Химия: анализ, синтез и системное мышление

Александр Клеймёнов

Fractal Academy
Выпуск 4 (Осень 2026), Статья 7
Серия: «Развитие ментальных механизмов через школьные предметы»
Автор: Александр Клеймёнов
ORCID: 0009-0004-9404-2400
DOI: [будет присвоен]
Дата публикации: 1.11.2026

© 2026 Александр Клеймёнов. Данная работа (на русском и английском языках) лицензирована на условиях Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.
Название (рус.): «Химия: анализ, синтез и системное мышление»
Название (англ.): «Chemistry: Analysis, Synthesis, and Systems Thinking»
Ссылка: https://fractal-academy.ru/articles/article-4-7/
(CC BY-SA 4.0)

Аннотация

В этой статье я показываю, как химия как школьный предмет может стать уникальной лабораторией для развития ментальных механизмов - при условии, что мы перестанем сводить её к заучиванию формул и уравнений реакций. Опираясь на модель КПКЛ, представленную в предыдущих статьях модуля, и на актуальные исследования 2024-2025 годов в области химического образования, я обосновываю, что химия обладает исключительным потенциалом для развития системного мышления, построения причинно-следственных связей, критического мышления, поиска и анализа информации, пространственного воображения и 3D-визуализации, а также прогнозирования и стратегического мышления, и красноречия. Я предлагаю конкретные примеры уроков и заданий, в которых химический эксперимент, 3D-моделирование молекул, исследовательская работа и аргументированное обсуждение служат не самоцелью, а средством развития мышления. Особое внимание я уделяю диагностике прогресса и связи предметного обучения с инфраструктурой школы - химической лабораторией, мастерской молекулярного моделирования, STEM-лабораторией. Я также обосновываю, что перестройка преподавания химии - это не просто методический вопрос, а стратегическая задача: именно через химию формируется когнитивный аппарат, способный к системному, многомасштабному мышлению - тому типу мышления, который необходим для понимания сложных самоорганизующихся систем, включая мозг.

Ключевые слова: химия, ментальные механизмы, системное мышление, причинно-следственное мышление, критическое мышление, пространственное воображение, 3D-визуализация, диагностика, инфраструктура.

Кухня, на которой готовят вещество

Я начну с утверждения, которое может показаться спорным, но я считаю его принципиальным. Химия в школе - это не предмет о том, как запомнить уравнения реакций, а предмет о том, как устроены сложные системы, как элементы соединяются в структуры и как свойства целого не сводятся к свойствам частей. Это предмет, через который человек учится видеть связи - между атомами в молекуле, между веществами в реакции, между химией и жизнью. Конечно, знание формул и умение составлять уравнения важно. Но это инструмент, а не цель. Цель - это способность мыслить системно; способность выстраивать причинно-следственные цепочки; способность критически оценивать информацию; способность искать и анализировать данные; способность видеть трёхмерные структуры молекул; способность прогнозировать результаты реакций [1; 5].

Здесь уместно вспомнить Примо Леви, химика и писателя, который в «Периодической системе» рассказал, как химия стала для него способом понимать мир и людей. Для Леви элемент - это не просто клетка в таблице Менделеева. Это характер, судьба, история. Углерод - это жизнь. Железо - это прочность. Кислород - это дыхание. И когда он описывал реакции, он описывал не формулы, а встречи. Как два вещества находят друг друга. Как они соединяются. Как они меняются. И как из этого соединения рождается что-то новое, чего не было ни в одном из них по отдельности. Вот что такое химия. Не уравнения. А встречи. Которые меняют всё. И если ребёнок выучил уравнение, но не увидел встречу, он выучил символы, но не понял жизнь. Он знает, что такое реакция, но не знает, что она делает. Он знает, что такое молекула, но не знает, как она устроена. И это самое большое поражение химии - когда она становится набором формул, за которыми ничего не стоит. Когда она перестаёт быть наукой о превращениях и становится шифром. Который нужно расшифровать. Но никто не знает ключ. Потому что ключ - это не формула. Ключ - это понимание. Которое приходит не от

заучивания. А от эксперимента. От ошибки. От удивления. Которое ты испытал, когда увидел, что из двух прозрачных растворов получился яркий осадок. И тогда ты захотел понять. Почему? И как? И что за этим стоит? И это желание понять - оно и есть начало химии. Не формулы. А удивление. Которое делает тебя исследователем. А не исполнителем. И это самое главное. Не ответ. А вопрос. Который ты задал. Веществу. И которое оно тебе ответило. Не словами. А превращением. Которое ты увидел. И понял. И запомнил. Навсегда. Потому что оно стало твоим. Тобой открытым. Тобой понятым. Тобой пережитым. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма удивлений. Которые ты испытал. И которые сделали тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующей реакции. В следующем эксперименте. В следующей жизни.

