

ПРОБЛЕМЫ МЕТОДОЛОГИИ

УДК 37.1

В. Л. Гапонцев,
В. А. Федоров,
М. Г. Гапонцева

«ПРИНЦИП СИММЕТРИИ» КАК ОСНОВА КЛАССИФИКАЦИИ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ И ОРГАНИЗАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ¹

Аннотация. В статье анализируется структура научного знания – детерминанты содержания общего образования. Установлена роль иерархии симметрий в эволюции общественного и индивидуального сознания. «Принцип симметрии» (В. И. Вернадский) предлагается рассматривать как основу формирования новой сквозной линии содержания общего и специального образования. Введение такой линии позволяет учесть существование третьего (по классификации Е. Вигнера) уровня научного знания – уровня принципов симметрии. Это дает возможность оптимизировать структуру содержания образования.

Ключевые слова: структура содержания образования, личностно-деятельностный метод, сквозная линия, формы симметрий.

Abstract. The paper analyses the structure of scientific knowledge – the determinant of the content of general education. The role of the hierarchy of symmetries in the evolution of social and individual consciousness is stated. «The symmetry principle» (V. I. Vernadsky) is considered as the basis of formation of the new through line of the content of general and special education, the idea of such a line permitting to include the third level of scientific knowledge (E. Vigner's classification) – the level of symmetry principles. This will optimize the structure of the content of education.

Index terms: the structure of the content of education, personality and activities approach, through line, kinds of symmetry.

Схема деления области научного знания Е. Вигнера

Вопросу классификации научного знания посвящено большое количество работ. Их общая особенность состоит в том, что они выполнены в основном специалистами, занятыми в областях, далеких от точных научных дисциплин. Идеи, связанные с систематизацией научных знаний, возникающие в рамках самих дисциплин, представляют отдельный инте-

¹ Работа поддержана грантом РФФИ № 07-06-00638А от 2 марта 2007 г. «Разработка подхода к построению структуры содержания непрерывного естественнонаучного образования».

рес, поскольку они сохраняют оптимальный баланс общности и конструктивности и, что важно, ориентированы не на синтез хорошо установленных фактов и принципов, а на практические потребности, обращенные в будущее. Пример, подтверждающий эту мысль, – схема деления области научных знаний известного физика-теоретика середины прошлого века Евгения Вигнера [5]. Ее возникновение связано с конкретной проблемой, появившейся в ходе работы самого ученого. В рамках квантовой теории поля, которой он занимался, были сформулированы новые – динамические – принципы симметрии (инвариантности), отличные от установленных ранее классических принципов, называемых геометрическими. Вигнеру необходимо было охарактеризовать место динамических принципов симметрии среди прочих. Для этого он предложил различать три уровня в области научного знания: I – явления природы, II – законы природы, III – принципы симметрии (инвариантности). Третий подразделяется на два подуровня: III.1 – геометрические (классические) принципы симметрии и III.2 – динамические принципы симметрии. Последнее деление проведено Е. Вигнером по следующему признаку: классические принципы симметрии сформулированы на языке явлений природы, т. е. языке первого уровня научного знания, а динамические – на языке законов природы, т. е. языке второго уровня научного знания. Тем самым Е. Вигнер решил стоящую перед ним конкретную проблему, не уделяя внимания детализации схемы. Нас же будут интересовать как раз опущенные им детали, реконструкцию которых мы постараемся произвести.

Явлением природы называется все то, что можно наблюдать непосредственно с помощью органов чувств или опосредованно с помощью приборов. Возникает впечатление, что явлением природы можно признать все существующее. Однако важный признак группы «явления природы» – наличие алгоритма, позволяющего осуществить наблюдение. Степень локализации и подчинения будет различной в зависимости от того, идет ли речь о неодушевленном предмете (дерево, стол), одушевленном (животное, птица) или одушевленном, наделенном сознанием и свободой воли (человек). Такие же объекты, как Бог, дух, душа, вообще потусторонний мир, имеют принципиально иную степень локализации или вполне нелокальны (Бог) и обладают при этом свободой воли. Это выводит их из области «подчиненного» нам, поэтому научное знание не относит их к явлениям природы. Наука не отрицает возможности существования данных объектов, она лишь ограничивает область своей деятельности.

Явлений природы бесконечно много. Много больше, чем может зафиксировать отдельный человек в течение жизни, или даже человечество в целом. Если бы нам были известны все явления природы независимо от места и времени, то необходимость в научном знании отпала бы. Компенсацию отсутствия всезнания осуществляют законы природы – второй

уровень научного знания. *Закон природы – это корреляционная связь между двумя рядами явлений природы, реализующаяся всякий раз, когда осуществляется заранее оговоренный комплекс условий.*

Остановимся на функциях законов природы.

1. *Прогнозирование* хода событий возможно только потому, что существует уверенность в неизбежности действия законов природы. Предполагается, что если завтра будут повторены все условия опыта, то его результат тоже повторится. При этом мы неявно опираемся на принцип, лежащий в основе логики и всего эмпирического знания: будущее подобно прошедшему.

2. По выражению Е. Вигнера, *законы природы наделяют структурой множество явлений природы.* Каждое явление природы по отношению к некоторому закону природы может находиться в двух отношениях: либо оно связано с ним, либо не имеет к нему отношения. Например, свечение лампы накаливания связано с законом Ома, а падение тела на землю не относится к нему. Поэтому явления природы, относящиеся к закону Ома, можно выделить в отдельную область. Явления же природы, подчиненные закону всемирного тяготения, собраны в другой области, а явления природы, связанные со 2-м законом Ньютона, объединены в третью область. Очевидно, что две последние области пересекаются. В результате три закона природы порождают разбиение области явлений природы на пять частей, расположенных определенным образом относительно друг друга. Это и означает, что законы природы наделяют структурой множество ее явлений.

