

## НАНОТЕХНОЛОГИИ И ШКОЛЬНЫЙ КУРС ХИМИИ

**<sup>1</sup>Волкова С.А., <sup>2</sup>Колясников О.В., <sup>3</sup>Оболенская Л.Н.**

<sup>1</sup>*Государственный университет просвещения (Москва)*

<sup>2</sup>*Московский городской педагогический университет*

<sup>3</sup>*Российский университет дружбы народов*

DOI 10.55959/MSU012444-6-2026-22-204-214

Тематика соответствия относительно консервативной школьной программы современному состоянию науки и техники всегда актуальна, так как, с одной стороны, при изучении той или иной области естественных наук необходимо уделить время изучению её основ, с другой стороны, потребности развития науки и техники требуют обновления содержания школьного образования. В дополнение к этому противоречию в последние десятилетия вырисовывается тенденция преимущественно междисциплинарного развития науки, предсказанного Р. Фейнманом [26] и сформулированного М. Роко и У. Бейнбриджем в форме понятия о НБИК-конвергенции (*нано-, био-, инфо-, когнитивные технологии*) [36]. Нанотехнология как одно из основных направлений НБИК-конвергенции, с одной стороны, впитывает в себя идеи и концепции, традиционно развиваемые в рамках классических отраслей химии, физики и биологии, с другой стороны, напрямую чаще всего не относится ни к одной из классических естественных наук.

Получение веществ в измельчённом до крайних пределов состоянии известно с древнейших времен. Например, в Британском музее экспонируется античный кубок Ликурга с выраженным дихроичным эффектом, объясняемым наличием в стекле наночастиц серебра и зо-

лота. В Новое время изучение дисперсного состояния вещества вышло на новый уровень. М. Фарадей создаёт линейку коллоидных растворов золота, стабильных по настоящее время, П.С. Лаплас разрабатывает теорию капиллярного давления, Т. Грэм вводит понятия «коллоид», «гель» и «золь», создаёт метод диализа. В России примерно в то же время Т.Е. Ловиц проводит опыты по адсорбции на угле, Ф.Ф. Рейсс под руководством П.И. Страхова осуществляет пионерские опыты по электрофорезу коллоидных частиц. Несколько позже Дж. Тиндаль описывает эффект, получивший его имя, И. Ленгмюр создаёт модель физической адсорбции; использование методов коллоидной химии помогло Ж.Б. Перрену впервые определить близкое к реальности значение числа Авогадро. В России П.А. Ребиндер открывает эффект адсорбционного понижения прочности твёрдых тел, И.В. Петрянов-Соколов создает теорию химии аэрозолей и разрабатывает высокоэффективные методы фильтрации. Естественно, яркими работами выше-названных исследователей развитие науки о дисперсных системах далеко не исчерпывается, оно служит надёжной основой для последующего технологического скачка.

В последние десятилетия тематика создания наноматериалов получает бурное развитие, становится мейнстримом в ряде областей науки и техники. Создаются методы получения веществ в наноструктурированном состоянии. Тут следует отметить, что для отнесения вещества к наноматериалам достаточно, чтобы как минимум один из характерных размеров составлял менее 100 нм, а его свойства принципиально отличались от свойств того же по химическому составу вещества, но полученному в крупнодисперсном виде. Тем самым кроме наночастиц к наноматериалам относятся и нанотрубки, нанопленки, нанопористые материалы с различными физико-химическими свойствами, зависящими не только от химического состава, но и от строения поверхности. Разрабатываются методы исследований веществ в дисперсном состоянии, к которым можно отнести атомно-силовую микроскопию, сканирующую электронную микроскопию, лазерную корреляционную спектроскопию, рентгенофазовый анализ

и многие другие. Работы по тематике нанотехнологий регулярно отмечаются научным сообществом, в XXI веке работы в области создания методов изучения наноструктурированных систем и получения новых нанообъектов были удостоены более чем десяти Нобелевских премий по физике и химии, включая премию по физике 2010 года, полученную нашими соотечественниками А.К. Геймом и К.С. Новоселовым за исследование графена.

Нанотехнологии находят обширное применение в современной технике. К их приложениям относятся создание сверхпрочных материалов, сверхпроводимых материалов, сверхъярких материалов, новых поколений аккумуляторов и конденсаторов, интегральных схем, материалов для ультрафильтрации, катализа, магнитного хранения информации. Эти приложения активно обсуждаются в научной и технической периодике, научно-популярных материалах, новостях науки и техники, но практически отсутствуют в школьной программе по естественным наукам.

