

ЗАБЛУЖДЕНИЯ В ХИМИИ – ОБЪЕКТ БОРЬБЫ ИЛИ ВЕХИ ОБУЧЕНИЯ?

Жилин Д.М.

Московский институт открытого образования, Москва, Россия

Определения и постановка проблемы

*От ложного знания – к истинному незнанию
Переходящий девиз*

Значительный пласт литературы на Западе посвящён заблуждениям (misconceptions) – представлениям (другими словами – ментальным моделям, то есть моделям, содержащимся в мозгу), не соответствующим общепринятым в научном мире [1] или же отличающихся от тех, которые пытался вложить инструктор [2]. В русскоязычной литературе также используется термин «ошибочное представление» [3]. Пример такого заблуждения – представление о том, что внутри пузырьков кипящей воды содержится «воздух», «тепло» или «кислород с водородом» [4]. Общепринято мнение, что с заблуждениями надо всячески бороться, так как они искажают реальную картину мира и мешают пониманию предмета [5]. Бороться с ними сложно по двум причинам. Во-первых, многие заблуждения устойчивы – единожды сформированное заблуждение очень трудно изменить [6]. Во-вторых, заблуждения часто бывают скрыты (implicit) [7] и вполне могут сосуществовать вместе с противоречащими им формальными знаниями. Это означает, что, даже обладая верными формальными знаниями, школьник может пытаться решать те или иные задачи, основываясь на заблуждениях. Так, несмотря на обучение молекулярно-кинетической теории, многие представляют

материю как статичную и непрерывную, а вовсе не как совокупность движущихся частиц [7].

Понятие заблуждения смыкается с понятием ошибки (mistake) и с понятием стереотипа (stereotype), причём границы между ними часто бывают нечёткими. В рамках данной статьи мы разделим их следующим образом. Заблуждение есть часть когнитивной структуры, то есть отображения знаний о мире *в мозгу* человека. Ошибка проявляется при *решении задач* (в самом широком смысле этого слова) как несоответствие между решением и действительностью. Можно сказать, что заблуждения *приводят к* ошибкам. С другой стороны, ошибки позволяют детектировать лежащие в их основе заблуждения.

Сложнее с понятием стереотип, которое имеет несколько значений. В английском языке это исключительно набор характеристик, который, как уверен человек, присущ данному типу людей или вещей [8]. В американском варианте английского стереотипы относят только к восприятию людей [9]. При построении высказывания этот тип людей или вещей выступает в качестве прямого дополнения к слову «стереотип» («стереотип учёного»). Например, детский стереотип учёного – «лысый мужчина в очках и лабораторном халате, в одиночку работающий в лаборатории» [10]. Стереотипы учащихся и учителей и их влияние на процесс обучения изучаются как в России [11], так и на Западе (например, [12, 13]). Такого рода стереотипы влияют на организацию учебного процесса и персональные взаимоотношения, но не связаны с предметом нашей статьи – заблуждениями учащихся в предметных областях.

В русскоязычной (и очень редко – западной) литературе термин «стереотип» или «стереотипная реакция» употребляют ещё в одном смысле. Это – автоматическая реакция на известные стимулы (посмотреть налево, подходя к проезжей части) [14], весьма близкая к условному рефлексу. Такой стереотип в смысле внешних проявлений базируется на внутреннем стереотипе – подвижном равновесии в коре головного мозга в ситуации известного раздражения [15, с. 343, 423].

В знакомых ситуациях такие стереотипы снижают затраты ресурсов на выполнение определённых операций. Однако стереотип проявляется реакцией на очень ограниченное число стимулов, а поэтому не всегда оказываются адекватным. Так, для человека, привыкшего к правостороннему движению, стереотипная реакция «посмотреть налево» при стимуле «подойти к дороге» оказывается неадекватной, если он окажется в стране с левосторонним движением.

В химии тоже возможны стереотипы. Например, «ОН в конце формулы – пишем реакцию диссоциации как основания». Этот стереотип адекватен для неорганических соединений, но оказывается неадекватным для органических. Так, по опыту автора, школьники регулярно пытаются записать уравнение диссоциации этанола C_2H_5OH с образованием иона OH^- .

Интересно, что внешнее проявление заблуждений и стереотипных реакций может быть одинаковым. Так, если школьник пишет реакцию диссоциации спирта с образованием иона OH^- , это может быть интерпретировано и как заблуждение (спирт – основание, потому что он содержит группу OH), и как стереотипная реакция. В данной работе мы будем говорить именно о заблуждениях, то есть об элементах когнитивных структур, осознавая, что часто за них могут быть приняты стереотипные реакции.

Коль скоро заблуждения приводят к ошибкам, их предлагается избегать, а имеющиеся – заменять на строгие научные представления. Однако до сих пор искоренить заблуждения никому не удавалось. Более того, многие учителя имеют ровно те же заблуждения, что и учащиеся, несмотря на более длительное обучение [16]. В связи с этим возникают большие сомнения в том, что задача избегания заблуждений и полной замены их на научные представления поставлена корректно.