3. Знание всего двух законов природы и одного явления природы позволяет восстановить бесконечное множество других явлений природы. Пусть это 2-й закон Ньютона и закон всемирного тяготения, а явление природы – положение и скорость движения планеты Марс в некоторый момент времени. Указанные данные позволяют рассчитать положение Марса и его скорость во все моменты прошлого и будущего, т. е. *реконструировать бесконечное множество явлений природы.*

Третий уровень научного знания Е. Вигнер характеризует описательно: «Принципы симметрии играют по отношению к законам природы ту же роль, что и законы природы по отношению к явлениям природы». Описательность определения связана с тем, что опыт работы с принципами симметрии значительно скуднее, чем опыт работы с законами природы, тем более с ее явлениями. Кроме того, он является принадлежностью узкого круга специалистов даже среди членов научного сообщества. Сделать его по возможности более доступным означает сформировать у людей целостную научную картину мира. Перефразировав высказывание Анри Пуанкаре о математическом рассуждении из его известного доклада «О математическом творчестве», можно сказать: научная картина мира –

это не беспорядочная груда явлений и законов природы, а их упорядоченная цепь, позволяющая видеть эту картину в целом и в то же время свободно обращаться к любому ее фрагменту.

Общая идея симметрии и иерархия симметрий

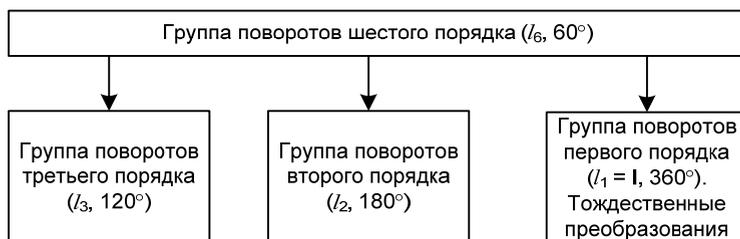
Объект обладает свойствами симметрии относительно некоторой группы преобразований, если при действии на него преобразований этой группы некоторые свойства (стороны, отношения...) остаются инвариантными [3].

В качестве примера приведем правильные многоугольники с числом сторон, кратным трем: равносторонний треугольник, правильный шестиугольник, правильный девятиугольник и т. д. Все эти многоугольники не меняют своего вида при поворотах относительно центров фигур по или против часовой стрелки на любой угол, кратный базовому углу $\varphi_3 = 120^\circ$. Остаются неизменными сами фигуры, длины сторон, площади фигур, углы. Произвольный угол поворота, кратный базовому, можно задать соотношением $\varphi_{3m} = m \cdot 120^\circ$, где $m = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ Базовый угол вычисляется по правилу $\varphi_n = 360^\circ/n$, где $n = 1, 2, 3 \dots$ При $n = 3$ (наш случай) мы говорим о группе вращений вокруг оси третьего порядка l_3 , проходящей через центр правильного многоугольника перпендикулярно его плоскости. Здесь используется понятие группы преобразований. Она характеризуется свойством замкнутости: последовательное выполнение двух преобразований группы (композиция преобразований) снова является преобразованием этой же группы. Выпишем перечень поворотов группы l_3 : $\dots 720^\circ, 600^\circ, 480^\circ, 360^\circ, 240^\circ, 120^\circ, 0^\circ, -120^\circ, -240^\circ, -360^\circ, -480^\circ, -600^\circ, -720^\circ, -840^\circ, \dots$ Легко заметить, что любая композиция двух поворотов дает поворот этой же группы: $S(-720^\circ) \cdot S(240^\circ) = S(480^\circ)$.

Рассмотрим теперь группу поворотов шестого порядка с осью l_6 и базовым углом $\varphi_6 = 60^\circ$. Построим перечень углов поворота этой группы преобразований: $\dots 720^\circ, 600^\circ, 600^\circ, 540^\circ, 480^\circ, 420^\circ, 360^\circ, 300^\circ, 240^\circ, 180^\circ, 120^\circ, 60^\circ, 0^\circ, -60^\circ, -120^\circ, -180^\circ \dots$ Нетрудно понять, что в перечень углов поворота группы l_6 входят все углы поворотов группы l_3 . Говорят, что группа l_3 является подгруппой группы l_6 . Группа и ее подгруппа обязательно имеют общие инварианты.

Группа l_6 имеет еще две подгруппы: 1) поворотов с осью l_2 и базовым углом $\varphi_2 = 180^\circ$ и 2) тождественных преобразований, которая является подгруппой любой группы. В нашем случае это группа поворотов l_1 с базовым углом $\varphi_1 = 360^\circ$, так как все углы поворота группы тождественных преобразований эквивалентны повороту на угол 0° , т. е. отсутствию поворота. Список инвариантов группы тождественных преобразований наиболее широк, поскольку включает произвольные геометрические фигуры. В результате группа поворотов l_6 расщепляется на три подгруп-

пы l_3 , l_2 и l_1 . На рисунке показана нижняя часть общей схемы иерархии геометрических групп симметрии, соответствующая описанной группе поворотов шестого порядка. Начало этой схемы лежит на несколько уровней выше, причем каждый из нижележащих уровней состоит из подгрупп тех групп, что находятся на более высоких уровнях.



Расщепление группы поворотов шестого порядка на три подгруппы вращения: третьего, второго и первого порядков

Приведем краткое описание этих уровней. Кроме группы поворотов существуют и другие, например группа трансляций относительно выделенного направления. Характерной особенностью группы вращений и группы параллельных переносов (трансляций) является наличие у них общих инвариантов, которыми являются длины и углы. Поэтому группу вращений и группу параллельных переносов, имеющих общие инварианты, объединяют как подгруппы группы движений. Двумя другими подгруппами последней являются группа зеркальных отражений и группа центральных симметрий. В свою очередь, группа движений является подгруппой группы преобразований подобия, которую порождают параллельные переносы в пространстве, или повороты, сопровождаемые равномерным растяжением (сжатием), пропорциональным величине переноса или углу поворота соответственно. Группа подобия является подгруппой группы произвольных непрерывных деформаций. Наконец отметим, что группа непрерывных деформаций является подгруппой группы автоморфизмов. Преобразованием, порождающим группу автоморфизмов, является любое преобразование множества, сохраняющее заданную на нем структуру. При таком преобразовании число исходных областей и их взаимное расположение, т. е. характеристики структуры, остаются инвариантными.