Федеральный государственный образовательный стандарт среднего общего образования (ФГОС СОО) ни в текущей форме, ни в форме проекта ФГОС СОО, прошедшего общественное обсуждение в декабре 2025 г. [21], не содержит каких-либо упоминаний об описываемой области науки и техники. Федеральная образовательная программа среднего общего образования [20] содержит разрозненные упоминания в программах углублённого уровня учебных предметов «Физика» («Получение наноматериалов» в теме «Основы молекулярно-кинетической теории», «Поверхностное натяжение» в теме «Агрегатные состояния вещества. Фазовые переходы»), «Химия» («Аллотропные модификации углерода» в теме «Неметаллы», «Понятие о дисперсных системах», «Представление о коллоидных растворах» в теме «Строение вещества. Многообразие веществ», «Нанотехнологии» в теме «Химия и жизнь») и «Биология» («Общие свойства биологических мембран» в теме «Химическая организация клетки»). В соответствии с текущей нормативной базой составлены и современные учебно-методические комплексы (УМК) по естественно-научным

предметам, где проблематика развития нанотехнологий не находит цельного отражения. Например, можно отметить, что в учебниках химии углублённого уровня В.В. Ерёмкина и др., доступных в библиотеке Московской электронной школы [3], есть подробное рассмотрение коллоидных растворов с описанием эффекта Тиндаля [29, § 10]; в рассмотрении химии углерода упоминаются фуллерены [30, § 21]. В то же время в более ранних изданиях той же линии учебников вполне находилось место в рамках главы 10 «Химия в современной науке» отдельному параграфу «Нанохимия и нанотехнология» [28, § 67].

Отсутствие в нормативной базе по химическому образованию на уровне средней школы материалов по нанотехнологиям не является особенностью именно российского образования. Например, в Великобритании программа изучения химии на AS&A-level [34] или программа по химии ирландского Leaving Certificate [35] также не содержит упоминаний о нанохимии. В западной методической литературе также возникают вопросы о необходимости увязывания тематики нанотехнологий со школьной программой по химии [37].

При отсутствии нормативной базы для системного обучения основам нанотехнологий в рамках отдельных школьных предметов остаётся возможность обучения школьников в рамках внеурочной работы, в частности в проектной и исследовательской деятельности, а также в рамках дополнительного образования.

В России есть организации, занимающиеся системным просвещением в области нанотехнологий, в том числе и на школьном уровне. В первую очередь тут нельзя не упомянуть созданный под эгидой факультета наук о материалах (ФНМ) МГУ им. М.В. Ломоносова портал Nanometer.ru, содержащий новости о развитии нанотехнологий, обширный теоретический материал, а также с 2007 года поддерживающий организацию Олимпиады по нанотехнологиям [6], в настоящее время проводимой в рамках Олимпиады МГУ «Ломоносов» по профилю «Высокие технологии» [16]. Также на базе МГУ был создан ряд учебных пособий по нанотехнологиям, до сих пор сохраняющих свою актуальность [7, 12, 13, 24]. Кроме ФНМ работа по по-

пуляризации нанотехнологий и, в частности, метода атомно-силовой микроскопии ведется на физическом факультете МГУ [27]. Недавно на его базе прошёл курс повышения квалификации для учителей из наукограда Обнинск [2].

Также существенную роль в просвещении в области нанотехнологий играла в ранние годы своего существования госкорпорация Роснано, стимулировавшая издание ряда учебных пособий в рамках развития «Школьной лиги» [1, 11, 22, 33]. В настоящее время «Школьная лига» продолжает деятельность в области разработки материалов по высоким технологиям для образовательной практики [17].

В дополнение можно назвать ещё пару развёрнутых материалов школьного уровня по нанотехнологиям [4, 23]. В том числе и на их основе относительно недавно мы разрабатывали программу внеурочной деятельности по нанохимии [5]. По нашему мнению, в систематической работе со школьниками в рамках этого курса должны быть проработаны в теории и, насколько возможно, на практике краткие сведения об истории нанохимии, основы физики поверхности и дисперсных сред, методы получения и особенности применения дисперсных систем, методы синтеза и исследования наноструктурированных веществ и материалов, функциональные свойства наноструктурированных веществ и материалов, а также перспективы развития и актуальные проблемы нанохимии и нанотехнологии. Это относительно краткое введение обеспечит учащихся необходимыми знаниями и навыками для начального понимания этой междисциплинарной области науки и с высокой вероятностью привлечёт мотивированных учащихся к дальнейшему обучению уже на уровне высшей школы.

