

С. Д. ГАПОЧЕНКО, канд. физ.-мат. наук;
А. А. МАМАЛУЙ, д-р физ.-мат. наук, НТУ „ХПИ”

ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ГАРМОНИИ В ФИЗИКЕ

В статье рассмотрена роль эстетических принципов в формировании физической картины мира. Показано, что внутренняя логика физики определяется стремлением к созданию единой теории Вселенной - постижению гармонии мироздания. Высказывается предположение, что принцип гармонии может выступать в качестве одного из базисов интеграции естественных и гуманитарных наук.

The role of aesthetic principles in generation of universe physics picture is considered. The hypothesis that harmonic principle can be as one of basis of natural and humanitarian sciences federation is made.

Анализ современного состояния образовательного пространства приводит к заключению, что существующая система инженерного образования даже в высокоразвитых государствах не соответствует гуманистической тенденции общественного развития. Так одна из причин экологического кризиса, который поставил перед человечеством проблему выживания, заключается в дефиците современного мировоззрения, отсутствии образованных и компетентных руководителей на всех уровнях, способных рассматривать свою производственную деятельность в контексте сохранения биосферы. Некоторые ведущие ученые считают, что причины современного кризиса обусловлены упрощенной, даже механистической моделью социального развития, которая до сих пор владеет умами.

На данном этапе человечество постепенно осознает необходимость пересмотра самих глубинных основ своего мировоззрения, понимания своего места в природе, своих взаимоотношений с внешним миром, своей цивилизационной парадигмы. Деятельность человека в рамках предшествующей «технологической» парадигмы безусловно ведет к деградации биосферы и не в состоянии гарантировать сохранение человека в ее составе. Таким образом, определение стратегии образования, которое в состоянии сформировать мировоззрение инженера, которое бы дало ему возможность эффективно решать актуальные проблемы современности, является первоочередной задачей.

Гуманизация инженерного образования требует пересмотра его содержания и технологий обучения. По отношению к содержанию это означает, что система образования должна включать не только новейшую научно-техническую информацию, но и гуманитарные личностно-развивающие знания и умения, опыт творческой деятельности, эмоционально-ценностное отношение к миру и человеку в нем, а также систему

морально-этических ценностей, которые определяют поведение инженера в различных производственных и жизненных ситуациях.

Средствами выявления культурно-гуманистического потенциала общенаучных и общетехнических дисциплин должен стать анализ мировоззренческих и методологических проблем этих предметов, историко-научный и историко-технический (в том числе биографический материал), компетентное разъяснение категориального аппарата и логики фундаментальных и общетехнических наук.

В НТУ «ХПИ» с 90-годов прошлого столетия активно проводится разработка направлений решения проблем гуманизации инженерного образования. Среди результатов можно выделить разработку методологии гуманизации инженерного образования на базе интегративной системы образования [1]. В настоящее время на повестке дня вопрос о разработке учебно-методического обеспечения эффективной реализации данной методологии на практике.

В этой связи следует отметить, что, начиная со второй половины XX в., в парадигме научного сознания все чаще обращаются к эстетическим ценностям ориентирам, пытаясь понять степень эффективности их участия в процессе принятия новых идей, гипотез, в период построения нового знания и выборе математического формализма, а также при сопоставлении уже разработанных, логически законченных теорий, эквивалентно описывающих одни и те же эмпирические данные. Так С. Котиной [2] были предложены гипотеза и логическое обоснование возможности действия гносеологического принципа красоты как методологического регулятива, обладающего самостоятельностью и действующего наряду с принципами верифицируемое, фальсифицируемое, простоты и другими регулятивами научного познания. Подобной точки зрения придерживались многие выдающиеся ученые И. Кеплер, Н. Бор, В. Гейзенберг, А. Пуанкаре другие. В частности, А. Эйнштейн писал [3], что задачи науки и искусства едины – они сводятся к познанию и отображению гармонии реального мира. В свете сказанного можно предположить, что раскрытие принципа красоты в различных областях научного знания может послужить структурообразующей идеей для разработки интегративных учебных курсов.

Данная работа посвящена рассмотрению эстетических аспектов физического знания о природе. Отдельные вопросы этой темы рассматривались рядом авторов [например, 2-7]. Однако систематический анализ источников в контексте заявленной проблемы отсутствует.

Авторы ставят перед собой задачу показать, что одним из базовых принципов, определяющих динамику развития физики с момента ее зарождения и до наших дней является принцип гармонии – один из базовых принципов эстетики.

