

ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ ТЕОРИЙ

В статье анализируются различные схемы предсказаний, присущие физическим теориям: детерминистская, вероятностная, сочленение детерминистской и вероятностной, предсказание новых физических явлений, предсказание запретов и анализ их появления в развивающемся физическом знании.

К физическим теориям предъявляется жесткое требование – они должны обладать предсказательной силой.

Предсказательная сила физической теории, безусловно, зависит в первую очередь от глубины отражения в ней сущности физических процессов. Математическая формулировка физических законов резко повысила точность описания различных физических явлений, а с ней и возможности что-либо предсказывать. Но это только одна сторона дела. Другая заключается в том, что сами предсказания могут формулироваться по-разному. И в разных физических теориях содержатся разные схемы таких предсказаний. (Они отличаются как по своей логической структуре, так и содержательно).

Результатом настойчивого применения математики и кропотливого развития эксперимента явилась первая физическая теория – классическая механика Ньютона. Затем возникают классическая термодинамика, классическая электродинамика и, наконец, теория относительности и квантовая механика.

Первоначальная схема предсказаний физических теорий выглядела так: если точно известно текущее состояние физической системы и воздействие на нее, то совершенно однозначно можно определить состояние системы в любой наперед заданный момент времени. Главным оказался вопрос: как задать состояние физической системы и возможно ли точное знание начальных условий?

В классической механике Ньютона состояние системы полностью определяется значениями координат и импульсов всех частиц системы. Зная характер зависимости сил взаимодействия частиц от координат (а в общем случае и от импульсов), с помощью уравнений движения по состоянию системы в начальный момент времени можно однозначно определить ее состояние в любой последующий момент.

В теории электромагнитного поля Максвелла состояние системы определяется напряженностью электрического и магнитного полей во всех точ-

ках пространства, но по-прежнему точно фиксированное начальное состояние однозначно определяет состояние поля в последующие моменты.

Обратим внимание на следующее:

– состояние физической системы задается не одним, а несколькими физическими величинами (параметрами);

– предсказания относятся к определению состояния системы в любой момент времени, то есть к возможности однозначно и одновременно рассчитать численные значения всех физических параметров, характеризующих состояние физической системы;

– математический формализм теории позволяет вычислить и все другие характеристики, (например, механического движения в любой момент времени). Это практически означает, что теория предсказывает численные значения любого параметра механического движения в любой момент времени;

– методы описания поля, то есть задания его состояния, существенно отличаются от методов описания частиц вещества, так как энергия, импульс и другие характеристики поля «размазаны», распределены по всей области пространства, где имеется поле. В каждый момент времени их следует задавать в каждой точке этой области. Однако нет необходимости знать все физические величины, относящиеся к характеристике поля: можно выбрать одну или несколько величин, а все остальные могут быть выражены через них. Такого рода величину, по которой определяются все физические проявления поля, называют полевой функцией. Уравнения, которым подчиняется полевая функция, описывают эволюцию, то есть изменение во времени, поля и его взаимодействие с другими физическими объектами – частицами и полями. Итак, здесь предсказание уже относится не только к состоянию поля в разные моменты, но и к результатам его взаимодействия с другими физическими объектами, что вызвано спецификой самого задания состояния поля.

В такой схеме речь не может идти о предсказании теорией новых физических эффектов или явлений, ибо в основе физических теорий не лежат математические модели изучаемых явлений. Первые физические теории являются математической обработкой огромного экспериментального материала. К ним еще не предъявляются требования обязательно предсказывать новые физические явления.

Заметим, что А. Пуанкаре отрицал возможность точного знания начального состояния физической системы: «Если бы мы знали точно законы природы и состояние Вселенной в начальный момент, то мы могли бы точно предсказать состояние Вселенной в любой последующий момент. Но даже и в том случае, если бы законы природы не представляли собой никакой тайны, мы могли бы знать первоначальное состояние только приближенно. Если это нам позволяет предвидеть дальнейшее ее состояние с тем же приближением, то это все, что нам нужно. Мы говорим, что явление было предвидено, что оно управляется законами. Но дело не всегда обстоит так, иногда небольшая разница в первоначальном состоянии вызывает большое различие в окончательном явлении. Небольшая погрешность в первом вызвала бы огромную ошибку в последнем. Предсказание становится невозможным, мы имеем перед собой явление случайное» (1). А вот что пишется в фейнмановских лекциях по физике: правильное будет сказать, что для данной точности (сколь угодно большой, но конечной) можно всегда указать такой большой промежуток времени, что для него становится невозможным сделать предсказание.