В самом деле, любая наука решает две задачи – исследовательскую (что будет, если...) и конструктивную (как сделать так, чтобы...). Для этого наука прибегает к помощи моделей, отражающих некие свойства объекта, существенные для решения данной задачи (теории и

понятия также относятся к моделям) [17]. Однако идеальных моделей нет – их предсказания практически никогда не соответствуют реальности в абсолютной точности, то есть в той или иной мере ошибочны. А значит, любую научную модель можно в той или иной мере считать заблуждениями. Более того, общепринятый критерий научности – возможность экспериментального опровержения данной теории (или модели) [18], то есть научная модель не может не быть хотя бы потенциальным заблуждением. Если мы, вслед за [1], считаем заблуждением то, что «не соответствует принятому в научном мире», то получим, что одни заблуждения, не соответствуют другим – вывод столь же очевидный, сколь и бесполезный.

Чтобы понятие «заблуждение» было всё-таки полезным, переопределим его как модель, предсказание которой при определённых условиях неадекватно, то есть не соответствует действительности (Рис. 1).

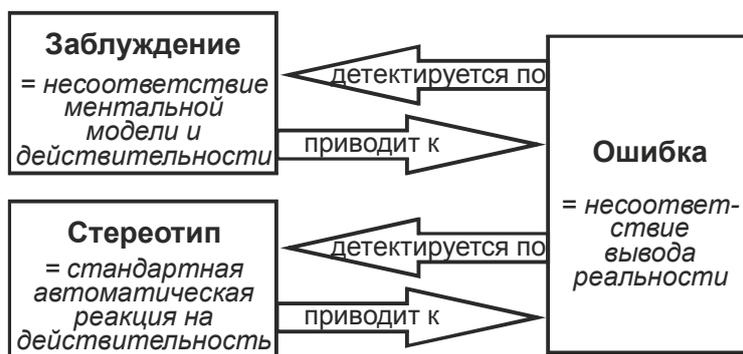


Рис. 1. Соотнесение заблуждений, стереотипов и ошибок

В этом случае оказывается, что заблуждения органически присущи не только индивиду, но и науке. Наука в своём развитии движется от моделей, менее соответствующих реальности, к моделям, более соответствующим реальности. Индивидуум в своём развитии движется в том же направлении. При этом усваивая новые модели, он усваивает присущие им заблуждения, часто повторяя путь исторического развития науки [2]. Но, помимо заблуждений, *присущих* моделям (мы будем называть их научными), у него могут формироваться заблуждения, вызванные *непониманием* моделей. Так, многие студенты считают, что сопряжённые кислоты и основания (по

Бренстеду-Лоури) реагируют друг с другом, образуя соль [19], или что смешение кислоты с основанием вне зависимости от соотношения реагентов даёт нейтральный раствор [20]. Изображая ионообменные реакции в растворах, студенты рисуют хлорид натрия как набор пар «натрий-хлор» [21]. Такие заблуждения мы будем называть «альтернативными» (Рис. 2).

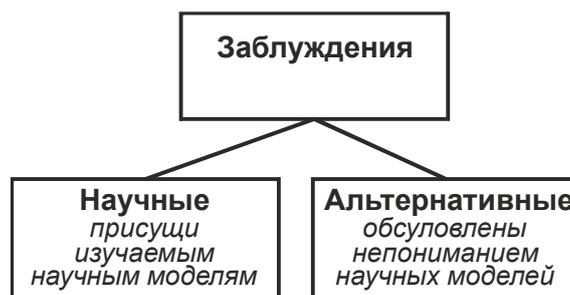


Рис. 2. Заблуждения в соотнесении с научными моделями

Очевидно, что альтернативные заблуждения следует искоренять, заменяя их научными моделями. Вряд ли эта задача разрешаема в полной мере, но чем меньше альтернативных заблуждений, тем меньше ошибок они вызывают. Что же касается научных заблуждений, то искоренить их невозможно. Для любой научной модели существует диапазон условий, при которых она адекватна и диапазон условий, при которых она неадекватна (то есть оказывается заблуждением). Очевидно, что чем меньше первый диапазон и чем больше – второй, тем лучше, то есть тем заблуждение менее критично. Назовём отношение первого диапазона ко второму *глубиной заблуждения*. В этих терминах индивидуальное развитие научных знаний сводится к постепенному *уменьшению глубины научных заблуждений*.

Эта идея конкретизирует широко распространённый на Западе подход замены моделей (в буквальном переводе – «замены понятий», conceptual change), который понимается как «учебный путь от доучебных понятий к тем научным понятиям, которые надо усвоить» [22]. Иными словами, «учёба это не процесс перехода от неграмотности к знаниям, а процесс замены одних знаний другими» [23].

Вопрос, а) как определить глубину заблуждений и б) что нужно сделать, чтобы провести учащегося от более глубоких заблуждений к менее глубоким.

Виды и источники заблуждений

Современные исследования [24, 25], восходящие еще к работам Пиаже, показывают, что практически у всех людей имеются устойчивые и глубоко укорененные интуитивные представления, касающиеся самых разных областей – природы, общества, математики и т.д. В англоязычной литературе они называются по-разному: intuitive representations, intuitive rules, spontaneous representations, intuitive knowledge, students conception, children's ideas, alternative frameworks. Они часто не выражаются словами (и даже не осознаются), но задают ход мысли при решении тех или иных задач в соответствующих областях знаний. Эти представления содержат те или иные заблуждения. С частью этих заблуждений (будем называть их «натуральными», natural) учащиеся приходят в школу. Пример такого заблуждения «кислота – это что-то едкое или вызывающее химические ожоги [26]. Другая часть (будем называть их «школярскими», scholar или school-made) формируются в процессе обучения (Рис. 3) [2].

