

### 3. ЗАКОНЫ ПРИРОДЫ И ИХ ОСОБЕННОСТИ

Универсальность законов природы. Фундаментальность вероятностных закономерностей. Математическая гармония природы. Язык и реальность в современной физике.

#### 3.1. Универсальность законов природы

Окружающий нас мир многообразен и изменчив. Каждый предмет обладает только ему присущими чертами и не тождествен другому подобному предмету. Невозможно найти два совершенно одинаковых предмета. Все явления природы неповторимы, не похожи одно на другое. Но их неповторимость не мешает исследователям выделять при изучении природы наиболее *существенные характеристики предметов и явлений и находить повторяющиеся, устойчивые связи между ними*, т.е. устанавливать **законы природы**. *Естественные законы описывают неизменные регулярности, существующие в природе, которые считаются общими для какого-нибудь класса явлений и отражают необходимость их возникновения при определенных, точно сформулированных условиях*. С одной стороны, эти законы объективны и описывают связь реальных процессов и явлений природы между собой, а с другой – они представляют собой отражение объективных закономерностей природы в нашем сознании. По выражению А. Пуанкаре, “закон природы есть наилучшее выражение гармонии мира”. Естествознание изучает мир с целью познания законов его функционирования, отражающих периодически повторяющиеся факты действительности.

*Фундаментальные физические законы – это наиболее полное на сегодняшний день, но приближенное отражение объективных законов в природе*. При этом важно понимать их статус, так как реальные природные объекты, строго говоря, не являются объектами изучения физики. Физика изучает всего лишь некоторые *модели реальных объектов, явлений и процессов*, отражающих лишь ту **часть** их свойств, которая *доступна измерению (регистрации) с помощью различных приборов, и описывает их в своих терминах и понятиях*. Вообще говоря, такое разграничение справедливо для любой науки. Наука имеет дело не с реальными природными объектами, а исследует довольно абстрактные модели, которые отражают лишь часть свойств и параметров реальных объектов. *Законы и теории, полученные при изучении моделей,*

*принимаются в качестве законов природы.* По-видимому, правильнее называть их *законами науки.* Поэтому важно не забывать границы модельных представлений, четко знать их, не терять интереса к получению новых знаний о явлениях и причинно-следственных связях.

У законов природы есть одно удивительное свойство – они могут быть сформулированы различными способами, другими словами существуют различные способы описания природы. Многообразие возможных схем толкования природы – одна из поразительных ее особенностей. Никто не может объяснить, почему правильные законы физики допускают большое количество различных формулировок, но тем не менее это действительно так. Рассмотрим это на примере закона всемирного тяготения, который может быть сформулирован в различных, но совершенно эквивалентных формах.

Первая формулировка называется *ньютонической*, так как она основана на представлении закона всемирного тяготения, данном самим И. Ньютоном: сила взаимодействия между двумя телами  $F$  определяется уравнением  $F = Gmm'/r^2$ , где  $m$  и  $m'$  – массы взаимодействующих тел,  $r$  – расстояние между ними,  $G$  – гравитационная постоянная. Здесь утверждается, что сила притяжения между телами зависит от чего-то, находящегося на конечном расстоянии, т.е. она обладает свойством *нелокальности* – действует на расстоянии. Часто это называют *принципом дальнего действия.*

Другой способ основан на понятии **поля**. Согласно данному подходу всякое тело в пространстве вокруг себя создает *гравитационное поле*, с которым взаимодействуют другие тела. Его величина в каждой точке пространства разная – она зависит от расстояния от тела до данной точки. При таком подходе формулу для силы тяготения можно переписать в виде  $F = mE$ , где  $E = Gm'/r^2$  – напряженность гравитационного поля, создаваемого телом массой  $m$ . Формально (математически) это можно представить так: каждой точке пространства можно приписать число, которое при переходе из одного места в другое меняется. Если в какую-то точку пространства поместить другой предмет, то на него будет действовать сила, пропорциональная этому числу. Можно сформулировать и правило, с помощью которого определяется направление данной силы. Такая формулировка *локальна и во времени, и в пространстве*, потому что здесь речь идет о

соседних точках. Ее так и называют *локально-полевой*.

Возможна и третья формулировка, основанная на *принципе минимума действия* (см. принципы оптимальности), суть которой состоит в следующем. Предположим, что имеется несколько частиц и мы хотим знать, как одна из них перемещается из одного места в другое. Вообразим все возможные пути перехода из одного места в другое за определенный промежуток времени, например, из точки  $X$  в  $Y$ . Чтобы узнать, какой из них будет истинным, подсчитывают величину, называемую *действием*, которое строится по определенным правилам (в некоторых случаях это просто разность между кинетической и потенциальной энергией). Оказывается, *истинным путем будем тот, для которого действие минимально*. Р. Фейнман замечает, что здесь уже не надо думать о причинности, о том, что частица чувствует притяжение и движется в согласии с ним. Все выглядит так, как будто частица "обнюхивает" разом все пути и выбирает тот, у которого действие минимально. Используя такой подход, можно показать, что в гравитационном поле Солнца планеты движутся по эллипсу, а также вывести все остальные законы небесной механики.

Несмотря на различия, все три формулировки – ньютоновская, локально-полевая и принцип минимума – приводят к совершенно одинаковым следствиям, т.е. математически они эквивалентны, и нельзя сказать, какая же из них правильнее. Они все правильные, равнозначные. Но психологически они различны. Во-первых, они могут нравиться или не нравиться в философском плане. Во-вторых, психологическое различие между ними становится важным, когда ищут новые законы. Различные формулировки могут служить отправными точками к пониманию того, что произойдет при других обстоятельствах. Их психологическое различие толкает на разные догадки относительно того, как может выглядеть закон в более общем случае. Оказалось, что ньютоновская формулировка закона всемирного тяготения, а также законов механики неудобна и очень громоздка для применения в квантовой физике.

Таким образом, в физике, исходя из разных точек зрения, можно прийти к одним и тем же выводам. В настоящее время представляется, что законы физики должны иметь *локальный характер* и в то же время сочетаться с *принципом минимума*, но точно это неизвестно (это пока гипотеза).

