой образуется Е — борноэтиловый эфир $\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$. Концентрированная серная кислота в данном случае выступает в роли водоотнимающего агента. При горении $\text{B}(\text{OC}_2\text{H}_5)_3$ окрашивает пламя в зеленый цвет, что используется как качественная реакция на соединения бора.

Задание 3. В настольной ролевой игре «Подземелья и драконы» для приготовления зелий и сотворения многих заклинаний нужны определённые снадобья. Установите соответствие между веществами и заклинаниями или зельями, для создания которых они могут использоваться.

В этом задании каждому варианту из левого столбца соответствует ровно один вариант из правого столбца. Ответы приведены ниже в нужном порядке.

$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}, \text{HCl}$	Клуб дыма
Хлороформ	Направленный сон
Белый фосфор	Астральный свет
H_2SO_4	Кислотный дождь

Критерий оценивания: за каждую верную пару — 1 балл. Всего 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

$\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}, \text{HCl}$ — «Клуб дыма», смесь этих веществ (NH_4Cl) дымит на воздухе. Хлороформ — «Направленный сон», вдыхание паров этого вещества вызывает наркоз. Белый фосфор — «Астральный свет», белый фосфор светится при окислении кислородом воздуха. KCN — «Зелье ядовитого миндаля», токсичная синильная кислота HCN имеет запах миндаля.

Задание 4. Вариант 1. Для получения из растительного сырья эфирных масел, содержащих чувствительные к высоким температурам вещества, можно использовать перегонку с водяным паром. На фотографии представлены лабораторная посуда и оборудование, необходимые для применения этого метода.



Какие два предмета отсутствуют на изображении?

Ответ:

- Стекланный стакан
- ✓ Колба Бунзена
- Воронка
- ✓ Мерный цилиндр
- Холодильник
- Пипетка

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего 2 балла.

За каждую ошибку снимается 1 балл

Из хвои сосны при перегонке было выделено вещество с характерным запахом, содержащее только углерод, водород и кислород, с молярной массой 152 г/моль. По данным элементного анализа массовые доли $\omega(\text{C}) = 78.95\%$, $\omega(\text{H}) = 10.52\%$. Запишите брутто-формулу этого вещества.

Ответ: $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$ или $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}_1$

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

На картинке отсутствуют колба Бунзена и мерный цилиндр. Предположим, что в молекуле содержится n_c атомов углерода, n_h атомов водорода и n_o атомов кислорода.

Массовая доля кислорода:

$$100 - 78.95 - 10.52 = 10.53\%$$

Тогда выражение для молярной массы выглядит как:

$$M = 152 = 12 \cdot n_c + n_h + 16 \cdot n_o$$

Массовая доля углерода равна:

$$\frac{(12 \cdot n_c)}{152} = 0.7895,$$

откуда количество атомов углерода:

$$n_c = \frac{(0.7895 \cdot 152)}{12} \approx 10.$$

Выполнив такие же вычисления для остальных элементов, получаем формулу вещества X: $\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{O}$.

Задание 4. Вариант 2. Для получения из растительного сырья эфирных масел, содержащих чувствительные к высоким температурам вещества, можно использовать перегонку с водяным паром. На фотографии представлены лабораторная посуда и оборудование, необходимые для применения этого метода.



Какие два предмета отсутствуют на изображении?

Ответ:

- Пипетка
- Колба вюрца
- Воронка
- ✓ Мерный цилиндр
- ✓ Пробирка
- Холодильник

Критерий оценивания:

Из хвои сосны при перегонке было выделено вещество с характерным запахом, содержащее только углерод, водород и кислород, с молярной массой 154 г/моль. По данным элементного анализа массовые доли $\omega(\text{C}) = 77.92\%$, $\omega(\text{H}) = 11.69\%$. Запишите брутто-формулу этого вещества.

Ответ: $\text{C}_{10}\text{H}_{18}\text{O}$

Критерий оценивания:

Максимальный балл за задание — 4

Решение по аналогии с вариантом 1

Задание 5. Вариант 1. Среднестатистический сириусянин проводит четверть своей жизни, длящейся 160 земных лет, в межзвёздном пространстве. Там он сильно страдает от недостатка ионов таллия в организме, компенсируя его добавлением в пищевую соль (цианид бария) 0.2 % цианида таллия (I) по массе и употреблением минеральной воды «Псилигрим», содержащей 0.01 ммоль/л ионов таллия. Обычно сириусянин принимает пищу 7 раз в течение земных суток, каждый раз добавляя в неё по 1 г соли и запивая 0.5 л минеральной воды. Сколько таллия в сутки потребляет сириусянин, находясь в межзвёздном пространстве? Ответ выразите в миллиграммах, округлите до десятых.

