

Электрон не так прост, как кажется

Сэр Уильям Брэгг

Предисловие

При подготовке современного преподавателя химии одним из ключевых моментов является его глубокое знание своего предмета, которое может служить фундаментом для организации подготовки студентов СПО и школьников к участию в химических олимпиадах различного уровня. Для успешной и всесторонней подготовки обучающихся к олимпиадам необходимы не только теоретические знания, которые изложены в многочисленных учебниках по тем или иным разделам химии, но и задачник, содержащий соответствующие задания и подробные решения большинства задач.

Выполнение предложенных заданий в данном сборнике должно помочь начинающим химикам расширить кругозор и повысить интерес к химии. Для некоторых заданий приведены альтернативные решения.

Материал был использован для обучения студентов ЯГПУ им. К. Д. Ушинского. Авторы надеются, что данное учебное пособие будет полезным не только обучающимся, но и преподавателям СПО, а также школьным учителям химии.

Все замечания и пожелания читателей будут с благодарностью приняты авторами и по возможности учтены при совершенствовании предлагаемого пособия.

Глава 1 Общая химия

*Море потому велико, что
и мелкими речками не брезгует*
Японская мудрость

Задания

ЗАДАНИЕ 1. О рентабельности сельского хозяйства

Для успешного (рентабельного) земледелия необходимы эти три химических элемента.

1.

--	--	--	--

2.

--	--	--	--	--

3.

--	--	--	--	--	--

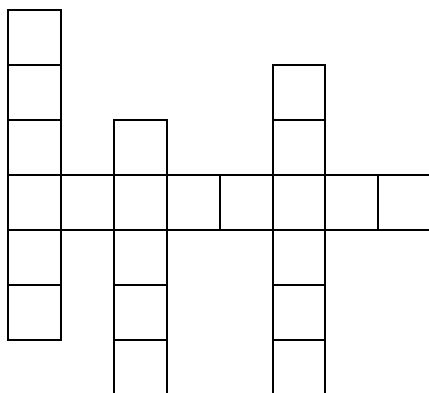
Подсказка. Эти три элемента находятся в «первой двадцатке» периодической системы.

ЗАДАНИЕ 2

Какой химический элемент образует самое большое число химических соединений?

ЗАДАНИЕ 3

Углерод образует несколько аллотропных модификаций... Назовите четыре таких модификации, заполнив клеточки кроссворда.



По горизонтали:

- Эта аллотропная форма углерода C_{60} впервые получена в 1985 году. Молекула похожа на футбольный мяч.

По вертикали:

- *Крайняя левая вертикаль.* Атомные орбитали атомов углерода находятся в состоянии sp^2 -гибридизации. Слоистое (слои из шестичленных колец) кристаллическое вещество жирное на ощупь. Проводит электрический ток.

- *Центральная вертикаль.* Атомные орбитали атомов углерода находятся в состоянии sp^3 -гибридизации. Самое твердое вещество в природе. Не проводит электрический ток.

- *Крайняя правая вертикаль.* Атомные орбитали атомов углерода находятся в состоянии sp -гибридизации. Цепочечное строение: $-C\equiv C-$ либо $=C=C=$. Получено советскими учеными в начале 60-х годов прошлого века.

ЗАДАНИЕ 4. Оксиды (только оксиды!)

В оксиде какого элемента массовая доля кислорода наибольшая? Какой оксид находится на втором месте по этому показателю?

ЗАДАНИЕ 5. Другие бинарные соединения кислорода

Какое бинарное соединение кислорода содержит наибольшую массовую долю кислорода? А какое бинарное соединение среди всех бинарных соединений кислорода займет второе место?

ЗАДАНИЕ 6. Назовите кислоту

Кислота состоит из трех элементов. У одного из элементов массовая доля в кислоте равна его мольной доле. Назовите этот элемент в этой кислоте.

Предложите формулу кислоты, зная, что M_r (кислоты) больше 78, но меньше 82, а электронная формула центрального атома в невозбужденном состоянии $1s^22s^22p^63s^23p^3$.

Ответ подтвердите расчетами.

ЗАДАНИЕ 7. О смеси газов...

Массовая доля неизвестного газа **X**, находящегося в смеси с оксидом углерода (IV), равна 12 %, а объемная доля 60 %. Определите газ **X**.

Ответ мотивируйте расчетами.

ЗАДАНИЕ 8. О газах...

Вопрос 1. Три литра смеси газов...

В трех литрах смеси метана и этилена масса углерода в четыре раза больше массы водорода. Определите объемы метана и этилена.