Современная наука позволяет сделать вывод, что вся материя

во Вселенной, по крайней мере в ее видимой части, одинакова. Материя, из которой состоят звезды, точно такая же, как и материя, из которой сделана Земля. Характер света, испускаемого звездами, позволил установить, что они состоят из тех же атомов, что и на Земле. Природа, как неживая, так и живая, образованы из атомов одинакового типа, поэтому атомы считаются повсюду однотипными. Атомы имеют одинаковую структуру – они состоят из ядер, окруженных электронами. Известен набор частиц, из которых состоит мир – это *электроны, фотоны, нейтроны, протоны, нейтрино* и *гравитоны* плюс соответствующие *античастицы*. Электроны составляют внешнюю оболочку атомов, ядро состоит из протонов и нейтронов. Согласно квантовой теории свет состоит из фотонов, а гравитационное поле – из гравитонов, квантов гравитационного поля. Трудноуловимая частица нейтрино рождается, например, в процессе  $\beta$ -распада. *С помощью перечисленных частиц можно объяснить практически все явления, которые протекают при низких энергиях в любой части Вселенной.* Именно поэтому **законы природы считаются универсальными** – они применимы *ко всему миру, доступному нашему наблюдению.* Более того, если какой-то закон верен, то с его помощью можно отрывать другие законы. Все это подтверждается многочисленными исследованиями. *Универсальность физических законов подтверждает единство природы и Вселенной в целом.*

Многие ученые считают, что для понимания явлений живой природы не нужно открывать новых законов физики. Также утверждается, что среди известных на сегодня явлений нет такого, которое нельзя объяснить подобным образом. Но так было не всегда. Например, для явления сверхпроводимости, когда металл при очень низкой температуре проводит электричество, не оказывая ему сопротивления, долгое время было не очевидно, что оно есть следствие уже известных законов. Но, как известно, сверхпроводимость удалось объяснить на основе уже имеющихся знаний – на основе квантовой механики.

Конечно, и сейчас есть некоторые явления, такие как *телепатия, телекинез, астрология, гипноз* и др., которые не удастся объяснить на основе существующих физических законов и принципов. Однако многие ученые считают, что пока нельзя достоверно гарантировать существование этих явлений. Если бы их удалось подтвердить экспериментально, это означало бы, что наша физика

неполна, поэтому физики, вообще говоря, заинтересованы в том, чтобы выяснить возможности такого восприятия. Сейчас многие опыты показывают, что такого восприятия нет.

Однако относительно гипноза считается, что его можно объяснить обычными, но пока еще неизвестными физиологическими процессами и для этого не понадобится вводить какой-либо новый тип взаимодействия. Таким образом, теория всего, что происходит вне ядра атома, выглядит довольно точной и полной и позволяет рассчитывать все с точностью, с какой мы можем проводить измерения.

### 3.2. **Фундаментальность вероятностных закономерностей**

Наука рассматривает два основных типа причинно-следственных связей и соответственно два типа закономерностей – **динамические** и **статистические (вероятностные, случайные, стохастические)**. *Динамический закон* – это закон, который управляет поведением индивидуального объекта и позволяет установить однозначную связь его состояний; *статистический закон* управляет поведением больших совокупностей и приводит к неоднозначным предсказаниям. Первые позволяют делать предсказания *абсолютно точные* и *однозначные*, а вторые – *вероятностные*, недостоверные, неточные. Говорят, что динамический закон описывает возможность, которая с необходимостью (т.е. обязательно) должна реализоваться. Статистический закон определяет широкий диапазон возможностей для отдельного элемента, взятого из большой совокупности. Каждый отдельный элемент может реализовать какую-либо одну возможность. Статистический закон не является однозначным, он приписывает всего лишь определенную вероятность каждому из возможных видов случайного поведения.

Возникает вопрос о соотношении между динамическими и статистическими закономерностями, а именно – какие из них являются первичными, фундаментальными. Первоначально данный вопрос решался в пользу динамических закономерностей. Считалось, что *статистические законы обусловлены неполнотой наших знаний* и к вероятностному описанию приходится прибегать, когда неизвестны детали картины, когда трудно или нельзя точно учесть все данные, все взаимодействия. Эту концепцию так и называют *концепцией неполноты знаний*. Фактически она пред-

полагает, что за статистическими законами скрываются динамические, поскольку в основе всего лежат динамические законы, которые и выражают объективные причинно-следственные связи. Только в одних случаях мы используем динамические законы, а в других не можем этого сделать, и вот тогда на сцену выходят вероятностные законы.

Долгое время считалось, что вероятностные законы описывают большие коллективы, например, поведение газа, состоящего из большого числа молекул. Однако квантовая механика показала, что *вероятностное поведение* присуще и отдельным *микрообъектам*, а не только большому коллективу. Это привело к пересмотру роли статистических законов. В рамках концепции неполноты знаний причинность связывается только с динамическими закономерностями. Случайность же рассматривается только в субъективном плане как неполнота наших знаний. Поэтому случайность отождествлялась с отсутствием причинности. С такой точки зрения *вероятностное поведение микрообъектов рассматривалось как нарушение принципа причинности в квантовой механике – индетерминизм.*

Концепция неполноты знаний оказалась очень распространенной и живучей. Это обусловлено такими факторами: 1) динамические теории возникли раньше статистических. Последние, в свою очередь, основывались на динамических законах; 2) представлялось, что динамические теории больше соответствуют духу "точных наук" (привычка так мыслить); 3) для понимания роли статистических закономерностей требуется владение диалектикой. Именно метафизическое понимание таких категорий, как необходимое и случайное, возможное и действительное, является причиной живучести данного подхода. Представления детерминизма, по-видимому, лежат в основах человеческого мышления, они присущи самой биологической природе человека, стремящегося предвидеть результаты своей деятельности и выбирать наиболее эффективные. Даже считалось, что законы естествознания – это только детерминированные утверждения, согласно которым запущенный однажды механизм делает затем все остальное, все то, что происходит или должно произойти вполне однозначным и предсказуемым образом.

В свое время была выдвинута *концепция равноправия*, которая исходила из того, что динамические и статистические закономерности в определенном смысле равноправны, т.е. они играют

одинаково важную роль, но в разных областях: законы поведения индивидуальных частиц динамические, а больших коллективов – статистические. При этом возможен переход от динамических законов к статистическим. Но подобный подход также противоречит выводам квантовой механики.

Современная наука считает, что не только *динамические*, но и *статистические законы выражают объективные причинно-следственные связи*. Более того, именно **статистические закономерности являются более фундаментальными**, так как они глубже и полнее выражают эти связи. Статистические закономерности приводят к тому, что будущее определяется настоящим *неоднозначно*, а лишь с некоторой *вероятностью*, но они не *исключают причинных связей*, а, наоборот, приводят к более *глубокому и широкому представлению о них*. Современную концепцию формулируют так: *динамические законы представляют собой первый, низший этап познания окружающего мира; статистические законы более совершенно отображают объективные связи в природе, они являются следующим, более высоким этапом познания*. Таким образом, вероятностное описание мира не показатель нашего незнания или невежества и не следствие вмешательства человека в объективный ход развития природы.

Все фундаментальные физические теории можно разделить на две группы – *динамические* и *статистические*. В динамических теориях величины подчиняются однозначным закономерностям; статистические теории основаны на вероятностных законах. К динамическим теориям относятся: классическая механика, механика сплошных сред, феноменологическая термодинамика, классическая электродинамика, специальная и общая теория относительности. Статистические теории: статистическая механика, микроскопическая электродинамика, все квантовые теории. *Фундаментальные физические теории представляют собой совокупность наиболее существенных знаний о физических закономерностях неживой природы. Эти знания не являются исчерпывающими, но на сегодняшний день они наиболее полно отражают физические процессы в природе.*

Основу любой физической теории составляют три элемента: *совокупность физических величин*, с помощью которых описываются объекты или явления данной теории (например, в механике Ньютона это координаты, импульс, энергия, сила); понятие со-

*стояния и уравнения движения*, которые описывают *эволюцию состояния* рассматриваемой системы. Принцип детерминизма особенно просто выглядит в классической механике, которая учит, что по начальным данным можно полностью описать *движение* (поведение или, как говорят физики, *состояние*) механической системы в любом сколь угодно далеком будущем (и даже проследить прошлое). Здесь детерминизм господствует самым безраздельным образом.