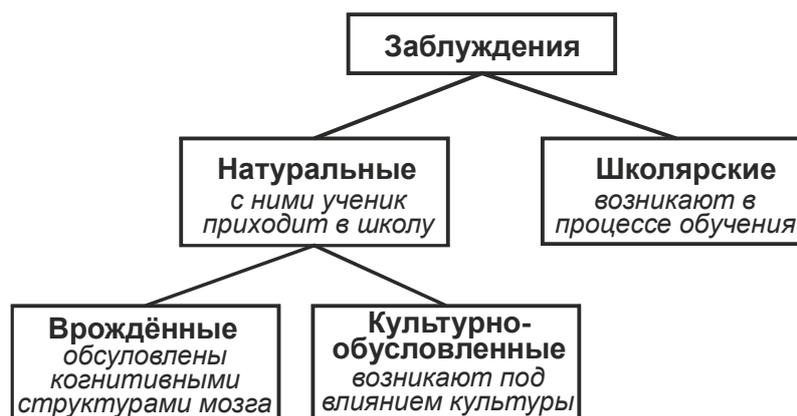


Рис. 3. Виды заблуждений по источникам

Судя по всему, часть натуральных представлений вместе со своими заблуждениями (близкие у представителей разных культур) каким-то образом закладываются в систему познания на достаточно

ранних этапах развития человека (или даже формируются вместе с системой познания). Их мы будем называть врожденными (intrinsic). Другая часть представлений (и заблуждений) обусловлена культурно. Так, 11% тайваньских младших школьников не считают ртуть металлом потому, что в китайском ее название состоит из двух иероглифов: «вода» и «серебро» [25]. Название алмаза, наоборот, начинается с иероглифа, обозначающего металл, поэтому 25% младших школьников считают алмаз металлом. При этом 38% не считают ртуть металлом потому, что она жидкая (какое представление вряд ли зависит от языка).

Источники школярских заблуждений рассмотрены в работе [25], однако её автор не делил заблуждения на научные и альтернативные (что для нас принципиально). Поэтому мы выделим из этой работы только источники альтернативных заблуждений (добавив источники из других работ).

1. Банальные ошибки в учебниках.
2. Использование бытового языка и метафор (выражение типа «кислород реагирует с двумя молекулами водорода»).
3. Различия в значении химических терминов и тех же слов в бытовом значении или других науках (пример – термин «равновесие», которое воспринимается как статическое).
4. Неточность используемых терминов. Например, термин «реакция нейтрализации» формирует заблуждение, что при реакции кислоты с основанием (независимо от их силы) образуется нейтральный раствор [27].
5. Формальное инструктирование, то есть инструктирование, направленное на передачу формальных знаний.
6. Неподходящие стратегии обучения.
7. Собственные заблуждения учителя.

Что же касается научных заблуждений, то они, как уже говорилось выше, обусловлены используемыми научными моделями. Основная проблема при этом заключается в том, что ни школьники, ни студенты, как правило, не осознают того факта, что любые

сообщаемые им знания суть модели, имеющие свои границы применимости. Имплицитно эти границы существуют (например, никому не приходит в голову использовать понятие «кислота» при анализе финансовых рынков), но их наличие не осознаётся. Более того, у одних и тех же людей часто уживаются противоречащие друг другу представления (например, «всё когда-то заканчивается» и «всё делимо» [28]). Иногда люди интуитивно выбирают из двух противоречащих представлений адекватное, иногда – ложное, но выбор здесь не обусловлен осознанием границ. Например, представление «всё делимо» адекватно для математических объектов, а «всё когда-то кончается» – для физических, но школьники далеко не всегда применяют эти представления в нужной области [28]. Между тем, осознание границ применимости (как *неотъемлемой части* модели) – первейший способ избежать заблуждений, ибо научные заблуждения сводятся либо к неоправданно широкому, либо к неоправданно узкому использованию тех или иных представлений [3].

Развитие научных представлений индивидуума

Как показывает многообразный опыт, ещё никому не удавалось сразу вложить в учащиеся научные теории на современном уровне – персональные научные теории и ментальные модели формируются постепенно, от простого к сложному. Ограничения на сложность теорий и моделей, которые можно дать неподготовленному учащемуся накладываются структурой человеческого мозга. Он способен удерживать в рабочей памяти одновременно всего около семи объектов. Если для решения задачи требуется удерживать более семи объектов, происходит познавательная перегрузка (*cognitive overload*) и задача не решается [29]. При этом объект может быть сколь угодно сложным, если он предварительно сформирован в долговременной памяти. Это позволяет формировать сколь угодно сложные ментальные модели, но их формирование должно происходить поэтапно. Более того, согласно весьма популярному в настоящий момент на Западе представлению Джонстона [30] (Рис. 4),

вещество можно рассматривать как минимум в трёх аспектах, причём попытки использовать сразу три перегружают рабочую память учащихся, а потому проваливаются.



