

ВСЕРОССИЙСКАЯ ОЛИМПИАДА ШКОЛЬНИКОВ
ХИМИЯ. 2024–2025 уч. г.
ШКОЛЬНЫЙ ЭТАП. 11 КЛАСС

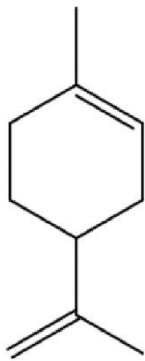
Максимальный балл за работу – 100.

Задача 1 (1–3)

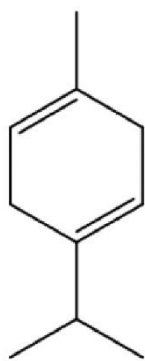
Из кожуры мандарина с помощью пресса можно выжать эфирное масло с сильным цитрусовым запахом, которое в основном состоит из углеводородов терпенового ряда.

1. Выберите компонент мандаринового масла, НЕ являющийся изомером по отношению к остальным:

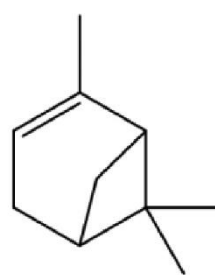
Ответ:



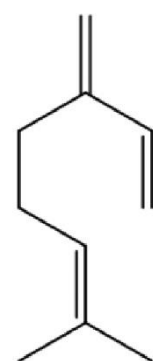
Лимонен



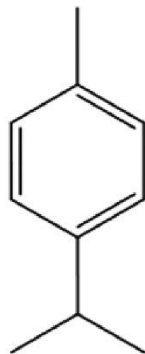
γ-терпинен



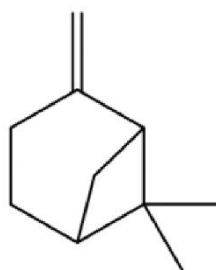
α-пинен



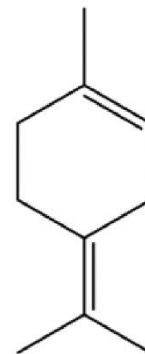
Мирцен



Цимол



β-пинен

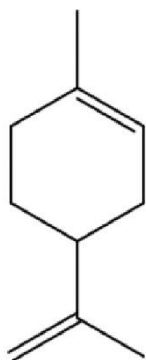


Терпинолен

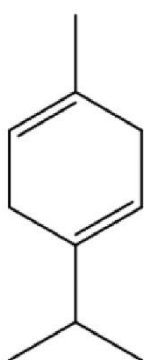
Точное совпадение ответа – 2 балла

2. Выберите компоненты мандаринового масла, образующие при окислении перманганатом калия в кислой среде ацетон в качестве одного из основных продуктов реакции:

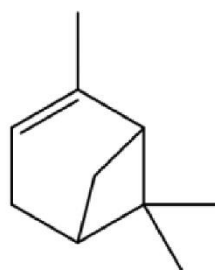
Ответ:



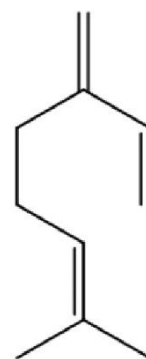
Лимонен



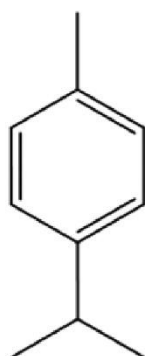
γ-терпинен



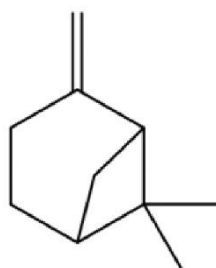
α-пинен



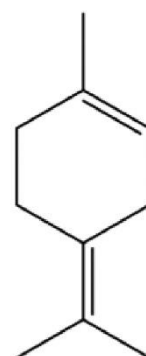
Мирцен



Цимол



β-пинен



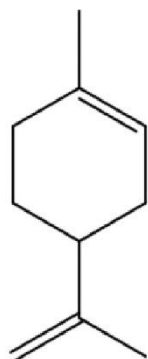
Терпинолен

За каждый верный ответ – 2 балла.