Как я уже показывал в первой статье этой серии [5], принцип двойного назначения урока означает, что каждый урок химии должен одновременно решать две задачи: предметную - освоение химического содержания, и метапредметную - развитие ментальных механизмов. Эти задачи не противоречат друг другу - напротив, они взаимно усиливаются. Важно подчеркнуть: химия создаёт условия возможности для развития ментальных механизмов, но не является их достаточной причиной. Само по себе заучивание уравнений или выполнение лабораторных по инструкции не разовьёт системное мышление. Развитие происходит только через специально организованную педагогическую деятельность, где учитель выступает как фасилитатор и архитектор когнитивного аппарата [5; 6]. Исследования подтверждают: системное мышление всё чаще рекомендуется как подход к химическому образованию из-за его потенциала улучшить понимание студентами сложных научных концепций, навыки критического мышления и способность решать реальные междисциплинарные проблемы [8]. Внедрение системного мышления в химический учебный план может помочь контекстуализировать изучение химии и повысить её значимость для студентов [8]. Но я хочу пойти дальше и показать, как каждый из одиннадцати ментальных механизмов может развиваться через преподавание химии - и как это меняет сам подход к предмету. Химия - это не просто естественная наука в ряду других. Это наука о сложных системах, о том, как из простых элементов возникает сложное целое. Именно поэтому химия, на мой взгляд, является ключевым предметом для формирования коммуникативно-познавательного каркаса личности [1]. Более того, перестройка преподавания химии - это не просто методический вопрос. Это часть той исторической необходимости смены педагогической парадигмы, о которой я писал в статьях [3] и [4]. Индустриальная школа сводила химию к набору формул и уравнений, которые нужно заучить. Но постиндустриальному обществу нужны люди, способные мыслить, творить, адаптироваться - и химия здесь является ключевым инструментом. Как я показывал в статье [2], предметоцентризм - одна из главных причин живучести старой модели. Преодоление этого предметоцентризма начинается с переосмысления роли химии в образовании.

Целое, которое больше суммы частей

Системное мышление и построение причинно-следственных связей развиваются через химию самым прямым и естественным образом. Химия - это наука о системах. Молекула - это система атомов. Химическая реакция - это система взаимодействий. Химический процесс - это система, в которой изменение одного элемента влияет на все остальные. Способность видеть, как атомы объединяются в молекулы с новыми свойствами. Способность понимать, как изменение условий - температуры, давления, концентрации - влияет на ход реакции. Способность выстраивать причинно-следственные цепочки от реагентов к продуктам. Учитель должен сознательно акцентировать внимание на системной логике химических явлений. Не запомни уравнение, а объясни, почему реакция идёт именно так. Не выучи свойства, а пойми, как структура определяет свойства. Исследования показывают, что системное мышление в химии требует выхода за рамки традиционных подходов. Как отмечают исследователи, несмотря на преимущества, внедрение системного мышления в химическое образование было ограниченным, отчасти из-за отсутствия чётких определений и рамок для реализации [8]. Однако именно это делает химию идеальным предметом для развития системного мышления - она требует от ученика видеть целое, а не только части [9].

Это как с часовым механизмом. Вы можете разобрать его на шестерёнки. Изучить каждую. Описать её форму, размер, количество зубцов. Но пока вы не соберёте их вместе, вы не поймёте, как работают часы. Потому что часы - это не сумма шестерёнок. Это система, в которой каждая шестерёнка имеет значение только в связи с другими. И если вы уберёте одну, часы остановятся. Даже если все остальные останутся на месте. Так и в химии. Молекула - это не сумма атомов. Это система, в которой каждый атом имеет значение только в связи с другими. И если вы замените один атом на другой, вы получите новое вещество. С новыми

