

Чувство вещества

Кандидат химических наук

Д.М. Жилин

Что такое чувство вещества и зачем оно нужно

Больше двадцати лет я занимаюсь химическим экспериментом с самой разной публикой: от школьников младших классов до учителей и от продвинутых олимпиадников до взрослых «с улицы». И уже давно замечал: у одних людей эксперименты получаются хорошо, а у других эти эксперименты получаются плохо или не получаются вовсе. То же самое периодически можно услышать от коллег: у кого-то сложные синтезы получаются всегда и с хорошими выходами, а у кого-то – нет. И далеко не всегда это вопрос возраста или образования: умение безошибочно выполнять эксперименты и получать результат различается даже у младших школьников, только пришедших в лабораторию. А некоторые учителя химии делают в лаборатории такие ошибки, что волосы встают дыбом. В чем же тут дело?

Коль скоро имеется некий феномен, его надо определить. Давайте назовем способность безошибочно проводить эксперименты без явных инструкций «чувством вещества». Причем у этого чувства есть два аспекта: аналитический, «химические глаза», и синтетический, «химические руки». Под «химическими глазами» будем понимать умение замечать и интерпретировать детали процесса, существенные для его проведения. Например, при смешении двух жидкостей между ними иногда наблюдается граница. Она может возникнуть потому, что жидкости не смешиваются друг с другом. Но есть и другой вариант – экспериментатор просто не перемешал жидкости.

Один из труднейших вопросов для «химических глаз» это вопрос «когда?» – когда началась реакция? когда закончилась реакция? Вопрос совершенно не праздный, ибо только после окончания реакции можно прекращать манипуляции по ее проведению и начать извлекать продукт. Казалось бы, очень часто это можно объяснить. Например, если нагреть смесь оксида меди с цинком, то между ними начинается реакция. Реакция идет с выделением тепла и заканчивается довольно быстро. Поэтому реакционная смесь на короткое время раскаляется. Соответственно, как только реакционная смесь раскалилась, нагревание можно прекра-

щать и ждать, пока остынет. Казалось бы, все просто. Но только автор неоднократно наблюдал, как снабженные этой инструкцией люди упорно продолжали нагревать реакционную смесь даже после того, как реакция прошла.

Под «химическими руками» мы будем понимать умение достигать заданного результата при работе с веществами и оборудованием без явных инструкций. Дело в том, что у любой работы с веществами (да и вообще у любой работы) есть множество тонкостей, о которых в инструкциях не говорится. Например, в кулинарном рецепте пишут «нарежьте лук», а каким ножом, в каком порядке, на кусочки какого размера – остается на усмотрение повара. И даже то, что лук нужно сначала вымыть и очистить, тоже только подразумевается. А вот пример химической задачи: получить металлическую медь, нагревая оксид меди в токе водорода (см. фото). Если человек, имеющий чувство вещества и хотя бы раз получавший водород, получит эту задачу, он ее выполнит. Но вот далеко не полный список тонкостей, которые возникают при решении этой задачи.

1. Трубку в лапку на фото нужно зажимать между двумя подвижными и одним неподвижным пальцем. На фото она зажата неправильно («кукишем»).

2. Трубку нужно зажимать на такой высоте, чтобы ее удобно было нагревать снизу.

3. Трубку нужно чуть-чуть наклонить к открытому концу, чтобы позволить стекать конденсирующейся воде.

4. Нельзя нагревать лапки (изначально они были синими, но слишком много людей нарушали это правило).

5. Нельзя начинать нагревание слишком рано, потому что тогда в трубке может остаться кислород, смесь которого с воздухом взорвется. Определить момент начала нагревания можно «на глаз» по интенсивности реакции выделения водорода и времени реакции. Но объяснить, как это сделать, весьма сложно.

6. Нагревать трубку надо снизу, причем только ту область, где лежит оксид меди.

7. Нужно подобрать оптимальную зону пламени, которой нагревать трубку. Если недогреть, реакция не пойдет, если перегреть – трубка расплавится.

