

Л.А. Грибов

Принципы формирования научного знания

Введение.

Предметом данной статьи является рассмотрение особенностей и принципов формирования научного знания, опираясь, главным образом, на опыт физики. Однако, как мы постараемся показать ниже, многие принципы накопления знаний современной физики имеют и общенаучное значение, являясь универсальными схемами для научного познания вообще.

Все явления внешнего мира можно разделить на две большие группы: повторяющиеся и единичные (уникальные). Любая, претендующая на прогноз, область науки базируется на наблюдении и обобщении причинно-следственных связей между повторяющимися явлениями: либо воспроизводимыми в лабораторных условиях, либо, относительно часто, в близких деталях проявляющимися в окружающей живой и неживой природе. Именно такие наблюдения и формируют совокупность так называемых фактов науки.

Чтобы пояснить эту мысль, представим себе, что мы, располагая тремя различными приборами, однократно на одной установке измерили значения электрического сопротивления участка цепи, падения напряжения на этом же участке и силу тока. Комбинируя три таких цифры, можно обнаружить, что произведение силы тока на сопротивление равно значению падения напряжения. Однако, если измерения однократны, то у нас нет никаких оснований утверждать, что такое равенство будет сохраняться всегда. Чтобы получить закон, нужно убедиться, что обсуждаемое равенство выполняется при множестве измерений с разными источниками тока и разными участками цепи. Только после многих экспериментов, убедившись, что соотношение, известное всем как закон Ома, выполняется всегда, можно, зная результаты лишь двух измерений (силы тока и сопротивления участка цепи, например), заранее указать (спрогнозировать) результат третьего. С другой стороны, очевидно, что в принципе не может появиться наука, на основе которой можно было бы с заметной долей вероятности сделать прогноз, что в две тысячи таком – то году в семье Ивана Ивановича и Анны Петровны Сидоровых родится новый Александр Пушкин. Стало быть, уже по этой причине сфера приложений того, что мы называем наукой, ограничена.

Второе ограничение связано с существованием, особенно в сложных системах, так называемых бифуркационных состояний, которые привлекают особенное внимание исследователей именно в последнее время. Это такие состояния, когда при малых изменениях тех или иных параметров системы поведение её качественно меняется (говорят, что в этом случае происходит рождение нового), причём может возникнуть при вариациях параметров около некоторых значений не одно, а несколько новых состояний или процессов. В математике, в теории нелинейных уравнений, такая ситуация называется ветвлением решений. В области бифуркационных точек развитие событий в системе может быть направлено по тому или иному пути действием принципиально непредсказуемых случайных факторов /флуктуаций/.

Поясним сказанное примером (автор здесь и далее предполагает, что элементарными знаниями в области физики читатели обладают).

Пусть имеется простое уравнение движения материальной точки: $m \frac{d^2x}{dt^2} = kx$.

Здесь m – масса частицы, x – координата её (положение) на оси абсцисс и t – время.

Представим, далее, что имеется игральная кость, на гранях которой нанесены цифры -1 , 0 и $+1$. Цифры повторяются дважды, чтобы заполнить все стороны кубика. Не трудно сообщить, что, если мы будем бросать кость много раз, то в $1/3$ случаев «выпадет» значение -1 , в $1/3$ – 0 и в $1/3$ выпадёт $+1$. Такой результат получится только при

многократных испытаниях. Если же мы ограничимся одним бросанием кости, то совершенно невозможно предсказать заранее, что получится: -1 , 0 или $+1$.

Будем рассматривать такое непредсказуемое событие как флуктуацию. Вернёмся к уравнению. Если его решить, то найдется зависимость положения точки (значение x) от времени. Получим некоторый закон развития. Выберем теперь значение коэффициента k «показателя» кубика при его однократном бросании. Мы можем получить $k=0$, -1 и $+1$. Что конкретно – предсказать нельзя. При различных k получится принципиально разное развитие ситуации: при $k=0$ – равномерное движение; при $k=-1$ – колебательное и при $k=+1$ – ускоренное движение с экспоненциальной зависимостью пути от времени.

Таким образом, в результате совершенно непредсказуемого события, изменение состояния системы будет совершенно разным!

Расхожим является утверждение, что случайность есть непознанная необходимость. Другими словами, если сегодня мы не знаем, почему возникла та или иная ситуация, то завтра, в результате развития науки, узнаем и сможем сделать прогноз. История развития наук, прежде всего естественных, позволяет привести много примеров того, что ранее непознанное становится предсказуемым. Примером является хотя бы метеорология, которую ещё не так давно А. Крылов – знаменитый математик и кораблестроитель – помещал в один ряд с хиромантией, и которая сейчас стала давать довольно точные, правда, кратковременные, прогнозы погоды. Однако, современная наука выделяет и признает существование принципиально непредсказуемых событий. Например, можно предсказать, сколько радиоактивных атомов данного сорта распадется в течение определенного, наперед заданного интервала, но в принципе нельзя предсказать, какие конкретно атомы из данной совокупности претерпят такой распад. При наблюдении всем известного по школьному курсу физики броуновского движения можно, опираясь на теорию этого движения, предсказать некоторые его характеристики, но нельзя заранее нарисовать его траекторию. Более того, если проводить наблюдения таких траекторий через интервалы времени, то все картинки окажутся разными и поэтому в деталях не обобщаемыми.

Реальное существование флуктуаций и бифуркационных состояний приводит к выводу, подтверждаемому всей историей формирования естественных наук, что упорядочение научных знаний и концентрирование их в форме законов, позволяющих в дальнейшем делать научный прогноз, возможно только на макроскопическом уровне, когда интерес представляет некоторый интегральный результат, но не частности. Снова мы встречаемся с принципиальными ограничениями научного знания.

Наконец, последнее, но не менее важное соображение. Любое наблюдение подразумевает разделение объекта и субъекта наблюдения. Осмысливая это и отталкиваясь от явлений в атомном мире и обнаруженных в нём закономерностей – воздействия измерения на объект (невозможности одним и тем же прибором с одинаково высокой точностью измерить координату и импульс микрочастицы и др.), Нильс Бор предложил знаменитый принцип дополнительности, отчетливо проявляющийся в особенностях формирования научного знания, и особенно построения научных теорий.

Как было написано в «Журнале шуточной физики», изданном к юбилею Н. Бора:

«...дополнительность – это закон,
Который Бором провозглашен.
Закон всех народов,
Закон всех времен,
Успешно описывающий с двух сторон
Не только протон
И электрон,
Но также ...
Циклон,
Нейлон,
Декамерон,
И, несомненно, каждый нейрон.»

Сам Н. Бор писал, что «...идея дополнительности способна охарактеризовать существующую ситуацию, которая имеет далеко идущую аналогию с общими трудностями образования человеческих понятий, возникающими из разделения субъекта и объекта».¹

Н. Бору принадлежит краткая и выразительная формулировка принципа дополнительности применительно к познанию и построению картины окружающего мира и научных теорий: «Дополнительной к истине является ясность».²

Если под истиной, как это обычно делают в физике, понимать результаты экспериментов (имеется, конечно, в виду, что они отработаны по всем правилам), то под ясностью подразумевается обобщение таких результатов и построение однозначного образа явления и формулировка соответствующего научного закона.

Снова процитируем Н. Бора: «...мы встречаемся здесь с иллюстрацией старой истины, что наша способность анализировать гармонию окружающего мира и широта его восприятия будут находиться во взаимоисключающем, дополнительном соотношении».³

Чем более увлекаемся анализом деталей, пытаясь разделить сложное явление на составляющие, тем труднее становится воспринимать это явление как целое, выделить главное и сделать обобщение. Слишком же смелое отбрасывание деталей может привести к тому, что полученное представление о явлении будет настолько далеким от реальности, что его ценность станет равной нулю.

Требование достижения ясности в науке приводит к необходимости пользоваться различными представлениями об одном и том же объекте исследования. Например, в молекулярной физике и химии используются модели молекул в виде брутто-формулы, в которой указываются только типы и количества составляющих молекулярных атомов, либо в форме жёстких и упругих геометрических фигур, либо модели, в которых указываются заряды на атомах и др. В результате получается желаемая ясность, и возникает возможность прогноза свойств соединений, но при этом становится невозможным дать молекуле какое-то одно информативное определение.

Что-то здесь напоминает представления слепых о слоне в известной притче, когда слепым дали возможность ощупать части тела этого животного. Одному из них достался хобот, и он сказал, что слон похож на змею. Второй ощупал ногу и заметил, что слон похож на дерево. Третий, обследовав хвост, решил, что слон похож на палку. Наконец, четвёртый, пройдясь рукой по боку слона, заключил, что слон похож на стену. Самое любопытное заключается в том, что каждый из них был по-своему прав.

Снова обратимся к Н. Бору, написавшему, что «...мы должны быть готовы к тому, что всестороннее освещение одного и того же предмета может потребовать различных точек зрения, препятствующих однозначному описанию. Строго говоря, глубокий анализ любого понятия и его непосредственное применение взаимно исключают друг друга».⁴

Прямым результатом действия открытого Н. Бором принципа дополнительности является наличие элемента субъективности при получении окончательного вывода даже в так называемых точных науках: в физике, например, при определении численных характеристик тех или иных сложных моделей молекул.

Этот элемент заметно нарастает при переходе к наукам, которые принято относить к неточным: например, медицине, гуманитарным наукам. В своих лекциях известный филолог А. Сыркин указал, что опыт показывает, что один и тот же материал эмпирического наблюдения ...доставляет обычно широкое поле для самых различных толкований в зависимости от установки исследователя. Применив здесь аналогию из области естественных наук, можно сказать, что то «возмущение» прибором исследуемого объекта, которое установлено применительно к условиям физического эксперимента, действует и в данной области (гуманитарной), проявляясь, в частности, в сознательном или бессознательном отборе исследователем отдельных элементов и атрибутов объекта. Более того, объект изучения, в свою очередь, воздействует на «прибор», определяя его установку.

¹ Бор Н. Избранные научные труды. М. Наука, 1971, т.2.

² Мигдал А.Б. УФН, 1985, т.147, стр.334.

³ Бор Н. Избранные научные труды. М. Наука, 1971, т.2.

⁴ Там же.

Вряд ли имеет смысл говорить о принципиальной преодолённости этого двустороннего «возмущения» - целесообразнее допустить определенную взаимодополняемость отдельных описаний.

