

МЕЖПРЕДМЕТНОЕ СОДЕРЖАНИЕ КОНКУРСНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

Рыжова О.Н., Белевцова Е.А., Кочергина И.Ю.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

Вплоть до нулевых годов нашего века, по правилам приёма в Московский университет, абитуриенты должны были преодолеть несколько вступительных экзаменов, перечень которых определялся профилем факультета. Для химического факультета МГУ это были математика, русский язык и литература (сочинение), физика и химия. На одном из смежных естественных факультетов, биологическом, поступающие сдавали математику, сочинение, химию и биологию. Экзамены по математике на естественных факультетах всегда были достаточно сложными, к ним будущие абитуриенты очень тщательно готовились. То же самое можно сказать об экзамене по непрофильному естественнонаучному предмету (о физике на химическом или химии на биологическом факультетах) – это были сложные вступительные испытания, поэтому будущие биологи и химики посвящали соответствующим дисциплинам достаточно времени и внимания при подготовке.

Сейчас, в соответствии с Законом об образовании, отбор абитуриентов в отечественные вузы осуществляется не по результатам вступительных испытаний, а на основе суммы баллов ЕГЭ поступающего. При этом Московскому университету в порядке исключения дано право проводить один дополнительный внутренний экзамен, баллы за который суммируются с баллами ЕГЭ абитуриента. Таким образом, подавая документы на химический факультет МГУ, поступающий

предоставляет свои баллы ЕГЭ по химии, математике (профильного уровня), физике и русскому языку, и затем участвует в дополнительном письменном вступительном испытании по химии, которое проводится летом в МГУ. Точно так же абитуриенты биологического факультета, предоставив в приёмную комиссию свои баллы ЕГЭ по математике, русскому языку, химии и биологии, проходят дополнительное вступительное испытание по биологии. Для поступающих на химический факультет МГУ дополнительные испытания по физике и математике в стенах университета не предусмотрены, не предусмотрены и дополнительные испытания по химии, физике и математике для будущих биологов. Заметим, что для абитуриентов биологического факультета ЕГЭ по физике, в отличие от математики и химии, даже не входит в обязательный для поступления набор.

Не секрет, что в последние десятилетия имеет место ежегодное снижение уровня знаний по физике и математике у студентов, зачисляемых на первый курс химического факультета [1]. Аналогичную картину в отношении уровня подготовки по химии у поступивших на первый курс уже давно отмечают и бьют тревогу по этому поводу на биологическом факультете [2]. Студенты-химики начинают испытывать затруднения при изучении химических дисциплин, требующих хорошей физико-математической базы (например, квантовой механики и физической химии). А многие студенты биологического факультета, в учебной программе которого химические дисциплины занимают достаточно много времени, да и физика представлена солидным двухсеместровым курсом с семинарскими занятиями и практикумом [3], осваивают данные предметы с трудом. Корень проблемы лежит в уровне базовой школьной подготовки по соответствующим предметам, который или вообще не проверяется при поступлении (как физика у биологов), или проверяется только посредством ЕГЭ, что оказывается недостаточным и не вполне адекватно целям отбора в университет, студенты которого должны получить фундаментальное естественнонаучное высшее образование [1]. Таким образом, при отсутствии дополнительных вступительных испытаний по математике

и физике на химическом факультете (равно как и дополнительных испытаний по математике, химии и физике на биологическом), налицо потребность оценить реальный уровень знаний абитуриента.

Одна из возможностей косвенной проверки математической и физической подготовленности абитуриентов университета – это насыщение химических задач вступительных экзаменов элементами математического и физического содержания. Есть и ещё одна возможность – предметные олимпиады школьников, организуемые и проводимые Московским университетом. Вузовские олимпиады, такие как «Ломоносов» или «Покори Воробьёвы горы!», прочно заняли место в отечественном олимпиадном движении [4], во многом благодаря им МГУ и другие вузы ежегодно успешно проводят набор на первый курс, заблаговременно обеспечивая себе достойный контингент абитуриентов. Поэтому межпредметное содержание задач олимпиады школьников «Ломоносов» по химии, в которой принимают участие не только будущие химики, но также и биологи с медиками, тоже явилось объектом нашего внимания. Далее мы объединим задачи конкурсных вступительных экзаменов и задачи олимпиад «Ломоносов» и «Покори Воробьёвы горы!» по химии под общим названием «конкурсные химические задачи».