Абсолютизацию динамических законов связывают с именем П. Лапласа, которому приписывают высказывание о том, что если бы нашелся ум, которому были бы известны для любого данного момента времени все силы, действующие на все тела во Вселенной, а также их местоположение, и если бы он мог проанализировать эти данные в единой формуле движения, то ему было бы открыто как прошлое, так и будущее Вселенной. С этой точки зрения все явления в природе жестко предопределены. Такой механический детерминизм называют **лапласовским детерминизмом**. Однако в действительности динамические законы не универсальны. Хотя лапласовский детерминизм с определенной степенью и отражает реальное движение тел, тем не менее его нельзя абсолютизировать.

Понятие о статистических закономерностях впервые было введено в 1859 г. Д.Максвеллом, который первым понял, что при рассмотрении систем, состоящих из большого числа частиц, нужно ставить задачу совсем иначе, чем это делалось в механике Ньютона. Для этого он ввел в физику понятие *вероятности*, выработанное в математике для анализа случайных процессов. Многочисленные опыты с макроскопическими телами показали, что в принципе невозможно не только проследить за изменением импульса или положением одной молекулы на протяжении достаточно большого интервала времени, но и точно определить импульсы и координаты всех молекул газа или другого макроскопического тела в данный момент времени, поскольку в таком теле число молекул или атомов очень велико. Поэтому их следует рассматривать как *случайные величины*, которые в данных макроскопических условиях принимают различные значения, и описывать с помощью понятия вероятности. Вероятность носит совершенно объективный характер, так как отражает объективные отношения реальности, а ее введение обусловлено лишь незнанием нами деталей течения



процесса. Она позволяет определять *статистические средние*, под которыми понимают сумму отдельных значений всех величин, деленную на их число. Нахождение средних значений физических величин – это основная задача всех статистических теорий.

Все статистические теории отличаются от динамических прежде всего понятием *состояния системы*. В отличие от динамических в статических теориях поведение системы описывается не значениями физических величин, а *законами их распределения*, которые дают вероятности того, что рассматриваемые величины принимают те или иные значения в некотором интервале. Сами же величины являются случайными, т.е. не принимают определенных значений в заданных условиях. Эти вероятности (статистическое распределение) подчиняются определенным *уравнениям движения*, которые описывают их эволюцию и позволяют однозначно предсказывать в любой момент времени при заданных условиях и тем самым *однозначно определяют средние значения соответствующих физических величин*.

Общий взгляд на историю возникновения фундаментальных физических теорий позволил сделать вывод, что *динамические теории соответствовали первому этапу в процессе познания природы человеком*, тогда как на следующем этапе главную роль стали играть статистические теории. Таким образом, *вероятностные законы являются более глубокими, более фундаментальными по сравнению с динамическими*. **Индетерминизма нет**. На уровне статистических закономерностей мы также сталкиваемся с причинностью. Статистические закономерности ничуть не менее объективны, чем динамические, и также отражают взаимосвязь явлений материального мира. Но детерминизм в статистических закономерностях представляет собой более глубокую форму детерминизма в природе. В отличие от классического детерминизма его называют **вероятностным** или **современным детерминизмом**. Статистические законы и теории – это более совершенная форма описания природы. Более того, можно показать, что динамические теории не противоречат статистическим, а включаются в рамки последних как их предельный случай.

Вероятностные закономерности считаются фундаментальными и в других областях естествознания, например в биологии. *Генетика – принципиально статистическая теория*; она дала строгое научное обоснование дарвиновской теории происхождения и

эволюции видов, объяснила, как происходит наследование измененных признаков. **Процесс эволюции в живой природе принципиально непредсказуем** в том смысле, что нельзя предвидеть возникновение того или иного вида, т.е. *любой вид есть явление случайного характера*. Можно уничтожить вид, можно создать какой-нибудь новый вид, но нельзя восстановить исчезнувший вид. В этом смысле **любой из существующих ныне видов уникален**.

Генетика и эволюционная теория ярко демонстрируют фундаментальность вероятностных закономерностей в биологии, здесь особенно ярко видна принципиальная роль случайностей. *Эволюция нашего мира есть также результат цепи случайностей*. В связи с этим интересно отметить, что попытки смоделировать работу мозга хотя бы в рамках распознавания образов были неудачными, пока рассматривались только жесткие, однозначные связи. Решение этой проблемы было найдено при использовании вероятностного подхода. Сегодня уже нет сомнений в том, что любая реалистическая модель мозга должна быть стохастической, т.е. основываться на вероятностных законах.

В своей повседневной деятельности человек все время сталкивается со *случайностью* и *неопределенностью*, с невозможностью точно предсказать исход тех или иных событий. Человечество долго верило в предопределение Божие и, позднее, в жесткую причинную связь. Теперь мы должны признать, что *в жизни Вселенной нельзя игнорировать элемент азартной игры, т.е. случайности*. Его Величество Случай пользуется явной благосклонностью Закона и подстраивает нам порой вещи неожиданные и маловероятные. Можно даже указать область, где он особенно чувствует себя вольготно – физика микромира. В свое время Больцман даже выдвинул гипотезу, что наблюдаемая нами область Вселенной есть результат огромной флуктуации. Таким образом, нам необходимо привыкнуть к мысли, что мир не устроен так прямолинейно и просто, как порой нам хочется.

Итак, **случайность и неопределенность лежат в основе природы вещей**. Более того, как мы увидим далее, они порождаются и нашим незнанием прошлого даже при использовании динамических (детерминированных) законов, т.е. динамическим системам при определенных условиях присущи свойства процессов вероятностной природы. Неопределенность и стохастичность есть та ре-

альность, которую мы постоянно фиксируем в экспериментах, они пронизывают все мироздание, включая и человека с его непредсказуемыми эмоциями, невероятным разнообразием поведения в одних и тех же условиях. Такое понимание роли случайных закономерностей требует дальнейшего развития принципа причинности, который отражает наше представление о существовании зависимости нашего настоящего от прошлого.

Весомым аргументом в пользу фундаментальности статистических законов выступает вероятностное поведение простых нелинейных динамических систем – **явление динамического (детерминированного) хаоса**. Всегда считалось, что простые системы, которые описываются динамическими теориями, должны вести себя однозначно, детерминированно – предсказуемо. При рассмотрении таких систем нет необходимости обращаться к вероятностям. Однако оказалось, что так бывает не всегда. Мы уже отмечали, что в классической механике возможно однозначное определение будущего состояния системы по ее начальным данным. Строго говоря, это не совсем так, это всего лишь абстракция, идеализация, основанная на исключении случайности. Осуществление идеального классического детерминизма практически невозможно.