Трудно не согласиться с мнением А. Пуанкаре и тем, что написано в фейнмановских лекциях. Действительно, любая система может быть описана лишь с какой-то степенью приближения. Это касается и набора параметров, задающих состояние системы, и значения параметров, которые всегда, конечно, приближенны. Другими словами, всегда существует разница между истинным состоянием системы и описанием этого состояния. И всегда найдется такой класс задач (рано или поздно), когда становится очевидным недостаточность существующей точности описания состояния системы. Однако, чем больший класс задач можно решить с точки зрения существующей точности задания состояния системы, тем теория лучше, тем сильнее ее предсказательная сила. Уточнение задания состояния физической системы может, как нам кажется, привести к открытию совершенно парадоксальных свойств физических систем, ко-

торые прекрасно будут описываться существующими теориями. Нельзя сбрасывать со счетов и то, что сколь угодно малая неточность в определении начального состояния системы может нарастать со временем. Это приводит к тому, что с некоторого времени теряется возможность что-либо предсказывать. Система на этих временах ведет себя хаотически. Такие системы были обнаружены в гидродинамике, физике лазеров, физике плазмы и т. д. Оказывается, что эти системы формально детерминированы (точно зная их текущее состояние, можно установить, что произойдет с системой в сколь угодно далеком будущем), а на самом деле их приходится описывать статистически.

И еще одно существенное замечание: предсказательная сила физических теорий базируется на концепции функции. Прав А.М. Анисов, подчеркивая, что «открытие в природе и обществе функциональных связей позволяет предвидеть будущее, осуществлять обоснованный прогноз актуально еще не состоявшихся типичных событий» (2).

С возникновением статистической механики в физику вошли закономерности нового типа – статистические. В этой теории состояние системы, состоящей из огромного числа частиц, характеризуется функцией распределения f . Она дает вероятность того, что координаты и импульсы частиц системы имеют определенные значения.

Зная f , можно вычислить для данной системы среднее значение любой физической величины и меру отклонения ее от среднего значения – среднеквадратичное отклонение, или дисперсию. По функции распределения в данный момент времени при известном законе взаимодействия частиц (между собой и с внешними полями) можно найти вероятность определенных значений координат и импульсов в любой последующий момент времени. Как видим, схема предсказаний в статистической физике меняется: однозначная связь (однозначное предсказание) имеется лишь между распределениями вероятностей физических величин, но не между самими величинами. Координаты и импульсы отдельных частиц системы рассматриваются как случайные величины, не определяемые однозначно макроскопическими условиями (температурой, давлением, объемом и т. д.), в которых находится система. Еще раз подчеркнем, что здесь уже нельзя говорить о детерминированном прогнозе. Здесь можно иметь дело лишь со статистическими характеристиками – средними значениями, дисперсиями, распределением вероятностей. Правда, перечень возможных ситуаций, относящихся к координатам и импульсам отдельных час-

тиц, известен. Поэтому-то и можно осуществлять дизъюнктивные предсказания, перечисляющие альтернативные исходы.

До появления квантовой механики предполагалось, что в основе вероятностного описания системы, состоящей из большого числа частиц, лежит однозначная причинность классической механики. И лишь практическая невозможность точной фиксации огромного количества координат и импульсов частиц макроскопических систем приводит к необходимости использования вероятностного описания.

Идеалом классической физики была динамическая закономерность, а значит, строго однозначный характер предсказаний.

В качестве определяющей черты класса динамических закономерностей обычно рассматривается строго однозначный характер всех без исключения связей и зависимостей, отображаемых в рамках соответствующих представлений и теорий на основе этих законов. В негативной формулировке это означает следующее: там, где нет строгой однозначности в связях, нельзя говорить и о соответствующих закономерностях. Из однозначного характера связей вытекает их равноценность: любая рассматриваемая связь, независимо от природы соответствующих свойств или параметров, в равной мере признается необходимой.