Начиная с 1990 г., когда вступительный экзамен по химии в МГУ стал проводиться в письменной форме, все экзаменационные задания и их решения издаются в виде небольших ежегодных брошюр и, по мере накопления материала, в виде сборников, охватывающих периоды в несколько лет (например, последний изданный сборник [5]). В этих же сборниках опубликованы материалы химических олимпиад МГУ. Мы выполнили анализ всего имеющегося массива опубликованных конкурсных химических задач и их решений (а их накопилось уже почти три тысячи): отобрали задания, включающие элементы содержания из другой предметной области, исключили повторяющиеся задачи и затем отсортировали задачи в соответствии с предметом, знание которого необходимо для их решения.

Интересно, что межпредметная составляющая совсем не обязательно очевидна и чётко прослеживается в тексте задачи. Иногда это инопредметное содержание бывает скрыто, и чаще всего так происходит с математической составляющей – в формулировке задачи отсутствуют математические термины, однако её решение требует хорошо развитых математических навыков. С другой стороны, часто межпредметные связи очень явно прослеживаются в формулировке задачи, но не всегда этот инопредметный компонент необходим для её решения. Авторы задач зачастую вводят информацию из другой предметной области исключительно с декоративной целью: чтобы украсить задачу и сделать её интересной и привлекательной для возможно более широкого круга школьников и абитуриентов. В качестве примера приведём задачу университетского вступительного экзамена по химии.

3-Пиридинкарбоновая кислота (витамин РР) используется в качестве противоникотинного средства. Изобразите структурную формулу витамина РР и запишите уравнения двух реакций, характеризующих его химические свойства. Рассчитайте число атомов азота, поступающих в организм больного с суточной дозой препарата (20 мг).

Несмотря на то, что в тексте присутствуют биологические и медицинские термины, знания из области биологии для успешного решения не нужны, просто составитель задачи постарался сделать её максимально привлекательной для абитуриентов медицинского факультета МГУ, участвовавших в экзамене. Ещё один пример подобной задачи.

Один из нейротоксинов яда скорпиона – белок, состоящий из 64 аминокислотных остатков. После полного гидролиза 50,00 г 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 нём.

Очевидно, что информация про нейротоксины и ядовитого скорпиона – элемент украшения, и решается эта задача чисто химическими (и математическими) методами.

Совсем иная ситуация наблюдается в случае задач с физической составляющей – здесь физические термины обязательно присутствуют в формулировках заданий, и знание физики для их решения обязательно. Конкурсные задачи с физической составляющей оказались очень интересным объектом для исследования [6], поскольку программы вступительных испытаний по химии [7] и физике [8] в МГУ имеют некоторые пересечения. Анализ программ выявил четыре таких раздела: газовые законы, строение атома и атомного ядра, радиоактивность и законы электролиза Фарадея. Мы обнаружили множество конкурсных химических задач, посвящённых именно этим общим темам (табл. 1). Если абитуриенту или участнику олимпиады попадает в билете такая задача, он опознаёт физическую составляющую как часть программы по химии, её решение не требует от него каких-то специальных физических знаний, и не вызывает дискомфорта.

Таблица 1

Число конкурсных химических задач, посвящённых общим разделам программ для поступающих в МГУ по химии и физике

Раздел программы по физике	Число задач
Газовые законы	96
Строение атома и атомного ядра	20
Радиоактивность	12
Законы электролиза Фарадея	23
Всего	151

Дальнейший анализ показал, что среди конкурсных химических задач можно встретить и включающие физическую составляющую за рамками общих для программ вступительных испытаний по химии и по физике тем. Очевидно, что в большинстве случаев это олимпиадные задачи, но и среди экзаменационных заданий мы нашли несколько таких примеров. В табл. 2 перечислены разделы программы по физике, к которым относились обнаруженные задачи, и приведено их число.