Действительно, во-первых, начальные данные не могут быть определены бесконечно точно; во-вторых, в процессе движения на систему будут действовать случайные силы, которые мы, как правило, не учитываем (или о них ничего не знаем). Даже если они малы, то их эффект может оказаться значительным по истечении достаточно большого промежутка времени. В-третьих, невозможно гарантировать, что в процессе движения система будет оставаться изолированной. Поэтому необходимо задавать условия на границе той области, внутри которой движется система. Перечисленные обстоятельства обычно игнорируются (или замалчиваются) при изложении классической механики. Однако, как показывает анализ, они оказывают существенное влияние на предсказания, вытекающие из законов классической механики. *Влияние случайностей в общем виде не может быть игнорировано*, так как с течением времени *неопределенность в начальных данных* накапливается и предсказание по прошествии некоторого конечного времени становится совершенно бессодержательным. *Для каждой механической системы существует какое-то критическое время, начиная с которого невозможно точно предсказать ее по-*

*ведение.*

Впервые к этому пришел А. Пуанкаре в начале XX в., когда он показал, что в определенных механических системах, эволюция которых во времени описывается известными уравнениями, может появляться хаотическое движение. Научный мир сначала это не воспринял, посчитав курьезом. В 1963 г. метеоролог Е. Лоренц показал, что даже решение достаточно простой системы, состоящей из трех уравнений первого порядка, вообще говоря, оказывается случайным.

Теперь хорошо известно, что даже в такой точной науке, как небесная механика, необходимо время от времени подправлять исходные данные, чтобы устранить накопившуюся ошибку. Точно так же машины и станки не могут работать долгое время без вмешательства механика, роль которого сводится к устранению погрешности, накапливающейся при работе станка. Значит, *движение, предсказываемое классической механикой*, в конечном счете оказывается *неустойчивым относительно малых случайных отклонений начальных данных или в результате действия случайных сил*. Как бы не были малы эти воздействия, всегда можно найти такое время, при котором их эффект оказывается преобладающим. Эта нестабильность движения относительно малых случайностей полностью разрушает иллюзию о возможности однозначного предсказания будущего по начальным данным без того, чтобы в дальнейшем не вносить корректив "по ходу дела".

Таким образом, **вероятности обнаруживают себя даже там, где царствуют однозначные причинно-следственные связи**. Случайности обнаруживаются, например, в поведении весьма простых динамических систем, описываемых в рамках классической механики и гидродинамики. Следовательно, *хаотическое, случайное поведение возможно даже в очень простых динамических системах*. Данное явление получило название **динамического** или **детерминированного хаоса**. Его относят к числу замечательных открытий современной науки. *Под динамическим хаосом подразумевают нерегулярное или хаотическое поведение простой системы, подчиняющейся регулярным, неслучайным динамическим законам*. Или коротко – это рождение случайного из неслучайного. При этом *система* должна быть **нелинейной**, т.е. описываться нелинейными уравнениями. Это приводит к тому, что *становится невозможным предсказывать поведение таких*

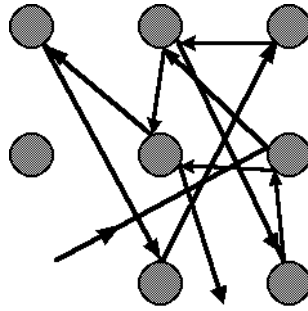


Рис. 3.1. Система шаров, испытывающая упругие столкновения

*систем на больших промежутках времени.*

Открытие динамического хаоса затронуло основы физики, в частности проблему предсказуемости. До этого классическая физика наглядно демонстрировала предсказуемость тех или иных явлений. В свое время это вызвало определенное потрясение среди физиков, сходное с открытием квантовой механики. Сегодня известно, что большинство уравнений классической механики должны приводить к хаосу, или, как говорят, *не интегрируемы*. Даже в известной задаче трех тел могут возникать хаотические движения. Отсюда возникает вопрос и об устойчивости Солнечной системы.

К настоящему времени открыто несколько путей перехода к хаосу. В частности, возникновение динамического хаоса связывают с *неустойчивостью движения системы по отношению к начальным условиям*. Чувствительность к начальным условиям иногда называют эффектом "бабочки". Именно такая неустойчивость неслучайную динамику делает случайной. Неустойчивая динамическая система оказывается, по сути дела, системой статистической.

Простым примером такой системы может служить система шаров, испытывающих упругие столкновения; ничтожное изменение начального положения ударяющего шара приводит к существенному изменению его траектории при столкновении с другими шарами (см. рис. 3.1).

На рис. 3.1 показана одна из возможных траекторий ударяющего шара. Будем приписывать состоянию шара 1, если отражение произошло от левой половины другого шара, 0 – если от правой; тогда последовательность изображенных на рисунке отражений можно записать в виде последовательности из единиц и нулей: 1,0,1,0,0,1,0,1,1,0. Можно показать, что данная последовательность является случайной, ибо здесь нет корреляции между

появлением следующих друг за другом цифр. Малейшее изменение исходного направления движения частицы коренным образом меняет картину – реализуется новая случайная последовательность цифр.

В настоящее время известно достаточно большое количество систем, в которых имеет место такой эффект: именно так ведет себя жидкость вблизи порога возникновения турбулентности; в лазерах и нелинейной оптике, химических реакциях и биологических моделях популяций, нелинейные волны в плазме и др. Все эти системы оказываются неустойчивыми и потому статистическими, несмотря на то, что их поведение во времени детерминировано, т.е. описывается известными дифференциальными уравнениями, которые определяют их будущее, исходя из начальных условий. Именно поэтому при выведении космических аппаратов на орбиту приходится регулярно осуществлять коррекцию их движения, чтобы предотвратить случайное отклонение от расчетной траектории. С этим же связана невозможность предсказания долгосрочного прогноза погоды (правда, здесь все значительно сложнее). В настоящее время установлено, что такие явления в природе часто встречаются и имеют далеко идущие последствия во многих областях науки. При этом хаотическое поведение системы возникает не из-за внешних источников шума, не из-за бесконечного числа свободы или неопределенности, связанной с квантовой механикой, а в силу внутренне присущей им природы. Мы долго верили, что *почти одинаковые причины* будут давать *почти одинаковые следствия*, причем как в природе, так и в хорошо поставленном эксперименте. Как правило, так и происходит, особенно на коротких временных интервалах. Но это оказывается *не всегда верным для больших промежутков времени* даже в случае типичного течения природных процессов – одна и та же причина может приводить к совершенно разным следствиям. Другими словами, даже мельчайшие отклонения в начале движения могут привести через определенное время к гигантским различиям, т.е. самые незначительные причины вызывают через некоторое время огромные последствия. Для природных процессов это *типичное* явление.

