

НОВЫЕ НАУЧНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ И ОТКРЫТИЯ ПО ХИМИИ НА ШКОЛЬНОМ УРОВНЕ – БАЗОВОМ И УГЛУБЛЁННОМ

¹Ерёмин В.В., ²Евсюков А.И., ^{1,3}Гладилин А.К.

Химический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова;

*2. Санкт-Петербургский Губернаторский физико-математический
лицей № 30;*

3. Университетская Гимназия МГУ имени М.В. Ломоносова

DOI 10.55959/MSU012444-6-2026-22-178-194

Первая встреча с химией у всех происходит по-разному. Одним попался удачный ролик в интернете, другие наткнулись на хорошую книжку с красивыми картинками, кого-то смогли заинтересовать своими рассказами родители или друзья, самым везучим достался хороший школьный учитель. У одного из авторов статьи путь в химию начался со школьного учебника. Он оказался простым, понятным и интересным, смог зацепить с первых параграфов. У большинства людей отношение к химии определяется школой – учебником и учителем. Как минимум что-то одно из этого должно быть хорошим, тогда возникнет не только интерес к химии, но и сформируется правильное понимание её места в жизни людей.

Предмет нашего рассказа – школьные учебники по химии, их современное состояние в нашей стране и, самое интересное, взаимодействие школы с профессиональной наукой.

1. Единые школьные учебники в России

Россия постепенно переходит к единым школьным учебникам. История идёт по спирали, страна возвращается к практике, которая

впервые была реализована в Советском Союзе в начале 1930-х годов. В 1933 году вышло постановление ЦК ВКП (б) «Об учебниках для начальной и средней школы», которым устанавливались единые, «стабильные» учебники, рассчитанные на длительное применение и удовлетворяющие требованиям науки по всем школьным предметам. Было решено, что по каждому предмету должен существовать единый обязательный учебник, утверждаемый Наркомпросом РСФСР. К составлению учебников были привлечены учёные, методисты, опытные школьные учителя.

После распада СССР система единых учебников была упразднена, и в 1990-е годы был взят курс на вариативность образования. В федеральный перечень учебников входило множество пособий различных авторов и издательств. Школы получили право самостоятельно выбирать учебники из утвержденного списка. Постепенно перечень сужался и в конце концов в нём осталось всего несколько учебно-методических комплектов, достаточно сильно отличающихся друг от друга по стилю, содержанию, логике и последовательности изучения материала.

Новый этап унификации учебников стартовал в 2022 году по прямому поручению Президента России. В декабре 2022 года было принято решение о создании единой линейки учебников истории. Этот школьный предмет идеологически особенно важен для государства, потому что единое понимание прошлого помогает прививать детям патриотизм, уважение к традиционным ценностям и к государственным институтам. Уже через год – в 2023 году во все школы поступили новые учебники для 10-х и 11-х классов, затем появились учебники для 5–9-х классов, в настоящее время идёт их апробация. За историей последовало обществознание как ещё один предмет идеологической направленности, потом пришёл черёд математики и естественнонаучных предметов. С 2025 года ведётся работа над учебниками по химии для 10–11 классов.

Что это даёт школе? Главное – это единое образовательное пространство по всей стране. Общими по всей стране будут не только

учебники, но и стандарты, федеральная образовательная программа, федеральная рабочая программа и даже поурочное планирование. Вариативность на базовом уровне исключена. Про углублённый уровень пока чёткого понимания нет, вопрос остаётся открытым. Но здесь вариативность очень желательна, потому что разнообразие идей и подходов необходимо для развития науки.

Какие требования предъявляют к единым учебникам базового уровня? Их довольно много, и некоторые из них могут показаться взаимно исключающими друг друга. Обсудим их в порядке уменьшения приоритета.

1) Правильное мировоззрение. В применении к химии это означает, что должны быть отражены, в первую очередь, достижения российских учёных. Везде, где это можно, необходимо отразить лидерство России – в технологиях, развитии химической и нефтехимической промышленности, энергетики.

2) Точное соответствие образовательному стандарту и другим нормативным документам. Стандарт – это закон, который нельзя нарушать.

3) Простота, доступность, наглядность, краткость (один параграф – один урок), хорошее оформление.

4) Учебник должен быть интересным, актуальным и соответствовать современному состоянию химической науки.

Последнее требование и является предметом нашего обсуждения.