Таблица 2

Число конкурсных химических задач, содержащих физическую составляющую за рамками общих разделов программ для поступающих в МГУ по химии и физике

Раздел программы по физике	Число задач
Теплоёмкость, уравнение теплового баланса	3
Электрический ток, параллельное и последовательное соединения	2
Мощность, работа, коэффициент полезного действия	1
Уравнение Эйнштейна, дефект массы	2
Закон Архимеда, механическое равновесие	1
Всего	9

Проиллюстрируем этот тип двумя задачами олимпиады «Ломоносов». Первая включает расчёт дефекта массы.

Рассчитайте относительную атомную массу изотопа ^{86}Kr . В расчётах используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона составляют 1,00866, 1,00728 и 0,0005486 а. е. м. соответственно; 1 а. е. м. = $1,66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядра ^{86}Kr из нуклонов равна $7,237928 \cdot 10^{13}$ Дж/моль.

Вторая задача на механическое равновесие требует знания закона Архимеда.

Шар радиусом 15 см, заполненный смесью двух газов, при нормальных условиях завис на некоторой высоте. Оболочка шара сделана из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $1,65 \cdot 10^{-2}$ кг. Парциальное давление одного из газов смеси равно 20265 Па, этот газ в 6,5 раз легче другого. Плотность воздуха на высоте зависания шара составляет $1,2946 \text{ кг/м}^3$. Определите неизвестные газы.

На рис. 1 схематично отображена типология конкурсных химических задач с межпредметным содержанием.



Рис. 1. Типология конкурсных химических задач с межпредметным содержанием

Наши коллеги-биологи также используют межпредметное содержание конкурсных задач по биологии, чтобы проверить уровень подготовки абитуриентов и участников биологических олимпиад по химии и математике. Чтобы убедиться в этом, достаточно проанализировать опубликованные конкурсные задачи по биологии [9]. Ниже приведён пример олимпиадной задачи, в высокой степени насыщенной химическим содержанием.

У растений при превращении липидов (растительного масла) в глюкозу, необходимую для образования клеточной стенки, теряется примерно 25% атомов углерода. При использовании крахмала такие потери не возникают. Тем не менее, многие растения используют липиды в качестве запасных веществ в разных частях семени. Какие преимущества может дать использование липидов в качестве запасных веществ (по сравнению с крахмалом)? Какие недостатки есть у липидов как запасных веществ семян?

В биологических задачах нередко можно встретить и физическую составляющую (вспомним, что физика не входит в перечень необхо-

димых испытаний при поступлении на биологический факультет). В качестве примера приведём задачу биологической олимпиады «Ломоносов», для решения которой требуется знание закона Ома и понятия мощность.

Напряжение разряда африканского электрического сома *Malapterurus electricus* во время охоты на мелких рыб, составляет 350 В. Мощность разряда равна 140 Вт. Рассчитайте силу тока и полное сопротивление в результирующей электрической цепи.

Межпредметная составляющая конкурсных химических задач приобретает особую актуальность в связи с некоторым изменением в правилах приёма на химический факультет МГУ. Начиная с 2022 года, абитуриенты факультета вместо баллов ЕГЭ по физике смогут предоставлять свои результаты по биологии. Это решение было принято с целью расширения круга возможных абитуриентов и повышения конкурса на химический факультет. Понятно, что таких поступающих будет немного, и с большой вероятностью они будут участниками вузовских химических олимпиад высокого уровня из числа победителей и призёров, имеющих преимущества при зачислении на химический факультет. Представляется очень важным, чтобы именно такие абитуриенты сталкивались на олимпиадах с химическими задачами, насыщенными математическим и физическим содержанием, и успешно справлялись с ними – это поможет им в дальнейшем успешно обучаться на химическом факультете.

В завершение, сформулируем функции математической, физической и вообще – инопредметных составляющих конкурсных химических задач. Первая и самая очевидная из них – проверка знаний. Например, предлагая абитуриенту или участнику олимпиады химическую задачу, насыщенную элементами математики, мы можем косвенно оценить уровень его математической подготовки в условиях отсутствия вступительного экзамена по математике. Таким образом, конкурсные химические задачи, имеющие инопредметную составляющую, становятся важным инструментом при отборе студенческого контингента.