На основе развития классической физики и ее успехов схема жесткой детерминации была в известной мере абсолютизирована. Философская концепция, выразившая это, получила название лапласовского детерминизма. Основные ее положения заключаются в следующем:

1. Хаос – это сугубо деструктивное начало мира, он ведет в никуда. Для такого вывода были весьма веские основания. Действительно, в соответствии с фундаментальными законами статистической механики, образование организованных структур в изолированных системах с большим числом частиц может носить только характер флуктуаций, имеющих чрезвычайно малую вероятность появления. Чем значительнее масштаб флуктуации, тем менее возможна ее реализация. Гораздо более вероятны процессы разрушения, дезорганизации правильных структур, имеющие, как правило, место, когда система не взаимодействует с другими объектами или взаимодействует с термостатом.

Развитие изолированных систем приводит к тому, что система стремится к равновесному состоянию, которое означает, что ее энтропия достигает максимального значения. Равновесное состояние является состоянием наибольшей разупорядоченности, так как именно его реализации отвечает наибольшая вероятность. Состояние термодинамического равновесия соответствует понятию «максимальный хаос системы». Чем большее число микросостояний реализует данное макросостояние, тем больше хаоса в системе. Второе начало термодинамики гласит: любая замкнутая система стремится перейти в состояние с большим хаосом, т. е. энтропия системы будет расти.

С другой стороны, для замкнутой динамической системы произвольной сложности А. Пуанкаре доказана следующая теорема: за достаточно большое время фазовая траектория в Γ -пространстве вернется в область, сколь угодно близкую к начальной точке этой траектории. Таким образом, любое неравновесное макроскопическое состояние рано или поздно должно повториться, как бы ни было велико отклонение от равновесия. Расчеты показывают, что время возврата t_r порядка 2×10^{19} единиц времени. В то же время возраст Вселенной оценивается как $T \sim 5 \times 10^9$ лет.

Таким образом, если речь идет о сколько-нибудь существенных отклонениях от термодинамического равновесия, имеет место практическая необратимость макроскопических процессов.

2. Случайность тщательно изгонялась из научных теорий. Существовало убеждение, что случайности не сказываются, забываются, стираются, не оставляя следа в общем течении событий природы.

Мир, в котором мы живем, рассматривался как не зависящий ни от микрофлуктуаций на низележащих уровнях бытия, ни от малых влияний космоса. Неравновесность и неустойчивость рассматривались как досадные неприятности, нечто негативное, что необходимо преодолеть.

3. Развитие понималось как поступательное, без альтернатив. Пройденное имеет лишь исторический интерес.

4. Мир связан причинно-следственными связями жестко. Причинные цепи имеют линейный характер. Следствие пропорционально причине. По причинным цепям ход развития может быть просчитан неограниченно в прошлое и будущее. Настоящее определяется прошлым, а будущее – настоящим и прошлым.

5. Подход к управлению сложными системами основывался на представлении, согласно которому результат внешнего воздействия есть однозначное и линейное предсказуемое следствие приложенных усилий, что соответствует схеме: управляющее действие – желаемый результат. Чем больше вкладываешь энергии, тем больше будто бы отдача.

В этих положениях лапласовского детерминизма в развернутом виде содержится понимание того, что могут и что должны предсказывать физические теории. Но статистические теории со своей специфической предсказательной силой уже возникли. И тогда в физике возникает идея сочленив оба подхода – динамический и статистический.

Попытки сочленения детерминистского и вероятностного подходов привели к появлению наглядного приема описания эволюции системы с произвольным числом N -частиц. Полный набор динамических переменных в этом случае составляют $6N$ чисел – $3N$ координат и $3N$ импульсов. Тогда состояние системы в целом в данный момент времени можно задать одной точкой в некотором абстрактном пространстве $6N$ измерений. Такое пространство получило название фазового Γ -пространства (в отличие от фазового m -пространства для одной частицы системы), или просто фазового пространства системы. В ходе эволюции системы изображающая точка в фазовом пространстве перемещается, описывая фазовую траекторию. Если разбить фазовое пространство на равновеликие ячейки объемом DV , размер которых произволен при анализе проблемы с позиций классической механики и ограничен снизу величиной $DV_0 = (2\pi\hbar)^{3N}$ (\hbar – постоянная Планка) в соответствии с законами квантовой механики, фазовая траектория с течением времени будет последовательно занимать различные ячейки. Процедура разбиения Γ -пространства на ячейки с последующим присвоением каждой из них определенного адреса, позволяет эффективно использовать комбинаторные методы при подсчете числа занятых фазовой кривой ячеек, а затем вычислить характерные вероятности и средние значения наблюдаемых величин.

