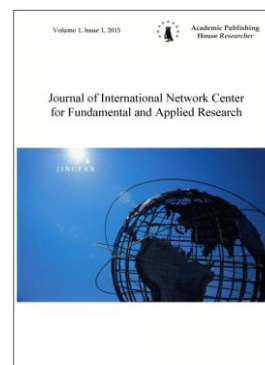


Copyright © 2014 by Academic Publishing House *Researcher*



Published in the Russian Federation
Journal of International Network Center
for Fundamental and Applied Research
Has been issued since 2014.
ISSN: 2411-3239
Vol. 1, Is. 1, pp. 49-61, 2014

DOI: 10.13187/jincfar.2014.1.49
www.ejournal36.com



UDC 1 (091)

The Three Main Methods of Constructing Physical Theories

Sergey A. Lebedev

Bauman Moscow State Technical University, Russian Federation
5, 2-nd Baumanskaya, Moscow, 105005
Doctor of Philosophy, Professor
E-mail: saleb@rambler.ru

Abstract

The article analyzes the main content, functions and cognition possibilities of the three main methods of constructing physical theories: a thought experiment, mathematical hypothesis and the method of symmetries. The author follows the understanding of scientific theory as a special kind of scientific knowledge that is qualitatively different from both the sensory and empirical levels of scientific knowledge. He believes that the different levels of scientific knowledge are of particular ontology and a special object of his description. The subject of scientific theories, including physical, is a special kind of reality. This is a theoretical reality that is constructed by scientists from the objects and relations of empirical reality using such method as idealization. The main task of a scientific theory is finding and formulation of scientific laws that exist between ideal objects of theory and govern their relationships with each other. Accordingly, the special subject of scientific theory and there are special methods of construction of scientific and theoretical knowledge as knowledge of ideal objects. On the example of physical science and its history shows that during the formation and development of physical theories was invented three main methods of constructing physical theories. This is a thought experiment, mathematical hypothesis and the method of symmetries. All of these methods actually appeared only in the New Time, the time of formation of classical physics. The Creator of all three methods can rightly be called a city of Galilee. The method of thought experiment, he had received the law of inertia, the method of mathematical hypothesis - the law of free fall, and the method of symmetries was proof of the invariance of the laws of mechanics for different inertial reference frames. On the work of another physicist theorist Maxwell it is shown that the method of thought experiment, he proved the existence of a bias current, and the possibility of propagation of electromagnetic waves in vacuum. Using the method of mathematical hypotheses Maxwell formulated the basic mathematical equations of the electromagnetic theory. However, he failed to prove using the method of symmetry is the invariance of the laws of electrodynamics in different inertial reference frames. This problem was partially solved by G. Lorentz, and finally A. Einstein, Creator of the theory of relativity. They are actively used all three main methods of constructing a physical theory. Especially actively and fruitfully A. Einstein used a thought experiment method and the method of symmetries. And one of the founders of quantum mechanics, W. Heisenberg actively used the other main method of constructing physical theories - the method of mathematical hypotheses. In the middle of the twentieth century was finally realized the fundamental role of the method of symmetries in the

construction of physical theories. Today this method is widely used as a heuristic tool in the construction of the General field theory, and superstring theory as the underlying mathematical structure for the whole of physics. The main philosophical function of using the method of symmetry in the construction of a physical theory is to justify the theoretical objectivity of the laws of physics and their independence from specific reference systems. While the solution to the problem of objectivity of theoretical knowledge in the philosophy and methodology of science has no universally valid solutions. Proposed solutions to this problem extend on a continuum from naïve theory of reflection to conventionalism, pragmatism, radical constructivism and to explicitly subjectivist methodological concepts of anarchism and poststructuralism.

Keywords: science; method; scientific theory; physical theory; the method of thought experiment; method of mathematical hypotheses; the method of symmetry.

Основное содержание. Рассмотрим содержание, сущность, познавательные возможности и гносеологические функции трех основных методов построения физических теорий: мысленного эксперимента, математической гипотезы и симметрий.

1. Мысленный эксперимент. Мысленный эксперимент стал одним из методов построения научных теорий в Новое время, в период становления классической физики. И один из его главных создателей, безусловно, явился Г. Галилей, сформулировавший с его помощью два фундаментальных закона классической механики: закон инерции и закон свободного падения тел [2]. Сущность метода мысленного эксперимента состоит в свободном варьировании условий и параметров исследуемого процесса с тем, чтобы установить законы этого процесса, а характер (или степень) их зависимости (или независимости) от определенных условий. Все мысленные эксперименты начинаются со слов: «Допустим, что...», «Предположим, что...», «Что будет, если...» и т.п. С логической точки зрения мысленный эксперимент – это условное доказательство какого-либо положения теории, имеющего форму «если..., то...». Основная польза мысленных экспериментов состоит в том, что они позволяют точно рассчитать состояние системы в соответствии с некоторыми предполагаемыми законами её поведения без проведения реальных (материальных) экспериментов, часто требующих значительных материальных расходов и средств.

Одним из первых учёных, кто сознательно использовал мысленный эксперимент при построении физической теории, был Г. Галилей. Путем элементарного эксперимента с движением шарика по отполированной наклонной плоскости и последующих рассуждений о его движении при полном отсутствии трения Галилей приходит к заключению, что в пустоте ускорение всех падающих на землю тел будет одинаковым и не зависеть от их веса, а только от времени их падения. Другим классическим примером мысленного эксперимента в механике, начиная с которого, по мнению А. Эйнштейна началась вся современная физика, явились рассуждения при установлении закона инерции. Содержание этого мысленного эксперимента заключается в следующем. Допустим, тело находится в состоянии покоя. Допустим, что на него не действует никакие силы извне. Что произойдет с телом в этом случае? Ответ очевиден: оно останется в состоянии покоя. Рассмотрим второй случай. Допустим, тело движется по прямой линии с некоторой постоянной скоростью. Допустим также, что оно не испытывает никаких внешних воздействий со стороны окружающих его других тел. Как будет (или должно будет) вести себя тело дальше? Ответ также очевиден. Оно будет продолжать двигаться прямолинейно и равномерно с прежней скоростью. Объединённые вместе эти положения и составили содержание закона инерции, установленного с помощью двух рассмотренных выше мысленных экспериментов. Вот эти логически незыблемые рассуждения и легли в основу классической механики Ньютона [4; 16].