2. Новый федеральный стандарт среднего образования

Все школьные учебники должны полностью соответствовать нормативным документам, определяющим цели, задачи и содержание среднего образования, в том числе и химического. Главный документ – федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования (ФГОС СОО). В готовом, но ещё не утверждённом (по состоянию на апрель 2026 г.) проекте нового ФГОС записаны отдельные требования к освоению базового и углублённого курсов химии. Базовый курс должен формировать представления

о роли химии в решении практических задач в химической промышленности, энергетике, медицине, создании новых материалов и технологий. На углублённом уровне дополнительно должна быть сформирована мотивация к будущей профессиональной деятельности по специальностям, связанным с химией.

Именно в этих общих требованиях заложена необходимость учёта современного состояния химической науки. Мир не стоит на месте, вместе с ним меняются и задачи, которые решаются на переднем крае науки. Новые практические задачи должны быть отражены в базовом школьном курсе химии, а новые фундаментальные направления и открытия должны влиять на профессиональную ориентацию учащихся в сторону химии.

Сформулировав общие задачи школьного курса химии, далее ФГОС СОО описывает систему химических знаний и умений, которыми должен владеть учащийся в результате освоения курса. Здесь нет никаких новаций ни на базовом, ни на углублённом уровне. Перечислены классические теории химии – от атомно-молекулярной до теории электронного строения органических соединений, упомянуты все отечественные классики – М.В. Ломоносов, Д.И. Менделеев, А.М. Бутлеров. Набор основополагающих химических понятий не превышает того, что было ещё в советских учебниках химии. Но здесь подчеркнём, что это – лишь абсолютный необходимый минимум, то, что должно входить в любой учебник. Стандарт не запрещает обсуждения новых теорий, направлений и понятий.

На основе федерального стандарта создаётся федеральная рабочая программа (ФРП) по каждому уровню – базовому и углублённому. Это – более конкретный, но тоже обязательный документ, который устанавливает содержание обучения в каждом классе и на каждом уровне. В обсуждаемых сейчас химическим сообществом ФРП для 10–11 классов нет новых научных направлений и понятий, вместо этого есть общие слова об «уважении к процессу творчества в области теоретических и прикладных исследований в химии, формировании мировоззрения, соответствующего современному уровню развития

науки, развитии мотивации к обучению и познанию, ... развитию познавательных интересов, интеллектуальных и творческих способностей». Программы 10–11 классов будут утверждены, вероятно, в 2026 году. Глубоких изменений по результатам обсуждения не ожидается.

Таким образом, главные нормативные документы в области школьного химического образования допускают изучение в школьных курсах современных химических направлений и понятий, но не требуют этого в обязательном порядке. Их предметно-содержательный уровень не превосходит уровня советского доперестроечного химического образования.

3. Новые научные направления и открытия в школьных учебниках

Обсуждение научных достижений последних десятилетий в школьных учебниках химии – сложный и проблемный вопрос. Совсем не любое современное открытие оказывается пригодным для этого. Все открытия можно условно разделить на две большие группы:

- 1) Доступные для понимания школьнику после некоторого краткого объяснения.
- 2) Требующие для понимания большого объёма специальных знаний.

К первой группе относятся получение фуллеренов и графена, литий-ионные аккумуляторы, молекулярные машины, проводящие полимеры, метод ПЦР (хорошо подходит для химико-биологического профиля), металл-органические каркасы (МОФ), квантовые точки, в какой-то мере – клик-химия, синтезы сверхтяжелых элементов, хемосенсоры. Во вторую группу можно смело отнести почти все работы, посвящённые редактированию генов и структурам белков.

Помимо доступности для понимания школьником и учителем важным оказывается и место того или иного открытия в современном мире: какие-то из них имеют сугубо фундаментальное значение,

а другие нашли важное практическое применение и тем самым оказываются значительно понятнее школьникам и учителям.

С позиции учителя использование современной химии в качестве учебного материала может преследовать следующие основные цели:

- повышение мотивации к изучению предмета через рассказы об учёных и их достижениях, обсуждение последних Нобелевских премий;

- развитие творческого потенциала учеников посредством проведения учебных игр на базе подобного материала, решения кейсовых задач, основанных на использовании современных научных достижений;

- использование открытий, особенно имеющих ярко выраженное прикладное значение, в качестве инструмента профориентации;

- проведение демонстрационного эксперимента, наглядно показывающего явления и эффекты современной науки;

- использование некоторых доступных для школьника достижений современной науки в качестве материала для выполнения лабораторных работ и школьных научных проектов (об этом – в заключительной части).

