

**НЕКОТОРЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕРМОДИНАМИКИ
В КУРСЕ «ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ХИМИИ»**

The article is devoted to some methodical aspects of the studying chemical thermodynamics as a part of the «Theoretical bases of Chemistry» course for the first year students of the chemical-technological specialities. The conception and the principles of material choice for the thermodynamic part of the course are discussed. It is shown that not only theoretical but some historic, humanitarian, world outlook and especially applied chemical aspects of the thermodynamics have to be included as a required part of educative content. That helps the students to increase motivation of learning and promotes interdisciplinary correlation with fundamental chemical courses.

Круг вопросов, связанных с проблемами высшего технического образования, включает в себя множество различных по содержанию и значению сегментов, один из которых – фундаментальная химическая подготовка инженеров-технологов. Независимо от субъективных предпочтений и заинтересованностей, эту составляющую круга, безусловно, следует признать одной из самых важных.

Фундамент химического образования в технологическом вузе закладывают две учебные дисциплины – «Теоретические основы химии» и «Неорганическая химия». Первая из них преподается студентам с самых первых дней учебы в вузе и это определяет ее особую роль, поскольку именно с нее начинается профессиональная химическая ориентация будущих выпускников химико-технологических специальностей.

Среди всех фундаментальных химических дисциплин «Теоретические основы химии» является самой «молодой» – в учебных планах вузовской подготовки она появилась сравнительно недавно, в конце второй половины прошлого столетия. Эта дисциплина представляет собой совокупность основных положений и закономерностей различных областей химической науки. Как следует из названия дисциплины, ее содержание должно теоретически обосновывать, как и почему происходят химические реакции. Без этого невозможно понимание свойств веществ и особенностей их взаимных превращений. Поэтому необходимость изучения дисциплины «Теоретические основы химии» очевидна. Однако в силу относительной молодости этой дисциплины до сих пор не сложилось единого подхода к ее содержанию, принципам построения и уровню допустимой сложности в изложении соответствующего теоретического материала.

Содержание курса «Теоретические основы химии» насыщено физической химией, ее идеями, принципами, методами исследования. Одним из важнейших разделов физической химии в этом контексте является химическая термодинамика, и это не случайно. В настоящее время уровень развития химической науки

таков, что ее невозможно изучать, не используя огромные преимущества, которые дает химику умение владеть термодинамическим методом исследования. Многолетнее чтение авторами настоящей статьи курсов «Теоретические основы химии» и «Физическая химия» показало, что существует, по крайней мере, две веские причины, по которым настоятельно необходимо обращение к основам термодинамики на начальном этапе изучения химии в вузе. Во-первых, это способствует повышению научного уровня базовых химических курсов, в частности, курса «Неорганическая химия», который читается студентам во втором учебном семестре. Во-вторых, это подготавливает учащихся к более легкому восприятию материала разделов химической термодинамики на старших курсах в рамках дисциплины «Физическая химия».

Далее возникает самый главный вопрос: как преподносить элементы химической термодинамики студентам первого курса, только что закончившим среднюю школу и не успевшим сколько-нибудь адаптироваться к новым для них условиям вузовской учебы?

Один из возможных ответов на этот вопрос вытекает из самого содержания химической термодинамики, предмета ее изучения как науки.

Среди всех естественно-научных дисциплин термодинамика выделяется своей безусловной красотой, гармоничностью, абсолютной строгостью, силой и всеобщностью. Эти присущие ей особенности не случайны. Они являются отражением устойчивости и всеобщего единства явлений окружающего нас мира, которые исследует термодинамика, и той гармонии и тонкой взаимосвязи во всех проявлениях реальности, которые мы наблюдаем вокруг себя и которыми не перестаем восхищаться. В основе термодинамики лежат обобщения многовекового человеческого опыта, принципы, которые невозможно теоретически обосновать, но которые остаются при этом незыблемыми на все времена. Эти принципы, или постулаты, которые имеют характер фундаментальных законов природы, принято называть,

как известно, первым и вторым началами термодинамики. Если первое начало термодинамики постулирует сохранение энергии во Вселенной и возможность взаимных превращений одной формы энергии в другую, то второе начало, неразрывно связанное с фундаментальным понятием энтропии, определяет направление развития любых процессов в природе. «Второе начало термодинамики выражает необходимую эволюцию, неизменный порядок в последовательности явлений. Когда система развивается, не подвергаясь внешнему воздействию, она никогда не проходит через предшествующее состояние: явления не повторяются» (Цит. по [1], с. 257).

Термодинамика – это наука о всеобщих законах сохранения, развития и равновесия. Основоположники термодинамики в наиболее обобщенной форме выразили этими законами те принципы, по которым развивается окружающий нас мир. И показали, как их использовать для удовлетворения насущных человеческих потребностей.

Законы термодинамики вытекают из допущения о единстве природы. Нужно ли задавать себе вопрос о том, едина ли природа. Ответ на этот вопрос очевиден, так как вся история развития научного познания мира, история наблюдений, открытий и обобщений убеждают нас в единстве Вселенной. Различные части Вселенной связаны между собой бесконечным множеством нитей-взаимодействий и в этом взаимодействии проявляют себя как единое целое. Термодинамика в самой убедительной форме отражает всеобщее единство природы.

«Во всей физике нет ни единого уголка, не исследованного ею; она захватывает химию; термодинамике мы обязаны теорией гальванического элемента. Повсюду царят одни и те же законы, повсюду под кажущимся многообразием мы открываем принцип Карно или второе начало термодинамики и удивительное по своей абстрактности понятие энтропии, которое имеет столь же универсальный характер, как и понятие энергии» [2]. Цитата взята из работы выдающегося французского математика и мыслителя А. Пуанкаре (1854–1912). По прошествии века к сказанному им нужно добавить, что термодинамическая теория работает в биологии, информатике, астрофизике, космологии. Выбор объектов для термодинамического исследования так же безграничен, как и сама Вселенная.

Изучение основ химической термодинамики даже на первом курсе дает преподавателю прекрасную возможность подчеркнуть единство и взаимосвязь всего сущего и познакомить учащихся с основными идеями в этом направлении. Для этого совсем не требуется примене-

ние математического аппарата термодинамической теории. Объединяющую роль первого закона термодинамики и фундаментального понятия «энергия» в процессе научного познания мира можно и нужно показать, не прибегая к высшей математике. Второй закон термодинамики, даже при первом знакомстве с его содержанием, как нельзя лучше подчеркивает основополагающую идею о том, что повсюду обнаруживаются одни и те же неизменные принципы сохранения и развития. Здесь преподавателю достаточно обсудить несколько из более чем двадцати известных формулировок второго закона, чтобы показать, что каждая из них отражает реальность с той или иной стороны. Клаузиус: «Энтропия Вселенной стремится к максимуму». Английский астрофизик Эддингтон: «Энтропия – стрела, отмеряющая время». Льюис: «Выигрыш в информатике – потеря в энтропии». Студенты должны знать, что понятие энтропии и второй закон термодинамики действуют не только в химии, но и в науках, весьма от нее далеких, отражая тем самым глубинную взаимосвязь фундаментальных свойств нашей Вселенной.

Таким образом, формирование у учащихся научной картины мира – одна из важных образовательных задач, которую следует решать в рамках обсуждаемой дисциплины.

Мировоззренческий аспект преподавания термодинамики в курсе «Теоретические основы химии» самым непосредственным образом связан с проблемой гуманитаризации химического образования. Очень важно сформировать в сознании учащегося целостное представление о мире, в котором сам человек является одной из его неотъемлемых частей. Природа и человек едины не только в силу естественного единства мира, но и потому, что научное познание природы идет через общение и взаимопонимание людей, занимающихся наукой и ее практическими приложениями. Кроме того, научное знание развивается в тесной связи с общественным сознанием, его эволюция носит ярко выраженный исторический характер и зачастую – личностный. И, пожалуй, нет другой такой науки, которая больше, чем термодинамика, несет на себе отпечаток исторического развития общества, поскольку она возникла и формировалась как самостоятельная область знаний в ответ на насущные потребности человечества на определенном этапе его существования. Поэтому изучение элементов химической термодинамики будет намного более плодотворным при использовании преподавателем не аксиоматического, а научно-исторического подхода к изложению материала. К тому же такой подход к преподаванию вызывает у учащихся чувства сопереживания,

соучастия в поиске истины. Не будем забывать о том, что речь идет о студентах первого курса, недавних школьниках, для которых эмоциональный фактор играет особую роль, процесс познания для них тем более успешен, чем меньше в нем будет формализма и отвлеченности. Следует находить возможности включения в учебный материал обсуждаемого курса сведений о путях развития термодинамики (как известно, все началось во времена промышленной революции XIX в. с исследования тепловых машин и выяснения условий их эффективной работы), о выдающихся личностях – творцах термодинамики, среди которых были не только физики и химики, но и врачи, инженеры, философы, знакомить студентов с происхождением и развитием понятий термодинамики. Круг «вечных вопросов», над которыми размышляли гениальные умы, и хотя бы краткая история поиска ответов на эти вопросы, безусловно, заслуживают того, чтобы с ними были знакомы будущие инженеры, химики-технологи.

В общем случае, только осмысливая достижения человечества в прошлом, можно увидеть свое место в развивающемся обществе и осознать свою ответственность за будущее современной цивилизации. Таким образом, уже на первом курсе студенты должны получать от преподавателя неискаженную шкалу человеческих ценностей, идеалов, убеждений, которые в дальнейшем будут направлять их деятельность, в том числе и профессиональную. Здесь можно привести не один привлекательный для молодых людей пример значимости профессионализма и компетентности, бескорыстного служения науке. В конце концов, английский физикохимик Уильям Томсон, придумавший для термодинамики ее название и известный миру как лорд Кельвин, получил свой дворянский титул не по наследству, а за выдающиеся научные заслуги.

Другой круг вопросов, которые требуют обсуждения, – это уровень допустимой сложности в изложении термодинамической теории в рамках курса «Теоретические основы химии».

О термодинамике можно и нужно сказать так много, что термодинамический раздел дисциплины «Теоретические основы химии» по своей сути должен быть относительно кратким введением к тому, что потребует более глубокого изучения на последующих курсах в рамках физической химии. Когда студенты вернутся к этому разделу науки через полтора года, они увидят, что материал был существенно упрощен. Однако услышанного ими при первом знакомстве с термодинамикой должно быть достаточно для того, чтобы ознакомиться с основными концепциями термодинамической теории и усвоить их значение.

Мы считаем, что на первом этапе знакомства студентов с термодинамикой задача преподавателя заключается в том, чтобы способствовать глубокому усвоению учащимися фундаментальных понятий и концепций этой области знаний и показать возможности и способы их практического применения для описания конкретных химических систем. Термодинамика в курсе «Теоретические основы химии» должна быть не целью, а средством. На первый план должна быть выдвинута химическая реакция как естественная основа всех происходящих в химии явлений. Именно рассмотрение реакции под термодинамическим углом зрения наиболее эффективный и, возможно, единственный способ практического усвоения элементов химической термодинамики студентами первого курса.

В настоящее время в распоряжении студентов и преподавателей имеется немало учебных пособий и учебников по этой дисциплине. Анализ их содержания показывает, что в большей или меньшей степени им всем присуща одна общая черта, которую можно охарактеризовать как математический фетишизм: склонность переоценивать математическую сторону термодинамики и недооценивать важность усвоения ее идей и понятий.

Математический фетишизм – распространенное явление среди изучающих термодинамику, к сожалению, он нередко встречается и среди преподавателей-предметников.

Авторам статьи не раз приходилось наблюдать на своих лекциях, как студенты переставали записывать (а в худшем случае – и слушать), когда преподаватель начинал излагать понятия термодинамики и пояснять смысл термодинамических соотношений. Заметим, что это очень устойчивая тенденция, и в подтверждение сказанному сошлемся на И. Р. Кричевского, замечательного педагога, написавшего более чем полвека тому назад один из лучших учебников по химической термодинамике [1]. Из вступительной главы к этой книге можно узнать, что во все времена студенты отдавали явное предпочтение рутинным математическим выводам, запоминанию уравнений термодинамики и вычислениям, а не выяснению смысла изучаемых термодинамических закономерностей. Однако термодинамические ошибки – это, как правило, ошибки в понятиях и в неправильном их применении, но не в математической технике (хотя необходимость владеть этой техникой очевидна).

Начинающие изучать термодинамику обычно теряются перед огромным числом термодинамических уравнений и необходимостью их вывода. Тем не менее все уравнения из этого множества выводятся из фундаментальных принципов, в том числе из первого и второго законов термодинамики. Задача преподавателя –

познакомить учащихся с методами вывода термодинамических соотношений, но делать это нужно не ранее чем на старших курсах в рамках дисциплины «Физическая химия». Что же касается первого знакомства с термодинамикой при изучении дисциплины «Теоретические основы химии», то здесь, по нашему глубокому убеждению, следует избегать каких-либо термодинамических выводов, сводя математическую составляющую термодинамики к минимуму. Эта задача облегчается тем, что наиболее важные и полезные с точки зрения их практического приложения термодинамические соотношения очень просты по форме (и очень глубоки по содержанию!).

Поэтому в тех традиционных случаях, с которыми приходится иметь дело большинству химиков, применение термодинамики возможно и без глубокого понимания математической составляющей ее законов. Преподавателю необходимо соблюдать правило: при первоначальном термодинамическом описании химических объектов нельзя подавлять химию и термодинамику математикой. Не следует также требовать от студентов первого курса овладения прочными навыками расчетов термодинамических свойств веществ и реакций, за исключением самых простых случаев, например, когда требуется определить стандартный тепловой эффект и константу химического равновесия реакции, а также равновесный состав простой по стехиометрии реакционной смеси.

Главная образовательная задача преподавателя, которую он должен решить в рамках курса «Теоретические основы химии», – показать студентам значение термодинамики для количественного описания и предсказания свойств отдельных веществ, сравнительного анализа их устойчивости и поведения реакционных смесей. Мы считаем, что в основу решения этой задачи должна быть положена фундаментальная идея о том, что термодинамика – это наука о равновесии и развитии. Эту мысль необходимо постоянно доводить до сознания студентов, подчеркивая, что и химия исследует взаимодействующие, т. е. развивающиеся, химические системы. Учащиеся должны увидеть, в чем заключается сила термодинамического метода – в его способности на основе информации о небольшом числе сравнительно легко определяемых параметров дать исчерпывающий ответ на самые насущные для практики вопросы: возможно ли получение нужного нам продукта при заданных условиях проведения реакции и как следует изменять эти условия для того, чтобы получить продукт с минимальными затратами энергии и максимальным выходом? Фактически вся химическая термодинамика сводится к этим двум вопросам и ответам на них.

Важнейшими термодинамическими понятиями, в которых заложена термодинамика химических процессов, являются изменение энергии Гиббса реакции ΔG_T , стандартное изменение энергии Гиббса ΔG_T° и константа химического равновесия K_p . Именно они отражают естественную способность, или возможность, веществ взаимодействовать между собой. Грамотное применение этих термодинамических функций позволяет химику не тратить времени и средств на проведение сложного и порой дорогостоящего эксперимента, чтобы проверить свои предположения о направлении той или иной реакции. Поэтому самое пристальное внимание студентов нужно обращать на смысл и свойства ΔG_T , ΔG_T° и K_p , а также на содержание тех термодинамических уравнений, в которых эти функции связаны между собой. При этом выводы этих уравнений нужно оставить на «потом», когда придет время изучать химическую термодинамику в полном объеме на старших курсах. Главное, чтобы уже при первом знакомстве с фундаментальными понятиями энергии Гиббса и константы химического равновесия у студента сложилось о них правильное, а не искаженное представление. Это значит, что студент должен усвоить принципиальное различие между ΔG_T° , которая является постоянной для данной реакции величиной и не может быть изменена при заданной температуре, и функцией ΔG_T , которая несет в себе идею развития, так как может принимать бесчисленное множество значений при изменении начальных условий проведения реакции по желанию экспериментатора. К сожалению, с этими понятиями часто происходят печальные метаморфозы. Авторам статьи приходилось видеть в некоторых учебных пособиях уравнения, в которых «живая» функция ΔG_T заменена «застывшей» величиной ΔG_T° . Тем самым из химии и термодинамики исключаются фундаментальные идеи развития процессов и возможности человека влиять на результат процесса.

Проблема может показаться частной, представляющей интерес только для преподавателей химии и химической термодинамики и не требующей обсуждения на страницах данного сборника. На самом деле это не так, потому что в ней отражается совершенно общая и достаточно тревожная тенденция современного образования, которую применительно к термодинамике можно обозначить так – поверхностное изучение предмета, при исследовании и описании каких-либо технологических процессов привлечение термодинамических соотношений всего лишь для украшения обсуждаемого материала и придания ему некоего наукообразия. При этом зачастую истинный смысл применяемых понятий искажается и обращение к ним в лучшем случае становится бесполезным,

а в худшем – приводит к грубым ошибкам и неправильным выводам.

Применение термодинамических уравнений, не подкрепленное знанием идей и методов термодинамики, приводит к опасным заблуждениям, формируя у будущих специалистов превратное представление об окружающем его мире. И здесь мы опять возвращаемся к мировоззренческому аспекту химического образования. Научная картина мира, которая должна сформироваться у студента, изучающего химическую термодинамику, предполагает осознание им не только идеи развития и взаимосвязи всех явлений, но и своей роли как специалиста и профессионала в этом живом и изменяющемся мире.

Поэтому преподавателю в рамках термодинамического раздела курса «Теоретические основы химии» необходимо находить возможности неоднократно возвращаться к этой про-

блеме, демонстрируя на конкретных химических примерах, как, используя термодинамический метод, можно осознанно, т. е. на научной основе, управлять химическим взаимодействием веществ. Необходимо напоминать о естественной способности окружающего нас мира гибко реагировать на внешнее вмешательство и тем самым сохранять свою неизбывность. На основе термодинамики преподаватель должен показывать, как грамотное воздействие человека на химические системы позволяет сделать окружающий мир лучше для нас и наших потомков.

Литература

1. Кричевский, И. Р. Понятия и основы термодинамики / И. Р. Кричевский. – 2-е изд., пересм. и доп. М.: Химия. – 1970.
2. Пуанкаре, А. Избранные труды: в 3 т. / А. Пуанкаре. – М.: Мир, 1971–1974. – 3 т.