Для нас важно, что эта схема (взятая целиком) лежит в основе всех систем ориентации от систематического и алфавитного каталогов библиотек до указания любого адреса и, шире, любого способа пространственно-временной локализации любого явления природы. Она также является основой классификации всех областей научного знания.

Эрлангенская программа Ф. Клейна. Перенос на другие области научного знания

Наибольшие надежды в плане систематизации научного знания вот уже 137 лет специалисты в области математики и теоретической физики связывают с реализацией идей Эрлангенской программы Феликса Клейна и их переносом в новые области научного знания [14]. Данная программа построена на простой мысли: в рамках любого раздела математики изучению подлежат не все возможные объекты (соотношения, связи), а только те, которые остаются неизменными при некотором числе (группе) преобразований. Говоря иначе, в фундаменте каждого раздела математики лежит своя группа симметрий. Так, в основе геометрии Евклида лежит группа метрических симметрий (центральной, зеркальной, поворотной и трансляционной), связанная с группой преобразований движения. Евклидова геометрия изучает те свойства фигур, которые не меняются при движении, поскольку принимается, что равные фигуры – это фигуры, которые можно перевести друг в друга движением. Если роль преобразований движения передается другой совокупности геометрических преобразований и взаимопреобразующиеся фигуры признаются «равными», то мы получаем новую «геометрию», изучающую свойства фигур, инвариантные относительно выбранной группы преобразований. Поскольку существует иерархия симметрий, то возникает и соответствующая ей иерархия геометрий. В рамках этого подхода Ф. Клейн рассмотрел ряд других геометрий, включая геометрию Лобачевского. Развитием идеи Эрлангенской программы по установлению структуры геометрии путем ее алгебраизации и переноса на всю область математики можно считать представление математики как иерархии структур. Порождающими являются структуры порядка, алгебраические, топологические и логические структуры. Это представление разрабатывается группой математиков, объединившихся под псевдонимом Николая Бурбаки. Их последовательное, систематическое изложение всех основных разделов математики содержится в многотомном собрании сочинений. К настоящему времени вышло тридцать четыре тома, но работа пока не завершена. Тем очевиднее, что формирование на основе некоторой иерархии симметрий классификации других научных дисциплин находится в самых начальных стадиях.

Систематизирующая роль различных форм симметрии явно просматривается в теоретической физике. Ее можно обнаружить в связи законов сохранения энергии с симметриями пространства-времени, которую устанавливает теорема Эмми Нетер [11], в инвариантности уравнений движения и уравнений электродинамики относительно преобразований Галилея и Лоренца, а также в динамических принципах инвариантности (симметрии), определяющих характер четырех фундаментальных взаимодействий: сильного, слабого, электромагнитного и гравитационно-

го. Их характер определяет свойства всех силовых полей и тем самым формирует структурные уровни состояния вещества на всех известных масштабах от элементарных частиц до галактик и их скоплений.

Как видим, даже в далеком от завершения виде идея иерархии симметрий позволяет с единых позиций провести (наметить) классификацию наук математического и естественнонаучного циклов. Отметим, что эта классификация не расходится с традиционной, восходящей еще к Ф. Энгельсу и описанной В. С. Ледневым [9], но она позволяет уточнить некоторые детали. Например, к линии антиэнтропийных наук, как выяснилось, следует отнести не только науки о живой природе и обществе, но и науки о процессах в неорганической природе, сопровождающихся уменьшением энтропии.

Таким образом, идею об иерархии принципов симметрии, нашедшую применение в схеме деления области научных знаний Е. Вигнера, Эрлангенской программе Ф. Клейна и современной квантово-релятивистской теории поля, нельзя рассматривать как завершенную дедуктивную систему, но ее можно взять за основу классификации структур научного знания.

**Роль системы симметрий в эволюции научного знания
(рассматриваемого как детерминанта содержания образования
и элемент общественного сознания)**

Эволюция научного знания интересует нас в двух аспектах: во-первых, она дает возможность охарактеризовать роль симметрий в развитии общественного сознания; во-вторых, научное знание является детерминантой содержания общего образования. Значение структуры научного знания в формировании структуры содержания общего образования показал В. С. Леднев [9]. Но его внимание было сосредоточено на статическом разрезе структуры содержания общего образования, а временная развертка содержания образования им не рассматривалась. Характеристика этапов и ступеней содержания образования была дана ученым как простая констатация сложившейся структуры содержания образования. Упомянулось лишь о связи временных этапов и ступеней содержания образования с типичными этапами развития личности. Но даже беглое сопоставление развертывания общего образования и эволюции научного знания позволяет усмотреть их корреляцию. Иными словами, научное знание как детерминанта содержания образования имеет, кроме статического, еще и динамический аспект [6].

Зарождение научного знания произошло не позднее периода, когда орудия труда приобрели устойчивую форму, т. е. не позднее мезолита. Для изготовления орудий труда требовались знания свойств материалов и приемов обработки, а устойчивость их формы позволила передавать эти

знания. Первый период развития научного знания называется индуктивным или эмпирическим [16]. Считается, что все научные знания в это время возникали опытным путем. Период характеризуется медленным накоплением научных знаний и их относительно малым объемом, что предопределяет отсутствие научной специализации. Длится индуктивный этап до момента отделения математики от общего ствола научных знаний, что принято отождествлять со временем доказательства Фалесом Милетским первых пяти теорем геометрии (VI в. до н. э.).