### 3.3. Математическая гармония природы

*Математика – наука о хитроумных операциях, производимых по специально разработанным правилам над специально придуманными понятиями.*

Е. Вигнер

Современное естествознание трудно представить без математики, которая в огромной степени определяет *научность* (истинность, достоверность) знания. Большинство различных отраслей естествознания основано на математическом описании со своей строгой логической структурой. Ее роль в естествознании все более усиливается. От использования математики естествознание получает очень много. Например, она выполняет роль *универсального языка естествознания*, специально предназначенного для лаконичной и точной записи различных утверждений. Оказывается, что все, что можно описать языком математики, поддается выражению и на обычном (естественном) языке, но тогда объяснение становится длинным, запутанным, а порой не совсем точным. А. Пуанкаре отмечал, что законы природы, выраженные в математическом виде, отражают ее гармонию.

Учитывая важность роли, которую играет математика в науке, рассмотрим более подробно, что же такое математика и какую роль она играет в современном естествознании на примере физики. *Математика* – древнегреческое слово, переводимое на русский язык как “учение”, точнее, оно образовано от глагола, означающего “учиться через размышление” (иногда переводят как “наука об истине”).

Математика сама непосредственно не изучает природу, она *изучает пространственные формы и количественные соотношения между различными объектами*. Что это за формы и объекты и какое отношение они имеют к природе – этот вопрос математикой не решается, он может быть выяснен только с привлечением других наук. В определенном смысле – это язык, инструмент других наук. Язык есть средство мысленного абстрагирования и обобщения. Предмет современной математики составляет совокупности объектов самого различного вида и любые возможные соотношения между ними.

Одним из наиболее ярких достижений человечества считается создание языка. *Язык* – это средство человеческого общения,

средство передачи информации и инструмент, с помощью которого формируются понятия. В науке формируется и развивается свой язык, который выполняет и перечисленные функции обычного языка, и ряд других, не менее важных. Типичный путь развития какой-либо области науки можно представить примерно так. Сначала собирают опытные данные и классифицируют их. Потом вводят абстрактные понятия, характеризующие данный объект или явление, для которых подбираются термины (масса, импульс, энергия и др.). Далее устанавливают количественную меру установленных понятий и выводят законы, связывающие эти количественные характеристики между собой – их эволюцию во времени, т.е. уравнения. Последние выражаются на языке математики.

Роль обычного (естественного) языка в человеческой цивилизации трудно переоценить. Это считается величайшим достижением человека, без него было бы невозможно общение на уровне, превышающем общение чисто биологическое, бытовое, без него не могла бы возникнуть человеческая цивилизация. В мире существует несколько тысяч языков и диалектов. Всем им присущи некоторые общие черты. Сильные стороны естественного языка – универсальность и выразительность, так как он позволяет выразить любые человеческие чувства, эмоции и знания. Но порой он громоздок, слова его неоднозначны по смыслу, грамматика затрудняет применение его в науке.

В науке также создается и развивается свой язык, который выполняет не только функции обычного языка, но и ряд других. Научные теории формулируются на языке науки. Язык науки возникает в процессе формирования соответствующей научной дисциплины на основе конкретных естественных языков. Но язык современной науки существенно отличается от естественного языка. Он содержит много специальных терминов, выражений и т.п. В нем широко используются средства формализации, среди которых важнейшее место занимает *математическая формализация*. Под *формализацией* понимают особый подход в науке, который заключается в использовании специальной символики, позволяющей отвлечься от изучения реальных объектов и оперировать вместо этого некоторым множеством символов или знаков. Используя формализацию, создаются искусственные языки, на основе которых можно проводить исследования чисто формальным путем, опери-



руя только символами, без непосредственного обращения к объекту. Хотя эти языки не обладают такой гибкостью и богатством, как естественный, но *они однозначно определяют правила между символами и соотнесенность знаковой системы с определенной предметной областью*. Однако нельзя создать какой-то единый язык науки, который применялся бы ко всем ее областям. Поэтому в разных науках создаются свои искусственные языки, предназначенные для решения тех или иных задач. К одному из таких языков относится математика.

*Математика – это язык, который определяет весь стиль мышления в естествознании, без него вообще не могла бы возникнуть наука такой, как теперь мы ее представляем. Математика – это язык и рассуждения одновременно (язык и логика вместе)*. Поэтому говорят, что математика – это инструмент для размышления. В ней сконцентрированы результаты точного мышления многих людей. При помощи математики можно связать одно рассуждение с другим, т.е. это организованные рассуждения. Таким образом, можно сказать, что *математика есть формальный язык, словарем которого служит система символов, обозначающих объекты и переменные, а также операции над объектами, которые отвечают определенным требованиям*. Причем переход от одних формул к другим совершается по строго определенным правилам, которые не допускают неоднозначного толкования. Естественный и математический языки дополняют друг друга. В свое время К. Маркс и Ф. Энгельс говорили, что область знаний, которая не говорит на языке математики, не имеет право называться наукой. Обычно такая область находится в зачаточном состоянии.

Математика достигает высшей степени абстракции. Ее истоки и начало связаны с практической деятельностью, с потребностями практики и повседневной жизнью людей: торговлей, навигацией, планировкой земель, строительством и т.д. Сначала появилось понятие числа, которое постепенно абстрагировалось от пересчитываемых объектов, число стало существовать самостоятельно. То же самое относится к геометрической фигуре. В истории математики было много различных революционных достижений. По-видимому, важнейшим из них является переход от постоянной величины к переменной и возникновение начал высшей математики, т.е. дифференциального и интегрального исчисления (исчис-

ление бесконечно малых величин). Человечество к этому пришло постепенно, понятия эти чрезвычайно глубоки по своей идее, содержанию и возможностям.

Уровень абстракции в математике фантастичен. Например, она может описать мир с числом измерений больше, чем 3 или 4, и даже мир с бесконечным числом измерений или с нецелым числом измерений. Такой мир может быть населен функциями или другими объектами. Причем это абстрактное описание оказывается чрезвычайно полезным и эффективным.

На современном этапе развития математика переживает бурный расцвет. Возникают новые разделы, некоторые из старых преобразуются. Появление ЭВМ произвело революцию в человеческой цивилизации. С появлением ЭВМ математика становится неотъемлемой составной частью почти всех элементов человеческой деятельности. Так, математические методы в настоящее время эффективно "работают" в экономике, медицине, педагогике, психологии, лингвистике, теории искусства и т.д.

Математика строит здание *аксиоматически*, т.е. сначала выбирается система *аксиом* – первичная система определений, например аксиомы Евклида в геометрии. Этот выбор осуществляется либо из потребностей практики, например физики, либо, в определенной мере, произвольно. Затем на этой основе строго логическим путем строится теория. Математика – наиболее строгая и логичная из всех известных наук.

Математическое познание выводимо, т.е. его элементы связаны между собой. Когда физик использует свои знания для предсказаний на основе нескольких экспериментов, проведенных в конкретное время и в конкретном месте, и с помощью подходящей теории пытается объяснить явления природы, происходящие в совершенно другом месте, а эти предсказания сбываются, то это граничит с чудом. При этом он делает вывод, что теория верна. *Установление математических законов, которым подчиняется физическая реальность, – одно из самых поразительных открытий, сделанных человечеством.* Ведь математика не основана на эксперименте, а порождена человеческим разумом.