Разумеется, в учебниках базового и профильного уровня целесообразно делать акцент на разные открытия. На базовом уровне более правильным представляется обсуждение достижений науки, которые имеют прикладное значение, уже воплотившееся в конкретных технических устройствах, новых материалах и т. п. При обсуждении таких научных достижений имеет смысл давать учащимся краткое теоретическое введение в суть вопроса и предлагать обширный материал, в том числе, в виде изображений, схем, инфографики, посвященный использованию открытия для повышения качества жизни. На углублённом уровне уместно обсуждать открытия, имеющие фундаментальное значение, но доступные для понимания школьником.

Рассмотрим подробнее некоторые научные достижения, которые можно предложить для освещения в школьных учебниках.

Металл-органические каркасы (metal-organic frameworks, MOF) – это группа современных материалов, которые состоят из ионов металлов, соединённых между собой органическими мостиками (линкерами) [1, 2].

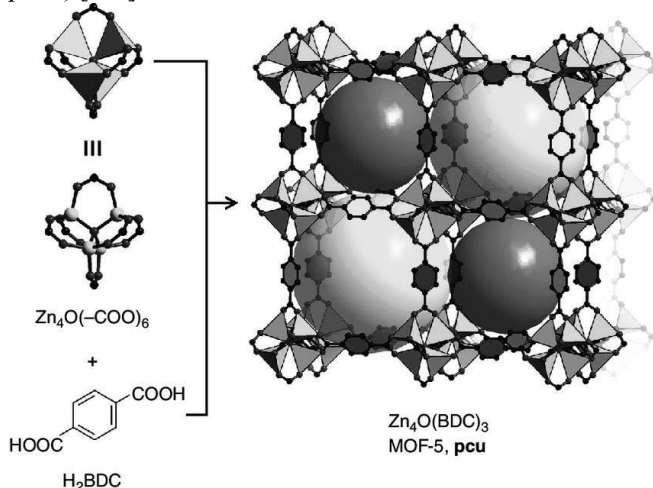


Рис. 1. Кристаллическая структура MOF-5 [2]. Кластеры $\text{Zn}_4\text{O}(\text{COO})_6$ соединены остатками терефталевой кислоты. Шары изображают пустоты в структуре (большие пустоты имеют диаметр 15.1 Å, маленькие – 11.0 Å)

Можно представить себе, что структура MOF – это своеобразная «кристаллическая решётка», где на месте узлов располагаются частицы металлов, а роль связей играют органические фрагменты. Как и в любой кристаллической решётке, в MOF есть поры (рис. 1), причём эти поры в каждом MOF строго определённого размера, и химики-синтики могут управлять этим размером, изменяя органические мостики. Пористость и огромная внутренняя площадь поверхности – главные особенности MOF. Благодаря этому такие материалы могут использоваться в качестве носителей для хранения газов (метана, водорода и т. п.) и применяться в топливных элементах. Более того, MOF способны избирательно сорбировать газы и пары из смесей сложного состава, содержащих совсем небольшие количества нужно-

го компонента – стоит только подобрать размер пор таким образом, чтобы он подходил для молекул нужного вещества. Подобный эффект можно использовать и для очистки промышленных выбросов, и для улавливания ничтожных количеств воды из воздуха в пустыне.

Интересно применение MOF для синтеза наночастиц металлов строго определённого размера: подбирается MOF с необходимым размером пор, пропитывается раствором соединения металла, затем прямо в порах MOF проводится реакция восстановления металла, в результате которой образуются наночастицы одинакового и строго определённого размера.