8. Кучку оксида меди в трубке нужно нагревать со стороны, ближней к свободному концу трубки и медленно сдвигать зону нагрева в сторону источника водорода. Иначе выделяющаяся вода будет конденсироваться на непрореагировавшем оксиде меди, что затруднит дальнейшую реакцию.

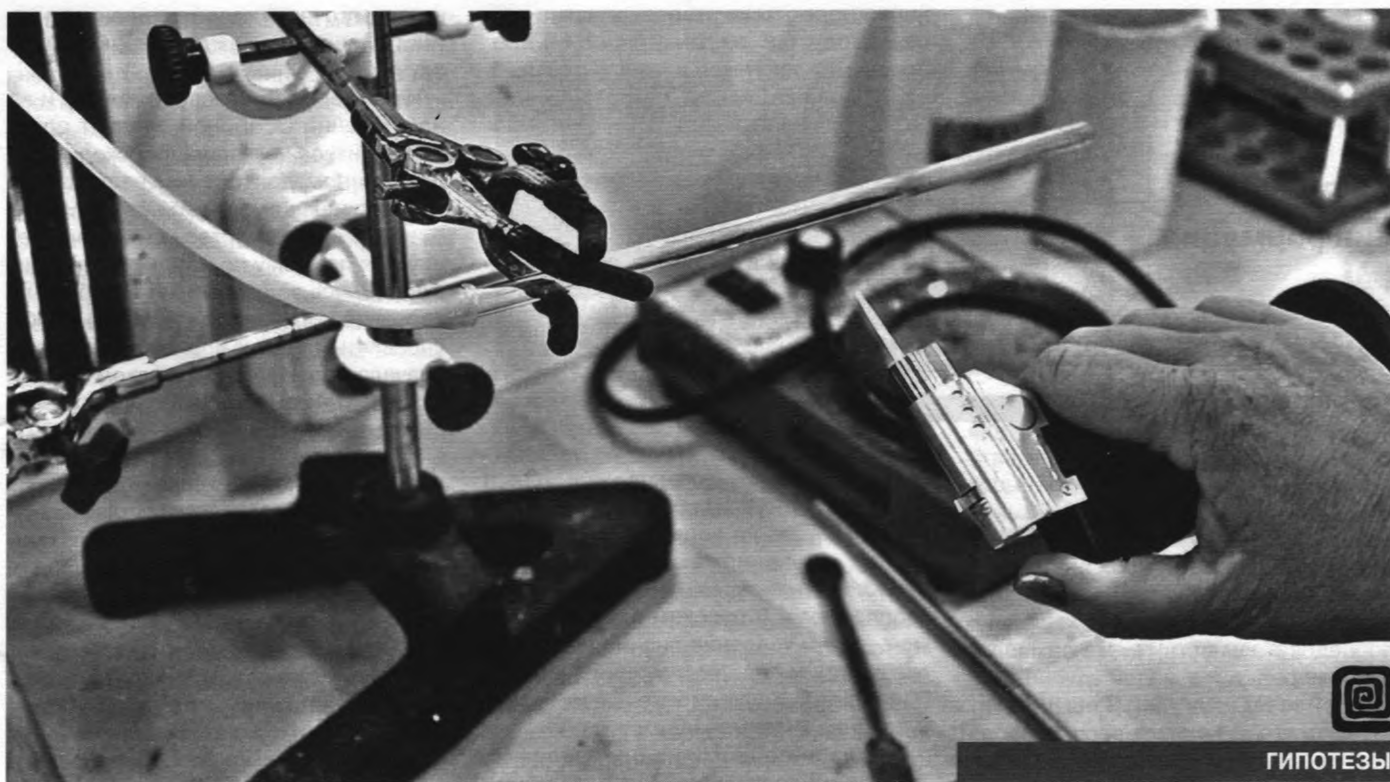
Некоторые из этих тонкостей (например, про нагревание лапок) можно донести инструкциями. Правда, этих инструкций будет столько, что они не удержатся в голове (как говорят когнитивные психологи, «перегрузят рабочую память»). Но гораздо хуже другое: есть тонкости, которые не передаются инструкциями. Например, как оптимально нагревать трубку, чтобы, с одной стороны, запустить реакцию, а с другой – не расплавить стекло. Эта задача решается только путем организации обратной связи: подогрел – посмотрел что получилось, – если ничего не получилось – подогрел еще... Только вот как, имея в руках газовую горелку и не имея термометра, подогреть сильнее или слабее – объяснить невозможно. Да и что значит «ничего не получилось» или как понять, что стеклянная трубка начала плавиться – тоже вопрос, непростой для объяснения.