Вопрос 2. Порции некоторого газообразного углеводорода C_xH_y ...

Порция некоторого газообразного углеводорода C_xH_y при 70 °С и 1,1 атм занимает объем 8,96 л. В этой порции содержится $2,5284 \cdot 10^{24}$ атомов углерода и водорода. Предложите возможный состав и строение данного углеводорода. Запишите структурные формулы изомеров найденного газообразного углеводорода.

Договоримся, в этой задаче записывать общие формулы углеводородов, используя x , а не n . Например, общая формула алканов будет в этой задаче записана C_xH_{2x+2} , а не C_nH_{2n+2} !

ЗАДАНИЕ 9. Вспомним закон Авогадро...

Колба, наполненная пропаном, на 1,4 г тяжелее такой же колбы, наполненной метаном, и на 0,7 г тяжелее такой же колбы, наполненной неизвестным газом **X** при тех же условиях. Предложите три различные формулы газов.

ЗАДАНИЕ 10. Назовите элемент α ...

*Передо мною мир стоит
Мифологической проблемой:
Мне Менделеев говорит
Периодической системой*

Андрей Белый
«Первое свидание»

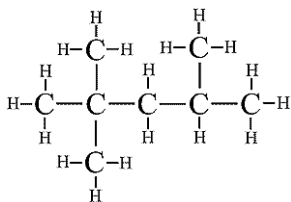
Относительные плотности по воздуху паров хлорида и бромиды одного и того же элемента α равны соответственно 5,31 и 11,45. Назовите элемент α .

$M_r(\text{возд}) = 29$.

ЗАДАНИЕ 11. Об алканах C_nH_{2n+2} ...

Преамбула (вводная часть задания):

• *Часть 1 преамбулы.* Лучшими топливами для двигателей внутреннего сгорания являются разветвленные углеводороды, такие как 2,2,4-триметилпентан (изооктан):



Этому соединению, обычно называемому изооктаном, приписывают октановое число 100.

н-Гептану $CH_3CH_2CH_2CH_2CH_2CH_2CH_3$, который очень легко детонирует, приписано октановое число 0.

Октановое число — это мера антидетонационных свойств горючего. Если характеристики бензина такие же как у смеси 95 % изооктана и 5 % н-гептана, говорят, что октановое число этого бензина равно 95.

• *Часть 2 преамбулы.* Атом углерода, связанный только с одним атомом углерода в углерод-углеродном скелете, называют первичным, с двумя — вторичным, с тремя — третичным, с четырьмя — четвертичным. Углерод-углеродный скелет, содержащий третичный или четвертичный атомы углерода, называют разветвленным (см. изооктан).

Вопрос 1. «Визуальный взгляд» на структурные формулы «изооктана» и н-гептана.

1.1. Сосчитайте число первичных и вторичных атомов углерода в молекуле н-гептана.

1.2. Сосчитайте число первичных, вторичных, третичных и четвертичных атомов углерода в молекуле 2,2,4-триметилпентана (изооктана).

Вопрос 2. «Математический взгляд» на структурные формулы разветвленных алканов.

Выведите общую математическую формулу расчета числа W — третичных атомов углерода в молекуле алкана C_nH_{2n+2} (где $n \geq 4$), если алкан содержит: X — первичных, Y — вторичных, W — третичных, Z — четвертичных атомов углерода.

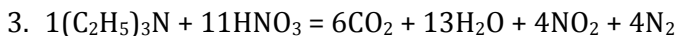
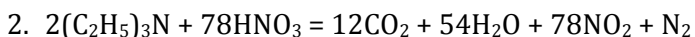
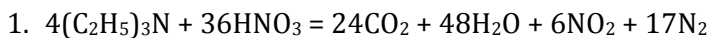
Сделайте проверку вашей математической формулы для «знакомого нам» 2,2,4-триметилпентана.

ЗАДАНИЕ 12. Где истина? Два уравнения из трех — лишние!

*Когда теория совпадает с экспериментом,
это уже не открытие, а закрытие*

П. Л. Капица

Какое из трех уравнений соответствует реально протекающей реакции?



Математик скажет, что все три уравнения правильные с точки зрения математики. Но мы с вами еще и химики! Выберите одно правильное, с точки зрения и химии, и математики уравнение, обязательно мотивировав свой выбор. В качестве мотивации принимается: электронный баланс или метод полуреакций (ионно-электронный метод).

ЗАДАНИЕ 13. Об элементе 006 из ПСХЭ

Все на свете ерунда — кроме пчел...

