



Естественно-научный метапредмет в Московском государственном университете им. М.В. Ломоносова

А.М. БАНАРУ, к.х.н., ст. преподаватель кафедры физической химии

С.С. БЕРДОНОВ, д.х.н., доцент кафедры радиохимии

А.Н. ГРИГОРЬЕВ, к.х.н., доцент кафедры неорганической химии

Химический факультет Московского государственного университета (МГУ) им. М.В. Ломоносова (Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1/3). E-mail: banaru@phys.chem.msu.ru

В статье рассказывается о целях и задачах авторского межфакультетского курса «Преподавание естественных предметов в школе» для студентов МГУ. Одной из целей курса является выработка чистого метапредметного содержания для старшеклассников по химии и смежным естественно-научным предметам. Приводятся примеры дидактических единиц такого содержания.

Ключевые слова: межфакультетский курс, метапредмет, ФГОС.

С 2013 года в МГУ осуществляется чтение межфакультетских учебных курсов (МФК), доступных для всех студентов Московского университета. Согласно информационной странице об МФК [1], межфакультетский учебный курс – это семестровый курс лекций, читаемый профессорами и преподавателями МГУ, являющимися специалистами в своей области и способными показать связи между различными областями знания: наукой, искусством, политикой, культурой, общественными и социальными процессами. Межфакультетский учебный курс МГУ читается индивидуально или группой лекторов и может состоять из нескольких циклов. Для чтения отдельных лекций в рамках соответствующих МФК могут приглашаться отечественные и зарубежные ученые.

Межфакультетские учебные курсы организованы на всех факультетах Московского университета. Для студентов очной формы обучения 3-го и 4-го курсов, обучающихся по программам специалитета, 3-го курса бакалавриата и 1-го курса магистратуры (очной формы) освоение МФК обязательно. В расписании учебных занятий студентов всех курсов всех факультетов зарезервировано время для МФК МГУ (по средам, 4-я и 5-я пары). Информация о данных студентом экзаменах (зачетах) по МФК вносится в приложение к его диплому.

Важная особенность обязательного МФК состоит в том, что выбранный курс должен читаться на «неродном» для студента факультете. Это способствует межфакультетской интеграции, появлению новых научных знакомств. На курс записываются в начале семестра на специальном сайте, созданном в МГУ специально для этой цели. Перед тем как сделать выбор, студенты могут ознакомиться на этом сайте с рабочими программами, составленными в очень лаконичной форме.

С 2015 года авторы данной статьи читают на химическом факультете МФК под названием «Преподавание естественных предметов в школе» в объеме 24 часов. Этот курс в настоящее время является самым востребованным среди очных МФК, читаемых на нашем факультете. В среднем его посещают 50–70 слушателей, в основном это студенты биологического и физического факультетов, по меньшей части – факультетов вычислительной математики и кибернетики, фундаментальной медицины, наук о материалах, биоинженерии и биоинформатики, физико-химического и др. Гораздо реже среди слушателей встречаются студенты не естественно-научных факультетов, например психологического.

На первый взгляд заметный интерес к нашему МФК иррационален, поскольку у студентов МГУ есть возможность параллельно с основной специальностью бесплатно получить квалификацию преподавателя на факультете педагогического образования МГУ, а магистрам и аспирантам в дополнение к этому – квалификацию преподавателя высшей школы. Однако длительное обучение педагогике и методикам преподавания, по-видимому, для многих представляет собой слишком тяжелую, хотя и привлекательную задачу. Наш курс для них является если не единственным, то наиболее удобным способом получить важную с практической точки зрения компетентную информацию из этой сферы «здесь и сейчас».

Программа нашего курса отнюдь не копирует программы педагогического факультета МГУ и тем более программы дополнительного профессионального образования педагогов, разработанные во всех регионах России в связи с переходом школ на федеральный государственный образовательный стандарт основного общего образования (ФГОС ООО) и среднего (полного) об-

щего образования (ФГОС С(П)ОО). Тем не менее во многом наша программа с ними перекликается. Невозможно полностью абстрагироваться от нормативного контекста и рассказывать только о чистой науке, потому что важно и то и другое.

Хорошей ежегодной традицией нашего курса стало чтение одной из лекций профессором О.С. Габриеляном. Помимо колоссального педагогического опыта этот знаменитый автор учебников имеет в своем активе учебно-методический комплект (УМК) по естествознанию, единственный в России, разработанный с выраженным акцентом на химию.