Этиология понятия гармонии неизвестна, хотя некоторые античные авторы, в частности Плутарх, находили его истоки в вавилонянской культуре. Но конкретное содержание – как всеобъемлющей черты бытия, как единства борющихся противоположностей, как существования единого многообразия явлений окружающего мира – это понятие обрело в Древней Греции.

Ядром понимания «природы» первыми древнегреческими философами – ионийскими «физиками» или «физиологами» (*peri physeōs* – люди, пишущие о природе) являлось существование элемента – начала всех вещей. Четыре элемента (стихии) были независимо предложены досократиками: вода (Фалес), воздух (Анаксимен), земля (Ксенофан) и огонь (Гераклит). Гераклит также выделил два плана сущего: непосредственное, наличное существование вещей и его внутреннюю природу. Их соотношение выражается через понятие двух гармоний: «скрытой» и «явной». Причем «скрытая гармония сильнее явной» [7, В5]. «Скрытая» гармония подчиняется внутренней закономерности в виде «логоса» – закона смысловой связи всего сущего. Дальнейшее развитие идея материальных начал получила у Эмпедокла: он предполагал, что все они существуют совместно в определенных математически выразимых пропорциях – вещи отличаются друг от друга различием в количественном содержании стихий.

Атомисты Левкипп, Демокрит и Эпикур в качестве начал всего сущего рассматривали неделимые частицы-атомы и пустоту. Чисто количественные отношения, разнообразные состояния и движения атомов есть основа многообразных явлений окружающего мира.

К «нематериальным» началам следует отнести апейрон Анаксимандра и число пифагорейцев. Пифагорейцам принадлежит также и первая последовательная разработка математических основ гармонии. Гармония понималась пифагорейцами как «соразмерное смещение» [8, с.71]. Истоки такого понимания гармонии находятся в открытых пифагорейцами законах музыкальной гармонии: основные музыкальные созвучия обусловлены звучанием натянутых струн пропорциональных длин. Музыкальным тонам были приписаны простые соотношения (сохранившиеся и поныне) – частоты колебаний, отстоящих на октаву, соотносятся как 2:1, на квинту – 3:2, на кварту – 4:3. Этими пропорциями и их произведениями описываются отношения между всеми наблюдаемыми явлениями. Таким образом, пропорции, образованные целыми числами, упорядочивают разнородное и разногласное. В соответствии с этими представлениями была построена первая «количественная» модель Вселенной. В центре мира находится огонь – связь и мера природы. Далее идут Противоземля, Земля, Луна, Солнце, пять планет и мир неподвижных звезд. Космические тела вращаются вокруг центрального огня, прикрепленные к хрустальным сферам. Сферы располагаются в соответствии с музыкальными интервалами: их размеры и скорости образуют

гармонические пропорции. Вращаясь с определенной скоростью, каждая сфера издает музыкальный тон. Вся система сфер образует гармонию, «музыку сфер», неслышную простым людям (Платон. «Тимей») [8]. Уже в учении пифагорейцев прослеживается влияние эстетического идеала на способ описания мироздания: в модели Вселенной, устроенной по законам музыкальной гармонии, используются «совершенные формы» – сферы и «совершенные движения» – равномерные движения.

Более расширенная и глубокая трактовка гармонии мироздания была дана Платоном. Разрабатывая теорию познания, он выделил «мир идей» как предметов подлинного знания, знания разумного, составляющего цель науки («Гиппий Большой») [9]. Простейшая связь идеи и вещи – воплощение последней в математической структуры первой. «Мир идей» представляет собой иерархически расчлененную структуру, на вершине которой находится идея Блага. Познать Благо можно тремя идеями – «...красотой, соразмерностью и истиной» («Филеб», 64e-65a) [9]. Соразмерность или симметрия (греч. *sum* – совместно, *metron* – измерять, *summetria* – соразмерность) имеет у Платона смысл пропорционального отношения, образованного целыми числами (в духе пифагореизма), обладающего функцией гармонизации различных элементов в едином целом. «Наиболее прекрасные из всех связей те, которые делают сами по себе и из тех вещей, которые они связывают, величайшее единство и это есть пропорция (*summetria*), которая осуществляет это наипрекраснейшим образом. («Тимей», 31c) [9]. Таким образом, симметрия тесно связана с красотой, гармонией и это обеспечивает её значительную роль в познании мира.

Из принципов идеальной формы и симметрии Платон выводит также учение о строении вещества и законах его превращения. Лейтмотив учения Платона – красота мироздания выражается математическими закономерностями, в основе которых лежат понятия гармонии и симметрии.