Последующий период развития научного знания в связи с распространением систематического использования логики называют дедуктивным [16]. Новые научные знания все чаще получают, выводя их из накопленных ранее. Такой метод оказывается многократно эффективнее опытного. Быстрый рост объема знаний различного рода приводит к необходимости их деления на категории, а в последующем – к специализации. Поэтому характерным признаком дедуктивного этапа является прогрессирующая дифференциация наук. Первой отделяется математика, затем физика (механика), потом химия и биология. Оговоримся, здесь момент отделения научной дисциплины от общего ствола научного знания связывается с формированием подраздела этой научной дисциплины, который впоследствии становится основой построения этой дисциплины в виде, близком к современному. Например, в случае математики такой подраздел – логика, для физики – это механика, для химии – это стехиометрия, а для биологии – это систематика. Таким образом, развитие научного знания на дедуктивном этапе выражается в эволюции его структуры (ветвлении дерева научного знания) [6].

К индуктивному периоду эволюции научного знания, как показывают многолетние исследования известного археолога и этнографа академика А. Б. Рыбакова, относится, в частности, появление определенных орнаментов и узоров, устойчиво закрепившихся в общественном сознании [13]. К ним относится, например, меандровый орнамент – символ плодородия и благополучия, связываемый с богиней плодородия. Этот орнамент имеет естественное происхождение: сначала он появляется как дендритный узор на срезках бивней мамонта. После исчезновения мамонтов орнамент сохраняется на керамических ритуальных сосудах и, наконец, обнаруживается на вышивке полотенец, найденных во время этнографических экспедиций по Архангельской области. Трансляционная симметрия меандрического узора позволила ему закрепиться в сознании на период, охватывающий около двадцати тысяч лет, от эпохи мамонтов вплоть до современности. Более позднее происхождение (около семи тысяч лет назад) имеет земледельческий узор. Он также является символом плодородия: зерно, брошенное на вспаханное поле и затем забороненное. Его устойчивое повторение на ритуальной керамике и вышивках,

очевидно, связано с высокой степенью симметрии – трансляционной и поворотной, а также с формированием важного инварианта: устойчивой связи занятия земледелием и жизненного благополучия. Третий характерный узор – громовой знак, символ верховного божества, сокровенной небесной мудрости. Он представляет собой шестилучевую звезду, вписанную в окружность. Его возраст около пяти тысяч лет. Встречается на древней керамике, сарматских зеркалах и резьбе на деревянных прялках XIX в. Этот знак связан с исчислением времени, делением года на двенадцать месяцев и длительности светового дня на двенадцать часов. В данном символе переданы устойчивые представления о времени и пространстве, осознание которых, возможно, более значимо, чем создание теории относительности.

Как уже упоминалось выше, выделение математики как науки было связано с первыми теоремами геометрии, которые доказал Фалес Милетский (625–527 гг. до н. э.). И. М. Яглом отмечает, что теоремы Фалеса касаются простых математических утверждений, хотя к тому времени уже были известны гораздо более сложные математические факты [16]. По мнению И. М. Яглома, основное достижение Фалеса – не доказательство конкретных пяти теорем, а систематическое применение логического вывода как составной части аксиоматической системы, в которой в качестве базиса использованы свойства форм симметрии. Первой завершённой аксиоматической системой является геометрия Евклида (365–300? гг. до н. э.), взявшего от Фалеса все, кроме опоры на формы симметрии как на первичные дедуктивные понятия. Евклид считал представления о симметрии слишком неопределёнными и расплывчатыми для первичных понятий. В качестве базовых дедуктивных понятий Евклид предложил тело, поверхность, линию, точку. Только в 1872 г. в рамках Эрлангенской программы Ф. Клейна симметрия группы движений была восстановлена в качестве основы геометрии Евклида [14].

Второй научной дисциплиной, отъединившейся от общего ствола знания, является физика. Началом ее отделения можно считать период формирования механики как целостного объекта и годы жизни и деятельности Галилео Галилея (1564–1642). Механика остается «фундаментом» современной физики, на котором строятся все остальные разделы. Например, термодинамика опирается на три Начала. Первое из них: «Тепло, сообщаемое системе, затрачивается на совершение системой работы против внешних сил и изменение ее внутренней энергии». Электростатика начинается с постижения закона Кулона о силе взаимодействия двух точечных зарядов. Изложение других разделов физики требует опоры на механику, термодинамику или электростатику. В основе самой механики в современном понимании лежит принцип относительности Галилея. Он заключается в утверждении инвариантности механических явлений и за-

конов механики относительно преобразований Галилея и переноса во времени и пространстве. Группа преобразований описывает переход от одной инерциальной системы к другой, двигающейся с постоянной скоростью относительно первой. Таким образом, принцип относительности Галилея – первый из классических (геометрических) принципов симметрии (инвариантности) современной физики. Следовательно, в полном согласии с идеей Ф. Клейна, основу механики формирует особая группа симметрии.

Следующей самостоятельной научной дисциплиной стала химия. Сегодня первым ее разделом считается стехиометрия, которая является атомно-молекулярной основой химии и позволяет строить изложение данной науки в дедуктивном ключе. Началом ее формирования принято считать научные изыскания Роберта Бойля (1627–1691), согласно учению которого «элементами следует считать те простейшие тела, из которых составлены сложные тела и к которым мы в конце концов приходим, разлагая последние». Завершение формирования стехиометрии связано с именами Дж. Дальтона (1766–1844), А. Авогадро (1776–1856) и др. В основе стехиометрии лежат представления об «абсолютной» устойчивости атомов и относительной устойчивости молекул при химических превращениях вещества. Если эти превращения при химических взаимодействиях рассматривать как группу преобразований, то атомы следует признать инвариантами преобразований этой группы, т. е., в духе общего представления о симметрии, здесь можно говорить о ее новой форме. Это позволяет развить аксиоматическое построение стехиометрии и записать элементарную химическую реакцию в виде уравнения с помощью символов химических элементов, обозначающих в данном случае атомы этих элементов [2]. Возможность применения того же уравнения химической реакции к произвольным количествам вещества вместе с методом химических пропорций связана с еще одним своеобразным принципом инвариантности (новой формой симметрии). Речь идет об инвариантности определенного рода отношений, характеризующих уравнение элементарной химической реакции относительно числа циклов (числа элементарных реакций). Свойство неизменности атомов в химических реакциях – проявление соотношения двух фундаментальных взаимодействий: электромагнитного и сильного, которое является следствием принципов динамической инвариантности (симметрии). Таким образом, намечается цепочка принципов симметрии, охватывающих физику и химию, которая пока не позволяет строить изложение в соответствии со строгой аксиоматической схемой, но дает возможность использовать иерархию принципов симметрии для уточнения структуры содержания общего образования.