Ответ: засчитывается в диапазоне [19.5; 19.7]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

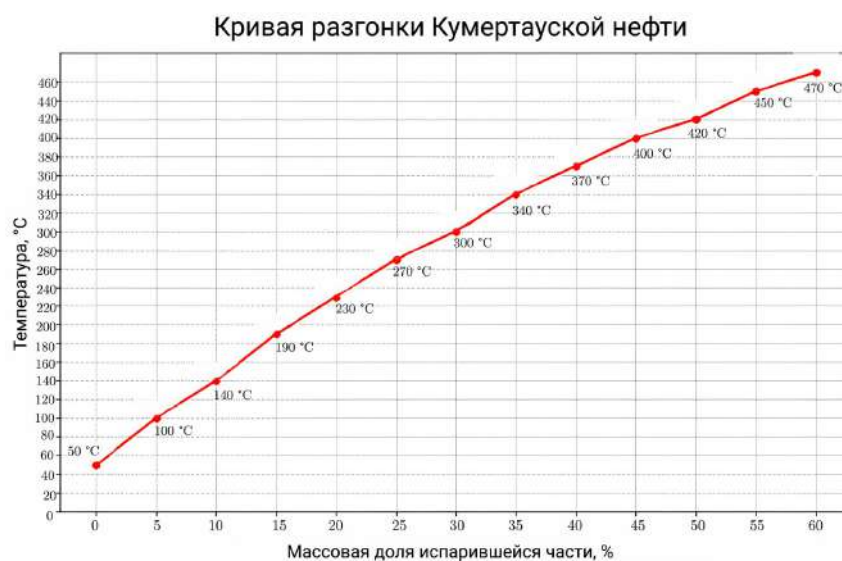
За один прием пищи сириусянин получает $\frac{1 \cdot 0.002 \cdot 204.4}{(204.4 + 12 + 14)} = 1.774 \cdot 10^{-3} \text{ г} = 1.774 \text{ мг}$ таллия из соли и $0.5 \cdot 0.01 \cdot 204.4 = 1.022 \text{ мг}$ таллия из минеральной воды. Таким образом, за одни сутки сириусянин потребляет $7 \cdot (1.774 + 1.022) = 19.6 \text{ мг}$ таллия.

Матрица параметров и ответов к вариантам задания 5.

№ Варианта	Концентрация ионов таллия, ммоль/л	Масса соли, г	Ответ
1	0.01	1.1	20.8
2	0.01	1.2	22.1
3	0.01	1.3	23.3
4	0.01	1.4	24.5
5	0.01	1.5	25.8
6	0.01	1.6	27
7	0.01	1.7	28.3
8	0.01	1.8	29.5
9	0.01	1.9	30.7
10	0.01	2	32
11	0.02	1.1	28
12	0.02	1.2	29.2
13	0.02	1.3	30.5
14	0.02	1.4	31.7
15	0.02	1.5	32.9
16	0.02	1.6	34.2
17	0.02	1.7	35.4
18	0.02	1.8	36.7
19	0.02	1.9	37.9
20	0.02	2	39.1
21	0.03	1.1	35.1
22	0.03	1.2	36.4
23	0.03	1.3	37.6
24	0.03	1.4	38.8
25	0.03	1.5	40.1
26	0.03	1.6	41.3
27	0.03	1.7	42.6
28	0.03	1.8	43.8
29	0.03	1.9	45.1
30	0.03	2	46.3
31	0.04	1.1	42.3
32	0.04	1.2	43.5
33	0.04	1.3	44.8
34	0.04	1.4	46
35	0.04	1.5	47.2
36	0.04	1.6	48.5
37	0.04	1.7	49.7
38	0.04	1.8	51

39	0.04	1.9	52.2
40	0.04	2	53.5
41	0.05	1.1	50.7
42	0.05	1.2	51.9
43	0.05	1.3	53.2
44	0.05	1.4	54.4
45	0.05	1.5	55.6
46	0.05	1.6	54.4
47	0.05	1.7	56.9
48	0.05	1.8	58.1
49	0.05	1.9	59.4
50	0.05	2	60.6

Задание 6. Дана кривая разгонки нефти Кумертауского месторождения (республика Башкортостан), показывающая зависимость доли выкипающих фракций (в процентах по массе) от температуры разгонки.