Но почему реальный мир должен подчиняться математической теории? Полной ясности в этом вопросе нет. В свое время Кант отвечал, что само наше восприятие выстраивает действительность таким образом, что нашим разумом отражается и воспринимается

как реальность только то, что подчиняется математическим законам. Современный ответ восходит к Л. Больцману и наиболее полно сформулирован К. Лоренцем: в смиренную рубашку математики одевает природу не наша чувственная или познавательная деятельность, а сама Природа в ходе своего эволюционного развития "вкладывает" математику в наш разум как реально существующую структуру, неотъемлемую от нее самой. Способность к математике – это часть зафиксированного генетически видового опыта. Тем не менее широкий спектр способов математического описания природы выглядит как чудо. Наши геометрические и логические возможности простираются далеко за пределы окружающего мира. А это означает, что реальный мир подчиняется математическим законам в гораздо большей степени, чем нам известно до сих пор.

Ни физика, ни какая-либо другая наука не могут строиться по образу и подобию математики. В физике исследование природы начинается не с первооснов, а как бы с середины, с макроскопического мира, а затем продолжается в обе стороны: в стороны мегамира и микромира. Кроме того, в физике существенны различные приближения, различные варианты выбора замкнутых систем и т.д. Отметим, что после того, как какая-то теория приобретает более или менее законченный вид, ее пытаются построить по образу и подобию математики (например, теоретическая механика). Математика приносит огромную пользу физике там, где речь идет о деталях сложных явлений. Не имея непосредственного отношения к реальности, она не только описывает эту реальность, но и часто позволяет делать новые и неожиданные выводы о реальности из теории, которая представлена в математической форме.

Каждая из областей физики, узких или широких, основана на своих исходных упрощающих предположениях, на *приближенном описании реальных процессов природы и техники*. В физике толкование результатов эксперимента называют *моделью* или *интерпретацией*. Но в основе всех современных исследований лежит осознание, что **любая модель приближительна**. Физики знают, что при помощи аналитических методов и логики нельзя описать сразу все природные явления, так как они обладают множеством связей, которые невозможно охватить. Они выделяют определенную группу явлений и строят модель для ее описания. При этом они оставляют без внимания остальные явления, предполагая, что то, что не принимают во внимание, либо незначительно и не дает

ничего существенного, либо не известно в момент создания теории. Поэтому, строго говоря, *модель не соответствует реальной ситуации полностью*, т.е. она по своей природе приближительна.

Важная задача при создании модели – определение ограничений для ее применимости. Переход к моделям – это сложный и ответственный этап применения математического аппарата в физике. Успешное решение данной задачи определяется опытом и интуицией физика в каждой конкретной области. Можно сформулировать некоторые самые общие требования к математической модели. Прежде всего *достаточная точность* и *предельная простота*. Обеспечить достаточную точность значит учесть при *идеализации реального объекта* все существенные свойства и связи, отвлекаясь от второстепенных и несущественных в данном конкретном случае. Представляя реальный объект с достаточной точностью, математическая модель должна быть по возможности *проще*, так как работа со сложной моделью затруднительна. При этом она должна содержать как можно меньше предположений в своей основе.

Итак, *математика – это язык физики*, без математики физика не существует, но математика – далеко не вся физика. Кроме нее чрезвычайно важен *физический смысл* получаемых результатов, их соответствие природе. Для физика решить задачу – значит получить конкретный результат, заведомо приближенный, справедливый в практических условиях: получить число или некоторую зависимость. Здесь полнота системы аксиом решающей роли не имеет. Это связано с тем, что, собирая из опыта отдельные факты и обобщая их, человек формулирует законы, связи между переменными, каждая из которых *абстрагирована* от непосредственных результатов опыта. Однако, собирая эти факты, ученые не могут быть полностью уверены, что исследовали все, что нужно и с необходимой степенью точности. Поэтому у них никогда не может быть абсолютной уверенности в *полноте* и *”замкнутости”* своих знаний. Математики нет и не может быть без полной системы аксиом для каждого из ее разделов.

Математика для физики не только инструмент, с помощью которого он может количественно описать любое явление, но и главный источник представлений и принципов, на основе которых зарождаются новые теории. Она также позволяет нам выявлять следствия, анализировать ситуации и видоизменять законы, что-

бы связать различные утверждения. Приход в физику понятий, взятых из математики, "придуманных" ею, играет также чрезвычайно важную роль. "Математический язык удивительно хорошо приспособлен для формулировки физических законов. Это чудесный дар, которого мы не понимаем и которого не заслуживаем. Нам остается лишь благодарить за него судьбу и надеяться, что и в своих будущих исследованиях мы сможем по-прежнему пользоваться ими. Мы думаем, что сфера его применимости (хорошо это или плохо) будет непрерывно возрастать, принося нам не только радость, но и новые головоломные проблемы", – пишет американский физик Е. Вигнер, восхищаясь успехами этой, как он называет, странной науки. (Цит. по: [60].)

Нельзя объяснить красоты всех законов природы так, чтобы люди восприняли их одними чувствами, без глубокого понимания математики. Вот что писал по поводу математики Ч. Дарвин: "...в последние годы я глубоко сожалел, что не успел ознакомиться с математикой, по крайней мере, настолько, чтобы понимать что-нибудь в ее великих руководящих началах; так усвоившие их производят впечатление людей, обладающих одним органом чувств более, чем простые смертные". (Цит. по: [6].)

Физика начала "овладевать" математикой при Г. Галилее и Р. Декарте. Чтобы действительно понимать современную физику, надо очень хорошо знать математику – язык, на котором, по образному выражению Г. Галилея, природа говорит с человеком. "Философия написана в той величественной книге, которая постоянно лежит открытой у нас перед глазами (я имею в виду Вселенную), но которую невозможно понять, если не научиться предварительно ее языку и не узнать те письмены, которыми она написана. Ее язык – язык математики, и эти письмены суть треугольники и другие геометрические фигуры, без помощи которых невозможно понять в ней по-человечески хотя бы одно слово; без них мы можем кружиться впустую по темному лабиринту". (Цит. по: [6].) Г. Галилей первым объединил математику и эксперимент, поэтому его называют отцом современной науки.

Многие ученые считают, что **математика – естественный язык природы**, это язык для описания процессов и явлений. Математика – основной язык физического исследования. Первичным языком, который вырабатывают в процессе научного уяснения фактов, в теоретической физике обычно служит язык математики,

а именно – математическая схема, позволяющая физикам предсказывать результаты будущих экспериментов.

Задача физики – установить и понять связи между наблюдаемыми явлениями и величинами, с помощью которых их описывают. *Количественное совпадение предсказаний с опытом – наиболее убедительная проверка понимания.* Количественное описание физического мира невозможно без математики. Математика не только дает способы решения уравнений физики, но и создает методы описания, соответствующие характеру физической задачи. Приложением математики к физическим задачам занимаются физики-теоретики. Однако теоретическая физика не представляет собой нечто вроде прикладной математики. И по характеру задач, и по методам подхода к задачам математика и физика различаются.