То есть получается, что если у человека нет чувства вещества, то он не сможет проводить сколько-нибудь сложные химические процессы. Он будет совершать ошибки, а попытки исправить эти ошибки подробными инструкциями только перегрузят его рабочую память. Казалось бы, какое до этого дело людям, далеким от химии, которые никогда в жизни не держали в руках пробирки с колбами и тем не менее счастливы?

Самое прямое. Практически все мы имеем дело с самыми разными веществами, материалами и их превращениями. Превращения веществ протекают на кухне и в стиральной машине; свойства материалов используются в строительстве и автомобильном деле; даже для грамотного выбора мебели нужно понимать, из каких материалов она сделана. Соответственно, чувство вещества нужно каждому, кто готовит еду, стирает белье, кладет штукатурку, ремонтирует автомобиль и даже выбирает мебель. То есть каждому из нас. А это значит, что чувство вещества нужно развивать. У всех.

Чувство вещества с точки зрения психологии

Можно ли вообще научно изучать чувство вещества, или, произнося это словосочетание, мы автоматически уходим в область эзотерики и прочей паранормальщины? Если говорить о научности по Попперу, то концепция чувства вещества и следующие из нее модели должны допускать фальсификацию, то есть такой эксперимент, который опровергнет предсказания моделей. Тесты на чувство вещества вполне можно разработать. Один из примеров (с восстановлением оксида меди водородом и подсчетом числа ошибок) показан выше. Но мы можем взять множество других химических задач и подсчитать, сколько ошибок



Экспериментатор восстанавливает оксид меди в токе водорода, и при этом допускает несколько ошибок. Сможете распознать — какие?

в них делается или насколько хорошим получился выход, крупными кристаллы, близким к истине результат анализа и т. п. А дальше из моделей выводятся условия формирования чувства вещества и проверяют, формируются ли оно при этих условиях. Проблема только в том, что формирование чувства вещества – процесс длительный и, соответственно, экспериментировать надо много и долго.

Чувство вещества имеет множество аналогий, которые могут помочь разобраться в этом феномене. Это и чувство пространства, то есть умение ориентироваться без карты и навигаторов; и «врожденная грамотность», то есть умение писать грамотно, не зная правил; и чувство стиля, то есть умение элегантно одеваться самостоятельно; и «чувство позиции», которое периодически упоминают шахматные гроссмейстеры, обсуждая соперников; и чувство юмора, определение которому дать вообще затруднительно. У всех этих явлений есть общая черта: им невозможно научить интуитивно. Возможно, они в какой-то мере даны от природы. Но в любом случае их можно развить в мозгах.

Ковырянием в мозгах занимается наука психология. Но при попытках найти работы, изучающие развитие вышперечисленных феноменов, я потерпел фиаско. Даже такое, казалось бы, признанное в России явление как «врожденная грамотность» обсуждается только на бытовом уровне, но не на научном.

А в англоязычной литературе даже нет аналога этого термина. Зато количество исследований несчастных с дисграфией и дислексией огромно. То есть дезадаптация исследуется активно, а адаптация не исследуется вовсе.

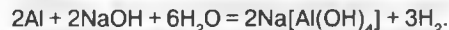
Что же все-таки есть? Есть несколько разделов психологии, которые могут помочь в понимании этого феномена.

Первый раздел – когнитивная психология, которая моделирует обработку информации человеком. Одна из базовых моделей когнитивной архитектуры (то есть процесса переработки информации) была предложена Эткинсоном и Шифриным в далеком 1968 году, но активно используется до сих пор. Уже в нашем веке она была подтверждена методами нейронауки, в первую очередь – магнитно-резонансной томографии, которая позволяет следить за активностью зон мозга при решении тех или иных задач.

В соответствии с этой моделью информация сначала проходит через фильтр восприятия, пропускающий только ту информацию, которую человек считает значимой. Пропущенная информация поступает в рабочую память. В рабочей памяти происходит ее переработка: сравнение, связывание с другой информацией и т. д. В ней же происходит решение задач. Из рабочей памяти обработанная информация может попасть в долговременную память (а может и не попасть). В долговременной памяти информация хранится в структурированном виде и, при необходимости, извлекается в рабочую. Информацию можно считать усвоенной, когда она ложится в

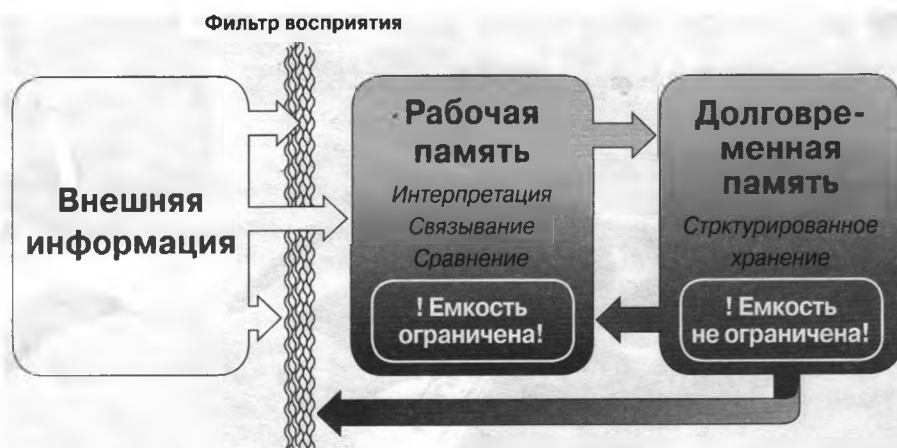
долговременную память. Очень важно, что содержимое долговременной памяти управляет фильтром восприятия (петля обратной связи): чтобы пройти через фильтр восприятия, информация должна соотноситься с той, что уже хранится в долговременной памяти.

Принципиально, что рабочая память оперирует примерно семью объектами одновременно. Впервые это показал американский психолог Джордж Миллер в 1956 году. Его статья, которая так и называется «Магическое число семь плюс-минус два», опубликованная в 1956 году в «Psychological Review», – одна из наиболее цитируемых статей в когнитивной психологии. Однако как при таких жестких ограничениях рабочей памяти человек может оперировать очень сложными объектами? Например, уравнением реакции алюминия со щелочью – ведь если каждый символ считать за объект, их там явно больше семи:



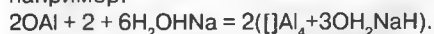
На этот вопрос в 1973 году начали отвечать американские психологи Уильям Чейз и Герберт Саймон. Они сравнивали, как шахматные гроссмейстеры и новички в шахматах запоминают разные расстановки фигур. Оказалось, что если фигуры стоят в случайных позициях, то и гроссмейстеры, и новички запоминают расстановку плохо. Если же фигуры стоят в реальной игровой позиции, то новички запоминают расстановку так же плохо, а вот гроссмейстеры – хорошо. Потом этот опыт воспроизвелся в других профессиональных областях. Например, профессиональные химики

ГИПОТЕЗЫ



Модель когнитивной архитектуры по Эткинсону – Шифрину

легко воспроизводят уравнение, приведенное выше, и плохо – хаотичную последовательность тех же символов, например:



Те, кто химии не знает, воспроизводят обе последовательности одинаково плохо.

Результаты этих опытов привели Чейза и Саймона к мысли, что рабочая память может оперировать сколь угодно сложными объектами как единым целым. Для этого такие сложные объекты должны храниться в долговременной памяти в виде хорошо взаимосвязанных компонентов. Такие объекты назвали чанками (калька с английского слова chunk – пласт). У профессиональных химиков уравнение реакции алюминия со щелочью хранится как единый объект и занимает только одну ячейку рабочей памяти из семи. Люди, далекие от химии, воспринимают это уравнение как набор невязанных символов, под каждый из которых нужна своя ячейка рабочей памяти.

Из приведенной схемы следует масса интересных следствий (например, что чем лучше человек знает предмет, тем быстрее он обучается этому предмету дальше), делающих несостоятельными многие современные педагогические идеи. Однако нас интересует чувство вещества. Видимо, с точки зрения когнитивной психологии его можно считать следствием наличия в долговременной памяти сложноорганизованных и хорошо взаимосвязанных чанков, связанных с веществом и его поведением. Тогда чувство вещества относится к «профессиональному мышлению» (expert mind), и его можно развивать аналогично развитию любых других чанков. Основной инструмент здесь – постоянная работа с предметной информацией, вспомогательный – грамотная организация этой информации (чтобы не перегружать рабочую память).

Второй раздел психологии, который может помочь в развитии чувства веще-

ства, – теория скрытого научения (implicit learning theory). Здесь мы вынуждены использовать не вполне литературное слово «научение» вместо слова «обучение», чтобы снять неоднозначность последнего. В русском языке «обучение» это и усвоение знаний учащимся (learning), и передача знаний учителем (teaching). Научение же – это только усвоение знаний учащимся.

Согласно одному из определений, имплицитное научение есть адаптация к регулярностям окружающего мира, развивающаяся без специального намерения учащегося. Базой для теории стали многочисленные эксперименты, которые показывали, что умение контролировать систему или предсказывать ее поведение далеко не всегда связано с умением объяснить, как она работает. Это проявляется в самых разных задачах: от управления моделями производств (подавая что-то на вход черного ящика, получаем то, что требуется на выходе, но как вход преобразуется в выход – объяснить не можем) до предсказания появления следующего символа в закономерной цепочке (предсказать можем, а объяснить закономерность – нет).

Казалось бы, вот он, инструмент исследования врожденной грамотности и прочих подобных феноменов. Но, увы, большинство имплицитных наuczателей ставят только короткие эксперименты по решению исключительно искусственных задач. Их любимый объект – искусственная грамматика (те самые закономерно построенные бессмысленные цепочки символов). Освоение естественной грамматики (та самая «врожденная грамотность») их интересует мало.

На этом фоне положительно выделяются работы петербургского психолога Марины Осориной, которая, наблюдая за спонтанными детскими играми, делает вывод о том, как эти игры помогают осваивать пространство и окружающие объекты. Хотя Осорина не упоминает слова «имплицитный», все ее наблюдения говорят как раз об имплицитном освоении пространства и окружающих объектов, а также обучении социальному взаимодействию (тому самому, к

которому очень тяжело дать конкретные инструкции для каждого конкретного случая).

И из «коротких» экспериментов, и из наблюдений Осориной следует одно: имплицитное научение происходит при постоянном деятельном взаимодействии с изучаемым объектом. Чтобы освоить пространство, дети перемещаются по этому пространству (например, садясь в незнакомый автобус или сворачивая в незнакомую улицу). Чтобы управлять моделью производства, люди сначала подают что-то на вход модели и смотрят на выход. Чтобы предсказать символ в цепочке, люди наблюдают развитие этой цепочки. Очень похоже на вывод когнитивной психологии, не так ли?

И наконец, четвертая известная психологическая теория, которая может пролить свет на развитие чувства вещества, это теория индивидуального развития Жана Пиаже. Согласно этой теории, у маленьких детей по мере их взаимодействия с окружающим миром развивается «схема действия» – нечто наиболее общее, что сохраняется в действии при его многократном повторении в разных обстоятельствах, – не зависящая от конкретных условий. Например, чтобы что-то схватить, у ребенка развивается «схема хватания», которую он адаптирует под разные конкретные ситуации. Уже к 7–8 годам действия объединяются в интегрированные системы, называемые операциями. Именно такой комплексной операцией можно считать чувство вещества. Как это ни парадоксально, и Пиаже, и его критические последователи (например, Петр Яковлевич Гальперин) мало изучали сложную практическую деятельность, отдавая предпочтение теоретическим задачам. Тем не менее все они в один голос утверждают ровно то же, что и разработчики других упомянутых выше теорий: «интеллект строится на основе действия». Если мы хотим научиться работать с веществом, нужно взаимодействовать с веществом и трансформировать вещество.

Свет на механизмы имплицитного научения и развития схем действия может пролить еще один раздел психологии, именуемый коннекционизм. Коннекционизм моделирует естественный интеллект искусственным и обсуждает научение в терминах формирования нейронных связей. Несмотря на кажущуюся очевидность, коннекционизм постоянно натывается на проблемы. Во-первых, обучение искусственных нейронных сетей требует гораздо больше операций, чем обучение естественного интеллекта. Так, чтобы научить нейронную сеть отличать изображение кошки от изображения собаки, ей нужно предъявить тысячи изображений кошек и собак – больше, чем человек видит за всю свою жизнь. Кроме того, у нас до сих пор нет инструмента изучения активности отдельных нейро-

нов и формирования связей между ними в живом мозге. Пока такие инструменты не появятся, любые коннекционистские построения будут не более чем спекуляциями.

Тем не менее коннекционизм позволяет выдвинуть очевидную гипотезу относительно физиологической основы чувства вещества (а заодно и формирования чанков вообще). Чувство вещества – это неким образом сформированные системы нейронных связей. Вряд ли мы в ближайшем будущем сможем нарисовать схему этих связей, но это, может быть, и не важно. Важно, что сознание непосредственно не управляет созданием нейронных связей (иначе мы давно умели бы это делать осознанно), то есть это формирование происходит имплицитно. И еще важно, что получающиеся нейронные системы совершенно необязательно должны быть хорошо связаны с системами, обеспечивающими вербализацию. И вербальное воздействие – явно не единственный инструмент, формирующий такие системы.

Как и когда формировать чувство вещества?

Из всех приведенных выше примеров следует, пожалуй, единственный путь формирования чувства вещества. Это постоянная и разнообразная работа с веществом. Аналогично, как «чувство позиции» появляется у тех, кто долго играет в шахматы, а умение «на глаз» атрибутировать произведение искусства – у «насмотренных» искусствоведов. Возможно, есть и какие-то короткие обходные пути (говорят, что «врожденная грамотность» проявляется и у тех, кто читает мало), но достоверных подтверждений их всеобщности нет. Причем «работа с веществом» может быть как спонтанной (вроде всякого рода детских «игр с огнем»), так и организованной. И понимание спонтанной деятельности, и ее организация требуют учета возрастной психологии, а значит, зависят от возраста. И тут мы подходим к вопросу, какой возраст оптимален для формирования чувства вещества.

Как ни странно, здесь я сразу начну с выводов. Эти выводы отталкиваются не от вышеперечисленных теорий, а от моего опыта работы с людьми самого разного возраста (от восьми лет до взрослых) в химической лаборатории. Вышеприведенные теории их только подтверждают. А вывод такой: оптимальный возраст для формирования чувства вещества – 8–10 лет.

