

### Задачи по химии на избыток – недостаток реагента

Этот набросок не претендует на что-то серьёзное - это не учебник и не методическое пособие, поэтому я позволю себе в ряде случаев «объяснять на пальцах» те вещи, которые в учебниках принято описывать нудными и заумными словами. Вместе с тем, я надеюсь, что такой подход поможет некоторым школьникам разобраться в способе решения различных задач по химии. Нарочитый примитивизм, в котором меня могут обвинить, вовсе не является «уступкой ленивым тинэйджерам», а прибегаю я к нему лишь с одной целью - сделать объяснение предельно наглядным.

Итак, один из наиболее туманных для многих школьников тип задач по химии - задачи, в которых необходимо определить, какое из веществ дано в избытке и каким образом следует выполнять расчёт.

Почему у многих подобные задачи вызывают затруднения? Причина проста - ученики видят лишь конкретную задачу и не могут абстрагироваться, представить данные условия применительно к другой ситуации. Поэтому объяснение я начну издалека, показав вначале пример, который прямого отношения к химии не имеет. Представьте себе, что Вы заняты сборкой трёхколёсных велосипедов. Вот таких:



Точнее даже не сборкой, а лишь установкой колёс. Как легко заметить, колёса разные - переднее побольше, задние - поменьше. То есть заменить заднее колесо передним или наоборот не получится. Теперь представьте себе, что в Вашем распоряжении есть всего 100 передних и 100 задних колёс. Вопрос - сколько велосипедов Вы сможете укомплектовать? Ответ очевиден для человека, знакомого с арифметикой. Легко посчитать, что если на один велосипед нужно 2 задних и 1 переднее колесо, то задние колёса закончатся быстрее, чем передние. То есть, можно собрать  $100/2 = 50$  велосипедов. И всё. Оставшиеся после этого 50 передних колёс невозможно использовать - согласитесь, что нельзя же комплектовать детский велосипед лишь одним колесом. Что же представляют собой оставшиеся колёса? В химической терминологии это называется **«избыток»**. Теперь представим себе, что у нас было не 100, а 200 или даже 3000 передних колёс. Сможем ли мы собрать большее число велосипедов? Очевидно, что нет - ведь задние колёса у нас закончились на 50-м экземпляре. Соответственно, сколь бы

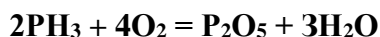
ни было велико доступное число передних колёс, имея в своём распоряжении лишь 100 задних колёс, мы сможем собрать только 50 велосипедов. Мы израсходуем на это 50 передних колёс, а остальные останутся невостребованными, останутся в избытке. И всё. Точка.

Подобно тому, как связано между собой число колёс рассмотренного велосипеда, связаны друг с другом и реагирующие вещества (*реагенты*) и вещества, образующиеся в ходе реакции (*продукты реакции*). Рассматривая химические реакции, мы уже не станем сводить всё к примитиву, но временами, для наглядности, всё же будем возвращаться к велосипеду. Для начала необходимо вспомнить значения таких химических терминов, как «*количество вещества*», «*моль*», «*молярная масса*» и «*молярный объём*».

Итак, сформулируем задачу:

*«В ходе реакции между газообразным фосфином  $\text{PH}_3$  и кислородом (его формулу, я надеюсь, помнят все –  $\text{O}_2$ ) образуется оксид фосфора(V) и вода. Определите массу полученного оксида фосфора(V), если для реакции фосфина и кислорода было взято по 11,2 л. Взаимодействием между продуктами реакции пренебречь»*

С чего следует начинать решение подобной задачи? Так как в данном случае происходит химическая реакция между веществами, необходимо составить уравнение реакции. Это несложно, главное - помнить, что в ходе реакции атомы не исчезают бесследно и не возникают из ничего. Соответственно, число атомов каждого элемента в левой части уравнения будет таким же, как и в правой его части:



Строго говоря, эта реакция является окислительно-восстановительной, и для расстановки коэффициентов надо было бы составить электронный баланс. Но в данный момент перед нами стоит иная задача, поэтому ограничимся лишь уравнением данной реакции с правильно расставленными коэффициентами.

Что даёт нам уравнение реакции? Это очень эффективный инструмент для выполнения количественных расчётов в химии. О соотношении числа колёс у велосипеда помните? Разница лишь в том, что в уравнении интересующее нас соотношение между веществами указывают коэффициенты перед формулами веществ. В этом уравнении коэффициенты показывают, что при взаимодействии 2 молекул фосфина с 4 молекулами кислорода образуется одна молекула оксида фосфора(V) и 3 молекулы воды. Данное соотношение (2:4:1:3) будет неизменным для данной реакции. Например, если мы возьмём 6 молекул фосфина, на его окисление понадобится 12 молекул кислорода, образуются 3 молекулы  $\text{P}_2\text{O}_5$  и 9 молекул воды.

