

СИСТЕМНОЕ МЫШЛЕНИЕ: ВОЗМОЖНА ЛИ РЕАЛИЗАЦИЯ В ФУНДАМЕНТАЛЬНОМ КУРСЕ НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ?

Димитриенко В.Д.¹, Климова В.А.¹, Кузнецова И.В.¹, Орлов С.Б.²

¹ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского», Саратов, e-mail: ivkuznetsova2013@mail.ru;

²ФГБОУ ВО «Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского», Саратов

Аннотация. В статье рассмотрена возможность реализации новой международной образовательной парадигмы «Системное мышление в химическом образовании». Цель исследования – разработка подхода к организации учебного процесса, ориентированного на формирование системного знания и системного мышления, на основе выделения значимых составляющих, умений и логических операций, необходимых для познания химических систем. В ходе исследования был проведен теоретический анализ учебного материала по классической неорганической химии для химических направлений подготовки высших учебных заведений для определения масштаба их изучения. В статье констатируется, что описание свойств веществ соответствует атомно-молекулярному масштабу и потому является высоко абстрактным, межпредметные связи и практико-ориентированные примеры использования изучаемых веществ в системах большего масштаба отсутствуют, ключевые слова, «запускающие» выполнение логических операций, используются незначительно. Установлено, что классический учебный материал мало ориентирован на развитие системного мышления и требует новых подходов. Так как знание и мышление в химии проверяются в большей степени через владение умениями, новый подход предполагает моделирование атомно-молекулярной системы, начиная с перечня умений «на выходе» и соотнесения их с выполняемыми при этом логическими операциями. Для дальнейшего перехода к системам большего масштаба рекомендовано контекстно ориентированное обучение и решение ситуационных задач. Сделан вывод, что формирование системного знания и системного мышления – это, в первую очередь, изучение логических взаимосвязей между компонентами системы, а не объема систем. Реализация подхода системного мышления может быть успешной при соответствующем методическом обеспечении.

Ключевые слова: системное мышление, системное знание, логические умения.

SYSTEMS THINKING: IS IT POSSIBLE TO BE IMPLEMENTED IN A FUNDAMENTAL COURSE IN INORGANIC CHEMISTRY?

Dimitrienko V.D.¹, Klimova V.A.¹, Kuznetsova I.V.¹, Orlov S.B.²

¹FGBOU VO "N.G. Chernyshevsky Saratov National Research State University", Saratov, e-mail: ivkuznetsova2013@mail.ru

²FGBOU VO "Saratov State Medical University named after V.I. Razumovsky", Saratov

Annotation. The article considers the possibility of implementing a new international educational paradigm "Systems Thinking in Chemical Education". The aim of the study is to develop an approach to the organization of the educational process focused on the formation of systemic knowledge and systemic thinking, based on the identification of significant components, skills and logical operations necessary for cognition of chemical systems. In the course of the study, a theoretical analysis of the teaching material on classical inorganic chemistry for chemical training directions of higher educational institutions was carried out to determine the scope of their study. The article states that the description of the properties of substances corresponds to the atomic-molecular scale and therefore is highly abstract, interdisciplinary links and practice-oriented examples of the use of the studied substances in systems of a larger scale are absent, key words "triggering" the performance of logical operations are used insignificantly. It was found that the classical teaching material is poorly oriented to the development of systems thinking and requires new approaches. Since knowledge and thinking in chemistry are tested to a greater extent through the possession of skills, the new approach involves modeling the atomic-molecular system, starting with a list of skills "at the output" and correlating them with the logical operations performed. Context-oriented learning and situational problem solving are recommended for further transition to larger scale systems. It is concluded that the formation of system knowledge and system thinking is, first of all, the study of logical relationships between the components of the system, but not the volume of systems. Realization of the systems thinking approach can be successful with appropriate methodological support.

Keywords: systemic thinking, systemic knowledge, logical skills.

