
Академик В. А. Амбарцумян

О РОЛИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ В РАЗВИТИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК.

Лабораторные опыты, наблюдения над внешним миром, в том числе над космическими явлениями и объектами, приводят к установлению некоторых фактов и численных данных, которые в свою очередь часто оказываются связанными между собой некоторыми эмпирическими закономерностями. Каждая закономерность устанавливается на основе *обобщения* некоторой совокупности опытных данных. Примерами могут служить: постоянство ускорения силы тяжести на Земле, в вакууме; существование скрытой теплоты плавления твердых тел; сгущение спектральных линий, принадлежащих какой-либо серии любого атома, к коротковолновой границе серии и т.д.

В ходе развития наших знаний со временем каждую такую эмпирическую закономерность удается *объяснить*, т.е. вывести теоретически из более общих законов природы. Тогда данная закономерность перестает быть только эмпирической.

Более того, выведенные теоретически закономерности иногда дают более точное описание явлений, чем это давала установленная прежде эмпирическая закономерность. Так, закон тяготения Ньютона объясняет приближенное постоянство ускорения тяжести на Земле. Но, вместе с тем, он указывает на небольшие различия в точном значении этого ускорения в зависимости от широты и высоты места измерений, а также от расположения геологических пластов и рельефа.

Величайшим обобщением огромного количества опытных данных, полученных в химии, явился периодический закон Менделеева. Теоретическое объяснение этого закона было получено спустя много лет после Менделеева на основе квантовых представлений и введения принципа Паули. Многие другие важные эмпирические закономерности остаются необъясненными. Например, можно считать эмпирической закономерностью, что все звезды-карлики, обладающие массой меньшей, чем масса Солнца, в течение первых десятков миллионов лет своей жизни испытывают гигантские вспышки, в результате которых их блеск в голубых лучах возрастает за время порядка одной минуты в десятки или более раз. При изучении этой необычной эмпирической закономерности теоретики пытаются (иногда правильно, иногда неудачно) связать вспышки с другими явлениями в атмосферах звезд, но все же мы пока не имеем достаточно удовлетворительного теоретического объяснения вспышек на основе теории внутреннего строения звезд.

С другой стороны, некоторые закономерности сначала были выведены теоретически (дедуктивно) из более общих законов природы и лишь потом *проверены* на основе опытов и наблюдений. В этом случае можно говорить о предсказании теорией новых закономерностей.

Так, на основе теории электромагнитного поля (уравнений Максвелла) было установлено, что при поглощении или отражении света тела получают импульс, пропорциональный так называемому вектору Пойнтинга, т.е. испытывают давление света. Экспериментальная проверка этой закономерности была получена только в результате тонких по тому времени опытов П.Н.Лебедева.

Чем больше предсказанные теорией и подтвержденные опытом закономерности отличаются по своему характеру от прежнего круга опытных данных, тем более такое подтверждение рассматривается как блестящее подтверждение теории.

Выше шла речь о таких эмпирических закономерностях, которые выражают строгую взаимную обусловленность некоторых физических параметров, определяемых из опыта. Од-

нако весьма часто эмпирические зависимости носят статистический характер типа корреляции между двумя или многими величинами. Наблюдается наличие дисперсии от некоторой средней зависимости. Во многих случаях такая дисперсия вызывается существованием дополнительных параметров, влияние которых на данном этапе изучения вопроса еще не могут быть определены достаточно точно.

Примером такой корреляции может служить определенная из наблюдений зависимость между массой и светимостью звезды. В этом случае дополнительными параметрами, вызывающими отклонения от средней зависимости, являются возраст звезды и ее начальный химический состав.

Если теория не учитывает в точности влияние параметров, вызывающих дисперсию относительно выведенной зависимости, то в таких случаях становится нелегко дать заключение о верности теории на основе сравнения ее предсказания с наблюдениями.

Мы хотим здесь особо отметить роль, которую в истории естествознания играют те закономерности, которые являются весьма точными, а иногда носят характер поразительных *численных совпадений*.

Удачное объяснение таких закономерностей иногда требует смелых решений и часто ведет к крупнейшим изменениям наших представлений. Ниже мы рассмотрим примеры того, как очень простые, но точные, эмпирические закономерности послужили основой для построения и доказательства теорий, имевших огромное революционное значение для развития естествознания.

I. Пятисотлетие со дня рождения Коперника явилось для астрономов поводом для новых размышлений о развитии его идей. В докладе на юбилейном заседании АН СССР в марте 1973 г. автор настоящих строк попытался показать неправильность встречающегося в литературе утверждения, что, якобы, Коперник не имел прямых доказательств своей системы, и что эти прямые доказательства были добыты лишь впоследствии Бадлеем, открывшим абerrацию света неподвижных звезд, и Бесселем, впервые измерившим годичный параллакс звезды.

Конечно, годичный параллакс звезды, представляющий собой простое отражение движения Земли вокруг Солнца, является очень наглядным доказательством этого движения. Однако очевидно, что эпициклы в видимом движении внешних планет являются **точно таким же отражением** годичного движения Земли. А эти эпициклы были известны с древних времен.