Винни-Пух

Монослой графита — двумерная сетка правильных шестиугольников из атомов углерода — называется графеном (см. *рис. 1*).

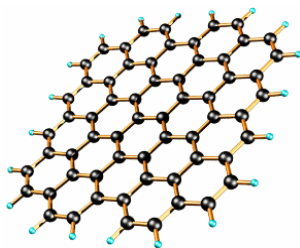


Рис. 1. Графен

Представьте себе материал в миллионы раз тоньше бумаги, который как бы сложен из «пчелиных сот». Графен можно представить как одну плоскость графита, отделенную от обычного кристалла. Графен является двумерным кристаллом, состоящим из одиночного слоя атомов углерода, собранных в гексагональную решетку правильных шестиугольников. Тип гибридизации атомных орбиталей атомов углерода — sp^2 . А. Гейм и К. Новосёлов, работающие в Англии, смогли выделить такой слой из монокристалла графита и разместить его в виде пленки на поверхности кремниевой подложки (см. *рис. 1*). В октябре 2010 года это достижение было отмечено Нобелевской премией.

Вопрос 1. Назовите 4 аллотропные модификации элемента углерода, известные ученым еще в XX веке. Чьи три кристаллические решетки показаны на *рис. 2*, *рис. 3*, *рис. 4*?

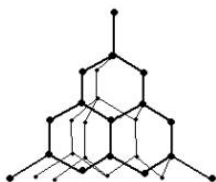


Рис. 2

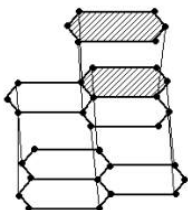


Рис. 3

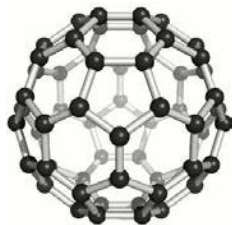


Рис. 4

К какому типу кристаллических решеток они относятся (атомным, ионным, молекулярным, металлическим)?

Вопрос 2. Чему равна валентность углерода в графене (см. рис. 1)?

Вопрос 3. Рассчитайте массу графенового квадрата размером 10×10 мм (1 см^2).

Длина связи С–С в графене равна $0,142 \cdot 10^{-9}$ м (краевым эффектом пренебречь).

Справка из математики. Площадь (S) правильного шестиугольника, в котором a — сторона: $S = \frac{3\sqrt{3}}{2} \cdot a^2$.

Вопрос 4. Для насыщения свободных валентностей углерод в графене способен образовывать связи с газообразными веществами. Чему равно максимальное число атомов водорода, которое может присоединить указанный выше (10×10 мм = 1 см^2) графеновый квадрат.

ЗАДАНИЕ 14. Газовая смесь углеводородов метана и этана...

Рассчитайте молярную массу смеси газов (с точностью до десятых) и плотность (г/л, с точностью до сотых), условия нормальные.

Вопрос 1. Газовая смесь состоит из 80,0 % метана и 20,0 % этана по объему (н. у.)

Вопрос 2. Газовая смесь состоит из 68,09 % метана и 31,91 % этана по массе.

ЗАДАНИЕ 15. Уравнение Менделеева — Клапейрона

На одной чаше двухчашечных весов находится колба с газом аргоном при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст. или $101\,325 \text{ Па} \approx 101,3 \text{ кПа}$). Другую такую же колбу наполнили неизвестным индивидуальным газом при давлении $144\,700 \text{ Па}$, при этом весы уравнились. Назовите второй газ.

P. S. Хочется, чтобы вы назвали три газа, которыми можно заполнить вторую колбу и, конечно, весы были бы в равновесии.

ЗАДАНИЕ 16. Однако! О правилах и некоторых исключениях из них...

*Нет правил без исключений,
но исключения правилу не мешают*

Сенека,
римский философ

«Молодежь знает правила, старики — исключения». Как правило, атом кислорода в соединениях двухвалентен, а атом углерода — четырехвалентен.

Однако! Известны довольно редкие случаи соединений, в которых атом кислорода проявляет валентность, равную трем, и даже четырехвалентный углерод, к которому мы так привыкли в органической химии, может проявлять валентность, равную трем.

Запишите структурные формулы трех частиц (ионов, молекул), в которых атом кислорода проявляет валентность, равную трем. Вероятно, в эту «тройку» частиц войдет и молекула с трехвалентным атомом углерода. Дайте комментарии к каждой структурной формуле (объясните образование, можно схемой).