Литий-ионные аккумуляторы наверняка есть у каждого ученика в смартфоне или ноутбуке. Даже школьникам, изучающим базовый школьный курс, вполне доступно понимание принципа работы такого источника тока [3, 4]. Литий-ионный аккумулятор состоит из: 1) анода, как правило, графитового, в который внедрены атомы лития, 2) катода, изготовленного из различных неорганических материалов (кобальтита лития LiCoO_2 , феррофосфата лития LiFePO_4 , манганита лития LiMn_2O_4 и т. д.), и 3) электролита – обычно раствора гексафторфосфата лития LiPF_6 в органических эфирах угольной кислоты, хотя есть и аккумуляторы с загущёнными и полимерными электролитами. Принцип работы такого устройства достаточно прост: в заряженном состоянии все атомы лития внедрены в структуру графита (анода), в процессе разрядки аккумулятора литий в виде катионов Li^+ мигрирует на катод, а освободившиеся электроны совершают полезную работу в электрической цепи (рис. 2). При зарядке происходит обратный процесс: под действием внешнего источника тока ионы лития Li^+ перемещаются к графитовому электроду (играющему теперь роль катода), где и восстанавливаются до металла Li под действием электронов из электрической цепи.

Стоит отметить, что из-за редкости и дороговизны лития уже разработаны [5] и имеются в продаже натрий-ионные аккумуляторы.

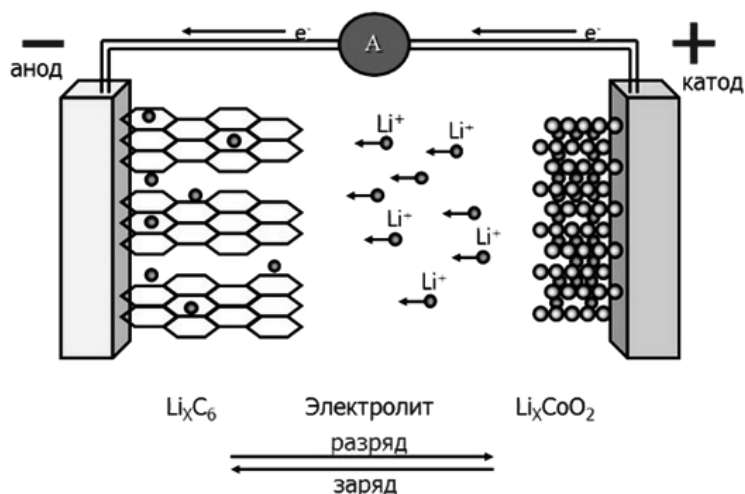


Рис. 2. Принцип работы литий-ионного аккумулятора с графитовым анодом и литий-кобальтовым катодом

Полимеразная цепная реакция (ПЦР). Во времена пандемии COVID-19 каждый не раз сдавал ПЦР-тест. На уроках в конце 10-го класса вполне уместно обсудить со школьниками принцип работы ПЦР-теста и попутно построить межпредметные связи с курсом биологии.

Полимеразная цепная реакция – уникальный метод, позволяющий обнаруживать ультрамалые (вплоть до единичных молекул) количества определённых ДНК [6]. Молекула ДНК хранит в себе огромное количество генетической информации, словно библиотека с книгами. Образно выражаясь, ПЦР позволяет найти в этой библиотеке нужную страницу в конкретной книге и отсканировать её гигантским тиражом всего за несколько часов. Процесс происходит в несколько стадий (рис. 3).

1. При нагревании почти до 100°C водородные связи между цепями ДНК рвутся, образуя отдельные нити – происходит денатурация.

2. При помощи праймеров (коротких олигонуклеотидов), комплементарных искомому фрагменту ДНК, помечается участок цепи ДНК, который будет копироваться.
3. Фермент ДНК-полимераза копирует выделенный праймерами участок – таким образом из одного фрагмента искомой ДНК получается два. Процесс повторяется снова и снова – количество копий искомого фрагмента быстро растет, удваиваясь после каждого цикла, и через 3–50 циклов достигает порога, который можно зафиксировать инструментальными методами анализа.

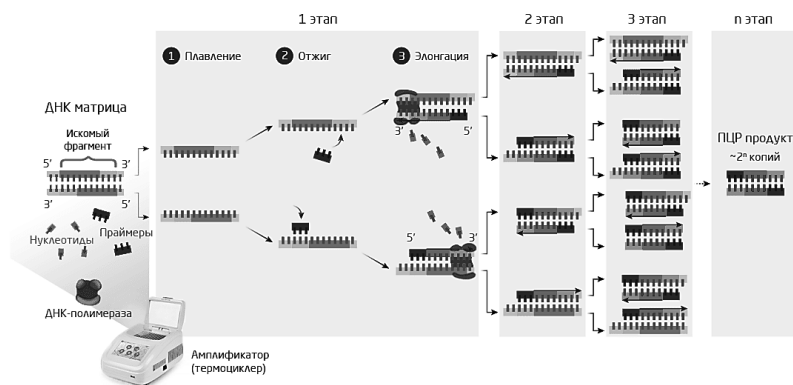


Рис. 3. Общая схема ПЦР. Необходимые компоненты помещаются в амплификатор, где в результате многократного повторения трех этапов реакции происходит увеличение числа искомых фрагментов ДНК [7]

Помимо колоссальной чувствительности, к достоинствам ПЦР можно отнести высокую скорость анализа. Метод ПЦР используется не только при ранней диагностике заболеваний, но и в криминалистике, тестах при определении родства, генетических исследованиях.