Еще одним примером мысленного эксперимента являются рассуждения А. Эйнштейна при построении им общей теории относительности. Рассмотрим этот эксперимент, как он описан к работе А. Эйнштейна и Л. Инфельда «Эволюция физики» [19]. В ней авторы рассматривают мысленный эксперимент с «лифтом». Смысл этого эксперимента состоит в доказательстве того, что при определённых условиях две системы: «инерция + гравитация» и «неинерциальная система» невозможно различить принципиально, так как наблюдаемые в них явления можно одинаково последовательно

объяснить при допущении того, что они имеют место как в одной, так и в другой из систем. Таким способом в теории относительности доказывалась относительность и равноправие не только всех инерциальных систем отсчёта (это было показано уже в рамках классической механики), но и равноправие вообще всех систем отсчёта, независимо от того, являются ли они инерциальными или неинерциальными. А теперь рассмотрим содержание мысленных экспериментов с лифтом более подробно. Представим себе, говорит Эйнштейн, что некий (внутренний) наблюдатель находится в лифте. Его лифт опускается вниз с некоей постоянной скоростью. Внезапно канат обрывается. Движение лифта вниз вместе с находящимся в нем наблюдателем продолжается по-прежнему с постоянной скоростью, но уже с ускорением свободного падения! И это фиксирует внешний наблюдатель. Но внутренний наблюдатель этого видеть не может, так как и он сам, и пол, и потолок лифта двигаются с одной и той же скоростью и их положение друг относительно друга остается одним и тем же. Более того, внутренний наблюдатель не может даже определить, движется лифт или покоится. Допустим, он вынимает из кармана платок и часы – отпускает от них руку. Но они остаются на том же месте относительно пола лифта, так как ускорение свободного падения одинаково для всех тел и не зависит от их массы. Отсюда внутренний наблюдатель заключает, что он находится в инерциальной системе. Тогда как по отношению к внешнему наблюдателю лифт, безусловно, движется. Но с точки зрения имеющих у внутреннего и внешнего наблюдателя данных наблюдения они оба правы, причём в равной мере. Приведём еще один мысленный опыт Эйнштейна и Инфельда. Допустим, что через дырку в стенке лифта проходит луч света и упирается в некоторую точку на противоположной стенке. Поскольку лучу света необходимо некоторое время для прохождения от одной стенки к другой, а лифт движется вниз, постольку он упирается в некую точку на противоположной стенке лифта не прямо напротив дырки, из которой луч света выходил, а несколько выше её. И этот факт фиксируют оба наблюдателя: и внутренний, и внешний. Однако объяснение этому факту они дают абсолютно разное. С точки зрения внешнего наблюдателя это однозначно вызвано движением лифта, ибо если бы лифт покоился, то свет, направленный горизонтально от одной стенки к другой упёрся бы в точку точно напротив. Рассуждение же внутреннего наблюдателя совсем другое и при этом не менее последовательно. Он считает, что лифт мог покоиться. Но траектория луча света, поскольку он состоит из движущихся фотонов и имеет массу, за время движения от стенки к стенке могла искривиться под воздействием поля тяготения, а потому ее конец и оказался в точке, которая находится не строго напротив дырки. В результате данных мысленных эксперимента с падающим лифтом Эйнштейн и Инфельд делают следующий вывод: «Эти два описания – одно данное внешним, а другое – внутренним наблюдателем, вполне последовательны, и нет возможности решить, какое из них правильно. Мы можем принять любое из них для описания явлений в лифте: либо вместе с внешним наблюдателем принять неравномерность движения и отсутствие поля тяготения, либо вместе с внутренним наблюдателем принять покой и наличие поля тяготения» [19, с. 182].

И далее: «Из этих примеров следует, что имеется вполне обоснованная надежда сформулировать релятивистскую физику. Мы видели на примере с лифтом последовательностью двух описаний. Можно предположить наличие неравномерности движения, а можно этого не делать. Мы можем исключить из наших примеров «абсолютное» движение с помощью поля тяготения. Но тогда в неравномерном движении нет ничего абсолютного. Поле тяготения в состоянии полностью его уничтожить. Призраки абсолютного движения и инерциальной системы координат могут быть исключены из физики и может быть построена новая релятивистская физика» [19, с. 184].

И такая теория была построена А. Эйнштейном под названием «общая теория относительности» (ОТО). В этой теории ускорение и замедление скорости движения тел объясняется уже не воздействием внешних сил на равномерно движущееся тело (в том числе и якобы некой силы притяжения одного тела к другому), а характером кривизны пространства, в котором происходит движение тела. А кривизна пространства создается полем тяготения, геометрия которого определяется величиной и распределением множества гравитационных масс тел, занимающих объем данного пространства. В отличие от механики Ньютона, в ОТО все физические законы формулируются не только для инерциальных систем отсчёта, но для любых систем отсчета, причем так, что во всех инерциальных и

неинерциальных системах отсчета каждый физический закон имеет одинаковый вид. Или, как говорят в этом случае, законы новой физической теории (ОТО) оказываются ковариантными во всех системах отсчета. Эта ковариантность теоретических законов физики (или их абсолютный характер) всегда обеспечивается с помощью соответствующих математических преобразований, позволяющих переходить с языка описания физических явлений в одной системе отсчета на язык описания этих же явлений в другой системе отсчета. При таком переходе многие параметры физических явлений могут меняться, но законы при этом должны оставаться неизменными и не зависеть от системы отсчета или ее выбора.