Рис. 4. Три аспекта представления веществ (треугольник Джонстона)

Точно также, от простого к сложному и от одного аспекта к другому (хотя и не обязательно теми же путями) формируются представления в науке. При этом в полном соответствии с принципом Поппера, открытие фактов, противоречащих теории (то есть показывающих, что она есть заблуждение), приводит к замене или усложнению теорий. Такое возможно и в индивидуальном развитии. Именно на этом основан такой метод обучения, как когнитивный конфликт (cognitive conflict) [31, 32], который в русскоязычной литературе иногда называют проблемным обучением. Учащиеся проводят эксперимент или иным способом узнают факт, который не могут объяснить в рамках имеющихся у них представлений. Для разрешения этого конфликта вводится новое, более сложное представление.

Для примера приведём один из возможных (далеко не единственный) путей индивидуального развития ментальной модели кислоты (знак « \leftrightarrow » означает «противоречит», « \cup » – объединение двух положений). Этому пути могут предшествовать (или даже

сопровождать его) наивные представления, но мы рассматриваем этот путь с того момента, как учащийся появился в школе.

Опыт: растворы некоторых веществ окрашивают лакмус в красный цвет \Rightarrow

Модель: кислота – вещество, изменяющее окраску лакмуса на красный (признак в макроскопическом аспекте).

Опыт: Формулы веществ, окрашивающих лакмус в красный цвет, начинаются с Н.

Модель: формула кислоты начинается с «Н» (признак в символьном аспекте).

Предсказание: $0 \cup 0 \Rightarrow$ вещества, формулы которых начинаются с Н, окрашивают лакмус в красный цвет.

Опыт: CH_3COOH окрашивает лакмус в красный цвет $\leftrightarrow 0 \Rightarrow$

Модель: формула кислоты начинается с «Н» или выглядит как CH_3COOH (признак в символьном аспекте).

Опыт: кислоты по модели 0 реагируют с металлами с выделениями водорода.

Модель: кислоты реагируют с металлами с выделением водорода (свойство в макроскопическом аспекте).

Модель: металлы замещают водород в кислотах с образованием солей (свойство в символьном аспекте).

Опыт: медь и серебро не реагируют с H_2SO_4 и $\text{HCl} \leftrightarrow 0 \Rightarrow$

Модель: список активных металлов (признак в символьном аспекте)

Модель: кислоты реагируют с активными металлами (0) с выделением водорода (свойство в макроскопическом аспекте)

Опыт: соляная кислота реагирует с одними металлами быстрее, чем с другими \Rightarrow

Модель: чем быстрее соляная кислота реагирует с металлом, тем металл активнее (признак в макроскопическом аспекте).

Модель: чем активнее металл, тем быстрее с ним реагируют кислоты (свойство в макроскопическом аспекте)

Опыт: азотная кислота реагирует с металлами с выделением бурого газа $\leftrightarrow 0 \Rightarrow$

Модель: Кислоты кроме азотной реагируют с активными металлами (список прилагается) с выделением водорода. Азотная кислота реагирует с выделением оксидов азота (свойство в макроскопическом аспекте)

Сообщённый факт: при реакции азотной кислоты с металлами образуется соль. \Rightarrow

Кислоты кроме азотной реагируют с активными металлами (список прилагается), замещая свой водород на металл (образуя соли). Азотная кислота реагирует с выделением азота (свойство в макроскопическом аспекте)

Опыт. Азотная кислота в зависимости от концентрации и металла выделяет при реакции с металлами разные газы. $\leftrightarrow 0 \Rightarrow$

Модель. Условия образования тех или иных газов при реакции азотной кислоты с металлами.

Опыт: уксусная кислота реагирует не со всеми металлами из тех, с которыми реагируют соляная или серная $\leftrightarrow 0$. \Rightarrow

Модель. Кислоты бывают сильными и слабыми (списки прилагаются). Кислоты определённой силы (кроме азотной) реагируют с металлами определённой активности (правила прописываются) с выделением водорода (свойство в макроскопическом аспекте), что можно записать такими-то уравнениями (свойство в символьном аспекте.).

Как видно из этой последовательности, заблуждения в рамках некой модели снимаются усложнением модели (включая усложнение границ её применимости). При этом как усложняются признаки объекта, так и условия проявления им тех или иных свойств. В какой-то момент вводятся количественные параметры, например константа диссоциации как характеристика силы кислоты. Также вводятся различные теории кислот и оснований, например, теория Аррениуса или теория сопряжённых кислот и оснований. На каждом этапе

понятия не только расширяются, но и уточняются. То есть наряду с расширением моделей происходит усложнение их границ (Рис. 5).



