

Староста В. И. Химическая формула вещества как объект доказательства // Химия в школе, 2004. – № 8. – С. 36-39.

СТАРОСТА В. И.

Ужгородский национальный университет, Украина

## ХИМИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ВЕЩЕСТВА КАК ОБЪЕКТ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА

Привычные варианты заданий на установление химической формулы вещества (ХФВ), как правило, содержат некоторую минимальную информацию (массовые доли или массовые отношения составляющих элементов, относительная плотность вещества и т.п.), исходя из которой учащиеся осуществляют необходимое решение. Методике решения заданий на определение ХФВ по различным исходным данным посвящено огромное количество публикаций (статьи, сборники задач и т.п.). Однако, очень редки публикации о заданиях, направленные на доказательство реальности или возможности существования химических формул веществ, например, [1-3] и некоторые другие, а тем более, мотивирующие составление подобных и других заданий. Важность такого рода деятельности очевидна, поскольку решение и составление заданий одна из эффективных форм развития креативного и критического мышления учащихся. Известно, что М.В.Ломоносов уделял огромное значение доказательству и был против догматического преподавания материала: «Так как в науке принято доказывать утверждаемое, то и в химии все высказываемое должно быть доказываемо» [4, с.84].

При этом важно не количество выполненных заданий, а детальный анализ проделанной работы. «Обсуждение проделанного решения, его анализ, выявление недостатков решения, поиски лучшего решения, установление и закрепление в памяти учащихся тех приемов, которые были использованы в данном решении, выявление условий возможности применения этих приемов – все это и будет в наибольшей степени способствовать превращению решения задач в могучее обучающее средство» [5, с. 61].

Перейдем к конкретным примерам. Для выполнения прямых (исходных) заданий при составлении ХФВ за известными валентностями, степенями окисления составляющих химических элементов или обратных заданий широко опубликованы алгоритмические предписания. Однако, применение последних желательно проводить путем логически осознанного формирования алгоритмических шагов, а не заучивания их, как незыблемых правил. Поэтому прием использования заданий-доказательств параллельно с традиционными тренировочными заданиями, безусловно, способствует разнообразию вышеупомянутого закрепления. Тем более, что некоторые осложнения возникают в учащихся при анализе более сложных формул, которые содержат три и более элемента.

**Пример 1.** *Докажите, что данные формулы соответствуют реальным веществам:*

*А)  $CaMg[CO_3]_2$ ; Б)  $Cu_2H_2CO_5$ ; В)  $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ ; Г)  $Mg_3[Si_4O_{10}](OH)_2$ .*

Решение-доказательство реальности существования формул веществ можно проводить несколькими способами, каждый из которых базируется на проверке определенных параметров и соответственно на умении применять определенные понятия.

Способ 1. Суммарная валентность металлов и атомов водорода равна суммарной валентности кислотных остатков и гидроксильных групп.

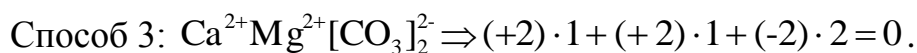
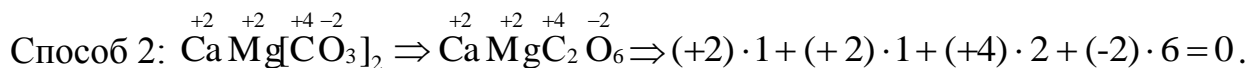
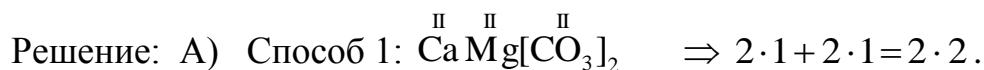
Способ 2. Сумма степеней окисления атомов всех составляющих химических элементов равна нулю.

Способ 3. Сумма зарядов катионов и анионов равна нулю (при наличии ионного соединения).

Необходимо подчеркнуть, что способы 2 и 3 базируются на использовании понятия «электронейтральность вещества».