В. Гейзенберг писал: «То что, математическая структура, а именно рациональное отношение чисел, является источником гармонии, было, безусловно, одним из наиболее плодотворных открытий, сделанных в истории человечества вообще.

Математическое отношение способно сочетать две первоначально независимые части в нечто целое и тем самым создать красоту. Именно в силу этого открытия в пифагорейском учении совершился прорыв к новым формам мышления.

Оно привело к тому, что первоосновой всего сущего стало считаться уже не чувственно воспринимаемое вещество вроде воды Фалеса, а идеальный принцип формы. Так была высказана фундаментальная идея, составившая позднее основу всех точных наук» [6, с.270].

Таким образом, в Древней Греции оформились идеи существования закономерностей природы, возможности познания их и выражения в математических соотношениях, отражающих гармонию и симметрию – структурные элементы реальности.

Ставя перед собой задачу объяснения наблюдаемых фактов, древнегреческие философы пытались на основе немногих общих принципов создать возможно более полное и логичное их описание – искали общие схемы объяснения, то есть разработали дедуктивный метод, являющийся составной частью современного научного метода познания. Созерцательное понимание познания господствовало в натурфилософии вплоть до начала эпохи Ренессанса, когда идеи античных философов не просто получили дальнейшее развитие, но существенно обогатились по содержанию. В эпоху Возрождения фактически были заложены методологические основы современного естествознания. Не ставя перед собой задачи детального анализа философских учений того времени, представляется целесообразным для полноты картины проследить в общих, наиболее значимых чертах формирование нового понимания окружающего мира, цели научного познания и путей её достижения.

Значительной вехой в прогрессе естествознания и философско-рационалистического сознания в целом явилась гелиоцентрическая система Н. Коперника («О вращениях небесных сфер»), пришедшая на смену геоцентрической системе Аристотеля – Птолемея, которая составляла мировоззренческое ядро натурфилософии с античных времен. Основным моментом в теории Коперника является осознание относительного характера движения: перенесения тела отсчета с Земли на Солнце позволяло значительно упростить сложные неравномерные движения планет и Солнца на фоне звездного неба. Однако его модель построена в соответствии с эстетическим идеалом античности: планеты равномерно движутся по круговым орбитам.

Следующее эпохальное открытие было сделано И. Кеплером. Будучи апологетом эстетических идеалов древних греков, в поисках мистической математической гармонии мира, он открыл три великие законы, управляющие движением планет Солнечной системы, которые впоследствии И. Ньютон связал законом всемирного тяготения.

Современное естествознание обрело четкие контуры у Г. Галилея. Научное наследие Г. Галилея огромно: его исследования в области физики и астрономии исключительно разносторонни. Непреходящее значение работ Г. Галилея состоит в том, что ним фактически впервые в истории человеческой мысли было сформулировано понятие объективного, неантропоморфного, чисто физического закона природы.

Мыслители Ренессанса и Нового времени (наиболее выдающиеся из них Р. Декарт и Б. Паскаль) – Титаны, на плечах которых покоится

величественное и элегантное здание классической механики, воздвигнутое И. Ньютоном. Механика Ньютона, изложенная им в «Математических началах натуральной философии» (1687) основывается на трех законах, известных как законы Ньютона, и законе всемирного тяготения. Универсальная сила гравитационного притяжения, действующая по словам Ньютона, «во всех бесчисленных телах земного и небесного универсума» – фундамент классической механики, ибо именно в ней открывается один из аспектов гармонии мироздания – существование *единой причины* как свободного падения тел на Земле, так и движения небесных тел. Отличительная черта законов механики Ньютона – их простая математическая формулировка. По словам П. Дэвиса «научная революция, вызванная работами Галилея и Ньютона – классический пример того, как невообразимое нагромождение фактов приобретает изящную простоту при использовании более адекватной математической модели» [11, с. 60]. Осознание факта, что открытые Ньютоном простые математические законы служат основой поистине множества сложных явлений обусловило утверждение в физике принципа простоты физических законов, как одного из эстетических критериев, предъявляемых к физической теории. Закон всемирного тяготения был гимном гениальным прозрениям древних греков, ибо механика Ньютона была первым шагом на пути к созданию единой теории Вселенной.

С механикой Ньютона в физику приходит понимание того, что законы природы обладают внутренней структурой, называемой в современных терминах принципом инвариантности (или симметрии), т.е. неизменности законов физики по отношению к определенным преобразованиям. А именно: законы природы инвариантны по отношению к переносам и вращениям в пространстве и переносам во времени (ньютоновская концепция однородного и изотропного пространства и однородного времени, соответственно). Механический принцип относительности Галилея устанавливает инвариантность законов Ньютона по отношению к инерциальным системам отсчета.