Сегодня на всех уровнях образования отмечается значительное падение интереса к естественным дисциплинам, и в частности к химии. В России эта ситуация вызвана

непоследовательными (непродуманными) управленческими решениями на государственном уровне, хемофобией, навязываемой общественным мнением, противоречиями между декларируемыми и реальными требованиями к результатам школьного образования [1]. В этой всеобщей «размытости» целей теперь каждый ученик вместе с родителями сам выбирает свою образовательную траекторию. Чаще всего – это «легкие» гуманитарные направления. Напротив, химия более масштабна и вариабельна: оперирует множеством фактической информации (законов, правил, формул, уравнений), методов её обработки (анализа, синтеза, сравнения, обобщения, классификации, доказательства), форм подачи (текстовой, графической, иллюстративной, табличной, схематичной), необходимых умений (решения теоретических и экспериментальных задач, переноса умений из одной образовательной ситуации в другую) и т.п. Всё это и российские, и иностранные учащиеся воспринимают как сложность предмета (25,4% опрошенных американских школьников), изучение которого требует много времени и усилий (24,3%) [2]. Такие низкие показатели исследователи объясняют, с одной стороны, небольшим объемом рабочей памяти, отсутствием мотивации и несформированностью метакогнитивных подходов к изучению естественно-научных понятий у обучающихся [3], а с другой - применением неэффективных педагогических стратегий [1; 2], законченностью и завершенностью личностно значимого знания предмета у педагога и рядом других факторов.

Эта ситуация не могла не вызвать беспокойство химического педагогического сообщества, и в 2017 году Международный союз теоретической и прикладной химии (IUPAC) разработал и предложил к апробации проект «Системное мышление в химическом образовании». Смысл системного мышления в химии заключается в понимании того, что все изучаемые вещества являются компонентами систем разного масштаба – от субатомного до макроскопического. В каждой конкретной системе в зависимости от окружения между компонентами устанавливаются специфические связи, появляются закономерности функционирования и развития систем. В результате поведение изучаемого вещества становится обусловленным поведением всей системы в целом. И теперь целью химического образования должно стать формирование у учащихся способности познавать системы разного масштаба и умения решать учебные и практико-ориентированные проблемы, возникающие в них. В качестве примера можно привести проблему истощения озонового слоя в макроскопической системе «атмосфера Земли», для решения которой необходимо сначала отдельно изучить подсистемы меньшего масштаба: химические, физические, биологические, экологические, экономические и их различные комбинации. Каждая из этих подсистем в свою очередь состоит из подсистем еще меньшего масштаба (молекулярного, супрамолекулярного и т.п.), которые также требуют детального изучения.

Обсуждение проблем преподавания химических дисциплин было продолжено на прошедшем в августе 2022 года международном симпозиуме «Исследования в области химического образования на перепутье: куда нам нужно идти сейчас?». Первые достижения в области формирования системного мышления и перспективы дальнейшего развития методики преподавания химии были обобщены Р. Свидер и др. [4]. По компетентному мнению авторов, необходимо далее: использовать научно обоснованные и эффективные методы преподавания; определить **ЧТО** (выделено авторами статьи) преподавать и оценивать; формировать у учащихся системное мышление и учить применять свои знания на практике; участвовать в содержательных дискуссиях о том, что мы (преподаватели) в конечном итоге хотим, чтобы учащиеся могли делать в конце курса или в конце обучения.

Похожая задача поставлена в 2021 году обновлёнными ФГОС ООО и перед российским школьным образованием в виде требования формирования у учащихся функциональной грамотности: способности решать учебные задачи и жизненные проблемные ситуации на основе сформированных предметных, метапредметных и универсальных способов деятельности. А в вузах последние образовательные стандарты соотнесены с профессиональными и в учебных планах увеличены часы практической профильной подготовки.