Основой названного курса служит опыт, накопленный авторами за многие годы работы в профильных лицейских классах (химическом и биологическом) при МГУ в московской школе № 171. Традиции наших лицейских классов подразумевают помимо аудиторных занятий высокую творческую активность учащихся [2].

В связи с переходом к ФГОС особое значение приобретают метапредметные результаты обучения (в каждом школьном предмете становится важно не «что», а «как»). Наш коллектив тоже стремится к тому, чтобы насытить школьный курс химии метапредметными подходами и концептами. Однако на данный момент предметный подход к преподаванию еще далеко не преодолен. Мы можем рассмотреть проблему только со стороны химиков и предложить возможные пути ее решения.

Во-первых, старшеклассникам остро не хватает математических компетенций, которые закладываются в первую очередь в начальной и основной школе. Трудно себе представить, что ученик с плохой математической подготовкой мог бы освоить метапредметы «Числа» [3], «Знак» [4] и др. Разработаны эти метапредметы специа-



листами-гуманитариями, однако вряд ли «Числам» можно дать адекватное предметное наполнение совершенно за рамками математической теории чисел. То же самое обстоит и с другими метапредметами. При решении химических задач высокого уровня сложности часто приходится использовать специальные математические приемы: решение системы линейных уравнений (в задачах о составе смесей и сплавов, об образовании кислот и средних солей), решение квадратных уравнений (в задачах о равновесии в растворах), логарифмирование и потенцирование (в химической кинетике) и т. д. То и дело у школьников выявляются критические пробелы в навыках владения такими приемами. Слабая техника решения математических задач – это главный фактор, не позволяющий абитуриенту с хорошей химической эрудицией успешно справиться с дополнительным вступительным испытанием на химфак МГУ.

У школьной химии также много пересечений с физикой. В сфере предметного они очевидны: модели строения атома (модель Резерфорда, модель Бора, современная квантовая модель), теория химической связи (в особенности ионной), законы термодинамики, газовые законы и т. д. Иногда эти пересечения доходят до дублирования предметного содержания. Так, строение атома часто обсуждается в старшей школе и на уроках физики, и на уроках химии, причем речь на этих уроках идет об одном и том же, просто с разной расстановкой акцентов. Ученику, по сути, необходимо провести самостоятельное сравнение изученного на этих уроках и получить определенный метапредметный результат совершенно без помощи учителя. Разумеется, это сложная задача даже для учителя, не говоря об ученике.

Биология тоже чрезвычайно близка к школьной химии. Это относится не столько к биохимии, весьма необширные сведения из которой обычно изучаются в конце курса органической химии, сколько к биоинформатике. Метапредметное в этой области равноудалено от биологии, химии и информатики и опирается на теорию вероятностей. К слову, основы теории вероятностей теперь в объеме нескольких часов обязательно изучаются в основной школе, а не только факультативно и в старшей школе, как это было всего лишь десятилетие назад. Энтропия, а вместе с ней и информационная энтропия – универсальные понятия того же порядка. Энтропию можно рассчитывать для самых разных систем в физике, химии, биологии, информатике. У некоторых систем

она поддается не только статистической, но и термодинамической оценке, однако статистическая трактовка более универсальна.

В ходе многократных дискуссий со слушателями МФК нам вместе удалось выделить элементы содержания естественных предметов, в которых манифестация метапредметного выражена в наибольшей степени. Эти элементы в дальнейшем будут нам служить отправной точкой или своего рода зародышами кристаллизации для естественно-научного метапредмета в старшей школе. Ниже перечислим самые, на наш взгляд, увлекательные из них в порядке увеличения сложности.

Чувствительность метода и предел обнаружения

В методах аналитической химии, как инструментальных, так и неинструментальных, чрезвычайно важны две независимые друг от друга характеристики метода, чувствительность и предел обнаружения. Для школьников эти понятия мы иллюстрируем с помощью следующего простого примера.

В классе есть мальчики и девочки. Когда во время урока в класс заходит завуч, чтобы сделать важное объявление, он может приблизительно оценить, глядя на учеников, каков среди них процент мальчиков. Поскольку завуч пришел не для подсчета учеников, а совсем с другой целью, чувствительность у такого метода невелика. Например, у завуча может сложиться впечатление, что в классе примерно половина мальчиков. Или одна треть. Или четверть. Наименьшая разница между долями мальчиков и девочек, которую способен различить беглый взгляд завуча, и будет чувствительностью метода. В нашем примере она составляет около 10–15%. А предел обнаружения – это наименьший процент мальчиков, который вообще можно обнаружить.