Сходное высказывание содержится в трудах известного исследователя древней русской литературы Д. Лихачёва «Формальная структура высказывания может быть различной в зависимости от того, с какой точки зрения мы к ней подходим. Ибо как только мы начинаем объяснять, наблюдатель литературовед неизбежно вторгается в литературу и упрощает её согласно своим научным установкам. Произведение неотделимо от читателя».¹

Отметим, что прямым следствием этого принципа является нарастание нечеткости и элементов субъективизма при формулировке правил, законов и методических приемов в ряду наук – математике, физике, химии, биологии, медицине, психологии, истории, философии и др. Бросается в глаза, однако, что одновременно в том же ряду нарастает и сложность самого объекта изучения – от простейших явлений к человеку и далее – к обществу.

Различие в доле субъективизма между так называемыми точными и другими науками заключается лишь в количестве, а не в самом факте субъективности любого научного знания: все оно объект – субъектно.

Из этого следует, что, поскольку любой научный прогноз подразумевает логический вывод на основании исходных посылок, то, хотя само построение вывода опирается на правила формальной логики и в этом смысле не содержит никакого субъективизма, к полученному результату в сложном случае все равно надо относиться критически, принимая во внимание неизбежную субъективную «размазанность» всякой теории.

Это хорошо видно, например, в медицине, где, несмотря на все возрастающее число используемых при диагностике приборов и анализов, никак не уменьшается роль интуиции врача и способности его скорректировать более или менее стандартные назначения с учётом индивидуальности пациента. Такое состояние медицинской науки определяется не тем, что медики глупее физиков, а тем, что первые имеют дело с объектами несравнимо более сложными, чем физические. Никаких оснований думать, что в будущем что-то изменится – нет, хотя мощь медицины и будет нарастать.

Подведем некоторый предварительный итог.

Любая претендующая на прогноз область науки должна иметь дело только с повторяющимися явлениями или, в крайнем случае, с развивающимися по относительно простым и неизменным законам. Построение строгих правил или формулировка объективных законов возможна только для этапа развития системы от бифуркации до бифуркации. При формулировке законов и получении выводов на основе правил анализа сложных явлений неизбежен определенный элемент субъективности.

Методологические уроки физики.

Этот параграф имеет целью продемонстрировать, как некоторые принципы, первоначально сформулированные в физике в процессе ее исторического развития, в дальнейшем распространялись на совершенно другие области, вплоть до истории и психологии, позволяя и в этих областях науки и человеческого знания понять некоторые фундаментальные закономерности. Разумеется, число таких примеров столь велико, что даже их краткое изложение потребовало бы специального монографического исследования. Мы ограничимся лишь несколькими примерами, но затрагиваемыми чрезвычайно важные проблемы. Начнем с уже упоминавшегося выше принципа дополнительности.

1. Принцип дополнительности.

Понятие «дополнительность» было введено Н. Бором в 1928 г. в период становления квантовой механики и интенсивных экспериментальных исследований микромира (атомов, молекул и т.д.).

Основоположник этого принципа, отправляясь от решения чисто физических проблем,

¹ Лихачёв Д.С. Очерки по философии художественного творчества. Изд. 2, БЛИЦ, С.-П., 1999.

сразу же понял общность этого принципа и уже в одной из своих первых работ смело перекинул мост от физики к психологии и вообще ко всей теории познания. Именно поэтому принцип дополнительности следует считать одним из важнейших достижений науки. Его знание необходимо для понимания очень многих фундаментальных проблем философии и явлений окружающего нас мира.

Начнем с простейших рассуждений. Уже при исследовании равномерного прямолинейного движения материальной точки обнаруживается, что полное представление об этом движении можно получить только в том случае, когда даны ответы на два вопроса: где в данный момент находится точка и с какой скоростью она движется?

Ответы на эти вопросы в общем случае и прогноз движения точки возможны, если задать уравнение ее движения. Для этого должны быть известны масса точки и действующие на нее во время эксперимента силы. Однако и таких сведений недостаточно: чтобы прогноз был вполне определенным, надо еще указать, где было расположено тело в начальный момент и с какой скоростью оно двигалось. Мы опять сталкиваемся с той же парой величин: координатой (ее задание дает ответ на вопрос, где находилась точка в начальный момент времени, с которого мы следим за движением) и скоростью.

В классической механике, наряду со скоростью, вводится, как известно, понятие импульса. Оказывается, что введение этой величины не сводится просто к перезаписи основных уравнений. На языке импульсов можно описать, например, взаимодействие материальной точки и поля и говорить о передаче телом импульса полю и, наоборот, импульса поля телу. Это нельзя сделать на языке сил, так как, если можно приложить силу к телу, то «приложить» ее к полю никак нельзя. Введение импульса позволяет обобщить понятие силы и называть силой скорость изменения импульса тела. Кроме того, наиболее общие пригодные для характеристики любых механических объектов уравнения движения, предложенные Лагранжем и Гамильтоном, записываются на языке координат и импульсов и их изменений во времени. Например, пара взаимосвязанных уравнений Гамильтона имеет следующий вид:

$$\frac{dq_i}{dt} = \frac{\partial H}{\partial p_i} \quad \text{и} \quad \frac{dp_i}{dt} = -\frac{\partial H}{\partial q_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n).$$

Здесь n — число степеней свободы системы (число независимых координат q_i), q_i и p_i — произвольные координаты и соответствующие им так называемые сопряженные импульсы, $H = T_{\text{кин}} + U_{\text{пот}}$ — функция Гамильтона (или гамильтониан), являющаяся суммой кинетической и потенциальной энергий системы. При этом координаты и импульсы, хотя и согласованные между собой, рассматриваются как независимые переменные. Координаты и импульсы встречаются в уравнениях движения и начальных условиях парами, что позволяет называть их каноническими переменными, полностью описывающими изменение состояния системы во времени.

Мы не будем далее углубляться собственно в механику. Для нас сейчас важно усвоить только одно: описание даже простейшей механической системы (материальной точки, движущейся вдоль одной выделенной оси координат в заданном потенциальном поле, например, в так называемой потенциальной яме определенной формы) требует для своей полноты двух величин, двух составляющих. Обойтись только одной из этих составляющих никак нельзя, поскольку они как бы дополняют друг друга.

Конечно, можно возразить, что если материальная точка в начальный момент находилась в минимуме потенциальной ямы и не двигалась, то она и дальше будет находиться в состоянии покоя, и в этом смысле для полной характеристики ее поведения достаточно знать координату. Однако не следует забывать, что надо указать, что начальная скорость была равна нулю. Кроме того, это все же крайний частный случай.

Это правило парности сохраняется и при переходе к квантовой механике, к описанию движения микрочастиц. Однако, появляется и существенное различие с классикой. Эксперименты по прохождению, например, потоков электронов через экраны с узкими щелями (реально через тонкую металлическую фольгу или кристаллы) показали, что наблюдается дифракционная картина, подобная случаю прохождения электромагнитных волн через соответствующие экраны. Далее, исследования

спектров атомов и молекул указали на существование вполне определенных дискретных энергетических состояний этих объектов, переходы между которыми и приводят к излучению или поглощению электромагнитных волн подходящих длин. Эти новые особенности поведения микрочастиц потребовали для их описания создания новой механики, которая получила название волновой. Классические уравнения движения были заменены в квантовой механике уравнением Шредингера.

Не вдаваясь опять-таки в детали, напомним, что уже решение простейшей задачи о частице в потенциальном ящике с бесконечно высокими стенками (имитация частицы, находящейся в локализованной области пространства, например, электрона в атоме водорода) приводит не только к заключению о том, что энергия такой частицы должна принимать ряд дискретных значений, но и к тому, что она не может обладать нулевой энергией, т. е. покоиться. Значит, необходимость использования пары канонических переменных проявляется во всех возможных случаях. Но и это еще не самое главное. Как в классике, так и в квантовой механике большую роль играют так называемые перестановочные соотношения, т. е., например, комбинации такого рода:

$$x \frac{\partial \varphi}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} x \varphi.$$

Если теперь воспользоваться так называемой операторной символикой, то от написанного выше выражения можно перейти к следующему:

$$\left(x \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} x \right) \varphi, \text{ или } x \frac{\partial}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} x.$$

Последнее выражение включает уже не функции, а операторы, т. е. символы математического действия. Теперь вспомним, что в квантовой механике каждой классической величине сопоставлен вполне определенный оператор. При этом в качестве оператора координаты принимается сама координата, т. е. ничего не меняется по сравнению с классикой, но классический импульс p заменяется оператором

$$-i\hbar \frac{\partial}{\partial x} = p_x$$

(если ограничиться только x -компонентой, \hbar – постоянная Планка). Теперь операторное выражение

$$-i\hbar x \frac{\partial}{\partial x} - i\hbar \frac{\partial}{\partial x} x \quad (\text{здесь } i\text{—мнимая единица})$$

можно записать следующим образом:

$$x \hat{p}_x - \hat{p}_x x.$$

Такое выражение называется коммутатором. В квантовой теории строго доказывается, что если коммутатор пары операторов равен нулю, т.е. действие пары операторов на некоторую функцию не зависит от порядка их следования, то соответствующие физические величины могут быть измерены одновременно, причем точность измерения одной величины не зависит от точности измерения другой. Если коммутатор не равен нулю, то такие физические величины одновременно измерить с высокой точностью одним прибором в принципе нельзя. Если мы все же захотим прецизионно измерить такие величины, то надо проводить измерения разными способами. При этом в любом случае увеличение точности измерения одной величины приводит к падению точности измерения другой, и наоборот.

Для коммутатора операторов координаты и импульса имеем, как не трудно убедиться с помощью простых выкладок, следующее:

$$x p_x - p_x x = -i\hbar$$

Таким образом, коммутатор не равен нулю. Значит, одновременные измерения с достаточно высокой точностью импульса и координаты микрочастицы в принципе невозможны.

Это и позволяет сформулировать принцип дополнительности в следующей достаточно общей форме (формулировка принадлежит известному физика Д. Бому): в области квантовых явлений наиболее общие физические свойства какой-либо системы должны быть выражены с помощью дополняющих друг друга пар независимых переменных, каждая из которых может быть лучше определена только за счет соответствующего уменьшения степени определенности

другой. Как указывалось, операторы, отвечающие такой паре величин, должны иметь не равный нулю коммутатор.

Принцип дополнительности не ограничивается только этими моментами. Например, волновые и корпускулярные проявления в поведении микрочастиц также являются взаимодополняющими и отражают реально существующий дуализм микромира. К паре взаимодополняющих понятий надо отнести непрерывность и дискретность и т. д.

А теперь приведем слова Н. Бора, который увидел в приведенных выше чисто физических примерах лишь частный случай чрезвычайно общего правила и написал в одной из своих первых работ по квантовой теории: «...пытаясь анализировать наши переживания, мы перестаем их испытывать. В этом смысле мы обнаруживаем, что между психологическими опытами, для описания которых адекватно употреблять такие слова, как «мысли» и «чувства», существует соотношение дополнительности подобно тому, какое существует между данными о поведении атомов...»¹ Продолжая эту мысль, Н. Бор отметил, что особенности измерений в атомной механике представляют «близкую аналогию со своеобразными трудностями психологического анализа, проистекающими из того факта, что духовное содержание неизбежно меняется, если внимание сосредотачивается на какой-нибудь его определенной стороне».²

Процитируем теперь А. Пушкина, который о принципе дополнительности не знал, но приведенные выше соображения Н. Бора задолго до него изложил в прекрасной форме (см. «Сцена из Фауста»):

Фауст

Я счастлив был...

Мефистофель

Творец небесный!
Ты бредишь, Фауст, наяву!

.....

Когда красавица твоя
Была в восторге, в упоенье,
Ты беспокойною душой
Уж погружался в размышленье
(А доказали мы с тобой,
Что размышленье – скуки семя).
И знаешь ли, философ мой,
Что думал ты в такое время,
Когда не думает никто?

.....

Ты думал: агнец мой послушный! Как жадно я
тебя желал!

.....

Что ж грудь моя теперь полна

Тоской и скукой ненавистой?..

.....

¹ Бор Н. Атомная физика и человеческое познание. М. ИЛ., 1961.

Потом из этого всего
Одно ты вывел заключенье...

Фауст

Сокройся, адское творенье! Беги от
взора моего!

Чувство безрассудно. Анализ убивает чувство!

Вспомним слова, вложенные также А. Пушкиным в уста Сальери: «Звуки умертвив, музыку я разъял, как труп. Поверил я алгеброй гармонию». Чтобы изучить такое явление, как музыка, нужно, с одной стороны, уметь эстетически воспринимать музыку как целое, а с другой, знать законы построения мелодии. Слишком большое увлечение анализом, т. е. одной стороной познания объекта, приводит вообще к потере удовольствия от слушания музыки, от которой остается лишь труп!

Приведем также высказывание П. Чаадаев об истории: «Есть историческая правда факта, есть историческая правда смысла: в истории есть анализ, но есть там и синтез... Без всякого сомнения, наиболее истинным является не то, что она повествует, а то, что она мыслит... В этом смысле поэтические представления могут быть ближе к истине, чем самый добросовестный рассказ...»¹

Другими словами, архивная полка не есть еще «История государства Российского». Надо, однако, иметь в виду, что и «Три мушкетера» не есть история Франции.

Таким образом, сформулированный в физике принцип дополнительности является лишь частным случаем весьма общей закономерности, имеющей, как мы увидим ниже, множество весьма важных следствий. Физика здесь сыграла роль катализатора, позволив на относительно простом примере обнаружить нечто гораздо более важное. Мы еще вернемся к вопросам о дополнительности и обсуждению следствий, а сейчас обратимся к еще одному принципиальному моменту.

Как известно, в основе физики лежат измерения. Не только измерение, но и любое наблюдение подразумевает, прежде всего, что имеется объект наблюдения и субъект (или наблюдаемое и наблюдатель). В свою очередь, производство измерения возможно только тогда, когда имеется какое-то взаимодействие между наблюдателем и объектом. Это взаимодействие в физике чаще всего происходит через посредника – прибор, измерительное устройство, экспериментальную установку. Естественно, сразу же может возникнуть вопрос: если исследование подразумевает взаимодействие субъекта и объекта, не будет ли такое взаимодействие отражаться на свойствах как того, так и другого?

Исторический опыт астрономии и классической физики не заставил физиков долго задумываться над этой проблемой. Раньше, в классической физике молчаливо предполагалось, что если и есть какие-нибудь воздействия прибора на объект, то они, как правило, столь малы, что ими можно пренебречь. Например, хотя ясно, что подключение вольтметра параллельно исследуемому участку электрической цепи должно изменить силу тока на этом участке по сравнению с тем током, который шел бы в отсутствие вольтметра, однако, выбирая вольтметр со столь большим внутренним сопротивлением, что его можно считать заведомо во много раз превосходящим сопротивление участка цепи, можно сделать такие изменения пренебрежимо малыми. Науке, правда, были известны во множестве и такие измерения, когда их влияния на объект были столь большими, что уничтожался сам объект. Речь идет о химии, где проведение химического анализа вещества сплошь и рядом приводит к разрушению самого исследуемого вещества. Тем не менее, обсуждаемая проблема до поры до времени не привлекала к себе особенного внимания. Считалось, что эксперимент всегда можно поставить так, чтобы он не искажал изучаемого явления.

Положение принципиальным образом изменилось, когда начались исследования микромира и становление квантовой теории и ее математического аппарата. Чтобы

¹ Чаадаев П.Я. Полное собрание сочинений и избранные письма. М. Наука, 1991, т.1.

разобраться в сути дела, обратимся к наглядному примеру. Представим себе, что мы проводим измерение координат и скоростей движения в разных точках траектории некоторого физического тела, которое можно рассматривать как материальную точку. Измерения будем производить с помощью подсветки этого тела двумя узкими лучами света (например, от двух лазеров), расположенных на заданном расстоянии друг от друга. Движение происходит в одной плоскости ХУ.

Если оба лазера одновременно освещают объект, то внешний наблюдатель, измеряя для данного момента времени значения углов α и β между направлениями лучей и осью Х и зная расстояние $l = x_2 - x_1$ между лазерами, всегда может найти, пользуясь тригонометрическими правилами, координату точки пересечения лучей, т. е. объекта.

Если произвести с помощью того же самого прибора повторный замер координаты тела через малый промежуток времени, то можно найти и среднюю скорость в исследуемой области траектории.

Хотя известно, что свет оказывает давление на облучаемые тела, однако в тех случаях, когда масса материальной точки достаточно велика, а сила света лазеров не так уж значительна, при подобных измерениях вполне можно считать, что прибор на объект не оказывает никакого воздействия. Именно так чаще всего и бывает в классической физике.

Ситуация, однако, принципиально изменится, если масса тела станет очень малой. Тогда уже давлением света никак нельзя будет пренебречь. Более того, это давление может стать очень значительным, если одновременно уменьшать размеры тела и проводить все более и более острую фокусировку лучей на объект. Такая фокусировка потребует уменьшения длины волны света (из-за влияния дифракции), что с неизбежностью приведет к росту значений импульсов квантов света, отвечающих этой волне, и росту светового давления. В конце концов свет, если так можно сказать, «столкнет объект с траектории». Хотя по-прежнему однократное определение координаты точки остается возможным, но уже повторное измерение с целью определения скорости движения теряет всякий смысл, так как само это движение после первого измерения может радикально измениться по сравнению с невозмущенным. Чтобы найти эту характеристику движения с высокой степенью точности, надо видоизменить эксперимент, выбрать другой прибор. При этом окажется, что мы потеряем способность точно измерить координату.

Предположим теперь, что мы изучаем свойства атомов, наблюдая поглощение света слоем вещества, состоящего из этих атомов. Согласно второму постулату Бора при взаимодействии света с веществом каждый атом может захватить квант света с определенной энергией (частотой). Недостаток соответствующих квантов в прошедшем через слой вещества луче света будет восприниматься как поглощение волн определенных длин.

Атом при поглощении кванта света не остается неизменным, а переходит в возбужденное состояние. Хотя он в этом состоянии долгое время не остается и вновь переходит в основное с наименьшей энергией так, что в целом при обычных экспериментах каких-либо изменений в слое газа на макроуровне не замечается, однако на микроуровне воздействие прибора на объект существует. И на макроуровне такое воздействие вполне может стать существенным, если использовать столь интенсивные пучки света (сейчас это реально возможно), что встреча атома со вторым квантом может произойти до того, как он успеет излучить первоначально поглощенный. Это наблюдается при исследовании так называемых нелинейных явлений при прохождении света через вещество, когда само вещество меняет свои свойства под действием света.

Поскольку весь мир состоит из атомов и молекул, то любые особенности микромира не могут тем или иным способом не проявляться в макроэкспериментах. В этом и заключается причина того, что идея дополненности, первоначально сформулированная в физике применительно к микромиру, оказывается столь плодотворной и в других областях знания. Совершенно прав был Н. Бор, когда писал, что дополненность связана с «разграничением объекта и средств наблюдения, свойственным самой идее наблюдения». При этом очень часто попытка более детального изучения одной стороны объекта приводит к потере определенности другой.

2. Природа и модели.

Согласно первому постулату Бора, состоящая из электронов и ядер нераспадающаяся микросистема (атом, молекула), может находиться лишь в определенных дискретных энергетических состояниях. Они характеризуются уровнями энергии. Согласно же второму постулату, свободная (не находящаяся в контакте с другой) микросистема может изменить свое энергетическое состояние (перейти с одного уровня энергии на другой) только за счет либо поглощения, либо излучения электромагнитной энергии. И то и другое можно обнаружить, если наблюдать соответственно спектры поглощения или излучения. Таким образом, с помощью атомной и молекулярной спектроскопии удастся исследовать самые общие и фундаментальные свойства микросистем, так как в спектрах, регистрируемых в различных областях при разных условиях постановки экспериментов, проявляются все особенности строения атомов и молекул.

Именно поэтому пример спектральных исследований является не только очень удобным, но и весьма общим для того, чтобы можно было сделать ряд далеко идущих выводов.

Представим себе, что такое исследование ведется с помощью компьютеров (как реально сейчас и делают).

В случае создания компьютерных систем для исследования молекул возникает, на первый взгляд, наивный вопрос: что такое молекула и что значит ее исследовать? Надо дать точные определения этих понятий, причем такие, какие могли бы быть совершенно однозначно переведены на математический язык. Ведь компьютер, в принципе, способен оперировать лишь понятиями, которые, как писали еще древние философы, описываются «числом и мерою». Недостаточно ввести в компьютер просто утверждение: «чай горячий». Надо указать, что его температура такая-то или выше такой-то. Казалось бы, с молекулами проблем не должно возникнуть: каждому школьнику известно, что молекулой называется достаточно устойчивая электрически нейтральная мельчайшая частица вещества – носительница его свойств, состоящая из атомных ядер с данными зарядами и массами и соответствующего числа электронов. Вторая часть этого определения легко переводится на компьютерный язык. В самом деле, в компьютер можно ввести группу цифр: 12,12,12,12,12,12,1,1,1,1,1,1. Каждая цифра означает массу (в атомных единицах) одного из ядер. Догадливый читатель сразу же воскликнет: все ясно, речь идет о молекуле бензола. Но только ли? Уже давно было подсчитано, что брутто-формуле C_6H_6 могут отвечать 217 так называемых структурных изомеров. Некоторые уже обнаружены. Так что однозначности, как видим, не получается. И это в простом случае C_6H_6 , а если взять, например, тридцатиатомную систему? Здесь уже число изомеров может исчисляться десятками тысяч. Вполне можно считать, что ясность теряется полностью! Да и вообще на таком языке нельзя обсуждать столь сложный объект, как молекулы, особенно крупные. Химики давно обнаружили, что если знать только атомный состав регистрируемых молекул (брутто-формулы), то прогнозы того, что получится в результате реакций, или того, как поведет себя индивидуальная система в конкретной сложной ситуации, становятся чрезвычайно затруднительными, а то и просто невозможными. Это все равно, что пытаться выразить сложную мысль на иностранном языке, обладая знанием лишь десятка слов. Значит, надо расширять богатство и образность языка. В химии это было достигнуто введением в оборот структурных формул, представлений о молекулах как о пространственных фигурах и т. д. Это означало, в сущности, что были введены в употребление разного рода понятия, которые можно отнести к категории физических моделей. Каждая из них может быть вполне строго и однозначно определена набором чисел. Именно благодаря этому можно выделить из всех изомеров желанный и удовлетворить требованию о том, чтобы объект был носителем свойств вещества. К этим моделям относятся, во-первых, брутто-формулы (в этой модели указываются лишь составляющие молекулу атомы); во-вторых, формулы, в которых указываются не только атомы, но и отдельные структурные элементы (здесь уже надо указать какой атом с каким соединен химической связью); в-третьих, полные структурные формулы, математически описываемые так называемыми матрицами смежности, содержащими всю информацию о связях между атомами; в-четвертых, упругие пространственные модели, в которых допускаются колебания атомов около положения равновесия; в-пятых, модели, в которых атомам – материальным точкам приписываются определенные заряды; и ряд других.

Можно сказать, что понятия, характеризующие те или иные модели, составляют лексику языка, на котором и ведется обсуждение тех объектов, которые мы называем молекулами.

Вот здесь самое время вернуться к принципу дополненности. Помните? Дополненной к истине является ясность. Если под истиной понимать то, что молекула есть устойчивая система, состоящая из электронов и ядер, а это действительно так, то, высказывая эту истину, мы полностью теряем ясность. Чтобы получить эту ясность, надо отойти от истины и оперировать моделями молекул, ни одна из которых истиной не является, а отражает одно из удобных и приближенных представлений об объекте.

Прочитируем Э. Шредингера: «Создавая теории, соответствующие наблюдаемым фактам, мы часто рисуем геометрические рисунки на клочке бумаги или, ещё чаще, в уме.

Но геометрические формы, присутствующие на этих рисунках, невозможно непосредственно наблюдать. Рисунки представляют собой лишь наглядное пособие для ума, инструмент мышления, промежуточное средство, из которых на основании результатов проведенных экспериментов выводятся резонные ожидания результатов новых экспериментов, которые мы планируем поставить.

Для того, чтобы описание могло быть истинным, оно должно быть непосредственно сравнимым с реальными фактами. Что касается наших моделей, дело, обычно, обстоит не так».¹

На пути использования моделей достигается требуемая ясность, но теряется истина в том смысле, что реально существующему объекту – молекуле уже нельзя дать лишь какое-нибудь одно строгое и информативное определение. Снова напомним мысль Н. Бора: «...мы должны быть готовы к тому, что всестороннее освещение одного и того же предмета может потребовать различных точек зрения, препятствующих однозначному описанию. Строго говоря, глубокий анализ любого понятия и его непосредственное применение взаимно исключают друг друга».²

Нельзя, однако, отсюда делать вывод, что самое общее определение молекулы бесполезно: оно как бы связывает все остальные представления, не давая им «рассыпаться». Одно, таким образом, дополняет другое, причем стремление к ясности одновременно приводит к невозможности дать пригодное для компьютерного использования единственное и строгое определение молекуле как материальному объекту.

А теперь перенесемся в область истории. Факты истории есть истина и в этом смысле можно сказать, что полка с архивными папками есть концентрат этой истины. Но ведь собрание архивных документов не есть «История государства Российского»! Чтобы достичь ясности, надо эти архивы обработать и дополнить живой человеческой мыслью. Стало быть, чтобы создать целостное представление об истории, надо опять-таки удовлетворить двум условиям: с одной стороны, опереться на факты, а с другой, группируя, осмысливая их, прослеживая взаимосвязь, попытаться достичь ясности. При этом чрезмерное увлечение чисто фактической стороной дела с неизбежностью «засушит» любой труд по истории и сделает его малопонятным, а полет фантазии при обработке фактов может привести к историческому роману.

Вернемся к молекулам. Выше было сказано, что для работы с компьютером надо дать ответ на два вопроса: что такое молекула и что значит ее исследовать? Оказалось, что ответ на первый вопрос достаточно неопределен, но, как ни странно, это не мешает вполне точно ответить на второй. Ответ будет следующим: исследовать молекулу – это значит построить на количественном уровне совокупность ее моделей разного уровня иерархии; полнота исследований характеризуется степенью сложности и информативности моделей, параметры которых и подлежат определению в результате подходящих экспериментов и последующей обработки результатов измерений. Вот на таком языке уже можно объясняться с компьютером, и он все поймет.

Итак, со строгой математической (логической) точки зрения, единственно понятной компьютеру, исследовать молекулу – это значит найти численные значения параметров, характеризующих ту или иную модель. Но ведь вообще не существует методов непосредственного измерения, например, длин связей или зарядов на атомах молекулы. Можно измерить спектры молекул, наблюдать дифракционную картину при рассеянии электронов на молекулах и т. д. Другими словами, информацию о численных значениях параметров молекулярных моделей приходится получать только на основании не прямых (как измерение стола линейкой, например), а косвенных наблюдений. Это, в свою очередь, возможно только

¹ Шредингер Э. Наука и гуманизм. РХД, М., Ижевск, 2001

² Бор Н. Избранные научные труды. М. Наука, 1971, т. 2.

тогда, когда установлена физическая связь между моделью и ее проявлением (отображением) на множестве тех величин, которые уже поддаются непосредственному измерению. Если обратиться к спектральному анализу молекул, то это означает, что должна быть установлена связь между, например, значением упругости валентного угла и положением частот полос поглощения в инфракрасном спектре.

Реальное положение дел таково, что при исследовании молекул приходится иметь дело с очень сложными соотношениями между параметрами и измеряемыми величинами, требующими при построении соответствующих отображений проведения громоздких вычислений. Вот здесь компьютеры оказываются незаменимыми помощниками.

Варьируя значения параметров модели, можно сблизить, например, ее спектральное отображение с экспериментом и, тем самым, найти величины искомых параметров. Вот на этом пути и подстерегает нас скрытый, но очень опасный подводный камень. Чтобы понять, в чем опасность, представим себе, что мы выбрали модель молекулы, в которой все ядра атомов находятся в определенных фиксированных положениях. Выберем эти положения такими, какие получаются в результате эксперимента по дифракции электронов на молекулах. Решим теперь с любой степенью строгости математическую задачу о движении всех электронов молекулы в поле неподвижных положительно заряженных ядер. В результате мы получим значения электронных уровней энергии и, при желании, вероятностей переходов между ними, т. е. теоретический электронный спектр (он обычно наблюдается в видимой и ультрафиолетовой областях), который можно сопоставить с экспериментом. Совпадут ли такие два спектра? Заведомо можно сказать, что нет. Конкретные расчеты это подтверждают. Дело не в том, что мы плохо решили задачу, а в том, что в реальной молекуле ядра атомов тоже движутся (колеблются около положений равновесия), а в модели мы такое движение отбросили. Поскольку же любая из типичных моделей молекулы не является истинной, а отражает лишь какую-то одну сторону объекта (вроде мнения слепых о слоне), то понятно, что ни одно из получаемых отображений абсолютно с экспериментом совпадать не может.

Все ясно, скажет читатель. Вот мы и возвращаемся на круги своя. Надо брать быка за рога и решать (хотя это и очень трудно) просто задачу о движениях связанных в общую молекулярную систему электронов и ядер. Если мы все взаимодействия учтем правильно, то теоретическая спектральная картина должна абсолютно совпадать с экспериментальной. Это лишь на данном этапе нужны модели, потому что теория недоразвита и компьютеры слабые, а в будущем.. Не торопись, читатель! Если и проделать такую работу, то сопоставить теоретический спектр с реальным экспериментом будет просто практически невозможно по той простой причине, что теоретический спектр отразит всю гамму возможных структурных изомеров (причем их спектры наверняка во многих областях наложатся друг на друга), а в эксперименте мы всегда имеем дело с одним либо очень небольшим числом изомеров. Значит, в соответствующем теоретическом построении надо с самого начала ввести ограничения на возможные движения ядер, чтобы, например, бензол остался бензолом, а не превратился в призмат. В этом случае, однако, соответствующая модель уже не будет отвечать истине. Снова в погоне за усилением одного качества мы безнадежно теряем другое. Никуда не денешься и никакие теоретические ухищрения и суперкомпьютеры не спасут! Как нельзя бесконечно увеличивать точность определения положения микрообъекта, не потеряв полностью информацию о его импульсе, так и необходимы модели молекул для достижения ясности. Нечего стремиться к абсолютной истине. Ничего хорошего все равно не получится. С этим надо мириться и все тут!

Итак, мы приходим к важным выводам:

- 1) математически строгое спектральное отображение точной модели многоатомной молекулы, отвечающее определению этого объекта как стабильной системы из ядер и электронов, невозможно сопоставить с экспериментом;
- 2) спектральные отображения любых вводимых для достижения ясности моделей молекул могут оказаться лишь в той или иной мере близкими к эксперименту, но никогда не совпадут с ним полностью.

При любой попытке построить пригодные для практических целей модельные представления исследователь неизбежно оказывается в ситуации своеобразной неопределенности. Выход, особенно в сложных случаях, требует большой

смелости и уверенности в том, что подход, строго не обоснованный, тем не менее окажется работоспособным. Показательно в этом смысле замечание известного специалиста в области квантовой химии М. Дьюара о другом создателе этой области науки: «Попл «решил» проблему трёх- и четырёхцентровых интегралов в методе Рутана, оптимистически предложив, что ими можно просто пренебречь».

Теперь самое время поговорить о том, а зачем вообще нужна ясность и что под этим термином на самом деле скрывается. Ведь одного приближенного представления о том, что для понимания некоторых свойств молекулы как системы удобно представить ее в форме жесткой пространственной фигуры, еще совершенно недостаточно для того, чтобы эта модель была пригодной для науки. Ведь цель науки заключается не только в достижении понимания чего бы то ни было, но, и это главное, чтобы такое понимание приводило к возможности прогноза. То, что лунные затмения вызываются тенью Земли, знали египетские жрецы еще в глубокой древности. Стало быть, ясность была. А вот умения предсказать это явление с точностью до минут, насколько мне известно, не было. Это уже достижение более позднего времени.

Так и при изучении мира молекул. Не сама по себе жесткая пространственная модель молекулы столь уж важна, а то, что дополнительно установлено, что ее отдельные части сохраняются при переносе небольших групп атомов из молекулы в молекулу. А вот это уже дает способ быстро предсказывать пространственную структуру новой молекулы, если известны свойства отдельных ее «кирпичиков» и правила их сложения.

Соображения подобного сорта приводят к новому принципиальному требованию к любым молекулярным моделям: их параметры должны обладать так называемым свойством переносимости, т. е. быть локальными и слабо изменяться в ряду молекул, содержащих повторяющиеся атомные группировки.

К счастью, в процессе эволюции химического знания были отобраны такие модели молекул, которые, обладая, с одной стороны, наглядностью, что и создает ясность, с другой стороны, включают параметры, знание которых позволяет осуществить прогноз свойств новых соединений и, строя соответствующие спектральные отображения, идентифицировать эти соединения и исследовать их весьма подробно.

Стало быть, возникает новая глобальная проблема: как определить значения параметров моделей молекул, опираясь, как уже отмечалось, на косвенные эксперименты.

Чтобы дать читателю немного отдохнуть от сложных рассуждений, напомним историю о Ходже Насреддине.

Однажды Ходжа Насреддин исполнял обязанности судьи. К нему обратились два человека с просьбой рассудить их. Сначала истец изложил свою версию происшедшего. Ходжа его выслушал и сказал, что он безусловно прав. Тогда выступил ответчик. Ходжа и его выслушал очень внимательно, а потом заявил, что ответчик, разумеется, прав! Тогда один из посторонних слушателей, пораженный таким странным судом, обратился к Ходже и сказал: «Как же так, Ходжа, не может же быть, чтобы люди, утверждающие прямо противоположное, оба оказались правыми!» Ходжа и его спокойно выслушал и потом промолвил: «А ты тоже прав!»

3. Обратные задачи

При решении задач определения параметров модели по косвенным экспериментам мы встречаемся с еще одним весьма общим положением и попадаем в ситуацию Ходжи Насреддина, одновременно ставя под сомнение безусловную выполнимость главного принципа и гордости науки, а именно принципа воспроизводимости как основы доказательности. Этот научный принцип был четко в свое время сформулирован О. Писаржевским: «Каждый может воспроизвести описанный в любой научной работе результат, и тот должен подтвердиться».

Класс математических задач, при решении которых восстанавливаются параметры моделей на основании косвенных измерений, получил название *обратных задач*.

Ввиду крайней важности понятия об обратных задачах не только в современной физике, но и во всей теории познания окружающего нас мира вообще, остановимся на

некоторых принципиальных вопросах решения этих задач подробнее.

Рассмотрим вначале предельно простой случай. Пусть некоторая измеряемая величина y связана с другой измеряемой величиной x соотношением $y = a + bx$, где a и b – подлежащие определению параметры модели явления. Пусть, далее, мы произвели ряд измерений величины y при заданных значениях x . Это даст совокупность пар чисел x_1 и y_1 , x_2 и y_2 , x_3 и y_3 , и т.д. Зная эти пары чисел, составим уравнения:

$$y_1 = a + bx_1,$$

$$y_2 = a + bx_2,$$

$$y_3 = a + bx_3.$$

Сразу бросается в глаза, что параметры a и b можно определить, если выбрать любую пару уравнений:

$$\begin{cases} y_1 = a + bx_1 \\ y_2 = a + bx_2 \end{cases}, \quad \begin{cases} y_1 = a + bx_1 \\ y_3 = a + bx_3 \end{cases}, \quad \begin{cases} y_2 = a + bx_2 \\ y_3 = a + bx_3 \end{cases}.$$

Все решения этих уравнений были бы совершенно одинаковыми, если бы, во-первых, модель явления, устанавливающая связь между величинами x_k и y_k была бы абсолютно точной, а, во-вторых, если бы абсолютно точными были бы сами измерения характеристик x и y . На самом деле эти два условия практически никогда не выполняются. Любая модель потому и называется моделью, что в ней чем-то пренебрегают сознательно или бессознательно (просто потому, что не все влияющие факторы известны) по сравнению с реальным положением дел. Например, при анализе результатов механических экспериментов, производимых на лабораторном столе, почти всегда не учитывается вращение Земли вокруг своей оси. Далее, ни одно измерение нельзя сделать без так называемых случайных ошибок. Все это приводит к тому, что при выборе для построения уравнений разных сочетаний пар величин x_k и y_k будут получаться и разные значения искомых параметров a и b . Ни одному из таких частных значений a и b нельзя отдать предпочтение. Для того, чтобы в этих условиях сделать правильный вывод о параметрах a и b , надо учесть все возможные сочетания пар измеряемых характеристик x_k и y_k и найти такие параметры a и b , которые наилучшим образом удовлетворяют всем измеренным величинам x_k и y_k .

Сразу же возникает вопрос: а что значит «наилучшим образом»? Ясно, что в этом требовании уже содержится некоторая условность. В физике в подавляющем числе случаев в качестве такой меры используется введенный Гауссом так называемый *принцип наименьших квадратов*. Согласно этому принципу, наилучшими признаются такие значения параметров a и b , при которых становится минимальной сумма вида

$$F = \sum_k W_k (y_k - y_{k \text{ выч}})^2.$$

Здесь y_k – измеренная характеристика, $y_{k \text{ выч}}$ – та же самая характеристика, но вычисленная при значении x_k и «наилучших» параметрах a и b , W_k – так называемый статистический вес одного измерения, отражающий взгляд экспериментатора на значимость конкретного опыта. Обычно $0 < W_k < 1$. Ясно, что функция F есть функция параметров a и b и будет непрерывно меняться при их изменении. «Наилучшие» значения параметров найдутся с помощью решения системы уравнений $\partial F/\partial a = 0$ и $\partial F/\partial b = 0$ (условия минимума функции F).

Критерий наименьших квадратов вполне обоснован, если, во-первых, возможные погрешности при измерениях x_k и y_k подчиняются так называемому нормальному закону распределения случайной величины, а, во-вторых, если число измерений очень велико и значительно превосходит число определяемых параметров модели. Нередко, однако, ни то, ни другое не выполняется на практике. В частности, бывает так, что просто невозможно проделать очень большое число экспериментов при разных значениях x_k . При таких условиях два разных исследователя, повторяя в разных местах и в разное время эксперименты друг друга, обязательно при обработке результатов измерений придут к несколько различающимся значениям параметров a и b . Это различие может еще усилиться,

если каждый из них назначит и разные статистические веса W_k . Таким образом, в окончательном результате появится известная доля субъективизма.

Выше мы отметили, что критерием «наилучшего» является величина

$$F = \sum_k W_k (y_k - y_{k \text{ выч}})^2.$$

Однако это не единственная возможность. Можно, хотя это и не так удобно, воспользоваться и функционалом

$$F' = \sum_k W_k |y_k - y_{k \text{ выч}}|,$$

т.е. суммой модулей отклонений $y_{k \text{ выч}}$ от y_k .

Сейчас важно лишь еще раз обратить внимание на то, что для получения, например, теоретических спектров надо базироваться на определенных модельных представлениях и располагать сведениями о желаемых значениях характерных для соответствующих моделей параметров. Хотя все такие параметры и могут быть введены из первых принципов на основе последовательного применения квантово-химических методов, однако оказывается, что конечные результаты не приводят к удовлетворительному с точки зрения спектроскопической практики согласию с экспериментом. Требуется поэтому дополнительная корректировка параметров молекулярных моделей путем сближения вычисленных и экспериментальных кривых. К счастью, обнаруживается, что откорректированные параметры оказываются переносимыми и могут быть использованы для предсказания спектра новых молекул, содержащих элементы ранее изученных. Именно такой подход и приводит к согласию с экспериментом и позволяет интерпретировать спектральные данные.

Задачи корректировки параметров изучаемых моделей путем сближения экспериментальных образов (спектральных кривых, например) и отображений моделей на множестве тех же по смыслу величин (говорят о спектральном отображении параметров моделей на классе измеряемых характеристик) относятся к категории так называемых обратных. Они отличаются рядом принципиальных особенностей по сравнению с прямыми, когда по заданной модели системы вычисляется её спектр. Сейчас мы остановимся лишь на общих моментах.

При решении обратных задач определяются значения параметров молекул (например, геометрия, силовые постоянные или электрооптические параметры), обеспечивающие при соблюдении некоторых дополнительных ограничений наилучшее согласие вычисленных и экспериментальных спектральных характеристик (частот колебаний и интенсивностей соответствующих полос). Если прямые задачи, заключающиеся в определении спектральных характеристик для заданной молекулярной модели, в принципе всегда могут быть решены точно, то обратные спектральные задачи (ОСЗ) относятся к классу математически некорректных задач и принципиально не имеют однозначного точного решения. Это обусловлено рядом факторов, к числу которых относится, в частности, нелинейность связи между параметрами молекулы и ее спектральными проявлениями, превышение числа параметров модели количества экспериментальных данных, погрешности эксперимента и неполное соответствие модели реальному объекту.

Развитые методы прямого расчёта спектров, обеспечивающие получение максимально точного спектрального отображения молекулы при заданном наборе параметров ее модели, являются необходимым условием решения ОСЗ, поскольку оно заключается в итерационном поиске (подгонке) параметров выбранной начальной молекулярной модели, которые бы не только позволяли в рамках используемого приближения наилучшим образом воспроизвести спектральный эксперимент, но и имели бы физически оправданные значения, лежащие в заданной области.

На первых порах для этой цели использовался традиционный метод наименьших квадратов, затем этот же метод с наложением ограничений на возможную вариацию значений искоемых параметров в виде неравенств с жёстко фиксированными пределами. В последние годы для этой цели стали применяться так называемые *методы регуляризации*.

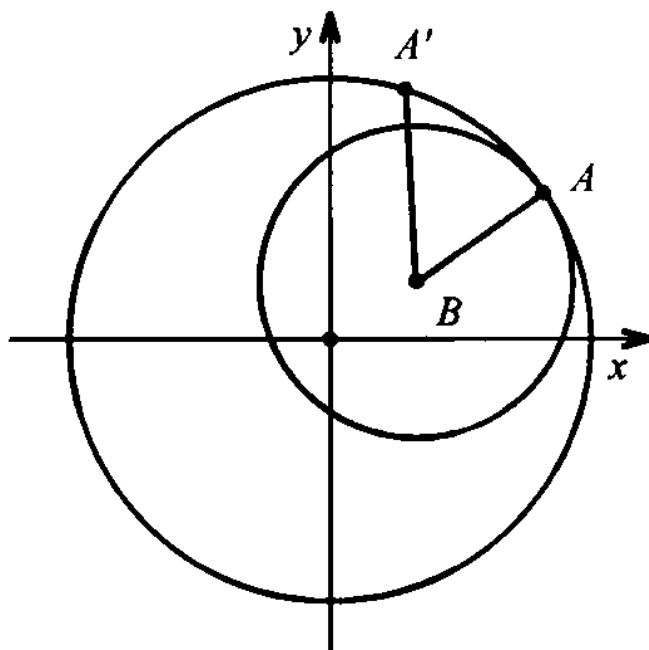
Во всех этих подходах имеются некоторые общие черты, а отличаются они друг от друга приемами подавления расходимости итерационного процесса и способами наложения дополнительных априорных ограничений, локализирующих решение в области физически разумных значений.

Во всех случаях, математически «согласие» вычисленных и экспериментальных характеристик отображается в форме некоторого функционала F , зависящего от соотношения, например, экспериментальных и вычисленных частот колебаний, а требование «лучшего согласия» означает достижение (при вариации параметров от некоторых начальных величин) минимально возможного (при наложенных условиях) значения этого функционала. Дополнительные условия могут быть введены различными способами и также выражаться в форме некоторого функционала (штрафной функции). Совместное «действие» двух этих функционалов учитывается введением третьего функционала (целевой функции).

Покажем на простом примере, как можно, вводя дополнительное условие, получить единственное решение обратной задачи, не имеющей смысла в отсутствии такого условия. Представим себе, что некоторая измеряемая величина C определяется суммой значений квадратов двух подлежащих определению параметров x и y , т.е.

$$x^2 + y^2 = c^2.$$

Это выражение есть уравнение окружности с радиусом c . Любая точка A , лежащая на этой окружности, будет удовлетворять написанному выше уравнению. Следовательно, определенных значений параметров x и y не получим, даже если величина C измеряется многократно. Такое многократное измерение приведет лишь к уточнению значения C , но неоднозначность решения сохраняется. Положение, однако, радикально меняется, если потребовать, чтобы точка A не только лежала на соответствующей окружности, но и наименьшим образом отклонялась от заданной внутри окружности точки B , не совпадающей с центром окружности. Отвечающая этому дополнительному условию точка A будет, как легко видеть на рисунке, лежать на конце радиуса, проведенного из точки B . В самом деле, если провести с центром в точке B новую окружность, так, чтобы она касалась первой окружности, то, очевидно, во-первых, что это можно сделать лишь единственным образом, а во-вторых, что любой отрезок BA' будет больше отрезка BA , так как конец отрезка BA' выходит за пределы окружности с центром в точке B и радиуса BA . Решение становится единственным.



Определение расположения точки (A), лежащей на окружности и наименее удаленной от точки B

Полученный результат является частным случаем общего правила: *нелинейные обратные задачи могут иметь множество решений, и для выделения физически значимого надо с самого начала наложить дополнительные условия, которые дают возможность выделить желаемое.*

Это наложение условий до начала решения задачи отражает исходный взгляд исследователя на свойства окончательного результата и приводит к неизбежному субъективизму при решении очень многих, если не большинства, встречающихся в физике обратных задач. Этим обратные задачи принципиально отличаются от прямых, всегда имеющих единственное решение, при поиске которого субъективный элемент не присутствует вовсе.

Получающиеся при разной постановке обратных задач решения не следует, однако, рассматривать как противоречащие друг другу или несогласующиеся. Их надо воспринимать как взаимодополняющие, устанавливающие известный предел детальности в познании объекта.

Вернемся к конкретным обратным задачам определения численных значений параметров молекулярных моделей: длин связей и величин валентных углов, упругостей связей и т. д. Большинство из них, за исключением простых случаев, решаются по одной и той же схеме. Выбирается некоторое начальное значение параметров, строится соответствующее отображение модели на множестве измеряемых величин и вычисляется (обычно) сумма квадратов отклонений экспериментальных и вычисленных величин (*квадратов невязок*), т. е. величина

$$F = \sum_k (x_{k \text{ экп}} - x_{k \text{ теор}})^2,$$

где x – значения измеряемых характеристик. Затем с помощью вариации параметров итерационным путем производится сближение теоретических характеристик с аналогичными экспериментальными или минимизация F . Уже на первом этапе при этом возникает неопределенность, связанная с выбором сочетаний пар, например, экспериментальных частот максимумов полос (линий) поглощения и вычисленных. Эти пары должен назначить сам исследователь. Запомним это.

Далее, как оказывается, если даже добиться точного обращения в нуль суммы квадратов невязок, т. е. найти некоторое решение обратной задачи, то оно не будет единственным и часто не будет иметь физического смысла, если опять-таки с самого начала

не наложить некоторые условия, выделяющие физически значимое решение из всего множества допустимых. Математически это означает, что надо от минимума величины F перейти к минимизации функции $\Phi = F + \varphi$. Здесь φ – так называемая штрафная функция, ограничивающая возможную вариацию параметров. Не касаясь других подробностей, снова обратим внимание на то, что наложение подобных условий означает фактически известное навязывание исследователем своего представления об объекте еще до того, как этот объект начал изучаться. Отмеченные выше общие соображения, а также накопленный обширный конкретный опыт приводят в результате к важнейшему следствию: **параметры молекулярных моделей находятся лишь с известной долей субъективизма**. В этом смысле можно сказать, что ни одна из молекулярных моделей для конкретной сложной системы не может быть построена полностью объективно. Это означает, что два исследователя, располагая даже одним и тем же экспериментальным материалом и строя молекулярные модели одного и того же типа, почти обязательно, работая независимо, разойдутся в деталях, потому что при постановке обратной задачи и задании штрафной функции φ они будут опираться каждый на свое субъективное представление о том, какими свойствами в конечном счете должен обладать анализируемый объект. Вот здесь независимый судья и может сказать, что, по-своему, оба правы, и тоже будет прав! Принцип воспроизводимости, согласно которому любой научный результат должен абсолютно (с точностью лишь до погрешностей эксперимента) воспроизводиться разными независимыми исследователями и только тогда вывод считается доказанным, оказывается, таким образом, нарушенным. Конечно, возникает вопрос: это недостаток наших знаний и порок подхода или опять какой-то знакомый незнакомец?

Вспомним, каким многоликим оказался принцип дополнительности. Внимательное рассмотрение показывает, что мы снова имеем аналогию с физическим выводом о воздействии прибора на анализируемый объект. Выше уже упоминалось о том, что при исследовании микромира было обнаружено, что любая попытка экспериментально проанализировать состояние микрообъекта приводит к изменению его местоположения (координаты), импульса или энергии. Особенно ярко этот факт своеобразного воздействия исследователя (будь то его мозг или прибор) на объект проявляется в гуманитарных науках. Когда два известных историка – Е. Тарле и А. Манфред – пишут о Наполеоне, то они опираются практически на один и тот же фактический материал. Однако, стремясь к ясности и создавая образ Наполеона, они по-разному, подчиняясь во многом своей внутренней установке, отбирают и группируют факты, навязывая (в хорошем смысле этого слова, конечно) читателю свою концепцию объяснения исторического явления. Не правда ли, в этом есть немало общего с решением обратных задач в теории молекул. Снова мы оказываемся в положении, когда глупо ставить вопрос о том, кто прав: Тарле или Манфред! Оба, по-своему, правы и их взгляды дополняют друг друга.

Жизнь — сложная штука, и, может быть, поэтому Иисус Христос ничего не ответил на вопрос Понтия Пилата: «Что есть истина?» Внимательное рассмотрение показывает, что известная неопределенность в постановке и выводах, привычная для гуманитарных наук, в гораздо меньшей, правда, степени проявляется и в естественных науках, особенно в тех случаях, когда объект описывается множеством признаков или параметров (как в молекулярных моделях, например). Человеческий мозг, особенно если не существует строгих критериев отбора, не может охватить сразу все многообразие признаков и четко ограничить их численные значения, что и приводит, при необходимости решать обратные задачи, к разбросу в их постановке и, стало быть, к субъективизму в окончательном результате. Заметим, что обсуждаемая неоднозначность решения обратных задач имеет, если так можно сказать, не математическую (как раз математически обратные задачи, после того как они сформулированы, т. е. задана минимизируемая функция, как сумма квадратов невязок, начальные значения параметров и штрафная функция, отражающая взгляд исследователя на то, каким образом, должно быть выделено физически значимое решение, решаются вполне однозначно), а «постановочную» причину. Разница между исторической наукой и теорией молекул здесь количественная, но отнюдь не качественная, ибо предел абсолютно объективному познанию устанавливается и там и тут.

Конечно, было бы большой ошибкой преувеличивать элемент субъективизма при решении конкретных задач в естественных науках, в частности в физике, химии и биологии. Тем более нельзя скатываться на позицию, выражаемую словами: «Что хотим, то и получим!» Подавляющее большинство фундаментальных положений и выводов в этих науках является следствиями либо

многократно разными способами поставленных экспериментов, либо применения хорошо обоснованных теорий. Например, структурные формулы молекул устанавливаются, как правило, вполне однозначно с помощью серии соответствующим образом подобранных химических экспериментов или спектральными методами в диапазоне от ультрафиолета до радиоволн. В объективности представлений о молекулах как о некоторых пространственных геометрических структурах убеждают нас не только тщательно разработанная теория, но и прямые эксперименты по дифракции рентгеновских лучей на молекулярных кристаллах. Сам факт получения достаточно четкой дифракционной картины возможен только тогда, когда имеется некоторое подобие устойчивой во времени «дифракционной решетки». Спектры поглощения в инфракрасной области могут появиться только при наличии колебаний атомов около положений равновесия и т.д. Используемые при решении обратных задач априорные сведения об упругостях химических связей черпаются не только из спектральных, но и из чисто химических экспериментов. Например, давно уже были введены в науку понятия об одинарной, двойной и тройной связях между атомами углерода в углеводородах и было выяснено, что они обладают разной прочностью, и т. д.

Таким образом, речь не идет, как правило, о значительном произволе при выборе начальных условий для постановки тех или иных обратных задач и ограничивающих возможные вариации параметров моделей штрафов (обилие самых разнородных сведений, возможность проведения прямых квантовых расчетов, всякого рода аналогии и т.д. резко ограничивают возможности фантазии авторов), а лишь о неизбежной нечеткости в деталях постановки этих задач и в «размазанности» результата.

Можно поэтому говорить о появлении наряду с привычными погрешностями собственно эксперимента или округлениями чисел при расчетах еще одной причины, ограничивающей возможность точного определения параметров тех или иных моделей. Соответствующая погрешность в конкретных случаях может оказаться значительно меньше собственно погрешностей эксперимента. Тогда можно констатировать, что получается вполне объективный результат. Нередко, однако, оказывается (это типично как раз при детальном исследовании молекул спектральными и дифракционными методами), что такая погрешность сравнима или даже превосходит погрешность эксперимента. Тогда, конечно, субъективным фактором пренебрегать нельзя.

В нашу задачу не входит детальный анализ этих важных вопросов, тем более изучение конкретных случаев. Нам сейчас важно только понять и принять во внимание, что субъективный фактор, ограничивающий объективное познание объектов и явлений окружающей среды (сами объекты и явления, конечно, вполне объективны и от нас с вами не зависят), четко проявляется (хотя и в небольшой степени) даже в физике — в одной из точнейших и объективнейших наук.

Таким образом, в этом смысле между естественными и гуманитарными науками нет непроходимой грани: в смысле общих закономерностей формирования их выводов обычное разделение этих наук на две крупные группы отражает не качественную, а количественную сторону. Именно поэтому некоторые самые общие заключения, первоначально сформулированные в естественных науках, оказываются верными и для гуманитарных, и наоборот. То, что, например, принцип дополнительности первоначально был сформулирован в физике, совершенно не означает, что о нем нельзя было догадаться, изучая психологию. Причина здесь в том, что физика как наука об относительно простых явлениях, не сопоставимых, например, с явлениями истории или психологии, позволяет заметить нечто важное и общее на значительно более простых и наглядных примерах. В этом и заключается ее всеобщее значение.

Заключение.

В заключении подведем некоторые итоги из сказанного выше, а также рассмотрим некоторые важные следствия из них.

Итак, в основе науки вообще и физики, в частности, лежат некоторые фундаментальные принципы. Физика прежде всего является экспериментальной наукой и в своем развитии отправляется от так называемых экспериментальных фактов. В свою очередь, в качестве факта, на основе которого в дальнейшем можно строить те или иные теоретические выводы, признается лишь такое утверждение, такой экспериментальный результат, который воспроизведен в ряде независимых

лабораторий и разными людьми. Конечно, не все можно воспроизвести в лаборатории. Например, шаровую молнию пока получить не удалось. Ее, однако, многие реально наблюдали и одинаковым образом описывают. Здесь, в отличие от рассказов об инопланетянах, существенных расхождений в показаниях свидетелей нет.

Важнейшие результаты не только воспроизводятся, но и проверяются по-разному поставленными опытами. Так, например, существовали ранее и существуют сейчас разнообразные способы измерения скорости света. Вошедший в науку под именем Кулона закон взаимодействия двух электрических зарядов приблизительно в одно время был открыт Кулоном на основе экспериментов с крутильными весами и Кавендишем с помощью наблюдения электрического поля на внутренней стороне полого заряженного шара. Слава достается первооткрывателям (точнее тем, кто первым опубликовал результаты), но, разумеется, это не означает, что, если бы кто-нибудь вместо Кулона провел бы такой же эксперимент, то он получил бы что-то иное. В таких случаях говорят, что результат объективен, отражает реальную, не зависящую от нас действительность и в этом смысле от личности собственно ученого не зависит. Если один ученый хочет убедить другого ученого в своей правоте, то он должен представить ему возможность полностью воспроизвести свой эксперимент. Это требование закреплено в правиле научных публикаций: хорошая публикация не только должна давать изложение интересного и нового результата, но и содержать столь подробное описание эксперимента, чтобы другой исследователь понял, как его можно воспроизвести, и смог сделать это. Конечно, при этом подразумевается, что сам ученый не воздействует сознательно на измерительный прибор, т. е., например, не подталкивает в крутильных весах заряженные шарики пальцами. Если он даже и подробно опишет, как он это сделал, и другой ученый все это повторит, все равно в качестве физического факта результат признан не будет.

Физика как наука, однако, состоит не только из экспериментальных фактов. Есть и вторая, дополняющая первую сторона – обобщение фактов и построение разного рода теорий.

Подобно тому, как история не сводится к архивной полке, так и физика как наука не сводится к перечислению экспериментальных результатов. Отмеченная П. Чаадаевым «мысль» истории появляется и в физике в виде разного рода теорий и формул, устанавливающих связь между явлениями и измеряемыми величинами. Не трудно заметить и субъективизм в изложении физики как науки, особенно бросающийся в глаза в учебной литературе. Подобно Е. Тарле и А. Манфреду, писавших о Наполеоне, Р. Фейнман и Д. Сивухин, например, создали несовпадающие курсы физики. Конечно, ни тот ни другой не отклонялись от экспериментальных факторов, не вводили непроверенных представлений, однако каждый из них по-своему отбирал материал, группировал его, расставлял акценты, выделял главное и второстепенное, сообразуясь со своими субъективными соображениями.

Но вернемся к физическим теориям и методам доказательства. Физическая теория проявляется либо как результат обобщения большого числа фактов, либо как результат интуитивного скачка. Однако и в том, и в другом случаях теория признается научным сообществом правильной только тогда, когда ее построение подчиняется четким правилам логики, а также когда логические выводы из интуитивно высказанного утверждения приводят к полностью согласующимся с многочисленными экспериментами результатам. Так, например, закон Кулона является прямым следствием формально-логической обработки результатов экспериментов с крутильными весами. Второй же закон Ньютона «вывести» на основании какого бы то ни было одиночного или нескольких экспериментов вообще нельзя. Тем не менее, невероятное множество полученных из него строго логическим путем совпадающих с экспериментами следствий убеждают всех в его правильности и адекватности природе.

Именно по правилам формальной логики доказываются все теоремы, например, известные из школьного курса алгебры, геометрии и тригонометрии. Не вдаваясь в детали этой сложной проблемы, напомним теперь известный, по-видимому, подавляющему числу читателей факт, что убедить другого человека принять свою точку зрения легче всего в двух случаях: когда другому человеку предоставлена возможность увидеть и измерить то, что видел и измерял первый (требование воспроизведения эксперимента), и когда рассуждения первого отличаются строгой логичностью (это, в сущности, тоже подразумевает возможность их абсолютного воспроизведения, если оба субъекта пользуются одними и теми же правилами построения вывода из исходных посылок). Логический метод получения заключений общепринят в математике и теоретической физике и получил название аксиоматического. Ярким примером этого

является евклидова геометрия, базирующаяся, как всем хорошо известно, на пяти исходных постулатах. Можно, конечно, изменить эту систему постулатов, что и сделал Н. Лобачевский, развивший так называемую неевклидову геометрию. Однако при получении теорем этой геометрии также применялся метод формальной логики. Как в случае воспроизведения экспериментов, так и при построении формально-логических выводов разные исследователи обязаны прийти к одинаковым результатам, даже видоизменяя эксперимент или следуя другим путем при доказательстве теорем, что и позволяет считать их окончательные заключения объективными. Поскольку именно такие приемы и являются характерными не только для физики, но и вообще для группы так называемых естественных наук, то и возникло стойкое убеждение в том, что выводы этих наук лишены субъективной окраски, в отличие, например, от истории, где субъективный фактор играет очень заметную роль. Именно поэтому считается, что естественные науки базируются на принципе строгой доказательности (как сказал Л. Берг, «метод науки – это доказательство»). Это, в свою очередь, подразумевало, что только одно мнение может быть правильным. В то же время считалось, что в медицине и гуманитарных науках принцип доказательности имеет ограниченное хождение и большую роль играют субъективные взгляды исследователя.

Разумеется, и в гуманитарных науках логика применяется очень широко, но, наряду с ней, для убеждения других ученых в своей правоте и привлечения их на свою сторону в не меньшей степени используется и играет громадную роль воздействие на чувственное восприятие, что достигается литературной формой изложения, умело подобранными наглядными примерами и т. д. «Мысль» и «чувство» при формировании представлений об окружающем нас мире отчетливо выступают здесь не как взаимоисключающие, а как взаимодополняющие стороны одного и того же действия.

Мы видели, однако, что субъективный элемент не чужд и естественным наукам и обнаруживается в них при переходе от более простых объектов к более сложным (от атомов к молекулам и т. д.). Этот элемент возрастает в химии, далее в биологии и т. д.

Если ряд наук расположить в следующем порядке: математика, физика, химия, биология, медицина, психология, науки об обществе, философия, то нетрудно видеть, как от математики к философии нарастает субъективный фактор и уменьшается степень доказательности выводов автора.

На крайнем правом фланге этого ряда наук можно расположить и религию. Давно известно, что с помощью разума, т. е. логическим путем, ни доказать, ни опровергнуть религиозное учение нельзя. Принятие или непринятие человеком христианства или мусульманства есть результат его внутреннего чувства, а не логических доводов. Вспомним разговор Берлиоза и Воланда о Христе в романе «Мастер и Маргарита» М. Булгакова.

Берлиоз: Но требуется же какое-нибудь доказательство...

Воланд: И доказательств никаких не требуется... Все просто: в белом плаще...

Аксиоматическая математика и религия представляют две крайности. Для нас же сейчас важно подчеркнуть, что между естественными и гуманитарными науками нельзя провести резкой грани: «мысль» и «чувство» (воздействие исследователя), как средство убеждения присутствуют и в естественных науках, даже в таких, как физика, но, конечно, в гораздо меньшей степени. Это означает, что свойственное многим ученым-естественникам убеждение в том, что в конечном счете только один вывод, одно мнение есть истина, не является правильным. К сожалению, такой взгляд был недавно преобладающим в нашем обществе со всеми трагическими последствиями для нашей страны. Уроки физики для понимания всего этого оказываются чрезвычайно важными, так как именно эта область науки очень долгое время воспринималась как образец идеала абсолютно объективного познания окружающего нас мира.

Мы видели, однако, что даже в этой науке при решении ряда задач имеет место заметный элемент субъективизма, что приводит к появлению различных взглядов. Однако оказалось, что эти взгляды надо рассматривать не как противоречащие друг другу, а как взаимодополняющие.

Ясно, что тем более нельзя придавать значение абсолютной истины никакому учению о развитии общества. Любая общественно-политическая теория в лучшем случае способна отразить лишь какие-то отдельные стороны сложного явления. Слепая попытка в практической деятельности следовать только одному «учению» с неизбежностью ведет в тупик.

Множественность способов диагностики и лечения в медицине (европейская медицина, китайская, тибетская, иридодиагностика, аллопатия и гомеопатия и т. д.) также является прямым следствием отмеченного выше неизбежного субъективизма при исследовании сложных объектов и принципа дополнительности. Глупо и вредно поэтому разрешать одно направление и запрещать другое, под воздействием моды кидаться из одной крайности в другую, и т. д. А ведь это еще к сожалению часто происходит в жизни!

Усвоение методологических уроков развития физики должно помочь формированию общих адекватных принципов всякого мышления.

Все законы физики и разного рода принципы, о которых говорилось выше, можно разделить на две группы. Одни, подобно законам Ньютона или уравнениям Максвелла, являясь обобщениями собственно физических экспериментов, пригодны для употребления в сфере физики или соответствующих отраслей техники. Значение же других выходит за рамки чисто физических или технических приложений ввиду их применимости и для описания явлений весьма далеких от физики. Просто оказывается, что на примере физики, как науки, занимающейся все же объектами по своей природе более простыми, чем, например, живые организмы, человек и общество, оказалось возможным подметить такие правила, которые при значительно большем числе разнородных обстоятельств в других областях уловить несравненно сложнее.

Характерной особенностью многих сложных систем является именно наличие в них флуктуаций.

Эти флуктуации, не замечаемые при макроскопических экспериментах, отчетливо регистрируются при микроскопических (опыт с броуновским движением, например) и проявляются в отличном от нуля значении энтропии. Закон возрастания энтропии при необратимых процессах в замкнутой системе можно трактовать как отражение самопроизвольного увеличения разнообразия этих флуктуаций.

Принципиальным является то, что могут существовать такие флуктуации, которые способны менять свои свойства и при подходящих условиях не распадаться, а нарастать. Именно этим объясняется сама возможность появления более организованных, чем окружающая среда (почва, например), растительных организмов: травы, деревьев.

Такой процесс сопровождается уменьшением энтропии. Это, в свою очередь, возможно не для всякой системы, а только для такой, которая находится в контакте с другими системами (внешней средой), т. е. является открытой.

Примем теперь в качестве отправных два достаточно очевидных утверждения и посмотрим, нет ли соответствующего аналога в закономерностях развития общества. Утверждения эти следующие: 1) в сложной системе должны присутствовать флуктуации и 2) эти флуктуации при подходящих условиях могут быть способными к разрастанию.

Обратимся к человеческому обществу. Что это система сложная – ясно. Что она состоит из большого числа взаимодействующих частей – тоже не вызывает сомнения. Бросается в глаза и то, что в этой системе действительно имеются флуктуации. В самом деле, когда на свет Божий появляется новый человек, то это является результатом совершенно случайной встречи и дальнейшего развития отношений какой-то пары женщина – мужчина. Совсем уж непредсказуемым является факт рождения в семье Летиции и Карло Бонапарте будущего знаменитого полководца и императора Франции или то, что через год после женитьбы Сергея Львовича Пушкина на Надежде Осиповне Ганнибал у них не просто родится новый подданный Российской Империи, что, в общем-то, как раз едва ли можно назвать неожиданным, а именно, по выражению Н. Гоголя, русский человек во всем его развитии – Александр Сергеевич Пушкин.

Вообще каждый человек, гений или не гений, уникален и неповторим и поэтому вполне может рассматриваться как флуктуация (как ни странно звучит этот термин в приложении к человеку). Эта флуктуация способна к саморазрастанию (в прямом смысле слова и в смысле развития своего интеллекта) и как таковая нуждается в контакте с ближайшим окружением (семья) и с более удаленным. Группы людей могут объединяться по самым разным признакам (сословным, производства, по интересам и т. д.). Эти объединения приобретают некоторые новые по сравнению с отдельными людьми черты, но по-прежнему могут сохранять некоторые характерные свойства флуктуации. Они могут разрастаться, подавляться или

усиливаться за счет взаимодействий с другими флуктуациями-сообществами и т. д. Такие же выводы можно сделать и по отношению к целым государствам.

Теперь вспомним, что в физических системах любое разрастание флуктуации и переход системы в новое состояние возможны только в том случае, когда система является открытой, т. е. достаточно энергично обменивается с внешней средой энергией и веществом. Не трудно видеть, что и любое человеческое сообщество также не может существовать замкнуто, т.е. без взаимодействия хотя бы с природной средой обитания. В физических замкнутых системах процессы могут развиваться самопроизвольно только в сторону нарастания энтропии, т. е. разрушения организованной структуры (подобно разложению трупа после смерти живого организма). Ну, а как ведет себя человеческое общество?

Хорошо известным биологическим фактом является то, что небольшое общество людей, вынужденных заключать браки между достаточно близкими родственниками, постепенно вырождается. Впервые это было замечено на примере царствовавших домов, где в силу династических правил круг потенциальных брачующихся пар был невелик. Вырождение коснулось императорского дома Габсбургов, наследственной генетической болезнью страдал сын императора Николая II и т. д.

Значит, замеченное в физике правило дегенерации замкнутых статистических структур проявляется и в биологии высших организмов.

Если сообщество людей более многочисленно, то физическое вырождение может стать незаметным, но возникает другое.

Чтобы понять это, обратимся к двум примерам: древнегреческим городам Спарте и Афинам. Древняя история Греции в исторической науке играет роль простых моделей в физике. Как на примере идеального газа можно проще всего установить и изучить законы состояния и преобразования множественных объектов, так и на примере древнегреческой истории можно обнаружить и изучить некоторые весьма общие закономерности.

Известно, что Спарта и Афины соперничали друг с другом в установлении гегемонии над другими греческими государствами и даже вели длительные войны, получившие названия Пелопоннесских. В конце концов Спарта одержала военную победу. Однако посмотрим на карту современной Греции. Спарту можно найти лишь на карте достаточно крупного масштаба. Об Афинах с ее великолепными архитектурными памятниками, составляющими бесценное наследие всего человечества, знает каждый. В долгосрочной перспективе Афины, таким образом, оказались несомненными победителями. Мы и культурный-то вклад древней Греции воспринимаем прежде всего как вклад Афин. В чем же дело?

Конечно, невозможно указать на все факторы, которые привели к такому результату. Но взгляд физика сразу же улавливает в истории Афин и Спарты принципиальную разницу: Афины всегда были открытым обществом, с широко развитой торговлей, мощным флотом, обеспечивающим устойчивые связи с окружающим миром на достаточно большом удалении от самого города, интенсивный обмен информацией. Многие выдающиеся люди древнего мира из других его мест подолгу жили в Афинах. Одним словом, Афины можно смело назвать примером открытой системы. В этой системе и шло накопление культуры, интеллекта и т. д. Условия для разрастания соответствующих флуктуации были вполне подходящими.

Общество Спарты того же исторического периода, наоборот, характеризуется ярко выраженной замкнутостью. Долгое время, следуя законам Ликурга (справедливости ради надо отметить, что в них было много привлекательного), основным требованием которых было сохранение, если так можно выразиться, «спартанской чистоты» и замкнутости, это общество в конце концов деградировало настолько, что стало терпеть поражения даже в военной области, где раньше не имело равных. Показательно, что и создатель новой военной тактики древнего мира полководец Эпаминонд (разгромил спартанцев в битве при Левктрах, впервые применив так называемый косой строй) появился не в Спарте – ярко выраженном военном государстве, а в соседних Фивах, которые много лет этой же Спартой разорялись, но принципа замкнутости не придерживались.

Даже и наша собственная очень крупная страна (СССР) сильнее всего пострадала в результате длительной изоляции от остального мира.

Примеры такого рода можно продолжать до бесконечности.

Таким образом, открытый в физике закон, гласящий, что всякое качественно новое развитие возможно только в открытой системе, обладающей достаточным уровнем флуктуаций,

причем таких, которые способны к разрастанию, оказывается верным и применительно к человеческому обществу.

Факты физики и факты истории логично объясняются с одной и той же точки зрения. Возникновение более совершенной организации, материальной или интеллектуальной, т. е. процесс с понижением энтропии, в принципе, возможен только в открытых системах и невозможен в изолированных. Этот урок физики полезно усвоить любым государственным деятелям!

Однако одной этой открытости недостаточно. Надо еще, как упоминалось, иметь достаточный уровень специфических флуктуаций. Если их нет вообще или они малы и условия таковы, что разрастание флуктуации маловероятно, то никакое развитие невозможно. Именно в этом лежит главная причина провала так называемой плановой, жестко детерминированной экономики, которая искусственно насаждалась в странах социалистического лагеря. Рыночная экономика в этом смысле гораздо предпочтительнее, что и доказал прямой опыт истории.

Подведем итог. Наука есть результат попыток познать окружающий мир и выработать такие методы прогноза, следуя которым можно получить результаты, объективным законам этого мира не противоречащие.

Но наука не копирует Природу подобно тому, как талантливый художник не копирует фотографию. Создавая науку, формируя научное знание, субъект следует параллельно Природе, но на некотором расстоянии.

Подобно знаменитому фланговому маршу Кутузова в 1812 г. концентрированное научное знание также «срезает изломы» природных явлений, выделяя главное. Эта закономерность отражается в особенностях мышления выдающихся творцов науки.

Уместно привести замечательное высказывание З. Фрейда: «признаком научного мышления как раз и является способность довольствоваться лишь приближением к истине и продолжать творческую работу, несмотря на отсутствие окончательных подтверждений»

Если излишне близко рассматривать Природу, то за деревьями можно не увидеть леса, а если отойти далеко, то и лес можно воспринять просто как большое зелёное пятно!

Надо выбирать оптимальный средний путь. В этом и состоит наука. Расхожее мнение о постоянном приближении науки к некоторой абсолютной истине в лучшем случае — плохая метафора, в худшем — просто бессмыслица.

Литература.

1. Кедров Б.М. Единство диалектики, логики и теории познания. М. Наука, 1963.
2. Копнин П.В. Диалектика, логика, наука. (Сб. статей). М., 1973.
3. Лекторский В.А. Субъект, объект, познание. М. Наука, 1980.
4. Чудиков Э.М. Природа научной истины. М. Наука, 1977.