Нетрудно заметить, что и в отечественной, и в международной педагогике речь идет об акценте на прикладное обучение. Хотя все авторы отмечают положительный эффект от первого опыта апробации такого педагогического подхода и в школах, и в вузах, тем не менее на этом пути возникло и множество вопросов: какие методические приемы позволяют нивелировать увеличение сложности содержания [5] и когнитивную перегрузку учащихся [6]; какие навыки системного мышления особенно актуальны для химических дисциплин [7]; какие темы в наибольшей степени способствуют формированию системного мышления; в чем преимущество нового подхода по сравнению с другими исследовательскими моделями обучения; какие навыки системного мышления можно и нужно оценивать в рамках химического образования [8]. Намечены и пути решения данных проблем – это профессиональная переподготовка педагогов; разработка высококачественных ресурсов для обучения системному мышлению и методам его оценки, их распространение в педагогическом сообществе [6] и др.

Цель исследования: разработка подхода к организации учебного процесса, ориентированного на формирование системного знания и системного мышления, на основе выделения значимых составляющих, умений и логических операций, необходимых для познания химических систем на примере фундаментальной системы атомно-молекулярного

масштаба «Неорганическая химия» для химических направлений подготовки высших учебных заведений.

Материал и методы исследования

Теоретический анализ классических учебных текстов по неорганической химии; определение их уровня сложности и соответствия возможности формирования системного знания и системного мышления по следующим характеристикам: логизация, количество изучаемых понятий (учебных элементов, терминов), количество впервые изучаемых понятий (учебных элементов, терминов), межпредметность, абстрактность [9]; определение масштаба представленных в них систем.

Результаты исследования и их обсуждение

Так как теперь актуальная цель преподавания и обучения – это познание систем, то на первом этапе необходимо выбрать и охарактеризовать изучаемую систему. В литературе приводится большое количество определений систем, но чаще все же принято использовать восходящее к Л. Бертраланфи и ставшее уже классическим определение системы как комплекса взаимосвязанных элементов, образующих некоторую целостность, либо как совокупность объектов, находящихся в устойчивом взаимодействии друг с другом и средой. В химических науках системой является любая химическая дисциплина, например «Неорганическая химия», состоящая из совокупности неорганических веществ, взаимосвязанных между собой закономерностями строения и поведения в химических реакциях, подчиняющихся принципам неорганической химии. Для определения масштаба данной выделенной системы нами были проанализированы различные классические учебные тексты. Их пристальное прочтение показало, что описание свойств веществ соответствует атомно-молекулярному масштабу и потому является высоко абстрактным. Межпредметные связи и практико-ориентированные примеры использования изучаемых веществ в системах бóльшего масштаба отсутствуют. Тексты различаются лишь по количеству рассматриваемых веществ, т.е. объёму системы. Например, в разделах «Важнейшие азотсодержащие вещества» их наибольшее число – 44 – изучается в Московском государственном университете, из них по сравнению со школой 32 новых вещества. Так как изучение систем предполагает установление взаимосвязей между её компонентами, то должны использоваться ключевые слова, «запускающие» необходимое мыслительное действие [10]. Анализ показал их незначительное использование во всех текстах, выполняющих в большей степени информационную функцию. Следовательно, классическое рассмотрение учебного материала мало ориентировано на развитие системного мышления. Но учебный текст – это представление сложившейся многолетней апробированной педагогической системы, реализуемой авторским коллективом единомышленников. А так как новый опыт формирования системного мышления еще предстоит накопить, то и новые тексты

появятся ещё не скоро. Поэтому необходимы специальные методические разработки и разъяснения педагога по установлению межпредметных и логических связей на занятиях.

При разработке методических материалов мы учитывали, что системное мышление невозможно без системного знания, которое обеспечивает как контекст, так и мотивацию для развития навыков системного мышления [8]. Соглашаясь с принятым в педагогике определением системного знания как наличия в сознании структурно-функциональных связей между разнородными элементами знаний («Российская педагогическая энциклопедия»), в каждой предметной области системные знания различаются используемыми при их формировании логическими взаимосвязями. Подходы к формированию системного знания в химии давно известны, используются до сих пор [11] и предполагают первоначально выделение изучаемых понятий и установление причинно-следственных связей между ними, представляемых в виде графического древа или схемы.