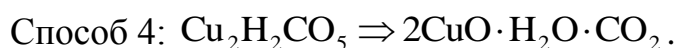
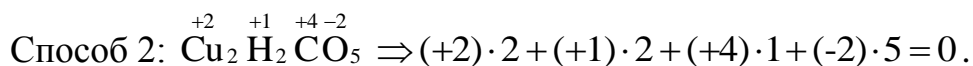
Способ 4. Видоизменение конструкции исходной формулы и представление ее в форме нескольких бинарных соединений (в данном случае, -

оксидов). Если все полученные формулы реальные, то также реальная исходная формула.

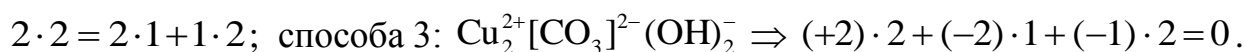


Таким образом, в ходе выполнения заданий в каждом случае проходит их переформулирование согласно выбранного способа. *Условие задания воспринимается не как статический набор информации для подстановки в определенные формулы, а как стартовая информация, нуждающаяся в переформулировании и подтверждении.* Любой из способов может быть ходом доказательства или проверки полученного решения-ответа. Таким образом, *условие задания является динамической системой, которая преобразуется путем активной деятельности решающего.*

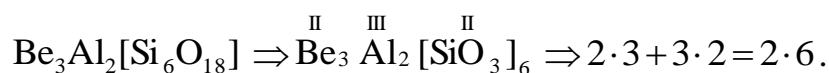
Б) Поскольку в данном примере анион не представлен (латентная часть задания), воспользуемся способами 2 и 4:



Получается формула малахита -  $\text{Cu}_2[\text{CO}_3](\text{OH})_2$  или  $(\text{CuOH})_2\text{CO}_3.$



В) Способ 1: для доказательства этим способом необходимо видоизменить исходный кислотный остаток в знакомый ученикам ( $=\text{SiO}_3$ ), а затем произвести необходимые операции



Способ 2:  $\overset{+2}{\text{Be}}_3 \overset{+3}{\text{Al}}_2 [\overset{+4}{\text{Si}}_6 \overset{-2}{\text{O}}_{18}] \Rightarrow (+2) \cdot 3 + (+3) \cdot 2 + (+4) \cdot 6 + (-2) \cdot 18 = 0$ .

Способ 3:  $\text{Be}_3^{2+} \text{Al}_2^{3+} [\text{SiO}_3]_6^{2-} \Rightarrow (+2) \cdot 3 + (+3) \cdot 2 + (-2) \cdot 6 = 0$ .

Способ 4:  $\text{Be}_3 \text{Al}_2 [\text{Si}_6 \text{O}_{18}] \Rightarrow \text{Be}_3 \text{Al}_2 [\text{SiO}_3]_6 \Rightarrow 3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2 \text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \Rightarrow$  берилл.

Г)  $\text{Mg}_3 [\text{Si}_4 \text{O}_{10}] (\text{OH})_2$ . Для последней формулы предлагаем читателям провести самостоятельно доказательство любым из указанных способов. В качестве вспомогательных шагов можно предложить следующие формулы, которые логически вытекают при переформулировании условия задания:

$\text{Mg}_3 \text{H}_2 \text{Si}_4 \text{O}_{12}$ ,  $\overset{\text{II}}{\text{Mg}}_3 \overset{\text{I}}{\text{H}}_2 [\overset{\text{II}}{\text{SiO}}_3]_4$ ,  $\overset{+2}{\text{Mg}}_3 \overset{+1}{\text{H}}_2 \overset{+4}{\text{Si}}_4 \overset{-2}{\text{O}}_{12}$ ,  $\text{Mg}_3^{2+} \text{H}_2^+ [\text{SiO}_3]_4^{2-}$  или  $\text{Mg}_3^{2+} [\text{Si}_4 \text{O}_{10}]^{4-} (\text{OH})_2^-$ ,  $3\text{MgO} \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ .

Возможны и очень желательны в каждом случае обратные задания (пример 2), которые легко конструируются на основании исходных.

**Пример 2.** Брутто-формула малахита  $\text{Cu}_x \text{H}_2 \text{CO}_5$ . Определите число атомов меди в формульной единице.

Решение: используем способ 2 или 4. Например, согласно способу 2:

$\overset{+2}{\text{Cu}}_x \overset{+1}{\text{H}}_2 \overset{+4}{\text{C}} \overset{-2}{\text{O}}_5 \Rightarrow (+2) \cdot x + (+1) \cdot 2 + (+4) \cdot 1 + (-2) \cdot 5 = 0$ . В результате решения  $x = 2$ .

Если же формулу представить в виде  $\text{Cu}_x [\text{CO}_3] (\text{OH})_2$ , то сложность задания существенно снижается, поскольку четко выделены катионы и анионы в составе вещества и при решении можно использовать уже все 4 способа.

Фронт для деятельности учащихся на этапе составления таких заданий очень широк, - от аналогии на уроке и совместно с учителем и классом до самостоятельных творческих поисков. Превращение молекулярной формулы вещества в брутто-формулу самый простой шаг на первом этапе, далее создание самого условия и скрупулезный анализ количества исходных данных, которых должно быть достаточно для решения задания. Далее вариации: дополнение условия избыточными данными или удаление сведений, которые

необходимы для решения. Поиск одних и других – это также критический анализ условия и возможности его переформулирования.

Перейдем в область расчетных формул, позволяющих установить ХФВ, и которые также могут быть предметом доказательства. Широко известно уравнение (1) для определения состава вещества на примере соединения  $A_xB_y$ :

$$x : y = \frac{w(A)}{A_r(A)} : \frac{w(B)}{A_r(B)} = \nu(A) : \nu(B), \quad (1)$$

**Пример 3.** Докажите справедливость уравнения (1) для определения состава вещества  $A_xB_y$ , где  $x, y, w(A), w(B), A_r(A), A_r(B), \nu(A), \nu(B)$  – индексы, массовые доли, относительная атомная масса, количество вещества соответственно для элементов  $A$  и  $B$ .

Решение: используя опорные понятия “массовая доля элемента в веществе”, находим  $x = \frac{w(A) \cdot M_r(A_xB_y)}{A_r(A)}$ , аналогично  $y = \frac{w(B) \cdot M_r(A_xB_y)}{A_r(B)}$ ,

где  $M_r(A_xB_y)$  – относительная молекулярная масса искомого вещества.

$$\text{Откуда: } x : y = \frac{w(A) \cdot M_r(A_xB_y)}{A_r(A)} : \frac{w(B) \cdot M_r(A_xB_y)}{A_r(B)} = \frac{w(A)}{A_r(A)} : \frac{w(B)}{A_r(B)}. \quad (2)$$

Используем следующее опорное понятие “количество вещества” и продолжим трансформацию уравнения (2):

$$\begin{aligned} x : y &= \frac{w(A)}{A_r(A)} : \frac{w(B)}{A_r(B)} = \frac{m(A)}{A_r(A) \cdot m(A_xB_y)} : \frac{m(B)}{A_r(B) \cdot m(A_xB_y)} = \\ &= \frac{m(A)}{A_r(A)} : \frac{m(B)}{A_r(B)} = \frac{m(A)}{M(A)} : \frac{m(B)}{M(B)} = \nu(A) : \nu(B) \end{aligned}, \quad (3)$$

где  $m(A), m(B), M(A), M(B)$ , – массы и молярные массы соответственно элементов  $A$  и  $B$ ,  $m(A_xB_y)$  – масса вещества  $A_xB_y$ .

Такой же результат можно получить другим путем:

$$x : y = N(A) : N(B) = \frac{N(A)}{N_A} : \frac{N(B)}{N_A} = \nu(A) : \nu(B), \quad (4)$$

где  $N(A)$ ,  $N(B)$  – количество вещества структурных единиц элементов **A** и **B** (атомов, ионов),  $N_A$  – число Авогадро.