Информация о содержании серы во фракциях кумертауской нефти представлена в таблице. Определите содержание серы в мазуте. Ответ выразите в процентах, округлите до десятых.

Ответ:

Название фракции	Температура кипения, °C	Содержание серы, %
Бензин	50 – 140	0.17
Дизель	140 – 370	2.32
Мазут	> 370	засчитывается в диапазоне [4; 4.2]
Сырая нефть	–	3.16

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

По графику и таблице видно, что нагревании нефти до 140 градусов массовая доля отогнанной части (бензина) составляет 10 %, а при нагревании до 370 градусов массовая доля отогнанной части (дизеля) составляет 40 %. Остаток в 50 % — это масса мазута.

Предположим, что мы перегоняем 100 г нефти. Тогда содержание масса серы в ней составляет

$$\frac{100 \cdot 3.16 \%}{100 \% \cdot 16 \%} = 3.16 \text{ г.}$$

Бензин составляет 10 % от массы нефти, или 10 г, а масса серы в нём —

$$\frac{10 \cdot 0.17 \%}{100 \%} = 0.17 \text{ г.}$$

Дизель составляет 40 % от массы нефти, или 40 г, а масса серы в нём —

$$\frac{10 \cdot 2.32 \%}{100 \%} = 0.928 \text{ г.}$$

Тогда, на 50 граммов мазута остаётся $3.16 - 0.17 - 0.928 = 2.062$ г серы, что составляет

$$\frac{(2.062)}{50} \cdot 100 \% = 4.1 \ \%.$$

Задание 7. Смесь двух газов X и Y при пропускании через раствор серной кислоты уменьшает свой объём вдвое, а при пропускании над твёрдым гидроксидом натрия — в полтора раза. Плотность смеси по водороду равна 13.

а) Запишите формулы газов X и Y в любом порядке.

Ответ: CO_2 и NH_3

Критерий оценивания: за каждый верный ответ — 1 балл. Всего 2 балла.

За каждую ошибку снимается 1 балл

б) Как изменится объём смеси при пропускании её через воду?

Ответ: Смесь полностью поглотится

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

в) Указанная смесь газов может быть получена при продолжительном кипячении в водном растворе вещества Z с массовой долей одного из элементов, равной 46.7 %. Определите молярную массу вещества Z. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ: 60

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

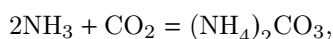
Максимальный балл за задание — 4

Решение.

Исходя из изменения объёмов при поглощении, можно установить, что компоненты смешаны в соотношении 2 : 1. При этом газ, поглощаемый раствором кислоты, вероятнее всего, аммиак, содержание которого составляет $\frac{1}{3}$ по объёму. Средняя молярная масса смеси равна 26. Используем её для установления молярной массы второго газа:

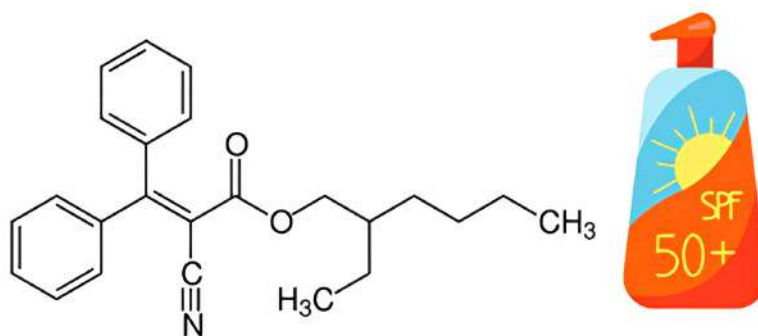
$$26 = \frac{1}{3} \cdot 17 + \frac{2}{3} \cdot X.$$

Откуда $X = 44$. Из газов, поглощаемых раствором щёлочи, это может быть только диоксид углерода. При совместном пропускании через воду компоненты смеси образуют стабильный раствор карбоната аммония:



что можно считать полным поглощением. В веществе Z 46.7 % — массовая доля либо углерода, либо кислорода, либо азота, однако проверка в случаях кислорода и углерода даёт дробную молярную массу. В случае азота на 1 атом приходится $\frac{14}{0.467} = 30$ г/моль. Реалистичный вариант соединения, гидролизующегося до углекислого газа и аммиака, можно получить только с 2 атомами азота. Это мочевины $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ($M = 60$ г/моль).

