

МАТЕМАТИКА НА ВСТУПИТЕЛЬНЫХ ЭКЗАМЕНАХ И ОЛИМПИАДАХ ПО ХИМИИ

Рыжова О.Н., Кузьменко Н.Е., Белевцова Е.А.

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

Те, кто поступал в Московский государственный университет в семидесятых-восемидесятых годах прошлого века, хорошо помнят, что абитуриенты университета должны были сдать, в зависимости от факультета, три или четыре вступительных экзамена. На химическом факультете, как и на всех естественнонаучных факультетах, первым из четырех, так называемым «профильным», был письменный экзамен по математике (для гуманитариев профильным являлось сочинение). Экзамен по математике, на котором отсеивалось, получив неудовлетворительную оценку, до 50% абитуриентов, был очень серьезным испытанием, и к нему тщательно готовились. Преодолеть математику – это была уже половина дела!

За прошедшие годы положение математики на вступительных экзаменах в университете существенно изменилось. В соответствии с Законом об образовании, отбор в отечественные вузы теперь проводится на основе суммы баллов ЕГЭ по предметам, соответствующим специальности. Абитуриенты химического факультета при поступлении должны представить свои баллы по математике, химии, физике и русскому языку. Лишь немногие вузы, и в их числе Московский и Санкт-Петербургский государственные университеты, получили право проводить одно дополнительное вступительное испытание. Для абитуриентов химического факультета – это экзамен по профильной дисциплине, химии. Таким образом,

дополнительного испытания по математике при поступлении на химический факультет не предусмотрено.

ЕГЭ по математике – один из двух обязательных для сдачи, без успешного преодоления этого экзамена выпускнику школы не получить аттестат о среднем образовании. Конечно же, уровень знаний, требуемый для сдачи ЕГЭ по математике, – это совсем не тот уровень, который был прежде на университетском вступительном экзамене. Отметим также, что в условиях повсеместного, можно даже сказать глобального, падения интереса к естественным и техническим специальностям и, как следствие, снижения конкурса на естественнонаучные специальности в вузах, на химический факультет могут успешно зачислиться выпускники с не самой высокой суммой баллов ЕГЭ, вклад математики в которую может оказаться и совсем скромным – его компенсируют другие предметы.

Степень математической подготовленности выпускников школ, приходящих на первый курс факультета, год от года снижается. Преподаватели-математики отмечают, что первокурсники испытывают все бóльшие затруднения при изучении математического анализа, аналитической геометрии и других дисциплин математического цикла [1, 2]. Это же констатируют и преподаватели химии – студенты плохо справляются с элементарными вычислениями, математическими выкладками и преобразованием алгебраических выражений, что не может не сказываться на усвоении химических дисциплин [3].

Как можно оценить реальный уровень математических знаний абитуриентов-химиков в условиях отсутствия вступительного экзамена по математике? Проверить соответствующие навыки можно лишь косвенно, контролируя математическую составляющую содержания заданий вузовских олимпиад (например, университетских «Покори Воробьевы горы!» и «Ломоносов») и вступительных испытаний по химии.

Что мы понимаем под «математической составляющей» или «математическим содержанием» химических задач?

В задания конкурсных вступительных экзаменов и олимпиад школьников по химии достаточно часто намеренно вводятся содержательные элементы, подчеркивающие межпредметные связи. Можно привести несколько примеров.

Факультет биоинженерии и биоинформатики МГУ, 2002 г.

«Один из нейротоксинов яда скорпиона представляет собой белок, который содержит 64 аминокислотных остатка. Из продуктов полного гидролиза 50.00 г этого белка было выделено 1.448 г серина, 6.676 г цистеина и 1.841 г аланина. Определите молярную массу нейротоксина и рассчитайте массовую долю серы в этом белке».

Геологический факультет МГУ, 2007 г.

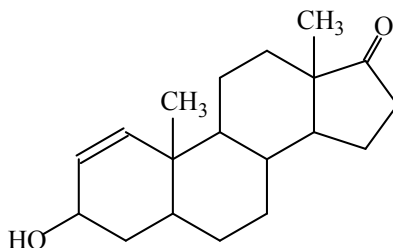
«Минерал буртит имеет состав $\text{CaSn}(\text{OH})_6$. Укажите степень окисления олова в этом минерале».

Факультет фундаментальной медицины МГУ, 2003 г.

«3-Пиридинкарбоновая кислота (витамин РР) применяется в медицине в качестве противопеллагрического средства. Приведите структурную формулу витамина РР, напишите уравнения двух реакций с его участием. Вычислите, сколько атомов азота поступит в организм человека, принявшего суточную норму препарата (20 мг)».

Задание очного тура олимпиады «Ломоносов», 2007 г.