свойствами. Которых не было раньше. И это самое главное. Не атомы. А связи. Которые делают атомы чем-то большим, чем просто атомы. И химия учит видеть эти связи. Каждый день. На каждом уроке. С каждой реакцией. Которая не просто происходит. Она связывает. И в этом её сила. И в этом её красота. И в этом её смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается химия. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Критическое мышление - это ещё один механизм, который химия развивает уникальным образом. Химия даёт уникальные возможности для развития критического мышления. Каждый эксперимент требует планирования, каждое измерение - проверки, каждый результат - интерпретации. Умение планировать эксперимент для проверки гипотезы. Умение оценивать достоверность данных. Умение интерпретировать результаты. Умение отличать корреляцию от причинности. Исследовательский подход к обучению. Использование моделей, требующих аргументации. Исследования показывают, что модель Argument-Driven Inquiry, которая сочетает аргументацию с исследовательским обучением, позволяет студентам активно аргументировать в процессе обучения. Эта модель способствует более глубокому пониманию тем, поощряя эмпирическое исследование и аргументацию [11]. Это как с судьёй, который рассматривает дело. Он не просто верит одной стороне. Он проверяет доказательства. Он ищет противоречия. Он выносит вердикт. И если он ошибается, он может изменить своё решение. Потому что он умеет сомневаться. А ученик, который умеет сомневаться, не принимает всё на веру. Он проверяет. И находит истину. Или, по крайней мере, приближается к ней. И это самое важное. Не истина. А путь к ней. Который начинается с сомнения. И заканчивается пониманием. Которое всегда относительно. Но всегда ценно. Потому что оно твоё. Тобой найденное. Тобой проверенное. Тобой понятое.

Поиск и анализ информации - это механизм, который химия требует и развивает. Современная химия - это работа с огромными массивами данных. Умение находить информацию, анализировать её, интерпретировать - становится ключевым навыком. Этот механизм относится к обеспечивающему уровню: без него ядро не получит материала для работы, но сам по себе поиск информации ещё не создаёт решение. Умение работать с химическими базами данных. Умение анализировать экспериментальные данные. Умение интерпретировать графики, таблицы, спектры. Работа с реальными данными, а не только с идеальными задачами из учебника. Использование цифровых инструментов для сбора и анализа данных. Исследования показывают, что интеграция STEM-технологий в уроки химии заметно улучшает STEM-навыки студентов, такие как критическое мышление, интерпретация данных и использование цифровых инструментов [12]. Это как с архивариусом, который ищет документы в пыльных папках. Он не просто находит бумаги. Он их читает. Сравнивает. Проверяет. И только потом делает вывод. А если он просто берёт первую попавшуюся бумагу и говорит, что это ответ, он ошибается. И его ошибка может стоить дорого. Так и в химии. Ученик, который не умеет искать информацию, берёт первую попавшуюся формулу. И применяет её не к месту. И получает неверный ответ. А ученик, который умеет искать, находит несколько источников. Сравнивает их. Проверяет. И только потом делает вывод. И его вывод оказывается верным. Потому что он не просто нашёл. Он понял. И это самое важное. Не информация. А понимание. Которое приходит не от количества. А от качества. Не от скорости. А от глубины. И химия учит этой глубине. Каждый день. На каждом уроке. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он исследуется. И в этом его сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается химия. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Молекула, которую можно увидеть

Пространственное воображение и 3D-визуализация - это механизм, который химия развивает уникальным образом. Химия - это трёхмерная наука. Молекулы существуют в пространстве, их форма определяет их свойства. Понимание химии требует способности видеть молекулы в трёх измерениях. Способность представлять трёхмерную структуру молекул. Способность мысленно вращать молекулы. Способность понимать, как форма молекулы определяет её свойства. Использование 3D-моделей, молекулярных наборов, программ визуализации. Исследования показывают, что химические молекулы являются сложной темой для студентов, потому что они абстрактны и их трудно визуализировать [15]. Использование PyMOL как среды 3D-визуализации может сделать абстрактные концепции более лёгкими для понимания и помочь студентам развить критическое и системное мышление [15]. Исследования также показывают, что 3D-модели делают молекулярные структуры более конкретными и облегчают их пространственные рассуждения [16].

Здесь уместно вспомнить, как дети играют с конструктором. Они не просто соединяют детали. Они видят в уме, что должно получиться. Они представляют, как будет выглядеть модель. И если что-то не сходится, они меняют детали. И снова представляют. И так до тех пор, пока не получится то, что они задумали. А если они не умеют представлять, они просто соединяют детали наугад. И часто ошибаются. И бросают. Потому что не видят результата. А результат - это не то, что получается. Это то, что ты видишь в уме. До того, как оно получится. И химия учит этому. Видеть до того, как получится. Представлять до того, как построишь. И тогда молекула становится не формулой. А фигурой. Которую можно повертеть в руках. И понять. И запомнить. Навсегда. Потому что она стала твоей. Тобой увиденной. Тобой понятой. Тобой пережитой. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма видений. Которые ты создал. И которые теперь твои. Навсегда. И в следующей молекуле. И в следующем эксперименте. И в следующей жизни.