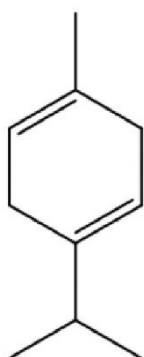
Штраф за каждый неверный выбор – 2 балла

3. Выберите компоненты мандаринового масла, имеющие оптические изомеры:

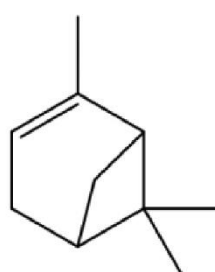
Ответ:



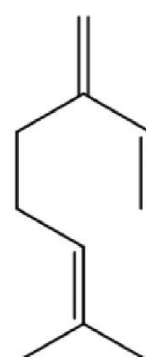
Лимонен



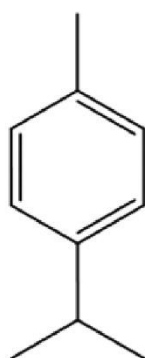
γ-терпинен



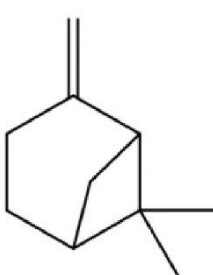
α-пинен



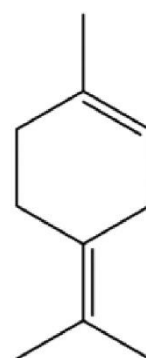
Мирцен



Цимол



β-пинен



Терпинолен

За каждый верный ответ – 1 балл.

Штраф за каждый неверный выбор –балл

Решение.

Цимол содержит на 2 атома водорода меньше, чем остальные углеводороды. Ацетон образует вещества, содержащие две метильные группы при атоме углерода, образующего двойную связь – это мирцен и терпинолен. Не идентичны своему зеркальному изображению лимонен и пинены.

Максимальный балл за задания №1–3 — 9

Задача 2 (4)

Чат-бот с искусственным интеллектом написал оды двум разным химическим элементам:

Элемент 1

Ты – камень, что лежит в основе мира. Ты строишь наши дома, лечишь наши травмы и пишешь наше будущее. Ты питаешь растения, даря им свою жёсткость. Ты защищаешь тела живых существ и несёшь в себе их след. Ты – величайшее чудо, что поддерживает всё сущее!

Элемент 2

Ты – душа воздуха и основа всего сущего под обманчивым именем! Ты строишь наше тело, словно небесные архитекторы, и хранишь тайны жизни, словно божественная книга. Ты питаешь растения, даря им силу Солнца. Но ты – не только источник жизни! Ты – сила оружия, способного свергнуть горы и разбить крепости. Ты – невидимый мост между созиданием и разрушением, между жизнью и смертью, между мирным небом и грохотом войны.

Догадавшись, что это за элементы, запишите формулу продукта реакции образованных ими простых веществ между собой.

Ответ: Ca_3N_2

Точное совпадение ответа – 8 баллов

Решение.

Элемент, входящий в состав мела, гипса, строительных материалов, костей животных и клеточных стенок растений – кальций Ca.

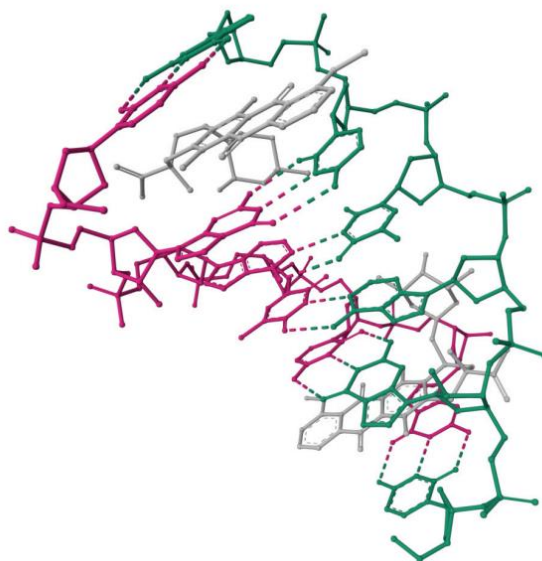
Элемент, входящий в состав воздуха, взрывчатых веществ, а также множества необходимых для жизнедеятельности веществ, в частности, белков и нуклеиновых кислот, название которого при этом означает «безжизненный» – азот N.