Более того, легко видеть, что между параллактическим эллипсом, описываемым звездой, и эпициклом, описываемым каждой внешней планетой, нет принципиальной разницы.

Чтобы сделать это более убедительным, мы в упомянутом докладе привели воображаемый пример планеты, движущейся вокруг Солнца по кругу с радиусом в 10 000 астрономических единиц. Астроном, знающий, что это светило является планетой, установит из наблюдений, что оно совершает видимое движение по эпициклу с радиусом в двадцать секунд дуги. С другой стороны, для астронома, не знающего, что это планета, она будет представляться звездой с годичным параллаксом в двадцать секунд дуги. Оба они могут привести этот пример как доказательство орбитального движения Земли. Но было бы нелепо считать одно и то же движение, при одном его наименовании, косвенным доказательством, а при другом наименовании — прямым. Поэтому измерение годичного параллакса звезды Бесселем не было принципиально новым доказательством орбитального движения Земли, а лишь одним из его подтверждений.

Из сказанного следуют два вывода:

1. Коперник имел полное основание рассматривать эмпирически установленную закономерность движения известных тогда внешних планет по эпициклам с периодом, равным одному году, как самое непосредственное доказательство своей системы.

2. При рассмотрении логики научного развития следует учитывать условность и некоторую неопределенность различия между прямыми и косвенными доказательствами.

Развивая наши соображения о том, что Коперник фактически обладал аргументом, эквивалентным годичному параллаксу звезд, французский астроном Жан-Клод Пекер недавно

показал более подробно, что Коперник и Кеплер вполне сознавали доказательную силу аргументации, связанной с эпизодами внешних планет.

Рассматриваемое доказательство орбитального движения Земли, конечно, не имело бы силы, если бы периоды видимого обращения по эпизодам для трех внешних планет не совпадали бы между собой и не равнялись бы точно периоду обращения Солнца по деференту. Именно *точное совпадение* значений всех четырех периодов этих различных и притом в птолемеевской системе происходящих независимо друг от друга движений делало очевидным, что во всех этих случаях мы имеем дело с общей причиной, т.е. отражением одного и того же действительного движения Земли.

И тут мы приходим к самому главному: Коперник со всей силой чувствовал огромное значение точного численного совпадения встречающихся в природе величин. Для него *необходимость существования глубокой и единой причины для такого рода совпадения* была, по-видимому, столь же очевидна, как она очевидна для нас — астрономов и физиков двадцатого века.

В истории науки Коперник был, по-видимому, первым исследователем, который понял все значение такого явления, как точное совпадение численных значений с первого взгляда независимых друг от друга величин, определенных из опыта. Впервые такое совпадение фактически рассматривалось как ярко выраженная эмпирическая закономерность. И хотя, вероятно, не этот факт сыграл основную роль в принятии им гелиоцентрической картины мира, он, по-видимому, окончательно и бесповоротно убедил его в ее истинности.

В дальнейшем обнаружение подобных совпадений и необходимость отыскания для них простых объяснений стихийно превратились в важный эвристический принцип, сыгравший большую роль в развитии естествознания.

II. После Коперника Кеплеру удалось установить более точные закономерности в движениях планет. Так называемые «законы Кеплера» были установлены как эмпирические соотношения, найденные из совокупности астрономических

наблюдений. Из них третий закон Кеплера можно сформулировать как совпадение некоторых чисел, относящихся к движениям различных планет, именно: соотношение куба среднего расстояния до Солнца к квадрату длительности периода обращения является одним и тем же для всех планет. Такое совпадение величин, характеризующих движение различных планет солнечной системы, требовало объяснения. И оно было найдено в результате установления закона Ньютона и констатации того факта, что массы планет настолько малы по сравнению с массой Солнца, что в первом приближении ими можно пренебречь. В отличие от предыдущего случая, где оказалось возможным чисто кинематическое объяснение совпадения, здесь объяснение было возможным только на основе глубокого понимания динамики явлений.

Заметим, что любое количественное соотношение между наблюдаемыми величинами, относящимися к какому-либо явлению, можно трактовать, как мы сделали в случае третьего закона Кеплера, как численное совпадение.

В самом деле, каждое количественное соотношение между наблюдаемыми физическими величинами можно написать в виде

$$A(q) = B(q), \text{ где}$$

q - совокупность наблюдаемых параметров, могущих принимать различные значения. Если $B(q) \neq 0$, то его можно переписать в виде

$$\frac{A(q)}{B(q)} = 1,$$

т.е. можно утверждать, что значения $\frac{A(q)}{B(q)}$ должны совпадать при различных q .

Особенно интересны такие совпадения в тех случаях, когда наблюдаемые значения q образуют дискретную совокупность.

В первом случае речь шла о трех внешних планетах, а во втором — о всех пяти известных тогда планетах, для которых отношение

$$\frac{a^3}{T^2}$$

имеет то же значение, что и для Земли.