В качестве источника большей части практических работ в описанной программе был использован Практикум по наноматериалам и нанотехнологиям, разработанный в Институте общей и неорганической химии РАН (ИОНХ) [32]. Он содержит детальные методики экспериментов в области нанотехнологий, большая часть из которых осуществима в школьных лабораториях. Среди них имеет смысл выделить наиболее просто осуществимые в школьных условиях работы

по получению наночастиц серебра, берлинской лазури, диоксида марганца и многие другие. Например, в качестве простейшего и хорошо воспроизводимого эксперимента можно рекомендовать получение наноструктурированных пленок серебра [32, с. 41–46]. Для этого свежеприготовленный реактив Толленса распыляют пульверизатором на предметное стекло, нагретое с помощью электроплитки до 250 °С. Микроструктуру полученного серебряного покрытия в виде тонких колец диаметром в доли миллиметра можно увидеть даже в школьный оптический микроскоп. При наличии доступа к атомно-силовой микроскопии или, что встречается реже, или электронной микроскопии возможно увидеть наночастицы серебра, слагающие поверхность колец.

Тут надо подчеркнуть, что одна из проблем в школьных работах в области нанотехнологий состоит в том, что в большинстве случаев для проверки степени дисперсности полученных объектов школьники используют лишь эффект Тиндаля за отсутствием более совершенной аппаратуры. Следует отметить, что Департаментом образования и науки уже более десяти лет реализуются проекты предпрофессионального образования [18], оператором которых в настоящее время является Институт развития профильного обучения Московского городского педагогического университета (МГПУ). В рамках этих проектов многие школы оснащены большим количеством высокотехнологичного оборудования, в частности атомно-силовыми микроскопами, позволяющими проводить анализ поверхности препаратов с высоким разрешением. Описанное оборудование применимо как для организации внеурочных практических занятий по нанотехнологиям, так и для проектной и исследовательской деятельности с обучающимися [31].

Можно упомянуть также уже двухлетний успешный опыт фронтального обучения созданию научного проекта/исследования в рамках предмета «Индивидуальный проект» в 10-м медицинском классе – сначала в школе № 2065, а затем в школе № 2120. Преподавание этого предмета вызывает затруднение вследствие нонсенса, заложенного

в самом названии – «индивидуальный» – применительно к целому классу. Тут на помощь приходит нанотехнологический синтез, который позволяет варьировать те или иные параметры и получать наночастицы одного и того же вещества с приемлемым практическим выходом и при этом с разной дисперсностью и морфологией, в отличие от классического органического синтеза или неорганического оргсинтеза, где отклонение от выверенной методики приводит лишь к резкому ухудшению результата.

Для начальной работы была взята двухстадийная методика синтеза наночастиц берлинской лазури на подложке, адаптированная из [32, с 20–25]. В качестве подложки вместо ткани, предлагаемой в [32], были выбраны плёнки из поливинилового спирта (ПВС), пластифицированного глицерином и сшитого борной кислотой – их удобно сканировать с помощью атомно-силовой микроскопии. Каждый учащийся пофамильно получал индивидуальные данные для расчёта массы первого реагента – жёлтой кровяной соли. Затем формировались восемь команд, каждая из которых готовила раствор указанного реагента и погружала в раствор кусочек пленки ПВС. На следующем уроке числа снова были заданы пофамильно, а выбор второго реагента предоставлялся учащемуся: он мог выбрать расчёт массы гексагидрата хлорида железа(III) (на «5») или безводного аналога (на «4»). В результате синтеза у всех учащихся создавалась ситуация успеха: получались редкой красоты полупрозрачные синие плёнки, их сканировали с помощью АСМ; 3D-изображения типичных участков подробно анализировались, по их сечениям учащимися рассчитывались параметры полученных наночастиц.

Подобный опыт далее использовался школьниками уже в создании своих проектных работ, выполненных с использованием методов синтеза и анализа наноматериалов. Наш опыт показывает, что в ряде случаев работы школьников были достойны публикации [8, 10, 25]. В качестве примера можно описать суть работы [10]. Давно известно, что соли железа(II) могут катализировать старт цепной реакции образования активных форм кислорода сначала из пероксида водорода,

а далее и из воды. Образовавшиеся активные формы кислорода способны разложить до воды и углекислоты практически любые органические токсиканты, что можно применить для более глубокой очистки воды, в частности в поверхностных водах. Но обратной стороной процесса является попутное загрязнение воды солями железа и необходимость её сильного подкисления. Этого можно избежать, если использовать в качестве источника железа наномагнетит, нанесённый на пенополиуретановую матрицу. Тогда после обработки воды «плитки» с наномагнетитом легко собираются магнитными ловушками (например, в виде швабр) и готовы к повторному употреблению.