При реакции образуется Ca_3N_2 .

Максимальный балл за задание №4 — 8

Задача 3 (5–8)

Составьте верное описание рисунка.



На рисунке изображена экспериментальная структура фрагмента (1), состоящего из (2) (3) в комплексе с (4) молекулами низкомолекулярного органического лиганда.

5. На рисунке изображена экспериментальная структура фрагмента (1) ...

Ответ:

- Белка
- РНК
- ДНК
- Полисахарида

Точное совпадение ответа – 2 балла

6. ... состоящего из (2) ...

Ответ: 6

Точное совпадение ответа – 2 балла

7. (3)

Ответ:

- остатков аминокислот
- аминокислот
- пар нуклеотидов
- пар нуклеозидов

Точное совпадение ответа – 2 балла

8. ... с (4) молекулами низкомолекулярного органического лиганда.

Ответ: 6

Точное совпадение ответа – 2 балла

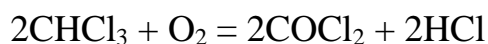
Решение.

На рисунке приведена структура из базы данных PDB (Protein Data Bank, <https://www.rcsb.org/>) без атомов водорода, точное положение которых при определении структур биомакромолекул часто не устанавливается. Она представляет собой двойную спираль, что характерно для ДНК, строящейся из пар нуклеотидов. Их количество равно количеству пар боковых заместителей цепей, связанных двумя или тремя водородными связями, которые обозначены штрихами, т.е. 6. 2 молекулы органического лиганда не связаны ковалентными связями с цепями ДНК и обозначены другим цветом.

Максимальный балл за задания №5–8 — 8

Задача 4 (9–10)

Хлороформ при стоянии на свету медленно окисляется кислородом воздуха с образованием фосгена:



9. Определите тепловой эффект этой реакции, используя приведённые в таблице данные об энергиях связи в молекулах.

Связь	C—H	O=O	C=O	H—Cl	C—Cl
E_D , кДж/моль	436	492	732	432	330

Ответ выразите в кДж/моль, округлите до целых.

Ответ: 304

Точное совпадение ответа – 6 баллов

10. Для стабилизации хлороформа к нему добавляют этиловый спирт, связывающий образующийся фосген. Определите молярную массу органического продукта реакции фосгена с избытком этилового спирта. Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ: 118

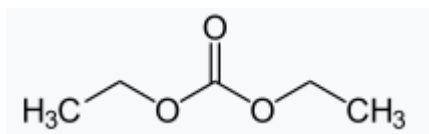
Точное совпадение ответа – 4 балла

Решение.

Теплота химической реакции может быть найдена как разность энергий образующихся и разрывающихся химических связей. В ходе реакции образуются две связи Н–Сl и две связи С=О и разрываются две связи С–Н, 2 связи С–Сl, а также связь О=О:

$$Q = 2E_D(\text{H-Cl}) + 2E_D(\text{C=O}) - 2E_D(\text{C-H}) - 2E_D(\text{C-Cl}) - E_D(\text{O=O}) = 2 \cdot 432 + \\ + 2 \cdot 732 - 2 \cdot 436 - 2 \cdot 330 - 492 = 304 \text{ кДж/моль}$$

Атом кислорода этилового спирта нуклеофильно атакует связи С–Сl фосгена, образуя диэтилкарбонат:










Молярная масса этого вещества равна 118 г/моль.

Максимальный балл за задания №9–10 — 10

Задача 5 (11)

Установите соответствие между фамилиями учёных и их изобретениями или открытиями

Ответ:

Вольта	
Цвет	
Дьюар	
Менделеев	
Белоусов	
Флеминг	
Нобель	

За каждую верную пару – 1 балл

Решение.

Термос представляет собой бытовую разновидность сосудов Дьюара.

Менделеев изобрел один из видов пикнометров со встроенным термометром, который он использовал для определения плотности растворов этилового спирта.

Динамит был запатентован Нобелем.

Вольта создал первый гальванический элемент – Вольтов столб, состоящий из дисков из цинка, меди и сукна, пропитанного кислотой.