Наиболее яркие примеры совпадений между дискретными величинами, получаемыми из наблюдений, появились в конце прошлого века в оптической спектроскопии. Как оказалось, частоты спектральных линий данного атома подчиняются некоторой общей закономерности, называемой комбинационным принципом Рица.

Согласно этому принципу, перенумеровав с помощью некоторого целочисленного индекса n все спектральные серии данного атома (или иона) и обозначив через m номер линии внутри серии, мы можем представить все дискретные частоты ν_{nm} в спектре этого атома в виде разностей

$$\nu_{nm} = T_n - T_m \quad (1)$$

дискретных чисел T_n , имеющих только один целочисленный индекс.

Хотя обычно не всем возможным разностям $T_n - T_m$ соответствуют достаточно интенсивные линии, однако, на основании (1) должны осуществляться частые совпадения частоты некоторой линии с суммой частот нескольких других линий.

Наиболее ярким примером таких совпадений являются соотношения между частотами некоторых линий атома водорода. Например, частота второй линии (L_β) серии Лаймана равняется сумме частот первых линий серии Лаймана и Бальмера.

$$L_\beta = L_\alpha + H_\alpha \quad (2)$$

Уже одного простого совпадения (2) было бы достаточно для постановки вопроса о создании теории, объясняющей его.



Тем более это было необходимо, поскольку был эмпирически установлен общий комбинационный принцип (1). Именно поэтому должна была возникнуть теория, устанавливающая дискретность уровней энергии атомов (теория Бора, а затем квантовая механика). Тем самым спектроскопия атомов открыла путь для величайшей научной революции двадцатого века.

Итак, в рассмотренных примерах выяснение причин наблюдаемых численных совпадений приводило каждый раз к фундаментальным научным открытиям.

Речь, конечно, идет о настолько точных численных совпадениях, когда возможность считать их делом случая отпадает. Всем известна неудачная попытка Эддингтона из приблизительного совпадения двух величин построить теорию «постоянной тонкой структуры».

Обращаясь к другим отраслям естествознания, стоит отметить большое значение для биологии и прежде всего для механизма наследственности совпадение количества хромосом в клетках всех организмов, принадлежащих данному виду. Нет сомнений, что с течением времени выяснится большое значение и многих других численных совпадений в биологии.

III. Наряду с численными совпадениями огромное значение может иметь и совпадение наблюдаемых в природе геометрических форм.

а) Закономерное совпадение и повторение форм кристаллов, в основе чего лежит повторение форм кристаллических решеток, связано с основными положениями физики твердого тела и использованием в ней принципов симметрии.

б) Первый закон Кеплера, утверждающий в обобщенном виде, что небесные тела, совершающие движение около Солнца, двигаются по коническим сечениям, послужил наряду со вторым и третьим законами Кеплера основой для вывода закона тяготения Ньютона.

в) исследование взаимного расположения наиболее ярких галактик показывает, что весьма часто они образуют цепочки, т.е. лежат на некоторой прямой линии. Списки подобных групп галактик были опубликованы Б. Маркаряном и Г. Арпом.

При этом следует иметь в виду, что прямолинейность цепочки соблюдается не строго. Отдельные галактики отклоняются от оптимально проведенной прямой линии на расстояния, составляющие 5% , а иногда и 10% от полной длины цепочки.

Тем не менее, существование цепочек рассматривается в последнее время во внегалактической астрономии как достаточно строго установленный факт.

Как известно, в 1973 г. было установлено существование во Вселенной нового типа скоплений галактик: компактных групп компактных галактик. Уже опубликованы (Шахбазян и др.) списки более сотни подобных скоплений. Среди них по крайней мере несколько десятков имеют формы прямолинейных или дугообразных цепочек. Здесь их процент настолько велик, что трудно рассматривать такие структуры как случайные.

Создается впечатление, что действительно в скоплениях галактик у наиболее ярких членов иногда имеется определенная тенденция располагаться в цепочки. Такой вывод может повлечь за собой далеко идущие последствия, так как он свидетельствует о каком-то совершенно особом механизме совместного возникновения галактик в скоплениях.

На этом примере мы видим, что совпадения геометрических форм объектов или процессов еще долго будут вести нас к новым заключениям, касающимся фундаментальных закономерностей природы.

Заключение. Автор настоящей статьи не считает, что приведенные выше соображения содержат что-либо принципиально новое для философов. Он хочет лишь подчеркнуть следующее: тот факт, что опыт позволяет обнаруживать в природе все новые эмпирические закономерности, носящие характер численных или геометрических зависимостей и подчас неожиданных численных совпадений, и что подобные открытия заставляют науку строить новых предстваления, понятия и теории и на этой основе находить новые теоретические законы, знание которых в свою очередь вызывает новый

подъем уровня эксперимента и наблюдений, является весьма примечательным. Он снова свидетельствует о том, что все эти закономерности существуют независимо от сознания познающего субъекта. Они как бы навязываются природой субъекту. С другой стороны, он свидетельствует о безграничности познавательных возможностей человека. Установление новых эмпирических закономерностей, не предсказываемых существующими в данный момент теориями, является одним из важнейших факторов развития науки.

Июнь, 1974 г.