

## ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ФОРМИРОВАНИЮ ПОНЯТИЯ «ЭНТРОПИЯ» ПРИ ПОДГОТОВКЕ БАКАЛАВРОВ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫХ ПРОФИЛЕЙ

Дубицкая Л.В.

*ГАОУ ВПО «Московский государственный областной социально-гуманитарный институт»,  
Коломна, e-mail: l.v.dubi@yandex.ru*

Содержание подготовки бакалавров по профилю «Естественнонаучное образование» нельзя считать сложившимся и удовлетворительным, так как существует лишь стандарт нового поколения, а основная образовательная программа пока еще полностью не сформирована. В данной статье речь пойдет о формировании общенаучных понятий у бакалавров естественнонаучных профилей подготовки, которые в дальнейшем могут вести интегрированный предмет «естествознание» в старших классах профильной школы. Понятие «энтропия» имеет общенаучный статус и успешно работает помимо физики в биологии и химии. Обучающиеся должны усвоить, что неравновесные живые системы подчиняются общим законам термодинамики и для характеристики живых организмов применимы соответствующие термодинамические функции, прежде всего такие как энтропия. Предложенный в статье материал может быть включен в программу подготовки студентов как один из ее элементов.

**Ключевые слова:** интеграция, бакалавриат, энтропия, синергетика, открытая система, самоорганизация

## INTEGRATED APPROACH TO FORMATION OF THE CONCEPT «ENTROPY» WHEN TRAINING BACHELORS OF NATURALLYSCIENTIFIC PROFILES

Dubitskaya L.V.

*GAOU VPO «Moscow State Regional Socio-Humanitarian Institute»,  
Kolomna, e-mail: l.v.dubi@yandex.ru*

The content of training of bachelors on the Naturallyscientific Education profile cannot be considered developed and satisfactory as there is only a standard of new generation, and the main educational program for the present is completely not created. In this article it will be a question of formation of general scientific concepts at bachelors of naturallyscientific profiles of preparation who can conduct further the integrated subject natural sciences in the senior classes of profile school. The concept «entropy» has the general scientific status and successfully works besides physics in biology and chemistry. Trained have to acquire that nonequilibrium alive systems pochinyatsya to the common laws of thermodynamics, and for the characteristic of alive organisms the corresponding thermodynamic functions and first of all such as entropy are applicable. The material offered in article can be included in the program of training of students, as one of its elements.

**Keywords:** integration, bachelor degree, entropy, synergetics, open system, self-organization

В последнее время усилено внимание к подготовке специалистов в области естественнонаучного образования. Это объясняется тем, что социальные процессы, связанные с развитием производства, запросами очередного этапа развития науки и техники, осуществляемые в настоящее время, ставят новые профессиональные задачи перед высшей школой, предъявляют новые требования к профессиональной подготовке учителя современной школы, бакалавров образования. В связи с этим необходимо обеспечить соответствие предметной подготовки будущих учителей задачам современного этапа реформирования общего среднего и высшего профессионального образования.

В данной статье речь пойдет о формировании общенаучного понятия «энтропия» у бакалавров естественнонаучных профилей подготовки, которые в дальнейшем могут вести интегрированные курсы естествознания в профильной школе.

Анализ существующих пособий по естественнонаучным предметам для профильной школы показал, что понятию «энтропия» уделяется внимание только в учебнике по естествознанию под редакцией И.Ю. Алексашиной, где материал излагается с физической точки зрения и не имеет интегративного характера. На наш взгляд, это понятие имеет общенаучный статус и успешно работает помимо физики в биологии и химии. Попробуем разобраться вначале, что мы будем понимать под фундаментальным или научным понятием. Всякое научное понятие выполняет ряд важнейших познавательных функций [5].

Во-первых, системы научных понятий являются концентрацией нашего знания, поэтому человек, лишь овладев определенной системой понятий, получает возможность осмыслить явления, происходящие вокруг него.

Во-вторых, лишь овладение определенной совокупностью понятий дает человеку

возможность осуществлять планомерную целесообразную деятельность по преобразованию окружающего мира.

В-третьих, понятия являются базой, на основе которой осуществляется развитие научного прогресса.

В-четвертых, понятие есть важнейшее средство упорядоченного мышления. Оно возникает в результате мыслительной обработки знаний, получаемых посредством органов чувств.

В-пятых, научное понятие, система научных понятий есть средство овладения объективным знанием, не зависящим от воли и желания субъекта.

