

ПРОСТЫЕ МОЛЕКУЛЫ В НАШЕЙ ЖИЗНИ

Еремин В.В.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

«Простые молекулы в нашей жизни» – это название нового дистанционного, научно-популярного курса по химии, который разработан на химическом факультете МГУ и реализован на платформе «Открытое образование» (www.openedu.ru).

Главная задача курса – довольно традиционная: показать роль химии в жизни человека и окружающей его природы. Конкретный замысел более интересный: среди огромного (более 100 миллионов) количества известных науке веществ сперва отобрать «наиболее влиятельные», а затем из них оставить только самые простые по составу, состоящие из одного или двух элементов. Почему мы выбрали именно простые молекулы? С точки зрения химии жизнь – очень сложное явление, и процесс биологической эволюции неизбежно приводит к увеличению молекулярной сложности. Однако, вещества, состоящие из простых молекул, являются полноправными участниками этого процесса: именно они формируют те условия, в которых развивается жизнь, и участвуют в качестве реагентов во всех биохимических процессах. Немаловажна и их прикладная роль – они служат источником новых материалов, которые приносят пользу человеку и делают его жизнь более комфортной.

Среди 100 миллионов известных химии веществ молекулярного строения мы выбрали всего 12: 5 простых и 7 сложных. По сути, мы дали свой ответ на вопрос: «*Какие молекулы являются главными для жизни?*». Это, в первую очередь, вода, газы, входящие в состав

атмосферы (кислород, азот, углекислый газ, озон), а также газы и жидкости, используемые в крупных промышленных процессах (водород, хлор, аммиак, угарный газ, метан, этилен, бензол).

Курс состоит из 12 лекций, каждая посвящена одной молекуле. Одна из основных идей химии заключается в том, что все свойства вещества – и физические, и химические – определяются его строением. Поэтому каждая лекция начинается с описания строения соответствующей молекулы. Рассматриваются электронная структура, геометрия, молекулярные модели, свойства химических связей, возможные колебания, в некоторых случаях изотопомеры. На 12 конкретных примерах мы показываем, как строение молекул и связи между ними влияют на физические и химические свойства вещества. Например, полярность молекулы воды определяет ее свойства как растворителя, наличие межмолекулярных водородных связей отвечает за аномально высокие по сравнению с водородными соединениями температуры плавления и кипения, внутримолекулярные колебания приводят к поглощению инфракрасного излучения, благодаря чему водяной пар является основным «парниковым газом».

Вслед за строением рассматриваются физические свойства веществ, история открытия, способы получения и химические свойства, практическое значение веществ, их роль в организме человека и в экосистемах. Особое внимание уделяется необычным свойствам (они есть у любой молекулы) и интересным фактам, связанным с веществом, состоящим из этих молекул. Конкретное содержание варьируется от одного вещества к другому, в зависимости от того, какие разделы являются наиболее значимыми и интересными.

Каждая лекция разбита на несколько коротких фрагментов – от четырех до шести, в зависимости от объема материала. Все фрагменты взаимосвязаны – свойства со строением, роль в природе и практическое значение для человека – со свойствами. Завершает каждую лекцию раздел «Коротко о главном», в котором в очень концентрированной форме подводятся итоги обсуждения (пример – в Приложении 1).

В курсе активно используются связи с другими науками – биологией, геологией, астрофизикой, историей, экономикой. Благодаря этому удастся дать достаточно полное и многостороннее представление о каждом веществе, несмотря на ограниченный объем материала.

У каждого из веществ, рассматриваемых в данном курсе, есть свое отличие, особый «фирменный знак» – это или уникальное свойство, присущее только ему, или хорошо узнаваемая область применения. Например, азот благодаря прочности связи между атомами является самым инертным среди всех веществ молекулярного строения, в молекуле угарного газа – самая прочная химическая связь, это самая устойчивая молекула, а метан – это самое легкое органическое вещество. Озон известен, в первую очередь, благодаря тому, что защищает нас от УФ излучения Солнца, а этилен – способностью превращаться в высокомолекулярное вещество путем реакции полиприсоединения. Особенность каждого вещества отражается в названии посвященной ему лекции (см. Приложение 2).

Обсудим кратко конкретные задачи, которые решает курс «Простые молекулы».