Возникновение биологии, ассоциируемой с современной теоретической биологией, соотносится с периодом формирования ее основы – био-

логической систематики. Первую известную нам попытку классифицировать формы жизни предпринял еще Аристотель (384–322 гг. до н. э.), но законченную классификацию живых организмов, принятую с некоторыми поправками, предложил Карл Линней (1707–1778 гг.). Она построена по иерархическому принципу. Исследователь разделил природный мир на три «царства»: минеральное, растительное и животное. Линней использовал четыре уровня иерархии: классы, отряды, роды и виды. В современной систематике различные уровни иерархии получили следующие названия: царство, тип, класс, отряд, семейство, род и вид. Виды же состоят из отдельных особей. Иерархическое построение систематики К. Линнея имеет тот же внешний вид, что и иерархия топологических (геометрических) симметрий. Это не случайное сходство, так как в обоих случаях каждому элементу данного уровня иерархии соответствует свой набор инвариантов. Устойчивость этих инвариантных признаков в процессе существования при различных вариациях его условий означает наличие скрытой симметрии. Живые организмы и их различные объединения с современной точки зрения относятся к классу открытых систем, исследуемых синергетикой. Когда такие объекты допускают описание динамики в форме систем нелинейных обыкновенных дифференциальных уравнений, то их устойчивость принято связывать со свойством грубости систем уравнений [1]. Оно выражается в том, что топологические характеристики фазовых портретов систем уравнений инвариантны относительно группы бесконечно малых возмущений параметров уравнений и их начальных условий. Как видим, принцип симметрии, лежащий в основе выделения данного элемента, выступает в явном виде.

Таким образом, в истории эволюции научного знания, одного из элементов общественного сознания, зафиксирована следующая хронология выделения самостоятельных научных дисциплин: математика – VI в. до н. э., физика – XVI в. н. э., химия – XVII в. н. э. и биология – XVIII в. н. э. Начало изложения соответствующих учебных предметов (или их циклов) в средней общеобразовательной школе происходит в следующей последовательности: 1-й класс – математика, 7-й класс – физика, 8-й класс – химия и 5-й класс – биология. Соответствие порядка следования учебных и научных дисциплин практически не нарушается. Оно, разумеется, связано с логическими связями учебных предметов, расположением уровней соподчиненности объектов исследования различных дисциплин, а также со степенью готовности сознания (общественного и индивидуального) к различению деталей мозаичных фрагментов различных уровней, на которые распадается картина мира. Исключением выглядит биология, изложение которой в школе следовало бы отнести к 10–11 классу. Однако следует учесть, что за точку отсчета отделения биологии был принят этап формирования систематики – основы современной теоретической биологии. Первая же

попытка систематики была предпринята Аристотелем в IV в. до н. э., т. е. во временной промежуток между периодами отделения математики и физики. Кроме того, четкое разделение живого и неживого, т. е. формирование соответствующих инвариантов в общественном сознании уходит вглубь индуктивного периода. С этими уточнениями можно принять факт, что эволюция структуры научного знания дублируется при разворачивании во времени соответствующих элементов содержания общего образования. Следовательно, научное знание как детерминанта содержания общего образования, кроме статического, имеет динамический аспект, с которым связаны длительность и порядок расположения этапов и стадий элементов структуры содержания общего образования. Можно предположить, что имеет место корреляция между развитием общественного и индивидуального сознания, связанная с возникновением условий для соответствующей детализации мозаичной картины, формирующейся под влиянием предметной стороны деятельности.

Роль симметрии в эволюции индивидуального сознания

В своем знаменитом докладе «О математическом творчестве», сделанном для Французской академии наук, крупнейший математик и физик современности Анри Пуанкаре говорил не о проблемах математики, а о психологии творчества [12]. Именно этот доклад положил начало обсуждению в рамках психологии проблемы подсознательного уровня индивидуального сознания человека. А. Пуанкаре утверждал, что в подсознании находится огромное количество возможных и невозможных вариантов комбинаций отрывочных образов разыскиваемого решения. Они, как правило, не выходят на поверхность сознания, так как существует определенный барьер, предохраняющий человека от хаоса подсознательного. Преодолевают этот барьер те комбинации, которые вызывают наибольший эмоциональный отклик, т. е. красивые и гармоничные варианты решений одновременно оказываются правильными ответами, адекватно описывающими реальность. Красоту и гармонию мы всегда связываем с представлением о симметрии. И, согласно утверждению А. Пуанкаре, связь подсознательного уровня психики с осознаваемым уровнем регулируется формами симметрии. Наиболее отчетливо эту мысль он выразил при обсуждении вопроса о том, кто обладает математическими способностями. Такие люди не отличаются хорошей памятью, свойством безукоризненно помнить длинные и разветвленные цепи силлогизмов, которыми являются любые математические рассуждения. Способностью к математике обладают те, кому присуще чувство гармонии определенного вида, позволяющее увидеть в сложном математическом рассуждении не беспорядочную груду силлогизмов, а некоторую упорядоченную иерархическую структуру. В таком случае человек оказывается способен видеть как картину в целом, так и рассматри-

вать любой ее фрагмент по своему выбору. Здесь явно просматривается роль симметрии в работе индивидуального сознания.