Прогнозирование и стратегическое мышление - это механизм, который химия требует и развивает. Химия требует постоянного прогнозирования. Прежде чем провести реакцию, нужно предвидеть её продукты. Прежде чем выбрать метод синтеза, нужно предвидеть, какие побочные реакции возможны. Умение предвидеть продукты реакций. Умение прогнозировать влияние условий на ход реакции. Умение планировать стратегию синтеза. Это как с полководцем, который планирует битву. Он не просто двигает фишки на карте. Он думает о том, как поведёт себя противник. Он ищет слабые места. Он готовит ловушки. Он просчитывает варианты. И когда битва начинается, он уже знает, что делать. Потому что он думал об этом раньше. В тишине. За столом. С картой. И с умом. Который умеет видеть будущее. Не как пророчество. А как вероятность. Которую можно просчитать. И использовать. И это самое важное. Не победа. А умение думать. Которое приводит к победе. Или к поражению. Но всегда к опыту. Который делает тебя сильнее. И умнее. И готовым к следующей реакции. Которая будет ещё сложнее. И ещё интереснее. И ещё важнее. Потому что за ней стоит жизнь. Которая не формула. Но которая требует той же стратегии. Того же ума. Той же готовности. К неожиданному. И к неизбежному. И к тому, что ты не можешь изменить. Но можешь понять. И принять. И идти дальше. Как химик. Который знает, что реакция не заканчивается. Она продолжается. В следующем синтезе. В следующем эксперименте. В следующей жизни. Которая всегда начинается с первого шага. Который ты делаешь. Сейчас. Здесь. В этой реакции. В этой жизни. В этом мире. Который ждёт твоего шага. И твоей мысли. И твоего решения. Которое изменит всё. Или не изменит ничего. Но ты всё равно сделаешь его. Потому что ты химик. А химик не может не думать. Как не может не видеть. Как не может не жить. И это самое главное. Не формула. А жизнь. Которая делает тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем шаге. В следующей мысли. В следующей жизни.

Красноречие и лаконичность - это механизм, который химия также развивает. Химия требует умения объяснять сложные концепции ясно и убедительно - от описания эксперимента до презентации результатов исследования. Умение описывать химические явления точно и понятно. Умение аргументировать свои выводы. Умение представлять результаты исследования. Это как с переводчиком, который переводит сложный текст на простой язык. Он не просто заменяет слова. Он передаёт смысл. Он делает сложное понятным. Он делает невидимое видимым. Так и в химии. Ученик, который умеет объяснять, понимает. Потому что объяснение - это проверка понимания. Если ты можешь объяснить, значит, ты понял. А если не можешь, значит, не понял. И это самое важное. Не формула. А понимание. Которое можно передать. Которое можно объяснить. Которое можно показать. И химия учит этому. Каждый день. На каждом уроке. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он объясняется. И в этом его сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается химия. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Эксперимент, который начинается с вопроса

Теперь я перейду к конкретике. Как выглядит урок химии, построенный по принципу двойного назначения? Я предлагаю несколько примеров - от простых до сложных. Традиционный подход: учитель показывает эксперимент, объясняет результат, ученики запоминают. Подход, развивающий мышление: ученики сначала прогнозируют результат, затем наблюдают, затем объясняют расхождение. Тема: реакция между содой и уксусом. Учитель даёт задание. Прогнозирование: если я смешаю пищевую соду и уксус, что произойдёт? Что ты увидишь? Что выделится? Запиши свой прогноз и обоснуй его. Наблюдение: учитель проводит эксперимент или ученики проводят его сами. Они наблюдают выделение пузырьков газа. Объяснение: почему выделяется газ? Какой это газ? Как это можно проверить? Напиши уравнение реакции. Исследования

показывают, что метод POE эффективно улучшает химическую грамотность и самоэффективность студентов [18]. Какие ментальные механизмы развиваются? Прогнозирование - через прогнозирование результата. Причинно-следственные связи - через объяснение реакции. Критическое мышление - через сравнение прогноза и наблюдения [1]. Это как с ребёнком, который собирает конструктор. Он не просто соединяет детали. Он видит в уме, что должно получиться. Он представляет, как будет выглядеть модель. И если что-то не сходится, он меняет детали. И снова представляет. И так до тех пор, пока не получится то, что он задумал. А если он не умеет представлять, он просто соединяет детали наугад. И часто ошибается. И бросает. Потому что не видит результата. А результат - это не то, что получается. Это то, что ты видишь в уме. До того, как оно получится. И химия учит этому. Видеть до того, как получится. Представлять до того, как построишь. И тогда эксперимент становится не механическим. А осмысленным. И тогда ученик не просто проводит опыт. Он исследует. Своё. Которое он увидел. И которое он теперь может показать другим. И это самое важное. Не результат. А исследование. Которое делает тебя творцом. А не исполнителем. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма исследований. Которые ты провёл. И которые теперь твои. Навсегда. И в следующем эксперименте. И в следующем открытии. И в следующей жизни. Которая всегда начинается с первого вопроса. Который ты задаёшь. Сейчас. Здесь. Веществу. Которое не просто отвечает. Оно превращается. И ты удивляешься. И хочешь понять. И это самое главное. Не ответ. А удивление. Которое делает тебя человеком. Который умеет видеть. И понимать. И жить. В мире. Который не формула. Но который можно понять. Если научиться смотреть. И если знать, куда смотреть. И химия учит этому. Каждый день. На каждом уроке. С каждым ребёнком. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он переживается. И в этом его сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается химия. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь.