Рассмотреть историю открытия важнейших газов, обсудить роль «пневмохимии» в развитии науки. В основе химии лежит атомно-молекулярная теория, предпосылки к созданию которой были созданы в последней четверти 18-го века, когда были открыты и подробно изучены многие газообразные вещества, в том числе и те, которые входят в состав воздуха. Газы были известны человечеству с древнейших времен, однако их научное изучение, основанное на измерениях и количественном описании, началось только в конце 18-го века. За короткое время было сделано много важных открытий, которые привели к формированию химии как науки. Борьба идей и приоритетов в развитии пневмохимии очень поучительна как с химической, так и с исторической точки зрения.

Раскрыть суть фазовых переходов и показать зависимость строения и свойств вещества в разных агрегатных состояниях от

температуры и давления. Температура и давление – важнейшие физические параметры, с помощью которых химики управляют свойствами веществ и реакций. При экстремальных давлениях и температурах свойства веществ могут резко измениться. Так, хорошо известные вещества молекулярного строения – азот и углекислый газ – под действием давления образуют сетку межатомных связей и превращаются в вещества атомного строения. Лед при высоких давлениях оказывается тяжелее воды и может сохраняться не плавясь даже при высокой температуре. Молекулярный кислород при очень высоком давлении и очень низкой температуре сначала становится полупроводником, потом приобретает металлические свойства, а при температуре меньше 1 К и давлении больше миллиона атмосфер теряет электрическое сопротивление и превращается в сверхпроводник. Изменение структуры веществ при варьировании температуры и давления называют «фазовыми переходами», их можно рассматривать как химические явления.

Дать представление о химическом составе Солнечной системы и распространенности различных молекул в космическом пространстве. Здесь много интересных вопросов. Хорошо известен состав земной коры, хуже – состав внутренних областей и ядра Земли. А что известно о космосе? Из чего состоят планеты, звезды, межзвездное пространство? Какие в космосе есть молекулы и откуда они берутся? Как можно изучать состав планет и звезд, не входя с ними в непосредственный контакт? Ответы на эти и другие вопросы мы постарались дать в курсе. Все это имеет отношение и к вопросу о происхождении жизни на Земле, и к возможности появления жизни в других областях Вселенной.

Дать представление о круговороте азота, углерода и воды в природе. Понимание сути и масштабов химических процессов, происходящих в атмосфере, на суше, в мировом океане, помогает ощутить целостность и единство нашего мира, оценить роль и влияние человека в нем.

Рассмотреть роль и значение различных компонентов атмосферы, обсудить антропогенные изменения атмосферы и их влияние на жизнь на Земле. Этот вопрос очень интересно изучать в контексте истории Земли, так как за несколько миллиардов состав атмосферы подвергался кардинальным изменениям. Так, например, появление в атмосфере необходимого для нас кислорода 2,5 миллиарда лет назад привело к гибели огромного количества микроорганизмов и рассматривается в истории эволюции Земли как «кислородная катастрофа». Проблемы человечества значительно меньше как по масштабам, так и по времени. Надежные научные наблюдения состава атмосферы длятся не более 50 лет, однако они позволили обнаружить такие важные для нашей жизни явления как «озоновая дыра» и «парниковый эффект». Эти явления обсуждаются в лекциях про озон и углекислый газ, при этом мы опираемся на достоверную научную информацию из проверенных источников.

Отдельный раздел в каждой лекции посвящен обсуждению *практического значения изучаемых веществ и описанию основных области их применения в промышленности и в повседневной жизни.* Анализ важнейших процессов химической промышленности и их масштабов позволяет решить еще одну задачу: *дать достоверную информацию об антропогенном воздействии на окружающую среду и глобальных экологических проблемах, стоящих перед человечеством.* Во многих случаях анализ научных данных позволяет дать обнадеживающую информацию и развеять многие иллюзии и слухи: озоновые дыры затягиваются и содержание озона постепенно восстанавливается, выбросы углекислого газа не оказывают решающего воздействия на климат в геологическом масштабе, а глобальное таяние газовых гидратов и массовое выделение метана в атмосферу очень маловероятно. Возможность многих экологических катастроф, которые предсказывают, ссылаясь на мнение ученых, очень сильно преувеличена. Как преувеличен и вред, который деятельность человека наносит биосфере Земли.