ЗАДАНИЕ 17. Платина и нанотехнологии

«Это ведь, однако, странно!»

По Н. С. Лескову

Сегодня платина — не только драгоценный металл, но и известный катализатор. Сегодня платина широко применяется в устройствах каталитического окисления CO — чрезвычайно ядовитого угарного газа до CO₂ в выхлопных газах автомобилей. Особенно эффективно каталитические свойства проявляет платина, находящаяся в виде наночастиц Pt₂₀.

Сколько наночастиц состава Pt₂₀ можно получить из 3,5 см³ металла?

$$\rho(\text{Pt}) = 21,45 \text{ г/см}^3.$$

Каков молярный объем (н. у.) металла платины Pt?

ЗАДАНИЕ 18. Формула никотина

Читаем А. П. Чехова... Фрагмент сцены-монолог в одном действии «О вреде табака» (1886). Лекцию читает И. И. Нюхин, работающий в пансионе для девочек в Пятисобачьем переулке, 13.

«Химическая формула — это путеводная звезда. Где формула, там я педантичен и неумолим. Воспитанница пансиона должна помнить

формулу также хорошо, как и свое имя <...> Табак есть тело органическое <...> Главную составную часть его составляет страшный, губительный яд никотин...»

Никотин был выделен в чистом виде в 1828 году.

Выведите формулу никотина, используя данные двух анализов:

• *Анализ 1.* «На углерод и водород».

При полном сгорании 0,1620 г никотина получено 0,224 л (н. у.) CO_2 и 0,1260 г H_2O .

• *Анализ 2.* «На азот».

При полном сгорании 0,4050 г никотина обнаружено 0,0700 г газообразного азота.

Молярная масса никотина больше 100 г/моль, но меньше 240 г/моль, то есть $100 < M < 240$.

Запишите уравнение полного сгорания никотина.

ЗАДАНИЕ 19. Смесь газов

Смесь газов состоит из водорода, некоторого алкана и некоторого алкена, причем число атомов углерода в молекулах углеводородов одинаково. При полном сгорании 100 мл исходной смеси получено 210 мл углекислого газа. При пропускании 100 мл исходной смеси над никелевым катализатором наблюдали уменьшение объема до 70 мл (причем алкен и водород отсутствовали в продуктах реакции).

Назовите углеводороды, присутствующие в исходной смеси. Рассчитайте объемные доли газов начальной смеси. Рассчитайте плотность (г/л) при н. у. первоначальной газовой смеси. Какова относительная плотность по водороду этой смеси?

ЗАДАНИЕ 20. Химический элемент

Химический элемент, относящийся к макробиогенным элементам, состоит из двух изотопов. Ядро первого изотопа содержит 17 протонов и 18 нейтронов. В ядре второго изотопа нейтронов на 2 больше. На 31 атом более легкого изотопа приходится 10 атомов более тяжелого изотопа. Вычислите среднюю атомную массу элемента. Ответ укажите с точностью до десятых.

Ответы и решения

ЗАДАНИЕ 1. О рентабельности сельского хозяйства

Азот, калий, фосфор.

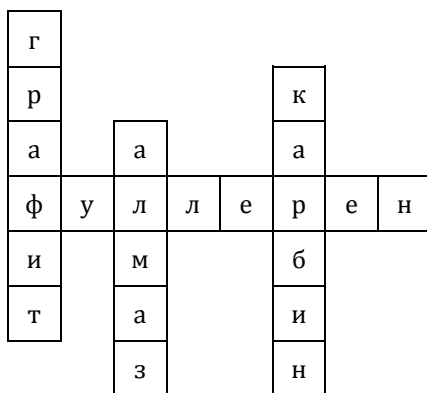
ЗАДАНИЕ 2

Это — водород, а не углерод!

Углерод входит во все органические соединения, как правило, в эти соединения входит и водород. Но водород входит и во многие неорганические соединения:

- кислоты: HCl , H_2SO_4 ;
- кислые соли: NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
- основания: NaOH , $\text{Fe}(\text{OH})_3$;
- гидриды: NaH , CaH_2 (нелетучие), NH_3 , H_2S (летучие).

ЗАДАНИЕ 3



ЗАДАНИЕ 4. Оксиды (только оксиды!)

Запишем математическое выражение для массовой доли кислорода в оксидах:

$$\omega(\text{O}) = \frac{16n}{2A + 16n} = \frac{1}{(A/8n) + 1}$$

H_2O — 1 место!

На втором месте N_2O_5 .