Учитывая специфику контингента гуманитарных профилей средней школы, с которым в дальнейшем будет работать учитель естествознания, где обучающиеся не мотивированы на изучение дисциплин естественнонаучного цикла, а формирование у них естественнонаучной картины мира является необходимым требованием современной школы, мы считаем изложение данного вопроса начинать со следующего материала. «Человек давно понял: первоначально был хаос, из него с течением времени образовались всевозможные упорядоченные структуры, живые существа и, наконец, он сам.

Современная наука отводит эту роль случайным процессам; роль бога играет в действительности Его Величество Случай. Процесс возникновения порядка из хаоса – не результат вмешательства свыше, а результат самоорганизации материи на основе случайного поиска» [7, с. 204]. В процессе самоорганизации материи первоначальный хаос элементарных частиц, образовавшийся после Большого взрыва, постепенно организовался сначала в атомные ядра и атомы, затем в вещество звезд и планет. Этот процесс привел к возникновению жизни на Земле, появлению все более сложных видов. На первый взгляд, эволюция в живой природе, сопровождающаяся, по Дарвину, усложнением видов, находится в противоречии со вторым началом термодинамики, согласно которому материя должна со временем деградировать (должна возрастать энтропия).

Учащимся интересно будет узнать, что ещё в 1854 году немецкий учёный Клаузиус ввёл понятие энтропии (от греч. слова τροπή – превращение). К греческому «тропэ» добавлена приставка «эн», получилось – энтропия. В 1909 году профессор Иенского университета Ф. Ауэрбах назвал царицей мира энергию, переход которой определяется первым началом термодинамики, а её тенью – энтропию,

изменение которой отражает суть второго начала термодинамики.

Энтропия – одна из основных термодинамических функций состояния. Она определяет возможность, направленность и предел всех процессов. Введение энтропии позволило обобщить условия протекания самопроизвольных и равновесных процессов и сформулировать второе начало термодинамики, которое, как и первое начало, является постулатом, не противоречащим практике.

Разберём причины, определяющие роль энтропии в самопроизвольных процессах. Согласно первому началу термодинамики внутренняя энергия изолированной системы остаётся постоянной и не может служить причиной самопроизвольных процессов. В изолированных системах происходит перераспределение энергии в результате её рассеяния. Энтропия определяет степень рассеяния при переходе системы из одного состояния в другое, когда существующий порядок в системе нарушается, и она переходит от порядка к беспорядку или от относительно меньшего беспорядка к большему беспорядку. Энтропия – своеобразная мера нарастания беспорядка в системе.

При этом обучающиеся прежде всего должны узнать при изучении термодинамики, что человек является «...изотермической тепловой машиной Механизм действия мускулов до конца не выяснен, но уже то, что коэффициент полезного действия их достигает 20–30% при разности температур тела человека и окружающей среды всего в 10–20 К, говорит о невозможности рассматривать организм как обыкновенную тепловую машину» [1, с. 187].

Человек получает энергию при окислении пищи. Так, например один килограмм масла дает 33000 кДж, килограмм риса – 12000 кДж, килограмм картофеля – 3000 кДж. Для поддержания нормальной жизнедеятельности человеку требуется в среднем 7000–10000 кДж в день. Установлено, что лишь 20–40% всей подведенной химической энергии идет на совершение внешней работы, а остальная часть превращается во внутреннюю энергию (поэтому при физических нагрузках человек греется). Следовательно, человек обменивается с окружающей средой не только энергией, но и веществом, и представляет собой открытую термодинамическую систему.

До этого момента учащимся были знакомы только изолированные термодинамические системы. Было введено понятие термодинамического равновесия. Отмечаем, что живые организмы имеют тенденцию сопротивляться установлению термодинамического равновесия. Температура

человека, кошки остается постоянной в достаточно большом интервале температур окружающей среды. «Более того, жизнь создает и добавочную упорядоченность, проявляющуюся в определенном строении живых организмов. Следовательно, жизнь – это наименее вероятное состояние материи, и сама по себе она не может существовать длительное время» [1, с. 86]. В обыденной жизни приходится постоянно сталкиваться с порядком и беспорядком. К упорядоченным системам можно отнести спички в коробке, ионы в кристалле и др. Возможные системы с беспорядком – это толчея в метро в «час пик», расположение молекул жидкостей и газов и т.д.