Образованный человек должен понимать устройство не только окружающего мира, но и себя самого. Отсюда – еще одна задача: *описать важнейшие превращения изучаемых веществ в живых системах*. Мы рассмотрели биохимические процессы с участием только четырех веществ из 12: воды, кислорода, углекислого газа и угарного газа. У остальных веществ мы ограничились указанием на меру их опасности для организма (предельно допустимые концентрации). Здесь тоже много интересного и неожиданного. Оказывается, например, что самым ядовитым газом для человека оказывается не хлор и не угарный газ, а озон. Однако это вещество, которое оказывается очень вредным при непосредственном контакте с ним, приносит огромную пользу на высоте 20-25 км, поглощая жесткое УФ излучение Солнца.

Несколько слов о формате курса. Основа – видеолекции, разбитые на несколько коротких фрагментов, от 10 до 20 минут. После каждого фрагмента предлагается несколько простых тестовых вопросов репродуктивного характера с единственным правильным ответом. После всей лекции слушателям дают более сложные тесты с несколькими вариантами ответов. Все ответы оцениваются автоматически. Кроме тестов предлагаются творческие вопросы (проблемы), которые не имеют однозначного ответа и предназначены только для обдумывания и обсуждения. Ответы на творческие вопросы не дают вклада в общую оценку, однако придают курсу неформальный характер. Примеры тестов и творческих вопросов приведены в Приложении 3, по ним можно судить об уровне сложности курса.

В целом, курс «Простые молекулы в нашей жизни» имеет популярный характер и является общеобразовательным. Специальная химическая подготовка не требуется, достаточно школьного курса химии, пусть даже и слегка подзабытого. Курс предназначен для очень широкого круга слушателей, в первую очередь – студентов нехимических вузов и факультетов и людей, уже получивших высшее образование, но интересующихся наукой и желающих больше узнать

об окружающем мире. Он будет также полезен учителям, желающим повысить свою квалификацию.

Приложение 1. Пример раздела «Коротко о главном» – краткое содержание лекции о воде

1. Вода состоит из полярных молекул H_2O , имеющих форму равнобедренного треугольника. Молекулы воды могут образовывать между собой межмолекулярные водородные связи.

2. Благодаря наличию изотопов водорода и кислорода, существует 9 разных устойчивых молекул воды. Преобладает самая легкая вода $H_2^{16}O$. Тяжелая вода $D_2^{16}O$ – более плотная и кипит при более высокой температуре, чем обычная (легкая) вода.

3. Вода может существовать в трех агрегатных состояниях, отличающихся упорядоченностью структуры и числом водородных связей. Известно 16 твердых модификаций воды, большинство – при очень высоких давлениях.

4. Вода – самая распространенная молекула сложного вещества во Вселенной. Она есть на Земле, Марсе, Венере, спутниках планет-гигантов, кометах, космической пыли. Пары воды образуют во Вселенной гигантские облака.

5. Благодаря наличию водородных связей вода обладает особыми физическими свойствами. Уникальные свойства воды: плотность, температуры плавления и кипения, теплоемкость, теплота испарения, диэлектрическая проницаемость, поверхностное натяжение.

6. Вода – главное вещество для жизни на Земле. В клетках она играет роль среды (растворителя) и реагента.

7. Научно достоверных данных о «памяти» и информационных свойствах воды, изменении ее свойств при «намагничивании» или «активации» не существует.

Приложение 2. Краткий план курса «Простые молекулы в нашей жизни»

Часть I. Молекулы простых веществ

1. Молекулярный водород
2. Кислород – молекула, которая изменила мир
3. Озон – молекула, которая защищает нас от Солнца
4. Азот – самая инертная молекула

5. Хлор – цветной, ядовитый, полезный

Часть II. Молекулы сложных веществ

6. Вода – простая молекула, необыкновенное вещество

7. Аммиак – азотсодержащий аналог воды

8. Углекислый газ – продукт дыхания и горения

9. Угарный газ – самая прочная молекула

10. Метан – самая легкая органическая молекула

11. Этилен – молекула, которая может соединяться сама с собой

12. Бензол – молекула с особыми химическими связями

Приложение 3. Обязательные и творческие вопросы

(на примере лекции «Кислород – молекула, которая изменила мир»)

Вопросы по всей лекции

(К каждому вопросу возможно **несколько** правильных вариантов ответа)

1. Какие утверждения правильно характеризуют молекулярный кислород?