Однако масштабность и вариабельность химических систем не ограничивается только причинно-следственными связями. Также одними из наиболее часто используемых логических операций являются анализ (действия вид-вид, часть-целое, противоположность), сравнение (однолинейное и по аналогии) и обобщение. А знание и мышление проверяются в большей степени через владение умениями: составлять формулы, записывать уравнения реакций, оценивать реакционную способность, решать экспериментальные и расчетные задачи, иллюстрировать примерами законы и концепции и т.п. Поэтому нами предложено начинать моделирование атомно-молекулярной системы «Неорганическая химия» с перечня умений «на выходе». Как показывают педагогические наблюдения, студенты 1 курса, где традиционно изучается химия элементов, испытывают затруднения при выполнении умений, требующих применения логических операций. Выбор системы атомно-молекулярного масштаба обусловлен тем, что она наиболее знакома первокурсникам и позволяет формировать понятные логические умения как основу системного знания и контекст системного мышления. В подсистемах, включающих преимущественно ковалентные молекулы, были выделены семь обобщенных умений, соотнесенных с необходимыми для их выполнения логическими операциями (табл. 1).

Таблица 1

Перечень умений и необходимых для их выполнения логических операций

№	Формируемое умение	Логическая операция
1.	Умение составлять электронные и структурные формулы молекул	Анализ (часть-целое, вид-вид, причина-следствие)
2.	Умение описывать строение молекул и предсказывать их устойчивость и реакционную способность	Анализ (часть-целое, вид-вид, причина-следствие)

3.	Умение сравнивать строение молекул, их устойчивость и реакционную способность	Сравнение однолинейное и по аналогии
4.	Умение составлять уравнения реакций кислотно-основного взаимодействия	Сравнение по аналогии и обобщение
5.	Умение сравнивать кислотно-основные свойства соединений, в том числе количественные характеристики и закономерности	Сравнение однолинейное и по аналогии
6.	Умение составлять уравнения окислительно-восстановительных реакций	Сравнение по аналогии и обобщение
7.	Умение сравнивать окислительно-восстановительные свойства веществ, в том числе количественные характеристики и закономерности	Сравнение однолинейное и по аналогии

В качестве иллюстративного примера нами была выбрана одна из подсистем «Важнейшие азотсодержащие вещества». Применение перечисленных умений к изучению представленных в большинстве текстов азотсодержащих веществ и анализ взаимосвязей между подсистемами позволил установить круг молекул, которые являются обязательными компонентами всех подсистем, а остальные были исключены, так как они не являются системообразующими и не определяют поведение системы в целом. В результате для изучения было оставлено 14 важнейших азотсодержащих веществ. Применение к ним семи обобщенных умений позволило установить 53 пошаговых умения. Один из примеров алгоритма выделения значимых компонентов системы, умений и логических операций представлен в таблице 2.

Таблица 2

Пример пошаговых умений для выработки стратегии по установлению взаимосвязи между компонентами подсистемы «Важнейшие соединения азота»

Студент должен уметь:	Для этого студент должен предварительно знать:	Эти знания и умения далее необходимы для установления связей внутри подсистемы	Эти знания и умения далее необходимы для установления связей с другими подсистемами	Формируемые логические умения
сравнивать кислотные свойства (в том числе количественные характеристики и	периодический закон, генетическую связь между классами неорганических соединений,	объяснения общности и различий кислотных свойств азотистой и	предсказывать характеристики и особенности кислотных свойств других кислот	сравнение однолинейное и по аналогии, обобщение

закономерности) азотистой и азотной кислот	особенности кислотных свойств азотной и азотистой кислот, значения $K_{дисс}$	азотной кислот		
--	---	----------------	--	--

Большое количество умений для познания только одной подсистемы связано с тем, что на 1 курсе их однократная иллюстрация не даёт воспроизводимого результата. К тому же развиваемый подход позволяет каждому студенту выбрать индивидуальную траекторию в зависимости от стартового уровня умений и своих когнитивных навыков. Переход к системам бóльшего масштаба и, соответственно, системному мышлению на 1 курсе оптимальнее осуществлять через контекстно ориентированное обучение и решение ситуационных задач. Нами предложены и апробированы в курсе «Неорганическая химия» [12] учебно-исследовательские задания для самостоятельной работы, предполагающие изучение дополнительной литературы и объяснение новых свойств азотсодержащих веществ, широко используемых в промышленных и бытовых целях, в новых масштабах, например «Практически значимые химические и биохимические свойства азотистой кислоты и ее солей». В подсистеме «Важнейшие соединения азота» предложено 9 заданий, а всего в курсе – 65 заданий.