О развитии индивидуального сознания на основе формирования системы инвариантов, связанных с различными формами симметрии, пишет в своих многочисленных трудах основатель Женевской школы психологии Жан Пиаже [10]. Так, работа «Генезис числа у ребенка» с первых строк апеллирует к этой системе понятий: «Всякое знание, независимо от того, является ли оно научным или просто вытекающим из здравого смысла, предполагает – явно или скрыто – систему принципов сохранения» [10]. Используя методику опросов детей от четырех до семи лет, Ж. Пиаже с сотрудниками выясняют, как прогрессирует с возрастом умение ребенка оперировать непрерывными (жидкости) и дискретными (бусины) величинами. Итогом исследований является вывод: «Множество (или совокупность) постигается лишь тогда, когда его общее значение остается неизменным вне зависимости от изменений, внесенных в отношения между элементами. Операции внутри одного и того же множества, которые называются «группой перестановок», доказывают как раз возможность совершения любой перестановки элементов при сохранении инвариантности общей «мощности» множества. Число также может быть постигнуто интеллектом лишь в той мере, в какой оно остается тождественным самому себе, независимо от размещения составляющих его единиц; именно это свойство называется «инвариантностью» числа. Такая непрерывная величина, как длина или объем, может быть использована в деятельности разума лишь в той мере, в какой она образует постоянное целое, независимо от возможных комбинаций и размещения ее частей» [10]. Описанные выше формирующиеся свойства являются формами симметрии: речь идет об инвариантности «мощности» множеств при действии группы перестановок. Формирование элементов системы инвариантов (симметрий) описано Ж. Пиаже и при исследовании возникновения образа предмета у ребенка до года в процессе сенсомоторной деятельности.

Об установленной Ж. Пиаже связи формирования интеллекта с понятием симметрии прямо говорит цитата из предисловия к его работам: «важнейшую роль в этих исследованиях Ж. Пиаже играет понятие группировки, производное от понятия группы. Под группой в алгебре понимают множество элементов, удовлетворяющих следующим условиям: ... (следует перечисление аксиом группы преобразований, *авт.*)» [10]. Таким образом, можно допустить, что эволюция индивидуального сознания происходит как постепенное выделение различных форм симметрии и выстраивание иерархии симметрий.

Симметрия как общее понятие с двойным логическим статусом

Выявленная роль понятия «симметрия» в классификации и эволюции научного знания, а также в развитии индивидуального сознания лич-

ности приводят к мысли о целесообразности его использования для организации содержания общего образования, и в частности непрерывного естественнонаучного образования. Но в этом случае необходимо предварительно охарактеризовать свойства этого понятия с точки зрения его логического статуса. Как мы видели выше, понятие «симметрия» и формы симметрии проникают во все области сознания от общественного уровня (научное знание – часть общественного сознания) до индивидуального. Поэтому понятие «симметрия» следует отнести к общим понятиям.

Необходимо уточнить: следует рассматривать симметрию как общее индуктивное или как общее дедуктивное понятие? К общим индуктивным понятиям относятся такие, как «феномен», «явление». Индуктивные понятия являются эмпирическими, их отличает привычность и легкость восприятия, так как они обобщают наши непосредственные ощущения. Из классической логики известно, что такие понятия характеризуются объемом и содержанием [15]. Под объемом индуктивного понятия понимают все те объекты, которые оно описывает. Содержание такого понятия – перечень существенных признаков, которые его характеризуют. Согласно схеме абстрагирования, отбрасывая часть признаков в содержании некоторого частного понятия, мы получаем более общее, имеющее больший объем. Поэтому самые общие индуктивные понятия имеют малое содержание. Относительная бессодержательность делает их бесполезными для организации содержания образования (например, при построении интегративного курса).

Анализируя понятие «атом» в первом томе собрания сочинений, академик Н. С. Курнаков обратил внимание на то, что общие дедуктивные понятия имеют связь между содержанием и объемом, отличную от характерной для общих индуктивных понятий [8]. Чем больше объем общего дедуктивного понятия, тем шире и его содержание. Необходимо уточнить: под общими дедуктивными следует понимать первичные дедуктивные понятия, которые служат для построения широких дедуктивных систем. Именно это имел в виду Н. С. Курнаков, говоря об атоме как об общем дедуктивном понятии, используемом при построении многих моделей физики, химии и биологии (молекулярной генетики). На первый взгляд, представляется, что использовать в качестве структурообразующих те первичные дедуктивные понятия, которые являются общими для разных дисциплин, наиболее целесообразно. Они лежат в основе планомерно разворачивающихся дедуктивных (аксиоматических) систем. Но при более близком рассмотрении видно, что, как правило, первичные дедуктивные понятия не наглядны (атом), а строгие логические построения, выполненные на их основе, с большим трудом воспринимаются подавляющим большинством людей.

Особняком стоят такие общие понятия, как *преобразование*, *инвариант*, *симметрия*. Их следует рассматривать одновременно как общие

индуктивные и как первичные дедуктивные понятия. Характеристика этих понятий как индуктивных, очевидно, связана с тем, что они участвуют в формировании индивидуального сознания. Действительно, нам нет необходимости договариваться между собой о понимании того, что представляет собой, например, зеркальная симметрия. Опыт частого «общения» с зеркалом приводит к единообразному представлению о свойствах зеркальной симметрии. Поэтому Фалес Милетский имел все основания принять зеркальную симметрию в качестве аксиомы, так как аксиома – это суждение, истинность которого не требует доказательства ввиду его самоочевидности. Но, как показал через две с половиной тысячи лет Феликс Клейн, метрические симметрии, включая зеркальную, действительно лежат в основе геометрии Евклида, что придает этим симметриям статус первичных дедуктивных понятий широких аксиоматических построений.