При получении уравнения (3) мы использовали утверждение, что численное значение молярной массы элемента, выраженной в г/моль, равно его относительной атомной массе. Докажем и этот шаг с помощью следующего примера.

**Пример 4.** Докажите, что численное значение молярной массы элемента, выраженной в г/моль, равно его относительной атомной массе, т. е.,  $|M(E)| = |M_r(E)|$ .

Решение:

$$A_r(E) = \frac{m_0(E)}{\frac{1}{12} \cdot m_0(^{12}\text{C})} = \frac{m_0(E) \cdot N_A}{\frac{1}{12} \cdot m_0(^{12}\text{C}) \cdot N_A} = \frac{M(E)}{\frac{1}{12} \cdot M(^{12}\text{C})} = \frac{M(E)}{\frac{1}{12} \cdot 12} = |M(E)|$$

Можем провести доказательство другим (обратным) путем и получим идентичный результат:

$$\begin{aligned} M(E) &= \frac{m(E)}{\nu(E)} = \frac{m_0(E) \cdot N}{N/N_A} = m_0(E) \cdot N_A = A_r(E) \cdot \frac{1}{12} m_0(^{12}\text{C}) \cdot N_A = \\ &= A_r(E) \cdot \frac{1}{12} M(^{12}\text{C}) = A_r(E) \cdot 1 \text{ (г/моль)} \Rightarrow |M(E)| = |A_r(E)| \end{aligned}$$

А сейчас рассмотрим задание, в котором использованы предыдущие опорные понятия «массовая доля элемента в веществе» и «электронейтральность вещества» (пример 1, способ 2 и 3). Последнее нами было использовано при доказательстве реальности существования некоторых формул веществ.

**Пример 5.** Соль содержит 1,00 % водорода, 12,00 % углерода(IV), а также калий и кислород. Определите формулу соли.

Решение: обозначим формулу соли  $K_aH_bC_cO_d$ ; массовые доли калия и кислорода соответственно  $w(K) = a_1$ ;  $w(O) = d_1$ , или  $a_1 + d_1 = 100 - (1,00+12,00) = 87,00$ .

Если примем массу вещества за 100 г, то количество калия, водорода, углерода и кислорода соответственно равны:  $a_1/39$ ;  $1/1$ ;  $12/12$ ;  $d_1/16$  (моль). Исходя из принципа электронейтральности вещества (латентная часть условия задачи), можем составить уравнение:  $(+1) \cdot a_1/39 + (+1) \cdot 1 + (+4) \cdot 1 + (-2) \cdot d_1/16 = 0$ . Решение обоих уравнений приводит к установлению массовых долей калия (39,00 %) и кислорода (48,00 %), а дальнейшее решение уже элементарно и приводит к ответу -  $KHCO_3$ .

Таким образом, понятие «электронейтральность вещества», которое целесообразно логически формировать при изучении химических формул веществ в сочетании с понятиями «степень окисления», «заряд», «катион», «анион» способствуют не только осознанному восприятию химических формул, но и успешному решению более сложных заданий (пример 5).

Таким образом, сочетание прямых и обратных заданий, поиск решения или доказательства путем переформулирования задания, аргументирование каждого шага на пути решения проблемы, самостоятельное составление учащимися заданий способствуют осмысленному и критическому восприятию ими учебного материала, формированию «доказательных» умений.

#### Литература

1. Хрусталеv А.Ф. Теоремы гомологии // Химия и жизнь, 1982. - № 5- С. 72-73.
2. Хрусталеv А.Ф. Теоремы о производных // Химия и жизнь, 1992.- № 3 - С. 75.
3. Шмуклер Ю.Г. Закон гомологии // Химия и жизнь, 1983 - № 7 - С. 64.
4. Ломоносов М.В. Избранные философские произведения. – М.: Госполитиздат, 1950. – 758 с.

5. Фридман Л.М. Логико-психологический анализ школьных учебных задач.  
- М.: Педагогика, 1977. - 208 с.