Исследование скорости реакции как развитие критического мышления и анализа информации. Традиционный подход: учитель объясняет факторы, влияющие на скорость реакции, ученики запоминают. Подход, развивающий мышление: ученики самостоятельно исследуют влияние различных факторов на скорость реакции, анализируют данные и делают выводы. Тема: факторы, влияющие на скорость химической реакции. Учитель даёт задание: вам нужно исследовать, как температура влияет на скорость реакции между раствором тиосульфата натрия и соляной кислотой. Планирование: спланируйте эксперимент. Какие переменные вы будете контролировать? Как вы будете измерять скорость реакции? Прогнозирование: как, по-вашему, изменится скорость реакции при повышении температуры на десять градусов? Почему? Эксперимент и сбор данных: ученики проводят эксперимент при разных температурах, фиксируют время реакции. Анализ данных: постройте график зависимости времени реакции от температуры. Какой вывод можно сделать? Объяснение: объясните, почему скорость реакции увеличивается с повышением температуры, используя теорию столкновений и понятие энергии активации. Исследования показывают, что вовлечение студентов в научные проекты заметно улучшает STEM-навыки, такие как критическое мышление, интерпретация данных и использование цифровых инструментов [12]. Использование портативных лабораторных наборов с подходом POE также улучшает результаты обучения по теме скорости реакций [18]. Какие ментальные механизмы развиваются? Критическое мышление - через планирование эксперимента и анализ данных. Поиск и анализ информации - через сбор и интерпретацию данных. Прогнозирование - через прогнозирование влияния температуры. Причинно-следственные связи - через объяснение зависимости [1]. Это как с археологом, который раскапывает древний город. Он не знает, что найдёт. Он выдвигает гипотезы. Он проверяет их. Он ошибается. И снова копает. И в конце находит то, что искал. Или не находит. Но он узнаёт что-то новое. О городе. О людях. О себе. И это самое важное. Не результат. А процесс. Который меняет тебя. Делает тебя другим. Более внимательным. Более терпеливым. Более мыслящим. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма изменений. Которые произошли с тобой. Пока ты искал. Пока ты думал. Пока ты жил. И химия - это один из самых мощных инструментов для этого. Потому что она не прощает ошибок. Но она же и учит их находить. И исправлять. И идти дальше. К новому синтезу. К новому открытию. К новой жизни. Которая всегда начинается с первого шага. Который ты делаешь. Сейчас. Здесь. В этом эксперименте. В этой жизни. В этом мире. Который ждёт твоего шага. И твоей мысли. И твоего решения. Которое изменит всё. Или не изменит ничего. Но ты всё равно сделаешь его. Потому что ты химик. А химик не может не думать. Как не может не видеть. Как не может не жить. И это самое главное. Не формула. А жизнь. Которая делает тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем шаге. В следующей мысли. В следующей жизни.