Не следует забывать, что рост энтропии, ведущий к нарастанию беспорядка, характерен для всех систем, а для изолированных систем он определяет самопроизвольный процесс. Если не было бы ограничения на увеличение энтропии в самопроизвольных процессах только для изолированных систем, то человечество ожидал бы в будущем хаос и беспорядок. Дело в том, что в открытых системах поведение энтропии существенным образом отличается от её поведения в изолированных системах. Как же определить, в каком направлении пойдёт тот или иной процесс и пойдёт ли вообще?

Для пояснения этого приведем формулировки, известные в истории физики как выражение второго начала термодинамики:

1. Тепло не может само собой перейти от системы с меньшей температурой к системе с большей температурой (формулировка Р. Клаузиуса).

2. Невозможно непрерывно получать работу, только охлаждая отдельное тело ниже температуры самой холодной части окружающей среды (формулировка В. Кельвина).

3. Невозможен вечный двигатель второго рода, т.е. периодически работающая машина, которая производила бы подъём груза только за счёт охлаждения теплового резервуара (формулировка В. Оствальда).

Итак, «закон возрастания энтропии определяет течение энергетических превращений: все они в замкнутых системах происходят лишь в одном направлении. Реальные процессы всегда необратимы, они могут лишь с большей или меньшей точностью приближаться к идеально обратимым процессам» [2, с. 31].

Живые организмы постоянно создают из беспорядка упорядоченность. В них возникает и поддерживается физическое и химическое равновесие, в котором основана работоспособность живых систем. В процессе индивидуального развития (онтогенеза) каждого живого организма так же,

как и в процессе эволюционного развития (филогенеза), всё время образуются новые структуры, т.е. достигается состояние более высокой упорядоченности. Это кажущееся противоречие с законом возрастания энтропии объясняется тем, что организмы – не изолированные, а открытые системы, непрерывно обменивающиеся веществом и энергией с окружающей средой. Это позволило сформулировать определение жизни с термодинамической точки зрения следующим образом: «Живыми называют такие системы, которые способны самостоятельно поддерживать и увеличивать свою очень высокую степень упорядоченности в среде с меньшей степенью упорядоченности» [1, с. 86]. Отсюда следует, что обмен веществ как важнейшая функция живых организмов с точки зрения термодинамики необходим для того, чтобы препятствовать увеличению энтропии, обусловленному необратимыми процессами в системе.

Каждый живой организм и каждая клетка представляют собой термодинамическую открытую систему, которая непрерывно превращает заключённую в органических веществах химическую энергию в энергию рабочих процессов и в конце концов отдаёт её в окружающую среду в форме тепла. В результате этого обмена веществом и энергией с окружающей средой и живой системой нет термодинамического равновесия. «Живая система никогда не находится в равновесии и всё время совершает за счёт своей свободной энергии работу против равновесия, устанавливающегося при данных внешних условиях» – Бауэр «Всеобщий закон биологии» (1935). При температурах, свойственных живому организму, его структуры лабильны и подвергаются непрерывному распаду. Для компенсации этого распада должна совершаться «внутренняя работа» в форме процессов синтеза. Иными словами, рабочие процессы являются процессами с отрицательной энтропией (негэнтропийными процессами), так как они противодействуют увеличению энтропии, связанному с распадом структур, создают упорядоченность с помощью химической энергии и низкой энтропии поглощаемых высокомолекулярных органических веществ (гетеротрофные организмы), или с помощью электромагнитной энергии и низкой энтропии поглощаемого солнечного света (автотрофные зелёные растения) [6, с. 141].

Таким образом, наукой доказано, что неравновесные живые системы подчиняются тем же общим законам термодинамики, которым подчиняются другие неравновесные, но неживые системы, поэтому для характеристики живых организмов применимы

и соответствующие термодинамические функции, прежде всего такие, как энергия и энтропия.

Живой организм – в высшей степени упорядоченная система с низкой энтропией. Существование живого организма предполагает непрерывное противодействие разупорядочивающим факторам и, в частности, факторам, вызывающим заболевания. Может показаться, что живой организм не подчиняется требованиям второго начала.