Что получится, если вместо 12 молекул кислорода на 6 молекул фосфина будет приходиться, например, 8? В этом случае кислорода хватит для взаимодействия с 4 молекулами фосфина. Как только кислород израсходуется, фосфину не с чем будет реагировать, и он останется *в избытке*. Соответственно, мы получим меньше молекул оксида фосфора(V) и воды - 2 и 6

соответственно.

Так как считать в молекулах реальные объёмы или массы веществ не очень удобно, мы воспользуемся такой величиной, как количество вещества:

**Количество вещества** ( $n$  или  $\nu$ ) - физическая величина, пропорциональная числу структурных единиц, содержащихся в данной порции (массе, объёме) вещества. Другими словами, количество вещества - это порция данного вещества, содержащая определенное число его структурных единиц. Под структурными единицами понимаются любые частицы, из которых состоит вещество (атомы, молекулы, ионы, электроны или любые другие частицы).

Количество вещества выражается в молях:

**Моль** - единица измерения количества вещества. 1 моль вещества содержит столько же одинаковых структурных элементов (атомов, молекул, ионов,  $\bar{e}$  и других частиц или их специфических групп), сколько атомов содержится в 12 г (0,012кг) изотопа углерода  $^{12}\text{C}$ . **Число структурных единиц в 1 моль вещества получило название “постоянная Авогадро”:**

$$N_a = 6,022 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Количество вещества существенно упрощает жизнь: масса любого вещества, взятого в количестве **1 моль** **численно** равна его молекулярной массе, но выражается в г/моль.

Для дальнейшего решения нам ещё нужно вспомнить закон Авогадро и первое следствие из этого закона:

**Закон Авогадро:**

**В равных объёмах газов при одинаковых  $t^\circ$  и  $P$  содержится одинаковое число молекул (атомов).**

**1 следствие: 1 моль идеального газа при  $T = 273 \text{ K}$  и  $P = 1,0325 \times 10^5 \text{ Па}$  (то есть при нормальных условиях) занимает объём  $22,4 \text{ дм}^3$  (л) (молярный или мольный объём) -  $[V_M] = \text{дм}^3/\text{моль}$  или л/моль).**

Теперь во всеоружии мы можем вернуться к решению нашей задачи. Итак, взаимодействуют у нас газообразные вещества известного объёма. Так как по условию объёмы газов равны, на основании закона Авогадро мы можем сказать, что равны и их количества.

Воспользовавшись следствием из закона Авогадро, мы можем найти количества газо-

$$n(\text{PH}_3) = n(\text{O}_2) = \frac{V}{V_M} = \frac{11,2 \text{ дм}^3}{22,4 \text{ дм}^3/\text{моль}} = 0,5 \text{ моль}$$

образных реагентов:

Как мы выяснили ранее, для окисления двух молекул фосфина расходуется 4 молекулы кислорода. Соответственно, если проводить реакцию между равными количествами

(фактически - между одинаковым числом молекул) фосфина и кислорода,  $O_2$  будет расходоваться в два раза быстрее (как задние колёса при сборке велосипедов). И, как только весь кислород будет израсходован, реакция прекратится.

Следующий вопрос, который многих ставит в тупик - сколько же мы получим продукта (или продуктов) реакции? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо немножко подумать. По условию задачи у нас были одинаковые количества реагентов. Но с помощью уравнения реакции мы убедились, что кислород расходуется вдвое быстрее, чем фосфин. Соответственно, весь кислород израсходуется уже тогда, когда прореагирует лишь половина исходного количества фосфина.

Пользуясь уравнением реакции и принимая во внимание начальные количества реагентов, мы можем сказать, что в реакцию вступит 0,5 моль кислорода и только 0,25 моль фосфина.

По какому же из исходных реагентов можно рассчитать количества образовавшихся продуктов реакции? Очевидно, что мы не можем ориентироваться на фосфин - ведь он остался в избытке после окончания реакции. Следовательно, считать необходимо на основании количества кислорода, который в ходе реакции израсходовался полностью. Согласно уравнению реакции количества  $O_2$  и  $P_2O_5$  соотносятся как 4:1.

$$\text{Тогда } n(P_2O_5) = (n(O_2)/4) \times 1 = (0,5 \text{ моль}/4) \times 1 = 0,125 \text{ моль.}$$

$$\text{Находим массу оксида: } m(P_2O_5) = M(P_2O_5) \times n(P_2O_5) = 142 \text{ г/моль} \times 0,125 \text{ моль} = 17,75 \text{ г.}$$

Это и есть ответ.

Итак, могу Вас поздравить - задача решена, ответ найден. Надеюсь, кому-то это поможет разобраться в основах химии и убедиться, что не всё так сложно и непонятно, как кажется. С вопросами, замечаниями, пожеланиями можно обращаться на мой сайт (<http://site-chemist-in-sevastopol.on.bereghost.ru>) по Skype (dmitriy\_khoruzhii) или по телефону (+7-978-749-35-01).

С уважением, Дмитрий Хоружий.