«Международным олимпийским комитетом запрещен препарат болденон из класса анаболических стероидов. Факт применения спортсменом болденона устанавливается допинг-контролем при анализе проб мочи на наличие следующего соединения



с молекулярной массой 288, которое является продуктом биотрансформации болденона в организме. Запишите молекулярную формулу, соответствующую структуре вышеприведенного продукта, и рассчитайте его элементный состав (в масс. %)».

Во всех вышеприведенных примерах биологическое, биомедицинское или геохимическое содержание никак не влияет на решение собственно химической задачи. С подобным заданием легко могут справиться абитуриенты химического факультета или факультета наук о материалах, ведь специальные знания в области биологии для ее решения не требуются, и включение таких задач в олимпиадный комплект или билет вступительного экзамена отнюдь не нацелено на косвенную проверку знаний участников по биологии. Составители задач используют этот прием для того, чтобы украсить задачу, сделать ее более привлекательной, «дружественной» для участника олимпиады или абитуриента. Так, часто делается попытка связать содержание задачи с профилем того факультета, на который проводится испытание по химии. И, хотя в результате задача может показаться излишне загруженной, тем не менее, межпредметные связи при работе школьника с ней актуализируются, роль и значение химии для последующего изучения предмета и для практической научной работы биолога или медика ненавязчиво подчеркивается. И задача «оживает». Этот методический прием не нов, здесь можно провести аналогию, например, с преподаванием курса физической химии студентам биологического факультета – преподаватели стремятся насыщать курс задачами с биологическим содержанием [4].

В отношении математической составляющей химических задач ситуация совершенно иная. В формулировке задания, в высокой степени насыщенного математической составляющей, скорее всего вообще отсутствуют математические термины, однако для решения этих задач требуется владение математикой на хорошем уровне. Таким образом, «математическая составляющая» – это, по сути, совокупность математических операций, необходимых для успешного решения данной химической задачи. Получается, что, предлагая абитуриенту или участнику олимпиады подобную химическую задачу, мы получаем возможность проверить и его математическую подготовку.

На основе анализа заданий конкурсных экзаменов и олимпиад по химии мы выделили перечисленные ниже основные математические навыки, необходимые для решения химических задач.

В области арифметики это:

- умение составлять и решать пропорции;
- свободное обращение с процентами и долями;
- свободное обращение и умение выполнять действия с числами в стандартной форме (например, $6.02 \cdot 10^{23}$);
- грамотное обращение с размерными величинами.

Алгебра:

- умение решать линейные и квадратные уравнения;
- умение решать системы линейных уравнений;
- владение логарифмами и показательными функциями;
- умение решать уравнения с параметрами.

Геометрия и стереометрия:

- умение вычислять площадь фигуры (прямоугольника, круга);
- умение решать планиметрические задачи (например, с вычислением длин сторон и углов треугольника);
- умение вычислять объем тела (параллелепипеда, шара, цилиндра).

Мы проанализировали большой массив химических задач письменных конкурсных вступительных испытаний с 1990 года по настоящее время (это порядка 1900 задач, см., например, книгу [5] и сборник [8]) с целью определения динамики насыщения их математической составляющей. Задачи разделяли на чисто химические, без элементов математики, и задачи, включающие математическую составляющую. Последние классифицировались по типам необходимых для решения математических операций. Оказалось, что степень насыщения комплектов заданий математическим содержанием на протяжении всего периода проведения письменного экзамена по химии в МГУ возрастала. Если в начале 1990-х г.г. на экзаменационный билет, состоявший в то время из семи задач, приходилось, как правило, две с математическим

содержанием, то в последние годы таковыми являются до половины заданий – пять из десяти. Растет и разнообразие необходимых математических операций.

Выявленные содержательные изменения в материалах вступительных экзаменов и олимпиад носят весьма позитивный характер, они отражают своеобразную естественную адаптацию системы отбора абитуриентов к реформам системы образования, а также общую тенденцию математизации химической науки.

Мы попытались выявить специфические особенности именно расчетных, включающих математическую составляющую, задач. Для этого были проанализированы результаты участников письменных вступительных экзаменов и олимпиад за последние годы путем изучения таких показателей, как выполнимость отдельных задач (отношение рассчитанного среднего балла за задачу к ее максимальной оценке), а также распределение участников по набранным баллам за каждую конкретную задачу. К сожалению, такой подход оказался неинформативным. Очевидно, требовался текстуальный анализ работ абитуриентов и участников олимпиад.

Результаты текстуального анализа работ 1085 участников олимпиады «Ломоносов» по химии 2012/2013 учебного года подтвердили наше предположение. Из 15 задач заочного тура олимпиады (сайт [6]) только пять были чисто химическими, качественными, они не включали никаких элементов математики. В качестве примера задач с химическим и математическим содержанием приведем два четырехбалльных задания этого тура и одно десятибалльное (максимальная сумма составляла 100 баллов за все 15 задач).