Рис. 5. Усложнение индивидуальной ментальной модели кислоты (схема)

На каждом этапе развития ментальной модели школьник приобретает заблуждения, вызванные её ограниченностью. Например, если учащийся сформировал ментальную модель ионообменных реакций, но не сформировал ментальную модель химического равновесия и автопротолиза воды, он будет разделять заблуждение «при реакции нейтрализации ионы H^+ и OH^- исчезают полностью» [20]. До определенного этапа в этом нет ничего страшного: решению задач, стоящих перед учащимся (например, предсказать, какая соль образуется при реакции определённой кислоты с определённым основанием) эти заблуждения не мешают. Более сложные модели (например, автопротолиз воды) призваны расширить круг решаемых задач (в частности, предсказывать поведение слабых кислот, попавших в определённые растворы) и, в конечном счёте, заменить заблуждения на менее глубокие.

Коль скоро мы говорим о глубине заблуждений, возникает вопрос её оценки. Вряд ли можно оценить абсолютную глубину заблуждения, но это и не нужно, ибо ментальные модели, сменяющие друг друга, как правило, выводятся одна из другой. Возможны случаи глобальной замены систем моделей (иными словами, смена парадигмы), при которой (например, замена религиозной парадигмы естественнонаучной), однако это – редкие случаи, представляющие отдельный интерес. В большинстве же случаев развитие моделей идёт в значительной мере эволюционно и проблема оценки глубины заблуждений сводится к проблеме её сопоставления для ограниченного круга моделей.

Замена моделей

Как показывает опыт, формальное усвоение более сложных моделей вовсе не означает, что они будут использоваться в необходимых ситуациях [33]. Иными словами, трансляция научных моделей не обязательно вызывает формирование соответствующих им ментальных моделей. Более того, при формальном введении сложных научных моделей формирующиеся ментальные модели могут включать в себя элементы более простых, которые как раз и следует отвергнуть, в результате чего формируются альтернативные заблуждения. Примером служит упомянутое ранее заблуждение, что сопряженные кислоты и основания реагируют друг с другом.

Таким образом, формальное введение сложных моделей еще не значит, что они превратятся в ментальные модели, а значит, что соответствующие заблуждения будут сняты. Основной причиной этого представляется тот факт, что при введении новых представлений старые не опровергаются. В лучшем случае их пытаются *заменить* на новые, в худшем – вводят новые модели безотносительно к старым (и к ментальным моделям учащихся). В терминах когнитивной психологии в долговременной памяти при этом не формируются связи между старыми структурами и вновь вводимыми представлениями. Например, в ряде российских УМК сначала вводится понятие «молекула» что, (несмотря на оговорку «многие вещества состоят из молекул») формирует заблуждение, что из молекул состоят все вещества. Потом вводятся типы кристаллических решёток, которые не содержат этого заблуждения. При этом практически никто не уделяет внимание снятию старого заблуждения, то есть демонстрации его неадекватности. В результате чего они либо остаётся, либо даже мешает усвоению представлений о кристаллических решётках.

Между тем, заблуждения – замечательная отправная точка для замены моделей при условии, что учащийся осознаёт эти заблуждения. А это значит, что первый шаг на пути усложнения ментальной модели учащегося заставить его почувствовать, что

имеющиеся у него модели неадекватны, то есть создать когнитивный конфликт. Один из примеров, в котором заблуждения снимаются за счёт противоречий их эксперименту, мы приводили, описывая пути развития понятия «кислота». Другой пример – снятие заблуждения о том, что все вещества состоят из молекул. Перед этим важно обсудить что молекулы – частицы, слабо связанные между собой и расстояние между ними больше, чем расстояние между атомами в них. Далее можно пойти как минимум двумя путями: экспериментальным (сравнивая температуры плавления и разложения веществ) и историческим (описав эксперименты отца и сына Брэггов).

Экспериментальный путь

Обсуждают модель молекулы и приходят к тому, что связи внутри молекулы гораздо прочнее, чем между молекулами.

Предсказывают температуры кипения и разложения веществ, состоящих из молекул. При этом у школьников уже должна иметься ментальная модель, что чем прочнее связь, тем более высокая температура нужна, чтобы её порвать. Обсуждение должно прийти к тому, что температура кипения должна быть заметно меньше температуры разложения.

Экспериментально оценивают, каким температурам соответствует разрыв межмолекулярных связей, а каким – внутримолекулярных. Это удобно делать при помощи цифровой лаборатории, нагревая сахар или серу и измеряя её температуру. Сера начинает плавиться при 113°C , а при 250°C у неё резко меняется вязкость, что соответствует разрыву цепочек S_8 . Сахар начинает плавиться при температуре около 180°C , а при температуре больше 200°C начинает разлагаться. Таким образом, 200°C оказывается условной границей. Меньшие температуры соответствуют разрыву межмолекулярных связей, более высокие – внутримолекулярных.

Нагревают гидроксокарбонат меди. Он разлагается при температуре около 230°C , не плавясь. Значит, в нём нет межмолекулярных связей. Оксид кремния вообще не плавится на

спиртовке как минимум до 700°C , значит, межмолекулярных связей (а, следовательно, и молекул) в нём тоже нет.

Чтобы ответить на вопрос «а что же есть», вводится понятие типов кристаллических решёток.

Исторический путь

Обсуждают модель молекулы и приходят к тому, что расстояния между атомами внутри молекулы гораздо меньше, чем между молекулами.

Учитель рассказывает о существовании метода дифракции рентгеновских лучей на кристалле, который позволяет определить взаимное расположение атомов в нём.