Заключение

Таким образом, формирование системного знания и системного мышления – это, в первую очередь, изучение логических взаимосвязей, а не объема систем. Реализация подхода системного мышления на первом курсе вуза, где традиционно изучается неорганическая химия, может быть успешной при соответствующем методическом обеспечении. Мышление как качество ума личности всегда сопряжено с достижением высокой степени осознанности студентами устанавливаемых логических связей, и поэтому изучение систем следует начинать с формирования логических умений в отдельных атомно-молекулярных подсистемах, последовательно их объединяя и приумножая количество взаимосвязей между всеми понятиями и объектами курса. Расширение масштаба изучаемых систем требует подключения межпредметных знаний, что оптимальнее реализовывать на основе контекстно ориентированного подхода и решения ситуационных задач как промежуточного этапа при формировании системного мышления.

Список литературы

1. Эрлих Г.В. Какая химия должна изучаться в современной школе? Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. 2011. Т. LV. № 4. С. 28-36.
2. Santos D.L., Mooring S.R. Characterizing Mindset-Related Challenges in Undergraduate Chemistry Courses // J. Chem.Educ. 2022. Vol. 99. Is. 8. P. 2853–2863. DOI: 10.1021/acs.jchemed.2c00270.
3. Хон Р.Л. Педагогическая психология: принципы обучения. М.: Акад. проект: Культура, 2005. 734 с.
4. Sweeder R.D., Herrington D.G., Crandell O.M. Chemistry Education Research at a Crossroads: Where Do We Need to Go Now? // J. Chem. Educ. 2023. Vol. 100. Is. 5. P. 1710–1715. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00091.
5. Aubrecht K.B., Dori Y.J., Holme T.A., Lavi R., Matlin S.A., Orgill M.K., Skaza-Acosta H. Graphical Tools for Conceptualizing Systems Thinking in Chemistry Education // J. Chem. Educ. 2019. Vol. 96. Is. 12. P. 2888–2900. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00314.
6. Flynn A.B., Orgill M.K., Ho F.M., York S., Matlin S.A., Constable D.J.C., Mahaffy P.G. Future Directions for Systems Thinking in Chemistry Education: Putting the Pieces Together // J. Chem. Educ. 2019. Vol. 96. Is. 12. P. 3000–3005. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00637.
7. Orgill M.K., York S., MacKellar J. Introduction to Systems Thinking for the Chemistry Education Community // J. Chem. Educ. 2019. Vol. 96. Is. 12. P. 2720–2729. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00169.
8. York S., Lavi R., Dori Y.J., Orgill M.K. Applications of Systems Thinking in STEM Education // J. Chem. Educ. 2019. Vol. 96. Is. 12. P. 2742–2751. DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00261.
9. Кузнецова И.В., Хмелев С.С. Текстовое пространство профессиональных компетенций // Высшее образование в России. 2014. № 2. С. 82-89.
10. Кузнецова И.В., Хмелев С.С. Из опыта проведения предметно-интеллектуальной диагностики // Химия в школе. 2013. № 8. С. 18-23.
11. Tümay H. Systems Thinking in Chemistry and Chemical Education: A Framework for Meaningful Conceptual Learning and Competence in Chemistry // J. Chem. Educ. 2023. Vol. 100. Is. 10. P. 3925–3933. DOI: 10.1021/acs.jchemed.3c00474.
12. Кузнецова И.В., Григорьев А.Н. Техника лабораторного эксперимента в химии: учебное пособие для вузов. М.: Юрайт, 2021. 244 с.