Задание 4.

*«Для определения содержания неорганических катионов и анионов широкое применение находят плесневые грибы *Aspergillus*, чувствительные к наличию ионов металла на уровне $5 \cdot 10^{-10}$ моль/л. Возможно ли этим методом определить наличие ионов железа в*

пробе воды с массовой долей сульфата железа (III) $10^{-7}\%$? Ответ подтвердите расчетом».

Задание 5.

«Старинную монету XVIII века диаметром 2.5 см и толщиной 1.8 мм, изготовленную из медного сплава, опустили в соляную кислоту. Монета растворилась частично. При дальнейшем полном растворении полученного остатка в концентрированной серной кислоте выделилось 2.48 л газа, объем которого был измерен при нормальном давлении и 30°C . Определите содержание (массовую долю) меди в монетном сплаве, плотность которого составляет 8.92 г/см^3 ».

Задание 12.

«Соединение элемента Э с хлором содержит 66.20% хлора по массе. Исследование строения молекулы этого соединения показало, что расстояние Э–Cl в ней равно $2.113 \cdot 10^{-10}$ м, а расстояние Cl–Cl составляет $3.450 \cdot 10^{-10}$ м. Определите состав молекулы этого соединения и ее пространственную конфигурацию. Каков тип гибридизации атома Э в данной молекуле?»

Решение задачи 4 подразумевает приведение минимальной допустимой концентрации ионов железа и рассчитанной из весовой доли сульфата железа к одним единицам с последующим их сравнением. Для этого с точки зрения математики необходимо владение навыками работы с процентами, а также навыки арифметических действий с числами в стандартной форме. Химическая сторона задачи включает знание различных способов выражения концентрации раствора, а также понимание того, что молярная концентрация ионов Fe^{3+} в растворе вдвое превышает молярную концентрацию соли $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

Эта задача оказалась достаточно непростой для участников олимпиады – ее решаемость составила 61.29%. При этом можно отметить, что в работах сильных участников, набравших высокие суммарные баллы, ошибки чаще были связаны именно с математической составляющей (более всего – с неправильными

действиями с числами в стандартной форме, что приводило к получению неверных порядков величин). Чем ниже был суммарный балл участника, тем чаще встречались химические ошибки, которые нередко сочетались с математическими. Частота химических и математических ошибок становилась примерно равной у школьников, суммарный балл которых составил 50 и ниже.

Задача 5 (ее решаемость составила 62.44%) подразумевает выполнение следующих математических операций: расчет объема цилиндрической монеты (при этом надо выполнить перевод к единым единицам измерения диаметра и толщины, т. е. высоты цилиндра), расчет массы монеты, расчет количества выделившегося оксида серы (IV) по уравнению Клапейрона-Менделеева, расчет массы и массовой доли меди в монетном сплаве. Анализ работ участников олимпиады выявил, что эта задача хорошо и практически без ошибок была решена набравшими суммарный балл от 50 и выше. У менее успешных школьников значительная доля ошибок оказалась связана именно с химическим содержанием задачи (учетом неправильной реакции меди с соляной кислотой или выделения водорода в реакции меди с концентрированной серной кислотой; кроме того, указанный в задаче объем газа школьники часто воспринимали как заданный при нормальных условиях – это наиболее часто встречающаяся ошибка). Математические ошибки проявились в работах слабых участников, они были обусловлены, как правило, невнимательностью к единицам измерения (грамотное использование которых зачастую определяет успех решения химических задач) и неверным расчетом объема цилиндра (для вычисления площади окружности использовалась формула площади прямоугольника или длины окружности, перепутаны диаметр и радиус). Также участниками допускались и чисто арифметические погрешности (ошибки при округлении, в расчете процентного содержания меди).

Задача 12 (с решаемостью 49.71%) недаром располагалась в конце комплекта. Решение данной задачи требовало определить неизвестный элемент по данной в условии массовой доле хлора (по

сути, это *задача с параметром*, которым является неизвестная валентность элемента). Затем по межатомным расстояниям нужно было определить валентный угол и на этом основании сделать вывод о гибридизации элемента и о пространственной конфигурации молекулы. Для этого школьники должны были рассмотреть треугольник и применить теорему косинусов для нахождения угла (возможно и альтернативное решение геометрической части задачи на основе рассмотрения прямоугольных треугольников). Химическое содержание задачи исчерпывалось знаниями атомных масс и валентностей элементов, а также знакомством с гибридизацией орбиталей.