Цвет разработал метод колоночной хроматографии для разделения веществ.

Флеминг открыл пенициллин, часто выпускавшийся в виде растворов для инъекций в небольших флаконах.

Колебательную реакцию Белоусова – Жаботинского часто демонстрируют в тонком слое в чашке Петри.

Максимальный балл за задание №11 — 7

Задача 6 (12)

Растворённые в воде вещества снижают температуру её замерзания на величину ΔT , определяемую уравнением:

$$\Delta T = i \cdot K \cdot C_m$$

где i – количество ионов, образующихся при диссоциации молекулы вещества (например, 2 для NaCl), K – криоскопическая константа, равная $1.86 \text{ К} \cdot \text{кг} \cdot \text{моль}^{-1}$, а C_m – моляльная концентрация растворённого вещества (в моль вещества на 1 кг растворителя). Если раствор содержит несколько растворённых веществ, величины ΔT от каждого из них суммируются.

На сколько градусов понизится температура замерзания воды при добавлении к ней смеси солей состава 30 % NaCl, 40 % CaCl₂ и 30 % MgCl₂ и по массе, если на 1 кг воды приходится 18 г смеси? Ответ округлите до десятых.

Ответ: 1.0

Точное совпадение ответа – 8 баллов

Решение.

Массы веществ составят: $m(\text{NaCl}) = 0.3 \cdot 18 = 5.4 \text{ г}$, $m(\text{CaCl}_2) = 0.4 \cdot 18 = 7.2 \text{ г}$, $m(\text{MgCl}_2) = 0.3 \cdot 18 = 5.4 \text{ г}$, а их количества: $n(\text{NaCl}) = 5.4 / 58.5 = 0.092 \text{ моль}$, $n(\text{CaCl}_2) = 7.2 / 111 = 0.065 \text{ моль}$, $n(\text{MgCl}_2) = 5.4 / 95 = 0.057 \text{ моль}$. Так как вещества растворены в 1 кг воды, их моляльные концентрации составляют 0.092, 0.065 и 0.057 моль/кг, соответственно.

$$\Delta T = 1.86 \cdot (0.092 \cdot 2 + 0.065 \cdot 3 + 0.057 \cdot 3) = 1.0 \text{ К}$$

Максимальный балл за задание №12 — 8

Задача 7 (13)

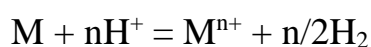
На полное растворение навески сплава, содержащего 25 % цинка, 15 % марганца и 60 % алюминия по массе, потребовалось 55 мл 15 %-го раствора HCl ($\rho = 1.073$ г/л). Какой объём 5 %-го раствора серной кислоты ($\rho = 1.032$ г/л) потребуется для растворения такой же навески? Ответ выразите в миллилитрах, округлите до целых.

Ответ: 230

Точное совпадение ответа – 8 баллов

Решение.

Реакция растворения в случае обеих кислот может быть описана уравнением:



Поскольку суммарное количество металлов в молях в обоих случаях одинаково, для решения задачи необходимо установить объём 5 %-ного раствора серной кислоты, содержащий столько же ионов H^+ , что и 55 мл 15 %-ного раствора HCl .

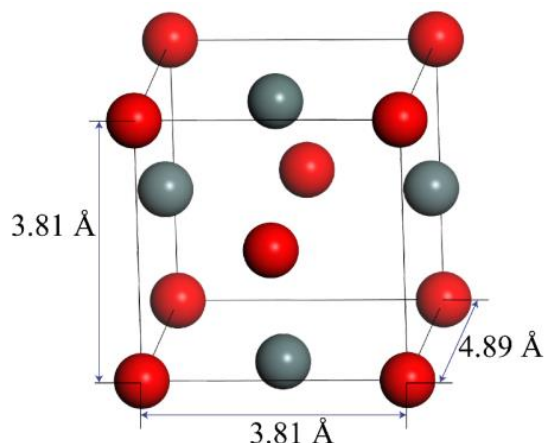
Последний раствор содержит $55 \cdot 1.073 \cdot 0.15 / 36.5 = 0.2425$ моль HCl и, следовательно, столько же H^+ . Количество серной кислоты будет вдвое меньше, поскольку она двухосновная, то есть 0.1213 моль. Объём раствора серной кислоты составит $0.1213 \cdot 98 / 0.05 / 1.032 = 230$ мл.