Задание 8. Фотофильтры или УФ-фильтры — химические соединения, которые способны поглощать или отражать ультрафиолетовое (УФ) излучение, предотвращая его проникновение в более глубокие слои кожи. Они широко используются в солнцезащитных косметических средствах. На рисунке изображена структура октокрилена — органического солнцезащитного фильтра, способного поглощать УФ-излучение благодаря системе сопряжённых π -связей.



а) Определите число атомов углерода с sp^2 -гибридизацией в представленной структуре октокрилена.

Ответ: 15

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

б) Определите общее число π -электронов в молекуле октокрилена.

Ответ: 20

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

а) Атомы углерода с sp^2 -гибридизацией образуют двойные связи и формируют ароматические бензольные кольца, таких атомов в структуре октокрилена 15 шт.

б) Структура октокрилена содержит 2 ароматических бензольных кольца (по 6 π -электронов в каждом), 2 двойные связи (каждая содержит 1 π -связь, то есть по 2 π -электрона) и 1 тройную связь (содержит 2 π -связи, то есть 4 π -электрона). Общее число π -электронов составляет 20.

Задание 9. Между атмосферным и растворённым в воде кислородом устанавливается равновесие $O_2 (г) = O_2 (р-р)$, описываемое константой равновесия:

$$K = \frac{C(O_{2(p-p)})}{(O_{2(r)})}$$

где $C(O_{2(p-p)})$ — концентрация растворённого в воде кислорода (моль/л), а $P(O_{2(r)})$ — парциальное давление кислорода в воздухе (атм). Значения константы равновесия при разных температурах приведены в таблице:

$t, ^\circ C$	0	25	50
K	$4.4 \cdot 10^{-4}$	$2.6 \cdot 10^{-4}$	$1.7 \cdot 10^{-4}$

а) В каком из океанов — Индийском или Северном Ледовитом — концентрация кислорода в среднем выше?

Ответ: В Северном Ледовитом

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

б) Определите концентрацию кислорода в воде при нормальном атмосферном давлении и температуре $25^\circ C$. Ответ выразите в мг/л, округлите до десятых. Содержание кислорода в воздухе равно 21 % по объёму.

Ответ: 1.7

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

в) 1 л воды, насыщенной кислородом при $25^\circ C$, нагрели до $50^\circ C$ и выдержали в течение продолжительного времени. Определите массу кислорода, выделившегося из раствора. Ответ выразите в миллиграммах, округлите до десятых.

Ответ: 0.6

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 2 балла

Максимальный балл за задание — 5

Решение.

Индийский океан заметно отличается от Северного Ледовитого температурой воды. Из величин констант равновесия следует, что растворимость кислорода в воде при повышении температуры падает. Поэтому в Северном Ледовитом океане концентрация кислорода выше.

При $25^\circ C$ концентрация кислорода в воде составит $0.21 \cdot 2.6 \cdot 10^{-4} = 5.46 \cdot 10^{-5}$ моль/л или $5.46 \cdot 10^{-5} \cdot 32 = 1.7 \cdot 10^{-3}$ г/л или 1.7 мг/л.

Повторим аналогичный расчёт для $50^\circ C$: $0.21 \cdot 1.7 \cdot 10^{-4} = 3.57 \cdot 10^{-5}$ моль/л или $3.57 \cdot 10^{-5} \cdot 32 = 1.1 \cdot 10^{-3}$ г/л или 1.1 мг/л. Разность $1.7 - 1.1 = 0.6$ мг на 1 литр будет соответствовать массе выделившегося кислорода.

Задание 10.

а) X — водородсодержащий газ легче воздуха. Если все атомы протия в X заменить на атомы дейтерия, получится газ Y тяжелее воздуха. Смесь X и Y в соотношении 3:1 имеет плотность, равную плотности воздуха. Запишите формулу газа X.

Ответ: C_2H_4

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 3 балла

б) Сколько всего различных молекул можно получить, замещая атомами дейтерия все или часть атомов протия в X?

Ответ: 6

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4

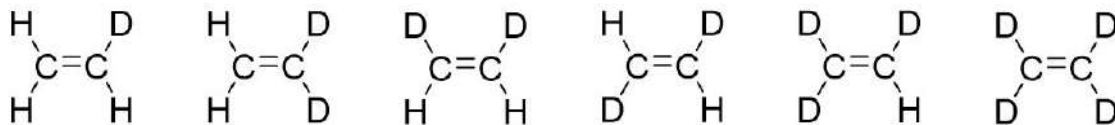
Решение.