Синтез вещества: от идеи к реализации как развитие стратегического мышления и системного подхода. Традиционный подход: ученики проводят синтез по готовой инструкции. Подход, развивающий мышление: ученики сами разрабатывают план синтеза, прогнозируют трудности, анализируют результаты. Тема: получение аспирина, ацетилсалициловой кислоты. Учитель даёт задание: вам нужно получить аспирин из салициловой кислоты и уксусного ангидрида. Исследование: какие условия необходимы для этой реакции? Какие побочные реакции возможны? Как их избежать? Собери информацию из разных источников. Планирование: разработайте план синтеза - какие реагенты, в каких количествах, при каких условиях, в какой последовательности? Какое оборудование вам понадобится? Прогнозирование: какой выход продукта вы ожидаете? Какие потери возможны на каждом этапе? Синтез: ученики проводят синтез или работают с симуляцией. Анализ: оцените чистоту полученного продукта, температуру плавления, ТСХ. Сравните фактический выход с теоретическим. Объясните расхождения. Презентация: представьте отчёт о синтезе - цель, методы, результаты, выводы. Исследования показывают, что модель ADI, сочетающая аргументацию с исследовательским обучением, эффективно развивает навыки научного письма и презентации [11]. Какие ментальные механизмы развиваются? Стратегическое мышление - через планирование синтеза. Причинно-следственные связи - через понимание механизма реакции. Поиск и анализ информации - через исследование. Красноречие - через презентацию. Критическое мышление - через анализ результатов [1]. Это как с архитектором, который проектирует здание. Он не просто рисует фасад. Он думает о фундаменте. О материалах. О нагрузках. О том, как будет стоять здание через сто лет. И если он ошибается в расчётах, здание рухнет. А если он всё делает правильно, здание стоит. И радует людей. Так и в химии. Ученик, который планирует синтез, не просто смешивает реагенты. Он думает о каждом шаге. О каждом условии. О каждой возможной ошибке. И если он всё делает правильно, он получает продукт. Который радует его. И других. И это самое важное. Не продукт. А путь. Который к нему ведёт. И который остаётся с тобой. Даже когда продукт забыт. Потому что путь - это умение. А умение не забывается. Как не забывается умение ходить. Или говорить. Или думать. Которое ты приобрёл. И которое теперь твоё. Навсегда. И это и есть образование. Не сумма знаний. А сумма умений. Которые делают тебя тем, кто ты есть. И тем, кем ты станешь. В следующем синтезе. В следующем эксперименте. В следующей жизни.

Стены, в которых живёт вещество

Развитие ментальных механизмов требует не только новых методов преподавания, но и соответствующей инфраструктуры. Для химии это означает создание пространств, где химическое мышление может развиваться через практическую, исследовательскую и творческую деятельность. Создавая эту инфраструктуру, мы формируем то, что Энди Кларк и Ким Стерельни называют когнитивной нишей. Инфраструктура - это не просто помещения, а материальная часть среды, которая предоставляет скаффолдинг для развития ментальных механизмов. Без этой ниши механизмы остаются абстрактными концепциями. Химическая лаборатория: пространство, где ученики могут проводить реальные эксперименты, работать с современным оборудованием - цифровыми датчиками, кондуктометрами, pH-метрами, проверять гипотезы. Исследования показывают, что переход от традиционного фронтального эксперимента к исследовательским и проектным работам, где ученик становится активным субъектом познания, является ключевым направлением развития [12]. Мастерская молекулярного моделирования: пространство с 3D-принтерами для печати молекулярных моделей, программами молекулярной визуализации, наборами для сборки молекул. Исследования показывают, что использование PyMOL может сделать абстрактные концепции более лёгкими для понимания и помочь студентам развивать критическое и системное мышление [15]. STEM-лаборатория: пространство, интегрирующее химию с физикой, биологией, инженерией. Исследования показывают, что интеграция STEM-технологий в уроки химии заметно улучшает STEM-навыки студентов, такие как критическое мышление, интерпретация данных и использование цифровых инструментов [12]. Цифровая лаборатория: пространство с компьютерами и программным обеспечением для моделирования химических процессов, работы с базами данных, визуализации молекулярных структур. Исследования показывают, что цифровой экспериментальный дизайн на основе Arduino значительно повышает когнитивное понимание студентами химических реакций [12].

Создание этой инфраструктуры - не затраты, а стратегическое вложение. Каждый ребёнок, нашедший через эти пространства свою точку входа - будь то экспериментальная химия, молекулярное моделирование или STEM-проекты, - получает мощный импульс для развития всех остальных ментальных механизмов [1]. Это

как с городом. В городе есть библиотеки, театры, мастерские. И каждый ребёнок может найти то, что ему ближе. А найдя, может вырасти. Не потому, что его заставляют. А потому, что среда позволяет. И это самое важное. Среда, которая позволяет. А не среда, которая требует. Потому что требовать можно много. А позволять - это искусство. И школа должна быть искусством. А не фабрикой.