Максимальный балл за задание №13 — 8

Задача 8 (14)

Оксид **X** невозможно получить по прямой реакции металла с кислородом воздуха, однако он может быть получен из другого оксида того же металла, образующегося при прямом окислении металла.

Известно, что плотность **X** составляет 6.29 г · см³. Структура элементарной ячейки **X** (то есть минимального объёма кристалла, сохраняющего его симметрию и состав) представлена на рисунке. Атомы находятся в вершинах прямоугольного параллелепипеда и центрах его граней.



Запишите формулу X.

Ответ: SnO

Точное совпадение ответа – 8 баллов

Решение.

Из курса физики известно, что плотность d может быть рассчитана как отношение массы вещества (m) к его объёму (V). Так как кристалл построен путём бесконечных повторений (их называют трансляциями) элементарных ячеек по всем направлениям, то это определение плотности применимо и к элементарной ячейке.

Следует отметить, что не все атомы входят в элементарную ячейку целиком: атомы, расположенных в вершинах ЭЯ входят в неё на $\frac{1}{8}$, расположенные на рёбрах – на $\frac{1}{4}$, на гранях – на $\frac{1}{2}$. В данной элементарной ячейке присутствуют два типа атомов: обозначенные серым цветом (С) и красным цветом (К). 8 красных атомов расположены в вершинах, а 2 на гранях ЭЯ, следовательно, в саму ячейку входит $8 \cdot \frac{1}{8} + 2 \cdot \frac{1}{2} = 2$ К. Все четыре серых атома расположены на гранях: в ЭЯ входит $4 \cdot \frac{1}{2} = 2$ С. Значит, масса элементарной ячейки $m_{\text{ЭЯ}} = 2m_{\text{К}} + 2m_{\text{С}}$. Атомная масса связана с молярной соотношением: $m = \frac{M}{N_{\text{A}}}$, где $N_{\text{A}} = 6.022 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – постоянная Авогадро. Тогда нетрудно получить формулу для плотности элементарной ячейки:

$$d_{\text{ЭЯ}} = \frac{m_{\text{ЭЯ}}}{V_{\text{ЭЯ}}} = \frac{2M_{\text{К}} + 2M_{\text{С}}}{N_{\text{A}}V_{\text{ЭЯ}}} \Rightarrow 2M_{\text{К}} + 2M_{\text{С}} = d_{\text{ЭЯ}}N_{\text{A}}V_{\text{ЭЯ}}$$

Объём элементарной ячейки может быть рассчитан как объём прямоугольного параллелепипеда: $V_{\text{ЭЯ}} = 3.81^2 \cdot 4.89 \cdot 10^{-24}$ см³ = $70.98 \cdot 10^{-24}$ см³. Тогда, учитывая $d_{\text{ЭЯ}} = 6.29$ г·см⁻³, нетрудно найти $2M_{\text{К}} + 2M_{\text{С}} = 268.8$ г/моль, значит $M_{\text{К}} + M_{\text{С}} = 134.4$ г/моль. Или С или К является кислородом (по определению оксида), значит масса металла составляет $134.4 - 16 = 118.4$ г/моль, что соответствует олову: оксид SnO.

Максимальный балл за задание №14 — 8

Задача 9 (15–16)

Имеются две слабые кислоты, **HX** и **HY**, для которых известно, что $pK_{\text{a}}(\text{HX}) > pK_{\text{a}}(\text{HY})$.

15. Какая из кислот является более сильной?

Ответ:

- HX
- HY
- Кислотные свойства одинаковы

Точное совпадение ответа – 2 балла

16. Имеются водные растворы этих кислот: раствор 1 (NaX, 0.1 М), раствор 2 (NaY, 0.1 М), раствор 3 (NaX, 0.1 М и NaY, 0.1 М) и раствор 4 (NaX, 0.05 М и NaY, 0.05 М). Расположите эти водные растворы в порядке увеличения pH.