Завуч видит класс целиком и в состоянии разглядеть, есть ли в классе хотя бы один мальчик. В данном случае число учеников ограничено числом посадочных мест (в классе обычно 15 парт), так что предел обнаружения примерно равен $(1/30) \cdot 100\% = 3\text{--}4\%$.

Чувствительность метода может зависеть от масштаба измеряемых величин. Так, если бы завуч пришел не в школьный кабинет, а в большую химическую аудиторию химфака МГУ, вмещающую до 400 человек, при большом числе учеников в его поле зрения уместились бы далеко не все. Поэтому чувствительность уменьшилась бы как минимум на 5–10%. А предел обнаружения практически не меняется: одного мальчика среди 399 девочек можно и

не заметить, но 10–15 человек, рассредоточенных небольшими компаниями в разных местах аудитории, наверняка будут замечены даже при беглом взгляде, что тоже составляет 3–4%.

Округление рассчитанных масс, объемов, количеств

Несмотря на то что школьная химия предполагает довольно большое число лабораторных опытов и практических работ, такие работы крайне редко связаны с экспериментальным измерением числовых величин. В отличие от химии, для школьной физики, наоборот, гораздо больше характерны численные измерения. Поэтому проблема погрешности измерений и расчетов обсуждается на уроках физики, но не на уроках химии.

Некоторые учителя химии дают такие советы по округлению рассчитанных величин: моли округлять до 0,001; граммы – до 0,01; литры – до 0,1. Однако практичность этих советов следует не из наименований округляемых величин, а совсем из другого, а именно из порядка округляемых величин. Ошибка округления должна быть невелика для конкретного порядка рассчитанной величины. Так, если округлить 1,001 моль до 1 моль, терется всего 0,1% величины. А если аналогично округлить 0,001 моль до 0 моль, то потеря составит 100%. Таким образом, при округлении важна не абсолютная, а только относительная погрешность расчета. Наиболее адекватным советом нам представляется округление с относительной погрешностью не более 1% в каждом действии.

Средняя молекулярная масса смеси

Даже у учащихся профильных старших классов бывают трудности с пониманием, что среднее арифметическое и так называемое средневзвешенное далеко не одно и то же. Начинаться эти трудности могут еще в основной школе с расчета средней молекулярной массы воздуха. Как известно, для n -компонентной смеси

$$\bar{M} = \sum_{i=1}^n x_i M_i,$$

где x_i – мольные доли компонентов, M_i – усредняемые величины, например относительные молекулярные массы. Мольные доли можно трактовать как разновидность взвешивающих коэффициентов. В среднем арифметическом все взвешивающие коэффициенты равны $1/n$, и как следует из формулы, среднее арифметическое годится только для эквимольных смесей.



Газовые смеси удобны тем, что часто газы можно считать идеальными, и по закону Авогадро мольные доли будут совпадать с объемными. В остальных же случаях (для твердых, жидких смесей) требуются именно мольные доли, и если в условии задачи приводятся массовые доли, то необходимо из них найти мольные. Кстати, подобным же образом рассчитываются и средние атомные массы природной смеси нуклидов одного элемента, что чаще всего выходит за рамки школьной программы даже в профильных классах.

На 4-м курсе химического факультета МГУ преподается химия высокомолекулярных соединений (ВМС), где на одном из практических занятий предлагается задача, в которой по гистограмме молекулярных масс у синтезированного полимера нужно рассчитать среднюю степень полимеризации. Несмотря на высокий уровень студентов факультета, справиться с такой задачей большинству удастся далеко не сразу.

Сколько бит информации кодирует молекула ДНК

В теории информации есть формула, аналогичная формуле энтропии Больцмана, только рассчитывается по ней не энтропия, а количество информации:

$$I = \log_2 W,$$

где W – число возможных состояний. Рассчитать энтропию через информацию при необходимости можно с помощью коэффициента: $\log_2 W = \ln W / \ln 2$, поэтому $S = k \ln W = k \log_2 W \cdot \ln 2 = k \ln 2 \cdot I$.

Заметим, что энтропия и информация имеют совершенно разную размерность. Первая измеряется в Дж/К, вторая – в битах (это верно до тех пор, пока в качестве основания логарифма берется 2). Кроме того, эти величины дают противоположные трактовки сложности систем. Было бы логично считать, что чем менее система хаотична (чем более упорядочена), тем больше информации в ней накоплено. Но в соответствии с записанными выше формулами это не так. Дело в том, что используются эти величины в разных системах и для разных целей. Так, мнимая хаотичность языка, растущая с увеличением числа возможных буквенных сочетаний, увеличивает его сложность, то есть общее количество информации, которое можно с его помощью закодировать.