- 1) Кислород – первый по количеству компонент воздуха
- 2) Кислород хорошо растворим в воде
- 3) Кислород обладает магнитными свойствами
- 4) Кислород поглощает ультрафиолетовое излучение
- 5) Кислород образуется при дыхании

2. С именами каких ученых связывают открытие кислорода?

- 1) Михаил Ломоносов
- 2) Джозеф Пристли
- 3) Майкл Фарадей
- 4) Карл Шееле
- 5) Антуан Лавуазье

3. Какие вещества можно использовать для получения кислорода?

- 1) Хлорид натрия
- 2) Бертолетову соль
- 3) Перекись натрия
- 4) Глюкозу
- 5) Железную окалину

4. В процессе дыхания химические реакции происходят в

- 1) верхних дыхательных путях
- 2) бронхах
- 3) альвеолах легких
- 4) крови
- 5) клетках

5. Какой(ие) элемент(ы) в составе гемоглобина образует(ют) химическую связь с молекулой кислорода?

- 1) Fe
- 2) C
- 3) H
- 4) N
- 5) O

6. По графику оксигенации гемоглобина определите, сколько процентов гемоглобина будет дополнительно связано с кислородом, если давление последнего в крови увеличить с 20 до 100 мм рт. ст.?

- 1) 5%
- 2) 23%
- 3) 40%
- 4) 70%
- 5) 500%

7. Средний суточный расход энергии человека – 10 МДж (мегаджоулей). Сколько процентов энергии обеспечивается полным окислением глюкозы, если ее суточный расход составляет 300 г? Ответ дайте в виде целого числа с точностью до одного процента, знак % в ответе не указывайте.

8. Какие утверждения правильно описывают кислородный фотосинтез?

- 1) Фотосинтез – самопроизвольная реакция
- 2) Кислородный фотосинтез происходит в пурпурных бактериях
- 3) Кислород образуется на световых стадиях
- 4) Источником кислорода служит углекислый газ
- 5) Процессы окисления и восстановления при фотосинтезе

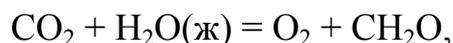
разделены в пространстве и во времени

9. Технологию производства кислорода из жидкого воздуха в России разработал

- 1) Д.И. Менделеев
- 2) Н.Н. Семенов
- 3) П.Л. Капица
- 4) Л.П. Берия
- 5) Л.Д. Ландау

Трудный вопрос:

10. При фотосинтезе за год образуется 100 млрд. т углерода в составе биомассы. Сколько при этом расходуется кубических километров воды? Используйте уравнение фотосинтеза:



плотность воды примите равной 1 г/мл. Ответ дайте в виде целого числа, без размерности.

Творческие вопросы (темы для форумов)

1. Почему жизнь эволюционировала от анаэробной (бескислородной) к аэробной форме? В чем преимущества последней?

2. Как можно использовать солнечную энергию для получения кислорода из воды без участия зеленых растений? В чем преимущества и недостатки этого метода?

3. Как можно доказать, что кислород – составная часть воздуха? Предложите мысленный эксперимент.

4. Как вы считаете, можно ли в обозримом будущем создать искусственный аналог природных фотосинтетических устройств, обладающий близкими к природным характеристиками?

5. Что такое «кооперативный эффект» в химии? Бывает ли этот эффект отрицательным?

6. Существующие методы разделения кислорода и азота основаны на различии в их физических свойствах – температуре кипения, адсорбции, коэффициенте диффузии через мембраны. А можно ли разделить кислород и азот химическим путем? Предложите такой способ (экономические аспекты не учитываем).

7. При длительных космических путешествиях необходим большой запас кислорода для дыхания. Какие вы знаете способы хранения кислорода и какие из них можно использовать в космосе?

8. Жизнь П.Л. Капицы – яркий пример отношения ученого к общественным проблемам и взаимодействия с властью. На ваш взгляд, должен ли ученый сотрудничать с властью и решать задачи, которые она ставит? Есть ли случаи, в которых такое сотрудничество принципиально невозможно?