Говоря о гносеологических недостатках мысленного эксперимента как метода теоретического познания необходимо указать на два обстоятельства. Первое. Необходимо помнить, что любой мысленный эксперимент всегда является лишь условной формой доказательства. Поэтому всегда важна четкая фиксация условий, при которых он только и возможен. Например, закон свободного падения тел верен только при следующих условиях: а) только в условиях Земли (но не за её пределами, например, в космосе); б) только в условиях одинаковой широты (то есть он не будет верным для тел, находящихся друг от друга на значительном расстоянии по широте Земли); в) только в условиях полного отсутствия атмосферы или какой-либо другой среды (типа «эфира») и взаимодействия с ней; г) масса падающих тел не должна быть близкой к величине массы Земли, а тем более превосходить ее; д) пространство области падения тел должно быть однородным в плане своей «искривленности». Такое же множество допущений и ограничений имеется в мысленном эксперименте с «падающим лифтом» в теории относительности. Ряд этих допущений оговаривался А. Эйнштейном специально (например, это достаточно небольшие пространственные размеры лифта и др.). Но самое главное, что делает мысленный эксперимент не только условной, но также и частично неопределенной формой доказательства своих следствий состоит в том, что весь перечень условий, при которых только и возможен данный мысленный эксперимент, никогда реально не может быть описан полностью и до конца. И поэтому содержание «Если...» мысленного эксперимента всегда остаётся открытым и не до конца определенным. Оно всегда включает в себя и некое неявное, не высказываемое до конца знание. А поэтому и выводы любого мысленного эксперимента по отношению к объективной реальности не имеют необходимого заключающего характера. Тем не менее, мысленный эксперимент позволяет выявить многие взаимосвязи теоретических объектов и на этой основе формулировать законы научных и, прежде всего, физических теорий.

2.Метод математической гипотезы. Известно, что одним из важнейших элементов любых теорий являются их законы. Законы любой зрелой научной теории всегда имеют характер математических зависимостей одной величины от других. Поэтому можно с полным правом утверждать не только такую методологическую сентенцию как «Нет теории – нет науки», но и другие, как например: «Нет законов – нет теории» или «Нет уравнения – нет научного закона». Научный закон – это не просто фиксация существенных, необходимых и всеобщих связей между различными явлениями и их свойствами. Научный закон – это обязательно фиксация **количественного** характера связей и зависимостей изучаемых объектов, а в научных **теориях** – это описание **количественных связей и отношений** между **идеальными** объектами теорий и их свойствами. Вот почему проблема метода математической гипотезы в научном познании по существу тождественна проблеме формы научного закона и особенно формы теоретического закона науки. Вот примеры известных теоретических физических законов: $S=gt^2/2$ (закон Галилея);

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$ (закон тяготения Ньютона), $F = m \cdot a$ (второй закон механики Ньютона);

$V = HR$ (закон разбегания галактик Хаббла, где R – расстояние между галактиками, V –

скорость разбегания галактик, H – постоянная Хаббла); $P \cdot V = NkT$ (соотношение между

давлением P , объемом V , температурой T и количеством атомов идеального газа N , где k – термодинамическая константа); $i\hbar \cdot \Psi d(t) / dt = H_{оп} \Psi (t)$ (уравнение Шрёдингера, где H –

оператор Гамильтона, \hbar – постоянная Планка, Ψ – волновая функция, i – мнимая единица); $S = k \cdot \ln W$ (закон энтропии для изолированных термодинамических систем, где w –

элементарное состояние термодинамической системы); $E=mc^2$ (знаменитый закон Эйнштейна о соотношении энергии и массы). Все эти законы имеют форму уравнений, то есть тождества левой и правой части некоторого равенства. Любое уравнение описывает количественную взаимосвязь одной величины (записанной слева от знака «равно») и других величин (записанных справа от знака «равно»). Зная значение переменной величины в левой части уравнения, мы можем с помощью уравнения однозначно определить соответствующее ему значение переменных величин в правой части уравнения и наоборот. Любое физическое уравнение или закон с точки зрения математики есть не что иное, как математическая функция, описывающая характер количественной взаимосвязи между некоторыми величинами, являющиеся значениями идеальных объектов теории. Функция же в математике это всегда определённый тип отношения между некоторыми переменными $F(a,b,...)$. Таким образом, специфика теоретических законов состоит в том, что это всегда утверждения о функциональной зависимости между переменными величинами, представляющими свойства или отношения изучаемых идеальных объектов. Теоретические законы являются функциональными законами или законами-функциями. И этим они отличаются от других видов законов: например, причинных законов или субстратных, или субстанциональных, которые часто имеют место на эмпирическом уровне научного познания. И в этом отношении все теоретические законы являются описательными, феноменологическими, а не причинными утверждениями. Они утверждают, как одна величина количественно связана с другой и ничего более. Но и не менее. Таким образом, научные теории являются принципиально количественным видом описания изучаемых ими объектов. Вот почему математический язык является необходимым для любой научной теории независимо от содержания изучаемых ею объектов и сферы их применения. Перефразируя известные слова, можно утверждать, что «в каждой научной теории столько теории, сколько в ней математики». Для современных научных теорий, особенно в физике, используемый там язык математики является достаточно сложным. Это теория функций комплексного переменного, общая риманова геометрия, некоммутативная алгебра, теория категорий и т.д. [5]. Таким образом, основные утверждения научных теорий, их исходные законы всегда являются не просто гипотезами, а математическими высказываниями – гипотезами о количественной взаимосвязи между определёнными переменными. Какое гносеологическое значение имеет представление законов научных теорий в виде математических гипотез? Как известно, главное в науке – это максимальная точность описания исследуемой предметной области. И на эту роль может претендовать только математика с её языком, потому что именно для этого она и создаётся. Неизбежным гносеологическим следствием точного языка законов является то, что благодаря этому резко возрастает степень потенциальной фальсифицируемости законов, сформулированных на языке математических уравнений. Ибо чем точнее некоторое утверждение (а при континуальной области значений переменных в уравнениях степень их точности может быть сколь угодно большой), тем больше оно подвержено риску быть опровергнутым на опыте. Но зато, если оно выдерживает проверки экспериментом на заявленную точность и определённость, то начинает пользоваться у учёных почти безграничным доверием в отношении своей истинности. Ярким примером в этом отношении может быть судьба двух фундаментальных физических теорий: максвелловской электродинамики и квантовой механики Гейзенберга. И в той, и в другой теории их законы сформулированы в виде определённых математических уравнений-гипотез. Рассмотрим эти примеры более подробно.