ЗАДАНИЕ 5. Другие бинарные соединения кислорода

1 место — H_2O_2 ; 2 место — H_2O .

ЗАДАНИЕ 6. Назовите кислоту

Центральный атом кислоты: ^{15}P . «Наша» кислота — метафосфорная HPO_3 .

$$M_r(\text{HPO}_3) = 1 + 31 + 48 = 80$$

$$78 < 80 < 82$$

	Элементы	Массовые доли	Мольные доли ($\text{HPO}_3 \rightarrow \sum_{\text{атомов}} = 1 + 1 + 3 = 5$)
1	Водород	$1:80 = 0,0125$	$1:5 = 0,20$
2	Фосфор	$31:80 = 0,3875$	$1:5 = 0,20$
3	Кислород	$48:80 = 0,6000$	$3:5 = 0,60$

Вывод: массовая и мольная доли кислорода совпадают и равны 0,60 или 60 %.

ЗАДАНИЕ 7. О смеси газов...

Пусть:

1) количество $\text{CO}_2 \rightarrow n_1$ моль; $M_1(\text{CO}_2) = 44$ г/моль;

2) количество $\text{X} \rightarrow n_2$ моль; $M_2(\text{X}) = ?$ г/моль.

Рассуждаем об 1 моль смеси газов:

$$n_1 + n_2 = 1 \text{ моль}$$

Тогда $n_1 = 0,4$ моль, а $n_2 = 0,6$ моль.

Зная массовую долю газа **X** в смеси, можно рассчитать M_2 — молярную массу газа X.

$$m = n \cdot M$$

$$\omega = \frac{m_2}{m_1 + m_2} = \frac{n_2 M_2}{n_1 M_1 + n_2 M_2} = 0,12$$

Здесь $M_1 = 44$; $n_1 = 0,4$; $n_2 = 0,6$.

$$0,12 = \frac{0,6M_2}{0,4 \cdot 44 + 0,6M_2}$$

$$M_2 = 4 \rightarrow M_r(\text{He}) = 4 \text{ или } M_r(\text{D}_2) = 4$$

ЗАДАНИЕ 8. О газах...

Вопрос 1. Три литра смеси газов...

Пусть x л — объем метана CH_4 в газовой смеси. Тогда объемом этилена C_2H_4 равен $(3 - x)$ л. Объемные доли газов в смеси:

$$\varphi(\text{CH}_4) = \frac{x}{3}$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_4) = \frac{3-x}{3}$$

Рассчитаем массу углерода и водорода:

$$m(\text{C}) = \frac{12x}{3} + \frac{2 \cdot 12 \cdot (3-x)}{3} = 24 - 4x$$

$$m(\text{H}) = \frac{4x}{3} + \frac{4 \cdot (3-x)}{3} = 4$$

По условию: масса углерода в четыре раза больше массы водорода:

$$\frac{m(\text{C})}{m(\text{H})} = \frac{24-4x}{4} = 4 \rightarrow x = 2$$

Объем метана — 2 л; объем этилена — 1 л.

Вопрос 2. Порции некоторого газообразного углеводорода C_xH_y ...

1. Уравнение Менделеева — Клапейрона:

$$PV = nRT$$

$$n = \frac{PV}{RT}$$

Количество углеводорода в этой порции:

$$n(\text{C}_x\text{H}_y) = \frac{101,325 \cdot 8,96}{8,314 \cdot 343} = 0,35 \text{ (моль)}$$

2. Суммарное количество атомов (углерода и водорода):

$$n(\text{атомов}) = \frac{N}{N_A} = \frac{2,5284 \cdot 10^{24}}{6,02 \cdot 10^{23}} = 4,2 \text{ (моль)}$$

3. *Вывод*: таким образом, на 0,35 моль молекул C_xH_y приходится 4,2 моль атомов углерода и водорода, а на 1 моль молекул — x моль атомов.

$$x = \frac{4,2 \cdot 1}{0,35} = 12 \text{ (моль атомов)}$$

4. Возможные варианты для C_xH_y при условии $x + y = 12$:

- Если углеводород алкан C_xH_{2x+2} :

$$x + (2x + 2) = 12$$

$$x = 3,33 \rightarrow \text{Нет! Должно быть целое число}$$

- Если углеводород алкен (циклоалкан $x \geq 3$) C_xH_{2x} :

$$x + 2x = 12$$

$$x = 4 \rightarrow C_4H_8 \text{ (бутены или циклоалканы)}$$

- Если углеводород C_xH_{2x-2} :

$$x + (2x - 2) = 12$$

$$x = 4,67 \rightarrow \text{Нет!}$$

- Если углеводород C_xH_{2x-4} :

$$x = 5,33 \rightarrow \text{Нет!}$$

- Если углеводород C_xH_{2x-6} :

$$x = 6 \rightarrow C_6H_6 \text{ — бензол}$$

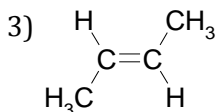
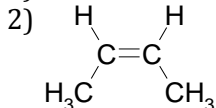
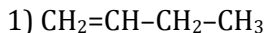
Но! Бензол — жидкость, $t_{\text{кип}} = 80 \text{ }^\circ\text{C}$

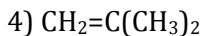
- Если углеводород C_xH_{2x-8} :

$$x = 6,67 \rightarrow \text{Нет!}$$

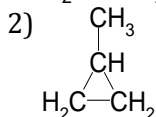
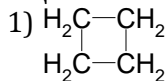
Строение C_4H_8 :

- Алкены:





• Циклоалканы:



ЗАДАНИЕ 9. Вспомним закон Авогадро...

Закон Авогадро — в равных объемах различных газов при одинаковых условиях (температура и давление) содержится одинаковое число молекул.

Колбы и условия одинаковые, поэтому количества газов в колбах равны. Разница масс колб равна разнице масс газов:

$$M_r(\text{C}_3\text{H}_8) = 44, \quad M_r(\text{CH}_4) = 16, \quad m = n \cdot M$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) - m(\text{CH}_4) = 44n - 16n = 1,4 \text{ (г)} \rightarrow 28n = 1,4$$

$$n = 0,05 \text{ (моль)}$$

Сравнивая массы одинаковых количеств пропана и неизвестного газа **X**, получаем:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) - m(\text{X}) = 0,05 \cdot 44 - 0,05 \cdot M(\text{X}) = 0,7$$

$$M(\text{X}) = 30$$

Газы: C_2H_6 — этан, NO — оксид азота (II), CH_2O — метаналь.

ЗАДАНИЕ 10. Назовите элемент α ...

По величине относительной плотности паров по воздуху рассчитаем относительные молекулярные массы хлорида и бромида элемента α :

$$M_r(\text{хлорида}) = 5,31 \cdot 29 = 153,99 \approx 154$$

$$M_r(\text{бромида}) = 11,45 \cdot 29 = 332,05 \approx 332$$

Пусть относительная атомная масса элемента α равна X , а степень окисления (валентность) атома α в соединении равна Y . Тогда:

$$M_r(\text{хлорида}) = X + 35,5Y = 154$$

$$M_r(\text{бромид}) = X + 80Y = 332$$

Система математических уравнений и ее решение (вычитаем из первого уравнения второе):

$$\begin{cases} x + 35,5Y = 154 \\ X + 80Y = 332 \end{cases}$$

$$44,5Y = 178$$

$$Y = 4$$

Расчет X:

$$X + 35,5Y = 154 \quad \text{или} \quad X + 80Y = 332$$

$$X + 35,5 \cdot 4 = 154 \quad X + 320 = 332$$

$$X = 12 \quad X = 12$$

$$A_r(X) = 12 \quad A_r(X) = 12$$

Искомый элемент α — это углерод: $A_r(C) = 12$.

ЗАДАНИЕ 11. Об алканах C_nH_{2n+2} ...

Вопрос 1. «Визуальный взгляд» на структурные формулы «изооктана» и н-гептана.

1.1. О н-гептане: два первичных и пять вторичных атомов углерода.

Всего: 7 атомов углерода.

1.2. О 2,2,4-триметилпентане: пять первичных, один вторичный, один третичный, один четвертичный атом углерода.

Всего: 8 атомов углерода

Вопрос 2. «Математический взгляд» для расчета числа W — третичных атомов углерода в молекуле алкана C_nH_{2n+2} , где $n \geq 4$.

Общая формула алканов C_nH_{2n+2} .

1. Число атомов углерода «С» в алкане «n».

Пусть алкан содержит: X — первичных, Y — вторичных, W — третичных, Z — четвертичных атомов углерода. Тогда

$$n = X + Y + W + Z \quad (1)$$

2. Число атомов водорода «Н» в алкане $2n + 2$, тогда

$$2n + 2 = 3X + 2Y + 1W \quad \text{или} \quad 2n = 3X + 2H + 1W - 2 \quad (2)$$

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru