

УНИВЕРСАЛЬНОСТЬ ЗАКОНОВ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ КАК ОСНОВА ДЛЯ УСТАНОВЛЕНИЯ МЕЖПРЕДМЕТНЫХ СВЯЗЕЙ

The second law of thermodynamics explains all changes, taking place in our environment, because the conclusions of this law are the examples of the possibility of the appearance the links between the sciences.

...И не будет награды больше, чем разгаданные тайны бытия, по сравнению с которыми самые великие сокровища – не более, чем песок под ногами прохожего...

Диоген

Можно выучить все законы химии и физики, но, не поняв глубинных связей живой и неживой природы, человек не ощутит радости от величия окружающего мира, не получит удовлетворения от «созерцания» мироздания. Даже размышление над важной научной проблемой может быть безрезультатным без глубокого понимания внутреннего единства всех явлений жизни.

Целью статьи является на примере следствий из универсального закона природы – II начала термодинамики, изучаемого в курсе физической химии, увидеть актуальность межпредметных связей и возможность их реализации. Следствия «порожденного» паровой машиной II закона термодинамики выходят за рамки классической термодинамики, отражая единство материального мира. Например, в биологических процессах выявлены те же закономерности, которые в науке впервые были обнаружены при работе паровой машины. Следствия этого фундаментального закона позволяют получать количественные закономерности протекания технологических процессов и объясняют возникновение упорядоченных структур, характеризующих жизнь. II закон термодинамики удивительным образом объясняет все изменения, происходящие в этом необыкновенном мире, окружающем нас, поэтому является ярким примером возможности реализации межпредметных и межнаучных связей. Установление межпредметных связей при изучении отдельного предмета обусловлено современным уровнем развития науки, на котором ярко выражена интеграция общественных, естественно-научных и технических знаний.

«Ни один из разделов физики не способствовал в такой мере возвышению человеческого духа, как термодинамика, особенно ее II начало...» – пишет П. Эткинс, профессор Оксфордского университета, автор рекомендуемых учебников по физической химии. В основу статьи положен материал, изложенный в книгах этого ученого [1–3], где «собраны воедино

размышления о том, сколь широка область применимости II начала термодинамики»*.

Упоминание о II начале термодинамики обычно связывается в памяти с шумной работой паровых машин, математическими формулами и, на первый взгляд, недоступным восприятию понятием «энтропия».

Постараемся уточнить сущность вопроса, не скрываясь за обилием формул и уравнений.

Известно, что для получения тепла необходимо только очаг, в котором происходит сгорание топлива. Истинная революция в технике совершилась в XIX в., когда человек освоил возможность преобразования теплоты в работу. Это преобразование позволило овладеть энергией, запасенной в топливе, и извлечь из нее *движущую силу*, которая позже дала человеку «крылья», чтобы он не был навсегда прикован к поверхности Земли. Однако, какие бы хитроумные двигатели не изобрел человек, чтобы машина действовала, всегда должна происходить *безвозвратная потеря* некоторого количества теплоты, которое нельзя перевести в работу при данной температуре. (КПД, например, ядерных реакторов достигает 32%, автомобильных двигателей – 25%.)

В истории технического развития человеческой цивилизации отражается внутренняя асимметрия, существующая в природе, – работа может полностью превратиться в теплоту, но превращение теплоты в работу облагается природой «налогом», поскольку часть теплоты безвозвратно теряется, по выражению Клаузиуса, «рассеивается». Все естественные процессы сопровождаются рассеянием энергии.

Кельвин и Клаузиус в середине XIX в. смогли отделить от свойства сохранения энергии изолированной системы удивительное свойство направленного рассеяния (диссипации) имеющейся энергии необратимым образом. Они пришли к выводу, что система должна обладать каким-то свойством, которое является как бы количественной «меткой», показателем необходимого количества теплоты, которое нельзя перевести в работу и которое должно быть отдано безвозвратно при данной температуре. Такое свойство действительно существует – это энтропия.

* Применение следствий II закона термодинамики ко всей Вселенной решается в утвердительном смысле Клаузиусом, Кельвином, Джоулем и другими известными учеными.

Все события во Вселенной происходят таким образом, что запасы энергии становятся все менее доступными. Вне зависимости от того, каким способом рассеивается энергия – или путем рассеяния по атомам Вселенной, или просто вследствие утраты упорядоченности движения, – ее рассеяние всегда соответствует росту энтропии*. За счет увеличения «беспорядка» в окружающем нас физическом мире движутся автомобили и самолеты, хотя работа их двигателей обусловлена только потреблением топлива.

Что же в таком «программном» изложении II закона термодинамики «способствует возвышению человеческого духа»? Очевидно, чтобы понять это, необходимо «по следам» рассматриваемого постулата путешествовать «в глубь вещей» – от паровой машины – прародительницы закона – до материи, допускающей самоорганизацию, вплоть до сознания человека; необходимо понять, что идея о рассеянии энергии позволяет объяснить все изменения, происходящие вокруг нас.

Пользуясь следствиями II начала термодинамики, постараемся взглянуть под нетрадиционным углом зрения на «качество» энергии и энтропийный «кризис перепроизводства», на понятие «диссипативной структуры» и вытекающие из этого понятия обобщения.

Человек, имеющий дело с тепловыми двигателями, знает, что лишь при условии наличия «холодильника» становится возможным создать *поток энергии* от нагревателя к холодильнику и «по пути» отвести часть ее в виде работы. Энергия, ушедшая в холодильник, уже непригодна для совершения работы, если не воспользоваться еще более «холодным» холодильником. Это значит, что энергия, запасенная при более высокой температуре, обладает более высоким «качеством», она пригодна для совершения работы, тогда как «качество» энергии, полученной в процессе рассеяния, значительно ниже. Таким образом, можно рассматривать «качество» энергии, если подойти к нему с позиции энтропии. Сжигая, например, нефть или уголь, мы не уменьшаем общих запасов энергии. (В науке утверждается, что энергия каждой изолированной системы, по Клаузиусу, всей Вселенной остается постоянной.) *В этом смысле энергетический кризис вообще невозможен*, поскольку общая энергия в мире всегда остается неизменной. Однако сжигая нефть или газ, мы увеличиваем энтропию мира, т. е. приходим к понижению «качества»

энергии Вселенной. Высокое «качество» энергии должно отражать отсутствие хаоса. Энергия высокого «качества» – это не рассеянная энергия, а строго локализованная, например сосредоточенная в ядре атома. Высоким «качеством» обладает и энергия, запасенная в упорядоченном движении, например в потоке воды.

Мир находится не на стадии энергетического кризиса или дефицита энергии, а на пороге энтропийного «кризиса перепроизводства». Современная цивилизация «рассеивает» запасы энергии, накопившиеся во Вселенной. Следует стремиться не к сохранению энергии, ибо природа делает это автоматически. Наша задача – научиться экономно распоряжаться «качеством» энергии. Иными словами, развитие цивилизации, как на это указывает II закон термодинамики, должно быть направлено по пути снижения уровня производства энтропии. Истолкование связи энергии и энтропии, при котором энтропия характеризует условия запасаения и хранения энергии, имеет актуальное практическое значение.

II начало термодинамики открывает глубокие закономерности, связанные с *неизбежными потерями энергии, происходит ли то в тепловом двигателе, химической реакции или в живом организме.*

Гиббс разработал способ применения термодинамики в химии, ему удалось установить связь между паровой машиной и химической реакцией. Некоторые ученые того времени ставили под сомнение даже правомерность такой постановки вопроса. Тенденция к понижению энергии Гиббса не сводится к тенденции уменьшения энергии вообще. Единственный закон самопроизвольного изменения состоит в том, что Вселенная при этом стремится повысить энтропию. «Замаскированным» выражением именно этого стремления является энергия Гиббса, хотя присутствие слова «энергия» несколько затушевывает эту связь. Гениальный ученый установил, какое минимальное количество энергии может «утечь» в окружающее пространство в виде теплоты, чтобы произведенное количество энтропии позволило реакции протекать самопроизвольно.

По пути понижения энергии Гиббса «движутся» все биохимические реакции. Чтобы жить, нам необходимо питаться. Мы усваиваем вещества, обладающие энергией высокого «качества», соответственно, низкой энтропией. Высокое «качество» энергии в этих веществах первоначально обусловлено Солнцем, температура которого столь высока, что запасается энергия, характеризующаяся низкой энтропией. Эта энергия высшего «качества», ежедневно щедро проливающаяся на Землю

* Энтропия иногда определяется как мера неупорядоченности (хаоса) в расположении частиц системы. Слово «газ» и «хаос» (лат.) происходят от одного корня.

в форме излучения, поглощается растениями в процессе фотосинтеза; далее процесс миграции и преобразования энергии продолжается в организмах животных. По мере того как питательные вещества опускаются вниз по «шкале» энергии Гиббса, в конечном счете выделяясь из организма, на каждой стадии сложнейшего «хитросплетения» реакций, сопровождающих этот процесс, Вселенная постепенно, но неуклонно погружается в состояние хаоса. И хотя организм движется по пути понижения энергии Гиббса, жизненные процессы столь сложны и взаимосвязаны, что попутно рождаются тончайшие явления, соответствующие жизни и сознанию.

Из II начала термодинамики вытекает расширенное понятие структуры. Понятия «структура» и «упорядоченность» рассматриваются как синонимы (от лат. *structura* – порядок). Состояние упорядоченности предлагается рассматривать как возникновение структуры. Под такую классификацию относятся, безусловно, не только физические структуры, но и всякое упорядоченное движение, каковым является, например, поток газа от горячего к холодному, являющийся потоком энергии, т. е. работой. Работа является *диссипативной структурой*, т. е. структурой, которая сохраняется только при условии наличия «потока» энергии и одновременного рассеяния некоторой части этой энергии.

К биологическим диссипативным структурам относятся живые организмы, в том числе человек.

Классическая термодинамика рассматривает закрытые системы, где вещество не «просачивается» ни в систему, ни из нее. Живой организм представляет собой открытую систему, в которой вещество в виде пищи, питья, воздуха усваивается извне. Однако это не означает, что применение II закона термодинамики к открытым системам «бесполезно». Идея о рассеянии энергии, первоначально вызванная к жизни классической формулировкой II начала термодинамики, тонкость и абстрактность допущений подводит вплотную к анализу более широкого класса процессов и успешному решению связанных с ними проблем.

II начало термодинамики – это глобальное отрицание возможности самопроизвольного возникновения структур. Дома, люди не могут появляться сами по себе, спонтанно, точно так же, как и работа не может спонтанно возникать из хаоса. Сказанное не означает, однако, что структуры вообще не могут возникнуть.

Рассмотрим простейший пример появления диссипативной структуры за счет увеличения хаоса. Конструкция теплового двигателя такова, что в процессе диссипации энергии возник-

кает определенная структура, которую воспринимает поршень. Эту структуру назвали работой. Точно таким же способом (разумеется, в принципе, а не в деталях) и человек, являясь диссипативной структурой, в результате своей жизнедеятельности производит определенные деструктивные изменения в других частях Вселенной, создавая при этом ряд упорядоченных структур. Рождение растения из семени или ребенка от родителей – в каждой из таких ситуаций «упорядоченность» как бы впечатывается в ту или иную локальную область Вселенной. Но существенно, что во всех этих случаях упорядоченность выглядит как бы внутренне преходящей... Она разрушается, превращаясь в полную неупорядоченность, когда структура перестает снабжаться потоком энергии извне и теряет связь с окружающими процессами диссипации. Поршень как рабочий орган двигателя «умирает», как и человек, едва лишь прекращается поток энергии и процесс рассеяния, диссипации. Прах (символ неупорядоченности) обращается в прах; между этими этапами возможно временное существование живой структуры. ...Однако это обстоятельство не должно приводить к унынию, может быть, хотя бы потому, что, как утверждает философ, «если бы смерти не было, жизнь потеряла бы свой смысл».

Итак, природа в целом напоминает паровой двигатель, однако значительно более совершенный. Энергия диссипирует везде и всегда, явления диссипации энергии не имеют объяснений, в них есть только непрерывное движение. Но процессы рассеяния энергии столь мудро и хитроумно переплетены друг с другом, что в мире неторопливо разворачиваются разные события, локально возникают различные структуры, и хотя все эти структуры преходящи, некоторые из них способны существовать сотни лет. Главное чему учит II закон термодинамики – все самопроизвольные процессы сопровождаются возрастанием энтропии Вселенной. Однако спад к хаосу не монотонен – в некоторых локальных областях хаос может уменьшаться, но это происходит за счет возникновения еще большего хаоса где-то в другом месте. Это особенно важно учитывать при оценке глобальных последствий (например, экологических) тех или иных технических мероприятий.

Самопроизвольные изменения в мире происходят таким образом, что запасы энергии становятся все менее и менее доступными. «Порядок уступает место хаосу». Несмотря на это, человек способен бросить взгляд вокруг себя и узреть красоту окружающего мира; человек может заглянуть внутрь себя, испытать способность мыслить и осознать увиденное, наконец, человек

может просто получать удовольствие от жизни. Все это вселяет уверенность, что природа более щедра, чем это может показаться при изучении II начала термодинамики. «Однако, это всего лишь эмоции, и не они должны занимать наш разум» – отмечает П. Эткинс. «Наука и паровой двигатель – вот что может позволить человеку постичь внутреннее единство явлений и необычайное величие простоты, таящейся в сложном».

В заключение отметим, что II закон термодинамики, демонстрируя единство материального мира, раскрывает сущность физических, химических и биологических явле-

ний; вводит нас в курс актуальных экологических и социальных проблем. Следствия этого закона как бы расширяют границы одного предмета без потери его качественных особенностей, способствуя реализации межпредметных связей.

Литература

1. Эткинс, П. Порядок и беспорядок в природе / П. Эткинс. – М.: Мир, 1987. – 223 с.
2. Эткинс, П. Физическая химия: в 2 т. / П. Эткинс. – М.: Мир, 1980. – Т. 1. – 577 с.
3. Эткинс, П. Молекулы / П. Эткинс. – М.: Мир, 1991. – 215 с.