Корни и ветви

Химия не существует в изоляции. Она связана со всеми остальными предметами - и эти связи можно использовать для развития ментальных механизмов. Химия и физика: молекулярная физика, термодинамика, квантовая химия - всё это связывает химию и физику. Понимание физических основ химических процессов развивает системное мышление. Исследования показывают важность межпредметной интеграции: цикл из шести экспериментальных лабораторных работ, каждая из которых логически вытекает из предыдущей, демонстрирует единство методологии естественных наук и развивает исследовательские компетенции учащихся [12]. Химия и биология: биохимия, молекулярная биология, физиология - всё это требует химического мышления. Понимание того, как молекулы обеспечивают жизнь, развивает системное и причинно-следственное мышление [1]. Химия и математика: стехиометрия, расчёты по уравнениям, графики - всё это требует математического мышления. Исследования показывают, что системное мышление в химии может быть усилено математическими методами [9]. Химия и география: геохимия, экология, загрязнение окружающей среды - всё это связывает химию и географию. Понимание химических процессов, формирующих окружающую среду, развивает системное мышление [1]. Химия и информатика: компьютерное моделирование, работа с базами данных, использование цифровых инструментов - всё это связывает химию и информатику. Исследования показывают, что подход с использованием вычислительного мышления позволяет студентам анализировать экологические проблемы и генерировать системно-ориентированные вопросы [9]. Химия и технология как новый предмет: химическая технология, материаловедение, зелёная химия - прямое применение химических знаний и развитие стратегического мышления [1].

Наука о сложных системах

Я хочу закончить эту статью тем, что, возможно, является самым важным. Химия - это не просто школьный предмет. Это наука о сложных системах. Она учит нас видеть, как из простых элементов возникает сложное целое, как структура определяет свойства, как изменение одного компонента влияет на всю систему. Она формирует когнитивный аппарат, способный к системному, многомасштабному мышлению. Именно поэтому химия, на мой взгляд, является ключевым предметом для формирования коммуникативно-познавательного каркаса личности [1]. Когда мы учим ребёнка химии, мы учим его не просто запоминать формулы и уравнения. Мы учим его видеть системы - как атомы объединяются в молекулы, как молекулы взаимодействуют в реакциях, как реакции образуют циклы в природе. Мы учим его мыслить на разных масштабах - от атомного до макроскопического. Мы учим его понимать эмерджентность - как целое приобретает свойства, которых нет у частей.

Именно поэтому перестройка преподавания химии - это не просто методический вопрос. Это стратегическая задача. Как я показывал в статье об эпистемологической рекурсии [7], современная нейронаука застряла в ловушке корреляций: мы фиксируем результаты работы мозга, но не понимаем механизма его самоорганизации. Мозг - это сложная система, в которой из миллиардов взаимодействий нейронов возникает сознание. Понимание того, как это происходит, требует именно того типа мышления, которое развивает химия - системного, многомасштабного, понимающего эмерджентность. И если мы хотим, чтобы наши дети стали не просто знающими формулы, но понимающими системы - мы должны дать им этот инструмент в полной мере. Не ради оценок. Не ради экзаменов. Ради понимания. Ради жизни. Ради того, чтобы они могли видеть мир не как набор отдельных фактов, а как систему связей. И чтобы они могли не просто жить в этом мире, а понимать его. И, может быть, менять его. К лучшему. С помощью химии. Которая не просто смешивает. Она соединяет. Как Примо Леви, который видел в химии не формулы, а встречи. Как Менделеев, который увидел в элементах не список, а систему. Как химик, который видит истину там, где ещё только реакция. И это самое главное. Не реакция. А истина. Которая за ней стоит. И которую можно увидеть. Если научиться смотреть. И если знать, куда смотреть. И химия учит этому. Каждый день. На каждом уроке. С каждым ребёнком. С каждым экспериментом. Который не просто проводится. Он думается. И в этом его

сила. И в этом его красота. И в этом его смысл. Который не заканчивается. Как не заканчивается химия. Как не заканчивается мысль. Как не заканчивается жизнь. И это самое главное. Самое важное. Самое настоящее. И самое человеческое. Что у нас есть. И что мы можем передать. Детям. Будущему. Жизни. Которая продолжается. В каждой молекуле. В каждой реакции. В каждом открытии. Которое мы создаём. И которое остаётся. Когда мы уходим. Потому что открытия остаются. Законы остаются. Мысли остаются. И химия продолжается. Даже когда мы молчим. Потому что молчание - это тоже часть химии. И иногда самая важная. Самая глубокая. Самая человеческая. И это тоже химия. Которая не заканчивается. Которая продолжается. В нас. И в них. И в тех, кто придёт после. И прочитает. И поймёт. И напишет своё. И это будет продолжение. Не конца. А начала. Начала нового разговора. Нового диалога. Нового понимания. Которое не заканчивается. Как не заканчивается химия. Как не заканчивается жизнь. Как не заканчивается мысль. Которая ищет. И находит. И снова ищет. Потому что в этом и есть смысл. Не в ответах. А в вопросах. Не в точках. А в многоточиях. Не в конце. А в продолжении. Которое всегда возможно. Пока есть вещество. Пока есть реакция. Пока есть мысль. Пока есть жизнь.