Другая важная функция инопредметного компонента конкурсных задач – иллюстрация необходимости хорошей естественнонаучной подготовки не только для успешного обучения в вузе, но и в будущей профессиональной деятельности химика. Готовясь к олимпиадам или вступительным экзаменам по химии, школьники знакомятся с опубликованными задачами прошедших испытаний, в высокой степени насыщенными математической и физической составляющей, что демонстрирует неразрывную связь между этими науками уже не на школьном, а на гораздо более высоком уровне. Не секрет, что наличие в программе обучения на химическом факультете больших объёмов математики и физики оказывается для многих первокурсников неприятной неожиданностью. Однако неоспоримым фактом является то, что развитие современной химической науки невозможно без вычислительной математики и математического моделирования [10].

Отметим и ещё одну функцию математического и физического компонента химических задач – возможность усиления мотивации к изучению химии у школьников, уже проявляющих устойчивый, сформировавшийся интерес к математике и физике. Известно, что учащиеся способны потерять мотивацию к изучению химии из-за трудностей, вызванных пробелами в математике и физике. Однако вполне возможна ситуация, когда для школьников, ориентированных на углублённое изучение этих предметов, не привлекательна химия и химические задачи. В таком случае можно использовать имеющийся у учащихся запас математических или физических знаний для увеличения мотивации к освоению химии, предлагая школьникам интересные расчётные химические задачи. И здесь очень уместно будет использовать конкурсные химические задачи с физическим и математическим компонентом.

Вообще надо отметить, что конкурсные задачи, задачи химических олимпиад и вступительных экзаменов несут большой обучающий потенциал. Каждая такая конкурсная задача «проживает» две жизни. Во-первых, она «работает» на экзамене или на олимпиаде, реализуя свою основную функцию – отбор достойного студенческого

контингента. Затем, после публикации в сборниках и пособиях, задача сполна реализует остальные свои функции, служа обучению, подготовке и мотивации многих поколений старшеклассников.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Рыжова О.Н., Белевцова Е.А., Кочергина И.Ю.* Вступительные испытания по химии в МГУ // *Естественнонаучное образование: проблемы аттестации химиков. Методический ежегодник химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.* – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2021. Т. 17. – С. 134–145.
2. *Каменский А.А., Каменский П.А.* Подготовка абитуриентов по химии и обучение на биологическом факультете МГУ // *Естественнонаучное образование: вызовы и перспективы.* – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2013. – С. 152–160.
3. Учебные планы и график учебного процесса биологического факультета МГУ. – URL: <https://www.bio.msu.ru/doc/index.php?ID=135>
4. *Рыжова О.Н., Кузьменко Н.Е.* Особенности современного российского высшего образования и роль в нем федеральных предметных олимпиад школьников. *Рос. хим. ж. (Ж. Рос. Хим. об-ва им. Д.И. Менделеева)*, 2011, т. LV, № 5-6. – С. 62–67.
5. *Кузьменко Н.Е., Рыжова О.Н., Теренин В.И и др.* Олимпиады и конкурсные экзамены по химии в МГУ. – М.: Лаборатория знаний, 2019.
6. *Oxana Ryzhova, Elizaveta Belevtsova, Irina Kryazheva, Nikolay Kuz'menko.* Interdisciplinary links between Chemistry and Physics in the tasks of entrance exams and Olympiads in Chemistry. In: *Research in Didactics of Science PLUS (DidSci+), Proceedings of the International Conference, Prague, Charles University, June 25–27, 2018*, p. 351–356.
7. Программа по химии для поступающих в Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова – URL: <https://www.msu.ru/entrance/program/chem.html>
8. Программа по физике для поступающих в московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. – URL: <https://www.msu.ru/entrance/program/phys.html> (Дата доступа 10.04.2022)
9. Олимпиада школьников «Ломоносов». Учебно-методическое пособие. – URL: https://olymp.msu.ru/file/static/mainpage/29/Lomonosov_Olympiade.pdf
10. *Ерёмин В.В.* Теоретическая и математическая химия. 4-е изд. – М.: МЦНМО, 2019.