Используя опыт проведения курсов для учителей по освоению оборудования классов предпрофессионального образования и опыт проведения вышеупомянутых проектных работ в 2024/25 учебном году, мы организовали на базе МГПУ курсы для учителей по нанохимическому эксперименту, на которых было представлено фронтальное моделирование всех этапов выполнения школьного нанохимического проекта [15]. Слушатели получили навык синтеза и стабилизации наночастиц серебра, нанокристаллических диоксида титана (в форме анатаза) и магнетита, научились работать с атомно-силовым микроскопом, провели эксперименты по фотокаталитическому разложению красителей в процессе Фентона с наномагнетитом либо УФ облучением с наноанатазом. Работы в области нанотехнологии, апробированные на этих курсах, включены отдельным разделом в недавно разработанный в рамках методической поддержки школ-участниц проектов предпрофессионального образования Практикум по химии для 10–11 классов [19].

В заключение мы хотим отметить, что тематика нанотехнологий в силу своей значимости для современной цивилизации достойна более связного и детального рассмотрения в программе школьного предмета «Химия» [14]. Это, с одной стороны, поможет учащимся лучше ориентироваться в современной информационной повестке, с другой стороны, создаст более глубокую мотивацию к занятиям химией, вплоть до выбора профессии химика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Ахметов М.А.* Введение в нанотехнологии. Химия: учебное пособие для учащихся 10–11 классов средних общеобразовательных учреждений. – Санкт-Петербург: Образовательный центр «Участие», Образовательные проекты, 2012. – 108 с.
2. *Ахметова А.И., Яминский И.В.* Сканирующая зондовая микроскопия. Курс повышения квалификации. – URL: <https://istina.msu.ru/courses/790704795/>.
3. Библиотека МЭШ. Портал Московской электронной школы. – URL: <https://uchebnik.mos.ru/>.
4. *Волкова С.А.* Современные исследования в области нанотехнологий в содержании химического образования. – Москва, 2015. – 304 с.
5. *Волкова С.А., Колясников О.В., Оболенская Л.Н.* Современные исследования и достижения нанохимии. Рабочая программа курса внеурочной деятельности. Портал единого содержания образования Edsoo.ru. – URL: [https://edsoo.ru/wpcontent/uploads/2025/01/gr\\_sovremennye\\_issledovaniya\\_i\\_dostizheniya\\_nanohimii\\_2024.pdf](https://edsoo.ru/wpcontent/uploads/2025/01/gr_sovremennye_issledovaniya_i_dostizheniya_nanohimii_2024.pdf).
6. *Гудилин Е.А.* Нанотехнологии – прорыв в будущее! // Образовательная политика. Зима 2020. С. 54–57.
7. *Еремин В.В., Дроздов А.А.* Нанохимия и нанотехнологии. – М.: Дрофа, 2009. – 112 с.
8. *Журавлёв И.С.* Пероксокомплексы Ti(IV) для дыхания в огне // Потенциал (ХБМ) 2024. № 1.
9. *Зорькина О.В.* Особенности рассмотрения темы «Химия в современной науке» по учебнику «Химия. 11 класс. Профильный уровень» авторов Еремина В.В. и других // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г. Белинского. 2012. № 29. С. 305–309.
10. *Куликова М.М., Закалюжная З.С., Каргин А.Р.* Поролон, взлетающий к магниту // Потенциал (ХБМ). 2025. № 2. С. 3–10.
11. *Мельникова Н., Гнеушева Е., Маштаков Б.* Получение и изучение свойств веществ, состоящих из частиц нано- и микроразмеров. – Санкт-Петербург: Школьная лига, Издательство «Лема», 2013. – 20 с.
12. Микро- и наномир современных материалов / Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: Химфак МГУ, 2006. – 68 с.
13. Нанотехнологии. Азбука для всех / Под ред. Ю.Д. Третьякова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 368 с.
14. *Волкова С.А., Ибатуллин А.А., Рогатых С.В.* и др. О включении основ нанохимии в содержание школьного химического образования // Химия в школе. 2023. № 6. С. 19–24.

15. Оболенская Л.Н., Колясников О.В., Кузнецова Е.В. О реализации курсов повышения квалификации для учителей по нанохимическому эксперименту в рамках городских проектов предпрофессионального образования // Образ действия. 2025. № 3. С. 100–118.