В XIX в. Ж. Л. Лагранж и У. Э. Гамильтон, преследуя цель подчеркнуть простоту и изящество механики Ньютона, дали ей новую математическую формулировку в виде принципа наименьшего действия, математически тождественного принципу Ферма (принцип минимального времени распространения световых волн). Тем самым было установлено, что распространение таких различных физических объектов как материальные частицы и световые волны описывается идентичными математическими соотношениями, что обнаруживает глубокую, скрытую гармонию природы, и ориентирует мысль в поисках других скрытых принципов. Именно разработка этой идеи привела Луи де Бройля к формулировке гипотезы корпускулярно-волнового дуализма материи, лежащей в основаниях квантовой механики.

Практически одновременно с классической механикой происходило становление единой теории электромагнитных и оптических явлений. К середине XIX в. были открыты основные законы электростатики и магнитостатики, явление электромагнитной индукции; в оптике утвердилась волновая теория света. Глубокая связь между электричеством и магнетизмом обнаружилась уже на этом этапе: Х. К. Эрстед открыл, что постоянный электрический ток создает вокруг себя постоянное магнитное поле, в то время как М. Фарадей показал, что изменяющийся во времени магнитный поток (в частном случае, магнитное поле) индуцирует в проводнике электрический ток.

В 1864 г. Д. К. Максвелл, обобщив эти факты, создал единую, логически законченную теорию электромагнитного поля, в которой электрическое и магнитное поля связаны единой системой уравнений. Как известно, решающим шагом на пути ее создания, было введение в одно из уравнений (закон полного тока) дополнительного члена – тока смещения, который можно было интерпретировать как неизвестный ранее эффект – порождение магнитного поля переменным электрическим полем. Именно введение этого дополнительного члена, «сбалансировавшего» уравнения электрического и магнитного полей (восстановившего между ними симметрию), позволило создать теорию единого электромагнитного поля.

Из решений уравнений Максвелла следовало существование электромагнитных волн, распространяющихся в вакууме со скоростью света. Отсюда следовал вывод, что световая волна – это электромагнитная волна. Максвелл предсказал также существование электромагнитных волн других частот, которые и были открыты через несколько лет Г. Герцем. Таким образом, были объединены электромагнетизм и оптика. Уравнения Максвелла имеют непреходящее значение, ибо они показали, что две силы природы, совершенно различные на первый взгляд, могут быть различными проявлениями некоей объединяющей их силы.

Однако, еще более глубокий смысл уравнений был вскрыт пятьдесят лет спустя Г. Лоренцом и А. Пуанкаре. Г. Лоренц получил преобразования, оставляющие уравнения Максвелла инвариантными. Эти преобразования включали неожиданное смещение пространственных и временных координат. А. Пуанкаре исследовал математическую структуру уравнений с целью поиска скрытых в них симметрий. Это исследование было инициировано осознанием в физике и математике истинного значения принципа симметрии (правда, существенно трансформировавшегося по сравнению с первоначальным) в познании законов природы.

В XX в. в кристаллографии утвердилось понятие кристаллографической симметрии объекта как его инвариантности по отношению к специальным группам преобразований (федоровские группы) – трансляциям (переносам), вращениям и отражениям. Следующая веха – обобщение этого понятия до группо-теоретического определения симметрии, что стало возможным в

связи с развитием алгебраической концепции группы, и установление факта, что симметричные операции объекта удовлетворяют условиям образования группы. Иными словами, группы – это математические структуры, лежащие в основе операций симметрии. Группо-теоретическое понятие симметрии – одно из наиболее плодотворных понятий современной физики. Заметим, что и в такой трактовке симметрия остается связанной с красотой (совершенством в смысле платоновских тел) и гармонией (единством). С помощью симметричных преобразований отличные, но равные (или более обще «эквивалентные») элементы связаны друг с другом и целым, образуя таким образом «прекрасное единство».

Определение симметрии как «инвариантности по отношению к специальной группе преобразований» позволяет применять эту концепцию не только к пространственным фигурам, но также к абстрактным объектам, таким как математические уравнения.