Индуктивный характер понятия «симметрия» позволяет опираться на наглядность ее форм при их использовании в учебном процессе, что особенно важно на первых этапах. А статус форм симметрии как первичных дедуктивных понятий и иерархические системы, которые они образуют, позволяют строить изложение, исходя из строгих дедуктивных схем, и поэтапно наполнять его содержанием.

Система локальных интегративных курсов: использование симметрии для оптимизации структуры содержания образования

Следствием бурной дифференциации научного знания в ходе дедуктивного периода его развития (с IV в. до н. э.) является быстро прогрессирующая специализация. Ее рост привел к исчезновению к XIX в. ученых-энциклопедистов, а в дальнейшем – к возникновению проблемы «двух культур» – гуманитарной и естественнонаучной. В своем крайнем выражении узкая специализация приводит к тому, что грубо, но точно называют «профессиональным идиотизмом». С позиций содержания образования все эти отрицательные явления связаны с соотношением общего и специального образования. Они в символической форме присутствуют на рис. 2.3.1. из монографии В. С. Леднева [9]. На этом рисунке показано уменьшение доли общего образования по отношению к специальному с течением развертывания содержания образования во времени. По мере формирования специалиста его возможность ориентироваться в широком круге проблем, выходящих за его узкую специальность, сокращается. Возникает необходимость коррекции соотношения общего и специального образования, его оптимизации. Стихийно функцию такой коррекции берет на себя научно-популярная литература, но этот элемент не имеет отчетливых организационных форм в структуре содержания образования. В ней фигурируют другие элементы с той же (в основном) функцией – это

курс «Естествознание» в начальных классах общеобразовательной средней школы и курс «Концепции современного естествознания» на первых курсах высших учебных заведений. Поскольку данные курсы складывались (по существу) также стихийно, то нет и явной направленности их функций на коррекцию соотношения общего и специального образования. Они относятся к более узкому элементу – циклу естественнонаучных дисциплин – и потому не могут выполнять корректирующую роль в отношении общего и специального образования. Курс «Естествознание» имеет, в основном, пропедевтический характер и на момент его проведения (начальная школа) специальное образование существует лишь в зародышевых формах, поэтому его возможности к коррекции соотношения общего и специального образования минимальны. Практика применения курса «Концепции современного естествознания» и его место в государственных образовательных стандартах [7] таковы, что его основной функцией является замещение цикла естественнонаучных дисциплин для непрофильных специальностей в высших учебных заведениях. Поэтому нельзя говорить об оптимизации соотношения общего и специального образования в целом, имея в виду указанные курсы из-за их частного характера.

Сейчас, как нам кажется, назрела потребность в выделении специального элемента (или системы элементов) в структуре содержания образования, ведущей функцией которого на всех этапах «сквозных» отраслей общего и специального образования будет оптимизация соотношения этих отраслей. Здесь возникают две проблемы: первая – какие параметры должен иметь этот элемент содержания образования? И вторая – на основании каких критериев формировать его собственное содержание? Ответ на первый вопрос связан с понятием «сквозных» отраслей содержания образования. Поскольку речь идет об оптимизации соотношения этих отраслей на всем их протяжении, то и компонент содержания образования, осуществляющий эту функцию, должен присутствовать не только в начальной школе (курс «Естествознание») или завершать обучение естественнонаучным дисциплинам на непрофильных специальностях (курс «Концепции современного естествознания»). Тем не менее тенденция, намеченная этими двумя курсами, по-видимому, объективна, она согласуется с принципом двойного вхождения базисных компонентов в структуру содержания образования, предложенного В. С. Ледневым. В отношении упомянутых курсов речь идет о вхождении компонента в виде явно выделенных апикальных элементов (по терминологии В. С. Леднева). Вопросы о том, сколько таких элементов необходимо и когда они должны размещаться, тесно связаны с вопросом об их функциях и критериях отбора их содержания. Для решения этих проблем необходимо вновь обратиться к деятельностно-личностному подходу в теории содержания образования [9]. В рамках данного подхода в качестве детерминанты содержания об-

щего образования выступает научное знание. Ранее было показано, что структуру научного знания формирует иерархия симметрий. Более того, сама эта структура возникает при развитии общественного сознания как фиксация элементов иерархии симметрий. Каждый новый апикальный элемент (математика, физика, химия, биология и др.) возникает, когда накапливается и осознается соответствующий ему набор преобразований и их инвариантов. Порядок расположения элементов отображается в порядке соответствующих им учебных дисциплин (циклов учебных дисциплин) в содержании общего образования. Это естественно, поскольку формирование индивидуального сознания личности тоже проходит как выстраивание иерархии симметрий. Иначе говоря, при развитии общественного и индивидуального сознания происходит выстраивание общей картины мира в форме иерархии симметрий. Поскольку именно эта задача является основной целью общего образования, то в основу системы локальных интегративных курсов, оптимизирующих соотношение общего и специального образования, на наш взгляд, следует положить иерархию симметрий, формы которых заполнены в соответствии с достигнутым уровнем специального образования. Такие курсы, очевидно, следует приурочить к границам переходов от одного этапа образования к другому, когда возникают условия для проведения завершающего обобщения и необходимость пропедевтики следующего этапа в различных вариантах развертывания содержания образования.