Среди других возможных современных тем для обсуждения в школах можно упомянуть необычные материалы (графен, аэрогели, «умные» материалы, фотокатализаторы), солнечные батареи, металлоорганический катализ, применение нейросетей для конструирования

ния белков, магнитные жидкости, фотохромные и термохромные соединения, материалы для создания светодиодов.

Разумеется, всех этих открытий и достижений химии нет в школьной программе – ни во ФГОС, ни в ФРП, ни в тематическом планировании. Школьная программа очень консервативна, особенно на базовом уровне. Достаточно сказать, что Периодический закон прочно вошёл в школьные учебники в нашей стране только через 60 с лишним лет после открытия – в 1930-х годах. Другой пример: современными представлениями об электронном строении атома в школьных учебниках называют орбитальную модель, которая была сформулирована Нильсом Бором более 100 лет назад, на заре квантовой механики.

Связь с современной научной жизнью школьная химия поддерживает через специальные рубрики в учебниках, дополнительные материалы в виде ссылок (в том числе QR-кодов) на научно-популярные ресурсы, а также через внеурочную деятельность. Наиболее ярко эта связь проявляется в олимпиадах высокого уровня, но это – тема отдельной статьи. Другая важная форма внеурочной работы, более приближённая к реальной науке, – проектная и исследовательская деятельность.

4. Новые научные направления в проектной и исследовательской деятельности школьников

Проектная и исследовательская деятельность – это та составляющая школьного образования, которая позволяет ученикам реально приобщиться к современной науке и почувствовать связь теории с практикой. Это очень важно, поскольку, с одной стороны, химия – наука экспериментальная, с другой стороны, не проводя интересных практических работ, школьники едва ли смогут понять, зачем им нужно учить сложные формулы и реакции.

Перед тем как погружаться в специфику организации такой внеурочной работы, надо разобраться, чем же всё-таки занимаются школьники: проектной или учебно-исследовательской деятельностью. На наш взгляд, принципиальных отличий между этими двумя видами

активности немного: проектная деятельность направлена, в первую очередь, на создание конкретного продукта или решения, при этом траектория, которая ведёт к конечной цели, не столь существенна. Исследовательская деятельность нацелена на получение нового знания с применением приёмов научного поиска. Форма, в которой подаётся новое знание, зачастую отходит на второй план.

На самом деле противопоставлять проектную и исследовательскую деятельность вряд ли оправданно, особенно в случае такой одновременно фундаментальной и практико-ориентированной науки, как химия. Действительно, хороший проект, связанный с созданием, например, инновационного материала, лекарств или технологии, едва ли можно реализовать, не проведя научного поиска, а исследование должно приводить к значимому результату, точно так же, как и хороший проект. Поэтому в дальнейшем мы не будем проводить чёткую грань между проектами и исследованиями применительно к школьному образованию.

Проектная деятельность – это, наверное, наиболее ресурсоёмкая и трудно настраиваемая составляющая общего образования. Здесь многое зависит от школы, её педагогического состава, мотивации учеников, материальной базы, партнерских связей с научными организациями и университетами, с представителями наукоёмкого бизнес-сообщества. Ещё одним важным обстоятельством является время, которое образовательная организация отводит на проектную деятельность. Во многих школах это не более одного академического часа в неделю, чего, конечно же, недостаточно для погружения в серьёзную химию.

В наиболее выигрышном положении оказываются школы-интернаты в составе университетов, имеющих сильные химические, химико-технологические, биологические и медицинские факультеты, а также школы РАН и крупных компаний. В таких гимназиях, лицеях, специализированных научно-учебных центрах отводится существенно больше часов на проектную деятельность, и, что исключительно важ-

но, в неё вовлекаются высококвалифицированные учёные и инженеры-химики.