Это, конечно, не так. Необходимо учитывать, что любой живой организм – это незамкнутая система, пребывающая в существенно неравновесном состоянии. Эта система активным образом взаимодействует с окружающей средой, например в процессе питания живые организмы потребляют высокомолекулярные соединения. Уменьшение энтропии происходит при синтезе высокомолекулярных соединений из низкомолекулярных [1, с. 87]. Известно, например, что пища имеет более низкую энтропию, нежели отходы. А при энергообмене происходит расщепление глюкозы до углекислого газа и воды, которое характеризуется возрастанием энтропии.

Человек не просто живёт. Он трудится, творит и, следовательно, активно понижает энтропию. Всё это возможно лишь благодаря тому, что «...человек получает необходимое количество негэнтропии (информации) из окружающей среды. Она поступает к нему по двум различным каналам. Первый связан с процессом обучения. Второй связан с физиологическими процессами обмена, происходящими в системе (человек+окружающая среда)» [6, с. 141].

Далее целесообразно изложить современную точку зрения по этому вопросу. Мы пользуемся в статье материалом из книги Л.В. Тарасова [7], т.к. считаем, что здесь наиболее доступное изложение материала, рассчитанное на гуманитариев.

Следует различать два вида процессов. Процессы в замкнутых системах, ведущие к установлению теплового равновесия, сопровождаются возрастанием неупорядоченности; они идут в направлении от порядка к хаосу. Процессы же в сугубо неравновесных открытых системах могут идти в обратном направлении – от хаоса к порядку. Это и есть процесс самоорганизации.

Самоорганизация обстоятельно рассматривается И. Пригожиным и И. Стенгерс: «Ныне мы знаем, что вдали от равновесия могут спонтанно возникать новые типы структур. В сильно неравновесных условиях может совершаться переход от беспорядка, теплового хаоса к порядку» [3, с. 54].

По мнению Пригожина и Стенгерс, энтропия – не просто безостановочное соскальзывание системы к состоянию, лишенному какой бы то ни было организации. При определенных условиях энтропия становится прародительницей порядка» [3, с. 25].

Далее обучающимся необходимо рассказать о синергетике.

Интересно, что понятие «синергетика» происходит от греческих «вместе» и «действую». Этот термин сравнительно давно применяется в физиологии: группы мышц, действующих совместно для осуществления одного движения, называют синергистами. Использование же данного термина в качестве названия нового научного направления было предложено совсем недавно немецким ученым Г. Хакеном. Он предложил назвать синергетикой область науки, которая занимается изучением эффектов самоорганизации в физических, химических, биологических и других системах. Иными словами, синергетика – это наука о самоорганизации в неравновесных открытых системах различной природы, наука о законах рождения порядка из хаоса. Приведем несколько примеров, которые будут уместны при изложении данного вопроса. В книге Л.В. Тарасова [7] можно найти наиболее доступное изложение материала, рассчитанное на гуманитариев.

Первый пример – облачность. Все, кто летал на самолете над облаками, мог не раз наблюдать их регулярную, весьма упорядоченную структуру. Можно наблюдать почти правильные прямоугольные и шестиугольные ячейки облаков, регулярные валы, прямолинейные «улицы». Весь этот геометрический порядок образовался из хаоса молекулярных движений, разнообразных возмущений в воздушной атмосфере и слое водяных паров, вызываемых неравномерностью их прогревания, приводящей к интенсивной конвекции.

Второй пример – неустойчивость Бена-ра (это явление было обнаружено Г. Бенаром еще в 1900 г.). Явление совсем нетрудно воспроизвести. Надо налить в обычную сковороду слой минерального масла толщиной примерно 5 мм, добавив в масло (чтобы эффект был виден отчетливее) мелкие алюминиевые опилки. Затем надо поставить сковороду на огонь. Вначале, пока перепад температуры между дном сковороды и поверхностью масла еще невелик, подводимая снизу теплота будет распространяться вверх за счет теплопроводности. При дальнейшем нагревании начнется конвекция: нагретое масло будет подниматься, а холодное опускаться. Пространственное распределение этих двух встречных

потоков через некоторое время самоорганизуется – возникает упорядоченная структура из шестиугольных конвекционных ячеек – ячеек Бенара. «Неустойчивость Бенара – явление весьма впечатляющее. Конвективное движение жидкости порождает сложную пространственную организацию системы. Миллионы молекул движутся согласованно, образуя конвективные ячейки в форме правильных шестиугольников некоторого характерного размера» [3, с. 196].