Ответ:

1. Раствор 2
2. Раствор 4
3. Раствор 1
4. Раствор 3

Точное совпадение ответа – 6 баллов

Решение.

pK_a – это десятичный логарифм константы кислотности, взятый со знаком минус, то есть $K_a = 10^{-pK_a}$. Поэтому чем выше pK_a , тем ниже K_a . K_a , в свою очередь, характеризует способность кислоты к диссоциации: чем выше эта величина, тем кислота сильнее. Поэтому более сильной является кислота HY.

Щелочной pH раствора этих солей обусловлен гидролизом, причём гидролиз выражен тем сильнее, чем слабее кислота. Обратим внимание, что три раствора имеют одинаковую концентрацию 0.1 М, а раствор 3 содержит суммарно 0.2 М солей. В силу более высокой концентрации этот раствор будет иметь самый высокий pH.

Сравним три оставшихся раствора. Раствор NaX гидролизует сильнее, чем раствор NaY, то есть имеет более высокий pH. Их смесь будет иметь промежуточное значение. Тогда верный порядок: 2, 4, 1, 3.

Максимальный балл за задания №15–16 — 8

Задача 10 (17)

Элемент X является одним из микроэлементов, присутствующих в организме человека. Простое вещество, соответствующее элементу X, существует в виде нескольких аллотропных модификаций. X соседствует по группе периодической системы с гораздо более распространённым на Земле и в организме человека элементом Y. X способен замещать Y в составе содержащих его протеиногенных аминокислот. В процессе метаболизма элемента X в организме образуется его бинарное соединение с водородом, являющееся газом с отвратительным запахом. Запишите символ элемента X.

Ответ: Se

Точное совпадение ответа – 8 баллов

Решение.

В состав протеиногенных аминокислот входят элементы H, C, N, O, S. Среди их соседей по группе элементы Si, P, Se существуют в нескольких аллотропных модификациях и образуют бинарные газы с неприятным запахом

(SiH₄, PH₃, H₂Se). Однако Si и P не могут замещать углерод или азот в аминокислотах и не метаболизируются до водородных соединений. Поэтому искомый элемент X – Se.

Максимальный балл за задание №17 — 8

Задача 11 (18–19)

Закон действующих масс связывает скорость реакции (r , моль · л⁻¹ · мин⁻¹) с концентрацией реагента (C , моль · л⁻¹):

$$r = k \cdot C^n, \text{ где } n \text{ – порядок реакции.}$$

18. При изучении некоторой реакции оказалось, что скорость реакции не меняется при изменении концентрации вещества. Чему равен порядок этой реакции?

Ответ: 0

Точное совпадение ответа – 2 балла

19. При изучении другой реакции оказалось, что при уменьшении концентрации реагента на 45 % скорость реакции снизилась почти на 70 %. Определите порядок реакции, если известно, что он целый.

Ответ: 2

Точное совпадение ответа – 6 баллов

Решение.

Чтобы изменение концентрации реагента не влияло на скорость, порядок должен быть равен 0 (любое число в степени 0 равно 1).

Для ответа на второй вопрос сравним скорости:

$$r_1 = kC_1^n$$
$$r_2 = kC_2^n = 0.3r_1 = k(0.55C_1)^n = kC_1^n$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:

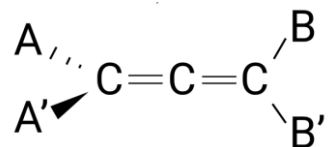
$$0.3 = 0.55^n$$

Отсюда $n = 2$.

Максимальный балл за задания №18–19 — 8

Задача 12 (20–21)

Аллены – углеводороды, в которых присутствует фрагмент из двух двойных связей при одном атоме углерода. Их молекулы не являются плоскими и могут быть оптически активны.



Пунктирным и сплошным клиньями обозначены связи, которые направлены перпендикулярно плоскости рисунка. Сплошным клином показана связь, выходящая из плоскости рисунка по направлению к зрителю, а пунктирным – от зрителя.

20. Выберите случаи, в которых замещённый аллен будет существовать в виде оптических изомеров:

Ответ:

- ✓ Все четыре заместителя А, А', В, В', различны
- Заместители А и А' различны, заместители В и В' одинаковы
- ✓ Заместители А и А' различны, заместители В и В' различны
- Все четыре заместителя заместителя А, А', В, В' одинаковы
- Три заместителя одинаковы, а один отличается

За каждый верный ответ – 3 балла.