Введение фазового пространства позволяет динамически описывать изменение состояния физической системы, в то время как каждую из физических величин, характеризующих состояние физической системы, в отдельности можно рассчитать только статистически. Это означает, что предсказания, относящиеся к состоянию системы как целостной характеристике физической системы, носят строго однозначный характер, в то время как предсказания, относящиеся в отдельности к каждому из параметров, характеризующих состояние физической системы, носят вероятностный характер.

Применительно к микрообъектам (например, электронам) положение оказывается иным. Чтобы пояснить это различие, подчеркнем два момента:

1) необходимость привлечения вероятностного описания, например, для электронов, вызвана

не тем, что электронов много; она остается и в том случае, когда через две щели проходит и один электрон;

2) когда на те же щели налетают классические частицы, то, если существует разброс начальных значений их координат и скоростей, частицы с разными вероятностями будут двигаться по различным траекториям. Однако каждая частица пройдет заведомо лишь через одну какую-либо щель. При рассмотрении же электрона приходится признать, что происходит одновременное прохождение каждой из таких частиц через обе щели. При этом этот процесс также должен описываться вероятностными законами.

Действительно, появление пятнышек в различных местах экрана при одинаковых физических условиях прохождения через щели для всех электронов показывает, что движение этих частиц определяется вероятностными законами.

Необходимость вероятностного подхода к описанию каждой из элементарных частиц относится к любым процессам в микромире и является одной из важнейших отличительных особенностей квантовой теории.

Можно ли истолковать волны де Бройля непосредственно как волны вероятности, т. е. правильно ли считать, что вероятность обнаружить микрочастицу в различных точках пространства меняется по волновому закону?

Такое прямолинейное толкование неправильно хотя бы потому, что, если вероятность меняется по волновому закону, то вероятность обнаружения частицы для некоторых точек пространства примет даже отрицательное значение, что противоречит самому ее смыслу.

Французский физик М. Борн впервые показал, что возникающие здесь трудности свидетельствуют о глубоком различии между вероятностным описанием в классической и квантовой физике.

Различие между вероятностным описанием в классической и квантовой физике можно устранить, если принять, что по волновому закону меняется не сама вероятность, а некая величина, названная амплитудой вероятности. Она обычно обозначается греческой буквой «пси»: $\psi(x, y, z, t)$. Эту величину называют также волновой функцией. Амплитуда вероятности должна быть комплексной, а вероятность – пропорциональна квадрату ее модуля: $w \sim \psi \psi^*$.

Волновая функция выступает в квантовой теории как основной носитель информации и о корпускулярных, и о волновых свойствах системы. Утверждение о том, что волновая функция опи-

сывает состояние квантовой системы, означает, что эта функция позволяет определить вероятности для всех физических величин, характеризующих систему, а, следовательно, и их средние значения. В квантовой механике разработаны специальные методы вычисления вероятностей для различных физических величин по заданной волновой функции.

Напомним также, что координаты и импульсы классических частиц сами являются непосредственно измеряемыми величинами. Описывающая же состояние квантовой частицы волновая функция у не может быть непосредственно измерена, хотя выражающиеся через нее физические величины и являются объектами экспериментального исследования. Новые физические теории, чтобы осуществить свою предсказательную силу, вынуждены поменять способ задания состояния физической системы: состояние физической системы начинают в физике задавать нефизическими величинами, что было недопустимо в классической физике (нефизическими будем считать такие характеристики физических систем, которые нельзя измерить экспериментально).

По своему смыслу состояние системы в некоторый момент времени должно однозначно определять, как (при заданных физических условиях) она будет развиваться в будущем. Мы уже подчеркивали, что в классической механике, если заданы координаты и импульсы частицы в некоторый момент времени (начальное состояние системы) и известны действующие на систему силы, можно совершенно однозначно определить состояние частицы в любой последующий момент, т. е., как принято говорить, имеет место полный детерминизм. В квантовой механике такое детерминистское описание эволюции системы невозможно. Здесь причинно-следственные связи проявляются в том, что задание волновой функции, вероятностно описывающей квантовую систему в некоторый момент времени, должно однозначно определять волновую функцию в последующие моменты (при условии, что известны воздействия, испытываемые микрочастицами).

Таким образом, вероятностное описание микрочастиц имеет принципиальный характер. Оно определяется корпускулярно-волновым дуализмом микрочастиц.