Несмотря на все вышесказанное, даже в случае таких передовых школ проблемы остаются. Отметим главные из них:

1) Научная деятельность требует существенного времени, а его у школьников мало: ведь надо готовиться к контрольным, промежуточным и итоговым аттестациям, от результатов которых во многом зависит дальнейшая судьба молодых людей.

2) С проектной деятельностью конкурирует подготовка к олимпиадам, результаты которых, в отличие от исследовательских достижений, дают крупные бонусы при поступлении в вузы. Не удивительно, что значительная часть ребят выбирает соревнования, а не кропотливый научный поиск.

3) Знакомство школьников с современной наукой требует глубокого погружения в те или иные разделы химии, а часто и смежных наук (математики, физики, биологии, материаловедения, информатики и т. п.), далеко выходящего за рамки ФРП даже углублённого уровня;

4) Серьёзные исследования часто требуют закупки специализированной посуды и нестандартных реактивов, что также может вызывать определённые затруднения в случае школ;

5) Приборная база, которой располагает школа, в большинстве случаев является недостаточной для проведения научных исследований; единственный выход – обращаться в научно-исследовательские лаборатории, в которых приборное время на вес золота и которые далеко не всегда готовы допускать до работы молодых людей, исходно не обладающих соответствующей квалификацией;

6) Крайне затруднительно обеспечить каждому школьнику индивидуальную тему исследования и персонального наставника; выход заключается в запуске групповых проектов, но это – значительно более сложная методическая задача, и далеко не каждый вузовский преподаватель или научный сотрудник готов взвалить на себя эту ношу.

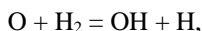
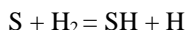
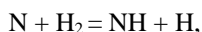
Тем не менее во многих школах реально ведётся серьёзная проектная и исследовательская деятельность в области химии, чему авто-

ры этих строк неоднократно становились свидетелями на различных конкурсах и школьных проектных конференциях. В качестве примера приведем несколько проектов, реализованных в Университетской гимназии МГУ [8] совместно с химическим факультетом МГУ.

Начнём с проекта, посвящённого разработке легированных редкоземельными элементами стеклокерамических материалов, которые проявляют апконверсионную люминесценцию. Такая стеклокерамика может применяться в лазерах, солнечной электроэнергетике, многоцветных дисплеях, а также в фотоэлектрических элементах и в медицинском оборудовании. Школьники изучали влияние содержания Al_2O_3 на люминесцентные свойства стеклокерамики в сложной системе $SiO_2-Al_2O_3-Na_2O-YF_3-NaF-YbF_3-ErF_3$ и рассматривали возможность замены Al_2O_3 на Ga_2O_3 и In_2O_3 . В ходе выполнения проекта гимназисты погрузились в современные проблемы материаловедения, научились готовить шихты и выплавлять стеклокерамику, познакомились с углублёнными разделами спектроскопии и разобрались в типах кристаллических решеток.

Исключительно актуальным представляется химическое исследование с ярко выраженной экологической направленностью. На Солзанском полигоне (берег озера Байкал) хранятся отходы целлюлозно-бумажного комбината, включая шлам-лигнин. Для мониторинга загрязнения, в том числе дистанционного, предложено использовать оптические свойства лигнина, однако существенным осложнением является присутствие в водоёме природных хромо- и флуорофоров. Целью проекта в Университетской гимназии стала разработка методов определения соединений лигнина на фоне природного органического вещества и классификация источников загрязнения. В рамках реализации проекта школьники посетили озеро Байкал, где, в частности, отобрали пробы для последующего лабораторного анализа. В результате гимназисты приобрели ценный опыт применения спектральных методов и на собственном опыте осознали, насколько важна химия для сохранения природы.

Несколько особняком стоит проект «Астрохимия: от лабораторных исследований и моделирования к интерпретации астрономических наблюдений», поскольку этот проект в значительной степени теоретический и базируется на сложных для школьников квантовохимических расчётах. Одним из ключевых источников межзвездного вещества являются молекулярные облака – крупные, размерами до десятков световых лет, скопления плотного и холодного газа. Эти облака состоят в основном из молекулярного водорода H_2 . При температурах ниже 100 К молекулы H_2 практически не излучают, что делает их «невидимыми» для наблюдений. В связи с этим изучение молекулярных облаков осуществляется через «вторичные» индикаторы – примесные молекулы. Для интерпретации данных наблюдений необходимо понимание химических процессов, происходящих в водородных облаках. В рамках проекта гимназисты изучали реакции атомов различных элементов с молекулой водорода и рассчитали поверхности потенциальной энергии для реакций



а также параметры нескольких электронных состояний молекулы CN, играющей важную роль в астрохимии.