Штраф за каждый неверный выбор – 2 балла

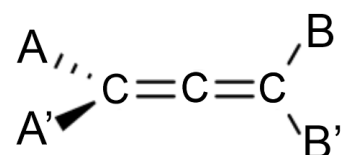
21. Какую минимальную молярную массу может иметь оптически активный (содержащий только наиболее распространённые изотопы элементов) аллен? Ответ выразите в г/моль, округлите до целых.

Ответ: 68

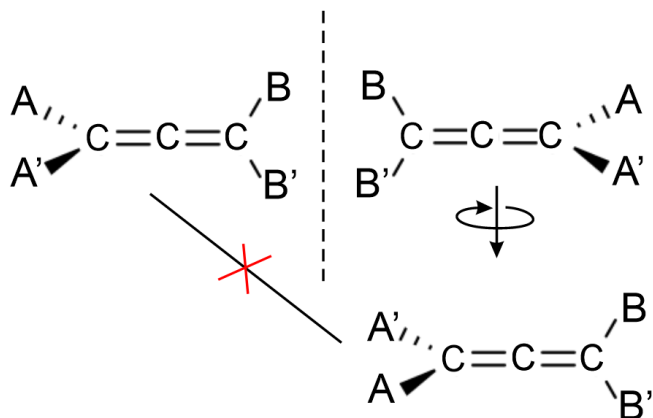
Точное совпадение ответа – 4 балла

Решение.

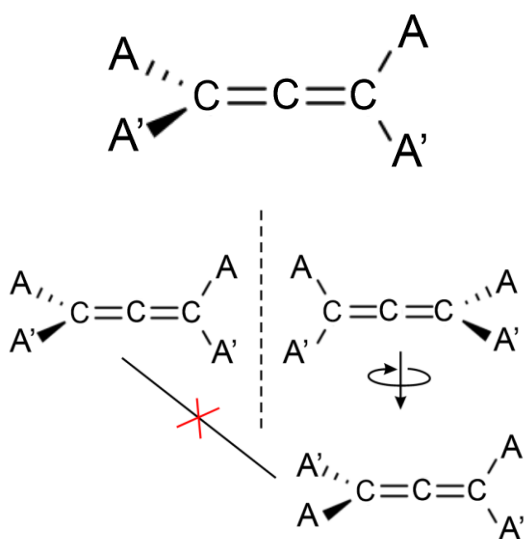
1. Все четыре заместителя различны



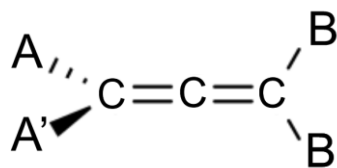
Молекула, полученная зеркальным отражением исходной молекулы, не совпадёт с ней ни при каком вращении, то есть молекула является оптически активной.