Укажем на одну важную особенность сложившегося традиционно содержания образования: если исходить из схемы классификации научных знаний, предложенной Е. Вигнером, то становится совершенно ясно, что в содержании образования отражены два первых (нижних) уровня (явлений природы и законов природы) и не отражен тот уровень, который их структурирует, т. е. формирует целостную научную картину мира (принципы симметрии). Это вполне объяснимо: понятие симметрии, согласно В. И. Вернадскому, является более глубоким, чем понятия «времени, пространства, атомов, материи, движения...» [4] и, добавим, энергии. Примером доказательства тому служит появление в период возникновения теории относительности и квантовой механики огромного числа работ, в которых обсуждались перечисленные понятия. Но только одно исследование Пьера Кюри было посвящено принципу симметрии в термодинамическом описании кристаллических тел. Принцип симметрии вошел в научное сознание незаметно: «Между тем бессознательность этого вхождения эмпирический факт» [4]. В. И. Вернадский находил происходящее тем более удивительным, что вопросы симметрии неразрывно связаны с проблемами теории относительности и квантовой механики и обсуждаемыми вопросами пространства, времени, энергии... Последующее развитие науки полностью подтвердило это. Причину же возникшего парадок-

са В. И. Вернадский объяснял так: чем более глубокая эмпирическая истина находит свое выражение, тем больший объем материала требует обработки для обобщения тенденции и тем медленнее и незаметнее она входит в общественное сознание. Со времени цикла лекций, прочитанных В. И. Вернадским, прошло почти сто лет, и теперь нет сомнений в прочном вхождении принципа симметрии (по терминологии В. И. Вернадского) в систему научных знаний. Но попытки строго аксиоматического построения научных дисциплин на основе понятия симметрии не были реализованы. Тем не менее можно говорить об иерархии симметрий как о принципе симметрии в области классификации научного знания и его применении при формировании содержания образования в форме системы локальных интегративных курсов, содержание которых посвящено изложению идей, связанных с третьим (по Е. Вигнеру) уровнем научного знания – принципами симметрии.

Проблемой является способ, позволяющий оптимально построить знакомство с данным уровнем научного знания. Сейчас, как уже упоминалось в начале статьи, оно доступно только узкой группе специалистов математиков и физиков-теоретиков. Выход подсказывает следующее соображение: развитие научного знания – это и есть последовательное выстраивание иерархии симметрий, упорядочивающих мозаику картины мира (фрактальную по своей природе). Поэтому оптимальный путь знакомства с третьим уровнем научного знания – знакомство с историей науки, рассматриваемой с позиций эволюции ее структуры и роли форм симметрии. Глубина наполнения рассматриваемых форм симметрии определяется подготовленностью учащихся, т. е. уровнем их общих и специальных знаний. Такой подход позволяет в рамках одной и той же схемы, но на различных уровнях, представить общую систему научных знаний и целостную научную картину мира.

Итоги

На сегодняшний день формы симметрии и их иерархия не дают возможности строго последовательного изложения комплекса различных научных дисциплин, но их можно использовать как организующий принцип научного знания. Основой классификации научного знания могут стать симметрия и иерархия ее форм. Эволюция научного знания и развитие индивидуального сознания разворачиваются как постепенно складывающаяся система симметрий. Этапы эволюции научного знания коррелируют с порядком развертывания элементов содержания общего образования – дисциплин математического и естественнонаучного циклов. Симметрия и иерархия ее форм образуют систему понятий, являющихся одновременно общими индуктивными и первичными дедуктивными. Поэтому их использование может оказаться продуктивным для оптимальной

организации элементов мозаики структуры содержания общего образования и выравнивания соотношения общего и профессионального образования, которое нередко нарушается в пользу профессионального. Наиболее эффективно эту задачу может решить система локальных интегративных курсов, приуроченных к переходу от одного этапа обучения к другому. Содержание курсов должно строиться на основе возможного на данный момент выстраивания иерархии симметрий и наполнения конкретных форм симметрии. Общая тенденция должна соответствовать переходу от симметрии в качестве общего индуктивного понятия, воспринимаемого на уровне образов, к симметрии как первичному дедуктивному понятию, описываемому на языке точных наук. Последний уровень должен коррелировать с достигнутым уровнем профессионального образования. Целью является формирование целостной общей картины мира, охватывающей все области знания – от гуманитарных до точных дисциплин. Наличие такой картины позволит оптимально реализовать цели общего образования для каждой области содержания специального образования. Другими словами, позволит видеть необходимый фрагмент мозаичной научной картины мира (фрактальной по своей природе) и понимать место этого фрагмента в общей картине.

Литература

1. Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э. Теория колебаний. М.: Наука, 1981. 568 с.
2. Аркавенко Л. Н., Гапонцев В. Л., Белоусова О. А., Гапонцева М. Г. Аксиоматический метод в формировании стехиометрических знаний // Химия: еженедельное приложение к газете «1 сентября». 1995. № 18. С. 7.
3. Вейль Г. Симметрия. М.: Наука, 1968. 191 с.
4. Вернадский В. И. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 520 с.
5. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М.: Мир, 1971. 318 с.
6. Гапонцева М. Г., Федоров В. А., Гапонцев В. Л. Понятия геометрии фракталов как язык педагогики и теории научного знания. 2. Содержание образования // Образование и наука. Изв. УрО РАО. 2009. № 4(61). С. 6–22.
7. Гапонцев В. Л., Федоров В. А., Гапонцева М. Г. Содержание образования: государственные стандарты нового поколения // Профессиональное образование. Столица. 2009. № 5. С. 37–39.
8. Курнаков Н. С. Избранные труды. Т. 1–3. М., 1960.
9. Леднев В. С. Содержание образования. М.: Высш. шк., 1989. 360 с.
10. Пиаже Ж. Избранные психологические труды. М.: Междунар. пед. акад., 1994. 680 с.

11. Полак Л. С. Вариационные принципы механики, их развитие и применения в физике. М., 1960.
12. Пуанкаре А. О науке. М.: Наука, 1983. 560 с.
13. Рыбаков Б. А. Язычество древних славян. М.: Наука, 1981. 608 с.
14. Стройк Д. Я. Краткий очерк истории математики. М., 1969. 328 с.
15. Челпанов Г. И. Учебник логики. М.: Издат. группа «Прогресс», 1994. 248 с.
16. Яглом И. М. Математические структуры и математическое моделирование. М.: Наука, 1980. 227 с.