а) Обозначим формулу X как AH_n , формулу Y — как AD_n , где A — совокупность атомов, кроме водорода. Молярная масса X составит $(A + n)$, Y — $(A + 2n)$. Средняя молярная масса смеси, содержащей 75 % X и 25 % Y по объёму, равна 29:

$$29 = 0.75(A + n) + 0.25(A + 2n) = A + 1.25n.$$

Учитывая, что величина A должна быть целой, получаем, что n должно быть кратно 4. Вариант $n = 8$ нереален для столь легких газов, остаётся $n = 4$. Тогда для A имеем величину 24, что соответствует двум атомам углерода. Таким образом, X — C_2H_4 , Y — C_2D_4 .

б) Всего можно получить 6 продуктов замещения, включая геометрические изомеры:



Задание 11. Трёхэлементные соединения А и В имеют одинаковый качественный, но разный количественный состав. В записи формул этих веществ химические элементы, входящие в их состав, обозначены как X, Y и Z, также указаны степени окисления этих элементов. Определите массовую долю элемента Z в соединении В. Ответ выразите в процентах, округлите до десятых.

Ответ:

Вещество	Формула	Массовая доля Z, %
А	$X^{+1}Y^{+5}Z_3^{-2}$	56.80
В	$X^{+1}Y^{+7}Z_4^{-2}$	засчитывается в диапазоне [63.6; 63.8]

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 1 балл

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

Для определения массовой доли элемента Z в В нет необходимости расшифровывать формулы. Для этого достаточно заметить, что формулы веществ А и В отличаются только количеством атомов Z и содержат одинаковый вклад от масс элементов X и Y. Выразим этот вклад через атомную массу Z.

По определению массовой доли:

$$\omega(Z)_A = \frac{(3 \cdot Ar(Z))}{(3 \cdot Ar(Z) + Ar(X) + Ar(Y))} = 0.5680.$$

Домножим Умножим обе части уравнения на знаменатель. Получим:

$$3 \cdot Ar(Z) = 1.7040 \cdot Ar(Z) + 0.5680(Ar(X) + Ar(Y));$$

$$1.296 \cdot Ar(Z) = 0.5680(Ar(X) + Ar(Y));$$

$$2.2816 \cdot Ar(Z) = (Ar(X) + Ar(Y)).$$

Запишем выражение для массовой доли Z в В:

$$\omega(Z)_B = \frac{4 \cdot Ar(Z)}{4 \cdot Ar(Z) + Ar(X) + Ar(Y)}.$$

Вместо суммы $Ar(X) + Ar(Y)$ подставим $2.2816 \cdot Ar(Z)$, получим:

$$\omega(Z)_B = \frac{4 \cdot Ar(Z)}{4 \cdot Ar(Z) + 2.2816 \cdot Ar(Z)} = \frac{4 \cdot Ar(Z)}{6.2816 \cdot Ar(Z)} = \frac{4}{6.2816} \approx 0.6367 \text{ (63.7 \%)}.$$

Задание 12. Некоторое органическое соединение широко применяется при получении комплексов, имеющих каталитическую активность. Его структура в кристаллической фазе, показанная на рисунке, была установлена методом рентгеноструктурного анализа, который позволил определить пространственное положение всех атомов, кроме атомов водорода. Массовая доля углерода в соединении составляет 82.43 %.

Запишите брутто-формулу этого соединения.

Ответ: $C_{18}H_{15}P$

Критерий оценивания: точное совпадение ответа — 4 балла

Максимальный балл за задание — 4

Решение.

Атомы углерода на рисунке образуют плоские шестичленные циклы, вероятнее всего, это фенильные фрагменты C_6H_5 . Тогда соединение имеет формулу $\Theta(C_6H_5)_3$ либо $H_X\Theta(C_6H_5)_3$.

Для формулы $\Theta(C_6H_5)_3$ массовая доля углерода составляет:

$$\omega(C) = \frac{(12 \cdot 18)}{(12 \cdot 18 + 15 + \Theta)} = 0.8243.$$



Отсюда $\Xi = 31$, что соответствует фосфору.

Тогда брутто-формула вещества $C_{18}H_{15}P$

Сириус.Курсы — для тех,
кто хочет знать больше!