Исследуя уравнения Максвелла в рамках такого подхода, А. Пуанкаре установил группу глобальных пространственно-временных симметрий электродинамики (группа Пуанкаре). Преобразования Лоренца, входящие в эту группу, математически соответствуют повороту в четырехмерном пространственно-временном континууме. Таким образом, теория электромагнетизма с преобразованиями Лоренца предполагает существование единого четырехмерного пространства – времени. Однако, важность и универсальный характер принципов инвариантности, введенных Лоренцом и Пуанкаре, понял лишь А. Эйнштейн. Специальная теория относительности (СТО), созданная А. Эйнштейном базируется на двух постулатах: 1) скорость света одинакова во всех инерциальных системах отсчета; 2) принцип относительности, согласно которому все законы природы имеют одинаковый вид во всех инерциальных системах отсчета (при этом исключается гравитационное взаимодействие). Законы физики инвариантны относительно преобразований Лоренца или на языке теории групп относительно полной группы Пуанкаре. При разработке СТО во главу угла А. Эйнштейн поставил именно второй постулат, т.е. универсальность глобальных пространственно-временных симметрий, и из него вывел динамические законы релятивистской механики. Тем самым он заложил основы нового подхода в открытии законов физики: исходя из определенных симметрий, искать динамические уравнения с такими свойствами. С момента создания СТО начинается новая эра в теоретической физике. Известный физик-теоретик Э. Вигнер писал: «Для нас стало более естественным выводить законы природы и проверять их с помощью принципов инвариантности, чем выводить принципы инвариантности из того, что мы считаем законами природы» [12, с.11].

При создании общей теории относительности (ОТО) – теории гравитации – А. Эйнштейн также исходил из принципа относительности: принципа общей ковариантности. В работе «Основы общей теории относительности»

(1916) он пишет: «Общие законы природы должны быть выражены через уравнения, справедливые во всех координатных системах, т.е. эти уравнения должны быть ковариантными относительно любых подстановок (общековариантными)» [3, с. 454].

В ОТО гравитация – проявление искривления пространства-времени, т.е. обусловлена просто геометрией. Принцип ковариантности ОТО заключается в том, что все действия рассматриваются как передающиеся с помощью полей, переносящих возмущения от одной точки к другой. Таким образом, в «законах физики и геометрии речь идет лишь о локальных измерениях, которые можно описать с помощью дифференциальных уравнений [3, с. 12]. На языке симметрии это означает, что гравитационное взаимодействие представляет собой проявление, так называемой, локальной калибровочной симметрии пространства-времени, лежащей в основе реального мира.

Таким образом, к началу 1920-х годов существовали две полевые теории, каждая из которых описывала широчайшие классы явлений. К этому же времени сформировалось современное понимание гармонии мироздания: существование единой теории поля и ключевой роли принципов инвариантности (симметрии) в открытии более общих законов природы. В физике утвердилось совершенно ясное осознание того, что сами законы природы обладают структурой, называемой принципами инвариантности. В некоторых случаях эта структура простирается настолько далеко, что позволяет находить новые законы природы на основе постулата о том, что законы должны обладать определенной инвариантностью. Иерархия нашего знания об окружающем мире – переход от явлений природы к законам природы и от них к симметрии или принципам инвариантности. Физика сделала виток, вернувшись к идеям древнегреческих философов, но на более высоком уровне.

Список литературы: 1. Стратегия гуманизма: (Из опыта работы научно-учебного комплекса НТУ «ХПИ» — ХГУ «НУА») / Авт. коллектив: В. И. Астахова, Е. В. Астахова, Л. А. Белова и др.; Под общ. ред. В. И. Астаховой, Л. Л. Товажнянского. – Х.: Изд-во НУА, 2004. 2. Котина С. В. // Философские исследования». – 1999. – №2. – С. 132–145. 3. Эйнштейн А. Собрание научных трудов. Т.1. – М.: Наука, 1965–1967. 4. Джермер М. Эволюция понятий квантовой механики. Пер. с англ. М.: Наука, 1985. 5. Jantsch E. The Self-Organizing Universe. Scientific and Human Implications of the Emerging Paradigm of Evolution. – New York, 1980. 6. Гейзенберг В. Шаги за горизонт. Сб. статей. –М.: Прогресс, 1987. 7. Аристотель. Соч. в 4-х т. – М.: Мысль, 1975–1981. 8. Богомолов А. С. Античная философия. – М. Изд-во МГУ, 1985. 9. Платон. Соч. в 3-х. – М. Мысль, 1968–1972. 10. Да Винчи Л. Избр. естественно-научные произведения. – М.: Мысль, 1955. 11. Дэвис П. Суперсила. – М.: Мир, 1989. 12. Вигнер Е. Этюды о симметрии. –М.: Мир, 1971. 13. Шмутцер Э. Теория относительности – современное представление. – М.: Мир, 1981.

Поступила в редколлегию 16.10.07