Пусть имеется фрагмент молекулы ДНК, содержащий N комплементарных пар азотистых оснований (Г, Ц, А, Т). Каждая пара может быть реализована

на в одном из 4 возможных состояний: ГЦ, ЦГ, АТ и ТА. Поэтому N последовательных пар имеют 4^N возможных состояний. Следовательно, $I = \log_2 4^N = \log_2 2^{2N} = 2N$ (бит).

Такого рода задачи иногда встречаются на заключительном туре Всероссийской олимпиады школьников по химии [5].

Что общего у молекулы воды и южнокорейского флага

По углам государственного флага Южной Кореи (рис. 1) изображены триграммы китайской «Книги перемен». Они символизируют четыре природные стихии, почти в точности соответствующие аристотелевским: огонь, земля, вода и небо.



Рис. 1. Триграммы «Книги перемен»: огонь (слева внизу), земля (справа внизу), вода (справа вверху) и небо (слева вверху)

Можно задать бинарную операцию умножения (рис. 2), которая каждой паре триграмм ставит в соответствие третью согласно следующим правилам: две сплошные линии на одном уровне дают сплошную, две прерывистые линии дают сплошную, сплошная и прерывистая (и наоборот) дают прерывистую. Это очень похоже на арифметические правила умножения: «+» на «+» дает «+», «-» на «-» дает «+», «+» на «-» (и наоборот) дает «-».

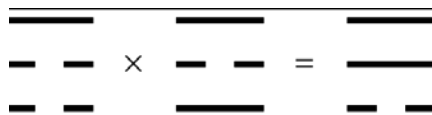


Рис. 2. Правило умножения триграмм

Множество четырех вышеперечисленных триграмм по такой операции

умножения замкнуто, то есть произведение двух элементов множества тоже есть элемент этого множества. Следуя указанному правилу, можно составить таблицу умножения триграмм (таблица).

Множество этих триграмм в математическом смысле образует так называемую группу. Одно из отличительных свойств групп – наличие так называемого единичного, или нейтрального, элемента. При умножении любого элемента на единичный получается исходный элемент. В нашем примере роль единичного элемента играет триграмма «Небо» (см. таблицу). О некоторых других свойствах групп триграмм можно прочитать в [6].

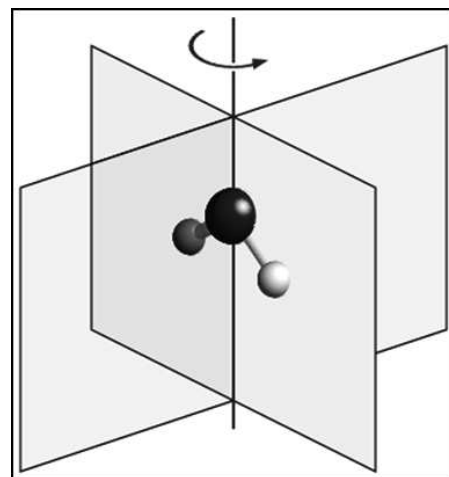


Рис. 3. Плоскости симметрии и ось симметрии 2-го порядка у молекулы воды

Молекула воды образована двумя элементами, водородом и кислородом, подобно двум принципам (инь и ян) в центральном круге южнокорейского флага (см. рис. 1). Однако есть и более глубокая аналогия. Дело в том что, поскольку молекула воды плоская, она обладает двумя плоскостями симметрии (рис. 3), а вместе с ними и так называемой осью симметрии 2-го порядка, которая совмещает молекулу с собой при повороте молекулы вокруг оси на $360^\circ / 2 = 180^\circ$.

Эти элементы симметрии (плоскости и ось) образуют такую же группу, как триграммы. Роль умножения здесь

Таблица умножения триграмм

Стихия	Небо	Вода	Земля	Огонь
Небо	Небо	Вода	Земля	Огонь
Вода	Вода	Небо	Огонь	Земля
Земля	Земля	Огонь	Небо	Вода
Огонь	Огонь	Земля	Вода	Небо



играет композиция движений трехмерного пространства, то есть последовательное действие на пространство элементов симметрии. Роль единичного элемента (небо) играет так называемое тождественное преобразование, при котором пространство не отражается в плоскостях и не поворачивается вокруг оси, а остается неподвижным. Сами элементы симметрии соответствуют трем оставшимся

триграммам (вода, земля, огонь). Легко проверить, что таблица умножения элементов симметрии имеет такую же структуру, как таблица умножения триграмм, с точностью до обозначения. Такое свойство в математике называется изоморфизмом групп. Можно сделать парное сопоставление элементов рассматриваемых множеств одним из шести возможных способов, например: 1-я плоскость – вода, 2-я

плоскость – земля, ось симметрии – огонь.