Вот первоначальная формулировка законов теоретической электродинамики Максвелла [17]:

$$\operatorname{rot} H = \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} E = -\frac{1}{c} \frac{\partial H}{\partial t}$$

где $\operatorname{rot} H$ – напряжение магнитного поля, $\operatorname{rot} E$ – напряжение электрического поля, j – ток проводимости, $\frac{\partial E}{\partial t}$ – ток смещения.

Главное (и великое!) теоретическое открытие Максвелла это введение им в электродинамику новой сущности – «тока смещения», который он обозначил в первом

$\frac{\partial E}{\partial t}$

уравнении в качестве члена $\frac{\partial E}{\partial t}$. Согласно гипотезе Максвелла «полный» ток (проходящий по любому проводнику) состоит из тока не одного, а двух **разных** видов: «тока проводимости» и «тока смещения». В этой связи Максвелл вводит новое понятие – «магнитное поле в окружающем тело пространстве». Магнитное поле вызывается только полным или «истинным» током (т.е. «током проводимости + током смещения»). При этом самое интересное и неожиданное следствие заключается в том, что «ток смещения» может возникать и в диэлектриках. Отсюда следуют два неожиданных теоретических предсказания:

1) носителем электромагнитных волн может быть и пустое пространство, а потому электродинамика не нуждается в допущении существования эфира как некоей материальной среды для распространения в пространстве электромагнитных волн;

2) скорость распространения света (как имеющего электромагнитную природу) должна быть величиной постоянной и инвариантной во всех направлениях его распространения в пространстве, так как свет имеет электромагнитную природу.

Оба этих следствия, вытекающих из математических уравнений Максвелла, не имели при жизни ученого экспериментальных подтверждений. Экспериментально распространение электромагнитных волн в пустоте было установлено лишь Г. Герцем, создавшим электромагнитный резонанс волн, а инвариантность света была доказана лишь в эксперименте Майкельсона – Морли. Для нас здесь важно отметить лишь тот факт, что основу электродинамики Максвелла составили математические уравнения, выступившие в роли математических физических гипотез. Необходимо отметить тот важный гносеологический факт, что многие физики – современники Максвелла считали его теорию не просто сомнительной, но и лженаучной, поскольку большинство из них верило в очевидное существование эфира как реальной и абсолютно необходимой физической субстанции [4; 17].

Особое неприятие физиками – современниками Максвелла вызывало введение Максвеллом в уравнения электродинамики «тока смещения» (этого понятия не было в теории электродинамики предшественников Максвелла – Фарадея, Био, Савара, Ампера). Главной же причиной, побудившей Максвелла ввести ток смещения, было его сильное стремление объединить электростатику и электродинамику в единую физическую теорию. А для этого нужно было объединить «статическое электричество» и «текущее электричество». Связующим звеном между этими понятиями и стало понятие «тока смещения». Дело в том, что из опытов было хорошо известно, что статическое электричество (притяжение или отталкивание электрических зарядов) осуществляется всегда через диэлектрик (воздух, стекло и др.). Диэлектрики, как и любые тела (а не только металлы), также проводят электричество, но просто степень проводимости в них электрического тока очень мала по сравнению, скажем, с его проводимостью в металлах. В частности, хорошо известен опыт Фарадея с изоляторами: если к ним подвести электродвижущую силу, то на концах изоляторов образуются заряды разного знака. Размышления над этим опытом и привели Максвелла к необходимости введения тока особого вида – «тока смещения»: электрический ток **передаётся** через диэлектрики, **но не проходит** через них. И величина тока смещения будет тем больше, чем быстрее будет изменяться электродвижущая сила, примененная к диэлектрику. Так изолятор (диэлектрик) сделался у Максвелла «проводником». Но проводником только особого вида тока – тока смещения.

Так или иначе, но в основе уравнений Максвелла лежала идея физической симметрии: перемены в магнетизме вызывают электричество, перемены в электричестве – магнетизм. Современные математические уравнения классической электродинамики имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} \operatorname{div} E &= 4\pi Q, & \operatorname{rot} H &= \frac{4\pi}{c} j + \frac{1}{c} \frac{\partial E}{\partial t}, \\ \operatorname{div} H &= 0, & \operatorname{rot} E &= -\frac{1}{c} \frac{\partial H}{\partial t} \end{aligned}$$

Таким образом, математические гипотезы-уравнения отнюдь не появляются сразу же в окончательном виде, а создаются путем постепенного изменения и совершенствования [16; 17].

Вторым ярким примером использования метода математической гипотезы при построении научной теории было создание В. Гейзенбергом в 1927 г. матричного варианта квантовой механики [3]. Гейзенберг исходил из идеи, что всякий закон природы может быть и должен быть представлен в виде некоторого уравнения. Если есть объективный закон, то должно быть и уравнение, его выражающее. Поэтому главная задача ученого – сформулировать (найти) уравнения, выражающие математическую структуру законов действительности. Более того, Гейзенберг исходил из веры в то, что все законы природы должны иметь достаточно простую математическую структуру. На чём была основана эта его вера? Как писал сам Гейзенберг: «Трудно указать какое-нибудь прочное основание для этой надежды на простоту, помимо того факта, что до сих пор основные уравнения физики записывались простыми математическими формулами» [3, с. 178].