С этим возрастом автор начал работать в 2013 году весьма неожиданно для себя. Это было независимое пожелание сразу нескольких родителей, причем они сами затруднились ответить, что они ждут от курса химии для их детей. Тем не менее мы организовали курсы для таких детей. Довольно быстро выяснилось,

что никаких теоретических построений они не воспринимают, зато довольно быстро осваивают практические навыки. Элементарные навыки (взвешивание, перетирание, упаривание растворов, но не нагревание пробирок) они осваивают с первого раза и вспоминают даже через несколько недель. Так, на шестом занятии они могут перегнуть воду из пробирки в пробирку, а на одиннадцатом – по кратким инструкциям ведущего приготовить сплав олова с цинком и отлить его в приготовленную ими же гипсовую форму. Более того, отливать металлы в формы могут даже школьники, не имеющие никакого предыдущего лабораторного опыта, но в этом случае каждый школьник требует пристального внимания.

Существует стереотип, что столь юных детей нельзя пускать в лабораторию, так как это опасно. Этот стереотип ни на чем не основан. Как показывает практика, школьники этого возраста работают гораздо аккуратнее и гораздо строже соблюдают инструкции, чем школьники 7–8 класса. Очень хорошо это проявляется в работе, на которой нужно проводить всякие манипуляции со стеклянными трубками, которые требуют нагревания стекла. Школьники 7-го класса в ходе этой работы в большинстве своем обжигают пальцы. Из школьников 8–10 лет пальцы обжигает от силы пятая часть, и то ближе к концу занятия, когда они устают.

Нельзя сказать, чтобы старшие школьники не осваивали вышеперечисленных навыков. Но почему-то делают это медленнее и с большим числом ошибок. И к тому же озадачиваются вопросами вроде «и зачем мне это надо», который у младших школьников обычно не возникает.

Идея об идеальном возрасте для формирования чувства вещества находит свое подтверждение в теории. Согласно Пиаже, возраст 8–10 лет соответствует стадии конкретных операций. На этой стадии формируются операции, которые могут совершаться с конкретными объектами, но не с высказываниями и не со структурами. Вещество как раз и относится к таким объектам. Кроме того, к этому возрасту формируется понимание сохранения вещества (если мы хотим из одного пластилинового шарика сделать несколько, то получившиеся шарики будут меньшего размера).

Гораздо более практичны наблюдения Осориной. Именно в этом возрасте дети начинают деятельно интересоваться помойками – огромным кладезем различных веществ и материалов. И именно в этом возрасте дети начинают спонтанные и самостоятельные игры с ландшафтом (что впоследствии может развиться в «чувство места»), с окружающими людьми (что разовьется в чувство такта) и с окружающими предметами. Получа-



ется, что возраст 8–10 лет – это возраст формирования не только чувства вещества, но и некоторых других «чувств», которые можно сформировать, но которым нельзя научить инструктивно.

Спонтанное развитие чувства вещества происходит при разнообразных детских играх с разнообразными веществами и материалами: лепке куличиков из песка, сжигания пластика, заливания чего-нибудь иодом и т. д. Но вариантов такой спонтанной деятельности не так уж и много. К тому же эта деятельность чревата разрушениями. В этом плане организованное развитие чувства вещества выглядит предпочтительным.

Именно этим мы и занимались. Школьникам 8–10 лет мы предлагали интересные практические задачи (скажем, узнать, что будет, если нагреть вещество), развивая при решении этих задач базовые навыки. Далее мы предлагали задачи посложнее, требующие использования этих навыков (например, расплавить металл и вылить его на подложку). И так задачи все больше и больше усложнялись. Для школьников постарше мы налагали эксперимент на некую теоретическую канву, в качестве которой выступала таблица Менделеева. Этот курс так и назывался «Путешествие по таблице Менделеева», и в ходе этого курса школьники проводили реакции различных простых веществ друг с другом. И наконец, для старших школьников последовательность экспериментов соответствует как последовательности развития навыков, так и последовательности развития понятий о веществе.

Пока что достоверно известно, что таким образом долго поддерживается интерес к химии. Утверждение о формировании чувства вещества при этих манипуляциях – не более чем гипотеза. Ее подтверждение или опровержение требует многолетних исследований. Их методика понятна, а вот где брать ресурсы для таких исследований – понятно не очень.

Автор благодарит доктора психологических наук Елену Вениаминовну Волкову, от которой он впервые услышал термин «чувство вещества».