Обсуждают, как будут располагаться атомы в кристалле хлорида натрия NaCl .

Учитель рассказывает, что отец и сын Брэгги, впервые проделавшие этот эксперимент [34], выяснили, что каждый атом окружён сразу шестью противоположными атомами, находящимися на одинаковом расстоянии. После этого можно продемонстрировать модель кристаллической решётки хлорида натрия и показать, что молекулы в ней выделить невозможно.

Существует целый ряд моделей организации когнитивного конфликта. В модели «Предскажи-наблюдай-объясни» (Predict – Observe – Explain, сокращённо – POE) [35] студенты предсказывают, что они будут наблюдать; наблюдают это в действительности, а затем наблюдения объясняют (либо их объясняет учитель). В конструктивистской четырёхшаговой модели [36] конфликт начинается с актуализации (выведение моделей в рабочую память путём задавания вопросов типа «что влияет на температуру кипения»), затем идёт фокусирование (собственно наблюдения), далее – вызов (общеклассная дискуссия, направленная на установление связи между наблюдениями и имеющимся знанием), и, наконец – применение (применение полученных знаний в новых ситуациях). Предлагается также [37] 5E-модель (Engage–Explore–Explain–

Elaborate–Evaluation = вовлечение – исследование – объяснение – разработка – развитие – оценка пригодности) и 7E-модель (Excite/Elicit–Explore–Explain–Expand/Elaborate–Extend–Exchange–Evaluate = возбуждение/актуализация – изучение – объяснение – расширение/проработка – определение меры – обмен – оценка пригодности). Иногда бывает достаточно провести дискуссию, выявляющую внутреннюю противоречивость имеющихся моделей (хотя, надо заметить, в таком виде цель дискуссий не формулируется). На наш взгляд, эти стратегии частично пересекаются, а частично дополняют друг друга – остаётся понять, в каком случае какая из них применима. В любом случае ключевым моментом когнитивного конфликта является собственноручная деятельность (*hands-on activity*) учащихся. Альтернативой ей являются тексты, но в большинстве работ используется именно собственноручная деятельность. Кроме того, на примере изучения электрического тока показано, что деятельность эффективнее текста [38].

Естественно, на пути замены моделей стоят многообразные проблемы, поэтому замена моделей происходит далеко не всегда. Например, после интерактивных демонстраций (студенты должны были предсказать результат эксперимента и пронаблюдать его, после чего преподаватель разъяснял модель, объясняющую наблюдения), только половина студентов использовала строгую научную модель, которая вводилась на этих демонстрациях [39]. С другой стороны, доля таких студентов была достоверно выше (51% против 38%) чем в группе, в которой использовались пассивные демонстрации. Более того, некоторые студенты использовали новую модель только для объяснения результатов наблюдавшегося опыта – для близких продолжают использовать старые модели при решении близких задач. В другом эксперименте [40] студенты, изучавшие химическое равновесие с использованием когнитивного конфликта дали 70% корректных ответов, в то время, как изучавшие тему традиционно – 51%. Таким образом, когнитивный конфликт (а) работает не всегда и (б) не всегда необходим, что подтверждается и другими работами

[41]. В любом случае замена моделей – процесс эволюционный, требующий длительной работы, и не всегда срабатывающий.

Отметим несколько проблем, благодаря которым когнитивный конфликт не всегда приводит к замене моделей.

Необходимость наличия заблуждений. Для того, чтобы снять какое-либо заблуждение, необходимо, чтобы оно у учащегося было. В частности, в стратегии РОЕ необходимо, чтобы школьник хотя бы понял, что от него требуют предсказать. Бесполезно снимать заблуждение, что все кислоты реагируют с металлами с выделением водорода, если школьник впервые слышит слова «кислота», «реагирует» и «водород» (или владеет соответствующими понятиями так, как будто первый раз их слышит). Таким образом, заблуждения оказываются не просто *объектом снятия*, но *необходимым условием* развития знаний. Как это ни парадоксально, в западной литературе по данному вопросу молчаливо предполагается, что надлежащие заблуждения в той или иной мере имеются у всех учащихся.

Значимость когнитивного конфликта [31]. Если когнитивный конфликт не значим для учащегося, то он не будет ни пытаться предсказать результаты, ни наблюдать эксперимент, ни, тем более, слушать объяснения учителя. Интересно, что многие авторы молчаливо предполагают, что учащийся заинтересован в процессе, что, как показывает наш опыт, весьма сомнительно. В частности, серьезной заинтересованности учащегося требует расширение стратегии РОЕ – «Предскажи – обсуди – объясни – наблюдай – обсуди – объясни» [42]. Как показывает опыт, такая стратегия иногда работает со школьниками специализированных классов (пока им не становится скучно обсуждать), но попытки применить любые методы, включающие обсуждение, к школьникам общеобразовательных классов у автора проваливались.

Особенности возрастной психологии. Как показано в работах [43, 44], в школьном возрасте люди воспринимают теории либо как истинные, либо как ложные, безотносительно к условиям. Для характеристики гибкости ментальных моделей предложена шкала

уровней Перри. Согласно этой шкале, развитие проходит от дихотомизма («теория либо истинна, либо ложна») через мультиплизм («все теории одинаково верны») к релятивизму («правильность теории зависит от условий»). На каждой из стадий имеется три уровня, итого уровней девять [45]. Казалось бы, это противоречит выводам [28], что учащиеся в разных ситуациях используют разные противоречивые представления. Однако противоречия здесь нет, поскольку представления используются неосознанно, без понимания условий их адекватности (и часто в неадекватных условиях). Если вести преподавание на более высоком уровне Перри, чем у учащегося, информация усвоена не будет [43]. Именно убежденность в безусловной истинности или ложности теорий мешает студентам (даже не школьникам) осваивать органическую химию [46]. К сожалению, в литературе имеются только рекомендации, как подстроиться под уровень Перри ученика, ведя преподавание на том же уровне +1 [47]). Рекомендаций по повышению уровня Перри нет, и это может быть принципиальным возрастным ограничением для замены моделей.

Практические выводы

Таким образом, научные заблуждения есть неотъемлемая часть индивидуального развития. Ограничения, налагаемые устройством человеческого мозга, не позволяют сразу научить всему правильно, поэтому обучение следует вести от грубых моделей, содержащих в себе глубокие научные заблуждения, к более сложным моделям, содержащим менее глубокие. Основной метод такой замены – когнитивный конфликт.

Школьник должен осознавать неизбежность собственных заблуждений и понимать, что они могут мешать решать определённые задачи, а могут и не мешать. Он должен также осознавать, что в случае, если заблуждение мешает решить задачу, следует заменять или уточнять соответствующую модель. Для этого он должен чётко осознавать, что любое научное знание есть модель со своими

границами применимости, чему мешает низкий уровень Перри большинства школьников.

При смене модели возможно возникновение альтернативных заблуждений – в первую очередь, неоправданных перенесений отдельных элементов старых моделей на новые. Возникновение таких заблуждений нужно отслеживать и искоренять.

И, наконец, для организации когнитивного конфликта необходима мотивация школьника. Без неё невозможны ни заблуждения, ни их снятие.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Nakhleh M.B.* Why Some Students Don't Learn Chemistry Chemical Misconceptions. *Journal of Chemical Education*, 69, 1992, No 2, p. 191-196.

2. *Barke H.-D., Al-Hazari, Yitbarek S.* Misconceptions in Chemistry. Addressing Perceptions in Chemical Education. Springer-Verlag, 2009.

3 *Оржековский П.А.* Методические основы формирования у учащихся опыта творческой деятельности при обучении химии. Дисс... докт. пед. наук, Москва, 1998.

4. *Coştu B.* Big bubbles in boiling liquids: students' views. *Chemistry Education: Research and Practice*, 2008, 9, 219–224.

5. *diSessa, A. A.* (2006). A history of conceptual change research. In K. R. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences*. Cambridge, England: Cambridge University Press, pp. 265 – 281.

6. *Tirosh D., Stavry R., Cohen Sh.* (1998) Cognitive conflict and intuitive rules. *INT. J. sci. EDUC.*, 20, 10, 1257-1269.

7. *Pozo J.I., Crespo M.A.G.* (2005) The Embodied Nature of Implicit Theories: The Consistency of Ideas About the Nature of Matter. *COGNITION AND INSTRUCTION*, 23(3), 351–387.

8. *Collin's Cobuild Advanced Learner English Dictionary.* HarperCollinsPublisher, 2003, p. 1419.

9. *Longman Dictionary of American English.* Longman, 2002, p. 792-793.

10. *Lynn D. Newton & Douglas P. Newton* (1988): Primary children's conceptions of science and the scientist: is the impact of a National Curriculum breaking down the stereotype?, *International Journal of Science Education*, 20:9, 1137-1149

11. *Леонтьев А.А.* Педагогическое общение / Под ред. М.К. Кабардова. 2-е изд., перераб. и доп. М.; Нальчик, 1996. – 367 с.

12. *Spencer, S.J., Steele, C.M., Quinn, D.M.* Stereotype Threat and Women's Math Performance. // *Journal of Experimental Social Psychology*. Volume 35, Issue 1, p. 4-28.