В 1927 г. Гейзенберг формулирует своё знаменитое соотношение – принцип неопределённости квантовой механики: $dx \cdot dp \geq h$, где dx – неопределённость значения координаты x квантово-механического объекта, dp – неопределённость значения его импульса, h – постоянная Планка = $6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. Таким образом, согласно уравнению Гейзенберга произведение dx на dp не может быть меньше значения постоянной Планка. И от этой неопределённости в описании свойств микрообъекта нельзя избавиться в принципе, так как она никак не связана с точностью приборов или со статистической обработкой результатов наблюдения. Согласно соотношению Гейзенберга эта неопределённость присуща элементарным частицам, так сказать, по самой их природе. Из принципа неопределённости следует, что если одна из сопряженных величин микрообъекта (например, его координата или импульс) является определённой, то вторая будет обязательно неопределённой. Такое же отношение неопределённости имеет место и между всеми другими сопряженными характеристиками микрообъекта, например, между величиной его энергии (E) и временем существования данного энергетического состояния (t): $dE \cdot dt \geq \hbar$

Одним из наиболее активных противников принципа неопределённости В. Гейзенберга был А. Эйнштейн. Он полагал, что в будущем развитии квантовой механики принцип неопределённости будет исключен из ее структуры, поскольку в объективной реальности все объекты имеют (или должны иметь) точно определенные параметры, а законы – строго однозначный характер. В частности, Эйнштейн полагал, что неопределённость для системы из двух частиц можно в принципе обойти (мысленный эксперимент Эйнштейна-Подольского-Розена). Суть мысленного эксперимента заключалась в следующем. Допустим, что мы точно измерили один из сопряженных параметров у первой частицы (значение другого сопряженного параметра при этом может быть неизвестно точно). Далее допустим, что у другой частицы мы точно измерили противоположный сопряженный параметр, оставив неопределённым первый. Но для системы из этих двух взаимодействующих между собой частиц (при условии, что в ней выполняются законы сохранения энергии и импульса) неопределённость уже не должна иметь места [5]. Экспериментальное опровержение мысленного эксперимента Эйнштейна-Подольского-Розена было дано только в 1982 г. в опытах группы французских физиков под руководством А. Аспека. Их эксперименты с взаимодействием двух фотонов показали, что квантовая механика с её принципом неопределённости даёт настолько адекватное (и полное!) описание микромира, насколько это возможно. Оказалось, что измерения, выполненные над первым фотоном, мгновенно влияют на результаты измерений, выполненных над вторым фотоном [5, с. 386-387].

Вера ученых в принцип неопределённости резко возросла после его удачного эвристического использования удачного при объяснении в рамках космогонической теории происхождения Вселенной в результате Большого взрыва возможности спонтанных энергетических переходов в первичном квантовом вакууме, где законы общей теории относительности ещё не действуют [9; 13; 18].

Окончательное математическое обоснование принципа неопределённости было дано только М. Борном. Согласно Борну, в уравнениях квантовой механики выполняется закон коммутативности сложения ($a+b=b+a$), но не выполняется закон коммутативности умножения. В квантовой механике для её сопряженных величин не действует правило

$AB=BA$, здесь $AB \neq BA$. Для описания коммутативности умножения в квантовой механике М. Борн сформулировал следующее свое знаменитое уравнение:

$$qr - rq = i\hbar/2\pi,$$

где q – значение координаты элементарной частицы, а p – значение её импульса.

Обобщая рассмотренные выше примеры успешного использования метода математической гипотезы при построении фундаментальных научных теорий, таких как классическая электродинамика Максвелла и квантовая механика Гейзенберга, можно с полным основанием утверждать, что способ представления теоретических законов науки в виде математических уравнений является не только необходимым, но и весьма весьма плодотворным для развития научного знания. Кроме мысленного эксперимента и математической гипотезы, третьим основным методом построения физических теорий является метод симметрий.

3.Метод симметрий. Метод симметрий заключается в таком подборе математических преобразований при переходе от одной системы отсчета к другой, при котором все законы и константы физических теорий сохраняют свою инвариантность (неизменность) для всех систем отсчета, а их описание во всех системах отсчета будет иметь одинаковый вид. Возникновение метода симметрий было неразрывно связано с появлением научных теорий как качественно особого уровня научного знания со своей онтологией (идеальные объекты) и своей гносеологией (логически доказательный вид знания). Идеальные объекты и их логически доказательное описание обеспечивало теоретическому знанию не только его относительную самостоятельность по отношению к эмпирическому знанию, но и известную самодостаточность, а значит и способность функционировать и развиваться по своим особым законам и на своей собственной, внутренней основе. Однако, у теоретического знания в качестве одной из его серьёзных гносеологических проблем, как неизбежного следствия утверждения его относительной самостоятельности и относительной независимости по отношению к эмпирическому знанию, возникла проблема обоснования его объективности и, прежде всего, обоснования объективности теоретических законов.

По отношению к эмпирическому уровню знания проблема объективности его законов и фактов решается, как известно, их соотношением с данными наблюдения и эксперимента и демонстрацией соответствия эмпирических законов и фактов данным чувственного опыта, являющихся в свою очередь репрезентациями содержания объектов или «вещей в себе» (Кант). По отношению же к теоретическому знанию его непосредственное соотношение с чувственным опытом с самого начала «не проходит», поскольку теория имеет своим непосредственным предметом не материальные, а идеальные объекты. Или, как говорил об этом же когда-то еще Платон, непосредственно предметом научных теорий являются не вещи, а идеи вещей. Как известно, сам Платон решал проблему обоснования объективности теоретического знания, интерпретируя его результат «припоминания» душой познающего субъекта тех идей, которые его душа уже созерцала до своего вселения в его тело в особом мире идеальных сущностей или мире идей. Конечно, это было чисто мифологическое обоснование объективного характера теоретического знания. Позднее оно трансформируется в теорию «врожденного» характера знания (Декарт, Лейбниц, Кант и др.), которая играла роль философского гаранта достижения объективности (общезначимости) научного знания.