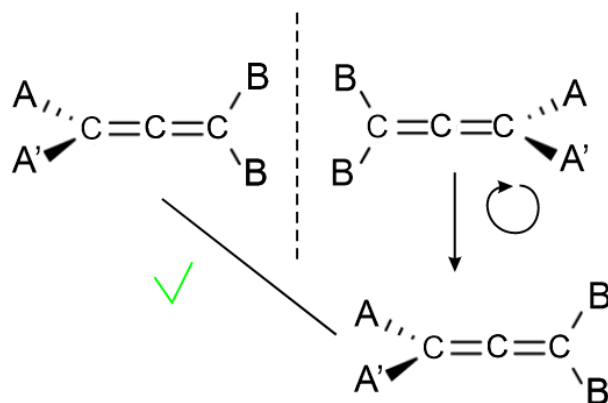


2. По этой же причине будет оптически активным аллен со следующей структурой

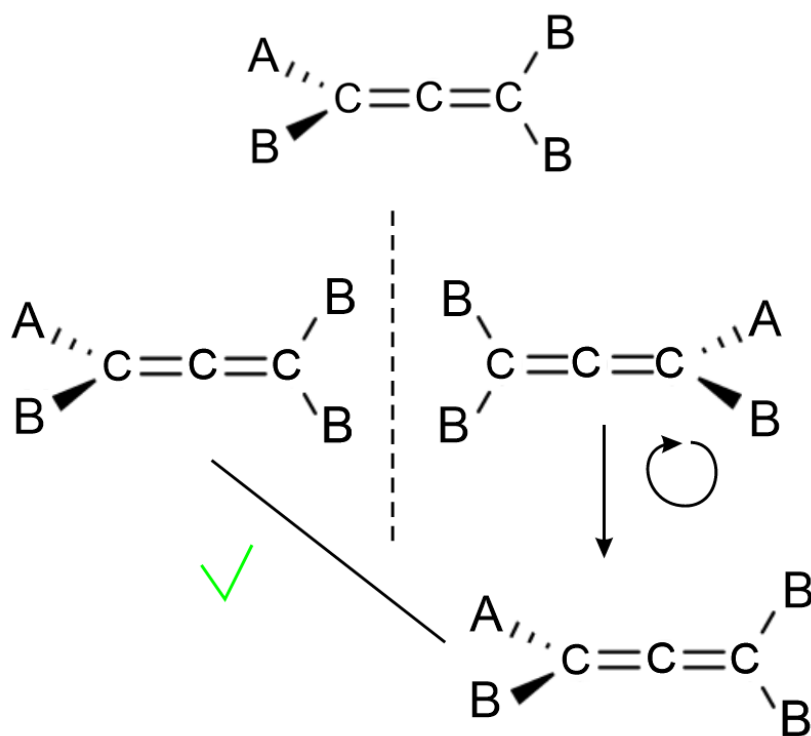


3. Аллен, в котором заместители A и A' различны, а заместители B и B' одинаковы не является оптически активным, поскольку его зеркальное отражение можно совместить с исходной молекулой

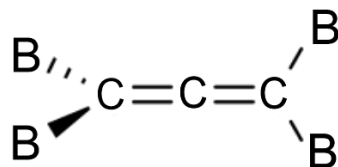


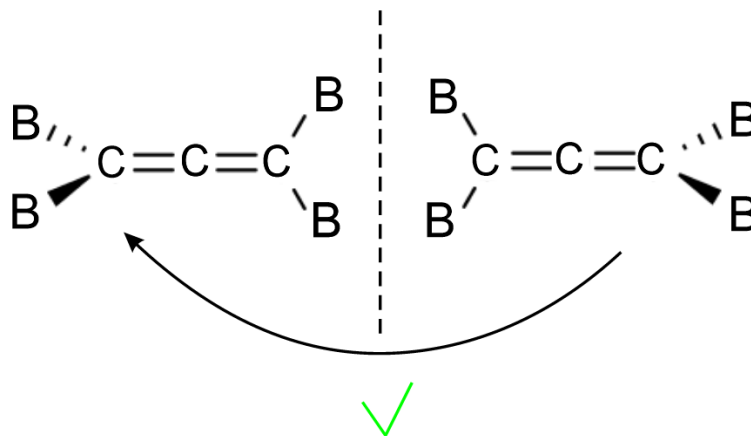


4. По этой же причине аллен, в котором три заместителя одинаковы, а один отличается, не является оптически активным

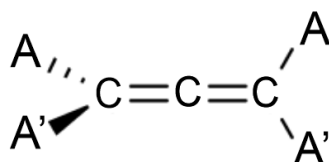


5. И также аллен, в котором все заместители одинаковы, оптически не активен

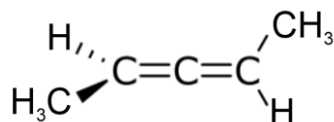




Чтобы найти оптически активный аллен с минимальной массой, нужно использовать вариант оптически активного аллена с минимальным числом различных заместителей, то есть вариант со следующей структурой:



В такой структуре всего два типа заместителей. Самым лёгким заместителем будет водород. Осталось подобрать второй заместитель. Дейтерий и тритий не подойдут, поскольку они не являются самыми распространёнными изотопами водорода. Поэтому самым лёгким заместителем после водорода, который может входить в состав аллена, является метил.



Молекулярная масса такого аллена равна 68 г/моль.

Максимальный балл за задания №20–21 — 10

Максимальный балл за работу – 100.