В математике важнейшую роль играет логическая стройность, т.е. безупречность всех выводов вместе с исследованием всех логически возможных вариантов, вытекающих из принятых аксиом. Задача же физики – *воссоздать по возможности точную картину мира*, используя все известные экспериментальные и теоретические факты, основанные на *интуиции-догадке*, которые в дальнейшем будут проверены на опыте. Так, математик исследует все логически возможные типы геометрий; физик же выясняет, какие геометрические соотношения осуществляются в реальном мире. Математические построения сами по себе не имеют отношения к свойствам окружающего мира, это чисто логические конструкции. Они приобретают смысл физических утверждений, только когда применяются к реальным физическим телам. Математик получает соотношения, не интересуясь тем, для каких физических величин они будут использованы. Обычно уравнение может описывать одновременно множество физических объектов. Именно эта общность делает математику универсальным инструментом для изучения всех естественных наук.

Физика интересуют не только и не столько методы решения, сколько вопрос о том, насколько законны упрощения, которые пришлось сделать при выводе уравнений, с какой точностью и при каких значениях переменных они правильно описывают явления, наконец, самый важный вопрос – от каких предположений придется отказаться и как изменится наш взгляд на все другие известные явления, если результат не подтвердится на опыте. Фи-

зик чаще всего имеет дело с задачами, в которых исходных данных недостаточно для решения, и искусство состоит в том, чтобы угадать, какие недостающие соотношения реализуются в природе. Именно для этих догадок требуется не математическая, а *физическая интуиция*. Убедительность в физике достигается получением одного и того же результата из разных исходных посылок, при этом приходится вводить лишние, логически необязательные аксиомы, каждая из которых сама по себе не абсолютно достоверна. Единственное условие состоит в том, чтобы уметь оценить степень убедительности того или иного предположения и ясно понимать, какие из них требуют дальнейшей проверки.

### 3.4. Язык и реальность в современной физике

В любом познании исходным всегда выступает естественный язык повседневного общения. Первоначальные сведения о мире человек получает именно с его помощью. Но естественного языка в связи с дальнейшим развитием науки оказывается недостаточно. Основная задача науки – познание объективных законов природы. Это познание начинается с изучения опытных фактов и установления качественных зависимостей между ними. Знание качественных зависимостей, сформулированное на естественном языке, не позволяет точно предсказать течение событий. Создаваемые на базе (и для объяснения) качественных зависимостей гипотезы, как правило, оказываются не проверяемыми в эксперименте, так как не ведут к строгим, количественно определенным следствиям, допускающим однозначное сопоставление с экспериментом. Появление естествознания в строгом смысле слова (начиная с XVI в.) было отмечено переходом от констатации качественных зависимостей к установлению строгих количественных соотношений. Развитие познания, переход от эмпирической констатации к формулировке общих фундаментальных законов необходимо требует перехода от естественного языка к языку математики. Что дает использование математического языка?

1. Прежде всего, математика позволяет *кратко* и *наглядно* записать то, что в принципе можно выразить словами, но более длинно и не так очевидно. Математический язык краток, более точен и компактен.

2. *Точное предсказание течения событий*. Математика позволяет сформулировать основные законы в виде соответствующих

уравнений, а значит, прогнозировать течение событий. Она может служить источником моделей, алгоритмических схем и процессов, составляющих предмет естествознания.

3. *Предсказание новых явлений*: так, например, было предсказано существование планеты Нептун (Лeverье), электромагнитного поля (Максвелл, 1865 г.), позитрона (Дирак, 1929 г.), мезона (Юкава, 1936 г.) и др.

4. *Математическая форма законов природы часто подготавливает условия для качественно новых обобщений*. Становление квантовой механики было облегчено тем, что в классической механике были получены различные математические формы выражения основных законов движения. А. Эйнштейн отмечал, что без соответствующего уровня развития геометрии ему бы не удалось сформулировать общую теорию относительности.

5. *Проверка теорий, претендующих на роль фундаментальных законов природы*. На современном уровне гипотеза утверждается в науке лишь в том случае, если ее основные положения получают количественное математическое выражение.

Роль математики в физике исключительно велика, но она должна правильно пониматься. Развитие теории всегда связано с глубоким физическим анализом применяемых и вновь создаваемых математических схем. Л. Мандельштам писал, что всякая физическая теория состоит из двух дополняющих друг друга частей: одна часть – уравнения теории, устанавливающие соотношения между математическими символами, а другая – связь этих символов с физическим миром.

Современная физика немыслима без математики и математических понятий, но не сводится к ним. Более того, главное в физике не формулы и уравнения, а их *интерпретация*, т.е. понимание, которое питает интуицию. Физика развивается не только с помощью *математической логики*, но и с помощью *физической интуиции*. Математик готовит абстрактные доказательства, которыми физик может воспользоваться, приписав реальному миру некоторый набор аксиом. Но физик не должен забывать о значении своих понятий. Это очень важно. Физика – не математика, а математика – не физика. Одно помогает другому. Но в *физике нужно понимать связь слов с реальным миром*. Получив какие-то выводы, необходимо перевести их на язык природы. Только так можно проверить истинность выводов. В математике этой проблемы нет.



Но доказательства и способы мышления, найденные математиками, становятся могучими и полезными орудиями для физика, а рассуждения физиков часто также приносят пользу математикам.

В отличие от математика, который любит придавать своим рассуждениям наиболее общую форму, физик интересуется в большей степени конкретными вещами. Например, физика интересует закон тяготения в трехмерном пространстве, а не  $n$ -мерном. Когда известно, о чем идет речь, и известны значения символов, можно обратиться за помощью к здравому смыслу, к интуиции. Часто излишняя строгость не очень полезна в физике.

Математические расчеты нередко выступают в качестве "мысленных" экспериментов. В современной физике математика – не просто орудие расчета, это наиболее адекватный язык для формулировки основных законов, которые вне этого языка не могут быть даже приблизительно нащупаны. Физика проникла в такие области действительности, где для *изучаемых ею объектов уже нельзя подобрать соответствующие наглядные образы*, которые всегда связаны с миром повседневного опыта. Поэтому основным языком здесь является язык математики. Физик может довольствоваться тем, что обладает математической схемой и знает, как можно ее применять для истолкования своих опытов. Но ведь он должен сообщить о своих результатах и нефизикам, которые не будут удовлетворены до тех пор, пока им не будет дано объяснение на обычном языке, понятном каждому. Для физика *возможность описания на обычном языке считается критерием того, какая степень понимания достигнута* в соответствующей области.