Сознание многих ученых не могло согласиться с таким явно мифологическим и метафорическим обоснованием возможности достижения объективного характера научного знания [21]. Решение этой проблемы самими учеными, основанными на их познавательной практике, фактически было найдено уже в самосознании науки XVIII века, хотя первые шаги в этом направлении были сделаны еще Г. Галилеем. Речь идёт о гениальном открытии Г. Галилея – введении им в структуру физической теории такого нового её элемента как математические правила преобразования уравнений теории, выражающих её законы, при переходе от одной инерциальной системы отсчёта к другой [2; 14; 15]. Эти преобразования должны были быть такими, чтобы обеспечить инвариантность (неизменность) теоретических законов механики во всех инерциальных системах отсчёта, независимость их описания от выбора субъектом инерциальной системы отсчёта (а такой выбор абсолютно необходим как необходимое условие определенности теоретического описания). Сохранение формы законов-уравнений в различных системах отсчета и явилось первым проявлением

применения метода симметрии в построении физических теорий. Неизменность или симметричность теоретических законов стала отныне пониматься как необходимое условие доказательства их объективности. Быть объективным для теоретического закона означает только одно: быть симметричным, тождественным, неизменным по отношению к определённому виду преобразований. Другими словами, теоретический закон является объективным тогда и только тогда, когда демонстрируется его инвариантность для всех систем отсчета, его независимость от последних, как конкретных условий его реализации. Позже это сформулированное Галилеем требование инвариантности (или абсолютной неизменности) теоретических законов получило, по иронии судьбы, прямо противоположное название «принципа относительности», хотя более точным названием принципа симметрии было бы скорее или «принцип абсолютности теоретических законов» или «принцип общезначимости и объективности научных законов». Хотя, в одном отношении слово «относительность» является все же важным для характеристики симметричности или общезначимости (объективности) теоретических законов. Дело в том, что абсолютной симметричности, в том числе симметричности теоретических законов, действительно не существует. Любой закон (отношение) или свойство является неизменным, сохраняющимся, симметричным всегда **только** по отношению к **определённым** преобразованиям и благодаря им. Поэтому говорить о симметричности или объективности законов вообще, вне указания тех преобразований, которые только и реализуют эту симметричность, бессмысленно по самой сути. Или в лучшем случае это будет эллиптическое, неполное по своему содержанию утверждение. Симметричность законов «делается», «конструируется», «достигается» только с помощью определённых математических преобразований [1]. Можно сказать еще более жестко: «Нет преобразований – нет симметрии». И одна из главных задач учёного-теоретика как раз и заключается в том, чтобы найти, открыть, подобрать некоторые преобразования как инструмент обоснования симметричности, объективности некоторых уравнений, претендующих на статус теоретических законов. Преобразования, предложенные Галилеем и справедливо получившие его имя, имеют следующий вид. Для характеристик пространственной координаты точки это следующие уравнения: $x_1 = x_0 - vt$, $y_1 = y_0$, $z_1 = z_0$. Для характеристики временного положения точки: $t_1 = t_0$, для массы: $m_1 = m_0$. Использование этих преобразований гарантирует не только инвариантность (неизменность, симметричность) пространственных и временных характеристик всех тел в различных инерциальных системах, но самое главное – обеспечивает инвариантность законов теоретической механики Ньютона, равно как и законов многих других физических теорий. Однако, как выяснилось позднее (во второй половине XIX века), преобразования Галилея не способны обеспечить инвариантность (абсолютность, одинаковость) постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчета и тем самым придать этому утверждению характер теоретического закона. Но тогда «зависало» обоснование объективного характера законов такой теории как электродинамика. Для того чтобы решить эту проблему положительно, Х. Лоренц придумывает и вводит в физику новые, не-галилеевы преобразования, получившие имя преобразований Лоренца. Они имеют следующий вид:

$$x_1 = \frac{x_0 - vt}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}, \quad y_1 = y_0, \quad z_1 = z_0$$

$$t_1 = \frac{t_0 - (v/c^2)x}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Благодаря преобразованиям Лоренца, удалось придать симметричность не только законам классической механики, но и законам электродинамики. Правда, за этот синтез пришлось «заплатить» определенную гносеологическую цену. Эта цена состояла в том, что по отношению к преобразованиям Лоренца такие физические характеристики как пространственная протяженность, время, масса тел стали теперь не абсолютными (инвариантными), какими они были в классической физике, а лишь относительными. Это означало, что эти характеристики зависят от выбора инерциальной системы отсчета и

имеют определённое значение только в конкретной системе отсчета. Изменения характеристик пространства, времени и масс с абсолютных на относительные с трудом утверждались в научном сообществе. Окончательно это произошло лишь с принятием научным сообществом построенной А. Эйнштейном в начале XX в. теории относительности, сначала частной (1905 г.) (или специальной), а затем и общей (1915 г.). Для этого Эйнштейну пришлось вслед за Минковским ввести в механику новый теоретический конструкт: пространство-время (новую четырехмерную математическую и физическую реальность – пространственно-временной континуум), и, вместе с этим, окончательно отказаться от таких понятий ньютоновской механики (как теоретически бессмысленных) как «абсолютное пространство», «абсолютное время», «абсолютная масса» и «эфир» как некоей универсальной материальной среды [14; 15; 16]. И эта была очередная революция в развитии теоретической физики [21]. Философское оправдание этой революции сам Эйнштейн видел в одном: достижение большего единства физического знания, чем оно было раньше и обоснование объективного, то есть симметричного характера большего количества физических законов. Эта же философская идея будет служить основным мотивом в стремлении Эйнштейна объединить теорию относительности и квантовую механику. Эта проблема была намного труднее, поскольку в отличие от классической механики и теории относительности квантовая механика была индетерминистской теорией, законы которой были не однозначными, а вероятностными, благодаря введению в нее принципа неопределённости. Реализация программы Эйнштейна по логическому объединению всех фундаментальных теорий физики заключается в поиске для физики нового теоретического фундамента. Сегодня она идет в двух направлениях: 1) создание единой теории поля на основе выдвижения неких теоретических принципов, которые объединили бы в единое целое все четыре известные на сегодня виды фундаментальных физических взаимодействий: электромагнитное, сильное, слабое и гравитационное; 2) создание теории струн, как принципиально новой исходной математической структуры всей физики. Хотя работа в каждом из этих направлений деятельности современных физиков-теоретиков пока не увенчалась успехом, однако, определенные положительные результаты на этом пути все же получены. В частности, в современной теоретической физике установлено (Э. Нетер) существование внутренней взаимосвязи между симметрией и законами сохранения. Каждому закону сохранения соответствует определённый тип симметрии. Например, закон сохранения количества движения есть следствие однородного характера пространства, то есть допущение о равноправии, тождественности всех точек пространства относительно трансляционной симметрии. Закон сохранения энергии есть следствие принятия утверждения об однородности времени (или равноправия всех моментов времени относительно трансляционной (переносной) симметрии). В частной теории относительности инвариантность закона сохранения энергии-импульса есть следствие допущения об однородном характере пространства-времени. Закон сохранения момента количества движения есть следствие лоренц-эйнштейновского принципа относительности. Математически основу метода симметрии и его использования при построении научных теорий составляет алгебраическая теория групп и ее симметрий относительно различных видов преобразований. Любая симметрия всегда описывается в любой научной теории на языке теории групп. Это служит ещё одним доказательством неразрывной внутренней взаимосвязи между научной теорией и математикой, подтверждением того несомненного факта, что математический язык является наиболее адекватным языком и средством описания в рамках теорий свойств и отношений идеальных объектов. Под «группой» в математике понимается такая совокупность (множество) операций, производимых над какими-либо объектами, которая обладает тем замечательным свойством, что результат последовательного применения двух или большего числа операций из этой совокупности (конечной или бесконечной) равносильно какой-то одной операции этой совокупности. Например, умножение какого-либо числа сначала на число m , а затем на число n равносильно его умножению на число $m \cdot n$. Для групп выполняются следующие условия:

- 1) в группу (совокупность операций) входит некая единичная (тождественная себе) операция, не изменяющая объект;
- 2) для каждой операции группы существует обратная операция, действие которой противоположно;

3) для операций всегда выполняются сочетательные (ассоциативные законы).

Например, операция обычного умножения ассоциативна, т.е. $(a \cdot b) \cdot c = a \cdot (b \cdot c)$.

Частным случаем симметрии любого теоретического объекта является его тождество с самим собой ($A=A$). Хотя реальный и эмпирический мир являются в целом дисимметричными (то есть в них имеется как тождество (совпадение), так и различие (несовпадение) как объектов, так и их частей), теоретическая реальность всегда строится как в существенной степени симметричная (то есть как почти симметричная)[1]. Ибо только так может быть обеспечена логическая доказательность, внутреннее совершенство и целостность теории. Но по этой же причине теория по самому своему существу никогда не может быть полностью тождественна объективной или эмпирической реальности, а только в той степени, в какой объективная и эмпирическая реальности являются выражением симметрии (при этом, конкретного вида симметрии, зафиксированного в той или иной теории). В этом плане теория по отношению к объективной действительности всегда выступает в виде некоторого образца, нормы, эталона или должного по отношению к существу. Благодаря этому сравнение теории и действительности всегда имеет ценностный характер и смысл.

Полное установление того, насколько действительность расходится с теорией, позволяет человеку, с одной стороны, адекватно адаптироваться к действительности, а, с другой, в случае необходимости, изменять и совершенствовать действительность в направлении ее приближения к теоретическому идеалу и приспособления к своим интересам и нуждам. В этом отношении, перефразируя известные слова Гегеля, можно утверждать, что если действительность (природная или социальная) не соответствует теории (у Гегеля – содержанию Абсолютной идеи), то «тем хуже для действительности». Как нельзя без определённых эталонов эффективно действовать в любой конкретной сфере практической деятельности, так нельзя без некоторых образцов теоретической реальности точно оценивать и объективную реальность. Теоретическая реальность с самого начала строится в науке как точная и совершенная реальность. Конечно, это не означает, что со временем сами образцы (или эталоны) этой реальности не меняются. Более того, как правило, одновременно предлагается (строится) несколько альтернативных теорий. И это делает еще более трудным решение проблемы критериев объективной истинности научных теорий. Здесь также предлагаются многочисленные и альтернативные решения, находящиеся в континууме от наивной теории отражения вплоть до радикального конвенционализма в понимании природы теоретической истины в науке [7; 8; 10].

Примечания:

1. Вигнер Ю. Этюды о симметрии. М., 1971.
2. Галилей Г. Беседы и математические доказательства ... // Галилей Г. Избранные труды. В 2 т. Т.2. М., 1964.
3. Гейзенберг В. У истоков квантовой теории. М., 2004.
4. Зельдович Я.Б., Хлопов М.Ю. Драма идей в познании природы. М., 1988.
5. Каменев А.С. Современное естествознание: понятия, термины, персоналии. М., 2003.
6. Лебедев С.А. Методы научного познания. М.: Альфа-М. 2014. 272 с.
7. Лебедев С.А. Проблема истины в науке // Человек. 2014. №4. С. 123-135.
8. Лебедев С.А., Коськов С.Н. Конвенционалистская философия науки // Вопросы философии. 2013. №5. С. 57-69.
9. Лебедев С.А. Философия науки. М.: Юрайт. 2011.
10. Лебедев С.А. История философии науки // Новое в психолого-педагогических исследованиях. 2009. №1. С. 5-66.
11. Лебедев С.А. Структура научного знания // Философские науки. 2005. №10. С. 83-100.
12. Лебедев С.А. Структура научного знания // Философские науки. 2005. № 11. С. 124-135.
13. Лебедев С.А. Философия естественных наук. Под общ. ред. С.А. Лебедева. М.: Академический проект. 2006.
14. Лебедев С.А. Основы философии науки. Под общ. ред. С.А. Лебедева. М.: Академический проект. 2005. 537 с.

15. Лебедев С.А. Философия науки. Учебное пособие для вузов. Под ред. С.А. Лебедева. М.: Академический проект. 2005. 731 с.
16. Мигдал А.Б. Как рождаются физические теории. М., 1984.
17. Мороз О. Прекрасна ли истина? М, 1989.
18. Хокинг Ст., Пенроуз Р. Природа пространства и времени. СПб., 2007.
19. Эйнштейн А., Инфельд Л. Эволюция физики. М., 1965.
20. Lebedev S.A. Methodology of science and scientific knowledge levels//European Journal of Philosophical Research. 2014. № 1(1). С. 65-72.
21. Lebedev S.A., Lebedev K.S. The global scientific revolution and its laws//Вопросы философии и психологии. 2014. №1(1). С. 21-29.