Третий пример – химические часы. Мы представляем себе химическую реакцию так: в разных направлениях в пространстве движутся молекулы реагентов и случайным образом сталкиваются друг с другом. Казалось бы, в такой картине самоорганизация невозможна. Но это не так. При определенных условиях некоторые химические реакции сопровождаются периодическими изменениями (во времени и в пространстве) концентраций реагентов. Все это происходит через определенные промежутки времени. Получается периодический химический процесс – химические часы.

Заметим, что в последнее время обнаруживаются все больше таких процессов; их называют автоволновыми. Любопытно, что биение сердца, оказывается, поддерживается целым комплексом осциллирующих химических реакций. «Часто используемое вольное сравнение здорового сердца с часами приобретает сегодня конкретный смысл – это химические часы» [3, с. 197]. Подобные примеры можно найти в рамках любого школьного предмета.

В заключение отметим, что содержание подготовки бакалавров по профилю «Естественнонаучное образование» нельзя считать сложившимся и удовлетворительным, так как существует лишь стандарт нового поколения, а основная образовательная программа пока еще полностью не сформирована. Предложенный в статье материал может быть включен в программу подготовки студентов как один из ее элементов.

#### Список литературы

1. Бордовский Г.А. Физические основы естествознания: пособие для вузов. – 2-е изд., испр. – М.: Дрофа, 2004.
2. Зимон А.Д. Популярная физическая химия. – М.: Научный мир, 2005.

3. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: пер. с англ. – М.: Прогресс, 1986; 6-изд. М.: ЛКИ / UPSS, 2008. Тарасов Л.В. Мир, построенный на вероятности. М.: Просвещение, 1984.

4. Рубинштейн Д.Х. Развивающееся физическое понятие // Вопросы методологии и методики формирования научных понятий у учащихся школ и студентов вузов. Тез. докл. Межвузовской научно-практич. конф. 21–23 мая 1990. – Челябинск: ЧГПИ, 1990.

5. Серополова Е.Я. Междисциплинарные связи и формирование естественнонаучных понятий при обучении физике в основной школе // Физика в школе. – 2007. – № 3. – С. 30–34.

6. Тарасов Л.В. Мир, построенный на вероятности: Кн. для учащихся. – М.: Просвещение, 1984.

7. Тарасов Л.В. Приобщение школьников к современной физике: Диалоги с учителем. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010.

8. Усова А.В. Психолого-дидактические основы формирования у учащихся научных понятий. – Челябинск, 1986.

#### References

1. Bordovskiy G.A. Fizicheskie osnovy estestvoznaniya: posobie dlya vuzov / Bordovskiy G.A. 2-e izd., ispr. M.: Drofa, 2004.

2. Zimon A.D. Populyarnaya fizicheskaya himiya. M.: Nauchnyy mir, 2005.

3. Prigozhin I., Stengers I. Poryadok iz haosa / Per. sangl. M.: Progress, 1986; 6-izd. M.: LKI / UPSS, 2008. Tarasov L.V. Mir, postroennyiy na veroyatnosti. M.: Prosveschenie, 1984.

4. Rubinshteyn, D.H.. Razvivayuscheesya fizicheskoe ponyatie // Voprosy metodologii i metodiki formirovaniya nauchnykh ponyatiy u uchaschihsya shkol i studentov vuzov. Tez. dokl. Mezhevuzovskoy nauchno-praktich. konf. 21–23 maya 1990. – Chelyabinsk: ChGPI, 1990.

5. Seropolova, E.Ya. Mezhpredmetnyye svyazi i formirovanie estestvennonauchnykh ponyatiy pri obuchenii fizike v osnovnoy shkole // Fizika v shkole. 2007. no. 3. pp. 30–34.

6. Tarasov L.V. Mir, postroennyiy na veroyatnosti: Kn. dlya uchaschihsya. M.: Prosveschenie, 1984.

7. Tarasov L.V. Priobshchenie shkolnikov k sovremennoy fizike: Dialogi s uchitelem. M.: Knizhnyy dom «LIBROKOM», 2010.

8. Usova A.V. Psihologo-didakticheskie osnovy formirovaniya u uchaschihsya nauchnykh ponyatiy. Chelyabinsk, 1986.

#### Рецензенты:

Важеевская Н.Е., д.п.н., профессор, Московский педагогический государственный университет, г. Москва;

Пурешева Н.С., д.п.н., профессор, кафедра теории и методики обучения физике, МГБОУ ВПО «Московский педагогический государственный университет», г. Москва.

Работа поступила в редакцию 06.03.2015.