Итак, вероятностные предсказания с появлением квантовой механики входят в ткань физических теорий: они уже не результат нашего неумения и незнания, а результат определенной природы микрообъектов.

Оба типа предсказаний – динамические и вероятностные – распространяются на любой наперед заданный момент времени. Считается, что они присущи любым математическим моделям изучаемых физических объектов. В принципе, они строятся на функциональном описании физических явлений и процессов. Остается, однако, открытым вопрос: единственно ли это возможный язык науки? Вопрос весьма актуален, ибо в методологии науки доминирует взгляд, согласно которому физическому знанию подвластно лишь то, о чем можно формулировать потенциально истинные или ложные высказывания. Если же высказывание нельзя оценить с точки зрения «истинно-ложно», то они считаются бессмысленными. Наука больше всего боится бессмысленных утверждений. Все они должны быть из науки удалены (3).

Чтобы можно было высказывание оценить как истинное или ложное, его надо сформулировать в языке по следующей логической схеме: если справедлив данный комплекс условий, то будет то-то. А это и есть функциональная зависимость.

К тому же данная норма научности широко используется в науке не только для проверки истинности научных утверждений, но и для материального и теоретического экспериментирования, что исключительно важно для развития науки.

Материальное и техническое экспериментирование с исследуемыми объектами по схеме «что будет с объектом, если он будет находиться в таких-то условиях» создает запас решений. А это выход в практику, а также создание условий для теоретического и практического проникновения в неизвестные области реальности.

На основании этой нормы ставят и обратные задачи: какие надо создать условия, чтобы проходил такой-то процесс. Например, при каких условиях термоядерная реакция может стать управляемой.

Со всем этим нельзя не считаться, когда идет речь о предсказательной силе физических теорий.

Одновременно идет наработка и других типов предсказаний.

Это, во-первых, предсказание теорией качественно новых эффектов. Так, теория тяготения Эйнштейна позволяет, в отличие от ньютоновской, предсказать следующее:

- 1) существование гравитационных волн, испускаемых неравномерно движущимися телами;
- 2) гравитационное изменение длины волны в сильном поле тяготения;
- 3) возможность возникновения «черных дыр» («черная дыра» – это объект, возникающий в ре-

зультате сильного сжатия тела, при котором гравитационное поле возрастает настолько, что тело не испускает ни свет, ни любое другое излучение или частицы).

Известно, что объекты предметной области сами в теорию не входят. Они представлены там некоторыми другими (абстрактными) объектами. Одна из норм такого представления – идеальная модель, причем в физических теориях это, как правило, математическая модель. От идеальной модели, с одной стороны, требуется, чтобы она содержала известную до ее построения информацию о моделируемом объекте, а с другой – изучение самой модели должно вести к получению новой информации о моделируемом объекте, то есть к предсказанию качественно новых эффектов.

Во-вторых, было понято, что предсказания физических теорий – это не только определенные разрешения, но и определенные запреты, что было использовано для постановки ряда практических задач. Так, открытие приближенных (не универсальных) законов сохранения привело к исследованию точности, с которой опытным путем установлены законы сохранения. Например, проверка закона сохранения электрического заряда состояла в поисках запрещенного только этим законом распада электрона на нейтрино и g -квант.

Аналогично закон сохранения барионного заряда проверялся в поисках только им запрещенного распада протона на P^+ -мезон и g -квант. Такие примеры можно продолжить. Нельзя не согласиться с мнением, что «большинство фундаментальных теорий, изменивших стандарты научных исследований (меняющих парадигму, по выражению историка науки Т. Куна), связано с осознанием все новых и новых ограничений. И прежде всего с ответом на вопрос, чего нельзя сделать, какие цели, в принципе, не можем ставить перед научным исследованием» (4). Так, квантовая механика проиллюстрировала, как уже подчеркивалось, принципиальную невозможность измерить с заранее заданной точностью одновременно координату и импульс элементарной частицы. Не поддаются одновременному измерению и многие другие величины. Множество непреодолимых барьеров позволила обнаружить теория относительности. Все эти теории сузили круг тех вопросов, которые можно задавать Природе. По сути, осознание новых ограничений стало признаком фундаментальности теории.

В-третьих, предсказания стали использовать при выборе конкурирующих гипотез: отдается предпочтение тем, которые предсказывают новые явления, обладают логической простотой.