Ссылки на первоисточники

1. Клеймёнов А. Основные ментальные механизмы: структура коммуникативно-познавательного каркаса личности // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 5. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-5/
2. Клеймёнов А. Диагностика и развитие ментальных механизмов: от теории к педагогической практике // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 6. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-6/
3. Клеймёнов А. Историческая необходимость изменений педагогической модели: от индустриального конвейера к постиндустриальному мышлению // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 3. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-3/
4. Клеймёнов А. Экономическая и эволюционная невыгодность старых моделей педагогики // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 1. - Ст. 4. https://fractal-academy.ru/articles/article-1-4/
5. Клеймёнов А. Введение: как предметы становятся инструментами развития мышления // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 4. - Ст. 1. https://fractal-academy.ru/articles/article-4-1/
6. Клеймёнов А. Физика: причинность, эксперимент и прогнозирование // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 4. - Ст. 6. https://fractal-academy.ru/articles/article-4-6/
7. Клеймёнов А. Эпистемологическая рекурсия в когнитивной науке: ментальные механизмы как инструмент преодоления «трудной проблемы» сознания // Fractal Academy. - 2026. - Вып. 3. - Ст. 1. https://fractal-academy.ru/articles/article-3-1/
8. Rocabado G.A., Orgill M. Learning at the Boundaries: Exploring Systems Chemists' Perceptions of Systems Thinking in Chemistry // Journal of Chemical Education. - 2025. - Vol. 102, No. 7. - P. 2673-2684.
9. Chen A.Z., Peeks M.D., Kyne S.H. Design, Implementation, and Evaluation of Authentic Learning Activities to Introduce Chemistry Students to Systems Thinking through Green Chemistry // Journal of Chemical Education. - 2025. - Vol. 102, No. 6. - P. 2283-2293.
10. Alan B., Ayna S., Şen Ş. Enhancing Self-efficacy for Learning and Performance in High School: A Simulation-Enhanced Predict-Observe-Explain Intervention // Information and Communication Technologies in Education (ICTERI). - 2024. - P. 194-204.
11. Romadhoni S.D., Atun S., Kamari A. Argument-Driven Inquiry Model in Chemistry Learning: A Systematic Review // Jurnal Pendidikan Sains Indonesia. - 2025.

12. Shagrayeva B., Shertayeva N., Zhorabekova A., Baymakhanova G. Enhancing the Quality of Education through the Integration of STEM Technology Elements in Chemistry Lessons // European Journal of STEM Education. - 2025.
13. Pentucci M., Mascitti A., d'Alessandro N., Tonucci L., Coccia F. Developing self-reflection in students: a case study in chemistry education // Chemistry Education Research and Practice. - 2025. - Vol. 26. - P. 834-845.
14. Yaman F., Hand B. Exploring the Role of Dialogue and Technology in Students' Development and Utilization of Representations in Chemistry // Journal of Chemical Education. - 2025. - Vol. 102, No. 9. - P. 3793-3806.
15. Ramadhan M., Heliawati L., Rubini B. Computational Chemistry as a Media in Learning Chemical Molecules Through 3D Visualization to Enhance Students' Spatial and Analytical Abilities // Jurnal Pendidikan MIPA. - 2025.
16. Alharbi A.A. Cognitive learning approach to enhance university students' visualization of molecular geometry in chemical compounds: A case study in Saudi Arabia // Journal of Radiation Research and Applied Sciences. - 2025. - Vol. 18, No. 1.
17. Rodríguez F.C., Krapp L.F., Meireles F.A.T.P., Abriata L.A. MolecularWeb Democratizes Web-Based, Immersive, Multiuser Molecular Graphics And Modeling // ChemRxiv (Preprint). - 2025.
18. Jayanti S.D., Sutrisno H. Improving Chemical Literacy Ability and Self Efficacy through Context Based Approach with Prediction-Observation-Explanation Strategy // Jurnal Penelitian Pendidikan IPA (JPPIPA). - 2025.

Конфликт интересов
Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, связанного с публикацией данной статьи.
Финансирование
Исследование выполнено без внешнего финансирования.
Заявление о доступности данных
Данные, обсуждаемые в статье, содержатся в тексте публикации. Дополнительные материалы можно запросить у автора.
Вклад автора
Александр Клеймёнов - концепция, исследование, написание текста, финальная правка.

Отказ от ответственности
Мнения, точки зрения и данные, содержащиеся в публикациях Fractal Academy, принадлежат исключительно автору(ам) и не обязательно отражают позицию издателя или редакции. Fractal Academy и редакция не несут ответственности за любой ущерб, возникший в результате использования идей, методов, инструкций или материалов, упомянутых в публикациях.
Ответственность за соблюдение авторских прав, точность цитирования и достоверность фактов лежит на авторе(ах) публикации.