16. Олимпиада школьников «Ломоносов» по высоким технологиям (2025/2026 учебный год). Портал Олимпиада школьников «Ломоносов». – URL: <https://olymp.msu.ru/rus/event/10002/>.

17. Портал «Школьная лига». – URL: <https://liga.school/>

18. Портал проектов предпрофессионального образования. – URL: <https://profil.mos.ru/>.

19. Кузнецова Е.В., Колясников О.В., Оболенская Л.Н. Практикум по химии (углубленный уровень). 10–11 классы. – М.: ИРПО ГАОУ ВО МГПУ, 2025. – 189 с.

20. Приказ Министерства просвещения Российской Федерации от 18.05.2023 № 371 «Об утверждении федеральной образовательной программы среднего общего образования» (Зарегистрирован 12.07.2023 № 74228). Портал единого содержания общего образования Edsoo.ru.. – URL: <https://static.edsoo.ru/projects/fop/index.html#/sections/3>.

21. Проект Приказа Министерства просвещения Российской Федерации «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта среднего общего образования» (подготовлен Минпросвещения России 01.12.2025). Гарант.ру: информационно-правовой портал. – URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/56938966/>.

22. Большакова А.В., Дубровин Е.В., Протопопова А.Д. и др. Пять нобелевских уроков (практикум для старшеклассников по сканирующей зондовой микроскопии). – М.: Центр перспективных технологий, 2013. – 94 с.

23. Светухин В.В., Явтушенко И.О. Основы нанотехнологий. 10–11 классы: учебное пособие. – М.: Просвещение, 2023. – 111 с.

24. Борисенко Г.Г., Гольдт И.В., Гудилин Е.А. и др. Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. – 528 с.

25. Федченко А.С. Очистка воды по принципам «зелёной инженерии» // Потенциал (ХБМ). 2022. Т. 83. № 1. С. 53–63.

26. Фейнман Р.Ф. Внизу полным-полно места: приглашение в новый мир физики // Рос. Хим. журнал. 2002. Т. XLVI, № 5. С. 4–6.

27. Ахметова А.И., Советников Т.О., Оболенская Л.Н., Яминский И.В. «ФемтоСкан Онлайн» в научной и образовательной деятельности: посчитать, измерить и визуализировать // Наноиндустрия. 2024. Т. 17, № 6. С. 392–398.

28. Ерёмин В.В., Кузьменко Н.Е. и др. Химия. Профильный уровень. 11 класс: учебник. – М.: Дрофа, 2009. – 464 с.

29. Ерёмин В.В., Кузьменко Н.Е., Теренин В.И. и др. Химия. Углублённый уровень. 10 класс: учебник. – М.: Дрофа, 2018. – 446 с.

30. Ерёмин В.В., Кузьменко Н.Е., Дроздов А.А. Химия. Углублённый уровень. 11 класс: учебник. – М.: Дрофа, 2018. – 477 с.

31. Бедин С.А., Забалуева Н.П., Гумирова В.Н., Абдурашидова Г.С. Шаблоновый синтез функциональных и наноматериалов: возможности проведения научно-исследовательских работ школьников // Физика в школе. 2014. № 1. С. 17–19.

32. Щербakov А.Б., Иванов В.К. Практикум по наноматериалам и нанотехнологиям. – М.: МГУ, 2019. – 368 с.

33. Эпитейн М.М., Юшков А.Н. Школьная неделя нанотехнологий и техно-предпринимательства. – Санкт-Петербург: АНПО «Школьная лига», 2014. – 132 с.

34. Cambridge International AS & A Level Chemistry. Cambridge International Education site. – URL: <https://www.cambridgeinternational.org/programmes-and-qualifications/cambridge-international-as-and-a-level-chemistry-9701/>.

35. Leaving Certificate Chemistry specification. Curriculum online. National Council for Curriculum and Assessment site. – URL: <https://www.curriculumonline.ie/senior-cycle/senior-cycle-subjects/chemistry/>.

36. Roco M.C., Bainbridge W.S. Converging technologies for improving human performance: Integrating from the nanoscale // Journal of nanoparticle research. 2002. Т. 4. № 4. С. 281–295.

37. Rushton G.T., Criswell B.A. Cutting-Edge and Cross-Cutting: Connecting the Dots between Nanotechnology and High School Chemistry // Journal of Chemical Education. 2012. 89 (10). С. 1217–1219.