В-четвертых, предсказательная сила физических теорий стала использоваться для построения новых физических теорий. Н. Бор сформулировал принцип соответствия (5-7).

В широком смысле под принципом соответствия понимают логически необходимое требование, чтобы новая теория, описывающая более широкий круг явлений, включала в себя как частный случай старую теорию, имеющую более ограниченную область применимости. При этом обязательным требованием является экспериментальное подтверждение старой теории и нахождение для нее сферы приложения на практике.

Принцип соответствия первоначально появился как физический постулат, требующий совпадения результатов квантовой и классической теории в предельном случае, когда квантовые эффекты малы. Принцип соответствия как эвристический принцип был выдвинут Н. Бором в 1913 году, на заре создания квантовой механики. Идея Н. Бора состояла в следующем: поскольку законы классической физики подтверждаются экспериментом в широкой области явлений, следует принять как необходимый постулат, что новая, более точная теория в применении к этим явлениям должна давать тот же результат, что и классическая теория.

Принцип соответствия вместе с постулатом Н. Бора позволил количественно рассчитать интенсивности спектральных линий излучения атомов водорода.

В-пятых, любой физический закон в принципе обладает предсказательной силой, так как указывает на то, что будет происходить в физической системе при определенных условиях. Рассмотрим, например, такой закон природы, как второе начало термодинамики. Как известно, в нем утверждается следующее:

а) находясь в неравновесном состоянии, изолированная термодинамическая система изменяется таким образом, чтобы прийти к состоянию равновесия (на языке физических величин это означает, что энтропия изолированной термодинамической системы будет расти);

б) достигнув равновесного состояния (ему соответствует максимальное значение энтропии), система может оставаться в нем как угодно долго;

в) случайные отклонения макропараметров системы от их средних значений не могут вывести систему из равновесного состояния (другими словами, возникающие флуктуации гасятся равновесным состоянием).

Для точности заметим, что вообще термодинамическое равновесное состояние допускает слу-

чайные локальные отклонения макропараметров от их средних значений (флуктуации), однако вклад отклонений наблюдаемой величины равен нулю.

Особую роль в физике выполняют законы сохранения.

Законы сохранения – это физические законы, утверждающие постоянство во времени физических величин, относящихся к изолированной системе, то есть к системе, взаимодействием которой с другими системами можно пренебречь.

Важнейшие законы сохранения универсальны, то есть справедливы для любых замкнутых систем. Это законы сохранения энергии, импульса, момента, количества движения; электрического, барионного и лептонного зарядов.

Особое значение имеет закон сохранения энергии.

Утверждение о сохранении энергии не зависит ни от формы, в которой она проявляется (механическая, тепловая, электромагнитная, ядерная и т. д.), ни от конкретной системы, к которой она относится (элементарные частицы, макроскопические тела, звезды, галактики и т. д.). Такая универсальность делает данный закон сохранения важной составной частью любой физической теории и полезным инструментом при исследовании новых явлений.

Столкнувшись с кажущимся нарушением какого-либо закона сохранения, современная физика тщательно анализирует возможные альтернативные объяснения этого явления, прежде чем отказаться от закона сохранения. Именно на таком пути в 1931 году было предсказано существование нейтрино как альтернатива несохранению энергии при β -распаде ядер.

В-шестых, особую систему составляют предсказания – восстановления прошлого состояния физических систем. Именно они составляют суть всех нестационарных моделей Вселенной. Все они строятся на такой логической схеме: раньше было то-то, и об этом свидетельствует то, что мы наблюдаем сейчас. Другими словами, на основании существующего создаются модели прошлого состояния физической системы.

В-седьмых, новый подход к оценке возможностей предсказательной силы физических теорий появляется с возникновением синергетики. Синергетика – направление междисциплинарных исследований, объект которых – процессы самоорганизации в открытых системах различной природы (8-11). Синергетика дает новый образ мира – открытого, эволюционного, нелинейного, для которого точное предсказание будущего невозможно. Точ-

нее, нельзя в принципе дать «долгосрочный прогноз» поведения огромного количества физических (да и не только физических) систем. Стало ясно, что для многих физических систем их поведение предсказуемо на малых и непредсказуемо на больших временах.

Самоорганизующейся называется такая система, которая без специфического воздействия извне обретает какую-то пространственную, временную или функциональную структуру. Процессы самоорганизации имеют целенаправленный характер, но вместе с тем им присуща спонтанность. Эти процессы, протекающие при взаимодействии системы с окружающей средой, в той или иной мере автономны и относительно независимы от среды. Другими словами, они являются результатом развития собственных (внутренних) неустойчивостей в системе.