Группы, состоящие из элементов симметрии (группы симметрии), чрезвычайно важны для квантовой химии. С помощью этих групп объясняют и предсказывают различные физико-химические свойства молекул, например полярность, хиральность, характер колебаний длин связей и валентных углов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Межфакультетские учебные курсы МГУ им. М.В. Ломоносова. URL: <http://mfk.msu.ru> (дата обращения 19.05.2018).
2. Бердонов С.С., Карпенко Л.П., Григорьев А.Н. и др. Внеклассная работа в химических классах школы № 171 г. Москвы. Мат. V Всерос. науч.-практ. конф. «Инновационные процессы в химическом образовании в контексте современной образовательной политики». Челябинск, 2017. С. 33–35.
3. Хуторской А.В. Метапредмет «Числа». М.: Изд-во Института образования человека, 2012. 80 с.
4. Громыко Ю.В. Метапредмет «Знак». Схематизация и построение знаков. Понимание символов. М.: Пушкинский институт, 2001. 288 с.
5. Еремин В.В. Теоретическая и математическая химия для школьников. Подготовка к химическим олимпиадам. М.: МЦНМО, 2007. 392 с.
6. Vugman N.V. Trigrams in the ancient I Ching oracle. An application of group theory // J. Chem. Ed., 2001, V. 78. P. 213–214.

SCIENCE META-SUBJECT AT MSU

BANARU A.M., Cand. Sci. (Chem.), Senior Lecturer of the Division of Physical Chemistry

BERDONOSOV S.S., Dr. Sci. (Chem.), Assoc. Prof. of the Division of Radiochemistry

GRIGORIEV A.N., Cand. Sci. (Chem.), Assoc. Prof. of the Division of Inorganic Chemistry

Chemistry Department of Lomonosov Moscow State University (1/3, Leninskiye Hills, 119991, Moscow)

E-mail: banaru@phys.chem.msu.ru

ABSTRACT

The article reports on purposes and problems of the authorship interdepartmental course "Teaching Science at School" for students of MSU. One of the purposes of this course is to work out a pure meta-subject content on chemistry and adjacent sciences for high-school students. Some examples of didactic units of such content are shown.

Keywords: interdepartmental course, meta-subject, FGOS.

REFERENCES

1. *Mezhfakul'tetskiye uchebnyye kursy MGU imeni M.V. Lomonosova* (Interdepartmental courses of Lomonosov MSU) Available at: <http://mfk.msu.ru> (accessed 19 May 2018).
2. Berdonosov S.S., Karpenko L.P., Grigor'yev A.N. Vneklassnaya rabota v khimicheskikh klassakh shkoly №171 g. Moskvy [Out-of-class work in chemical classes of the school №171 in Moscow]. *Trudy V Vseros. nauch.-prakt. konf. «Innovatsionnyye protsessy v khimicheskoy obrazovanii v kontekste sovremennoy obrazovatel'noy politiki»* [Proc. V All-Russian scientific-practical. Conf. "Innovative processes in chemical education in the context of modern educational policy"]. Chelyabinsk, 2017, pp. 33–35.
3. Khutorskoy A.V. *Metapredmet «Chisla»* [Meta-subject "Numbers"]. Moscow, Instituta obrazovaniya cheloveka Publ., 2012. 80 p.
4. Gromyko YU.V. *Metapredmet «Znak». Skhematizatsiya i postroyeniye znakov. Ponimaniye simvolov* [Meta-subject "Symbol". Schematisation and generation of symbols. Perceptions of symbols]. Moscow, Pushkinskiy institut Publ., 2001. 288 p.
5. Yeremin V.V. *Teoreticheskaya i matematicheskaya khimiya dlya shkol'nikov. Podgotovka k khimicheskim olimpiadam* [Theoretical and mathematical chemistry for school students. Training for chemical olympiads]. Moscow, MTSNMO Publ., 2007. 392 p.
6. Vugman N.V. Trigrams in the ancient I Ching oracle. An application of group theory. *J. Chem. Ed.*, 2001, vol.78, pp. 213–214.