13. *Steele, C.M., Aronson, J.* Stereotype Threat and the Intellectual Test Performance of African Americans. *Journal of Personality and Social Psychology*, Volume 69, Issue 5, November 1995, p. 797-811.
14. *Merleau-Ponty M.* The Structure of behavior. Duquesne University Press, 1983.
15. *Павлов И.П.* Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности (поведения) животных. М.: Наука, 1973.
16. *Çalik, M., Ayas, A.* A comparison of level of understanding of eighth-grade students and science student teachers related to selected chemistry concepts. *Journal of Research in Science Teaching*. 42 (6), 2005, p. 638-667.
17. *Жилин Д.М.* Теория систем: Опыт построения курса. М.: КомКнига, 2010.
18. *Поппер К.* Логика и рост научного знания. М.: Прогресс, 1983.
19. *Schmidt H.-J.* Students' Misconceptions – Looking for a Pattern. *Science Education*, 81, 1997, p. 123-135.
20. *Horton Ch.* Student Alternative Conceptions in Chemistry. *California Journal of Science Education*, Volume VII, Issue 2 – Spring, 2007. www.daisley.net/hellevator/misconceptions/misconceptions.pdf.
21. *Kelly R.M., Barrera J.H., Mohamed S.C.* An Analysis of Undergraduate General Chemistry Students' Misconceptions of the Submicroscopic Level of Precipitation Reactions. *Journal of Chemical Education*, 87(1), 2010, p. 113-118.
22. *Duit R. & Treagust D.F.* (2003): Conceptual change: A powerful framework for improving science teaching and learning, *International Journal of Science Education*, 25:6, 671-688
23. *Pfundt, H.* Urspruengliche Erklarungen der Schueler fu" r chemische Vorgaenge. *MNU* 28 (1975), 157. цит. по [2].
24. *Duit, R.* (1999). Conceptual change. Approaches in science education. In: W. Schnotz, S. Vosniadou, & M. Carretero (Eds.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263–282). Oxford, England: Pergamon.
25. *Chiu, M.-H.* (2007) A National Survey of Students' Conceptions of Chemistry in Taiwan. *International Journal of Science Education*, 29 (4) 421-452
26. *Hand, B. M. and Treagust, D. F.* (1988) Application of a conceptual conflict strategy to enhance student learning of acids and bases *Research in Science Education* 18: 53 – 63.
27. *Schmidt H.-J.* (1991): A label as a hidden persuader: chemists' neutralization concept. *International Journal of Science Education*, 13:4, 459-471
28. *Tirosh D., Stavy R., Cohen Sh.* (1998) Cognitive conflict and intuitive rules. *International Journal of Science Education*, 20, 10, 1257-1269.
29. *Reid N.* A scientific approach to the teaching of chemistry. What do we know about how students learn in the sciences, and how can we make our teaching match this to maximize performance? // *Chemistry Education Research and Practice*, 2008, v. 9, p. 51–59.
30. *Johnstone A.H.* The development of chemistry teaching: A changing response to changing demand. // *Journal of Chemical Education*, 1993, v. 70, No. 9, p. 701-705.
31. *Limón, M.* On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: A critical appraisal. *Learning and Instruction*. 11 (4-5), 2001, p. 357-380

32. *Baddock M., Bucat R.* (2008). Effectiveness of a Classroom Chemistry Demonstration using the Cognitive Conflict Strategy. *International Journal of Science Education*, 30, 8, 1115-1128.
33. *Geisler, A., Sumfleth, E.*: Veraenderung von Schuelervorstellungen im Bereich Saeuren und Basen. In: Brechel, R.: Zur Didaktik der Physik und Chemie. Alsbach 1999 (Leuchtturm). Цит. по [2].
34. *Bragg W.H.* The recent work on X-rays and crystals and its bearing on chemistry. *J. Chem. Soc., Trans.*, 1916, 109, 252-269.
35. *Bee Thao.* Literature review: Predict-Observe-Explain procedures. Maggie Broderick, August 3, 2010.
36. *Çalık, Muammer* (2008) 'Facilitating students' conceptual understanding of boiling using a four-step constructivist teaching method', *Research in Science & Technological Education*, 26: 1, 59 - 74.
37. *Çalık M., Ayas A., Ebenezer J.V.*(2009) Analogical reasoning for understanding solution rates: students conceptual change and chemical explanations, *Research in Science & Technological Education*, 27: 3, 283 — 308
38. *Chambers, S.K., and T. Andre.* 1997. Gender, prior knowledge, interest, and experience in electricity and conceptual change text manipulations in learning about direct current. *Journal of Research in Science Teaching* 34, no. 2: 107–23.
39. *Zimrot R., Ashkenazi G.* Interactive lecture demonstrations: a tool for exploring and enhancing conceptual change. *Chemistry Education Research and Practice*, 2007, 8 (2), 197-211.
40. *Canpolat N., Pınarbaşı T., Bayrakçeken S., Geban O.* (2006) The conceptual change approach to teaching chemical equilibrium. *Research in Science & Technological Education*, 24: 2, 217 - 235
41. *Teagust D.F., Duit R.* Conceptual change: a discussion of theoretical, methodological and practical challenges for science education. *Cultural Studies of Science Education* (2008) 3:297–328.
42. *Coştu B., Ayas A. and Niaz M.* Promoting conceptual change in first year students' understanding of evaporation. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2010, 11, 5–16.
43. *Finster D.C.* (1989). Developmental Instruction. Part I. Perry's Model of Intellectual Development. *Journal of Chemical Education*, 66, 8, 659-661.
44. *Felder R.M., Brent R.* (2004) The Intellectual Development of Science and Engineering Students. *Journal of Engineering Education*, 93 (4), 269–277.
45. *Perry W.G. Jr.* Patterns in development in Thoughts and Values of Students in a Liberal Art College. A validation of a scheme. Final report. Project No. 5-0825. US Department of Health, Education and Welfare. April, 1968.
46. *Grove N.P., Bretz S.L.* Perry's Scheme of Intellectual and Epistemological Development as a framework for describing student difficulties in learning organic chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 2010, 11, 207–211.
47. *Finster D.C.* Developmental Instruction Part II. Application of the Perry Model to General Chemistry. *Journal of Chemical Education*, 1991, 68 (9), p. 752-756.