References:

1. Vigner Ju. Jetjudy o simmetrii. М., 1971.
2. Galilej G. Besedy i matematicheskie dokazatel'stva... // Galilej G. Izbrannye trudy. V 2 t. Т.2. М., 1964.
3. Gejzenberg V. U istokov kvantovoj teorii. М., 2004.
4. Zel'dovich Ja.B., Hlopov M.Ju. Drama idej v poznanii prirody. М., 1988.
5. Kamenev A.S. Sovremennoe estestvoznание: ponjatija, terminy, personalii. М., 2003.
6. Lebedev S.A. Metody nauchnogo poznanija. М: Al'fa-M. 2014. 272 s.
7. Lebedev S.A. Problema istiny v nauke//Chelovek. 2014. №4. S. 123-135.
8. Lebedev S.A., Kos'kov S.N. Konvencionalistskaja filosofija nauki // Voprosy filosofii. 2013. №5. S. 57-69.
9. Lebedev S.A. Filosofija nauki. М.: Jurajt. 2011.
10. Lebedev S.A. Istorija filosofii nauki//Novoe v psihologo – pedagogicheskikh issledovanijah. 2009. №1. S. 5-66.
11. Lebedev S.A. Struktura nauchnogo znanija // Filosofskie nauki. 2005. № 10. S. 83-100.
12. Lebedev S.A. Struktura nauchnogo znanija // Filosofskie nauki. 2005. № 11. S. 124-135.
13. Lebedev S.A. Filosofija estestvennyh nauk. Pod obshh. red. S.A. Lebedeva. М.: Akademicheskij projekt. 2006.
14. Lebedev S.A. Osnovy filosofii nauki. Pod obshh. red. S.A. Lebedeva. М.: Akademicheskij projekt. 2005. 537 s.
15. Lebedev S.A. Filosofija nauki. Uchebnoe posobie dlja vuzov. Pod red. S.A. Lebedeva. М.: Akademicheskij projekt. 2005. 731 s.
16. Migdal A.B. Kak rozhdayutsja fizicheskie teorii. М., 1984.
17. Moroz O. Prekrasna li istina? М., 1989.
18. Hoking St., Penrouz R. Priroda prostranstva i vremeni. SPb, 2007.
19. Jejnshtejн A., Infel'd L. Jevoljucija fiziki. М., 1965.
20. Lebedev S.A. Methodology of science and scientific knowledge levels // European Journal of Philosophical Research. 2014. № 1(1). С. 65-72.
21. Lebedev S.A., Lebedev K.S. The global scientific revolution and its laws // Вопросы философии и психологии. 2014. №1(1). С. 21-29.

УДК 1 (091)

Три главных метода построения физических теорий

Сергей Александрович Лебедев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация
Доктор философских наук, профессор
E-mail: saleb@rambler.ru

Аннотация. В статье анализируются основное содержание, функции и познавательные возможности трех основных методов построения физических теорий: мысленного эксперимента, математической гипотезы и метода симметрий. При этом автор

исходит из понимания научной теории как особого рода научного знания, качественно отличного как от чувственного, так и от эмпирического уровня научного знания. Он полагает, что различные уровни научного знания имеют особую онтологию и особый предмет своего описания. Предметом научных теорий, в том числе и физических, является особый вид реальности. Это – теоретическая реальность, которая конструируется учеными из объектов и отношений эмпирической реальности с помощью такого метода как идеализация. Главная задача научной теории – отыскание и формулировка научных законов, которые существуют между идеальными объектами теории и регулируют их отношения между собой. Соответственно особому предмету научной теории имеются и особые методы построения научно-теоретического знания как знания об идеальных объектах. На примере физической науки и ее истории показывается, что в ходе становления и развития физических теорий было изобретено три основных метода построения физических теорий. Это мысленный эксперимент, математическая гипотеза и метод симметрий. Все эти методы фактически появились лишь в Новое время, время становления классической физики. Создателем всех трех методов по праву можно назвать Г. Галилея. Методом мысленного эксперимента им был получен закон инерции, методом математической гипотезы – закон свободного падения, а методом симметрий была доказана инвариантность законов механики для разных инерциальных систем отсчета. На примере творчества другого физика теоретика Максвелла показано, что методом мысленного эксперимента им было доказано существование тока смещения, а также возможность распространения электромагнитных волн в пустоте. С помощью метода математической гипотезы Максвелл сформулировал основные математические уравнения электромагнитной теории. Однако, ему не удалось доказать с помощью метода симметрии инвариантность законов электродинамики в разных инерциальных системах отсчета. Эта задача была частично решена Г. Лоренцем, а окончательно А. Эйнштейном, создателем теории относительности. Они активно использовали все три основных метода построения физической теории. Особенно активно и плодотворно А. Эйнштейн использовал метод мысленного эксперимента и метод симметрий. А один из создателей квантовой механики В. Гейзенберг активно использовал другой основной метод построения физических теорий – метод математической гипотезы. В середине XX века была окончательно осознана фундаментальная роль метода симметрий в построении физических теорий. Сегодня это метод активно используется как эвристическое средство при построении общей теории поля, а также в теории суперструн как базовой математической структуры для всей физики. Главная философская функция использования метода симметрии в построении физической теории заключается в обосновании объективности теоретических законов физики и их независимости от конкретных систем отсчета. Пока решение проблемы объективности теоретического знания в философии и методологии науки не имеет общезначимого решения. Предложенные варианты решения этой проблемы простираются в континууме от наивной теории отражения до конвенционализма, прагматизма, радикального конструктивизма и заканчивая явно субъективистскими концепциями методологического анархизма и постструктурализма.

Ключевые слова: наука; метод; научная теория; физическая теория; метод мысленного эксперимента; метод математической гипотезы; метод симметрии.