В рамках проекта, посвящённого углеродным наночастицам, были оптимизированы условия синтеза таких частиц из различных углеводов и родственных соединений. Коллектив из шести школьников продемонстрировал, что гидротермальная обработка углеводов приводит к образованию низкомолекулярных продуктов, углеродных наночастиц, а также грубодисперсной нерастворимой фракции. Углеродные наночастицы флуоресцируют, причём интенсивность их эмиссии чувствительна к некоторым ионам металлов, а грубодисперсный осадок оказался эффективным сорбентом. Выбор химической структуры исходного вещества и условий проведения реакции позволяет управлять соотношением фракций продукта.

Анализируя результаты таких проектов, важно понимать, что школьники не совершили революционных научных открытий, но именно внеурочная деятельность на современном уровне позволила им утвердиться в выборе будущей профессии и понять методологию научных исследований.

В настоящее время в Университетской гимназии начаты новые проекты. Один из них посвящен синтезу и характеристике новых противоопухолевых препаратов, два других, реализуемых совместно с дивизионами госкорпорации по атомной энергии «Росатом», направлены на разработку востребованных материалов с заданными свойствами. Ещё два проекта посвящены утилизации CO₂ и синтезу новых перспективных полимеров. Эти проекты проводятся совместно с ООО «Сибур-Инновации» в рамках класса «Химическая технология». О новых результатах, которые получают гимназисты, мы надеемся рассказать в следующем методическом сборнике.

5. Коротко о главном

1. Современные научные направления и открытия в области химии оказывают значительное влияние на жизнь общества и повседневную жизнь людей, поэтому после неперенной адаптации они проявляются и в школьной химии, в первую очередь во внеурочной деятельности, а в меньшей степени – в содержании школьного курса химии.

2. На базовом уровне школьного химического образования можно обсуждать достижения науки, которые имеют прикладное значение и уже воплотились в конкретных устройствах и новых материалах. На углублённом уровне можно дополнительно знакомить учащихся с открытиями, имеющими фундаментальное значение, но доступными для понимания школьником и учителем.

3. В силу консервативного характера школьной программы, новейших научных направлений нет в нормативных документах (ФГОС, ФРП), однако подчёркивается необходимость формировать у учащихся представления о роли химии в решении практических задач обще-

ства и создавать у них мотивацию к будущей профессиональной деятельности, связанной с химией.

4. С 2023 года в России происходит переход к единым школьным учебникам, в том числе и по химии. Процесс начался с 10–11 классов, а затем охватит 8–9 классы. В новых учебниках современные научные достижения отражены в виде отдельных рубрик и ссылок на дополнительные материалы научно-популярного характера.

5. Основная роль в связи школы с наукой принадлежит внеурочной деятельности. Наиболее приближённой к реальной науке является проектная и исследовательская деятельность. Удачные примеры такой деятельности показаны на примере Университетской гимназии МГУ.

Работа выполнена в рамках государственного задания МГУ имени М.В. Ломоносова «Информационно-методическое обеспечение развития фундаментального химического образования и научных исследований по химии». Номер ЦИТИС: 121121600197-3.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2025/popular-information/>.
2. Schoedel A., Yaghi O.M. Porosity in Metal-Organic Compounds. – In: Macroyclic and Supramolecular Chemistry, John Wiley & Sons, 2016, pp.200–219.
3. <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/2019/popular-information/>.
4. <https://wybor-battery.com/blog/stati/o-yomkosti-litievih-akkumulyatorov>.
5. <https://www.sbras.info/articles/nauka-dlya-obschestva/sibirskie-uchenye-razrabatyvayut-gibridnye-materialy-dlya-litii-i>.
6. <https://biomolecula.ru/articles/metody-v-kartinkakh-polimeraznaia-tsepnaiia-reaktsiia>.
7. https://helicon.ru/media/inf_art/polimeraznaya-tsepnaya-reaktsiya-kak-odna-tekhnologiya-izmenila-mir/.
8. <https://school.msu.ru/>.