В каком объеме это можно сделать? Можно ли, например, говорить о самом атоме, как таковом? Это проблема как языковая, так и физическая. *Важно понимать разницу между математическими моделями и их словесными описаниями*. Математические модели строгие и последовательные, но их символы не связаны с нашим восприятием непосредственно. Словесные модели используют символы, которые могут восприниматься интуитивно, но всегда неточны, двусмысленны, ограничены. Все словесные описания неточны и неполны, непосредственное восприятие реальности лежит за пределами мышления и языка. Поэтому Н. Бор говорил, что никакое сложное явление нельзя описать с помощью одного языка. Но базовый язык, на котором человек произносит свое первое слово, все же должен быть, иначе и другие интерпретации не

будут понятны.

Человеческий ум располагает двумя способами познания, двумя типами сознания, которые обозначаются как *рациональное (аналитическое или логическое)* и *интуитивное (синтетическое, образное или художественное)*. Первое обычно ассоциируется с наукой, второе – с религией и искусством. В настоящее время имеются доказательства того, что за эти способы мышления ответственны разные полушария человеческого мозга. Рациональное знание приобретается в процессе взаимодействия с предметами и явлениями окружающего мира. Оно относится к области интеллекта (разума), функции которого – различать, сравнивать, измерять и распределять по категориям, т.е. *анализировать*. Основу такого способа мышления составляют *абстрагирование* и *идеализация*. Поэтому **рациональное знание** рассматривают как *систему абстрактных понятий и символов*.

Но реальный мир гораздо сложнее и разнообразнее. В нем нет абсолютно прямых линий и правильных форм, явления происходят одновременно, а "пустое" пространство даже искривлено. Очевидно, что при помощи абстрактных понятий такой мир полностью описать нельзя, как нельзя покрыть сферическую поверхность Земли плоскими картами. Здесь можно надеяться лишь на приближенное описание реальности, и поэтому **рациональное познание изначально ограничено в своих возможностях**.

Рациональное познание прежде всего свойственно науке, которая измеряет, оценивает, классифицирует и анализирует. Физики уже сознают **ограниченность всех знаний**, приобретенных при помощи этих методов. В. Гейзенберг говорил, что каждое слово или понятие, каким бы понятным оно ни казалось, может найти лишь ограниченное применение. Поэтому *важно не смешивать наши представления о реальности с самой реальностью*. Аналитический метод мышления склонен возводить получаемые данные в догмы, разрывать, абсолютизировать их, рассматривать как абсолютную истину. Ф. Энгельс писал, что аналитический метод "оставил нам вместе с тем и привычку рассматривать вещи и процессы природы не в движении, а в неподвижном состоянии, не как существенно изменчивые, а как вечно неизменные, не живыми, а мертвыми... Этот способ понимания создал специфическую ограниченность последних столетий – метафизический способ мышления". (Цит. по: [24].)

Хотя физики в основном интересуются познанием рациональным, им приходится иметь дело с обоими типами познания. За рациональным знанием часто стоит *интуиция*, которая приводит ученых к открытиям и таит в себе творческую силу. Однако физика не может использовать интуитивные прозрения, если их нельзя сформулировать на математическом языке и дополнить описанием на обычном языке. При этом надо помнить, что слова нашего языка не имеют четких определений. У них несколько значений, большая часть которых смутно осознается нами и остается в подсознании, когда мы слышим слово. Наука же стремится к четким определениям и недвусмысленным сопоставлениям.

Научный метод абстрагирования очень продуктивен и полезен, но за его использование приходится платить. **Чем точнее мы определяем понятия и делаем все более строгими правила сопоставлений, тем все больше удаляемся от реального мира.** Вот почему приходится пояснять словами модели и теории, прибегая к понятиям, которые можно воспринимать интуитивно. Именно поэтому в *физике невозможно обойтись без обычного языка*. Однако в *современной физике естественный человеческий язык становится абсолютно непригодным для описания атомной и субатомной действительности*. Микромир не подчиняется законам классической логики. Микрообъекты недоступны непосредственному чувственному восприятию человека. Использование сложных приборов и методов позволяет проникнуть в субмикроскопический мир, но мы *воспринимаем уже не сами явления, а только их следы*. Сам же субатомный мир остается скрытым для нас. Но таким образом мы в какой-то степени все же познаем его.

Однако *эти знания в корне отличаются от знаний о том, что нас окружает в повседневной жизни*. Они уже не определяются непосредственным чувственным восприятием, и поэтому обычный язык, заимствующий свои образы из мира чувств, не годится для описания исследуемых явлений, и мы должны отказываться от образов и понятий обычного языка. И уже нельзя в полной мере опираться на привычную нам логику и здравый смысл. Здесь мы имеем дело с *нечувственно воспринимаемой реальностью* и сталкиваемся с парадоксами.

Однако задача физики не в том, чтобы снабжать нас наглядными образами (“картинками”), а в том, чтобы формулировать за-

коны, управляющие явлениями, и использовать их для открытия новых явлений. Если наглядная картина существует, то хорошо, но есть она или нет – это второстепенный (не столь важный) вопрос. (Применительно к атому роль наглядной “картинки” играет модель атома – классическая или более правильная квантовая.) В физике микромира строится точная математическая теория, *не имеющая наглядных образов*, т.е. детальной классической картины. Именно поэтому существует определенная трудность в изучении современных разделов физики.

Интересно отметить, что есть такая точка зрения: модели и образы современной физики стали родственны моделям и образам восточной философии или мистике (Капра Ф. Дао физики. СПб: ОРИС, 1994). Согласно восточным представлениям разделение природы на отдельные предметы не является изначальным, все они обладают текучим и изменчивым характером. Для восточного мировоззрения космос – это единая нерасчлененная, вовлеченная в бесконечное движение реальность, живая и органичная, идеальная и материальная. Чем глубже физики проникают в микромир, тем больше убеждаются, что мир необходимо рассматривать как систему, состоящую из неделимых и пребывающих в непрерывном движении компонентов, причем неотъемлемой частью этой системы является и сам наблюдатель.

#### **Основные понятия и термины, которые необходимо знать:**

закон природы, динамический закон, вероятностный (статистический) закон, индетерминизм, динамический хаос, математика, язык, формализация, действительность, нелинейность.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое законы природы?
2. Объясните сущность высказывания: “Законы природы можно формулировать разными способами”. Приведите примеры.
3. В чем состоит сущность универсальности законов природы?
4. Сформулируйте сущность динамических и вероятностных законов. В чем их различие и сходство? Какие из них являются фундаментальными?
5. В чем сущность концепции неполноты знаний?
6. В чем сущность лапласовского детерминизма?
7. Что такое динамический хаос и условия его наблюдения? Почему это явление считается фундаментальным свойством природы? Приведите примеры.

8. Что такое математика и что она изучает? Какую роль она играет в науке?
9. Что означает высказывание: “Математика – естественный язык природы”?
10. Что дает математика физике?
11. Почему в физике обычного языка недостаточно?
12. Сформулируйте сущность рационального метода познания.
13. Почему рациональные знания ограничены?
14. Почему знания о микромире отличаются от знаний о макромире?

**Литература:** [21, 23, 24, 27, 34, 36, 39, 51, 53, 60].

**Дополнительная литература:** [1, 2, 5, 6, 47, 48].