Чтобы понять, почему в рамках синергетики невозможно точное предсказание будущего системы, и на какой период времени эти предсказания можно делать, мы должны остановиться на условиях образования самоорганизующихся структур. Условия эти заключаются в следующем:

1. Система должна быть термодинамически открытой. Если она будет изолированной, то в ней будет действовать второе начало термодинамики, согласно которому, все процессы, происходящие в изолированной термодинамической системе, идут так, что энтропия системы растет, а, достигнув максимально возможного значения для системы, т. е. состояния термодинамического равновесия, может находиться в нем сколь угодно долго, и возникающие флуктуации будут гаситься термодинамическим равновесием. (Заметим также, что рост энтропии системы ведет к увеличению в ней хаоса).

Следовательно, выстраивание новых структур в системе связано с понижением ее энтропии, что возможно лишь в том случае, если система будет открытой.

2. Математическая модель протекающих в системе процессов должна быть сильно нелинейной. Лinéйные модели в принципе не позволяют увидеть в системе процессы самоорганизации. Если сильно нелинейная модель процессов, протекающих в системе, заменяется линейной или слабо нелинейной, то идет сильная потеря информации: все процессы, связанные с самоорганизацией, исчезают из поля зрения исследователя.

3. Система должна находиться вдали от состояния термодинамического равновесия, т. е. должно рассматриваться состояние, лежащее вне термодинамической ветви. Если состояние системы

будет находиться вблизи термодинамического равновесия, то оно по отношению к термодинамическому равновесию будет выступать как флуктуация. И термодинамическое равновесие будет гасить эту флуктуацию, возвращая систему в состояние термодинамического равновесия.

4. Система должна находиться в бифуркационном состоянии, то есть в таком состоянии, когда малая флуктуация приводит к согласованному движению частиц системы (макроскопические процессы происходят согласованно), что и приводит к возникновению новой структуры, благодаря изменению пути эволюции системы.

Суть бифуркации можно представить на следующем примере: пусть мы имеем балку прямоугольного сечения, на которую положен груз. Кладем сверху гирьки, увеличиваем груз, балка сжимается и остается прямолинейной. Но, начиная с некоторого критического веса, она уже не может оставаться в этом положении и прогибается вправо или влево. Ей приходится «выбирать», куда про-

гнуться под действием случайных факторов (12). В принципе нельзя предсказать, прогнется ли балка вправо или влево.

Предсказывать состояния сильно нелинейных систем можно только на промежутках времени от одного состояния бифуркации до другого. Нельзя не заметить, что здесь временные интервалы для разных явлений могут отличаться весьма существенно: часто это секунда или даже ее доли, а где-то века и даже во много раз большие интервалы времени. Но главное, чему в данном случае учит синергетика – надо понимать, что можно требовать от данной теории, а чего нельзя. А, в конечном счете, опять речь идет о том, какие вопросы к природе являются корректными, а какие нет.

Итак, научные представления о предсказательной силе физических теорий меняются. Главное: растет знание, которое учит человека, какие вопросы природе можно задавать. Самый существенный прогресс в этих знаниях – рост числа ограничений, запретов.

Список использованной литературы:

1. Пуанкаре А. О науке. – М., 1983. – С.323.
2. Анисов А.М. Креативность //Credo new. – 2002. – №1. – С.104.
3. Витгенштейн Л. О достоверности //Вопросы философии. – 1991. – №2. – С.67.
4. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – 2-е изд. – М., 2001. – С.22-23.
5. Кузнецов И.В. Принцип соответствия в современной физике и его философское значение. – М., 1948.
6. Бор Н. Избранные научные труды. – Т.2. – М., 1971. – С.15.
7. Принцип соответствия. – М., 1979.
8. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог с природой. – М., 1986.
9. Хакен Г. Синергетика: Введение в теорию самоорганизующихся систем. – М., 1985.
10. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М., 1994.
11. Моисеев Н.Н. Логика универсального эволюционизма и кооперативность //Вопросы философии. – 1989. – №8. – С.52-66.
12. Капица С.П., Курдюмов С.П., Малинецкий Г.Г. Синергетика и прогнозы будущего. – 2-е изд. – М., 2001. – С.66.