Двенадцатая задача оказалась практически недоступной для участников с суммарным баллом ниже 50, с другой стороны, ее полностью решили школьники с самыми высокими баллами (больше 80). Многие участники потеряли баллы в этой задаче потому, что вообще не подтвердили свои, даже правильные, выводы расчетом валентного угла. В основном ошибки были связаны с неправильным выбором элемента (вместо необходимого германия – сера, хлор, фтор, марганец, медь и другие), что свидетельствует как об арифметических ошибках в расчете атомной массы, так и о незнании возможных валентностей этих элементов. Единственный правдоподобный альтернативный вариант ответа – гипотетическая молекула ICl_7 – не удовлетворяет условию, так как в этой молекуле имеется несколько различных расстояний $\text{Cl}-\text{Cl}$. Самой трудной оказалась геометрическая составляющая задачи: немногим удалось правильно применить теорему косинусов.

Отметим, что на решение задач заочного тура олимпиады школьники имели почти три месяца, и использование посторонней помощи и справочных материалов никак не ограничивалось. И, тем не менее, при проверке работ жюри олимпиады выявило многочисленные ошибки.

В задании очного финального тура олимпиады «Ломоносов» (март 2013 г. – Москва, Барнаул, Брянск, Уфа) шесть заданий из десяти

содержат математическую составляющую. В качестве примера приведем условие десятибалльного задания 6 [6].

«В стеклянную трубку поместили навеску хлорида аммония массой 3 г, затем трубку закрепили наклонно и нагрели. Газы, выходящие из нижнего и из верхнего концов трубки, пропустили через дистиллированную воду. Объем воды в первом случае составил 250 мл, во втором – 1 л. Рассчитайте рН полученных растворов, если $K_{дис}(NH_4OH) = 2 \cdot 10^{-5}$ ».

Решение данной задачи предполагает уверенные знания свойств логарифмов, навыки работы с числами в стандартном виде и умение решать квадратные уравнения.

Математическое содержание заданий химических олимпиад и вступительных испытаний, кроме контролирующей, выполняет еще одну функцию – оно призвано подготовить интересующихся химией школьников к тому, что серьезное занятие химической наукой часто требует хорошего владения математикой. Математика является полезным, а очень часто и необходимым инструментом для решения многих химических проблем [1, 7]. Приложения математики к химии обширны и разнообразны; с ростом компьютерных возможностей в современной химии бурно развиваются методы математического моделирования как строения сложных молекул, так и реакций, что, например, открывает дорогу к пониманию многих сложнейших биохимических процессов.

Мы считаем необходимым постоянно контролировать уровень математической подготовки наших абитуриентов и учитывать его при составлении комплектов конкурсных задач, корректируя насыщенность материалов университетских химических олимпиад и вступительных экзаменов математическим содержанием. В заключение отметим, что коллеги-биологи придерживаются аналогичных позиций в отношении химического содержания конкурсных и олимпиадных заданий по биологии – см. статью А.А. Каменского и П.А. Каменского в настоящем сборнике.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Козко А.И., Соболева Е.С., Субботин А.В. и др.* Математические методы решения химических задач / Под ред. А.И. Козко. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 368 с. – (Университетский учебник. Сер. Высшая математика и ее приложения к химии).
2. *Ашкинази Л.А., Гришкина М.П., Чернацкий С.Г.* ЕГЭ по математике, физике и информатике: откуда взялись и куда ведут. В сб.: Естественнонаучное образование: взаимодействие средней и высшей школы / Под ред. В.В. Лунина и Н.Е. Кузьменко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012, с. 175 – 183.
3. *Григорьев А.Н., Демидова Е.Д.* Первый семестр – важнейший этап адаптации студента. В сб.: Естественнонаучное образование: взаимодействие средней и высшей школы / Под ред. В.В. Лунина и Н.Е. Кузьменко. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2012, с. 220 – 226.
4. *Кузьменко Н.Е., Осин С.Б., Пичугина Д.А., Рыжова О.Н.* Физическая химия в семинарских занятиях. Пособие для студентов II курса биологического факультета. – М.: Химический ф-т МГУ, Часть I. 2011. – 150 с.; Часть II. 2012. – 122 с.
5. *Кузьменко Н.Е., Теренин В.И., Рыжова О.Н. и др.* Вступительные экзамены и олимпиады по химии: опыт Московского университета / Под ред. Н.Е. Кузьменко, О.Н. Рыжовой, В.И. Теренина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2011, 624 с.
6. www.msu.ru/entrance/olimp.html
7. *Еремин В.В.* Теоретическая и математическая химия для школьников. Подготовка к химическим олимпиадам. – М.: МЦНМО, 2007. – 352 с.
8. *Кузьменко Н.Е., Теренин В.И., Рыжова О.Н. и др.* Олимпиады и вступительные испытания по химии в Московском университете: 2012 / Под ред. Н.Е. Кузьменко и В.И. Теренина. – М.: Химический ф-т МГУ, 2012. – 96 с.